



Abschlussbericht der Operationellen Gruppe N- Effizienzsteigerung im Ackerbau

im Rahmen der Europäischen Innovationspartnerschaft
(EIP)

Mai 2019



Landwirtschafts-
kammer
Schleswig-Holstein



Wir fördern den ländlichen Raum



Landesprogramm ländlicher Raum: Gefördert durch
die Europäische Union – Europäischer Landwirtschaftsfonds
für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER)
und das Land Schleswig-Holstein
Hier investiert Europa in die ländlichen Gebiete

Inhaltsverzeichnis

A Kurzdarstellung	3
I. Ausgangssituation und Bedarf	3
II. Projektziel und konkrete Aufgabenstellung.....	3
III. Mitglieder der OG	4
IV. Projektgebiet.....	4
V. Projektlaufzeit und -dauer	4
VI. Budget.....	5
VII. Ablauf des Vorhabens.....	5
VIII. Zusammenfassung der Ergebnisse	5
B Eingehende Darstellung	7
I. Verwendung der Zuwendung.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
II. Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn.....	8
a) Ausgangssituation	8
b) Projektaufgabenstellung	9
III. Ergebnisse der OG.....	10
a) Wie wurde die Zusammenarbeit im Einzelnen gestaltet?	10
b) Was war der besondere Mehrwert des Formates einer OG für die Durchführung des Projekts?	10
c) Ist eine weitere Zusammenarbeit der Mitglieder der OG nach Abschluss des geförderten Projekts vorgesehen?.....	10
IV. Ergebnisse des Innovationsprojektes	11
a) Zielerreichung (wurde eine Innovation im Projekt generiert?)	11
b) Abweichungen zwischen Projektplan und Ergebnissen.....	12
c) Projektverlauf	13
d) Beitrag des Ergebnisses zu förderpolitischen EIP Zielen.....	41

e) Nebenergebnisse – „by-catches“?	41
f) Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben	42
V. Nutzen der Ergebnisse für die Praxis	43
a) Sind nutzbare oder verwertbare Empfehlungen, Produkte, Verfahren oder Technologien entstanden?	43
b) Wie ist der Umsetzungsstand?	43
VI. (Geplante) Verwertung und Nutzung der Ergebnisse.....	43
VII. Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit.....	43
VIII. Administration und Bürokratie	44
a) Wie wurde der bürokratische Aufwand eingeschätzt?	44
b) Wo lagen Schwierigkeiten?	44
c) Verbesserungsvorschläge!.....	44
IX. Nutzung des Innovationsbüro (Innovationsdienstleister, IDL)	45
X. Kommunikations- und Disseminationskonzept	45
a) Darstellung, in welcher Weise die Ergebnisse kommuniziert oder verbreitet wurden.	45
b) Grundsätzliche Schlussfolgerungen (ggf. Fazit zur Eignung von EIP-Förderung zur Generierung von Innovation und Schließung von Lücken zwischen Praxis und Wissenschaft) und eventuelle Vorschläge zur Weiterentwicklung der EIP AGRI.	46

A Kurzdarstellung

I. Ausgangssituation und Bedarf

Der konventionelle Ackerbau nimmt einen Großteil der landwirtschaftlich genutzten Fläche in Schleswig-Holstein ein. Zum Zeitpunkt der Antragsstellung standen mit der Novellierung der Düngeverordnung (DüV), den Anforderungen der EU-Wasserrahmenrichtlinie und der GAP-Reform nach 2013 komplexe Herausforderungen und ein damit verbundener Innovationsbedarf im Raum.

Zum Zusammenschluss der Operationellen Gruppe „N-Effizienzsteigerung im Ackerbau“ führte der Wunsch praktischer Landwirte vor dem Hintergrund sich dramatisch ändernder Rahmenbedingungen, die N-Effizienz durch innovative Anbausysteme sowie Modellansätze zu steigern und dabei gleichzeitig die Flächenproduktivität und damit die Wirtschaftlichkeit der Betriebe zu erhalten.

II. Projektziel und konkrete Aufgabenstellung

Ziel der Innovationspartnerschaft „N-Effizienzsteigerung im Ackerbau“ war die Steigerung der N-Effizienz durch ackerbauliche Maßnahmen, die gleichzeitig zur Reduktion von Nährstoffausträgen beitragen können.

Im Fokus der Operationellen Gruppe (OG) lagen dabei insbesondere innovative Ansätze im Bereich Fruchtfolgegestaltung und Düngebedarfsprognose, die identifiziert, demonstriert und verifiziert werden sollten. Hierbei sollten insbesondere auch naturraumspezifische Problematiken berücksichtigt werden.

Mit Hilfe von OnFarm Research-Versuchen (OFR) auf Praxisbetrieben, N-Steigerungsversuchen mit Fokus auf der 3. Düngegabe im Winterweizen und Fruchtfolgesystemversuchen wurde folgenden Frage- und Aufgabestellungen nachgegangen:

- Entwicklung angepasster, naturraumspezifischer Fruchtfolgen
- Sinnvolle Integration von Körnerleguminosen in Ackerbaufruchtfolgen
- Optimierung des N-Transfers zwischen den Kulturen einer Fruchtfolge
- Treffsichere Düngebedarfsermittlung für jedes Fruchtfolgeglied

III. Mitglieder der OG

Landwirtschaftliche und gartenbauliche Unternehmen der Urproduktion

- Hartmut Brockmann
- Ralf Hartmann-Paulsen
- Sönke Huesmann
- Kai Kühlmann (Gut Löhndorf)
- Karl-Volkert Meyer
- Christoph Möller
- Broder Preuß-Driessen (Herzogliche Gutsverwaltung Grünholz)

Forschungs-und Versuchseinrichtungen

- Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung (Prof. Dr. Henning Kage)

Beratungs-und Dienstleistungseinrichtungen

- Hanse Agro Beratung und Entwicklung GmbH
- Ulrich Henne
- Joachim Hülsen
- Matthias Mahrenholtz

Verbände, Vereine, landwirtschaftliche Organisationen und Körperschaften des öffentlichen Rechts

- Bauernverband Schleswig-Holstein
- Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein (Lead-Partner)

IV. Projektgebiet

Das Projektziel war es Empfehlungen für ganz Schleswig-Holstein ableiten zu können, aus diesem Grund wurde in jedem Naturraum (Marsch, Geest, Östliches Hügelland) ein Fruchtfolgesystemversuche angelegt. Die OFR-Streifenversuche befanden sich hauptsächlich im Östlichen Hügelland und in der Geest auf Praxis schlägen, die von Landwirten zur Verfügung gestellt wurden. Die beiden Exaktversuche mit Fokus auf der 3. N-Gabe fanden in den für Weizenanbau relevanten Gebieten Marsch und Östliches Hügelland statt.

V. Projektlaufzeit und -dauer

Das Projekt begann am 1. Juni 2015 und endete regulär am 31. Mai 2018, im Anschluss daran wurde eine kostenneutrale Verlängerung bis zum 31. Mai 2019 gewährt. Insgesamt umfasste die Projektdauer damit 36 Monate.

VI. Budget

Für das Projekt wurde 671.707,50 € bewilligt. Es wurde im Projektverlauf auf 658.115,98 € abgesenkt. Insgesamt wurden 595.023,26 € verausgabt.

VII. Ablauf des Vorhabens

Das Projekt untergliederte sich in verschiedene Versuche. Auf Praxisschlägen wurden OnFarm Research-Streifenversuchen durchgeführt, bei denen ein innovatives Modell zur Düngebedarfsermittlung von Winterweizen unter Schleswig-Holsteinischen Bedingungen getestet und mit betriebsüblichen sowie der durch die Düngeverordnung empfohlenen Düngemenge verglichen wurden.

Um die Güte der Modelldüngeempfehlung zu überprüfen, wurden zusätzlich Exaktversuche in Form von Parzellenversuchen angelegt, wobei der Fokus auf den jahresspezifischen Zu- bzw. Abschläge der 3. N-Gabe lag.

In Fruchtfolgesystemversuchen wurden ortsübliche und alternative Fruchtfolgen miteinander verglichen. Der Fokus lag hier auf alternativen Vorfrucht-Nachfrucht-Kombinationen zur Verbesserung des N-Transfers und der sinnvollen Integration von Körnerleguminosen in Fruchtfolgen, wobei auch auf die naturraumspezifischen Problematiken Rücksicht genommen wurde.

Die Schläge für die Exakt- und die Fruchtfolgesystemversuche wurden von der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein (LKSH) und der CAU Kiel zur Verfügung gestellt und betreut. Sie wurden mit der Aussaat 2015 angelegt. Zu Projektbeginn wurde ein indikativer Zeitplan ausgearbeitet (Tabelle 1, Seite 12), der zum größten Teil wie geplant umgesetzt wurde (Tabelle 2, Seite 12). Zudem wurde für die Durchführung der Fruchtfolgesystemversuche ein detailliertes Messprogramm festgelegt (Abbildung 9, Seite 23).

In regelmäßigen Treffen wurden alle OG-Mitglieder über den Fortschritt des Projektes und Zwischenergebnisse informiert, hierbei wurden die Ergebnisse diskutiert und Entscheidungen gemeinsam getroffen.

VIII. Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Ergebnisse der OnFarm Research- und Exaktversuche zeigen, dass das Modell zur Düngebedarfsermittlung von Winterweizen plausible Einschätzung in Bezug auf die Anpassung des N-Düngebedarfs zur 3. Gabe lieferte. So wurde im Erntejahr 2016 und 2018, aufgrund der geringen Ertragserwartung für die meisten Standorte eine reduzierte Qualitätsgabe empfohlen. In 2017 wurde schon zu Vegetationsbeginn erkannt, dass die Auswaschungsverluste im Herbst des Aussaatjahres besonders niedrig waren und dass daher ein erhöhter Nitratvorrat im Boden wahrscheinlich war. In den Exaktversuchen zeigte sich, dass die Modellempfehlungen immer zu Bilanzüberhängen von weniger als 50 kg N/ha

fürten. Gleichzeitig wurden häufig höhere Deckungsbeiträge gegenüber der Düngebedarfsermittlung nach Düngeverordnung erzielt. Eine Ausnahme war das Erntejahr 2018 am Standort Hohenschulen; wegen der extremen Trockenheit wurde die 3. N-Gabe nicht ertragswirksam.

In den Fruchtfolgesystemversuchen liegen Daten mit Vorfruchteffekten aus zwei witterungsbedingt sehr unterschiedlichen Erntejahren vor. An den drei Standorten in Schleswig-Holstein wurden ortsübliche mit angepassten Fruchtfolgen miteinander verglichen. Der Fokus der innovativen Fruchtfolgen lag darauf, N-Verluste nach Kulturen, die hohe Nachernte- N_{\min} -Gehalte hinterlassen, zu verringern und den N-Transfer in Fruchtfolgen zu optimieren. Hierfür wurden verschiedene Vorfrucht-Nachfrucht-Kombinationen miteinander verglichen. Als „kritisch“, aufgrund von hohen N_{\min} -Gehalten in der Nachernteperiode, wurden die Kulturen Winterraps und Körnerleguminosen identifiziert. Der Ansatz der alternativen Fruchtfolgekombinationen war als Folgefrucht nicht ein übliches Wintergetreide mit vergleichsweise niedriger Herbst-N-Aufnahme anzubauen, sondern Kulturen mit hohen Vorwinter-N-Aufnahmen. Für Winterraps wurde eine Zwischenfrucht (Rauhafer), die den Stickstoff über Winter konservieren und dann im Idealfall an eine Sommerung weitergibt, als Folgekultur genutzt und nach Körnerleguminosen wurde Winterraps etabliert.

Die N_{\min} -Dynamiken in der auswaschungsgefährdeten Periode variierten zum Teil deutlich zwischen den Vorfrucht-Nachfrucht-Kombinationen. Besonders gut war dies, aufgrund von sehr geringen Niederschlägen, im Winter 2016/2017 zu beobachten. Abnehmende N_{\min} -Werte ließen sich in diesem Jahr gut auf die N-Aufnahmen durch Folgefrüchte zurückführen. Die Analyse von Handernten zu Vegetationsende in den verschiedenen Kulturen ergab, dass die Zwischenfrucht sehr hohe Vorwinter-N-Aufnahmen generierte, was für das Potential dieser Kultur zum N-Transfer in eine folgende Sommerung sprach. Allerdings konnten in den Zwischenfrucht-Varianten auch ansteigende N_{\min} -Werte zu Vegetationsbeginn festgestellt werden, was eine frühzeitige Remineralisation der abgefrorenen Zwischenfruchtbestände vermuten ließ. Dennoch konnte am Standort Hohenschulen im Mais nach Raps und Zwischenfrucht im Vergleich zu Mais nach Brache eine deutliche N-Einsparung (-27 kg N/ha) festgestellt werden. Die für Winterraps berechneten optimalen N-Düngemengen (N_{opt}) für die Ernte 2017 im Östlichen Hügelland lagen bei der Vorfrucht Ackerbohne unterhalb von N_{opt} bei Winterweizen als Vorfrucht. Dies deutete darauf hin, dass der Winterraps von dem Stickstoff, der von den Körnerleguminosen hinterlassen wurde, profitieren konnte. Ähnliches ergab die Auswertung der Erntedaten 2018.

B Eingehende Darstellung

I. Verwendung der Zuwendung

5. Kostenplan Zusammenfassung gemäß Ziff. 5 der Rili

5.1 Förderfähige Ausgaben

Projekt 3802
N-Effizienz
im Ackerbau

5.1.1 Laufende Ausgaben der Zusammenarbeit der OG in €

	Budget	Abgerufene Mittel	Rest-Mittel
Personalausgaben für den/die Leiter bzw. die MA einer OG	I		
	45.000,00 €	35.198,10 €	9.801,90 €
Verwaltungspauschale in Höhe von 15% der zuwendungsfähigen Pers.-Ausgaben für 5.1.1	II		
	6.750,00 €	5.279,71 €	1.470,29 €
Ausgaben für Öffentlichkeitsarbeit der gesamten OG einschließlich Veranstaltungsausgaben	III		
	12.000,00 €	4.696,16 €	7.303,84 €
Zwischensumme 1	63.750,00 €	45.173,97 €	18.576,03 €

5.1.2 Ausgaben für die Durchführung des Innovationsprojektes in €

	Budget	Abgerufene Mittel	Rest-Mittel
Personalausgaben, soweit sie in unmittelbarem Zusammenhang mit der Durchführung des Projektes entstanden und nachgewiesen sind (auch Dienstleister)	IV		
	285.330,00 €	297.270,73 €	- 11.940,73 €
Ausgaben für die Arbeit von Forschern im Kontext des Innovationsprojekts, Untersuchungen, Analysen und Tests, einschließlich Nutzungskosten für Maschinen und Geräte soweit sie für das Innovationsprojekt beschafft werden	V		
	60.480,00 €	48.875,84 €	11.604,16 €
Ausgaben für Aufwandentschädigungen und Nutzungskosten, die landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Unternehmen der Urproduktion bei der Umsetzung von Innovationsprojekten auf einzelbetrieblicher Ebene entstanden und nachgewiesen sind	VI		
	247.748,00 €	197.143,79 €	50.604,21 €
Reisekosten der Projektpartner	VII		
	18.000,00 €	6.558,93 €	11.441,07 €

Ausgaben für Material, Bedarfsmittel und dergleichen			
Ausgaben für den Zukauf von Patenten und Rechten sowie Lizenzgebühren			
Ausgaben für die Anschaffung von kleinen/geringfügigen Investitionsgütern bis zu einem Anschaffungswert von 410.-€			
Innovative Investitionsausgaben für Maschinen, Instrumente und Ausrüstungsgegenstände einschl. der dafür erforderlichen baulichen Anlagen			
Zwischensumme 2	611.558,00 €	549.849,29 €	61.708,71 €

5.2 Gesamtkosten

Zwischensumme 1	63.750,00 €	45.173,97 €	18.576,03 €
Zwischensumme 2	611.558,00 €	549.849,29 €	61.708,71 €
Insgesamt	658.343,95 €	595.023,26 €	80.284,74 €
Abzug MELUND			-16.964,05 €
Abzug MELUND			-227,97 €
	Rest		63.092,72 €

Stand: 15.07.19

II. Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn

a) Ausgangssituation

Mit den Beschlüssen zur Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) nach 2013 rückten Maßnahmen die zu einem verbesserten Klima-, Gewässer- bzw. Naturschutz führen in den Fokus des öffentlichen Interesses. Zum Zeitpunkt der Antragsstellung kündigten sich mit der anstehenden Novellierung der Düngeverordnung, den Anforderungen der EU-Wasserrahmenricht- und EU-Nitratrictlinie sowie der Einführung der Greening-Prämie und damit verbundenen konkreten Vorgaben für die Flächenbewirtschaftung (ökologische Vorrangflächen, Anbaudiversifizierung) große Veränderungen und Herausforderungen für die Landwirtschaft an.

Durch den großen Anteil des konventionellen Ackerbaus an der landwirtschaftlich genutzten Fläche Schleswig-Holsteins, bestand vor allem für diesen Bereich ein konkreter Handlungsbedarf. Neue nachhaltige Landnutzungskonzepte sollten entwickelt und bestehende weiter optimiert werden, wobei innerhalb der Operationellen Gruppe „N-Effizienzsteigerung im Ackerbau“ Fragen der Fruchtfolgegestaltung und innovative Düngekonzepte im Fokus standen.

Mit der seit 2017 geltenden Düngeverordnung, wurden für das Nährstoffmanagement landwirtschaftlicher Betriebe neue Regeln definiert, die unter anderem eine maximale

Nährstoffbilanz von 50 kg N/ha im Mittel über drei Jahre und bundesweit einheitliche N-Sollwerte pro Kultur vorschreiben. Kritisch für die N-Bilanz können Vorfrucht-Nachfrucht-Kombinationen sein, bei denen eine Kultur hohe N-Mengen nach der Ernte bzw. im Herbst hinterlässt, die dann von der Folgefrucht nicht vollständig aufgenommen werden können. Hier besteht besonders unter den schleswig-holsteinischen Witterungsbedingungen die Gefahr der N-Auswaschung über Winter. Zu den Kulturen mit erhöhten Bodennitratgehalten nach der Ernte, zählen Winterraps und Körnerleguminosen. Sie gelten gleichzeitig als sehr gute Vorfrüchte zu Wintergetreide, wobei diese die großen Mengen an Stickstoff im Herbst nicht komplett aufnehmen können, so dass ein erhöhtes N-Auswaschungsrisiko über Winter besteht. Da Raps einen großen Stellenwert im schleswig-holsteinischen Ackerbau hat und einen bedeutenden Teil der ackerbaulich genutzten Fläche einnimmt und durch die Greening-Prämie auch ein Anstieg der Körnerleguminosenfläche erwartet wurde, konnten diese Vorfrüchte gefolgt von Weizen oder anderem Wintergetreide bereits im Vorfeld des Projektes als kritische Punkte in ortsüblichen Fruchtfolgen identifiziert werden.

Für Winterweizen ist die N-Düngung nicht nur ertragsrelevant sondern auch entscheidend für den Rohproteingehalt und die Backqualität, dies kann in ungünstigen Fruchtfolgenstellungen (Stoppelweizen) zu nennenswerten N-Überschüssen führen. Da die Qualitätsgabe zu Winterweizen relativ spät fällt, besteht hier allerdings die Möglichkeit durch Einbeziehung der bisherigen Witterung den jahresspezifischen N-Bedarf besser abzuschätzen, was die Treffsicherheit der Düngebedarfsprognose erhöht und somit N-Überschüsse verringern kann.

b) Projektaufgabenstellung

Der Schwerpunkt des Projektes lag auf einer Optimierung der Düngeempfehlung für Winterweizen unter Berücksichtigung verschiedener Vorfrüchte, sowie auf der Reduktion des N-Auswaschungsrisikos nach Winterraps- und Körnerleguminosenanbau durch eine angepasste Fruchtfolgegestaltung.

Um diesen Fragestellungen gerecht zu werden, wurden im Rahmen des Projektes OnFarm Research-Streifenversuche auf Praxisschlägen und Exaktversuche mit Fokus auf der 3. N-Gabe angelegt. Außerdem befanden sich in den drei Naturräumen Schleswig-Holsteins (Marsch, Geest, Östliches Hügelland) Fruchtfolgesystemversuche.

Ziel war es, ein innovatives Modell zur Düngebedarfsermittlung von Winterweizen, welches auf der Internetplattform ISIP (www.isip.de) implementiert ist, unter Schleswig-Holsteinischen Bedingungen und Fruchtfolgen zu testen. Hierfür wurde in OFR-Streifenversuchen das Konzept der modellbasierten Düngeberatung im Vergleich zur bisherigen Düngepraxis auf dem Betrieb getestet. In den Exaktversuchen, die als Parzellenversuche etabliert waren, wurde die Güte der Modellempfehlung getestet und das modellbasierte System mit anderen verbreiteten Systemen verglichen.

Im Fokus der Fruchtfolgesystemversuche stand, das erhöhte N-Angebot nach Raps und Körnerleguminosen durch optimierte Fruchtfolgegestaltung und gleichzeitig angepasster N-Düngung im System zu konservieren und somit vor Auswaschung zu schützen. Da eine hohe Interaktionen mit Umwelt- und Jahreseffekten zu erwarten war, wurden zur validen Bewertung der Anbausysteme und Erstellung konkreter Handlungsempfehlungen im Bereich Fruchtfolgegestaltung, Parzellenversuche in jedem Naturraum Schleswig-Holsteins angelegt, in denen jedes Fruchtfolgeglied in jedem Jahr angebaut wurde.

III. Ergebnisse der OG

a) Wie wurde die Zusammenarbeit im Einzelnen gestaltet?

Das EIP-Projekt gliederte sich in verschiedene Versuche: OFR auf Praxis schlägen, Exakt- und Fruchtfolgesystemversuche. Die Versuche auch Betriebsschlägen wurden von Landwirten durchgeführt, die dabei von Mitarbeitern der Universität Kiel betreut wurden. Die Exakt- und Fruchtfolgesystemversuche wurden an zwei Standorten in Schleswig-Holstein (Barlt in der Marsch und Hohenschulen im Östlichen Hügelland) angelegt, ein weiterer Fruchtfolgesystemversuch lag in Schuby (Geest). Die Versuche in Schuby und Barlt befanden sich auf Flächen der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, während für die Versuche im Östlichen Hügelland Schläge auf der Versuchsgut Hohenschulen der Universität Kiel zur Verfügung gestellt wurden. Für die Versuchsdurchführung (Anlage, Düngung, Pflanzenschutzmitteleinsatz, Aussaat und Ernte) waren an den Standorten Mitarbeiter der jeweiligen Institution zuständig. Für die Fruchtfolgesystemversuche wurde zu Beginn des Projektes ein engmaschiges Messprogramm (Abbildung 9, Seite 23) festgelegt. Dieses wurde von Mitarbeitern der CAU und im Projekt eingestellten Studentischen bzw. Wissenschaftlichen Hilfskräften durchgeführt.

Die Auswertung der Daten erfolgte so zeitnah wie möglich und wurde den Mitgliedern der OG bei regelmäßigen Workshops kommuniziert. Entscheidungen, die die Versuchsplanung (Wahl der Zwischenfrucht, Aufgabe eines Standortes usw.) betrafen, wurden ebenfalls im Rahmen dieser Treffen diskutiert und gemeinsam beschlossen.

b) Was war der besondere Mehrwert des Formates einer OG für die Durchführung des Projekts?

Innerhalb der OG konnten im Gegensatz zu klassischen Forschungsprojekten bereits sehr frühzeitig die zur Verfügung stehenden Optionen im Rahmen der Projektplanung sowie projektbegleitend erste Projektergebnisse diskutiert werden.

c) Ist eine weitere Zusammenarbeit der Mitglieder der OG nach Abschluss des geförderten Projekts vorgesehen?

Ursprünglich war vorgesehen die Versuche zunächst für die ersten drei Jahre anzulegen, allerdings mit der Option, die Laufzeit um drei weitere Jahre zu verlängern. Insbesondere für

die Fruchtfolgesystemversuche wäre dies wichtig gewesen, um aussagekräftige, mehrjährige Daten generieren zu können. Eine einfache Verlängerung war im Rahmen der EIP-Förderung, wie sich später herausstellte, jedoch nicht möglich. Aus diesem Grund wurde zunächst eine kostenneutrale Verlängerung um ein Jahr beantragt, so dass im Teilprojekt Fruchtfolgesystemversuche zumindest eine zweite Ernte mit Vorfruchtwirkung durchgeführt werden konnte. Zudem wurden in der OG gemeinsam Ideen für einen Neuantrag gesammelt. Weiterhin sollte die Abschätzung der N-Nachlieferung verschiedener Vorfrüchte bzw. Zwischenfrüchte in erweiterten Fruchtfolgen im Fokus der Operationellen Gruppe stehen. Hierfür hätten die bereits angelegten Fruchtfolgesystemversuche genutzt werden können. Mithilfe von Drohnentechnologie sollten Algorithmen für die N-Nachlieferungsabschätzung entwickelt werden, welche dann auf verschiedenen Praxis-Betrieben in OnFarm-Research-Versuchen getestet werden sollten. Das Projekt wurde im 2. Call nicht berücksichtigt, so dass zurzeit keine weitere Zusammenarbeit der OG-Mitglieder stattfindet.

IV. Ergebnisse des Innovationsprojektes

a) Zielerreichung (wurde eine Innovation im Projekt generiert?)

Die Ergebnisse des Projektes legen nahe, dass durch eine angepasste Fruchtfolgegestaltung und eine optimierte, modellgestützte Düngung die N-Effizienz erhöht, N-Bilanzen gesenkt und Auswaschungsverluste verringert werden können. Die Umsetzung in die Praxis ist jedoch von vielen weiteren Faktoren abhängig, Arbeitsspitzen oder technische Voraussetzung führen dazu, dass eine Umstellung der Fruchtfolge nicht für jeden Betrieb ohne weiteres machbar ist.

Dieses Innovationsprojekt zeigt verschiedene Möglichkeiten auf, die zu einer nachhaltigeren Landwirtschaft führen können. Inwiefern sie für jeden einzelnen Betriebsleiter umsetzbar sind, muss von Fall zu Fall entschieden werden.

b) Abweichungen zwischen Projektplan und Ergebnissen

Tabelle 1: Indikativer Zeitplan

Maßnahme	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
	2015		2016				2017				2018				2019	
OFR-Versuche																
Parzellenversuche Marsch																
Parzellenversuche Geest																
Parzellenversuche östliches Hügelland																
Bodenproben OFR																
Bodenproben Marsch																
Bodenproben Geest																
Bodenproben Hügelland																
Nicht-destruktive Untersuchungen																
Weiterentwicklung Beratungstool																
Auswertung und Empfehlungen																
Workshop, Hoftage, Öffentlichkeitsarbeit																

Tabelle 2: Durchgeführter Zeitplan

Maßnahme	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
	2015		2016				2017				2018				2019	
OFR-Versuche																
Parzellenversuche Marsch																
Parzellenversuche Geest																
Parzellenversuche östliches Hügelland																
Bodenproben OFR																
Bodenproben Marsch																
Bodenproben Geest																
Bodenproben Hügelland																
Nicht-destruktive Untersuchungen																
Weiterentwicklung Beratungstool																
Auswertung und Empfehlungen																
Workshop, Hoftage, Öffentlichkeitsarbeit																

c) Projektverlauf

OnFarm Research

Im Rahmen der OFR-Streifenversuche auf Praxisflächen wurde ein innovatives Modell zur Düngedarfsermittlung von Winterweizen, welches auf der Internetplattform ISIP (www.isip.de) implementiert ist, unter Schleswig-Holsteinischen Bedingungen getestet.



Abbildung 1: Standorte der OFR- (rot) und der Exaktversuche (grün).

Das Modell errechnet zunächst aus Benutzereingaben den N-Bedarf des Bestandes und das N-Angebot des Bodens, dieses besteht aus der N-Düngung zuzüglich des mineralischen Stickstoffs (N_{\min}) zu Vegetationsbeginn. Die Ermittlung des N-Angebotes erfolgte in zwei Stufen: zunächst standortspezifisch unter Berücksichtigung von zahlreichen Schlagparametern und danach jahresspezifisch unter Berücksichtigung der Jahreswitterung von der Aussaat bis zur Ährengabe im Vergleich zu langjährigen Klimadaten. Anschließend werden wichtige Bilanzkomponenten durch das Weizenmodell HumeWheat angepasst. Hierzu werden die aktuellen Witterungsdaten in Bezug zur langjährigen Witterung (Klima) am Standort gesetzt. HumeWheat berechnet unter anderem den Bodenwasser- und Stickstoffhaushalt, die N-Aufnahme im Bestand sowie N-Auswaschungsverluste. Das standorttypische Klima wird außerdem dazu herangezogen, um die weitere Entwicklung bis zur Ernte, in Bezug auf N-Bedarf des Bestandes und N-Angebot des Bodens, zu schätzen.

Um die Güte der Modellempfehlung zu testen, wurden in drei Jahren wiederholte Streifenversuche auf Praxisschlägen durchgeführt (Abbildung 1, Seite 13 & Tabelle 3). Hierbei stand der Vergleich von Modellempfehlung und ortsüblicher Düngung im Mittelpunkt. In Zusammenarbeit mit Landwirten aus Mecklenburg-Vorpommern, der YARA GmbH & Co. KG und der Landwirtschaftlichen Unternehmensberatung GBB, wurde das Modell in der Saison 2015/2016 zusätzlich mit zwei sensorgestützten Düngesystemen (ISARIA®, Yara N-Sensor®) verglichen. 2018 wurde neben der einheitlichen Ausbringung auch eine drohnengestützte, teilflächenspezifische Variante auf Betriebsschlägen getestet.

Tabelle 3: Liste der Landwirte, die OFR-Streifenversuche durchgeführt haben.

2015/2016	2016/2017	2017/2018
- K. Kühlmann (Gut Löhndorf)	- H. Brockmann (Sarlhusen)	- T. Brauns (Sprengerhof)
- P. Mönkemeier (Gut Schmoel)	- R. Hartman-Paulsen (Hasenkrug)	- H. Brockmann (Sarlhusen)
- B. Preuß-Driessen (Gut Grünholz)	- S. Huesmann (Hohwacht)	- H. Frank (Gut Hülsenhain)
	- K. Kühlmann (Gut Löhndorf)	- S. Huesmann (Hohwacht)
	- B. Preuß-Driessen (Gut Grünholz)	- K. Kühlmann (Gut Löhndorf)

2016 wurde vom Modell als durchschnittliches Erntejahr richtig prognostiziert. Wegen eines Kälteeinbruchs im April wurden, trotz der guten Herbstentwicklung, nur durchschnittliche Erträge durch das Modell vorhergesagt. Die N-Nachlieferung des Bodens und die N-Aufnahme der Bestände im Herbst wurden Ende Mai als überdurchschnittlich eingeschätzt. Da im März kaum Niederschläge fielen, waren die simulierten N-Auswaschungsverluste im Frühjahr gegenüber den Referenzjahren auf allen Standorten besonders niedrig. Dies waren die wesentlichen Gründe dafür, dass das Modell für die N-Spätgabe Ende Mai Abschläge von 10-14 kg N/ha empfahl.

Auf Gut Grünholz und Gut Schmoel wurde von einer Auswertung der Ergebnisse abgesehen, da die Modellempfehlungen hier sehr nahe an der betriebsüblichen Referenz lagen. Für die Fläche auf Gut Löhndorf ergaben sich gleiche Erträge trotz einer deutlicher N-Einsparungen (-44 kg N/ha) in der Modellvariante.

Der Vergleich der modellgestützten Düngeempfehlung mit der betriebsüblichen N-Düngung und weiteren Düngesystemen im Rahmen der Kooperation mit der GBB, ergab für den Betrieb Holm-Hagge GbR in Warnkenhagen (Mecklenburg-Vorpommern) eine 19 kg N/ha

niedrigere Modellempfehlung als die betriebsübliche Düngung. Es zeigten sich keine signifikanten Ertragsdifferenzen. In Dersekow (GBB Düngesystemvergleich) entsprach die Modellempfehlung der betriebsüblichen Düngung (Tabelle 4). Die sensorgestützten Düngesysteme (ISARIA® und Yara N-Sensor®) wurden sowohl einheitlich als auch teilflächenspezifisch ausgebracht, keine der getesteten Varianten zeigte signifikante Ertragsdifferenzen gegenüber der Variante „Betriebsüblich“. Allerdings erzielten die Yara N-Sensor®-Varianten signifikant niedrigere Rohproteingehalte im Vergleich zur betriebsüblichen Variante (Tabelle 4).

Tabelle 4: Ausgebrachte N-Mengen, mittlere Erträge und Rohproteingehalte der einzelnen Varianten im OFR-Düngesystemvergleich 2016 der GBB in Dersekow (* signifikant niedriger als Variante „Betriebsüblich“).

Variante	N-Düngung (kg/ha)	Ertrag (dt/ha)	Rohproteingehalt (%)
Betriebsüblich	200	99.6	11.1
Modellempfehlung	203	98.1	11.3
Yara N-Sensor® (einheitlich)	140	93.7	9.7*
Yara N-Sensor® (teilflächenspezifisch)	140	96.0	9.6*
ISARIA® (einheitlich)	217	101.3	10.9
ISARIA® (teilflächenspezifisch)	217	100.7	11.1

Insgesamt war die Witterung in der Saison 2016/17 sehr variabel, das Modell prognostizierte für die Ernte 2017 wegen eines Kälteeinbruchs im April und der hieraus resultierenden verzögerten Blattentwicklung, auf den meisten Standorten nur durchschnittliche Erträge. Die N-Nachlieferung des Bodens und die N-Aufnahme der Bestände im Herbst wurden Ende Mai deutlich unterschiedlich eingeschätzt. Die Wahrscheinlichkeit für erhöhte N_{\min} -Werte im Frühjahr wurde rechtzeitig erkannt, durch dann folgenden teilweise sehr starke Niederschläge, waren die simulierten N-Auswaschungsverluste gegenüber den Referenzjahren auf einigen Standorten besonders hoch. Je nach Standort und Bodengüte, ergaben sich für die N-Spätgabe Ende Mai Zu- bzw. Abschläge von -20 bis +13 kg N/ha.

Die Versuche auf Gut Grünholz und in Hohwacht wurden 2017 nicht bis zur Beerntung durchgeführt. Die modellierte Düngeempfehlung für die Standorte Sarlhusen und Gut Löhndorf fiel im Vergleich zur Betriebsvariante niedriger aus, trotzdem ergaben sich keine signifikanten Ertragsdifferenzen. Am Standort Hasenkrug führte die Modellvariante zu

signifikant niedrigeren Erträgen (Abbildung 2, Seite 16). Allerdings ist hierbei zu beachten, dass es an diesem Standort zu Auffälligkeiten in den vom DWD (Radolan-Wetter über ISIP) bezogenen Wetterdaten kam. Zwischen Juli 2016 und April 2017 wurden hier extrem niedrige Niederschlagsmengen festgehalten, ganz im Gegensatz zu dem nur 2 km entfernten Standort Sarlhusen. Eine so starke Differenz erschien nicht plausibel, weshalb die Werte mit dem vom Landwirt vor Ort erhobenen Daten (einfacher Regensammler) verglichen wurden. Es bestätigte sich, dass die DWD-Niederschlagsdaten den Standort nicht repräsentieren. Um den Modellfehler für die Düngeempfehlung zu minimieren, wurde die Berechnungsoption im Modell aktiviert. Trotzdem kam es vermutlich zu einer verzerrten Ertragserwartung und zu unrealistisch prognostizierten N-Auswaschungen. In den Fällen, in denen plausible Witterungsinformationen vorlagen, konnten die N-Bilanzüberhänge durch Düngung nach Modellempfehlung im Vergleich zur betriebsüblichen Variante signifikant und zudem unter 50 kg N/ha gesenkt werden, bei gleichen oder höheren Deckungsbeiträgen (Abbildung 3, Seite 17).

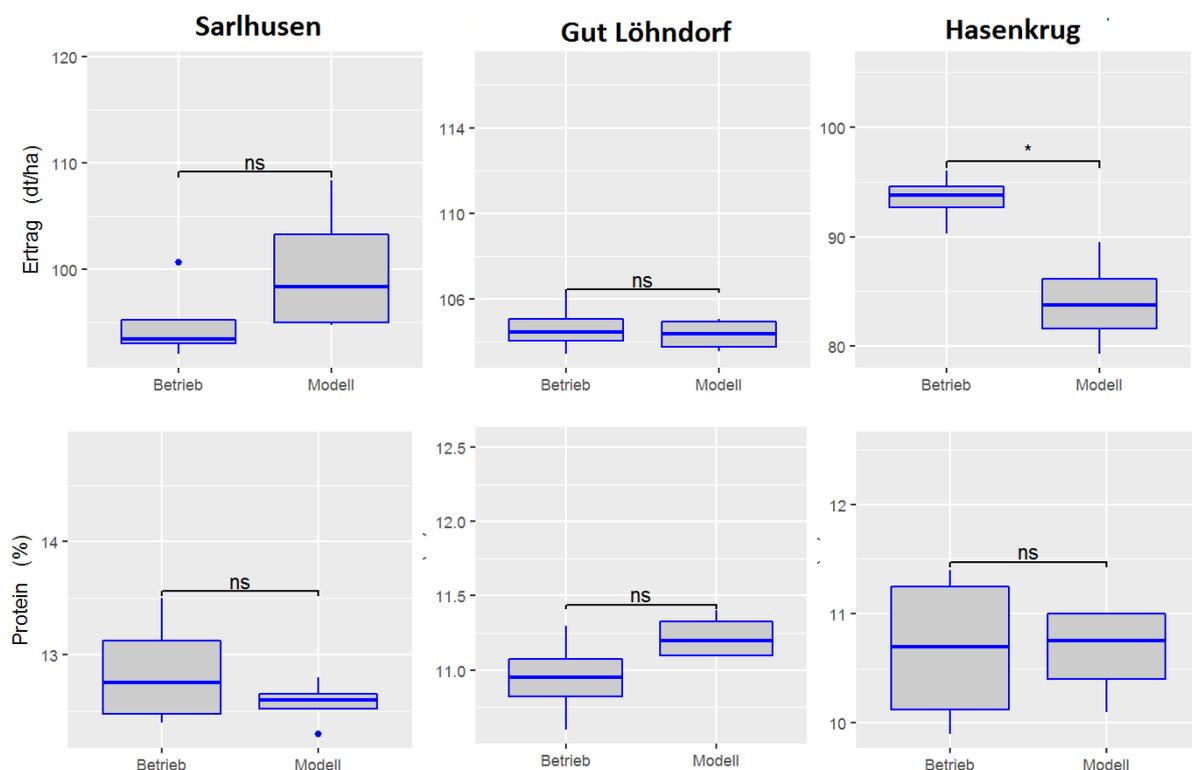


Abbildung 2: Vergleich der mittleren Erträge und Rohproteingehalte von betriebsüblicher Düngung und Düngung nach Modellempfehlung für das Jahr 2017 auf den verschiedenen Betriebschlägen.

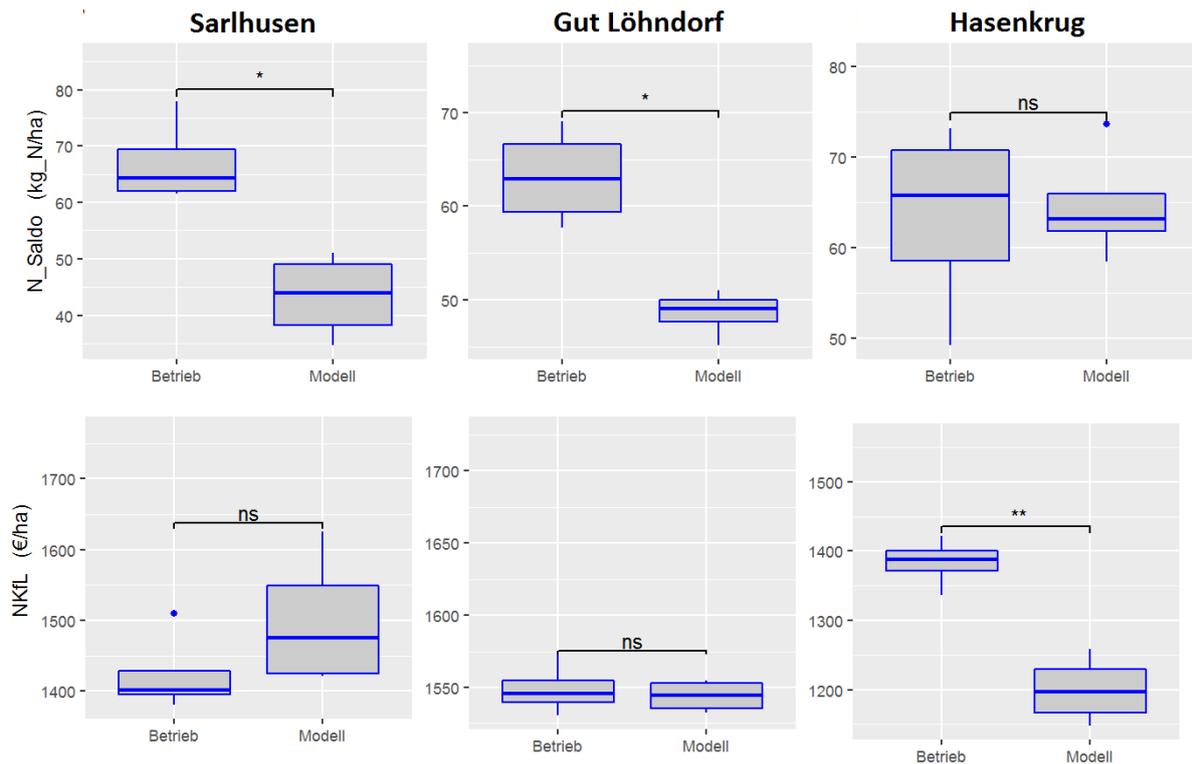


Abbildung 3: Vergleich des mittleren N-Saldos und der N-Kosten freien Leistungen (NKfL) von betriebsüblicher Düngung und Düngung nach Modellempfehlung für das Jahr 2017 (proteinabhängiger Weizenpreis: 148 – 160 €/t, N-Preis: 0.9 €/kg N).

Das Erntejahr 2018 war durch hohe Niederschläge im Herbst 2017 gefolgt von einer starken Trockenheit ab Mitte April 2018 geprägt. Im Mai fielen praktisch keine Niederschläge, so dass sich bereits zur Ährengabe (Ende Mai bis Anfang Juni) eine leichte Trockenheit abzeichnete. Der April und Mai waren überdurchschnittlich warm und das Modell ging zu diesem Zeitpunkt von einer erhöhten N-Nachlieferung und einer leicht reduzierten Ertragsersparnis aus. Die durch die Herbstwitterung verursachten Probleme im Bereich Bodenstruktur und Bestandesetablierung können von dem Modell jedoch nicht abgebildet werden. Die Modelleinschätzungen beziehen sich daher auf gut etablierte Bestände bzw. Teilstücke eines Schläges. Für den weiteren Verlauf der Ertragsbildung ging das Modell von durchschnittlichen Niederschlägen aus. Die extreme Dürre, die auf einigen Standorten folgte, konnte zum Zeitpunkt der Düngeempfehlung nicht vorhergesehen werden. Für alle OFR-Versuche empfahl das Modell eine moderat niedrigere N-Menge als die betriebsübliche Düngung (Tabelle 5, Seite 18).

Tabelle 5: Vergleich der betriebsüblichen Düngung und der Modellempfehlung für die OFR-Versuche 2018.

Standort	N-Düngung (kg/ha)	
	betriebsüblich	Modellempfehlung
Sprengerhof	212	208
Sarlhusen	225	208
Gut Hülsenhain	223	208
Hohwacht	210	200
Gut Löhndorf	227	204

Neben der betriebsüblichen Variante und der Düngung nach Modellempfehlung wurde 2018 auch eine teilflächenspezifische Variante getestet. Diese Versuche erfolgten in Zusammenarbeit mit dem Forschungsprojekt „Steigerung der N-Effizienz im Ackerbau durch sensor- und modellgestützte teilflächenspezifische Stickstoffdüngung“, welches durch die Stiftung 'Schleswig-Holsteinische Landschaft' gefördert wird. Die Schläge wurden dafür mehrmals mit einer Drohne (eBee, senseFly) überflogen, wobei die spektrale Reflektion (Sequoia-Sensor, Parrot) gemessen wurde bzw. Thermographie-Aufnahmen (thermoMAP, senseFly) gemacht wurden. Aus der spektralen Reflektion wurde der Bestandesflächenindex (GAI) geschätzt. Daneben wurde eine Simulationsstudie, unter Annahme verschiedener Bodentexturen, durchgeführt. Das Modell kann sowohl den GAI als auch die Bestandesgrenzflächentemperatur simulieren. Durch Gegenüberstellung von Drohnen-Beobachtungen und Simulationsergebnissen konnte den verschiedenen Koordinaten im Feld Bodeneigenschaften zugeordnet und auf Unterschiede in der potentiellen N-Aufnahme zur Ernte geschlossen werden.

Auf Gut Löhndorf und in Hohwacht konnte aufgrund der Witterung keine Ährenschnittdüngung auf den Betriebsflächen durchgeführt werden. Zudem kam es zu unterschiedlichen Schwierigkeiten bei der technischen Umsetzung der teilflächenspezifischen Düngung, so dass in diesem Jahr keine verwertbaren Daten im Rahmen der OFR-Versuche erzeugt wurden.

Exaktversuche

Um die Güte der Modellempfehlung, die in den OFR-Versuchen auf Praxisstandorten durchgeführt wurde, zu überprüfen, wurden zusätzlich Exaktversuche in der Marsch und im Östlichen Hügelland in Form von Parzellenversuchen angelegt (Abbildung 1, Seite 13). Hierbei lag der Fokus auf den jahresspezifischen Zu- bzw. Abschläge bei der 3. N-Gabe.

Beide Standorte zeigten 2015/2016 in Bezug auf die dritte N-Gabe deutliche Unterschiede bei der N-Aufnahmeeffizienz ins Korn. Auf Hohenschulen lag die N-Effizienz bei nur 62%, da in den 14 Tagen nach der Düngung keine Niederschläge fielen. In Barlt waren die Niederschlagsverhältnisse in den drei Wochen nach Düngung hingegen optimal, so konnte eine N-Effizienz von fast 93% erzielt werden. Hieraus ergaben sich auch Unterschiede im N-Saldo (Abbildung 4).

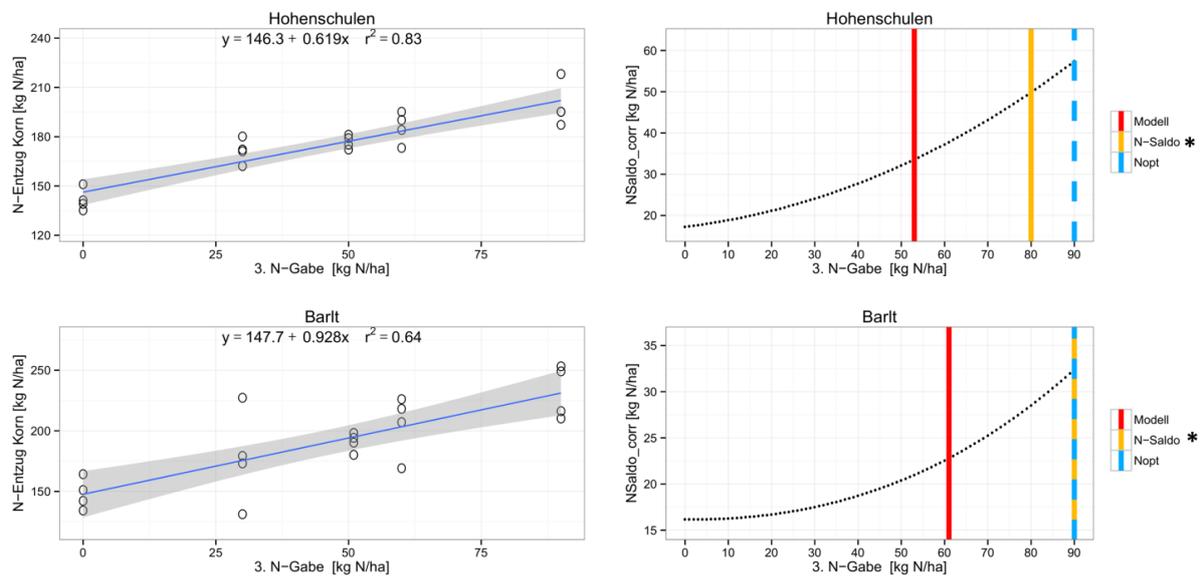


Abbildung 4: N-Abfuhr über das Korn als Funktion der 3. N-Gabe für die Standorte der Exaktversuche 2016. Die Steigung der Beziehung gibt Aufschluss über die N-Aufnahmeeffizienz (links). N-Saldo (gestrichelte Linie) in Abhängigkeit von der Höhe der Qualitätsdüngung. Modellempfehlung (rot), N-Menge, bei der das N-Saldo unterhalb von 50 kg N/ha liegt (gelb), ökonomisches Optimum (blau; Preisannahmen: 14 €/dt, 1 €/kg N) (rechts).

An beiden Standorten wurde die A-Weizensorte RGT Reform angebaut. Für Hohenschulen wurde ein Rohproteingehalt von über 13% angestrebt, für den Marschstandort wurden 12% Rohproteingehalt als realistisch eingeschätzt. Diese Werte gingen als Eingabeparameter ins Modell ein. Mit der Modellempfehlung konnte im Östlichen Hügelland A-Weizenqualität erreicht werden, die Erträge waren jedoch niedriger als in der Marsch. Dort konnte bei einer Qualitätsgabe von mehr als 80 kg N/ha ebenfalls A-Weizenqualität erreicht werden.

2017 lieferte der Exaktversuch in der Marsch witterungsbedingt und wegen Problemen bei der Versuchsdurchführung keine verwertbaren Ergebnisse. In Tabelle 6 (Seite 20) sind die Ergebnisse vom Versuchsstandort Hohenschulen zusammengefasst. Es zeigte sich eine

deutliche Wirksamkeit der 3. N-Gabe in Bezug auf den Rohproteingehalt. Für die Varianten Düngung nach Düngeverordnung (DüV) und Düngung nach Modellempfehlung (Modell) wurde ein statistischer Mittelwertvergleich (Varianzanalyse) durchgeführt. Für die Backweizenproduktion ist ein Rohproteingehalt von über 12% erforderlich. Dieses Qualitätskriterium wurde mit der Variante DüV nicht erreicht. Der N-Bilanzüberhang (N-Saldo) war in der Modellvariante signifikant höher, jedoch weit unterhalb der im dreijährigen Mittel erlaubten 50 kg N/ha (Tabelle 6, Seite 20).

Tabelle 6: Ergebnisse des Exaktversuches auf Hohenschulen 2017. Dargestellt sind die Mittelwerte der Prüfglieder 3. N-Gabe 0-90 kg N/ha, Variante nach Düngeverordnung (DüV) und Düngung nach Modellempfehlung (Modell). Signifikante Mittelwertdifferenzen (DüV gegen Modell) sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet. *Parzellenerträge um 0.9 korrigiert; **proteinabhängiger Weizenpreis: 148 – 160 €/t, N-Preis: 0.9 €/kg N

Düngung (kg N/ha)	Ertrag (dt/ha)	Rohprotein (%)	N-Abfuhr (kg N/ha)	N-Saldo* (kg/ha)	NKfL** (€/ha)
0	100	11.0	165	-11.4	1335
30	103	11.8	184	0.3	1368
60	108	13	211	2.7	1474
90	107	13.7	220	24.1	1486
36 (DüV)	103	11.9 ^(b)	186	-4.7 ^(b)	1375
78 (Modell)	106	13.2 ^(a)	212	20.5 ^(a)	1459

Aufgrund der Witterung im Herbst 2017 konnte der Exaktversuch am Standort Barlt nicht angelegt werden. Für Hohenschulen empfahl das Modell Ende Mai eine Düngemenge von 59 kg N/ha. Zu diesem Zeitpunkt war die Ertragserwartung leicht unterdurchschnittlich und es wurde somit eine um 7.5 kg N/ha reduzierte N-Düngung empfohlen.

Fruchtfolgesystemversuche

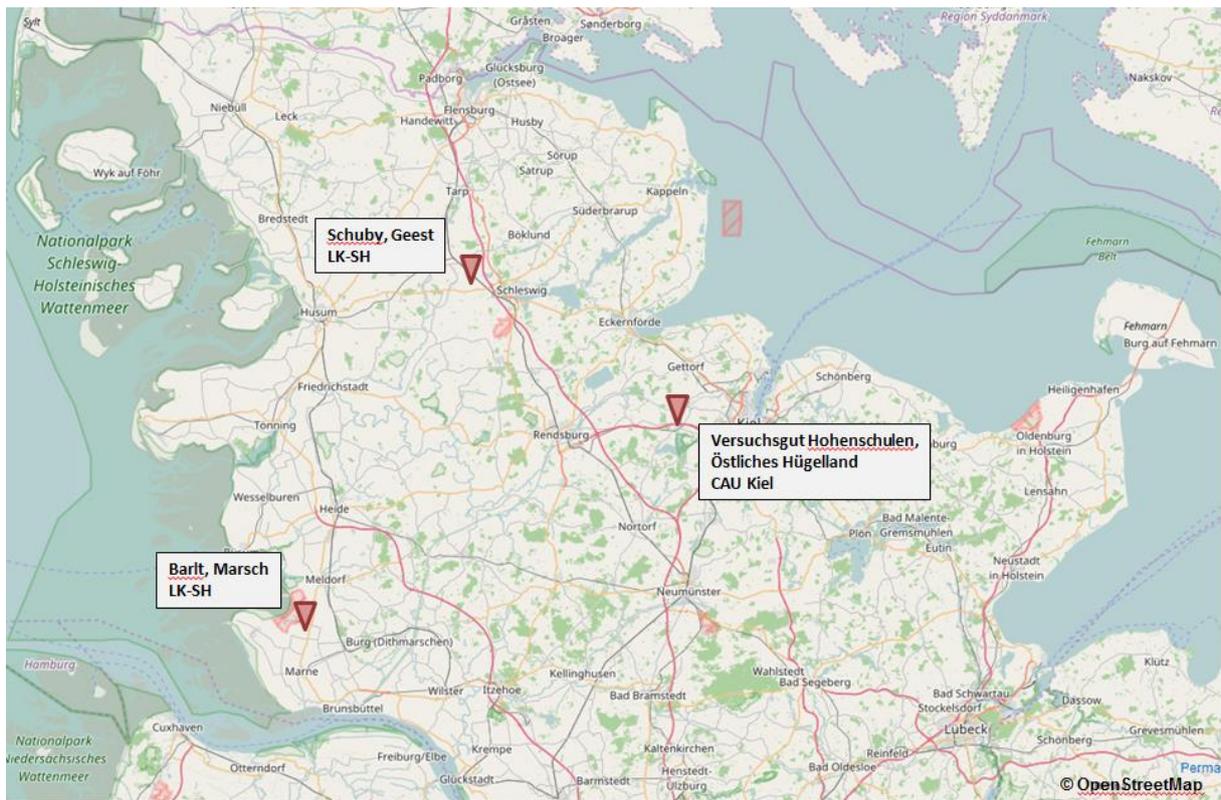


Abbildung 5: Standorte der Fruchtfolgesystemversuche.

Im Rahmen der Fruchtfolgesystemversuche wurde für jeden Naturraum (Marsch, Geest, Östliches Hügelland, Abbildung 5) eine ortsübliche Fruchtfolge definiert. An jedem Standort wurden drei weitere Fruchtfolgen angelegt, die sich mit der Frage, der sinnvollen Integration einer Körnerleguminose sowie alternativen Vorfrucht-Nachfrucht-Kombinationen und naturraumspezifischen Problemstellungen befassen (Abbildung 6, Seite 22, Abbildung 7, Seite 22 & Abbildung 8, Seite 23). Die Fruchtfolgen wurden im Vorfeld des Projektes festgelegt. Insgesamt umfassten die Anbausystemversuche 13 Kulturen in zehn verschiedenen Fruchtfolgen.

Zu Beginn des Projektes wurde zunächst ein Messplan für die drei Standorte entwickelt. Während am Standort Hohenschulen (Östliches Hügelland) ein intensives Messprogramm durchgeführt wurde, war in Schuby (Geest) und Barlt (Marsch) ein Basisprogramm geplant (Abbildung 9, Seite 23).

Marsch



Abbildung 6: Fruchtfolgen des Anbausystemversuches am Standort Barlt (Marsch).

Geest



Abbildung 7: Fruchtfolgen des Anbausystemversuches am Standort Schuby (Geest).



Abbildung 8: Fruchtfolgen des Anbausystemversuches am Standort Hohenschulen (Östliches Hügelland).

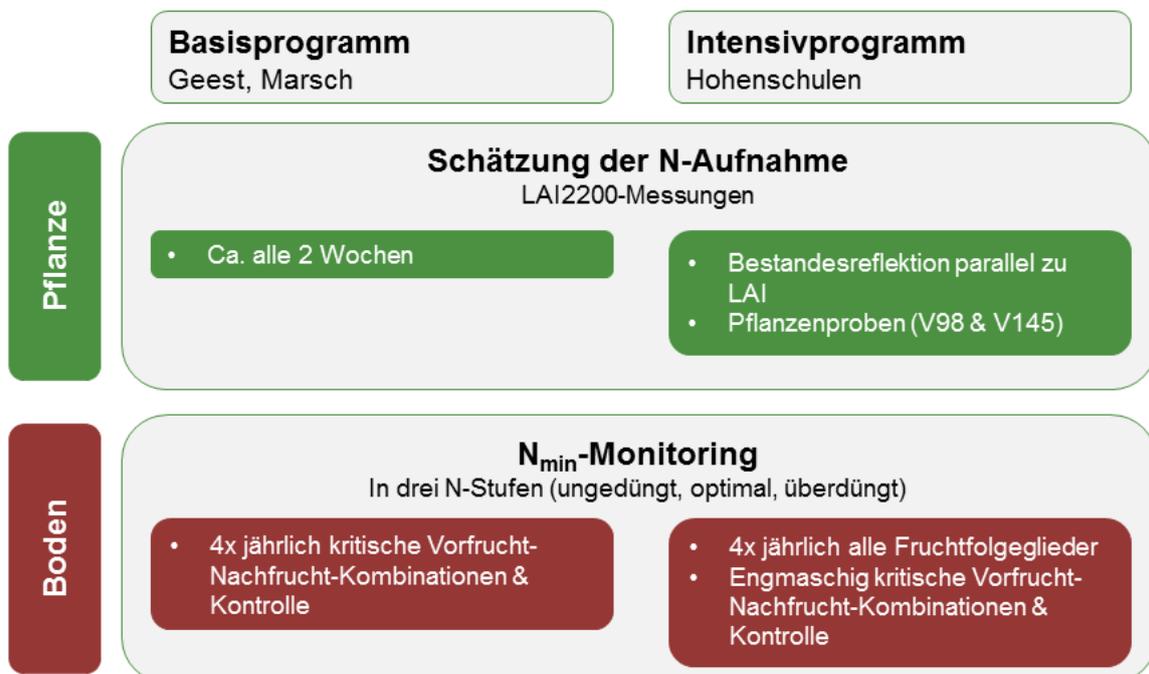


Abbildung 9: Messprogramm der Fruchtfolgesystemversuche.

Im intensiven Messprogramm wurde mit einem LAI-2200 (LI-Cor) regelmäßig die Blattfläche nicht-destruktiv bestimmt, parallel dazu wurden Bestandesreflektionsmessungen mit einem Handspektrometer (HandySpec® Field, tec5) durchgeführt. Aus diesen Daten konnte dann die N-Aufnahme der Bestände im zeitlichen Verlauf geschätzt werden. Um die Dynamik des mineralischen Stickstoffs im Boden (N_{\min}) nach der Ernte bis zum Vegetationsbeginn in verschiedenen Vorfrucht-Nachfrucht-Kombinationen zu analysieren, wurden zu vier Terminen (Nachernte, Ende Oktober, Vegetationsende und Vegetationsbeginn) N_{\min} -Bodenproben (Tiefe: 0-90cm) in den Düngegraden N0 (nicht gedüngt), N3 (optimal gedüngt) und N4 (überdüngt) in allen Kulturen gezogen. In kürzeren Zeitintervallen (etwa zweiwöchentlich) wurde eine Beprobung in den kritischen Vorfrucht-Nachfrucht-Kombinationen (Raps-Weizen bzw. Ackerbohne-Weizen im Vergleich zu Raps-Zwischenfrucht-Mais und Ackerbohne-Raps) in denselben Düngegraden durchgeführt.

Das Basismessprogramm umfasste ebenfalls regelmäßige LAI-2200-Messungen, zur Ableitung der N-Aufnahme. Da sich die N-Aufnahme im Mais nicht durch LAI-Messungen abbilden lässt, wurde am Standort Schuby in dieser Kultur wie im intensiven Messprogramm die Bestandesreflektion mit dem Handspektrometer gemessen. Außerdem wurden auch hier in ausgewählten kritischen Vorfrucht-Nachfrucht-Kombinationen der pflanzenverfügbare Stickstoff im Boden an vier Terminen (Nachernte, Ende Oktober, Vegetationsende und Vegetationsbeginn) in den N-Stufen N0, N3 und N4 gemessen.

Die Anbausystemversuche wurden im Spätsommer bzw. Herbst 2015 angelegt. Die Bestandesetablierung insbesondere beim Winterraps gestaltete sich in Schuby und Barlt schwierig. Durch ungünstige Witterungsbedingungen kam es zudem zu weiteren Schäden am Marsch-Standort, so dass hier der Winterraps im ersten Versuchsjahr umgebrochen und durch Ackerbohnen ersetzt werden musste.

Für Hohenschulen sind die im Nachhinein berechnete optimale Düngung (N_{opt}) sowie nach Empfehlung der Düngeverordnung des ersten Erntejahres in Tabelle 7 (Seite 25) zusammengefasst. Die Düngeempfehlung nach DüV entsprach in etwa dem berechneten N_{opt} .

Aufgrund von Fehler bei der N-Düngung, bei der Ernte und der Etikettierung von Unterproben in Barlt und Schuby war hier eine Parzellenzuordnung der Druschdaten nicht möglich. Dies führte dazu, dass eine Auswertung der Erträge nicht durchgeführt werden konnte.

Tabelle 7: Optimale N-Düngung (N_{opt}) sowie N-Düngung nach Empfehlung der Düngeverordnung ($N_{DüV}$) und damit erzielbare Erträge pro Kultur am Standort Hohenschulen im Nachhinein für die Ernte 2016 berechnet (Preisannahmen: 34 €/dt Raps_{91%}, 15.5 €/dt Weizen_{86%}, 13.5 €/dt Gerste_{86%}, 2.58 €/dt Mais_{28%TS}, 0.74 €/kg N).

Kultur	N_{opt} (kg N/ha)	Ertrag bei N_{opt} (dt/ha)	$N_{DüV}$ (kg N/ha)	Ertrag bei $N_{DüV}$ (dt/ha)
Winterraps	176	30.2	177	30
Winterweizen	220	82	211	81
Wintergerste	179	73	177	73
Mais	167	523	163	522

Tabelle 8: Niederschläge von August bis März an den Versuchsstandorten im Herbst und Winter 2016/2017 sowie im langjährigen Durchschnitt.

Monat	Hohenschulen		Schuby		Barlt	
	Mittelwert (1992-2016)	2016/2017	Mittelwert (1985-2016)	2016/2017	Mittelwert (1985-2016)	2016/2017
August	77.6	56.5	90.1	71.4	91.6	81.9
September	66.8	53.6	83.0	44.1	87.1	40.5
Oktober	67.1	99.1	88.0	61.0	78.9	32.2
November	60.5	36.5	76.9	45.2	69.2	43.3
Dezember	67.1	33.5	86.3	59.8	70.3	48.0
Januar	59.9	26.1	81.1	46.7	59.1	43.2
Februar	44.3	48.8	59.8	74.0	44.1	44.2
März	43.7	50.1	59.5	57.3	46.2	48.9

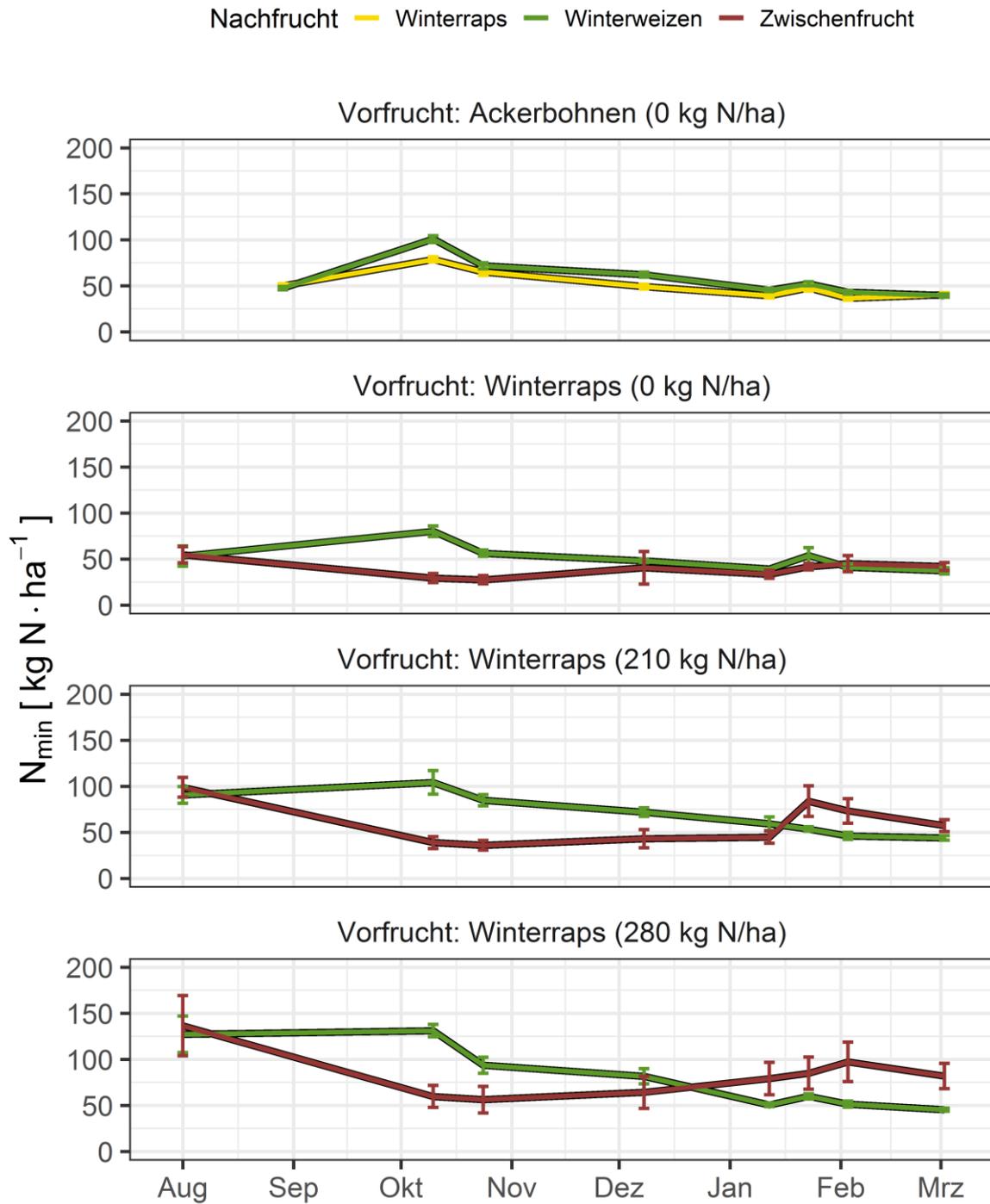


Abbildung 10: N-Dynamik (0-90cm) nach Ackerbohnen und Winterraps mit unterschiedlichen Düngeneiveaus unter variierenden Folgefrüchten am Standort Hohenschulen (2016/2017).

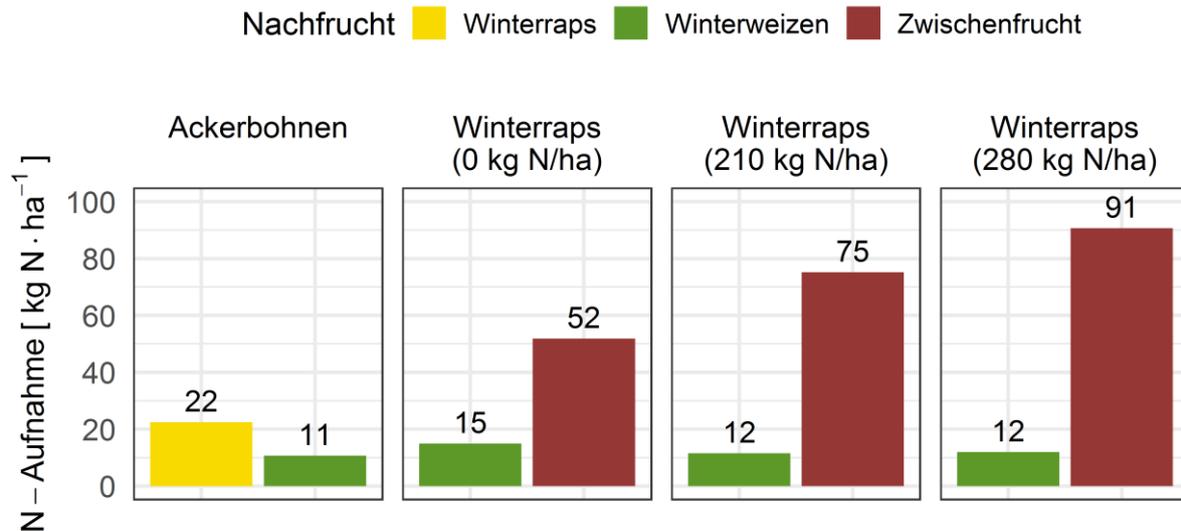


Abbildung 11: N-Aufnahme nach Ackerbohnen und Winterraps mit unterschiedlichen Dünge-niveaus durch variierende Nachfrüchte am Standort Hohenschulen (Dezember 2016).

Die Nachernte- N_{\min} -Gehalte lagen nach Körnerleguminosen sowohl in Schuby als auch in Hohenschulen über 50 kg N/ha, auch die Werte nach Raps waren sehr hoch (Abbildung 10, Seite 26 & Abbildung 12, Seite 28), was mit niedrigen Raps-Erträgen (Tabelle 7, Seite 25) und damit verbundenen geringen N-Abfuhr zu erklären ist.

Die N_{\min} -Verläufe der kritischen Fruchtfolgekombinationen am Standort Hohenschulen unterschieden sich deutlich zwischen den verschiedenen Vorfrucht-Nachfrucht-Kombinationen (Abbildung 10, Seite 26). Nach Ackerbohnen kam es, sowohl unter Winterweizen als auch unter Winterraps als Folgefrucht zunächst zu einem deutlichen Anstieg des mineralischen Stickstoffs im Boden, vermutlich hervorgerufen durch eine schnelle Mineralisation der Ernterückstände. Aufgrund eines Starkregenereignisses kurz nach der Raps-Aussaat, musste dieser am 13. September 2016 erneut gesät werden. Diese späte Aussaat spiegelte sich bis zum Vegetationsende auch in deutlich kleineren Pflanzen mit geringen Stickstoffaufnahmen wieder (Abbildung 11). Die Zwischenfrucht (Rauhafer) zeichnete sich, wie auch in den N_{\min} -Verläufen sichtbar, durch eine schnelle Jugendentwicklung mit hoher N-Aufnahme aus: unabhängig von der Dünge-stufe der Vorfrucht, nahmen bereits bis Mitte Oktober die Stickstoffmengen unter der Zwischenfrucht im Vergleich zur Folgefrucht Winterweizen deutlich ab (Abbildung 10, Seite 26). Im Dezember hatte die Zwischenfrucht in allen Dünge-stufen deutlich mehr Stickstoff aufgenommen als die klassische Folgefrucht Winterweizen (Abbildung 11). Es zeigte sich jedoch auch, dass die abgefrorenen Bestände der Zwischenfrucht bereits im Winter mineralisiert wurden (Abbildung 10, Seite 26), so dass an diesem Punkt bei Niederschlägen ggf. das Risiko der N-Verlagerung oder -Auswaschung besteht.

Nachfrucht — Wintererbsen — Winterroggen — Zwischenfrucht

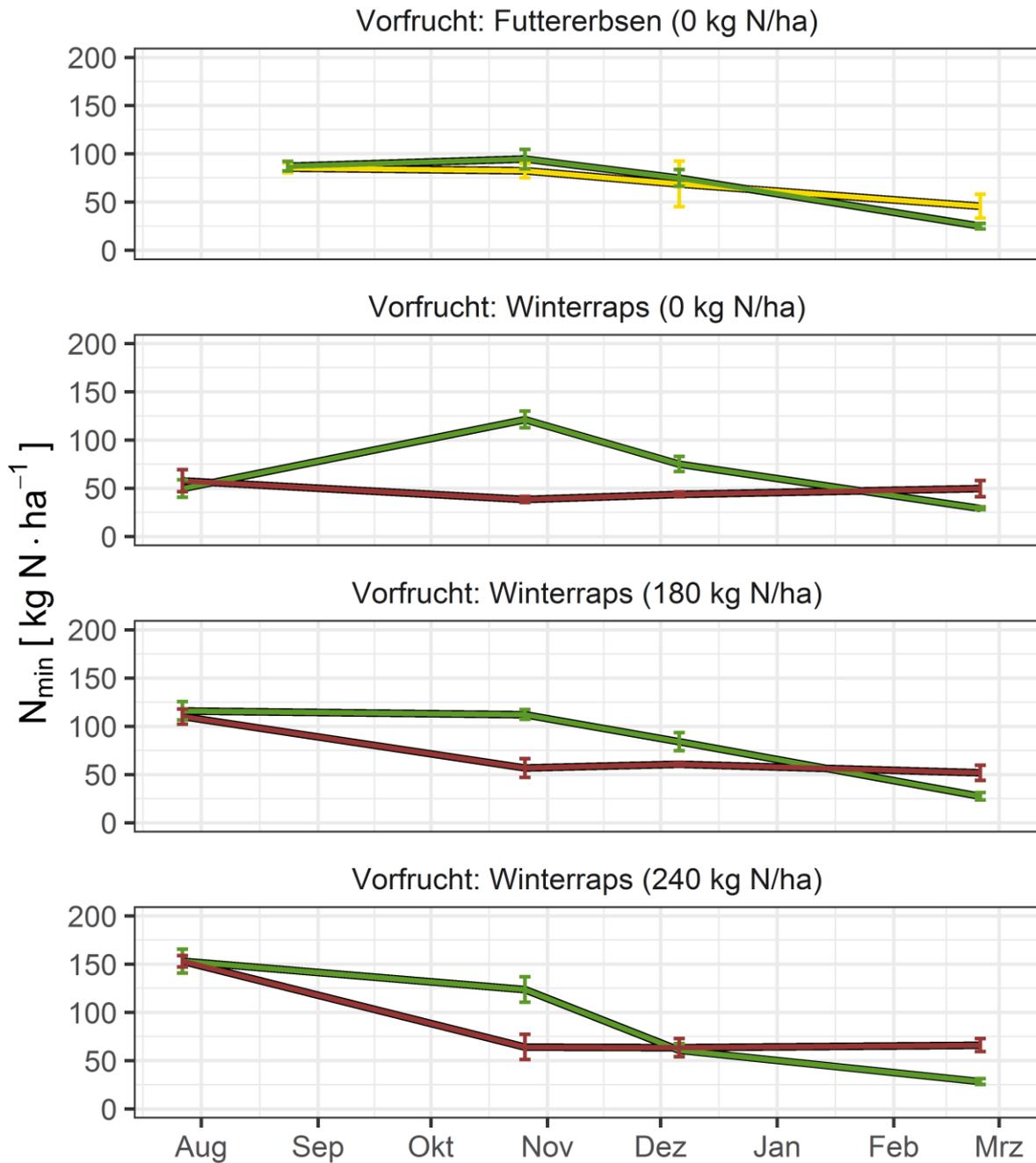


Abbildung 12: N-Dynamik (0-90cm) nach Futtererbsen und Wintererbsen mit unterschiedlichen Düngeneiveaus unter variierenden Folgefrüchten am Standort Schuby (2016/2017).

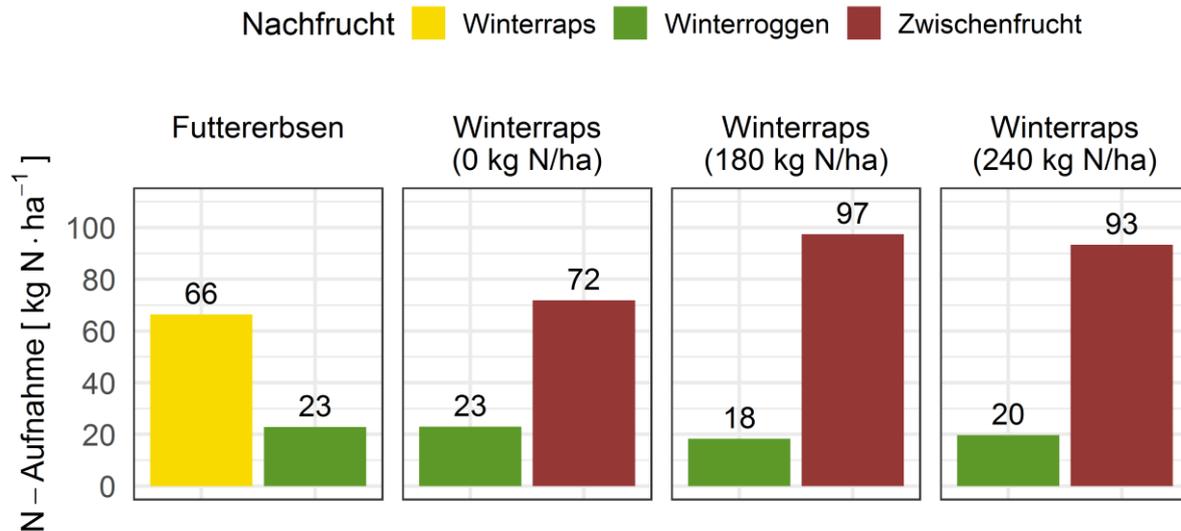


Abbildung 13: N-Aufnahme nach Futtererbsen und Winterraps mit unterschiedlichen Düngeneiveaus durch variierende Nachfrüchte in der Geest (Dezember 2016).

In der Geest zeigte die Zwischenfrucht Rauhafer nach Winterraps in der Saison 2016/2017 ebenfalls über alle Düngestufen eine deutlich höhere N-Aufnahme im Vergleich zur klassischen Folgefrucht Winterroggen (Abbildung 12, Seite 28 & Abbildung 13). Auch an diesem Standort remineralisierte die abgefrorene Zwischenfrucht zum Teil bereits im Winter. Auffällig war außerdem der starke Anstieg mineralischen Stickstoffes unter Winterroggen nach nicht gedüngtem Winterraps (Abbildung 12, Seite 28). Was ein Hinweis darauf ist, dass Ernterückstände zur N-Festlegung im Herbst beitragen können, wobei deren Menge und Qualität einen erheblichen Einfluss haben. Nach Futtererbsen waren nur geringe Unterschiede zwischen den Folgefrüchten in den N_{\min} -Verläufen erkennbar (Abbildung 12, Seite 28). Die Etablierung des Winterrapses nach Futtererbsen erwies sich 2016 als schwierig, da die Ausfall-Futtererbsen eine große Konkurrenz für den Raps darstellten. Hieraus ergaben sich deutlich geringere Pflanzenzahlen, zum Vegetationsende waren die Rapspflanzen aber dennoch sehr gut entwickelt, so dass die N-Aufnahme mit durchschnittlich 66 kg N/ha deutlich über der der klassischen Folgefrucht Winterroggen lag (Abbildung 13).

In Barlt zeichnete sich die Zwischenfrucht ebenfalls durch eine höhere Vorwinter-N-Aufnahme im Vergleich zu Winterweizen und Winterraps aus (Abbildung 14, Seite 30), diese blieb jedoch deutlich unter den Mengen der anderen Standorte (Abbildung 11, Seite 27 & Abbildung 13, Seite 29). Die Etablierung von Raps nach Körnerleguminosen erwies sich auch hier als schwierig, was zum einen mit einem relativ späten Erntezeitpunkt der Ackerbohnen und somit einer verspäteten Raps-Aussaat zusammenhing, zum anderen wurden auch hier die Ausfall-Ackerbohnen nicht rechtzeitig entfernt, so dass eine Konkurrenz zwischen den Kulturen entstand. Dies führte zu deutlich geringeren Pflanzenzahlen/m², kleinen Pflanzen zu Vegetationsende und somit zu sehr geringen N-Aufnahmen (Abbildung 14, Seite 30).

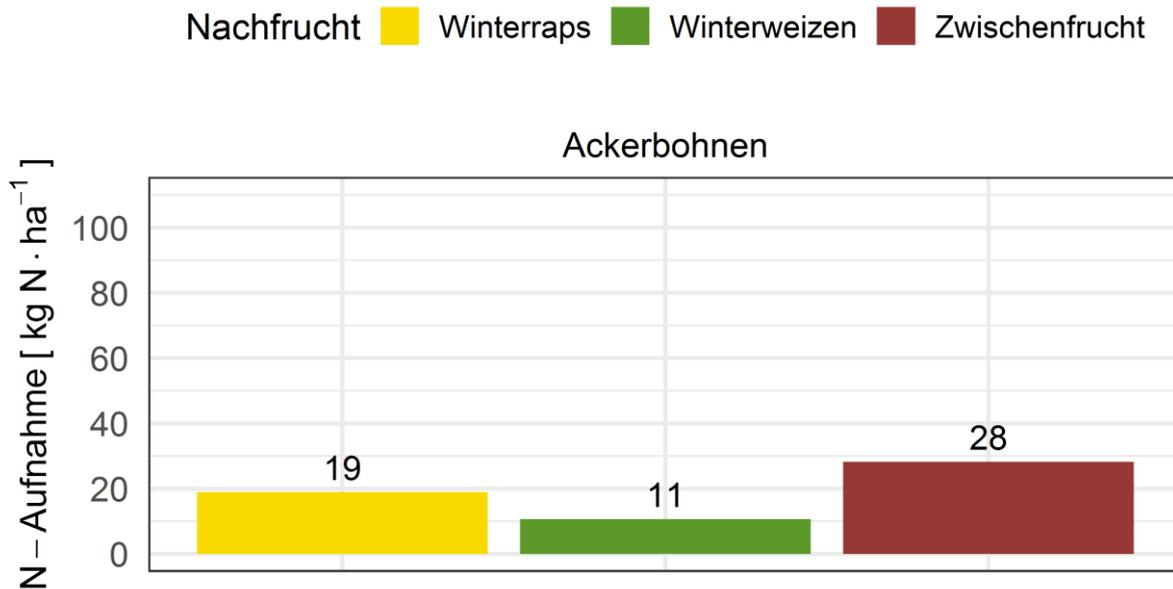


Abbildung 14: N-Aufnahme nach Ackerbohnen durch variierende Nachfrüchte in der Marsch (Dezember 2016).

Der Herbst und Winter 2016/2017 waren an allen Versuchsstandorten im Vergleich zum langjährigen Mittel sehr trocken (Tabelle 8, Seite 25). Dies führte an den Standorten zu einer geringen N-Auswaschung und vergleichsweise hohen N_{\min} -Gehalten zu Vegetationsbeginn (Abbildung 10, Seite 26 & Abbildung 12, Seite 28).

Für die Ernte 2017 konnte im Östlichen Hügelland erstmals N_{opt} und $N_{\text{Düv}}$ unter Berücksichtigung der verschiedenen Vorfrüchte ermittelt werden.

Das Düng optimum (N_{opt}) für Winterraps lag bei der Vorfrucht Winterweizen 14 kg N/ha höher als bei Wintergerste und Ackerbohnen, was sich allerdings nicht statistisch absichern ließ. Die Erträge unterschieden sich nicht in Abhängigkeit der Vorfrucht (Tabelle 9, Seite 31). Bei Winterweizen zeigte sich ein deutlicher Effekt der Vorfrucht auf die optimale Düngung sowie den Ertrag. Höchste Erträge wurden sowohl nach der Vorfrucht Winterraps als auch nach Ackerbohne erzielt, das Düng optimum zwischen diesen beiden Vorfrüchten unterschied sich nicht signifikant. Nach Mais und Winterweizen waren die Erträge, bei gleichzeitig höherem N-Bedarf, signifikant niedriger. N_{opt} für Wintergerste lag bei 187 kg N/ha bei einem Ertrag von 95 dt/ha (Tabelle 9, Seite 31). Ackerbohnen erzielten im Mittel nach Mais 56 dt/ha und nach Winterweizen 59 dt/ha, wobei es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Vorfrüchten gab.

Tabelle 9: Optimale N-Düngung (N_{opt}) sowie N-Düngung nach Empfehlung der Düngeverordnung ($N_{DüV}$) und damit erzielbare Erträge pro Kultur in Abhängigkeit der Vorfrucht am Standort Hohenschulen für die Ernte 2017 (Preisannahmen: 34 €/dt Raps_{91%}, 15.5 €/dt Weizen_{86%}, 13.5 €/dt Gerste_{86%}, 2.58 €/dt Mais_{28%TS}, 0.74 €/kg N).

Kultur	Vorfrucht	N_{opt} (kg N/ha)	Ertrag bei N_{opt} (dt/ha)	$N_{DüV}$ (kg N/ha)	Ertrag bei $N_{DüV}$ (dt/ha)
Winterraps	Wintergerste	179	40.2	166	39.8
	Winterweizen	193	41.7	167	40.5
	Ackerbohnen	179	43.4	156	42.4
Winterweizen	Winterraps	193	107	185	107
	Ackerbohnen	211	106	187	105
	Winterweizen	209	98	194	97
	Mais	228	101	213	100
Mais	Winterweizen	123	535	163	539
	Winterraps	96	525	148	527
Wintergerste	Winterweizen	187	95	180	95

Die hohen N-Aufnahmen der Zwischenfrucht im Dezember 2016 nach Winterraps (Abbildung 11, Seite 27), deutete darauf hin, dass hier Potential für einen verbesserten N-Transfer in die Folgefrucht (Mais) besteht. In N-Aufnahmeverläufen von Mais, die aus spektralen Reflektionsmessungen abgeleitet wurden, waren jedoch keine Unterschiede in Abhängigkeit der Vorfrucht erkennbar (Abbildung 15, Seite 32). Die Auswertung der Maiserträge ergab, dass das N-Düngeoptimum signifikant niedriger (-27 kg N/ha) für Mais nach Winterraps und Zwischenfrucht im Vergleich zu Mais nach einer Brache war (Tabelle 9). Hierbei traten keine Effekte auf den Ertrag auf. Die Differenz zwischen dem durch die Zwischenfrucht im Herbst aufgenommenen Stickstoff (ca. 75 kg N/ha) und der N-Einsparung im Mais deutet darauf hin, dass ein Teil des Stickstoffes immobilisiert wurde.

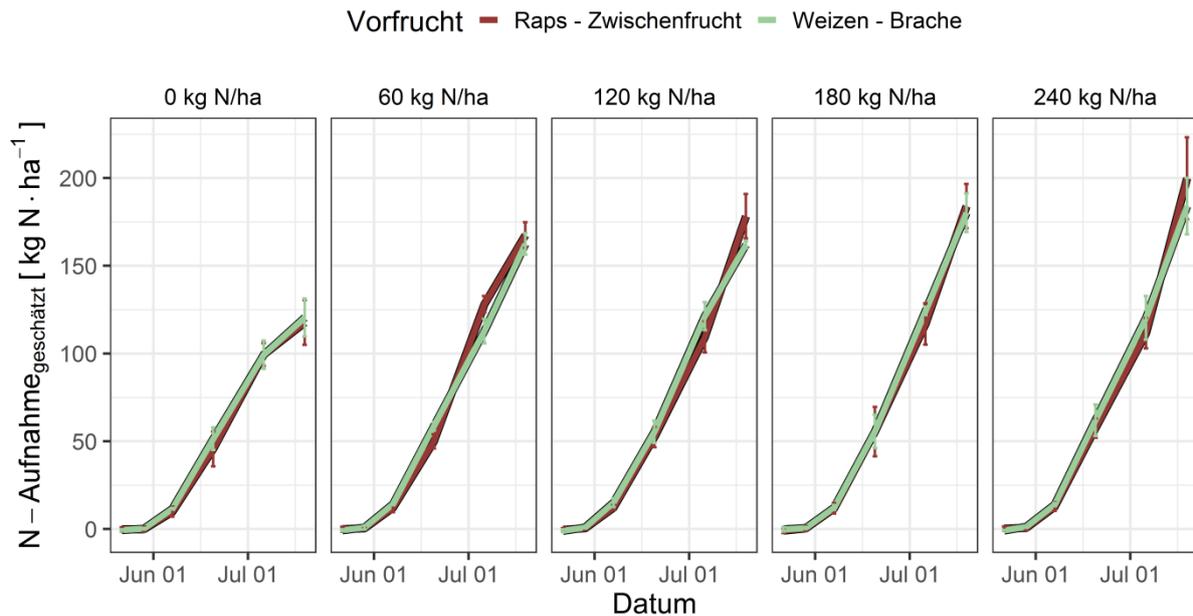


Abbildung 15: Aus spektralen Reflektionsmessungen (HandySpec) geschätzte N-Aufnahmen von Mais in verschiedenen Dünge­stufen bei variierenden Vorfrüchten (2017).

Die N-Düngung nach Düngeverordnung ($N_{DüV}$) lag bei allen Kulturen außer Mais etwas unterhalb des *ex post* berechneten N_{opt} (Tabelle 9, Seite 31). Dies hing vermutlich mit den relativ hohen N_{min} -Werten zu Vegetationsbeginn zusammen (Abbildung 10, Seite 26). Ein Großteil dieses Stickstoffs befand sich bereits in den unteren Bodenschichten und wurde durch Niederschläge im März und April noch weiter verlagert, der Stickstoff war somit nicht pflanzenverfügbar, musste aber dennoch bei der Düngeplanung einbezogen werden.

Von einer Auswertung der Ertragsdaten 2017 für Schuby und Barlt wurden abgesehen, da auch in diesem Jahr Fehler bei der Düngung, der Probenlagerung und der Parzellenzuordnung während der Ernte passierten, so dass kein vollständiger Datensatz zustande kam.

Die Aussaat im Herbst 2017 war an allen Standorten durch die Witterung erschwert (Tabelle 10, Seite 33), der Parzellenversuch am Standort Barlt stand mehrere Wochen unter Wasser und war zeitweise unbefahrbar (Abbildung 16, Seite 33). Die Bestandesetablierung im Herbst 2017 gestaltete sich somit sehr schwierig. Eine am 23. April 2018 in der Marsch durchgeführte Parzellenbonitur ergab, dass keine der 16 Rapsparzellen, eine von vier Gerstenparzellen, zwei von vier GPS-Parzellen, drei von vier Sommerweizenparzellen, sechs von 24 Winterweizenparzellen und sechs von acht Ackerbohnenparzellen für eine voraussichtlich sinnvolle Ernte ausreichend gut etabliert waren. Demnach war in über der Hälfte der Parzellen (42 von 72) mit Totalausfällen zu rechnen, so dass beim nächsten OG-Treffen entschieden wurde, den Fruchtfolgesystemversuch in Barlt abubrechen.



Abbildung 16: Überschwemmtes Versuchsfeld in Barlt am 9. Oktober 2017 (© S. Köhler).

Tabelle 10: Niederschläge von August bis März an den Versuchsstandorten im Herbst und Winter 2017/2018 sowie im langjährigen Durchschnitt.

Monat	Hohenschulen		Schuby		Barlt	
	Mittelwert (1992-2016)	2017/2018	Mittelwert (1985-2016)	2017/2018	Mittelwert (1985-2016)	2017/2018
August	77.6	50.3	90.1	112.9	91.6	77.6
September	66.8	52.8	83.0	111.4	87.1	133.4
Oktober	67.1	111.1	88.0	157.1	78.9	137.5
November	60.5	75.0	76.9	100.6	69.2	135.5
Dezember	67.1	57.1	86.3	96.1	70.3	95.0
Januar	59.9	91.5	81.1	123.4	59.1	102.9
Februar	44.3	13.2	59.8	33.8	44.1	19.9
März	43.7	34.8	59.5	52.1	46.2	30.1

Aufgrund der großen Niederschlagsmengen im Herbst und Winter 2017/2018 (Tabelle 10), kam es zu einer sehr schnellen Verlagerung und Auswaschung des pflanzenverfügbaren Stickstoffs (Abbildung 17, Seite 34 & Abbildung 19, Seite 36). Die N_{\min} -Dynamiken verhielten sich somit deutlich unterschiedlich zu denen im Vorjahr (Abbildung 10, Seite 26 & Abbildung 12, Seite 28).

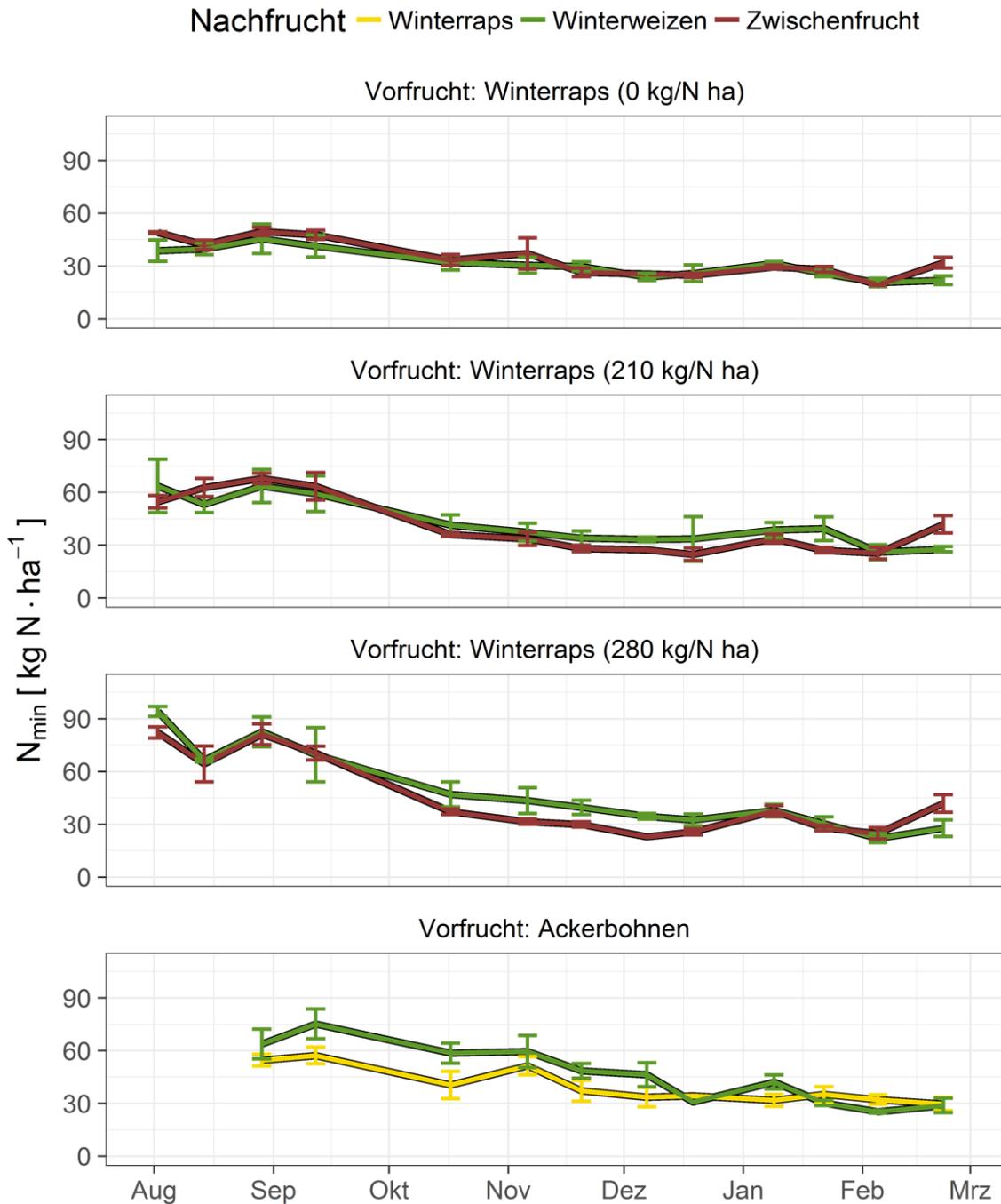


Abbildung 17: Verläufe der N_{\min} -Gehalte (0-90 cm) 2017/2018 nach verschiedenen Vorrüchten und Düngestufen in Abhängigkeit der Nachfrucht am Standort Hohenschulen.

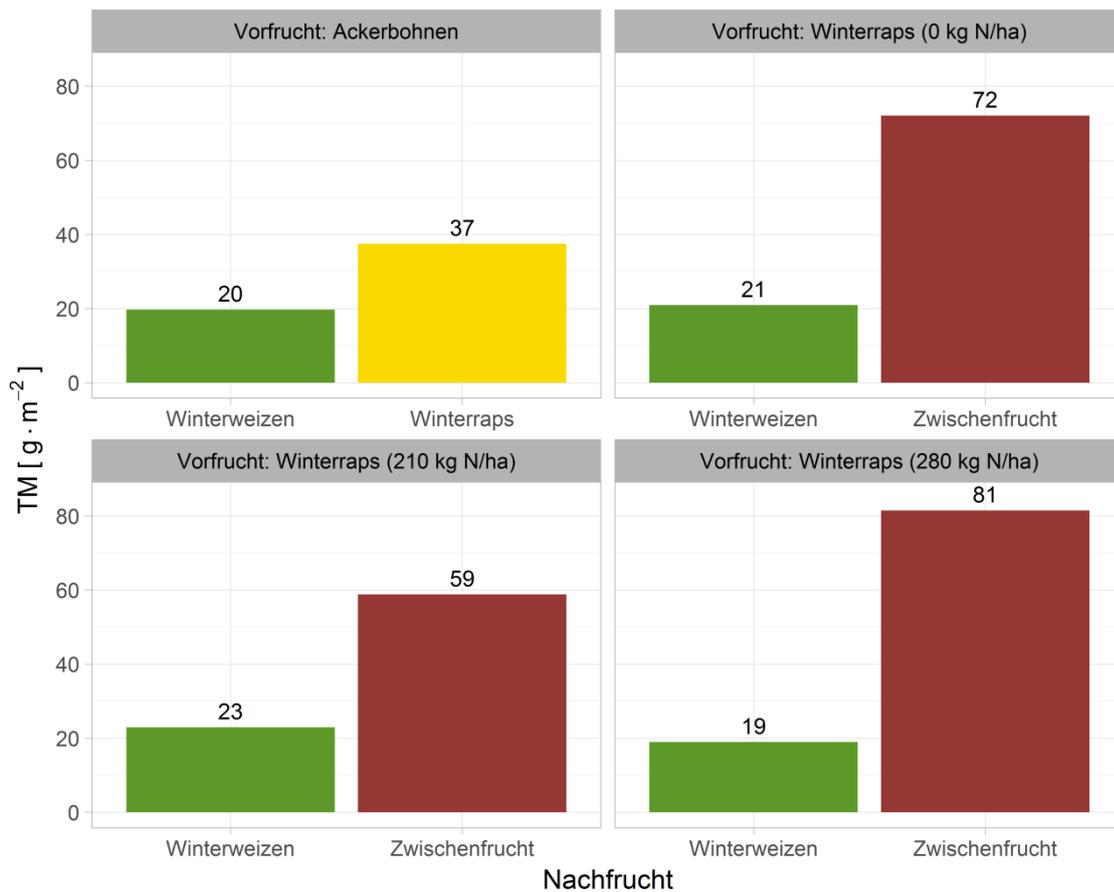


Abbildung 18: Trockenmasseerträge zum Vegetationsende 2017 nach verschiedenen Vorfrüchten und Düngestufen in Abhängigkeit der Nachfrucht im Östlichen Hügelland.

Die N_{\min} -Verläufe nach Winterraps und Ackerbohnen unter verschiedenen Folgefrüchten unterschieden sich 2017/2018 im Östlichen Hügelland, durch die großen Niederschlagsmengen im Herbst, nicht so deutlich wie im Vorjahr (Abbildung 17, Seite 34). Die alternativen Nachfrüchte Zwischenfrucht bzw. Winterraps hatten zu Vegetationsende 2017 jedoch deutlich mehr Trockenmassen gebildet, als die klassische Nachfrucht Winterweizen (Abbildung 18). Hieraus lässt sich eine höhere N-Aufnahme der Zwischenfrucht und des Rapses ableiten. Der Anstieg der N_{\min} -Werte in den Zwischenfrucht-Varianten im Februar 2018 deutet auf eine Mineralisation der abgefrorenen Bestände hin (Abbildung 17, Seite 34).

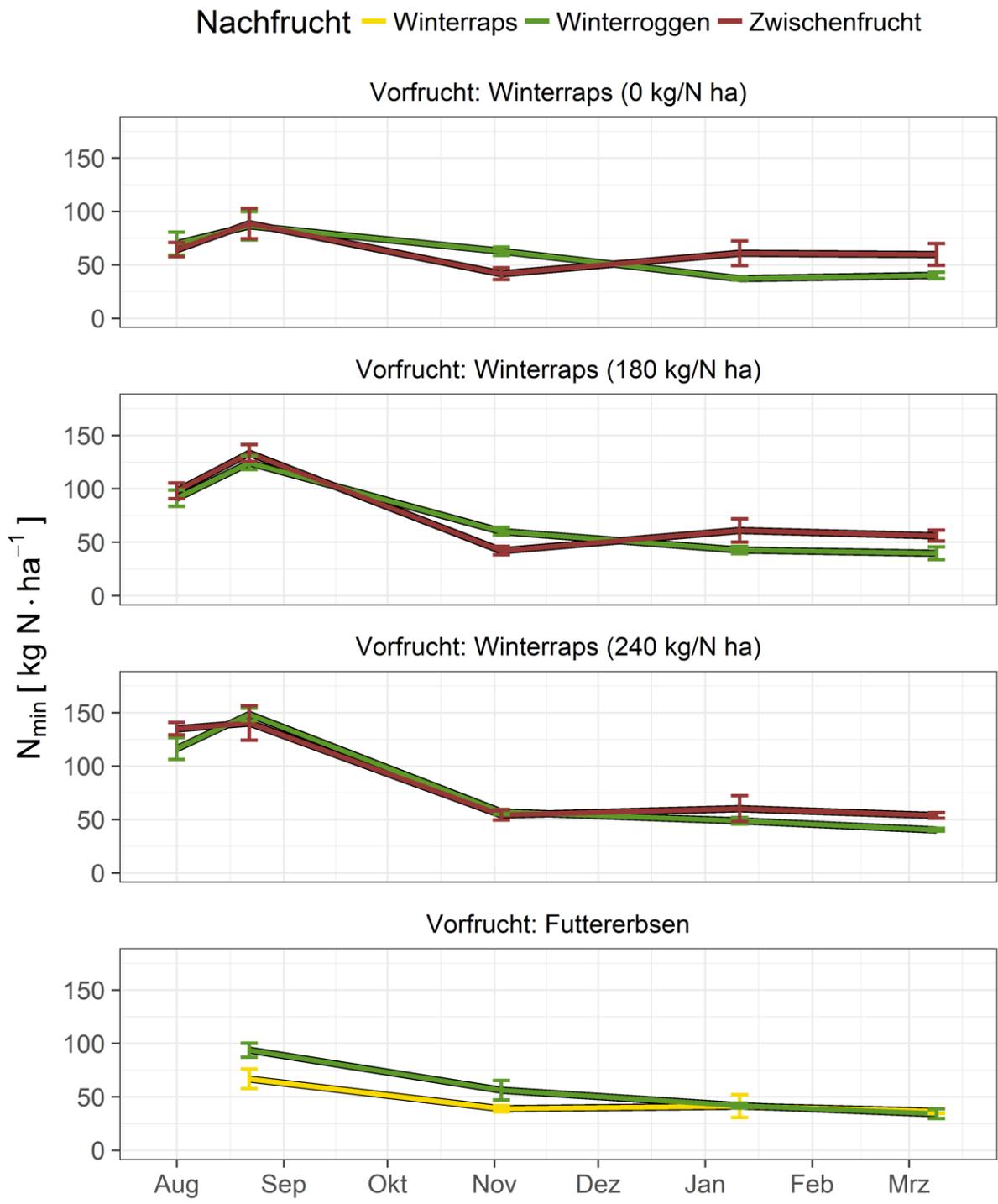


Abbildung 19: Verläufe der N_{min}-Gehalte (0-90 cm) 2017/2018 nach verschiedenen Vorfrüchten und Düngestufen in Abhängigkeit der Nachfrucht am Standort Schuby.

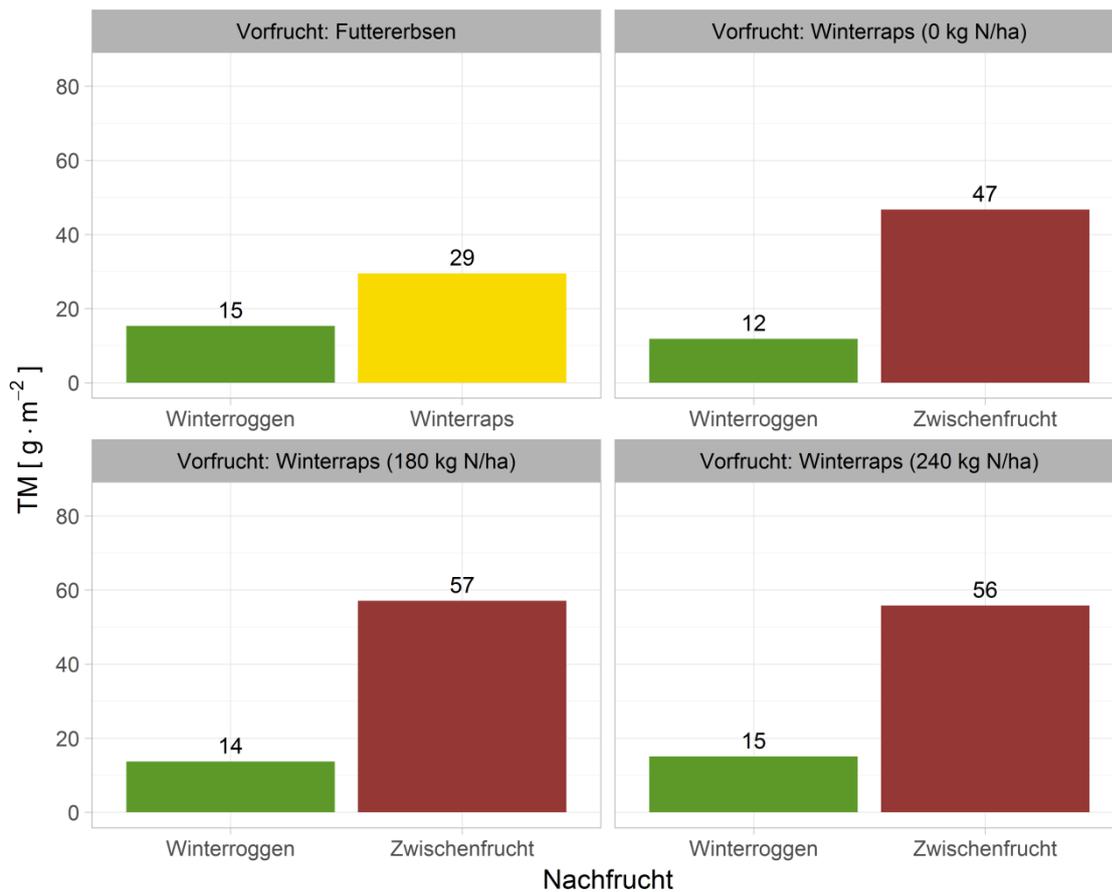


Abbildung 20: Trockenmasseerträge zum Vegetationsende 2017 nach verschiedenen Vorfrüchten und Düngestufen in Abhängigkeit der Nachfrucht in der Geest.

Die Nachernte- N_{\min} -Gehalte 2017 in Schuby waren wie im Vorjahr sehr hoch (Abbildung 19, Seite 36). Durch die hohen Niederschläge (Tabelle 10, Seite 33) sanken die Werte bis Anfang November schnell auf etwa 50 kg N/ha ab, was auf große Auswaschungsverluste in diesem Zeitraum hindeutete. Die bis Vegetationsende 2017 von der Zwischenfrucht und dem Wintererraps gebildeten Trockenmassen (Abbildung 20) lassen aber auch hier eine höhere N-Aufnahme vermuten. Vom Vegetationsende 2017 bis zum Vegetationsbeginn 2018 änderten sich die N_{\min} -Gehalte kaum noch, nur in den Zwischenfruchtparzellen wurden die abgefrorenen Bestände remineralisiert, so dass hier ein leichter Anstieg des pflanzenverfügbaren Stickstoffs erkennbar war (Abbildung 19, Seite 36).

Nach dem extrem feuchten Herbst und Winter 2017/2018 (Tabelle 10, Seite 33) folgte an den beiden verbleibenden Standorten Schuby und Hohenschulen ein sehr trockener Sommer 2018 (Tabelle 11, Seite 38). Die Ernte fand dadurch deutlich früher als in den Vorjahren statt. Zudem reagierten einige Kulturen kaum oder linear auf die N-Düngung, was eine Auswertung der Daten erschwerte.

Tabelle 11: Niederschläge von April bis August an den Versuchsstandorten Hohenschulen und Schuby im Jahr 2018 und im langjährigen Durchschnitt.

Monat	Hohenschulen		Schuby	
	Mittelwert (1992-2016)	2018	Mittelwert (1985-2016)	2018
April	35.6	49.4	42.5	56.4
Mai	60.1	19.5	56.8	21.2
Juni	67.6	20.6	75.3	38.7
Juli	91.3	15.1	95.9	16.0
August	77.6	50.3	90.1	62.1

Im Östlichen Hügelland zeigte der Mais in einigen Parzellen nur eine geringe Reaktion auf die N-Düngung. In andere Mais- und Weizenparzellen ergab sich ein fast linearer Zusammenhang zwischen der N-Düngung und dem Ertrag. Da in diesen beiden Kulturen eine Auswertung keine sinnvollen Ergebnisse lieferte, konnte für die Ernte 2018 nur für Winterraps und Wintergerste N_{opt} berechnet werden.

Im Winterraps waren die Erträge etwas niedriger als im Vorjahr (Tabelle 12, Seite 39), sie unterschieden sich nicht in Abhängigkeit der Vorfrucht. Die Düngeoptima lagen höher als 2017, wobei die niedrigste optimale N-Düngung ebenfalls bei der Ackerbohne als Vorfrucht auftrat. Wie im Vorjahr ließen sich die Unterschiede im N_{opt} in Abhängigkeit der Vorfrucht nicht statistisch absichern (Tabelle 12, Seite 39). Für Wintergerste lag N_{opt} mit 208 kg N/ha knapp 20 kg N/ha höher als zur Ernte 2017 bei gleichzeitig deutlich niedrigeren Erträgen (Tabelle 12, Seite 39). Die Ackerbohnenenerträge waren ebenfalls stark von der Trockenheit beeinflusst. Nach Mais konnten im Durchschnitt 24 dt/ha und nach Winterweizen 20 dt/ha erzielt werden, die Vorfrüchte hatten keinen signifikanten Einfluss auf den Ackerbohnen-Ertrag.

Tabelle 12: Optimale N-Düngung (N_{opt}) sowie N-Düngung nach Empfehlung der Düngeverordnung ($N_{DüV}$) und damit erzielbare Erträge für Winterraps und Wintergerste in Abhängigkeit der Vorfrucht am Standort Hohenschulen für die Ernte 2018 (Preisannahmen: 34 €/dt Raps_{91%}, 15.5 €/dt Weizen_{86%}, 13.5 €/dt Gerste_{86%}, 2.58 €/dt Mais_{28%TS}, 0.74 €/kg N).

Kultur	Vorfrucht	N_{opt} (kg N/ha)	Ertrag bei N_{opt} (dt/ha)	$N_{DüV}$ (kg N/ha)	Ertrag bei $N_{DüV}$ (dt/ha)
Winterraps	Wintergerste	213	37.8	171	36.2
	Winterweizen	201	37.4	170	36.6
	Ackerbohnen	182	37.8	154	36.5
Wintergerste	Winterweizen	208	75	181	73

Die Ertragsdaten 2018 aus Schuby enthielten erneut viele fragwürdige Werte. Der Mais zeigte kaum Reaktion auf die N-Düngung, was sich durch die starke Trockenheit während seiner gesamten Wachstumsphase erklären ließ (Tabelle 11, Seite 38). Die Raps-erträge waren in allen Parzellen äußerst niedrig (4–22 dt/ha) und es war keine plausible N-Response erkennbar, was höchst wahrscheinlich mit einem viel zu späten ersten und zweiten Düngetermin (4. April & 7. Mai 2018) zusammenhing. Auch in den anderen Kulturen fanden sich Ertragswerte, die nicht den Dünge-stufen zuzuordnen waren, vermutlich sind in diesen Fällen Fehler bei der Ernte (Etikettierung oder Parzellenzuordnung) passiert. Diese Probleme führten dazu, dass die Auswertung der Daten aus Schuby auch in diesem Jahr nicht möglich war.

Aufgrund der sehr kurzen Versuchsdauer von nur drei Jahren, wobei im ersten Jahr die Versuchsanlage erfolgte, und Problemen bei der Durchführung in Schuby und Barlt, liegen nur zweijährige Daten mit differenzierter Vorfruchtwirkung vom Standort Hohenschulen vor. Durch die extreme Trockenheit im Sommer 2018 (Tabelle 11, Seite 38) war für dieses Jahr eine Auswertung der Erträge nur teilweise sinnvoll, so dass nur für das Erntejahr 2017 N-Saldo pro Kultur in Abhängigkeit der Vorfrucht bei Düngung nach DüV bzw. nach N_{opt} berechnet werden konnten (Tabelle 13, Seite 40). Insgesamt lag $N_{DüV}$ etwas niedriger als N_{opt} außer bei Mais, wobei sich die Erträge in den Düngevarianten nicht wesentlich unterschieden (Tabelle 9, Seite 31). Dies führte dazu, dass die N-Salden bei Düngung nach Empfehlung der Düngeverordnung außer bei Mais geringer waren als bei N_{opt} (Tabelle 13, Seite 40). Da in der DüV kein Wert für die N-Fixierung von Körnerleguminosen angegeben ist, wurde zur Berechnung des N-Saldos auf die Stoffstrombilanz zurückgegriffen, die für

Ackerbohnen eine N-Fixierung von 5 kg N/ha angibt. Dies führt in Kombination mit den N-Entzugswerten der Düngeverordnung (4.1 kg N/dt) zu relativ hohen N-Salden nach Ackerbohnen. Wie zu erwarten, sind auch die N-Salden nach Raps erhöht, wobei nach der Vorfrucht Ackerbohne der geringste Wert auftritt, da durch den besseren N-Transfer die N-Abfuhr bzw. die Erträge bei geringerer N-Düngung gleich bleiben (Tabelle 13).

Insgesamt waren die N-Salden der Kulturen durch gute Erträge und damit verbundene hohe N-Entzüge vergleichsweise niedrig (Tabelle 13), dies spiegelte sich auch bei der Berechnung der N-Bilanzen für die verschiedenen Fruchtfolgen wieder (Tabelle 14, Seite 41). Bei dieser Auswertung muss jedoch bedacht werden, dass nur die N-Salden der Ernte 2017 berücksichtigt wurden und somit keine N-Bilanz im Mittel von drei Anbaujahren dargestellt ist.

Tabelle 13: N-Saldo der verschiedenen Kulturen bei Düngung nach N_{opt} und $N_{Düv}$ am Standort Hohenschulen zur Ernte 2017.

Kultur	Vorfrucht	N-Saldo bei N_{opt} (kg N/ha)	N-Saldo bei $N_{Düv}$ (kg N/ha)
Winterraps	Wintergerste	44	32
	Winterweizen	53	29
	Ackerbohnen	34	14
Winterweizen	Winterraps	-33	-40
	Ackerbohnen	-13	-34
	Winterweizen	2	-10
	Mais	15	2
Mais	Winterweizen	-80	-42
	Winterraps	-104	-52
Wintergerste	Winterweizen	30	23
Ackerbohnen	Winterweizen	53	53
	Mais	50	50

Tabelle 14: N-Bilanzen der Fruchtfolgen im Östlichen Hügelland bei N_{opt} und $N_{DüV}$ für das Erntejahr 2017.

Fruchtfolge	N-Bilanz bei N_{opt} (kg N/ha)	N-Bilanz bei $N_{DüV}$ (kg N/ha)
Raps – Weizen – Gerste	14	5
Raps – Weizen – Ackerbohne – Weizen – Weizen	13	-1
Ackerbohne – Raps – Weizen – Mais	-7	-5
Raps – Mais – Weizen	-12	-7

d) Beitrag des Ergebnisses zu förderpolitischen EIP Zielen

Die Projektergebnisse zeigen, dass in einer innovativen Fruchtfolgegestaltung und einer daran angepassten, optimierten Düngung Potential für die Senkung von N-Bilanzen sowie die Steigerung der N-Effizienz stecken. Die Projektidee kann somit zu einer nachhaltigeren Landwirtschaft beitragen. Eine direkte Umsetzung in die Praxis gestaltet sich allerdings schwierig und ist von verschiedensten Faktoren abhängig. Die Projektergebnisse sollten also eher als das Aufzeigen verschiedener Möglichkeiten verstanden werden, von denen Berater und Landwirte dann einzelne Punkte übernehmen können, um so die Betriebe nachhaltiger zu führen.

e) Nebenergebnisse – „by-catches“?

Immer wieder trat bei Vorträgen und OG-Treffen die Frage auf, inwiefern der Anbau von Raps nach Körnerleguminosen möglich und technisch umsetzbar ist, da die Zeit zwischen Ernte und optimalem Aussaatzeitpunkt bei dieser Vorfrucht-Nachfrucht-Kombination je nach Witterung sehr kurz sein kann. Die Raps-Aussaat nach Körnerleguminosen erfolgte 2016 und 2017 an allen drei Standorten der Fruchtfolgesystemversuche, wobei sich die beiden Jahre durch sehr unterschiedliche Witterung auszeichneten. Es zeigte sich schnell, dass ein rechtzeitiger Herbizideinsatz gegen die Ausfallsaat absolut notwendig ist, um den Rapspflanzen ein möglichst gutes Wachstum zu ermöglichen. Dies erfolgte in Schuby und Barlt nicht, was in deutlich reduzierten Pflanzenzahlen, schlecht entwickelten Rapspflanzen und starkem Beikrautbewuchs resultierte (Abbildung 21, Seite 42). Sofern zeitnahe und gewissenhafte Maßnahmen gegen die Ausfallsaat der Körnerleguminosen ergriffen wurden, entstanden keine Nachteile für den Raps. Im Östlichen Hügelland traten in beiden Versuchsjahren keine Ertragseffekte auf, gleichzeitig lag N_{opt} unter oder auf selber Höhe wie

bei den Vergleichsvorfrüchten, was auf einen verbesserten N-Transfer hindeutet (Tabelle 9, Seite 31 & Tabelle 12, Seite 39).



Abbildung 21: Winterraps-Parzelle nach Körnerleguminosen - Links in Schuby nach Futtererbsen am 24. Februar 2017, Mitte und rechts in Barlt am 27. Oktober 2017 bzw. 23. April 2018 nach Ackerbohnen.

Als Zwischenfrucht wurde sich beim ersten EIP-Workshop am 27. Mai 2016 auf Rauhafer geeinigt. Hierbei handelte es sich um einen Vorschlag der Berater, da kaum Daten zu dieser Zwischenfrucht bekannt waren und davon auszugehen war, dass sie ohne Probleme in allen Fruchtfolgen genutzt werden konnte. Der Rauhafer zeichnete sich durch eine sehr rasche Jugendentwicklung aus und konnte an allen Standorten unabhängig von der Stellung in der Fruchtfolge gut etabliert werden. Bis Vegetationsende zeigte er zudem in beiden Versuchsjahren eine hohe N-Aufnahme bzw. Trockenmassebildung (Abbildung 11, Seite 27, Abbildung 13, Seite 29, Abbildung 14, Seite 30, Abbildung 18, Seite 35 & Abbildung 20, Seite 37), was sich auch in den N_{\min} -Dynamiken widerspiegelte (Abbildung 10, Seite 26, Abbildung 12, Seite 28, Abbildung 17, Seite 34 & Abbildung 19, Seite 36). Diese wiesen allerdings auch darauf hin, dass die abgefrorenen Zwischenfruchtbestände zum Teil sehr früh im Jahr bereits remineralisiert wurden, was bei starken Niederschlägen dazu führen kann, dass die nachfolgenden Sommerungen von diesem Stickstoff nicht mehr profitieren können. Zudem deuten die Ergebnisse der Ernte 2017 vom Standort Hohenschulen darauf hin, dass ein Teil des in der Zwischenfrucht gespeicherten Stickstoffs immobilisiert wurde. Bei der Wahl der Zwischenfrucht sollte also nicht nur auf die Eignung in der Fruchtfolge und das N-Aufnahmepotential geachtet werden, auch der Zeitpunkt des Abfrierens und der Remineralisation sowie das C:N-Verhältnis im Hinblick auf eine N-Immobilisation spielen eine wichtige Rolle.

f) Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Die Versuchsdurchführung an den Standorten Schuby und Barlt war oft problematisch. Neben technisch-organisatorischen Problemen kam es in der Marsch bedingt durch die Lage

(1 m unter NN) immer wieder zu Problemen bei der Bestandesetablierung, da die Fläche häufig unter Wasser stand.

Zudem kam es an beiden Versuchsorten zu Fehlern in der Versuchsdurchführung (falsche Düngung, falsche Zuordnung von Parzellen bei der Ernte, schlechte Rapsetablierung nach Körnerleguminosen). Dies führte dazu, dass für beide Standorte in keinem Versuchsjahr ein kompletter Datensatz vorliegt und somit eine sinnvolle Auswertung nicht möglich war.

Durch die kurze Versuchsdauer flossen nur zwei Jahre mit Vorfruchtwirkung in die Datenanalyse ein, aus diesem Grund wurde die Auswertung von N-Bilanzen der gesamten getesteten Fruchtfolgen als nicht sinnvoll erachtet.

V. Nutzen der Ergebnisse für die Praxis

a) Sind nutzbare oder verwertbare Empfehlungen, Produkte, Verfahren oder Technologien entstanden?

Ziel des Projektes war es, Möglichkeiten zur Gestaltung und Anpassung von Fruchtfolgen und der modellgestützten N-Düngung aufzuzeigen. Die Ergebnisse führen auf, was möglich ist und wo Schwierigkeiten bei der Umsetzung liegen können.

b) Wie ist der Umsetzungsstand?

Inwiefern die Ergebnisse in die Praxis umgesetzt werden, hängt u.a. von den Gegebenheiten auf den jeweiligen Betrieben ab.

VI. (Geplante) Verwertung und Nutzung der Ergebnisse

Im Rahmen des Projektes konnten sehr viele Daten insbesondere in den Fruchtfolgesystemversuchen erhoben werden. Hierzu zählen spektrale Reflektionsmessungen in verschiedenen Kulturen mit parallelen Zwischenernten, Handernten kurz vor der Ernte zu Bestimmung von Harvest-Indizes sowie sehr detaillierte N_{\min} -Beprobungen.

Diese Messergebnisse werden noch weiterführend genutzt und mit Daten aus anderen Projekten und Vorjahren verglichen. Zudem werden die erhobenen Daten mit Hilfe eines dynamischen Simulationsmodelles ausgewertet, so dass beispielsweise auch die N-Immobilisation und N-Mineralisation sowie N-Auswaschungsverluste in den verschiedenen Vorfrucht-Nachfrucht-Kombinationen abgebildet werden können.

VII. Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit

Der Zwischenfruchtanbau wird aktuell politisch stark unterstützt. Die Ergebnisse dieses EIP-Projektes zeigen, dass eine N-Konservierung in Zwischenfruchtaufwüchsen über die auswaschungsgefährdete Periode im Herbst und Winter prinzipiell möglich ist. Hieraus ergaben sich allerdings auch neue Fragen, beispielsweise welchen Einfluss die Art bzw.

Zusammenstellung der Zwischenfrüchte auf den N-Transfer haben und wie die N-Nachlieferung aber auch eine N-Immobilisation durch Zwischenfrüchte einzuschätzen ist. Nach einer erfolglosen Antragstellung im Rahmen der zweiten Förderperiode der EIP in Schleswig-Holstein, ist es inzwischen gelungen, ein bundesweites Projekt, welches von der BLE gefördert wird, einzuwerben. Die CAU Kiel hat hierbei die Projektkoordination übernommen.

Die N_{\min} -Verläufe nach Raps im Winter 2016/2017 (Abbildung 10, Seite 26 & Abbildung 12, Seite 28) deuteten darauf hin, dass in den unterschiedlichen Düngestufen unterschiedliche Immobilisations- und Mineralisationsprozesse abliefen. Um der Frage nachzugehen, welche Rolle die Qualität und Quantität des Rapsstrohs hierbei spielen, werden die Daten mit Hilfe eines dynamischen Simulationsmodelles weiter ausgewertet.

VIII. Administration und Bürokratie

a) Wie wurde der bürokratische Aufwand eingeschätzt?

Der bürokratische Aufwand wurde als sehr hoch angesehen. So war beispielsweise die genaue Dokumentation von Stellenausschreibungen, Einstellungsgesprächen, Einstellungsbegründungen und Verlängerungsbegründungen für Studentische und Wissenschaftliche Hilfskräfte mit einem enormen Zeitaufwand verbunden. Zudem musste für jede noch so kleine Anschaffung (z.B. Mülltüten, Schraubenzieher usw.) mindestens drei Angebote eingeholt und eine Begründung für den Kauf sowie eine Nutzungsbeschreibung beim Lead-Partner eingereicht werden, was ebenfalls viel Zeit in Anspruch nahm. Gleiches galt für die halbjährlichen Zwischenberichte, die zusätzlich noch in Zeiten mit sowieso schon hohem Arbeitsaufwand (Ernte bzw. Vegetationsbeginn) fielen.

b) Wo lagen Schwierigkeiten?

Oft war nicht klar, für welche Posten detaillierte Begründungen vorgelegt werden müssen und für welche nicht. Zunächst wurde aus diesem Grund für Kleinstanschaffungen und für die regelmäßigen Dienstfahrten zu den Versuchsfeldern keine Dokumentation festgehalten, diese wurden dann nach ca. zwei Jahren nachgefordert, was in manchen Fällen schwer zu rekonstruieren war.

Für die an den OFR-Versuchen teilnehmenden Landwirte war nicht immer klar, wie und wo die Aufwandsentschädigungen eingefordert werden können, zudem war auch hier der bürokratische Aufwand hoch und anfangs nicht eindeutig gemäß den Richtlinie geklärt, wie die Entschädigungen formell zu beantragen und somit genehmigungsfähig waren.

c) Verbesserungsvorschläge!

Der Dokumentationszwang sollte sich im Rahmen halten. Für Kleinstanschaffungen sollte ebenso wenig wie für regelmäßige Dienstfahrten zum Zwecke der Datenerhebung

Nachweise notwendig sein, denn diese kosten die Bearbeiter viel Zeit und deren Notwendigkeit ist nicht immer nachvollziehbar.

Es sollte festgelegt und für alle Beteiligten zusammengefasst sowie nachschlagbar sein, für welche Posten eine Dokumentation vorliegen muss und wie genau diese auszusehen hat.

IX. Nutzung des Innovationsbüro (Innovationsdienstleister, IDL)

Das Innovationsbüro war eingebunden in die Organisation der Workshops und in Aspekte der Öffentlichkeitsarbeit. Die koordinierende Funktion über die EIP-Projekte wird als hilfreich angesehen.

X. Kommunikations- und Disseminationskonzept

a) Darstellung, in welcher Weise die Ergebnisse kommuniziert oder verbreitet wurden.

Etwa zweimal jährlich fanden Workshops statt, zu denen die OG-Mitglieder aber auch externe Interessierte eingeladen waren. Hier wurden Vorträge gehalten, die Versuche besucht sowie Zwischenergebnisse präsentiert und diskutiert:

- 1. Workshop am 26. Mai 2016 auf dem Versuchsgut Hohenschulen
- 2. Workshop am 20. März 2017 bei der LKSH in Rendsburg
- 3. Workshop am 13. Juli 2017 auf der Versuchsstation Schuby
- 4. Workshop am 24. April 2018 bei der LKSH in Rendsburg
- 5. Workshop am 9. Juli 2018 auf dem Versuchsgut Hohenschulen

Einige im Projekt generierte Daten wurden auf wissenschaftlichen Tagungen in Form von Postern oder Vorträgen einer breiteren Öffentlichkeit vorgestellt:

- Rose, M., Pahlmann, I. und Kage, H. (2017): Verbessertes N-Transfer in Fruchtfolgen: Effekte von Zwischenfrucht und angepasster Fruchtfolge (Vortrag auf der 60. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e.V. in Witzenhausen)
- Rose, M., Pahlmann, I. und Kage, H. (2017): Verbessertes N-Transfer in Rapsfruchtfolgen (Vortrag auf dem XIV. Rapskolloquium in Salem / Kummerower See)
- Rose, M., Pahlmann, I. und Kage, H. (2018): Optimising N-transfer in oilseed rape based crop rotations in Northern Germany (Poster auf dem 20. Nitrogen Workshop in Rennes, Frankreich)
- Rose, M., Pahlmann, I. und Kage, H. (2018): Einfluss der N-Düngung zu Winterraps auf Mineralisations- und Immobilisationsprozesse nach der Ernte (Vortrag auf der 61. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e.V. in Kiel)

Zudem wurden Artikel, die sich mit den Ergebnissen des Projektes beschäftigten, in verschiedenen Zeitungen veröffentlicht:

- Pahlmann, I. und Stephan, H. (2015): Vorstellung von 17 EIP-Projekten in Schleswig-Holstein - N-Effizienzsteigerung im Ackerbau (Bauernblatt, 19. Dezember 2015)
- Ratjen, A. M. und Kage, H. (2016): Abschläge bei der N-Spätgabe? (Bauernblatt, 4. Juni 2016)
- Ratjen, A. M. und Kage, H. (2017): Nitratvorräte im Unterboden erhöht (Bauernblatt, 27. Mai 2017)
- Radke, M. und Kage, H. (2017): Verbessertes N-Transfer nach Ackerbohnen und Winterraps (Raps 35, Heft 3)
- Rose, M. und Kage, H. (2019): N-Dynamik nach Winterraps – Welche Bedeutung hat das Rapsstroh? (Raps 37, Heft 2)

b) Grundsätzliche Schlussfolgerungen (ggf. Fazit zur Eignung von EIP-Förderung zur Generierung von Innovation und Schließung von Lücken zwischen Praxis und Wissenschaft) und eventuelle Vorschläge zur Weiterentwicklung der EIP AGRI.

Die Zusammenarbeit innerhalb der OG war im Hinblick auf den Erfahrungsaustausch und die rasche Rückkoppelung der erzielten Ergebnisse im Rahmen der Projektworkshops sehr wertvoll. Die im Projekt getesteten und weiterentwickelten Innovationen beruhen jedoch im Wesentlichen auf Konzepten des wissenschaftlichen Projektpartners. Insofern kann nicht konstatiert werden, dass die Interaktion innerhalb der OG die wesentliche Triebfeder der Projektinnovationen war. Generell ist die Frage zu stellen, die Zielvorstellung der Entwicklung von Innovationen innerhalb einer OG realistisch ist. Voraussetzung für die Förderung einer OG ist ja bereits ein fundierter, also vorgedachter Projektantrag. Generell ist eine regional fokussierte Projektförderung mit einer engen Verzahnung von Praxis und Wissenschaft potentiell wertvoll.