

Stoppelbearbeitungsverfahren nach Winterraps

Bachelorarbeit im wissenschaftlichen Studiengang
Agrarwissenschaften an der Georg-August-Universität
Göttingen Fakultät für Agrarwissenschaften

Angefertigt am Department für
Nutzpflanzenwissenschaften
Abteilung Pflanzenbau

Vorgelegt von Jan Henning Beck

Studienschwerpunkt: Agribusiness

1. Prüfer: Prof. Dr. Rolf Rauber
 2. Prüfer: M. Sc. Juliane Streit
- Abgabetermin: 31. Juli 2015

Gliederung

1	Einleitung	1
2	Material und Methoden.....	3
2.1	Standortbeschreibung	3
2.1.1	Geographische Lage	3
2.1.2	Witterungsverlauf.....	3
2.2	Versuchsplan.....	5
2.3	Eingesetzte Technik.....	7
2.4	Bonituren.....	8
2.5	Keimverhalten und Tausendkornmasse	10
2.6	Verrechnung und Statistik	10
3	Ergebnisse	10
3.1	Keimungsrate	11
3.2	N _{min} -Beprobung.....	11
3.3	Frisch- und Trockenmasse.....	16
3.4	Aufgelaufene Rapspflanzen	18
3.5	Stickstoffaufnahme.....	19
3.6	Kohlenstoffaufnahme	20
4	Diskussion.....	21
5	Kostenvergleich verschiedener Varianten.....	29
6	Schlussfolgerung.....	36
7	Zusammenfassung.....	36
8	Literaturverzeichnis	37
9	Anhang.....	A1

1 Einleitung

In Marktfruchtbetrieben hat Winterraps (*Brassica napus* L.) in den letzten Jahren einen bedeutenden Anbauumfang erlangt. Im Erntejahr 2014 wurden in Deutschland 1,4 Mio. Hektar Raps angebaut [Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft]. Durch den großen Anteil von Raps innerhalb einer Fruchtfolge, bringt dies auch Probleme mit sich, die im Folgenden beschrieben werden.

Kulturpflanzen können im Ackerbau zu wesentlichen Unkräutern werden, wenn diese in nachfolgend angebauten Kulturen der Fruchtfolge aus den nicht geernteten Samen keimen. Besonders relevant sind Ausfallkulturen dann, wenn sie wie Raps aus im Boden langlebigen Samen auftreten. Denn sie keimen nicht nur in der Folgekultur, die unmittelbar nach dem Raps angebaut wird, sondern auch viele Jahre später in anderen Fruchtfolgefeldern. Neben der direkten Schädigung auf die aktuelle Feldfrucht durch Konkurrenzeinflüsse mit ertraglichen Auswirkungen können auch qualitative Veränderungen am Erntegut, sowie Probleme bei der Weiterverarbeitung auftreten. Außerdem können Fruchtfolgeprobleme in Erscheinung treten. Diese Fruchtfolgeprobleme entstehen dann, wenn sich die Schädiger der Vorkultur an den Ausfallkulturpflanzen der nachfolgenden Frucht halten. Somit besteht keine 100 %ige Anbaupause innerhalb der Fruchtfolge. Die Förderung von Fruchtfolge-schädigern ist von zentraler Bedeutung. Deren Wichtigkeit kann in einigen Fällen ökonomisch noch größer sein als die direkten Schädigungen durch Konkurrenzeffekte. STEFANOVSKA & PIDLISNYUK (2009) konnten nachweisen, dass der Rübennematode (*Heterodera schachtii*) in Raps-Rüben-Fruchtfolgen einen starken Populationsanstieg bei dem Vorhandensein von Ausfallraps zeigt und so die Rüben signifikant schädigen kann. Werden Raps und Rübe in eine Fruchtfolge integriert, kann der Besatz mit Zuckerrübensystemnematoden steigen. Der Raps als Kultur erleidet von *Heterodera schachtii* keine Schäden. Jedoch können die Nematoden vor allem am Ausfallraps nach der Rapsernte und besonders in einem warmen Herbst einen weiteren Entwicklungszyklus abschließen. Dadurch entsteht eine erhöhte Ausgangspopulation vor dem nächsten Zuckerrübenanbau. Zur Vermeidung der Vermehrung der Zuckerrübennematoden wird die Ausfallrapsbekämpfung nach dem Prinzip einer Temperatursumme empfohlen [STEFANOVSKA & PIDLISNYUK, 2009].

„Dormanz“ beschreibt das Stadium einer Pflanze, in dem das Wachstum und die Entwicklung vorübergehend angehalten sind. Dieses dient zur Überdauerung der Samen bei widrigen Umweltbedingungen [HILHORST, 2007]. Dormanz bei Samen ermöglicht, die Keimung über einen größeren Zeitraum zu steuern. Auf diese Weise findet eine Verringerung des Risikos statt, dass die Art durch außergewöhnliche Ereignisse, wie Klimaveränderung, das Überdauerungspotenzial verliert und ausstirbt. Die Dormanz bei Samen in natürlichen Pflanzengesellschaften ist umso stärker, je weiter entfernt diese vom Äquator angesiedelt sind [THOMPSON & OOI, 2010]. Als eine Eigenschaft eines Samens bezeichnen VLEESHOUWERS et al. (1995) die Dormanz, wobei bestimmte Bedingungen erfüllt sein müssen, damit ein Same keimt. Diese Definition ist auf den Samen bezogen und beinhaltet, dass jeder Same ein Reaktionsfenster hat, innerhalb dessen er keimbereit ist. Das ist zum Beispiel eine Spanne auf der Temperaturskala. Durch die Einflüsse der Mutterpflanze und

Umweltbedingungen während der Lagerung im Silo oder auch im Boden verändert sich dieses Fenster im Laufe der Zeit [VLEESHOUWERS et al. 1995].

Die Dormanz kann in zwei verschiedene Formen unterteilt werden. Zum einen in die primäre und zum anderen in die sekundäre Dormanz. Die primäre Dormanz gewährleistet, dass Samen während ihrer Entwicklung und Reifung auf der Mutterpflanze noch unmittelbar nach der Reife und dem Eintrag in den Boden keimen [KARSSSEN, 1980; URBANSKA, 1992]. Diese Eigenschaft ist bei Kulturpflanzen unbedingt erwünscht, um Ertrags- und Qualitätsminderung aufgrund von Auswuchs zu vermeiden. Hält diese primäre Dormanz über einen längeren Zeitraum von den Samen an, so bildet sich im Fruchtfolgeverlauf eine Bodensamenbank. Die sekundäre Dormanz wird durch bestimmte Umweltreize in nicht dormanten Samen nach der Reife erworben und kann ähnlich wie die primäre Dormanz zu einer Überdauerung der Samen im Boden führen [EGLEY et al., 1985; URBANSKA, 1985].

Die Bedeutung der Stoppelbearbeitung verfolgt mehrere Aspekte, die allerdings noch nicht vollständig erforscht sind. Die wesentlichen Aspekte der Stoppelbearbeitung liegen darin, Ausfallsamen und Unkrautsamen zum Auflaufen zu bringen sowie Ernterückstände und gegebenenfalls organische Dünger einzuarbeiten. Außerdem soll durch die Stoppelbearbeitung der kapillare Wasseraufstieg unterbrochen werden, wodurch eine Austrocknung des Bodens verhindert wird. Diese Annahmen beschreiben PENKRUN et al. (2011) aufgrund von unterschiedlichen Versuchen. Diese Annahmen werden allerdings nicht immer durch die beschriebenen Versuche gestützt. Daher besteht bei der Erforschung der Wirkung der Stoppelbearbeitung ein erhöhtes Potenzial, neue Erkenntnisse zu gewinnen. Insbesondere bedarf es Untersuchungen, die über einen langen Zeitraum unter verschiedenen Witterungsverläufen zuverlässige Ergebnisse liefern, um Handlungsempfehlungen für die Praxis ableiten zu können. Außerdem sind die Kosten für die jeweiligen Verfahren aus betriebswirtschaftlicher Sicht nicht unbedeutend. Abschließend werden die Verfahrenskosten nach der approximativen Durchschnittskostenkalkulation [MUßHOFF et al., 2011] der jeweiligen Stoppelbearbeitungsverfahren miteinander verglichen, wodurch eine monetäre Vergleichbarkeit zwischen den Varianten geschaffen werden soll.

Winterraps benötigt laut HENKE (2007) eine hohe Menge an Stickstoff, die häufig über 200 kg N/ha liegen, um hohe Erträge zu generieren. Dabei weist der Winterraps eine geringe N-Effizienz auf, was bedeutet, dass hohe N-Mengen nach der Rapsernte auf dem Feld zurückbleiben. Daraus resultieren hohe N-Bilanz-Überschüsse. Die N-Dynamik nach Winterraps kann durch unterschiedliche pflanzenbauliche Maßnahmen beeinflusst werden, laut HENKE (2007). Die N-Dynamik beinhaltet die Umsetzung von organisch gebundenem Stickstoff im Boden. Nach der Rapsernte ist dieser in Form von Stroh, Stoppelresten und Schotten wiederzufinden. Die Geschwindigkeit und Intensität der Umsetzung von organisch gebundenem Stickstoff in mineralischen Stickstoff ist durch mehrere Maßnahmen zu beeinflussen. Zur Reduzierung der N-Mineralisierung nach Winterraps im Herbst kann beispielsweise eine deutlich verzögerte Bodenbearbeitung führen. Außerdem kann durch eine geringere Bearbeitungstiefe die N-Mineralisierung verlangsamt werden. Durch die Verringerung der N-Mineralisierungsrate im Herbst soll die Auswaschungsgefahr von mineralisch gebundenem Stickstoff reduziert werden [HENKE, 2007].

Zur Ermittlung des sich im Boden befindlichen mineralisch gebundenen Stickstoffs wird die von WEHRMANN et al. eingeführte N_{\min} -Methode angewandt. Die Bodenprobenuntersuchung findet in den Tiefen von 0-30; 30-60 und 60-90 statt. Daraufhin wird die Menge an vorhandenem N_{\min} quantifiziert. Diese Methode diente ursprünglich zur Ermittlung der zu düngenden Menge der jeweiligen Kulturen im Frühjahr, um große N-Überschüsse zu vermeiden. Als N_{\min} werden die zwei Stickstoffformen NH_4^+ -N und NO_3^- -N bezeichnet. Der N_{\min} -Gehalt wird mit einer 0,025 M $CaCl_2$ -Lösung extrahiert und photometrisch gemessen [SCHUBERT, 2006].

Unter Berücksichtigung der theoretischen Hintergründe und Probleme, die mit dem Winterrapsanbau einhergehen ergeben sich zentrale Fragestellungen des angefertigten Versuchs, der in Zusammenarbeit mit dem pflanzenbaulichen Beratungsunternehmen Hanse Agro angefertigt wurde. Die zentralen Fragestellungen des in dieser Arbeit behandelten Versuches belaufen sich im Wesentlichen auf den Einfluss der Stoppelbearbeitung nach Raps auf die Mineralisierung beziehungsweise Konservierung bezüglich der N_{\min} -Menge. Außerdem werden die unterschiedlichen Bearbeitungsstrategien dahingehend überprüft, welchen Einfluss diese auf das Auflaufverhalten des Ausfallrapses haben. Gesucht wird somit eine Bodenbearbeitungsstrategie, die so viel Stickstoff wie möglich konserviert bei hohen Auflaufraten des Ausfallrapses der dabei keine Nematoden vermehren und das Infektionspotenzial von Fruchtfolgekrankheiten nicht erhöht.

2 Material und Methoden

2.1 Standortbeschreibung

2.1.1 Geographische Lage

Der Versuchsstandort liegt im östlichen Niedersachsen, im Landkreis Helmstedt und wird von der Domäne Bahrdorf bewirtschaftet, Betriebsspiegel siehe Anh. A5. Die Domäne Bahrdorf ist ein reiner Ackerbaubetrieb. Die Schlaggröße des Versuchsfeldes, das „Umfeld“, beträgt 10 ha. Ein Luftbild der Versuchsfläche ist im Anhang zu finden, Anh. A1. Das Umfeld weist heterogene Bodenverhältnisse auf, die sich von der Bodenart Sand (S) bis zu sandigem Lehm (sL) erstrecken. In Bodenpunkten ausgedrückt liegen die Werte zwischen 21 und 35. Dabei ist ein Drittel des Umfelds im Bereich von 35 Bodenpunkten. Dieser Bereich ist mit einer Drainage zur Entwässerung ausgestattet und liegt im östlichen Teil des Schlages. Durch die wechselnden Bodenverhältnisse in Bewirtschaftungsrichtung, durchläuft jede Bodenbearbeitungsvariante die unterschiedlichen Bodenverhältnisse. In der Bonitur wurde ausschließlich der östliche Bereich des Umfelds betrachtet.

2.1.2 Witterungsverlauf

Der Witterungsverlauf für das Jahr 2013/2014 am Standort Bahrdorf ist in Abb. 1 dargestellt. Die Wetterstation befand sich in dem Ort Bahrdorf, der in 5 km Entfernung zur Versuchsfläche „Umfeld“ liegt. Die Darstellung zeigt vom 01. Juli 2013 bis 31. Juli 2014 die Tagesmitteltemperaturen gemessen in 2 m Höhe sowie die Niederschlagsmengen.

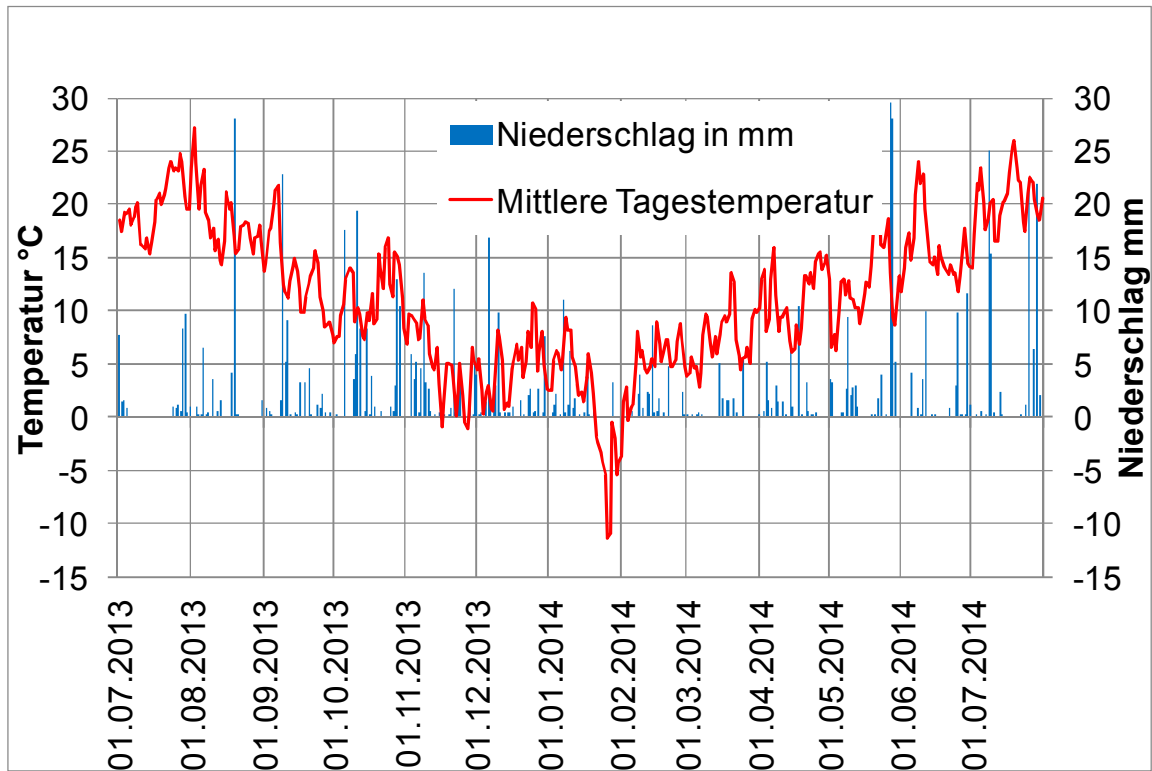


Abb. 1: Witterung in Bahrdorf. Dargestellt sind die Tagesmitteltemperaturen in 2 m Höhe in °C (rote Linie) sowie der tägliche Niederschlag in mm (blaue Balken) für den Zeitraum 01. Juli 2013 bis 31. Juli 2014 Quelle: Fieldclimate Wetterstation, eigene Darstellung.

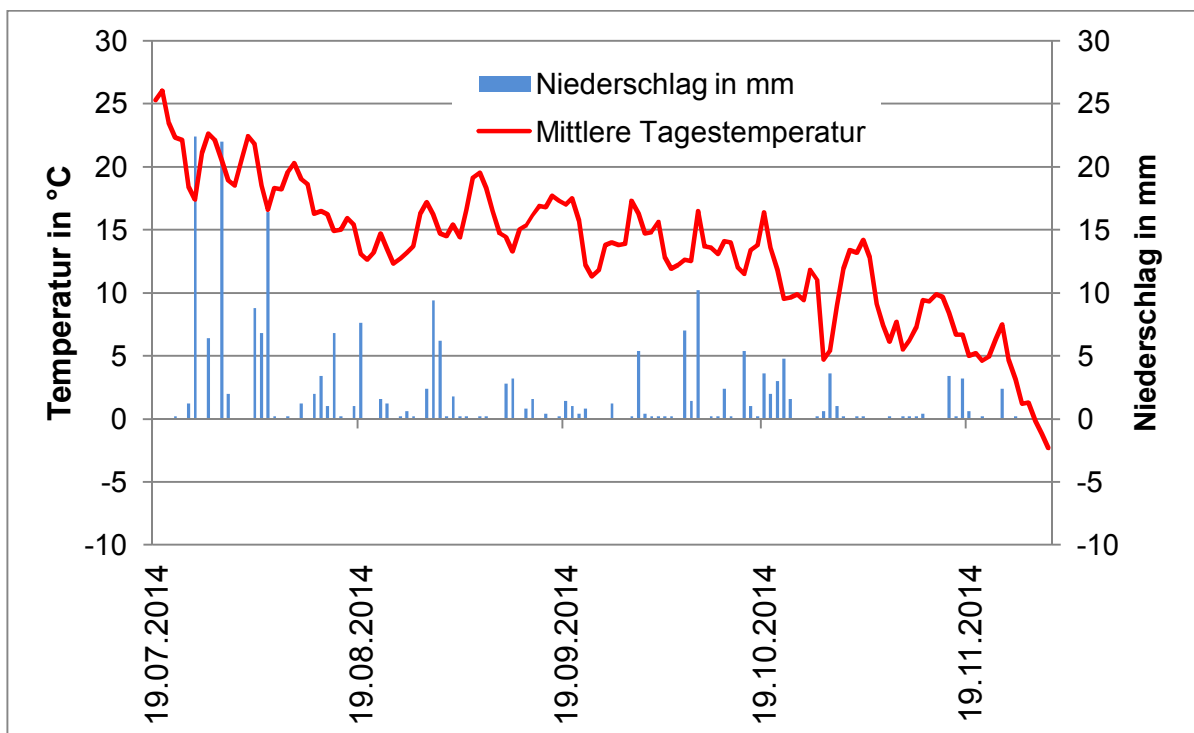


Abb. 2: Der Witterungsverlauf an dem Versuchsstandort, in dem Zeitraum vom 18. Juli 2014 (Ernte des Rapses) bis zum 01. Dezember 2015 (4. N_{\min} Beprobungstermin). Die blauen Säulen geben den Niederschlag des jeweiligen Zeitraums in mm an. Die Rote Kurve zeigt die mittlere Tagestemperatur in 2 m Höhe in °C an. Die Daten der Darstellung entstammen der Wetterstation von Fieldclimate in Bahrdorf, 5 km Entfernung zum Versuchsstandort Quelle: Fieldclimate, eigene Darstellung.

Die Tagesmitteltemperatur vom 01. Juli 2013 bis zum 30. Juni 2014 lag bei 10,5 °C und der Jahresniederschlag betrug in dem Zeitraum 633 mm. Die absolut niedrigste Temperatur wurde am 27. Januar 2014 gemessen, diese lag bei -12,7 °C. Diese Kälteperiode hielt nur kurzzeitig an. Die Temperaturen stiegen ab der zweiten Hälfte des Monats Februar an, was einen frühen Vegetationsbeginn zur Folge hatte. Die Bodenfeuchtigkeit war im Frühjahr immer ausreichend vorhanden. Typisch für diesen Standort sind geringe Niederschlagsmengen im Frühjahr, was im Jahr 2014 allerdings nicht der Fall war. In dem Zeitraum nach der Ernte (18. Juli 2014) bis zum zweiten Bodenbearbeitungstermin am 30. August 2014 fielen 125 mm Niederschlag. Dadurch waren von der Bodenfeuchtigkeit gute Auflaufbedingungen für den Ausfallraps gegeben. Diese Witterungsdaten für den Zeitraum nach der Rapsernte bis zum Vegetationsende der Folgefrucht Winterweizen sind in Abb. 2 dargestellt.

2.2 Versuchsplan

Die Bewirtschaftung des Versuchfeldes „Umfeld“ wurde in Ost-West-Richtung durchgeführt, in gleicher Richtung wurden die Versuchspartellen angelegt. Siehe Anh. A1. Insgesamt wurden zehn verschiedene Stoppelbearbeitungsvarianten, die sich in der Bearbeitungsintensität, dem Bearbeitungszeitpunkt und der eingesetzten Maschine unterschieden, angelegt. Dabei wurden acht Stoppelbearbeitungsvarianten in dreifacher Wiederholung, eine Variante in zweifacher Wiederholung sowie eine Variante in einfacher Wiederholung durchgeführt. Die Wiederholungen der einzelnen Varianten befinden sich randomisiert auf der Versuchsfläche. Die Parzellenbreiten sind aufgrund der variierenden Arbeitsbreiten der eingesetzten Maschinen verschieden groß. Die Rapsernte erfolgte am 18. Juli 2014 mit einem Claas Lexion 580, mit einer Schnittbreite von 7,5 m und zwei Rapstrennmessern sowie einem variablen Rapstisch. Der Ertrag lag bei 49,80 dt/ha bei 9 % Feuchtigkeit. Die Rapssorte war PR46 W20 (Hybridsorte) des Züchterhauses Pioneer Hi-Bred.

Tab. 1 stellt den Variantenplan des Schlags Umfeld dar. Die erste Zeile der Tab. 1 zeigt die Termine der Bodenbearbeitung. In der ersten Spalte sind die von 1 bis 10 bezifferten Varianten abgetragen. Die verwendeten Abkürzungen beschreiben die eingesetzte Technik in den jeweiligen Varianten, die im Weiteren erläutert werden. Die Variante 0 stellt einen technisch bedingten Überlappungsbereich dar, welcher in den Bonituren nicht berücksichtigt wurde. In der Variante 1 wurde eine Bodenbearbeitung an den ersten beiden Terminen unterlassen. Die dritte Bodenbearbeitung am 05. September 2014 wurde einheitlich über alle Varianten mit einer Amazone Kurzscheibenegge (KSE, A) in einer Bearbeitungstiefe von 12 cm durchgeführt. Die vierte Bodenbearbeitung am 17. September 2014 entspricht der Grundbodenbearbeitung, diese wurde mit einem Horsch Tiger (4 m Arbeitsbreite, 4-balkig, 25 cm Strichabstand) in einer Tiefe von 25 cm durchgeführt. Die dritte und vierte Bodenbearbeitung wurde in allen Varianten, ausgenommen Variante 8, einheitlich durchgeführt. Die Variante 2 wurde mit einer Väderstad Carrier (5 m Arbeitsbreite), bei der die Scheibenegge ausgehoben war und ausschließlich die Crosscutter Knife (CC) gearbeitet hat, realisiert. Dies wurde an dem ersten (22. Juli 2014) und zweiten (12. August 2014) Bodenbearbeitungstermin durchgeführt. Dabei ist die Bearbeitungstiefe technisch bedingt

begrenzt auf 1-2 cm. Bei der Variante 3 wurde an dem ersten und zweiten Bearbeitungstermin mit einer Kurzscheibenegge von Väderstad (KSE) gearbeitet. Die Bearbeitungstiefe lag an dem ersten Termin bei 5-6 cm und an dem zweiten Termin bei 7-8 cm. In der Variante 4 wurde mit einer Crosscutter Disc von Väderstad (CCD) sowohl am ersten als auch am zweiten Bearbeitungstermin in einer Bearbeitungstiefe von 3-5 cm gearbeitet. Die Variante 5 wurde mit einer Crosscutter Disc (CCD) mit vorgeschalteter Crosscutter Knife (CC) von der Firma Väderstad sowohl am ersten als auch am zweiten Bearbeitungstermin bearbeitet. Die Bearbeitungstiefe betrug bis zu 3 cm.

Tab. 1: Der Variantenplan Umfeld zeigt Stoppelbearbeitungsversuch mit Bodenbearbeitungsterminen und eingesetzter Technik, BB= Bodenbearbeitung, Erklärungen der Abkürzungen siehe Text.

Datum	1. BB 22.07.2014	2. BB 12.08.2014	3. BB 05.09.2014	4. BB 17.09.2014
Variante				
0	Überlappungsbereich, verwerfen			
1	unbearbeitet	unbearbeitet	KSE, A	tief
2	CC	CC	KSE, A	tief
3	KSE	KSE	KSE, A	tief
4	CCD	CCD	KSE, A	tief
5	CC + CCD	CC + CCD	KSE, A	tief
6	CC + KSE	CC + KSE	KSE, A	tief
7	Häcksler Striegel	KSE	KSE, A	tief
8	Häcksler Striegel	KSE	KSE, A	tief
9	unbearbeitet	KSE	KSE, A	flach
10	KSE tief	unbearbeitet	KSE, A	tief

Die Variante 6 besteht aus einer Kombination aus Crosscutter Knife und Kurzscheibenegge von der Firma Väderstad. Die Bearbeitungstiefe beträgt 3-5 cm. Diese Kombination wurde an dem ersten und zweiten Bearbeitungstermin in gleicher Weise verwendet. In der 7. und 8. Variante wurde am ersten Bearbeitungstermin ein Sichelmulcher (Häcksler Striegel) in Kombination mit einem Strohstriegel eingesetzt, anschließend wurde der Boden bei dieser Variante mit der Walze der Kurzscheibenegge überfahren. Der zweite Bearbeitungstermin wurde mit der Kurzscheibenegge Carrier (KSE) in Variante 7 und 8 bei einer Bearbeitungstiefe von 5-8 cm bearbeitet. In der Variante 8 wurde die Grundbodenbearbeitung in einer Bearbeitungstiefe von 15 cm (flach) durchgeführt, worin sich diese Variante von allen anderen unterscheidet. In der Variante 9 wurde die erste Bodenbearbeitung ausgelassen und erstmalig am zweiten Bearbeitungstermin mit der Kurzscheibenegge (KSE) in einer Tiefe von 5-8 cm bearbeitet. Die Variante 10 wurde an dem ersten Bodenbearbeitungstermin in einer Tiefe von 10-12 cm mit der Kurzscheibenegge (KSE) bearbeitet.

In Abb. 3 ist der Versuchsplan des Stoppelbearbeitungsversuchs dargestellt. Dabei stellen die gelb markierten Felder jeweils eine Parzelle, die mit einer Parzellennummer

gekennzeichnet ist, dar. Zum einen ist in Abb. 3 die Breite der jeweiligen Parzelle und zum anderen die in der Parzelle angewandte Variante abgebildet. Die Parzelle 101 befindet sich ganz im Süden des Umfelds. Die Parzelle 127 dahingegen ganz im Norden. Der Versuchsplan zeigt die zufällige Verteilung der Varianten auf der gesamten Fläche. Die weißen Tabellenfelder stellen die technisch bedingten Überlappungsbereiche dar.

Parzellennummer		101	102		103	104		105	106		107
		1	2		3	4		5	6		10
Variante	Rand	1	2	0	3	4	0	5	6	0	10
Breite (m)	8	4	5	2,5	5	5	5	5	5	4	5

Parzellennr.		1081	108	109	110		111	112		113	
		9	1	7	8		6	5		2	
Variante	0	9	1	Häcksler	Häcksler	0	6	5	0	2	0
Breite (m)	2,5	3	3	6	6	2,5	5	5	2,5	5	2,5

Parzellennr.		114	115		116	117	118		119		120
		3	4		10	7	1		10		6
Variante		3	4	0	10	Häcksler	1	0	10	0	6
Breite (m)		5	5	5	5	6	3	2,5	5	2,5	5

Parzellennr.		121		122	124		125	126		127
		5		7	8		4	3		2
Variante		5	0	Häcksler	8	0	4	3	0	2
Breite (m)		5	2,5	8	6	2,5	5	5	2,5	2,5

Abb. 3: Variantenabfolge auf dem Schlag Umfeld mit Parzellennummern aus Richtung Süd (links) nach Nord (rechts); Quelle: Eigene Darstellung.

2.3 Eingesetzte Technik

Durch die Zusammenarbeit mit dem Landmaschinenhersteller Väderstad wurden hauptsächlich Maschinenkombinationen dieser Firma eingesetzt. Dabei bildet das Grundgerüst für die Crosscutter Knife (CC) und Crosscutter Disc (CCD) eine Kurzscheibenegge Carrier mit 5 m Arbeitsbreite und einer Stahlwalze (SoilRunner), wie in Abb. 4 dargestellt. Die Crosscutter Knife ist eine Walze mit schräg verlaufenden Klingen, die Pflanzenbestände niederdrückt und gleichzeitig abschneidet und wird auch als Messerwalze bezeichnet. Diese ist durch eine hydraulische Einheit separat von der Kurzscheibenegge nutzbar. Dadurch war es möglich mit einer Maschine mehrere Varianten durchzuführen. Allerdings benötigt es etwas Zeit, die normalen Scheiben der Maschine mit den Crosscutter Disc zu wechseln. Mit der Bezeichnung „Crosscutter Disc“ ist eine einzelne Scheibe mit schrägen Schneiden gemeint. Diese schrägen Schneiden bearbeiten oberflächennah den Boden im Winkel von 90° zur Fahrtrichtung. Durch die gummigelagerte Aufhängung jeder Grindel passen sich die einzelnen Scheiben an die Bodenkontur an. Durch die schrägen Schneiden der Crosscutter Disc ist ein Bearbeitungshorizont bis zu 3 cm möglich. Nach der Rapserte zerschneidet und zerkleinert die Crosscutter Disc die Rapsstoppeln schnell und soll so ein schnelles auflaufen der Ausfallrapsamen begünstigen [DETER, 2015].

Bei der verwendeten Maschine mit der Bezeichnung „KSE,A“ handelt es sich um eine betriebseigene Kurzscheibenegge der Firma Amazone mit einer Arbeitsbreite von 6 m. Diese Kurzscheibenegge besteht aus zwei Scheibenreihen, wobei jede Scheibe einzeln gummigelagert ist, und einer Keilringwalze. Damit wurde die dritte Bodenbearbeitung einheitlich über alle Varianten durchgeführt. Die Bezeichnung „Häcksler Striegel“ beinhaltet einen Sichelmulcher der Firma Major mit einer Arbeitsbreite von 6 m. Dahinter wurde eigens ein Strohstriegel konstruiert. Ein Bild dieser Maschinenkombination befindet sich im Anhang, Anh. A2. Die Grundbodenbearbeitung findet nach Raps in dem Betrieb üblicherweise nicht wendend mit einem Mulchgrubber statt. Auch auf der Versuchsfläche wurde dies so gehandhabt mit einem Horsch Tiger bei 4 m Arbeitsbreite. Nach der Grundbodenbearbeitung am 17. September 2014 fand die Aussaat von Winterweizen am 26. September 2014 mit einer Kreiseleggen-Drillmaschinen-Kombination der Firma Lemken statt. Dabei wurde die Weizensorte Kerubino ausgesät.



1: Crosscutter Knife
(CC)

2: Crosscutter Disc
(CCD)

3: Stahlwalze
(SoilRunner)

Abb. 4: Väderstad Kurzscheibenegge Carrier auf einem Weizenstoppel mit einem Crosscutter Knife und Crosscutter Disc. Quelle: Eigene Aufnahme, August 2014.

2.4 Bonituren

Unmittelbar nach der Rapserte, am 21. Juli 2014, wurde an drei Punkten auf dem Schlag Umfeld jeweils ein Quadratmeter Ernterückstand mit einem Staubsauger aufgesaugt. Bilder von diesem Vorgang befinden sich dem Anhang beigefügt Anh. A3. Die Punkte befanden sich in einer Druschspur mit den Bezeichnungen Ost, Mitte und West. In dem Ernterückstand befinden sich Rapskörner, Stroh, Schoten, Sand und Steine. Dieses Gemenge wurde mittels Aussieben gereinigt, um die vorhandenen Körnerverluste festzustellen. Dabei entstanden sehr unterschiedliche Werte, die nur als Anhaltspunkt angesehen werden können. Der

Quadratmeter an dem Punkt Ost beinhaltete 2278 Rapskörner/m². Der Punkt in der Mitte enthielt 815 Rapskörner/m². Der westliche Punkt enthielt einen Rapsanteil von 3753 Körner/m².

An den gleichen Punkten hat eine N_{min}-Beprobung am 21. Juli 2014 stattgefunden, in der Tiefe von 0-30 cm und 30-60 cm. Dabei wurde NH₄⁺-N und NO₃⁻-N ermittelt, im Weiteren wird die Summe der beiden Stickstoffformen als N_{min} in kg N_{min}/ha beschrieben. Nach der ersten Bodenbearbeitung wurden in jeder Parzelle N_{min}-Beprobungen durchgeführt, die ausschließlich im östlichen Teil des Umfelds stattgefunden haben. Dabei wurde eine Mischprobe aus zwei Einstichen, die etwa 25-30 m voneinander entfernt liegen, erstellt. Die Proben wurden mittels Probenstecher und Hammer entnommen. Die Untersuchungen der Bodenproben wurden durch das Institut Koldingen der Agrolab Group durchgeführt. Die N_{min}-Beprobung jeder Parzelle fand an jedem weiteren Termin an den gleichen Punkten innerhalb der Parzelle statt. Im Zeitverlauf des Versuches wurde viermalig die N_{min}-Menge des Bodens in den Tiefen 0-30 cm und 30-60 cm ermittelt. Die letzte N_{min}-Beprobung fand zum Vegetationsbeginn des Winterweizens, am 05. März 2015, statt. Dabei wurde eine Lagerungstemperatur der Bodenproben von 5 °C, durch das Aufbewahren der Proben in Kühltaschen, nicht überschritten.



Abb. 5: Ein Zählrahmen am 10. August 2014, bei dem von einem Viertel Quadratmeter Rapspflanzen gezählt und entnommen wurden. Die Frischmasse der Rapspflanzen wurde in g mithilfe einer Küchenwaage ermittelt, Quelle: Eigene Aufnahme.

Außerdem haben Pflanzenzählungen der aufgelaufenen Rapspflanzen von je einem Viertel m² mithilfe eines Zählrahmens stattgefunden, wie in Abb. 5 zu sehen ist. Die Pflanzenzählungen wurden ebenfalls in jeder Parzelle vor der zweiten und dritten

Bodenbearbeitung durchgeführt. Dabei wurde auch die gebildete Frischmasse (FM in g) der aufgelaufenen Rapspflanzen erfasst. Dadurch konnte mithilfe eines Trockenschanks die Trockenmasse (TM in g) ermittelt werden. Außerdem konnte der N-Entzug der aufgelaufenen Rapspflanzen durch die Nahinfrarotspektroskopie (NIRS-Methode) ermittelt werden, die dann in % N der TM angegeben sind. Ebenso wurden die C-Gehalte in % C der TM ermittelt. Im Weiteren werden die aufgelaufenen Rapspflanzen als Pflanzen/m² bezeichnet. Die Frisch- und Trockenmassen sowie die N- und C-Entzüge werden im Folgenden in kg/ha angegeben.

2.5 Keimverhalten und Tausendkornmasse

Nach der Ernte des Rapses wurde die Tausendkornmasse (TKM) stichprobenartig ermittelt. Die TKM betrug 4,5 g im Mittel von vier Stichproben. Außerdem wurde eine Keimprobe im Labor, bei verschiedenen Temperaturen, durchgeführt. Dabei wurde das Keimverhalten der Rapssamen bei den Temperaturen 7, 14, 21 und 28 °C beobachtet. In jedem Temperaturbereich wurden vier Petrischalen mit jeweils zehn frischgereiften Rapskörnern angelegt. Die Petrischalen waren mit angefeuchtetem Papier ausgelegt um günstige Keimbedingungen zu schaffen. Die Keimproben wurden in Thermoschränken bei der jeweiligen Temperatur inkubiert. Das Keimverhalten wurde im Abstand von sechs Stunden kontrolliert. Um die Keimminimumtemperatur zu finden, bei der die Keimung beginnt, wurde wie folgt vorgegangen. Es werden die Zeiten (t in Stunden) genommen, bis die Hälfte der Samen bei jeweiliger Temperatur gekeimt waren. Diese Zeit wird als $t_{A/2}$ bezeichnet. Daraus wird der reziproke Wert gebildet, der dann die Keimungsrate widerspiegelt ($1/t_{A/2}$). Die Werte der Keimungsraten werden dann gegen die Temperatur aufgetragen. Da die kleinste untersuchte Temperatur von 7 °C nicht der Keimminimumtemperatur (T_{\min}) entspricht, wird diese durch Extrapolation ermittelt [EHLERS, 1980].

2.6 Verrechnung und Statistik

Die statistische Verrechnung der Versuchsdaten wurde mittels der Statistik-Software SAS durchgeführt. Einige erhobene Parameter zeigen in den dargestellten Abbildungen als Streuungsmaß der jeweiligen Wiederholungen um den Mittelwert den Standardfehler, der durch einen Fehlerbalken dargestellt ist. Für die multiplen Vergleiche der Mittelwerte wurde der Tuckey-Test mit einem Signifikanzniveau von 0,05 verwendet. Enthalten die Säulen innerhalb der Abbildungen eine Kennzeichnung mit unterschiedlichen Buchstaben (a, b, c bzw. A, B, C), konnten mittels Tuckey-Test signifikante Unterschiede festgestellt und in den Abbildungen dargestellt werden [KLUTH, 2015].

3 Ergebnisse

Im Ergebnisteil werden die erfassten Werte, die durch die Beprobungen und Zählungen ermittelt wurden, veranschaulicht. Dabei ist zu beachten, dass bei dem Vergleich zwischen

den einzelnen Varianten, die Varianten 8 in zweifacher Wiederholung, sowie die Variante 9 in einfacher Form angelegt wurden. Somit sind die Ergebnisse der beiden Versuchsvarianten nicht ausreichend repräsentativ für die jeweilige Bearbeitungsweise. Diese Annahme gilt für die Abschnitte 3.2 N_{\min} -Beprobung, 3.3 Frisch- und Trockenmasse, 3.4 Aufgelaufene Rapspflanzen und 3.5 Stickstoffaufnahme und 3.6 Kohlenstoffaufnahme.

3.1 Keimungsrate

In Abb. 6 ist die Keimungsrate als Funktion der Temperatur dargestellt. Dabei ist die Temperatur in °C auf der Abszisse abgetragen sowie auf der Ordinate die Keimungsrate in $1/t_{A/2}$ abgetragen ist. Die in dieser Versuchsanstellung benötigte Temperatur zum Keimen wurde durch Extrapolation der Werte von 7 und 14 °C ermittelt, sie liegt bei 4,22 °C

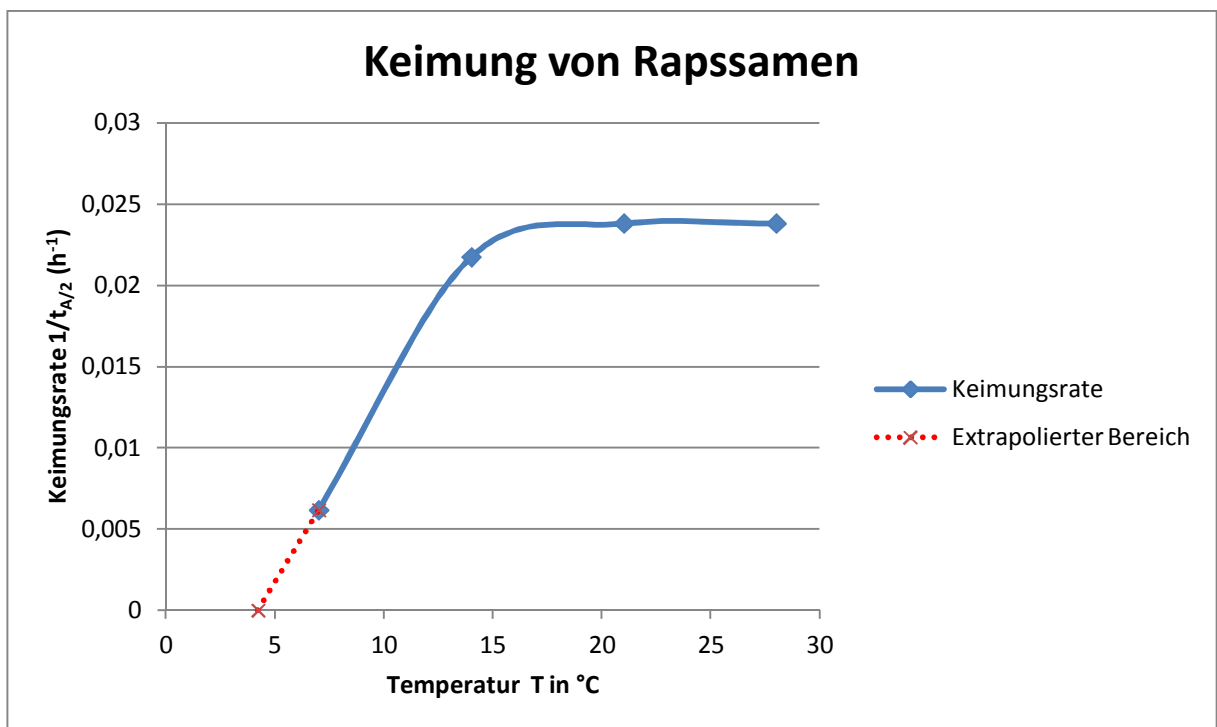


Abb. 6: Die Keimungsrate als Funktion der Temperatur, ermittelt durch die Keimproben, die bei 7, 14, 21 und 28 °C durchgeführt wurden. Der rot gestrichelte Abschnitt ist durch Extrapolation ermittelt worden. Die Keimminimumtemperatur (T_{\min}) ist durch die Verbindung der Punkte der Keimungsrate der Temperaturen 7 und 14°C ermittelt worden.

3.2 N_{\min} -Beprobung

In Abb. 7 ist die N_{\min} -Menge des Bodens in den Bodenschichten von 0-30 cm (blaue Säule) und von 30-60 cm (rote Säule) dargestellt. Die Beprobung wurde am 03. August 2014 durchgeführt. Die höchste N_{\min} -Menge in der oberen Bodenschicht ist in Variante 9 mit 58 kg N_{\min} /ha. Da diese Variante nur in einfacher Wiederholung angelegt wurde, ist der Wert nicht repräsentativ für die hier durchgeführte Bodenbearbeitungsvariante. Bis zum Zeitpunkt der

Probenahme wurde die Variante 9 nach der Ernte nicht bearbeitet. In der sechsten Variante enthielt die Bodenschicht von 0-30 cm 51 kg N_{\min} /ha. Diese Variante wurde am 22. Juli 2014 mit der Kombination aus Kurzscheibenegge und dem Crosscutter Knife bearbeitet. Die geringste N_{\min} -Menge in der Bodenschicht von 0-30 cm wurde in der Variante 4 beobachtet. In dieser Variante sind 34 kg N_{\min} /ha vorhanden. Nach der Rapsernte wurde in dieser Variante am 22. Juli 2014 die Crosscutter Disc eingesetzt. In den Varianten 1, 2, 3, 5, 7, 8 und 10 sind N_{\min} -Mengen von 40-47 kg N_{\min} /ha vorhanden.

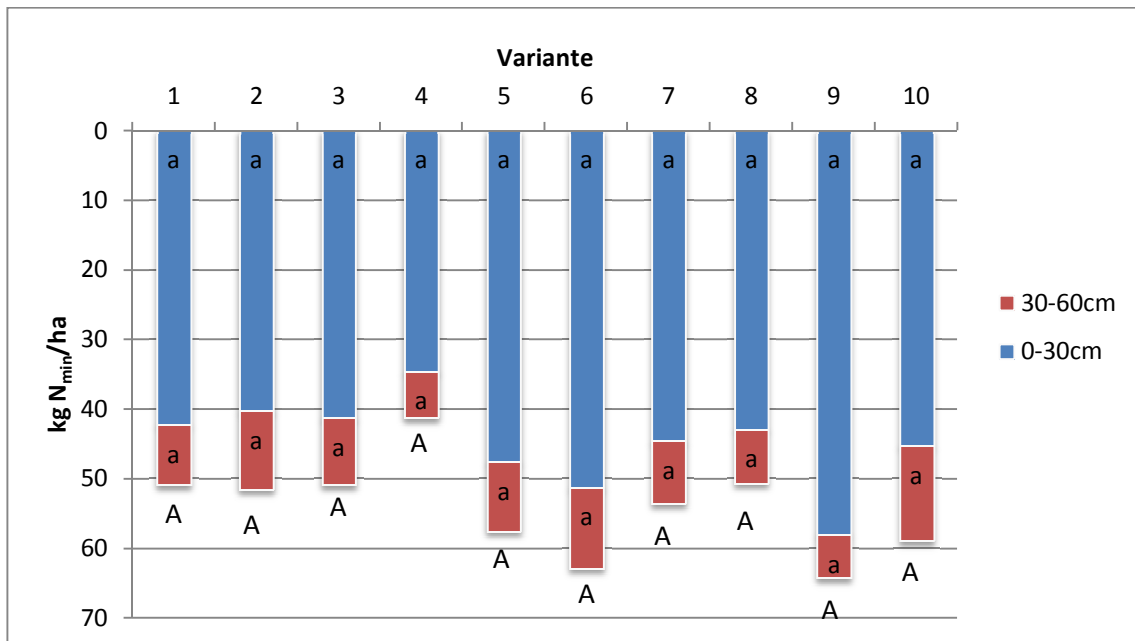


Abb. 7: N_{\min} -Menge am 03. August 2014 in kg N/ha in jeder Variante. Die blaue Säule veranschaulicht die N_{\min} -Menge in der Tiefe von 0-30 cm, wohingegen durch die rote Säule die N_{\min} -Menge in der Bodenschicht von 30-60 cm dargestellt ist. Werte mit gleichen Buchstaben unter den Säulen sind nicht signifikant verschieden, $P \leq 0,05$ (Tuckey-Test). Die Kleinbuchstaben geben die Signifikanz der Bodenschicht 0-30 bzw. 30-60 cm wieder. Die Großbuchstaben unter den Säulen geben die Signifikanz der Bodenschicht von 0-60 cm an.

Die N_{\min} -Menge für die Bodenschicht von 30-60 cm ist in Abb. 7 durch die roten Säulenabschnitte dargestellt. Die größte N_{\min} -Menge war in Variante 10 mit 13 kg N_{\min} /ha vorhanden. Diese Variante wurde am 22. Juli mit der Kurzscheibenegge in einer Bearbeitungstiefe von 10-12 cm bearbeitet. In den Varianten 2 und 6 waren 11 kg N_{\min} /ha vorhanden. Die Variante 2 wurde nach der Ernte mit dem Crosscutter Knife bearbeitet, wohingegen die Variante 6 mit der Kombination aus Crosscutter Knife und Kurzscheibenegge bearbeitet wurde. Die geringste N_{\min} -Menge wurde mit 6 kg N_{\min} /ha in den Varianten 4 und 9 ermittelt. Die N_{\min} -Menge für die Bodenschicht 0-60 cm war in der Variante 9 mit 64 kg N_{\min} /ha sowie in der Variante 10 mit 59 kg N_{\min} /ha am höchsten. In der Variante 4 waren dagegen nur 41 kg N_{\min} /ha vorhanden. Durch die Kennzeichnung mit dem gleichen Großbuchstaben waren die Werte der Bodenschicht von 0-60 cm nicht signifikant verschieden. Die Kleinbuchstaben stehen für Vergleiche der Bodenbearbeitungsverfahren

innerhalb der jeweiligen Bodenschicht an. Hier sind allerdings keine signifikanten Unterschiede ermittelt worden.

In Abb. 8 ist die N_{\min} -Menge des Bodens in den Bodenschichten von 0-30 cm (blaue Säule) und von 30-60 cm (rote Säule) dargestellt. Die Beprobung wurde am 26. August 2014 durchgeführt. Die größte N_{\min} -Menge in der oberen Bodenschicht war in Variante 4 vorhanden, mit 54 kg N_{\min} /ha. Dieser Wert ist mit dem Kleinbuchstaben a versehen, was sich durch den Tuckey-Test ergeben hat. Die Variante 4 wurde bis zur Probenahme am 22. Juli sowie am 12. August 2014 mit der Crosscutter Disc bearbeitet. Die geringste N_{\min} -Menge in der Bodenschicht von 0-30 cm wurde in der Variante 10 mit 13 kg N_{\min} /ha ermittelt, dieser Wert wurde mit dem Kleinbuchstaben b versehen, was bedeutet, dass dieser Wert signifikant verschieden von den Varianten 4 und 6 ist. Die Variante 10 wurde am 22. Juli 2014 mit der Kurzscheibenegge in einer Tiefe von 10-12 cm bearbeitet. In der Variante 1 waren 22 kg N_{\min} /ha in der oberen Bodenschicht vorhanden, der Wert dieser Variante ist mit der Kleinbuchstaben Kombination ab gekennzeichnet. Die Variante 1 wurde seit der Ernte (18. Juli 2014) nicht bearbeitet.

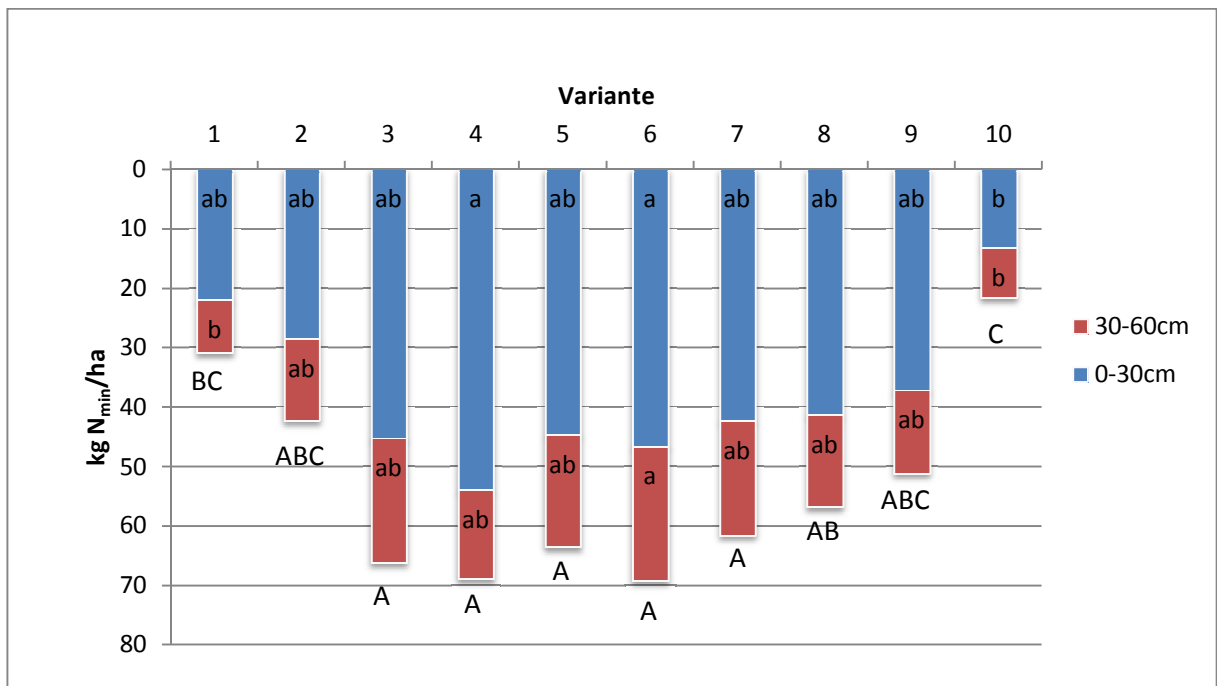


Abb. 8: N_{\min} -Menge am 26. August 2014 in kg N/ha in jeder Variante. Die blaue Säule veranschaulicht die N_{\min} -Menge in der Tiefe von 0-30 cm, wohingegen durch die rote Säule die N_{\min} -Menge in der Bodenschicht von 30-60cm dargestellt ist. Werte mit verschiedenen Großbuchstaben unter den Säulen sowie verschiedenen Kleinbuchstaben in den Säulen sind signifikant verschieden, $P \leq 0,05$ (Tuckey-Test). Die Großbuchstaben beschreiben die Signifikanz in der Bodenschicht von 0-60 cm. Die Kleinbuchstaben geben die Signifikanz der jeweiligen Bodenschicht 0-30 bzw. 30-60 cm wieder.

Die N_{\min} -Menge der Bodenschicht von 30-60 cm erstreckt sich in dem Bereich von 8 kg N_{\min} /ha in Variante 10 bis 22 kg N_{\min} /ha in Variante 6. In der Variante 1 waren 9 kg N_{\min} /ha vorhanden. Die Variante 1 und 10 sind in den roten Säulenabschnitten mit dem gleichen Kleinbuchstaben (b) gekennzeichnet, was bedeutet, dass diese Varianten signifikant ver-

schieden von der Variante 6 war. Die Variante 6 ist mit dem Kleinbuchstaben (a) gekennzeichnet. Die restlichen Varianten wiesen eine N_{\min} -Menge im Bereich von 13 kg bis 19 kg N_{\min} /ha auf.

Die N_{\min} -Menge der Bodenschicht von 0-60 cm am 26. August 2014 ist in Abb. 8 durch die blauen und roten Säulen zusammen dargestellt. Die größten N_{\min} -Mengen waren in den Varianten 4 und 6 mit jeweils 69 kg N_{\min} /ha vorhanden. Die jeweiligen Großbuchstaben für die Signifikanz sind unter den Säulen abgebildet. Der Buchstabe A kennzeichnet dabei immer den größten Wert. Die Varianten 4 und 6 sind mit dem Großbuchstaben A gekennzeichnet. Die niedrigste N_{\min} -Menge der Bodenschicht von 0-60 cm war in Variante 10 mit 21 kg N_{\min} /ha vorhanden. Diese Variante ist signifikant verschieden zu den Varianten 3, 4, 5, 6, und 7 und daher mit dem Großbuchstaben C versehen. In Variante 1 waren 31 kg N_{\min} /ha in der Bodenschicht von 0-60 cm vorhanden. Diese Variante ist ebenfalls signifikant verschieden zu den Varianten 3, 4, 5, 6 und 7 und mit der Großbuchstabenkombination (BC) gekennzeichnet.

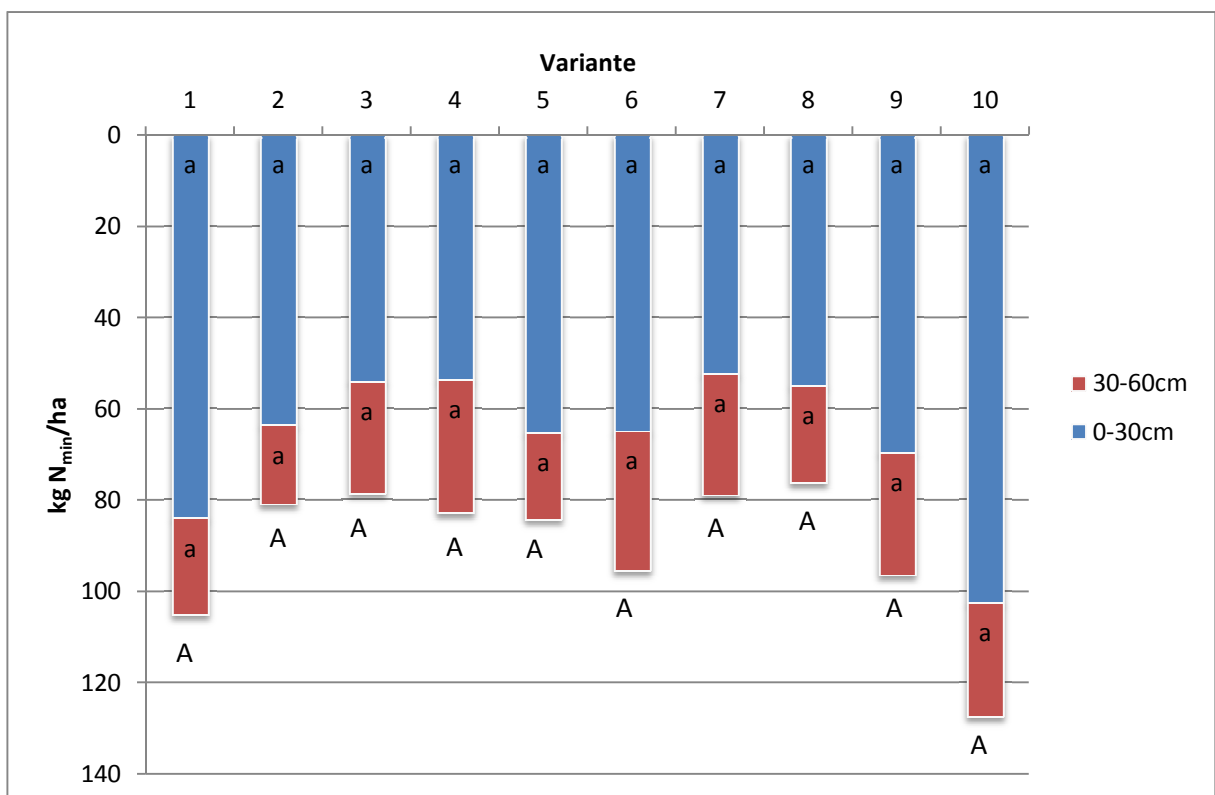


Abb. 9: N_{\min} -Menge am 22. November 2014 in kg N /ha in jeder Variante. Die blaue Säule veranschaulicht die N_{\min} -Menge in der Tiefe von 0-30 cm, wohingegen durch die rote Säule die N_{\min} -Menge in der Bodenschicht von 30-60 cm dargestellt ist. Werte mit gleichen Buchstaben unter den Säulen sind nicht signifikant verschieden, $P \leq 0,05$ (Tuckey-Test). Die Großbuchstaben unterhalb der Säulen beschreiben die Signifikanz in der Bodenschicht von 0-60 cm. Die Kleinbuchstaben beschreiben die Signifikanz der Bodenschichten von 0-30, an der Basis der blauen Säulen sowie die Signifikanz in der Bodenschicht von 30-60 an der Basis der roten Säulen.

In Abb. 9 ist die N_{\min} -Menge des Bodens in den Bodenschichten von 0-30 cm (blaue Säule) und von 30-60 cm (rote Säule) dargestellt. Die Beprobung wurde am 22. November 2014 durchgeführt. Die größten N_{\min} -Mengen in der oberen Bodenschicht ist in Variante 10 mit 102 kg N_{\min} /ha und in Variante 1 mit 84 kg N_{\min} /ha vorhanden. Da durch den Tuckey-Test auf Signifikanz keine Signifikanzen an diesem Termin sowohl in der Tiefe von 0-30 und 30-60 cm als auch in der gesamten Bodenschicht von 0-60 cm festgestellt wurden, sind alle Säulen und Säulenabschnitte der jeweiligen Bodenschichten mit dem gleichen Buchstaben gekennzeichnet. Die Variante 1 wurde bis zu der Beprobung am 05. September 2014 mit der Amazone Kurzscheibenegge, sowie am 17. September 2014 mit dem Horsch Tiger in 25 cm Tiefe bearbeitet. Außerdem fand die Aussaat des Weizens in der Variante 1 mit einer Lemken Kreiselegge und Drillmaschine am 26. September 2014 statt. Die Variante 10 wurde am 22. Juli 2014 mit der Väderstad Kurzscheibenegge in einer Tiefe von 10-12 cm bearbeitet. Die weitere Bodenbearbeitung war identisch mit der ersten Variante. Die geringste N_{\min} -Menge in der Bodenschicht von 0-30 cm war in der Variante 7 mit 52 kg N_{\min} /ha vorhanden. Diese Variante wurde am 22. Juli 2014 mit der Häcksler Striegel-Kombination und am 12. August 2014 mit der Väderstad Kurzscheibenegge bearbeitet. Die weitere Bodenbearbeitung war identisch mit der Variante 1. Die weiteren Varianten weisen eine N_{\min} -Menge von 54 kg bis 69 kg N_{\min} /ha auf.

Die N_{\min} -Menge in der Bodenschicht von 0-60cm war in der Variante 10 mit 127 kg N_{\min} /ha und in der Variante 1 mit 105 kg N_{\min} /ha am höchsten. Der niedrigste Wert war in der Variante 8 mit 76 kg N_{\min} /ha vorhanden. Diese unterschied sich von der Bodenbearbeitung der Variante 7 ausschließlich durch die Bearbeitungstiefe der Grundbodenbearbeitung mit dem Horsch Tiger. Die Bearbeitungstiefe lag in der Variante 8 bei 15 cm. Durch den Tuckey-Test konnten keine signifikanten Unterschiede für die Bodenschichten 0-30, 30-60 und 0-60 cm festgestellt werden. Der Buchstabe unterhalb der jeweiligen Säulen gibt die hier nicht vorliegende Signifikanz der N_{\min} -Menge in der Bodenschicht von 0-60 cm in Abhängigkeit des Stoppelbearbeitungsverfahrens an.

In Abb. 10 sind die N_{\min} -Mengen der Varianten 1 bis 10 in der Tiefe von 0-30; 30-60 sowie von 0-60 cm am 05. März 2015 dargestellt. Die geringste N_{\min} -Menge der Bodenschicht von 0-30 cm ist in der Variante 6 mit 11 kg N_{\min} /ha vorhanden. Diese Variante wurde am 22. Juli sowie am 12. August 2014 mit der Kombination von Crosscutter Knife und der Väderstad Kurzscheibenegge bearbeitet. Die weitere Bodenbearbeitung und Bestellung war identisch mit der im vorherigen Absatz beschriebenen Variante 1. Da durch den Tuckey-Test auf Signifikanz keine signifikanten Unterschiede an diesem Termin sowohl in der Tiefe von 0-30 und 30-60 cm als auch in der gesamten Bodenschicht von 0-60 cm festgestellt wurden, sind alle Säulen und Säulenabschnitte mit dem gleichen Buchstaben gekennzeichnet. Die größte N_{\min} -Menge war in der Variante 8, die sich durch die Bearbeitungstiefe der Grundbodenbearbeitung von der Variante 7 unterschied, mit 23 kg N_{\min} /ha vorhanden. Die N_{\min} -Menge in der Bodenschicht von 30-60 cm lag im Bereich von 7 kg bis 14 kg N_{\min} /ha. Dabei wies die Variante 2 mit 7 kg N_{\min} /ha den geringsten Wert auf. In den Varianten, 6, 8 und 10 waren jeweils 9 kg N_{\min} /ha vorhanden. Die größte N_{\min} -Menge kam in Variante 4 mit 14 kg N_{\min} /ha

vor. Die größte N_{\min} -Menge in der Tiefe von 0-60 cm am 05. März 2015 war in Variante 4 mit 33 kg N_{\min} /ha vorhanden. Die Varianten 5 und 8 wiesen eine Menge von 32 kg N_{\min} /ha auf. Der niedrigste Wert war in der Variante 9 mit 18 kg N_{\min} /ha vorhanden, allerdings ist dieser Wert durch die einfache Anlage der Variante gegenüber den anderen Varianten nicht repräsentativ. Die Variante 6 wies eine N_{\min} -Menge von 21 kg N_{\min} /ha auf.

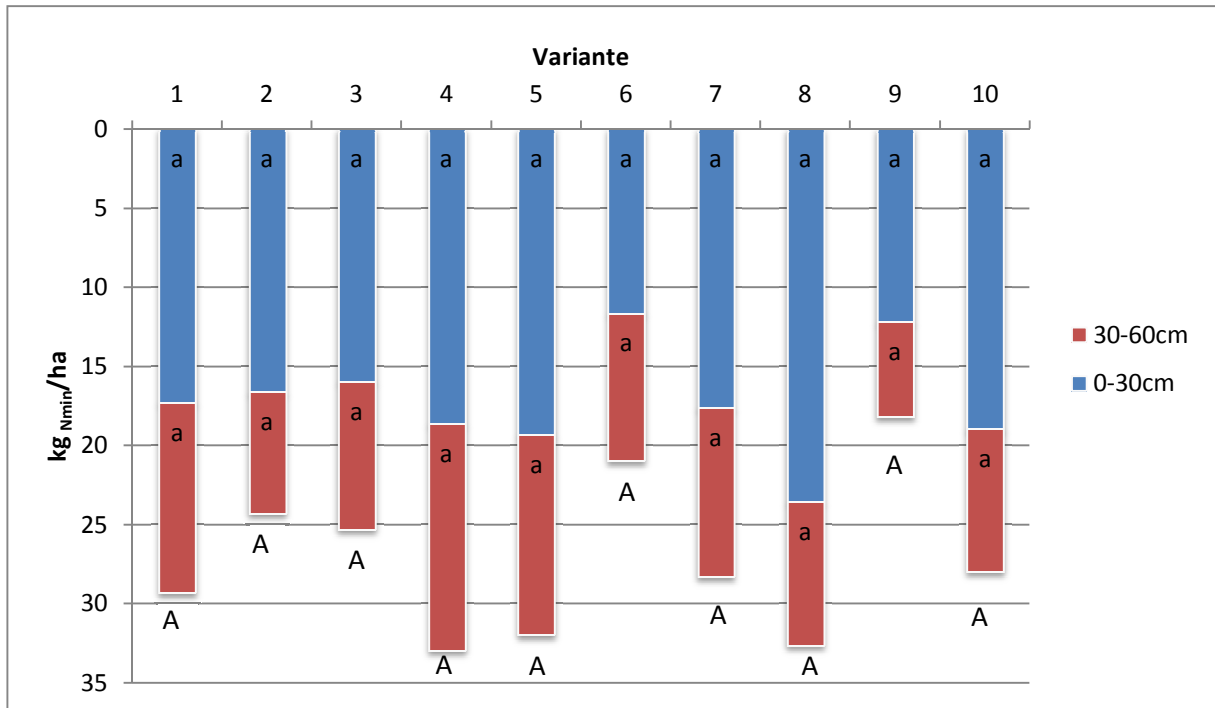


Abb. 10: N_{\min} -Menge am 05. März 2015 in kg N/ha in jeder Variante. Die blaue Säule veranschaulicht die N_{\min} -Menge in der Tiefe von 0-30 cm, wohingegen durch die rote Säule die N_{\min} -Menge in der Bodenschicht von 30-60 cm dargestellt ist. Werte mit gleichen Buchstaben unter den Säulen sind nicht signifikant verschieden, $P \leq 0,05$ (Tuckey-Test). Die Kleinbuchstaben an der Basis der blauen Säulen veranschaulichen die Signifikanz der N_{\min} -Menge in der Bodenschicht von 0-30 cm. Die Kleinbuchstaben an der Basis der roten Säulen veranschaulichen die Signifikanz der N_{\min} -Menge in der Bodenschicht von 30-60 cm. Die Großbuchstaben unterhalb der Säulen beschreiben die Signifikanz der N_{\min} -Menge in der Bodenschicht von 0-60 cm.

3.3 Frisch- und Trockenmasse

Tab. 2 zeigt die ermittelten Werte der Frischmassen (FM), des Trockenmassegehaltes (%TM) und der Trockenmassen (TM) beider Boniturtermine. Die ermittelten Frischmassewerte am 10. August 2014 erstreckten sich über einen Bereich von 209,33 g/m² in Variante 5, die bis zu dieser Bonitur mit der Kombination aus Crosscutter Knife und Crosscutter Disc bearbeitet wurde, bis 386,67 g/m² in Variante 1, die bis zum Zeitpunkt der Bonitur unbearbeitet blieb. Durch den Tuckey-Test konnten keine Signifikanzen festgestellt werden. Der Trockenmassegehalt ist in Prozent angegeben. Die Variante 6, welche bis zum Boniturtermin einmal mit der Kombination aus Crosscutter Knife und Kurzscheibenegge bearbeitet wurde, wies dabei am 10. August 2014 den höchsten Wert von 19,58 % auf. Der niedrigste Wert lag bei 8,81 % in der Variante 4, die bis zum Boniturtermin einmal mit der

Crosscutter Disc bearbeitet wurde. Bei den ermittelten Trockenmassen vom 10. August 2014 erbrachten die Varianten 1 und 9, die bis zum 10. August 2014 noch nicht bearbeitet wurden, den höchsten Wert mit 53,32 g/m² Trockenmasse. Die Variante 4 wies den niedrigsten Wert auf. In dieser Variante wurden 22,05 g TM/m² gebildet. Bei dem Parameter TM in g/m² wurden beim ersten Boniturtermin keinerlei Signifikanzen festgestellt.

Am 31. August 2014 wurden folgende Frischmassen von den aufgelaufenen Rapspflanzen gebildet: Die geringste Frischmasse wurde in der Variante 9 mit 128 g/m² gebildet, diese Variante wurde am 12. August 2014 mit der Kurzscheibenegge bearbeitet. Die meiste Frischmasse wurde in der Variante 10 mit 1816 g/m² gebildet. Diese Variante wurde am 22. Juli 2014 tief mit der Kurzscheibenegge bearbeitet. Durch den Tuckey-Test wurden Signifikanzen festgestellt. Der größte Wert erhält hierbei den Buchstaben a. Dabei ist die Variante 10, die mit dem Kleinbuchstaben a versehen (größter Wert) ist, signifikant verschieden zu den Varianten 3, 4, 5, 6, 7, 8 und 9, diese sind mit dem Kleinbuchstaben b versehen. Die Trockenmassegehalte (%) erstreckten sich von 6,47 % in Variante 9, gefolgt von 7,12 % in Variante 3, bis 10,56 % in Variante 1. Variante 3 wurde am 22. Juli und am 12. August 2014 mit der Kurzscheibenegge bearbeitet. Die gebildete Trockenmasse in g/m² am 31. August 2014 lag mit 8,28 g/m² in der Variante 9 am niedrigsten, gefolgt von der Variante 3 mit 13,29 g/m². Die beiden höchsten Werte wurden in der Variante 1, die bis zum zweiten Boniturtermin nicht bearbeitet wurde, mit 146,29 g/m² und der Variante 10 mit 167,07 g/m². Die Varianten 1 und 10 sind Signifikant verschieden zu den Varianten 3, 4, 5, 6, 7, 8 und 9.

Tab. 2: Frisch (FM)- und Trockenmassen (TM) sowie der Trockenmassegehalt (%TM) der aufgelaufenen Rapspflanzen in g/m² am 10. August und am 31. August 2014. Werte mit verschiedenen Kleinbuchstaben in den Spalten sind signifikant verschieden, P ≤ 0,05 (Tuckey-Test).

Variante	10.08.2014			31.08.2014		
	FM (g/m ²)	%TM	TM (g/m ²)	FM (g/m ²)	%TM	TM (g/m ²)
1	386,67 a	14,01	53,32 a	1417,33 ab	10,56	146,29 a
2	221,33 a	12,94	26,52 a	1138,67 ab	9,18	105,39 ab
3	221,33 a	11,18	25,46 a	184,00 b	7,12	13,29 b
4	301,33 a	8,81	22,05 a	416,00 b	8,80	35,96 b
5	209,33 a	12,81	26,26 a	408,00 b	8,07	32,59 b
6	266,67 a	19,58	42,66 a	288,00 b	7,68	21,83 b
7	238,67 a	11,64	27,59 a	253,33 b	7,53	17,99 b
8	228,00 a	11,20	25,12 a	282,00 b	7,20	18,96 b
9	340,00 a	15,68	53,32 a	128,00 b	6,47	8,28 b
10	298,67 a	10,65	31,86 a	1816,00 a	9,32	167,07 a

3.4 Aufgelaufene Rapspflanzen

In Abb. 11 sind die aufgelaufenen Rapspflanzen in jeder Variante zu sehen. Die Zählungen wurden am 10. und am 31. August 2014 durchgeführt, jeweils vor der zweiten und dritten Bodenbearbeitung. Durch die Fehlerbalken ist der Standardfehler bei $n=3$ beziehungsweise in der achten Variante bei $n=2$ dargestellt. Die meisten Pflanzen liefen am 10. August 2014 in Variante 9 mit 1614,6 Pflanzen/m², diese Variante ist wie oben beschrieben nicht belastbar. In der Variante 1 sind 1265 Pflanzen/m² aufgelaufen. Die Varianten 1 und 9 wurden bis zum 10. August 2014 nicht bearbeitet. In der Variante 4 hingegen sind nach der ersten Bodenbearbeitung 517,33 Pflanzen/m² aufgelaufen. In dieser Variante wurde die Crosscutter Disc am 22. Juli 2014 eingesetzt. Der zweite Boniturtermin war am 31. August 2014, unmittelbar vor dem dritten Bodenbearbeitungstermin.

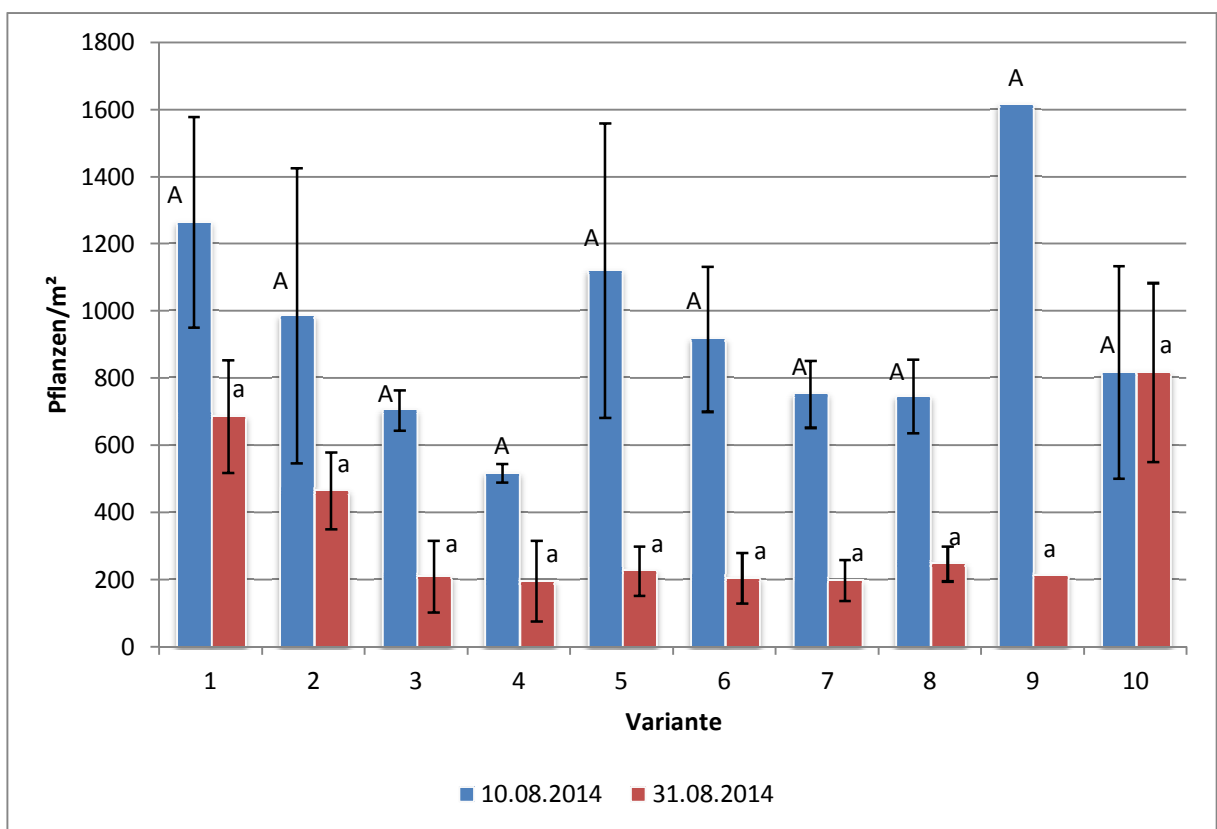


Abb. 11: Anzahl aufgelaufener Rapspflanzen in den Varianten an den Terminen 10. August und 31. August 2014 dargestellt. Die Messgröße ist in Pflanzen/m² aufgeführt. Die blauen Säulen stellen die erfassten Werte vom 10. August dar und die roten Säulen zeigen die Werte vom 31. August 2014. Werte mit gleichem Kleinbuchstaben an den Säulen sind nicht signifikant verschieden, $P \leq 0,05$ (Tukey-Test). Die Großbuchstaben über den Säulen geben die Signifikanz des ersten Boniturtermins wieder. Die Kleinbuchstaben über den Säulen geben die Signifikanz des zweiten Boniturtermins wieder. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler bei $n=3$ bzw. in Variante 8 bei $n=2$.

Die gezählten Pflanzen des zweiten Termins sind in Abb. 11 durch die roten Säulen dargestellt. Der größte Feldaufgang wurde in der Variante 10 mit 818 Pflanzen/m² gezählt. Die Variante 10 wurde bis zum Boniturtermin ausschließlich am 22. Juli 2014 tief mit der

Kurzscheibenegge bearbeitet. In Variante 1 liefen 686,6 Pflanzen/m² auf, diese Variante wurde bis zum Boniturtermin nicht bearbeitet. Die aufgelaufenen Pflanzen der Varianten 3 bis 9 liegen alle in dem Bereich von 200 Pflanzen/m². In der Variante 2 liefen 465,33 Pflanzen/m² auf. Durch die statistische Analyse konnten keine Signifikanzen zwischen den Varianten festgestellt werden. Die Säulen des ersten Zähltermins (blaue Säule) sind mit Großbuchstaben versehen. Die Säulen des zweiten Zähltermins (rote Säulen) sind mit Kleinbuchstaben gekennzeichnet. Da keine signifikanten Unterschiede ermittelt wurden, sind die jeweiligen Säulen der beiden Boniturtermine mit den gleichen Buchstaben gekennzeichnet.

3.5 Stickstoffaufnahme

Die Stickstoffaufnahme des aufgelaufenen Ausfallrapses, an zwei Boniturterminen ist in Abb. 12 dargestellt. Dies wurde am 10. und am 31. August 2014, jeweils vor der zweiten und dritten Bodenbearbeitung durch die Ermittlung des Trockenmassegehaltes und durch die Bestimmung des N-Gehalts in der Pflanze festgestellt. Der erste Boniturtermin ist durch die blauen Säulen gekennzeichnet. Dabei liegt die N-Aufnahme durch die aufgelaufenen Rapspflanzen der Variante 6, die bis zum Boniturtermin einmal mit der Kurzscheibenegge in Kombination mit der Crosscutter Knife bearbeitet wurde, am höchsten. Diese Variante hat bereits 20 kg N/ha aufgenommen. Die Variante 2 hingegen hatte zum gleichen Zeitpunkt nur 9 kg N/ha aufgenommen. Diese Variante wurde am 22. Juli 2014 mit der Crosscutter Knife bearbeitet. Die aufgelaufenen Rapspflanzen der restlichen Varianten haben zu dem Zeitpunkt 9 bis 18 kg N/ha aufgenommen. Die Säulen jeder Variante sind mit dem gleichen Großbuchstaben versehen. Die Großbuchstaben befinden sich über den blauen Säulen und geben die Signifikanz des ersten Boniturtermins wieder. Es konnten keine Signifikanzen zwischen den Varianten ermittelt werden.

Die N-Aufnahme am 31. August 2014 zeigt deutlichere Schwankungen als die N-Aufnahme der aufgelaufenen Ausfallrapspflanzen am 10. August 2014. Die N-Aufnahme des zweiten Boniturtermins ist durch die roten Säulen in Abb. 12 dargestellt. Die höchsten N-Mengen wurden in Variante 10 mit 66 kg N/ha und Variante 1 mit 65 kg N/ha durch die aufgelaufenen Rapspflanzen aufgenommen. Die Bodenbearbeitungsvariante 10 wurde in 10-12 cm Bearbeitungstiefe mit der Kurzscheibenegge am 22. Juli 2014 bearbeitet. Die Variante 1 wurde nach der Rapsernte nicht bearbeitet. Die geringste N-Menge wurde mit 7 kg N/ha in der Variante 3 aufgenommen. Die Variante 3 wurde am 22. Juli und am 11. August 2014 mit der Kurzscheibenegge bearbeitet. Die aufgelaufenen Rapspflanzen der Varianten 7 und 8 hatten bis zum 31. August 2014 9 kg N/ha aufgenommen. Diese Varianten wurden am 22. Juli mit der Häcksler-Striegel-Kombination bearbeitet. Am 11. August 2014 wurde in den beiden Varianten die Kurzscheibenegge eingesetzt. Die Kleinbuchstaben über den roten Säulen geben die Signifikanzen des zweiten Boniturtermins wieder. Es konnten keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden.

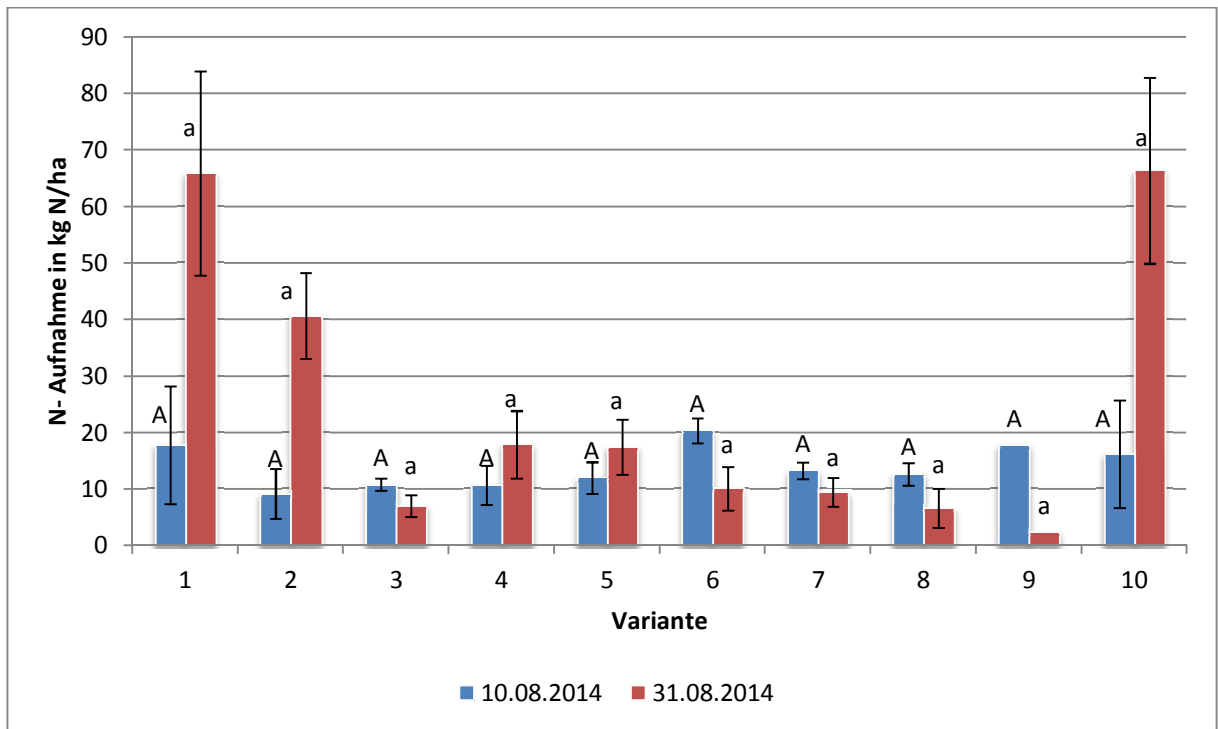


Abb. 12: Stickstoffaufnahme in kg N/ha des aufgelaufenen Ausfallrapses zu zwei Boniturterminen in zehn Varianten. Die blauen Säulen kennzeichnen die Stickstoffaufnahme am 10. August 2014. Die roten Säulen stellen die Stickstoffaufnahme am 31. August 2014 dar. Werte mit gleichem Buchstaben an den Säulen sind nicht signifikant verschieden, $P \leq 0,05$ (Tukey-Test). Die Großbuchstaben über den blauen Säulen beschreiben die signifikanten Unterschiede der N-Aufnahme am 10. August 2014. Die Kleinbuchstaben über den roten Säulen geben die Signifikanz der N-Aufnahme am 31. August 2014 wieder. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler bei $n=3$ bzw. in Variante 8 bei $n=2$.

3.6 Kohlenstoffaufnahme

Tab. 3: Dargestellt ist die Kohlenstoff Bildung in kg C/ha am 10. August und am 31. August 2014. In der linken Spalte sind die Varianten von 1 bis 10 abgetragen. Die zweite Spalte zeigt die aufgenommene Kohlenstoffmenge am 10. August 2014. Die dritte Spalte stellt die gebildete Kohlenstoffmenge am 31. August dar. Werte mit gleichem Kleinbuchstaben, die hinter der gebildeten Kohlenstoffmenge stehen, sind nicht signifikant verschieden, $P \leq 0,05$ (Tukey-Test).

Variante	Kohlenstoff Bildung in kg C/ha	
	10. August 2014	31. August 2014
1	229 a	585 a
2	109 a	425 ab
3	100 a	52 b
4	88 a	142 b
5	108 a	126 b
6	174 a	87 b
7	112 a	65 b
8	112 a	100 b
9	234 a	52 b
10	130 a	658 a

Die Kohlenstoffaufnahme der aufgelaufenen Rapspflanzen an den Boniturterminen 10. und 31. August 2014 ist in Tab. 3 dargestellt. Ermittelt wurden die Werte durch die Erfassung der Trockenmasse und des C-Gehalts in der Pflanze der jeweiligen Variante. Die größte Kohlenstoffmenge wurde zum ersten Boniturtermin in der Variante 9 mit 234 kg C/ha aufgenommen. Da diese Variante nur in einfacher Wiederholung angelegt wurde, ist das Ergebnis nicht repräsentativ gegenüber den anderen Varianten. In der Variante 1 wurden 229 kg C/ha aufgenommen. Beide Varianten wurden bis zum 10. August 2014 nicht bearbeitet. Die geringste C-Menge wurde in der Variante 4 mit 88 kg C/ha aufgenommen. Die Variante 4 wurde am 22. Juli 2014 mit der Crosscutter Disc bearbeitet. Am ersten Boniturtermin bestehen keine Signifikanzen zwischen den Varianten, was durch den Kleinbuchstaben hinter den aufgenommenen C-Mengen gekennzeichnet ist.

Am 31. August 2014 erstreckte sich die Kohlenstoffaufnahme der Varianten von 52 kg C/ha bis hin zu 658 kg C/ha. Die Varianten 3 und 9 bildeten die niedrigsten Werte mit jeweils 52 kg C/ha. Deutlich höher lagen die gebildeten C-Mengen in den Varianten 10 mit 658 kg C/ha und 1 mit 585 kg C/ha. Diese beiden Werte erhalten durch den Tuckey-Test ($P \leq 0,05$) den gleichen Kleinbuchstaben a, wohingegen die Varianten 3 bis 9 den Kleinbuchstaben b erhalten. Das bedeutet, dass die Varianten 1 und 10 signifikant verschieden zu den Varianten 3, 4, 5, 6, 7, 8 und 9 sind. Die Variante 2 erhält mit einer gebildeten C-Menge von 425 kg/ha die Buchstabenkombination ab.

4 Diskussion

Keimversuch

Ein Versuch zur Ermittlung der Keimminimumtemperatur für die Keimung von Winter- und Sommerraps wurde von VIGIL et al. (1997) durchgeführt. Dieser Versuch unterscheidet sich von dem, der im Rahmen dieser Arbeit angefertigt dahingehend, dass VIGIL et al. die Rapssamen auf Boden zum Auflaufen brachten. Das Auflaufverfahren wurde bei den drei Sommerrapssorten Alto, Global und Tobin sowie bei zwei Winterrapssorten Crystal und Glacier ermittelt. Die Rapssamen wurden in unterschiedlicher Tiefe im Boden verteilt, bei den Temperaturen 0, 2, 4, und 16 °C. Dabei lag die Keimminimumtemperatur der drei Sommerrapssorten im Bereich von 0,44 bis 0,96 °C. Die Keimminimumtemperatur der Winterrapssorten lag bei 1,1 und 1,2 °C [VIGIL et al., 1997]. Diese Werte unterscheiden sich deutlich von dem hier ermittelten Wert von 4,44 °C. Die Rapssamen, die im Rahmen des Versuches dieser Arbeit geprüft wurden, wurden ohne Boden inkubiert, was die Vergleichbarkeit etwas einschränkt [VIGIL et al., 1997].

Die Rapssamen wurden in dem im Rahmen dieser Arbeit angelegten Versuch direkt nach der Ernte bei den jeweiligen Temperaturen in Keimstimmung gebracht. Auffällig ist, dass ab 21 °C die Keimungsgeschwindigkeit bei steigender Temperatur nicht weiter anstieg. Dies war im Vergleich zu EHLERS (1980) nicht zu erwarten. EHLERS (1980) stellte in einem Keimversuch mit Lein fest, dass die Keimungsrate proportional mit steigender Temperatur bis zu einer Temperatur von 29 °C ansteigt. Dieses Ergebnis der Literatur konnte in dem im Rahmen dieser Arbeit angelegten Keimversuch mit Winterraps nicht gefunden werden.

Dies würde bedeuten, dass sich frischgereifte Samen anders verhalten als nachgereifte Samen, weitere Untersuchungen erscheinen notwendig. Dadurch, dass von 160 Rapssamen in diesem Versuch 155 keimten, kann davon ausgegangen werden, dass keine Dormanz vorlag [EHLERS, 1980].

N_{min}-Dynamik

Die N_{min}-Dynamik nach Raps spielt eine entscheidende Rolle beim Grundwasserschutz, um den zurückgelassenen Stickstoff im Boden zu halten und vor dem Auswaschen zu schützen. Darauf hat die Stoppelbearbeitung nach Raps einen Einfluss. Nach der Rapsernte wurde im östlichen Teil des Schlages, in dem auch alle weiteren Beprobungen stattgefunden haben, ein N_{min} Ausgangswert von 57 kg N_{min}/ha in der Bodenschicht von 0-60 cm ermittelt. Im Jahr 2014 lagen die N_{min}-Werte im Vergleich zum Vorjahr auf einem etwas höheren Niveau laut der Institution „GeriesIngenieure“ (2014). Die Begründung dafür liegt nicht in einer fehlerhaften Düngung, sondern hauptsächlich an der warmen Witterung im Herbst und der ausreichenden Durchfeuchtung der Böden. In Abb. 2 ist der Witterungsverlauf für den Zeitraum nach der Rapsernte bis zum Vegetationsende dargestellt. Diese Abbildung unterstützt nochmal die Annahmen der GERIESINGENIEURE (2014). Zum einen der ständige Niederschlag und zum anderen die milden Temperaturen bis in den November hinein. Dies sind optimale Bedingungen für die Mineralisation von organisch gebundenem Stickstoff im Boden. Die erhöhten N_{min}-Werte wurden von den GERIESINGENIEUREN nicht nur nach Raps, sondern auch nach Wintergerste und Mais ermittelt [GERIESINGENIEURE, 2014].

Die Wasserkooperation Minden-Lübbecke und Herford-Bielefeld sowie die Wasserrahmenlinienberatung NRW führten im Jahr 2014 einen ähnlich aufgebauten Versuch mit gleicher Fragestellung in Kooperation mit der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen durch. Der Versuch der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen umfasste sechs Varianten ebenfalls in dreifacher Wiederholung, in denen die N_{min}-Menge, die aufgelaufenen Pflanzen sowie die Schneekendichte erfasst wurden. Die N_{min}-Menge wurde an den Terminen 03. und 26. August 2014 in der Bodenschicht von 0-60 cm ermittelt. Drei der sechs Variante sind vergleichbar mit denen dieses Versuches vom Schlag Umfeld. Zwar liegen ca. 300 km Entfernung zwischen den Versuchsstandorten jedoch sind die Witterungsverläufe im Jahr 2014 sowie die Bodenart vergleichbar [LWK-NORDRHEIN-WESTFALEN, 2014].

Die Varianten 1, 3 und 7, des im Rahmen dieser Arbeit angelegten Versuchs, sind im Versuch der LWK prinzipiell auch so vorhanden, bis auf den Unterschied, dass Bearbeitungstechnik anderer Hersteller verwendet wurde. Die Variante 1 entspricht der 0-Parzelle des Versuches der LWK. In der LWK-Parzelle war am 08. August 2014 eine N_{min}-Menge von 80 kg N_{min}/ha in der Bodenschicht von 0-60 cm vorhanden. Dagegen lag die N_{min}-Menge der hier geprüften Variante 1 in selbiger Bodenschicht am 03. August 2014 bei 51 kg N_{min}/ha. Der zweite Beprobungstermin des LWK-Versuches war am 21. August 2014 und wies eine N_{min}-Menge von 52 kg N_{min}/ha in der Bodenschicht von 0-60 cm auf. Die N_{min}-Menge der Variante 1 entspricht 31 kg N_{min}/ha. Vergleicht man die ermittelten N_{min}-Werte der Variante Kurzscheibenegge des LWK-Versuches mit der Kurzscheibeneggen-Variante (3) dieses Versuches, so fällt ein erhöhter N_{min}-Wert am 21. August 2014 mit 79 kg N_{min}/ha in

dem Versuch in Minden Lübbecke auf, wobei die N_{\min} -Menge am 26. August 2014 mit 66 kg N_{\min} /ha auf dem in dieser Arbeit angelegten Versuch lag. Dabei wird deutlich, dass die N_{\min} -Menge in den Varianten, in denen keine Bodenbearbeitung stattgefunden hat, geringer ist als in den bearbeiteten Varianten. Daraus lässt sich schließen, dass der Aufwuchs des Auflaufapses wie in Abschnitt 3.5 dargestellt wurde bis zu 65 kg N/ha aufgenommen hat. Dieser in pflanzlicher Form gebundene Stickstoff ist vorerst nicht auswaschunggefährdet, da die Mineralisation der Pflanzenteile deutlich mehr Zeit in Anspruch nimmt als eine Variante, in der der Rapsaufwuchs nur kurze Zeit wächst bis zur nächsten Bodenbearbeitung [LWK-NORDRHEIN-WESTFALEN, 2014].

Die N_{\min} -Menge am 26. August 2014 zeigt eine große Differenz zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten. Dabei sind durch den Tuckey-Test signifikante Unterschiede festgestellt worden. Daraus lässt sich schließen, dass die hier verwendeten Bodenbearbeitungsverfahren einen signifikanten Einfluss auf die N_{\min} -Menge sowohl in den Bodenschichten von 0-30, 30-60 als auch in 0-60 cm haben. Vergleicht man die N_{\min} -Menge der Variante 1 mit denen der Variante 6 in der Tiefe von 30-60 cm so unterscheiden sich diese N_{\min} -Mengen mit 13 kg N_{\min} /ha, bereits 5 Wochen nach der Ernte. Diese Ergebnisse decken sich mit der Annahme von LICKFETT et al. (1994), dass eine verzögerte Stoppelbearbeitung nach Raps vor allem in Wasserschutzgebieten Vorteile mit sich bringen kann. Hierdurch der N-Mineralisierungsschub im Sommer beziehungsweise Herbst verlangsamt wird, so dass die Rest- N_{\min} -Werte im Herbst vermindert sein können [LICKFETT et al., 1994].

Beim Beprobungstermin am 22. November 2014 lässt sich erkennen, dass die Bodenbearbeitungsvarianten die mit geringster Intensität bearbeitet wurden, also Variante 1 und 10, die größten N_{\min} -Mengen mit bis zu 127 kg N_{\min} /ha aufwiesen. Das deutet auf eine starke Nachmineralisierung des organisch gebundenen Stickstoffs hin. Die Nachmineralisierung des Stickstoffs ist durch die ständig vorhandene Feuchtigkeit und die für die Jahreszeit hohen Temperaturen des Bodens begünstigt. Die GERIESINGENIEURE (2014) ermittelten dagegen in N_{\min} -Beprobungen im Oktober nach Raps, dass die N_{\min} -Menge im Durchschnitt der Werte um 35 kg N_{\min} /ha niedriger in den Varianten liegen, in denen keine Bodenbearbeitung durchgeführt wurde [GERIESINGENIEURE, 2014]. Auch hier kann eine Nachmineralisierung bis zum Vegetationsende eingesetzt haben. Problematisch ist hier allgemein der geringe N-Bedarf der Folgefrucht Winterweizen im Herbst, der laut Landwirtschaftskammer zwischen 10 und 30 kg N/ha liegt. Somit kann der vom Raps zurückgelassene Stickstoff im Herbst nicht vollständig genutzt werden. Der Beprobungstermin war so gewählt, dass dieser mit dem Vegetationsende des Winterweizens übereinstimmt. Zwischen dem 22. November und 05. März 2015, also während der Vegetationsruhe des Winterweizens, fielen 182 mm Niederschlag auf dem Versuchsstandort. Dieser Niederschlag verursachte eine N_{\min} -Auswaschung, sodass am 05. März 2015 eine N_{\min} -Menge im Bereich von 14-32 kg N_{\min} /ha vorhanden waren. In den weniger intensiv bearbeiteten Varianten ist nicht signifikant mehr Rest- N_{\min} im Frühjahr vorhanden ist. Da der Versuch „Stoppelbearbeitungsverfahren nach Winterraps“ in der Form zum ersten Mal von dem Pflanzenbauberatungs Unternehmen Hanse Agro in Zusammenarbeit mit dem landwirtschaftlichen Betrieb Domäne Bahrdorf durchgeführt wurde, ist es nicht sinnvoll eine

belastbare Aussage zu treffen. Dazu müsste die N_{\min} -Dynamik in mehreren Jahren bei den jeweiligen Bedingungen erforscht werden. Die höchsten Stickstoffaufnahmen sind in den Varianten 1 und 10 zu finden, in denen die aufgelaufenen Ausfallrapspflanzen bis zu 66 kg N/ha am 31. August 2014 aufgenommen haben. Dadurch wird gegenüber den häufiger Bearbeiteten Varianten mehr Stickstoff in Form von organischer Masse konserviert. Der aufgenommene N-Anteil ist vorerst nicht auswaschungsgefährdet. Die häufiger bearbeiteten Varianten weisen insgesamt eine addierte N-Aufnahme von 17-30 kg/ha auf. Diese gebildete Pflanzenmasse wurde zwischenzeitlich einmal durch Bodenbearbeitung zerstört und bildete einen erneuten Aufwuchs.

Frisch- und Trockenmasse

Die Frisch- und Trockenmasse der aufgelaufenen Rapspflanzen unterschieden sich am ersten Boniturtermin (10. August 2014) zwischen den Bearbeitungsvarianten leicht. Allerdings konnten diese Unterschiede aufgrund der Bearbeitungsform nicht durch den Tuckey-Test bestätigt werden. Die schnelle Bildung der Frischmasse vom Ausfallraps hängt mit der warmen Witterung und der ständigen Verfügbarkeit von Feuchtigkeit zusammen, siehe Abb. 2.



Abb. 13: Abgebildet sind die Varianten 1 und 3 am 29. August 2014. Die Variante 1 ist auf der linken Seite zusehen. Diese Variante ist bis zum Tag der Aufnahme noch nicht bearbeitet worden. Dahingegen ist die Variante 3 auf der rechten Seite zuerkennen, diese ist zweimal mit der Kurzscheibenegge bearbeitet. Quelle: Eigene Aufnahme.

Der zweite Boniturtermin am 31. August 2014 zeigte dagegen eine Abhängigkeit der Bildung der Frischmasse von der Bearbeitungsintensität. In Abb. 13 ist dies zuerkennen. Diese Aufnahmen entstanden unmittelbar vor der Bonitur, am 29. August 2014. Dabei sind die Varianten 1 und 3 nebeneinander abgebildet. Es wird schon optisch der große Unterschied zwischen diesen Varianten deutlich. Die Variante 1 ist seit der Ernte nicht bearbeitet und somit wies der Auflaufraps eine deutlich weitere Entwicklung auf, dahingegen ist in Variante 3 sehr wenig Aufwuchs vorhanden. Außerdem ist ein Unterschied in der Form der Stoppeln vorhanden. In Variante 1 sind die Rapsstoppeln nahezu unbeschädigt, in voller Länge

vorhanden. In Abb. 13 ist zu erkennen, dass die Rapsstoppeln durch die zweimalige Bearbeitung mit der Kurzscheibenegge völlig zerkleinert und eingearbeitet sind. Daraus lässt sich im Weiteren eine erhöhte N_{\min} -Menge in Variante 3 gegenüber Variante 1 zum Zeitpunkt 26. August 2014 erklären. Außerdem besteht ein Zusammenhang zwischen der N-Aufnahme der Ausfallrapspflanzen und der gebildeten Frisch- und Trockenmasse. Vergleicht man hier die Werte aus Abb. 12, so wird deutlich, dass die Ausfallrapspflanzen der Variante 1 am 31. August 2014 bereits 65 kg N/ha aufgenommen haben, wohingegen die Ausfallrapspflanzen der Variante 3 nur 7 kg N/ha aufgenommen haben.

Aufgelaufene Ausfallrapspflanzen

Die Ausfallverluste von Winterraps können laut PAHKALA & SANKARI (2001) schon vor der Ernte bis zu 1 % betragen. Betrachtet man diese Menge an Ausfallrapssamen anhand dieses Versuches, der einen Naturalertrag von 49,80 dt/ha erbrachte, so sind dies bei einer Tausendkornmasse von 4,5 g 1106 Körner/m², die vor dem Erntevorgang ausgefallen sein können. Die hier ermittelte Anzahl an Ausfallrapskörnern je m² nach der Ernte betrug durchschnittlich 2282 Körner/m². Dieser Wert ist in Anlehnung an CRAMER (1990), der von 4000-6000 Rapssamen/m² ausgeht, als gering einzustufen, was auf einen optimalen Druschtermin schließen lässt, bei dem ein gleichmäßiger Reifezustand des Rapsbestandes gegeben war. Denn häufig beginnen die oberen Schoten bereits zu platzen, wenn die unteren Schoten noch nicht druschreif sind. Die Wahl des richtigen Erntetermins ist daher ein Kompromiss von Ausfallraps und möglichst hoher Erntemasse [FEIFFER, 2009]. Bei oben genanntem Rapsrertrag ergeben 2282 Ausfallrapskörner/m² einen prozentualen Verlust von 2,06 %.

Betrachtet man Abb. 11, so kann festgestellt werden, dass sich der Auflaufraps in den jeweiligen Bearbeitungsstrategien unterschiedlich verhält. Dabei können die Zählungen der beiden Termine am 10. und 31. August addiert werden. Dies kann allerdings nicht in den Varianten 1 und 10 vorgenommen werden. Die Variante 1 wurde seit der Ernte bis zu der letzten Zählung nicht bearbeitet. Dies hatte zur Folge, dass die gezählten Auflaufrapspflanzen am ersten, sowie am zweiten Zähltermin teilweise die gleichen waren, allerdings in einem anderen Entwicklungsstadium. Daher kann nicht klar differenziert werden ob neue Pflanzen aus anderen Rapssamen in dem Zeitraum hinzugekommen sind. Die ähnliche Betrachtung gilt für die Variante 10. Diese ist vom 22. Juli bis zum 31. August 2014 einmalig bearbeitet worden. Auffällig ist zudem, dass die aufgelaufenen Ausfallrapspflanzen am zweiten Boniturtermin in Variante 1 gegenüber dem ersten Boniturtermin weniger geworden sind. Diese Erkenntnis deutet auf eine natürliche Ausdünnung durch intraspezifische Konkurrenz hin. Addiert man den Auflaufraps des ersten und zweiten Zähltermins der Variante 2, so sind hier 1451 Pflanzen/m² im genannten Zeitraum aufgelaufen was bei einer Ausfallrapsmenge von 2282 Körner/m² einem Auflauf von 63 % entspricht. Dagegen ist bei der 4. Variante nur 31% der durchschnittlichen Ausfallrapsmenge aufgelaufen. Die übrigen Ausfallrapskörner blieben somit in diesem Zeitraum der beiden Bonituren teilweise ungekeimt im Boden, mit der Fähigkeit in den nächsten zehn Jahren aufzulaufen. Nach der dritten und vierten Bodenbearbeitung sind auch noch Ausfallrapspflanzen aufgelaufen, die allerdings nicht gezählt worden. Die übrigen

Ausfallrapssamen bilden eine Bodensamenbank, sofern diese nicht durch Prädation von Vögeln, Laufkäfern und Mäusen geraubt wurden. Durch mehrmalige flache Stoppelbearbeitung erzielten PEKRUN et al. (2006) einen ähnlich geringen Bodensamenvorrat wie ohne Stoppelbearbeitung. Dieses Ergebnis aus der Literatur lässt sich allerdings aufgrund fehlender Daten mit diesem Versuch nicht vergleichen. Durch die Versuchsanlage und die einfache Wiederholung der Auszählungen innerhalb einer Parzelle, sind diese Werte jedoch fehlerbehaftet. Durch die verwendete Technik und die schmalen Parzellenbreiten kam es teilweise vor, dass die Zählfenster in einem Bereich mit einem größeren Ausfallrapsanteil platziert waren. Dieser Bereich war z.B. an einer Schnittkante von den Rapstrennmessern. Rapstrennmesser durchtrennen den Rapsbestand an der Seite des Schneidwerks, wodurch einige Schoten aufgeschnitten werden, von denen die Rapskörner nicht geerntet werden und somit als zusätzlicher Ausfallraps verbleiben [CRAMER, 1990; PAHALKA & SANKARI, 2001; PEKRUN et al., 2006; FEIFFER, 2009].

In den Pflanzenzählungen des Versuches der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen erreichte die Variante, die nicht bearbeitet wurde nach der Ernte, die höchste Auflaufrate des Ausfallrapes. Vergleicht man diese Feststellung mit dem Ergebnis dieses Versuches auf dem Versuchsschlag „Umfeld“, so kann eine Parallele zu dem ersten Zähltermin erkannt werden. Variante 1 erzielte den höchsten Feldaufgang mit 1265 Pflanzen/m² am ersten Zähltermin. Aufgrund der Übereinstimmungen der Ergebnisse erzielt, für die Bedingungen im Versuchsjahr 2014, eine um 3-4 Wochen nach der Rapsernte verzögerte flache Stoppelbearbeitung die größte Auflaufrate der Ausfallrapse.

Die Variante 10 zeigt einen verhältnismäßig geringen Auflauf der Ausfallrapskörner. Da in dieser Variante am ersten Bearbeitungstermin in einer Tiefe von 10-12 cm gearbeitet wurde, sind einige Rapskörner vermutlich „vergraben“ worden und somit besteht die Vermutung, dass die tiefe Bodenbearbeitung der Variante eine sekundäre Dormanz der Rapskörner induziert hat. Die Art und Intensität der Bodenbearbeitung nach Raps hat laut PEKRUN et al. (2006) einen Einfluss auf die Dormanz. Arbeitet man die Rapskörner tief in trockenen Boden ein, so fördert dies die Bildung einer Bodensamenbank [PEKRUN et al, 2006]. In den eigenen Untersuchungen herrschten allerdings keine trockenen Bodenbedingungen. SCHLINK (1998) stellte in Modellversuchen mit vergrabenen Rapssamen fest, dass diese bis zu zehn Jahre ungekeimt im Boden überdauern können. Daher kann eine einmal produzierte Bodensamenbank aufgrund von fehlerhafter Stoppelbearbeitungsstrategie die Basis für Durchwuchsprobleme über einen längeren Zeitraum in der Fruchtfolge bilden [SCHLINK, 1998; PEKRUN et al., 2006].

Aufgrund der langen Überdauerung der Rapssamen im Boden, tritt die Problematik des Altrapsaufschlages im Kulturraps innerhalb einer Fruchtfolge auf. Dabei läuft der Altraps auch bei Anbaupausen von 4-5 Jahren zwischen dem Raps im Kulturraps auf. Dies führt zu deutlich erhöhten Bestandsdichten, was eine schwierige Bestandesführung zur Folge haben kann. Durch die erhöhten Bestandsdichten treibt der Altaufschlagraps den Kulturraps im Herbst in die Höhe, sodass der Bestand stärker auswinterungsgefährdet ist. Außerdem wird im Zeitraum der Überdauerungsfähigkeit des Ausfallrapes ein Zuchtfortschritt erzielt. So überwiegt beispielsweise der Hybridrapsanbau gegenüber der Verwendung von

Liniensorten. Diese Hybridrapssorten wachsen dann als Ausfallraps in der F-2 Generation auf, was die Aufspaltung der Züchtermerkmale wie z.B. die Pflanzenlänge oder das Blühverhalten, zur Folge haben kann. Außerdem ist bekannt, dass die Hybridpflanzen in der F-2 Generation verminderte Erträge erzielen. Dabei stellen die Ausfallrapshybriden Konkurrenz für die Kulturrapspflanzen hinsichtlich Nährstoffen, Licht und Wasser dar und liefern geringe Erträge. Außerdem verändert sich die Züchtung hinsichtlich des Erucasäuregehaltes und des Glukosinolatanteils. Dabei mindert der Altrapsaufschlag in Kulturraps die Qualität und den Ölgehalt des Erntegutes [SAUERMAN, 2010].

In diesem Stoppelbearbeitungsversuch nach Winterraps wurden zwar keine Daten bezüglich der Nematodenverbreitung, dem Fruchtfolgeerreger Kohlhernie und dem pilzlichen Erreger *Phoma lingam* erhoben, allerdings sind diese Probleme bei der Wahl der optimalen Stoppelbearbeitungsstrategie zu berücksichtigen. In Abb. 13 ist auf der linken Seite die seit der Ernte unbearbeitete Variante dargestellt. Hier ist deutlich zu erkennen, dass der aufgelaufene Ausfallraps bereits erste Blüten ausgebildet hat. Diese weit entwickelten Rapspflanzen unter warmen Bedingungen bieten eine Entwicklungsmöglichkeit für Rübenzystenematoden (*Heterodera schachtii*). Die Nematoden gehören in die biologische Klasse der Fadenwürmer, wobei die bedeutendste Nematodengattung in Deutschland *Heterodera* ist. Das Überdauerungsorgan von *Heterodera schachtii* ist eine Zyste, die 200-300 Eier und Larven enthalten kann. Durch verschiedenste Wirtspflanzen, darunter auch der Raps, kommt es zu einer Aktivierung der in der Zyste enthaltenen Larven. Der Nematode setzt sich nach kurzer Zeit an der Wurzel fest und induziert die Bildung eines Nährzellensystems. Die Larve durchläuft dann noch zwei weitere Stadien, bis er sich zum Weibchen oder Männchen entwickelt. Die Weibchen bleiben mit dem Kopf in dem Nährmedium stecken, woraufhin die anschließende Begattung durch freilebende Männchen folgt. Das Weibchen trägt dann 250-300 Eier in sich. Anschließend stirbt das Weibchen ab und hinterlässt eine Zyste, die über zehn Jahre lebensfähig ist. Da die Entwicklungsdauer von *Heterodera schachtii* witterungs- und temperaturabhängig ist, benötigt der Entwicklungszyklus einer Generation eine Bodendurchschnittstemperatur von 465 °Cd. Dabei werden die Tagesdurchschnittstemperaturen im Boden in der Tiefe von 10-20 cm oberhalb der Basistemperatur von 8 °C aufaddiert. Beispiel: Bei einer Bodendurchschnittstemperatur von 17 °C wird die Basistemperatur von 8 °C abgezogen. Das ergibt 9 °C effektive Temperatur. Nach 52 Tagen, bei einer Bodendurchschnittstemperatur von 17 °C, sind 468 °Cd erreicht. Dies entspricht einem Entwicklungszyklus des Rübenzystenematoden. Unter deutschen Bedingungen können sich somit 2-5 Generationen von Nematoden innerhalb eines Jahres entwickeln [KWS SAAT AG].

Die Hauptfrucht des Winterrapses bietet häufig nur ein begrenztes Vermehrungspotenzial für *Heterodera schachtii*. Durch die Aussaat von Winterraps im Spätsommer/Herbst kann *Heterodera schachtii* den Entwicklungszyklus vor dem Winter nicht mehr erfolgreich beenden und stirbt somit ab. Im Frühjahr und Sommer entsprechen die Temperaturen den Vermehrungsbedingungen der Nematoden. Allerdings sind die Wurzeln der Rapspflanzen schon verhärtet, sodass die Nematoden daran nicht parasitieren können. Außerdem ist das Wurzelwachstum des Winterrapses im Frühjahr und Sommer weniger ausgeprägt, wodurch der Schlupfreiz der Zysten abnimmt. Problematisch dagegen sind der Anbau von

Sommerraps und der Ausfallraps nach der Ernte. Nach der Rapsernte herrschen optimale Entwicklungsbedingungen für *Heterodera schachtii*. Daher sollte die Eliminierung des Ausfallrapses bei einer Bodentemperatursumme von 250 °Cd durchgeführt werden. Da der erste Ausfallraps häufig bereits vor der Ernte des Rapses aufläuft, ist die Bodentemperatursumme schnell nach der Ernte erreicht, was den Abschluss des Vermehrungszyklus der Rübenzystemnematoden zur Folge haben kann. Diese Problematik ist vor allem in Marktfruchtbetrieben vorzufinden, in denen der Winterraps und die Zuckerrübe innerhalb einer Fruchtfolge angebaut werden [KWS SAAT AG].

Als Bestimmungshilfe für den optimalen Bearbeitungstermin des Ausfallrapses hinsichtlich des Entwicklungszyklusses der Rübenzystemnematoden dient ein Programm „Ausfallrapsmanager“ von LIZ (2011). Diese Bestimmungshilfe summiert die Bodendurchschnittstemperaturen der Zeit nach der Rapsernte für unterschiedliche Regionen auf und schließt somit auf den optimalen Bearbeitungstermin. Auch beim Ausfallrapsmanager beträgt die Basistemperatur 8 °C [LIZ-ONLINE, 2011].

Als eine der bedeutendsten ertragsmindernden Fruchtfolgekrankheiten gilt Kohlhernie. Diese wird verursacht durch den bodenbürtigen Erreger *Plasmodiosphora brassicae*. Der bodenbürtige Erreger befällt die Wurzel sämtlicher Kreuzblütlergewächse durch die Bildung von Wurzelwucherungen (Gallen) unter der Bodenoberfläche. Dies stört die Funktion der Gefäße und kann schwerwiegende Ertrags- und Qualitätseinbußen zur Folge haben. Der Erreger überlebt im Boden als Dauerspore, die zwei weitere Entwicklungsstadien, mit der Infektion von Wurzelhaaren und der Infektion der Wurzelrinde durchläuft. Die Dauersporen sind ohne Wirtspflanze bis zu 20 Jahre im Boden überlebensfähig. Die Verbreitung von Kohlhernie wird begünstigt durch Temperaturen von 20-25 °C, ausreichend Bodenfeuchtigkeit und einem pH-Wert-Bereich von 5,3-5,7. Diese Bedingungen herrschen oftmals nach der Rapsernte, wodurch eine Vermehrung der Erreger mit dem zu lange wachsenden Ausfallraps einhergeht. So herrschten auch in dem Versuchsjahr 2014 optimale Vermehrungsbedingung für den Kohlhernie Erreger auf der Versuchsfläche Umfeld [SYNGENTA, 2014].

In der linken Bildhälfte von Abb. 13 sind unbeschädigte Stoppelreste zu erkennen. Von diesen Stoppelresten geht ein erhöhtes Infektionspotenzial für die Wurzelhals- und Stängelfäule (*Phoma lingam*) aus. Wiederkehrende feuchte Bedingungen und Temperaturen um 15 °C nach der Rapsernte sorgen dafür, dass mit Phoma befallene Rapsstoppeln erste Phomafruchtkörper (Pseudothecien) ausbilden. Die Pseudothecien können ohne Hilfsmittel an alten Rapsstoppeln erkannt werden. Der stärkste Befall tritt im Bereich des Wurzelhalses auf. Diese Fruchtkörper setzen Ascosporen frei, die für die Neuinfektion von jungen Rapspflanzen verantwortlich sind. Die Ascosporen können über mehrere Kilometer weit mit dem Wind verteilt werden. Da die Neuansaat von Winterraps im frühen Herbst liegt, stehen oftmals Altrapsstoppeln neben einer Raps-Neuansaat, wodurch ein erhöhtes Infektionsrisiko für die Raps-Neuansaat besteht. Aus Sicht der Phoma-Problematik wäre es ein Fehler, die Rapsstoppeln und den aufgelaufenen Ausfallraps unbearbeitet nach der Ernte stehen zu lassen. Somit ist eine schnelle Zerkleinerung und Einarbeitung der Rapsstoppeln nach der Ernte die erste Möglichkeit das Problem der Verbreitung von Phoma zu minimieren. Die

Folgen der Phoma-Infektion liegen in dem Verlust der Standfestigkeit wovon eine erhöhte Lagerneigung ausgeht, was erhebliche Ertragsverluste mit sich bringen kann [RAPOOL-RING, 2014].

Der Witterungsverlauf nach der Ernte, der in Abb. 2 dargestellt ist, lässt die Vermutung aufkommen, dass der erste Bodenbearbeitungstermin am 22. Juli 2014 etwas zu früh gewählt war. Durch die ständige Bodenfeuchte wurde ein hoher Auflauf an Ausfallraps erzielt, was die Variante 9 andeutet. Diese Variante ist allerdings nur in einfacher Wiederholung angelegt, wodurch sich nur eine Tendenz ableiten lässt. Eine Bearbeitung der Rapsstoppeln um den Monatswechsel Juli August wäre empfehlenswert gewesen, da bis zu diesem Zeitpunkt aus Sicht der Nematoden und Kohlhernie Problematik noch keine Gefahr bestand, aufgrund der nicht erreichten Temperatursumme von 250 °Cd. Mit einer späteren Durchführung des ersten Stoppelbearbeitungstermins hätte sich auch die zweite Stoppelbearbeitung dichter an die Weizenaussaat geschoben, wodurch eventuell die dritte Stoppelbearbeitung eingespart werden könnte.

Aus Sicht der Problematik durch Nematoden, Phoma und Kohlhernie ist beispielsweise die Variante 1, die unbearbeitet bleibt, die schlechteste Variante, da diese Variante den genannten Erregern die Möglichkeit gibt sich zu verbreiten. Dieses Beispiel soll verdeutlichen, dass die optimale Bearbeitungsstrategie nicht nur von einem Parameter abhängig ist. Zwar ist die N_{\min} -Dynamik der ersten Variante im Hinblick auf den Grundwasserschutz gegenüber den anderen Varianten als optimal anzusehen, da diese die N_{\min} -Menge am längsten in den oberen Bodenschichten konserviert, wohingegen diese aus Sicht der Fruchtfolge und der Pflanzengesundheit als nicht förderlich anzusehen ist. Daraus wird deutlich, dass bei der Auswahl der Stoppelbearbeitungsstrategie immer ein Kompromiss eingegangen werden muss, der in keinem Fall die Pflanzengesundheit innerhalb der Fruchtfolge vernachlässigen sollte. Für die Zukunft besteht für den Bereich der Stoppelbearbeitung noch ein hoher Forschungsbedarf. Für die wiederholte Anlage dieses Versuches wäre es sinnvoll, die einzelnen Parzellengrößen zu erhöhen, um eine bessere Repräsentativität zu erzeugen. Beispielsweise kann man die Parzellen jeweils auf eine Breite von 20 m erhöhen und innerhalb dieser Parzelle dann mindestens drei Punkte, an denen eine Bonitur stattfindet, einrichten. Außerdem wäre es sinnvoll, die aufgelaufenen Pflanzen von einem Quadratmeter zu zählen und zu wiegen. Denn in dieser Versuchsanstellung wird von den Pflanzenanzahlen von 0,25 m² auf die Fläche eines Hektars geschlossen. Diese Methode bringt eine gewisse Unsicherheit in die ermittelten Werte. In Abb. 11 sind die aufgelaufenen Rapspflanzen an zwei Terminen dargestellt. Durch die relativ großen Fehlerbalken wird deutlich, wie sehr die gezählten Pflanzen innerhalb einer Bearbeitungsvariante schwanken. Wenn innerhalb einer Wiederholung an mindestens drei Stellen gezählt wird, woraus dann ein Mittelwert gebildet wird, dann kann sicherlich eine aussagekräftigere Empfehlung im Hinblick auf die aufgelaufenen Pflanzen gegeben werden.

5 Kostenvergleich verschiedener Varianten

In einem landwirtschaftlichen Ackerbaubetrieb steht nicht ausschließlich die pflanzenbauliche Betrachtung im Vordergrund. Hier muss auch die betriebswirtschaftliche Komponente der

Arbeitsabläufe kalkuliert werden. Dazu wird die Vollkostenrechnung genutzt, welche die verschiedenen Arbeitsverfahren und deren anfallenden Kosten bei vergleichbaren Arbeitsumfängen darstellt und vergleicht. Dabei müssen alle anfallenden Kosten erfasst und auf den Arbeitsumfang verteilt werden. Die Durchschnittskostenrechnung ist eine Berechnungsmethode, die ein eigenes Rentabilitätskalkül bei der Ermittlung der kostengünstigsten Bereitstellung eines Gebrauchsgutes darstellt [MÜßHOFF et al. 2011]. Zur Methode der Durchschnittskostenkalkulation stehen zum einen die finanzmathematisch exakten und zum anderen die approximative Kalkulation der Durchschnittskosten zur Verfügung. Aufgrund von Unsicherheiten im Anfall bestimmter Kosten im Zeitverlauf findet die finanzmathematisch exakte Methode kaum Anwendung in der Praxis [MÜßHOFF et al. 2011]. Aufgrund dessen wird in dieser Arbeit die approximative Durchschnittskostenkalkulation angewendet, welche durch folgende Formel definiert ist:

$$DK_{app} = \frac{AW - RW}{N} + [(AW - RW) * f_{ikalk;N} + RW] * i_{kalk} + \frac{1}{N} * \sum_{t=1}^N BK_t$$

AW: Anschaffungswert

RW: Restwert

N: Nutzungsdauer nach Jahren

$f_{ikalk;N}$: durchschnittlich zu verzinsender Anlagewert

i_{kalk} : Kalkulationszinsfuß

BK_t : Betriebskosten

[MÜßHOFF et al. 2011]

Die Formel der approximativen Durchschnittskostenkalkulation besteht aus drei Teilen. Der erste Teil erfasst die durchschnittlichen Abschreibungen einer Periode. Dies sind Wertverluste durch Verschleiß und technische Veralterung. Durch die Differenz aus den Anschaffungskosten und dem Wert des betrachteten Gegenstands am Ende der Nutzungsdauer werden die Wertverluste gleichmäßig über die Nutzungsdauer verteilt. Der zweite Teil der Formel gibt die durchschnittlichen Zinskosten des in die Maschine investierten Kapitals der Periode wieder. Der durchschnittlich zu verzinsende Anlagewert wird durch $f_{ikalk;N}$ abgekürzt. Die beiden ersten Teile der oben genannten Formel ergeben die durchschnittlichen Kapitalkosten des Gegenstandes (Maschine) innerhalb einer Periode. Der dritte Teil der Formel entspricht den durchschnittlichen jährlichen Betriebskosten. Diese beinhalten alle innerhalb einer Periode anfallenden Kosten für Betriebsstoffe, Reparaturen und Versicherungen. Betriebskosten einer genutzten Maschine steigen mit zunehmendem Alter. Außerdem muss ermittelt werden ob die Maschine ober- oder unterhalb einer Abschreibungsschwelle eingesetzt wird [MÜßHOFF et al. 2011].

Eine bestimmte Nutzungsdauer in Jahren und eine Leistung in Betriebsstunden oder Hektar sind für eine Maschine schon bei der Anschaffung festgelegt. Eine Maschine wird oberhalb der Abschreibungsschwelle betrachtet, wenn sie die festgelegte Leistung in Betriebsstunden oder Hektar schon erbracht hat, bevor die Nutzungsdauer in Jahren erreicht ist. Unterhalb der Abschreibungsschwelle wird eine Maschine genutzt, wenn die Maschine die Nutzungsdauer in Jahren überschritten hat, bevor diese die Leistung in Stunden oder Hektar erbracht hat. Die Abschreibungsschwelle (jA^*), welche bestimmt ob die Maschine oberhalb oder unterhalb der Abschreibungsschwelle genutzt wird, wird durch folgende Formel beschrieben:

$$jA^* = \frac{n}{N}$$

Die erwartete Gesamtleistung (n) in Hektar, Kilometer oder Betriebsstunden, wird dividiert durch die Nutzungsdauer in Jahren [MÜßHOFF et al. 2011].

$$DK_{app} = \frac{AW - RW}{N} * j_A + [(AW - RW) * 0,5 + RW] * i_{kalk} + \frac{1}{n} * j_A * \sum_{k=1}^n BK_k$$

Diese Formel wird angewandt wenn die Maschine, durch Anwendung der oben genannten Formel, oberhalb der Abschreibungsschwelle genutzt wird. Dabei wird durch den ersten Teil der Formel die Abschreibung pro Hektar auf die Auslastung der Maschine pro Hektar bezogen. Im hinteren Teil der Formel werden die Betriebskosten pro Leistungseinheit k summiert und durch die Leistungseinheiten (Hektar, ha; Kilometer, km Betriebsstunden, Bh) dividiert und mit der jährlichen Auslastung des Zeitraums bezogen. Die Nutzungsjahre einer Maschine nehmen somit durch den höheren Verschleiß ab und die Abschreibungskosten werden zu den variablen Kosten gezählt. Die im Zeitverlauf ansteigenden Betriebskosten einer Maschine werden in der Berechnung durch den f -Wert, der den durchschnittlich zu verzinsenden Anlagewert wiedergibt, ausgeglichen. Dieser wird bei Maschine gleich 0,5 gesetzt, wodurch der jährliche Zinsansatz absichtlich unterschätzt wird [MÜßHOFF et al. 2011].

Die Ermittlung der approximativen Durchschnittskosten für die verschiedenen Stoppelbearbeitungsstrategien soll Aufschluss über die Höhe der Differenzen der Kosten geben. Dabei werden ausschließlich die Verfahrenskosten der ersten beiden Bearbeitungstermine am 22. Juli und am 12. August 2014 berücksichtigt. Die Durchschnittskosten werden an den zu erwartenden Nutzungsumfang der Maschinen für den Betrieb Domäne Bahrdorf ermittelt. Die Kosten der weiteren Bodenbearbeitungen sind über alle Varianten hinweg als gleich zu bewerten. Damit vergleichbare Ergebnisse erzielt werden können, werden allgemein gültige Datengrundlagen festgelegt. Der Restwert der Maschinen nach der Nutzungsdauer wird auf 1 € festgelegt. Der Nutzungsumfang der jeweiligen Maschine pro Jahr ist auf den Versuchsbetrieb abgestimmt. Die Kosten für einen Liter Dieseldieselkraftstoff werden aus dem durchschnittlichen Dieselpreis im Jahr 2014 und der Agrar-Dieselerückvergütung gebildet. Der durchschnittliche Dieselpreis lag im Jahr 2014 bei 1,35 € pro Liter, laut DE.STATISTA.COM (2015). Die Agrar-Dieselerückvergütung beträgt laut Zoll 0,21480 €/l. Der hier genutzte Dieselpreis lautet 1,13 €/l. Als Kalkulationszinsfuß nimmt das

KTBL einen Wert von 4 % an, welcher für diese Berechnungen übernommen wird [KTBL, 2012; ZOLL, 2013]. Die zehn verschiedenen Stoppelbearbeitungsvarianten unterscheiden sich in ihrer Bearbeitungsintensität und der eingesetzten Maschine. Es wird ein stufenloser Schlepper mit einer Leistung von 138 KW eingesetzt. Die Kosten für den Schlepper belaufen sich ohne Diesel laut KTBL auf 42,50 € pro Betriebsstunde. Als Lohnansatz für den jeweiligen Maschinenführer berechnet das KTBL 15 €/Akh [KTBL, 2012].

Die Anschaffungskosten der Väderstad Carrier XL CRXL 525 mit einer Arbeitsbreite von 5,25 m betragen 49.300,00 € in der Versuchsausstattung, ein Angebot der Firma Väderstad befindet sich im Anhang (Anh. A4). Diese Kurzscheibenegge wurde hauptsächlich in dem Versuch eingesetzt. Der Preis beinhaltet einen Scheibensatz mit einem Durchmesser von 510 mm. Für den Scheibensatz Crosscutter Disc, der in den Varianten 4 und 5 eingesetzt wurde, gibt es noch keine Auskunft bezüglich des Preises. Daher werden die beiden Varianten aus dem Kostenvergleich ausgeschlossen. Die Anschaffungskosten der Maschinen bringen durchschnittliche jährliche Kosten für Abschreibungen und Zinsansätze mit sich. Die durchschnittlichen jährlichen Abschreibungen sowie die durchschnittlichen jährlichen Zinsansätze werden zu den Fixkosten eines Betriebes gezählt. Die nachfolgende Tab. 4 zeigt die Beträge für die Kurzscheibenegge Carrier XL CRXL 525. Die Flächenleistung der Kurzscheibenegge liegt durchschnittlich bei 3,7 ha/h, woraus sich Schlepperkosten von 11,49 €/ha und Kosten für den Maschinenführer von 4,05 €/ha ergeben. Der Nutzungsumfang beträgt 400 ha/Jahr, bei einer Nutzungsdauer von 14 Jahren [KTBL, 2012]. Die Maschine kann im Betrieb Domäne Bahrdorf nach Raps, nach Getreide, vor Rüben zur Saatbettbereitung und nach Mais eingesetzt werden. Der durchschnittliche Dieserverbrauch beträgt 5,3 l/ha, das entspricht 5,99 €/ha bei einem Dieselpreis von 1,13€/l. Die Maschinenkosten aus Abschreibungen und Zinsansatz sind in Tab. 3 dargestellt und belaufen sich auf 11,26 €/ha. Außerdem müssen laut KTBL (2012) 5,00 €/ha Reparaturkosten, die hauptsächlich für Verschleißteile angerechnet werden müssen, berechnet werden. Die Gesamtkosten für einen Arbeitsgang Stoppelbearbeitung mit der Kurzscheibenegge Carrier XL CRXL 525 belaufen sich auf 37,79 €/ha.

Tab. 4: Durchschnittliche jährliche Abschreibungen (Afa) und Zinsansätze für die Kurzscheibenegge Carrier XL CRXL 525. Diese Kurzscheibenegge wurde in den Varianten 2, 3, 6, 7, 8, 9 und 10 eingesetzt. Eigene Berechnungen.

Durchschnittliche jährliche Abschreibung der Kurzscheibenegge Carrier XL CRXL 525				
AW in €	RW in €	N in Jahren		Ø jährlicher Afa- Betrag in €
49.300,00 €	1 €	14		3521,36 €
Durchschnittlicher jährlicher Zinsansatz der Kurzscheibenegge Carrier XL CRXL 525				
AW in €	RW in €	$f_{ikalk;N}$	i_{kalk}	Ø jährlicher Zinsansatz in €
49.300,00 €	1 €	0,5	0,04	986,02 €

Zusätzlich belaufen sich die Anschaffungskosten für das Vorwerkzeug Crosscutter Knife auf 8.865,00 €. Dieses Vorwerkzeug kann in Kombination mit der Kurzscheibenegge eingesetzt werden, wobei die Crosscutter Knife immer in Kombination mit der Stahlwalze eingesetzt werden muss, daher ist die Kalkulation der genauen Kosten, die durch dieses Verfahren entstehen, problematisch. Die durchschnittlichen jährlichen Abschreibungen der Crosscutter Knife belaufen sich auf 633,15 €. Der durchschnittliche jährliche Zinsansatz beträgt 177,34 €. Dies ist in Tab. 5 dargestellt. Bei der Betrachtung der Kosten dieses Zusatzgerätes muss differenziert werden zwischen der Nutzung in Kombination mit der Kurzscheibenegge, wie es in Variante 6 der Fall ist, und der einzelnen Nutzung mit der Stahlwalze. Nutzt man die Crosscutter Knife mit der Kurzscheibenegge zusammen, so wird eine Überfahrt eingespart. Der zusätzliche Zugkraftbedarf der Crosscutter Knife ist minimal bei der Nutzung in Kombination mit der Kurzscheibenegge. Außerdem kann die gleiche Flächenleistung von durchschnittlich 3,7 ha/h realisiert werden. Es besteht nur ein marginaler Unterschied zwischen dem Spritverbrauch bei der Nutzung in Kombination mit der Kurzscheibenegge gegenüber der einzelnen Nutzung der Kurzscheibenegge. Die Kombination aus Kurzscheibenegge und Crosscutter Knife kann im Betrieb Domäne Bahrdorf auf einer Fläche von 240 ha im Jahr eingesetzt werden. Welches nach den Kulturen Mais (Bewirtschaftungsvertrag mit einem anderen Betrieb) und Winterraps geschehen kann. Daher belaufen sich die Mehrkosten der Nutzung in Kombination mit der Kurzscheibenegge gegenüber der solo Kurzscheibenegge-Variante auf 3,37 €/ha durchschnittlicher Abschreibung und durchschnittlichem Kapitalansatz, sowie zusätzlich 1 €/ha Reparaturkosten. Die Gesamtkosten der Stoppelbearbeitung der Variante 6 belaufen sich somit unter Rückgriff der in Tab. 4 ermittelten Kosten für die Kurzscheibenegge auf 42,17 €/ha.

Tab. 5: Durchschnittliche jährliche Abschreibungen (Afa) und Zinsansätze für das Zusatzwerkzeug Crosscutter Knife, dieses Zusatzwerkzeug wurde in den Varianten 2, 4 und 5 eingesetzt. Eigene Berechnungen.

Durchschnittliche jährliche Abschreibung des Zusatzwerkzeuges Crosscutter Knife				
AW in €	RW in €	N in Jahren		Ø jährlicher Afa- Betrag in €
8865,00 €	1 €	14		633,15 €
Durchschnittlicher jährlicher Zinsansatz der Kurzscheibenegge Carrier XL CRXL 525				
AW in €	RW in €	$f_{i\text{kalk};N}$	i_{kalk}	Ø jährlicher Zinsansatz in €
8865,00 €	1 €	0,5	0,04	177,34 €

Die Betrachtung der Stoppelbearbeitungsvariante 2, in der die Crosscutter Knife einzeln eingesetzt wurde, ist aus dem Grund schwierig zu betrachten, da die Kurzscheibenegge als Trägerfahrzeug eingesetzt werden muss, wobei die Scheiben nicht eingesetzt werden. Die einzelne Nutzung der Crosscutter Knife würde auf dem Betrieb Domäne Bahrdorf ausschließlich nach Raps Anwendung finden. Das entspricht einem jährlichen Einsatzumfang von 80 ha. Dadurch müssen die durchschnittlichen jährlichen Kosten der

Abschreibung und des Kapitalansatzes auf 80 ha bezogen werden. Dies bedeutet, dass sich die soeben genannten Kosten der Crosscutter Knife sich auf 10,13 €/ha belaufen. Die Flächenleistung entspricht der von der Kurzscheibenegge mit 3,7 ha/h. Der geringere Zugkraftbedarf gegenüber der Bearbeitung mit der Kurzscheibenegge kann mit 1,5 l/ha weniger Dieserverbrauch ausgedrückt werden. Somit entstehen Dieserkosten von 4,29 €/ha, Lohnkosten von 4,05 €/ha, Schlepperkosten von 11,49 €/ha und Kosten für Reparatur von 1 €/ha. Das ergibt 30,96 €/ha Gesamtkosten für das in Variante 2 angewendete Stoppelbearbeitungsverfahren.

Die Anschaffungskosten des Sichelmulchers, welcher in Variante 7 eingesetzt wurde, belaufen sich auf 19.127,00 € laut Expertengespräch. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Beträge der durchschnittlichen jährlichen Abschreibungen sowie des durchschnittlichen jährlichen Zinsansatzes des Sichelmulchers. Die Flächenleistung dieses Mulchers liegt beim Häckseln der Rapsstoppeln bei 4,1 ha/h laut Angabe des Betriebsleiters. Dabei werden durch diesen Arbeitsgang 7,3 l/ha Diesel benötigt. Dies entspricht Dieserkosten von 8,25 €/ha. Die Schlepperkosten belaufen sich auf 10,36 €/ha, wobei die Lohnkosten bei dieser Flächenleistung 3,66 €/ha betragen. Bei einem Nutzungsumfang von 250 ha/a belaufen sich die Kosten für den Zinsansatz und den Abschreibungen auf 9,18 €/ha zuzüglich 2,30 €/ha Reparaturkosten. Die Gesamtkosten für eine Stoppelbearbeitung mit dem Sichelmulcher belaufen sich auf 33,75 €/ha.

Tab. 6: Durchschnittliche jährliche Abschreibungen (Afa) und Zinsansätze für den in Variante 7 eingesetzten Sichelmulcher. Eigene Berechnungen.

Durchschnittliche jährliche Abschreibung des 6 m Sichelmulchers				
AW in €	RW in €	N in Jahren		Ø jährlicher Afa- Betrag in €
19.127,00 €	1 €	10		1912,60 €
Durchschnittlicher jährlicher Zinsansatz des 6 m Sichelmulchers				
AW in €	RW in €	$f_{i\text{kalk};N}$	i_{kalk}	Ø jährlicher Zinsansatz in €
19.127,00 €	1 €	0,5	0,04	382,56 €

Die Tab. 7 zeigt eine Übersicht der Kosten jeder einzelnen Überfahrt und die Gesamtkosten für die Stoppelbearbeitungsstrategien der Varianten 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9 und 10. Dabei wird deutlich, je intensiver bearbeitet wird, desto teurer ist die Stoppelbearbeitung. Die geringsten Kosten, mit 0 €/ha verursacht die Variante 1, die über den Zeitraum der ersten beiden Stoppelbearbeitungstermine unbearbeitet blieb. Die teuerste Stoppelbearbeitungsvariante, in den hier betrachteten Varianten, ist die Variante 6, in der zweimalig die Kombination aus Kurzscheibenegge und Crosscutter Knife eingesetzt wurde. Die Stoppelbearbeitungsstrategie der 6. Variante kostet 84,33 €/ha.

Die Kosten für die Stoppelbearbeitung nach Raps erscheinen als sehr hoch gegriffen. Dies ist die Folge der Annahme des Restwertes von 1 € der jeweiligen Maschine. In der Realität ist es häufig so, dass der Restwert einer Maschine bei guter Pflege und Wartung noch bis zu

40 % des Anschaffungspreises entsprechen kann. Unter Berücksichtigung dieses Parameters wird deutlich, dass die Maschinenkosten in der Praxis geringer sind als sie hier angegeben wurden. Die alleinige Berücksichtigung der Kosten einer Stoppelbearbeitung führt allerdings nicht automatisch zu der optimalen Strategie, die im Betrieb verfolgt werden sollte. Als Beispiel dient das Zusatzwerkzeug Crosscutter Knife. Dieses Zusatzwerkzeug hat ausschließlich eine Zerkleinerungswirkung auf die Stoppelreste und das Rapsstroh. Dadurch werden allerdings beim zweiten Bearbeitungstermin nicht alle bis dahin aufgelaufenen Ausfallrapspflanzen zerstört. Diese werden häufig nur mit Erde bedeckt und wachsen oft weiter, was die Problematik der Kohlhernie und der Nematoden fördert. Der Einsatz aus der Kombination von Kurzscheibenegge und der Crosscutter Disc ist ökonomisch betrachtet die teuerste Variante. Pflanzenbaulich dahingegen ist dies eine gute Kompromisslösung, die den Aufwuchs der Rapspflanzen fördert, eine zufriedenstellende Zerkleinerungswirkung der Stoppelreste aufweist und bei dem zweiten Bearbeitungstermin die aufgelaufenen Rapspflanzen komplett zerstört.

Tab. 7: Kostenvergleich der unterschiedlichen Stoppelbearbeitungsverfahren nach Raps. Dabei wurden die Varianten 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9 und 10 betrachtet. Für die Varianten 4 und 5 fehlt eine Preisvorstellung für die Crosscutter Disc seitens des Herstellers, aufgrund der Neuheit dieses Produktes. Abkürzungen vgl. Tab 1. Eigene Berechnungen nach KTBL (2012).

Variante	1. Bodenbearbeitung		2. Bodenbearbeitung		Gesamtkosten €/ha
	Gerät	Kosten €/ha	Gerät	Kosten €/ha	
1	---	0	---	0	0
2	CC	30,96	CC	30,96	61,93
3	KSE	37,79	KSE	37,79	75,58
6	CC+KSE	42,17	CC+KSE	42,17	84,33
7	Mulcher	38,58	KSE	37,79	76,37
8	Mulcher	38,58	KSE	37,79	76,37
9	---	0	KSE	37,79	37,79
10	KSE	37,79	---	0	37,79

Variante 1 war in diesem Versuch der kostengünstigste Ansatz, der allerdings nicht allen pflanzenbaulichen Anforderungen an die Stoppelbearbeitung nach Winterraps gerecht wird. Variante 9 setzt dahingegen am zweiten Stoppelbearbeitungstermin, am 12. August 2014, eine Kurzscheibenegge ein. Das ist ein guter Zeitpunkt um Ausfallrapspflanzen aus Sicht der Nematoden- und Kohlhernie-Problematik, zu beseitigen. Außerdem ist die Variante 9 aus ökonomischer Sicht ein guter Kompromiss zwischen einer Unterlassung der Stoppelbearbeitung direkt nach der Ernte und der intensiven, späteren Stoppelbearbeitung nach Raps.

6 Schlussfolgerung

Es kann festgehalten werden, dass es für die Stoppelbearbeitung nach Winterraps keine Variante gibt, die allen Anforderungen für die optimale Bearbeitung gerecht wird. Aufgrund dessen bestehen einige Kompromisslösungen unter der Berücksichtigung folgender Aspekte: Das Ziel möglichst viele Ausfallrapssamen zum Auflaufen zu bringen, um den Aufbau einer Bodensamenbank möglichst zu verhindern, die N_{\min} -Dynamik, die für den Grundwasserschutz von Bedeutung ist sowie die Beseitigung der aufgelaufenen Ausfallrapspflanzen, welche die Vermehrung der Nematoden und Kohlhernie fördern.

Um die Anreicherung der Bodensamenbank mit Ausfallraps zu reduzieren, ist die Variante 9, die allerdings nur in einfacher Wiederholung angelegt wurde, die effektivste. Diese Variante verfolgte eine verzögerte Stoppelbearbeitung mit der Kurzscheibenegge nach der Rapsernte und brachte insgesamt an beiden Zählterminen 1826 Pflanzen/m² zum Auflaufen. Diese hohe Auflauftrate geht allerdings auch mit den feuchten Bodenbedingungen einher, welche nach der Rapsernte auf dem Versuchsstandort herrschten. Dadurch muss diese Variante nicht unbedingt unter deutlich veränderten Witterungsbedingungen die höchste Auflauftrate von Ausfallraps bewirken. Die Variante 9 ist ebenfalls hinsichtlich der Problematik der Nematodenvermehrung, die eine entscheidende Rolle in Fruchtfolgen spielt, die Raps und Zuckerrüben beinhalten, akzeptabel. Die Versuchsergebnisse zeigen, dass in keinem Fall eine direkt nach der Ernte folgende zu tiefe (8-10 cm) Bodenbearbeitung erfolgen sollte, wie es in Variante 10 durchgeführt wurde. Diese fördert die Bildung einer Samenbank, durch die Induktion einer sekundären Dormanz der Ausfallrapskörner. Die N-Dynamik umfasst bei der Variante 1 eine erhöhte N-Bindung durch die Pflanzenmasse, die vorerst nicht durch Bodenbearbeitung zerstört wurde. Diese Variante konnte somit den meisten Stickstoff konservieren. Nachhaltig kann allerdings durch diesen Versuch nicht festgestellt werden, ob eine Auswaschung von N_{\min} bis ins Frühjahr durch die unterschiedliche Stoppelbearbeitung verhindert werden konnte. Betrachtet man die N_{\min} -Ergebnisse vor (22. November 2014) und nach dem Winter (05. März 2015) so kann beobachtet werden, dass bis zu 70 kg N_{\min} weniger im Frühjahr vorhanden ist, was durch die hohen Niederschlagsmengen in tiefere Bodenschichten gelangt ist. In der Tendenz lässt sich allerdings vermuten, dass zumindest die N-Freisetzung aus Stroh und Stoppelresten durch die unbearbeitete Variante verzögert wurde, bis die Folgefrucht etwas davon aufnehmen konnte.

7 Zusammenfassung

Geprüft wurden zehn unterschiedliche Stoppelbearbeitungsverfahren nach Winterraps im Jahr 2014. Die Art und Intensität der Stoppelbearbeitung nach Winterraps hatte Auswirkungen auf mehrere pflanzenbauliche Aspekte. Die größte Anzahl auflaufender Ausfallrapspflanzen wurde in den Varianten 1 und 9 beobachtet. Dies waren die beiden Varianten, in denen unmittelbar nach der Rapsernte keine Stoppelbearbeitung vorgenommen worden war. Die intensive Bearbeitung nach der Winterrapsernte steigerte die N_{\min} -Menge im Boden unmittelbar nach der Ernte. In Variante 1 (bis 05. September 2014 nicht bearbeitet) und Variante 10 (tiefe Bodenbearbeitung mit der Scheibenegge unmittelbar nach der Rapsernte) waren am 26. August 2014 die geringsten N_{\min} -Mengen vorzufinden. Gleichzeitig bildeten diese beiden Varianten die höchste Trockenmasse und die

aufgelaufenen Ausfallrapspflanzen wiesen die größte N-Aufnahme am 26. August 2014 mit bis zu 65 kg N/ha auf. Dadurch wurde der N-Anteil in Form von Pflanzenmasse vorerst konserviert. In den Varianten 1 und 10 kam es allerdings später zu einer starken Nachmineralisierung, so dass sich die N_{\min} -Mengen der Bearbeitungsvarianten im Winter und zu Beginn der folgenden Vegetationszeit weitgehend angeglichen hatten. Aus der Differenz der absoluten N_{\min} -Mengen im Boden, die im Winter und zu Beginn der Vegetationszeit gefunden wurden, ist zu schließen, dass in allen Bearbeitungsvarianten erhebliche Stickstoffmengen über Winter verloren gingen. Die meisten Ausfallrapspflanzen liefen in Variante 9 auf, die drei Wochen nach der Rapsernte flach mit einer Kurzscheibenegge bearbeitet wurde. Im Hinblick auf die Unterdrückung der Entwicklungszyklen von Rübenzystemnematoden und Kohlhernie erwies sich Variante 9 auch als geeignet. Außerdem war die Variante 9 mit Gesamtkosten von 37,79 €/ha aus ökonomischer Sicht eine akzeptable Kompromisslösung aus der intensiven Bodenbearbeitung in Variante 3, 4, 5, 6, 7 und 8 und der Unterlassung der Bodenbearbeitung in Variante 1.

Insgesamt gibt es für jeden Aspekt der von der Stoppelbearbeitung verfolgt wird, eine geeignete Bearbeitungsstrategie. Dabei müssen allerdings Prioritäten gesetzt werden, welche primär berücksichtigt werden sollen. Jedoch vereint keine der in diesem Versuch betrachteten Bearbeitungsstrategien alle Ziele der Stoppelbearbeitung. Allerdings ist die Variante 9 für Fruchtfolgen, die Raps und Zuckerrüben vereint, die optimale Bearbeitungsstrategie unter den in 2014 herrschenden Witterungsbedingungen.

8 Literaturverzeichnis

- BERTRAM, A: Expertengespräch am 08.07.2015 über die betrieblichen Rahmenbedingungen sowie über die Kosten des Sichelmulchers.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT, 2014:
<http://www.bmelv-statistik.de/de/fachstatistiken/besondere-ernteermittlung/winterraps/>, Abrufdatum 30.06.2015.
- CRAMER, N. 1990: Raps: Anbau und Verwertung. 1. Auflage, Ulmer, Stuttgart.
- DETER, A. 2015: Effizienter Zwischenfruchtumbruch: Väderstad kombiniert Crosscutter Knife und Disc.
<http://www.topagrar.com/news/Technik-Techniknews-Effizienter-Zwischenfruchtumbruch-Vaederstad-kombiniert-CrosCutter-Knife-und-Disc-1748811.html>, Abrufdatum: 05.07.2015.
- EGLAY, G., DUKE, S. 1985: Physiology of weed seed dormancy and germination. Weed Physiology Vol. I: Reproduction & Ecophysiology, CRC Press LLC, Boca Raton, USA, 227-64.

- EHLERS, W., 1980: Keimung in Abhängigkeit von bodenphysikalischen Prozessen. Kali-Briefe (Büntehof) 15, 233-248.
- FEIFFER, A. 2009: Druscheignung und Mähdrescherleistung. Dissertation Humboldt-Universität zu Berlin, RKL Forschungsbericht Landtechnik Nr. 2.
- GERIESINGENIEURE, 2014: Kooperation Trinkwasserschutz Obere Leine Information 05/2014, 13.11.2014, Büro für Standorterkundung GmbH.
- HENKE, J. 2007: Entwicklung und Bewertung von Strategien zur Verbesserung der Stickstoffeffizienz im Winterrapsanbau. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- HILHORST, H. 2007: Definitions and hypothesis of seed dormancy. In Annual Plant Reviews Volume 27: Seed Development, Dormancy and Germination.
- KARSEN, C. M., 1981: Environmental conditions and endogenous mechanisms involved in secondary dormancy of seeds. Israel Journal of Botany 29, 45-64.
- KLUTH, C. 2015: Persönliche Mitteilung (SAS-Skript). Verrechnung und statistische Auswertung.
- KTBL, 2012: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, KTBL-Datensammlung. Betriebsplanung in der Landwirtschaft 2012/2013. 23. Auflage.
- KWS SAAT AG: Nematoden, Erkennen, Handeln, Erträge sichern.
https://www.kws.de/global/show_documents.asp?id=aaaaaaaaaamlraf&download=1
. Abrufdatum: 10.07.2015.
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFALEN, 2014: Technik für die Ackerhygiene und Nährstoffkonservierung – Wichtiger Baustein des erfolgreichen Rapsanbaus.
<https://www.landwirtschaftskammer.de/minden/wasserkoooperation-herford/pdf/2014-09-04-rapsfeldtag.pdf>. Abrufdatum: 05.07.2015.
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFALEN, 2015: Hinweise zur Stickstoffdüngung im Herbst.
<https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/pdf/n-duengung-herbst-pdf.pdf>. Abrufdatum: 24.06.2015.
- LICKFETT, T., WILDEHAYN, M., PRZEMECK, E., 1994: Zuviel Nitrat nach Raps – was tun? DLG-Mitteilung 8, 32-33.
- LIZ ONLINE, 2011: LIZ-Ausfallraps-Manager, EDV-Programm zur Ermittlung des Umbruchzeitpunktes von Ausfallraps.

http://www.liz-online.de/fileadmin/user_upload/pdf/ausfallrapsmanager_r.pdf,
Abrufdatum: 06.07.2015.

MUßHOFF, O., HIRSCHAUER, N. 2011: Modernes Agrarmanagement, Betriebswirtschaftliche Analyse- und Planungsverfahren. Verlag Franz Vahlen München, 2. Auflage.

PAHKALA, K. & SANKARI, H. 2001: Seed loss as a result of pod shatter in spring rape and spring turnip rape in Finland. *Agricultural Food Science in Finland* 10, 209-216.

PEKRUN, C. LUTMAN, P.J.W., BÜCHSE, A. ALBERTINI, A., CLAUPEIN, W. 2006: Reducing gene escape in time by appropriate post-harvest tillage – Evidence from field experiments with oilseed rape at 10 sites in Europe. *European Journal of Agronomy* 25, 289-298.

RAPOOL-RING GMBH, 2014: Nach dem Raps ist vor dem Raps,
<http://www.rapool.de/index.cfm/article/3096.html>, Abrufdatum: 08.07.2015.

SAUERMAN, W. 2010: Ausfallraps: Mulchen statt vergraben.
<https://www.topagrar.com/news/Home-top-News-Ausfallraps-Mulchen-statt-vergraben-126909.html>, Abrufdatum: 05.07.2015.

SCHLINK, S. 1998: Ökologie der Keimung und Dormanz von Körnerraps (*Brassica napus L.*) und ihre Bedeutung für eine Überdauerung der Samen im Boden. Dissertation Universität Göttingen.

SCHUBERT, S. 2006: Pflanzenernährung, Grundwissen Bachelor 2. Auflage, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, S. 172.

STATISTA, 2015: Durchschnittlicher Preis für Dieselkraftstoff in Deutschland in den Jahren 1950-2015.
<http://de.statista.com/statistik/daten/studie/779/umfrage/durchschnittspreis-fuer-dieselmkraftstoff-seit-dem-jahr-1950/>, Abrufdatum: 08.07.2015.

STEFANOVSKA, T., PIDLISNYUK, V. 2009: Challenges to grow oilseed rape (*Brassica napus*) in sugar beet rotations. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences* 74, 573-579.

SYNGENTA AGRO, 2014: Kohlhernie in Raps – Erkennen – Vorbeugen – Schützen. Maintal, 1-10.

THOMPSON, K., OOI, M.K.J. 2010: To germinate or not to germinate: more than just a question of dormancy. *Seed Science Research* 20, 209-211.

URBANSKA, K, 1992: Populationsbiologie der Pflanzen. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.

VLEESHOUWERS, L.M., BOUWMEESTER, H.J., KARSSSEN, C.M., 1995: Redefining seed dormancy: an attempt to integrate physiology and ecology. *Journal of Ecology* 83, 1031-1037.

VIGIL, M., ANDERSON, R.L., BEARD, W.E., 1997: Base temperature and growing-degree-hour requirements for the emergence of Canola. *Crop Science*, 37, 844-849.

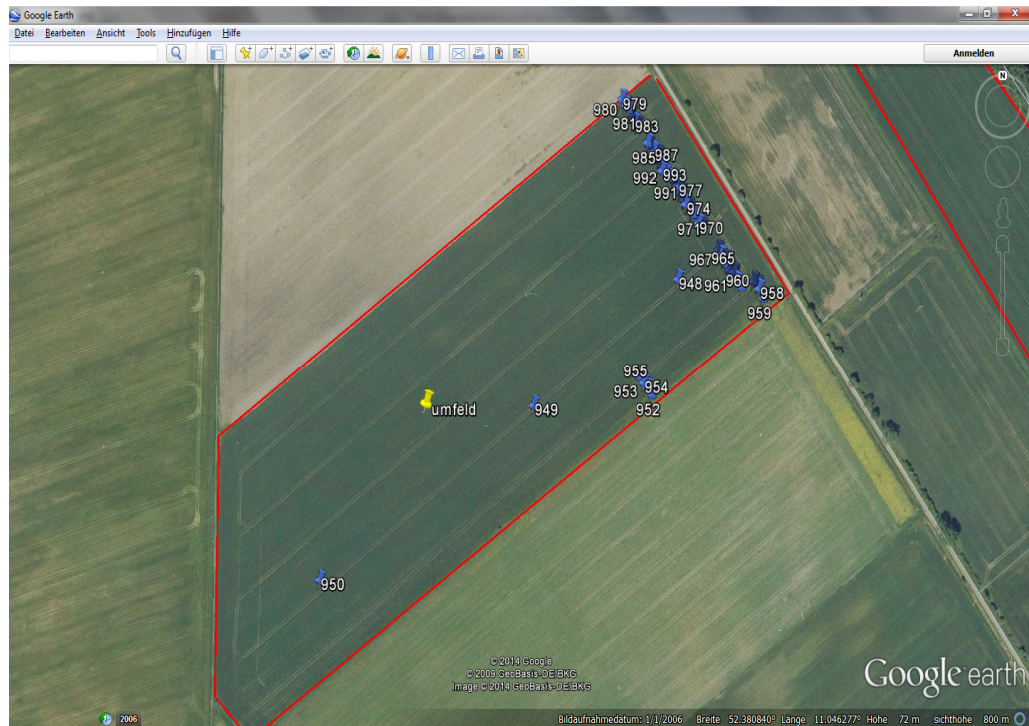
ZOLL, 2013: Höhe der Steuerentlastung.

<http://www.zoll.de/DE/Fachthemen/Steuern/>

[Verbrauchsteuern/Energie/Steuerverguenstigung/Steuerentlastung/Betriebe-Land-Forstwirtschaft/Hoehe-Steuerentlastung/hoehe-steuerentlastung_node.html](http://www.zoll.de/DE/Fachthemen/Steuern/Verbrauchsteuern/Energie/Steuerverguenstigung/Steuerentlastung/Betriebe-Land-Forstwirtschaft/Hoehe-Steuerentlastung/hoehe-steuerentlastung_node.html),

Abrufdatum: 08.07.2014.

9 Anhang




Anh. A1: Versuchsfeld, Schlag „Umfeld“. Quelle: Google earth.



Anh. A2: Sichelmulcher der Firma Major in Kombination mit einem Strohstriegel. Quelle: Eigene Aufnahme, Juli 2014.



Anh. A3: Ein Quadratmeter Rapsstoppeln, bei dem der Ernterückstand aufgesaugt wurde.
Quelle: Eigene Aufnahme, Juli 2014.

VÄDERSTAD GmbH Am Berliner Ring 8 14542 Werder (Havel) OT Derwitz Mobil: Fax: Email:				
Händler:		Kunde:		
Name:				
Straße:				
PLZ/Ort:				
Tel:				
Fax:				
Mobil:				
Email:				
Ansprechpartner:				
Angebot/Auftrag		Datum:		
Es gelten die allgemeinen Geschäftsbedingungen der Väderstad GmbH, Am Berliner Ring 8, 14552 Werder (Havel)				
Art. Nr.	Bezeichnung	Stück	Einzelpreis	Gesamtpreis
7005195	Carrier XL CRXL 525	1	44.045,00	44.045,00
805289	Kugelkopf-Anhängung 80mm	1	0,00	0,00
805298	Radaufhängung mit Federung	1	260,00	260,00
	Pneum. Bremse & Sicherheitspaket	1	2.500,00	2.500,00
805306	Doppelter SoilRunner	1	2.495,00	2.495,00
7105485	CrossCutter Knife	1	8.865,00	8.865,00
7116085	Spurlockerer Basis Kit C-C 200 cm	1	865,00	865,00
Zahlungsbedingungen:		Gesamtpreis I:		59.030,00
2% Skonto bei Geldeingang				
innerhalb 14 Tage auf dem Konto		Frachtanteil I:		300,00
der Väderstad GmbH.		Mehrwertsteuer:		19,00%
Danach rein netto Kasse.				

Anh. A4: Schriftliches Angebot für die im Versuch eingesetzte Kurzscheibenegge der Firma Väderstad. Quelle: T. Puls, Juni 2015.

Andreas Bertram

Landwirt

Domäne Bahrdorf

38459 Bahrdorf

Helmstedter Str.4

Telefon 05364/948319

Telefax /948320

Mobil 0171/7748330

Betriebsspiegel der Domäne Bahrdorf 2014

Betriebsgröße

368,17 ha

LN

354,29 ha davon:

287,76 ha Eigentumsfläche

66,53 ha Pachtfläche

Bodenwertzahlen

Bahrdorf 48

Saalsdorf 32

Durchschnitt 44

Jahresniederschläge

540 mm langjährig

Lage

98 m über NN Überwiegend eben

Wasserverhältnisse	190 ha Neudränung von 1951 – 1986 Rest Alldränung
AK – Besatz	0,7 AK/ 100 ha LN eingerechnet Schlosser
PS – Besatz	185 PS/ 100 ha LN
Fruchtfolge	Bahrdorf ZR/ WW/ Raps/ WW/ WW Saalsdorf Raps/ WW/ WW auf Böden über 40 Bp Raps/ WW/ WG auf Sandböden 25-32 Bp
Anbauverhältnis	61 % Weizen 15 % Rüben 24 % Raps
Schlaggrößen	5 Komplexe ca. 50 ha arrondiert
Innere Verkehrslage	4 km vom Hof – Bahrdorf 6 km vom Hof – Saalsdorf
Äußere Verkehrslage	18 km zur Kreisstadt Helmstedt 18 km zur Werkstatt 6 km zum Landhandel 60 km zur Zuckerfabrik Wanzleben

Handelsdünger	N	Harnstoff 46 % (292 €/to; 0,63€/kg N)
	N/S	NTS 27/3 (207 €/to; 0,76€/kg N)
	P ₂ O ₅	TSP 46 P ₂ O ₅
	K ₂ O	Kornkali 40 K ₂ O + 6 MgO
	N/P/K/S	Kalivinasse 2/9/12/5 (114 €/to; 0,50€/kg N/P/K)
	CaO	Kohlensaurer Kalk / Carbokalk

Maschinenbesatz

Schlepper	1 x	65 PS Fendt
	1 x	75 PS Fendt
	1 x	150 PS Fendt
	1 x	150 PS MB-Trac
	1 x	240 PS Fendt
	=	680 PS

Pflug- und Bestellarbeiten	1	Lemken Pflug Vari- Diamant 6 scharig
	1	Kverneland Pflug 5 scharig
	1	Lemken Smaragd Grubber 5 m
	1	Rabe Schwergrubber 3,30m
	1	Horsch Tieger 4m
	1	Rabe Tiefenweißel 3 Zinken Tiefe 60 cm
	1	Lemken Kreiselegge + Drillmaschine Solitär 6m (50 % Ha.)
	1	Rabe Kreiselegge 3m +Amazone Drillmaschine D8-30 super
	1	Kverneland Rübendrillmaschine 18 Reihen

Mulchsaatausrüstung

1 Düker Kantenmulcher 2,00 m

Getreide

Das gesamte Getreide kann gelagert und belüftet werden

4 x 12 to Satzrockner

4 x 60 to Stahlsilos mit Belüftung

1300 to Flachlager aufgeteilt in 5 Boxen

8 x 15 to Saatgutboxen

1000 to Flachlager auf der Domäne

2 FGK Trocknungsgeneratoren TG 60

3 FGK Belüftungsgebläse FGK 110/8

2 FGK Trockenkühler FGK 170/8

1 Claas Lexion 580 7,5 m Varioschneidwerk

Düngerstreuer

1 Kverneland DS EDW 3200 Tellus bis 36 m Arbeitsbreite
mit automatischer Wiegeeinrichtung und N-Sensor

Pflanzenschutz

1 24 m Rau Spritze 3.600 li Bj.2012

1 36 m Dammann-Trac 8.000 l Bj.2006

1 36 m Dammann-Trac 4.000 l Bj.1998

Beide Dammann sind mit N-Sensoren ausgerüstet

Grunddüngung

Nach Bodenuntersuchung per N-Sensor (Streukarten) über GPS

Organischer Dünger

Stroh, Rübenblatt, Gärrest getrocknet, Klärschlamm, K-Vinasse

Zwischenfrucht ca. 50 ha ZR Mulchsaat

Beregnung ca. 310 ha (80% LN) aus eigenem Brunnen in erdverlegter Leitung (100 – 150 mm), E – Motor 130 cbm/h
 3 Pumpstationen ab 1988 (1 x Bahrdorf/ 2 x Saalsdorf)
 1 Beregnungsmaschine Perrot 350 m Länge, 90mm
 3 Beregnungsmaschinen Deierling 480 m Länge 110 mm
 1 Beregnungsmaschine Deierling 550 m Länge 110 mm
 alle Beregnungsmaschinen sind mit elektronischer Einzugsregelung ausgerüstet.

Erträge 2001 – 2013
 2013)

Winterweizen 93 dt/ha (94 dt/ha 12,6 % Prot

2013)

Zuckerrüben 658 dt/ha (728 dt/ha 18,1% Zucker

Raps 46 dt/ha (52 dt/ha 2013)

Anbaufläche zur Ernte 2014

Winterweizen 212,00 ha

Raps 85,00 ha

Zuckerrüben 55,00 ha

Brache 2,00 ha

Anh. A5: Betriebsspiegel der Domäne Bahrdorf

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen oder anderen Quellen entnommen sind, sind als solche kenntlich gemacht.

Datum:

Unterschrift: