

Hochschule Anhalt

Fachbereich Landwirtschaft, Ökotropologie und Landschaftsentwicklung



Bachelorarbeit

„Vergleich von vier verschiedenen Stoppelbearbeitungsvarianten hinsichtlich Wirksamkeit, Wasserabgabe, N-Mineralisation und Wirtschaftlichkeit in einem Zeitraum von einem Jahr“

Name, Vorname	Knörnschild, Paul	Büttner, Arne
Matrikel	4065870	4066197
Geboren am	26.06.1996	26.12.1996
Studiengang	Bachelor Landwirtschaft	Bachelor Landwirtschaft

- | | |
|--------------|--------------------------|
| 1. Gutachter | Prof. Dr. Annette Deubel |
| 2. Gutachter | Dr. Kathleen Schlegel |

Bernburg (Saale), den 09.02.2021

Inhaltsverzeichnis

Bibliografische Beschreibung	III
Autorenreferat	III
Tabellenverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	V
1. Einleitung.....	1
2. Literatur.....	2
2.1 Boden und Klima	2
2.2 Bedeutung der Stoppelbearbeitung.....	4
2.3 Technische Möglichkeiten der Stoppelbearbeitung	6
2.4 Auswirkung der Stoppelbearbeitung auf die Evaporation und N- Mineralisation.....	11
2.5 Möglichkeiten der Bewertung in Kombination mit Direktsaatverfahren.....	16
3. Zielstellung.....	19
4. Material und Methode	20
4.1 Standortbeschreibungen	20
4.2 Versuchsaufbau.....	22
4.3 Agronomische Maßnahmen	27
4.4 Boniturbeschreibungen	28
4.5 Beschreibung der Kennwerte	29
5. Ergebnisse.....	31
5.1 Unterschiede in Bezug auf den Wasserhaushalt bei den unterschiedlichen Verfahren	31
5.1.1 Niederschläge.....	31
5.1.2 Bodenwasserhaushalt.....	33
5.2 Auswirkung verschiedener Stoppelbearbeitungsvarianten auf Auflaufverhalten der Vorfrucht Winterroggen aus	48
5.3 Unterschiede im Auflaufverhalten der Nachfrucht, durch eine Direktsaat.....	52
5.4 Unterschiede des Krankheits- und Unkrautdrucks der Nachfolgekultur.....	53
5.5 Auswirkung der Stoppelbearbeitungsvarianten auf die N-Mineralisation.....	54
5.6 Ökonomische Betrachtung der Varianten	69
6. Diskussion.....	71
6.1 Unterschiede in Bezug auf den Wasserhaushalt bei den unterschiedlichen Verfahren	71
6.1.1 Niederschläge.....	71
6.1.2 Bodenwasserhaushalt.....	71

6.2	Auswirkung verschiedener Stoppelbearbeitungsvarianten auf Auflaufverhalten der Vorfrucht Winterroggen aus	74
6.3	Unterschiede im Auflaufverhalten der Nachfrucht unter Direktsaat.....	76
6.4	Unterschiede des Krankheits- und Unkrautdrucks der Nachfolgekultur.....	77
6.5	Auswirkung der Stoppelbearbeitungsvarianten auf die N-Mineralisation.....	78
6.6	Ökonomische Betrachtung der Varianten	83
7.	Schlussfolgerung	85
8.	Zusammenfassung	86
9.	Literaturverzeichnis.....	88
10.	Selbstständigkeitserklärung.....	92
11.	Anhänge.....	93

Bibliografische Beschreibung

Name, Vorname: Büttner, Arne
Knörnschild, Paul

Thema: Vergleich von vier verschiedenen Stoppelbearbeitungsvarianten hinsichtlich Wirksamkeit, Wasserabgabe, N-Mineralisation und Wirtschaftlichkeit in einem Zeitraum von einem Jahr

2021/94 Seiten/31 Tabellen/56 Abbildungen

Bernburg: Hochschule Anhalt
Fachbereich Landwirtschaft, Ökotoxikologie und Landschaftsentwicklung

Autorenreferat

Die vorliegende Arbeit wurde auf Grundlage eines Feldversuches anfertigt. Der Feldversuch soll einer Untersuchung dienen, um die Effektivität verschiedener Varianten der Stoppelbearbeitung zu ermitteln. Nach der Vorfrucht Winterroggen wurden als Stoppelbearbeitungsvarianten ein Strohstriegel, eine Cambridgewalze, ein Sichelmulcher und als Kontrolle eine Scheibenegge verwendet. Durch verschiedene Bonituren und Auswertung von entnommenen Bodenproben, soll das Ergebnis dieser Arbeit sein, eine praxistaugliche Empfehlung für die effektivste Stoppelbearbeitungsvariante herauszufinden. Die Aussage über die Effektivität der verschiedenen Varianten berücksichtigen unter anderem die Veränderung des vorhandenen Bodenwasserhaushaltes und das Auflaufverhalten der Verlustkörner, der Vorfrucht, sowie die Unterschiede in der N-Mineralisation, innerhalb der Varianten. Weiterhin wird auf Aussagen von renommierten Wissenschaftlern, bezüglich der Stoppelbearbeitung eingegangen. Der Feldversuch berücksichtigt einen Zeitraum vom 25.07.2019 bis zum 30.07.2020.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Humusstufen (Quelle: BODENKUNDLICHE KARTIERANLEITUNG, 2005)	2
Tabelle 2 - Bewertung des Feldaufganges (Quelle: DLG, 2020)	17
Tabelle 3 - Aufschlüsselung Arbeiterledigungskosten (Quelle: KTBL, 2020)	18
Tabelle 4 - Lufttemperatur der Probenahmen	25
Tabelle 5 - Aufstellung Versuchsgeräte	26
Tabelle 6 – Pflanzenschutzmaßnahmen im Untersuchungsbetrieb	28
Tabelle 7 - Parzellengrößen der einzelnen Varianten.....	30
Tabelle 8 - Summe wöchentliche Niederschläge (Etappe 1).....	31
Tabelle 9 - Summe 14-tägige Niederschläge (Etappe 2)	32
Tabelle 10 - Summe monatliche Niederschläge (Etappe 3)	32
Tabelle 11 - Summe 14-tägige Niederschläge (Etappe 4)	33
Tabelle 12 – Auflaufverhalten der Verlustkörner auf Messpunkt 1 der Versuchsvarianten	49
Tabelle 13 - Auflaufverhalten der Verlustkörner auf Messpunkt 2 der Versuchsvarianten	50
Tabelle 14 - Auflaufverhalten der Verlustkörner auf Messpunkt 3 der Versuchsvarianten	50
Tabelle 15 - Durchschnittliches Auflaufverhalten der Verlustkörner aller Messpunkte der Versuchsvarianten	51
Tabelle 16 - Beschreibende Statistik zum Feldaufgang nach der Aussaat von Winterroggen in Direktsaat	53
Tabelle 17 - Ergebnisse der Unkrautbonitur im Vergleich der untersuchten Anbaugeräte vor der Saat	53
Tabelle 18 - Ergebnisse der Unkrautbonitur im Vergleich der untersuchten Anbaugeräte im Herbst ..	54
Tabelle 19 - Ergebnisse der Unkrautbonitur im Vergleich der untersuchten Anbaugeräte im Frühjahr	54
Tabelle 20 - Variabilität des Nmin-Gehaltes Strohstriegel.....	66
Tabelle 21 - Variabilität des Nmin-Gehaltes Cambridgewalze	67
Tabelle 22 - Variabilität des Nmin-Gehaltes Sichelmulcher	68
Tabelle 23 - Variabilität des Nmin-Gehaltes Scheibenegge	69
Tabelle 24 – Berechnung der stoppelbearbeitungsfreien Leistung (€/ha) aller Varianten.....	70
Tabelle 25 - Feldaufgang nach Aussaat Winterroggen in Direktsaat (vereinfacht)	76
Tabelle 26 - Ergebnisse der Unkrautbonitur im Vergleich der untersuchten Anbaugeräte Herbst	78
Tabelle 27 - Enthaltene Bodenwasser im Mittelwert aller Messpunkte in den Versuchsvarianten (Etappe 1)	93
Tabelle 28 - Enthaltene Bodenwasser im Mittelwert aller Messpunkte in den Versuchsvarianten (Etappe 2)	93
Tabelle 29 - Enthaltene Bodenwasser im Mittelwert aller Messpunkte in den Versuchsvarianten (Etappe 3)	93
Tabelle 30 - Enthaltene Bodenwasser im Mittelwert aller Messpunkte in den Versuchsvarianten (Etappe 4)	93
Tabelle 31 - Verlauf Nmin-Gehalt (Mittelwert aller Messpunkte).....	94

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Klimatische Entwicklung Niederschläge an der Wetterstation Genthin (DEUTSCHER WETTERDIENST, 2019)	3
Abbildung 2 - Klimatische Entwicklung Temperatur an der Wetterstation Genthin (DEUTSCHER WETTERDIENST, 2019)	4
Abbildung 3 - Mikrobielle Biomasse in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitungsvariante (FLAIG, 2007)	6
Abbildung 4 - Arbeitsbild Strohstriegel (eigene Aufnahme)	7
Abbildung 5 - Arbeitsbild Cambridgewalze (eigene Aufnahme).....	8
Abbildung 6 - Arbeitsbild Sichelmulcher (eigene Aufnahme)	9
Abbildung 7 - Darstellung BEDNAR A-Disc (Quelle: https://www.bednar.com/de/swifterdisc-xo_f-2/)	10
Abbildung 8 - Arbeitsbild Scheibenegge (eigene Aufnahme).....	11
Abbildung 9 - Diagramm Wasserabgabe (VOSSHENRICH, 2016).....	12
Abbildung 10 - Darstellung Wasserbindung durch Stroh (VOSSHENRICH, 2016).....	13
Abbildung 11 - N-Mineralisation in Abhängigkeit von der Häufigkeit der Bodenbearbeitung (Quelle: LFULG SACHSEN, 2020)	14
Abbildung 12 - Verlauf des Nmin-Gehaltes im zeitlichen Verlauf (Quelle: DWD, 2001)	15
Abbildung 13 - Verlauf des Nmin-Gehaltes im zeitlichen Verlauf (Quelle: LWK NRW, 2005).....	16
Abbildung 14 - Satellitenbild Standort des Feldversuches.....	20
Abbildung 15 – Skizze Versuchsaufbau.....	23
Abbildung 16 - Aussaat Winterroggen auf dem Feldversuch (eigene Aufnahme)	27
Abbildung 17 - Wassergehalt im Mittelwert aller Messpunkte (Etappe 1).....	34
Abbildung 18 - Wassergehalt im Mittelwert aller Messpunkte (Etappe 2).....	35
Abbildung 19 - Wassergehalt im Mittelwert aller Messpunkte (Etappe 3).....	36
Abbildung 20 - Wassergehalt im Mittelwert aller Messpunkte (Etappe 4).....	37
Abbildung 21 - Wassergehalt aller Messpunkte Strohstriegel (Etappe 1)	38
Abbildung 22 - Wassergehalt aller Messpunkte Cambridgewalze (Etappe 1)	38
Abbildung 23 - Wassergehalt aller Messpunkte Sichelmulcher (Etappe 1)	39
Abbildung 24 - Wassergehalt aller Messpunkte Scheibenegge (Etappe 1).....	40
Abbildung 25 - Wassergehalt aller Messpunkte Strohstriegel (Etappe 2)	40
Abbildung 26 - Wassergehalt aller Messpunkte Cambridgewalze (Etappe 2)	41
Abbildung 27 - Wassergehalt aller Messpunkte Sichelmulcher (Etappe 2)	42
Abbildung 28 - Wassergehalt aller Messpunkte Scheibenegge (Etappe 2).....	42
Abbildung 29 - Wassergehalt aller Messpunkte Strohstriegel (Etappe 3)	43
Abbildung 30 - Wassergehalt aller Messpunkte Cambridgewalze (Etappe 3)	44
Abbildung 31 - Wassergehalt aller Messpunkte Sichelmulcher (Etappe 3)	45
Abbildung 32 - Wassergehalt aller Messpunkte Scheibenegge (Etappe 3).....	45
Abbildung 33 - Wassergehalt aller Messpunkte Strohstriegel (Etappe 4)	46
Abbildung 34 - Wassergehalt aller Messpunkte Cambridgewalze (Etappe 4)	47
Abbildung 35 - Wassergehalt aller Messpunkte Sichelmulcher (Etappe 4)	47
Abbildung 36 - Wassergehalt aller Messpunkte Scheibenegge (Etappe 4).....	48
Abbildung 37 – Anteil nicht aufgelaufener Verlustkörner auf Messpunkt 1 der Versuchsvarianten	49
Abbildung 38 - Anteil nicht aufgelaufener Verlustkörner auf Messpunkt 2 der Versuchsvarianten	50
Abbildung 39 – Anteil nicht aufgelaufener Verlustkörner auf Messpunkt 3 der Versuchsvarianten	51

Abbildung 40 - Durchschnittlicher Anteil nicht aufgelaufener Verlustkörner aller Messpunkte der Versuchsvarianten	52
Abbildung 41 - Durchschnittlicher Nmin-Gehalt Strohstriegel (Etappe 1)	55
Abbildung 42 - Durchschnittlicher Nmin-Gehalt Strohstriegel (Etappe 2)	56
Abbildung 43 - Durchschnittlicher Nmin-Gehalt Strohstriegel (Etappe 3)	56
Abbildung 44 - Durchschnittlicher Nmin-Gehalt Strohstriegel (Etappe 4)	57
Abbildung 45 - Durchschnittlicher Nmin-Gehalt Cambridgewalze (Etappe 1)	58
Abbildung 46 - Durchschnittlicher Nmin-Gehalt Cambridgewalze (Etappe 2)	58
Abbildung 47 - Durchschnittlicher Nmin-Gehalt Cambridgewalze (Etappe 3)	59
Abbildung 48 - Durchschnittlicher Nmin-Gehalt Cambridgewalze (Etappe 4)	60
Abbildung 49 - Durchschnittlicher Nmin-Gehalt Sichelmulcher (Etappe 1)	60
Abbildung 50 - Durchschnittlicher Nmin-Gehalt Sichelmulcher (Etappe 2)	61
Abbildung 51 - Durchschnittlicher Nmin-Gehalt Sichelmulcher (Etappe 3)	62
Abbildung 52 - Durchschnittlicher Nmin-Gehalt Sichelmulcher (Etappe 4)	62
Abbildung 53 - Durchschnittlicher Nmin-Gehalt Scheibenegge (Etappe 1)	63
Abbildung 54 - Durchschnittlicher Nmin-Gehalt Scheibenegge (Etappe 2)	64
Abbildung 55 - Durchschnittlicher Nmin-Gehalt Scheibenegge (Etappe 3)	64
Abbildung 56 - Durchschnittlicher Nmin-Gehalt Scheibenegge (Etappe 4)	65

1. Einleitung

Die landwirtschaftliche Primärerzeugung von Lebensmitteln ist vom Klimawandel betroffen. Eine effektive Bewirtschaftung der Böden gestaltet sich daher zunehmend schwieriger. Die Jahre 2018 und 2019 waren von Dürren betroffen. Dies wirkte sich stark auf die Erträge der Hauptkulturen aus und schwächte landwirtschaftliche Unternehmen, bezüglich ihrer Wirtschaftlichkeit. Aus diesem Grunde ist es notwendig konventionelle Produktionssysteme in Frage zu stellen und stattdessen nach Alternativen zu suchen. Der erste Eingriff in das Produktionsverfahren beginnt mit der Stoppelbearbeitung der Vorfrucht. Hierbei wird in den Boden eingegriffen und ein Wasserverlust tritt auf. Da Wasser in vielen Regionen Deutschlands ein ertragslimitierender Faktor ist, muss somit eine minimale Verdunstung aus dem Boden (Evaporation) erreicht werden. Alternative Varianten der Stoppelbearbeitung könnten maßgeblich darauf Einfluss nehmen. Jedoch bestehen viele Möglichkeiten eine alternative Stoppelbearbeitung durchzuführen. In landwirtschaftlichen Betrieben wird weitestgehend die Scheibenegge verwendet. Um festzustellen, welche Variante die höchste Wasserbindung aufweist, muss dies untersucht werden. Um Produktionsmittel wie zum Beispiel Herbizide einzusparen, ist ein maximales Auflaufverhalten der Ausfallkulturen und Unkräutern zwingend notwendig. Auch die N-Mineralisation hat einen großen Einfluss auf die Handlungsentscheidung. Durch die Ausnutzung der N-Mineralisation kann der Einsatz von N-haltigen Düngemitteln optimiert werden. Verschiedene Varianten der Stoppelbearbeitung können hierbei Unterschiede aufzeigen. Diese haben maßgeblichen Einfluss auf eine Handlungsempfehlung. Unter Berücksichtigung aller möglichen Untersuchungen ist für landwirtschaftliche Betriebe die Ökonomik einer der wichtigsten Komponenten zur Handlungsentscheidung. Damit eine Stoppelbearbeitungsvariante in der Praxis angewendet wird, muss diese ein hohes Maß an Unkrautbekämpfung aufzeigen und die geringste Evaporation aufweisen. Auch sollte ein Verfahren die N-Mineralisation ausnutzen und die Arbeitserledigungskosten minimieren.

2. Literatur

2.1 Boden und Klima

Die Wasserspeicherkapazität eines Bodens ist von vielen Faktoren abhängig. Einige davon sind die Bodenart, der Humusgehalt und die klimatische Entwicklung. Die Bodenart wird mit der „Fingerprobe“ nach DIN 19682-2 (2007) durchgeführt. Die DIN 19682-2 (2007) ist in Deutschland der Maßstab für die Bestimmung der Bodenart und wird in der „Bodenkundlichen Kartieranleitung“ berücksichtigt. Eine weitere Methode zur Bestimmung der Bodenart besteht in der analytischen Untersuchung der Korngrößenverteilung einer Bodenprobe. Das Verhältnis der Korngrößenfraktionen zueinander gibt Aufschluss über die Bodenart (KLER, 2016).

Ein weiterer Faktor ist der Humusgehalt. Die Farbe des feuchten Oberbodens (0-30 cm) wird mit der Farbtafel nach Munsell verglichen (BODENKUNDLICHE KARTIERANLEITUNG, 2005). Auf Grundlage des ermittelten Farbtons wird dann die vorhandene Humusstufe aus der BODENKUNDLICHEN KARTIERANLEITUNG (2005) abgelesen. Mit der Farbtafel 10YR, werden Humusgehalte der Bodentypen mit der Leitbodenart Sand bestimmt, somit auch der Humusgehalt des Bodentyps Rostbraunerde. In der BODENKUNDLICHEN KARTIERANLEITUNG (2005) werden verschiedene Humusstufen beschrieben (vgl. Tabelle 1). In der Bodenart lehmiger Sand sind hauptsächlich Humusstufen von H0 bis <H4 festzustellen (BODENKUNDLICHE KARTIERANLEITUNG, 2005).

Tabelle 1 - Humusstufen (Quelle: BODENKUNDLICHE KARTIERANLEITUNG, 2005)

Kurzzeichen	Bezeichnung	Humusgehalt in Masse-%
H0	humusfrei	0
H1	sehr schwach humos	<1
H2	schwach humos	1 bis <2
H3	mittel humos	2 bis <4
H4	stark humos	4 bis <8
H5	sehr stark humos	8 bis <15
H6	extrem humos, anmoorig	15 bis <30
H7	organisch, Torf	>=30

Durch die Aussagen der Korngrößenverteilung und Humusstufe lassen sich Aussagen über die Feldkapazität eines Bodens ableiten. Die Bodenart „lehmiger Sand“ weist eine Feldkapazität von 26 Vol.-% auf (BODENKUNDLICHE KARTIERANLEITUNG, 2005). Diese Feldkapazität wird bei einer

Lagerungsdichte von $1,4 \text{ g/cm}^3$ erreicht. Je nach Humusstufe werden in der Feldkapazität Zuschläge berücksichtigt. Bei steigender Humusstufe kann der Feldkapazität 0-10 Vol.-% zugeschlagen werden (BODENKUNDLICHE KARTIERANLEITUNG, 2005).

Auch die klimatische Entwicklung wirkt sich auf den Bodenwasserhaushalt aus. Der Deutsche Wetterdienst ermittelt deutschlandweit Klimadaten, welche zur Verfügung gestellt werden. Nach der Wetterstation Genthin (DEUTSCHER WETTERDIENST, 2019) ist im Verlauf der Jahre 2010 bis 2018 ein Absinken des Jahresniederschlages zu erkennen (vgl. Abb. 1). Zwar weist dieser Verlauf Schwankungen zwischen den Jahren auf, jedoch ist eine Tendenz zu erkennen. Dies wird durch ein Bestimmtheitsmaß von 0,49 gestützt.

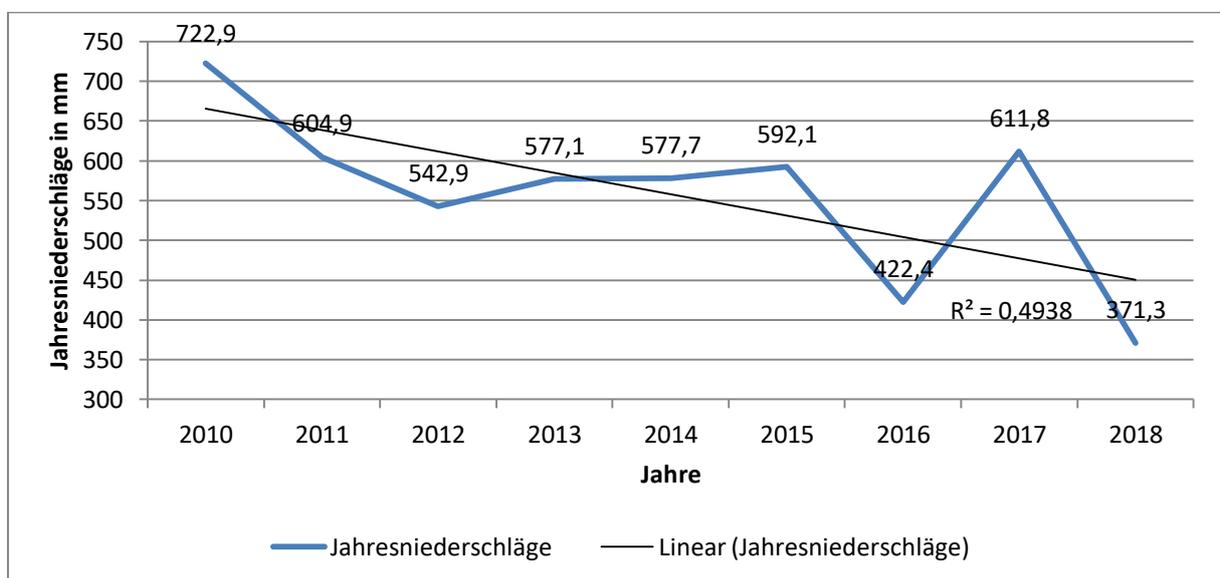


Abbildung 1 - Klimatische Entwicklung Niederschläge an der Wetterstation Genthin (DEUTSCHER WETTERDIENST, 2019)

Die klimatische Entwicklung berücksichtigt auch die Temperatur. Wird die Jahresmitteltemperatur betrachtet (vgl. Abb. 2), ist eine tendenzielle Steigerung zu erkennen (DEUTSCHER WETTERDIENST, 2019). Das Bestimmtheitsmaß befindet sich bei 0,56 und ist etwas höher als das Bestimmtheitsmaß der Jahresniederschläge.

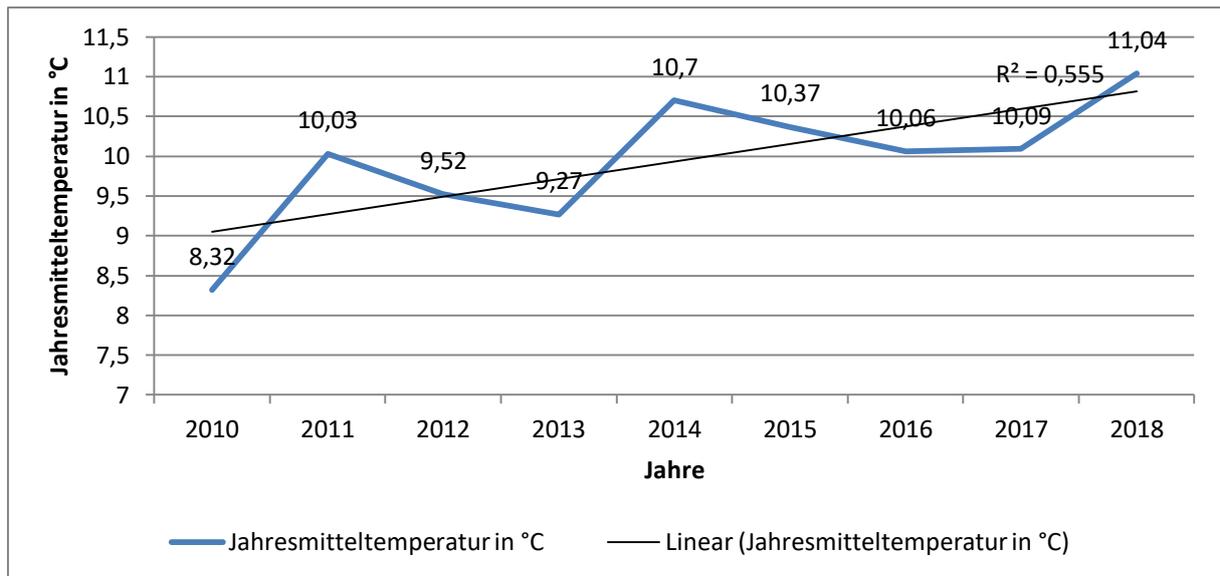


Abbildung 2 - Klimatische Entwicklung Temperatur an der Wetterstation Genthin (DEUTSCHER WETTERDIENST, 2019)

Grundsätzlich kann durch die Daten der Wetterstation Genthin (DEUTSCHER WETTERDIENST, 2019) die Aussage getroffen werden, dass die Jahresniederschläge sinken und die Jahresmitteltemperaturen steigen.

2.2 Bedeutung der Stoppelbearbeitung

Die Bodenbearbeitung verursacht eine Verdunstung des Bodenwassers (SCHÖNBERGER, 2018). Somit wirkt auch die Stoppelbearbeitung auf den Bodenwasserhaushalt und damit auf das Auflaufen von Ausfallkörnern ein. Die Stoppelbearbeitung soll die Keimung von Ausfallgetreide und Unkrautsamen fördern (HERRMANN et al., 1998). Dabei gilt, je größer der Auflaufenerfolg, desto besser ist die Stoppelbearbeitung. Als erster Bearbeitungsgang nach der Ernte hat die Stoppelbearbeitung eine große Bedeutung. Es werden Wurzelunkräuter mechanisch bekämpft und somit in Wuchs und Ausbreitung gehindert (HERRMANN et al., 1998). Auch soll eine nutzlose Wasserverdunstung eingeschränkt werden (HERRMANN et al., 1998). Echte (obligate) Parasiten können einen Wirtswechsel vornehmen (SCHÖNBERGER, 2019). Im Getreidebau sind dies vor allem die Rostkrankheiten (SCHÖNBERGER, 2019). Ein Beispiel dafür stellt der Schwarzrost dar. Im Frühjahr keimen die Teleutosporen mit einer septierten Basidie (BÖRNER et al., 2009). Auf dieser werden vier haploide Basidiosporen abgetrennt, welche auf die Berberitze (Zwischenwirt) gelangen müssen (BÖRNER et al., 2009). Dort werden Suchhyphen, Sporangien und Aecidien gebildet (BÖRNER et al., 2009). Anschließend werden Aecidiosporen auf den Hauptwirt (Getreide) geweht, wodurch

Sporenlager und Uredosporen entstehen (BÖRNER et al., 2009). Folgend verbreiten sich die Uredosporen im Bestand (BÖRNER et al., 2009). Dadurch erfolgen Neuinfektionen (BÖRNER et al., 2009). Auch Fusarien stellen ein großes Schadpotential dar (BÖRNER et al., 2009). Diese können an befallenen Pflanzenresten überdauern und von dort aus flugfähige Sporen ausbilden (BÖRNER et al., 2009). Auch können sich langlebige Dauersporen im Boden anreichern und von dort aus zu einer Infektion führen (BÖRNER et al., 2009). Da Fusarien nicht auf einen Wirtswechsel angewiesen sind, können getreidelastige Fruchtfolgen besonders gefährdet sein (BÖRNER et al., 2009). Besonders kann nach dem Anbau von Mais ein starker Infektionsdruck vorhanden sein (BÖRNER et al., 2009). Unter Betrachtung des Unkrautdruckes ist der Auflaufferfolg von Ausfallgetreide sehr wichtig. Keimen Ausfallkörner erst nach der Saat der Folgefrucht, sind diese Pflanzen und Unkräuter im weiteren Getreideanbau schwer zu bekämpfen. Aus Sicht des integrierten Pflanzenschutzes ist die Stoppelbearbeitung daher ein wichtiges Element. Bei Anbau von Hybridsorten nimmt die Stoppelbearbeitung an Bedeutung zu. Roggen ist weitestgehend selbstverträglich, somit kann dieser hintereinander angebaut werden. Wieder auflaufende Ausfallkörner verlieren den Heterosiseffekt (PFLANZENFORSCHUNG.DE, 2020). Somit können Sie anfälliger für Krankheiten und geringer im Ertrag sein. Dadurch stellen Sie eine Konkurrenz gegenüber dem Hybridroggen dar.

Bodenbearbeitung führt zu einem Wasserverlust aus dem Boden (SCHÖNBERGER, 2018). In niederschlagsarmen Regionen könnte daher die Intensität der Bodenbearbeitung reduziert werden. Um das Wasserhaltevermögen des Bodens zu verbessern, muss die Bodenfruchtbarkeit gesteigert werden. Dies bedarf vieler Komponenten. Nach WILHELM (2010) sollte ein stabiles Ökosystem im Boden das Ziel sein. Um Auswirkungen der Landnutzung auf das mikrobiologische Ökosystem im Boden zu erkennen, müssen mikrobielle Aktivität und mikrobielle Biomasse gemessen werden (JOERGENSEN et al., 2006). Mit abnehmender Intensität der Bodenbearbeitung sinkt die Belastung auf die Mikrobiologie im Boden (FLAIG, 2007). Die Abbildung 3 zeigt die Verteilung der mikrobiellen Biomasse in verschiedenen Bodentiefen, nach unterschiedlichen Varianten der Bodenbearbeitung. Im Hauptwurzelbereich des Getreides 0-10 cm, ist in der Mulchsaat- und in der Direktsaat-Variante die mikrobielle Biomasse am höchsten. Erst ab einer Tiefe von 10 cm übersteigt die mikrobielle Biomasse nach der wendenden Bodenbearbeitung die Werte der Mulch- und Direktsaat.

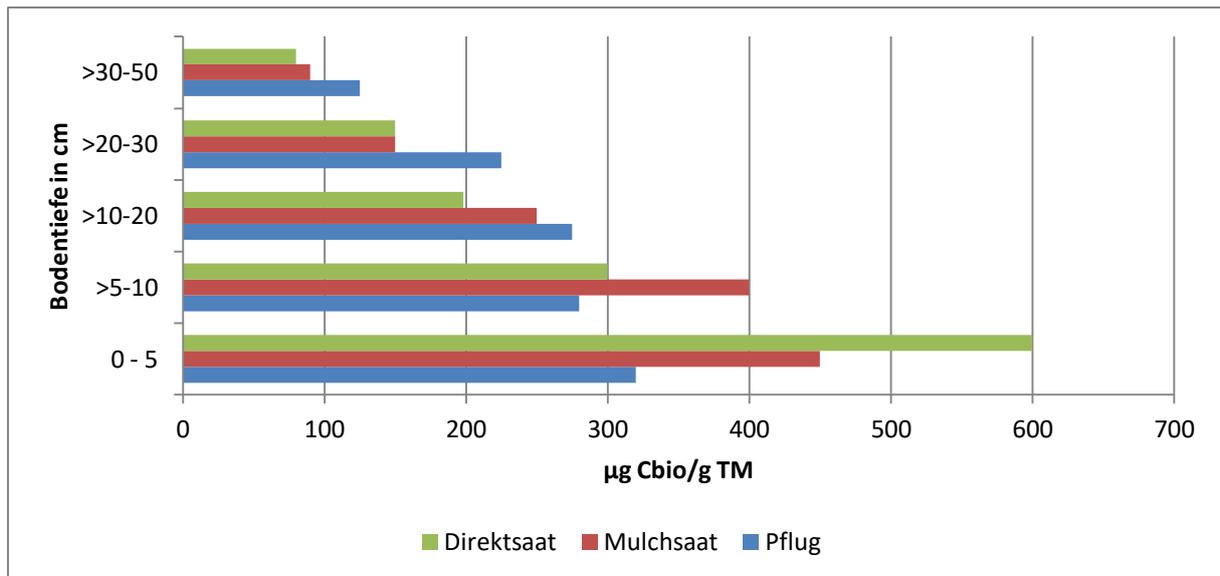


Abbildung 3 - Mikrobielle Biomasse in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitungsvariante (FLAIG, 2007)

Eine Reduzierung der Bodenbearbeitung potenziert das Schadrisiko durch Mäuse. Nach KAHNT (1995) finden Mäuse auf konservierend bearbeiteten Flächen geeignete Lebensräume. Dies begünstigt eine Massenvermehrung und kann enormen Schaden im Kulturpflanzenbestand hervorbringen. Jedoch ist der Bodenuntergrund kompakter gelagert, was die Eignung des Lebensraumes der Mäuse vermindert, somit erfolgt der Nesterbau nach SCHWINGE (2008) nicht bis in eine Tiefe von 30 cm. Somit reicht nach SCHWINGE (2008) eine flache Bearbeitung zur Zerstörung der Nester aus.

Ein effektiver Erosionsschutz ist, zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit nötig. Nach WILHELM (2010), sinkt der Bodenabtrag, bei steigender Bodenbedeckung. Nach SCHEFFER et al. (2002) sinkt der relative Bodenabtrag um 50 %, wenn ein Bodenbedeckungsgrad von 30 % erreicht ist.

2.3 Technische Möglichkeiten der Stoppelbearbeitung

Im Folgenden werden die Geräte vorgestellt, welche sich zur Stoppelbearbeitung eignen. Hierbei wird auf die Vor- und Nachteile der Geräte eingegangen. Das Ziel des Strohstriegels ist das Verteilen von Stroh nach der Ernte (CLAYDON, 2020). Die homogene Mulchschicht soll eine Evaporation vermindern. Es wird aber auch eine Mikrogare erzeugt, welche Ausfallgetreide und Unkrautsamen zur Keimung anregen soll (CLAYDON, 2020). Bereits gekeimtes Unkraut wird herausgerissen und vertrocknet an der Bodenoberfläche (CLAYDON, 2020). Weiterhin erhält das Striegeln die organische Substanz und die Struktur des Bodens (CLAYDON, 2020). Nach VOSSHENRICH (2016), soll eine

Stoppelbearbeitung keimfähige Samen von organischer Masse entmischen und zur Keimung anregen. Der Striegel soll diesen Effekt am ehesten erreichen, da eine sehr flache Bearbeitung verhindert, dass Feinsämereien zu tief in den Boden verlagert werden, sodass diese im Boden konserviert werden (VOSSHENRICH, 2016).

Auf Flächen mit einem hohen Unkrautdruck ist eine gründliche Reinigung des Gerätes notwendig, da sich bei der Anwendung die Striegelebenen zusetzen. Zugesezte Striegelebenen führen zu einer starken Samenverschleppung. Das Arbeitsbild des Strohstriegels sollte wie in Abbildung 4 vorzufinden sein. Das gehäckselte Stroh der Vorfrucht muss gut verteilt sein, um eine homogene Mulchschicht zu hinterlassen.



Abbildung 4 - Arbeitsbild Strohstriegel (eigene Aufnahme)

Taubildung reicht in der Regel nicht aus, um Ausfallgetreide zum Keimen anzuregen (ILGEN, 2018). Somit ist das Ziel der Cambridgewalze das Andrücken des Ausfallgetreides und der Unkrautsamen, damit ein Bodenschluss hergestellt wird (ILGEN, 2018). Das Walzen soll gewährleisten, dass Samen nicht in der Stoppel hängen bleiben und Kontakt zum Boden erhalten (ILGEN, 2018). Die Cambridgewalze soll den Keimhorizont verfestigen (KNOCHE, 2020). Dies wirkt sich positiv auf die

Keimung von Ausfallgetreide und Unkrautsamen aus. Bei Verschlämmung soll die Cambridgewalze eine vorhandene Verkrustung aufbrechen (KNOCHE, 2020). Auch soll die Cambridgewalze Hohlräume schließen, um Schnecken und Mäusen entgegen zu wirken (KNOCHE, 2020). Bei sehr hohen Mengen an Stroh, könnte die Anwendung der Cambridgewalze problematisch sein, da dann ein Andrücken der Ausfallkörner nicht mehr gut realisiert werden kann. Um optimal zu arbeiten, stellt die Cambridgewalze hohe Anforderungen an die Strohverteilung. Bei der Nutzung breiter Schneidwerke, kann dies problematisch werden.



Abbildung 5 - Arbeitsbild Cambridgewalze (eigene Aufnahme)

Das Mulchen von Stoppeln führt zu einer schnelleren Verrottung der Erntereste (TIEDEMANN, 2020). Neben einer Strohverteilung wird die Keimung von Ausfallgetreide und Unkrautsamen beschleunigt (TIEDEMANN, 2020). Vorteilhaft wirkt sich das Mulchen auf die Räumung von Lagergetreide-Flächen aus, da durch die Sogwirkung Halme aufgerichtet und zerkleinert werden (TIEDEMANN, 2020). Ein weiterer positiver Aspekt ist das Entmischen von Samen und Stroh, sodass Bodenkontakt zur Keimung hergestellt wird (ILGEN, 2018). Problematisch ist das Stoppelmulchen auf steinigen Flächen. Durch die sehr flache Einstellung des Mulchers, können die Messer auf Steine treffen. Dies bewirkt

eine Zerstörung der Messer und führt zu Schäden an den Getrieben des Mulchers. Desweiteren besteht auch die Möglichkeit von Brandentwicklung durch Funkenflug.



Abbildung 6 - Arbeitsbild Sichelmulcher (eigene Aufnahme)

Die Scheibenegge soll das Ziel erreichen, Pflanzenreste zu zerschneiden und diese gut einzumischen (BEDNAR, 2020). Desweiteren soll die A-Discs (vgl. Abb. 7) eine gute Kapillarbrehung bei flacher Bearbeitung fördern (BEDNAR, 2020). Bei geringer Arbeitstiefe werden Ausfallkörner oberflächennah in den Boden gemischt, was zu einem guten Auflaufverhalten führen soll (BEDNAR, 2020).



Abbildung 7 - Darstellung BEDNAR A-Disc (Quelle: <https://www.bednar.com/de/swifterdisc-xo-f-2/>)

Nachteilig bei der Nutzung der Scheibenegge ist die starke Lufterosion des Bodens. Ist der zu bearbeitende Boden trocken, führt der Einsatz der Scheibenegge zu starker Staubentwicklung. Die Feinanteile des Bodens erodieren somit. Auf das Arbeitsbild der Scheibenegge wirken sich verschlissene Scheiben sehr nachteilig aus. Das Häckselstroh wird dadurch lediglich in den Boden gedrückt und nicht weiter zerschnitten. Dies wirkt sich auf die anschließende Saat sehr schlecht aus. In Abbildung 8 ist ein optimales Arbeitsbild zu erkennen.



Abbildung 8 - Arbeitsbild Scheibenegge (eigene Aufnahme)

2.4 Auswirkung der Stoppelbearbeitung auf die Evaporation und N-Mineralisation

Ein weiterer Faktor, welcher den Bodenwasserhaushalt beeinflusst, ist das Vorhandensein einer Mulchschicht. Die Abbildung 9 zeigt den Verlauf der Verdunstung bei eingearbeitetem Stroh und bei Vorhandensein einer Mulchschicht. Die Graphen in der Abbildung 9 sind farblich markiert. Die Markierungen beschreiben drei Bodentypen. Die grünen Graphen beschreiben die Bodenart lehmiger Sand. Die blauen Graphen beschreiben den Bodentyp Ton und die roten Graphen beschreiben den Bodentyp Lehm. Die Hyperbel-förmigen Graphen zeigen die Verdunstung bei eingearbeitetem Stroh. Die linearen Graphen zeigen die Verdunstung, bei einer Mulchauflage. Nach VOSSHENRICH (2016), verläuft eine Evaporation gleichmäßiger, wenn der Boden durch eine gleichmäßige Mulchschicht bedeckt ist. Bei eingearbeitetem Stroh verläuft die Evaporation nicht so gleichmäßig (VOSSHENRICH, 2016), wie bei einer Mulchschicht. Zu Beginn steigt die Evaporation schneller an, nimmt dann jedoch

ab. Letztendlich ist die Evaporation sowohl bei einer Mulchschicht und bei eingearbeitetem Stroh gleich (vgl. Abb. 9). Dieser Versuch (VOSSHENRICH, 2016) erfolgte unter Laborbedingungen.

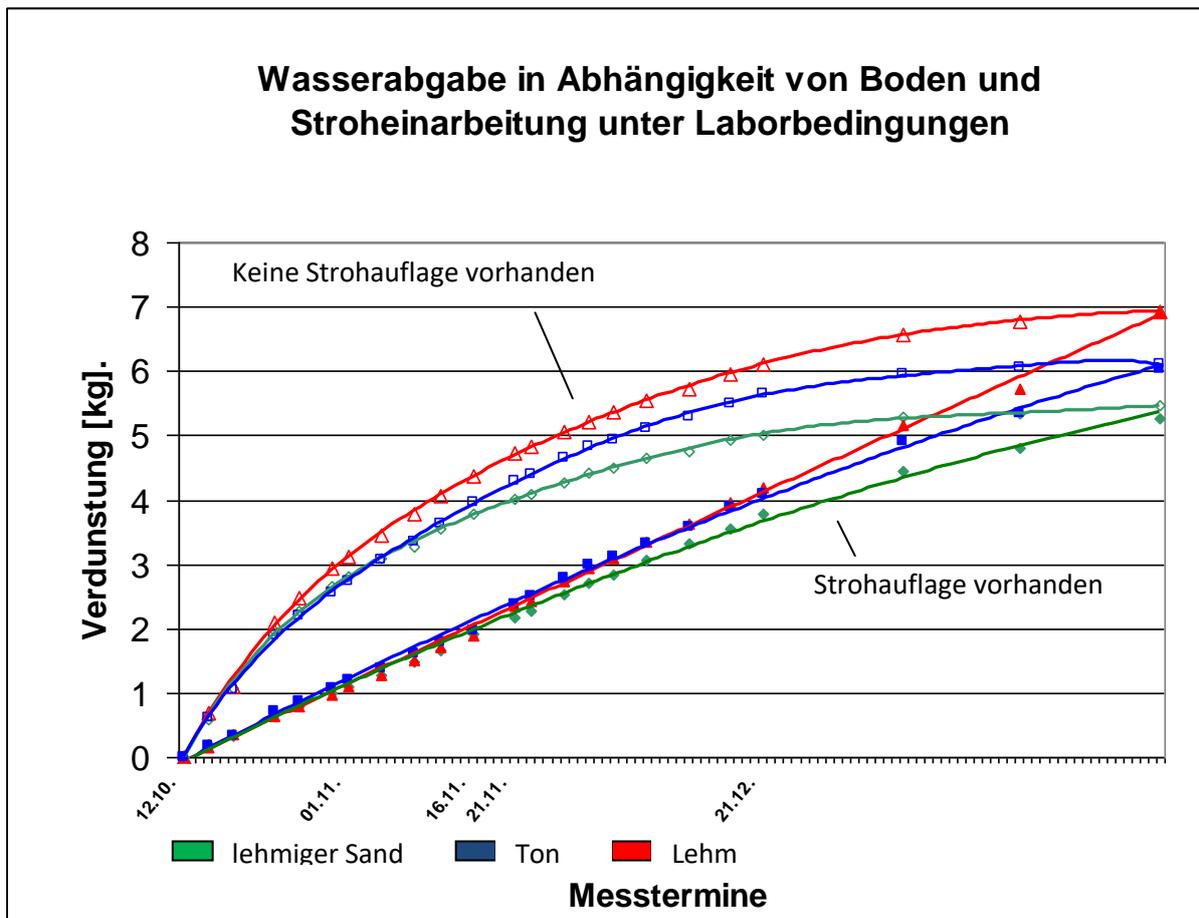


Abbildung 9 - Diagramm Wasserabgabe (VOSSHENRICH, 2016)

Die Strohaufgabe vermindert jedoch die Infiltration von Niederschlägen in den Boden, da diese Strohaufgabe einen Teil der Niederschläge bindet (VOSSHENRICH, 2016). Die Abbildung 10 zeigt diesen Effekt grafisch. In der Abbildung 10 ist zu erkennen, dass die Bindung des Niederschlages durch Häckselstroh, bis zu einer Niederschlagsmenge von 6 mm stark ansteigt. Bei einem Niederschlag von 6 mm, bindet das Stroh ca. 2,8 mm. Ab einer Niederschlagshöhe von 8 mm stagniert die Niederschlagsbindung durch das Stroh. Bei einer Niederschlagsmenge von 8 mm, bindet das Stroh 3 mm. Dieser Versuch (VOSSHENRICH, 2016) erfolgte unter Laborbedingungen.

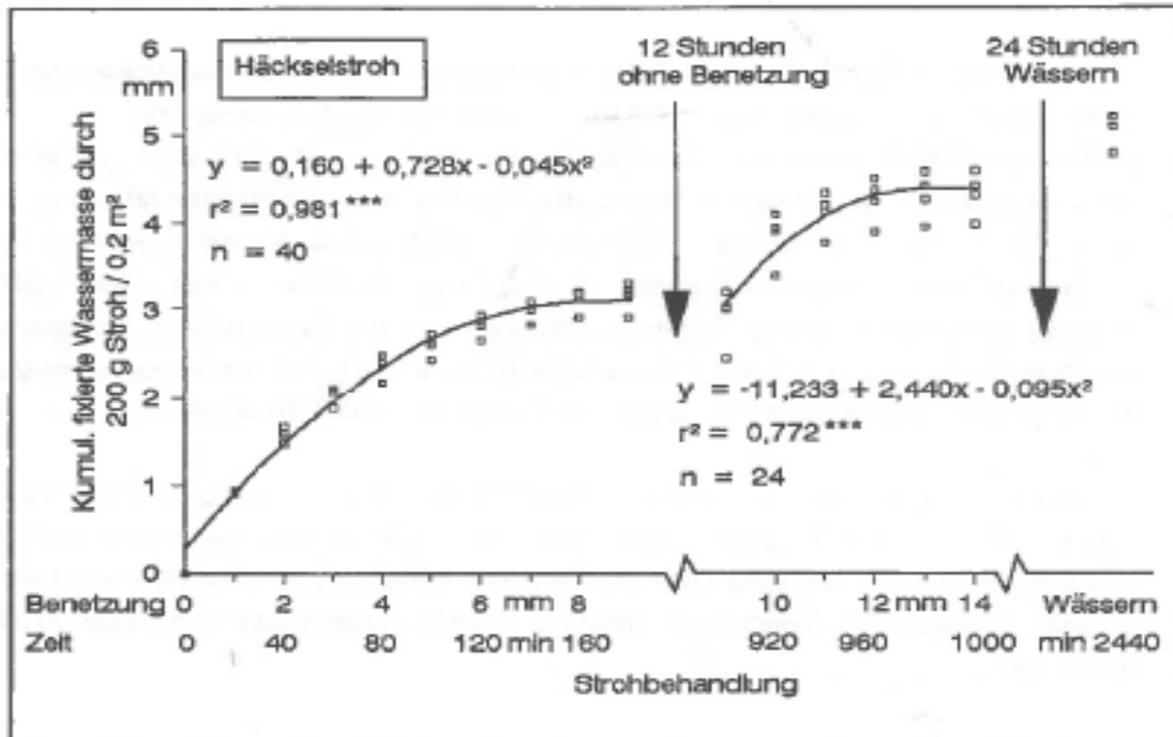


Abbildung 10 - Darstellung Wasserbindung durch Stroh (VOSSHENRICH, 2016)

Die Erfassung der N-Mineralisation dient in erster Linie der Minimierung von Nitratauswaschung (LFL Bayern, 2020). Die Grundlage für die Notwendigkeit der Erfassung bietet die Trinkwasserverordnung, welche im Jahr 1986 in Kraft getreten ist (LFL Bayern, 2020). Um eine Betrachtung der N-Dynamik in einem gezielten Zeitraum durchführen zu können, sind die Einflüsse auf die N-Mineralisation zu betrachten. Nach HEROLD et al. (2010) bestehen die Haupteinflussfaktoren zum einen aus der Witterung, bezogen auf den Niederschlag und die Temperatur. Weiterhin wird der Nmin-Gehalt auch durch die Bodenart und die geologische Herkunft des Bodens beeinflusst (HEROLD et al., 2010). Einen großen Einfluss hat jedoch auch die Bodenbearbeitung (HEROLD et. al., 2010). Wie in Abbildung 11 zu erkennen ist, führt eine Steigerung der Bodenbearbeitungsintensität zu einer stärkeren N-Mineralisation und anschließend auch zu stärkeren N-Verlusten, durch Auswaschung (LFULG SACHSEN, 2020).

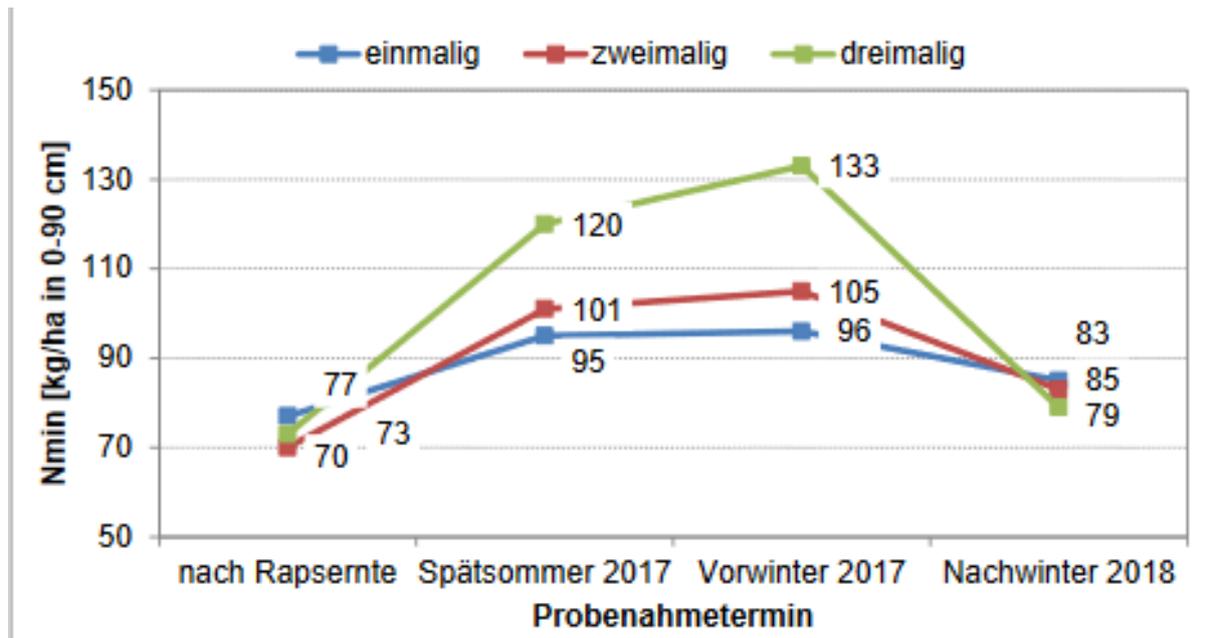


Abbildung 11 - N-Mineralisation in Abhängigkeit von der Häufigkeit der Bodenbearbeitung (Quelle: LFULG SACHSEN, 2020)

Dieses Ergebnis von der LFULG SACHSEN (2020) wird durch die Aussage von SCHILLING et al. (1989) gestützt. Die Mineralisation von Stickstoff teilt sich in zwei Schritte auf: Ammonifikation und Nitrifikation. Im ersten Schritt, der Ammonifikation, werden N-haltige organische Verbindungen durch Mikroorganismen abgebaut, wobei NH_4^+ entsteht (SCHILLING et al., 1989). Das vorhandene NH_4^+ wird dann in der Nitrifikation hauptsächlich durch die Bakterien Nitrosomonas und Nitrosococcus zu Nitrit und anschließend durch die Bakterien Nitrobacter und Nitrococcus zu Nitrat umgewandelt (SCHILLING et al., 1989). Nach SCHILLING et al. (1989), ist der Vorgang bei Temperaturen $>30^\circ\text{C}$ optimal und wird durch vorhandene Bodenfeuchtigkeit gefördert. Die nitrifizierenden Bakterien leben aerob (SCHILLING et al., 1989). Da durch Bodenbearbeitung Sauerstoff in den Boden eingebracht wird, steigt die Aktivität der Bakterien und damit die N-Mineralisation. Nach SCHILLING et al. (1989) können unter optimalen Umweltbedingungen bis zu 100 kg N in einer Woche nitrifiziert werden. Die Verluste von Stickstoff aus dem Boden lassen sich durch die N-Aufnahme der Pflanzen, die Nitrat auswaschung, die Denitrifikation und durch die Ammoniakverflüchtigung erklären (SCHILLING et al., 1989). Weiterhin kann, nach SCHILLING et al. (1989), NH_4^+ bei Kaliummangel an Tonminerale gebunden werden. Im Bereich von 0-90 cm kann somit zwischen 524-3346 kg/ha N gebunden sein (SCHILLING et al., 1989). Bei Zufuhr oder durch Mineralisation von organisch gebundenem Kalium kann das gebundene NH_4^+ freigesetzt werden und anschließend für die Nitrifikation zur Verfügung stehen.

Der Nmin-Gehalt wurde durch den DEUTSCHEN WETTERDIENST (2001) im Jahresverlauf, unter Bewuchs, in einem Berechnungsmodell ermittelt. In der Abbildung 12 ist der zeitliche Verlauf des Nmin-Gehaltes unter verschiedenen Bodenarten zu erkennen. Nach anfangs hohem Nmin-Gehalt im Herbst, sinkt dieser bis zum Januar ab und stagniert dann wieder. Die N-Verluste auf leichten Böden sind höher als auf schweren Böden (DWD, 2001).

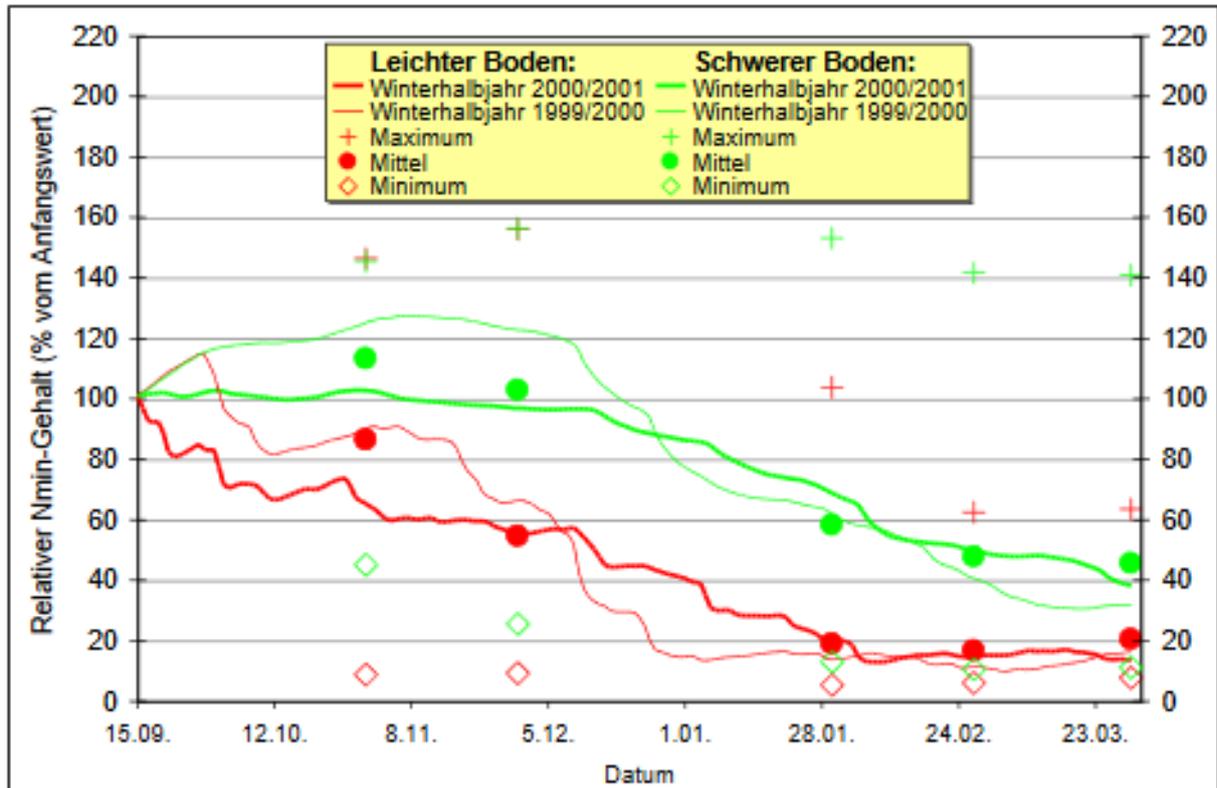


Abbildung 12 - Verlauf des Nmin-Gehaltes im zeitlichen Verlauf (Quelle: DWD, 2001)

Auch die LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NRW (2005) untersuchte den Nmin-Gehalt im zeitlichen Verlauf. Wie auch im Ergebnis des DEUTSCHEN WETTERDIENSTES (2001), ist nach LWK NRW (2005) der Nmin-Gehalt im Herbst relativ hoch, sinkt jedoch bis zum Januar stark ab und stagniert dann. Die Untersuchung der LWK NRW (2005) betrachtet einen weiteren Zeitraum als der DEUTSCHE WETTERDIENST (2001). Der Nmin-Gehalt steigt, wie in Abbildung 13 zu erkennen ist, bis zum April stark an und fällt dann bis zum Juni. Im Juli ist wieder ein Anstieg zu erkennen.

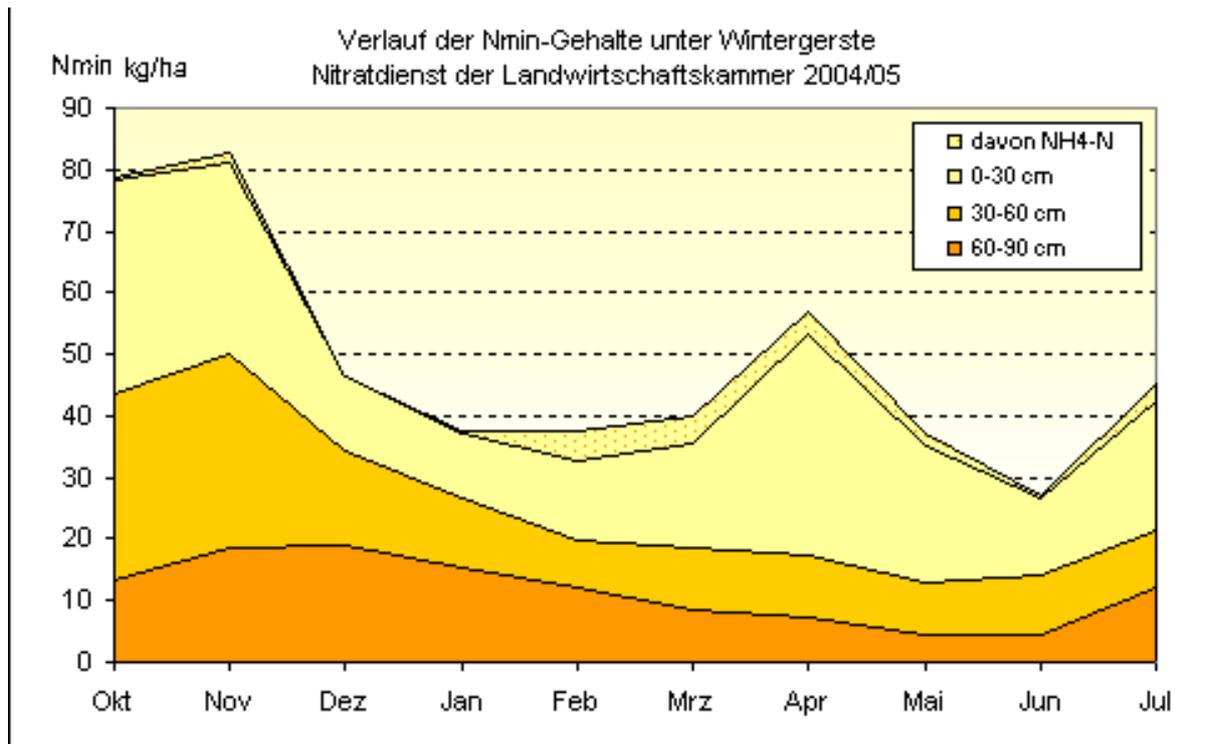


Abbildung 13 - Verlauf des Nmin-Gehaltes im zeitlichen Verlauf (Quelle: LWK NRW, 2005)

Nach HEROLD et al. (2010) wirkt sich die N-Düngung im Frühjahr nicht auf den Nmin-Gehalt des Winterweizens aus, da der zugeführte Stickstoff direkt verbraucht wird. Die Ergebnisse von HEROLD et al. (2010) beziehen sich auf einen mehrjährigen Feldversuch. In diesem Feldversuch wurden Düngemittel rechtlich konform und nicht im Übermaß angewendet.

Die Düngerform Kalkammonsalpeter ist in den Inhaltsstoffen aufgeteilt in 27 % N, 12 % CaO und 4 % MgO (LLG SACHSEN-ANHALT, 2008). Die 27 % Stickstoff teilen sich auf in 50 % NO_3^- und 50 % NH_4^+ (LLG SACHSEN-ANHALT, 2008).

2.5 Möglichkeiten der Bewertung in Kombination mit Direktsaatverfahren

Nach STEINERT (2020) wird die Direktsaat als Saat in die Stoppeln der Vorfrucht ohne jede Bodenbearbeitung definiert. Auch bei der Aussaat mit einer Direktsaatmaschine darf maximal 50 % der Bodenoberfläche bewegt werden (STEINERT, 2020). Ziel einer Direktsaat ist, nach STEINERT (2020), der weitgehende Erhalt der Bodenbedeckung, was Erosion vermindern und vor Verdunstung schützen soll. Die Direktsaat birgt das Problem eines stärkeren Unkrautdruckes (STEINERT, 2020), da

keine mechanische Unkrautbekämpfung erfolgt. Somit müssen Breitbandherbizide zur Beseitigung von Ausfallpflanzen und Altverunkrautung eingesetzt werden (STEINERT, 2020). Auch kann ein erhöhter Krankheitsdruck vorgefunden werden, da pilzliche Erreger sich direkt auf der Bodenoberfläche befinden (STEINERT, 2020). Ein feines Zerkleinern von Strohrefen soll den Abbau der Pflanzenreste und der Erreger fördern (STEINERT, 2020). Besonders problematisch ist, wenn Kulturen in Selbstfolge angebaut werden. Vorhandene Krankheiten können dann die folgende Kulturpflanze befallen (BÖRNER et al., 2009). Durch eine Erweiterung der Fruchtfolge lassen sich diese Probleme vermindern (STEINERT, 2020). Die Anwendung einer Direktsaat kann zu verminderten Erträgen führen (STEINERT, 2020). Dies wird durch eine verzögerte Bodenerwärmung und damit durch eine verzögerte Mineralisation erklärt (STEINERT, 2020).

Die DLG (2020) führt im Rahmen ihrer Tätigkeit unter anderem Tests zu Sämaschinen durch. Dafür werden Prüfberichte angefertigt, welche für Nutzer zur Verfügung gestellt werden. Dies erleichtert Kaufentscheidungen und schafft eine Vergleichbarkeit von Maschinen. Die Vergleichbarkeit wird durch einheitliche Testbedingungen und Bewertungsmaßstäbe gegeben. In Prüfberichten für Sämaschinen (DLG, 2020), wird auch der Feldaufgang betrachtet. In der Tabelle 2 ist der Bewertungsbogen des Feldaufganges nach DLG (2020) dargestellt.

Tabelle 2 - Bewertung des Feldaufganges (Quelle: DLG, 2020)

Felddaufgang in %	DLG-Bewertung
>90	Sehr gut
>80-90	Gut
>70-80	Zufriedenstellend
>60-70	Ausreichend
<60	Nicht ausreichend

Das Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. stellt in veröffentlichten Fachbüchern und in Online-Anwendungen Daten zur Verfügung, welche zur Betriebskalkulation genutzt werden können (KTBL, 2020). Mit den Daten des KTBL (2020) lassen sich Verfahren unter einheitlichen Bedingungen miteinander ökonomisch vergleichen. Mit dem Feldarbeitsrechner lassen sich Arbeiterledigungskosten ermitteln (KTBL, 2020). Im Feldarbeitsrechner sind die Maschinenkosten, der Arbeitszeitbedarf und der Dieselbedarf berücksichtigt (KTBL, 2020).

Die Arbeiterledigungskosten schlüsseln sich nach Tabelle 3 auf (KTBL, 2020).

Tabelle 3 - Aufschlüsselung Arbeitserledigungskosten (Quelle: KTBL, 2020)

Kosten	25,00 €					
Arbeitszeit (€/h)						
Preis Diesel (€/L)	0,75 €					
Verfahren	Stroh- striegel	Cambridge- walze	Sichel- mulcher	Scheiben- egge	Säma- schine	Grundboden- bearbeitung
Afa (€/ha)	4,08 €	5,04 €	12,10 €	11,01 €	15,39 €	13,23 €
Zins (€/ha)	1,10 €	1,49 €	2,66 €	3,21 €	3,60 €	3,70 €
Sonstiges (€/ha)	0,32 €	0,91 €	0,86 €	1,08 €	0,87 €	1,01 €
Reparaturen (€/ha)	3,46 €	3,97 €	9,50 €	8,18 €	14,51 €	10,77 €
Betriebsstoffe (€/ha)	1,70 €	2,75 €	6,88 €	5,24 €	4,93 €	13,79 €
Akh/ha	0,11	0,35	0,48	0,22	0,28	0,4
Flächenleistung (ha/h)	12,23	3,42	2,3	5,78	4,24	2,88
Lohnkosten (€/ha)	2,75 €	8,75 €	12,00 €	5,50 €	7,00 €	10,00 €
Dieselbedarf (L/ha)	2,12	3,44	8,6	6,55	6,16	17,24
Dieselskosten (€/ha)	1,59 €	2,58 €	6,45 €	4,91 €	4,62 €	12,93 €
Summe	15,00 €	25,49 €	50,45 €	39,13 €	50,92 €	65,43 €

3. Zielstellung

Landwirtschaftliche Unternehmen sind gezwungen, in niederschlagsarmen Regionen ihr Produktionsverfahren an Witterungseinflüsse anzupassen. Dies beginnt mit der Stoppelbearbeitung, da hierbei die erste Beeinflussung des Bodenwasserhaushaltes erfolgt. Dahingehend wurde der Versuch mit vier verschiedenen Varianten der Stoppelbearbeitung angelegt. Aus dem Versuchsaufbau erschließen sich folgende Fragestellungen:

1. Welche Unterschiede bestehen, in Bezug auf den Wasserhaushalt bei den unterschiedlichen Verfahren Strohstriegel, Sichelmulcher, Cambridgewalze und Scheibenegge in einem Verlauf von der Durchführung der Stoppelbearbeitung bis zur Ernte der Nachfolgekultur?
2. Wie wirken sich die verschiedenen Stoppelbearbeitungsvarianten auf Auflaufverhalten der Vorfrucht Winterroggen aus?
3. Werden Unterschiede im Auflaufverhalten der Nachfrucht durch eine Direktsaat festgestellt?
4. Welche Unterschiede bestehen im Vergleich der Stoppelbearbeitungsvarianten bezüglich des Krankheits- und Unkrautdruckes der Nachfolgekultur?
5. Wie wirken sich die verschiedenen Stoppelbearbeitungsvarianten auf die N-Mineralisation in einem Verlauf von der Durchführung der Stoppelbearbeitung bis zur Ernte der Nachfolgekultur aus?
6. Welche Variante der Stoppelbearbeitung ist ökonomisch am effektivsten?

4. Material und Methode

4.1 Standortbeschreibungen

Der Versuch wurde in einem landwirtschaftlichen Unternehmen im Jerichower Land in Sachsen-Anhalt angelegt. Der Schlag, welcher für die Untersuchung ausgewählt wurde, befindet sich in 39307 Brettin (vgl. Abbildung 14).



Abbildung 14 - Satellitenbild Standort des Feldversuches

(Quelle: <https://www.google.de/maps/@52.4356524,12.1582879,7611m/data=!3m1!1e3>)

Auf diesem Schlag, ist vorwiegend die Bodenart lehmiger Sand (SI) anzutreffen. Jedoch weicht diese in Richtung Westen zum sandigen Lehm (Ls) ab. Der hauptsächliche Bodentyp ist die Rost-Braunerde,

aufgrund des Ausgangssubstrates Flussskies. Der Standort befindet sich im Randbereich des Glogau-Baruther-Urstromtales, was die Anreicherung mit Flussskies im Untergrund erklärt.

Der Humusgehalt nimmt im Schlagverlauf in Ost-West-Richtung zu. Bestimmt wurde der Humusgehalt nach BODENKUNDLICHER KARTIERANLEITUNG (2005). Der erste Bereich ist der Messpunkt 1-Verlauf aller vier Varianten (vgl. Abbildung 15). Hier befindet sich der Humusgehalt in der Stufe H1. Dies entspricht einem Humusgehalt von <1 %. Dieser Humusgehalt wird nach BODENKUNDLICHER KARTIERANLEITUNG (2005) als „sehr schwach humos“ bezeichnet. Im zweiten Bereich, Messpunkt 2-Verlauf (vgl. Abbildung 15), befindet sich der Humusgehalt in der Stufe H2, welche einen Humusgehalt von 1 bis <2 % entspricht. Nach BODENKUNDLICHER KARTIERANLEITUNG (2005) wird dies als „schwach humos“ betitelt. Im dritten Bereich, Messpunkt 3-Verlauf (vgl. Abbildung 15), befindet sich der Humusgehalt in der Stufe H3 und somit bei 2 bis <4 %. Als „mittel humos“ ist dieser Humusgehalt nach BODENKUNDLICHER KARTIERANLEITUNG (2005) bezeichnet. Aus der Reichsbodenschätzung ergibt sich eine durchschnittliche Ackerzahl von 40 Bodenpunkten.

In unmittelbarer Nähe zum Versuchsstandort, befindet sich eine Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes. Diese Wetterstation befindet sich in 39307 Genthin und ist ca. 3 km in der Luftlinie zum Versuchsstandort entfernt. Auf dem Standort ergibt sich ein langjähriger durchschnittlicher Jahresniederschlag von 544,99 mm bezogen auf die Jahre 1998 bis 2018 (DEUTSCHER WETTERDIENST, 2019). Im kurzfristigen Mittel der Jahresniederschläge, welche sich auf den Zeitraum von 2014 bis 2018 beziehen, befindet sich dieses bei 515,06 mm (DEUTSCHER WETTERDIENST, 2019).

Die durchschnittliche Lufttemperatur im langjährigen Mittel (1998 bis 2018) befindet sich bei 9,82 °C (DEUTSCHER WETTERDIENST, 2019). Im kurzfristigen Mittel (2014 bis 2018) der Lufttemperatur, befindet sich diese bei 10,45 °C (DEUTSCHER WETTERDIENST, 2019).

Die Fruchtfolge auf dem Versuchsstandort ist aufgrund der eingeschränkten Nutzungsmöglichkeiten auf Winterroggen-Winterroggen-(Zwischenfrucht)-Silomais eingerichtet. Die Ernterückstände des Winterroggens verbleiben zur Anreicherung der organischen Masse auf dem Feld. Durch organische Düngung mit Gärresten aus einer anliegenden Biogasanlage wird das C/N-Verhältnis angeglichen. Der zusätzliche Anbau von Zwischenfrüchten vor dem Silomais soll eine Bedeckung des Bodens erzeugen. Die Evaporation soll von der Ernte des Winterroggens bis zur Aussaat des Silomais möglichst gering sein. Außerdem tragen die Zwischenfrüchte zur Verbesserung und zur Stabilisation des Bodengefüges bei und reichern organische Masse an.

Das landwirtschaftliche Unternehmen bewirtschaftet, seit dem Jahr 1998, die Flächen pfluglos und wendet eine Mulchsaat an. Nach der Ernte der Hauptkultur werden Erntereste mit der Scheibenegge eingearbeitet. Gleichzeitig werden Kapillaren gebrochen und Ausfallkörner zum Auflaufen gebracht.

Vor der Saat wird mit einem Schwergrubber eine Grundbodenbearbeitung vorgenommen und anschließend mit einer pneumatischen Scheibensämaschine gesät. Diese Sämaschine ist mit einer zweibalkigen Scheibenegge als Vorlaufwerkzeug ausgestattet.

4.2 Versuchsaufbau

Der Feldversuch wurde nach der Ernte der Vorfrucht Winterroggen angelegt und dabei in vier Feldblöcke eingeteilt. Die erste Versuchsgruppe stellte der Strohstriegel dar, in der zweiten Versuchsgruppe fand eine Stoppelbearbeitung mit einer Cambridgewalze statt. Für die dritte Versuchsgruppe wurde ein Sichelmulcher verwendet. Da das landwirtschaftliche Unternehmen betriebsüblich mit der Scheibenegge die Stoppelbearbeitung durchführt, wird dieser Feldblock als Kontrollgruppe verwendet. Jeder Feldblock wurde in einer Breite von 60 m angelegt. In der Längenausdehnung wurde bis zur Grenze des Vorgewendes gearbeitet. Die Zuordnung der einzelnen Versuchsgruppen auf die Feldblöcke erfolgte zufällig.

Wie in Abbildung 15 ersichtlich wird, sind in jedem Feldblock drei Messpunkte festgelegt, an welchen die Bodenproben entnommen wurden. Um einheitliche Vergleichsbereiche zu erhalten, sind die einzelnen Messpunkte in einer Nordwest-Südost-Linie angeordnet. In diesen Bereichen sind die Bodenart und der Humusgehalt vergleichbar. Die einzelnen Messpunkte in den jeweiligen Versuchen sind nachfolgend als M1 bis M3 bezeichnet. Ein Beispielbezug auf den Messpunkt 2 der Versuchsgruppe 3, wird daher als V3M2 bezeichnet.

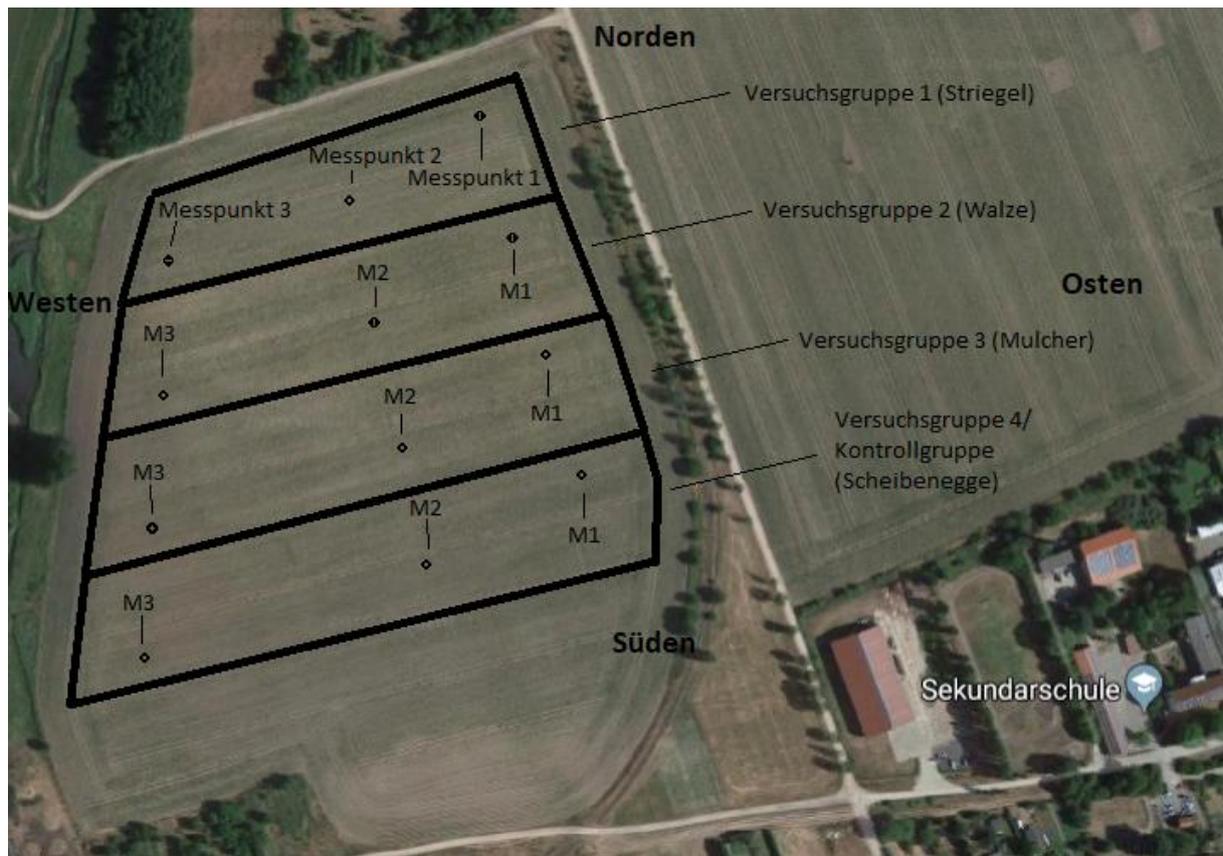


Abbildung 15 – Skizze Versuchsaufbau

(Quelle: <https://www.google.de/maps/@52.4268517,12.1752262,499m/data=!3m1!1e3>)

Die Probenahmen erfolgten mittels eines Bohrstocks, bis zu einer Tiefe von 30 cm. Je Messpunkt wurden fünf Einstiche durchgeführt. Die Proben wurden auf 30 cm entnommen, da dieser Bereich ausschlaggebend für das Wurzelwachstum der Kultur Winterroggen ist. Des Weiteren wirkt sich die Stoppelbearbeitung hauptsächlich auf diesen Horizont aus. In einem Bodenprofil wurde bestimmt, dass der obere Ah-Horizont 30 cm mächtig ist. Somit kann durch die gegebene Beprobungstiefe eine Horizontabgrenzung erfolgen. Durch die Horizontabgrenzung lassen sich Unterschiede im Wassergehalt vermindern und die Ergebnisse werden vergleichbar.

Die Ernte der Vorfrucht erfolgte am 25.07.2019, somit wurde der Feldversuch am 26.07.2019 angelegt. Die Beprobungen wurden in vier Etappen eingeteilt. Die erste Beprobungsetappe wurde wöchentlich vom 02.08.2019 bis zum 27.09.2019 durchgeführt, um den Zeitraum von der Durchführung der Stoppelbearbeitung bis zur Aussaat der Nachfolgekultur Winterroggen einzugrenzen. In diesem Zeitraum wurde wöchentlich am Freitag der jeweiligen Wochen um 19:00 Uhr eine Probenahme durchgeführt. In der zweiten Beprobungsetappe sollte der Zeitraum von der Aussaat bis zum Eintreten der Vegetationsruhe betrachtet werden. Die Beprobungen wurden

dann vom 12.10.2019 bis zum 23.11.2019 in einem zweiwöchigen Abstand durchgeführt. Auch in dieser Etappe wurden die Beprobungen zu einheitlichen Uhrzeiten durchgeführt. An den jeweiligen Samstagen wurden, um 15:00 Uhr, die Bodenproben entnommen. Die dritte Etappe befasste sich mit der Vegetationsruhe. Diese Etappe umfasste einen zeitlichen Rahmen vom 29.12.2019 bis zum 28.03.2020. Während der Vegetationsruhe wurden die Bodenproben monatlich, jeweils an Samstagen um 15:00 Uhr entnommen. Ein Aussetzen der Beprobungen während der Vegetationsruhe wurde abgelehnt, um auch in diesem Zeitraum einen Einblick in den Verlauf des Bodenwasserhaushaltes und der N-Mineralisation zu erhalten. Die vierte und letzte Etappe umfasste die Hauptvegetation im Frühjahr. In einem Zeitraum vom 11.04.2020 bis zum 23.05.2020 wurden in einem zweiwöchigen Rhythmus die Bodenproben entnommen. Auch in dieser Etappe wurden die Beprobungen an den jeweiligen Samstagen um 15:00 Uhr durchgeführt. Die Probenahmen erfolgten an den jeweiligen Messpunkten im Stichprobenverfahren. Das bedeutet, in einem Umkreis von 2 m um die Messpunkte erfolgte die Probenahme. Während der Probenahmen wurde die Lufttemperatur gemessen, um mögliche starke Veränderungen im Wasserhaushalt auf erhöhte bzw. niedrigere Lufttemperaturen zurückzuführen. Bei höherer Lufttemperatur, ist eine Evaporation tendenziell höher.

In Tabelle 4 sind die Lufttemperaturen zu den Probenahmen dargestellt. Nachfolgend werden die Daten der Probenahmen als T1 bis T21 bezeichnet.

Tabelle 4 - Lufttemperatur der Probenahmen

Datum der Probenahme	Bezeichnung der Probenahme	Lufttemperatur in °C
02.08.2019	T1	23,5
09.08.2019	T2	29,0
16.08.2019	T3	24,0
23.08.2019	T4	28,0
30.08.2019	T5	27,0
06.09.2019	T6	22,0
13.09.2019	T7	23,0
20.09.2019	T8	21,0
27.09.2019	T9	13,0
12.10.2019	T10	24,0
26.10.2019	T11	12,0
09.11.2019	T12	9,0
23.11.2019	T13	6,0
29.12.2019	T14	-1,0
30.01.2020	T15	7,0
28.02.2020	T16	8,0
28.03.2020	T17	12,0
11.04.2020	T18	13,0
25.04.2020	T19	17,0
09.05.2020	T20	15,0
23.05.2020	T21	19,0

Die entnommenen Proben wurden in einem PET-Beutel mit ZIP-Verschluss aufbewahrt. Nach beendeten Probenahmen wurde das Probenmaterial direkt in einen Tiefkühlschrank befördert. Dieser wurde auf -20 °C eingestellt, damit die mikrobiologische Aktivität ausgesetzt und eine Verdunstung des Wassers aus der Probe verhindert wird. Dadurch wird eine Verzerrung der Ergebnisse verhindert.

Da das landwirtschaftliche Unternehmen kein „Controlled Traffic“ anwendet und nicht alle verwendeten Geräte im Besitz des Unternehmens sind, unterscheiden sich die Arbeitsbreiten der verwendeten Geräte (vgl. Tabelle 5).

Tabelle 5 - Aufstellung Versuchsgeräte

Versuch	Gerätebezeichnung	Arbeitsbreite in m	Arbeits-tiefe/Stoppelhöhe in cm	Geschwindigkeit in km/h
Striegel	Studiengerät (Amazone) mit 45° Arbeitswinkel	15,0	1,0	18
Walze	Cambridgewalze Knoche CW-D 51/6255	6,2	-	10
Mulcher	Sichelmulcher Sauerburger Condor 6200	6,2	4,5	12
Scheibenegge	Bednar Swifterdisc XO 8000 F mit A-Disc 520 x 5 mm	7,5	4,0	16

In der ersten Variante wurde ein Strohstriegel verwendet, welcher ein ehemaliges Studiengerät der Firma AMAZONE war. Die Neigung der Striegelzinken wurde auf einen Winkel von 45 ° eingestellt. Eine Verstellung des Arbeitswinkels lässt sich über Spindeln erreichen. Der Strohstriegel hat eine Arbeitsbreite von 15 m. Es wurde bei einer Geschwindigkeit von 18 km/h in einem Winkel von 45 ° von der Saattrichtung gearbeitet.

In der zweiten Variante wurde die Cambridgewalze CW-D 51/6255 von der Firma KNOCHE benutzt. Dieses Gerät weist eine Arbeitsbreite von 6,2 m auf. Es wurde bei einer Fahrgeschwindigkeit von 10 km/h direkt mit der Saattrichtung gearbeitet.

In der dritten Variante wurde der Sichelmulcher Condor 6200 vom Hersteller SAUERBURGER verwendet. Dieser Sichelmulcher besitzt eine Arbeitsbreite von 6,2 m. Das Stoppelmulchen wurde auf eine Höhe von 4,5 cm eingestellt. Bei einer Fahrgeschwindigkeit von 12 km/h wurde direkt mit der Saattrichtung gearbeitet.

In der vierten Variante wurde die Scheibenegge BEDNAR Swifterdisc XO 8000 F verwendet. Diese weist eine Arbeitsbreite von 7,5 m auf. Ausgestattet ist die Scheibenegge mit einer zweireihigen Scheibenanordnung mit BEDNAR A-Discs.

Die Aussaat der Nachfolgekultur Winterroggen erfolgte am 24.09.2019 mittels der Sämaschine AMAZONE PRIMERA DMC 6000. Das benannte Gerät besitzt eine Arbeitsbreite von 6,0 m. Die Maschine weist einen Reihenabstand von 18,75 cm auf. Die Sämaschine ist für die Direktsaat gut

geeignet. Der Maschinenaufbau basiert auf einer einfachen Zinkensämaschine mit Meißelscharen, wobei die Meißelschare in einem Parallelogramm geführt sind. Die schmalen Meißel räumen die Saatfurche in Ablagetiefe von organischer Masse frei, damit direkt dort hinter das Saatgut abgelegt werden kann. Hinter der Saatgutablage des Meißels folgt eine Bügelrolle, welche die Saatfurche schließen soll. Zuletzt ebnet ein Rollenexaktstriegel die Saatfurche ein und sorgt für eine Rückverfestigung der Saatfurche. In der Abbildung 16 ist die Aussaat des Winterroggens auf dem Feldversuch zu sehen.



Abbildung 16 - Aussaat Winterroggen auf dem Feldversuch (eigene Aufnahme)

4.3 Agronomische Maßnahmen

Da der landwirtschaftliche Betrieb konventionell wirtschaftet, werden Pflanzenschutzmittel und Mineraldüngemittel verwendet. In der Tabelle 6 sind alle Pflanzenschutzmaßnahmen aufgeführt, welche das Anbaujahr 2019/20 betreffen. Am 13.09.2019 erfolgte eine Herbizidbehandlung mit dem Pflanzenschutzmittel „Amega 360“: Das Ziel dieser Behandlung war das Bekämpfen von Ausfallgetreide vor der Saat. Eine weitere Herbizidbehandlung erfolgte am 12.10.2019 mit den Pflanzenschutzmitteln „Bacara forte“ und „Up CTU“. Durch diese Behandlung sollten Vogelmiere,

Kamille und Storchschnabel bekämpft werden, da diese Unkräuter einen starken Unkrautdruck darstellten.

Tabelle 6 – Pflanzenschutzmaßnahmen im Untersuchungsbetrieb

Datum	Mittel	Aufwandmenge in L/ha		
13.09.2019	Amega 360	3,00		
Datum	Mittel	Aufwandmenge in L/ha	Mittel	Aufwandmenge in L/ha
12.10.2019	Bacara forte	0,60	Up CTU	0,75

Die Düngung erfolgte über zwei N-Gaben mit Kalkammonsalpeter. Die Startdüngung wurde am 02.03.2020 mit 200 kg/ha KAS (54 kg/ha N) durchgeführt. Eine zweite Düngung erfolgte als Ertragsdüngung am 30.03.2020. Hierbei wurden 100 kg/ha KAS (27 kg/ha N) appliziert.

4.4 Boniturbeschreibungen

Während des Verlaufes des Feldversuches wurden Bonituren bezüglich des aufgelaufenen Ausfallgetreides, des Auflaufferfolges der Nachfolgekultur, des Unkraut- und Krankheitsdruckes und der gefallenen Niederschläge durchgeführt.

Vor der Anlage des Feldversuches wurde direkt nach der Ernte des Winterroggens eine Bonitur der Verlustkörner durchgeführt. An jedem Messpunkt wurde eine Stichprobenbonitur mittels eines Zählrahmens ausgeübt. Der Zählrahmen hat eine quadratische Form und weist einen Flächeninhalt von 0,04 m² auf. An jedem Messpunkt wurden in drei Stichproben der Besatz an Verlustkörnern gezählt. Bei der Datenaufwertung wurden je Messpunkt die Mittelwerte aus den gezählten Werten ermittelt. Anschließend wurden die Mittelwerte auf einen Quadratmeter Bodenfläche hochgerechnet. Die Bonitur der Verlustkörner wurde am 25.07.2019 durchgeführt. Am 13.09.2019 wurde der aufgelaufene Ausfallroggen im selben Verfahren bonitiert. Somit kann in der Auswertung der Auflaufferfolg der Verlustkörner ermittelt und verglichen werden.

Die Winterhybridroggen-Sorte „KWS Daniello“ wies eine Tausendkornmasse von 29,4 g/1000 Körner und eine Keimfähigkeit von 95 % auf. Das Ziel waren 210 aufgelaufene Pflanzen/m². Somit wurde eine Aussaatstärke von 65 kg/ha eingestellt. Die Bonitur des Feldaufganges wurde in einer

Linienbonitur durchgeführt. Je Messpunkt wurden am 05.10.2019 fünf Bonituren durchgeführt. Bei einer Linienbonitur wird der Flächeninhalt von einem Quadratmeter durch den vorhandenen Reihenabstand geteilt. Somit erhält man die notwendige Wegstrecke, um einen Quadratmeter Fläche zu erhalten. Durch die verwendete Sämaschine entspricht eine Wegstrecke von 5,33 m einen Flächeninhalt von einem Quadratmeter. Während der Bonitur wurden die aufgelaufenen Pflanzen auf einer Wegstrecke von 1,33 m gezählt. Diese Wegstrecke entspricht einem Flächeninhalt von 0,25 m². Aus den Ergebnissen der fünf Bonituren je Messpunkt, wurde ein Mittelwert gebildet und dieser auf einen Quadratmeter Fläche berechnet.

Bezüglich des Unkraut- und Krankheitsdruckes wurden mehrere Bonituren im gleichen Verfahren wie in der Bonitur des Auflaufens der Ausfallkörner durchgeführt. Die Bonitur der aufgelaufenen Verlustkörner dient direkt auch als erste Unkrautbonitur. Die zweite Unkrautbonitur, welche folgend als Herbstbonitur bezeichnet wird, erfolgte am 12.10.2019. Während des Versuchsverlaufes wurde auch eine dritte Unkrautbonitur (folgend als Frühjahrsbonitur bezeichnet) am 14.03.2020 durchgeführt. Anschließend erfolgten am 11.04.2020 (folgend Krankheitsbonitur 1 bezeichnet) und am 09.05.2020 (folgend Krankheitsbonitur 2 bezeichnet) die Bonituren, bezüglich des Krankheitsdruckes.

Weiterhin erfolgten Bonituren über die Niederschlagshöhe im Zeitraum vom 25.07.2019 bis zum 30.07.2020. Über ein analoges, kegelförmiges Niederschlagsmessgerät wurden direkt nach Beendigung der Niederschlagsereignisse die Niederschlagsmengen verzeichnet. Somit kann davon ausgegangen werden, dass keine Verdunstung von dem Niederschlagsmessgerät ausgeht. Das Messgerät befand sich direkt auf dem Versuchsstandort. Vergleichsweise wurden Niederschlagsdaten der Wetterstation Genthin (DEUTSCHER WETTERDIENST, 2019) genutzt, sodass für die Niederschlagshöhe eine Referenz vorliegt.

4.5 Beschreibung der Kennwerte

Zur Auswertung der Fragestellungen werden bestimmte Kennwerte des Bodens benötigt. Die LUFA Nord-West bestimmte alle Proben auf den Nmin-Gehalt und den TS-Gehalt. Die Annahmen zur Trockenrohdichte ergeben sich aus Richtwerten, bezüglich der Bodenart. Die Untersuchungen wurden nach dem Methodenbuch 1 (Boden) durchgeführt (VDLUFA, 1991).

Zur Ermittlung des Bodenwassergehaltes wird von einer Beprobungstiefe von 30 cm ausgegangen, da sich der Bodenwassergehalt auf einen Quadratmeter Boden bei einer Tiefe von 30 cm bezieht. Ein

Quadratmeter Boden besitzt bei einer Tiefe von 30 cm ein Volumen von 300 Litern. Zuerst wird der Wassergehalt in Vol.-% berechnet. Ein Vol.-% bezieht sich dabei auf 100 L Bodenvolumen und kann in L/m² bei einer Bodentiefe von 0-10 cm angegeben werden. Anschließend wird der Wassergehalt bei einem Gesamtvolumen von 300 L berechnet. Die folgenden Berechnungen sollen dies beispielhaft erläutern.

$$\text{Wassergehalt in Vol.-%} = \text{Wassergehalt (\%)} * \text{TRD} * 100 / (100 - \text{Wassergehalt(\%)})$$

$$\text{Wassergehalt bei 300 L Gesamtvolumen} = 300 \text{ L} * \text{Wassergehalt in Vol.-%}$$

Zur Ermittlung der ökonomisch effektivsten Variante wurden mithilfe des Feldarbeitsrechners (KTBL, 2020) die Arbeitserledigungskosten der jeweiligen Varianten berechnet. Dabei wurde sich bei jeder Berechnung auf eine Schlaggröße von 10 ha beschränkt und es wurde von einer Hof-Feld-Entfernung von 1 km ausgegangen. Im Feldarbeitsrechner (KTBL, 2020) ist es notwendig, die Arbeitsbreite des Gerätes und zusätzlich, den erforderlichen Schlepper auszuwählen. Die Auswahl der Arbeitsbreite ist durch verschiedene Auswahlmöglichkeiten beschränkt. Daher wurde die Auswahl an die tatsächlich verwendete Arbeitsbreite angelehnt. Beispielhaft wurden die Arbeitserledigungskosten des Sichelmulchers auf eine Arbeitsbreite von 6,0 m berechnet. Die tatsächliche Arbeitsbreite beträgt jedoch 6,2 m. Bezüglich der Leistungsklasse des Schleppers gibt es verschiedene Möglichkeiten. Die möglichen Leistungsklassen unterscheiden sich im Feldarbeitsrechner (KTBL, 2020), innerhalb der Varianten. Daher wurde jeweils die größtmögliche Leistungsklasse gewählt. Der Verkaufspreis des Winterroggens, basiert auf den tatsächlichen Daten des Betriebes. Um die Erträge der jeweiligen Varianten zu ermitteln, wurde jede Variante separat direkt vom Mähdrescher auf einen Anhänger geladen. Dadurch konnte jede Variante separat durch eine geeichte Waage, auf dem Gelände der Magdeburger Getreide GmbH in Genthin, gewogen werden. Die Erntemengen wurden dann, unter Berücksichtigung der jeweiligen Parzellengrößen (vgl. Tabelle 7), auf einen Ertrag in t/ha berechnet. Die Größe der Parzellen wurde vor der Versuchsanlage mittels eines RTK-Systems auf einem Traktor vermessen.

Tabelle 7 - Parzellengrößen der einzelnen Varianten

Stoppelbearbeitungsvariante	Fläche in ha
Strohstriegel	0,97
Cambridgewalze	1,25
Sichelmulcher	1,41
Scheibenegge	1,49

5. Ergebnisse

5.1 Unterschiede in Bezug auf den Wasserhaushalt bei den unterschiedlichen Verfahren

5.1.1 Niederschläge

Die vorhandenen Niederschläge beeinflussen den Bodenwasserhaushalt sehr stark. Nachfolgend werden die selbst gemessenen Niederschläge im Vergleich zur Wetterstation Genthin (DEUTSCHER WETTERDIENST, 2020) dargestellt. In Tabelle 8 ist daher besonders auffällig, dass sich die gemessenen Niederschläge vor Ort auf dem Feldversuch zur Referenz der Wetterstation Genthin (DEUTSCHER WETTERDIENST, 2020), unterscheiden. Dies wirkt sich in der Gesamtsumme der Niederschläge in dem betrachteten Zeitraum aus. Die selbst gemessenen Niederschläge auf dem Feldversuch weisen eine Gesamtsumme von 42,5 mm auf. Dagegen weist die Wetterstation Genthin eine Gesamtsumme von 51,7 mm auf (DEUTSCHER WETTERDIENST, 2020). Somit ist im betrachteten Zeitraum eine Differenz in Höhe von -9,2 mm aufgetreten. Besonders in der Woche vom 25.07.19 bis 02.08.2019 unterscheiden sich die Niederschläge in Höhe von -3,6 mm am stärksten.

Tabelle 8 - Summe wöchentliche Niederschläge (Etappe 1)

Datum	Zeitpunkt Probenahme	Summe Niederschlag in mm Brettin (eigene Messung)	Summe Niederschlag in mm Genthin (DWD)	Differenz (Brettin-Genthin DWD)
25.07.-02.08.19	T1	2,0	5,6	-3,6
03.08.-09.08.19	T2	2,0	2,0	0,0
10.08.-16.08.19	T3	1,5	0,7	0,8
17.08.-23.08.19	T4	7,0	8,9	-1,9
24.08.-30.08.19	T5	0,0	0,0	0,0
31.08.-06.09.19	T6	1,0	1,3	-0,3
07.09.-13.09.19	T7	13,0	15,4	-2,4
14.09.-20.09.19	T8	1,5	3,0	-1,5
21.09.-27.09.19	T9	14,5	14,8	-0,3
Summe Gesamt		42,5	51,7	-9,2

In der Tabelle 9 sind die Niederschläge der zweiten Etappe dargestellt. Hierbei wird auffällig, dass sich der eigene gemessene Gesamtniederschlag in der Etappe um -3,9 mm von der Niederschlagssumme des DEUTSCHEN WETTERDIENSTES (2020) unterscheidet. Den größten Unterschied in den Einzelmessergebnissen wurde im Zeitraum vom 27.10.2019 bis zum 09.11.2019 festgestellt. Hierbei ergab sich eine Abweichung von -3,1 mm.

Tabelle 9 - Summe 14-tägige Niederschläge (Etappe 2)

Datum	Zeitpunkt Probenahme	Summe Niederschlag in mm Brettin (eigene Messung)	Summe Niederschlag in mm Genthin (DWD)	Differenz (Brettin-Genthin DWD)
28.09.- 12.10.19	T10	49,5	49,5	0,0
13.10.- 26.10.19	T11	13,0	14,4	-1,4
27.10.- 09.11.19	T12	21,0	24,1	-3,1
10.11.- 23.11.19	T13	11,0	10,4	0,6
Summe Gesamt		94,5	98,4	-3,9

In der dritten Etappe war auf dem Feldversuch insgesamt 10,5 mm mehr Niederschlag vorhanden, als in der Wetterstation Genthin ermittelt wurde (DWD, 2020). In der Tabelle 10 ist zu erkennen, dass im Zeitraum vom 29.02.2020 bis zum 28.03.2020 auf dem Feldversuch 4,5 mm mehr vorhanden waren, als in der Wetterstation Genthin (DWD, 2020). In jedem Zeitraum dieser Etappe waren auf dem Feldversuch mehr Niederschlägen vorhanden.

Tabelle 10 - Summe monatliche Niederschläge (Etappe 3)

Datum	Zeitpunkt Probenahme	Summe Niederschlag in mm Brettin (eigene Messung)	Summe Niederschlag in mm Genthin (DWD)	Differenz (Brettin-Genthin DWD)
24.11.- 29.12.19	T14	29,5	27,7	1,8
30.12.19- 30.01.20	T15	27,5	26,1	1,4
31.01.- 28.02.20	T16	73,5	70,7	2,8
29.02.- 28.03.20	T17	31,5	27,0	4,5
Summe Gesamt		162,0	151,5	10,5

In der letzten Etappe wurden, wie in Tabelle 11 ersichtlich wird, in der Wetterstation Genthin in Summe 0,9 mm mehr Niederschläge gemessen, als auf dem Feldversuch (DWD, 2020). Die größte Abweichung wurde im Zeitraum vom 26.04.2020 bis zum 09.05.2020 festgestellt. Diese Abweichung der eigen gemessenen Niederschläge von den Daten der Wetterstation Genthin (DWD, 2020) betrug -2,1 mm.

Tabelle 11 - Summe 14-tägige Niederschläge (Etappe 4)

Datum	Zeitpunkt Probenahme	Summe Niederschlag in mm Brettin (eigene Messung)	Summe Niederschlag in mm Genthin (DWD)	Differenz (Brettin-Genthin DWD)
29.03.-11.04.20	T18	4,0	4,0	0,0
12.04.-25.04.20	T19	3,5	3,6	-0,1
26.04.-09.05.20	T20	18,0	20,1	-2,1
10.05.-23.05.20	T21	17,0	15,7	1,3
Summe Gesamt		42,5	43,4	-0,9

5.1.2 Bodenwasserhaushalt

Ackerbaulich genutzte Böden weisen in der Regel eine Heterogenität auf. Um die Auswirkung der Stoppelbearbeitung auf den Bodenwasserhaushalt praxisnah darzustellen, ist eine Betrachtung der Mittelwerte aller Messpunkte in den Versuchsvarianten sinnvoll (vgl. Abbildung 17). Dort zeigte sich ein eindeutiger Trend. Zur Startbeprobung (02.08.19) waren die Bodenwasserhaushalte noch verschieden verteilt. Nach geringen wöchentlichen Niederschlägen bis zum 06.09.2019, war eine Absenkung in den Varianten Cambridgewalze, Sichelmulcher und Scheibenegge zu erkennen. Die Variante Strohstriegel zeigte bis zum 30.08.2019 einen Anstieg, jedoch auch zum 06.09.2019 eine Absenkung. Die Varianten näherten sich zum 06.09.2019 an. Nach nennenswerten Niederschlägen, bis zum 13.09.2019, stieg der Bodenwasserhaushalt in den Varianten Cambridgewalze, Sichelmulcher und Scheibenegge an und unterschied sich in diesen drei Varianten. Auch nach den nennenswerten Niederschlägen, welche zur Beprobung vom 13.09.2019 vorhanden waren, erreichte die Variante Strohstriegel, bis zum 20.09.2019, nicht den Bodenwasserhaushalt der Varianten Cambridgewalze, Sichelmulcher und Scheibenegge. Zur letzten Beprobung dieser Etappe, näherte sich die Variante Strohstriegel an die anderen Varianten an. Die Variante Sichelmulcher wies zuletzt den höchsten

Bodenwasserhaushalt auf. Die Variante Strohstriegel wies dagegen den niedrigsten Bodenwasserhaushalt, aber den prozentual höchsten Anstieg im Bodenwasserhaushalt auf.

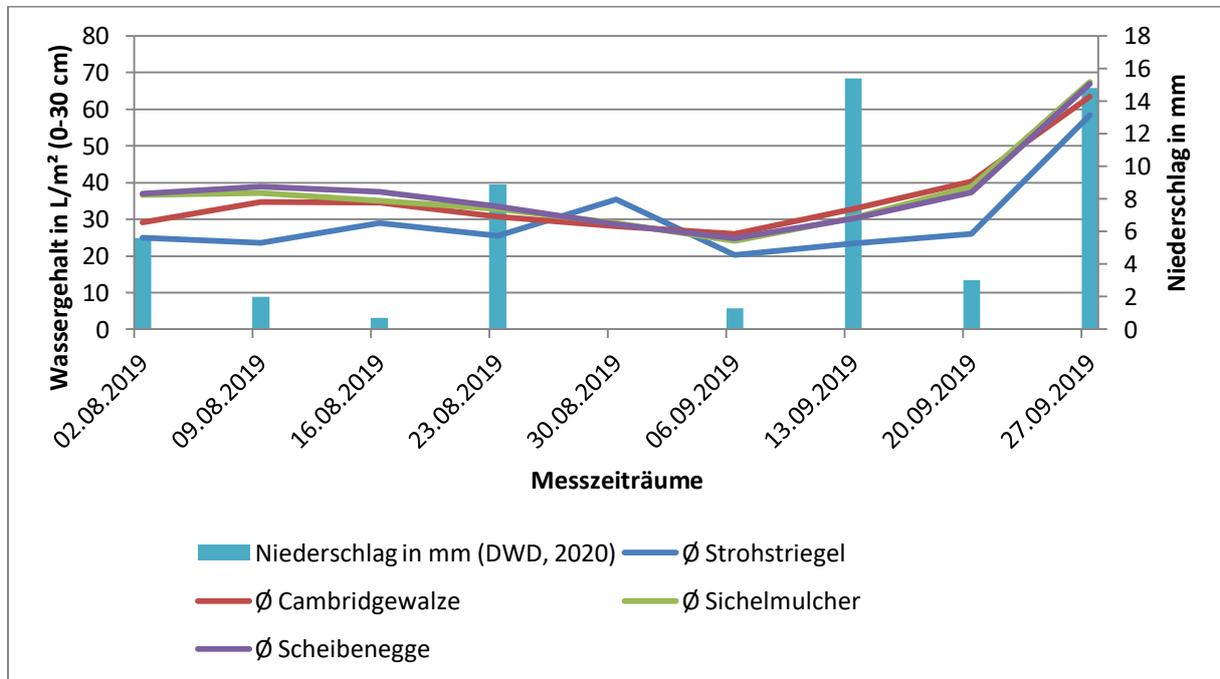


Abbildung 17 - Wassergehalt im Mittelwert aller Messpunkte (Etappe 1)

Der Verlauf zur Herbstetappe begann am 12.10.2019 (vgl. Abbildung 18). Ersichtlich wird, dass in allen Varianten der Bodenwasserhaushalt absank. Hierbei wies die Variante Scheibenegge die höchste Absenkung auf. Im folgenden Verlauf ist der Bodenwasserhaushalt in den Varianten Scheibenegge, Cambridgewalze und Sichelmulcher relativ einheitlich angestiegen. Hierbei wurden höhere Niederschläge verzeichnet. Der Bodenwasserhaushalt in der Variante Strohstriegel zeigte ebenfalls einen Anstieg auf, jedoch war dieser nicht so stark. Nach geringeren Niederschlägen sank der Bodenwasserhaushalt in den Varianten Strohstriegel, Cambridgewalze und Sichelmulcher weiterhin bis zum 23.11.2019 ab. Der Bodenwasserhaushalt in der Variante Scheibenegge blieb stabil.

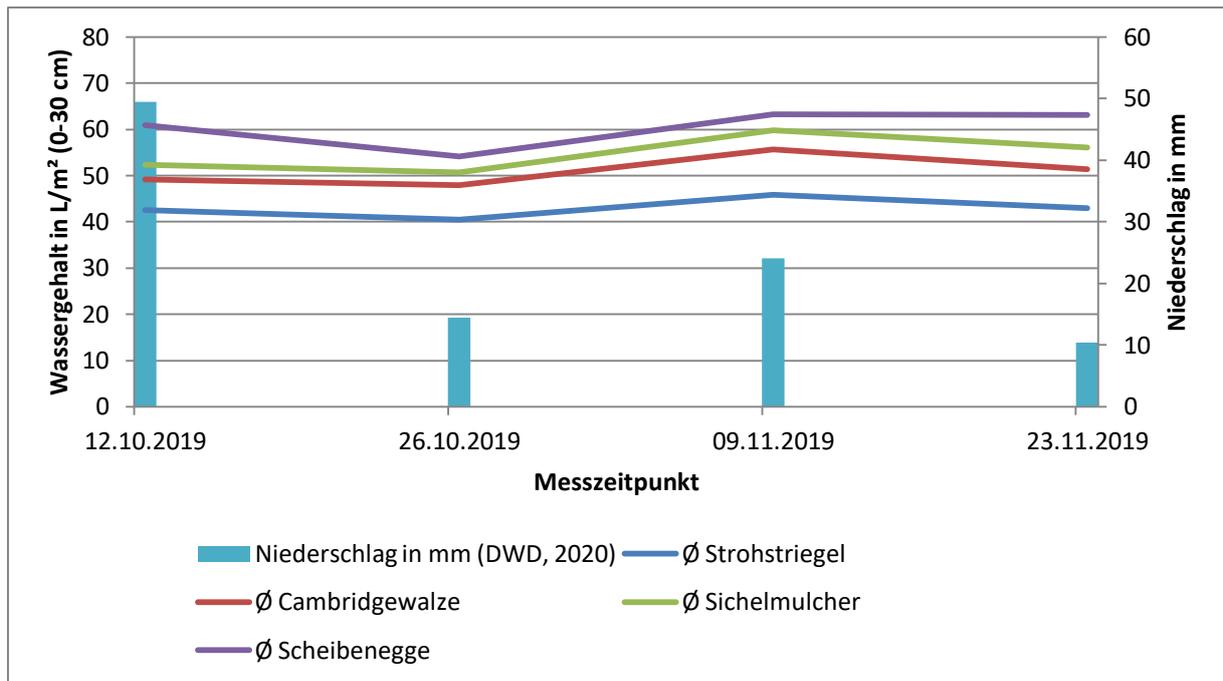


Abbildung 18 - Wassergehalt im Mittelwert aller Messpunkte (Etappe 2)

Der Übergang zur Winteretappe (Etappe 3) startete am 29.12.2019 (vgl. Abbildung 19). Gegenüber der Beprobung am 23.11.2019, stieg der Bodenwasserhaushalt in allen Varianten an. Über die Winteretappe sank der Bodenwasserhaushalt in den Varianten Strohstriegel, Cambridgewalze und Scheibenegge sichtbar ab. In der Variante Sichelmulcher war kaum eine Veränderung im Bodenwasserhaushalt zu beobachten. Auffällig dabei ist, dass bis zum 28.02.2020 höhere Niederschläge verzeichnet wurden.

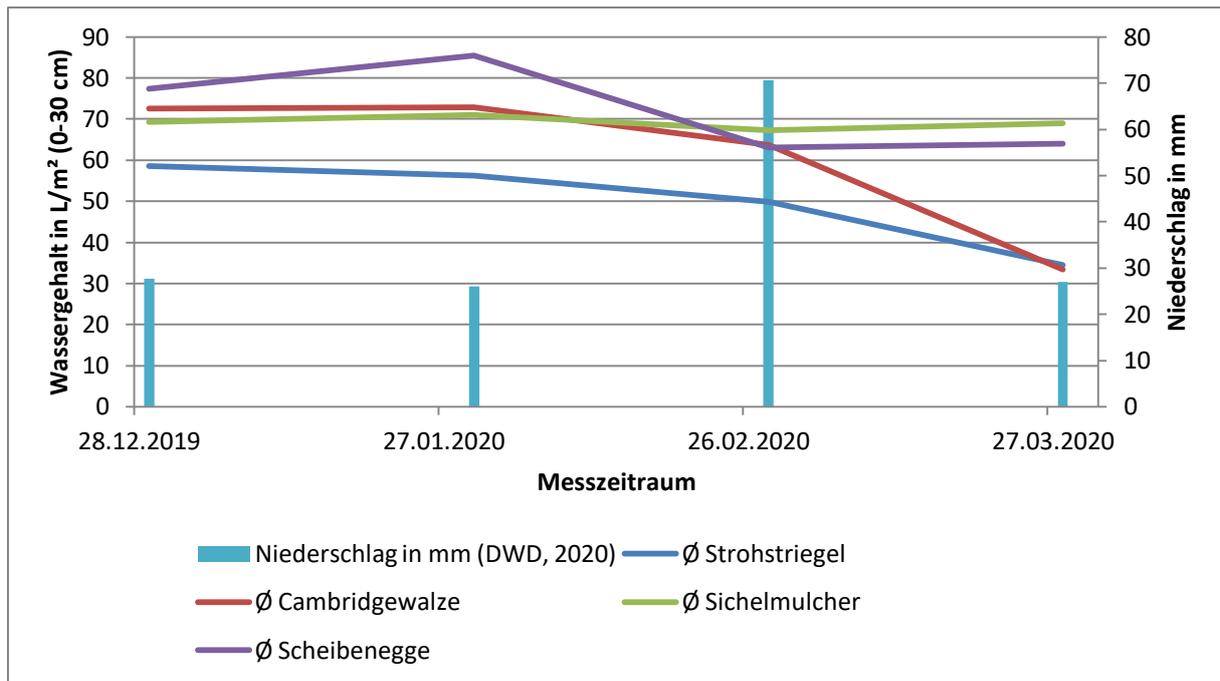


Abbildung 19 - Wassergehalt im Mittelwert aller Messpunkte (Etappe 3)

Beim Übergang der Winteretappe zur Frühjahrsetappe (11.04.2020) ist zu erkennen, dass unter dem Einfluss der Niederschlagsmengen der Bodenwasserhaushalt in den Varianten Cambridgewalze, Sichelmulcher und Scheibenegge weiter abgesunken (vgl. Abbildung 20). Gleichzeitig waren geringe Niederschläge vorhanden. Dagegen stieg der Bodenwasserhaushalt in der Variante Strohstriegel an. Nach höheren Niederschlagsereignissen zu den letzten beiden Beprobungsterminen hat sich der Bodenwasserhaushalt in allen Varianten aneinander angeglichen und ist angestiegen.

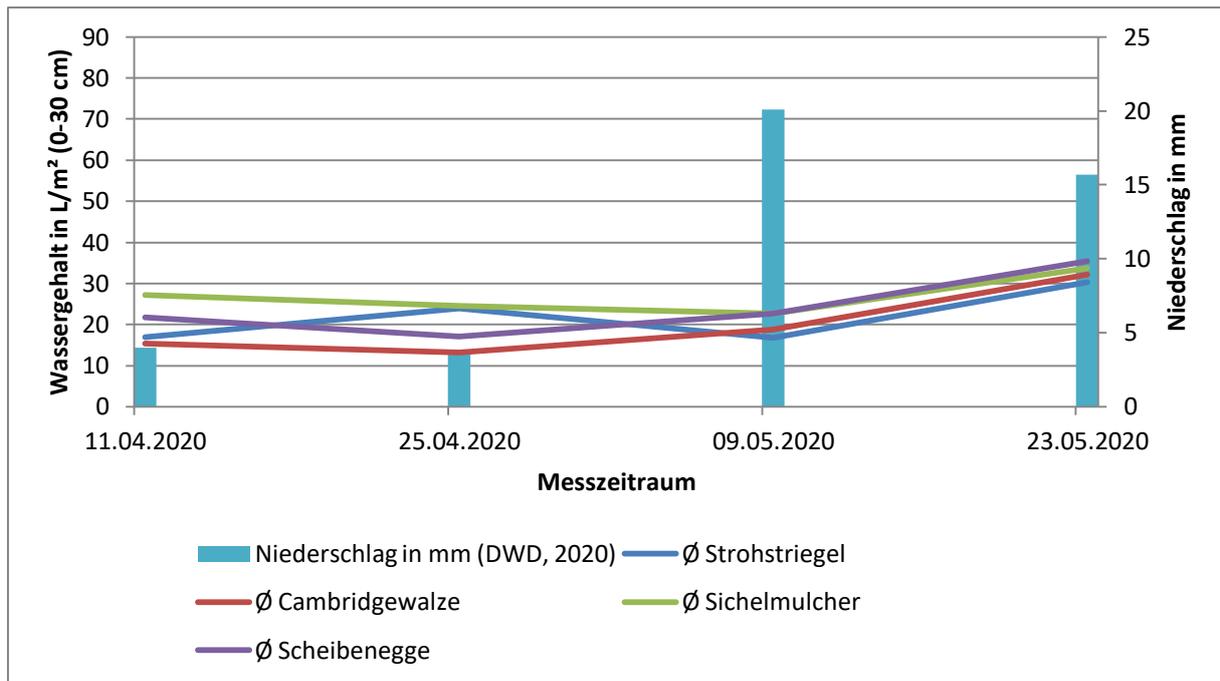


Abbildung 20 - Wassergehalt im Mittelwert aller Messpunkte (Etappe 4)

Die Aufteilung der Messpunkte im Versuchsaufbau erfolgte aufgrund von Änderungen im Humusgehalt und im zunehmenden Lehmenteil. Somit müssen die Unterschiede im Wassergehalt, verglichen mit den Messpunkten untereinander, durchgeführt werden. Dies wird folgend etappenweise dargestellt.

In der Variante Strohstriegel ist auffällig, dass der Wassergehalt innerhalb der Messpunkte viele Überschneidungen zeigte (vgl. Abbildung 21). Bis zum 23.08.2019 befanden sich die Wassergehalte auf ähnlicher Höhe. Zum 30.08.2019 stieg der Wassergehalt an jedem Messpunkt an. Jedoch war der Anstieg an Messpunkt 2 am höchsten. Bis zum 20.09.2019 näherte sich der Wassergehalt der Messpunkte aneinander an. Zum 27.09.2019 stieg der Wassergehalt an allen Messpunkten relativ einheitlich an.

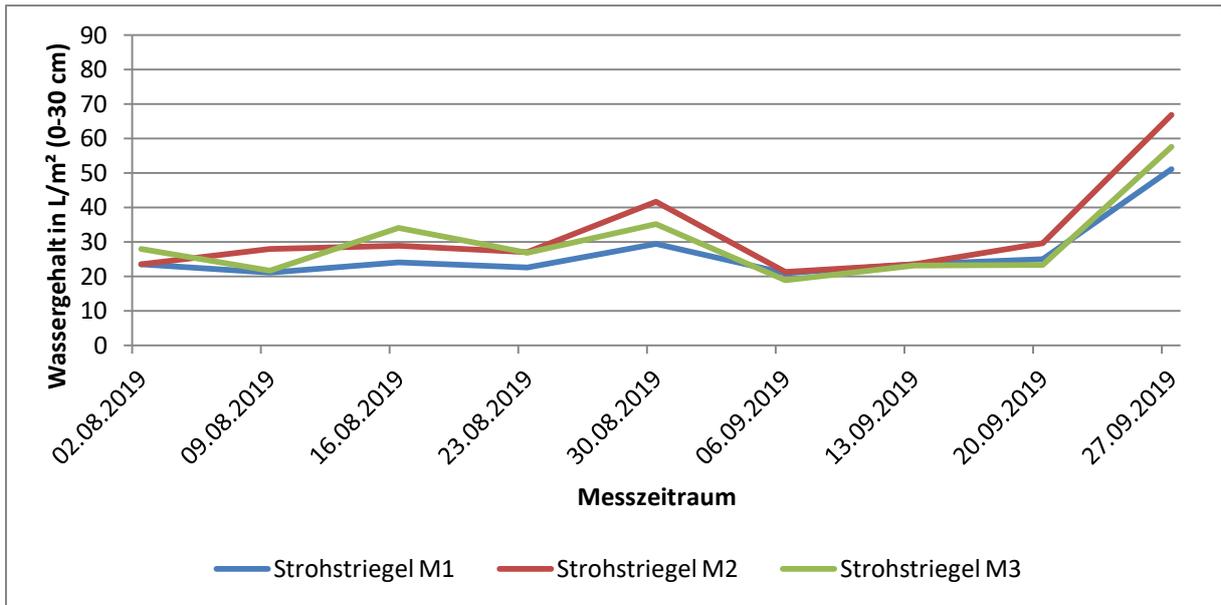


Abbildung 21 - Wassergehalt aller Messpunkte Strohstriegel (Etappe 1)

In der Variante Cambridgewalze zeigte sich ein anderer Verlauf, als in der Variante Strohstriegel (vgl. Abbildung 22). Von Beginn an befand sich der Wassergehalt an Messpunkt 3 am höchsten. Dies konnte in der ersten Etappe bis zum 27.09.2019 beobachtet werden. Der Wassergehalt der Messpunkte 1 und 2 unterschied sich in der ersten Etappe kaum. Anstiege und Absenkungen im Wassergehalt waren in allen Messpunkten einheitlich zu erkennen.

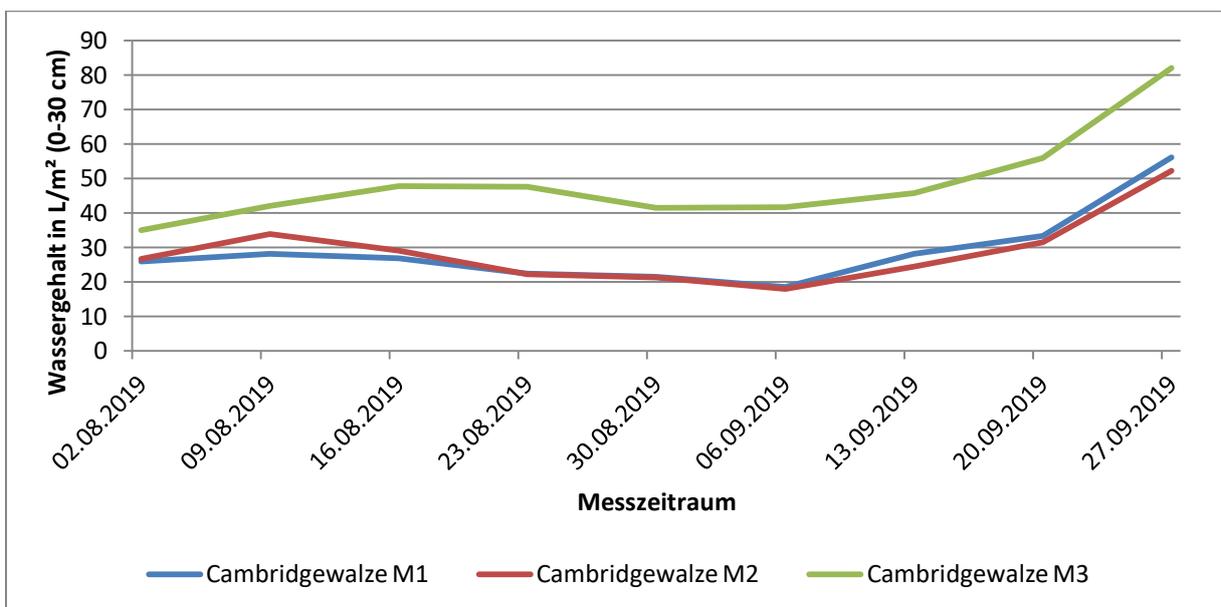


Abbildung 22 - Wassergehalt aller Messpunkte Cambridgewalze (Etappe 1)

In der Variante Sichelmulcher ist der Verlauf ähnlich zur Variante Cambridgewalze (vgl. Abbildung 23). Über den gesamten Betrachtungszeitraum der ersten Etappe befand sich der Wassergehalt an Messpunkt 3 am höchsten. Ebenfalls wie in der Variante Cambridgewalze, unterschieden sich die Messpunkte 1 und 2 kaum. Auch wenn der Wassergehalt an Messpunkt 3 durchweg höher war, verringerte sich der Abstand zu den Messpunkten 1 und 2. Die Verringerung erfolgte ab dem 06.09.2019. Ab diesem Zeitpunkt unterschied sich auch der Wassergehalt der Messpunkte 1 und 2 etwas mehr.

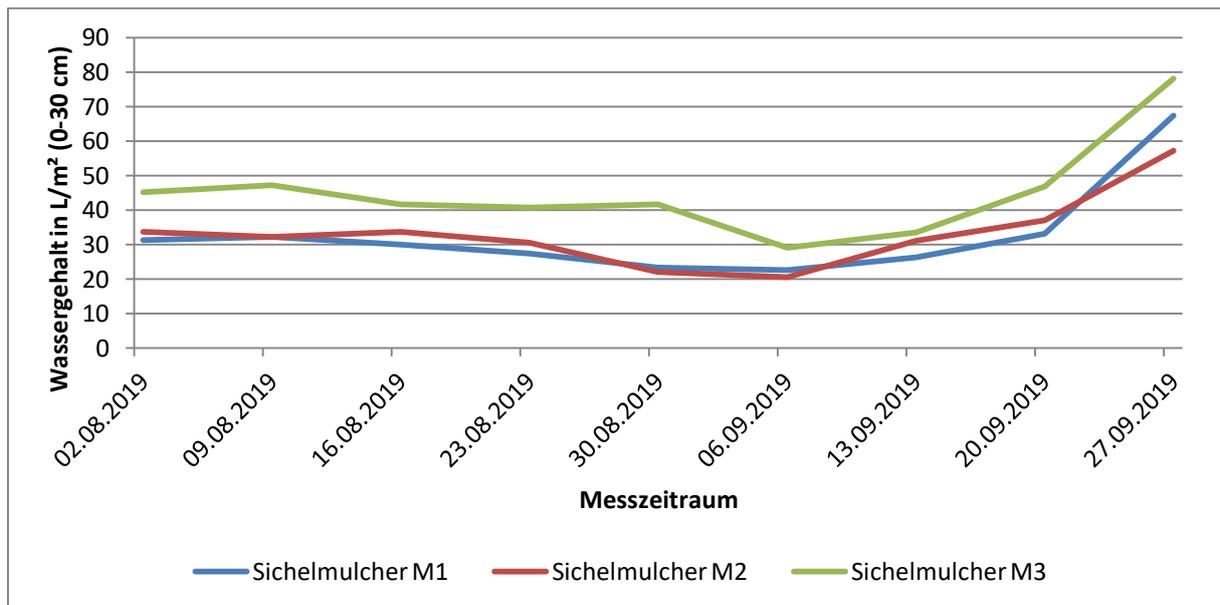


Abbildung 23 - Wassergehalt aller Messpunkte Sichelmulcher (Etappe 1)

Wie die Variante Strohstriegel, jedoch mit durchaus höheren Wassergehalten, zeigte die Variante Scheibenegge einen ähnlichen Verlauf (vgl. Abbildung 24). Der Wassergehalt der Messpunkte überschritt sich öfter und befand sich durchweg auf einem relativ einheitlichen Niveau. Zwischen dem 16.08.2019 und dem 06.09.2019 war die Differenz zwischen dem Messpunkt 2 und Messpunkt 3 am höchsten. Im weiteren Verlauf, näherte sich der Wassergehalt an allen Messpunkten an. Bis zum 27.09.2019 konnte kaum ein Unterschied im Wassergehalt mehr festgestellt werden. Die Messpunkte 1 und 3 stiegen im Verhältnis zum Messpunkt 2 stärker an.

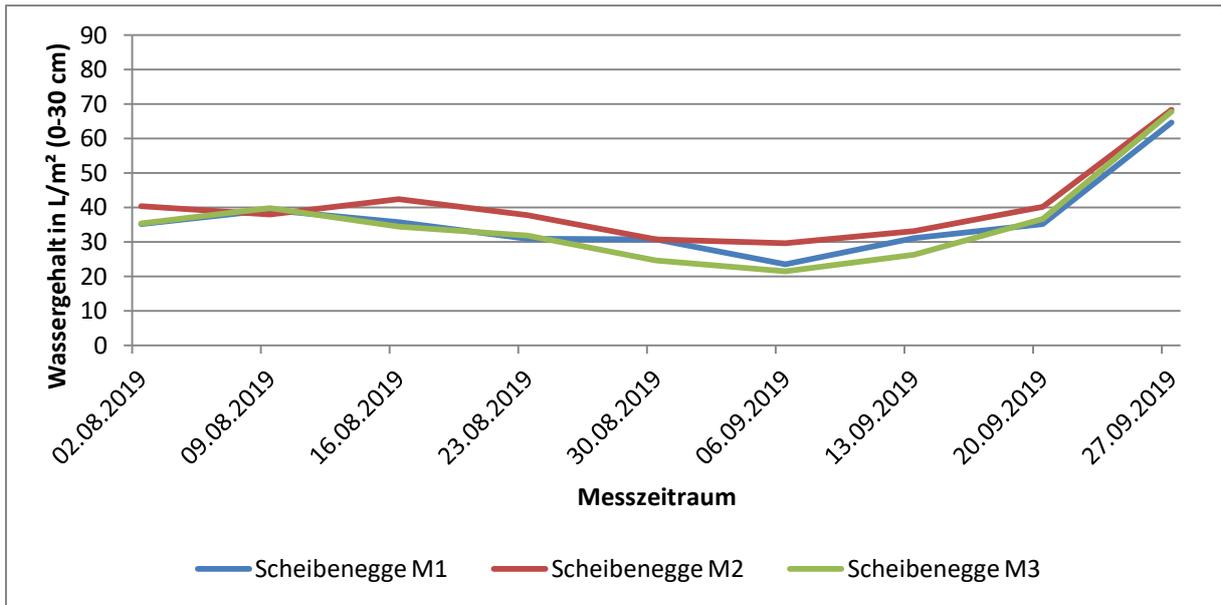


Abbildung 24 - Wassergehalt aller Messpunkte Scheibenegge (Etappe 1)

In der zweiten Etappe ist zu erkennen, dass sich der Bodenwasserhaushalt aller Messpunkte zum 26.10.2019 stark angeglichen hat (vgl. Abbildung 25). Von dort an zeigte der Bodenwasserhaushalt an den Messpunkten 1 und 3 einen sehr ähnlichen Verlauf und quantitativ kaum Unterschiede. Dagegen konnte am Messpunkt 2 ein Anstieg, zum 09.11.2019, beobachtet werden. Nach einer Absenkung zum 23.11.2019, glich sich der Wassergehalt am Messpunkt 2 an die anderen Messpunkte an.

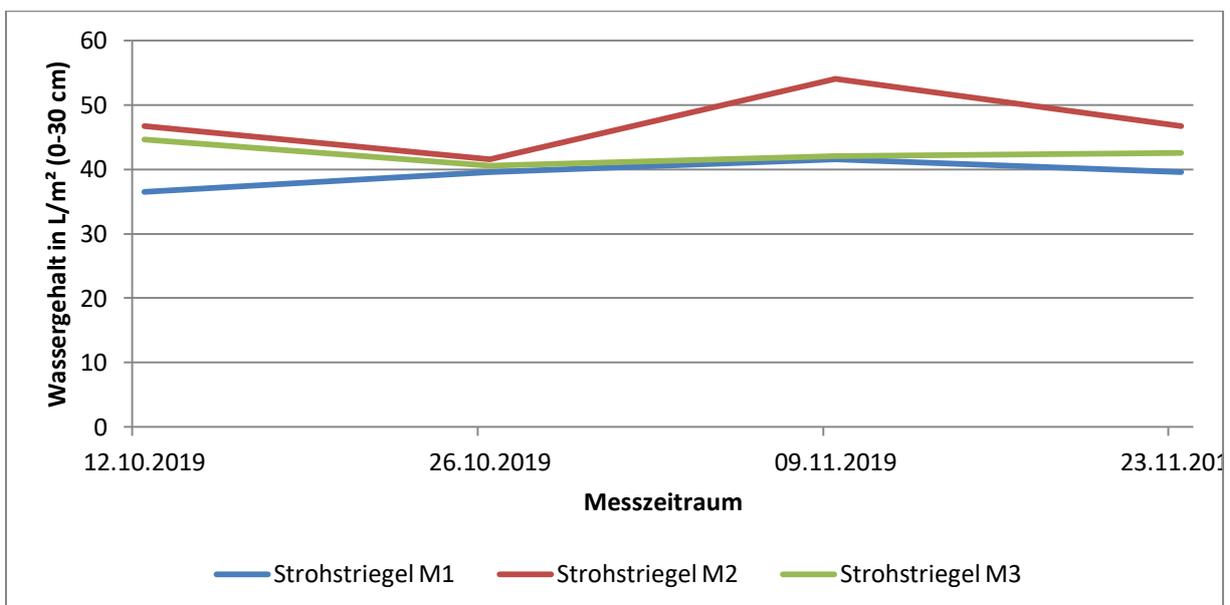


Abbildung 25 - Wassergehalt aller Messpunkte Strohstriegel (Etappe 2)

In der Variante Cambridgewalze ist zu beobachten, dass sich der Verlauf des Bodenwassergehaltes aus der ersten Etappe, auch in der zweiten Etappe fortsetzt (vgl. Abbildung 26). Der Wassergehalt am Messpunkt 3 bewegte sich durch die gesamte Etappe auf einem höheren Niveau als die anderen Messpunkte. Im Vergleich zu den Messpunkten 1 und 2, zeigte der Wassergehalt am Messpunkt 3 keine stärkeren Schwankungen. Weiterhin ist zu beobachten, dass die Messpunkte 1 und 2 einen sehr ähnlichen Verlauf zeigten.

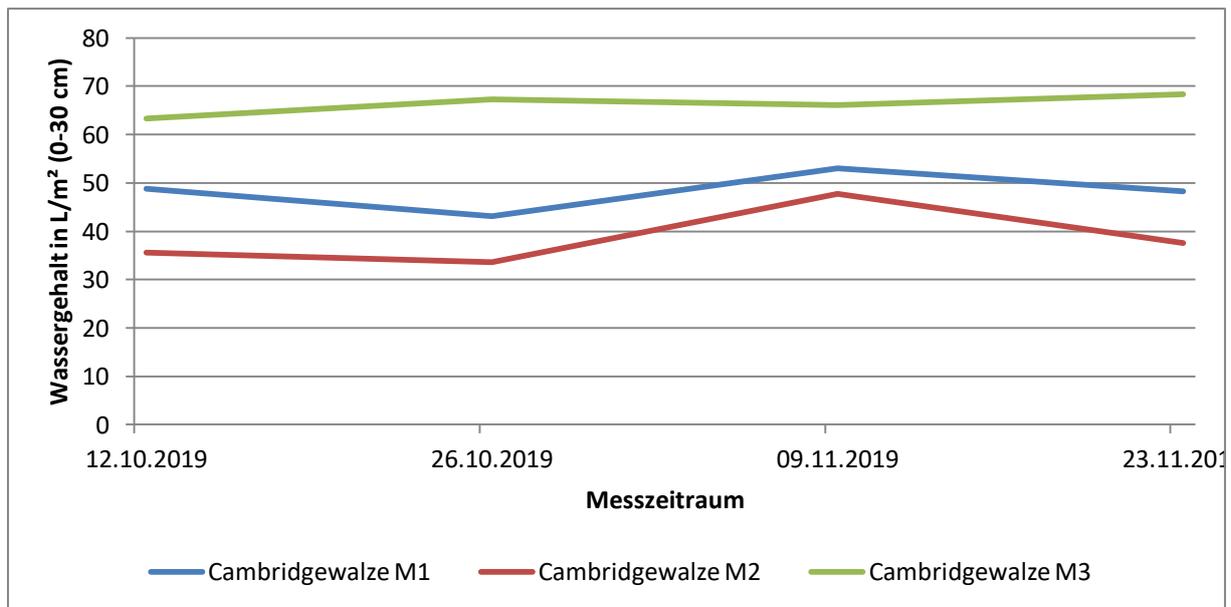


Abbildung 26 - Wassergehalt aller Messpunkte Cambridgewalze (Etappe 2)

Auch in der Variante Sichelmulcher setzte sich der Verlauf der ersten Etappe in der zweiten Etappe fort (vgl. Abbildung 27). Ähnlich wie in der Variante Cambridgewalze, zeigte der Messpunkt 3 einen durchweg höheren Wassergehalt, als die anderen Varianten. Über die gesamte Etappe unterschieden sich die Messpunkte 1 und 2 nur geringfügig, wie bereits in Etappe 1. Es konnte jedoch auch beobachtet werden, dass alle Messpunkte ähnlich starke Schwankungen aufzeigten.

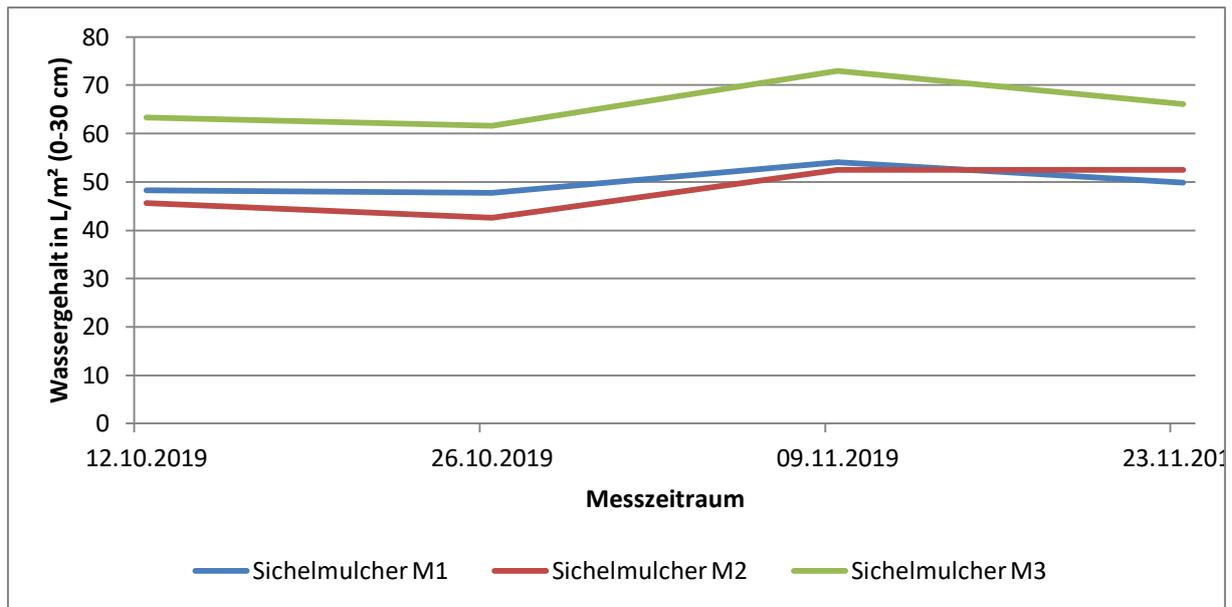


Abbildung 27 - Wassergehalt aller Messpunkte Sichelmulcher (Etappe 2)

Auch in der Variante Scheibenegge konnte sich der Trend der ersten Etappe, in der zweiten Etappe fortsetzen (vgl. Abbildung 28). Der Wassergehalt aller Messpunkte unterschied sich nicht stark. Jedoch zeigte sich, dass der Messpunkt 2 über die gesamte Etappe den höchsten Wassergehalt aufwies. Zur Beprobung am 23.11.2019 glichen sich die Bodenwassergehalte aller Messpunkte aneinander an. Auffällig ist, dass alle Messpunkte einen quantitativ höheren Wassergehalt, als die Messpunkte der anderen Varianten aufweisen konnten.

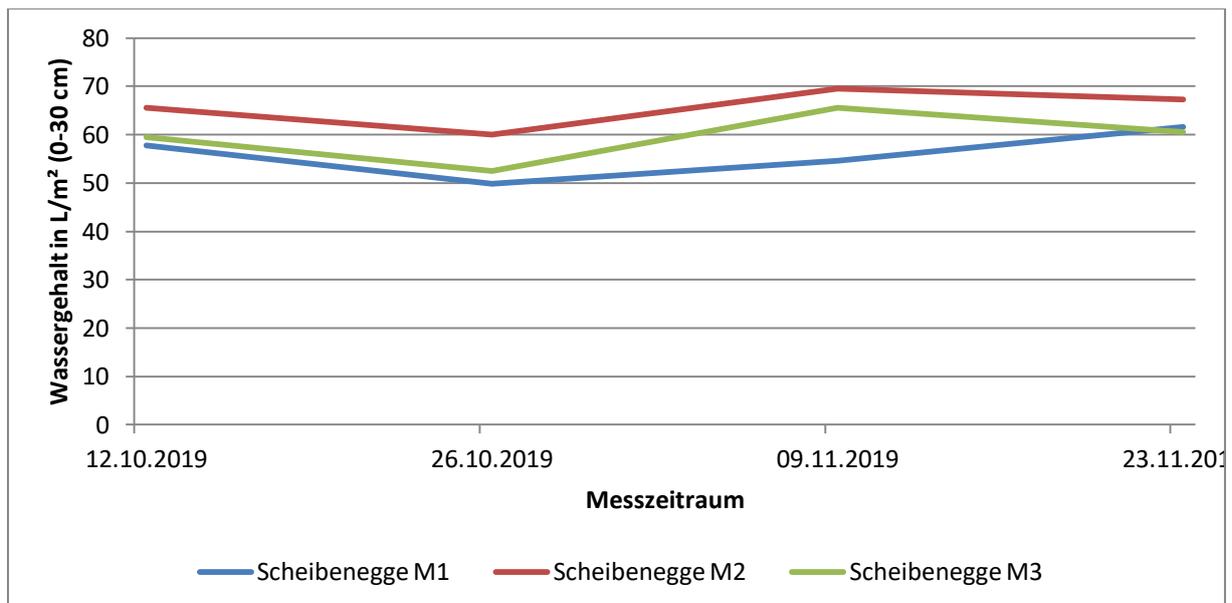


Abbildung 28 - Wassergehalt aller Messpunkte Scheibenegge (Etappe 2)

In der Variante Strohstriegel ist auch in der dritten Etappe festzustellen, dass die Messpunkte 1 und 2 einen sehr ähnlichen Verlauf des Wassergehaltes zeigten und kaum Unterschiede aufwiesen (vgl. Abbildung 29). Der Messpunkt 3 zeigte vom 30.01.2020 bis zum 28.02.2020, anders als die anderen Messpunkte, einen Anstieg im Wassergehalt. Zum 28.03.2020 glichen sich alle Messpunkte aneinander an.

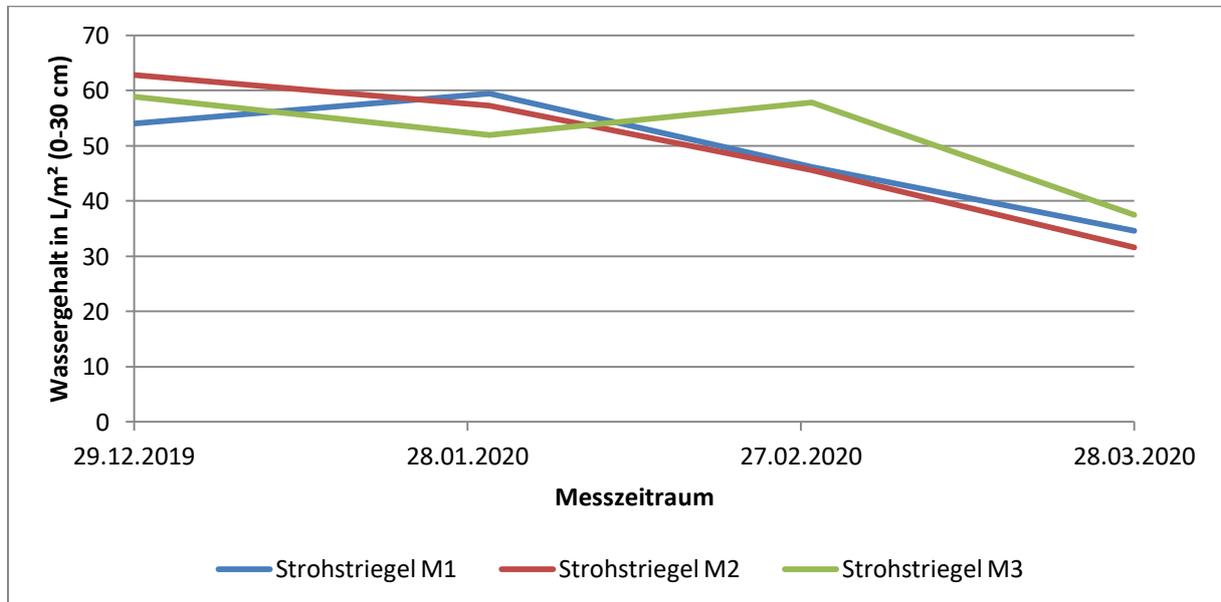


Abbildung 29 - Wassergehalt aller Messpunkte Strohstriegel (Etappe 3)

Die Verteilung des Bodenwassergehaltes der Variante Cambridgewalze hat auch in der dritten Etappe an die anderen Etappen angeschlossen (vgl. Abbildung 30). Der Wasserhaushalt am Messpunkt 3 befand sich zunächst deutlich über dem Wasserhaushalt der Messpunkte 1 und 2. Die Messpunkte 1 und 2 zeigten auch hier, dass sich der Bodenwasserhaushalt kaum unterschieden hat. Dies erfolgte über die gesamte Etappe. Ab dem 28.02.2020 wurde die Absenkung im Wassergehalt stärker. Dies führte dazu, dass sich der Wassergehalt an allen Messpunkten zum 28.03.2020 angeglichen hat.

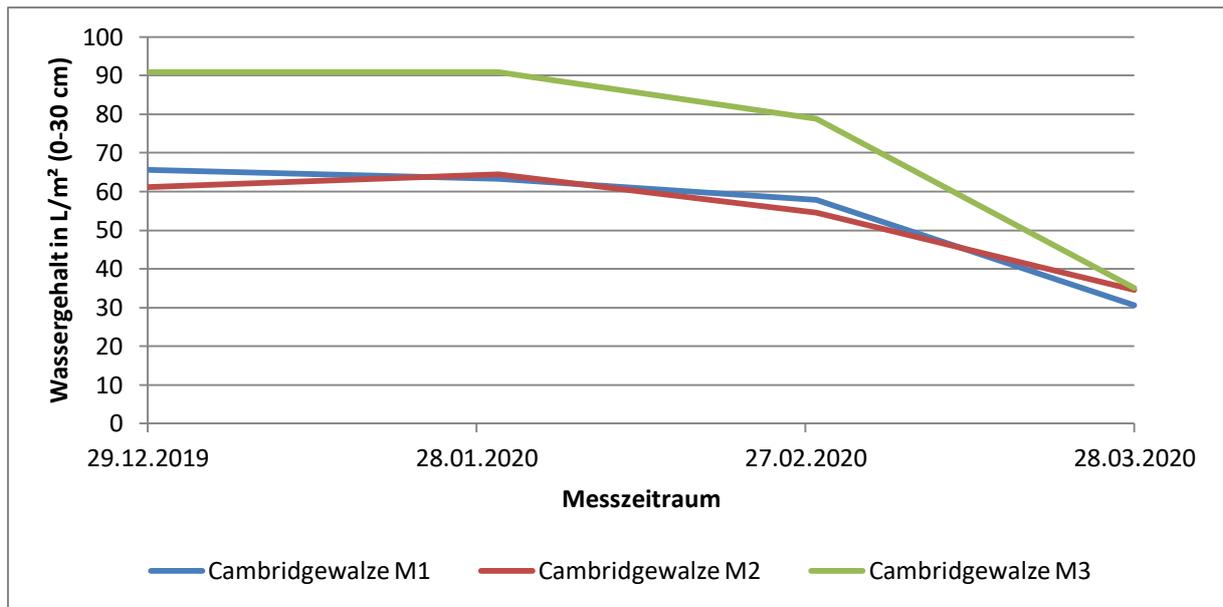


Abbildung 30 - Wassergehalt aller Messpunkte Cambridgewalze (Etappe 3)

In der Abbildung 31 ist der Wassergehalt aller Messpunkte der Variante Sichelmulcher in der dritten Etappe dargestellt. Hier ist zu erkennen, dass sich der Wasserhaushalt am Messpunkt 3 zu Beginn der Etappe noch deutlich über dem Wassergehalt der Messpunkte 1 und 2 befand. Durch einen Anstieg an den Messpunkten 1 und 2 und durch eine Absenkung am Messpunkt 3, glich sich der Wassergehalt aller Messpunkte zum 30.01.2020 an. Zu erkennen ist jedoch auch, dass folgend der Wasserhaushalt am Messpunkt 3 konstant blieb, während die anderen Messpunkte zunächst eine Absenkung zeigten. Zum 28.03.2020 glich sich der Wasserhaushalt der Messpunkte 1 und 3 aneinander an. Der Wasserhaushalt am Messpunkt 3 ist nicht weiter stärker angestiegen.

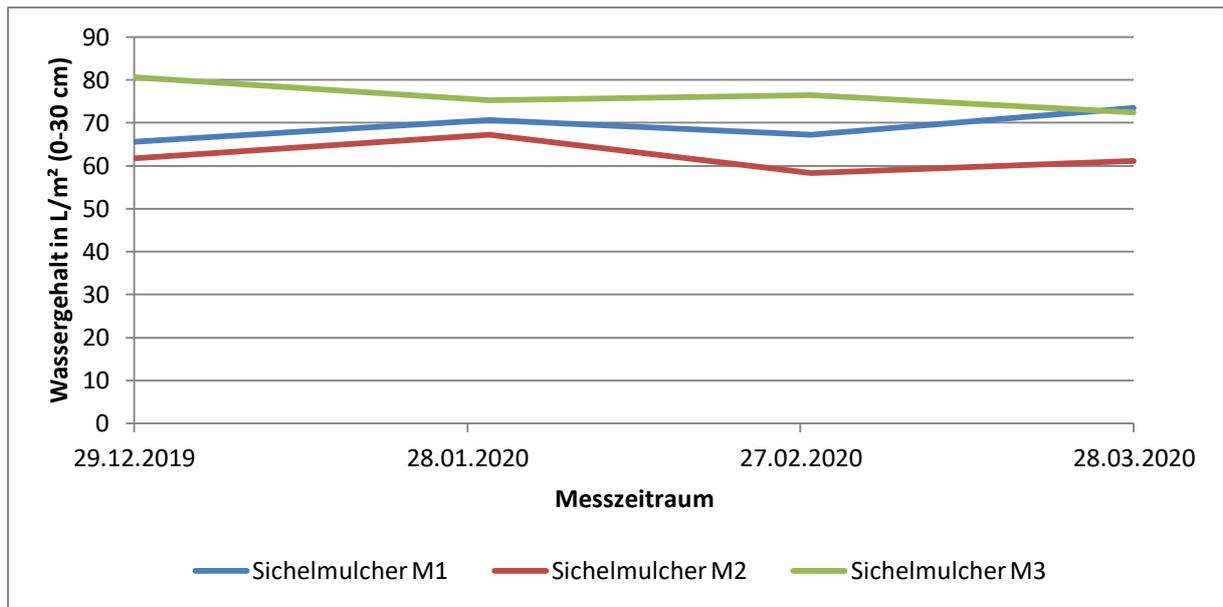


Abbildung 31 - Wassergehalt aller Messpunkte Sichelmulcher (Etappe 3)

Die Variante Scheibenegge zeigte zu Beginn der dritten Etappe, dass sich der Wassergehalt der Messpunkte 1 und 2 kaum unterschieden und sich über dem Wassergehalt des Messpunktes 3 befanden (vgl. Abbildung 32). Im weiteren Verlauf ist auffällig, dass der Wassergehalt am Messpunkt 2 relativ konstant abgesunken ist, während der Wassergehalt an den Messpunkten 1 und 3 Schwankungen unterlag. Zum 28.03.2020 glich sich der Wassergehalt an allen Messpunkten aneinander an.

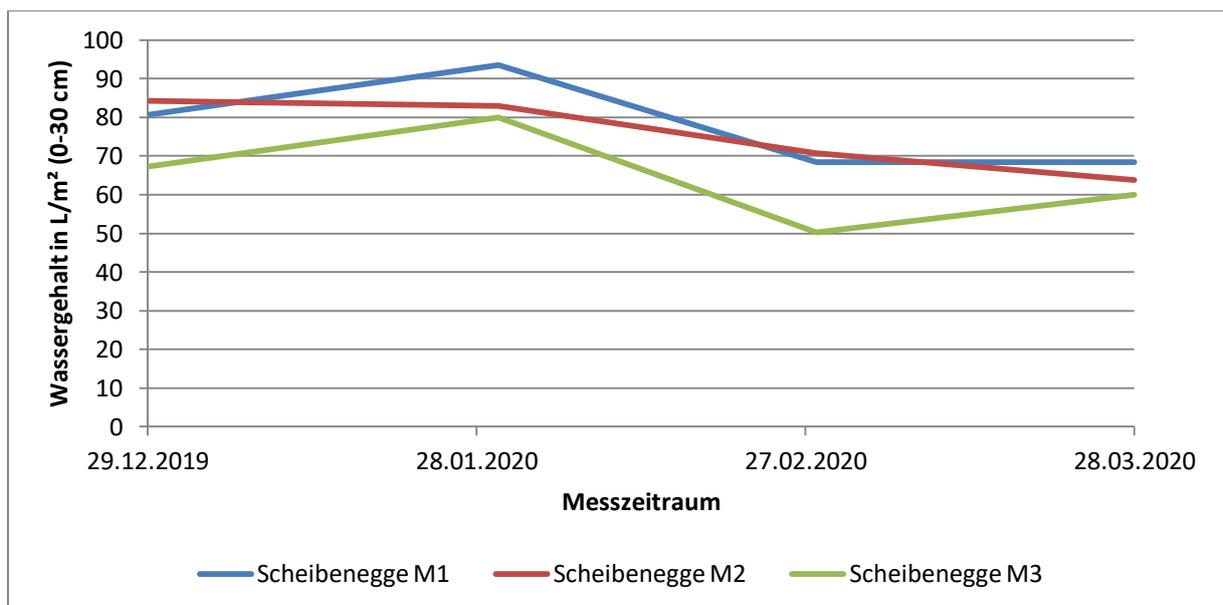


Abbildung 32 - Wassergehalt aller Messpunkte Scheibenegge (Etappe 3)

Zu Beginn der vierten Etappe befand sich der Bodenwassergehalt, in der Variante Strohstriegel, an allen Messpunkten auf einem ähnlichen Niveau (vgl. Abbildung 33). Auffällig ist jedoch der langsame Anstieg am Messpunkt 3, welcher sich bis zum 23.05.2020 durchsetzte. Währenddessen zeigten die Messpunkte 1 und 2 aufeinanderfolgende Anstiege und Absenkungen im Wassergehalt. Am Messpunkt 2 stieg der Wassergehalt zum 23.05.2020 so stark an, dass der Wassergehalt an den anderen Messpunkten überstiegen wurde. Zuletzt wies der Messpunkt 1 den geringsten Wassergehalt auf.

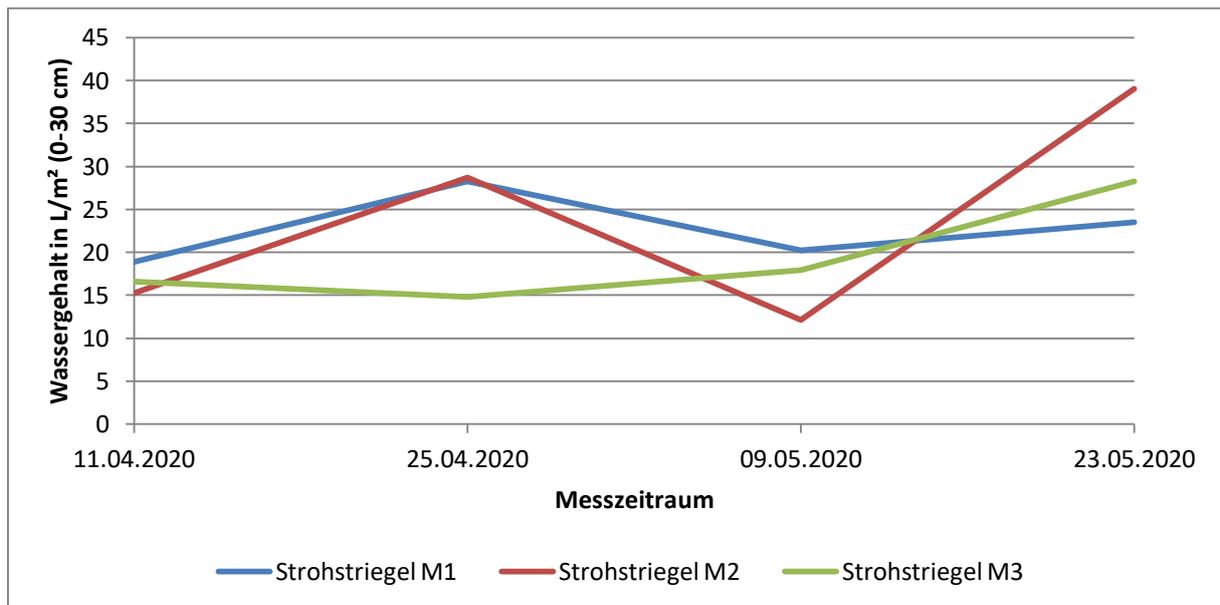


Abbildung 33 - Wassergehalt aller Messpunkte Strohsriegel (Etappe 4)

Wie bereits in der Variante Strohsriegel, befand sich der Wassergehalt auch in der Variante Cambridgewalze zu Beginn der Etappe 4 an allen Messpunkten auf einem ähnlichen Niveau (vgl. Abbildung 34). Im Gegensatz zur Variante Strohsriegel, konnte im weiteren Verlauf ein einheitliches Absinken des Wassergehaltes an allen Messpunkten beobachtet werden. Anschließend stieg der Wassergehalt zwar an allen Messpunkten an, jedoch unterschiedlich stark. Den stärksten Anstieg zeigte der Messpunkt 3, wodurch der Wassergehalt zur letzten Beprobung, am 23.05.2020, den höchsten Gehalt an Bodenwasser aufwies. Den geringsten Anstieg zeigte der Messpunkt 1. Dieser zeigte am 23.05.2020 den geringsten Wassergehalt.

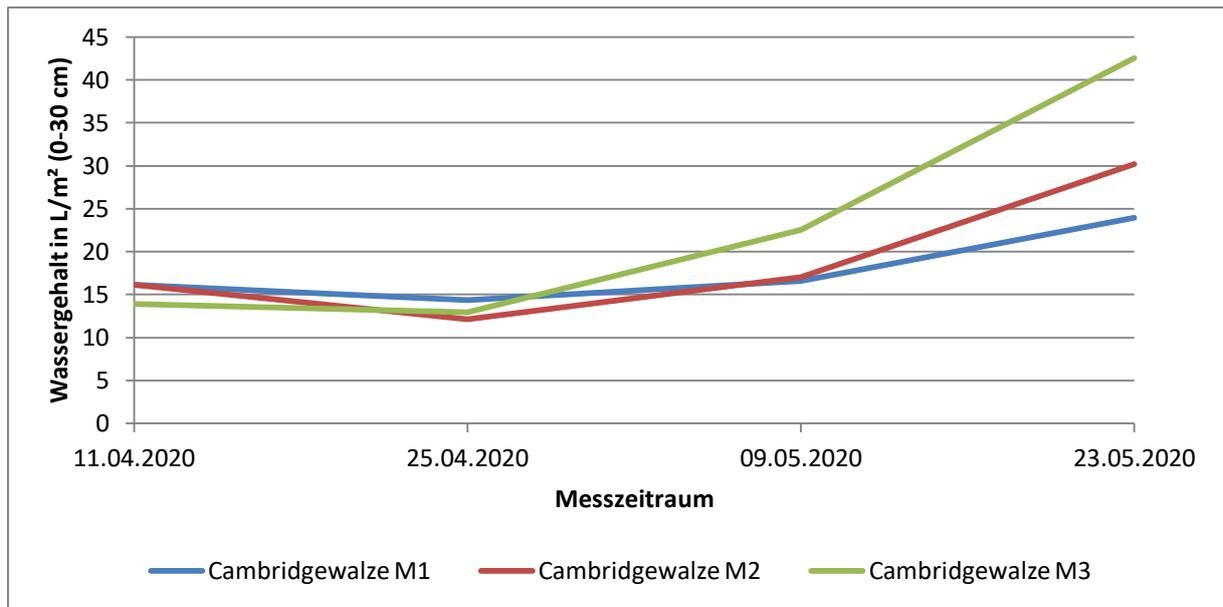


Abbildung 34 - Wassergehalt aller Messpunkte Cambridgewalze (Etappe 4)

Der Verlauf des Wassergehaltes in der Variante Sichelmulcher ähnelt dem Verlauf der Variante Cambridgewalze (vgl. Abbildung 35). Es konnte in allen Varianten eine konstante Absenkung bis zum 09.05.2020 beobachtet werden. Anschließend zeigten die Messpunkte 1 und 2 einen einheitlichen Anstieg auf. Der Wassergehalt am Messpunkt 3 stieg zum 23.05.2020 sehr stark an, wodurch hier zur letzten Beprobung der höchste Wassergehalt in dieser Variante festgestellt wurde.

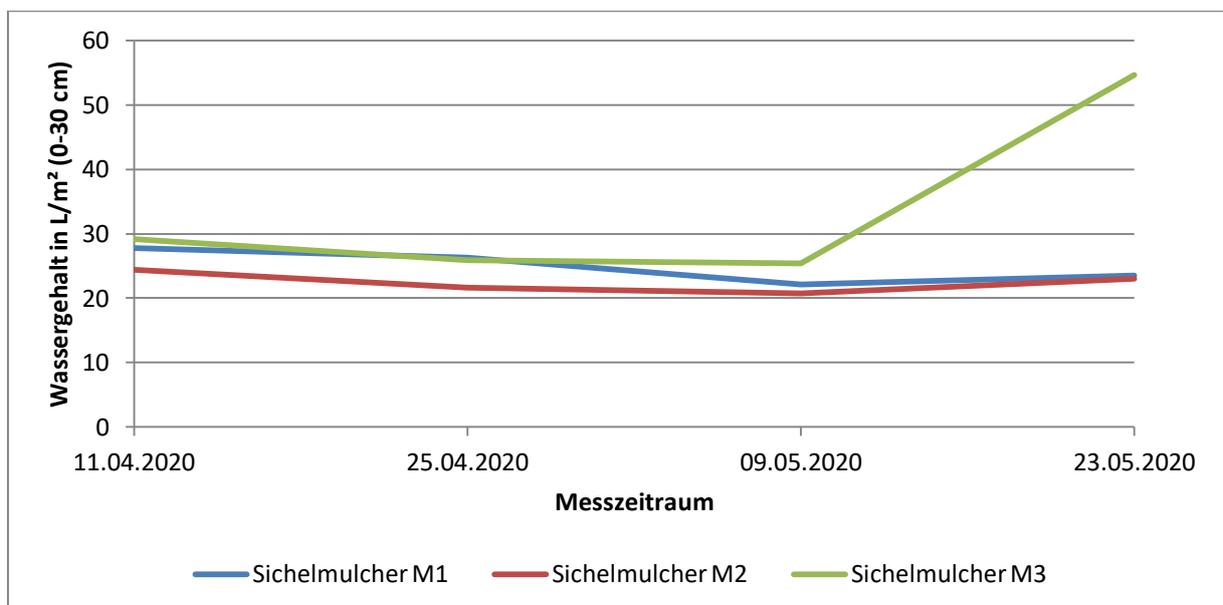


Abbildung 35 - Wassergehalt aller Messpunkte Sichelmulcher (Etappe 4)

In der Variante Scheibenegge befand sich der Wassergehalt zu Beginn der vierten Etappe an allen Messpunkten auf einem ähnlichen Niveau (vgl. Abbildung 36). Der Bodenwassergehalt sank folgend ab, wodurch sich die Messpunkte weiter angleichen. Ab dem 25.04.2020 stieg der Bodenwassergehalt in allen Varianten an. Da der Messpunkt 1 ab dem 09.05.2020 einen stärkeren Anstieg aufwies, konnte zum 23.05.2020 dort auch der höchste Wassergehalt zur letzten Beprobung festgestellt werden. Der Wassergehalt am Messpunkt 3 stieg am geringsten an, somit befand sich der Bodenwassergehalt zur letzten Beprobung auf dem geringsten Niveau.

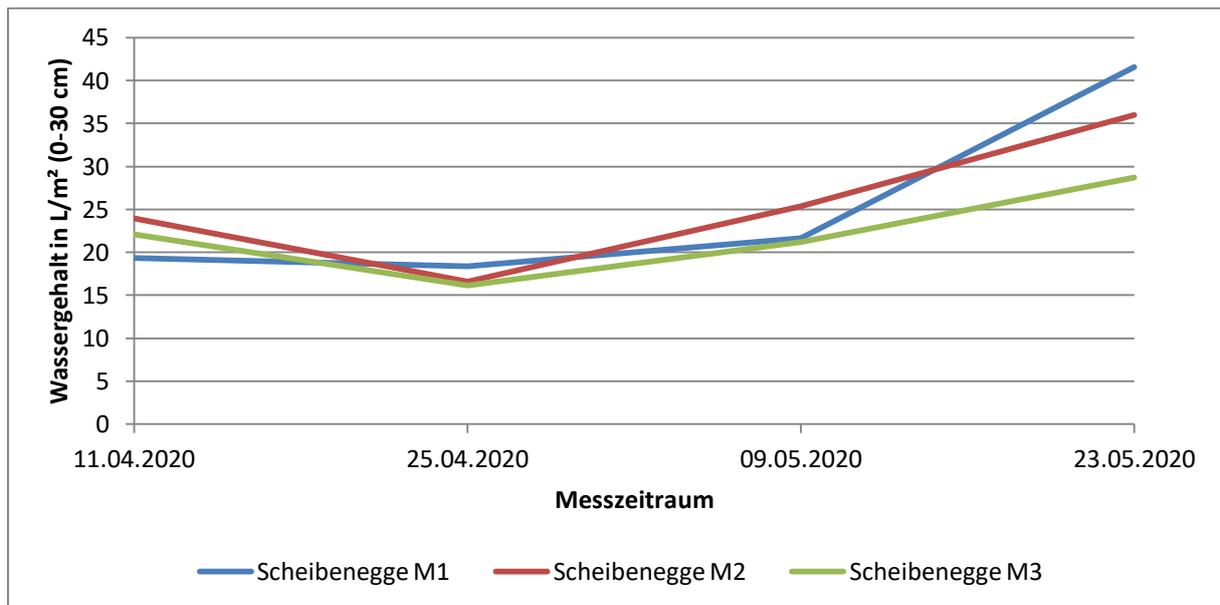


Abbildung 36 - Wassergehalt aller Messpunkte Scheibenegge (Etappe 4)

5.2 Auswirkung verschiedener Stoppelbearbeitungsvarianten auf Auflaufverhalten der Vorfrucht Winterroggen aus

Die Intensität der Stoppelbearbeitung wirkt sich auf das Auflaufverhalten der Verlustkörner nach dem Mähdrusch aus. Die folgenden Tabellen zeigen die Anzahl der Verlustkörner und die Anzahl der aufgelaufenen Verlustkörner der Versuchsvarianten, auf den Messpunkten. Die folgenden Abbildungen zeigen die prozentuale Abweichung zwischen den Verlustkörnern und den aufgelaufenen Verlustkörnern, auf den Messpunkten. Nach der Auswertung der einzelnen Messpunkte werden die Mittelwerte aller Messpunkte ausgewertet. In der Tabelle 12 wird ersichtlich, dass in der Variante Scheibenegge die höchste Anzahl an Verlustkörnern vorhanden war, jedoch sind dort auch die meisten Verlustkörner zum Auflaufen angeregt worden. Somit ist die Abweichung zwischen den vorhandenen Verlustkörnern und den aufgelaufenen Verlustkörnern in dieser Variante am geringsten (vgl. Abb. 37). Der geringste Besatz an Verlustkörnern wurde in der

Variante Cambridgewalze ermittelt. Die höchste Abweichung im Auflaufverhalten wurde in der Variante Strohstriegel mit 60 % Abweichung festgestellt (vgl. Abb. 37).

Tabelle 12 – Auflaufverhalten der Verlustkörner auf Messpunkt 1 der Versuchsvarianten

Versuchsbezeichnung	Verlustkörner/m ²	aufgelaufene Verlustkörner/m ²
Strohstriegel M1	83	33
Cambridgewalze M1	75	41
Sichelmulcher M1	91	41
Scheibenegge M1	116	108

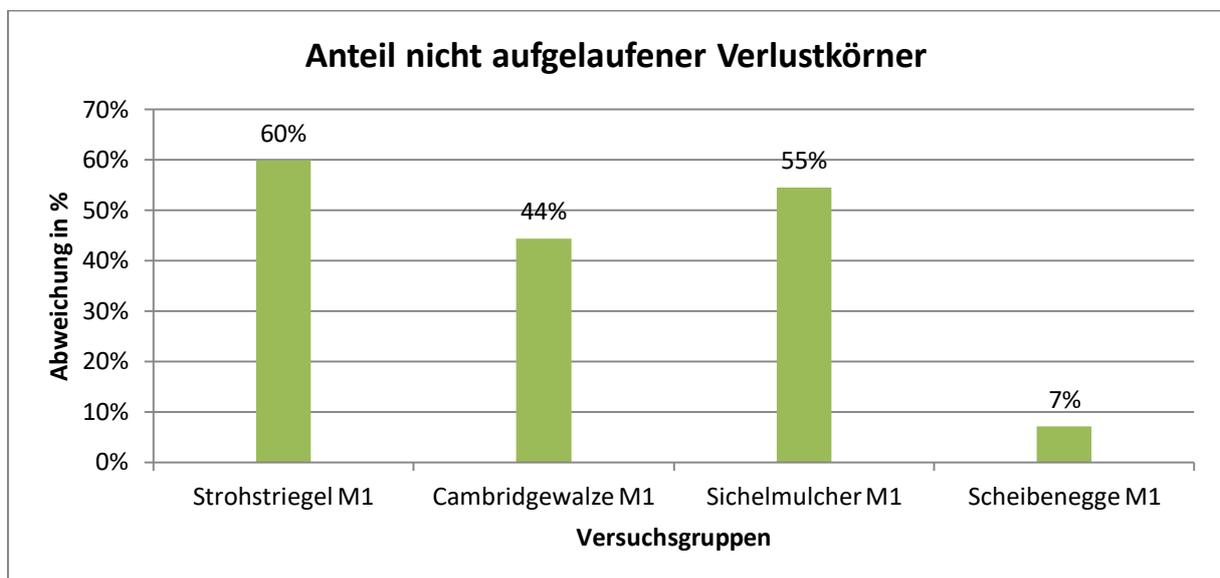


Abbildung 37 – Anteil nicht aufgelaufener Verlustkörner auf Messpunkt 1 der Versuchsvarianten

Auf den Messpunkten 2 der Versuchsvarianten ist zu erkennen, dass wie auch auf Messpunkt 1, die Variante Scheibenegge den besten Auflaufverfolg erzielte (vgl. Abbildung 38). Jedoch befindet sich die Abweichung mit 15 %, um 8 % höher als auf dem Messpunkt 1. Die höchste Abweichung ist in der Variante Cambridgewalze vorzufinden. Dort befindet sich die Abweichung bei 64 % und ist damit, verglichen mit dem Messpunkt 1, um 20 % höher. Der höchste Besatz an Verlustkörnern wurde, wie auch schon bei Messpunkt 1, in der Variante Scheibenegge ermittelt (vgl. Tabelle 13). Der geringste Besatz an Verlustkörnern wurde in der Variante Strohstriegel ermittelt (vgl. Tabelle 13).

Tabelle 13 - Auflaufverhalten der Verlustkörner auf Messpunkt 2 der Versuchsvarianten

Versuchsbezeichnung	Verlustkörner/m ²	aufgelaufene Verlustkörner/m ²
Strohstriegel M2	58	25
Cambridgewalze M2	91	33
Sichelmulcher M2	100	75
Scheibenegge M2	108	91

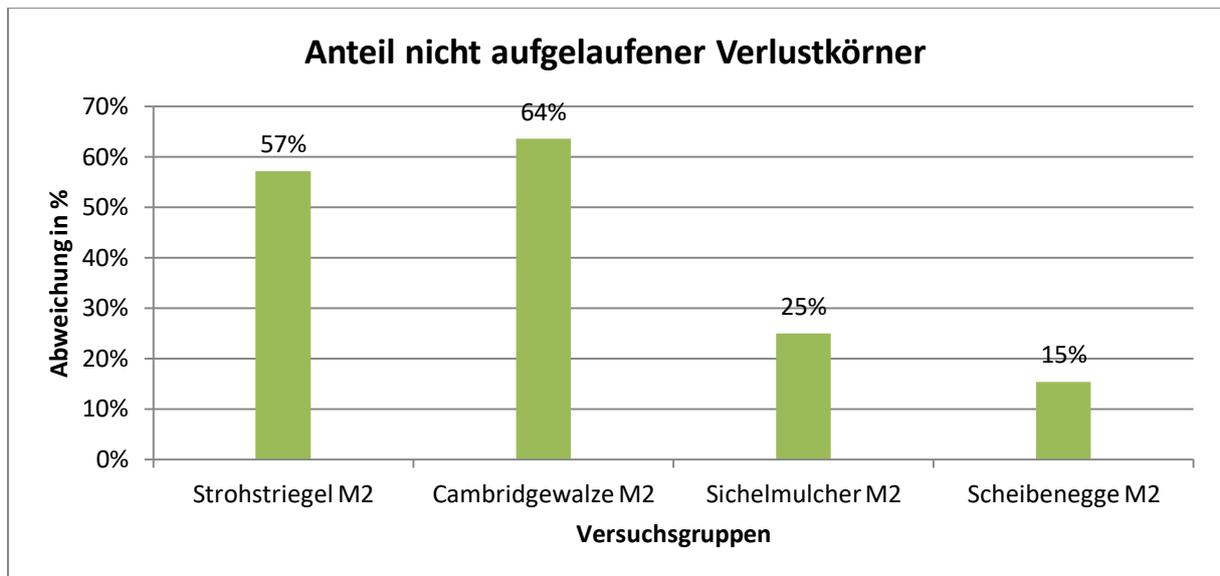


Abbildung 38 - Anteil nicht aufgelaufener Verlustkörner auf Messpunkt 2 der Versuchsvarianten

Die Ermittlung des jeweiligen Auflauferschlusses an den Messpunkten 3 zeigt (vgl. Abb. 39), dass die Variante Scheibenegge den größten Auflauferschluss erzielte. Die Abweichung betrug 20 % und ist damit noch weiter angestiegen. Die höchste Abweichung ist in der Variante Sichelmulcher, mit 65 %, vorzufinden. In der Variante Strohstriegel ist zu erkennen, dass dort besonders wenig Verlustkörner vorzufinden waren (vgl. Tabelle 14).

Tabelle 14 - Auflaufverhalten der Verlustkörner auf Messpunkt 3 der Versuchsvarianten

Versuchsbezeichnung	Verlustkörner/m ²	aufgelaufene Verlustkörner/m ²
Strohstriegel M3	33	25
Cambridgewalze M3	75	42
Sichelmulcher M3	142	50
Scheibenegge M3	125	100

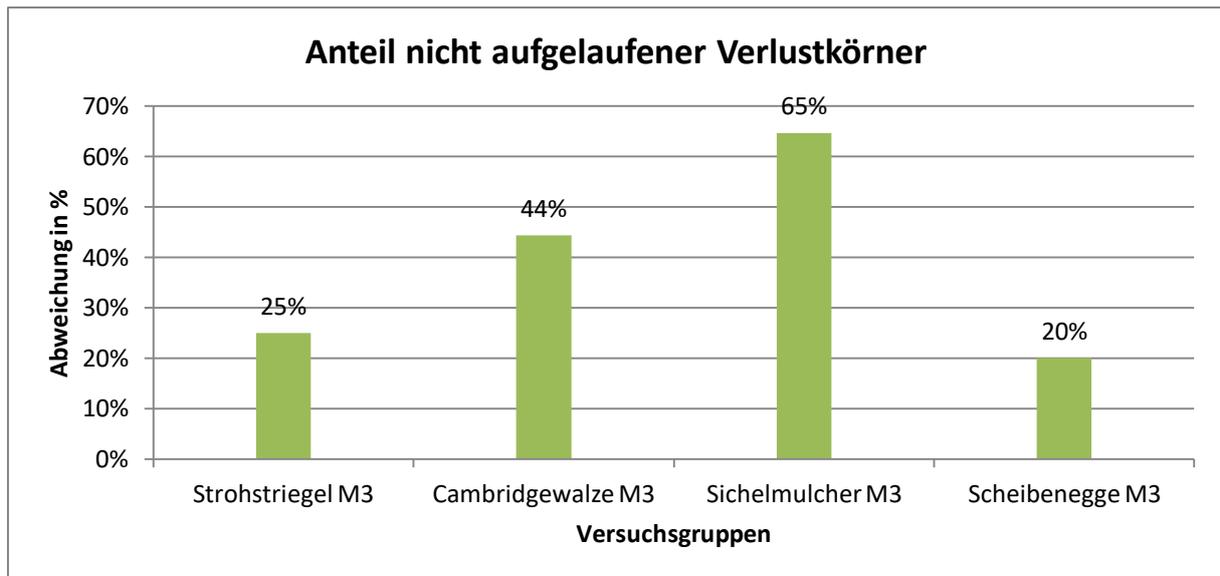


Abbildung 39 – Anteil nicht aufgelaufener Verlustkörner auf Messpunkt 3 der Versuchsvarianten

In der Abbildung 40 ist zu erkennen, dass das Auflaufverhalten im Mittelwert aller Messpunkte in der Variante Scheibenegge am erfolgreichsten war. Die durchschnittliche Abweichung betrug in dieser Variante 14 %. Allerdings ist auffällig, dass diese Variante mit 117 Verlustkörnern/m² im Mittelwert aller Messpunkte auch die höchste Anzahl an Verlustkörnern/m² aufwies (vgl. Tabelle 15). Die höchste Abweichung im Verhältnis zwischen Verlustkörnern/m² und aufgelaufenen Verlustkörnern/m² wiesen die Varianten Strohstriegel und Cambridgewalze auf. Jedoch auch die Variante Sichelmulcher befand sich mit einer Abweichung von 50 % nicht sehr stark unter den Varianten Strohstriegel und Cambridgewalze. Auffällig in der Variante des Sichelmulcher ist auch die hohe Anzahl an Verlustkörnern/m², mit 111 Verlustkörner/m² im Mittelwert aller Messpunkte (vgl. Tabelle 15). Die niedrigste Anzahl an Verlustkörner/m² im Mittelwert aller Messpunkte wurde in der Variante Strohstriegel mit 58 Verlustkörner/m² vorgefunden (vgl. Tabelle 15).

Tabelle 15 - Durchschnittliches Auflaufverhalten der Verlustkörner aller Messpunkte der Versuchsvarianten

Versuchsgruppe	Ø Verlustkörner/m ²	Ø aufgelaufene Verlustkörner/m ²
Strohstriegel	58	28
Cambridgewalze	81	39
Sichelmulcher	111	56
Scheibenegge	117	100

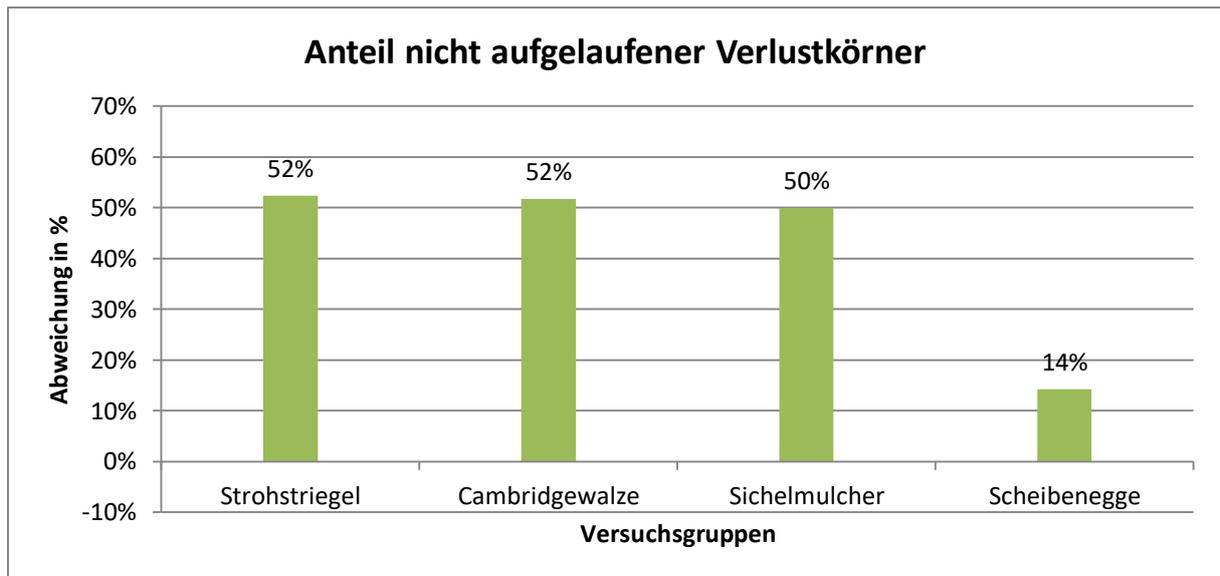


Abbildung 40 - Durchschnittlicher Anteil nicht aufgelaufener Verlustkörner aller Messpunkte der Versuchsvarianten

5.3 Unterschiede im Auflaufverhalten der Nachfrucht, durch eine Direktsaat

Folgend werden die Ergebnisse des Auflaufes der Saat aufgezeigt. Am 24.09.2019 wurde, wie bereits beschrieben, der Winterroggen gesät. Das zertifizierte Z-Saatgut besitzt eine Keimfähigkeit von 95 %, sowie eine Tausendkornmasse von 29,4 g. Die Aussaatstärke beläuft sich auf 210 Körner/m² und somit auf 65 kg/ha. Die ersten Pflanzen sind am 03.10.2019 aufgelaufen. Am 05.10.2019 wurde die Auflaufbonitur durchgeführt (vgl. Tabelle 16). Im Mittel der Messpunkte in der Variante Strohstriegel liefen 197,33 Pflanzen/m² auf. Daraus ergibt sich eine Abweichung zu der angestrebten Anzahl von 210 Pflanzen/m² von -6,03 %. Der Strohstriegel hat somit die größte Abweichung innerhalb der getesteten Varianten. Das beste Ergebnis liefert die Variante Scheibenegge, mit einer Abweichung von -1,59 %, mit im Mittelwert 206,67 aufgelaufenen Pflanzen/m². Bei der Variante Sichelmulcher sind im Durchschnitt 202,67 Pflanzen/m² aufgelaufen. Die Abweichung zum Soll-Wert beträgt somit -3,49 %. Die Variante Cambridgewalze liegt nur knapp über dem Ergebnis des Strohstriegels. Im Mittel sind hier 198,67 Pflanzen/m² aufgelaufen. Die Abweichung zum Soll-Wert beträgt in der Variante -5,40 %. Die Schwankungsbreite zwischen den Varianten beträgt 4,44 % und somit 9,34 Pflanzen/m².

Tabelle 16 - Beschreibende Statistik zum Feldaufgang nach der Aussaat von Winterroggen in Direktsaat

Variante	gesäte Körner/m ²	Pflanzen/1,33 m Reihenweg	Pflanzen /m ²	Mittelwert Pflanzen/m ²	Abweichung in %
Strohstriegel M1	210	50	200	197,33	-6,03%
Strohstriegel M2	210	49	196		
Strohstriegel M3	210	49	196		
Cambridge-walze M1	210	53	212	198,67	-5,40%
Cambridge-walze M2	210	49	196		
Cambridge-walze M3	210	47	188		
Sichelmulcher M1	210	52	208	202,67	-3,49%
Sichelmulcher M2	210	50	200		
Sichelmulcher M3	210	50	200		
Scheibenegge M1	210	52	208	206,67	-1,59%
Scheibenegge M2	210	53	212		
Scheibenegge M3	210	50	200		
Gesamt	210	50	201	201,33	-4,13%

5.4 Unterschiede des Krankheits- und Unkrautdrucks der Nachfolgekultur

Die erste Unkrautbonitur erfolgte vor der Saat mit der Bonitur des Auflaufferfolges des Ausfallgetreides (vgl. Tabelle 17). Wie bereits benannt, wurden in der Variante Scheibenegge die meisten aufgelaufenen Pflanzen der Vorfrucht Winterroggen vorgefunden. Die geringste Anzahl an Ausfallroggen wurde in der Variante Strohstriegel festgestellt.

Tabelle 17 - Ergebnisse der Unkrautbonitur im Vergleich der untersuchten Anbaugeräte vor der Saat

Art	Anzahl/m ² Strohstriegel	Anzahl/m ² Cambridgewalze	Anzahl/m ² Sichelmulcher	Anzahl/m ² Scheibenegge	Datum
Ausfallroggen	28	39	56	100	13.09.19

Die zweite Unkrautbonitur erfolgte am 12.10.2019 und gilt als Herbstbonitur. Wie in der Tabelle 18 ersichtlich wird, wurden die drei Arten, Vogelmiere, Kamille und Storchschnabel, in allen Parzellen

festgestellt. In der Variante Cambridgewalze wurde der höchste Unkrautbesatz in allen Arten festgestellt. In der Variante Scheibenegge wurde der geringste Besatz an Unkräutern festgestellt. Die Variante Sichelmulcher wies etwas weniger Unkrautbesatz, als die Variante Strohstriegel auf.

Tabelle 18 - Ergebnisse der Unkrautbonitur im Vergleich der untersuchten Anbaugeräte im Herbst

Art	Anzahl/m ² Strohstriegel	Anzahl/m ² Cambridgewalze	Anzahl/m ² Sichelmulcher	Anzahl/m ² Scheiben- egge	Datum
Vogel- miere	18,6	20,2	17,4	16,2	
Kamille	8,5	9,2	7,3	8,5	12.10.19
Storch- schnabel	5,6	8,2	6,4	3,1	

Am 14.03.2020 wurde eine letzte Unkrautbonitur durchgeführt (vgl. Tabelle 19). In dieser Frühjahrsbonitur wurde nur die Art Hundskerbel festgestellt. Allerdings wurde der Hundskerbel nur in den Varianten Cambridgewalze und Scheibenegge vorgefunden. Die Variante Scheibenegge wies hierbei den höheren Besatz auf. In den Varianten Strohstriegel und Sichelmulcher wurde kein Besatz an Unkräutern festgestellt.

Tabelle 19 - Ergebnisse der Unkrautbonitur im Vergleich der untersuchten Anbaugeräte im Frühjahr

Art	Anzahl/m ² Strohstriegel	Anzahl/m ² Cambridgewalze	Anzahl/m ² Sichelmulcher	Anzahl/m ² Scheibenegge	Datum
Hunds- kerbel	0,00	0,25	0,00	0,54	14.03.20

Bezüglich des Krankheitsdruckes wurden am 11.04.2020 und am 09.05.2020 zwei Bonituren durchgeführt. Hierbei war auffällig, dass in keiner Variante Krankheiten vorgefunden wurden. Somit kann kein Unterschied zwischen den Varianten festgestellt werden. Im Vorgewendebereich wurde in der zweiten Krankheitsbonitur sehr vereinzelt Braunrost auf F2- und F3-Blättern festgestellt, jedoch wurde der Vorgewendebereich nicht im Versuch berücksichtigt.

5.5 Auswirkung der Stoppelbearbeitungsvarianten auf die N-Mineralisation

Aufgrund heterogener Ackerböden ist die Betrachtung des Nmin-Verlaufs in den Mittelwerten aller Messpunkte notwendig. In der Variante Strohstriegel befand sich der Nmin-Gehalt zum Start bei 47 kg/ha Nmin (vgl. Abbildung 41). Bis zum 20.09.2019 blieb der Nmin-Gehalt bis auf leichte

Schwankungen konstant. Auffällig ist, dass sich der Bodenwassergehalt zur Beprobung am 27.09.2019 erhöhte und gleichzeitig der Nmin-Gehalt absenkte.

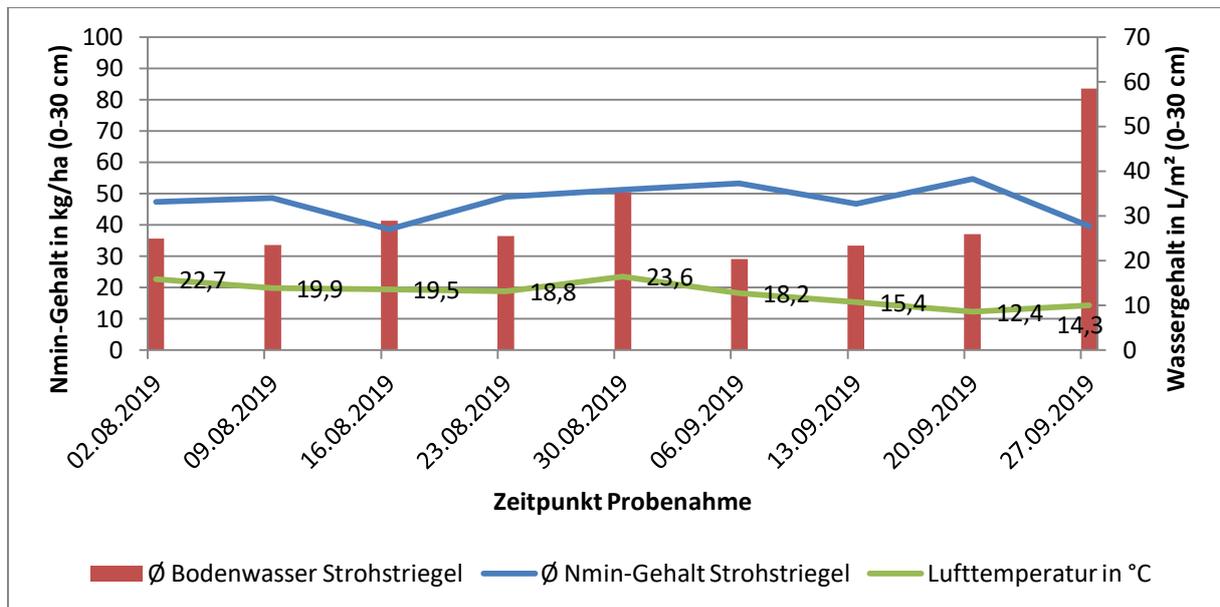


Abbildung 41 - Durchschnittlicher Nmin-Gehalt Strohsriegel (Etappe 1)

Zur Beprobung am 12.10.2019 konnte eine Absenkung im Nmin-Gehalt festgestellt werden (vgl. Abbildung 42). In der zweiten Etappe konnte festgestellt werden, dass sich der Verlauf des Nmin-Gehaltes mit dem Verlauf der Lufttemperatur entwickelte. So stieg der Nmin-Gehalt zum 26.10.2019 an. Im gleichen Zeitraum stieg die Tagesmitteltemperatur ebenfalls an. Folgend sanken beide Parameter gleichmäßig ab.

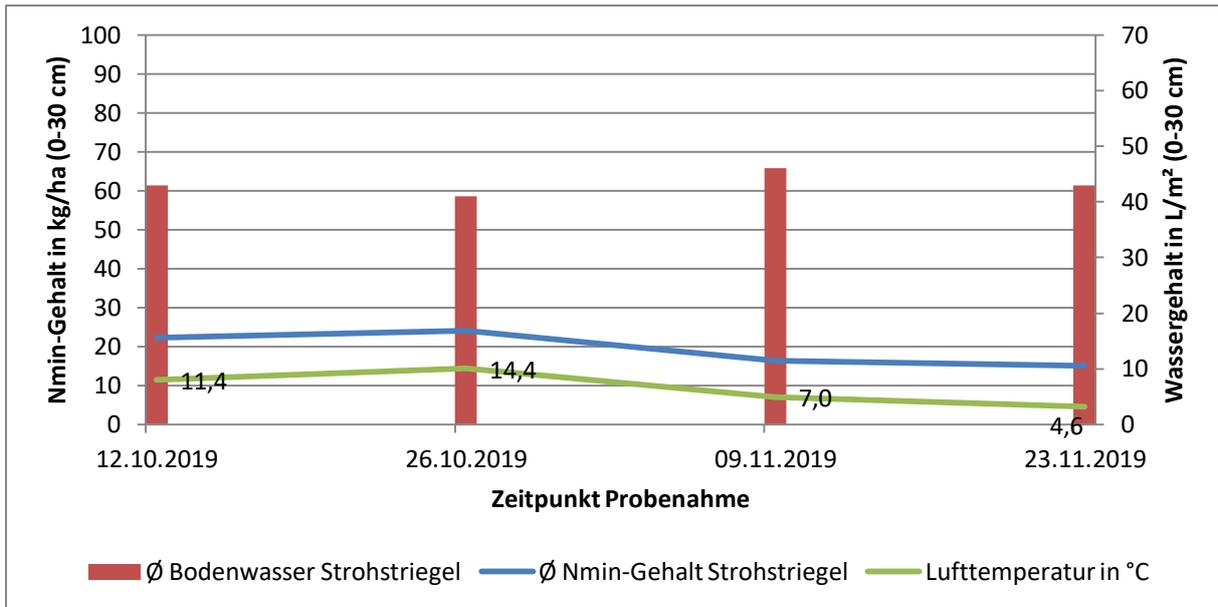


Abbildung 42 - Durchschnittlicher Nmin-Gehalt Strohstriegel (Etappe 2)

Zu Beginn der Winteretappe (Etappe 3) stieg der Bodenwassergehalt an und der Nmin-Gehalt befand sich auf einem geringen Niveau (vgl. Abbildung 43). Auffällig war jedoch, dass der Nmin-Gehalt zum 28.02.2020 stark anstieg. Zu diesem Beprobungstermin stieg die Tagesmitteltemperatur um ca. 2 °C an. Im Verlauf zur Beprobung am 28.03.2020 erfolgte eine Düngungsmaßnahme. Dennoch ist der Nmin-Gehalt abgesunken.

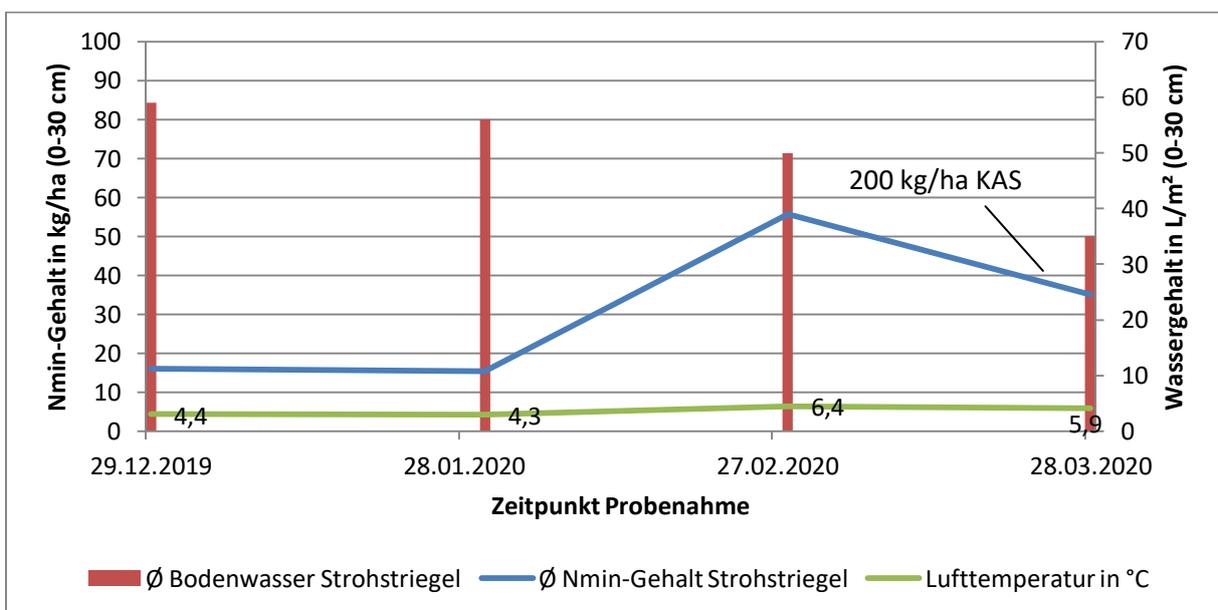


Abbildung 43 - Durchschnittlicher Nmin-Gehalt Strohstriegel (Etappe 3)

Die Etappe 4 beschreibt das Frühjahr 2020 (vgl. Abbildung 44). Zu Beginn dieser Etappe stiegen im Vergleich zur vorherigen Etappe die Tagesmitteltemperatur und auch der Nmin-Gehalt an. Vor der Beprobung am 11.04.2020 war eine weitere Düngungsmaßnahme mit 100 kg/ha KAS durchgeführt worden. Wie in der Abbildung 44 zu erkennen ist, ist der Nmin-Gehalt bis zum 09.05.2020 stark abgesunken. Der Bodenwasserhaushalt befand sich bis zu diesem Beprobungstermin auf einem geringen Niveau. Zur letzten Beprobung am 23.05.2020 konnte ein starker Anstieg im Nmin-Gehalt festgestellt werden. Gleichzeitig stiegen auch der Bodenwasserhaushalt und die Tagesmitteltemperatur an.

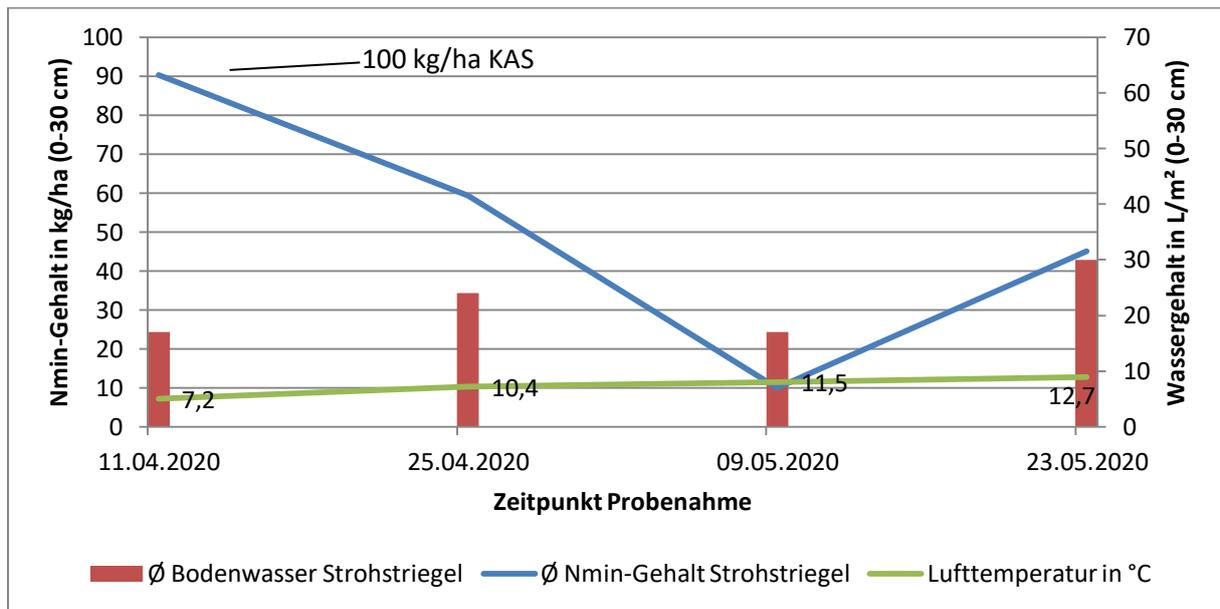


Abbildung 44 - Durchschnittlicher Nmin-Gehalt Strohstriegel (Etappe 4)

In der Variante Cambridgewalze zeigt sich im Vergleich zur Variante Strohstriegel ein anderer Verlauf (vgl. Abbildung 45). Bis auf eine Absenkung zum 30.08.2019 stieg der Nmin-Gehalt an. In dieser Variante konnte jedoch auch beobachtet werden, dass der Bodenwassergehalt etwas höher war. Wie auch in der Variante Strohstriegel sank der Nmin-Gehalt zum 27.09.2019 ab. Gleichzeitig stieg auch hier der Bodenwassergehalt an.

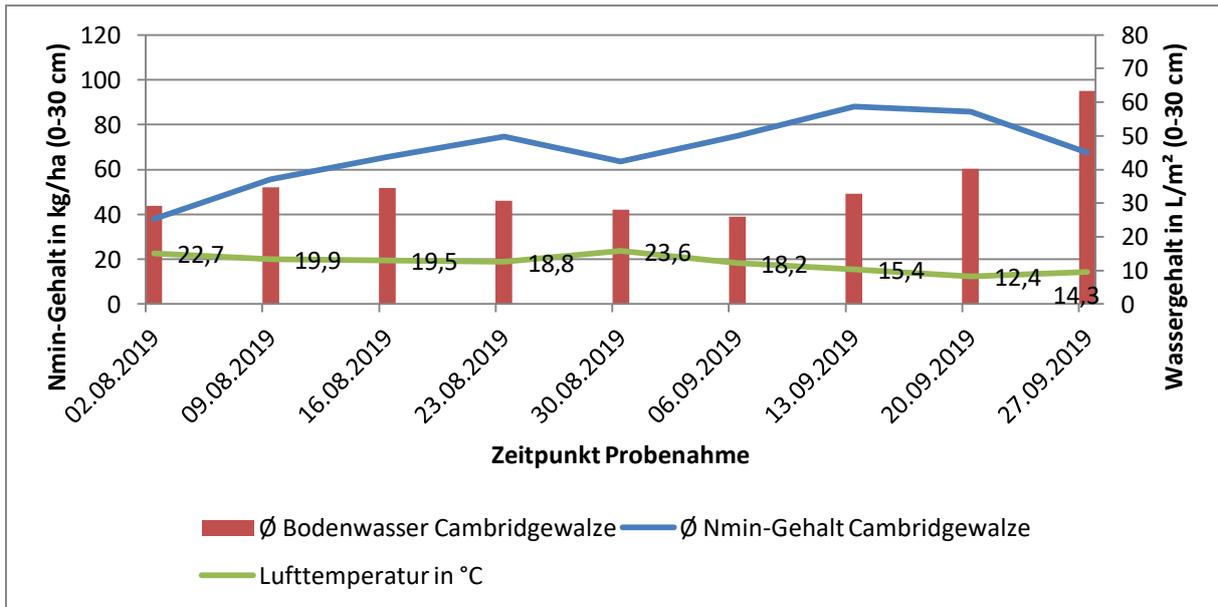


Abbildung 45 - Durchschnittlicher Nmin-Gehalt Cambridgewalze (Etappe 1)

Zu Beginn der zweiten Etappe sank der Nmin-Gehalt weiter ab (vgl. Abbildung 46). Zur Beprobung am 26.10.2019 konnte ein Anstieg im Nmin-Gehalt festgestellt werden. Hier stieg auch die Tagesmitteltemperatur um 3 °C an. Im weiteren Verlauf sank die Tagesmitteltemperatur ab und der Bodenwasserhaushalt stieg an. In diesem Zusammenhang sank der Nmin-Gehalt ab. In dieser Etappe konnte ein Zusammenhang zwischen der Lufttemperatur und dem Nmin-Gehalt erkannt werden.

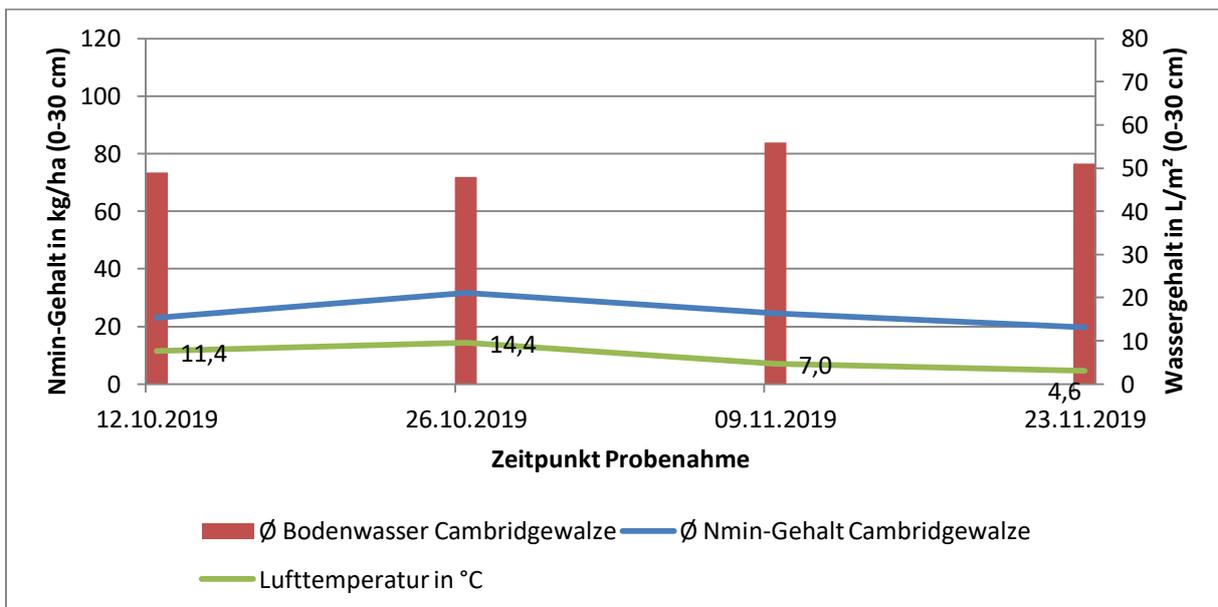


Abbildung 46 - Durchschnittlicher Nmin-Gehalt Cambridgewalze (Etappe 2)

In der Abbildung 47 wird der Nmin-Verlauf der Variante Cambridgewalze in der Winteretappe ersichtlich. Hier konnte beobachtet werden, dass der Nmin-Gehalt zum 30.01.2020 abgesunken ist. Gleichzeitig blieb der Bodenwassergehalt auf einem hohen Niveau. Wie auch in der Variante Strohstriegel, konnte zum 28.02.2020 ein Anstieg im Nmin-Gehalt festgestellt werden, wobei sich die Tagesmitteltemperatur um ca. 2 °C erhöhte. Ebenfalls sank der Nmin-Gehalt zum 28.03.2020 ab, wobei eine Düngungsmaßnahme durchgeführt wurde.

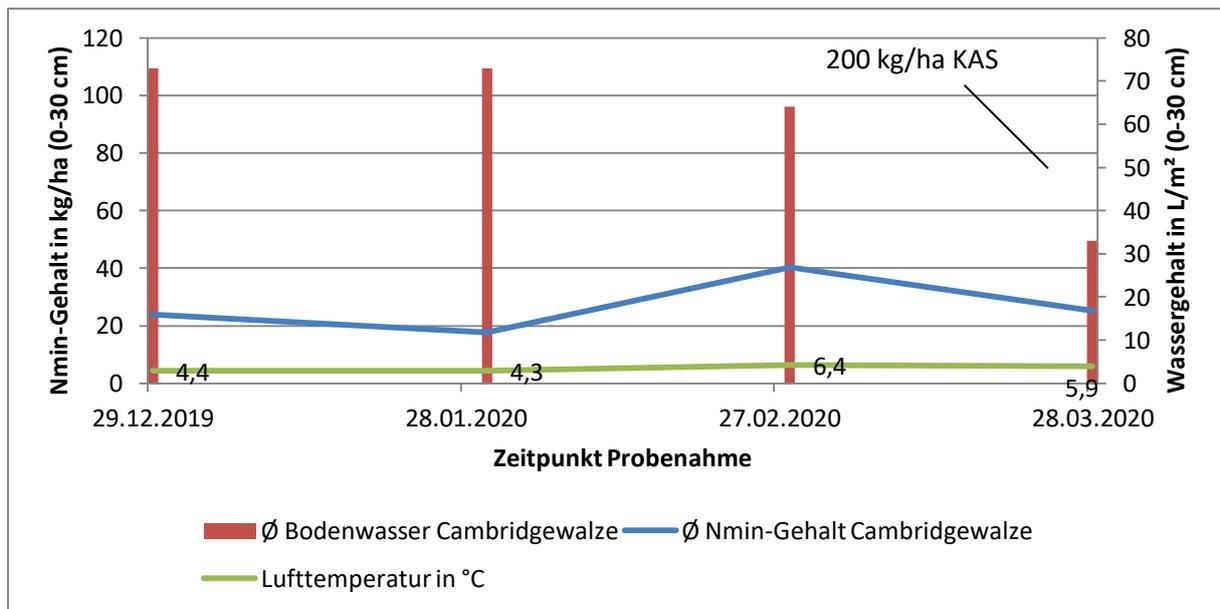


Abbildung 47 - Durchschnittlicher Nmin-Gehalt Cambridgewalze (Etappe 3)

In der vierten Etappe (vgl. Abbildung 48) konnte ein ähnlicher Verlauf wie in der Variante Strohstriegel beobachtet werden. Zur Beprobung am 11.04.2020 wurde eine zweite Düngungsmaßnahme durchgeführt und die Lufttemperatur stieg an. In diesem Zusammenhang stieg auch der Nmin-Gehalt an. Zur Beprobung am 25.04.2020 war der Nmin-Gehalt stark abgesunken und verringerte sich zur Beprobung am 09.05.2020 noch weiter. Am 23.05.2020 erfolgte die letzte Beprobung. Hier konnte ein Anstieg im Nmin-Gehalt festgestellt werden. Gleichzeitig stiegen der Wassergehalt und die Lufttemperatur an.

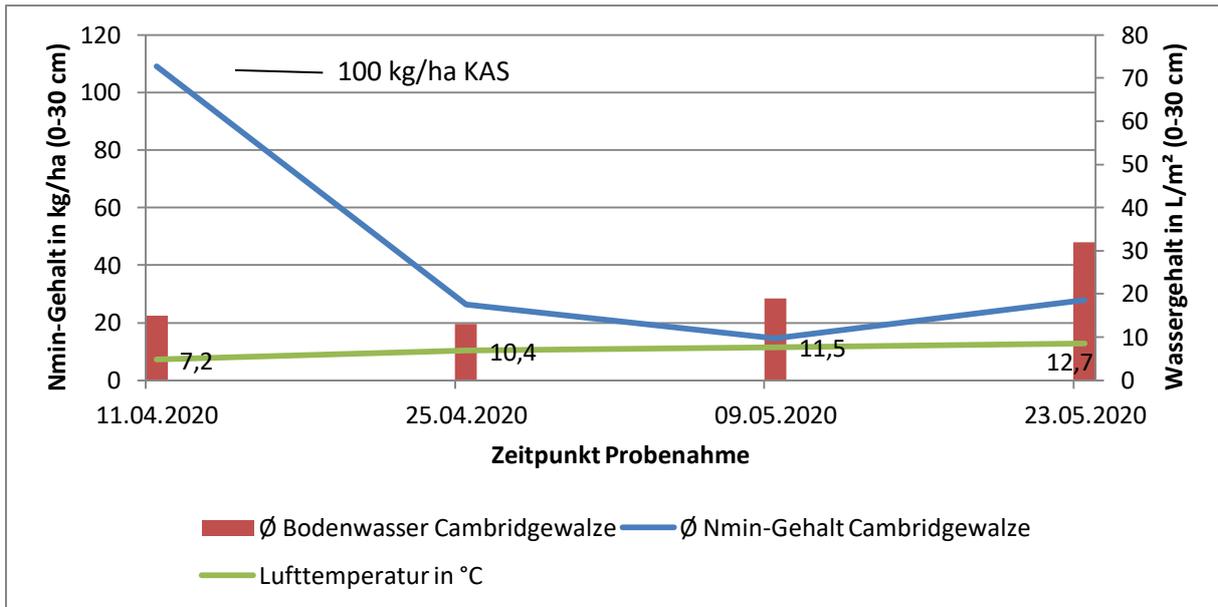


Abbildung 48 - Durchschnittlicher Nmin-Gehalt Cambridgewalze (Etappe 4)

Die Abbildung 49 zeigt den Nmin-Verlauf der Variante Sichelmulcher in der ersten Etappe. Zu erkennen ist hier, dass der Nmin-Gehalt bis zum 30.08.2019 relativ konstant blieb. Folgend stieg dieser bis zum 20.09.2019 an. Ab dem 13.09.2020 konnte auch ein Anstieg im Bodenwassergehalt festgestellt werden. Zum 27.09.2019 stieg der Bodenwassergehalt stark an. Wie auch in den anderen Varianten folgte daraufhin eine starke Absenkung im Nmin-Gehalt.

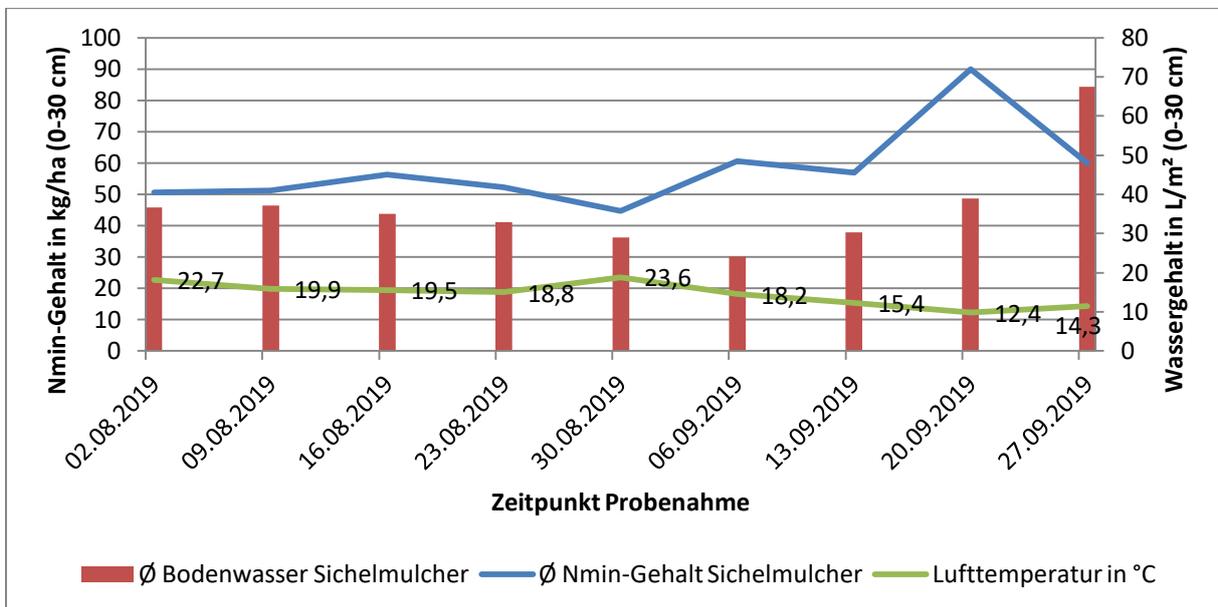


Abbildung 49 - Durchschnittlicher Nmin-Gehalt Sichelmulcher (Etappe 1)

In der zweiten Etappe ist der Nmin-Gehalt gegensätzlich zur Lufttemperatur verlaufen (vgl. Abbildung 50). Über die gesamte Etappe konnte durchweg eine Absenkung des Nmin-Gehaltes beobachtet

werden. Der Bodenwassergehalt zeigte keine starken Veränderungen auf und befand sich generell auf einem hohen Niveau.

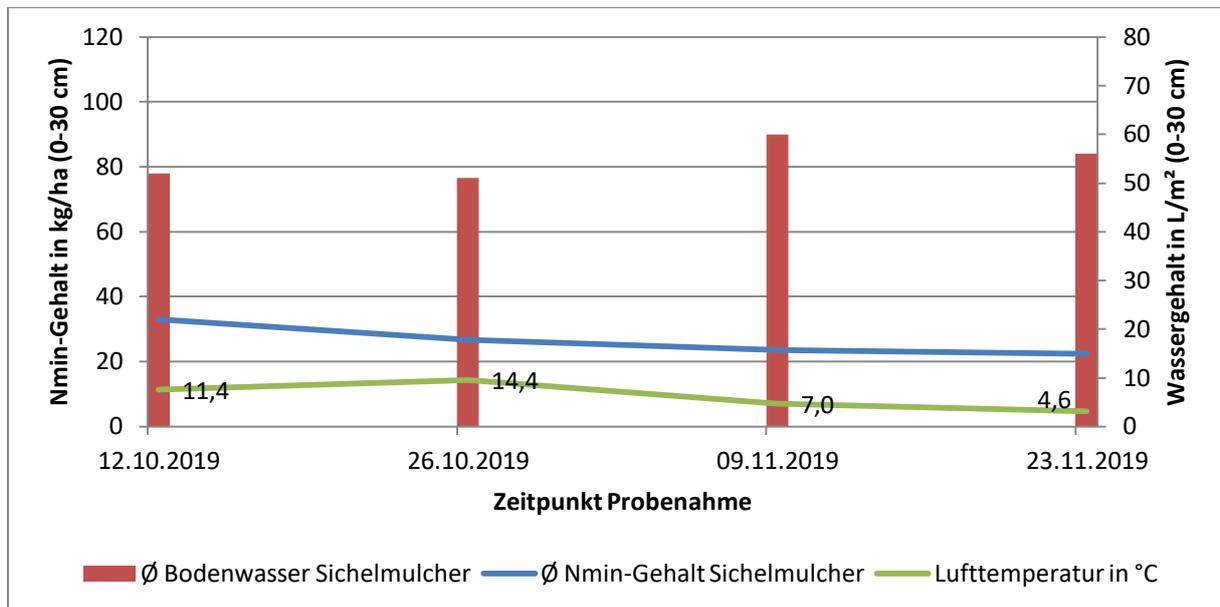


Abbildung 50 - Durchschnittlicher Nmin-Gehalt Sichelmulcher (Etappe 2)

In der Winteretappe zeigte sich zunächst eine Absenkung des Nmin-Gehaltes zum 30.01.2020 (vgl. Abbildung 51). Gleichzeitig konnte ein Anstieg im Bodenwassergehalt festgestellt werden. Wie auch in den anderen Varianten stieg der Nmin-Gehalt nach einer Erhöhung der Lufttemperatur zum 28.02.2020 an. Gegensätzlich zu den andern Varianten zeigte sich der Nmin-Verlauf zum 28.03.2020. Nach einer Düngungsmaßnahme stieg der Nmin-Gehalt stark an. Auch der Bodenwassergehalt stieg zu diesem Zeitpunkt an.

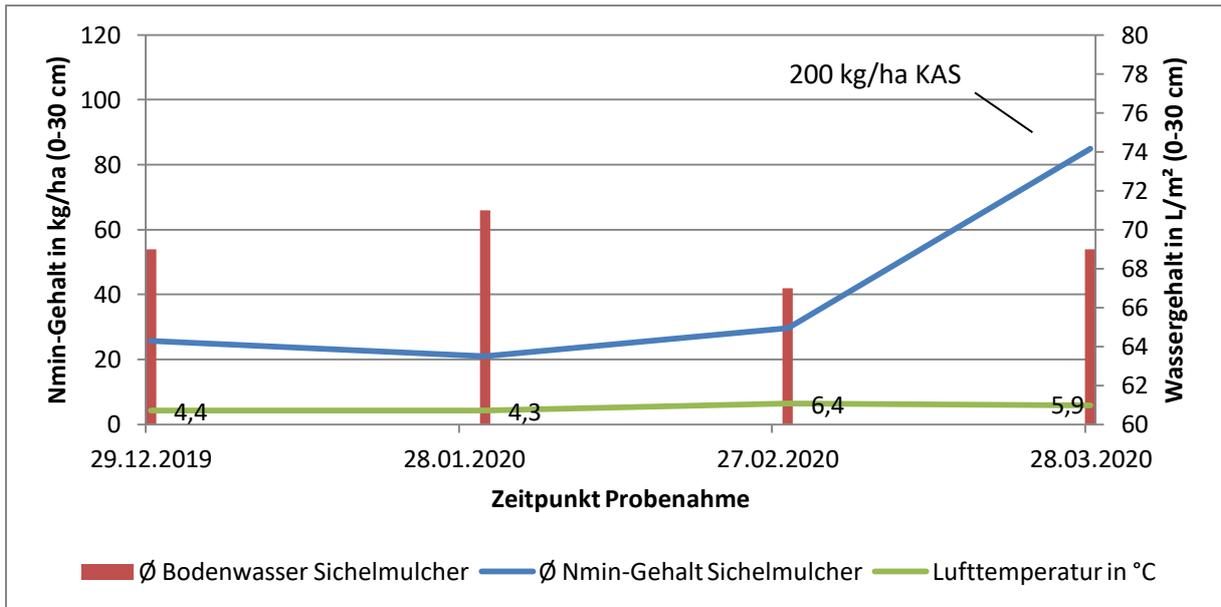


Abbildung 51 - Durchschnittlicher Nmin-Gehalt Sichelmulcher (Etappe 3)

Ein gegensätzlicher Verlauf konnte auch in der vierten Etappe festgestellt werden (vgl. Abbildung 52). Anders als in den anderen Varianten sank der Nmin-Gehalt zum 11.04.2020 ab und stieg zum 25.04.2020 leicht an. Wie auch in den anderen Varianten erfolgte zum 09.05.2020 eine Absenkung des Nmin-Gehaltes. Bei steigendem Bodenwassergehalt und steigender Lufttemperatur, ist auch der Nmin-Gehalt zur letzten Beprobung angestiegen.

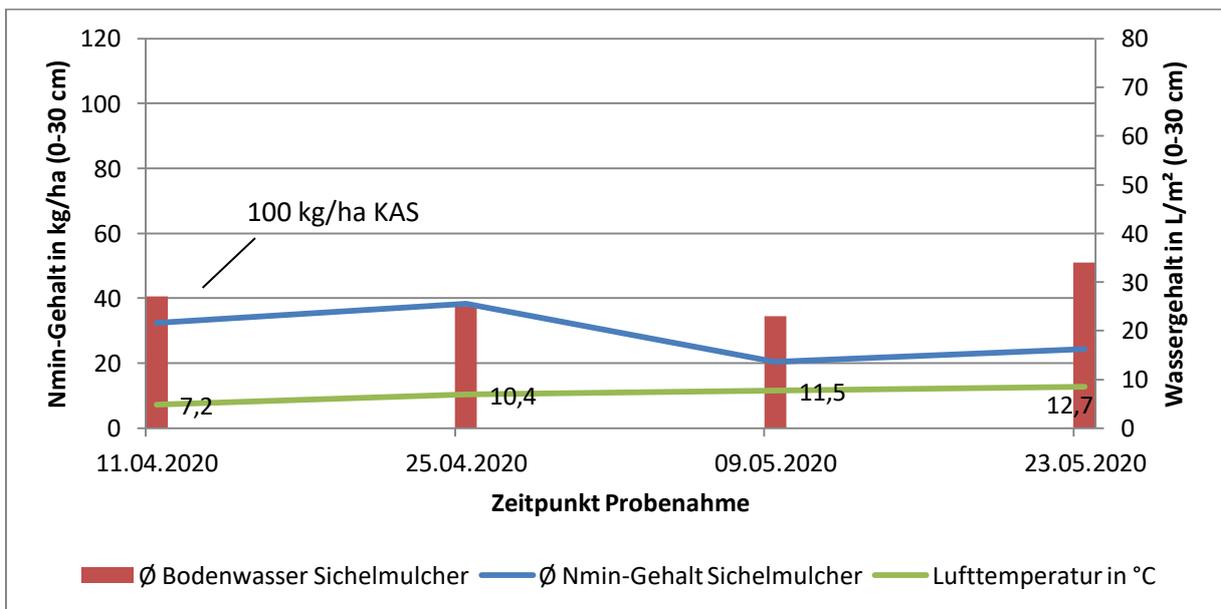


Abbildung 52 - Durchschnittlicher Nmin-Gehalt Sichelmulcher (Etappe 4)

Wie in der Abbildung 53 zu erkennen ist, stieg der Nmin-Gehalt der Variante Scheibenegge in der ersten Etappe an. Dieser Anstieg konnte setzte sich bis zum 13.09.2020 fort. Ab dem 20.09.2020 stieg der Bodenwassergehalt. Anschließend war der Nmin-Gehalt bis zum 27.09.2020 abgesunken.

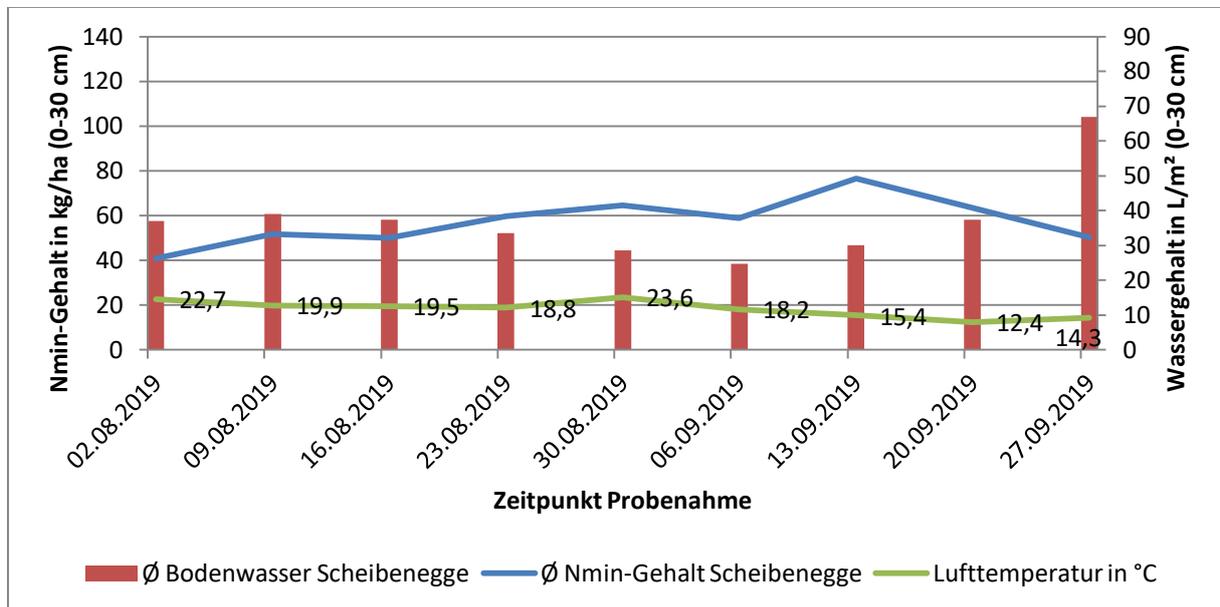


Abbildung 53 - Durchschnittlicher Nmin-Gehalt Scheibenegge (Etappe 1)

Zu Beginn der zweiten Etappe sank der Nmin-Gehalt etwas ab (vgl. Abbildung 54). Der Verlauf des Nmin-Gehaltes zeigte in der gesamten Etappe durchweg eine Absenkung bis zum 23.11.2020. Der Bodenwasserhaushalt unterlag leichten Schwankungen, befand aber sich dennoch auf einem hohen Niveau.

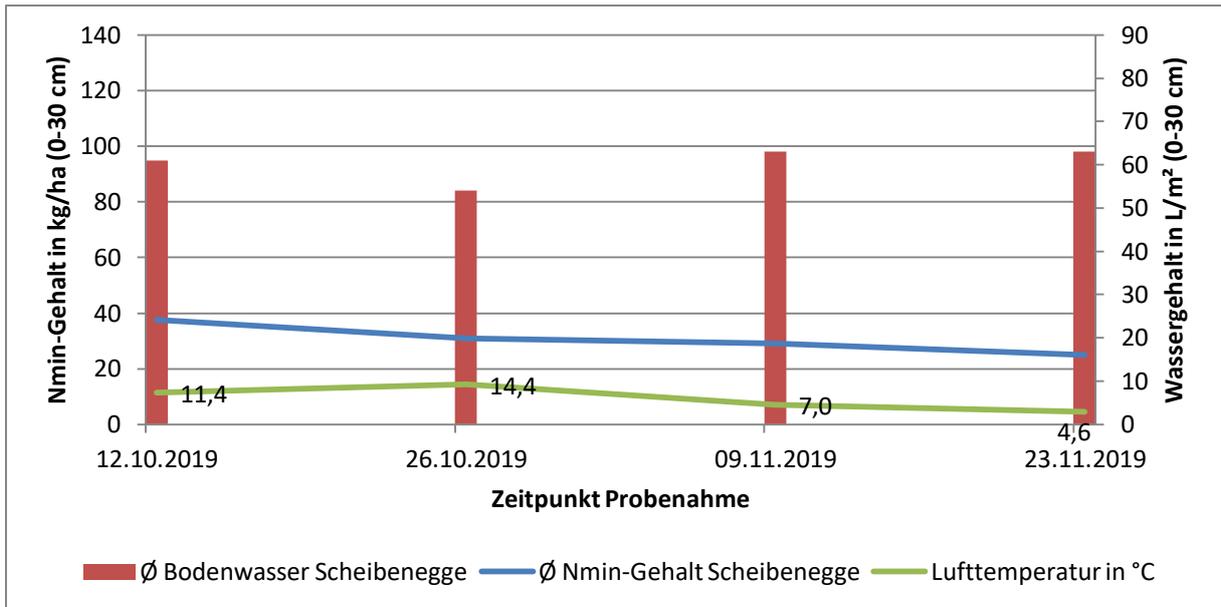


Abbildung 54 - Durchschnittlicher Nmin-Gehalt Scheibenegge (Etappe 2)

Die dritte Etappe konnte ohne weitere Schwankung an die zweite Etappe anschließen. Wie in der Abbildung 55 zu erkennen ist, veränderte sich der Nmin-Gehalt zum 28.01.2020 kaum, wohingegen der Bodenwasserhaushalt gestiegen ist. Wie auch in den anderen Varianten stieg der Nmin-Gehalt an, als zum 28.02.2020 die Lufttemperatur um ca. 2 °C angestiegen ist. Wie auch in der Variante Cambridgewalze, konnte auch in der Variante Scheibenegge ein Nmin-Anstieg zum 28.03.2020 beobachtet werden. Zu diesem Beprobungstermin stieg der Bodenwassergehalt leicht an und es erfolgte eine Düngungsmaßnahme.

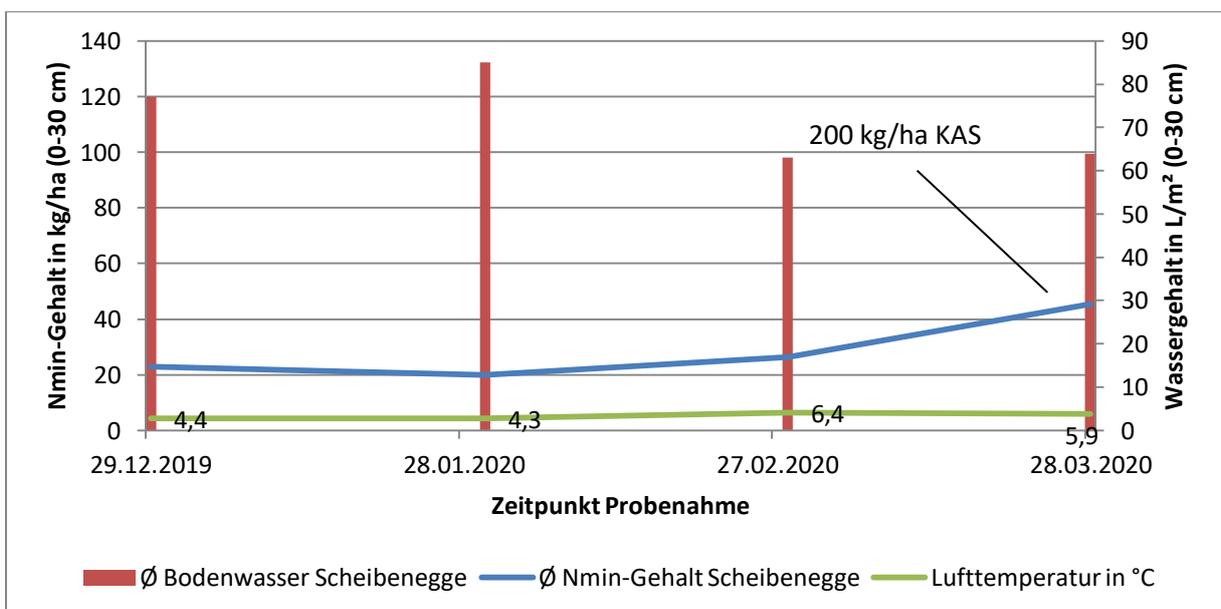


Abbildung 55 - Durchschnittlicher Nmin-Gehalt Scheibenegge (Etappe 3)

Wie bereits in den Varianten Strohstriegel und Cambridgewalze erkannt wurde, stieg der Nmin-Gehalt auch in der Variante Scheibenegge zum 11.04.2020 an (vgl. Abbildung 56). Im Verlauf zum 25.04.2020 konnten ebenfalls Parallelen zu den Varianten Strohstriegel und Cambridgewalze festgestellt werden. Der Nmin-Gehalt sank stark ab. Im weiteren Verlauf blieb der Nmin-Gehalt konstant bis zum 23.05.2020. Gleichzeitig stieg die Tagesmitteltemperatur und der Bodenwassergehalt.

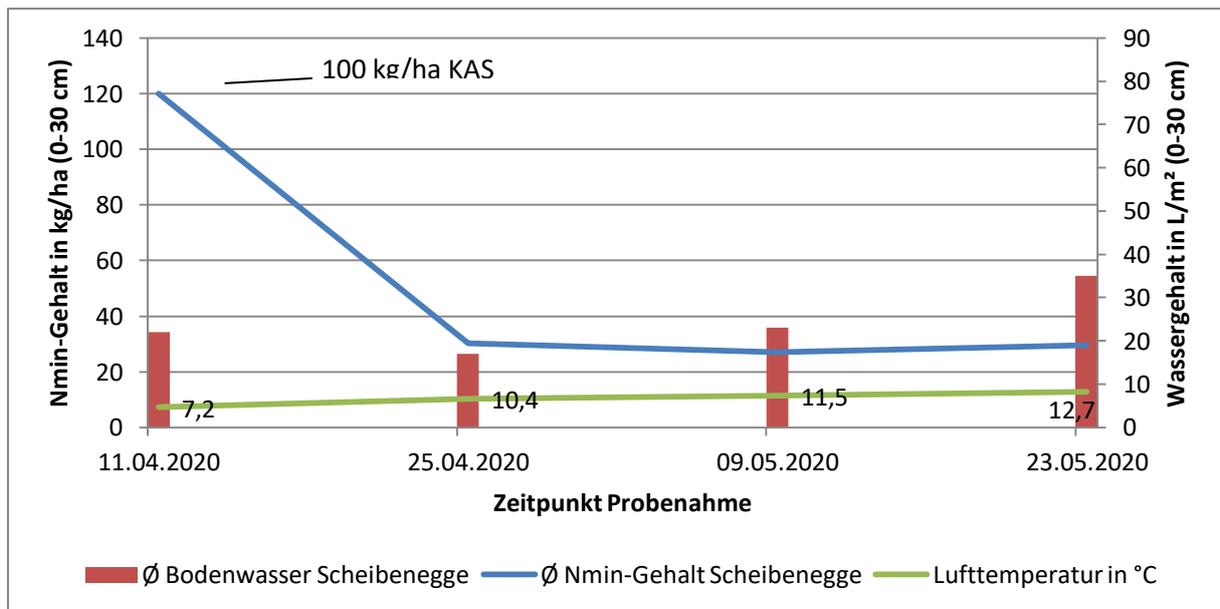


Abbildung 56 - Durchschnittlicher Nmin-Gehalt Scheibenegge (Etappe 4)

Die Mittelwerte der Nmin-Gehalte wurden durch die Einzelwerte der drei Messpunkte berechnet. Jedoch unterlagen die Einzelwerte großen Schwankungen. Durch die folgenden Tabellen soll die Variabilität der Einzelwerte verdeutlicht werden.

In der Tabelle 20 ist die Variabilität in der Variante Strohstriegel zu erkennen. Hierbei wird deutlich, dass vor allem zu den Beprobungsterminen am 28.02.2020, 25.04.2020 und 23.05.2020 große Abweichungen vom Mittelwert vorhanden waren. Im Zeitraum vom 12.10.2019 bis zum 30.01.2020 waren die Abweichungen vom Mittelwert gering.

Tabelle 20 - Variabilität des Nmin-Gehaltes Strohstriegel

Zeitpunkt Probenahme	Mittelwert Nmin-Gehalt in kg/ha	Standartabweichung in kg/ha
02.08.2019	47	26
09.08.2019	49	13
16.08.2019	39	7
23.08.2019	49	10
30.08.2019	51	6
06.09.2019	53	7
13.09.2019	47	7
20.09.2019	55	17
27.09.2019	40	10
12.10.2019	22	4
26.10.2019	24	3
09.11.2019	16	6
23.11.2019	15	3
29.12.2019	16	6
30.01.2020	15	5
28.02.2020	56	43
28.03.2020	35	4
11.04.2020	90	18
25.04.2020	59	49
09.05.2020	10	4
23.05.2020	45	49

Die Tabelle 21 beschreibt die Abweichung vom Mittelwert in der Variante Cambridgewalze. Hier ist zu erkennen, dass große Abweichungen vor allem in der ersten Etappe (02.08.2019-27.09.2019) aufgetreten sind. Wie auch bereits in der Variante Strohstriegel sind die Standartabweichungen im Zeitraum vom 12.10.2019 bis zum 30.01.2020 gering.

Tabelle 21 - Variabilität des Nmin-Gehaltes Cambridgewalze

Zeitpunkt Probenahme	Mittelwert Nmin in kg/ha	Standartabweichung in kg/ha
02.08.2019	38	13
09.08.2019	56	23
16.08.2019	66	35
23.08.2019	75	34
30.08.2019	64	12
06.09.2019	75	38
13.09.2019	88	30
20.09.2019	86	41
27.09.2019	68	26
12.10.2019	23	9
26.10.2019	32	5
09.11.2019	25	3
23.11.2019	20	5
29.12.2019	24	6
30.01.2020	18	5
28.02.2020	40	27
28.03.2020	25	2
11.04.2020	109	16
25.04.2020	26	12
09.05.2020	15	6
23.05.2020	28	1

Auch in der Variante Sichelmulcher traten hohe Standartabweichungen auf (vgl. Tabelle 22). Zu den Messterminen am 20.09.2019 und am 28.03.2020 waren die Abweichungen sehr groß. Wie bereits in den Varianten Strohstriegel und Cambridgewalze befanden sich die Standartabweichung in der Variante Sichelmulcher im Zeitraum vom 12.10.2019 bis zum 30.01.2020 auf einem geringen Niveau.

Tabelle 22 - Variabilität des Nmin-Gehaltes Sichelmulcher

Zeitpunkt Probenahme	Mittelwert Nmin in kg/ha	Standartabweichung in kg/ha
02.08.2019	51	2
09.08.2019	51	18
16.08.2019	56	8
23.08.2019	52	9
30.08.2019	45	10
06.09.2019	61	6
13.09.2019	57	8
20.09.2019	90	30
27.09.2019	60	10
12.10.2019	33	5
26.10.2019	27	7
09.11.2019	24	5
23.11.2019	22	6
29.12.2019	26	6
30.01.2020	21	7
28.02.2020	30	13
28.03.2020	85	57
11.04.2020	32	10
25.04.2020	38	18
09.05.2020	20	5
23.05.2020	24	4

In der Variante Scheibenegge traten nicht so starke Abweichungen auf wie in den anderen Varianten (vgl. Tabelle 23). Die größten Standartabweichungen traten am 06.09.2019 und am 11.04.2020 mit 28 kg/ha Nmin auf. Wie in den anderen Varianten zeigte sich auch in der Variante Scheibenegge, dass im Zeitraum vom 12.10.2019 bis zum 30.01.2020 geringe Abweichungen auftraten. In dieser Variante weitete sich der Zeitraum der geringen Abweichungen bis zum 28.03.2020 aus.

Tabelle 23 - Variabilität des Nmin-Gehaltes Scheibenegge

Zeitpunkt Probenahme	Mittelwert Nmin in kg/ha	Standartabweichung in kg/ha
02.08.2019	41	9
09.08.2019	52	11
16.08.2019	50	5
23.08.2019	60	3
30.08.2019	65	5
06.09.2019	59	28
13.09.2019	77	22
20.09.2019	63	17
27.09.2019	50	20
12.10.2019	38	8
26.10.2019	31	7
09.11.2019	29	4
23.11.2019	25	4
29.12.2019	23	5
30.01.2020	20	3
28.02.2020	26	7
28.03.2020	45	6
11.04.2020	120	28
25.04.2020	30	6
09.05.2020	27	10
23.05.2020	30	6

5.6 Ökonomische Betrachtung der Varianten

Folgend werden die Ergebnisse der ökonomischen Berechnungen, der im Versuch angewendeten Verfahren dargestellt. Die Erträge schwanken zwischen den Verfahren stark. Die Schwankungsbreite beträgt 1,81 t/ha. Die Variante Cambridgewalze erwirtschaftete den geringsten Ertrag, mit 4,89 t/ha (vgl. Tabelle 24). Die Variante Strohstriegel befindet sich mit 5,10 t/ha leicht über dem Ertrag der Cambridgewalze. Die Varianten Sichelmulcher und Scheibenegge unterscheiden sich kaum voneinander. Die Scheibenegge konnte mit 6,70 t/ha den höchsten Ertrag der getesteten Varianten erzielen. Der Sichelmulcher lag mit 6,41 t/ha etwas unter der Variante Scheibenegge. Der Preis für das Erntegut betrug bei allen Varianten 140 €/t. Der Preis wurde aufgrund von Originalzahlen aus dem Testbetrieb entnommen. Folglich verteilt sich die Abstufung gleichermaßen, wie die Erträge. Die Variante Scheibenegge hat mit 938 €/ha die höchste Marktleistung und die Variante Cambridgewalze mit 684 €/ha die geringste. Die Schwankungsbreite beträgt 254 €/ha.

Tabelle 24 – Berechnung der stoppelbearbeitungsfreien Leistung (€/ha) aller Varianten

	Stroh- striegel	Cambridge- walze	Sichel- mulcher	Scheiben- egge	Gesamt- betrieb
Ertrag (t/ha)	5,10	4,89	6,41	6,70	6,86
Preis (€/t)	140,00 €	140,00 €	140,00 €	140,00 €	140,00 €
Marktleistung (€/ha)	714,00 €	684,60 €	897,40 €	938,00 €	960,40 €
Stoppelbearbeitung (€/ha)	15,00 €	25,49 €	50,45 €	39,13 €	104,56 €
Stoppelbearbeitungsfreie Leistung (€/ha)	699,00 €	659,11 €	846,95 €	898,87 €	855,84 €

Die günstigste Variante stellt der Strohstriegel dar. Die Kosten liegen hierbei bei 15,00 €/ha. Die kostenintensivste Parzelle stellt, mit 50,45 €/ha, der Sichelmulcher dar. Die Variante Scheibenegge verursacht Kosten in Höhe von 39,13 €/ha. Die Kosten der Cambridgewalze liegen bei 25,49 €/ha. Somit liegt die Schwankungsbreite bei 35,45 €/ha. Mit diesen Werten lässt sich die stoppelbearbeitungsfreie Leistung berechnen. Die Variante Scheibenegge erzielt mit 898,87 €/ha die höchste stoppelbearbeitungsfreie Leistung. Den geringsten Betrag erzielt die Variante Cambridgewalze mit 659,11 €/ha. Die Variante Strohstriegel erzielt einen Betrag von 699,00 €/ha. Die stoppelbearbeitungsfreie Leistung der Variante Sichelmulcher beträgt 846,95 €/ha.

6. Diskussion

Im folgenden Abschnitt werden die ermittelten Ergebnisse, unter Betrachtung der Fragestellungen diskutiert. Hierbei wird auf die Literatur Bezug genommen.

6.1 Unterschiede in Bezug auf den Wasserhaushalt bei den unterschiedlichen Verfahren

6.1.1 Niederschläge

Die Verteilung der selbst gemessenen Niederschläge zeigte zu einem großen Teil Abweichungen von den Messwerten der Wetterstation Genthin (DWD, 2020). Da die Entfernung vom Feldversuch zur Wetterstation in Genthin ca. 3 km in der Luftlinie beträgt kann davon ausgegangen werden, dass Abweichungen selbstverständlich sind. Auch die Messtechnik unterscheidet sich maßgeblich. Die Messung der Niederschläge auf dem Feldversuch erfolgte mit einem kegelförmigen Niederschlagsmessgerät auf welchem eine Skala abgebildet ist. Für die Zwecke in der Landwirtschaft sind solche Geräte hinreichend genau. Die Messtechnik auf der Wetterstation erfolgt nach genauen wissenschaftlichen Maßstäben und Kriterien, sodass eventuelle Verdunstungen und ungleichmäßige Verteilungen ausgeglichen werden. Dies erfolgt auf dem Feldversuch nicht. Ein Landwirt kann, falls keine Niederschlagsmessungen durchgeführt werden, auf Werte des Deutschen Wetterdienstes zurückgreifen. Diese Werte zeigen an inwieweit Niederschlag vorhanden war. An dem Ergebnis dieser Arbeit ist abzuleiten, dass Werte des Deutschen Wetterdienstes eine grobe Richtung angeben. Jedoch die Messung auf dem Feld dennoch durchgeführt werden sollte.

6.1.2 Bodenwasserhaushalt

Nach VOSSHENRICH (2016) werden Niederschläge durch eine Mulchauflage gebunden. Eine Mulchauflage weisen die Varianten Strohstriegel, Cambridgewalze und Sichelmulcher auf. In diesen Varianten müsste somit der Anstieg des Bodenwasserhaushaltes flacher verlaufen als in der Variante Scheibenegge. Die Variante Scheibenegge wurde mit einer Kurzscheibenegge bearbeitet und weist daher keine große Mulchauflage auf. Jedoch untersuchte VOSSHENRICH (2016) auch die Abgabe des Bodenwassers in Verbindung mit dem Boden und der Stroheinarbeitung. Laut VOSSHENRICH (2016) ist eine Abgabe des Bodenwassers gleichmäßiger, wenn eine Mulchschicht vorhanden ist. Bei

eingearbeitetem Stroh soll die Evaporation zunächst höher sein, jedoch im zeitlichen Verlauf abnehmen. Letztendlich soll die Evaporation sowohl bei einer Mulchschicht als auch bei eingearbeitetem Stroh gleich sein.

Da alle Probenahmen gleichzeitig durchgeführt wurden und das Verfahren zu jeden Probenahmen wiederholt wurde, ist es verwunderlich, dass die Variante Strohstriegel bei den Probenahmen am 16.08.2019 und am 30.08.2019 einen Anstieg aufweist, wohingegen die Varianten Cambridgewalze, Sichelmulcher und Scheibenegge eine Absenkung des Bodenwasserhaushaltes aufweisen. Unter Umständen besteht die Möglichkeit, dass in der Variante Strohstriegel Niederschläge vorerst stärker gebunden werden, jedoch durch eine geringere Evaporation später freigesetzt werden und im Boden messbar sind. Eine stärkere Bindung der Niederschläge ist bei den Probenahmen vom 06.09.2019 bis zum 20.09.2019 zu erkennen. Während in der Zeit zwischen dem 06.09.2019 und dem 20.09.2019 höhere Niederschläge messbar waren, stiegen die Varianten Cambridgewalze, Sichelmulcher und Scheibenegge stärker im Bodenwasserhaushalt an als die Variante Strohstriegel. Somit werden in dieser Variante die Niederschläge stärker gebunden. Wie bereits VOSSHENRICH (2016) feststellte ist auch auf dem Feldversuch zu erkennen, dass eine stärkere Mulchschicht Niederschläge bindet. Ein Anstieg des Bodenwasserhaushaltes nach vorhandenen Niederschlagsereignissen ist eindeutig nur in den Beprobungsterminen am 13.09.2019, 20.09.2019 und 27.09.2019 ersichtlich. Wie VOSSHENRICH (2016) feststellte, ist eine Infiltration des Niederschlages in den Boden erst ab einer Niederschlagsmenge von 8 mm effektiv, da ab diesem Zeitpunkt die Wasserbindung durch Stroh abnimmt. Zu den Beprobungsterminen am 13.09.2019 und 27.09.2019 sind Niederschläge über 8 mm eingetreten. Dies wirkte sich auf den Bodenwasserhaushalt positiv aus. Zum Beprobungstermin am 20.09.2019 waren lediglich 1,5 mm Niederschlag vorhanden, jedoch stieg dort der Bodenwasserhaushalt an. Erklären lässt sich der Effekt durch die weitere Wasserabgabe an den Boden durch das Stroh. In den vorherigen Wochen waren die Niederschläge gering. Es lässt sich aus den Ergebnissen des Wasserhaushaltes nicht eindeutig erkennen, dass Niederschläge vorhanden waren. Die vorhandene Strohaufgabe hat leichte Niederschläge gebunden, sodass diese nicht bzw. nur gering infiltrieren konnten. Zum Ende näherte sich der Bodenwasserhaushalt aller Varianten aneinander an. Dies entspricht der Aussage von VOSSHENRICH (2016).

Während der zweiten Etappe konnte ein einheitlicher Verlauf des Bodenwasserhaushaltes beobachtet werden. Begründet kann dies werden, da das Pflanzenwachstum in der Herbstetappe nicht sehr stark gewesen ist. Aus diesem Grund war die Evapotranspiration geringer und der Verlauf des Bodenwasserhaushaltes erfolgte einheitlicher. Da keine großen Abweichungen im Vergleich der Varianten aufgetreten sind und der Bodenwasserhaushalt zum Ende der Etappe noch einheitlich vorzufinden war, kann der der Aussage von VOSSHENRICH (2016) zugestimmt werden.

Nach einem einheitlichen Start des Bodenwasserhaushaltes in der Winteretappe sind ab der Beprobung am 28.02.2020 zwei Trends zu beobachten. Während der Bodenwasserhaushalt in den Varianten Sichelmulcher und Scheibenegge zur Beprobung am 28.03.2020 angestiegen ist, sank der Bodenwasserhaushalt in den Varianten Strohstriegel und Cambridgewalze ab. Nach VOSSHENRICH (2016) müsste in den Varianten Strohstriegel, Cambridgewalze und Sichelmulcher aufgrund der Mulchauflage eine Evaporation gleichmäßig verlaufen. In der Variante Scheibenegge müsste der Bodenwasserhaushalt anfangs stärker evaporieren, sich jedoch später an die anderen Varianten angleichen. Dieser Effekt kann in der Winteretappe nicht beobachtet werden. Dies kann durch die Infiltration in den Boden begründet werden. Nach VOSSHENRICH (2016) sind Niederschläge ab 8 mm effektiv, da Stroh Wasser bindet. In der Variante Scheibenegge wurde das Stroh eingearbeitet, somit können Niederschläge besser infiltrieren. Zum vorangegangenen Zeitpunkt kann die Strohaufgabe in der Variante Sichelmulcher bereits stark zersetzt sein. Somit ist die Mulchauflage geringer und kann weniger Niederschläge binden. Die nicht so stark zersetzte Strohaufgabe in den Varianten Strohstriegel und Cambridgewalze kann somit mehr Niederschläge binden, welche dann nicht im Bodenwasserhaushalt gemessen werden können.

Ansetzend zur Winteretappe startete die Frühjahrsetappe mit höheren Bodenwasserhaushalten in den Varianten Sichelmulcher und Scheibenegge. Wie zum Ende der Winteretappe waren die Bodenwasserhaushalte in den Varianten Strohstriegel und Cambridgewalze geringer. Weiterhin waren die Absenkungen im Bodenwasserhaushalt in den Varianten Cambridgewalze und Sichelmulcher relativ einheitlich. Ein „Ausreißer“ konnte zum 25.04.2020 in der Variante Strohstriegel beobachtet werden. Dieser „Ausreißer“ lässt sich durch eine spätere Abgabe des im Stroh gebundenen Wassers erklären. Die Variante Scheibenegge zeigte eine etwas stärkere Absenkung im Bodenwasserhaushalt. Nach höheren Niederschlägen zur Beprobung am 09.05.2020 konnte bis zur letzten Beprobung (23.05.2020) ein einheitlicher Anstieg im Bodenwasserhaushalt beobachtet werden, welcher in einer Angleichung aller Varianten endete. Somit kann in der Frühjahrsetappe der Aussage von VOSSHENRICH (2016) zugestimmt werden. Die Mulchvarianten Cambridgewalze und Sichelmulcher sinken im Bodenwasserhaushalt recht gleichmäßig ab, während der Bodenwasserhaushalt in der Variante Scheibenegge etwas stärker abgesunken ist. Letztendlich näherte sich der Bodenwasserhaushalt in allen Varianten, wie auch im Laborversuch von VOSSHENRICH (2016), aneinander an.

Ein Versuch im Labor hat zu jeder Zeit optimale einheitliche Bedingungen. Dagegen unterscheidet sich im Feldversuch die Sonneneinstrahlung, leichte Bodenunterschiede, verschiedene Windstärken und noch weitere Faktoren, welche dazu führen, dass eine Konstanz nicht immer zu erkennen ist. In der Frühjahrsetappe konnte eine stärkere Verdunstung in der Variante Scheibenegge beobachtet

werden, was der Aussage von VOSSHENRICH (2016) zustimmt. Letztendlich ist der Aussage von VOSSHENRICH (2016) zuzustimmen, dass sich Mulchschicht-Varianten und eingearbeitete Varianten letztendlich annähern. Dieser Effekt wurde hiermit nachgewiesen.

Nach BODENKUNDLICHER KARTIERANLEITUNG (2005) ist die Feldkapazität abhängig von der Bodenart und dem Humusgehalt. Da der Humusgehalt und der Lehmanteil in westliche Richtung zunehmen, steigt somit die Feldkapazität (BODENKUNDLICHE KARTIERANLEITUNG, 2005). In allen Varianten zeigte der Messpunkt 3 im Verlauf oftmals den höchsten Wassergehalt. Dies kann durch die zunehmende Feldkapazität erklärt werden (BODENKUNDLICHE KARTIERANLEITUNG, 2005). An den Messpunkten 1 und 2 ist ein geringer Humusgehalt vorhanden (BODENKUNDLICHE KARTIERANLEITUNG, 2005). Bei der Betrachtung der Verläufe des Bodenwassergehaltes konnte ein ähnlicher Verlauf der Messpunkte 1 und 2 beobachtet werden. Zwar weist der Messpunkt 2 einen leicht höheren Humusgehalt auf (BODENKUNDLICHE KARTIERANLEITUNG, 2005), jedoch weist der vorhandene Boden aufgrund der Bodenart keine hohe Feldkapazität auf (BODENKUNDLICHE KARTIERANLEITUNG, 2005). Somit lassen sich die ähnlichen Verläufe grundsätzlich auf die Bodenart zurückführen (BODENKUNDLICHE KARTIERANLEITUNG, 2005).

6.2 Auswirkung verschiedener Stoppelbearbeitungsvarianten auf Auflaufverhalten der Vorfrucht Winterroggen aus

Um das Samenpotential im Boden zu verringern und insbesondere das Keimen der Ausfallkörner der Vorfrucht zu fördern, ist eine Stoppelbearbeitung notwendig. Nach VOSSHENRICH (2016) soll eine Stoppelbearbeitung Samen von organischer Masse entmischen und zum Keimen anregen. Demnach soll der Striegel den besten Erfolg erzielen, da Samen nicht zu tief in den Boden gelangen, was eine Keimhemmung vermindern soll (VOSSHENRICH, 2016). Im Feldversuch zeigte sich, dass die Varianten, welche nicht oder nur wenig in den Boden eingreifen, den schlechtesten Auflaufverfolg erzielten. Die Variante Scheibenegge erzielte mit Abstand den besten Auflaufverfolg. Dieses Ergebnis widerspricht VOSSHENRICH (2016). Begründet kann dies jedoch durch die Trockenheit werden. Die Ausfallkörner lagen auf dem Boden bzw. unter der Mulchschicht. Da kleinere Niederschläge schnell verdunsteten oder teilweise nicht durch die Mulchschicht gelangt sind, waren die Ausfallkörner zu wenig befeuchtet. Dadurch wurden diese Ausfallkörner nicht zum Keimen angeregt. In der Variante Scheibenegge befanden sich die Ausfallkörner flach im Boden. Die vorhandenen Niederschläge konnten direkt in den Boden infiltrieren, somit waren die Ausfallkörner umgeben von feuchtem Boden und konnten sowohl schneller, als auch effektiver keimen. Wären in diesem Zeitraum höhere

Niederschläge vorhanden gewesen, wäre es möglich ein Ergebnis zu erhalten, welches der Aussage von VOSSHENRICH (2016) entspricht.

Nach HERRMANN et al. (1998) soll durch die Stoppelbearbeitung unproduktive Verdunstung unterbunden werden. Dazu sollen Kapillaren gebrochen werden. Dies ist in jeder Variante erfüllt worden. Jedoch sollen weiterhin Ausfallkörner und Unkrautsamen zum Auflaufen angeregt werden (HERRMANN et al., 1998). Dieser Effekt konnte nur eindeutig mit der Scheibenegge erzielt werden. Dies ist wieder auf die begrenzten Niederschläge zurückzuführen.

Nach KAHNT (1995) finden Mäuse auf konservierend bearbeiteten Flächen geeignete Lebensräume. Dies begünstigt eine Massenvermehrung und kann enormen Schaden im Kulturpflanzenbestand hervorbringen. Somit sind Geräte erforderlich, welche diesem Schadpotential entgegenwirken. Im Versuchsaufbau kann als einziges Gerät die Scheibenegge diesen Ansprüchen im Entferntesten genügen. Auch wenn nach SCHWINGE (2008) eine flache Bearbeitung genügt, um Mäusenester zu zerstören, ist die eingestellte Arbeitstiefe von 4 cm nicht ausreichend. Die anderen verwendeten Geräte haben auf das Bekämpfen von Mäusen keinen Einfluss.

Die Verminderung der Bodenerosion können alle Geräte gewährleisten. In den Varianten Strohstriegel, Cambridgewalze und Sichelmulcher war die Mulchschicht größer als in der Variante Scheibenegge. In diesen Varianten sollte der Bodenabtrag somit geringer gewesen sein als in der Variante Scheibenegge (WILHELM, 2010). Jedoch ist die Mulchschicht der Variante Strohstriegel und Cambridgewalze am beständigsten. In der Variante Sichelmulcher können fein zerschnittene Strohreste leichter durch Wind abgetragen werden, somit kann sich die Mulchschicht schneller verringern und der erosionsschützende Effekt abnehmen. Nach SCHEFFER et al. (2002) sinkt der relative Bodenabtrag um 50 %, wenn ein Bodenbedeckungsgrad von 30 % erreicht ist. Durch den geringen bzw. keinen Eingriff in den Boden zur Stoppelbearbeitung konnte jede Variante einen Bedeckungsgrad von über 30 % erreichen. Nach SCHEFFER et al. (2002) eignet sich somit jede Variante, um einen erosionsarmen Stoppelsturz vorzunehmen.

6.3 Unterschiede im Auflaufverhalten der Nachfrucht unter Direktsaat

In der Tabelle 25 ist noch einmal der Feldaufgang nach der Aussaat des Winterroggens aufgeführt. Nach DLG (2020) ist ein Feldaufgang als „sehr gut“ zu bewerten, wenn ein Feldaufgang von >90 % vorzufinden ist. Da in allen Varianten der Feldaufgang >90 % war, ist der Feldaufgang in jeder Variante als „sehr gut“ zu bewerten (DLG, 2020). Den besten Auflaufverfolg erzielte die Variante Scheibenegge mit einer Abweichung von -1,59 % zum Soll-Wert. Der schlechteste Feldaufgang konnte in der Variante Strohstriegel beobachtet werden. Durch die Anwendung der Zinkensämaschine, werden Pflanzenreste aus der Saatreihe entfernt, sodass die Körner vollen Bodenkontakt haben. Unabhängig von der Stoppelbearbeitungsvariante konnten somit sehr gute Feldaufgänge erzielt werden. Die Spannungsweite in der Abweichung vom Soll-Wert beträgt 4,44 %. Diese Spannungsweite begründet sich zum einen durch die Varianz in der Keimfähigkeit. Die mittlere Keimfähigkeit betrug 95 %. Dies bedeutet jedoch auch, dass sich das keimfähige Saatgut nicht gleichbleibend über die gesamte Fläche verteilt. Aus diesem Grund kann es vorkommen, dass Abweichungen im Feldaufgang ermittelt werden können. Ein weiterer Grund für die Spannungsweite ist die Dosiergenauigkeit der Sämaschine. Die Einstellung der Sämaschine auf die nötige Aussaatstärke ist in der Regel hinreichend genau. Jedoch können Unterschiede in der Dosiergenauigkeit auftreten und dazu führen, dass Abweichungen im Feldaufgang vorgefunden werden können. In Sämaschinen-Prüfberichten der DLG (2020) wird unter anderem die Dosiergenauigkeit bewertet. Diese wurde in diesem Versuch jedoch nicht berücksichtigt.

Tabelle 25 - Feldaufgang nach Aussaat Winterroggen in Direktsaat (vereinfacht)

Variante	gesäte Körner/m ²	Mittelwert Pflanzen/m ²	Abweichung in %
Strohstriegel	210	197	-6,03
Cambridgewalze	210	198	-5,40
Sichelmulcher	210	202	-3,49
Scheibenegge	210	206	-1,59
Gesamt	210	201	-4,13

6.4 Unterschiede des Krankheits- und Unkrautdrucks der Nachfolgekultur

Nach HERRMANN et al. (1998) soll die Stoppelbearbeitung das Auflaufen von Ausfallgetreide und Unkrautsamen fördern. Wie bereits beschrieben, wurden insgesamt zwei Unkrautbonituren im Bestand durchgeführt. Zwischen den im Versuch getesteten Varianten bestehen sichtbare Unterschiede. Nach HERRMANN et al. (1998) soll die Stoppelbearbeitung im Feld vorkommende Unkräuter mechanisch bekämpfen und somit den Unkrautdruck verringern. In allen im Feldversuch getesteten Varianten finden sich Unkräuter. Hierbei sticht die Cambridgewalze besonders hervor. Von allen getesteten Varianten zeigt sich in der Cambridgewalze der höchste Unkrautdruck. Damit kann die Aussage von STEINERT (2020) bestätigt werden, dass bei Anwendung von Direktsaat der Unkrautdruck erhöht ist, da keine mechanische Unkrautbekämpfung stattfindet. Im Gegensatz dazu ist anzunehmen, dass die Variante Scheibenegge im Vergleich zu den anderen Varianten einen deutlich geringeren Unkrautbesatz aufweisen müsste, da hier eine flache Bodenbearbeitung durchgeführt wird. Diese Aussage kann im Versuch nicht bestätigt werden. Alle getesteten Varianten weisen, bis auf die Cambridgewalze, ähnliche Werte hinsichtlich des Unkrautbesatzes je m² auf. Somit kann hier keine Empfehlung für ein Verfahren gegeben werden, da sich der Unkrautdruck in allen Varianten angleicht.

Aus phytosanitärer Sicht ergeben sich bei einem Direktsaatverfahren Risiken. Nach SCHÖNBERGER (2019) können echte (obligate) Parasiten einen Wirtswechsel vornehmen. Das sind im Getreideanbau vorrangig die Rostkrankheiten (SCHÖNBERGER 2019). Von diesen Zwischenwirten aus kann der Roggen anschließend befallen werden (BÖRNER et al., 2009). Nach STEINERT (2020) entsteht bei der Anwendung der Direktsaattechnik ein höherer Krankheitsdruck durch pilzliche Erreger, welche sich am Boden befinden. Im Verlauf des Feldversuches fanden zwei Krankheitsbonituren statt. Hierbei wurde in keiner der getesteten Variante eine Infektion vorgefunden. Nach SCHÖNBERGER (2019) benötigen pilzliche Erreger feuchtes und warmes Wetter, um sich zu vermehren und die Wirtspflanzen zu infizieren. Innerhalb der Versuchsperiode zeigte sich das Wetter eher trocken und warm. Somit kann die Aussage von Schönberger bestätigt werden. Auch hier kann abschließend keine Vorzüglichkeit für ein Verfahren festgestellt werden, da die Witterung für eine Infektion suboptimal war und somit in keiner der getesteten Varianten Krankheiten festgestellt werden konnten (vgl. Tabelle 26).

Tabelle 26 - Ergebnisse der Unkrautbonitur im Vergleich der untersuchten Anbaugeräte Herbst

Art	Anzahl/m ² Strohstriegel	Anzahl/m ² Cambridgewalze	Anzahl/m ² Sichelmulcher	Anzahl/m ² Scheiben- egge	Datum
Vogel- miere	18,6	20,2	17,4	16,2	
Kamille	8,5	9,2	7,3	8,5	12.10.19
Storch- schnabel	5,6	8,2	6,4	3,1	

6.5 Auswirkung der Stoppelbearbeitungsvarianten auf die N-Mineralisation

Da nach HEROLD et al. (2010) die Bodenart einen großen Einfluss auf die N-Mineralisation hat, werden folgend die Mittelwerte aller Messpunkte bezüglich des Nmin-Gehaltes bewertet.

Weiterhin beeinflusst zum einen der Niederschlag und damit der Bodenwasserhaushalt die N-Mineralisation und zum anderen die Temperatur (HEROLD et al., 2010). Jedoch können N-Verluste aufgrund von Auswaschung entstehen (SCHILLING et al., 1989). Dieser Effekt ist 27.09.2019 zu erkennen, da nach höheren Niederschlägen der Nmin-Gehalt abgesunken ist. Nach SCHILLING et al. (1989) verläuft die N-Mineralisation optimal bei Temperaturen von >30 °C und wassergesättigtem Boden. Auch dieser Effekt kann beobachtet werden, da in den Beprobungen vom 23.08.2019 bis zum 06.09.2019 eine Sättigung des Bodenwassers vorhanden war und gleichzeitig hohe Temperaturen vorzufinden waren. In diesem Zusammenhang stieg der Nmin-Gehalt. Der Anstieg des Nmin-Gehalts zum 20.09.2019 lässt sich auf einen Mineralisationsschub zurückführen. Nach SCHILLING et al. (1989) können bis zu 100 kg/ha N innerhalb einer Woche mineralisiert werden. Der Mineralisationsschub beläuft sich zwar nur gering, ist jedoch zu erkennen.

Wie auch in der Variante Strohstriegel können auch in der Variante Cambridgewalze die Aussagen von HEROLD et al. (2010) und SCHILLING et al. (1989) bestätigt werden. Bei vorhandenem Bodenwasser und hohen Temperaturen steigt die N-Mineralisation. Da es keine starken Veränderungen im Bodenwasserhaushalt und der Temperatur gab, kann diese Absenkung durch die Aussage von SCHILLING et al. (1989) erklärt werden. Da eine Auswaschung ausgeschlossen werden kann, besteht die Möglichkeit der Denitrifikation bzw. der Ammoniakverflüchtigung (SCHILLING et al., 1989). Aufgrund des geringen Bewuchses kann der N-Verlust durch N-Aufnahme durch Pflanzen ebenfalls ausgeschlossen werden. Wie auch in der Variante Strohstriegel ist der Nmin-Gehalt zum

27.09.2019 abgesunken. Aufgrund des Anstiegs im Bodenwasserhaushalt kann dies durch Auswaschung erklärt werden (SCHILLING et al., 1989).

In der Variante Sichelmulcher steigt der Nmin-Gehalt bis zum 16.08.2019 nur langsam an. Da der Bodenwasserhaushalt den anderen Varianten ähnelt, lässt sich die langsame Mineralisation durch FLAIG (2007) erklären. Zwar sollte die mikrobiologische Masse in dem Bereich von 0-5 cm sehr hoch sein, jedoch besteht die Möglichkeit, dass in dieser Variante zunächst geringere Gehalte an mikrobiologischer Masse vorhanden waren. Aufgrund einer vorhergehenden Trockenheit fanden die nitrifizierenden Bakterien keine guten Umweltbedingungen (SCHILLING et al., 1989). Jedoch ist auch in dieser Variante den Aussagen von HEROLD et al. (2010) und SCHILLING et al. (1989) zuzustimmen, da der Nmin-Gehalt bei steigendem Bodenwasserhaushalt zunächst angestiegen ist. Bei starkem Anstieg des Bodenwasserhaushaltes zum 27.09.2019 ist der Nmin-Gehalt abgesunken. Dies unterstreicht die N-Auswaschung nach SCHILLING et al. (1989).

In der ersten Etappe der Variante Scheibenegge ist der tendenziell stärkere Anstieg im Nmin-Gehalt bis zum 13.09.2019 auffällig. Nach LFULG SACHSEN (2020) ist die N-Mineralisation bei steigender Intensität der Bodenbearbeitung höher. Diese Aussage wird durch SCHILLING (1989) gestützt, da in der Mineralisation Sauerstoff benötigt wird. Durch die steigende Intensität der Bodenbearbeitung steigt der Sauerstoffgehalt im Boden. Diese Aussagen können in der Variante Scheibenegge beobachtet werden. Jedoch ist ebenfalls zu erkennen, dass die Absenkung im Nmin-Gehalt bereits ab dem 20.09.2019 beginnt. Nach SCHILLING et al. (1989) kann vorhandener Stickstoff in organische Substanz eingebaut werden. Da dieser Vorgang durch Sauerstoff im Boden beschleunigt wird, kann diese frühere Absenkung durch SCHILLING et al. (1989) begründet werden.

Im folgenden Abschnitt wird nun der Verlauf des Nmin-Gehaltes in der Herbstetappe (Etappe 2) diskutiert. In der Variante Strohstriegel konnte erkannt werden, dass bei sinkender Temperatur der Nmin-Gehalt abnimmt. Da sich niedrigere Temperaturen negativ auf die N-Mineralisation auswirken, wird diese nun verlangsamt (SCHILLING et al., 1989). Da vorerst der Bodenwassergehalt nicht weiter angestiegen ist, konnte der Nmin-Gehalt noch langsam steigen. Da der Bodenwasserhaushalt zum 09.11.2019 stark angestiegen ist, sank gleichzeitig der Nmin-Gehalt weiter ab. Dies lässt sich durch die N-Auswaschung begründen (SCHILLING et al., 1989). Die tendenzielle Absenkung im Nmin-Gehalt konnten der DWD (2001) und die LWK NRW (2005) im gleichen Zeitraum ebenfalls beobachten.

In der Variante Cambridgewalze zeigt der Verlauf des Nmin-Gehaltes einen ähnlichen Verlauf, wie in der Variante Strohstriegel, jedoch ist der Anstieg am 26.10.2019 höher. Nach SCHILLING et al. (1989) beeinflusst Wassersättigung die N-Mineralisation positiv. Jedoch befindet sich der Bodenwasserhaushalt in der Variante Cambridgewalze nur sehr gering über dem Niveau der Variante

Strohstriegel. Wenn sich nach FLAIG (2007) mehr mikrobiologische Masse im Oberboden befindet, kann nach SCHILLING et al. (1989) mehr Stickstoff mineralisiert werden. Die weitere Absenkung im Nmin-Gehalt lässt sich auch durch die N-Auswaschung erklären (SCHILLING et al., 1989). Dies entspricht somit auch den Aussagen vom DWD (2001) und der LWK NRW (2005).

In der Variante Sichelmulcher ist der Nmin-Gehalt in der zweiten Etappe direkt abgesunken. Diese Absenkung kann durch Auswaschung, Denitrifikation und durch Ammoniakverluste begründet werden (SCHILLING et al., 1989). Da anders als in den Varianten Strohstriegel und Cambridgewalze zum 26.10.2019 eine Absenkung im Nmin-Gehalt beobachtet wurde, kann diese Absenkung nicht allein auf Auswaschung nach SCHILLING et al. (1989) begründet werden. Auch die N-Aufnahme der Kulturpflanze Winterroggen kann zur Minderung des Nmin-Gehaltes führen (SCHILLING et al. 1989). Auch in dieser Variante entsprechen die Ergebnisse den Aussagen des DWD (2001) und der LWK NRW (2005).

In der Variante Scheibenegge ist der Nmin-Verlauf in der Etappe 2 wie der Nmin-Verlauf in der Variante Sichelmulcher verlaufen. Somit der Aussage von SCHILLING et al. (1989) zugestimmt werden. Die Minderung des Nmin-Gehaltes lässt sich auf die Auswaschung wie auch auf die N-Aufnahme durch den Winterroggen zurückführen. Auch zeigt sich ein Verlauf, wie ihn bereits der DWD (2001) und die LWK NRW (2005) darstellten.

Folgend wird der Nmin-Verlauf in der Winteretappe (Etappe 3) diskutiert. In den Varianten Strohstriegel und Cambridgewalze ist auffällig, dass beide Varianten einen ähnlichen Verlauf aufweisen. Wie bereits der DWD (2001) und die LWK NRW (2005) feststellten, ist auch in diesen beiden Varianten eine Abflachung der Nmin-Absenkung zu erkennen. In den Berechnungen des DWD (2001) und in den Versuchen der LWK NRW (2005) stieg der Nmin-Gehalt folgend langsam an. Im Versuch konnte im weiteren Verlauf ein starker Anstieg in der N-Mineralisation festgestellt werden. Im Vergleich zum DWD (2001) und zur LWK NRW (2005) können sich der Bodenwasserhaushalt und die Temperatur unterscheiden. Somit können unterschiedliche Mineralisationsraten auftreten. Bei einem höheren Bodenwasserhaushalt und höherer Temperatur kann die N-Mineralisation höher sein (SCHILLING et al., 1989). Die Absenkung zum 28.03.2020 kann durch die N-Aufnahme des Winterroggens begründet werden, wobei die Möglichkeit besteht, dass gleichzeitig eine geringe N-Mineralisation aufgrund einer möglichen geringeren Bodentemperatur vorhanden war (SCHILLING et al., 1989).

Wie auch in den Varianten Strohstriegel und Cambridgewalze kann auch in den Varianten Sichelmulcher und Scheibenegge den Nmin-Verläufen des DWD (2001) und der LWK NRW (2005) zugestimmt werden. Auffällig ist jedoch, dass in den Varianten Sichelmulcher und Scheibenegge

keine Absenkung zum 28.03.2020 zu erkennen ist. Nach SCHILLING et al. (1989) steigt die N-Mineralisation bei höheren Temperaturen und bei höheren Sauerstoffgehalten im Boden. Bis zum 28.03.2020 wurde die Mulchschicht in der Variante Sichelmulcher schon deutlich reduziert. Da die Variante Scheibenegge keine starke Mulchaufgabe aufweist, kann die Bodentemperatur in beiden Varianten höher sein. Dies erklärt den starken Anstieg des Nmin-Gehaltes nach SCHILLING et al. (1989).

Im folgenden Abschnitt wird der Verlauf des Nmin-Gehaltes in der Frühjahrsetappe (Etappe 4) diskutiert. Zu Beginn der Frühjahrsetappe befand sich der Nmin-Gehalt in der Variante Strohstriegel auf einem hohen Niveau. Hier sank der Nmin-Gehalt bis zum 09.05.2020 stark ab. Diese starke Absenkung lässt sich durch eine hohe N-Aufnahme durch den Winterroggen erklären (SCHILLING et al., 1989). Da nach HEROLD et al. (2010) hohe Temperaturen und Niederschlag die N-Mineralisation fördern, lässt sich der anschließende Nmin-Anstieg zum 23.05.2020 erklären. Sowohl der Bodenwasserhaushalt als auch die Lufttemperatur stiegen zum 23.05.2020 an. Damit stieg ebenfalls der Nmin-Gehalt an.

In der Variante Cambridgewalze kann ein ähnlicher Verlauf wie in der Variante Strohstriegel festgestellt werden. Ebenfalls befand sich hier der Nmin-Gehalt zum Start der Frühjahrsetappe (Etappe 4) auf einem hohen Niveau. Dieser sank zum 25.04.2020 stark und bis zum 09.05.2020 weiterhin ab. Auch hier lässt sich die Absenkung durch die hohe N-Aufnahme des Winterroggens erklären (SCHILLING et al., 1989). Im Vergleich zur Variante Strohstriegel ist zum 25.04.2020 weniger Bodenwasser vorhanden gewesen. Dies schränkt die N-Aufnahme ein, sodass die Absenkung des Nmin-Gehaltes zum 09.05.2020 abgeflacht ist. Zum 23.05.2020 stieg der Nmin-Gehalt leicht an, was sich durch den steigenden Bodenwasserhaushalt und die steigende Lufttemperatur erklären lässt (HEROLD et al., 2010).

Anders als in den Varianten Strohstriegel und Cambridgewalze stieg der Nmin-Gehalt zum 25.04.2020 in der Variante Sichelmulcher zunächst an. Zum 09.05.2020 konnte, wie in den anderen Varianten auch, eine Absenkung im Nmin-Gehalt beobachtet werden. Diese lässt sich nach SCHILLING et al. (1989) durch die N-Aufnahme des Winterroggens erklären. Auch in dieser Variante stieg der Nmin-Gehalt zu 23.05.2020 an. Da der Bodenwasserhaushalt und die Lufttemperatur angestiegen sind, optimierten sich die Umweltbedingungen der nitrifizierenden Bakterien (SCHILLING et al., 1989). Somit stieg die N-Mineralisation.

In der Variante Scheibenegge konnte eine starke Absenkung des Nmin-Gehaltes zum 25.04.2020 beobachtet werden. Nach SCHILLING et al. (1989) kann dies durch die N-Aufnahme des Winterroggens erklärt werden. Bis zum 23.05.2020 zeigte der Nmin-Verlauf, anders als in den

anderen Varianten, eine relative Konstanz. Trotz des steigendem Bodenwasserhaushaltes und der steigenden Lufttemperatur veränderte sich der Nmin-Gehalt nur gering. Nach SCHILLING et al. (1989) optimierten sich die Umweltbedingungen der nitrifizierenden Bakterien, was eine erhöhte N-Mineralisation zur Folge hat. Somit müsste der Nmin-Gehalt nach HEROLD et al. (2010) ansteigen. Dieser Effekt kann nicht erkannt werden. Jedoch lässt sich die Konstanz durch die N-Aufnahme des Winterroggens erklären (SCHILLING et al., 1989). Somit ergibt sich die Aussage, dass in dieser Variante der mineralisierte Stickstoff direkt durch den Winterroggen verwertet wurde. Dies erklärt auch den höchsten Kornertrag aller Varianten, da diese Verwertung in der ertragsbildenden Phase beobachtet wurde. Da somit weniger N-Verluste durch Auswaschung oder Ammoniakverflüchtigung entstehen (SCHILLING et al., 1989), kann dieser Verlauf als optimal bezeichnet werden.

Nach HEROLD et al. (2010) wirkt sich die N-Düngung nicht auf den Nmin-Gehalt aus. Zum 28.03.2020 erfolgte die Startgabe, mit 200 kg/ha KAS. In den Varianten Strohstriegel und Cambridgewalze konnte eine Absenkung im Nmin-Gehalt festgestellt werden, somit kann HEROLD et al. (2010) zugestimmt werden. Jedoch stieg der Nmin-Gehalt in den Varianten Sichelmulcher und Scheibenegge an. Dieser Anstieg kann auf einen Mineralisationsschub zurückzuführen sein (SCHILLING et al., 1989). Sollte ein Mineralisationsschub den Anstieg begründen kann auch hier der Aussage von HEROLD et al. (2010) zugestimmt werden. Zum 11.04.2020 erfolgte die Ertragsdüngung, mit 100 kg/ha KAS. Auch hier lässt sich kein Zusammenhang von der N-Düngung und dem Nmin-Verlauf erkennen. Somit kann auch hier der Aussage von HEROLD et al. (2010) zugestimmt werden, dass die N-Düngung keine Auswirkung auf den Nmin-Gehalt hat.

Nach HEROLD et al. (2010) wirken sich die Bodenart, der Niederschlag und die Temperatur auf die N-Mineralisation aus. In allen Varianten konnten große Standartabweichungen vom Mittelwert beobachtet werden. Diese großen Standartabweichungen traten unregelmäßig auf. Ein Zusammenhang auf einen Faktor nach HEROLD et al. (2010) kann somit nicht erkannt werden. Es können punktuelle Unterschiede in der Bodentemperatur und im Bodenwasserhaushalt auftreten, welche sich massiv auf die N-Mineralisation auswirken (HEROLD et al., 2010). Somit lassen sich die großen Standartabweichungen erklären. In der Variante Scheibenegge traten zwar hohe Standartabweichungen auf, jedoch waren diese nicht so hoch wie in den anderen Varianten. Dies kann durch eine homogenere Verteilung der Bodenart erklärt werden (HEROLD et al., 2010). Im Zeitraum vom 12.10.2019 bis zum 31.01.2020 konnte in allen Varianten beobachtet werden, dass die Standartabweichungen sehr gering waren. In diesem Zeitraum besteht die Möglichkeit, dass die Umweltbedingungen für die nitrifizierenden Bakterien in allen Varianten ähnlich waren (SCHILLING et al., 1989).

6.6 Ökonomische Betrachtung der Varianten

Um eine praxistaugliche Empfehlung für ein Verfahren geben zu können, ist es notwendig auch die ökonomische Seite zu beleuchten. Wie bereits beschrieben, unterscheiden sich die Verfahren ausschließlich im Ertrag und in den Kosten für die Stoppelbearbeitung. Marktpreise und Kosten für Düngung und Pflanzenschutz sind in allen Varianten identisch und werden somit nicht berücksichtigt. Die Werte für die einzelnen Kostenblöcke werden vom KTBL (2020) entnommen. Für alle Verfahren wurde ein Lohnkostensatz von 25 €/Akh angesetzt. Der Liter Diesel wird in den nachfolgenden Ausführungen mit 0,75 €/L berechnet.

Die höchste stoppelbearbeitungsfreie Leistung findet sich in der Variante Scheibenegge, mit 898,87 €/ha. Neben dem Ertrag haben die Kosten für die Stoppelbearbeitung den höchsten Einfluss auf das Ergebnis. Die Variante Scheibenegge besitzt den höchsten Ertrag und liegt hinsichtlich der Kosten im Mittelfeld. Ein großer Kostenblock stellt die Abschreibungen (Afa) dar. Durch die hohen Anschaffungskosten liegt die Afa in der Variante Scheibenegge bei 11,01 €/ha (KTBL, 2020). Jedoch liegen die Lohnkosten für die Variante Scheibenegge, mit 5,50 €/ha (KTBL, 2020), im Vergleich zu den anderen Varianten, im unteren Bereich. Grund hierfür ist die hohe Flächenleistung, welche sich durch hohe Fahrgeschwindigkeiten ergibt.

Der Sichelmulcher verursacht mit 12,10 €/ha (KTBL, 2020) ähnlich hohe Kosten, im Bereich der Abschreibungen, wie die Scheibenegge. Grund hierfür ist ebenfalls ein hoher Anschaffungswert. Die Variante verursacht, mit 12,00 €/ha Lohnkosten, mehr als das doppelte an Kosten, verglichen mit der Scheibenegge. Die Ursache für die hohen Werte in diesem Kostenblock ist die geringe Arbeitsgeschwindigkeit und somit eine geringe Flächenleistung. Die Variante Sichelmulcher verursacht, mit 6,45 €/ha, die höchsten Kraftstoffkosten aller getesteten Varianten. Grund dafür ist, dass viel Kraft und somit Energie, in Form von Kraftstoff, zum Betrieb des Gerätes notwendig ist. Somit erzielt der Sichelmulcher im Versuch eine stoppelbearbeitungsfreie Leistung von 846,95 €/ha.

Die günstigste Variante im Versuch stellt der Strohstriegel dar. Mit 15 €/ha (KTBL, 2020) ist dieses Verfahren deutlich günstiger als alle anderen Varianten. Gründe dafür sind zum einen der geringe Anschaffungswert und somit auch geringe Kosten für Abschreibungen. Diese belaufen sich auf 4,08 €/ha (KTBL, 2020). Einen weiteren Grund stellt die hohe Flächenleistung dar. Mit Lohnkosten von 2,75 €/ha (KTBL, 2020) ist der Strohstriegel in diesem Kostenblock das günstigste Verfahren. Der Strohstriegel zeichnet sich durch hohe Fahrgeschwindigkeiten, sowie einen geringen Kraftbedarf aus, sodass sich die Kraftstoffkosten auf lediglich 1,56 €/ha (KTBL, 2020) belaufen. Durch seinen geringen

Ertrag, von 5,10 t/ha, erzielt der Strohstriegel eine stoppelbearbeitungsfreie Leistung von 699,00 €/ha.

Die Cambridgewalze weist, ähnlich wie der Strohstriegel, einen geringen Anschaffungswert auf. So entstehen hier Kosten für Abschreibungen in Höhe von 5,04 €/ha (KTBL, 2020). Dadurch, dass beim Walzen langsam gefahren werden muss, ergibt sich eine geringe Flächenleistung und somit Lohnkosten von 8,75 €/ha (KTBL, 2020). Die geringen Kraftstoffkosten in Höhe von 2,58 €/ha wirken sich positiv auf das ökonomische Ergebnis aus. Die Variante Cambridgewalze erzielt im Versuch eine stoppelbearbeitungsfreie Leistung von 659,11 €/ha.

Somit wird deutlich, dass die Verfahrenskosten einen erheblichen Einfluss auf das Ergebnis der jeweiligen Verfahren haben. Auch der Ertrag beeinflusst maßgeblich das ökonomische Ergebnis.

Rein, von der ökonomischen Seite, stellt sich die Variante Scheibenegge als effektivste Variante dar. Die Variante Sichelmulcher erzielt ein ähnlich hohes Ergebnis. Die Varianten Cambridgewalze und Strohstriegel liegen, mit einem deutlichen Abstand, hinter den anderen beiden Verfahren.

7. Schlussfolgerung

Der landwirtschaftliche Betrieb, welcher die Versuchsfläche und die benötigte Technik zur Verfügung stellte, wendet zur Stoppelbearbeitung hauptsächlich die Scheibenegge an. In dieser Arbeit wird ersichtlich, dass diese Variante unter den gegebenen Bedingungen die beste Variante ist. Der Auflaferfolg der Vorfrucht Winterroggen war am besten. Auch die Auswirkungen auf den Bodenwasserhaushalt zeigten einen ähnlichen Verlauf wie die Varianten mit keinem bzw. geringem Eingriff in den Boden. Eine höhere N-Mineralisation, sowie ein optimaler Nmin-Verlauf in der ertragsbildenden Phase konnte festgestellt werden. Auch der Feldaufgang des Winterroggens war in der Variante Scheibenegge am besten, wobei dieser in den anderen Varianten auch sehr gut war (DLG, 2020). Bei der Ermittlung der ökonomisch effektivsten Variante, stellte sich die Variante Scheibenegge als beste Variante heraus. Dies wurde hauptsächlich durch den höchsten Kornertrag erreicht. Im Krankheits- und Unkrautdruck konnte sich keine Variante als deutlich besser darstellen, da sich alle Varianten nicht sehr unterschieden. Allerdings ist der betrachtete Zeitraum sehr kurz, um eine eindeutige Entscheidung der besten Stoppelbearbeitungsvariante zu treffen. Im Zeitraum zwischen der Ernte der Vorfrucht und der Aussaat des Winterroggens herrschte eine Trockenheit. Dies könnte das Auflaufverhalten des Ausfallgetreides beeinflusst haben. Da der Versuch einjährig erfolgte, können keine Signifikanzen ermittelt werden. Somit wäre es sinnvoll, den Versuch mehrmals zu wiederholen, um Ergebnisse statistisch nachzuweisen. In einem mehrjährigen Versuch können die verschiedenen Umwelteinflüsse berücksichtigt werden, um die Aussagen zu kräftigen.

Die Stoppelbearbeitung mit einer Scheibenegge ist gängige Praxis und stellte auch in diesem Feldversuch die beste Variante dar.

8. Zusammenfassung

Zusammenfassend können dieser Arbeit folgende Ableitungen für die Praxis entnommen werden:

Um die Versorgung des Bodenwasserhaushaltes und auch dessen Veränderung im Verlauf der Vegetation abschätzen zu können und auch darauf reagieren zu können, sollten die Niederschläge durch den Landwirt selbst aufgezeichnet werden. Bei weiter entfernten Flächen bzw. bei Produktion in verschiedenen Orten, sollte in jedem Ort mindestens ein Messgerät zur Verfügung stehen. Es besteht die Möglichkeit auf Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes zuzugreifen, jedoch können dort örtlich bedingte Abweichungen auftreten.

Eine stärkere Mulchschicht bindet Niederschläge mehr. Erst Niederschläge ab einer Menge von 8 mm können bei einer starken Mulchschicht infiltrieren.

Der Bodenwasserhaushalt verändert sich innerhalb der Versuchsdauer stark. Letztendlich, nähern sich alle Varianten aneinander an, sodass sich ein eindeutiger wassersparender Effekt nicht herausstellen konnte.

Die Scheibenegge als Variante der Stoppelbearbeitung zeigte, mit einer Abweichung von 14%, den besten Auflaferfolg. Die Varianten Strohstriegel, Cambridgewalze und Sichelmulcher unterschieden sich im Auflaferfolg nicht sehr deutlich voneinander. Mit einer Abweichung von 52 % bei den Varianten Strohstriegel und Cambridgewalze und einer Abweichung von 50 % bei der Variante Sichelmulcher, ist von einem schlechten Auflaferfolg zu sprechen.

In Regionen, in welchen ein Massenaufreten an Mäusen besteht, kann keiner der Varianten eine ausreichende Bekämpfung darstellen. Hierbei müssten andere Geräte bei der Grundbodenbearbeitung zum Einsatz gebracht werden (z.B. Schwergrubber).

Um einen erosionsarmen Stoppelsturz vorzunehmen, eignen sich alle Geräte gut. Es wird in jeder Variante ausreichend Bodenbedeckung zum Erosionsschutz hinterlassen.

Alle Varianten wirken sich sehr gut auf den Feldaufgang der nachfolgenden Kultur aus. Zwar zeigte die Variante Scheibenegge den besten Feldaufgang, jedoch konnte in jeder Variante ein sehr guter Feldaufgang ermittelt werden.

Bezüglich des Krankheits- und Unkrautdruckes konnten keine Unterschiede zwischen den Varianten festgestellt werden, welche sich maßgeblich auf agronomische Maßnahmen auswirken. In diesem Feldversuch hatte somit keine Variante eine Auswirkung auf den Krankheits- und Unkrautdruck.

Die N-Mineralisation konnte in der Variante Scheibenegge als optimal bezeichnet werden, da in der ertragsbildenden Phase kein N-Überschuss vorhanden war. In der Variante Scheibenegge wurden die höchsten Nmin-Gehalte festgestellt. In keiner Variante zeigte sich eine Auswirkung der Düngung auf den Nmin-Gehalt. Die Temperatur und der Bodenwasserhaushalt wirken sich stark auf den Nmin-Gehalt aus. Bereits bei einer Temperatursteigerung von 2 °C können Steigerungen im Nmin-Gehalt gemessen werden. Die Verteilung der Nmin-Gehalte zeigte in allen Varianten eine hohe Variabilität auf. In der Variante Scheibenegge war diese Variabilität am geringsten.

Die Variante Scheibenegge zeigte den höchsten Kornertrag. Der geringste Kornertrag wurde in der Variante Cambridgewalze festgestellt. Hierbei trat eine Schwankungsbreite von 1,8 t/ha auf. Aufgrund des höchsten Ertrages und mittlerer Arbeitserledigungskosten stellte die Variante Scheibenegge die ökonomisch effektivste Variante dar. Die ökonomisch uneffektivste Variante war die Variante Cambridgewalze. Aufgrund des niedrigen Ertrages fehlte dort die Marktleistung. Die geringsten Arbeitserledigungskosten wurden in der Variante Strohstriegel festgestellt. Die geringen Arbeitserledigungskosten werden durch die sehr hohe Flächenleistung erreicht. Die höchsten Arbeitserledigungskosten zeigte die Variante Sichelmulcher, durch die geringe Flächenleistung und kraftintensiver Arbeitsweise.

9. Literaturverzeichnis

BODENKUNDLICHE KARTIERANLEITUNG (2005)

Buch „Bodenkundliche Kartieranleitung 5., Verbesserte und erweiterte Auflage“, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Stuttgart E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, ISBN 9783510959204, 2005

DEUTSCHER WETTERDIENST (2019)

DEUTSCHER WETTERDIENST: Wetterstation Genthin, 2019

DEUTSCHER WETTERDIENST (2020)

DEUTSCHER WETTERDIENST: Wetterstation Genthin, 2020

VOSSHENRICH (2016)

VOSSHENRICH, H.-H.: AID Broschüre Vol. 1585, AID Infodienst Verbraucherschutz, Ernährung, Landwirtschaft, ISBN: 978-3-8308-1222-7, 2016

VOSSHENRICH, H.-H.: Bodenfruchtbarkeit und Bodenbearbeitung, Thünen Institut für Agrartechnologie, Bad Kreuznach (D), 06.12.2016

SCHÖNBERGER (2018)

SCHÖNBERGER, H.: Werkzeuge Bodenbearbeitung Funktion und Wirkung, NU Agrar GmbH, Košík (CZ), 31.10.2018

SCHÖNBERGER (2019)

SCHÖNBERGER, H.: Vermeidung und Bekämpfung von Krankheiten, NU Agrar GmbH, Bernburg (D), 23.10.2019

HERRMANN et al. (1998)

HERRMANN, H.: Grundstufe Agrarwirtschaft, BLV Verlagsgesellschaft mbH, München (D), 1998

BÖRNER et al. (2009)

BÖRNER, H.: Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Springer-Verlag, Berlin (D), 2009

SCHILLING et al. (1989)

SCHILLING, G.: Pflanzenernährung und Düngung, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin (DDR), 1989

JOERGENSEN (2006)

JOERGENSEN, R. G.: Methods for evaluating human impact on soil microorganisms based on their activity, biomass, and diversity in agricultural soils. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2006

FLAIG (2007)

FLAIG, H.: Einflussgrößen auf bodenbiologische Parameter bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung, VDLUFA Schriftenreihe Bd. 62/2007, VDLUFA-Verlag, Darmstadt (D), 2007

KAHNT (1995)

KAHNT, G.: Minimal-Bodenbearbeitung, Ulmer, Stuttgart (D), 1995

SCHEFFER et al. (2002)

SCHEFFER, F.: Scheffer F. und Schachtschabel P. Lehrbuch der Bodenkunde, Springer-Verlag, Heidelberg (D), 2002

SCHWINGE (2008)

Schwinge, H.: Konservierende Bodenbearbeitung in der Wetterau - Unter das Stroh Säen, Landwirtschaft ohne Pflug, 2008

WILHELM (2010)

WILHELM, B: Konservierende Bodenbearbeitung im Ökolandbau - Analyse einer Verfahrenstechnik im Kontext der Bodenfruchtbarkeit, Universität Kassel/Witzenhausen, 2010

PFLANZENFORSCHUNG.DE (2020)

PFLANZENFORSCHUNG.DE: <https://www.pflanzenforschung.de/de/pflanzenwissen/lexikon-a-z/heterosiseffekt-576>, (15.06.2020; 15:46)

BEDNAR A-DISC:

BEDNAR: https://www.bednar.com/de/swifterdisc-xo_f-2/, (11.12.2019, 14:08 Uhr)

LUFTBILD STANDORT: (11.12.2019, 15:36 Uhr)

GOOGLE MAPS: <https://www.google.de/maps/@52.4356524,12.1582879,7611m/data=!3m1!1e3>,
(11.12.2019, 15:36 Uhr)

LUFTBILD VERSUCHSFLÄCHE:

GOOGLE MAPS: <https://www.google.de/maps/@52.4268517,12.1752262,499m/data=!3m1!1e3>,
(11.12.2019, 15:42 Uhr)

CLAYDON (2020)

CLAYDON: <http://de.claydondrills.com/products/info/strohstriegel> (11.12.2020, 11:42 Uhr)

ILGEN (2018)

ILGEN, B.: Stoppeln bei anhaltender Trockenheit, HTW Dresden, Dresden (D), 2018

KNOCHE (2020)

KNOCHE: <https://knoche-maschinenbau.de/produkte/ackerwalzen/> (11.12.2020, 12:35 Uhr)

TIEDEMANN (2020)

TIEDEMANN: https://tiedemann-wv.de/wp-content/uploads/2020/02/RAZORBACK_web_002.pdf
(11.12.2020, 12:21 Uhr)

BEDNAR (2020)

BEDNAR: https://www.bednar.com/de/swifterdisc-xo_f-2/ (11.12.2020, 12:30 Uhr)

LFL BAYERN (2020)

LFL BAYERN: <https://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/032228/index.php> (25.11.2020, 15:26 Uhr)

HEROLD et al. (2010)

HEROLD, L.: Nmin-Monitoring, TLL, Jena (D), 2010

LFULG SACHSEN (2020)

LFULG SACHSEN:

https://www.landwirtschaft.sachsen.de/download/AK09_2018_Gersdorf_Einfluss_der_Bodenbearbeitung_auf_die_N_Freisetzung.pdf (25.11.2020, 15:43 Uhr)

DEUTSCHER WETTERDIENST (2001)

DEUTSCHER WETTERDIENST: Nmin-Berechnungen, DWD Zentrum für Agrarmeteorologische Forschung, Braunschweig (D), 2001

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NRW (2005)

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NRW:

<https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/duengung/nitratdienst/archiv/2005-nitrat.htm> (22.10.2020, 09:25 Uhr)

LLG SACHSEN-ANHALT (2008)

LLG SACHSEN-ANHALT: Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der Düngeverordnung, Bernburg (D), 2008

STEINERT (2020)

STEINERT, K.: <https://www.pfluglos.de/lop/direktsaat> (05.11.2020, 14:58 Uhr)

DLG (2020)

DLG: <https://www.dlg.org/de/landwirtschaft/tests/pruefberichte/aussenwirtschaft/test-kuhn-espro-6000-r/> (05.11.2020, 15:28 Uhr)

KTBL (2020)

KTBL: KTBL-Feldarbeitsrechner, KTBL e.V., Darmstadt (D), 2020

KLER (2016)

KLER, J.: Bestimmung der Korngrößenverteilung, Umwelt-Geräte-Technik GmbH, Müncheberg (D), 2016

10. Selbstständigkeitserklärung

Ich versichere hiermit, dass ich meinen Teil der Arbeit selbstständig verfasst, in gleicher oder ähnlicher Fassung noch nicht in einem anderen Studiengang als Prüfungsleistung vorgelegt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel und Quellen benutzt habe.

Bernburg, den

Unterschrift des Verfassers – Arne Büttner

.....

Bernburg, den

Unterschrift des Verfassers – Paul Knörnschild

.....

11. Anhänge

Tabelle 27 - Enthaltene Bodenwasser im Mittelwert aller Messpunkte in den Versuchsvarianten (Etappe 1)

Wassergehalt in L/m ² (0-30 cm)				
Messzeitraum	Ø Strohsriegel	Ø Cambridgewalze	Ø Sichelmulcher	Ø Scheibenegge
T1	16,86	19,46	24,06	24,27
T2	15,91	22,81	24,37	25,47
T3	19,37	22,65	23,06	24,56
T4	17,15	20,24	21,72	22,15
T5	23,34	18,66	19,27	19,16
T6	13,86	17,30	16,25	16,69
T7	15,78	21,59	20,16	20,07
T8	17,46	26,06	25,43	24,49
T9	36,62	39,17	41,45	41,19

Tabelle 28 - Enthaltene Bodenwasser im Mittelwert aller Messpunkte in den Versuchsvarianten (Etappe 2)

Wassergehalt in L/m ² (0-30 cm)				
Messzeitraum	Ø Strohsriegel	Ø Cambridgewalze	Ø Sichelmulcher	Ø Scheibenegge
T10	27,60	31,30	33,20	38,00
T11	26,40	30,50	32,20	34,20
T12	29,50	35,00	37,30	39,20
T13	27,80	32,50	35,30	39,20

Tabelle 29 - Enthaltene Bodenwasser im Mittelwert aller Messpunkte in den Versuchsvarianten (Etappe 3)

Wassergehalt in L/m ² (0-30 cm)				
Messzeitraum	Ø Strohsriegel	Ø Cambridgewalze	Ø Sichelmulcher	Ø Scheibenegge
T14	36,70	44,00	42,40	46,60
T15	35,40	44,20	43,40	50,70
T16	31,80	39,40	41,40	39,10
T17	22,80	22,10	42,30	39,70

Tabelle 30 - Enthaltene Bodenwasser im Mittelwert aller Messpunkte in den Versuchsvarianten (Etappe 4)

Wassergehalt in L/m ² (0-30 cm)				
Messzeitraum	Ø Strohsriegel	Ø Cambridgewalze	Ø Sichelmulcher	Ø Scheibenegge
T18	11,60	10,60	18,20	14,80
T19	16,10	9,10	16,60	11,70
T20	11,50	12,80	15,40	15,40
T21	20,10	21,30	22,00	23,30

Tabelle 31 - Verlauf Nmin-Gehalt (Mittelwert aller Messpunkte)

Zeitpunkt Probenahme	Strohstriegel kg/ha Nmin	Cambridgewalze kg/ha Nmin	Sichelmulcher kg/ha Nmin	Scheibenegge kg/ha Nmin
T1	47	38	51	41
T2	49	56	51	52
T3	39	66	56	50
T4	49	75	52	60
T5	51	64	45	65
T6	53	75	61	59
T7	47	88	57	77
T8	55	86	90	63
T9	40	68	60	50
T10	22	23	33	38
T11	24	32	27	31
T12	16	25	24	29
T13	15	20	22	25
T14	16	24	26	23
T15	15	18	21	20
T16	56	40	30	26
T17	35	25	85	45
T18	90	109	32	120
T19	59	26	38	30
T20	10	15	20	27
T21	45	28	24	30