

Hochschule Osnabrück
University of Applied Sciences

Abschlussbericht

„Optimierung der Stickstoff- und Phosphat-Effizienz aus flüssigen organischen Wirtschaftsdüngern durch „Depot-Applikation“ zur Verminderung der Umweltbelastung“
(AZ: 30364-34)

Verfasser: Carl-Philipp Federolf, Matthias Westerschulte, Nikolas Neddermann, Hans-Werner Olf und Dieter Trautz

Projektbeginn: 01.04.2013

Laufzeit: 3 Jahre, 2 Monate

Ort: Osnabrück

Jahr: 2016

Projektkennblatt

der

Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Az	30364-34	Referat	34	Fördersumme	437880
Antragstitel	„Optimierung der Stickstoff- und Phosphat-Effizienz aus flüssigen organischen Wirtschaftsdüngern durch „Depot-Applikation“ zur Verminderung der Umweltbelastung“				
Stichworte	Verfahren, Düngung, Stickstoff, Phosphat				
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
3 Jahre, 2 Monate	01.04.2013	31.05.2016	1		
Zwischenberichte	2 Stk. (April 2014 & 2015)				
Bewilligungsempfänger	Prof. Dr. Peter Seifert Vizepräsident für Forschung und Wissenstransfer Stiftung Fachhochschule Osnabrück Caprivistraße 30 A D-49076 Osnabrück			Tel 0541 969-3710 Fax Projektleitung Prof. Dr. Hans-Werner Olf; Prof. Dr. Dieter Trautz Bearbeiter Carl-Philipp Federolf; Matthias Westerschulte	
Kooperationspartner	Landwirtschaftskammern Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen und Schleswig-Holstein				

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Im Fokus des Forschungsvorhabens steht die platzierte Ausbringung flüssiger organischer Wirtschaftsdünger unter der später angelegten Maisreihe. Dadurch könnte die mineralische Unterfußdüngung substituiert werden. Durch Zugabe von Nitrifikationshemmstoffen soll eine Stabilisierung des Ammonium-N im Gülledepot bewirkt werden, wodurch Verluste von Nitratstickstoff (Auswaschung oder Denitrifikation) reduziert werden könnten. Dieses Düngungssystem würde zu einer deutlichen Entlastung der Nährstoffbilanzen führen. Da der Ansatz relativ neu ist, mangelt es derzeit an wissenschaftlichen Untersuchungen. Bislang basiert das Wissen überwiegend auf ersten Tastversuchen der Landwirtschaftskammern Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen. Außerdem wurden an der HS Osnabrück bereits in den Jahren 2011 bis 2013 erste Versuche in Zusammenarbeit mit Landtechnikfirmen durchgeführt. Neben der Betrachtung der Nährstoffdynamik im Hinblick auf die Reduktion des Eutrophierungspotentials kommt auch der Ertragssicherung eine große Bedeutung zu. Nur wenn diese gegeben ist, lässt sich das Verfahren in die Praxis übertragen.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Die Basis des Projektes stellten dreijährige Feldversuche in Kooperation mit den Landwirtschaftskammern Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Schleswig-Holstein dar. Dabei wurde ein einheitliches Versuchsdesign auf 8 Standorten umgesetzt. Die Ergebnisse der untereinander abgestimmten Beprobungen liefen an der Hochschule Osnabrück zusammen und wurden gemeinsam ausgewertet.

Darüber hinaus wurden für spezielle Fragestellungen mit sehr hohem Betreuungs- und Beprobungsaufwand Feldversuche im direkten Umfeld der Hochschule Osnabrück durchgeführt. Hervorzuheben ist dabei die Entwicklung einer neuen Bodenbeprobungsmethode, welche anschließend in einem zweijährigen Feldversuch zur Beschreibung der Stickstoffdynamik bei Gülle-Depotapplikation mit hoher Anzahl an Beprobungsterminen zum Einsatz kam.

Weiterhin wurden zur Gewinnung von Detailerkennnissen zur Wirkung unterschiedlicher Nitrifikationshemmstoffe ein Inkubations- und ein Bodensäulenversuch in der Klimakammer der Hochschule Osnabrück durchgeführt.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Im Laufe des Projektes wurden die gewonnenen Erkenntnisse regelmäßig vor nationalem und internationalem Fachpublikum präsentiert und diskutiert. Die Versuchsergebnisse wurden den Kooperationspartnern zeitnah zur Verfügung gestellt und fanden rasch den Weg in landwirtschaftliche Wochenblätter und Fachzeitschriften. Gleichzeitig wurden verschiedene Artikel in Fachzeitschriften und wissenschaftlichen Journals publiziert. Eine Auflistung von Präsentationen und Veröffentlichungen findet sich im Projektabschlussbericht.

Fazit

Auf unterschiedlichen Standorten (Böden, Klimaregionen) in Nordwest-Deutschland konnte durch eine gezielte Unterfußdüngung mit Gülle auf eine mineralische Unterfußdüngung verzichtet werden, ohne Silomaiserträge und -qualitäten negativ zu beeinflussen. Im Vergleich zu flächig eingearbeiteter Gülle wurden deutlich bessere N- und P-Verfügbarkeiten aus den organischen Wirtschaftsdüngern beobachtet. Auf sandigen und somit auswaschungsgefährdeten Böden konnte zudem die Nitratverlagerung vermindert werden. Höhere Erträge waren die Folge. Somit kann durch eine gezielte Gülleunterfußdüngung eine höhere Nährstoffnutzungseffizienz aus Wirtschaftsdüngern erzielt werden. Durch den Verzicht auf eine zusätzliche mineralische Unterfußdüngung ist eine Entlastung von N- und P-Bilanzen für landwirtschaftliche Betriebe möglich. Sind die Flächen zur Maisbestellung in einem ackerbaulich guten Zustand, kann eine Kombination aus Gülleunterfußdüngung und dem Strip-Till Verfahren zu weiteren Umweltvorteilen (u.a. Erosionsschutz) führen.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	V
Abkürzungsverzeichnis.....	VI
Zusammenfassung.....	1
1 Anlass und Zielsetzung des Projektes.....	2
2 Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden.....	2
3 Ergebnisse.....	4
3.1 Versuche in Kooperation mit der Officialberatung.....	4
3.1.1 Fragestellung.....	4
3.1.2 Material und Methode.....	4
3.1.3 Ergebnisse und Diskussion.....	5
3.1.4 Fazit.....	9
3.2 Strip Till Versuch.....	9
3.2.1 Fragestellung.....	9
3.2.2 Material und Methode.....	9
3.2.3 Ergebnisse und Diskussion.....	10
3.2.4 Fazit.....	13
3.3 Sortenversuch.....	13
3.3.1 Fragestellung.....	13
3.3.2 Material und Methode.....	13
3.3.3 Ergebnisse und Diskussion.....	14
3.3.4 Fazit.....	15
3.4 Versuche zur Optimierung der N _{min} -Bodenbeprobungsmethodik.....	15
3.4.1 Fragestellung.....	15
3.4.2 Material und Methode.....	15
3.4.3 Ergebnisse und Diskussion.....	18
3.4.4 Fazit.....	22
3.5 Stickstoffdynamikversuch.....	23
3.5.1 Fragestellung.....	23
3.5.2 Material und Methode.....	23
3.5.3 Ergebnisse und Diskussion.....	26
3.5.4 Fazit.....	32
3.6 Inkubationsversuch zur Wirkung von Nitrifikationshemmstoffen.....	32
3.6.1 Fragestellung.....	32

3.6.2	Material und Methode.....	33
3.6.3	Ergebnisse und Diskussion	33
3.6.4	Fazit	35
3.7	Bodensäulenversuch zur Wirkung von Nitrifikationshemmstoffen auf die Nitrat- verlagerung	36
3.7.1	Fragestellung	36
3.7.2	Material und Methode.....	36
3.7.3	Ergebnisse und Diskussion	37
3.7.4	Fazit	39
4	Diskussion.....	40
5	Öffentlichkeitsarbeit.....	43
6	Fazit	47
	Literaturangaben	48
	Anlagen.....	50

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Trockenmasseerträge 2013 – 2015, 22 Kooperationsversuche relativ zu Schleppschlauch mit UFD.....	5
Abb. 2: Stickstoffentzüge 2013 – 2015, 22 Kooperationsversuche relativ zu Schleppschlauch mit UFD.....	6
Abb. 3: Stickstoffbilanzen der Varianten im Mittel aus 22 Kooperationsversuchen (2013 – 2015)	7
Abb. 4: Stickstoffwiederfindungsraten, basierend auf Gesamt-N der gedüngten Varianten nach Ciampitti und Vyn (2011). Mittelwerte aus 22 Kooperationsversuchen (2013 – 2015)	7
Abb. 5: Stickstoffaufnahme und REIP Messwerte im 8-Blattstadium exemplarisch für den Standort Wehnen 2014 und 2015. Angegeben sind die Regressionen und Korrelationskoeffizienten der beiden Einzeljahre, sowie beide Jahre zusammen.....	8
Abb. 6: Bodenfeuchte (Vol.-%) im Strip Till Versuch am 10.06.2015; IR = In der Reihe, ZR = Zwischen den Reihen	11
Abb. 7: Bodenfeuchte (Vol.-%) im Strip Till Versuch am 26.08.2015; IR = In der Reihe, ZR = Zwischen den Reihen	11
Abb. 8: Bodenfeuchte (Vol.-%) im Strip Till Versuch am 05.08.2015; IR = In der Reihe, ZR = Zwischen den Reihen	12
Abb. 9: Trockenmasseentwicklung und Ganzpflanzenertrag im Strip Till Versuch 2015.....	12
Abb. 10: Trockenmasseerträge der Sorten in den drei Düngestufen im Sortenversuch 2013. Die Sorten sind aufsteigend nach Siloreife von S190 bis S250 geordnet	14
Abb. 11: Trockenmasseerträge der Sorten in den drei Düngestufen im Sortenversuch 2014	15
Abb. 12: Links: Schema der rasterartigen Bodenbeprobung; BM = Bodenmonolith; B 0 / 15 / 30 = Bohrstock mit 0 / 15 / 30 cm Distanz zur Maisreihe; O / M / U = Oben / Mitte / Unten; UMR = Unter der Maisreihe; Rechts: Bild von der angefertigten Entnahmeschaufel.....	16
Abb. 13: N_{\min} -Konzentrationen (mg/kg) im Bodenprofil zu zwei Beprobungsterminen im Entwicklungsversuch; TNI = Tage nach Injektion.....	18
Abb. 14: Verteilung der Variationskoeffizienten (%) der N_{\min} -Konzentrationen beider Beprobungstermine des Entwicklungsversuches.....	19
Abb. 15: Arithmetisches Mittel und Spanne (Min – Max) der N_{\min} -Konzentrationen (mg/kg) von den Teilproben der Bodenmonolithe des Optimierungsversuches; BM 1 = 0 – 10 cm Tiefe; BM 2 = 10 – 25 cm Tiefe	20
Abb. 16: Ableitung der notwendigen Stichprobenumfänge (nach Gomez und Gomez 1984); VK = Variationskoeffizient; d = akzeptierte Fehlerspanne um den Mittelwert; α = Signifikanzniveau.....	20
Abb. 17: N_{\min} -Konzentrationen (mg/kg) im Bodenprofil zu zwei Beprobungsterminen im Validierungsversuch; TNI = Tage nach Injektion.....	21
Abb. 18: Arithmetisches Mittel und Spanne (Min – Max) der N_{\min} -Konzentrationen (mg/kg) von den Teilproben des mittleren Bodenmonolithen (BM 2; 8 – 23 cm Tiefe) des Validierungsversuches zum Nachauflauf-Beprobungstermin (24 TNI)	22
Abb. 19: Verteilung der Variationskoeffizienten (%) der N_{\min} -Konzentrationen beider Beprobungstermine des Validierungsversuches.....	22
Abb. 20: Niederschlagssumme und mittlere Lufttemperaturen von April bis Oktober in den beiden Versuchsjahren	25
Abb. 21: Boden- und Pflanzenbeprobungen im Stickstoffdynamikversuch	25

Abb. 22: Räumliche und zeitliche N_{\min} -Dynamik im Stickstoffdynamikversuch [N_{\min} (mg/kg) = $NH_4-N + NO_3-N$]. ND =Nach Gülledüngung, 6B bzw. 10B = 6- bzw. 10-Blatt Stadium, BI = Blüte, E = Ernte; K = Kontrolle, S = Standard, D = Depot, D(NH) = Depot + NH; TNI = Tage nach Injektion.....	28
Abb. 23: Vitalitätsindex "REIP" über die Jugendentwicklung im Stickstoffdynamikversuch....	31
Abb. 24: N-Bilanzen im Stickstoffdynamikversuch	32
Abb. 25: Zeitlicher Verlauf der Nitrat-N, der Ammonium-N und der Gesamt- N_{\min} Gehalte im Versuch	34
Abb. 26: Links: Schemazeichnung einer Bodensäule im Säulenversuch.....	37
Abb. 27: Ausgewaschene Nitrat-N-Mengen im Versuchsverlauf; unterschiedliche Buchstaben = signifikante Differenzierung; n.s. = nicht signifikant.....	38
Abb. 28: Kumulierte Nitrat-N-Auswaschung über den Versuchszeitraum; unterschiedliche Buchstaben = signifikante Differenzierung	39
Abb. 29: Rest- N_{\min} -Mengen in den Säulen nach 11 Wochen; unterschiedliche Buchstaben = signifikante Differenzierung.....	39

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Varianten im Strip Till Versuch	10
Tab. 2: Charakterisierung des Bodens und der Mastschweinegülle	24
Tab. 3: Beschreibung der angelegten Varianten im Stickstoffdynamik-Versuch.....	24
Tab. 4: NO ₃ -N, NH ₄ -N und N _{min} Konzentrationen im Bereich des Güllebandes	29
Tab. 5: Trockenmassen und Stickstoffentzüge im Stickstoffdynamikversuch.....	30
Tab. 6: Übersicht über die Varianten im Inkubationsversuch	33
Tab. 7: Beschreibung der Versuchsvarianten im Bodensäulen-Versuch.....	36

Abkürzungsverzeichnis

α	Signifikanzniveau
AMO	Ammoniummonooxygenase
C	Kohlenstoff
d	akzeptierte Fehlerspanne
FAO	Food and Agriculture Organisation of the United Nations
h	Stunde
ha	Hektar
KAS	Kalkammonsalpeter
LWK	Landwirtschaftskammer
M	Mitte
Max	Maximum
Min	Minimum
Mio	Millionen
n	Stichprobenumfang
N	Stickstoff
NH	Nitrifikationshemmstoff
NH ₄	Ammonium
N _{min}	mineralischer Stickstoff
NO ₃	Nitrat
NRE	Nitrogen Recovery Efficiency
O	oben
P	Phosphor
REIP	Red Edge Inflection Point
S	Siloreifezahl
TDR	Time Domain Reflectometry
TM	Trockenmasse
TNI	Tage nach Injektion
TS	Trockensubstanzgehalt
U	unten
UFD	mineralische Unterfußdüngung
VK	Variationskoeffizient
Vol	Volumetrisch
Z _{α}	Wert der Standardnormalverteilung bei Signifikanzniveau α

Zusammenfassung

In Nordwestdeutschland sind hohe P-Gehalte in Böden und Gewässern, sowie ein hohes Nitrat- auswaschungspotenzial mitunter die Folge intensiver Düngung mit Wirtschaftsdüngern. Der Nährstoffbedarf von Mais (*Zea mays* L.) wird üblicherweise durch ausreichende Wirtschaftsdüngergaben gedeckt. Um eingeschränkten Nährstoffverfügbarkeiten in der Jugendentwicklung entgegen zu wirken, werden zusätzlich mineralische NP-Unterfußdünger eingesetzt. Die N- und P-Bilanzsalden dieser Flächen sind meist hoch. Neuere Entwicklungen in der Gülletechnik ermöglichen es den Landwirten Gülle im Depot-Band unter der später angelegten Maisreihe zu platzieren. Die hohe Nährstoffkonzentration in diesen Bändern soll durch eine Verbesserung der räumlichen Verfügbarkeit die Jugendentwicklung des Maises fördern. Zudem kann unter Umständen der Zusatz eines Nitrifikationshemmstoffes zu injizierter Gülle die Nitrat- auswaschung reduzieren und so die Stickstoffverfügbarkeit weiter verbessern.

In einem dreijährigen Projekt an der Hochschule Osnabrück wurde das Verfahren intensiv geprüft. Dabei sollten verfahrenstechnische Probleme identifiziert und optimiert, sowie der Verbleib des gedüngten Stickstoffes nachvollzogen werden. In umfangreichen Versuchsserien und durch intensiven Austausch mit Landwirten und Beratern wurde die Bedeutung einer flachen Gülleablage in räumlicher Nähe zum Saatgut herausgestellt. Insbesondere in kalten Frühjahren ist die rasche Erwurzelung der Nährstoffe von höchster Bedeutung für eine zügige Jugendentwicklung. Gleichzeitig kann die Zugabe von Nitrifikationshemmstoffen zur Gülle die Attraktivität des Depots und somit die Verfügbarkeit von Phosphor deutlich steigern. Insbesondere auf sandigen Standorten können in niederschlagsreichen Jahren durch eine verzögerte Nitratverlagerung deutliche Mehrerträge erzielt werden. Mit einem eigens entwickelten Verfahren wurde dem Verbleib des gedüngten Stickstoffs auf den Grund gegangen und festgestellt, dass insbesondere bei hohen Niederschlägen in der frühen Jugendentwicklung des Maises erhebliche Nitratverlagerungen auftreten können. Dies gilt es bei der Terminierung der Gülleapplikation unbedingt zu berücksichtigen. So sollte auf sandigen Standorten die Ausbringung möglichst zeitnah vor der Aussaat durchgeführt werden. Auf Standorten mit höherem Tonanteil ist dies ein geringeres Problem. Allerdings stößt das Verfahren dort insbesondere bei höheren Bodenfeuchten zum Injektionstermin schnell an seine Grenzen, da die Injektionsaggregate nicht mehr optimal arbeiten und es durch die hohen Maschinengewichte zu Bodenverdichtungen kommen kann. Hier muss jahres- und witterungsabhängig evaluiert werden, welches Verfahren sich besser eignet.

Auf einem breiten Spektrum von Standorten in Nordwest-Deutschland konnte durch eine gezielte Unterfußdüngung mit Gülle auf eine mineralische Unterfußdüngung verzichtet werden, ohne Silomaiserträge und -qualitäten zu senken. Im Vergleich zu flächig eingearbeiteter Gülle wurden deutlich bessere N- und P-Verfügbarkeiten aus den organischen Wirtschaftsdüngern beobachtet. Somit kann durch Gülleunterfußdüngung eine höhere Nährstoffnutzungseffizienz aus Wirtschaftsdüngern erzielt werden. Durch den Verzicht auf eine zusätzliche mineralische Unterfußdüngung ist eine Entlastung der N- und P-Bilanzen insbesondere von landwirtschaftlichen Betrieben mit intensiver Tierhaltung möglich. Sind die Flächen zur Maisbestellung in einem ackerbaulich guten Zustand, kann eine Kombination aus Gülleunterfußdüngung und dem Strip-Till Verfahren zu weiteren Umweltvorteilen (u.a. Erosionsschutz) führen.

1 Anlass und Zielsetzung des Projektes

In der Bundesrepublik Deutschland wurden im Jahr 2014 etwa 2,5 Mio. ha Ackerland mit Mais bestellt. Dieser wird überwiegend mit flüssigen Wirtschaftsdüngern, wie Gülle oder Gärresten gedüngt. Darüber hinaus wird zur Sicherung der Jugendentwicklung vielfach eine Unterfußdüngung mit mineralischen Stickstoff- und Phosphatdüngern durchgeführt. Besonders in Regionen mit intensiver Tierhaltung und Biogaserzeugung, wie in weiten Teilen Nordwest-Deutschlands, kommt es dadurch zu einer zusätzlichen Belastung der Nährstoffbilanzen. Die teilweise ineffizienten Applikationstechniken bei der Gülleausbringung führen darüber hinaus häufig zu einer nicht zufriedenstellenden Nährstoffausnutzung. Die Folgen sind ein erhöhtes Eutrophierungspotential nicht agrarischer Ökosysteme und die Nitrat-Verlagerung in das Grundwasser, besonders auf den z.T. sehr sandigen Standorten der Problemregionen.

Im Fokus des Forschungsvorhabens steht die platzierte Ausbringung flüssiger organischer Wirtschaftsdünger unter der später angelegten Maisreihe. Dadurch könnte die üblicherweise in der Praxis durchgeführte mineralische Unterfußdüngung substituiert werden. Durch Zugabe von Nitrifikationshemmstoffen (NH) soll eine Stabilisierung des Ammonium-N im Gülledepot bewirkt werden, wodurch Verluste von Nitratstickstoff (Auswaschung oder Denitrifikation) reduziert werden könnten. Dieses Düngungssystem würde zu einer deutlichen Entlastung der Nährstoffbilanzen führen. Da der Ansatz relativ neu ist, mangelt es derzeit an wissenschaftlichen Untersuchungen. Neben der Betrachtung der Nährstoffdynamik im Hinblick auf die Reduktion des Eutrophierungspotentials kommt auch der Ertragssicherung eine große Bedeutung zu. Nur wenn diese gegeben ist, lässt sich das Verfahren in die Praxis übertragen.

2 Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Zu Projektbeginn im Frühjahr 2013 stand die Planung der unterschiedlichen Kooperationen und der ersten Vegetationsperiode im Fokus. Dabei konnte auf umfangreiche Erkenntnisse aus vorherigen Feldversuchen zurückgegriffen werden. So hatte die Hochschule Osnabrück bereits seit 2011 Versuche zur Gülledepot-Applikation in Kooperation mit der Firma Kotte Landtechnik durchgeführt und auch die Landwirtschaftskammern Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen konnten drei- bis vierjährige Feldversuchserfahrungen hinzusteuern. Besondere Aufmerksamkeit wurde bei allen Versuchsfragen auf ein stringentes Versuchsdesign gelegt, da dies die Voraussetzung für aussagekräftige Ergebnisse ist.

Die Basis des Projektes stellten die dreijährigen (2013 – 2015) Feldversuche in Kooperation mit den Landwirtschaftskammern Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Schleswig-Holstein dar. Dabei wurde ein einheitliches Versuchsdesign auf acht Standorten (unterschiedliche Böden und Klimaregionen) umgesetzt. Die Ergebnisse der einheitlichen Beprobungen und Messungen wurden an der Hochschule Osnabrück zusammenfassend ausgewertet. Jährliche Treffen im Februar mit den Vertretern der Landwirtschaftskammern dienten der Diskussion der letztjährigen Ergebnisse und der Planung der anstehenden Versuchsperiode.

Darüber hinaus wurden für spezielle Fragestellungen, welche aufgrund der jeweiligen Fragestellung sehr hohen Betreuungs- und Beprobungsaufwand erfordern, Feldversuche im direkten Umfeld der Hochschule Osnabrück angelegt. Dies ermöglichte u.a. die bessere Einbindung

diverser Projekt-, Bachelor- und Masterarbeiten. Es wurden Versuche zum Einfluss unterschiedlicher Maissorten, der Bodenbearbeitungsintensität (Strip-Till Versuch) und zur Stickstoffdynamik durchgeführt.

Ein Hauptziel des Projektes war die Beschreibung der Bodenstickstoffdynamik bei Gülledepot-Applikation. Dafür galt es im ersten Versuchsjahr schrittweise mit Hilfe aufeinander aufbauender Feldversuche eine neue Beprobungsmethode zu entwickeln. Diese ermöglichte im Anschluss die sehr umfangreichen Erkenntnisse im Stickstoffdynamikversuch 2014 und 2015.

Der Ablauf der einzelnen Feldversuchsjahre 2013 – 2015 kann wie folgt beschrieben werden:

- März/April:
 - o Koordination und Durchführung der Versuchsanlage
- April bis September/Oktober:
 - o Versuchsbetreuung, -beprobung und -beerntung
 - o Organisation und Besuch von Feldtagen
- Oktober bis März:
 - o Probenaufbereitung und -analyse
 - o Versuchsauswertung
 - o Treffen mit diversen Kooperationspartnern
 - Präsentation und Besprechung der Ergebnisse
 - o Planung und Vorbereitung der anstehenden Versuchsperiode
 - Definition möglicher neuer Fragestellungen
 - Organisation und Charakterisierung geeigneter Versuchsfelder
 - Entwicklung der Versuchspläne
 - Optimierung der Beprobungsabläufe

Um über die Feldversuche hinaus Detailkenntnisse zur Wirkung der unterschiedlichen Nitrifikationshemmstoffe unter kontrollierten Bedingungen zu erlangen, wurden zusätzlich ein Inkubations- und ein Bodensäulenversuch in der Klimakammer der Hochschule Osnabrück durchgeführt.

Die Ergebnisse aller Versuche wurden auf diversen wissenschaftlichen und praxisnahen Veranstaltungen vorgestellt. Im Frühjahr 2016 folgte schließlich die Präsentation und Diskussion aller Ergebnisse im Rahmen eines Abschlussworkshops an der Hochschule Osnabrück.

3 Ergebnisse

3.1 Versuche in Kooperation mit der Officialberatung

3.1.1 Fragestellung

Ob die Gülleunterfußdüngung auf verschiedenen Standorten in den Bundesländern Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Schleswig-Holstein pflanzenbaulich mit der konventionellen Düngepraxis vergleichbare Ergebnisse liefert, wurde in einer Versuchsserie in Zusammenarbeit mit den Landwirtschaftskammern der jeweiligen Länder untersucht. Gleichzeitig sollten die Versuche zur Demonstration für Landwirte vor Ort, sowie die Ergebnisse zur Erstellung von Beratungs- und Informationsmaterial dienen.

3.1.2 Material und Methode

In den Jahren 2013 bis 2015 wurden von der Hochschule Osnabrück und den Landwirtschaftskammern in Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen und Schleswig-Holstein an acht Standorten Versuche zum Vergleich der Gülleunterfußdüngung mit der Standarddüngung angelegt. Neben Untersuchungen auf typischen Veredlungsstandorten mit sandigen Böden (Merfeld, Landkreis COE; Milte, WAF; Sandkrug, OL; Wehnen, WST und Hüsby, SL) fanden auch Versuche auf besseren Standorten (Haus Düsse, SO; Poppenburg, HI; Bredenbek, RD) statt. Weil sich im ersten Versuchsjahr die Versuchsanlage im randomisierten Blockdesign mit 11 Varianten als sehr kompliziert darstellte, wurde für die Folgejahre ein Split-Plot Design gewählt.

Zur Abschätzung des jeweiligen Standortpotenzials waren ungedüngte Kontrollparzellen Bestandteil aller Versuche. Die Schleppschlauchausbringung mit anschließender Einarbeitung wurde mit der Gülleunterfußdüngung ohne und mit zugesetztem NH (3 l/ha Piadin®, SKW Piesteritz GmbH, Wittenberg) in zwei Ausbringmengen (Güllemenge nach N-Sollwert, bzw. um 1/3 reduziert) verglichen. Alle Parzellen erhielten je zur Hälfte eine mineralische Unterfußdüngung mit 23/10 N/P kg/ha, beziehungsweise einen N-Ausgleich mit 23 N kg/ha als KAS. Vor der Gülleausbringung fand auf allen Standorten eine intensive Bodenbearbeitung mit Pflug, oder Schwergrubber nach einer standorttypischen Vorfrucht (Wintergetreide + Zwischenfrucht, Mais, Zuckerrüben) statt.

2013 wurde die Gülle (Oberkante Gülleband) in 12 – 18 cm, 2014 und 2015 in 10 – 12 cm Tiefe unter der Bodenoberkante abgelegt. In den Jahren 2014 und 2015 wurde an 7 Standorten (Poppenburg konnte aus logistischen Gründen nicht angefahren werden) im 8-Blattstadium des Maises Pflanzenproben aus den Randreihen der Parzellen entnommen und zeitgleich die Reihenmitte mit dem ISARIA Sensor gemessen. Zudem wurde an allen Standorten zur Siloreife die beiden Kernreihen mit einem Parzellenhäcksler geerntet, Mischproben entnommen und mittels Nahinfrarotspektroskopie auf Inhaltsstoffe untersucht.

Im Anschluss wurden basierend auf den Rohproteingehalten und Trockenmasseerträgen die Stickstoffaufnahmen, die Stickstoffbilanzen und die Stickstoffwiederfindungsraten berechnet. Zur Berechnung der Stickstoffwiederfindungsrate (Nitrogen recovery efficiency, NRE) wurde eine von Ciampitti und Vyn (2011) beschriebene Formel verwendet:

$$NRE = \frac{N \text{ Aufnahme}_{gedüngt} - N \text{ Aufnahme}_{ungedüngt}}{\Delta N_{gedüngt}}$$

wobei die Differenz der Stickstoffaufnahmen der gedüngten Variante und der ungedüngten Kontrolle durch die Differenz der Stickstoffdüngung geteilt werden.

3.1.3 Ergebnisse und Diskussion

Im kalten Frühjahr **2013** wurde deutlich, dass die Ablagetiefe des Güllebandes einen erheblichen Einfluss auf die Jugendentwicklung des Mais hat. Liegt die Gülle deutlich tiefer (> 7 cm) als das Saatgut und sind die Bodentemperaturen ungünstig, können die Keimwurzeln die Nährstoffe nicht zeitnah erschließen. Dies hatte optisch erkennbare Nährstoffmangelsymptome in der Jugendentwicklung zur Folge. Besonders betroffen waren davon die Standorte in Nordrhein-Westfalen, weil der eingesetzte Injektor die Gülle recht tief (Oberkante ca. 18 cm unter Bodenoberfläche) ablegte. Die flachere Ablage des in Niedersachsen und Schleswig-Holstein verwendeten Gerätes (Oberkante ca. 12 – 15 cm unter Bodenoberfläche) führte dort zu einem zügigeren Verlauf der Jugendentwicklung. Aufgrund des hohen Kompensationsvermögens des Maises waren die Erträge der Varianten mit Gülleunterfußdüngung dennoch auf dem Niveau der Standarddüngung. **2014** führten starke Niederschläge nach der Saat insbesondere auf den leichteren Standorten zu Nitratverlagerungen. In den Parzellen mit platzierter Gölledüngung standen die gedüngten Nährstoffe noch eher den Pflanzen zur Verfügung als in den flächig gedüngten. Aufgrund sehr hoher Mineralisationsraten im Sommer konnte der Mais dies kompensieren, so dass zwischen den Varianten keine Ertragsunterschiede messbar waren. Das Frühjahr **2015** war nach der Maisaussaat sehr lange kalt und trocken. Die Pflanzen entwickelten sich langsam, Phosphormangelsymptome waren häufig in den Parzellen ohne mineralische Unterfußdüngung zu sehen. Der Zusatz eines NH sorgte für wüchsiger Bestände, sodass diese Varianten dann auch ertraglich überlegen waren. Betrachtet man über die Jahre hinweg alle 22 ausgewerteten Versuche so ist festzustellen, dass der Verzicht auf mineralische Unterfußdüngung in den Varianten mit Gülleunterfußdüngung keine Ertragsminderungen zur Folge hatte (Abb. 1).

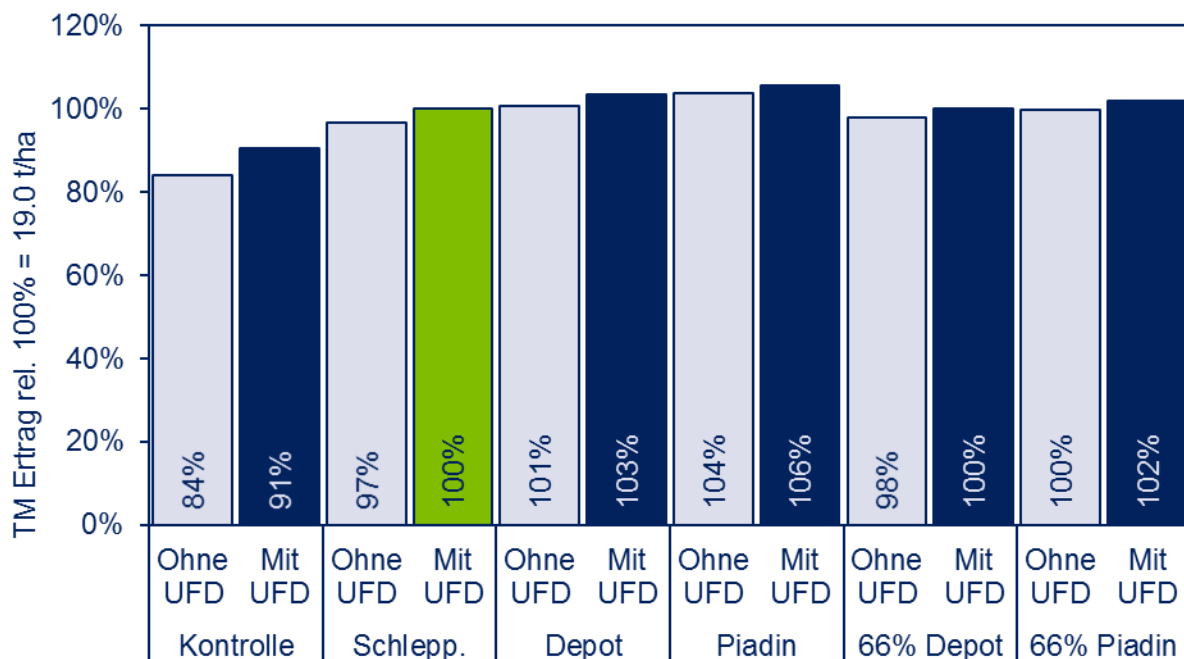


Abb. 1: Trockenmasseerträge 2013 – 2015, 22 Kooperationsversuche relativ zu Schleppschlauch mit UFD

Wenn die Unterfußdüngung mit Gülle erfolgte, konnten im Vergleich zur Standarddüngung keine Unterschiede in den NIRS-Qualitätsparametern festgestellt werden. Die bessere und längere N-Verfügbarkeit kann jedoch die Abreife verzögern. In den Versuchen lag der Trockensubstanzgehalt meist einen Prozentpunkt unter dem des Standardverfahrens mit flächiger

Gülleearbeitung und mineralischer Unterfußdüngung. Je früher die Pflanzen an die Nährstoffe kommen, desto zügiger verläuft die Abreife. Dies sollte bei der Sortenwahl berücksichtigt werden, um eine optimale Abreife der Bestände sicher zu stellen. Trafen Starkregenereignisse im Frühsommer auf leichte Böden, wurde bei platzierter im Vergleich zu flächiger Güllendüngung eine verminderte Nitratverlagerung festgestellt. Stabilere Erträge, sowie höhere Rohproteingehalte und N-Entzüge waren die Folge (Ø Gülleunterfußdüngung mit NH + 6% gegenüber dem Standard, vgl. Abb. 2). Betrachtet man dazu noch die Ertragsleistungen der Varianten mit reduzierter Güllemenge wird deutlich, dass die Stickstoffeffizienz aus Gülle durch eine platzierte Injektion unter die Maisreihe erheblich gesteigert wird.

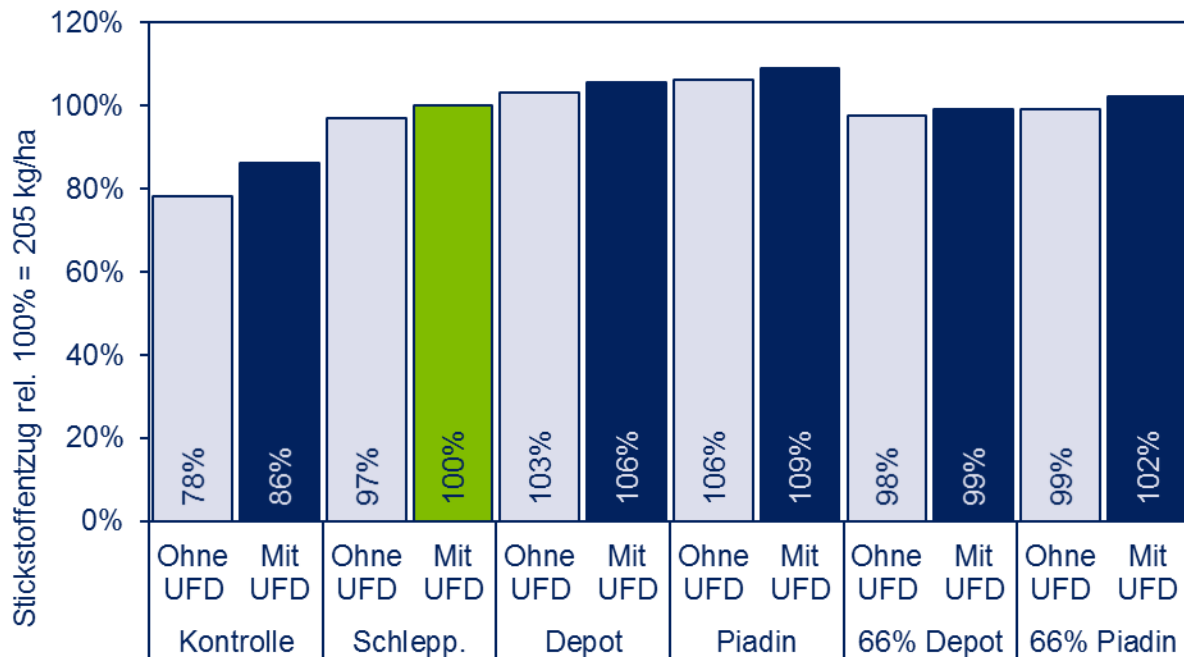


Abb. 2: Stickstoffentzüge 2013 – 2015, 22 Kooperationsversuche relativ zu Schleppschlauch mit UFD

Die Stickstoffaufnahme von Mais liegt meist deutlich über der empfohlenen Düngung, da die N-Aufnahme zeitlich sehr gut zur Hauptmineralisierungsphase im Boden passt. Dies führt häufig zu negativen Stickstoffbilanzen, so auch in den vorliegenden Untersuchungen (Abb. 3). Eine reduzierte N-Düngung hat somit auf gut mit Humus versorgten Standorten nur selten eine unmittelbar negative Ertragswirkung. Sinkt der Humusvorrat jedoch durch wiederholten Maisanbau ab, wird eventuell nicht mehr in dem Maße nachmineralisiert und eine Anpassung der Düngung ist erforderlich. Mulchsaatbetriebe, die Mais in eine Fruchtfolge mit Winterungen und Zwischenfrüchten stellen, können hier unter Umständen Bilanzüberschüsse aus Raps- und Qualitätsweizenanbau ausgleichen.

Betrachtet man die Stickstoffbilanzen im Detail (Abb. 3), so zeigen sich deutliche Unterschiede, wovon jedoch die größten auf unterschiedlichen Düngungsniveaus begründet sind. Die geringste Stickstoffbilanz war erwartungsgemäß in der ungedüngten Kontrolle zu finden (-139 kg N ha⁻¹). Der Wert für die Kontrolle mit Unterfußdüngung konnte nicht um das fehlende Versuchsjahr (Variante wurde nur 2014 und 2015 geprüft) korrigiert werden und ist daher nur exemplarisch mit aufgeführt (zum Vergleich: Die N-Bilanz der Kontrolle ohne Unterfußdüngung in den Jahren 2014 und 2015 belief sich auf -152 kg N ha⁻¹). Analog dazu ist der Einfluss der mineralischen Unterfußdüngung in den anderen Varianten ebenfalls gering (zwischen 3 und 6

kg N ha⁻¹). Wesentlich relevanter sind die höheren Entzüge in den Varianten mit Gülleunterfußdüngung. Hier waren die Varianten mit voller Güllemenge dem Standardverfahren überlegen. So konnten im Mittel der Versuche und Jahre gleiche Erträge und N-Entzüge bei deutlich geringeren Bilanzen nachgewiesen werden.

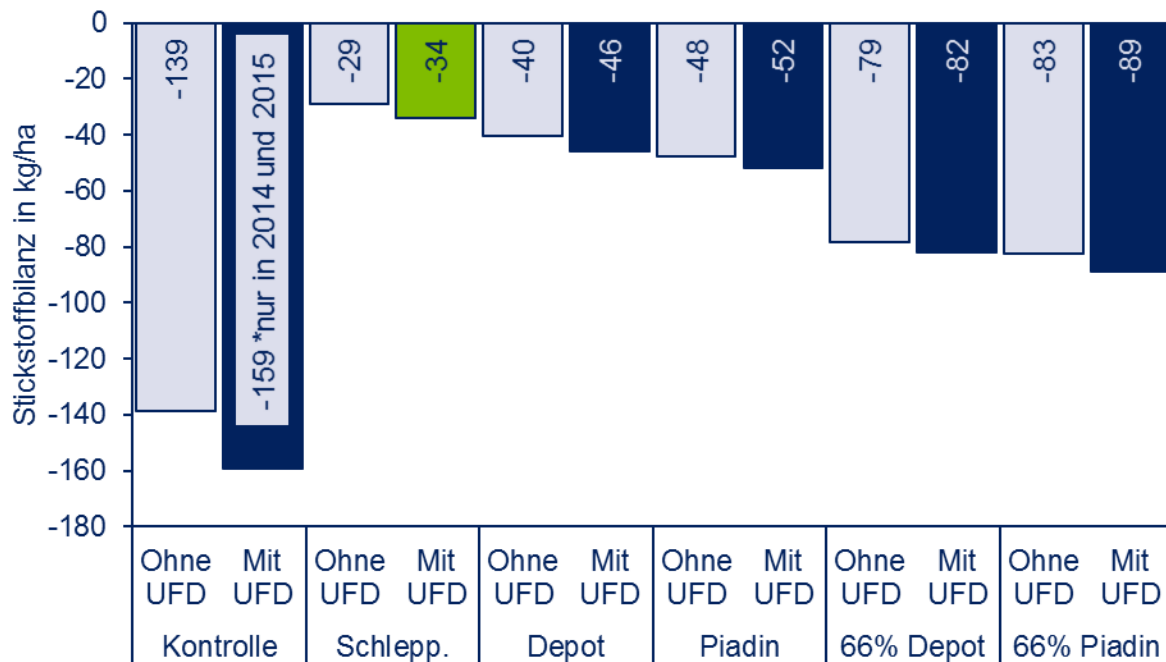


Abb. 3: Stickstoffbilanzen der Varianten im Mittel aus 22 Kooperationsversuchen (2013 – 2015)

Die Stickstoffwiederfindungsraten bestätigen die vorangegangenen Ergebnisse (Abb. 4). Beim Standardverfahren finden, verglichen zur Kontrolle, lediglich 29 % des gedüngten Stickstoffes (bezogen auf Gesamt-N aus der Gülle) ihren Weg in eine höhere N-Aufnahme der Pflanzen.

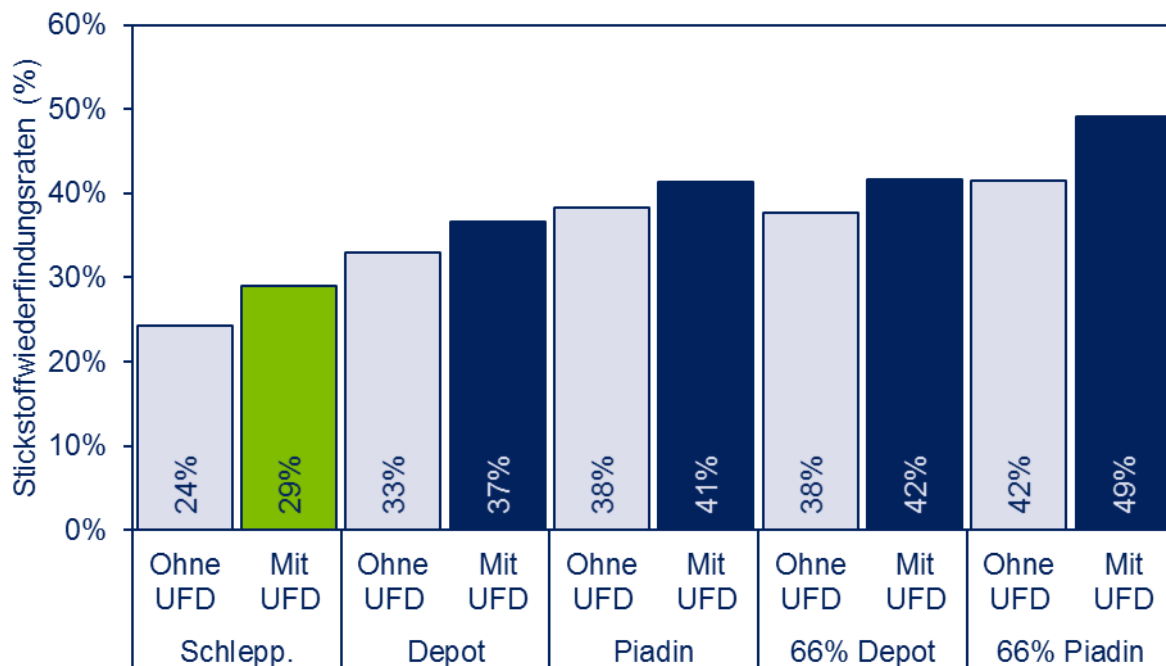


Abb. 4: Stickstoffwiederfindungsraten, basierend auf Gesamt-N der gedüngten Varianten nach Ciampitti und Vyn (2011). Mittelwerte aus 22 Kooperationsversuchen (2013 – 2015)

Eine deutliche Steigerung (+4 %-Punkte) wurde für die Gülleunterfußdüngung ohne mineralischen Unterfußdünger festgestellt. Die Zugabe von Piadin steigerte die Stickstoffwiederfindung um weitere 5 %-Punkte und wurde nur von den Varianten mit geringerer Düngung übertroffen (vergleiche Federolf et al. (2016)). Da in der Versuchsserie eine Stickstoffausgleichsdüngung in allen Varianten ohne mineralische Unterfußdüngung gegeben wurde, fallen die Ergebnisse positiv für die Gülleunterfußdüngung aus. Dem sehr guten Abschneiden der Varianten mit verminderter Güllemenge ist aber zu entnehmen, dass auf diese Gabe hätte verzichtet werden können. In den weiteren Versuchen (Kapitel 3.2 und 3.5) wurde daher auf einen Stickstoffausgleich verzichtet, die daraus gewonnenen Erkenntnisse werden in den entsprechenden Kapiteln behandelt.

Zum 8-Blatt-Stadium wurden 7 Standorte mit einem optischen Reflektionssensor (Fritzmeier ISARIA Sensor) gemessen und aus 8 Varianten Pflanzenproben entnommen. Ziel der Untersuchung war neben der umfassenden Beschreibung der Jugendentwicklung bei den geprüften Gülleinjektionsvarianten auch den Einsatz von Sensormessungen im Mais als Messverfahren zur Beurteilung des N-Versorgungszustands weiter zu validieren. Um die N-Aufnahme mittels Sensor zu beschreiben hat sich eine Exponentialfunktion als geeignet erwiesen (Abb. 5). Es zeigt sich allerdings, dass anhand des Sensormesswertes die N-Versorgung der Pflanzen nicht zurückgerechnet werden kann, da der Messwert von gegebenen Umweltfaktoren (u.a. Sonneneinstrahlung und Blattfeuchte) beeinflusst wird. Wichtig für die Qualität der Messung sind neben einer konstanten Höhenführung über den Bestand (60 cm Abstand) mit einer Anpassung an unterschiedliche Bestandeshöhen, insbesondere konstante Witterungs- und Lichtverhältnisse, sowie ein idealerweise homogener Bestand. Während an einzelnen Standorten hervorragende Korrelationen zwischen dem REIP-Messwert des ISARIA-Sensors gefunden wurden, konnte das Messprinzip in heterogenen Parzellen nur schwache Aussagen über die Stickstoffaufnahme des Bestandes liefern.

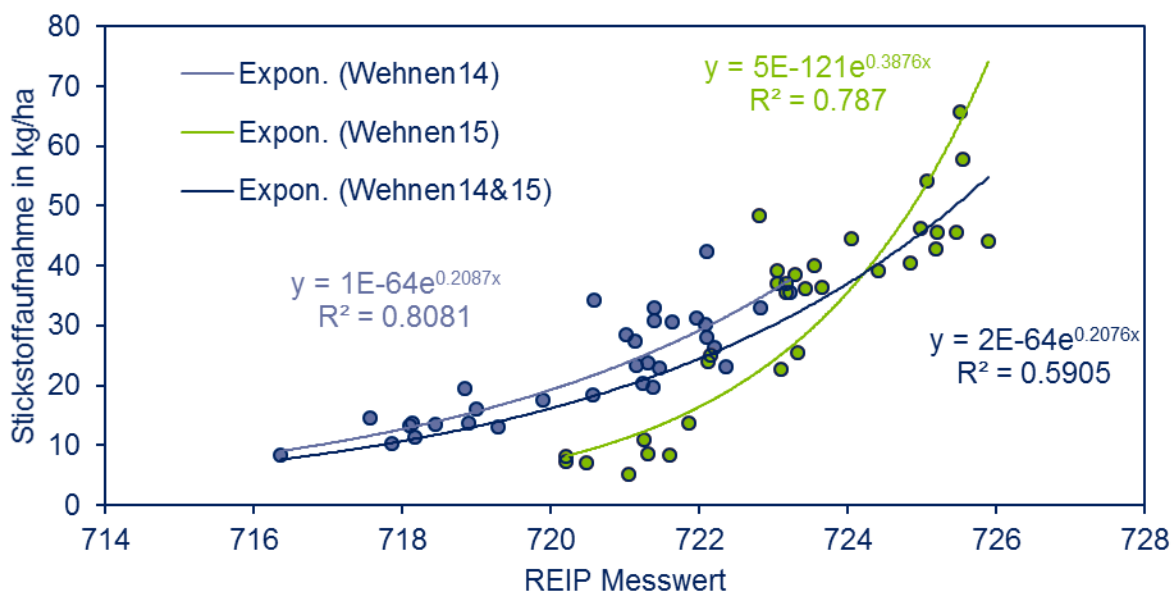


Abb. 5: Stickstoffaufnahme und REIP Messwerte im 8-Blattstadium exemplarisch für den Standort Wehnen 2014 und 2015. Angegeben sind die Regressionen und Korrelationskoeffizienten der beiden Einzeljahre, sowie beide Jahre zusammen

Kann jedoch ein einzelner Versuch mit homogenen Parzellen bei konstanten Lichtverhältnissen am Stück gemessen werden (die Dauer einer Messung bei 48 Parzellen lag immer deutlich unter 2 Stunden), lassen sich mit dem Ergebnis schnell und kostengünstig valide Daten zum

Vergleich unterschiedlicher Düngungsvarianten erheben. Diese Erkenntnisse konnten in den anderen Versuchen angewendet werden.

Neben der Möglichkeit den Sensor zur Messung von Düngungsversuchen einzusetzen, kann er auch seinem eigentlichen Zweck, der Onlineerfassung der Nährstoffversorgung in Maisbeständen eingesetzt werden. Zwar ist bei der Gülleunterfußdüngung basierend auf den vorliegenden Erkenntnissen eine Nachdüngung in den seltensten Fällen nötig und sinnvoll, in anderen Düngestrategien jedoch, wo eine Spätdüngung zu Mais durchgeführt wird, kann der ISARIA Sensor grundsätzlich auch für eine teilflächenspezifische Anpassung der N-Düngung im Mais eingesetzt werden. Hierzu bedarf es jedoch weiteren Untersuchungen.

3.1.4 Fazit

Auf einem breiten Spektrum von Standorten in Nordwest-Deutschland konnte durch eine gezielte Unterfußdüngung mit Gülle auf eine mineralische Unterfußdüngung verzichtet werden ohne Silomaiserträge und -qualitäten zu senken. Im Vergleich zu flächig eingearbeiteter Gülle wurden deutlich bessere N- und P-Verfügbarkeiten aus den organischen Wirtschaftsdüngern beobachtet, insbesondere wenn ein NH zur injizierten Gülle gemischt wurde. Unter besonders auswaschungsgefährdeten Bedingungen konnte so zudem die Nitratverlagerung vermindert werden. Höhere Erträge und Stickstoffentzüge waren die Folge. Somit kann durch eine gezielte Gülleunterfußdüngung eine höhere Nährstoffnutzungseffizienz aus flüssigen organischen Wirtschaftsdüngern erzielt werden. Durch den Verzicht auf eine zusätzliche mineralische Unterfußdüngung ist eine Entlastung der betrieblichen N- und P-Bilanzen und damit einhergehend eine Verminderung der Umweltbelastung möglich.

3.2 Strip Till Versuch

3.2.1 Fragestellung

Im Rahmen einer Zusammenarbeit mit der Firma Vogelsang GmbH (Hersteller des Strip Till Gerätes XTill) wurde der Frage nachgegangen, wie sich eine reduzierte Bodenbearbeitung (Strip Till) bei Gülledepot-Applikation im Vergleich zum Standardverfahren auswirkt. Besonderes Augenmerk lag auf dem Bodenwasserhaushalt und der Bestandsentwicklung über die gesamte Maisvegetationsperiode.

3.2.2 Material und Methode

Der Versuch wurde auf einem Kooperationsbetrieb in Osnabrück-Belm angelegt. Er umfasste drei Varianten (siehe Tab. 1), die als randomisierte Blockanlage mit vier Wiederholungen angelegt wurden. Die Bodenart wird als lehmiger Sand angegeben, die Ackerzahl ist mit 53 ausgewiesen und die Vorfrucht war Silomais. Nach der Maisernte 2014 erfolgte eine flache, 8 cm tiefe Bodenbearbeitung mittels Scheibenegge, bevor Grünroggen als winterharte Zwischenfrucht zur Verwertung als Substrat für eine Biogasanlage gedrillt wurde. Dieser erhielt am 10. April 2015 eine mineralische Düngergabe in Höhe von 50 kg N pro ha als Kalkammonsalpeter (KAS) und wurde am 11.05.2015 geerntet. Die flächige Bodenbearbeitung in den Varianten Standard und Depot erfolgte am 12.05.2015. Am Folgetag wurde in allen drei Varianten die Gülle appliziert. Zum Einsatz kam eine Mastschweinegülle des Kooperationsbetriebes. Aufgrund z.T. noch offener Injektionsschlitze mussten in den Strip Till-Parzellen der Boden mit einer Cambridge Walze bearbeitet werden. Die Aussaat folgte am 18.05.2015. Der wieder

auflaufende Grünroggen sowie Unkräuter und Ungräser wurden am 08.06.2016 mittels Herbizid behandelt.

Tab. 1: Varianten im Strip Till Versuch

	Verfahren	Bodenbearbeitung	Mineraldünger	Güledüngung	Nitrifikationshemmstoff
1	Standard	intensiv	23 kg/ha N 10 kg/ha P	26 m ³ /ha (Schleppschlauch)	ohne
2	Depot	intensiv	ohne	26 m ³ /ha (Injektion)	Piadin (3 l/ha)
3	Strip Till	stark reduziert	ohne	26 m ³ /ha (Injektion)	Piadin (3 l/ha)

Die Bodenfeuchte wurde an insgesamt 19 Terminen im etwa wöchentlichen Rhythmus (ab Maisaussaat am 18. Mai) mittels TDR-Sonde (PR2/6 – Delta T Devices, Burwell, UK) in sechs Tiefen (10, 20, 30, 40, 60 und 100 cm) und drei Messwinkeln gemessen. Es gab insgesamt vier Messpunkte je Parzelle, jeweils zwei in und zwei zwischen den Maisreihen. Die Anzahl der Messwerte pro Termin belief sich so auf 864. Das Auslesen der Daten folgte direkt im Anschluss, um Übertragungsfehler auszuschließen. Anschließend wurde ein Grubbs-Test durchgeführt um Ausreißer zu eliminieren.

Um Erkenntnisse über die Bestandsentwicklung zu erlangen, erfolgten zwischen dem 4- und 10-Blattstadium sowie zur Blüte Ganzpflanzenanalysen, um Trockenmasseaufwuchs und Stickstoffaufnahme zu bestimmen. Des Weiteren wurden zur Siloreife jeweils pro Parzelle zwei Reihen auf 7 m Länge mit einem Parzellenhäcksler der LWK Niedersachsen geerntet und der Ertrag bestimmt.

3.2.3 Ergebnisse und Diskussion

Bodenfeuchte

Die Entwicklung der Bodenfeuchte war zu Beginn der Vegetation des Maises von einer Trockenperiode beeinflusst. In diesen Monaten wirkten zusätzlich niedrige Lufttemperaturen hemmend auf die Maisjugendentwicklung (vgl. auch Abb. 20). In Folge dessen sind die Maiskeimlinge zu Beginn teilweise in den Boden hinein gewachsen. Dies führte zu einem äußerst heterogenen Feldaufgang. Die Bodenfeuchte in der Strip Till-Variante war lange durch den Grünroggen beeinflusst, der aufgrund von trockener und kühler Witterung erst spät behandelt werden konnte. So wies die Variante in den ersten 20 cm Bodentiefe zwischen den Reihen die höchste Bodenfeuchte auf (Abb. 6). Dies ist darauf zurückzuführen, dass hier keine Bodenbearbeitung stattgefunden hat und durch die bewachsene Erdoberfläche das geringfügig verfügbare Wasser langsamer verdunstet ist. In einer Tiefe von 40 cm zeigte sich für die Variante bis Anfang Juli hingegen die geringste Feuchte. Das kommt daher, dass der am 08.06.2015 behandelte Grünroggen erst ab diesem Zeitpunkt abgestorben war und dem Boden kein Wasser mehr entzogen hat. Der Mais hat somit in der Strip Till-Variante bis Anfang Juli unter dem Einfluss des Grünroggens gelitten. Sowohl in als auch zwischen den Reihen verzeichnet die

Depot-Variante in der oberen Bodenschicht trockenere Bedingungen als die Standard-Variante (Abb. 6). Der Grund könnte in der größeren Wurzelmasse der Depot-Variante liegen. Die Maispflanzen ziehen in dieser Variante aus dem 12 cm tiefen Gülleband Nährstoffe und Wasser und hatten dadurch gerade bei den extrem trockenen Verhältnissen in der Jugendentwicklung Vorteile, was sich in einem besseren Pflanzenwachstum niedergeschlagen hat. In der Reihe hat die Standard-Variante über den gesamten Untersuchungszeitraum die höchsten Bodenfeuchtegehalte (vgl. Abb. 6, 7 und 8).

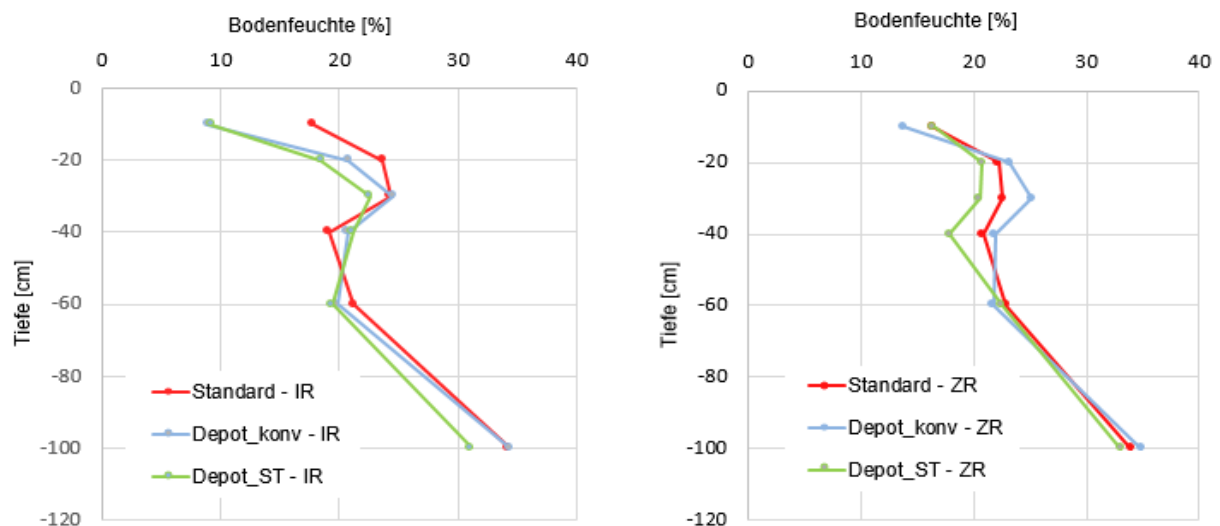


Abb. 6: Bodenfeuchte (Vol.-%) im Strip Till Versuch am 10.06.2015; IR = In der Reihe, ZR = Zwischen den Reihen

Dies ist vermutlich durch den maschinellen Injektionsvorgang der Gülle in der Depot- und Strip Till-Variante zu erklären. Durch die Bodenbearbeitung ist Luft in tiefere Bodenschichten gedrungen und hat somit zu einer stärkeren Austrocknung des Bodens geführt (Abb. 7).

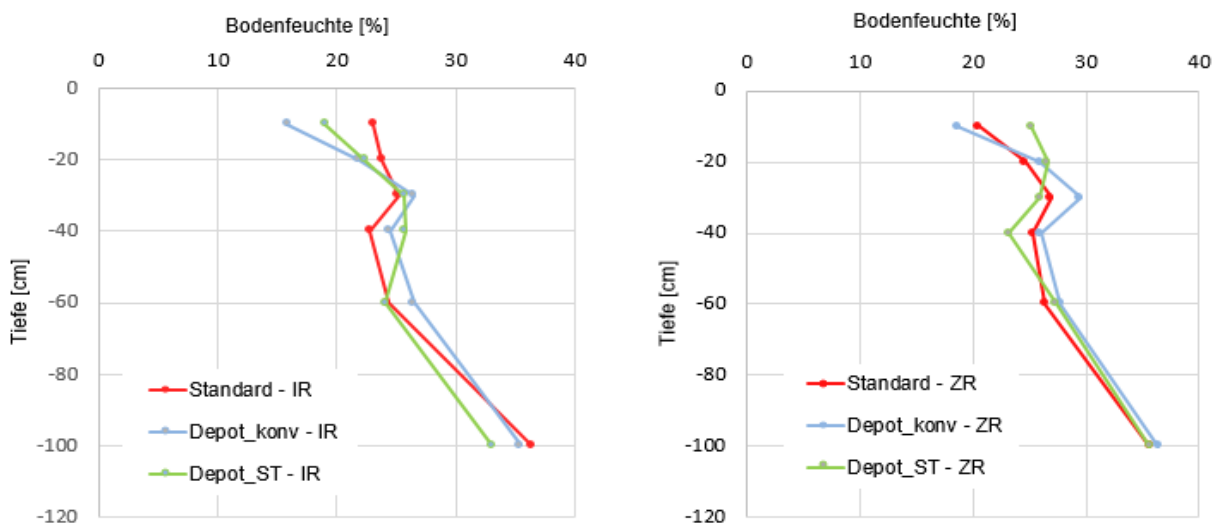


Abb. 7: Bodenfeuchte (Vol.-%) im Strip Till Versuch am 26.08.2015; IR = In der Reihe, ZR = Zwischen den Reihen

Im Unterboden liegen die Werte zwischen den Reihen bei allen drei Varianten sehr nah beieinander. In der Reihe nimmt im Vegetationsverlauf die Bodenfeuchte der Strip Till-Variante ab und weist geringere Werte auf als die Standard- und Depot-Varianten. Möglicherweise ist dies

auf die geringere oberirdische Pflanzenmasse der Strip Till-Variante zurückzuführen. Dadurch gelangt anteilig mehr Niederschlag in den Zwischenreihenbereich und weniger Wasser wird am Stängel herunter direkt unter die Pflanze geleitet (vgl. Abb. 8).

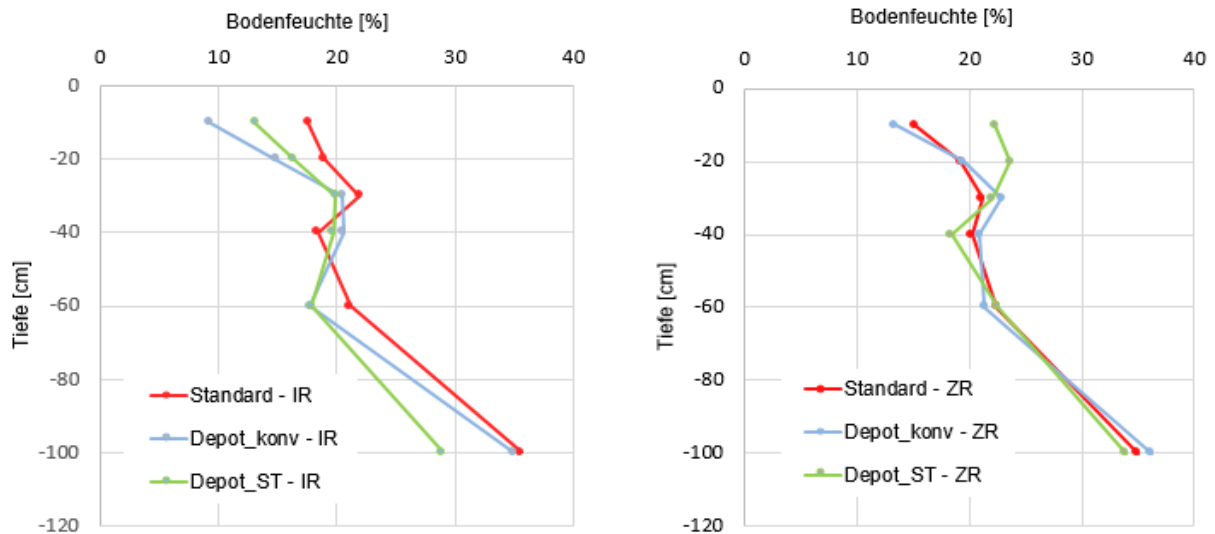


Abb. 8: Bodenfeuchte (Vol.-%) im Strip Till Versuch am 05.08.2015; IR = In der Reihe, ZR = Zwischen den Reihen

Bestandsentwicklung

Große Unterschiede zwischen der Strip Till-Variante auf der einen und der Depot- bzw. Standard-Variante auf der anderen Seite beginnen ab dem 4-Blatt Stadium, wenn der Keimling die Nährstoffreserven aus dem Saatkorn aufgebraucht hat und setzen sich über die gesamte Vegetationszeit fort (Abb. 9). Unter den Bedingungen des Feldversuches 2015 hat das Strip Till-Verfahren in Verbindung mit dem Zweikulturnutzungssystem „Grünroggen-Mais“ gegenüber den Vergleichsvarianten deutlich schwächer abgeschnitten.

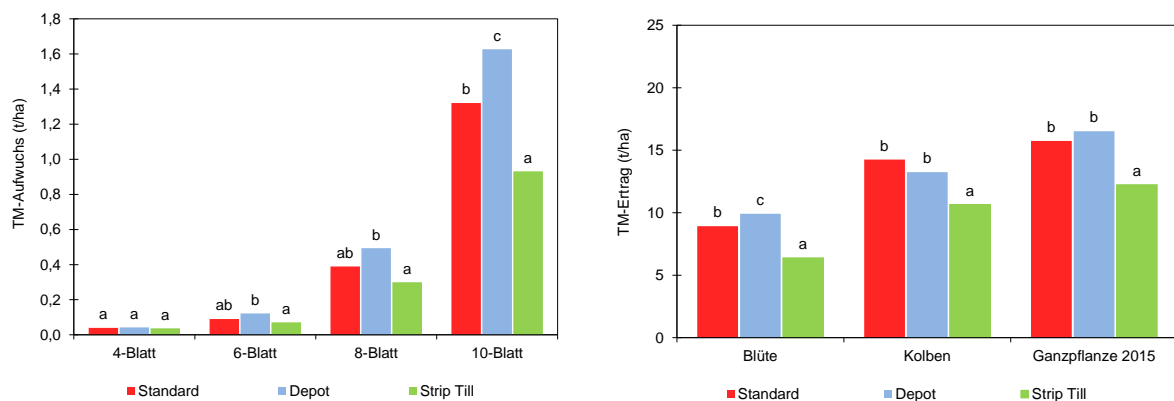


Abb. 9: Trockenmasseentwicklung und Ganzpflanzenertrag im Strip Till Versuch 2015

Es liegt nahe, dass der Faktor Bodenbearbeitung dabei einen deutlichen Einfluss hatte. Der Boden war durch die minimale Bearbeitung im Herbst 2014 und nicht durchgeführte Bearbeitung im Frühjahr 2015 sowie sehr geringe Niederschläge stark verhärtet. Durch diese Begebenheiten konnten die Wurzeln in der Strip Till-Variante nicht aus dem Injektionsbereich, den der Zinken gelockert hat, in tiefere Bodenschichten und den Zwischenreihenbereich vordringen. Es ergab sich ein sogenannter „Blumentopfeffekt“. Die Folge war, dass sich die Wurzeln

nur in dem gelockerten Streifen in die Tiefe ausdehnen konnten. Eine Erschließung des Zwischenreihenbereichs erfolgte jedoch kaum. Höhere Niederschläge, sowie höhere Temperaturen in der frühen Jugendentwicklung hätten das Wurzelwachstum wahrscheinlich gestärkt und so eine Durchwurzelung weiterer Bodenbereiche ermöglicht. Die Depot-Variante weist den höchsten Ertrag auf, was mitunter auf eine besonders gute Wurzelentwicklung und Nährstoffversorgung der Pflanzen zurückzuführen ist (Abb. 9). Diese wurde durch die Kombination einer ganzflächigen Bodenbearbeitung mit platzierter Gülleausbringung ermöglicht. Dies macht deutlich, dass das Prinzip der „Gülleunterfuß-Düngung“ sehr gut funktioniert. Um auf eine ganzflächige Bodenbearbeitung im Voraus verzichten zu können, müssen jedoch standortabhängige Bodenbedingungen beachtet werden. Entgegen des bisherigen Wissensstandes scheint insbesondere der tiefgründigeren Auflockerung des Bodens (ca. 30 cm tief), sowie der Vermeidung von Verdichtungen bereits vor der Aussaat der Zwischenfrucht eine Schlüsselrolle zuzukommen. Die Entwicklung und der Ertrag des Maises im Versuchsjahr 2015, bedingt durch die Nutzung der Zwischenfrucht zur Biomassebereitstellung, sowie den suboptimalen Witterungsbedingungen haben gezeigt, dass der Verzicht auf eine tiefe Bodenbearbeitung im Herbst 2014 zu deutlichen Nachteilen für das Strip Till-Verfahren geführt hat (Abb. 9).

3.2.4 Fazit

Die dargestellten Ergebnisse des durchgeführten Versuchs zeigen signifikante Unterschiede zwischen dem Strip Till-Verfahren gegenüber der Standard-Applikationstechnik und Gülleunterfußdüngung mit intensiver Bodenbearbeitung. Durch eine stark reduzierte Bodenbearbeitung, sehr trockene und kühle Witterungsverhältnissen von Mai bis August und dadurch resultierende langsame und schlechte Jugendentwicklung des Maises ist das Strip Till-Verfahren von einem Bodenbearbeitungseffekt geprägt. Die Strip Till-Variante weist unter Berücksichtigung von Standort und Witterung im Jahr 2015 deutliche Nachteile gegenüber der Depot- und Standard-Variante auf. Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass das System „Gülleunterfußdüngung“ grundsätzlich funktioniert.

3.3 Sortenversuch

3.3.1 Fragestellung

Sorten reagieren in ihrer Jugendentwicklung sehr unterschiedlich auf verschiedene Düngungsstrategien. Die Jugendentwicklung kann sich bei Verzicht auf mineralische UFD unter Umständen verzögern. In dem Versuch wurde diesbezüglich die Eignung unterschiedlicher Maissorten für die Gülledepotdüngung in den Jahren 2013 und 2014 untersucht.

3.3.2 Material und Methode

Angelegt wurde der Versuch 2013 in Rieste. Es wurden die Gülleunterfußdüngung ohne und mit NH (Piadin, 3 l/ha) mit einer mineralisch gedüngten Variante verglichen. Die drei Düngestufen wurden nebeneinander angelegt. Darauf wurden jeweils 18 Sorten vierfach wiederholt geprüft. Zum Einsatz kamen Sorten verschiedener Züchter aus dem jeweils aktuellen Programm für die Region. Die Siloreifezahlen schwankten von S190 bis S250. Im folgenden Jahr wurde der Sortenversuch auf derselben Fläche wie der Strip Till Versuch angelegt (vergl. Kapitel 3.2). Allerdings wurde die mineralisch gedüngte Variante durch eine Standardvariante (Gülle breit ausgebracht und eingearbeitet mit mineralischer Unterfußdüngung (23 kg N/ha

und 10 kg P/ha)) ersetzt. Zudem wurde der Versuch im Split-Plot Design angelegt, weshalb die Düngungsstufen und die Interaktionen miteinander verglichen werden konnten. Da sich im Versuch 2013 gezeigt hat, dass die größten Unterschiede aus der weiten Spreizung der Siloreifezahlen kommen, wurden 2014 ausschließlich Sorten der Reifezahlen S230 und S240 gewählt. Zudem wurde die Anzahl an Sorten auf 8 reduziert.

3.3.3 Ergebnisse und Diskussion

Da die Düngungsstufen nicht randomisiert wurden, konnte keine Verrechnung des gesamten Versuches erfolgen. Die Unterschiede zwischen den Stufen Depot (17,2 t TM/ha) und Piadin (17,4 t TM/ha) waren ohnehin nur marginal. Lediglich die mineralisch gedüngte Variante fiel mit 16,7 t TM/ha etwas zurück. Eindeutige Sorten-Düngungsinteraktionen gehen aus den Ergebnissen nicht hervor (Abb. 10). Marginale Unterschiede zwischen den Sorten gehen mit den Ergebnissen der Landessortenversuche einher. So konnten die Sorten, die basierend auf den Landessortenversuchen in die Anbauempfehlung der Landwirtschaftskammern aufgenommen wurden auch im vorliegenden Sortenversuch leichte Mehrerträge vorweisen. Tendenziell lagen die Erträge der Sorten mit der Reifezahl S230 am höchsten. Dies passt zu den Erwartungen an die Region.

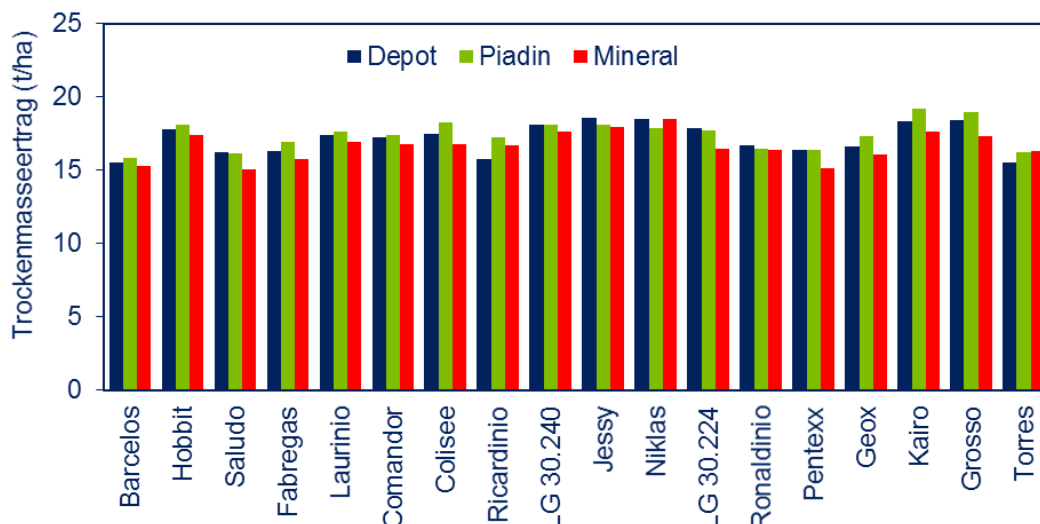


Abb. 10: Trockenmasseerträge der Sorten in den drei Düngestufen im Sortenversuch 2013. Die Sorten sind aufsteigend nach Siloreife von S190 bis S250 geordnet

Im Sortenversuch 2014 konnten sowohl Sorten und Düngungsstufen, als auch die Interaktionen verrechnet werden. Analog zum Strip Till Versuch lag die Standardvariante mit 24,9 t TM/ha etwas über der Variante mit Piadin (23,9 t TM/ha) und der Depot-Variante (23,3 t TM/ha). Bei den Sorten lag Ronaldinio mit 25,1 t TM/ha an der Spitze, gefolgt von einem breiten Mittelfeld. Lediglich die Sorte LG 30.240 (22,0 t TM/ha) fiel signifikant ab, dies kann basierend auf den vorliegenden Ergebnissen nicht erklärt werden. Entgegen der Erwartungen wurden keine signifikanten Interaktionen zwischen Düngung und Sorten im vorliegenden Versuch festgestellt. Dennoch zeigten einzelne Sorten keinen Einfluss der Düngung (z.B. Fox), wohingegen andere größere Unterschiede aufwiesen (Abb. 11).

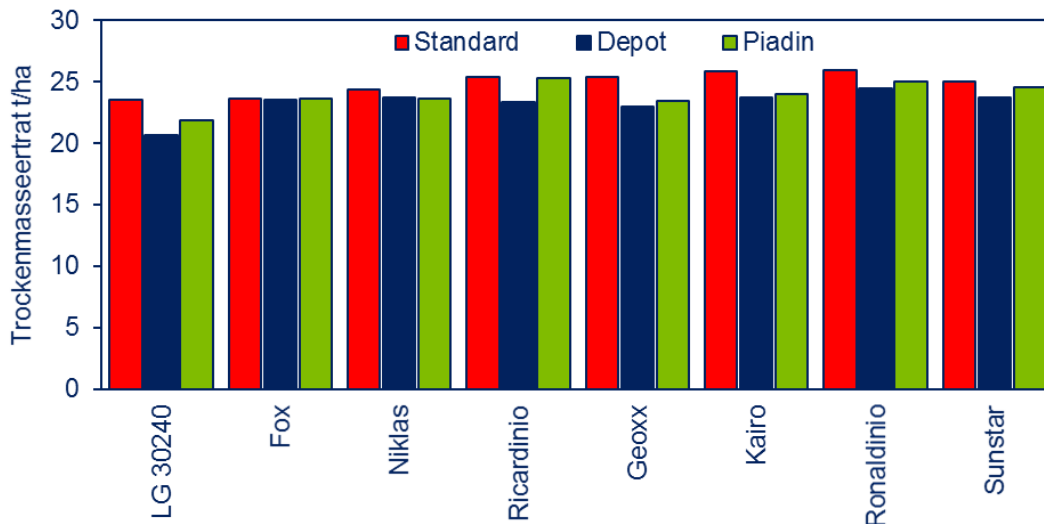


Abb. 11: Trockenmasseerträge der Sorten in den drei Düngeufen im Sortenversuch 2014

3.3.4 Fazit

Im Sortenversuch konnten leider keine wesentlichen Rückschlüsse in Bezug auf die Versuchshypothesen getroffen werden. Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen weitestgehend die Eindrücke aus den Landessortenversuchen. Aus Kapazitätsgründen konnten die zur Feststellung von Sorten-Düngungsinteraktionen nötigen Untersuchungen in den kritischen Phasen der Jugendentwicklung leider nicht durchgeführt werden. Ansätze im Hinblick auf Sortenunterschiede wurden zwar ausgemacht, für weitere Versuche in dieser Richtung sind jedoch umfangreichere Untersuchungen im Hinblick auf die Nährstoffverwurzelung in der frühen Jugendentwicklung angeraten. Im Jahr 2015 wurde daher von einer Weiterführung des Versuches abgesehen.

3.4 Versuche zur Optimierung der N_{\min} -Bodenbeprobungsmethodik

3.4.1 Fragestellung

Für ein besseres Verständnis der Boden-Pflanze Interaktionen bei der Gülledepot-Applikation ist eine Beschreibung der Bodenstickstoffdynamik notwendig. Allerdings ist aufgrund der hohen N_{\min} -Konzentrationsunterschiede zwischen dem Injektions- und dem ungedüngten Zwischenreihenbereich und weil das „Gülleband“ von der Oberfläche aus nicht exakt geortet werden kann, die Anwendung des üblichen Bohrstockverfahrens nicht möglich. Deshalb wurde in drei aufeinander aufbauenden Feldversuchen eine Methode entwickelt, die eine verlässliche Darstellung der räumlichen und zeitlichen Boden-N-Dynamik ermöglicht. Dabei fand die N-Umsetzung im Injektionsbereich, die Verlagerung in den Zwischenreihenbereich und eine Beprobungstiefe bis 90 cm Berücksichtigung.

3.4.2 Material und Methode

Entwicklung einer neuen Bodenbeprobungsmethode

Ziel war es eine rasterartige Beschreibung der N_{\min} -Konzentrationen im Bodenprofil zu ermöglichen. Dafür wurde das Standard-Bohrstockverfahren mit einer Bodenmonolithbeprobung mittels speziell angefertigter Metallschaufel (15 cm hoch, 15 cm breit, 10 cm tief) kombiniert

(Abb. 12). Die Beprobung im Zwischenreihenbereich erfolgte mit einem Pürckhauer-Bohrstock im Abstand von 15 und 30 cm zur Reihe (Abb. 12; B 15 und B 30). Die Proben von links und rechts der Reihe wurden zu Mischproben zusammengefasst und in drei Schichten differenziert (Oben: 0 – 30 cm; Mitte: 30 – 60 cm; Unten: 60 – 90 cm). Unterhalb der Maisreihe wurde eine ca. 30 – 40 cm tiefe Profilgrube angelegt um mittels der Metallschaufel die Bodenmonolithe oberhalb und unterhalb des Güllebandes sowie direkt um das Gülleband zu entnehmen. Zur Beprobung unterhalb des dritten Bodenmonolithen kam wiederum der Bohrstock bis in 90 cm Tiefe zum Einsatz (Abb. 12; B 0).

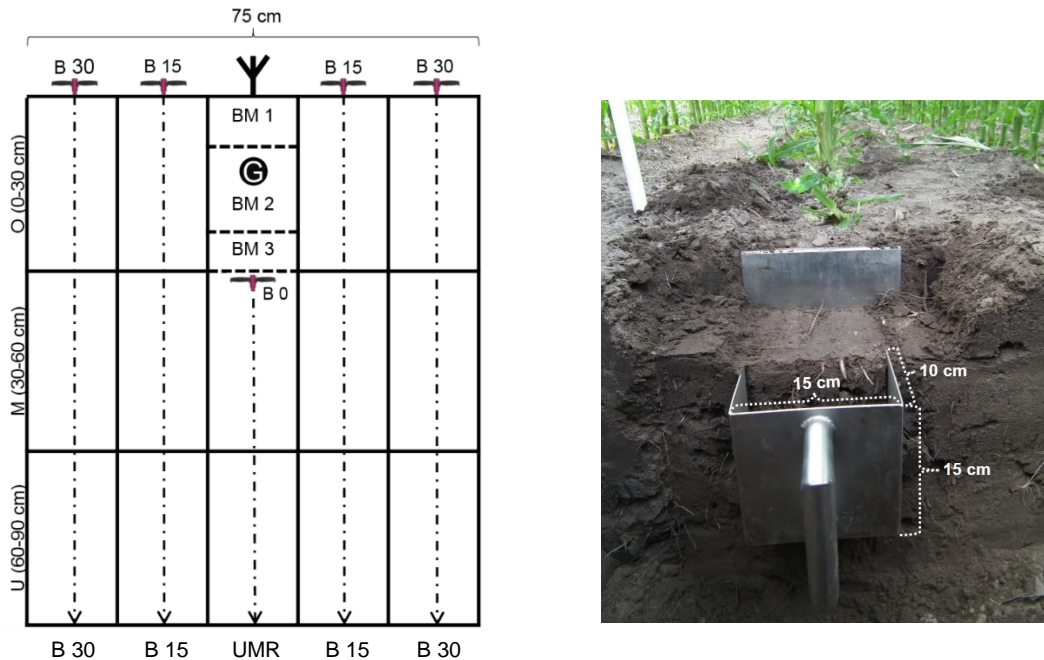


Abb. 12: Links: Schema der rasterartigen Bodenbeprobung; BM = Bodenmonolith; B 0 / 15 / 30 = Bohrstock mit 0 / 15 / 30 cm Distanz zur Maisreihe; O / M / U = Oben / Mitte / Unten; UMR = Unter der Maisreihe; Rechts: Bild von der angefertigten Entnahmeschaufel

Entwicklungsversuch

Der Entwicklungsversuch wurde 2013 auf einem Gley-Podsol (Bodenart: Sand) in Wehnen durchgeführt. Dabei wurde eine Gülleinjektions-Variante aus dem bestehenden Kooperationsversuch (vgl. Kap. 3.1) ausgewählt. Die Parzellen bestanden aus vier Maisreihen mit einem Reihenabstand von 75 cm. In der ausgewählten Variante erfolgte am 07.05.2013 die Injektion von 48 m³/ha (125 kg NH₄-N/ha) Mastschweinegülle in eine Tiefe von 14 cm (Oberkante). Das Gülleband war ca. 7 cm hoch und 6 cm breit. Die Maisaussaat fand drei Tage später am 10.05.2015 statt. Die Bodenbeprobungen wurden zum Nachauflauf (23 Tage nach Injektion (TNI)) und 10-Blatt-Stadium (64 TNI) entsprechend Abb. 12 in einer der beiden Kernreihen pro Parzelle und in allen Wiederholungen durchgeführt. Im Zwischenreihenbereich wurden Mischproben aus jeweils einem Bohrstock links und rechts, aufgeteilt in die drei Tiefen, entnommen. Anschließend erfolgte die Entnahme eines Bodenmonolithen pro Wiederholung für jede der drei Tiefen (0 – 10 cm, 10 – 25 cm, 25 – 40 cm). Für die Bohrstöcke unterhalb der BM-Entnahme wurden wiederum zwei Bohrstockproben pro Mischprobe gezogen. Dabei wurden die Bohrstöcke bei der ersten Beprobung (23 TNI) noch durch das Gülleband geschlagen und bei der zweiten Beprobung (64 TNI) unterhalb der Bodenmonolithentnahme eingeschlagen. Alle

Bodenproben wurden in Eimern gesammelt, intensiv von Hand homogenisiert, auf 5 mm gesiebt und anschließend direkt eingefroren.

Optimierungsversuch

Die Durchführung des Optimierungsversuches erfolgte im Herbst 2013 nach der Maisernte auf einem Gley (Bodenart: Sand) in Wallenhorst-Lechtingen. Dabei wurde am 29.11.2013 ein einfaches, 16 m langes Gülleband (25 m³/ha Mastschweinegülle; 105 kg NH₄-N/ha) in eine Tiefe von ca. 17 cm (Oberkante) injiziert. Dieses war ca. 5 cm breit und 7 cm hoch. Die Bodenbeprobung fand 5 TNI bis in eine Tiefe von 60 cm statt. Dabei wurden links und rechts des Güllebandes jeweils 32 Bohrstockproben (differenziert in 0 – 30 cm und 30 – 60 cm) erhoben, um die Streuung der N_{min}-Gehalte links und rechts der Injektionszone charakterisieren zu können. Acht Bodenmonolithentnahmen wurden gleichmäßig verteilt entlang dem Gülleband in den Tiefen 0 – 10 cm (BM 1), 10 – 25 cm (BM 2) und 25 – 30 cm (BM 3) durchgeführt. Die Aufbereitung der Proben erfolgte analog zum Entwicklungsversuch. Bei den Bodenmonolithentnahmen wurde allerdings der gesamte Probenumfang in Teilproben (ca. 250 – 350 g) aufgeteilt, um die Homogenisierungsqualität überprüfen zu können. Das ergab sechs Teilproben pro BM 1, zehn Teilproben pro BM 2 und vier Teilproben pro BM 3.

Validierungsversuch

Der Validierungsversuch wurde 2014 auf einem Plaggenesch-Podsol (Bodenart: Sand) in Wallenhorst-Hollage durchgeführt. Wie im Entwicklungsversuch wurde eine Variante aus einem bestehenden Mais-Düngungsversuch (hier: Stickstoffdynamikversuch 2014, Kap. 3.5). Jede Parzelle bestand wiederum aus vier Maisreihen mit 75 cm Reihenabstand. In der ausgewählten Variante wurden am 11.04.2014 23 m³/ha (127 kg NH₄-N/ha) Mastschweinegülle in eine Tiefe von 12 cm (Oberkante) injiziert. Das Gülle-Band war ca. 5 cm hoch und 5 cm breit. Die Maisaussaat erfolgte am 25.04.2015.

Die Bodenbeprobungen wurden zum Nachauflauf (24 TNI) und 10-Blatt-Stadium (61 TNI) entsprechend Abb. 12 in beiden Kernreihen durchgeführt. Es wurden zwölf Bohrstöcke pro Mischprobe für jeden Beprobungsbereich, per Schablone gleichmäßig auf beide Kernreihen aufgeteilt, entnommen. Die Bodenmonolith-Entnahme erfolgte in Tiefen von 0 – 8 cm (BM 1), 8 – 23 cm (BM 2) und 23 – 30 cm (BM 3). Es wurden sechs Bodenmonolithe (drei pro Kernreihe) je Tiefe und Parzelle entnommen und auf getrennte Eimer verteilt.

Die Homogenisierung der Bohrstockproben fand direkt mittels elektrischem Handmixer (handelsüblicher Küchenmixer) statt. Die einzelnen Bodenmonolithe wurden zunächst von Hand homogenisiert und größere, sichtbare Wurzeln entfernt. Anschließend kam ebenfalls der elektrische Handmixer zum Einsatz. Daraufhin wurden ca. 300 ml von den sechs einzelnen Bodenmonolithen entnommen, zu einer Mischprobe zusammengeführt und wiederum mittels Handmixer homogenisiert. Letztlich wurden die Proben auf 5 mm gesiebt und ca. 300 – 400 g Boden pro Probe eingefroren.

Im Labor erfolgte nach dem Auftauen bei 4 °C die Extraktion mittels Calciumchloridlösung ($c(\text{CaCl}_2) = 0,0125 \text{ mol/l}$) bei einem 1:4 Masse-Volumen-Verhältnis. Letztlich erfolgte die Bestimmung der NH₄-N- und NO₃-N-Gehalte spektrophotometrisch und daran die Berechnung der Konzentration an mineralischem N (mg N_{min}/kg Boden).

Statistik

Für die Beschreibung der mittleren N_{\min} -Konzentrationen wurde das arithmetische Mittel verwendet. Die Streuung dieser Konzentrationen wurde mittels Variationskoeffizienten bzw. der Min-Max-Spanne dargestellt. Die Definition und der anschließende Ausschluss von Ausreißern basierte auf dem Grubbs-Test (zweiseitig; 5 % Signifikanzniveau). Der notwendige Stichprobenumfang (n) wurde nach Gomez und Gomez (1984) bestimmt. Danach gilt:

$$n = \frac{Z_{\alpha^2}}{d^2} \times \frac{VK(\%)^2}{10000}$$

wobei:

Z_{α} = Wert der Standardnormalverteilung bei Signifikanzniveau α ,

d = akzeptierte Fehlerspanne (%-Abweichung vom Mittelwert),

VK = Variationskoeffizient.

3.4.3 Ergebnisse und Diskussion

Entwicklungsversuch

Die Ergebnisse des Entwicklungsversuches zeigen, dass der methodische Ansatz grundsätzlich geeignet ist (Abb. 13). Beim ersten Beprobungstermin (23 TNI) konnte der Bereich des Güllebandes mit 237 mg N_{\min} pro kg Boden deutlich gekennzeichnet werden. Tendenziell fielen die Konzentrationen zum Zwischenreihenbereich und mit zunehmender Bodentiefe ab. Die erhöhte Konzentration im Bereich oberhalb des Güllebandes (57 mg/kg) ließ auf ein leichtes „Hochdrücken“ der Gülle während der Injektion zurückschließen. Auffällig und unrealistisch war, dass die Konzentration im Bereich des dritten Bodenmonolithen (29 mg/kg) geringer ist, als im darunter liegenden Raster (51 mg/kg). Das konnte auf eine N_{\min} -Verschleppung entlang des Bohrstocks (B 0) aufgrund des Durchschlagens des Güllebandes zurückgeführt werden.

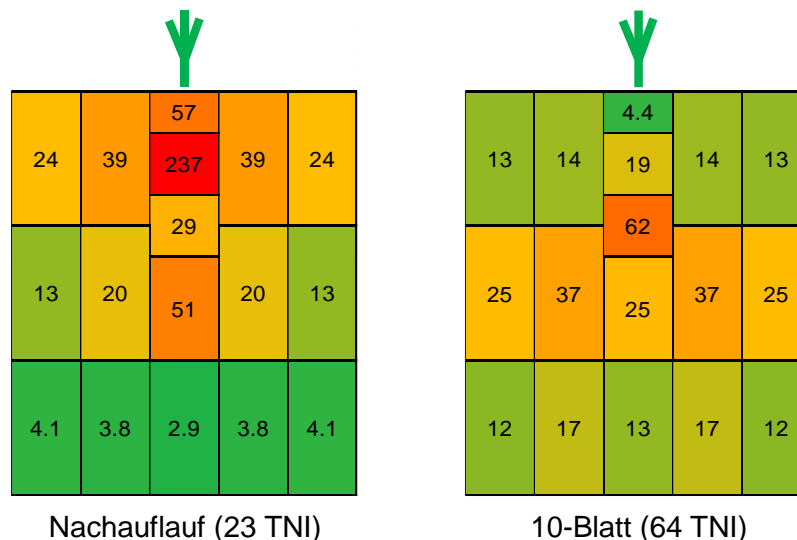


Abb. 13: N_{\min} -Konzentrationen (mg/kg) im Bodenprofil zu zwei Beprobungsterminen im Entwicklungsversuch; TNI = Tage nach Injektion

Dies wurde im Folgenden bei der Probenahme zum 10-Blatt-Stadium vermieden. Zum zweiten Beprobungstermin (64 TNI) ist die Konzentration im Injektionsbereich durch Pflanzenentzüge

und Verlagerungsprozesse deutlich abgefallen (19 mg/kg). In der mittleren und unteren Bodenschicht sind die Konzentrationen angestiegen. Weiterhin fielen die Gehalte zum Zwischenreihenbereich hin tendenziell ab. Insgesamt ließ sich die räumliche und zeitliche Dynamik nachvollziehbar darstellen.

Allerdings gab es Probleme mit starken Streuungen der Werte zwischen den Wiederholungen, was sehr hohe Variationskoeffizienten zur Folge hatte (Abb. 14). Diese lagen überwiegend zwischen 40 – 60 %. Dadurch wurde eine statistische Absicherung der Ergebnisse und somit deren Aussagekraft deutlich eingeschränkt.

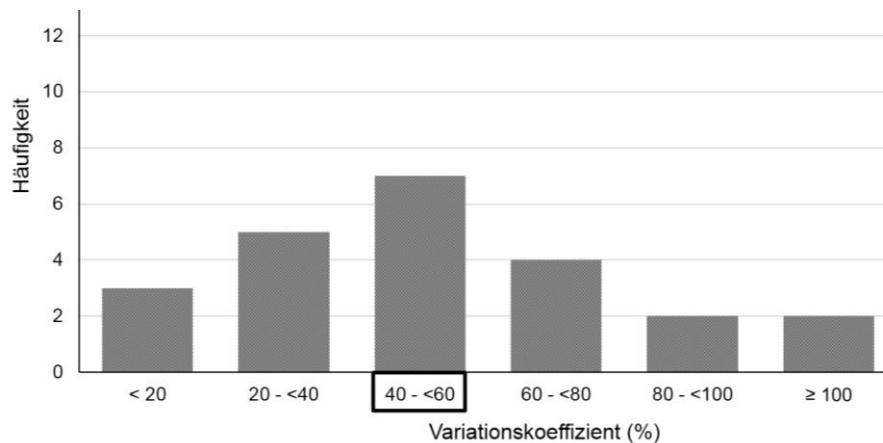


Abb. 14: Verteilung der Variationskoeffizienten (%) der N_{\min} -Konzentrationen beider Beprobungstermine des Entwicklungsversuches

Mögliche Ursachen (z. B. mangelhafte Probenhomogenisierung, zu geringer Stichprobenumfang) wurden im Optimierungsversuch analysiert.

Optimierungsversuch

Die Überprüfung der Homogenisierungsqualität ergab, dass außerhalb des direkten Injektionsbereiches eine Durchmischung des Probenmaterials von Hand und anschließendes Sieben auf 5 mm ausreichend war. Dies konnte aus den sehr geringen Spannen der N_{\min} -Konzentrationen von den Teilproben der homogenisierten Bodenmonolithe, die oberhalb des Güllebandes entnommen wurden, gefolgert werden (Abb. 15; BM 1).

Im Bereich des Güllebandes (BM 2) stellte sich dies völlig anders dar. Die Werte innerhalb eines homogenisierten Bodenmonolithen streuten so stark, dass die interne Streuung z.T. größer war als die Streuung zwischen den Wiederholungen (Abb. 15; BM 2). Dies ist möglicherweise auf die Bildung von Gülle-Boden-Verbindungen zurückzuführen, die eine intensivere Durchmischung erfordern.

Zur Ableitung des notwendigen Stichprobenumfangs pro Mischprobe ergibt sich nach Gomez und Gomez (1984) der in Abb. 16 dargestellte Zusammenhang. Bei einem definierten Signifikanzniveau ($\alpha = 10\%$) und je nach akzeptierter Fehlerspanne (%-Abweichung vom Mittelwert: d) kann in Abhängigkeit vom empirisch erhobenen Variationskoeffizienten (VK (%)) auf den notwendigen Stichprobenumfang geschlossen werden. Da im Bereich der Bodenmonolithe gerade zu Vegetationsbeginn sehr hohe N_{\min} -Konzentrationen vorliegen und die N-Umsetzung im direkten Bereich des Güllebandes von besonderem Interesse ist, wurde eine Fehlerspanne von lediglich $d = 15\%$ um den Mittelwert akzeptiert.

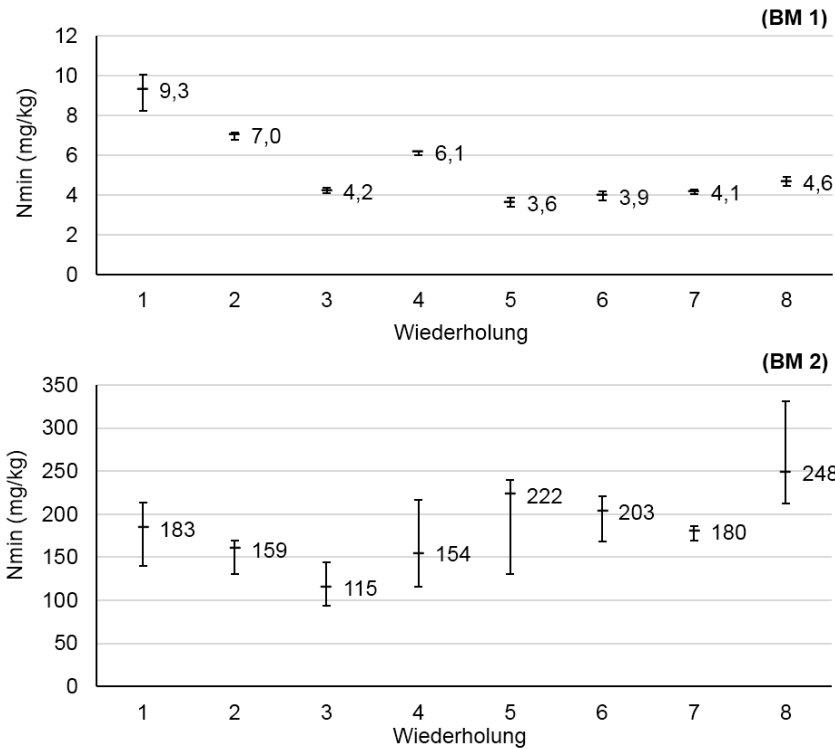


Abb. 15: Arithmetisches Mittel und Spanne (Min – Max) der N_{min}-Konzentrationen (mg/kg) von den Teilproben der Bodenmonolithe des Optimierungsversuches; BM 1 = 0 – 10 cm Tiefe; BM 2 = 10 – 25 cm Tiefe

Der erhobene VK von $\approx 22\%$ führte somit zu einem notwendigen Stichprobenumfang von sechs Bodenmonolithen pro Mischprobe. Da die Konzentrationen in den Bereichen der Bohrstockbeprobung i. d. R. wesentlich geringer sind, wurde in diesem Fall eine Fehlerspanne von $d = 20\%$ akzeptiert. Der erhobene VK von $\approx 43\%$ führte somit zu einem notwendigen Stichprobenumfang von zwölf Bohrstöcken pro Mischprobe.

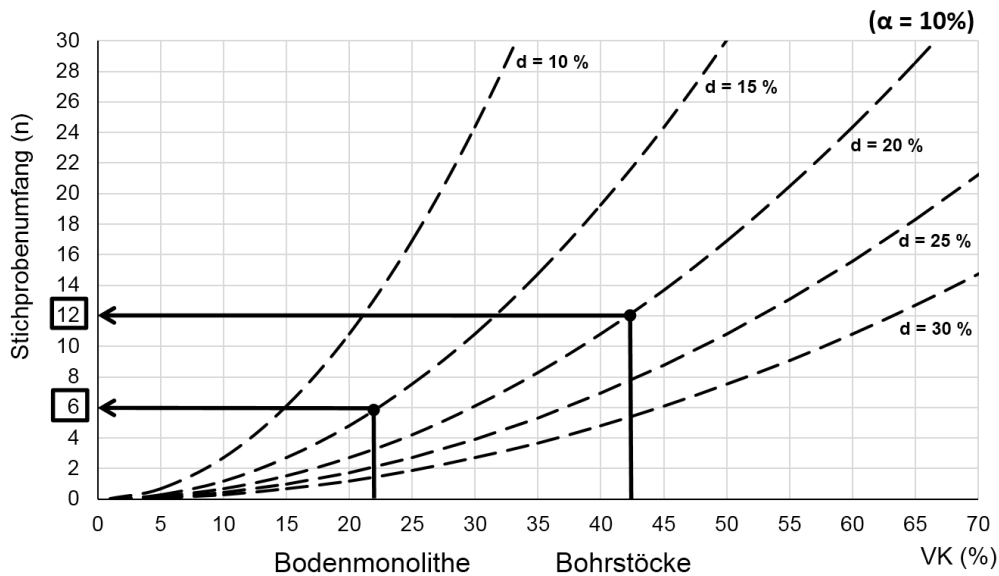


Abb. 16: Ableitung der notwendigen Stichprobenumfänge (nach Gomez und Gomez 1984); VK = Variationskoeffizient; d = akzeptierte Fehlerspanne um den Mittelwert; α = Signifikanzniveau

Validierungsversuch

Im Validierungsversuch erfolgte die Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse. Der Stichprobenumfang wurde im Vergleich zu den beiden vorhergehenden Versuchen erhöht und für eine bessere Homogenisierung ein elektrischer Handmixer verwendet. Durch die Verteilung der Beprobung auf beide Parzellen-Kernreihen konnten mögliche Unterschiede zwischen den Injektionsscharen ausgeglichen werden. Außerdem wurde die Gesamt-Beprobungstiefe der drei Bodenmonolithe auf 0 – 30 cm beschränkt, um eine bessere Vergleichbarkeit mit der üblichen 0 – 30 cm Schichtdicke zu gewährleisten.

Die Ergebnisse bestätigen die grundlegenden Erkenntnisse aus den vorhergehenden Versuchen. Beim ersten Beprobungstermin (24 TNI) konnte der Injektionsbereich mit sehr hohen N_{\min} -Konzentrationen (170 mg/kg) gekennzeichnet werden (Abb. 17). Leichte N_{\min} -Verlagerungen hatte es bis zu diesem Termin in den Bereich des 3. Bodenmonolithen gegeben (34 mg/kg). Wiederum fielen die Konzentrationen zum Zwischenreihenbereich und mit zunehmender Tiefe ab.

Bis zum 6-Blatt-Stadium (61 TNI) hatte es starke Niederschläge gegeben, wodurch es zu deutlichen N_{\min} -Verlagerungen unterhalb der Maisreihe kam. Dadurch und durch den Pflanzenentzug sind die Konzentrationen im Injektionsbereich deutlich abgefallen (34 mg/kg; Abb. 17). Eine N_{\min} -Verlagerung in den Zwischenreihenbereich war nur in sehr geringem Maße festzustellen.

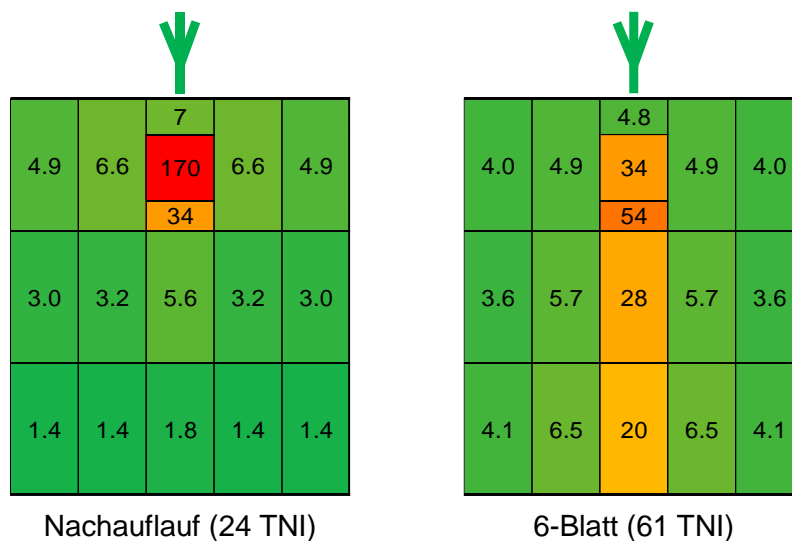


Abb. 17: N_{\min} -Konzentrationen (mg/kg) im Bodenprofil zu zwei Beprobungsterminen im Validierungsversuch; TNI = Tage nach Injektion

Die Homogenisierungsqualität im Bereich des Güllebandes (BM 2) konnte im Vergleich zum Ergebnis des Optimierungsversuches durch den elektrischen Handmixer deutlich verbessert werden. Das wird bei Betrachtung der Spannen der N_{\min} -Konzentrationen der Teilproben in Abb.18 deutlich. Diese liegen alle < 5 % vom Mittelwert der jeweiligen Wiederholung.

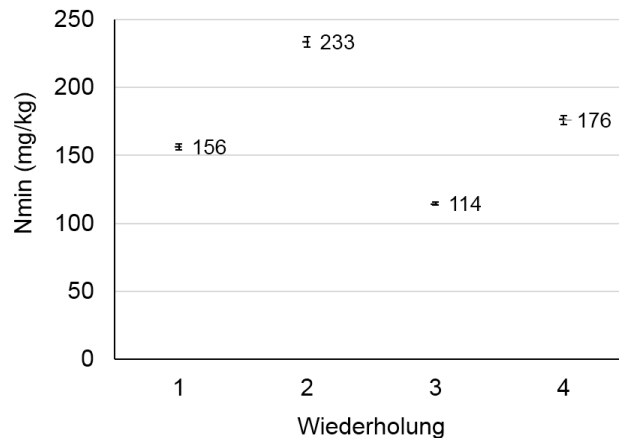


Abb.18: Arithmetisches Mittel und Spanne (Min – Max) der N_{min}-Konzentrationen (mg/kg) von den Teilproben des mittleren Bodenmonolithen (BM 2; 8 – 23 cm Tiefe) des Validierungsversuches zum Nachauflauf-Beprobungstermin (24 TNI)

Weiterhin konnte durch die beschriebenen Optimierungsmaßnahmen die Streuung zwischen den Wiederholungen deutlich verringert werden. Das veranschaulichen die Variationskoeffizienten, die in diesem Versuch überwiegend < 20 % lagen (Abb. 19). Folglich wurde die Datenqualität stark verbessert und dadurch die Aussage der erhobenen Werte deutlich gesteigert.

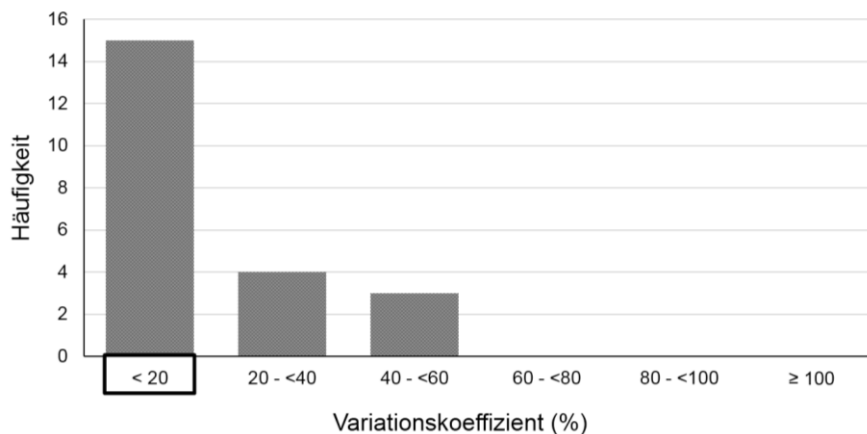


Abb. 19: Verteilung der Variationskoeffizienten (%) der N_{min}-Konzentrationen beider Beprobungstermine des Validierungsversuches

3.4.4 Fazit

Die neue Bodenbeprobungsmethode ermöglicht eine repräsentative Beschreibung der räumlichen und zeitlichen Boden-N_{min}-Dynamik bei Gülleinjektion unter die Maisreihe. Durch die entwickelte Metallschaufel ist eine genaue Charakterisierung des Injektionsbereiches bis in 30 cm Tiefe möglich. Darunter und im Zwischenreihenbereich ist der Pürckhauer-Bohrstock zur Beprobung geeignet. Wichtig sind eine intensive Homogenisierung der Probe aus dem direkten Bereich des Güllebandes und die Einhaltung des notwendigen Stichprobenumfangs. Das Durchschlagen des hochkonzentrierten Güllebandes mit dem Bohrstock ist zu vermeiden. Die Methode kann auf andere Reihenkulturen und -abstände übertragen werden.

Für den großflächigen Einsatz, z.B. zur Nachernte-N_{min}-Beprobung auf Praxisschlägen, ist diese Methode natürlich zu aufwändig. In diesem Fall, wenn die räumliche Dynamik nicht im

Detail von Interesse ist, könnte sich eine optimierte Bohrstockbeprobung in Anlehnung an Te-wolde et al. (2013) eignen. Danach gilt es diagonal über das Düngerband / die Pflanzenreihe von einem Zwischenreihenbereich bis zum nächsten gleichmäßig verteilt Bohrstockproben zu ziehen und daraus eine Mischprobe zu generieren. Die Anzahl an notwendigen Bohrstöcken ergibt sich wie folgt:

$$\text{Anzahl an Bohrstöcken} = \frac{\text{Abstand zw. Düngerbändern bzw. Reihenabstand (cm)}}{\text{Breite des Düngerbandes (cm)}}$$

Bei Gülledepotapplikation im Mais wären entsprechend 15 Bohrstöcke gleichmäßig über die 75 cm (37,5 cm rechts und links der Reihe) zu verteilen. Dadurch kann eine repräsentative Beprobung sichergestellt werden.

3.5 Stickstoffdynamikversuch

3.5.1 Fragestellung

Das Ziel dieses zweijährig (2014 und 2015) durchgeführten Feldversuches war die detaillierte Beschreibung der Stickstoffdynamik bei Gülledepot-Applikation im Vergleich zur regionalen Standarddüngung. Dabei wurden sowohl die Prozesse der N-Umsetzung und Verlagerung im Boden, als auch die N-Aufnahme im Vegetationsverlauf durch den Maisbestand betrachtet. Einen wesentlichen Aspekt stellte die Überprüfung der Wirkung von NH im Gülleband dar. Die durch NH-Zumischung zur Gülle erzielte Stabilisierung des Ammoniumstickstoffs im Gülledepot soll einerseits eine bessere Nährstoffversorgung der Pflanze gewährleisten und andererseits die N-Auswaschung reduzieren. Als Kooperationspartner konnten die NH-Hersteller EuroChem Agro (Produkt: Entec FL), SKW Piesteritz (Produkt: Piadin) und der DOW AgroSciences (Produkt: N-Lock) gewonnen werden.

3.5.2 Material und Methode

Standort, Gülle und Versuchsaufbau

Die Versuche wurden in 2014 und 2015 auf benachbarten Schlägen in Wallenhorst-Hollage, ca. 7 km nördlich von Osnabrück, durchgeführt. Der Standort hat eine Jahresdurchschnittstemperatur von ca. 10°C und eine Jahresniederschlagssumme von rund 800 mm. Beim Bodentyp handelt es sich auf beiden Schlägen um einen Podsol mit der Hauptbodenart Sand (31 – 33 Bodenpunkte; Tab. 2). Die verwendete Gülle stammte jeweils vom gleichen, regional ansässigen Schweinemastbetrieb (Tab. 2).

Es wurden sechs Varianten angelegt (Tab. 3). Neben einer ungedüngten Kontrolle waren dies der regionale Standard (s.u.), eine Depotvariante ohne NH sowie drei Depotvarianten mit den NH der Kooperationspartner. Diese wurden jeweils mit vier Wiederholungen in randomisierter Blockanlage angelegt. Dabei waren die Parzellen 3 m breit und 24 m (2014) bzw. 40 m (2015) lang und bestanden aus vier Maisreihen (75 cm Reihenabstand).

Die Parzellen wurden in einen Erntebereich (7 m) und einen destruktiven Bereich unterteilt. Zu beachten ist, dass die mineralische Unterfußdüngung der Standard-Variante bei den Depotvarianten nicht ausgeglichen wurde. Dies ist mit der Zielsetzung des Projektes „Substitution der mineralischen UFD durch Gülledepotapplikation“ zu begründen. Die Güllemengen wurden entsprechend der Sollwert-Methode der LWK ermittelt und die Applikation erfolgte mittels Versuchstechnik der Landwirtschaftskammer Niedersachsen.

Tab. 2: Charakterisierung des Bodens und der Mastschweinegülle

Boden			Mastschweinegülle		
	2014	2015		2014	2015
Sand (%)	91	87	TS (%)	9,3	6,5
Schluff (%)	8	9	Gesamt-N (g/kg)	7,2	5,4
Ton (%)	1	4	NH ₄ -N (g/kg)	5,5	3,5
pH (CaCl ₂)	5,3	5,5	P (g/kg)	1,8	1,4
Humus (%)	2,0	2,9	C/N	4,7	4,7
C/N	13,0	16,5	pH	7,7	7,6
Gesamt-N (%)	0,09	0,10			
N _{min} 0-60 cm (kg/ha)	35	45			
P (CAL) 0-30 cm (mg/100 g)	8,0	7,8			

Bei der Standard-Variante wurde die Gülle direkt nach Schleppschlauch-Ausbringung mittels Scheibenegge eingearbeitet (< 10 cm tief). Die Injektion der Gülle in den Depot-Varianten erfolgte ca. 12 cm (2014) bzw. 10 cm (2015) tief (Oberkante Gülleband; Gülleinjektor: XTill, Hugo Vogelsang GmbH).

Tab. 3: Beschreibung der angelegten Varianten im Stickstoffdynamik-Versuch

	Verfahren	Mineralische Unterfußdüngung	Gülledüngung	Nitrifikationshemmstoff
1	Kontrolle	ohne	ohne	ohne
2	Standard	23 kg/ha N 10 kg/ha P	23/24 m ³ /ha (Schleppschlauch)	ohne
3	Depot	ohne	23/24 m ³ /ha	ohne
4	Depot + Piadin	ohne	23/24 m ³ /ha	3 l/ha Piadin
5	Depot + N-Lock	ohne	23/24 m ³ /ha	2,5 l/ha N-Lock
6	Depot + Entec FL	ohne	23/24 m ³ /ha	10 l/ha Entec FL

Die Maisaussaat erfolgte ca. 1 Woche nach Gülleapplikation direkt über den Güllebändern in eine Tiefe von 4,5 cm (Sorte: Ricardinio (KWS); Saatstärke: 9,2 Körner/m²).

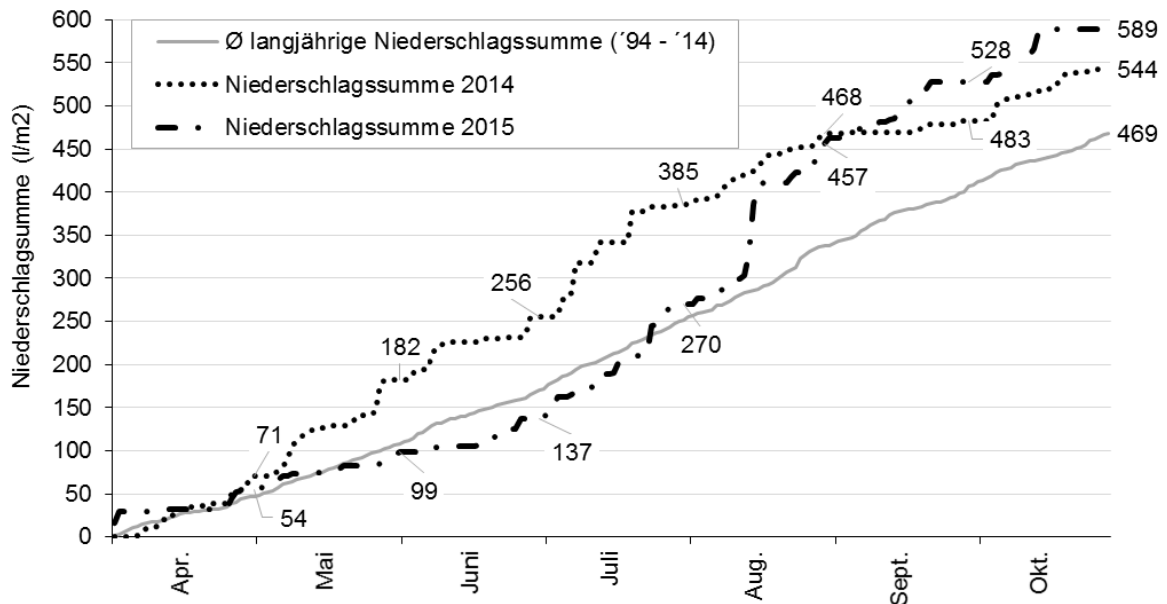
Pflanzenbauliche Maßnahmen

Im Frühjahr 2014 erfolgten der Stoppelbruch der Vorfrucht Körnermais sowie die Saatbettbereitung mittels Scheibenegge (05. und 27.03.). Die Gülleapplikation folgte am 11., die Aussaat am 25. April. Es wurden zwei Herbizidmaßnahmen nach regionalem Standard am 16.05. und 07.06. durchgeführt. Die Beerntung erfolgte mittels Parzellenhäcksler der LWK Niedersachsen am 08.10.

Dem Versuch 2015 ging als Vorfrucht Sommergerste gefolgt von einer Zwischenfrucht (Senf-Ölrettich Gemenge) voraus. Die Einarbeitung der Zwischenfrucht und die Saatbettbereitung erfolgten wiederum mittels Scheibenegge (04.03. und 14.04.). Die Gülleapplikation und die Aussaat folgten am 14. bzw. 22.04. Ebenfalls wurden zwei Herbizidmaßnahmen durchgeführt (23.04. und 22.05.) und die Versuchsbeerntung erfolgte am 28.09.2015.

Witterung

Zur Beschreibung der Witterungsbedingungen wurde in unmittelbarer Nähe der Versuche eine Wetterstation aufgestellt. Die Versuchsjahre 2014 und 2015 waren hinsichtlich Niederschlagsverteilung und Lufttemperatur deutlich verschieden (Abb. 20). 2014 war geprägt von einer überdurchschnittlich feuchten und warmen Phase während der Jugendentwicklung des Mais (April bis Juli). Erst ab Ende Juli ließen die Niederschläge deutlich nach. In 2015 war es zwischen Mai und Juli hingegen sehr trocken und im Vergleich zu 2014 kühler. Allerdings gab es ab Mitte Juli bis Oktober vermehrt Niederschläge, sodass in Summe über die gesamte Vegetationszeit sogar 45 l/m² mehr gefallen sind als 2014.



Temp. (°C)	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Ø
'94-'14	9,7	13,4	16,2	18,5	17,8	14,1	10,1	14,3
2014	12,0	13,2	16,2	20,3	16,4	15,8	13,3	15,3
2015	9,0	12,3	15,9	18,9	19,3	13,5	9,1	14,0

Abb. 20: Niederschlagssumme und mittlere Lufttemperaturen von April bis Oktober in den beiden Versuchsjahren

Merkmalerhebung

Um die Stickstoffdynamik detailliert beschreiben zu können, wurden zu definierten Terminen über die Vegetationsperiode Boden- und Pflanzenproben aus den destruktiven Parzellenbereichen entnommen (Abb. 21).

		Nach Düngung	Nach-auflauf	3-Blatt	4-Blatt	6-Blatt	8-Blatt	10-Blatt	Blüte	Ernte
Pflanze	2014									
	2015									
Boden	2014									
	2015									

Abb. 21: Boden- und Pflanzenbeprobungen im Stickstoffdynamikversuch

Die Bodenbeprobung erfolgte zu den dargestellten Terminen wie in Kap. 3.4.2 (Teilkapitel „Validierungsversuch“) beschrieben. Die Entnahme der drei Bodenmonolithen (Abb. 12) wurde dabei der Injektionstiefe angepasst. Während 2014 bis 8 cm (BM 1), bis 23 cm (BM 2) und bis 30 cm (BM 3) beprobt wurde, erfolgte 2015 die Differenzierung bis 6, 21 bzw. 30 cm. Die erhobenen N_{\min} -Konzentrationen wurden zur Darstellung der räumlichen und zeitlichen Dynamik im Bodenprofil deskriptiv aufbereitet. Außerdem konnten die N_{\min} -Mengen (kg/ha) schichtweise (0 – 30, 30 – 60 und 60 – 90 cm) sowie entsprechend dem Abstand zur Maisreihe (Teilbereiche 0 (UMR), 15 cm (B 15) und 30 cm (B 30); Abb. 12) berechnet werden. Dabei wurden die Unterschiede zwischen den Varianten zu den einzelnen Terminen mittels ANOVA ($\alpha = 5\%$) und anschließend Post-hoc-Test (Tukey HSD) auf signifikante Unterschiede hin analysiert.

Die Pflanzenbeprobungen zur Ermittlung der Biomassebildung und Stickstoffentzüge fanden parallel über die gesamte Vegetationsperiode statt. Dabei sind bis zum 6-Blatt Stadium aus jeder Parzelle 20 Pflanzen aus allen vier Reihen entnommen worden. Um Randeffekte auszuschließen wurden ab dem 8-Blatt-Stadium noch 16 Pflanzen aus den beiden Kernreihen genommen. Die Beerntung der Parzellen mittels Parzellenhäcksler erfolgte aus den 7 m langen Kernparzellenbereichen (mittlere beide Reihen). Zu allen Probenahmeterminen wurden die Frisch- und Trockenmassen bestimmt und anschließend im Labor der Hochschule Osnabrück die Stickstoffgehalte analysiert. Die Ergebnisse der Pflanzenproben wurden mit Hilfe eines gemischten Modells verrechnet. Auch hier folgte bei signifikanten Effekten ein Post-hoc-Test (Tukey HSD).

Zur zeitlich enger aufgelösten Beschreibung der Jugendentwicklung erfolgte in regelmäßigen Abständen vom Auflaufen bis zur Blüte des Maises der Einsatz des aktiven Reflexionssensors ISARIA (Fritzmeier Umwelttechnik, Großhelfendorf). Mit Hilfe dieses Sensors wurde der Vegetationsindex REIP (Red Edge Inflection Point) erhoben. Dieser zeigt eine sehr hohe Korrelation zur N-Aufnahme (N-Konzentration x Biomasse) und charakterisiert somit gut die „Vitalität“ des Bestandes.

3.5.3 Ergebnisse und Diskussion

Im weiteren Verlauf wird aufgrund der ähnlichen Wirkung der NH und aus Gründen des Umfangs lediglich eine Depotvariante mit NH dargestellt (Var. 6 aus Tab. 3).

Bodenstickstoffdynamik

Die räumliche und zeitliche Dynamik der N_{\min} -Konzentrationen im Bodenprofil wird in Abb. 22 dargestellt. Die entsprechenden Darstellungen der N_{\min} -Mengen in kg/ha je Bodenschicht (0 – 30, 30 – 60, 60 – 90 und 0 – 90 cm) bzw. in Abhängigkeit vom Abstand zur Maisreihe (0 cm (UMR), 15 cm (ZW 15), 30 cm (ZW 30)) sind Anlage IV bzw. V zu entnehmen. Die N_{\min} -Verteilung stellte sich zwischen beiden Versuchsjahren sehr unterschiedlich dar. Aufgrund der sehr ähnlichen Standorte und Güllen kann dies auf die deutlich verschiedene Niederschlagsverteilung zurückgeführt werden (Abb. 20).

In **2014** kam es nach starken Niederschlägen zu deutlichen N_{\min} -Verlagerungen im Laufe der Jugendentwicklung. Bis zum 6-Blatt Stadium wurde in der Standardvariante nahezu der gesamte gedüngte Stickstoff aus dem Oberboden (0 – 30 cm) in den Unterboden verlagert (Abb. 22). Auch bei den Injektionsvarianten kam es zur Verlagerung von Gülle-N. Diese war allerdings im Vergleich zur Standard-Variante verzögert, was sich in signifikant höheren N_{\min} -Mengen zum 6-Blatt Stadium im Oberboden widerspiegelte (+ ≈ 20 kg/ha; Anlage VI). Außerdem

beschränkte sich die Verlagerung auf den Bereich direkt unterhalb des Gülledepots – eine deutliche Diffusion in den Zwischenreihenbereich war nicht festzustellen (Abb. 22 und Anlage V). Diese Verlagerungseffekte setzten sich im weiteren Verlauf durch anhaltende Niederschläge fort (Abb. 22). Zum 10-Blatt Stadium zeigte lediglich die Variante Depot (NH) noch signifikant höhere N_{\min} -Mengen im Oberboden (Anlage IV). Die Standardvariante wies im 10-Blatt Stadium und zur Blüte deutlich höhere N_{\min} -Mengen im Unterboden auf. Dabei waren die höchsten Konzentrationen im Zwischenreihenbereich vorzufinden, welcher für die Wurzeln schlechter erreichbar und somit stärker auswaschungsgefährdet ist (Schröder 2007). Nach Ernte konnten durch die beschriebenen Verlagerungseffekte und die Pflanzenentzüge (s.u.) nur noch sehr geringe N_{\min} -Konzentrationen, ohne signifikante Varianten-Differenzierung, festgestellt werden.

In **2015** beschränkte sich die Dynamik des gedüngten N aufgrund der geringen Niederschläge bis zur Blüte auf den Oberboden (0 – 30 cm; Abb. 22 und Anlage VI). Im Unterboden konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Zum ersten Beprobungstermin (1 TNI) wurden in der Standardvariante um 50 kg/ha geringere N_{\min} -Mengen ermittelt (Anlage VI). Dies ist auf unterschiedliche Gründe zurückzuführen:

- höhere Ammoniak-Verluste trotz direkter Einarbeitung (Webb et al. 2010)
- stärkere N-Immobilisierung (Kirchmann und Lundvall 1993)
- Adsorption der flüssigen Gülle-Phase an trockene Zwischenfruchtreste, die durch Siebung von der Analyse ausgeschlossen waren

Diese Differenz wurde über die Jugendentwicklung durch Freisetzungprozesse (Remobilisierung und Desorption), welche durch die recht geringen Temperaturen verzögert waren, ausgeglichen. In der Standardvariante fielen die Konzentrationen direkt unterhalb der Maisreihe erstmals zwischen dem 6-Blatt und 10-Blatt Stadium durch Pflanzenentzüge (s.u.) und leichte Diffusion des UFD in den Zwischenreihenbereich ab. Bis zur Blüte war erwartungsgemäß der deutlichste Konzentrationsabfall festzustellen, wobei die N_{\min} -Gehalte direkt unter der Reihe am geringsten waren (Abb. 22). In den Injektionsbereichen waren verglichen mit 2014 deutlich höhere Konzentrationen über einen längeren Zeitraum festzustellen. Erste leichte Diffusionsprozesse aus dem Depot in den Bereich 21 – 30 cm und in den B 15 waren nach leichten Niederschlägen (25 l/m²) Ende Mai zum 6-Blatt Stadium festzustellen. Wie bereits in 2014 waren auch in 2015 bis zur Blüte keine signifikanten N_{\min} -Verlagerungen in den B 30 festzustellen. Zur Blüte lag in den Depotvarianten noch signifikant mehr N_{\min} direkt unter den Maisreihen vor als in der Standardvariante (Abb. 22 und Anhang V). Niederschläge, die in diesem Stadium fallen, werden von den Pflanzen in den direkt unterhalb liegenden Bodenbereich geleitet, wodurch sich eine bessere Pflanzenverfügbarkeit ergibt (s.u.). Zwischen Blüte und Ernte gab es ein Starkregenereignis (110 l/m² in 3 Tagen; Abb. 20) wodurch der N_{\min} in allen Varianten über die gesamte Profildbreite und leicht in die mittlere Bodenschicht verteilt wurde.

In beiden Versuchsjahren konnten zur Blüte und Ernte die geringsten N_{\min} -Konzentrationen unterhalb der Maisreihe und im Abstand von 15 cm festgestellt werden (Abb. 22). Dadurch werden die Hauptentzugsbereiche durch die Bestände charakterisiert. Da der Gülle-N bei Injektion überwiegend unter der Maisreihe verbleibt, ergibt sich eine verbesserte Pflanzenverfügbarkeit gegenüber breiflächig appliziertem Gülle-N (s.u.).

2014

		ND	NA (24 TNI)	6B (61 TNI)	10B (81 TNI)	BI (102 TNI)	E (185 TNI)
K	Keine Beprobung		5.3 5.7 <u>3.3</u> 5.7 5.3	4.4 4.5 <u>4.3</u> 4.5 4.4	2.5 2.8 <u>2.2</u> 2.8 2.5	2.0 2.2 <u>4.2</u> 2.2 2.0	5.7 5.9 <u>3.2</u> 5.9 5.7
			3.4 3.1 4.1 3.1 3.4	3.7 4.1 3.2 4.1 3.7	3.0 3.3 1.8 3.3 3.0	1.0 0.8 0.9 0.8 1.0	1.5 1.7 1.5 1.7 1.5
			1.4 1.4 1.8 1.4 1.4	3.9 4.1 3.4 4.1 3.9	3.1 3.5 3.0 3.5 3.1	2.5 1.8 0.5 1.8 2.5	1.0 0.9 0.6 0.9 1.0
S	Keine Beprobung		19 19 <u>35</u> 19 19	4.6 7.4 <u>4.8</u> 7.4 4.6	3.0 3.1 <u>7.2</u> 3.1 3.0	2.2 2.3 <u>4.9</u> 2.3 2.2	5.9 6.2 <u>2.8</u> 6.2 5.9
			3.1 3.1 4.1 3.1 3.1	11 15 15 15 11	7.0 9.6 5.7 9.6 7.0	2.5 0.9 0.5 0.9 2.5	1.6 1.6 1.3 1.6 1.6
			1.7 1.5 1.6 1.5 1.7	11 12 15 12 11	8.9 11 10 11 8.9	7.9 6.5 3.8 6.5 7.9	1.6 1.0 1.0 1.0 1.6
D	Keine Beprobung		4.9 6.6 <u>170</u> 6.6 4.9	4.0 4.9 <u>34</u> 4.9 4.0	2.6 3.1 <u>2.2</u> 3.1 2.6	2.6 2.2 <u>4.0</u> 2.2 2.6	4.5 4.0 <u>3.4</u> 4.0 4.5
			3.0 3.2 5.6 3.2 3.0	3.6 5.7 <u>54</u> 5.7 3.6	2.6 4.6 9.3 4.6 2.6	1.3 0.7 0.6 0.7 1.3	1.0 1.1 1.3 1.1 1.0
			1.4 1.4 1.8 1.4 1.4	4.1 6.5 <u>20</u> 6.5 4.1	3.1 5.3 13 5.3 3.1	3.0 4.1 2.1 4.1 3.0	0.9 0.8 0.7 0.8 0.9
D (NH)	Keine Beprobung		5.2 7.4 <u>13</u> 7.4 5.2	3.7 4.9 <u>5.4</u> 4.9 3.7	3.0 3.5 <u>7.8</u> 3.5 3.0	2.6 2.3 <u>4.7</u> 2.3 2.6	5.0 5.0 <u>3.1</u> 5.0 5.0
			3.6 3.7 5.6 3.7 3.6	3.4 5.0 <u>49</u> 5.0 3.4	2.7 4.5 8.2 4.5 2.7	1.3 1.0 0.8 1.0 1.3	1.2 1.3 1.4 1.3 1.2
			1.6 1.6 1.9 1.6 1.6	3.8 5.4 <u>46</u> 5.4 3.8	3.2 4.8 <u>13.7</u> 4.8 3.2	2.9 4.0 3.8 4.0 2.9	1.1 1.0 0.7 1.0 1.1

2015

		ND (1 TNI)	NA (22 TNI)	6B (56 TNI)	10B (77 TNI)	BI (105 TNI)	E (169 TNI)	
K	Keine Beprobung		4.9 4.6 <u>17</u> 4.6 4.9	10 11 <u>22</u> 11 10	14 14 <u>26</u> 14 14	15 16 <u>24</u> 16 15	4.2 4.1 <u>6.9</u> 4.1 4.2	3.5 3.6 <u>4.1</u> 3.6 3.5
			1.9 1.6 1.8 1.6 1.9	3.2 2.6 2.3 2.6 3.2	2.7 2.7 2.8 2.7 2.7	3.0 3.1 3.5 3.1 3.0	1.9 1.7 1.5 1.7 1.9	1.2 1.1 0.6 1.1 1.2
			1.9 1.7 1.9 1.7 1.9	2.3 2.3 2.0 2.3 2.3	2.3 2.2 2.2 2.2 2.3	2.2 2.3 2.1 2.3 2.2	1.1 1.2 1.2 1.2 1.1	1.4 0.6 0.5 0.6 1.4
S	Keine Beprobung		14 16 <u>88</u> 16 14	25 27 <u>110</u> 27 25	30 29 <u>94</u> 29 30	31 38 <u>84</u> 38 31	15 14 <u>13</u> 14 15	13 6.7 <u>10</u> 6.7 13
			1.8 2.6 2.2 2.6 1.8	2.7 2.8 3.0 2.8 2.7	2.8 2.9 3.4 2.9 2.8	3.2 4.1 3.5 4.1 3.2	2.4 2.2 1.7 2.2 2.4	6.2 1.8 0.8 1.8 6.2
			2.6 2.1 2.8 2.1 2.6	2.4 2.4 2.3 2.4 2.4	2.4 2.1 2.2 2.1 2.4	2.1 2.4 2.1 2.4 2.1	1.6 1.6 1.4 1.6 1.6	2.7 1.0 0.7 1.0 2.7
D	Keine Beprobung		4.6 4.8 <u>23</u> 4.8 4.6	10 12 <u>36</u> 12 10	15 22 <u>67</u> 22 15	18 31 <u>73</u> 31 18	7.3 20 <u>6.9</u> 20 7.3	8.8 7.6 <u>9.2</u> 7.6 8.8
			1.8 1.9 2.5 1.9 1.8	2.4 2.6 3.1 2.6 2.4	2.6 2.7 3.4 2.7 2.6	3.0 3.2 4.5 3.2 3.0	2.6 3.3 2.3 3.3 2.6	6.3 3.0 1.8 3.0 6.3
			1.9 1.9 2.4 1.9 1.9	2.3 2.5 2.6 2.5 2.3	2.0 2.0 1.8 2.0 2.0	2.3 2.5 2.2 2.5 2.3	1.9 2.0 1.3 2.0 1.9	3.2 1.5 1.4 1.5 3.2
D (NH)	Keine Beprobung		4.0 4.3 <u>17</u> 4.3 4.0	11 12 <u>35</u> 12 11	15 22 <u>72</u> 22 15	17 32 <u>67</u> 32 17	7.7 18 <u>9.1</u> 18 7.7	11 12 <u>10</u> 12 11
			1.8 1.9 2.5 1.9 1.8	2.5 2.4 2.2 2.4 2.5	2.5 2.8 3.6 2.8 2.5	2.8 4.0 4.0 4.0 2.8	2.9 2.6 1.6 2.6 2.9	7.0 3.8 1.6 3.8 7.0
			1.7 2.1 1.8 2.1 1.7	2.4 2.1 1.9 2.1 2.4	2.0 2.2 2.3 2.2 2.0	2.1 2.3 2.0 2.3 2.1	1.4 1.6 1.5 1.6 1.4	2.0 1.9 1.5 1.9 2.0

Abb. 22: Räumliche und zeitliche N_{min}-Dynamik im Stickstoffdynamikversuch [N_{min} (mg/kg) = NH₄-N + NO₃-N]. ND =Nach Gülleddüngung, 6B bzw. 10B = 6- bzw. 10-Blatt Stadium, BI = Blüte, E = Ernte; K = Kontrolle, S = Standard, D = Depot, D(NH) = Depot + NH; TNI = Tage nach Injektion

Durch den Einsatz des NH konnten im Injektionsbereich in beiden Versuchsjahren zum 6-Blatt und 10-Blatt Stadium signifikant höhere Ammonium-N Konzentrationen festgestellt werden (Tab. 4). Weiterhin lassen die signifikant höheren Gesamt-N_{min} Konzentrationen (10-Blatt (2014) und 6-Blatt (2015)) auf eine längere Pflanzenverfügbarkeit des Gülle-N schließen (s.u.). In **2014** wurde in beiden Injektionsvarianten zum 6-Blatt Stadium Verlagerung von Gülle-N festgestellt (Abb. 22 und Anhang IV). Durch den NH konnten im Unterboden (30 – 90 cm) 11 kg/ha N_{min} weniger festgestellt werden. Dieser Wert konnte allerdings aufgrund der hohen Gesamt-N_{min} Spanne (ca. 60 – 140 kg/ha) zwischen den vier Varianten nicht statistisch abgesichert werden. Zum 10-Blatt Stadium war jedoch bei Einsatz des NH signifikant mehr N_{min} im Oberboden (4 kg/ha). Zu beiden EC-Stadien ist der signifikant höhere Pflanzen-N-Entzug bei NH-Einsatz zu berücksichtigen (Tab. 5).

Tab. 4: NO₃-N, NH₄-N und N_{min} (NO₃-N +NH₄-N) Konzentrationen (mg/kg) im Bereich des Güllebandes (BM 2; vgl. Abb. 12)

Stadium	TNI	NO ₃ -N		NH ₄ -N		N _{min}		NH ₄ -Anteil	
		D	D(NH)	D	D(NH)	D	D(NH)	D	D(NH)
2014									
Nach Düngung		keine Beprobung							
Nachauflauf	24	54	52	116	161	170	213	68*	76*
6-Blatt	61	27	16	7,5*	33*	34	49	22*	68*
10-Blatt	81	0,9*	1,8*	1,3*	3,7*	2,2*	5,5*	58*	68*
2015									
Nach Düngung	1	1,6	1,7	272	281	274	282	99	99
Nachauflauf	22	60*	38*	238	242	298	279	80*	87*
6-Blatt	56	81*	100*	40*	82*	121*	182*	33*	45*
10-Blatt	77	73	73	4,9*	16*	77	89	6*	18*

TNI = Tage nach Injektion; D = Depot, D(NH) = Depot + NH, * = signifikante Unterschiede zwischen den Varianten

In **2015** sind 1 TNI keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Varianten festzustellen und nahezu 100 % des N_{min} sind Ammonium-N. Auffällig ist die signifikant höhere Nitrat-N Freisetzung ohne NH zum Nachauflauf-Termin. Beim folgenden Termin hat diese Variante signifikant geringere Gesamt-N_{min} Gehalte. Da der fehlende Stickstoff nicht in andere Bodenbereiche diffundierte (Abb. 22) und nicht durch höhere Pflanzenentzüge zu erklären ist (Tab. 5), kann davon ausgegangen werden, dass es höhere gasförmige Verluste (N₂O, N₂, NO) aufgrund von Denitrifikation gegeben hat. Das wird in der Literatur u.a. von Dittert et al. (2001) und Thompson et al. (1987) bestätigt. Wie bereits in 2014 konnte auch in 2015 kein signifikanter Einfluss des NH auf die Verlagerung in den Zwischenreihenbereich festgestellt werden (Anhang V). Insgesamt konnte die nitrifikationshemmende Wirkung des NH in beiden, hinsichtlich der Witterungsbedingungen sehr unterschiedlichen Versuchsjahren, nachgewiesen werden.

Pflanzenentwicklung

Die unterschiedlichen Witterungsbedingungen, sowie die damit verbundene Bodenstickstoffdynamik haben auch eine differenzierte Pflanzenentwicklung in den beiden Versuchsjahren hervorgerufen (Tab. 5). Grundsätzlich hat der Mais im warmen und feuchten Frühsommer 2014 bei gleichem Entwicklungsstadium (z.B. 6-Blatt) in der Jugendentwicklung wesentlich mehr Biomasse gebildet als im kühleren und trockenen Frühsommer 2015. Das kann damit

begründet werden, dass im N-Auswaschungsjahr 2014 eher N der begrenzende Nährstoff war, welcher tendenziell geringeren Einfluss auf die Biomassebildung hat (Vos 2005). Im Frühjahr 2015 hingegen lag den Pflanzen ausreichend N vor (Abb. 22), allerdings war unter den kühlen Bedingungen die P-Verfügbarkeit eingeschränkt, wodurch die Biomassebildung bei gleichem EC-Stadium deutlich reduziert wurde (Plénet et al. 2000).

In **2014** zeigte die ungedüngte Kontrolle über die gesamte Entwicklung signifikant geringere TM und N-Entzüge als die gedüngten Varianten (Tab. 5). Durch die oben beschriebene, stärkere N-Verlagerung in der Standardvariante, wies diese über die gesamte Vegetationsperiode bis hin zur Ernte signifikant geringere TM als die Depotvarianten auf (Ausnahme: 6-Blatt Stadium Standard vs. Depot). Zwischen den Depotvarianten konnte hinsichtlich der TM kein signifikanter Unterschied festgestellt werden, auch wenn die Mittelwerte bei Einsatz des NH zu allen Terminen etwas höher sind. Ebenfalls zeigte die Standardvariante bis zur Blüte signifikant geringere N-Entzüge als die Depotvarianten. Zur Ernte war der 5 kg/ha geringere N-Entzug im Vergleich zur Variante „Depot“ nicht signifikant, während die Differenz zur Variante mit NH mit 15 kg N/ha signifikant blieb. Dass die Standardvariante zur Ernte hin im N-Entzug aufgeholt hat, könnte an einer höheren N-Nachmineralisierung im Zwischenreihenbereich oder der Erschließung der größeren N_{\min} -Mengen im Unterboden durch zunehmende Durchwurzelung liegen (s.o.).

Tab. 5: Trockenmassen und Stickstoffentzüge im Stickstoffdynamikversuch

	3-Blatt	4-Blatt	6-Blatt	8-Blatt	10-Blatt	Blüte	Ernte
2014							
TM (kg/ha)							
Kontrolle			168,7 a		1045 a	5880 a	10292 a
Standard	nicht beprobt	nicht beprobt	466,4 b	nicht beprobt	1860 b	8706 b	16188 b
Depot			523,4 bc		2803 c	12294 c	18134 c
Depot (NH)			569,4 c		3056 c	12835 c	18851 c
N-Entzug (kg/ha)							
Kontrolle			4,85 a		18,89 a	65,1 a	90,9 a
Standard	nicht beprobt	nicht beprobt	13,07 b	nicht beprobt	34,12 b	104,8 b	165,1 b
Depot			18,63 c		57,05 c	143,2 c	170,1 bc
Depot (NH)			21,72 d		69,46 d	155,0 c	180,9 c
2015							
TM (kg/ha)							
Kontrolle	8,72 a	21,8 a	61,8 a	213,9 a	707 a	7509 a	16732 a
Standard	9,63 a	33,5 b	119,3 c	457,3 c	1617 d	10513 c	20785 b
Depot	8,72 a	23,3 a	63,7 a	288,1 b	937 b	8293 a	20077 b
Depot (NH)	9,90 a	29,0 b	105,1 b	455,3 c	1466 c	9212 b	20876 b
N-Entzug (kg/ha)							
Kontrolle	0,47 a	0,90 a	2,28 a	9,20 a	29,52 a	125,9 a	167,5 a
Standard	0,57 b	1,70 b	5,07 b	19,05 c	63,72 c	210,1 c	236,0 b
Depot	0,49 a	1,11 a	2,69 a	14,23 b	42,16 b	174,9 b	226,6 b
Depot (NH)	0,58 b	1,47 b	4,78 b	22,83 d	64,11 c	186,5 b	239,6 b

Die Injektionsvariante mit NH wies neben der verzögerten N-Verlagerung (Tab. 5 und Anlage IV) sowohl zum 6-Blatt, als auch zum 10-Blatt Stadium signifikant höhere N-Entzüge auf, wodurch sich eine gesteigerte N-Effizienz in der Jungendentwicklung des Maises ergab.

In **2015** wurden im 3-Blatt Stadium noch keine signifikanten Unterschiede in der TM-Bildung festgestellt. Im weiteren Verlauf bis zur Blüte konnte sich die Variante Depot lediglich zum 8- und 10-Blatt Stadium signifikant von der ungedüngten Kontrolle absetzen. Die höchste TM-Bildung wies bis zur Blüte die Standardvariante auf, gefolgt von der Variante Depot (NH). Signifikant waren die Unterschiede zwischen diesen beiden Varianten allerdings nur zum 6-Blatt

und 10-Blatt Stadium, sowie zur Blüte. Die Depotvariante mit NH wies ab dem 4-Blatt Stadium bis zur Blüte signifikant mehr Biomasse auf, als die ohne NH. Zur Ernte hin holten die Depotvarianten deutlich auf und lagen mit der Standardvariante gleich auf.

Hinsichtlich der N-Entzüge zeigten die Varianten Standard und Depot (NH) bereits zum 3-Blattstadium signifikant größere Werte. Dieser Vorsprung gegenüber den Varianten Kontrolle und Depot, die sich in diesem Parameter erst ab dem 8-Blatt Stadium signifikant differenzierten, blieb über die Jugendentwicklung erhalten. Die signifikant höheren N-Entzüge der Variante Depot (NH) gegenüber der Standardvariante im 8-Blatt Stadium könnte damit begründet werden, dass der mineralische UFD bis zu diesem Zeitpunkt vollständig aufgenommen wurde und die Pflanzen erst noch den im Zwischenreihenbereich breit gedüngten Gülle-N erwurzeln mussten. Zur Blüte zeigte dann die Standardvariante wiederum signifikant höhere N-Entzüge. Zur Ernte waren zwischen den gedüngten Varianten, wie bereits bei der TM, keine Unterschiede mehr festzustellen. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass der Stickstoff in den Depotvarianten zur Blüte noch direkt unter den Pflanzen lag und somit im weiteren Verlauf besser verfügbar war (s.o.; Abb. 22).

Die insgesamt leichten Vorteile der Standardvariante in der Jugendentwicklung könnten darauf zurückgeführt werden, dass in dem kalten und sehr trockenen Frühjahr der mineralische UFD, insbesondere der wasserlösliche P-Anteil, Vorteile gebracht hat. Die Erwurzelung der Güllerbänder in den Depotvarianten war unter diesen Bedingungen etwas verzögert. Dennoch war die Variante Depot (NH) konkurrenzfähig. Deren deutliche Vorteile gegenüber der Variante ohne NH scheinen auf die höheren Ammoniumanteile im Depot zurückzuführen zu sein. Aus energetischen Gründen bevorzugen Pflanzen unter diesen kühlen Bedingungen die Aufnahme von Ammonium-N (Macduff und Jackson 1991). Der mit dieser erhöhten Ammonium-Aufnahme verbundene Versauerungseffekt in der Rhizosphäre könnte eine bessere Aneignung von P und Mikronährstoffen (v.a. Zink) zur Folge haben (Thomson et al. 1993). Dadurch wäre die insgesamt größere Vitalität der Bestände zu erklären. Aber auch ein potentieller Effekt des Wirkstoffes auf das Wurzelwachstum im Depot sollte in Betracht gezogen werden (Thomson et al. 1993). Insgesamt waren die gedüngten Varianten zur Ernte 2015 hinsichtlich TM und N-Entzug gleich auf, während die Depotvarianten (insbesondere mit NH) zur Ernte 2014 signifikante Vorteile zeigten.

Die beschriebene, differenzierte Entwicklung der Varianten in der Jugendentwicklung der beiden Versuchsjahre konnte auch durch den mittels Reflexionssensor (ISARIA) erhobenen Vitalitätsindex „REIP“ beschrieben werden. Das veranschaulichen die Verläufe der einzelnen Varianten zwischen dem 4- und 10-Blattstadium (Abb. 23).

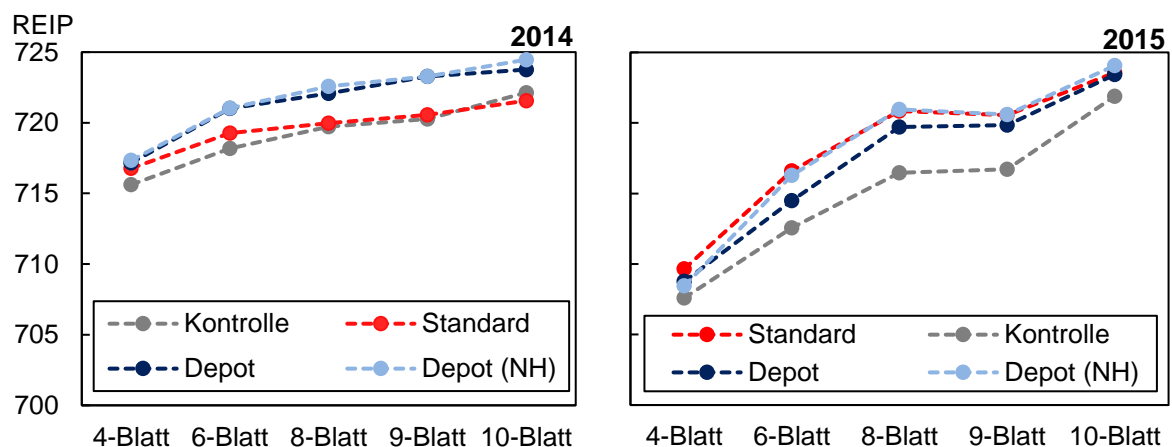


Abb. 23: Vitalitätsindex "REIP" über die Jugendentwicklung im Stickstoffdynamikversuch

N-Bilanz

Die Depotvarianten wiesen verglichen zur Standardvariante vergleichbare (2015) oder z.T. höhere (2014) N-Entzüge auf (Tab. 5). Durch den um 23 kg/ha geringeren N-Input (Tab. 3) ergaben sich somit bei Depotapplikation deutliche Entlastungen der N-Bilanzen (Abb. 24).

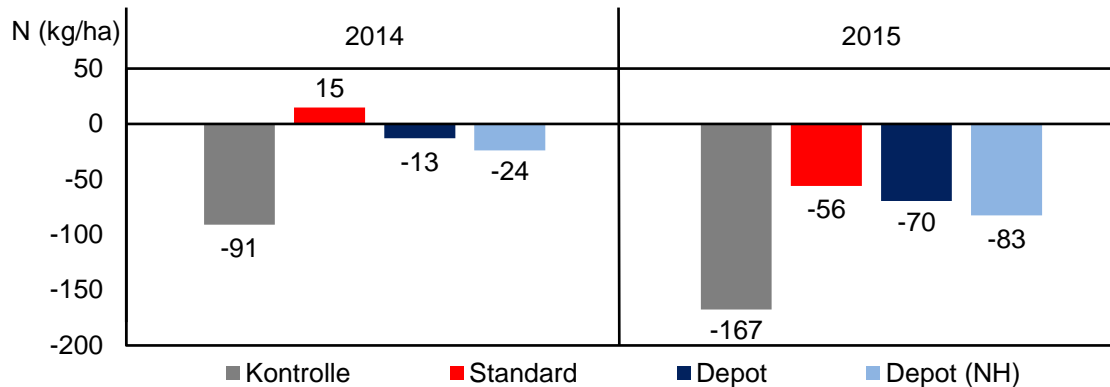


Abb. 24: N-Bilanzen im Stickstoffdynamikversuch

3.5.4 Fazit

Insgesamt konnte durch die hochaufgelöste Boden- und Pflanzenbeprobung die Stickstoffdynamik bei Gülledepotapplikation sehr gut erfasst werden. Mittels Gülleinjektion kann eine optimale Bestandsversorgung mit Nährstoffen sichergestellt werden. Der Gülle-N ist weniger auswaschungsgefährdet und befindet sich über die gesamte Wachstumsperiode in einem besser pflanzenreicheren Bodenbereich als bei breitflächiger Ausbringung. Dadurch ergibt sich eine deutlich verbesserte Stickstoffnutzungseffizienz und folglich eine Entlastung der Bilanzen. Die Zugabe eines NH führt zu höheren Ammonium-N Konzentrationen in der Jugendentwicklung, wodurch die N-Verlagerung verzögert und Denitrifikationsverluste reduziert werden. Insbesondere unter schwierigen (kühlen und trockenen) Bedingungen scheint der NH auch die Verfügbarkeit an P und Mikronährstoffen zu verbessern. Diesbezüglich und hinsichtlich weiterer Wirkungen von NH auf die Bodenbiologie und -chemie sind weitere Untersuchungen notwendig.

3.6 Inkubationsversuch zur Wirkung von Nitrifikationshemmstoffen

3.6.1 Fragestellung

Im Kontext der Gülleunterfußdüngung spielt die Nitrifikation eine herausragende Rolle, da zwischen Gülleausbringung im April und der Hauptnährstoffaufnahme im Juli etwa 10 – 14 Wochen vergehen. In diesem Zeitraum ist Nitrat, insbesondere vor dem Hintergrund zunehmender Starkniederschläge im Frühjahr, in hohem Maße auswaschungsgefährdet. Hier kann eine Inhibierung der Nitrifizierung des gedüngten Ammonium-Stickstoffes aus der Gülle möglicherweise entgegen wirken. In einem Inkubationsversuch wurden analog zum Feldversuch Stickstoffdynamik (Kapitel 3.5) geprüft, ob die Nitrifikation in einem Boden-Gülle-Gemisch durch die Zugabe der NH Piadin, N-Lock und Entec FI reduziert werden kann. Da im Bereich des Gülledepots eine wesentlich höhere Güllekonzentration vorliegt, als bei flächig eingearbeiteter Gülle, wurde zudem geprüft, ob diese wesentlich höhere Konzentration ebenfalls Einflüsse auf den Verlauf der Stickstoffumsetzung im Boden hat.

3.6.2 Material und Methode

Um die Wirkung von NH auf die Nitrifikation unter kontrollierten Bedingungen zu untersuchen wurde ein Inkubationsversuch in einer Klimakammer an der Hochschule durchgeführt. Dort wurden die Bedingungen, die im Boden-Gülle-Gemisch auf dem Feld vorliegen in Gefäßen simuliert die über 6 Wochen inkubiert wurden (12°C, 70% relative Luftfeuchte, 70% Wasserhaltekapazität in den Gefäßen). Wöchentlich wurden Gefäße entnommen und die Ammonium- und Nitratgehalte in den Gemischen untersucht. Die Varianten wurden analog zum Feldversuch (Kapitel 3.5) ausgewählt und 6-fach wiederholt in der Klimakammer randomisiert verteilt. Um vergleichbare Bedingungen zu erhalten wurden Boden und Gülle aus dem Feldversuch 2015 verwendet (Kapitel 3.5). Zu einer konstanten Menge Boden pro Gefäß wurden unterschiedliche Güllemengen gegeben. Keine Gülle zur Kontrolle der Mineralisation, 2 ml Gülle als „Schleppschlauchverfahren“ und eine um den Faktor 10 erhöhte Menge (20 ml), um die Güllekonzentration im Depot zu simulieren. Letztere wurde zudem mit drei NH versehen (Tab. 6).

Tab. 6: Übersicht über die Varianten im Inkubationsversuch

Variante	Boden (trocken) je Gefäß in g	Gülle je Gefäß in ml	NH je Gefäß in ml
Kontrolle	200	0	-
Schleppschlauch	200	2	-
Depot	200	20	-
Piadin	200	20	0,24
N-LOCK	200	20	0,2
Entec FL	200	20	0,8

3.6.3 Ergebnisse und Diskussion

Die Verläufe der Gehalte an Nitrat-N, Ammonium-N und Gesamt N_{\min} in den Inkubationsgefäßen sind Abb. 25 zu entnehmen. Erwartungsgemäß weist die Kontrolle über alle Termine für die untersuchten Parameter stets die geringsten Gehalte im Boden auf. Der zugegebene Stickstoff in den gedüngten Varianten unterliegt einigen wesentlichen Umsetzungsprozessen, die anhand des Versuchsaufbaus zum Teil nicht vollständig nachvollzogen werden können. Möglichen Verlusten durch Ammoniakvolatilisation (Dosch und Gutser, 1996) wurde mit dem sofortigen Mischen von Boden und Gülle, sowie dem Abdecken der Gefäße (nicht Gas dicht) begegnet. Sørensen und Amato (2002) fanden nennenswerte Immobilisierungs-, und Remobilisierungsprozesse, die in mineralischer Form vorliegenden Stickstoff vorerst organisch binden, danach aber sukzessive wieder freisetzen. Zudem wird aus der organischen Masse (Boden und Gülle) Stickstoff ammonifiziert (Blume et al., 2010). Nennenswerte Mengen an mineralischem Stickstoff können außerdem denitrifiziert werden und als N_2 , NO, oder N_2O aus dem System gelangen (Ruser und Schulz, 2015).

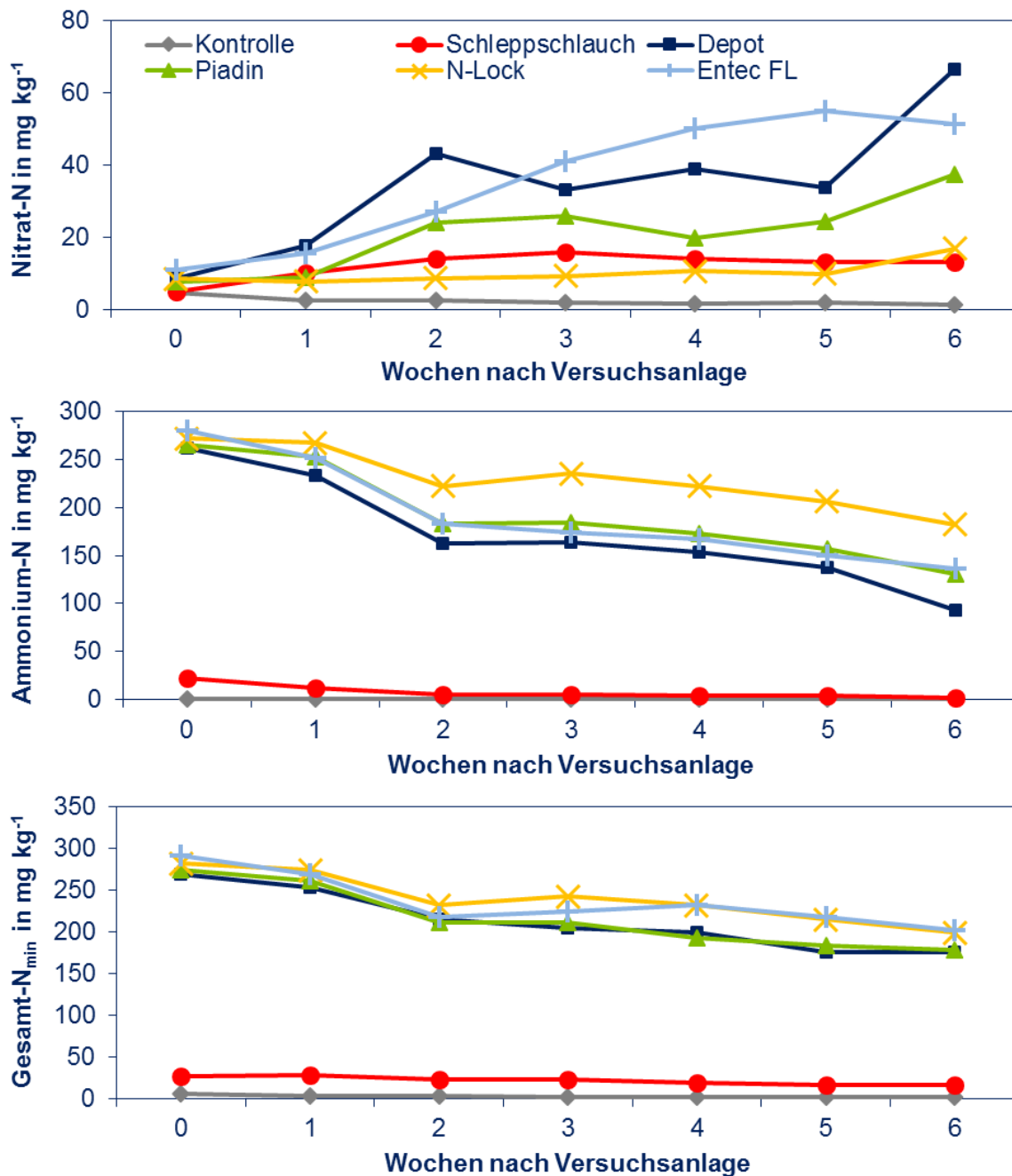


Abb. 25: Zeitlicher Verlauf der Nitrat-N, der Ammonium-N und der Gesamt-N_{min} Gehalte im Versuch

In der Schleppschlauchvariante wird das zugegebene Ammonium binnen 2 Wochen nach Versuchsanlage weitestgehend nitrifiziert. Die Gehalte an Nitrat-N steigen bis Woche 3 an und sinken im Anschluss leicht. Die N_{min} Gehalte verbleiben eine Woche auf einem ähnlichen Niveau und beginnen dann zu sinken. Zum Versuchsende konnte in der Schleppschlauchvariante 41 % weniger Stickstoff gefunden werden als zu Versuchsbeginn. Da die Ergebnisse der N_{min} Untersuchung in der Depotvariante beim ersten Probennahmeterrmin den gedüngten Stickstoff in einem hohen Maß wiederfinden (>95 %), kann davon ausgegangen werden, dass die Volatilisation von Ammoniak unter den gegebenen Versuchsbedingungen eine untergeordnete Rolle spielt.

Im Laufe des Versuches ist in der Depotvariante eine deutliche Reduktion der Ammonium-N Gehalte zu sehen. Steigende Nitrat-N Gehalte zeigen Nitrifikation. Allerdings sinken die Gesamt-N_{min} Gehalte im Verlauf des Versuches deutlich (-35 %). Es ist durchaus möglich, dass unter den gegebenen Bedingungen, insbesondere durch die hohen Nitrat Konzentrationen in den Gefäßen mit erheblichen Denitrifikationsverlusten zu rechnen ist. Zum einen liegt der Wassergehalt in den Boden-Gülle-Gemischen in einem Bereich, in dem Denitrifikation durchaus möglich ist und zum anderen fördern die leicht zersetzbaren organischen Kohlenstoffverbindungen aus der zugegebenen Gülle die Aktivität von Bodenmikroorganismen. Obgleich eine wesentliche N-Immobilisierung in der Schleppschauchvariante unwahrscheinlich ist, kann dies in den Depotvarianten durchaus eine Rolle spielen. Da jedoch kein 15-N-markierter Stickstoff eingesetzt wurde, kann hier nur gemutmaßt werden.

Deutlich zeigt sich, dass N-Lock die Nitrifikation in höherem Maße unterbindet, als die anderen beiden getesteten Produkte. Die Nitrat Konzentrationen in der N-Lock Variante liegen bis zum zweitletzten Untersuchungstermin sogar unter denen der Schleppschauchvariante. Durch die starke Inhibierung der Nitrifikation wurden dennoch dort hohe N_{min} Konzentrationen festgestellt. Die etwas schwächere Wirkung von Piadin und Entec FI ist möglicherweise dem anderen Wirkmechanismus der Wirkstoffe geschuldet. Die Wirkstoffe 3,4-Dimethylpyrazol (Entec FI), 3-Methylpyrazol und 1 H-1,2,4-Triazol (beide in Piadin enthalten) wirken ausschließlich durch eine direkte Bindung an das Enzym Ammoniummonooxygenase (AMO), weitere Schritte in der Nitrifikation werden unterbunden. Sie wirken somit in hohem Maße spezifisch (Ruser und Schulz, 2015). Der Wirkstoff Nitrapyrin im Produkt N-Lock weist außer der direkten Bindung noch weitere Wirkmechanismen auf (Chelatisierung von Kofaktoren der AMO, sowie eine Mechanismus basierte Inhibierung, die die Katalyse des Enzyms beeinträchtigt (McCarty, 1999; Ruser und Schulz, 2015; Vanelli und Hooper, 1992)). Interessant ist, dass Entec FI im Vergleich zu Piadin zum Versuchsende hin bei vergleichbaren Ammonium-N Gehalten deutlich höhere Nitrat-N Konzentrationen vorweist. Möglicherweise können, obwohl ökotoxikologische und toxikologische Untersuchungen von Anreae (1999) und Roll (1999) keine negativen Umwelteffekte zeigen und dem Wirkstoff allgemein eine sehr gezielte Wirkung bescheinigt wird (Zerulla et al., 2001), Auswirkungen auf andere Bodenmikroorganismen hierfür verantwortlich sein. Im Mittel wurde am Ende des Versuches in den Varianten mit NH eine Reduktion des N_{min} Gehaltes um 32 % festgestellt.

3.6.4 Fazit

Die Ergebnisse des Versuches bestätigen die Hypothese, dass höhere Stickstoffkonzentrationen zum einen die Pflanzenverfügbarkeit, und zum anderen eine deutliche Stabilisierung des Ammoniums über einen längeren Zeitraum sicherstellen. Folglich kann mittels Depotablage von Gülle ein geringeres Verlustpotenzial realisiert werden. Des Weiteren sind die getesteten NH dazu in der Lage die Nitrifikation zu verzögern, wenngleich in unterschiedlichem Maße. Im vorliegenden Versuch hatten die NH jedoch keinen Einfluss auf die Gesamt-N_{min} Gehalte zum Versuchsende. Da nicht alle Stickstoffsinken quantifiziert werden konnten, sind weitere Untersuchungen im Hinblick auf ein mögliches Shifting von Stickstoffverlustquellen durch eine Platzierung von Nährstoffen, sowie durch NH nötig.

3.7 Bodensäulenversuch zur Wirkung von Nitrifikationshemmstoffen auf die Nitratverlagerung

3.7.1 Fragestellung

Durch die Zugabe von NH zur Gülle soll die Umsetzung des enthaltenen Ammonium-Stickstoffs in die auswaschungsgefährdete Nitratform verzögert werden. Dabei scheint die Wirkung insbesondere bei Gülle-Depotapplikation, aufgrund der geringen Gülle-Boden Interaktion, vielversprechend zu sein. Um die Wirkung von drei in Deutschland zugelassenen NH auf die Reduzierung der Nitratbelastung im Sickerwasser zu überprüfen, wurde ein Bodensäulen-Versuch in der Klimakammer angelegt.

3.7.2 Material und Methode

Der Versuch erfolgte parallel zum Stickstoffdynamik-Versuch 2015. Um eine direkte Vergleichbarkeit herzustellen, wurden sowohl der gleiche Boden (Entnahme aus 0 – 30 cm; Siebung auf 5 mm), als auch die gleiche Mastschweinegülle verwendet (vgl. Kap. 3.5). Überprüft wurden die drei NH Piadin, Entec FL und N-Lock. Die Güllemenge und Aufwandmengen der NH entsprachen ebenfalls dem Stickstoffdynamik-Versuch 2015 (24 m³/ha; 3 l/ha Piadin, 10 l/ha Entec FL, 2,5 l/ha N-Lock). Daraus ergaben sich die in Tab. 3 beschriebenen Versuchsvarianten.

Tab. 7: Beschreibung der Versuchsvarianten im Bodensäulen-Versuch

Variante	Düngung	NH-Produkt	Wirkstoff	Dosierung
Kontrolle	-	-	-	-
Depot	Gülledepot 150 ml	-	-	-
Piadin	Gülledepot 150 ml	Piadin	1H-1,2,4-Triazol/ 3-Methylpyrazol	0,12 ml/l Gülle
Entec FL	Gülledepot 150 ml	Entec FL	3,4-Dimethylpyrazol-phosphat (DMPP)	0,4 ml/l Gülle
N-Lock	Gülledepot 150 ml	N-Lock	Nitrapyrin	0,1 ml/l Gülle

Als Bodensäulen wurden herkömmliche Kunststoffrohre (50 cm lang; 19,1 cm Innendurchmesser) verwendet. Die Unterseite war mit handelsüblichen Kappen verschlossen, welche 4 Sickerwasserlöcher hatten. Als Standfüße wurden Kabelrohrschellen montiert und als Sickerwasserauffangschalen dienten Blumentopf-Untersetzer (Abb. 26, rechts). Der Boden wurde mit einer den Feldbedingungen entsprechenden Lagerungsdichte von 1,3 g/cm³ eingefüllt. Die Unterkante des Gülledepots lag 10 cm unterhalb der Bodenoberkante. Details zum Säulenaufbau sind Abb. 26 (links) zu entnehmen. Gießröhren dienten dazu, dass das Gießwasser nicht an den Außenwänden der Bodensäulen heruntergeleitet wurde. Alle Varianten wurden entsprechend Abb. 26 in sechsfacher Wiederholung angelegt und als randomisierte Blockanlage in der Klimakammer aufgestellt. Die Temperatur lag bei 12°C (erwartete Bodentemperatur in Depottiefe über die Jugendentwicklung des Mais) und eine relative Luftfeuchte bei 70 %. Die Versuchsdauer lag bei 11 Wochen, da unter Feldbedingungen die Hauptauswaschungsgefahr des Gülle-N nach Applikation bis zur Phase der größten N-Aufnahme durch die Pflanzen besteht (zwischen 10-Blatt-Stadium und Blüte). Die Sickerwassergewinnung erfolgte im wöchentlichen Rhythmus. Entsprechend der am Standort des Stickstoffdynamik-Versuches (Kap. 3.5) langjährig zu erwartenden Niederschlagsmengen wurden 500 ml dest. Wasser in die Gießröhren appliziert. Rund 20 h später war eine Sickerwasserperiode abgeschlossen.

Anschließend wurde die Sickerwassermenge bestimmt und eine repräsentative Probe im Labor der Hochschule auf die Ammonium- und Nitrat-N-Konzentrationen analysiert. Darauf basierend konnten die ausgewaschenen Mengen an Ammonium- und Nitrat-N kalkuliert werden. Nach Versuchsende wurden außerdem die Rest-N_{min}-Gehalte in den Bodensäulen bestimmt.

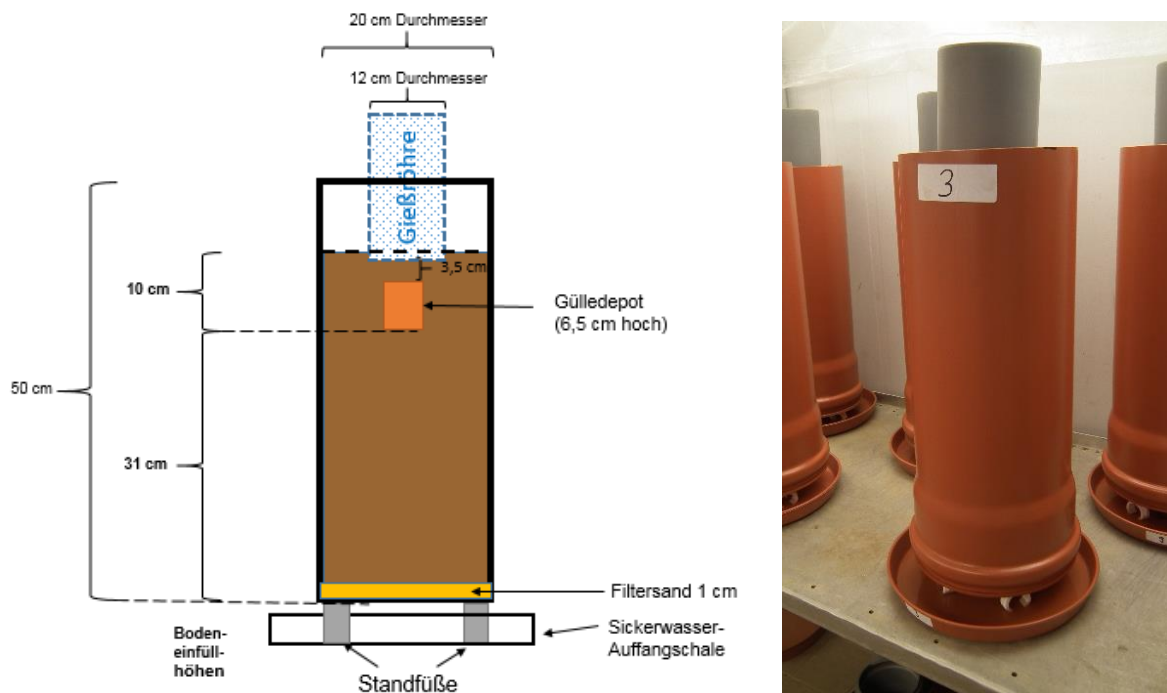


Abb. 26: Links: Schemazeichnung einer Bodensäule im Säulenversuch
Rechts: Bodensäulen nach Versuchsanlage in der Klimakammer

3.7.3 Ergebnisse und Diskussion

Nachdem sich die Bodenfeuchte in den Gefäßen über die ersten 2 Wochen einstellen musste, wurden ab dem 3. Beprobungstermin konstant zwischen 330-370 ml Sickerwasser pro Gefäß gewonnen. Die kumulierte Ammonium-N Auswaschung war mit insgesamt 7,5 (Kontrolle) bis 11,3 (Depot) mg pro Gefäß nach 11 Wochen sehr gering (ca. 1,6 % vom Gesamt-N_{min} (NH₄ + NO₃)), weshalb auf eine Darstellung dieser Ergebnisse verzichtet wird. Die ausgewaschenen Nitrat-N-Mengen zu den Terminen über den Versuchsverlauf sind Abb. 27 zu entnehmen. Über die ersten vier Wochen waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten festzustellen. In allen Varianten fiel die Nitrat-Konzentration über die Termine ab, woraus geschlossen werden kann, dass in diesen Zeitraum lediglich bodenbürtiges Nitrat aus den Säulen ausgewaschen wurde. Der Stickstoff aus der Gülle musste zunächst nitrifiziert und anschließend noch durch die 30 cm Bodenschicht verlagert werden. Nach 5 Wochen war in den Varianten Depot, Entec FL und N-Lock ein signifikanter, wenn auch sehr geringer Anteil an Nitrat-N aus dem Gülledepot im Sickerwasser festzustellen. Im weiteren Verlauf fielen die Konzentrationen in der Kontrollvariante erwartungsgemäß weiter ab. Sechs Wochen nach Versuchsstart war in allen Gülle-Varianten ein signifikanter Düngungseffekt festzustellen. Die Nitrat-N-Konzentrationen dieser Varianten stiegen im weiteren Versuchsverlauf deutlich an, lediglich zum letzten Beprobungszeitpunkt fielen sie in den Varianten Depot und N-Lock wieder leicht ab. Dabei wies die Variante Piadin an allen Terminen die signifikant geringsten Konzentrationen auf. Ab der siebten Woche zeigte auch das Produkt Entec FL eine signifikante Reduzierung des Nitrat-N-Gehaltes im Sickerwasser im Vergleich zu den Varianten Depot und N-Lock.

Lediglich zum letzten Termin war kein signifikanter Unterschied mehr zur Variante N-Lock festzustellen. Bei diesem Prüfglied ergaben sich lediglich zu den Beprobungsterminen 10 und 11 signifikant geringere Nitrat-N-Konzentrationen als in der nicht stabilisierten Depot-Variante. Wie sich diese Konzentrations-Verläufe auf die kumulierte Nitrat-N-Auswaschung auswirkten veranschaulicht Abb. 28. Nach 11 Wochen ergab sich die Abstufung Kontrolle < Piadin < Entec FL < N-Lock = Depot. Dabei wurde durch den Einsatz von Piadin bzw. Entec FL die Nitrat-N-Auswaschung aus dem Gülleband um 45% bzw. 19% reduziert. Der Einsatz von N-Lock konnte keine signifikante Reduzierung bewirken (- 7% zur Depotvariante).

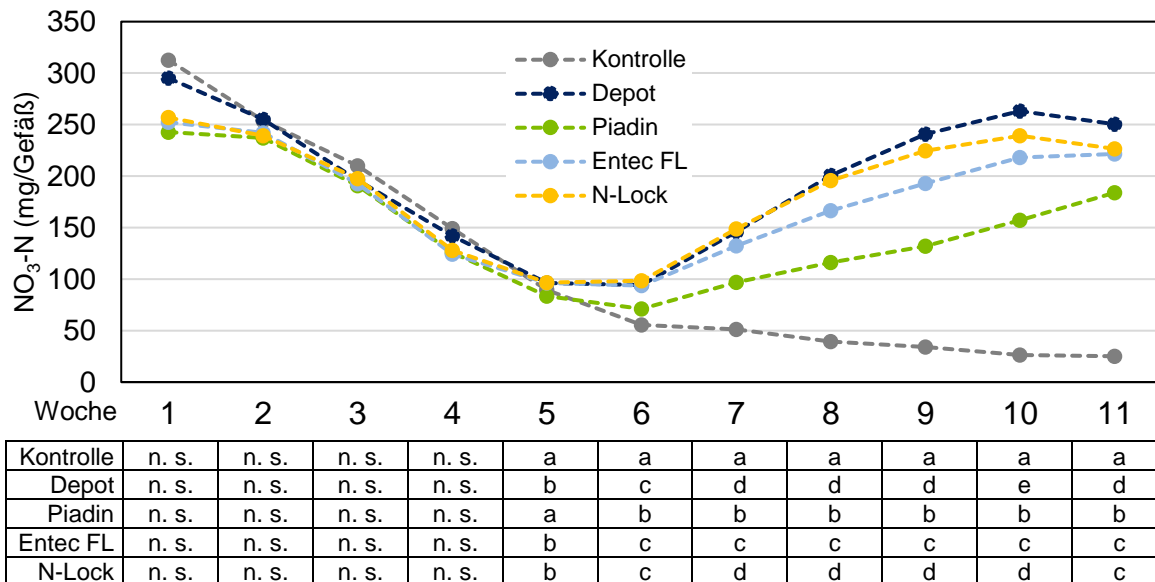


Abb. 27: Ausgewaschene Nitrat-N-Mengen im Versuchsverlauf; unterschiedliche Buchstaben = signifikante Differenzierung; n.s. = nicht signifikant

Welchen Effekt die Nitrat-N-Auswaschung auf die Rest-N_{min}-Gehalte in den Bodensäulen hatte veranschaulicht Abb. 29. Die signifikante Abstufung ist exakt diametral zur kumulierten Nitrat-N-Auswaschung: Piadin > Entec FL > N-Lock = Depot > Kontrolle. Dies veranschaulicht, dass der nicht aus den Bodensäulen ausgewaschene Stickstoff dem Mais in 0 – 40 cm Bodentiefe, dem Hauptentzugsbereich in der Jugendentwicklung, länger zur Verfügung gestanden hätte. Die verzögerte und geringe Wirkung des Produktes N-Lock (Wirkstoff: Nitrapyrin) kann möglicherweise auf zwei Ursachen zurückgeführt werden. Zum einen ist der Wirkstoff im Produkt in Mikrokapseln gebunden und muss erst per Diffusion freigesetzt werden (DOW 2015). Zum anderen ist die Wirkung von NH am besten, wenn Sie im Boden eine ähnliche Mobilität aufweisen wie Ammonium (Subbaro et al., 2006).

Da im Versuch wöchentlich „schwallartig“ bewässert wurde, ist eine gewisse, wenn auch geringe, Verlagerung des ansonsten wenig auswaschungsgefährdeten Ammonium-N aus dem Bereich des Gülledepot möglich. Laut Pasda et al. (2001) wird Nitrapyrin stark an organische Substanz gebunden und ist im Boden weniger verlagerbar als Ammonium. DMPP ist hingegen etwas mobiler im Boden und somit näher am Ammonium. Dass laut der GESTIS-Stoffdatenbank (2015) 1H-1,2,4-Triazol eine höhere Wasserlöslichkeit aufweist als DMPP, könnte erklären, warum unter den gegebenen Versuchsbedingungen Piadin die stärkste Reduktion der Nitratauswaschung bewirkt hat. Die grundsätzliche Wirkung der drei Wirkstoffe wird u. a. von McCarty (1999), Singh et al. (2007) und Subbaro et al. (2006) beschrieben. Im Rahmen der vorliegenden Versuche wurde der Verbleib der NH und deren Metaboliten nicht untersucht.

Bezüglich einer möglichen Belastung von Grund- oder Oberflächengewässern gibt es zu jetzigen Zeitpunkt auch noch keine fundierten Studien.

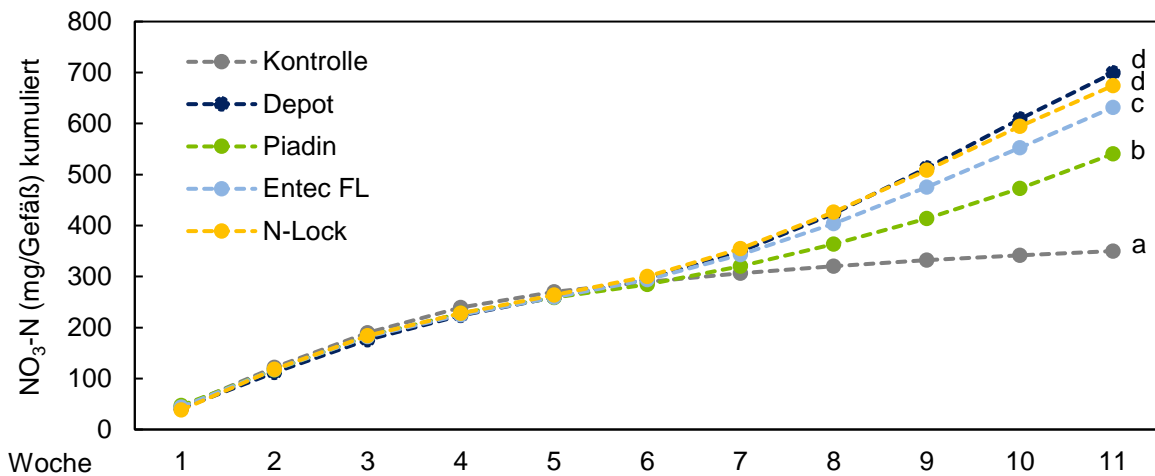


Abb. 28: Kumulierte Nitrat-N-Auswaschung über den Versuchszeitraum; unterschiedliche Buchstaben = signifikante Differenzierung

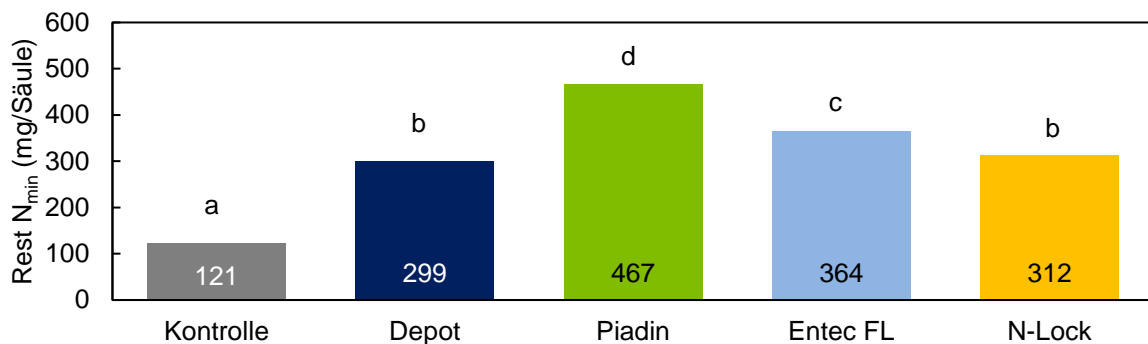


Abb. 29: Rest-N_{min}-Mengen in den Säulen nach 11 Wochen; unterschiedliche Buchstaben = signifikante Differenzierung

3.7.4 Fazit

Der Versuch zeigt auf, dass mittels NH eine deutliche Reduzierung der Nitratauswaschung bei Gülledepot-Applikation möglich ist, insbesondere auf den leichten Standorten der Problemregion. Allerdings wurde auch die unterschiedliche Wirkung der NH, in Abhängigkeit ihrer Wirkstoffe und Formulierungen deutlich. Diese scheint je nach Standort und Witterungseinflüssen stark variieren zu können. Unter den gegebenen Bedingungen konnte folgende Reduzierungsabstufung festgestellt werden: Piadin > Entec FL > N-Lock.

4 Diskussion

Zur Verminderung der Nährstoffüberschüsse in den nordwestdeutschen Veredlungsregionen ist es von großer Bedeutung, dass die vorhandenen Wirtschaftsdünger optimal zur Ernährung der Feldfrüchte eingesetzt werden. Im Maisanbau kann dies mit einer ganzflächigen Einarbeitung von Gülle vor der Saat nicht immer erreicht werden. Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse zeigen, dass durch eine gezielte Platzierung von Gülle unter der später angelegten Maisreihe die bislang übliche mineralische Unterfußdüngung ersetzen kann, ohne dass Einschränkungen bei Erträgen und Qualitäten zu erwarten sind.

Die konstruktive Interaktion mit den Landwirtschaftskammern der Länder Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Schleswig-Holstein während der gesamten Projektlaufzeit sorgte für einen regen Austausch von Erfahrungen, Erkenntnissen und neuen Anforderungen an das System Gülleunterfußdüngung. Durch die weiträumig angelegte Versuchsserie konnten Landwirte in verschiedenen Regionen stets aktuelle und regional gewonnene Versuchsergebnisse erhalten. Während der Vegetation waren die Versuche häufig Anlaufpunkt für Feldbegehungen und Grundlage für einen intensiven Erfahrungsaustausch. In diesem Rahmen, sowie im Zuge mehrerer Feldtage und ähnlicher Informationsveranstaltungen der Landwirtschaftskammern konnten die Ergebnisse aus dem Projekt vor Beratern, Landwirten und Lohnunternehmern präsentiert werden.

Im kalten Frühjahr 2013 wurde in Versuchen und Praxisschlägen schnell deutlich, dass die Ablagetiefe des Güllebandes ca. 5-7 cm unterhalb des Maiskornes liegen sollte und ein größerer Abstand zu einer erheblichen Beeinträchtigung der Jugendentwicklung führen kann. In Folge dessen wurden von weiteren Untersuchungen zur Ablagetiefe abgesehen. Daher wurde im Winter 2013/14 die Methodik für den Einsatz in Feldversuchen optimiert. Damit war jedoch eine deutliche Ausweitung des Arbeits- und Probenaufwandes pro Parzelle verbunden. Somit konnte die Stickstoffdynamik in den Jahren 2014 und 2015 nur an einem Standort in Osnabrück untersucht werden.

Die in Kapitel 3.5 dargestellten Ergebnisse belegen sowohl die Eignung der entwickelten Bodenbeprobungsmethode, als auch des Verfahrens Gülleunterfußdüngung. Unter den stark auswaschungsfördernden Bedingungen konnten die Pflanzen bei Gülleunterfußdüngung länger auf den gedüngten Stickstoff zugreifen und wiesen stets höhere Stickstoffgehalte auf. Bei zeitgleich geringerem Nährstoffaufwand kann auf eine reduzierte Nitratauswaschung geschlossen werden. Die unerwartet hohe und rasche Nitratverlagerung machte deutlich, dass besonders auf den sandigen Standorten davon abgesehen werden sollte Gülleausbringung und Aussaat zeitlich zu stark voneinander zu trennen.

Auch beim Einsatz von Nitrifikationshemmstoffen konnte die Nitratverlagerung nicht verhindert, allerdings leicht verzögert werden. Das längere Vorhandensein von Ammonium-N im Gülleband bei der Zugabe von Nitrifikationshemmstoffen wurde zwar nachgewiesen, hatte aber unter den Bedingungen 2014 nur einen geringen Einfluss auf die Phosphorversorgung der Pflanzen. In 2015 hingegen führten kühl-trockene Bedingungen bis Ende Juni zu einer schlechten P-Verfügbarkeit und somit zu deutlichen Unterschieden in der Jugendentwicklung der Pflanzen. Während die Gülleunterfußdüngung ohne Nitrifikationshemmstoff den P-Bedarf nicht decken konnte, führte die höhere Ammonium-N Konzentration bei Zugabe eines Nitrifikationshemmstoffes zu deutlich höheren P-Konzentrationen in den Pflanzen und so zu zügigerem Wachstum. Zur Ernte hin waren diese Unterschiede allerdings nicht mehr festzustellen.

Um die positiven Effekte der Gülleunterfußdüngung in die Praxis zu übertragen ist es von hoher Bedeutung, dass Landwirte nicht mit Nachteilen in Ertrag und Qualität rechnen müssen. Sowohl in den Kooperationsversuchen mit den Landwirtschaftskammern, als auch in den Versuchen an der Hochschule Osnabrück lieferte die Gülleunterfußdüngung stets mit dem Standard vergleichbare Ergebnisse. Schwierigkeiten gab es lediglich auf den Lößstandorten Haus Düsse und Poppenburg. Hier führten die schweren Maschinen und die intensive Bodenbewegung der Injektionsaggregate zum Teil zu Verdichtungen und Verschmierungen, die im Anschluss das Wurzelwachstum einschränken können. Auf diesen Standorten ist das Verfahren mit einem gewissen Risiko bei der Gülleausbringung verbunden, Landwirte und Lohnunternehmer müssen hier ad Hoc entscheiden, welches Verfahren sie wählen.

Trotz durchweg sehr guter Ertragsleistungen der Gülleunterfußdüngungsvarianten konnten im Laufe der Jugendentwicklung häufig Nachteile beobachtet werden. Vermutlich wird das Gülleband trotz der räumlichen Nähe zum Saatkorn etwas später erwurzelt, als ein mineralisches Unterfußdüngesband. Ob hier mit einer Saatbanddüngung, oder mit einer Nährstoffbeize Abhilfe geschaffen werden kann, bleibt zu untersuchen. Andere Möglichkeiten die Nährstoffverfügbarkeit aus Wirtschaftsdüngern zu steigern, wie eine pH-Wert Absenkung durch Säurezugabe oder die Verwendung von Fugaten (flüssige Phase nach einer Separation) wurden im Projekt ebenfalls nicht untersucht.

In den Versuchen zum Vergleich der Nitrifikationshemmstoffe konnte festgestellt werden, dass sich die Produkte Piadin und Entec FI hinsichtlich Wirkung im Boden und daraus resultierenden Einflüssen auf das Pflanzenwachstum nur marginal unterscheiden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Wirkstoffe auf ähnlichen chemischen Verbindungen basieren, der jeweilige Wirkort (Target site) und Wirkmechanismus (Mode of action) entsprechend dieselben sind. Das Produkt N-Lock mit dem Wirkstoff Nitrapyrin unterscheidet sich jedoch wesentlich von den anderen Beiden. Durch die deutlich andere Struktur wirkt es an mehreren Orten über verschiedene Mechanismen und ist daher im Hinblick auf mögliche Resistenzen durchaus als positiv zu beachten. Allerdings bindet der Wirkstoff in hohem Maße an die organische Substanz, so kann das latent mobile Ammonium bei starken Niederschlägen vom Wirkstoff weg gewaschen werden. Dies kann unter Umständen eine geringere Wirkung mit sich bringen (vergleiche Kapitel 3.7). Wenn jedoch keine, oder möglicherweise nur eine geringe Mobilität im Boden vorhanden ist (wie in den Inkubationsgefäßen Kapitel 3.6), reduziert N-Lock die Nitrifikation sehr effizient. Alle drei getesteten Produkte weisen somit Vor- und Nachteile auf, die jedoch im Moment nicht final evaluiert werden können.

Die zur Messung von gasförmigen Verlusten bei der Gülleinjektion angedachte Kooperation mit der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Ir. H. van den Weghe der Universität Göttingen, konnte nach mehreren Treffen im Herbst 2013 und Winter 2013/2014 nicht durchgeführt werden. Durch die unterschiedlichen Anforderungen an das Versuchsdesign und die Variantenanzahl konnte keine geeignete Versuchsfläche gefunden werden. Nach Absprache mit der DBU wurden im Jahr 2014 die Versuche beider Arbeitsgruppen getrennt angelegt. Ein intensiver fachlicher Austausch fand dennoch statt.

Die Zusammenarbeit der Firma EuroChem Agro GmbH, Mannheim mit der Arbeitsgruppe van den Weghe im Jahr 2014 konnte zur Saison 2015 aufgegriffen und in Osnabrück weitergeführt werden. Dass bei der direkten Injektion von flüssigen organischen Wirtschaftsdüngern im Vergleich zur breitflächigen oder bandförmigen Oberflächenausbringung die Ammoniakverluste deutlich reduziert werden, ist bereits durch einige Studien belegt (z.B. Misselbrook et al., 2002). Häufig werden im Zusammenhang mit Gülleinjektion jedoch erhöhte Lachgasemissionen gemessen. Auf Ammoniakemissionsmessungen wurde daher in Osnabrück verzichtet und

lediglich Lachgasmessungen im Stickstoffdynamikversuch in den Varianten Kontrolle, Standard, Depot und Depot mit Entec FL (vergleiche Tab. 3, Kapitel 3.5) durchgeführt. Da es für Mais mit platzierter Düngung bis dahin keine praktikable Gassammelmethodik gab, wurden zunächst in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe von Dr. R. Well am Thünen Institut für Agrarklimaschutz in Braunschweig sogenannte „geteilte Gassammelhauben“ entwickelt, um auch in wachsenden Beständen mit einer Pflanzenhöhe über 60 cm messen zu können (Olf et al., 2016). Dieser Versuch konnte im Frühjahr 2016 erneut angelegt werden. Dadurch kann eine weitere einjährige Lachgas-Messperiode realisiert werden. Zudem wurde mit der SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH, Wittenberg ein weiterer Projektpartner gefunden. In Fortsetzung des von der DBU geförderten Projektes zur Gülleunterfußdüngung findet somit im Jahr 2016/17 in Hollage der Stickstoffdynamikversuch mit besonderem Fokus auf eine ganzheitliche Betrachtung von Stickstoffverlustquellen (Stickstoffdynamik in Boden, Pflanze und Atmosphäre) im Maisanbau mit organischer Düngung erneut statt.

Neben der Organisation und Durchführung eines Projektabschlussworkshops, an dem Teilnehmer aus Landwirtschaft, Lohnunternehmen, Landtechnik, Landhandel, Agrarindustrie, Beratung, Wasserschutz, Wissenschaft, Forschung und Presse Hintergründe, Ergebnisse und offene Fragen aus dem vorliegenden, sowie aus Projekten anderer Institutionen vorgestellt wurden, werden auch über die Projektlaufzeit hinaus die Ergebnisse in weiteren Beratungs- und Informationsveranstaltungen für die Landwirtschaft, sowie auf wissenschaftlichen Kongressen der Öffentlichkeit präsentiert. Zudem sind weitere wissenschaftliche Artikel in begutachteten Zeitschriften im Review-Prozess, beziehungsweise in Vorbereitung.

5 Öffentlichkeitsarbeit

Mit einer differenzierten Veröffentlichungsstrategie für die erhobenen Ergebnisse wurden sehr unterschiedliche Zielgruppen angesprochen. Einerseits wurden die Erkenntnisse durch Publikationen in begutachteten wissenschaftlichen Journalen sowie auf nationalen und internationalen Tagungen der wissenschaftlichen Community präsentiert und mit den Experten diskutiert. Andererseits fand eine gezielte Veröffentlichung in praxisnahen Zeitschriften statt. Durch die sehr enge Zusammenarbeit mit den Landwirtschaftskammern, den Maschinenherstellern und den NH-Herstellern, wurden die Ergebnisse auf diversen Veranstaltungen (u.a. Arbeitskreis „Gülle-Strip Till“ oder Veranstaltungen der „Wasserkoooperationen“ der LWK) durch Vorträge oder Poster präsentiert und dort mit Landwirten, Lohnunternehmern, Beratern etc. sehr intensiv diskutiert. Weiterhin flossen die Ergebnisse direkt in die Lehre der Hochschule Osnabrück (z.B. Rahmen von Vorlesungen und Abschlussarbeiten) und der Universität Osnabrück („Osnabrücker Geographisches Kolloquium“) ein. Darüber hinaus konnte auch die politische Ebene erreicht werden. Rainer Spiering, Mitglied des Deutschen Bundestages, war für eine mehrstündige Vorstellung und Diskussion der Ergebnisse zu Besuch an der Hochschule Osnabrück. Hervorzuheben ist der durchgeführte Projekt-Abschlussworkshop „Gülledepot zu Mais“ (20.05.2016) auf dem nochmals die Vertreter aller Bereiche (Wissenschaft, Praxis, Politik) zur Präsentation und Diskussion der Ergebnisse zusammengekommen sind. Einen detaillierten Überblick über die unterschiedlichen Veröffentlichungswege gibt die folgende Auflistung:

Wissenschaftliche Publikationen (begutachtet)

Federolf, C.-P.; Westerschulte, M.; Olf, H.-W.; Broll, G.; Trautz, D. (2016): Nitrogen dynamics following slurry injection in maize – Crop development. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* (submitted).

Federolf, C.-P.; Westerschulte, M.; Olf, H.-W.; Broll, G.; Trautz, D. (2016): Enhanced nutrient use efficiencies from liquid manure by positioned injection in maize cropping in northwest Germany. *European Journal of Agronomy* 75, 130 – 138.

Federolf, C.-P.; Westerschulte, M.; Olf, H.-W.; Trautz, D. (2015): Optimizing Nitrogen and Phosphorus Use Efficiencies from Liquid Manure by Slurry Injection to Reduce Environmental Pollution. *Procedia Environmental Sciences* 29, 227 – 228.

Olf, H.-W.; Westerschulte, M.; Ruoss, N.; Federolf, C.-P.; Zurheide, T.; Vergara Hernandez, M.-E.; Neddermann, N.; Trautz, D.; Pralle, H.; Fuß, R.; Well, R. (2016): A new chamber design for measuring nitrous oxide emissions in maize crops. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* (submitted).

Westerschulte, M.; Federolf, C.-P.; Trautz, D.; Broll, G.; Olf, H.-W. (2016): Nitrogen dynamics following slurry injection in maize – Soil mineral nitrogen. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* (accepted for publication).

Westerschulte, M.; Federolf, C.-P.; Pralle, H.; Trautz, D.; Broll, G.; Olf, H.-W. (2015): Soil nitrogen dynamics after slurry injection in field trials: Evaluation of a soil sampling strategy. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 178, 923 – 934.

Wissenschaftliche Publikationen (nicht begutachtet)

Federolf, C.-P.; Westerschulte, M.; Ofs, H.-W.; Trautz, D. (2016): Gülleunterfußdüngung zu Silomais im Nordwesten – Die Nährstoffbilanz entlasten. LOP 5/2016, 23 – 27.

Federolf, C.-P.; Westerschulte, M.; Ofs, H.-W.; Trautz, D. (2015): Gülleunterfußdüngung zu Silomais in Nordwestdeutschland. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 27, 59 – 60.

Ofs, H.-W.; Federolf, C.-P.; Westerschulte, M.; Trautz, D. (2016): Gülle-Injektion im Maisanbau – Mineralische Unterfußdüngung kann ersetzt werden. Zeitschrift Mais 2/2016, 64–67.

Ofs, H.-W.; Federolf, C.-P.; Westerschulte, M.; Trautz, D. (2015): Nitratauswaschung stoppen. DLZ Agrarmagazin Special Güllendüngung, 16 – 18.

Westerschulte, M.; Federolf, C.-P.; Pralle, H.; Trautz, D.; Ofs, H.-W. (2016): Entwicklung einer Beprobungsmethode zur Beschreibung der Bodenstickstoffdynamik nach Gülleinjektion in Maisfeldversuchen. 47. DLG-Technikertagung: Aspekte des Versuchswesens in den Bereichen: Technik (insbesondere mobile Datenerfassung), Pflanzenbau, Pflanzenschutz und Qualität von Feldversuchen. Vorträge der Fachtagung vom 26. und 27. Januar 2016 in Hannover, 127 – 136.

Westerschulte, M.; Federolf, C.-P.; Pralle, H.; Trautz, D.; Ofs, H.-W. (2015): Entwicklung einer Beprobungsmethode zur Beschreibung der Bodenstickstoffdynamik nach Gülleinjektion in Maisfeldversuchen. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 71/2015, 194 – 205.

Vorträge

Federolf, C.-P.; Westerschulte, M.; Ofs, H.-W.; Trautz, D. (2016): Gülledepot zu Mais - Gülleunterfußdüngung und Strip Till. Abschlussworkshop „Gülledepot zu Mais“ der Hochschule Osnabrück, 20.05.2016, Osnabrück.

Federolf, C.-P.; Westerschulte, M.; Ofs, H.-W.; Trautz, D. (2015): Applikation von Wirtschaftsdüngern im Depot als Beitrag zur nachhaltigen Landbewirtschaftung. Projektpräsentation für Rainer Spiering (MdB), 20.10.2015, Osnabrück.

Federolf, C.-P.; Westerschulte, M.; Ofs, H.-W.; Trautz, D. (2015): Using manure injection to decrease nutrient surpluses in northwestern Germany. VI International Scientific Agriculture Symposium "Agrosym 2015", 15. – 18.10.2015, Jahorina, Bosnien und Herzegowina.

Federolf, C.-P.; Westerschulte, M.; Ofs, H.-W.; Trautz, D. (2015): Gülleunterfußdüngung zu Silomais in Nordwestdeutschland. 58. Tagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e.V. – Multifunktionale Agrarlandschaften: Pflanzenbaulicher Anspruch, Biodiversität, Ökosystemdienstleistungen, 22. – 24.09.2015, Braunschweig.

Federolf, C.-P.; Westerschulte, M.; Ofs, H.-W.; Trautz, D. (2015): Potential of manure injection to increase N and P use efficiencies in maize. 23rd International Symposium of the International Scientific Centre for Fertilizers – Plant Nutrition and Fertilizer Issues for the Cold Climates, 08. – 10.09.2015, Son, Norwegen.

Federolf, C.-P.; Westerschulte, M.; Ofs, H.-W.; Trautz, D. (2015): Applikation von Wirtschaftsdüngern im Depot als Beitrag zur nachhaltigen Landbewirtschaftung 1. Pflanzenbauliche Aspekte. Osnabrücker Geographisches Kolloquium, 27.05.2015, Osnabrück.

Federolf, C.-P.; Westerschulte, M.; Ofs, H.-W.; Trautz, D.: Applikation von Wirtschaftsdüngern im Depot als Beitrag zur nachhaltigen Landbewirtschaftung. Doktoranden-Symposium 2014, 26.09.2014, Osnabrück.

Olfs, H.-W.; Federolf, C.-P.; Westerschulte, M.; Trautz, D. (2015): Effects of the nitrification inhibitor DMPP on soil N turnover and N use efficiency using a new slurry injection technique in maize. Top Science – Symposium 2015 on Nitrification inhibitor usage in organic and mineral fertilizers, 25.02.2015, Dortmund.

Olfs, H.-W.; Federolf, C.-P.; Westerschulte, M. (2013): Platzierte Düngung: Auswirkung auf Umsetzungsprozesse im Boden, Nährstoffaufnahme und Pflanzenwachstum. Agravis und EuroChem Agro: Konzentrationstagung, 07.11.2013, Lüneburg.

Olfs, H.-W. (2013): Nährstoffe, wo der Mais sie braucht – Unterfußdüngung mit Wirtschaftsdüngern. Agritechnica 2013, 12.11.2013, Hannover.

Trautz, D.; Federolf, C.-P.; Westerschulte, M.; Olfs, H.-W. (2016): Effiziente Nährstoffnutzung aus Wirtschaftsdüngern - Gülleunterfußdüngung und Strip Till. KTBL-Tage 2016 – Ressourcen effizienter nutzen, 18. – 20.04.2016, Kassel.

Trautz, D.; Federolf, C.-P.; Westerschulte, M. (2014): Gülleunterfußdüngung von Mais – aktuelle Forschungsergebnisse. Kotte Lohnunternehmerstag, 13.09.2014, Rieste.

Westerschulte, M.; Federolf, C.-P.; Trautz, D.; Olfs, H.-W. (2016): Ergebnisse eines mehrjährigen Feldversuchs zur Unterfuß-Gülleapplikation in Mais. Sommertagung AG „Landwirtschaftliches Versuchswesen“, 23. – 24. Juni 2016.

Westerschulte, M.; Federolf, C.-P.; Pralle, H.; Trautz, D.; Olfs, H.-W. (2016): Entwicklung einer Beprobungsmethode zur Beschreibung der Bodenstickstoffdynamik nach Gülleinjektion in Maisfeldversuchen. 47. Fachtagung des DLG-Ausschusses „Versuchswesen in der Pflanzenproduktion“, 26. – 27.01.2016, Osnabrück.

Westerschulte, M.; Federolf, C.-P.; Trautz, D.; Olfs, H.-W. (2016): Gülledepot zu Mais - Stickstoffdynamik bei Gülledepotdüngung. Abschlussworkshop „Gülledepot zu Mais“ der Hochschule Osnabrück, 20.05.2016, Osnabrück.

Westerschulte, M.; Federolf, C.-P.; Trautz, D.; Olfs, H.-W. (2015): Effizienterer Einsatz von flüssigen Wirtschaftsdüngern durch Depot-Applikation zu Mais. Arbeitstagung des Landesarbeitskreis Düngung (LAD) Baden-Württemberg, der Officialberatung des Ministeriums ländlicher Raum (MLR) und der Regierungspräsidien Baden-Württemberg (RP), 12. – 13.11.2015, Baiersbrunn.

Westerschulte, M.; Federolf, C.-P.; Trautz, D.; Olfs, H.-W. (2015): Bodenstickstoffdynamik unter Mais bei Gülle-Unterfußdüngung im Vergleich zur breitflächigen Applikation. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Pflanzenernährung: Boden, Nährstoffe, Wasser – Forschung für die nachhaltige und effiziente Nutzung von Ressourcen, 17. – 18.09.2015, Göttingen.

Westerschulte, M.; Federolf, C.-P.; Pralle, H.; Trautz, D.; Olfs, H.-W. (2015): Entwicklung einer Beprobungsmethode zur Beschreibung der Bodenstickstoffdynamik nach Gülleinjektion in Maisfeldversuchen. 127. VDLUFA-Kongress: Böden – Lebensgrundlage für Pflanze und Tier, 15. – 18.09.2015, Göttingen.

Westerschulte, M.; Federolf, C.-P.; Trautz, D.; Olfs, H.-W. (2015): Soil nitrogen dynamics in maize field trials after slurry injection compared to broadcast application using a new sampling strategy. 23rd International Symposium of the International Scientific Centre for Fertilizers – Plant Nutrition and Fertilizer Issues for the Cold Climates, 08. – 10.09.2015, Son, Norwegen.

Westerschulte, M.; Federolf, C.-P.; Trautz, D.; Olfs, H.-W. (2015): Applikation von Wirtschaftsdüngern im Depot als Beitrag zur nachhaltigen Landbewirtschaftung – Teil 2: Stickstoffdynamik in Boden und Pflanze. Osnabrücker Geographisches Kolloquium, 27.05.2015, Osnabrück.

Westerschulte, M.; Federolf, C.-P.; Trautz, D.; Ofs, H.-W.: „Depot-Applikation“ von Wirtschaftsdüngern zur Optimierung der N- und P-Effizienz. Arbeitskreis Gülle-Strip-Till, 11.12.2014, Saerbeck.

Westerschulte, M.; Federolf, C.-P.; Trautz, D.; Ofs, H.-W.: N_{min}-Bodenbeprobung bei platzierter Gülle-Applikation. Treffen der Wasserschutzberater der LWK Niedersachsen, 29.07.2014, Oldenburg.

Poster

Federolf, C.-P.; Westerschulte, M.; Ofs, H.-W.; Trautz, D. (2016): Gülledepot zu Mais I. Stickstoffdynamik. Landwirtschaft und Wasserschutz – Feldtag für Kooperationslandwirte und Wasserschutzberatung, 15.06.2016, Oldenburg.

Federolf, C.-P.; Westerschulte, M.; Ofs, H.-W.; Trautz, D. (2016): Gülledepot zu Mais II. Ertragsleistung. Landwirtschaft und Wasserschutz – Feldtag für Kooperationslandwirte und Wasserschutzberatung, 15.06.2016, Oldenburg.

Federolf, C.-P.; Westerschulte, M.; Ofs, H.-W.; Trautz, D. (2015): Optimierung der Stickstoff- und Phosphat-Effizienz aus flüssigen organischen Wirtschaftsdüngern durch Depot-Applikation zur Verminderung der Umweltbelastung. Verbraucherschutzministerkonferenz, 06.05.2015, Wallenhorst.

Federolf, C.-P.; Westerschulte, M.; Ofs, H.-W.; Trautz, D. (2015): Using manure injection to decrease nutrient surpluses in northwestern Germany. Introductory Seminar for the International Climate Protection Fellows, 16.03.2015, Osnabrück.

Federolf, C.-P.; Westerschulte, M.; Ofs, H.-W.; Trautz, D. (2015): Optimizing nitrogen and phosphorus use efficiencies from liquid manure by slurry injection to reduce environmental pollution. Agriculture and Climate Change – Adapting Crops to Increased Uncertainty, 15. – 17.02.2015, Amsterdam, Niederlande.

Westerschulte, M.; Federolf, C.-P.; Trautz, D.; Ofs, H.-W. (2015): Optimizing the nitrogen and phosphate use efficiencies from liquid manure by slurry injection to reduce environmental pollution. AGRITECHNICA 2015, 09. – 14.11.2015, Hannover.

Westerschulte, M.; Federolf, C.-P.; Trautz, D.; Ofs, H.-W. (2014): Optimierung der Stickstoff- und Phosphat-effizienz aus flüssigen organischen Wirtschaftsdüngern durch „Depot-Applikation“ zur Verminderung der Umweltbelastung. Informationsveranstaltung Wasserschutz der LWK Niedersachsen, 23. – 24.09.2014, Oldenburg.

6 Fazit

Auf einem breiten Spektrum von Standorten in Nordwest-Deutschland konnte durch eine gezielte Unterfußdüngung mit Gülle auf eine mineralische Unterfußdüngung verzichtet werden, ohne Silomaiserträge und -qualitäten zu senken. Im Vergleich zu flächig eingearbeiteter Gülle wurden deutlich bessere N- und P-Verfügbarkeiten aus den organischen Wirtschaftsdüngern beobachtet. Unter besonders auswaschungsgefährdeten Bedingungen konnte zudem die Nitratverlagerung vermindert werden. Höhere Erträge waren die Folge. Somit kann durch die Gülleunterfußdüngung eine höhere Nährstoffnutzungseffizienz aus Wirtschaftsdüngern erzielt werden. Durch den Verzicht auf eine zusätzliche mineralische Unterfußdüngung ist eine Entlastung von N- und P-Bilanzen möglich. Sind die Flächen zur Maisbestellung in einem ackerbaulich guten Zustand, kann eine Kombination aus Gülleunterfußdüngung und dem Strip-Till Verfahren zu weiteren Vorteilen für die Umwelt, wie zum Beispiel Erosionsschutz, führen.

Literaturangaben

- Ahmed, S.I., Mickelson, S.K., Pederson, C.H., Baker, J.L., Lorimor, J.C., Webber, D.F. (2012): Swine manure rate, timing, and application method effects on post-harvest soil nutrients, crop yield, and potential water quality implications in a corn-soybean rotation. *Trans. ASABE* 56, 395 – 408.
- Andrae, M. (1999): Entec (DMPP) - ein neuer Ammoniumstabilisator: ökotoxikologische Bewertung. In: BASF AG (Hrsg.) *Düngen mit einer neuen Technologie - Innovation in der Düngung Entec. Proceedings of a Scientific Colloquium*, BASF, Limburgerhof, 45 – 49.
- Blume, H.-P., Brümmer, G.W., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., Kretschmar, R., Stahr, K. Wilke, B.-M. (2010): *Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde*. 16. Aufl., Heidelberg, Spektrum Akademischer Verlag.
- Ciampitti, I.A., Vyn, T.J. (2011): A comprehensive study of plant density consequences on nitrogen uptake dynamics of maize plants from vegetative to reproductive stages. *Field Crops Res.* 121, 2 – 18.
- Dell, C.J., Meisinger, J.J., Beegle, D.B. (2011): Subsurface application of manures slurries for conservation tillage and pasture soils and their impact on the nitrogen balance. *J. Environ. Qual.* 40, 352 – 361.
- Dittert, K., Bol R., King R., Chadwick D., Hatch D. (2001): Use of a novel nitrification inhibitor to reduce nitrous oxide emission from 15N-labelled dairy slurry injected into soil. *Rapid Commun. Mass SP* 15, 1291 – 1296. doi: 10.1002/rcm.335
- Dosch, P., Gutser, R. (1996): Reducing N losses (NH₃, N₂O, N₂) and immobilization from slurry through optimized application techniques. *Ferti. Res.* 43, 165 – 171.
- DOW (2015): N-Lock Stickstoff-Stabilisator – Anwendung. <http://msdssearch.dow.com> (Zugriff am 13.09.2015).
- GESTIS-Stoffdatenbank (2015): 1,2,4-Triazol. <http://gestis.itrust.de> (Zugriff am 29.12.2015).
- Gomez, K.A., Gomez, A.A. (1984): *Statistical procedures for agricultural research*. 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc., Canada, 534 – 535.
- IUSS Working Group WRB (2015): *World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 - International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
- Kirchmann, H., Lundvall, A. (1993): Relationship between N immobilization and volatile fatty acids in soil after application of pig and cattle slurry. *Biol. Fertil. Soils* 15, 161 – 164. doi: 10.1007/BF00361605
- Macduff, J.H., Jackson, S.B. (1991): Growth and preferences for ammonium or nitrate uptake by barley in relation to root temperature. *J. Exp. Bot.* 42, 521 – 530.
- McCarty, G.W. (1999): Mode of action of nitrification inhibitors. *Biol. Fert. Soils* 29, 1 – 9.
- Misselbrook, T.H., Smith, K.A., Johnson, R.A., Pain, B.F. (2002): Slurry application techniques to reduce ammonia emissions: results of some UK field-scale experiments. *Biosys. Eng.* 81, 313 – 321.
- Olf, H.-W., Westerschulte, M., Ruoss, N., Federolf, C.-P., Zurheide, T., Vergara Hernandez, M.E., Neddermann, N., Trautz, D., Pralle, H., Fuß, R., Well, R. (2016): A new chamber design for measuring nitrous oxide emissions in maize crops. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* (submitted).

- Pasda, G., Hahndel, R., Zerulla, W. (2001): Effect of fertilizers with the new nitrification inhibitor DMPP (3,4-dimethylpyrazol-phosphate) on yield and quality of agricultural and horticultural crops. *Biol. Fertil. Soils* 34, 85 – 97.
- Plénet, D., Etchebest, S., Mollier, A., Pellerin, S. (2000): Growth analysis of maize field crops under phosphorus deficiency. I. Leaf Growth. *Plant Soil* 223, 119 – 132. doi: 10.1023/A:1004877111238
- Roll, R. (1999): Zur Toxikologie von DMPP. In: BASF AG (Hrsg.) Düngen mit einer neuen Technologie: Innovation in der Düngung Entec. Proceedings of a Scientific Colloquium, BASF, Limburgerhof, 39 – 44.
- Ruser, R., Schulz, R. (2015): The effect of nitrification inhibitors on the nitrous oxide (N₂O) release from agricultural soils – a review. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 178, 191 – 188.
- Schmitt, M.A., Evans, S.D., Randall, G.W. (1995): Effect of liquid manure application methods on soil nitrogen and corn grain yields. *J. Prod. Agric.* 8, 186 – 189.
- Schröder, J.J., Ten Holte, L., Brouwer, G. (1997): Response of silage maize to placement of cattle slurry. *Neth. J. Agr. Sci.* 45, 249 – 261.
- Schröder, J.J., Vermeulen G.D., von der Schoot, J.R., van Dijk, W., Huijsmans, J.F.M., Moefels, G.J.H.M., van der Schans, D.A. (2015): Maize yields benefit from injected manure positioned in bands. *Eur. J. Agron.* 64, 29 – 36.
- Singh, S.N., Verma, A. (2007): Environmental review: the potential of nitrification inhibitors to manage the pollution effect of nitrogen fertilizers in agricultural and other soils: A review. *Environ. Pract.* 9. doi: 10.1017/S1466046607070482.
- Sørensen, P., Amato, M. (2002): Remineralization and residual effects of N after application of pig slurry to soil. *Eur. J. Agron.* 16, 81 – 95.
- Subbaro, G.V., Ito, O., Sahrawat, K.L., Berry, W.L., Nakahara, L., Ishikawa, T., Watanabe, T., Suenaga, K., Rondon, M., Rao, I.M. (2006): Scope and strategies for regulation of nitrification in agricultural systems – Challenges and Opportunities. *Critical Rev. Plant Sci.* 25, 303 – 335.
- Tewelde, H., Way, T.R., Pote, D.H., Adeli, A., Brooks, J.P., Shankle, M.W. (2013): Method of soil sampling following subsurface banding of solid manures. *Agron. J.* 105, 519 – 526.
- Thomson, C.J., Marschner, H., Römheld, V. (1993): Effect of nitrogen fertilizer form on pH of the bulk soil and rhizosphere, and on the growth, phosphorus, and micronutrient uptake of bean. *J. Plant Nutr.* 16:493 – 506. doi: 10.1080/01904169309364548
- Thompson, R.B., Ryden, J.C., Lockyer, D.R. (1987): Fate of nitrogen in cattle slurry following surface application or injection to grassland. *J. Soil Sci.* 38:689 – 700. DOI: 10.1111/j.1365-2389.1987.tb02166.x.
- Vanelli, T., Hooper, A.B. (1992): Oxidation of nitrapyrin to 6-chloropicolinic acid by the ammonia oxidizing bacterium *Nitrosomonas europaea*. *Applied Environ. Microbiol.* 58, 2321 – 2325.
- Vos J., van der Putten, P., Birch, C.J. (2005): Effect of nitrogen supply on leaf appearance, leaf growth, leaf nitrogen economy and photosynthetic capacity in maize (*Zea mays* L.). *Field Crops Res.* 93, 64 – 73. doi: 10.1016/j.fcr.2004.09.013
- Webb, J., Pain, B., Bittman, S., Morgan, J. (2010): The impacts of manure application methods on emissions of ammonia, nitrous oxide and on crop response – A review. *Agric. Ecosyst. Environ.* 137, 39 – 46. doi: 10.1016/j.agee.2010.01.001.

Anlagen

- I. Lage, Klima und Böden (exemplarisch für 2014) der Versuchsstandorte der Kooperationsversuche
- II. Trockenmasseerträge der Kammerversuche 2013 – 2015 der Kooperationsversuche
- III. Stickstoffentzüge der Kammerversuche 2013 – 2015 der Kooperationsversuche
- IV. N_{\min} -Mengen (kg/ha) im Stickstoffdynamikversuch 2014 und 2015 je Bodenschicht
- V. N_{\min} -Mengen (kg/ha) im Stickstoffdynamikversuch 2014 und 2015 in Abhängigkeit vom Abstand zur Maisreihe

Anlage I: Lage, Klima und Böden (exemplarisch für 2014) der Versuchsstandorte der Kooperationsversuche

Bundesland	Nordrhein-Westfalen		Niedersachsen			Schleswig-Holstein	
	Haus Düsse	Merfeld	Poppenburg	Sandkrug	Wehnen	Bredenbek	Hüsby
Breitengrad	51°38' N	51°51' N	52°08' N	53°05' N	53°10' N	54°19' N	54°31' N
Längengrad	08°11' E	07°12' E	09°46' E	08°16' E	08°08' E	09°48' E	09°26' E
Ø Jahrestemperatur (°C)*	9.8	10.4	9.6	9.6	9.5	8.9	8.6
Ø Jahresniederschlag (mm)*	836	880	742	841	823	847	844
Ø Temperatur Mai – Sept. (°C)*	15.0	15.4	14.8	14.7	14.6	14.0	13.8
Ø Niederschlag Mai – Sept. (mm)*	376	378	323	376	386	375	372
Bodenart ^a	LV-ha	PZ-pi	LV-ha	PZ-ha	PZ-gl	LV-gl	PZ-ha
pH (KCl)	6.8	5.0	6.7	5.3	4.8	6.4	5.4
N _{min} 0 – 60 cm (kg ha ⁻¹)	15	15	80	23	13	68	23
P CAL 0 – 30 cm (mg 100 g ⁻¹)	7	10	9	11	8	15	14

^aBodenart nach IUSS Working Group WRB (2015): cm= cambic; gl= gleyic; ha= haplic; LV= Luvisol; PZ= Podzol

*Langjähriges Mittel (1980 – 2010)

Anlage II: Trockenmasseerträge der Kammerversuche 2013 – 2015.

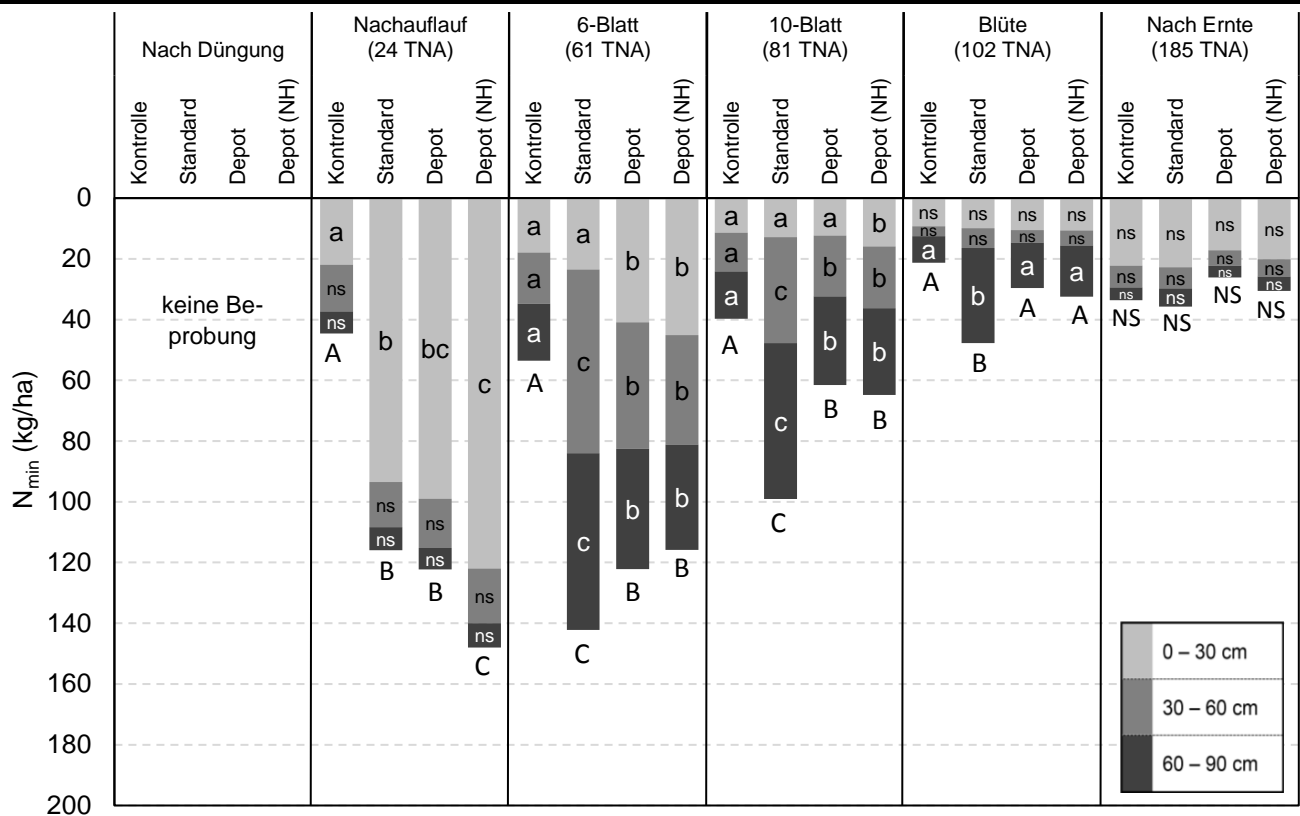
TM-Ertrag (t/ha)		Merfeld	Haus Düsse	Milte	Poppen- burg	Sandkrug	Wehnen	Hüsby	Bredenbek
2013									
Kontrolle	- UFD	15.9 c	15.1 b	12.7 a	18.6 b	8.9 c	14.2 b	10.3 b	Keine Daten
	+ UFD								
Schlepp.	- UFD	20.4 ab	16.1 ab	13.3 a	20.8 ab	15.6 b	17.7 a	15.4 a	
	+ UFD	20.3 ab	17.1 ab	13.4 a	21.0 a	17.0 ab	17.5 a	15.6 a	
Depot	- UFD	20.1 ab	16.4 ab	13.5 a	21.0 a	16.7 ab	18.1 a	17.5 a	
	+ UFD	20.8 a	17.0 ab	13.3 a	21.4 a	16.9 ab	18.3 a	17.6 a	
Piadin	- UFD	19.8 ab	17.5 a	13.6 a	21.3 a	18.0 a	18.4 a	17.5 a	
	+ UFD	20.3 ab	17.7 a	14.2 a	21.3 a	18.4 a	19.5 a	17.8 a	
66% De- pot	- UFD	19.1 b	17.2 ab	13.6 a	20.5 ab	15.8 b	17.5 a	17.5 a	
	+ UFD	20.3 ab	17.8 a	13.6 a	20.9 a	15.9 b	17.7 a	16.3 a	
66% Pi- adin	- UFD	19.8 ab	16.2 ab	14.4 a	20.8 a	16.9 ab	18.9 a	16.2 a	
	+ UFD	20.1 ab	17.4 a	13.5 a	21.6 a	18.0 a	19.2 a	17.7 a	
2014									
Kontrolle	- UFD	17.8 c	19.8 b	Keine Daten	19.9 b	13.3 c	21.5 a	13.3 c	21.1 c
	+ UFD	19.0 bc	21.8 ab		20.4 ab	12.7 c	22.1 a	12.7 c	21.8 bc
Schlepp.	- UFD	19.7 abc	21.1 ab		20.1 ab	19.0 b	23.4 a	19.0 b	23.4 abc
	+ UFD	20.8 ab	22.4 a		21.9 ab	20.1 ab	23.0 a	20.1 ab	24.7 a
Depot	- UFD	21.2 ab	22.8 a		20.9 ab	20.5 ab	23.6 a	20.5 ab	24.6 a
	+ UFD	21.9 ab	23.3 a		22.2 a	21.6 a	24.0 a	21.6 a	24.8 a
Piadin	- UFD	21.5 ab	22.7 a		21.7 ab	21.5 a	23.5 a	21.5 a	25.0 a
	+ UFD	22.0 a	23.5 a		22.2 a	21.3 a	23.8 a	21.3 a	25.1 a
66% De- pot	- UFD	20.0 abc	22.1 ab		21.3 ab	19.1 b	23.5 a	19.1 b	23.2 abc
	+ UFD	20.7 abc	23.6 a		21.9 ab	19.9 ab	23.8 a	19.9 ab	24.4 a
66% Pi- adin	- UFD	20.3 abc	22.3 a		21.5 ab	20.2 ab	22.0 a	20.2 ab	23.8 ab
	+ UFD	21.1 ab	22.3 a		21.7 ab	20.3 ab	23.1 a	20.3 ab	23.7 ab
2015									
Kontrolle	- UFD	19.2 a	18.5 d	19.7 a	20.1 a	12.9 e	12.5 e	11.7 b	15.8 b
	+ UFD	20.5 a	19.4 cd	19.1 a	20.6 a	12.4 e	15.3 cd	11.5 b	16.8 ab
Schlepp.	- UFD	18.9 a	20.5 abcd	20.3 a	20.7 a	16.2 cd	12.6 e	13.9 a	17.9 ab
	+ UFD	21.1 a	20.3 abcd	20.6 a	20.8 a	16.0 d	15.5 bcd	14.2 a	17.6 ab
Depot	- UFD	19.8 a	22.8 a	20.1 a	19.8 a	18.3 ab	15.8 bcd	14.0 a	16.8 ab
	+ UFD	21.3 a	21.7 abc	20.6 a	19.8 a	18.5 a	18.0 ab	14.4 a	17.4 ab
Piadin	- UFD	20.7 a	22.2 abc	21.3 a	20.5 a	18.2 ab	18.0 ab	14.7 a	18.2 ab
	+ UFD	21.5 a	22.3 ab	20.9 a	19.9 a	18.4 ab	19.4 a	14.1 a	18.5 a
66% De- pot	- UFD	18.8 a	21.4 abc	20.3 a	19.9 a	16.6 bcd	15.0 de	13.7 a	17.0 ab
	+ UFD	20.4 a	20.8 abcd	20.5 a	19.5 a	15.9 d	16.9 abcd	13.8 a	16.9 ab
66% Pi- adin	- UFD	19.6 a	20.6 abcd	19.8 a	20.4 a	16.9 abcd	17.1 abcd	14.5 a	17.7 ab
	+ UFD	20.8 a	19.8 bcd	21.6 a	20.0 a	16.9 abcd	18.8 a	14.1 a	17.6 ab

Anlage III: Stickstoffentzüge der Kammerversuche 2013 – 2015

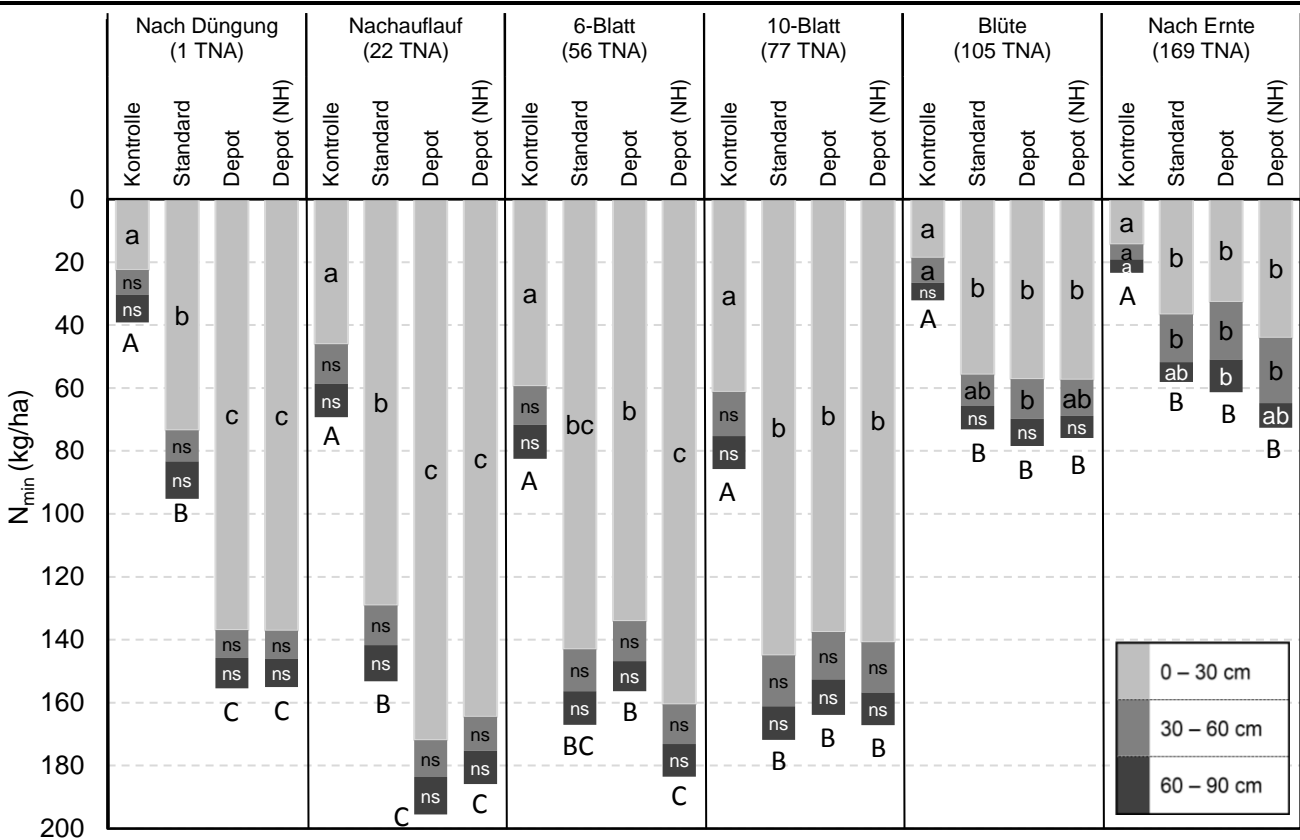
N-Entzug (kg/ha)		Merfeld	Haus Düse	Milte	Poppen- burg	Sandkrug	Wehnen	Hüsby	Bredenbek	
2013										
Kontrolle	- UFD	130 b	157 b	145 a	192 b	82 c	147 b	93 c	Keine Daten	
	+ UFD									
Schlepp.	- UFD	222 a	191 ab	149 a	238 a	155 b	206 a	160 ab		
	+ UFD	213 a	196 a	155 a	241 a	161 ab	202 a	158 ab		
Depot	- UFD	214 a	196 a	153 a	253 a	169 ab	211 a	170 ab		
	+ UFD	229 a	201 a	158 a	258 a	170 ab	215 a	179 ab		
Piadin	- UFD	216 a	209 a	166 a	250 a	184 ab	216 a	182 a		
	+ UFD	220 a	212 a	173 a	255 a	189 a	230 a	190 a		
66% De- pot	- UFD	200 a	203 a	148 a	235 a	153 b	200 a	174 ab		
	+ UFD	205 a	207 a	146 a	244 a	153 b	200 a	155 b		
66% Pi- adin	- UFD	203 a	193 ab	158 a	243 a	156 ab	217 a	159 ab		
	+ UFD	210 a	209 a	157 a	247 a	184 ab	230 a	167 ab		
2014										
Kontrolle	- UFD	189 c	204 c	Keine Daten	224 c	100 d	264 a	130 d		202 b
	+ UFD	205 bc	230 abc		227 c	94 d	265 a	133 d	214 b	
Schlepp.	- UFD	225 ab	226 bc		234 bc	148 c	297 a	191 abc	257 a	
	+ UFD	231 ab	244 ab		255 ab	173 bc	273 a	184 abc	261 a	
Depot	- UFD	233 ab	243 ab		248 abc	181 abc	292 a	195 abc	283 a	
	+ UFD	244 a	245 ab		262 a	195 ab	299 a	184 abc	286 a	
Piadin	- UFD	236 ab	246 ab		259 ab	213 a	288 a	198 ab	280 a	
	+ UFD	236 ab	253 ab		263 a	212 a	292 a	208 a	277 a	
66% De- pot	- UFD	210 bc	234 abc		246 abc	152 c	288 a	171 bc	264 a	
	+ UFD	222 ab	261 a		255 ab	162 bc	292 a	168 c	271 a	
66% Pi- adin	- UFD	218 abc	238 ab		250 abc	175 abc	263 a	192 abc	259 a	
	+ UFD	234 ab	242 ab		257 ab	175 abc	282 a	177 bc	255 a	
2015										
Kontrolle	- UFD	201 a	170 c		226 ab	209 a	100 e	134 f	110 b	152 b
	+ UFD	222 a	183 bc	224 b	209 a	94 e	164 de	107 b	154 b	
Schlepp.	- UFD	205 a	200 abc	245 ab	224 a	137 d	140 ef	144 a	185 a	
	+ UFD	229 a	200 abc	256 ab	226 a	136 d	170 cd	144 a	182 a	
Depot	- UFD	228 a	232 a	250 ab	219 a	164 abc	174 bcd	149 a	178 ab	
	+ UFD	234 a	229 a	249 ab	221 a	165 ab	198 abc	155 a	175 ab	
Piadin	- UFD	223 a	220 ab	265 a	233 a	167 ab	198 abc	152 a	193 a	
	+ UFD	236 a	231 a	260 ab	228 a	173 a	211 a	149 a	190 a	
66% De- pot	- UFD	204 a	211 ab	245 ab	221 a	139 d	162 def	138 a	183 a	
	+ UFD	221 a	198 abc	247 ab	213 a	133 d	184 abcd	145 a	172 ab	
66% Pi- adin	- UFD	223 a	188 bc	241 ab	221 a	151 bcd	188 abcd	147 a	183 a	
	+ UFD	232 a	186 bc	264 a	215 a	145 cd	203 ab	146 a	184 a	

Anlage IV: N_{min}-Mengen (kg/ha) je Bodenschicht im Stickstoffdynamikversuch 2014 und 2015. Buchstaben: signifikante Unterschiede zwischen den Varianten in der entsprechenden Tiefe zu den Terminen; ns / NS = nicht signifikant

2014



2015



Anlage V: N_{min}-Mengen (kg/ha) im Stickstoffdynamikversuch 2014 und 2015 in Abhängigkeit vom Abstand zur Maisreihe. TNI = Tage nach Applikation; UMR = Unter der Maisreihe, B 15 / 30 = Zwischenreihenbereich mit 15 cm bzw. 30 cm Abstand zur Maisreihe

2014																		
	Nach Düngung			Nachauflauf			6-Blatt			10-Blatt			Blüte			Nach Ernte		
	UMR	B 15	B 30	24 TNI			61 TNI			81 TNI			102 TNI			185 TNI		
	UMR	B 15	B 30	UMR	B 15	B 30	UMR	B 15	B 30	UMR	B 15	B 30	UMR	B 15	B 30	UMR	B 15	B 30
Kontrolle				8.9 a	18 a	18 a	9.2 a	23 a	22 a	6.9 a	17 a	15 a	3.5 a	8.5 a	10 a	4.7 ns	15 ns	14 ns
Standard				34 a	41 b	41 b	31 b	64 b	48 b	20 b	44 c	34 b	6.2 ab	18 b	23 b	4.5 ns	15 ns	16 ns
Depot	Keine Beprobung			86 b	20 a	16 a	70 c	31 a	21 a	24 b	24 b	15 a	4.9 ab	13 ab	13 a	4.7 ns	10 ns	11 ns
Depot (NH)				108 b	22 a	18 a	70 c	28 a	20 a	26 b	23 b	16 a	6.9 b	13 ab	12 a	5.2 ns	13 ns	13 ns
2015																		
	1 TNI			22 TNI			56 TNI			77 TNI			105 TNI			169 TNI		
	UMR	B 15	B 30	UMR	B 15	B 30	UMR	B 15	B 30	UMR	B 15	B 30	UMR	B 15	B 30	UMR	B 15	B 30
Kontrolle	10 a	14 a	15 a	15 a	27 a	27 a	17 a	32 a	34 a	15 a	36 a	35 a	5.7 a	12 a	13 a	3.4 a	9.1 a	11 a
Standard	28 a	35 b	32 b	48 b	54 b	51 b	49 b	58 c	61 b	34 b	76 b	62 b	10 b	31 ab	30 b	5.1 b	16 b	38 b
Depot	126 b	15 a	15 a	140 c	30 a	25 a	76 c	46 b	34 a	62 c	63 b	39 a	15 c	43 b	20 a	8.1 c	21 bc	32 b
Depot (NH)	127 b	15 a	13 a	130 c	29 a	27 a	103 d	47 b	34 a	65 c	66 b	37 a	18 c	38 ab	21 a	8.4 c	30 c	31 b