

Universität Hohenheim
Institut für Kulturpflanzenwissenschaften
Fachgebiet Allgemeiner Pflanzenbau
Prof. Dr. W. Claupein



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

Auswirkungen von abfrierenden Leguminosen- Untersaaten im Rapsanbau am Beispiel eines Betriebes in Südniedersachsen

Bachelor-Arbeit

Vorgelegt bei Prof. Dr. S. Graff-Hönninger

Von Samuel Hofmann

Matrikel-Nr.: 624 716

Dezember 2018

I. Inhaltsverzeichnis

II. Abbildungsverzeichnis	4
III. Tabellenverzeichnis.....	5
IV. Abkürzungsverzeichnis	6
1.1 Einleitung	7
1.2 Zielsetzung	8
2. Material und Methoden	9
2.1 Versuchsanlage.....	9
2.2 Bonituren	11
2.3 Bodenproben	12
2.3 Ernte	13
2.4 Standorte.....	14
2.5 Bestandesführung	18
2.6 Statistik.....	18
3. Versuchsergebnisse	19
3.1 Bestandesentwicklung.....	19
3.1.1 Bestandesdichte Raps	19
3.1.2 Feldaufgang Begleitpflanzen.....	20
3.1.3 Frischmasse von Raps und Begleitpflanzen	24
3.2 Bodenproben	27
3.2.1 Bodenproben vor Versuchsbeginn	27
3.2.2 Bodenproben im Frühjahr	28
3.3 Erträge	30
4. Literaturergebnisse	31
4.1 Stickstoffeffizienz	31
4.2 Unkrautunterdrückung	33

5. Diskussion	34
5.1 Bestandesentwicklung	34
5.2 Bedeutung der oberirdischen Frischmasse	36
5.3 Bodenproben und Stickstoffeffizienz	38
5.4 Auswirkungen der Begleitpflanzen auf den Rapserttrag	40
5.3 Bodenschutz und Biodiversität	41
5.2 Pflanzenschutz und Unkrautaufrkommen	44
6. Zusammenfassung	46
8. Literaturverzeichnis	49
Anhang	52

II. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schema der Versuchsanlage im Jahr 2016/17 am Standort Scheppau.....	10
Abbildung 2: Schemazeichnung der Reihenanzordnung nach Aufhammer (1999). Der Abstand zwischen den Rapsreihen beträgt 45 Zentimeter	11
Abbildung 3: Übersichtskarte Niedersachsens mit den eingezeichneten Standorten. (Quelle: www.niedersachsen.de)	15
Abbildung 4: Abgeleitete Daten des Deutschen Wetterdienstes. BF 10 ist die errechnete Bodenfeuchte unter Gras bei sandigem Lehm zwischen 0 und 10 Zentimetern. Angegeben in % nutzbarer Feldkapazität für die einzelnen Jahre.....	17
Abbildung 5: Oberirdische Frischmasse zum Vegetationsende von Raps und Begleitpflanzen in g/m ² . Versuchsjahr 2016/17 am Standort Scheppau. Mittelwerte und Standardabweichung mit n=4.	24
Abbildung 6: Oberirdische Frischmasse zum Vegetationsende von Raps und Begleitpflanzen in g/m ² . Versuchsjahr 2016/17 am Standort Klein Escherde. Mittelwerte und Standardabweichung mit n=4.	25
Abbildung 7: Oberirdische Frischmasse zum Vegetationsende von Raps und Begleitpflanzen in g/m ² . Versuchsjahr 2017/18 am Standort Scheppau auf dem Schlag Köterkamp. Mittelwerte und Standardabweichung mit n=4 (Bei der Variante Raps in Reinsaat: n=16).....	26
Abbildung 8: Oberirdische Frischmasse zum Vegetationsende von Raps und Begleitpflanzen in g/m ² . Versuchsjahr 2017/18 am Standort Scheppau auf dem Schlag Ackern. Mittelwerte und Standardabweichung mit n=4 (Bei der Variante Raps in Reinsaat: n=16).....	26
Abbildung 9: Mittelwerte und Standardabweichungen des Gehalts an Nitratstickstoff zu Vegetationsbeginn 2017 bei einer Probenahmetiefe von 0-60 cm. Anzahl der Wiederholungen: n=4 (Bei Raps in Reinsaat: n=16).....	28
Abbildung 10: Mittelwerte und Standardabweichungen des Gehalts an Nitratstickstoff zu Vegetationsbeginn 2018 bei einer Probenahmetiefe von 0-60 cm. Anzahl der Wiederholungen: n=4 (Bei Raps in Reinsaat: n=16).....	29
Abbildung 11: Rapsertträge in dt/ha nach Art der Begleitpflanzen an den Standorten Scheppau und Klein Escherde in beiden Versuchsjahren. Bei der Variante Raps in Reinsaat ist der Mittelwert der Parzellen angegeben (2016/17: n=4; 2017/18: n=3).....	30

Abbildung 12: Schematische Zeichnung von <i>Trifolium repens</i> (1), <i>Brassica napus</i> (2 und 4), <i>Vicia faba</i> (3) und <i>Pisum sativum</i> (5) (Eigene Darstellung).	42
Abbildung 13: Wurzelentwicklung von Linsen (<i>Lens culinaris</i>) bei trockenen Verhältnissen (Foto: J.Epperlein)	43

III. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Eingesetzte Begleitpflanzen, beziehungsweise Mischungen mit der jeweiligen Aussaatstärke.	10
Tabelle 2: Standorte der Versuchsdurchführung und die jeweils anzutreffende Bodenart.	14
Tabelle 3: Klimadaten für den Versuchszeitraum von August 2016 bis August 2017. Monatsmittel der täglichen Lufttemperatur in 2 m Höhe. Monatssumme der täglichen Niederschlagshöhe. (verändert nach DWD)	16
Tabelle 4: Klimadaten für den Versuchszeitraum von August 2017 bis August 2018. Monatsmittel der täglichen Lufttemperatur in 2 m Höhe. Monatssumme der täglichen Niederschlagshöhe. (verändert nach DWD)	16
Tabelle 5: Bestandesdichte von Raps in Abhängigkeit der angebauten Begleitpflanzen. Angegeben in Pflanzen/m ² bei der Bonitur zum Vegetationsende. Die Aussaatstärke betrug 25 keimfähige Körner/m ² . Mittelwert und Standardabweichung mit n=4 (bei Raps in Reinsaat n=16).	20
Tabelle 6: Saatstärke, Bestandesdichte und Feldaufgang der ausgesäten Begleitpflanzen zum Vegetationsende 2016 am Standort Scheppau. Bestandesdichte als Mittelwert mit Standardabweichung (n=4).	21
Tabelle 7: Saatstärke, Bestandesdichte und Feldaufgang der ausgesäten Begleitpflanzen zum Vegetationsende 2016 am Standort Klein Escherde. Bestandesdichte als Mittelwert mit Standardabweichung (n=4).	22
Tabelle 8: Saatstärke, Bestandesdichte und Feldaufgang der ausgesäten Begleitpflanzen zum Vegetationsende 2017 am Standort Scheppau auf dem Schlag Köterkamp. Bestandesdichte als Mittelwert mit Standardabweichung (n=4).	22

Tabelle 9: Saatstärke, Bestandesdichte und Feldaufgang der ausgesäten Begleitpflanzen zum Vegetationsende 2017 am Standort Scheppau auf dem Schlag Ackern. Bestandesdichte als Mittelwert mit Standardabweichung (n=4).	23
Tabelle 10: Bodenprobe vor der Versuchsanlage im Jahr 2016. Gehaltsklassen nach Bewertung der LWK Niedersachsen.	27
Tabelle 11: Biologische Stickstofffixierung in kg N/ha verschiedener Leguminosenarten, die als Hauptfrucht (HF) oder Zwischenfrucht (ZF) angebaut wurden.	31
Tabelle 12: Potenzial der Stickstoffeinsparung und Ertragsauswirkung von Leguminosen-Begleitpflanzen im Rapsanbau in Frankreich.	32

IV. Abkürzungsverzeichnis

cm	= Zentimeter
dt	= Dezentonnen
g	= Gramm
ha	= Hektar
kg	= Kilogramm
m ²	= Quadratmeter
N	= Stickstoff
N _{min}	= mineralischer Stickstoff
n	= Anzahl der Messwiederholungen
SD	= Standardabweichung
t	= Tonnen
VDLUFA	= Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
\bar{X}	= Mittelwert

1.1 Einleitung

Der Anbau von Raps (*Brassica napus*) wurde in Europa im Jahr 2016 auf einer Anbaufläche von über acht Millionen Hektar betrieben (FAO). Somit gehört er nach Ausdehnung der Anbaufläche zu den fünf wichtigsten Kulturen in Europa und stellt die bedeutendste Ölfrucht in Deutschland dar. Allerdings bringt der Rapsanbau zunehmend Probleme mit sich. Er steht wegen einer hohen Pflanzenschutz-intensität immer mehr in der Kritik. Nach Kartoffeln zählt der Raps mit im Schnitt 5,33 Pflanzenschutzmaßnahmen (Roßberg, 2013) zu den intensiven Ackerbaukulturen. Gerade in getreidebetonten Fruchtfolgen ist der Raps aber eine wichtige Blattfrucht, um Getreidekrankheiten zu unterbrechen und Problemunkräuter in den Griff zu bekommen. Gleichzeitig kann mit dem Rapsanbau ein guter Deckungsbeitrag erzielt werden. Allerdings nimmt die Resistenzproblematik bei Schädlingen wie dem Rapserrdfloh (*Psylliodes chrysocephalus*), dem Rapsstängelrüssler (*Ceutorhynchus napi*) oder dem Rapsglanzkäfer (*Meligethes aeneus*) weiter zu. Dies gewinnt bei Wegfall der neonikotinoiden Beize mehr an Bedeutung. Um den Rapsanbau konkurrenzfähig zu erhalten und umweltverträglicher zu gestalten, wird zurzeit nach verschiedenen Lösungen gesucht. Eine Möglichkeit, die schon im biologischen Rapsanbau im Jahr 2009 von der Berner Fachhochschule in Zöllikofen getestet wurde, ist die gemeinsame Aussaat von Raps mit Begleitpflanzen (Ramseier, 2009). Im Herbst entwickeln sich die Begleitpflanzen gemeinsam mit dem Raps und sorgen für eine schnelle Bodenbedeckung. Durch diese Bodenbedeckung kann Unkraut unterdrückt werden. Außerdem können die Begleitpflanzen den Befall durch Schnecken oder Rapserrdföhe verringern, da sie die Schaderreger verwirren oder von den Rapspflanzen weglocken. Durch den Wegfall der insektiziden Beize für Raps kommt dieser Funktion eine sehr wichtige Bedeutung zu. Durch die Verwendung von Leguminosen als Begleitpflanzen kann zusätzlicher Stickstoff in das System eingebracht werden, wodurch der Mineraldüngereinsatz verringert werden kann. Dies ist vor dem Hintergrund des hohen Energiebedarfs zur Herstellung von mineralischen Stickstoffdüngern ein wichtiger Baustein, um die Stickstoffeffizienz eines Ackerbausystems zu verbessern.

Es ist darauf zu achten, dass frostsensitive Begleitpflanzen ausgesät werden, welche über den Winter sicher abfrieren. Die Bodenbedeckung mit abgestorbenem Pflanzenmaterial und die ganzflächige Durchwurzelung des Bodens vermindert die Erosionsgefahr. Außerdem steht organisches Material zur Verfügung, wodurch die Humusbilanz verbessert werden kann. Durch den Anbau von verschiedenen Pflanzenarten auf einer Fläche kann die ökologische Vielfalt

erhalten und zum Schutz der Artenvielfalt beigetragen werden. Der Anbau von Raps mit Begleitpflanzen trägt also zur Erhöhung der Biodiversität des Ackerbaus bei und stärkt dadurch das Bodenleben.

1.2 Zielsetzung

Die vorliegende Arbeit beschreibt zunächst einen Praxisversuch, in dem getestet wird, ob sich der Anbau von Raps mit Begleitpflanzen als praxistauglich erweist. Es stellt sich die Frage, ob der Anbau von Begleitpflanzen den Rapsenertrag beeinflusst. Außerdem soll geklärt werden, wie sich der Bestand vor dem Winter entwickelt und ob die Begleitpflanzen mit dem Raps in Konkurrenz treten. Mithilfe von Ergebnissen aus der Literatur wird eine mögliche Steigerung der Stickstoffeffizienz erörtert. Des Weiteren werden die Auswirkungen der Begleitpflanzen auf das Unkrautauftreten, als auch auf den Schädlingsbefall im Herbst diskutiert.

Es soll aufgezeigt werden in welcher Weise sich die angesprochenen Effekte in Zukunft weiter untersuchen lassen.

2. Material und Methoden

2.1 Versuchsanlage

Um den genannten Problemen im Rapsanbau zu begegnen, wurde durch die Gesellschaft für konservierende Bodenbearbeitung e.V. ein Anbauversuch an zwei Standorten in Niedersachsen (siehe Abschnitt 2.4 ab S. 13) angelegt. Es wurde Raps der Sorte Avatar in Einzelkornsaat mit einem Reihenabstand von 45 cm ausgesät. Zwischen die Rapsreihen wurden im gleichen Arbeitsgang verschiedene Arten von Begleitpflanzen, vorwiegend Leguminosen, ausgesät (Tab. 1, S. 10). Der Raps wurde in allen Parzellen mit einer Saatstärke von zwei Kilogramm pro Hektar ausgesät, was 25 keimfähigen Körnern pro Quadratmeter entsprach. Hier wurde im Vergleich zur Breitsaat eine geringere Saatstärke gewählt, da die Standraumverteilung bei der Aussaat im Einzelkornverfahren verbessert ist.

Bei der Versuchsanlage handelte es sich um einen Langparzellenversuch nach Zade (Thomas, 2006). Diese Form der Versuchsanlage, auch als On-Farm-Versuch bezeichnet, wurde gewählt, um praxisübliche Technik einsetzen zu können und den Versuch als Demonstration zu nutzen. Es soll geprüft werden, ob das Anbauverfahren leicht in der Praxis umzusetzen ist. Die Parzellenbreite entsprach mit 10,8 Metern der doppelten Arbeitsbreite der Sämaschine. Die Parzellenlänge variierte zwischen den Standorten und war abhängig von der Schlaglänge. Zwischen den Prüfgliedern lagen Standardparzellen, die der betriebsüblichen Anbaupraxis entsprachen (Abb. 1, S. 10). Bei der Sämaschine handelt es sich um die Direktsaatmaschine Gherardi G300. Hiermit ist es in einem Arbeitsgang möglich den Raps in Einzelkornsaat abzulegen und zwischen den Rapsreihen die Begleitpflanzen zu etablieren. Zudem kann zur Aussaat eine Düngung realisiert, sowie Schneckenkorn ausgebracht werden. Im ersten Versuchsjahr konnte der Versuch, wie geplant, in Direktsaat angelegt werden. Im zweiten Jahr ging der Aussaat ein Arbeitsgang mit einem Flachgrubber voraus, um die Spuren der Ernte einzuebnen, welche aufgrund der nassen Witterungsbedingungen entstanden sind. Hier kam ein Kockerling Allrounder mit einer Arbeitstiefe von 7 – 8 cm zum Einsatz.

Tabelle 1: Eingesetzte Begleitpflanzen, beziehungsweise Mischungen mit der jeweiligen Aussaatstärke.

Begleitpflanzen/ Mischungen	lateinischer Name	Aussaatstärke kg/ha
Linsen	<i>Lens culinaris</i>	40
Sommerwicken	<i>Vicia sativa</i>	50
Erbsen	<i>Pisum sativum</i>	80
Ackerbohnen	<i>Vicia faba</i>	100
Optima Green Life RapsPro ¹	<i>Vicia sativa, Vicia americana, Trifolium alexandrinum</i>	40
UFA Colzafix ²	<i>Fagopyrum esculentum, Lens culinaris, Lathyrus sativus, Vicia sativa, Trifolium alexandrinum, Guizotia abyssinica</i>	30

¹ Komponenten: 48% Saatwicke, 32% Rotwicke, 20% Alexandrinerklee

² Komponenten: 23% Buchweizen, 23% Saatlinsen, 20% Saatplatterbsen, 17% Sommerwicken, 10% Alexandrinerklee, 7% Ramtillkraut

Raps in Reinsaat	Linsen	Sommerwicken	Raps in Reinsaat	Optima Green Life RapsPro	UFA Colzafix	Raps in Reinsaat	Erbsen	Ackerbohnen	Raps in Reinsaat
------------------	--------	--------------	------------------	---------------------------	--------------	------------------	--------	-------------	------------------

Abbildung 1: Schema der Versuchsanlage im Jahr 2016/17 am Standort Scheppau.

Bei der Anordnung der Pflanzen handelt es sich nach Aufhammer (1999) um eine Reihenanordnung, ein sogenanntes Row Intercropping (Abb. 2)

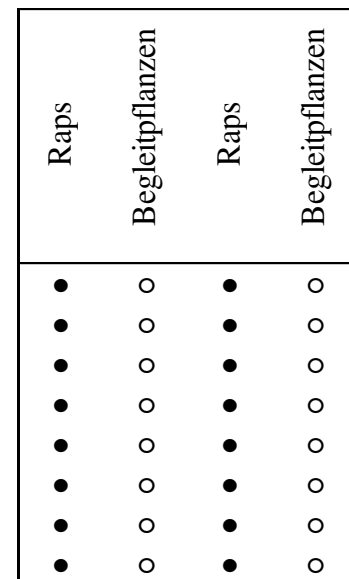


Abbildung 2: Schemazeichnung der Reihenanordnung nach Aufhammer (1999). Der Abstand zwischen den Rapsreihen beträgt 45 Zentimeter

2.2 Bonituren

Zum Vegetationsende wurde die Anzahl der Pflanzen pro Quadratmeter, sowohl für den Raps, als auch für die jeweiligen Begleitpflanzen, bonitiert. Die Bonituren wurden Ende Oktober durchgeführt, als sich der Raps im BBCH-Stadium 15 bis 18 befand. Es wurden bei einem Reihenabstand von 45 Zentimetern 1,1 Meter in der Reihe ausgezählt und das Ergebnis verdoppelt, um die Anzahl der Pflanzen pro Quadratmeter zu erhalten.

Bei den Bonituren wurde außerdem die oberirdische Frischmasse des Rapses, sowie der Begleitpflanzen ermittelt. Hierzu wurden 1,1 Meter einer Reihe bodennah abgeschnitten und frisch gewogen. Um diese Ergebnisse bezüglich des Rapses mit denen anderer Studien vergleichen zu können, ist es möglich, die Ergebnisse mit 0,1 zu multipliziert. Der Anteil der Trockenmasse des Rapses beträgt in frühen Entwicklungsstadien etwa 10 Prozent (Sieling et al, 2010).

Des Weiteren wurde der Wurzelhalsdurchmesser der Rapspflanzen zum Vegetationsende ermittelt (nicht dargestellt). Hierzu wurde pro Parzelle an 24 Rapspflanzen der Wurzelhalsdurchmesser in Millimeter gemessen.

2.3 Bodenproben

Im ersten Versuchsjahr wurden die Versuchsflächen vor Anlage der Versuche auf Bearbeitungstiefe (20 cm) beprobt. Hierbei wurden die Bodenart, der pH-Wert, die Gehalte an Phosphor, Kalium, Magnesium und der Humusgehalt festgestellt. Die Bestimmung des pH-Wertes und des Magnesiumgehaltes wurde mit Hilfe der CaCl_2 Analysemethode durchgeführt. Zur Bestimmung des Gehaltes an Phosphor und Kalium wurde die CAL Methode verwendet. Die Gehalte wurden nach der Empfehlung der Landwirtschaftskammer Niedersachsen bewertet und bei der Düngung berücksichtigt. Hierdurch kann überprüft werden, ob für den Rapsanbau passende Ausgangsbedingungen vorliegen.

Außerdem wurden in beiden Versuchsjahren, jeweils im Frühjahr, Bodenproben vor der ersten Düngungsmaßnahme durchgeführt. Hier wurde der Gehalt an Stickstoff, sowohl in der Nitratform, als auch in der Ammoniumform, ermittelt. Es zeigte sich, dass kaum Ammoniumstickstoff vorlag, weshalb diese Form des Stickstoffs im Folgenden nicht mitberücksichtigt wird. Um die Bodenproben zu entnehmen, wurde ein externes Unternehmen beauftragt, in diesem Fall die Firma Agrolab aus Sarstedt. In jeder Parzelle wurde an vier Stellen, sowohl in der Tiefe von 0 bis 30 Zentimetern, als auch in der Tiefe von 31 bis 60 Zentimetern gemessen. Bei den Nmin-Untersuchungen wurde jeweils die Bodenart der vorliegenden Probe bestimmt. Die Analyse erfolgte hierbei nach Norm der VDLUFA (Norm: A 1.2.2, 1991).

Im Frühjahr 2018 wurde zusätzlich die mikrobiologische Aktivität des Bodens festgestellt. Dies geschah am 4. April mit Hilfe des Solvita Feld-Tests (Ergebnisse nicht dargestellt). Hierbei wird die CO_2 -Atmung des Bodens ermittelt, wodurch Rückschlüsse auf die biologische Aktivität möglich sind. Es wurde aus jeder Parzelle eine Mischprobe aus acht Einstichen genommen. Der erhaltene Boden wurde mit einem Sieb mit einer Maschenweite von sechs Millimetern gesiebt und 90 Gramm des erhaltenen Materials wurden eingewogen. Zusammen mit einem Teststäbchen, ähnlich einem pH-Teststreifen, wurde die ausgewogene Menge in ein Glas gegeben und luftdicht verschlossen. Nach 24 Stunden Bebrütung bei 20° Celsius wurden die Teststreifen mit einem Colormeter Lesegerät ausgelesen. Man erhält einen Wert zwischen null und sechs, wodurch Rückschlüsse auf die biologische Aktivität des Bodens möglich sind. In Abhängigkeit der Temperatur, erhält man die Menge an Kohlenstoff, die in Form von CO_2 pro Hektar und Tag gebildet wird.

2.3 Ernte

Zur Ernte wurden die Parzellen mit Hilfe der GPS gestützten Lenkung des Mähreschers an beiden Enden parallel abgelängt. Anschließend erfolgte ein Kerndrusch der Parzellen auf einer Breite von neun Metern, beziehungsweise 6,6 Metern. Dies war abhängig vom verfügbaren Modell des Mähreschers. Am Standort Scheppau kam ein Claas Lexion 750 terra trac mit neun Meter breitem Schneidwerk zum Einsatz. In Klein Escherde wurde für die Ernte ein Claas Lexion 540 C mit 6,6 Meter breitem Schneidwerk eingesetzt. Die Größe der geernteten Fläche errechnete sich aus der Parzellenlänge und der Schneidwerksbreite. Nach dem Drusch jeder Parzelle wurde der Korntankinhalt in ein Big Bag entleert und mit einer Hängewaage gewogen. Durch das erhaltene Gewicht konnte der Ertrag pro Hektar errechnet werden.

Im Versuchsjahr 2017/18 konnte nur der Schlag Köterkamp ertraglich ausgewertet werden, da auf dem zweiten Standort, dem Schlag Ackern, vorzeitig Flächen wegen hohem Unkrautbesatz abgemulcht werden mussten. Eine Auswertung dieser Flächen hätte die Ergebnisse verzerrt.

2.4 Standorte

Der Versuch wurde in den Jahren 2016/17 und 2017/18 an verschiedenen Standorten durchgeführt (Tab. 2 und Abb. 3, S. 15). Aufgrund der zu nassen Aussaatbedingungen konnte eine Aussaat in der Hildesheimer Börde im zweiten Versuchsjahr nicht erfolgen und es musste auf eine zweite Versuchsfläche im Bördevorland ausgewichen werden. Die jeweilige Bodenart wurde bei den Nmin-Untersuchungen festgestellt.

Tabelle 2: Standorte der Versuchsdurchführung und die jeweils anzutreffende Bodenart.

Jahr	Standort	Bodenart
2016/17	Scheppau (Bördevorland)	lS
	Klein Escherde (Hildesheimer Börde)	tU
2017/18	Scheppau (Schlag: Köterkamp)	lS
	Scheppau (Schlag: Ackern)	uL



Abbildung 3: Übersichtskarte Niedersachsens mit den eingezeichneten Standorten.
(Quelle: www.niedersachsen.de)

Die Wetterdaten zur Auswertung wurden über die jeweils am nächsten gelegene Station des Deutschen Wetterdienstes bezogen (DWD). Für den Standort Scheppau war das die Station Helmstedt-Emmerstedt mit der Nummer 13777 (Tab. 3+4, S. 16). Im dreißigjährigen Mittel von 1981 bis 2010 wurde an dieser Station ein Jahresniederschlag von 608 mm gemessen. Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt im gleichen Zeitraum 9,4 °C.

Für den Standort in Klein Escherde wurden die Daten der Station Alfeld mit der Nummer 7367 verwendet (Tab. 3, S. 16). Hier beläuft sich der Jahresniederschlag im Zeitraum von 1981 bis 2010 auf 877 mm. Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt hier 9,3 °C.

Tabelle 3: Klimadaten für den Versuchszeitraum von August 2016 bis August 2017. Monatsmittel der täglichen Lufttemperatur in 2 m Höhe. Monatssumme der täglichen Niederschlagshöhe. (verändert nach DWD)

Station Name und Nummer: Alfeld, 7367			Station Name und Nummer: Helmstedt-Emmerstedt 13777		
	Temp [°C]	Niederschlag [mm]		Temp [°C]	Niederschlag [mm]
August	17,8	23,0	18,0	7,6	
September	17,2	26,2	17,6	22,6	
Oktober	8,8	86,8	9,1	49,8	
November	4,2	52,2	4,1	20,8	
Dezember	2,9	26,1	3,4	21,6	
Januar	-1,2	56,7	-0,7	36,7	
Februar	3,2	50,6	3,0	27,4	
März	7,5	50,3	7,4	40,9	
April	7,3	40,8	7,6	29,9	
Mai	14,1	29,6	14,2	61,5	
Juni	17,1	93,5	17,2	101,9	
Juli	17,7	250,7	17,9	121,6	
August	17,2	90,5	17,7	/	

Tabelle 4: Klimadaten für den Versuchszeitraum von August 2017 bis August 2018. Monatsmittel der täglichen Lufttemperatur in 2 m Höhe. Monatssumme der täglichen Niederschlagshöhe. (verändert nach DWD)

Station Name und Nummer: Helmstedt-Emmerstedt 13777		
	Temp [°C]	Niederschlag [mm]
August	17,7	/
September	13,5	41,4
Oktober	12,1	39,7
November	6,1	66,2
Dezember	3,8	49,1
Januar	3,8	69,9
Februar	-1,2	6,7
März	2,3	54,6
April	12,7	43,5
Mai	16,7	23,2
Juni	18,1	8,4
Juli	20,7	25,0
August	20,1	20,9

Die abgeleiteten Daten über die Bodenfeuchte des Deutschen Wetterdienstes (Abb. 4) zeigen, dass sich die beiden Versuchsjahre im Witterungsverlauf deutlich unterscheiden. Hier wurde auf Daten der Station 662 in Braunschweig zurückgegriffen, da für die Station Helmstedt-Emmerstedt diese abgeleiteten Daten nicht verfügbar waren.

Während der Boden im ersten Versuchsjahr zur Zeit der Aussaat eine geringe Bodenfeuchte aufwies, lag die Bodenfeuchte im zweiten Versuchsjahr zum Zeitpunkt der Aussaat bei über 80 % nutzbarer Feldkapazität. Zu erkennen ist auch der starke Abfall der Bodenfeuchte ab April 2018, was die Auswirkung einer ausgeprägten Trockenheit war.

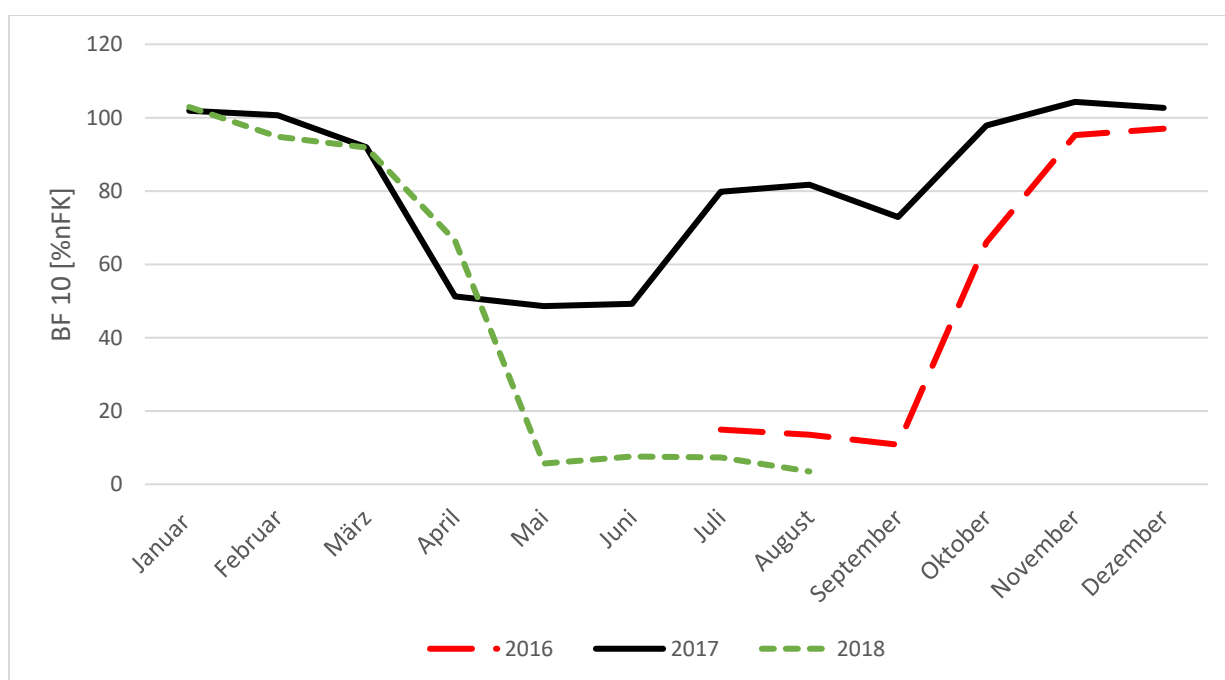


Abbildung 4: Abgeleitete Daten des Deutschen Wetterdienstes. BF 10 ist die errechnete Bodenfeuchte unter Gras bei sandigem Lehm zwischen 0 und 10 Zentimetern. Angegeben in % nutzbarer Feldkapazität für die einzelnen Jahre.

2.5 Bestandesführung

Sowohl die Düngung, als auch die Pflanzenschutzmaßnahmen wurden über alle Varianten konstant gehalten und betriebsüblich durchgeführt. Zur Saat wurden 9 kg N/ha per Diammonphosphat in die Saatreihe appliziert. Im Frühjahr wurde die Düngung mit der Feldspritze durchgeführt. Hierbei wurde am Standort Scheppau Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung und Ammoniumsulfat-Lösung verwendet. Im Frühjahr wurden 145 kg N/ha appliziert.

In Klein Escherde wurde zur Saat ebenfalls 10 kg N/ha per Diammonphosphat appliziert. Im Frühjahr wurde Ammoniumsulfat-Harnstoff-Lösung verwendet. Es wurden 180 kg N/ha gedüngt.

Beim Pflanzenschutz muss bei der herbiziden Maßnahme gegen dikotyle Unkräuter im Herbst darauf geachtet werden, dass Mittel gewählt werden, welche die Begleitpflanzen nicht schädigen. Im vorliegenden Fall wurde Butisan Gold mit einer verringerten Aufwandmenge verwendet.

2.6 Statistik

Bei der Bonitur der Bestandesdichte, der Frischmasse und beim Ziehen der Bodenproben wurden pro Parzelle jeweils vier Messungen durchgeführt ($n=4$). Aus den erhobenen Werten wurde für jede Variante der Mittelwert, sowie die Standardabweichung, berechnet. Da die Standardvariante Raps in Reinsaat vier Mal vorhanden war, wurden Mittelwert und Standardabweichung hier mit $n=16$ berechnet.

Der Ertrag wurde aus arbeitswirtschaftlichen Gründen auf der gesamten Parzelle der jeweiligen Variante erfasst, also nicht vier Mal wiederholt. Dies lässt keine statistische Auswertung zu.

3. Versuchsergebnisse

3.1 Bestandesentwicklung

3.1.1 Bestandesdichte Raps

Um die Bestandesentwicklung im Herbst zu beurteilen, wurde die Bestandesdichte dokumentiert (Tab. 5, S. 20). Im Versuchsjahr 2016/17 konnte am Standort Scheppau die höchste Bestandesdichte mit 20 Rapspflanzen pro Quadratmeter in der Variante UFA Colza Fix erreicht werden. Am geringsten war hier die Bestandesdichte mit 13 Pflanzen/m² in der Variante mit Sommerwicken. Im gleichen Jahr am Standort Klein Escherde wiesen die Varianten UFA Colza Fix und Ackerbohnen, mit jeweils 20 Pflanzen/m², die höchste Bestandesdichte auf. Die geringste Bestandesdichte, mit jeweils 16 Pflanzen/m², wiesen die Varianten Erbsen und Linsen auf.

Im Versuchsjahr 2017/18 wurde auf dem Schlag Köterkamp in den drei Varianten Erbsen, UFA Colza Fix und Sommerwicken, mit 22 Pflanzen/m², die höchste Bestandesdichte im Raps erreicht. Die niedrigste Bestandesdichte wies hier, mit 20 Pflanzen/m², die Standardvariante mit Raps in Reinsaat auf. Auf dem Schlag Ackern wurde die höchste Bestandesdichte mit 18 Pflanzen/m² in der Variante mit Raps in Reinsaat dokumentiert. Mit 14 Pflanzen /m² wiesen die Varianten Sommerwicken und Ackerbohnen die niedrigste Bestandesdichte auf.

Im Versuchsjahr 2017/18 wurden auf dem Schlag Köterkamp im Mittel über alle Varianten 21 Rapspflanzen/m² bonitiert. Auf dem Schlag Ackern, welcher nur wenige Kilometer entfernt liegt, wurden im selben Jahr im Mittel über alle Varianten 16 Rapspflanzen/m² bonitiert.

Tabelle 5: Bestandesdichte von Raps in Abhängigkeit der angebauten Begleitpflanzen. Angegeben in Pflanzen/m² bei der Bonitur zum Vegetationsende. Die Aussatstärke betrug 25 keimfähige Körner/m². Mittelwert und Standardabweichung mit n=4 (bei Raps in Reinsaat n=16).

Saatstärke: 25 Körner/m ²		Variante der Begleitpflanzen													
Jahr	Standort	Raps in Reinsaat		Ackerbohnen		Erbsen		UFA Colza Fix		Optima Green Life Raps Pro		Sommerwicke		Linsen	
		\bar{X}	SD	\bar{X}	SD	\bar{X}	SD	\bar{X}	SD	\bar{X}	SD	\bar{X}	SD	\bar{X}	SD
2016/17	Scheppau	17	2,6	14	1,0	15	2,6	20	4,4	18	3,0	13	1,2	17	3,5
	Klein Escherde	19	2,0	20	4,1	16	3,3	20	1,6	18	4,7	18	3,4	16	1,6
2017/18	Scheppau (Köterkamp)	20	5,9	21	3,5	22	2,3	22	4,1	21	1,2	22	1,3	21	2,2
	Scheppau (Ackern)	18	2,8	14	1,6	16	4,4	17	1,9	16	5	14	3,0	16	2,5

3.1.2 Feldaufgang Begleitpflanzen

Auch von den Begleitpflanzen wurde die Bestandesdichte zum Vegetationsende und der daraus resultierende Feldaufgang dokumentiert. Hierbei wurde bei der Variante UFA Colza Fix allerdings nur bonitiert, ob alle in der Mischung vorhandenen Pflanzenarten aufgelaufen sind. Aufgrund der zahlreichen Mischungspartner war eine Bestimmung der angestrebten Pflanzenzahl pro Quadratmeter zu ungenau. Darum wird diese Variante in den folgenden Tabellen nicht aufgeführt. Allerdings wurde festgehalten, dass im Versuchsjahr 2017/18 das Ramtillkraut in der Variante UFA Colza Fix eine sehr schwache Entwicklung zeigte und der, in der Mischung enthaltene, Buchweizen von Rehen abgefressen war. In diesem Jahr gab es grundsätzlich starken Wildverbiss, wovon auch die Ackerbohnen betroffen waren.

Im Versuchsjahr 2016/17 am Standort Scheppau (Tab. 6, S. 21) wurde der höchste Feldaufgang mit 96 % und 46 Pflanzen pro Quadratmeter in der Variante Linsen dokumentiert. Der Klee, in

der Variante Optima Green Life Raps Pro, zeigte mit 56 % den geringsten Feldaufgang. Hier wurden 112 Pflanzen/m² dokumentiert. Am Standort Klein Escherde wurde im gleichen Jahr der geringste Feldaufgang mit 16 % in der Variante mit Sommerwicken dokumentiert. Hier lag die Bestandesdichte bei 10 Pflanzen/m² (Tab. 7, S. 22).

Im Versuchsjahr 2017/18 auf dem Schlag Köterkamp wurde der höchste Feldaufgang mit 92 % in der Variante Linsen dokumentiert (Tab. 8, S. 22). Hier betrug die Bestandesdichte 44 Linsen/m². Der mit 14 % geringste Feldaufgang lag bei Klee in der Variante Optima Green Life Raps Pro vor. Es befanden sich 28 Kleepflanzen/m². Auf dem Schlag Ackern war der Feldaufgang der Linsen mit 98 % ebenfalls am höchsten (Tab. 9, S. 23). Hier wurden 47 Pflanzen/m² erfasst. Der geringste Feldaufgang wurde hier auch beim Klee der Variante Optima Green Life Raps Pro dokumentiert. Er lag bei 7 % mit einer Bestandesdichte von 13 Pflanzen/m².

Tabelle 6: Saatstärke, Bestandesdichte und Feldaufgang der ausgesäten Begleitpflanzen zum Vegetationsende 2016 am Standort Scheppau. Bestandesdichte als Mittelwert mit Standardabweichung (n=4).

Standort: Scheppau	Variante					
			Optima Green	Life Raps pro	Sommerwicken	Linsen
Versuchsjahr:						
2016/17	Ackerbohnen	Erbsen	Anteil Wicken	Anteil Klee		
Saatstärke [Körner/m ²]	20	36	46	200	64	48
Bestandesdichte [Pflanzen/m ²]	17 ± 2,6	32 ± 3,3	42 ± 3,8	112 ± 10,9	57 ± 7,4	46 ± 2,3
Feldaufgang [%]	85	89	91	56	89	96

Tabelle 7: Saatstärke, Bestandesdichte und Feldaufgang der ausgesäten Begleitpflanzen zum Vegetationsende 2016 am Standort Klein Escherde. Bestandesdichte als Mittelwert mit Standardabweichung (n=4).

Standort: Klein Escherde	Variante					
Versuchsjahr:						
2016/17	Ackerbohnen	Erbsen	Anteil Wicken	Optima Green Life Raps pro Anteil Klee	Sommerwicken	Linsen
Saatstärke [Körner/m ²]	20	36	46	200	64	48
Bestandesdichte [Pflanzen/m ²]	9 ± 2,6	32 ± 5,9	12 ± 3,4	102 ± 28,1	10 ± 3,7	10 ± 6,3
Feldaufgang [%]	45	89	26	51	16	21

Tabelle 8: Saatstärke, Bestandesdichte und Feldaufgang der ausgesäten Begleitpflanzen zum Vegetationsende 2017 am Standort Scheppau auf dem Schlag Köterkamp. Bestandesdichte als Mittelwert mit Standardabweichung (n=4).

Standort: Scheppau (Köterkamp)	Variante					
Versuchsjahr:						
2017/18	Ackerbohnen	Erbsen	Anteil Wicken	Optima Green Life Raps pro Anteil Klee	Sommerwicken	Linsen
Saatstärke [Körner/m ²]	20	36	46	200	64	48
Bestandesdichte [Pflanzen/m ²]	13 ± 2	32 ± 4,3	36 ± 5,7	28 ± 16,8	37 ± 5,3	44 ± 3,7
Feldaufgang [%]	65	89	77	14	57	92

Tabelle 9: Saatstärke, Bestandesdichte und Feldaufgang der ausgesäten Begleitpflanzen zum Vegetationsende 2017 am Standort Scheppau auf dem Schlag Ackern. Bestandesdichte als Mittelwert mit Standardabweichung (n=4).

Standort: Scheppau (Ackern)	Variante					
	Ackerbohnen	Erbsen	Optima Green Anteil Wicken	Life Raps pro Anteil Klee	Sommerwicken	Linsen
Versuchsjahr: 2017/18						
Saatstärke [Körner/m ²]	20	36	46	200	64	48
Bestandesdichte [Pflanzen/m ²]	12 ± 3,3	23 ± 6	35 ± 7,2	13 ± 4,8	39 ± 3,8	47 ± 2,2
Felddaufgang [%]	60	64	75	7	60	98

3.1.3 Frischmasse von Raps und Begleitpflanzen

Bei der Erhebung der oberirdischen Frischmasse zum Vegetationsende wies die Variante Raps in Reinsaat mit 1078 g/m² den höchsten Wert auf (Abb. 5). Dies wurde im Versuchsjahr 2016/17 am Standort Scheppau dokumentiert. Die mit 575 g/m² geringste Frischmasse des Rapses wurde in der Variante mit Erbsen als Begleitpflanzen gemessen. Bei den Begleitpflanzen wurde die höchste Frischmasse bei Ackerbohnen festgestellt. Diese belief sich auf 408 g/m². Mit 86 g/m² haben Sommerwicken die geringste Frischmasse gebildet.

Im Versuchsjahr 2016/17 wurde am Standort in Klein Escherde mit 456 g/m² in der Variante Ackerbohnen die höchste Frischmasse des Rapses dokumentiert (Abb. 6, S. 25). Am niedrigsten war dieser Wert mit 267 g/m² in der Variante Optima Green Life Raps Pro. Bei den Begleitpflanzen wurde bei Erbsen mit 144 g/m² die höchste Frischmasse festgestellt. Am wenigstens Frischmasse bildeten Sommerwicken und Linsen mit jeweils 15 g/m².

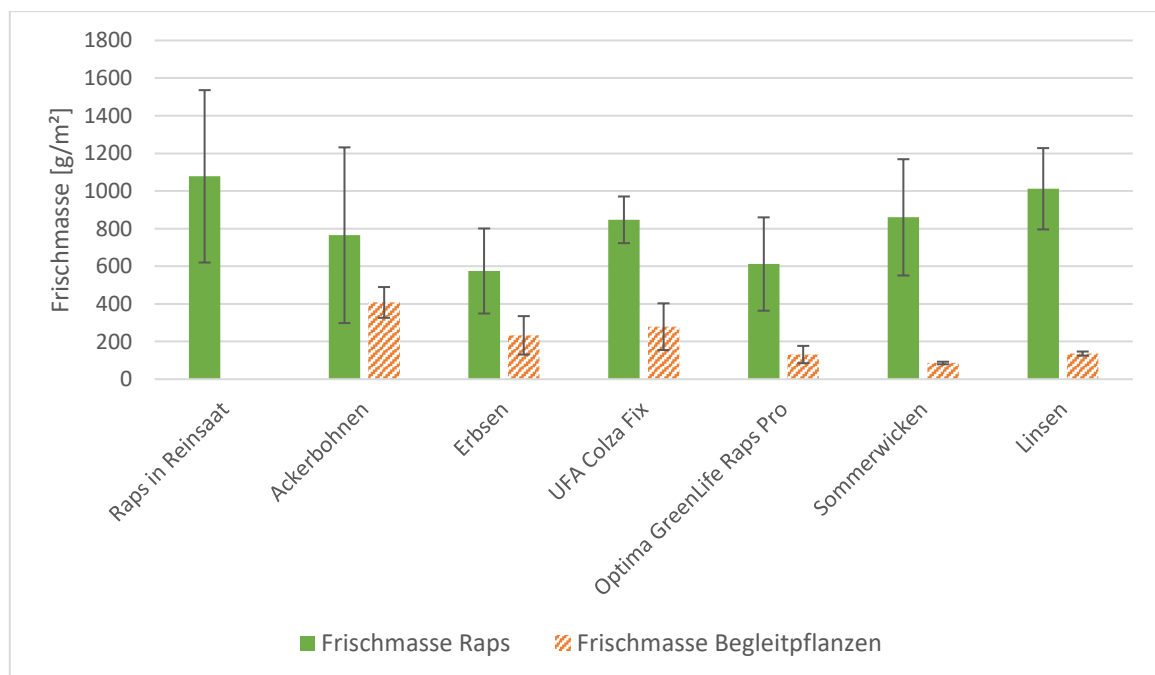


Abbildung 5: Oberirdische Frischmasse zum Vegetationsende von Raps und Begleitpflanzen in g/m². Versuchsjahr 2016/17 am Standort Scheppau. Mittelwerte und Standardabweichung mit n=4.

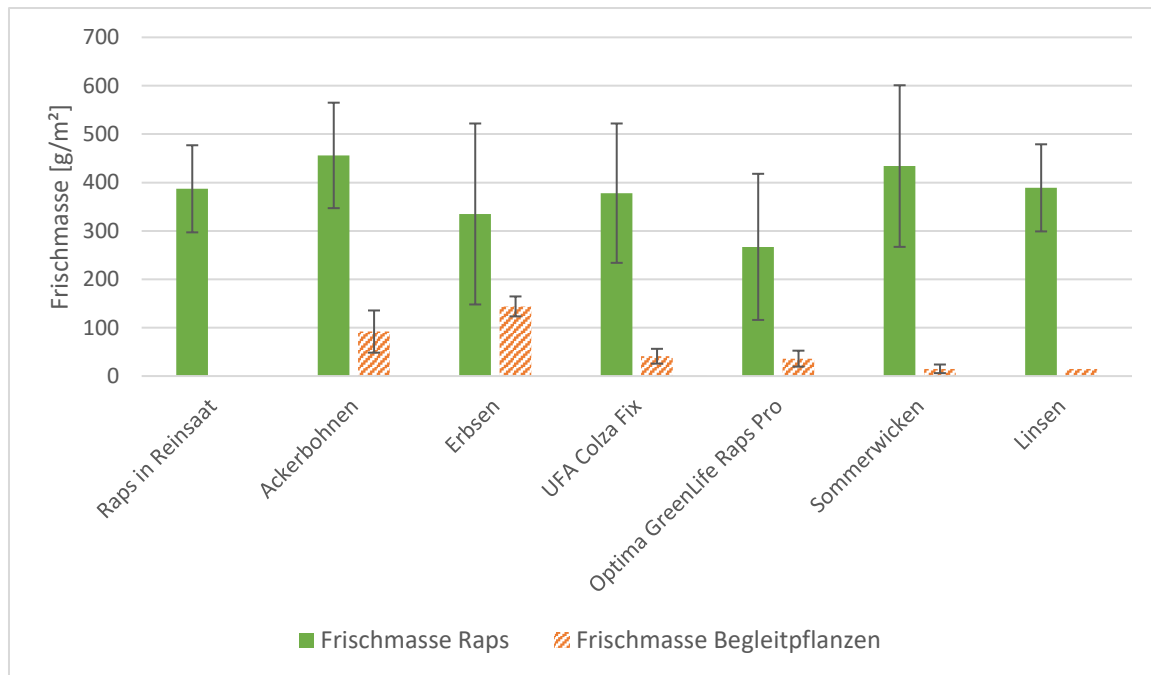


Abbildung 6: Oberirdische Frischmasse zum Vegetationsende von Raps und Begleitpflanzen in g/m². Versuchsjahr 2016/17 am Standort Klein Escherde. Mittelwerte und Standardabweichung mit n=4.

Im zweiten Versuchsjahr, dem Anbaujahr 2017/18, wurde auf dem Schlag Köterkamp in der Variante mit Sommerwicken die höchste Frischmasse des Rapses festgestellt (Abb. 7, S. 26). Hier wurden 325 g/m² gemessen. Die niedrigste Frischmasse hat der Raps, mit 163 g/m², in der Variante mit Linsen ausgebildet. Bei der Betrachtung der Begleitpflanzen haben Ackerbohnen mit 425 g/m² den höchsten Wert erreicht. Die geringste Frischmasse wurde mit 28 g/m² in der Variante Optima Green Life Raps Pro dokumentiert.

In diesem Versuchsjahr wurde auf dem Schlag Ackern die höchste Frischmasse des Rapses mit 435 g/m² in der Variante Ackerbohnen erfasst (Abb. 8, S. 26). Bei der Variante Sommerwicken wurden 161 g/m² dokumentiert, was den geringsten Wert darstellt. Bei den Begleitpflanzen konnte ebenfalls die Variante der Ackerbohnen mit 272 g/m² den höchsten Wert bei der Erhebung der Frischmasse aufweisen. Mit 52 g/m² wurde bei Sommerwicken der niedrigste Wert erfasst.

Es zeigte sich, dass der Raps vor allem im Versuchsjahr 2016/17 am Standort Scheppau eine hohe Frischmassebildung aufwies. Dagegen konnte er im Versuchsjahr 2017/18 an beiden Standorten nur wenig Frischmasse ausbilden. Die Begleitpflanzen wiesen im Versuchsjahr 2016/17 am Standort Scheppau ebenfalls die höchsten Werte der Frischmassebildung auf. Nur Ackerbohnen konnten im Jahr 2017/18 auf dem Schlag Köterkamp noch mehr Frischmasse

ausbilden. Es fällt auf, dass entweder Ackerbohnen oder Erbsen die höchsten Werte bei der Frischmasse aufwiesen.

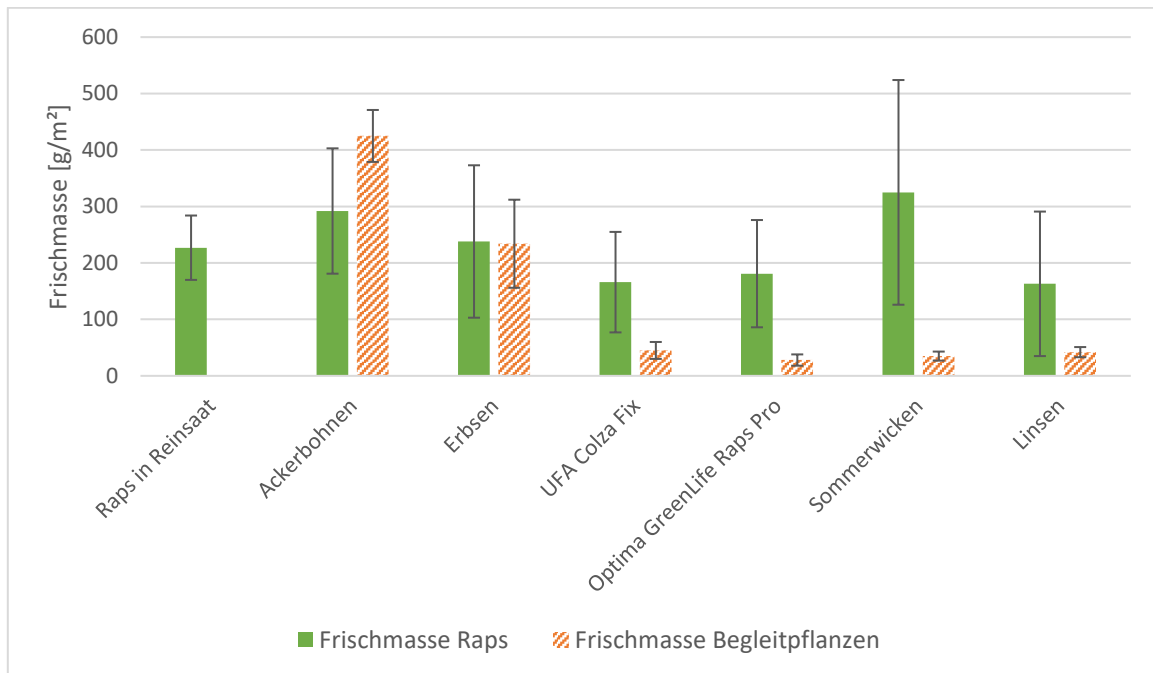


Abbildung 7: Oberirdische Frischmasse zum Vegetationsende von Raps und Begleitpflanzen in g/m². Versuchsjahr 2017/18 am Standort Scheppau auf dem Schlag Köterkamp. Mittelwerte und Standardabweichung mit n=4 (Bei der Variante Raps in Reinsaat: n=16).

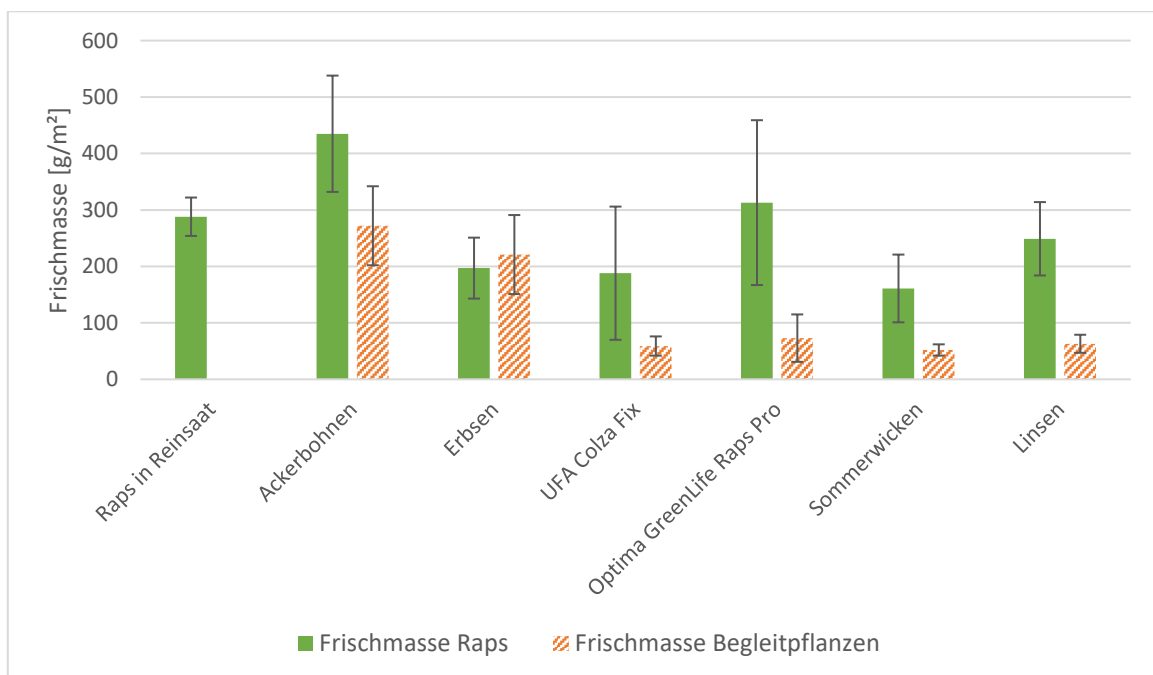


Abbildung 8: Oberirdische Frischmasse zum Vegetationsende von Raps und Begleitpflanzen in g/m². Versuchsjahr 2017/18 am Standort Scheppau auf dem Schlag Ackern. Mittelwerte und Standardabweichung mit n=4 (Bei der Variante Raps in Reinsaat: n=16).

3.2 Bodenproben

3.2.1 Bodenproben vor Versuchsbeginn

Durch die Beprobung vor Versuchsbeginn zeigte sich, dass die Gehalte aller untersuchten Grundnährstoffe mindestens in der Gehaltsklasse C oder darüber lagen (Tab. 10). Die Gehalte von Phosphor, Kalium und Magnesium waren am Standort Klein Escherde durchweg höher.

Die vorliegenden Böden wiesen in den oberen zehn Zentimetern einen Humusgehalt von 2,7 % am Standort Scheppau und 2,4 % am Standort Klein Escherde auf. Die pH-Werte befanden sich im leicht sauren Bereich zwischen 6,3 am Standort Klein Escherde und 6,9 am Standort Scheppau.

Tabelle 10: Bodenprobe vor der Versuchsanlage im Jahr 2016. Gehaltsklassen nach Bewertung der LWK Niedersachsen.

Standort	Tiefe [cm]	Bodenart	pH-Wert (CaCl ₂)	Gehaltsklasse pH-Wert	P (CAL) [mg/100 g]	Gehaltsklasse P	K (CAL) [mg/100g]	Gehaltsklasse K	Mg (CaCl ₂) [mg/100g]	Gehaltsklasse Mg	Humusgehalt [%]
Scheppau	0-10	tU ¹	6,7	C	7,5	C	24,0	D	10,7	D	2,7
	11-20	tU	6,9	D	6,9	C	16,7	(C) D	8,1	C	2,5
Klein Escherde	0-10	lIS ²	6,3	C	15,1	D (E)	25,0	D	14,6	D	2,4
	11-20	lIS	6,6	C	23,8	E	16,9	(C) D	16,6	(D) E	2,0

¹: toniger Schluff, ²: stark sandiger Lehm

3.2.2 Bodenproben im Frühjahr

Bei der Untersuchung auf den Gehalt an Nitratstickstoff im Boden, wies die Variante mit Erbsen im Versuchsjahr 2016/17 am Standort Scheppau mit 51 kg N/ha den höchsten Wert auf (Abb. 9). Mit 30 kg N/ha wurde in der Variante mit Linsen am gleichen Standort der niedrigste Nitratstickstoffgehalt im Boden festgestellt. Am Standort in Klein Escherde wiesen, im gleichen Versuchsjahr, die Varianten Erbsen und Optima Green Life Raps Pro mit jeweils 39 kg N/ha den höchsten Wert an Nitratstickstoff auf. Am geringsten war hier, mit 31 kg N/ha, der Nitratstickstoffgehalt in der Variante Ackerbohnen.

Im Versuchsjahr 2017/18 wurde auf dem Schlag Köterkamp mit 22 kg N/ha der höchste Wert an Nitratstickstoff bei der Variante Erbsen festgestellt (Abb. 10, S. 29). Mit 15 kg N/ha war der Nitratstickstoffgehalt bei der Variante Sommerwicken hier am geringsten. Am zweiten Standort, dem Schlag Ackern, wies in diesem Versuchsjahr die Variante Raps in Reinsaat den höchsten Nitratstickstoffgehalt auf. Dieser betrug 30 kg N/ha. Der geringste Gehalt an Nitratstickstoff wurde mit 24 kg N/ha in der Variante Sommerwicken dokumentiert.

Es ist zu sehen, dass es vor allem einen Jahreseffekt gab. Die Gehalte an Nitratstickstoff im Versuchsjahr 2016/17 reichten von 30 kg N/ha bis 51 kg N/ha. Im Zweiten Jahr befanden sich die Werte zwischen 15 kg N/ha und maximal 30 kg N/ha.

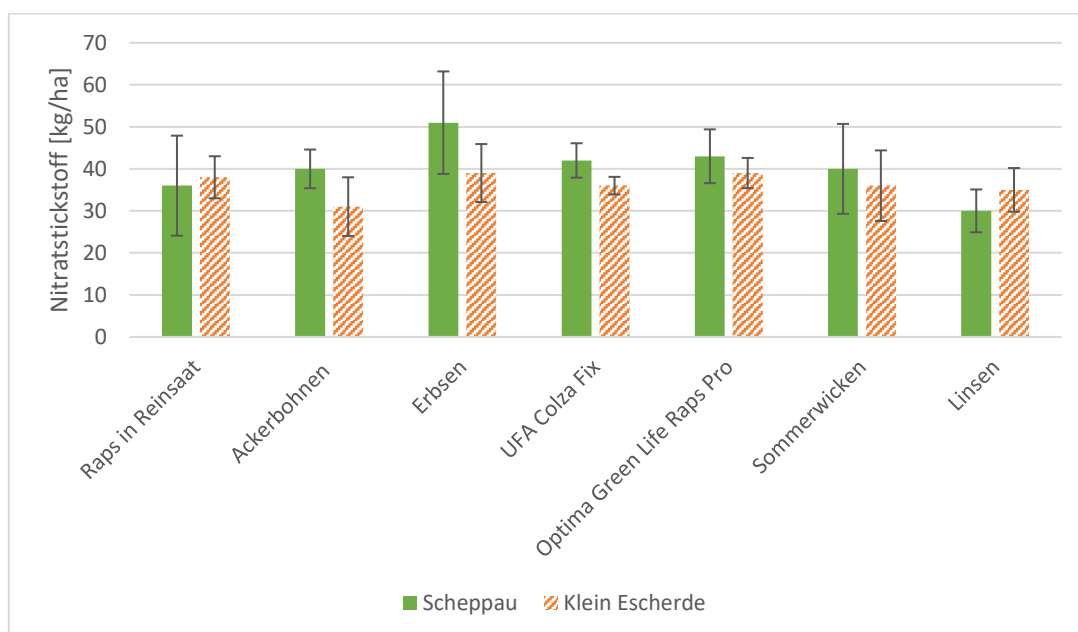


Abbildung 9: Mittelwerte und Standardabweichungen des Gehalts an Nitratstickstoff zu Vegetationsbeginn 2017 bei einer Probenahmetiefe von 0-60 cm. Anzahl der Wiederholungen: n=4 (Bei Raps in Reinsaat: n=16).

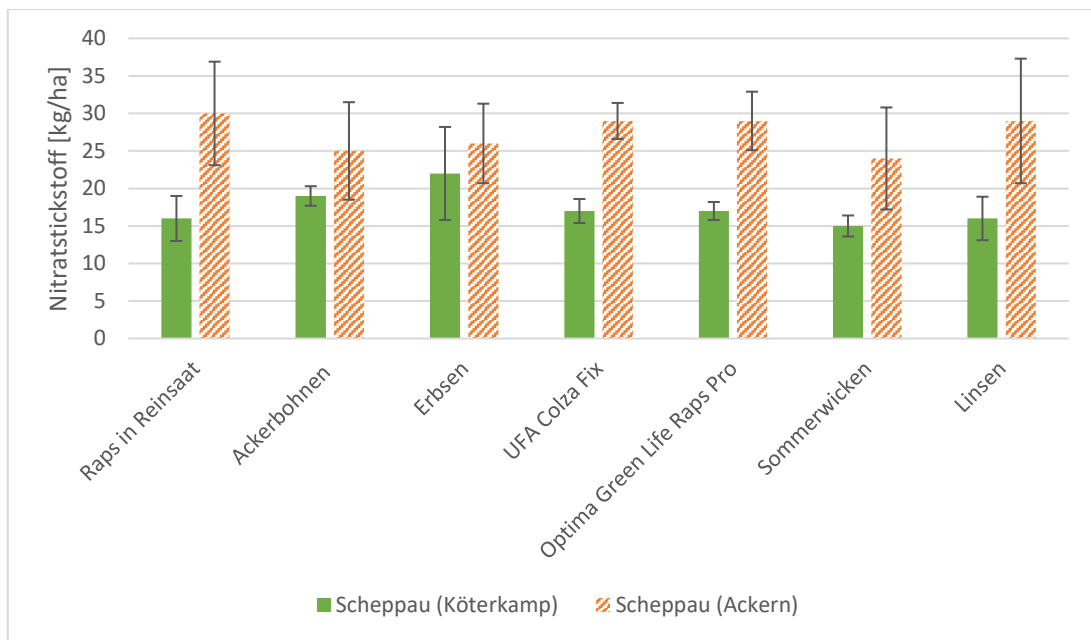


Abbildung 10: Mittelwerte und Standardabweichungen des Gehalts an Nitratstickstoff zu Vegetationsbeginn 2018 bei einer Probenahmetiefe von 0-60 cm. Anzahl der Wiederholungen: n=4 (Bei Raps in Reinsaat: n=16).

3.3 Erträge

Bei der Ertragserfassung im Versuchsjahr 2016/17 wurde am Standort Scheppau in der Variante Linsen mit 37,2 dt/ha der höchste Wert ermittelt (Abb. 11). Der geringste Rapserttrag wurde in der Variante UFA Colza Fix erreicht und betrug 33,4 dt/ha. Der Unterschied zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Wert belief sich auf 3,8 dt/ha. Am Standort in Klein Escherde wurde der höchste Rapserttrag mit 40,6 dt/ha in der Variante Sommerwicken erreicht. Der geringste gemessene Ertrag wurde mit 31,4 dt/ha in der Variante Ackerbohnen dokumentiert.

Im Versuchsjahr 2017/18 wurde auf dem Schlag Ackern der höchste Rapserttrag in der Variante Erbsen mit 32,4 dt/ha erreicht. Der niedrigste Ertrag lag in der Variante Raps in Reinsaat mit 29,7 dt/ha vor. Die Spanne zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Ertrag lag hier bei 2,7 dt/ha.

Im Versuchsjahr 2017/18 waren die Erträge, unabhängig von der Variante, alle niedriger als im Jahr 2016/17.

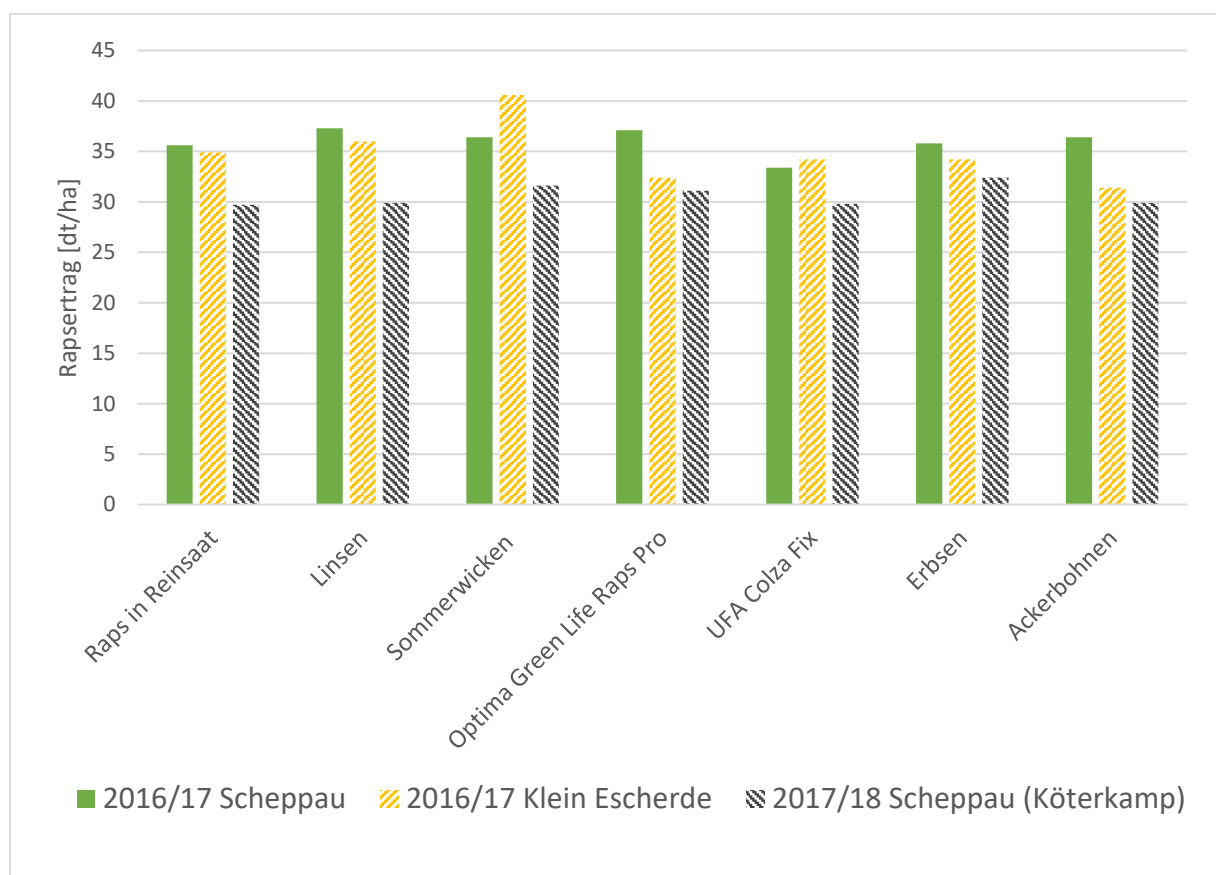


Abbildung 11: Rapsertträge in dt/ha nach Art der Begleitpflanzen an den Standorten Scheppau und Klein Escherde in beiden Versuchsjahren. Bei der Variante Raps in Reinsaat ist der Mittelwert der Parzellen angegeben (2016/17: n=4; 2017/18: n=3).

4. Literaturergebnisse

4.1 Stickstoffeffizienz

Leguminosen weisen ein hohes Potenzial auf, Stickstoff aus der Atmosphäre zu fixieren und so den Einsatz synthetisch hergestellter Dünger zu reduzieren. Einige der im Versuch angebaute Begleitpflanzenarten haben in anderen Versuchen, als Zwischen- oder Hauptfrucht kultiviert, große Mengen atmosphärischen Stickstoff fixieren können. Bei Ackerbohnen, angebaut als Zwischenfrucht, konnten bis zu 172 kg N/ha nachgewiesen werden (Tab. 11). Allerdings ist auch eine breite Spanne von 71 kg N/ha bis zu 211 kg N/ha zu erkennen. Auch Erbsen waren in der Lage, bei guten Wachstumsbedingungen in Europa von 41 kg N/ha bis hin zu 115 kg N/ha, atmosphärischen Stickstoff zu fixieren. Bei Linsen und Wicken sind in der Literatur ähnliche, wenn auch nicht ganz so hohe, Werte von 50 bis 81 kg N/ha zu finden. Die biologische Stickstofffixierung von Leguminosen weist in allen betrachteten Studien eine große Spanne auf, was stark abhängig von den Witterungsbedingungen ist, welchen die betrachteten Pflanzen ausgesetzt waren.

Tabelle 11: Biologische Stickstofffixierung in kg N/ha verschiedener Leguminosenarten, die als Hauptfrucht (HF) oder Zwischenfrucht (ZF) angebaut wurden.

Leguminosenart	Land/Region	Anbauart	Biologische Stickstofffixierung [kg N/ha]	Quelle
<i>Vicia faba</i>	Schweiz	ZF	129 - 172	Büchi et al., 2015
	Sachsen, Deutschland	ZF	bis zu 52,3	Rühlemann und Schmidtke, 2015
	Europa	HF	71 - 211	Jensen et al., 2010
<i>Pisum sativum</i>	Schweiz	ZF	102 - 115	Büchi et al., 2015
	Michigan, USA	ZF	60	Blesh, 2018
	Sachsen, Deutschland	ZF	bis zu 61,1	Rühlemann und Schmidtke, 2015
	Dänemark	HF	41 - 100	Hauggaard-Nielsen et al., 2009
<i>Lens culinaris</i>	Schweiz	ZF	50 - 81	Büchi et al., 2015
<i>Vicia sativa</i>	Sachsen, Deutschland	ZF	bis zu 53,6	Rühlemann und Schmidtke, 2015

In Frankreich durchgeführte Studien mit Leguminosen-Begleitpflanzen im Rapsanbau zeigen das Potenzial des Anbausystems, in Bezug auf die mögliche Einsparung chemisch-synthetischer Stickstoffdünger (Tab. 12). So konnten Verret et al. (2017) die Menge des Stickstoffdüngers um 30 bis 40 kg N/ha reduzieren, ohne eine Ertragsreduzierung festzustellen. Die besten Ergebnisse lieferten hier Ackerbohnen und Linsen, beziehungsweise eine Mischung aus beiden Arten als Begleitpflanzen. Für Ackerbohnen allein konnte bei gleicher Stickstoffdüngung eine Ertragssteigerung beim Raps um 0,16 Tonnen pro Hektar ermittelt werden. Ähnliche Ergebnisse liefern auch Cadoux et al. (2015), wo die Menge der Stickstoffdüngung um 30 kg N/ha verringert und trotzdem eine Ertragssteigerung von 0,14 Tonnen pro Hektar dokumentiert wurde.

Tabelle 12: Potenzial der Stickstoffeinsparung und Ertragsauswirkung von Leguminosen-Begleitpflanzen im Rapsanbau in Frankreich.

Art der Begleitpflanze	N-Einsparung [kg N/ha]	Ertragsauswirkung [t/ha]	Quelle
<i>Vicia faba</i> , <i>Lens culinaris</i> , oder Mischung mit beiden	30 – 40	ohne Ertragseinbußen	Verret et al., 2017
<i>Vicia faba</i>	0	+ 0,16	Verret et al., 2017
<i>Vicia faba</i> + <i>Lens culinaris</i>	0	+ 0,12	Verret et al., 2017
<i>Vicia faba</i> + <i>Lens culinaris</i>	30	+ 0,14	Cadoux et al., 2015
Beste gewählte Mischung	20 – 40	ohne Ertragseinbußen	Lorin et al., 2016

4.2 Unkrautunterdrückung

In den, in Frankreich durchgeführten, Versuchen von Verret et al. (2017) konnte eine Reduzierung des Unkrautes um 38 Prozent erreicht werden. Dabei war es unerheblich, welche Arten von Leguminosen als Begleitpflanzen im Raps verwendet wurden. Ackerbohnen, Erbsen, Linsen und verschiedene Mischungen hatten alle einen ähnlichen Effekt. Auch in weiteren Versuchen aus Frankreich war der Unkrautdeckungsgrad signifikant geringer, wenn Raps mit Begleitpflanzen angebaut wurde (Cadoux et al., 2015). Hier konnte der Unkrautdeckungsgrad um 10 Prozent verringert werden. Auch Lorin et al. (2015) konnten durch den Anbau von Begleitpflanzen im Raps eine Unkrautunterdrückung dokumentieren. In der Kontrollparzelle wurde Raps als Reinkultur angebaut, wo sich über 100 Unkrautpflanzen pro Quadratmeter befanden. Der Anbau von Begleitpflanzen, in diesem Fall Erbsen, Alexandrinerklee und Wicken, oder eine Mischung aus Wicken, Ackerbohnen, sowie Alexandrinerklee, konnten das Auftreten von Unkräutern reduzieren. Die Auswirkung schwankte dabei von einer Reduzierung des Unkrautes von 20 bis 30 %, bis hin zu maximal 75 Prozent.

5. Diskussion

Nachfolgend werden die gewonnenen Daten aus dem zweijährigen On-Farm Versuch bewertet und interpretiert. Des Weiteren wird zur Diskussion einiger Themen auf Werte aus der Literatur zurückgegriffen.

5.1 Bestandesentwicklung

Im Jahr 2016/17 waren an beiden Standorten die Auswirkungen der trockenen Aussaatbedingungen, zu erkennen. In Scheppau fanden sich zu Vegetationsende im Mittel über alle Varianten 16 Rapspflanzen/m². In Klein Escherde waren es im Mittel 18 der ausgesäten 25 Pflanzen/m². Allerdings kann der Raps die geringere Anzahl an Pflanzen/m² im Frühjahr gut kompensieren, indem sich mehr Triebe pro Pflanze entwickeln. Durch das Nutzen von Einzelkorntechnik bei der Aussaat, standen die Rapspflanzen regelmäßiger und weiter voneinander entfernt, was zu einer verringerten Konkurrenz zwischen den Rapspflanzen führte. Dies ermöglichte die Entwicklung von starken Einzelpflanzen, weshalb die hier erreichte Pflanzenzahl/m² als ausreichend angesehen wird. Es lässt sich festhalten, dass durch die Einzelkorntechnik, eine präzise Ablage in den noch leicht feuchten Boden erreicht werden konnte.

Im zweiten Versuchsjahr fiel auf, dass die Bestandesdichte auf dem Schlag Köterkamp, mit im Mittel über alle Varianten 21 Pflanzen/m², weitaus höher war, als auf dem Schlag Ackern. Hier wurden im Mittel nur 16 Pflanzen/m² dokumentiert, obwohl sich die Schläge nur wenige Kilometer voneinander entfernt befinden. Auf dem Schlag Köterkamp liegt als Bodenart lehmiger Sand vor. Dieser konnte bei der feuchten Witterung im Herbst 2017 vermutlich oberflächlich besser abtrocknen, wodurch genügend Luft an die Keimlinge kommen konnte. Auf dem Schlag Ackern hingegen liegt als Bodenart schluffiger Lehm vor. Der Boden trocknete oberflächlich nur sehr langsam ab. Durch den anhaltenden Wasserstress konnten sich einige der gekeimten Rapskörner nicht zu Pflanzen entwickeln.

Bei der Betrachtung des Feldaufgangs der Begleitpflanzen fiel auf, dass im Versuchsjahr 2016/17 am Standort Klein Escherde weniger Pflanzen aufliefen. Dies traf auf alle Begleitpflanzen, außer die Erbsen zu. Hier wurden an beiden Standorten jeweils 32 der

ausgesäten 36 Pflanzen/m² bonitiert. Die geringe Bestandesdichte bei den Begleitpflanzen lässt sich durch die, im Vergleich zum Raps, nicht so präzise Tiefenführung der Sämaschine für die Zwischenreihen begründen. Der Raps wurde von einem Doppelscheibenschar mit Tiefenführungsrollen in den Boden abgelegt. Die Begleitpflanzen hingegen wurden nur mit einem Einscheibenschar, ohne separate Tiefenführung gesät. Dadurch kann es vorkommen, dass einige der Begleitpflanzensamen auf der Oberfläche liegen und vertrocknen, oder zu tief gesät werden. Des Weiteren weist der tonige Schluff am Standort in Klein Escherde einen höheren Anteil an Totwasser auf, wodurch bei sehr trockenen Bedingungen das benötigte Keimwasser fehlen kann.

Im Versuchsjahr 2017/18 konnten zu Vegetationsende in den Varianten an beiden Standorten ähnliche Werte erreicht werden. Es fiel aber auf, dass der Klee in der Variante Optima Green Life Raps Pro, aufgrund der feuchten Bedingungen im Herbst 2017, eine schwache Entwicklung aufwies. Hier konnten zu Vegetationsende nur 28 (Köterkamp), beziehungsweise 13 (Ackern) Pflanzen/m² bonitiert werden. Auch im Jahr zuvor erreichte der Klee sehr geringe Bestandesdichten, was darauf schließen lässt, dass auf diesem Standort die Bedingungen für Klee als Begleitpflanze nicht optimal sind.

Es lässt sich festhalten, dass für die zukünftige Auswahl von Begleitpflanzen für den Raps eine Mischung aus zum Beispiel Ackerbohnen, Erbsen, Sommerwicken und Linsen anbietet. Dadurch können ein sicherer Feldaufgang und eine gute Entwicklung auch bei unvorhersehbaren Witterungsverhältnissen erreicht werden, da jede Art unterschiedlich reagiert.

Verret et al. (2017) und Cadoux et al. (2015) haben Ackerbohnen und Linsen, beziehungsweise einer Mischung aus beiden, die insgesamt besten Eigenschaften als Begleitpflanzen für den Raps zugeordnet.

Eine wichtige Eigenschaft ist das sichere Abfrieren der eingesetzten Pflanzen, was je nach Standort und Witterungsverlauf variieren kann. Im Frühjahr 2018 waren in der Mischung Optima Green Life Raps Pro vereinzelt, nicht abgefrorene Wicken zu finden. Ähnliche Beobachtungen wurden auch in Frankreich in den Jahren zuvor gemacht. Hier wurden ebenfalls einzelne, nicht abgefrorene Wicken gefunden (Verret et al. 2017). Es muss auf Sorten zurückgegriffen werden, die eine geringe Frosttoleranz aufweisen. Andernfalls muss im Frühjahr, nach einem milden Winter, ein zusätzlicher Herbizideinsatz eingeplant werden, welcher die Kosten für den Anbau der Begleitpflanzen erhöhen würde.

5.2 Bedeutung der oberirdischen Frischmasse

Bei der Untersuchung der Frischmasse im Versuchsjahr 2016/17 zeigte sich, dass am Standort Scheppau mehr Frischmasse ausgebildet wurde als am Standort Klein Escherde. Dies galt sowohl für den Raps, als auch für alle Varianten der Begleitpflanzen. Bei den Begleitpflanzen deckte sich dies mit den Ergebnissen, die bei der Untersuchung der Bestandesdichte erhalten wurden. Am Standort Scheppau waren in allen Varianten, mit Ausnahme der Erbsen, mehr Pflanzen/m² vorhanden. Dies resultierte in einer höheren Frischmasse/m². Beispielsweise Ackerbohnen konnten in Scheppau drei Mal so viel Frischmasse bilden, wie am Standort Klein Escherde. Im Versuchsjahr 2016/17 wurde die Entwicklung der Begleitpflanzen allerdings durch Befall mit Nanoviren gebremst.

Im Versuchsjahr 2017/18 zeigte der Raps auf beiden Schlägen im Vergleich zum Vorjahr eine niedrigere Frischmassebildung. Dies ist durch die feuchten Bedingungen zu begründen. Bei Betrachtung der Begleitpflanzen fällt auf, dass an beiden Standorten Ackerbohnen mit 425 g/m², beziehungsweise 272 g/m², die meiste Frischmasse bilden konnten. An beiden Standorten folgten an zweiter Stelle der Frischmassebildung die Erbsen. Alle anderen Varianten haben, mit weniger als 100 g/m² Frischmasse, an beiden Standorten bis zum Vegetationsende nur eine schwache Entwicklung aufgewiesen. Dies lässt darauf schließen, dass sich vor allem Ackerbohnen und Erbsen trotz der nassen Witterungsbedingungen im Herbst gut als Begleitpflanzen für Raps eignen.

Aus der Frischmassebildung lassen sich Rückschlüsse darauf ziehen, ob die Begleitpflanzen mit dem Raps in Konkurrenz getreten sind. Verret et al. (2017) konnten zeigen, dass es bei der Verwendung von Nicht-Leguminosen als Begleitpflanzen, zu einer starken Verringerung der Trockenmasse des Rapses im Herbst kommt. Hier trat also Konkurrenz auf. Der limitierende Faktor für eine starke Vorwinterentwicklung ist, abgesehen von den Witterungsbedingungen, die Verfügbarkeit von Stickstoff. Leguminosen nutzen den atmosphärischen Stickstoff, sind also nicht ausschließlich auf den Stickstoffvorrat im Boden angewiesen. Somit treten Begleitpflanzen beim knappen Faktor Stickstoff nicht so stark in Konkurrenz mit dem Raps. Auch Génard et al. (2017) sind zu dem Schluss gekommen, dass Leguminosen das Wachstum des Rapses bis zum Rosettenstadium nicht negativ beeinflussen. Obwohl die Leguminosen in den Untersuchungen das Bodenvolumen und damit die gleichen Ressourcen mit dem Raps teilen mussten. Somit ist in dem beschriebenen Anbausystem gewährleistet, dass der Raps in der Vorwinterentwicklung ungehindert ist, was für das Erzielen stabiler Erträge wichtig ist.

Auch in den vorliegenden Versuchen ist zu sehen, dass bei einer starken Entwicklung der Ackerbohnen im Herbst, also einer hohen Frischmassebildung, der Raps nicht in der Entwicklung gehemmt wird. Dieser weist im Jahr 2017/18 in der Variante mit Ackerbohnen mit am meisten Frischmasse auf. Diese Beobachtung könnte auf einen Stickstofftransfer der Ackerbohnen zum Raps zurückzuführen sein. Beispielsweise konnten Banik et al. (2000) und Jamont et al. (2013) ein um 30 Prozent besseres Wachstum von Raps, beziehungsweise Senf, also eine dem Raps nah verwandte Pflanze, nachweisen, wenn diese zusammen mit Ackerbohnen kultiviert wurden.

Ackerbohnen und Erbsen wiesen in den vorliegenden Versuchen die größte Wuchshöhe auf. Wenn diese Begleitpflanzen abfrieren, bleiben den Winter über zwischen den Rapsreihen die Reihen der Ackerbohnen und der Erbsen als abgefrorenes Material erhalten. Durch thermale Effekte (Lorin et al., 2016) wird der Raps vor niedrigen Temperaturen geschützt. Somit kann der Raps in diesem Anbausystem gut geschützt überwintern.

5.3 Bodenproben und Stickstoffeffizienz

Der beschriebene Jahreseffekt bei den Stickstoffbodenproben war ebenfalls auf die Witterung zurückzuführen. Im Winter 2017/18 wies der Boden eine nutzbare Feldkapazität von über 100 Prozent auf. Bei diesen wassergesättigten, kalten Bedingungen fehlte vor allem der nötige Sauerstoff, um im Frühjahr eine zügige Mineralisation der Pflanzenrückstände zu ermöglichen. Dies ist der Grund für die höheren Gehalte an mineralischem Stickstoff im Frühjahr 2017. Die unterschiedlichen Varianten an Begleitpflanzen wiesen sowohl Ausreißer zu höheren Stickstoffgehalten, als auch zu niedrigeren Stickstoffgehalten als in der Standardvariante auf. Beispielsweise wiesen Erbsen im Versuchsjahr 2016/17 am Standort Scheppau einen mineralischen Stickstoffgehalt im Boden von 51 kg N/ha auf. Verglichen mit der Standardvariante waren also in der Variante mit Erbsen 15 kg N/ha mehr zu finden. Hier ist zu erwähnen, dass die Stickstoffdüngung in allen Varianten in der gleichen Höhe durchgeführt wurde. In zukünftigen Exaktversuchen könnte beispielsweise die Düngermenge in Parzellen, welche einen höheren Gehalt an mineralischem Stickstoff zu Vegetationsbeginn aufweisen, die Düngung um die Differenz zur Standardvariante verringert werden. Das Bereitstellen von Stickstoff für den Raps im Frühjahr ist eine wichtige Funktion der Begleitpflanzen. Dadurch ist es möglich den Einsatz mineralischer Dünger zu reduzieren und eine höhere Stickstoffeffizienz zu erreichen. Im Zuge der Novellierung der Düngeverordnung können die Begleitpflanzen einen wichtigen Beitrag leisten, um die Stickstoffbilanz zu verringern.

Die Begleitpflanzen frieren über Winter ab. Durch die einsetzende Mineralisation des zurückgebliebenen Pflanzenmaterials im Frühjahr, wird Stickstoff für den Raps zur Verfügung gestellt. Hierzu sollten sich die Leguminosen vor dem Winter gut entwickeln, um eine gewisse Menge an Pflanzenmaterial zur Verfügung stellen zu können. Es ist zu beachten, dass die Menge des mineralisierten Stickstoffs, der durch Mineralisation von Pflanzenresten entsteht, stark variabel ist. Dies ist vor allem abhängig von unterschiedlichen chemischen und physikalischen Eigenschaften der eingesetzten Begleitpflanzen (Lorin et al., 2016). Des Weiteren konnten Lorin et al. (2016) feststellen, dass ein frühes Absterben der Begleitpflanzen durch Frost zu einer hohen Mineralisationsrate führte. Im Versuchsjahr darauf, in dem die Begleitpflanzen erst im Frühjahr durch ein Herbizid abgetötet wurden, war die Mineralisationsrate geringer. Hier war die Zeitspanne von zwei Monaten zu gering, um die zurückgebliebenen Pflanzenreste umzusetzen und zur Stickstoffernährung des Rapses beizutragen.

Die Fixierung atmosphärischen Stickstoffs durch Leguminosen sollte als zusätzliche Stickstoffquelle genutzt werden, um den Einsatz energieaufwendig hergestellter Dünger zu reduzieren. Die Menge des fixierten Stickstoffs ist allerdings sehr variabel (Tab. 11, S.31). Bei Ackerbohnen haben Jensen et al. (2010) beispielsweise eine Spanne von 71 bis 211 kg N/ha feststellen können. Hier wurden Ackerbohnen als Hauptfrucht unter europäischen Klimabedingungen angebaut. Auch bei Erbsen, welche als Zwischenfrucht angebaut wurden, konnten 60 kg N/ha (Michigan; Blesh, 2018) bis 115 kg N/ha (Schweiz; Büchi et al., 2015) atmosphärisch fixierter Stickstoff ermittelt werden. Dadurch können die Begleitpflanzen entweder den Rapserttrag erhöhen, oder den Input in das System verringern, wodurch die Wirtschaftlichkeit steigt. In den durchgeführten Versuchen in Südniedersachsen konnten sich die Begleitpflanzen im Vergleich zu anderen Studien nur schwach entwickeln. Dies könnte auf die Witterungsbedingungen oder den Virenbefall zurückzuführen sein. Durch die schwächere Entwicklung konnte weniger atmosphärischer Stickstoff gebunden werden und es stand weniger organisches Material für die Mineralisation im Frühjahr zur Verfügung. Darum ließ sich in diesen Versuchen nicht klar belegen, ob die Begleitpflanzen eine nennenswerte Menge Stickstoff in das System eingebracht haben.

5.4 Auswirkungen der Begleitpflanzen auf den Rapserttrag

Die Erträge schwankten im Versuchsjahr 2016/17 am Standort in Klein Escherde von 31,4 dt/ha in der Variante Ackerbohnen, bis hin zu 40 dt/ha in der Variante Sommerwicken. Die Variante Raps in Reinsaat lag mit 34,9 dt/ha genau in der Mitte. Der maximal erreichte Mehrertrag belief sich also auf 5,1 dt/ha in der Variante Sommerwicken. Allerdings wurde in der Variante mit Ackerbohnen auch ein Ertragsabfall um 3,5 dt/ha ermittelt. In Scheppau wiesen alle Varianten, außer die Variante UFA Colza Fix, eine leichte Ertragssteigerung von 0,2 dt/ha bis 1,7 dt/ha auf.

Im Versuchsjahr 2017/18 trat ab Mai 2018 eine ausgeprägte Trockenperiode ein, die bis zur Ernte andauerte. Dieser Umstand spiegelte sich in den Erträgen wieder. Sie waren im zweiten Versuchsjahr in allen Varianten geringer als im Jahr zuvor. Es lässt sich festhalten, dass bei der Ernte im zweiten Versuchsjahr alle Varianten mit Begleitpflanzen einen höheren Ertrag lieferten, als die Standardvariante. Dieser reichte von 0,1 dt/ha bis 2,7 dt/ha. Aus diesen Ergebnissen lässt sich aber keine klare Aussage treffen, ob die Begleitpflanzen den Rapserttrag erhöhen können.

Verret et al. (2017) haben 79 Feldversuche im Nordwesten Frankreichs ausgewertet und kamen zu dem Schluss, dass durch Leguminosen als Begleitpflanzen 1,2 bis 1,7 dt/ha Mehrertrag geerntet werden konnten. Beziehungsweise, wie oben beschrieben, 30 bis 40 kg/ha Stickstoffdünger eingespart werden konnten, ohne einen Ertragsverlust festzustellen. In anderen französischen Versuchen konnte mit Ackerbohnen als Begleitpflanzen sogar bei einer Einsparung von 30 kg N/ha ein Mehrertrag von 1,4 Dezitonnen pro Hektar erreicht werden (Cadoux et al., 2015).

All diese Werten sind nur leichte Ertragserhöhungen, beziehungsweise nur geringe Einsparungen beim Stickstoffdünger. Allerdings kann gezeigt werden, dass beim Anbau von Begleitpflanzen mit dem Raps ein stabiler Rapserttrag erzielt werden kann. Ertragsstabilität gewinnt bei extremer werdenden Wettersituationen mehr an Bedeutung. In Zukunft sollte die Chance genutzt werden diese leichten Auswirkungen auf den Ertrag, beziehungsweise das Einsparpotenzial beim Stickstoffdünger, durch biologische Maßnahmen, wie den hier genannten Anbau von Begleitpflanzen, zu erreichen. Allerdings sollte die Wirtschaftlichkeit dabei nicht aus den Augen verloren werden. Eine ausführliche Gegenüberstellung der Kosten und Nutzen der Begleitpflanzen ist ein weiteres Feld, das genauer bearbeitet werden kann.

5.3 Bodenschutz und Biodiversität

Der Schutz des Bodens vor Erosion und das Fördern des Bodenlebens gewinnen im Rahmen einer nachhaltigen Landwirtschaft immer mehr an Bedeutung. Allerdings sind diese Effekte schwer zu quantifizieren. In den vorliegenden Versuchen wurde die mikrobiologische Aktivität des Bodens, durch den schon beschriebenen, Solvita-Test festgestellt. Hierbei haben vor allem die Ackerbohnen eine erhöhte Aktivität im Boden hervorgerufen (Ergebnisse nicht dargestellt). Um dies zu verifizieren müssen im kommenden Frühjahr die Proben mit einer ausreichenden Zahl an Wiederholungen erneut durchgeführt werden.

Schröder und Köpke (2012) haben gezeigt, dass Ölfrüchte, welche mit Ackerbohnen als Begleitpflanzen wuchsen eine gleichmäßigere horizontale Wurzelentwicklung aufwiesen. Außerdem konnten die Ölfrüchte ihr Wurzelsystem in tiefere Bodenschichten ausweiten. Durch das Erschließen verschiedener Bodentiefen können in einem Mischanbau Nährstoffe besser verfügbar gemacht, beziehungsweise besser aufgenommen werden (Malézieux et al., 2009).

Die Wurzelausbildung von Raps und den verwendeten Begleitpflanzen unterscheidet sich in Bezug auf die Tiefe der Durchwurzelung und den Anteil an Feinwurzeln (Abb. 12, S. 42). Im Herbst 2018 konnten Linsen trotz trockener Bedingungen und schwachem oberirdischem Wuchs viel Wurzelmasse bilden (Abb. 13, S. 43). Zu erkennen war die starke Durchwurzelung und die gute Krümelstruktur des Bodens.

Durch die gleichmäßige, starke Durchwurzelung kann der Boden vor Erosion geschützt werden, wodurch das Anbausystem auch für erosionsgefährdete Hanglagen interessant wird. Die verbesserte Durchwurzelung trägt ebenfalls zum Wasserschutz bei (Swift et al. 2004), da der oberflächige „Runoff“ eingedämmt wird und das Pflanzenmaterial die kinetische Energie der Regentropfen abfängt. Somit wird weniger Boden abgeschwemmt und gleichzeitig der Verlust von Nährstoffen vermieden.

Ab dem Frühjahr bedeckt eine Mulchschicht, der abgestorbenen Pflanzenreste, den Boden, was die oberflächliche Austrocknung verlangsamt. Die ober-, sowie unterirdisch zurückbleibenden Pflanzenreste dienen als Nahrung für Bodenlebewesen und werden mit der Zeit zersetzt. Das zusätzliche organische Material sorgt für eine verbesserte Humusbilanz. Diese Effekte sind im Bezug auf den Zwischenfruchtanbau bekannt. Durch das vorgestellte Anbausystem können diese Effekte also auch während des Anbaus einer Hauptkultur ausgenutzt werden.

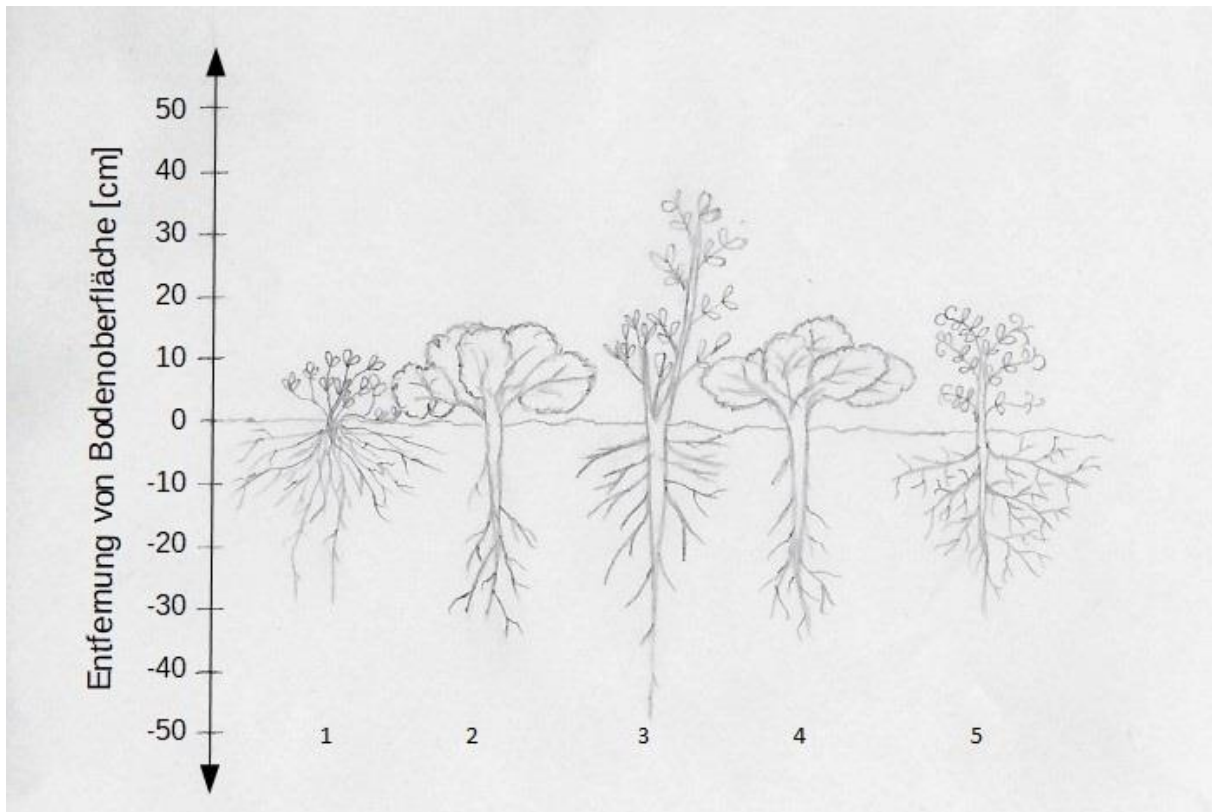


Abbildung 12: Schematische Zeichnung von *Trifolium repens* (1), *Brassica napus* (2 und 4), *Vicia faba* (3) und *Pisum sativum* (5) (Eigene Darstellung).

Die Verwendung von Begleitpflanzen trägt im Vergleich zu einer Reinkultur zur Erhaltung der Biodiversität bei (Malézieux et al., 2009). Gerade in der öffentlichen Diskussion spielt dieses Thema eine immer wichtigere Rolle. Das beschriebene Anbausystem kann hier dazu beitragen, der Forderung nach mehr Biodiversität nachzukommen. Brussaard et al. (2007) konnten herausfinden, dass ein Misanbau einen besseren Lebensraum für unterschiedliche Pflanzen, Insekten, Vögel und auch ober-, sowie unterirdischen Mikroorganismen bietet. Auch Giller et al. (1997) beschrieben bei einem Misanbau eine größere Diversität der im Boden vorkommenden Mikroben. Dies kann zu einer besseren Widerstandsfähigkeit der Kulturpflanzen gegen biotische und abiotische Schaderreger führen.

Die in diesem Kapitel genannten Effekte sind, wie gesagt, schwer zu quantifizieren und somit auch schwer monetär zu bewerten. Sie stellen aber einen wichtigen Bestandteil des Begleitpflanzenanbaus dar.



Abbildung 13: Wurzelentwicklung von Linsen (*Lens culinaris*) bei trockenen Verhältnissen (Foto: J.Epperlein)

5.2 Pflanzenschutz und Unkrautauflkommen

Das verminderte Aufkommen von Schadinsekten in einem Mischbestand ist auf unterschiedliche Effekte zurückzuführen: die visuelle oder geruchliche Verwirrung der Schadinsekten, die Bildung einer mechanischen Barriere, was die Ausbreitung erschwert, oder das verstärkte Vorhandensein natürlicher Gegenspieler der Schadorganismen (Theunissen, 1994). Der Einsatz von Begleitpflanzen kann den Einsatz von Insektiziden jahresabhängig nicht ersetzen, es ist aber ein interessanter Baustein für eine integrierte Schädlingsbekämpfung.

Im vorliegenden Versuch wurden Schnecken, vor allem im zweiten Anbaujahr, mit nassen Witterungsbedingungen, durch das Ausbringen von Schneckenkorn kontrolliert. Vor allem auf einem Betrieb, der auf minimale Bodenbearbeitung, beziehungsweise Direktsaat setzt, kann das Auftreten von Schnecken zu hohen Ertragsausfällen führen. Hier ist nicht geklärt, ob die Begleitpflanzen einen zu starken Befall, beispielweise durch eine mechanische Barriere, oder das Ablenken von den Rapspflanzen verhindern können. Diese Untersuchungen konnten nicht auf einem Praxisbetrieb durchgeführt werden, da das Risiko eines kompletten Ertragsausfalls zu hoch war.

Hauptfaktoren für das Unterdrücken von Unkräutern durch Begleitpflanzen sind zum einen, die Konkurrenz um natürliche Ressourcen, wie Licht, Wasser und Nährstoffe und zum anderen Allelopathie (Liebmann und Dick, 1993). Hierbei ist es wichtig, dass die Begleitpflanzen eine rasche Jugendentwicklung aufweisen, um möglichst früh mit den Unkräutern zu konkurrieren. Auch die Auswahl der Begleitpflanzen spielt eine große Rolle, da der Aufbau der Pflanzen, vor allem die Blattstellung, einen Einfluss auf die Beschattung haben. Hier ist vermutlich eine Mischung von Begleitpflanzen vorteilhaft, da verschiedene Arten unterschiedlich auf unvorhersehbare Witterungsbedingungen reagieren. Durch die sich unterscheidende oberirdische Struktur der Pflanzen kann eine gleichmäßige Beschattung erreicht werden. Allerdings ist hier zu erwähnen, dass ein gut entwickelter Rapsbestand, welcher in Normalsaat bestellt wurde ebenfalls eine gute Unkrautunterdrückung gewährleistet. Sobald die Begleitpflanzen den Raps zu stark überwachsen, kommt es zu einer Streckung des Rapses, wodurch die Winterhärte gefährdet werden kann. Bei der hier verwendeten Maschine für die Aussaat waren Raps und Begleitpflanzen räumlich voneinander getrennt. Dadurch kommt es im Herbst nicht zu einer Konkurrenzsituation. Allerdings füllten die Begleitpflanzen die sonst offenen Lücken zwischen den Rapsreihen.

Die erreichte Verringerung des Unkrautdeckungsgrades durch Begleitpflanzen war in anderen Versuchen zwar signifikant, ist aber für die Praxis in dieser Form vermutlich noch nicht ausreichend. Allerdings kann der Anbau Begleitpflanzen in Verbindung mit einer angepassten Herbizidstrategie, zum Beispiel einer Verringerung der Aufwandmenge, Teil einer integrierten Unkrautbekämpfungsstrategie sein. Vorstellbar ist auch der Einsatz von Begleitpflanzen im biologischen Rapsanbau.

6. Zusammenfassung

Der Raps stellt in Deutschland die bedeutendste Ölfrucht dar. Allerdings steht der Anbau wegen einer hohen Intensität des Pflanzenschutzes in der Kritik. Durch die neue Düngeverordnung wird es noch wichtiger, die Stickstoffeffizienz eines Anbausystems zu verbessern. Außerdem rücken Themen wie der Schutz vor Bodenerosion, die Verbesserung der Bodenstruktur und der Erhalt der Biodiversität immer mehr ins Zentrum einer nachhaltigen Landbewirtschaftung.

Es hat sich gezeigt, dass der Anbau von Begleitpflanzen mit Raps gut in der Praxis umsetzbar ist. Die durchgeführten Versuche konnten aufweisen, dass der Rapsertag von den Begleitpflanzen nicht negativ beeinflusst wird. In anderen Versuchen konnte durch den Anbau von Begleitpflanzen im Raps ein Mehrertrag von 0,16 t/ha erzielt werden (Verret et al., 2017). Oder es konnte eine um 30 bis 40 kg N/ha reduzierte Düngung durchgeführt werden, ohne Ertragsänderungen festzustellen (Verret et al. 2017). In den vorliegenden Versuchen wurde die Stickstoffdüngung in den einzelnen Varianten nicht angepasst. Es ist vorstellbar, dass sich beispielsweise in der Variante Erbsen 15 kg N/ha einsparen lassen, ohne einen Ertragsverlust festzustellen. Das System kann also bei günstigen Bedingungen zu einer Einsparung synthetisch hergestellter Stickstoffdünger führen.

Die Begleitpflanzen haben die Vorwinterentwicklung des Rapses nicht negativ beeinflusst. Allerdings ist zu erwähnen, dass die Wachstumsbedingungen in beiden Versuchsjahren schwierig waren. Um noch mehr Erkenntnisse, gerade bei unterschiedlichen Witterungsbedingungen in verschiedenen Großwetterlagen, zu erlangen, konnte die Gesellschaft für konservierende Bodenbearbeitung e.V. (GKB) für das Anbaujahr 2018/19 acht Landwirte gewinnen, die Raps mit Begleitpflanzen anbauen. Hierbei wird auf Standardtechnik gesetzt, die auf dem jeweiligen Betrieb verfügbar ist. Es werden also in den meisten Fällen in einem separaten Arbeitsgang zunächst die Begleitpflanzen gesät und anschließend der Raps mit betriebsüblicher Technik. Im Rahmen eines Ringversuches, werden auf diesen acht Standorten, die über ganz Deutschland verteilt sind, die wichtigsten Parameter über Bonituren erfasst. Der beschriebene Ringversuch ist ein wichtiger Bestandteil, um mehr Erfahrungen mit den Begleitpflanzen zu gewinnen. Vor allem kann die Entwicklung in Regionen mit unterschiedlichen Voraussetzungen dokumentiert werden. Aus den gewonnenen Erfahrungen können in Zukunft Anbauempfehlungen abgeleitet werden. Über die breit angelegten Versuche kann ein großer Datensatz generiert werden, wodurch eine bessere Auswertung möglich ist.

Außerdem kann, durch die starke räumliche Trennung der einzelnen Standorte, der Einfluss von einzelnen, regional auftretenden, Umweltereignisse begrenzt werden.

Ob die Begleitpflanzen Unkraut unterdrücken, oder Schädlinge im Herbst abwehren können, ließ sich im vorliegenden Versuch nicht dokumentieren. Aufgrund der Anlage als On-Farm Versuch, wurde die Pflanzenschutzstrategie des jeweiligen Betriebsleiters umgesetzt. Starke Schäden durch zu hohen Unkrautdruck, oder gar einem Totalausfall durch Schnecken sollte entgegengewirkt werden. Allerdings können die Begleitpflanzen, gerade beim Rapsanbau mit weitem Reihenabstand, durch die zügige Bodenbedeckung der Reihenzwischenräume zu einer integrierten Unkrautkontrolle beitragen. Zu diesem Thema könnten in Zukunft Exaktversuche auf Kleinparzellen durchgeführt werden. Auf Versuchsanstalten kann getestet werden, wie sich das Unkrautauflkommen durch die Verwendung von Begleitpflanzen im Vergleich zu einer Reinsaat verändert. Lorin et al. (2015) konnten in Versuchen mit einer Mischung aus Wicken, Ackerbohnen und Alexandrinerklee bereits das Unkrautauflkommen, auch bei sehr starkem Ausgangsdruck, um bis zu 75 % reduzieren. Dies ist für den Einsatz in der Praxis kein ausreichender Wirkungsgrad, stellt aber einen wichtigen Baustein bei einer integrierten Unkrautbekämpfung dar.

Auch der Befall durch Schadinsekten im Jugendstadium kann genauer untersucht werden. Dies ist allerdings auf Kleinparzellen schwer möglich, da die Begleitpflanzen vermutlich nur großflächig ihr Potenzial als Fangpflanzen ausspielen, beziehungsweise die Schadinsekten verwirren. Hierzu sollte ein Insektizideinsatz ebenfalls unterlassen werden, weshalb diese Untersuchungen nicht in einem On-Farm Versuch durchgeführt werden können. Außerdem ist das Auftreten verschiedener Schadinsekten sehr jahresabhängig, was eine genaue Untersuchung erschwert. Es gibt einen weiteren Ansatz des Anbaus von Begleitpflanzen, in dem Raps mit nahen verwandten Arten wie Senf (*Sinapis alba*) oder Abessinischer Kohl (*Brassica carinata*) angebaut wird. Hier ist das vordergründige Ziel, Schädlinge wie den Rapsglanzkäfer von den Rapspflanzen abzulenken.

In den in Niedersachsen durchgeführten Versuchen wurde Schneckenkorn eingesetzt, um die Rapspflanzen im Jugendstadium vor Fraßschäden zu schützen. Hier sollte bei einem Verzicht auf Schneckenkorn untersucht werden, wie sich das Vorhandensein verschiedener Begleitpflanzen auf das Auftreten von Fraßschäden durch Schnecken auswirkt.

Es ist zu erkennen, dass das beschriebene Anbausystem nicht einen wichtigen Vorteil bringt. Stattdessen stellt es ein komplexes System dar, was bei passenden Bedingungen zu

Einsparungen im Rapsanbau führen kann. Gleichzeitig kann es zum Schutz des Bodens vor Erosion, zur Strukturverbesserung, als auch zur Erhöhung der Humusbilanz beitragen.

Auch politische Aspekte können in Zukunft einen Einfluss auf die Praxistauglichkeit des Anbaus von Begleitpflanzen im Raps einfluss nehmen: Einerseits ist vorstellbar, dass beim Anbau von Leguminosen eine gewisse Menge Stickstoff in der Düngebilanz angerechnet werden muss. Ähnlich wie es beim Anbau von Zwischenfrüchten der Fall ist. So lange der durch die Leguminosen fixierte Stickstoff in der Düngebilanz nicht angerechnet werden muss, kann dieser Effekt genutzt werden, um zusätzlichen Stickstoff in ein Anbausystem einzubringen. Es ist auch vorstellbar, dass in Zukunft der Anbau von Begleitpflanzen, mit einem gewissen Faktor, als Greening-Maßnahme anerkannt wird. Dies würde das Anbausystem in der Praxis interessanter machen.

Bei diversen Feldtagen zeigt sich, auf Seiten der Praktiker, ein großes Interesse an der beschriebenen Thematik. Dies bestätigt den Weg, das Anbausystem über praxisnahe Versuche den Landwirten näher zu bringen.

8. Literaturverzeichnis

- Aufhammer W. (1999) Mischanbau von Getreide- und anderen Körnerfruchtarten - Ein Beitrag zur Nutzung von Biodiversität im Pflanzenbau. Stuttgart: Eugen Ulmer KG.
- Banik P., Sasmal T., Ghosal P.K., Bagchi D.K. (2000) Evaluation of mustard (*Brassica campestris* Var. Toria) and legume intercropping under 1:2 and 2:1 row-replacement series systems. *Journal of Agronomy Crop Science* 185, S. 9-14.
- Blesh J. (2018) Functional traits in cover crop mixtures: Biological nitrogen fixation and multifunctionality. *Journal of Applied Ecology* 2018; 55: 38-48.
- Brussaard L., de Ruiter P.C., Brown G.G., (2007) Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 121. S. 233-244.
- Büchi L., Gebhard C.-L., Liebisch F., Sinaj S., Ramseier H., Charles R. (2015) Accumulation of biologically fixed nitrogen by legumes cultivated as cover crops in Switzerland. *Plant Soil* 393: 163-175. Springer.
- Cadoux S., Sauzet G., Valatin-Morison M., Pontet C., Champolivier L., Robert C., Lieven J., Flénet F., Mangenot O., Fauvin P., Landé N. (2015) Intercropping frost-sensitive legume crops with winter oilseed rape reduces weed competition, insect damage, and improves nitrogen use efficiency. *Oilseed & fats crops and lipids (OCL)* 22(3).
- DWD – Deutscher Wetterdienst, Climate Data Center Server: ftp://ftp-cdc.dwd.de/pub/CDC/derived_germany/soil/monthly/historical/derived_germany_soil_monthly_historical_662.txt.gz (05.10.2018).
- DWD – Deutscher Wetterdienst, Climate Data Center Server: ftp://ftp-cdc.dwd.de/pub/CDC/observations_germany/climate/monthly/kl/historical/ (02.12.2018)
- DWD – Deutscher Wetterdienst, Climate Data Center Server: ftp://ftp-cdc.dwd.de/pub/CDC/observations_germany/climate/multi_annual/mean_81-10/ (02.12.2018)
- FAOSTAT – Food and Agriculture Organization of the United Nations
www.fao.org/faostat/en/?#data/QC (7.8.2018).

- Génard T., Etienne P., Diquélou S., Yvin J.-C. (2017) Rapeseed-legume intercrops: plant growth and nitrogen balance in early stages of growth and development. *Heliyon* 3, e00261.
- Giller K.E., Beare M.H., Lavelle P., Izac M.N., Swift M.J. (1997) Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Applied Soil Ecology* 6. S. 3-16.
- Hauggaard-Nielsen H., Gooding M., Ambus P., Corre-Hellou G., Grozat Y., Dahlmann C., Dibet A., Von Fragstein P., Pristeri A., Monti M. (2009) Pea-barley intercropping for efficient symbiotic N₂-fixation, soil N acquisition and use of other nutrients in European organic cropping systems. *Field crop Research* 113, S. 64-71.
- Jamont M., Piva G., Fustec J. (2013) Sharing N resources in the early growth of rapeseed intercropped with faba bean. Does N transfer matter? *Plant and Soil* 371, S. 641-653
- Land Niedersachsen. <https://niedersachsen.de/land/karte/niedersachsen-karten-20063.html> (29.11.2018)
- Liebmann M., Dick E. (1993) Crop rotation and intercropping strategies for weed management. *Ecological Applications* 3, S. 92-122.
- Lorin M., Jeuffroy M.-H., Butier A., Valantin-Morison M. (2016) Undersowing winter oilseed rape with frost-sensitive legume living mulch: Consequences for cash crop nitrogen nutrition. *Field Crop Research* 193, S. 24-33.
- Lorin M., Jeuffroy M.-H., Butier A., Valantin-Morison M. (2015) Undersowing winter oilseed rape with frost-sensitive legume living mulches to improve weed control. *European Journal of Agronomy* 71, S. 96-105.
- Malézieux E., Crozat Y., Dupraz C., Laurans M., Makowski D., Ozier-Lafontaine H., Rapidel B., de Tourdonnet S., Valantin-Morison M. (2009) Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 29. S. 43-62
- Ramseier H. (2009) Einsaaten in Raps.
<https://www.bioaktuell.ch/pflanzenbau/ackerbau/oelpflanzen/raps/forschung-raps/einsaaten-in-raps.html> (25.7.2018).
- Roßberg D. (2013) Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis im Jahr 2011. *Journal für Kulturpflanzen*, 65 (4). S 141-151. Stuttgart: Eugen Ulmer KG.

- Rühlemann L., Schmidtke K. (2015) Evaluation of monocropped and intercropped grain legumes for cover cropping in no-tillage and reduced tillage organic agriculture. *European Journal of Agronomy* 65, S. 83-94.
- Schröder D., Köpke U. (2012) Faba bean (*Vicia faba* L.) intercropped with oil crops – a strategy to enhance rooting density and to optimize nitrogen use and grain production? *Field Crops Research* 135. S. 74-81.
- Sieling K., Kage H., Sauermann W. (2018) UFOP-Praxisinformation – Optimierung der N-Düngung von Raps nach der N-Menge des Bestandes im Herbst. <https://www.ufop.de/agrar-info/erzeuger-info/raps/ufop-praxisinformation-optimierung-der-n-duengung-von-raps-nach-der-n-menge-des-bestandes-im-herbst/> (1.8.2018).
- Swift M.J., Izac A.M.N., Van Noordwijk M. (2004) Biodiversity and ecosystem services. Are we asking the right questions? *Agriculture, Ecosystems & Environment* 104. S. 113-134.
- Theunissen J. (1994) Intercropping in field vegetable crops: pest management by agrosystem diversification – an overview. *Pesticide Science* 42. S. 65-68.
- Thomas E. (2006) *Feldversuchswesen*. Stuttgart: Eugen Ulmer KG.
- Verret V., Gardarin A., Makowski D., Lorin M., Cadoux S., Butier A., Valatin-Morison M. (2017) Assessment of the benefit of frost-sensitive companion plants in winter rapeseed. *European Journal of Agronomy* 91, S. 93-103.

Danksagung

Mein Dank gilt der Gesellschaft für konservierende Bodenbearbeitung e.V. für die Bereitstellung des Themas und der Daten. Hier möchte ich vor allem Jana Epperlein und Anja Schmidt erwähnen.

Ganz besonders möchte ich Burkhard Fromme mit der gesamten Familie danken, auf dessen Betrieb der Versuch durchgeführt wurde. Hier konnte ich einen umfassenden Einblick in das Anbausystem bekommen und habe viel Grundsätzliches über die Direktsaat mitnehmen können.

Abschließend möchte ich noch Frau Prof. Dr. Simone Graeff-Hönniger für die Betreuung der vorliegenden Bachelorarbeit danken.

Filderstadt im Dezember

Erklärung*

Hiermit erkläre ich,

Name, Vorname

Matrikelnummer

dass ich bei der vorliegenden

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Bachelor-Arbeit | <input type="checkbox"/> Master-Thesis/Master-Arbeit |
| <input type="checkbox"/> Seminararbeit | <input type="checkbox"/> Diplomarbeit |

die Regeln guter wissenschaftlicher Praxis eingehalten habe. Ich habe diese Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die wörtlich oder inhaltlich übernommenen Stellen als solche kenntlich gemacht.

Betreuende/r
Dozent/in

Thema der Arbeit

Semester

Ich erkläre weiterhin, dass das unverschlüsselte digitale Textdokument der Arbeit übermittelt wurde, das in Inhalt und Wortlaut ausnahmslos der gedruckten Ausfertigung entspricht. Ich bin damit einverstanden, dass diese elektronische Form anhand einer Analyse-Software auf Plagiate überprüft wird.

Ort, Datum, Unterschrift

* Diese Erklärung ist der eigenständig erstellten Arbeit als Anhang beizufügen. Arbeiten ohne diese Erklärung werden nicht angenommen.