



Versuchsergebnisse zur grundwasserschutzorientierten Landbewirtschaftung



Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	3
2.	Versuche mit Sickerwasseruntersuchungen	5
2.1.	Grundwasserschutzorientierte Gestaltung der Fruchtfolge und grundwasserschutzorientierte N-Düngung – Versuchsstandort Hamerstorf.....	6
2.1.1.	Versuchsaufbau und Durchführung.....	6
2.1.2.	Ergebnisse	8
2.2.	Grundwasserschutzorientierte Gestaltung der Fruchtfolge und grundwasserschutzorientierte N-Düngung - Versuchsstandort Thülsfelde.....	16
2.2.1.	Versuchsaufbau und Durchführung.....	16
2.2.2.	Ergebnisse	18
2.3.	Grundwasserschutz durch Zwischenfruchtanbau - Versuchsstandort Wehnen.....	26
2.3.1.	Versuchsaufbau und Durchführung.....	27
2.3.2.	Ergebnisse	28
2.3.3.	Ergänzende Untersuchungen zum grundwasserschutzorientierten Zwischenfruchtanbau	35
2.4.	Grundwasserschutzorientierte organische Düngung – Versuchsstandort Wehnen.....	38
2.4.1.	Versuchsaufbau und Durchführung.....	38
2.4.2.	Ergebnisse	39
3.	Mehrjährige Feldversuche	44
3.1.	Bodenbearbeitung und Begrünung durch Grünroggen nach der Silomaisernte – Auswirkungen auf die N-Dynamik im Boden.....	44
3.1.1.	Versuchsstandort Borgholt.....	45
3.1.2.	Versuchsstandort Wehnen	46
3.2.	Vergleich grundwasserschutzorientierter N-Düngestrategien im Silomaisanbau	49
3.2.1.	Versuchsaufbau und Durchführung.....	49
3.2.2.	Ergebnisse	51
3.3.	Weiterentwicklung regionalspezifischer Strategien zur grundwasserschutzorientierten Winterweizendüngung.....	64

3.3.1. Ergebnisse	65
3.4. Weiterentwicklung grundwasserschutzorientierter Herbizidstrategien im Silomaisanbau.....	71
3.4.1. Ergebnisse	72
4. Ergänzende N_{\min} -Untersuchungen.....	75
4.1. Auswirkungen von Untersaaten im Silomaisanbau auf die N-Dynamik im Boden	75
4.2. Auswirkungen von Gülleunterfußdüngung auf die N_{\min} -Werte direkt nach der Silomaisernte und zu Beginn der Sickerwasserperiode	78
4.2.1. N_{\min} -Probenahme bei Gülleunterfußdüngung	80
4.3. Auswirkungen von Energiegras im mehrjährigen Anbau auf die N-Dynamik im Boden.....	83
5. Anhang	84
5.1. Abkürzungsverzeichnis	84
5.2. Klimadaten	85
5.3. Versuchsdaten	87
5.4. Tabellenverzeichnis.....	101
5.5. Abbildungsverzeichnis.....	102
5.6. Literaturverzeichnis	111

1. Einleitung

Im Rahmen der landesweiten Aufgaben im kooperativen Trinkwasserschutz (§ 28 NWG) führt die Landwirtschaftskammer Niedersachsen Versuche zur grundwasserschutzorientierten Landbewirtschaftung durch. Dem Niedersächsischen Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz und dem Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) sei an dieser Stelle für die Finanzierung aus der Wasserentnahmegebühr gedankt. Den Schwerpunkt der Versuche stellt die Vermeidung von Nitratreinträgen in das Grundwasser dar. Vier Wasserschutzversuche an den Versuchsstandorten Thülsfelde, Wehnen und Hamerstorf werden deshalb durch Sickerwasseruntersuchungen des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) ergänzt. In allen Versuchen werden je nach Versuchsfrage die Auswirkungen der Bewirtschaftungsmaßnahmen auf N-Dynamik im Boden, N-Bilanzen, Erträge und Qualitätsparameter untersucht. Um auch die Einträge anderer chemischer Parameter in das Grundwasser, wie beispielsweise Pflanzenschutzmittel oder deren Metaboliten zu minimieren, werden auch Ergebnisse aus Feldversuchen zur Entwicklung alternativer Herbizidstrategien im Silomaisanbau unter Verzicht auf auswaschungsgefährdete Wirkstoffe vorgestellt. Abbildung 1 zeigt die Lage der Versuchsstandorte 2015. Bei der Auswahl der Versuchsstandorte werden die verschiedenen Anbauverhältnisse in Niedersachsen bestmöglich berücksichtigt. Schwerpunkte werden im Hinblick auf die Auswaschungsgefährdung gesetzt. Auf den auswaschungsgefährdeten Geeststandorten im nordwestlichen Niedersachsen werden daher die meisten Sickerwasseruntersuchungen durchgeführt.

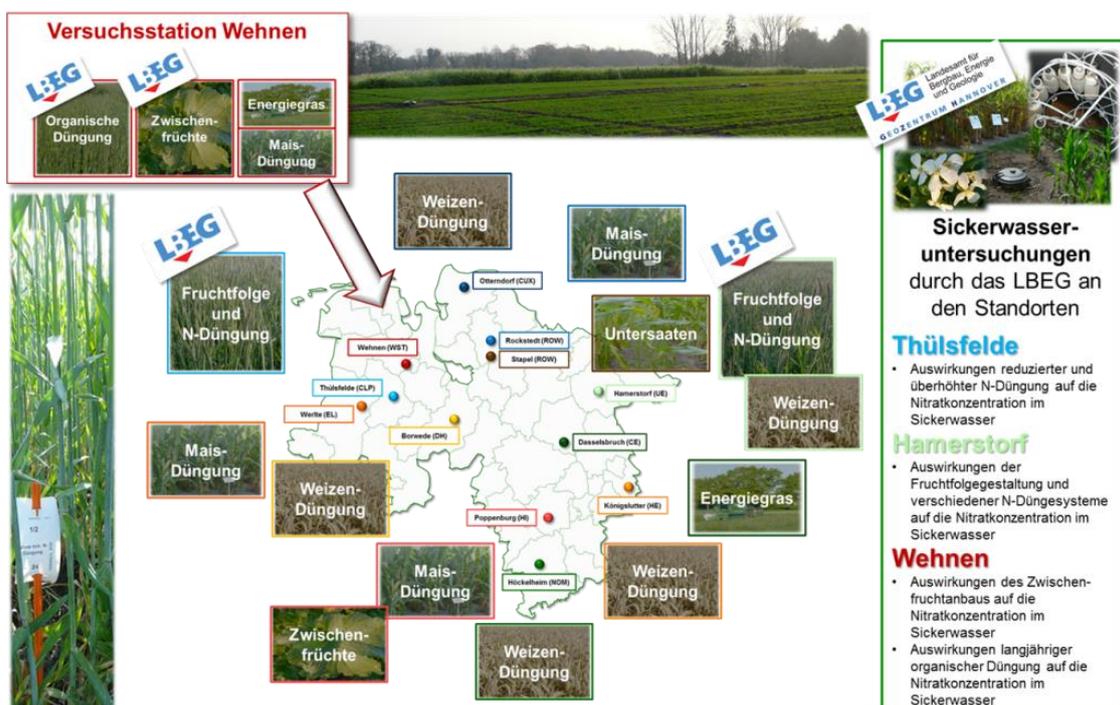


Abbildung 1: Lage der Versuchsstandorte der Wasserschutzversuche zur Minimierung der Nitratauswaschung aus der Landwirtschaft; 2015

Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die 2015 durchgeführten Versuche zur grundwasserschutzorientierten Landwirtschaft.

Tabelle 1: Übersicht – Versuche zur grundwasserschutzorientierten Landwirtschaft 2015

Versuchsfragestellung	Standort	Laufzeit
Versuche mit Sickerwasseruntersuchungen durch das LBEG		
Welchen Einfluss haben die N-Düngung und die Fruchtfolgegestaltung auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser? Wie kann die Sickerwasserqualität durch eine grundwasserschutzorientierte Gestaltung der Fruchtfolge und eine Anpassung der N-Düngung verbessert werden? Wie wirken sich die Höhe der N-Düngung und die Fruchtfolgegestaltung auf die N-Dynamik im Boden, Erträge und Qualitätsparameter aus?	Hamerstorf	seit 1995 verlegt: 2014
Welchen Einfluss hat die Höhe der N-Düngung auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser? Wie wirken sich reduzierte und überhöhte N-Düngung langfristig auf Sickerwasserqualität, N-Dynamik im Boden, Erträge und Qualitätsparameter aus?	Thülsfelde	seit 1995
Welche Auswirkungen haben Art und Höhe der N-Düngung zur Zwischenfrucht und die Höhe der N-Düngung zur nachfolgenden Hauptfrucht auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser? Wie viel Stickstoff wird im Herbst von den Zwischenfrüchten aufgenommen und wie viel Stickstoff wird während der Sickerwasserperiode konserviert? Wie viel des von der Zwischenfrucht aufgenommenen Stickstoffs steht der nachfolgenden Hauptfrucht in den Folgejahren zur Verfügung?	Wehnen	seit 2012
Welchen Einfluss hat die Höhe der organischen N-Düngung auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser? Wie wirkt sich organische Düngung im Vergleich zu mineralischer N-Düngung auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser und die N-Dynamik im Boden aus? Wie wirken sich eine langfristig reduzierte und eine überhöhte organische Düngung auf N-Dynamik im Boden, Erträge und Qualitätsparameter aus?	Wehnen	seit 2014
Mehrjährige Feldversuche		
Silomais		
In welchem Umfang werden die Reststickstoffgehalte im Boden nach Silomais durch eine Bodenbearbeitung nach der Maisernte erhöht? Können die Reststickstoffgehalte im Boden nach Silomais durch die Aussaat von Grünroggen als Begrünung verringert werden?	Borgholt	seit 2012
	Wehnen	
Können auswaschungsgefährdete Reststickstoffgehalte nach Silomais durch eine möglichst präzise Einschätzung des N-Düngebedarfs gesenkt werden? Wie wirkt sich die Höhe der N-Düngung an verschiedenen Standorten auf die N-Dynamik im Boden aus? Sind N-Düngestrategien wie die Spät-Frühjahrs-N _{min} -Probenahme oder eine Reduzierung der Sollwertdüngung geeignet, um die Herbst-N _{min} -Werte zu Beginn der Sickerwasserperiode zu reduzieren? Vor- und Nachteile der untersuchten Strategien in der regionalen grundwasserschutzorientierten Düngeberatung	Poppenburg	2013-2015
	Rockstedt	
	Wehnen	
	Werlte	
Weiterentwicklung grundwasserschutzorientierter Herbizidstrategien im Silomaisanbau unter Verzicht auf Terbutylazin und Metolachlor	Addrup, Dissen Kluse	seit 2014
Winterweizen		
Welche Maßnahmen eignen sich regionalspezifisch zur grundwasserschutzorientierten N-Düngung von Winterweizen?	Borwede	seit 2015
	Höckelheim	
	Königslutter	
	Otterham	
	Otterndorf	
	Poppenburg	
Ergänzende N_{min}-Untersuchungen		
Inwieweit können die Herbst-N _{min} -Werte im Silomaisanbau durch Grasuntersaaten reduziert werden?	Stapel	seit 2011
Wie wirken sich Gülleunterfußdüngung und der Einsatz von Nitrifikationshemmstoffen auf die Ernte- und Herbst-N _{min} -Werte nach Silomais aus?	Poppenburg	2013-2015
Ergänzende N _{min} -Untersuchungen zum grundwasserschutzorientierten Zwischenfruchtanbau (N-Düngung und Aussaattermin)	Poppenburg	2015
Ergänzende N _{min} -Untersuchungen zum grundwasserschutzorientierten Zwischenfruchtanbau (verschiedene Zwischenfrüchte)	Obershagen	seit 2015
Wie wirkt sich der mehrjährige Anbau unterschiedlicher Energiegräser, auf die Herbst-N _{min} -Werte aus?	Dasselsbruch	seit 2015
	Werlte	

Eine tabellarische Übersicht über die Versuchsergebnisse sowie ergänzende Berechnungen stehen im Kapitel 5.3 „Versuchsdaten“ zur Verfügung.

2. Versuche mit Sickerwasseruntersuchungen

An den Standorten Thülsfelde, Hamerstorf und Wehnen erfasst das LBEG in vier verschiedenen Wasserschutzversuchen, ergänzend zu den N_{\min} -Untersuchungen durch die Landwirtschaftskammer die Nitratkonzentration im Sickerwasser. Abbildung 2 zeigt den Aufbau einer Sickerwasseranlage. Mit Hilfe der Saugsonden wird dem Boden durch den Anschluss an eine Unterdruckpumpe Sickerwasser entzogen.



Das Sickerwasser wird in den Sammelflaschen aufgefangen und anschließend auf Nitrat analysiert.

Abbildung 2: Beispielhafter Aufbau der Sickerwasseranlage

Die Versuche mit begleitenden Sickerwasseruntersuchungen ermöglichen so, neben der Untersuchung der N-Dynamik im Boden, auch die Beurteilung der damit zusammenhängenden Nitratkonzentration im Sickerwasser und der Nitratfrachten in den einzelnen Varianten. Abbildung 3 zeigt den Zusammenhang der N_{\min} -Werte und der Nitratkonzentration im Sickerwasser an den leichten, auswaschungsgefährdeten Versuchsstandorten Thülsfelde (im Landkreis Cloppenburg) und Wehnen (im Landkreis Ammerland).

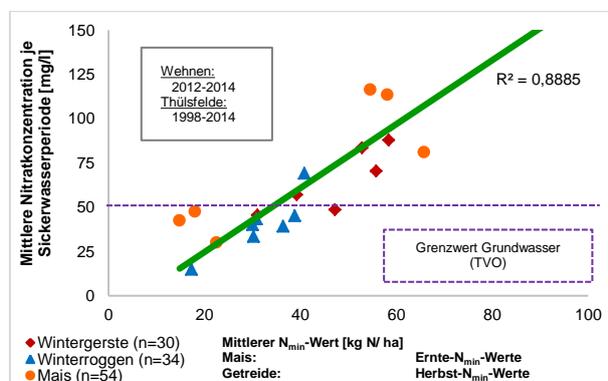


Abbildung 3: Zusammenhang N_{\min} -Werte und Nitratkonzentration während der Sickerwasserperiode (n. Lars Konen; LBEG)

Um auch belastbare Daten zu komplexen Fragestellungen, wie beispielsweise den Auswirkungen grundwasserschutzorientierter Fruchtfolgegestaltung oder langfristig reduzierter Stickstoffdüngung erfassen zu können, werden die Versuche mit ergänzenden Sickerwasseruntersuchungen mit einer Laufzeit von etwa 10 Jahren angelegt.

Die Sickerwasseruntersuchungen leisten zusätzlich zu ihrem wissenschaftlichen Wert einen wichtigen Beitrag, um geringe Nitratauswaschung als Erfolgsparameter für erfolgreiche, grundwasserschonende Landwirtschaft in der landwirtschaftlichen Praxis zu etablieren. Durch die Besichtigungen der Versuchsflächen und Sickerwasseranlagen mit anschlie-

Die Auswertung der langjährigen Versuchsergebnisse zeigt, dass auf den beiden auswaschungsgefährdeten Standorten ein deutlicher Zusammenhang zwischen den Reststickstoffgehalten im Herbst im Boden und der Nitratkonzentration im Sickerwasser besteht und dass hier hohe N_{\min} -Werte auch zu hohen Nitratkonzentrationen im Sickerwasser führen.

ßender Diskussion der Versuchsergebnisse wird der direkte Einfluss der Bewirtschaftung, insbesondere der Stickstoffdüngung, auf die Nitratauswaschung deutlich aufgezeigt.

2.1. Grundwasserschutzorientierte Gestaltung der Fruchtfolge und grundwasserschutzorientierte N-Düngung – Versuchsstandort Hamerstorf

- Welchen Einfluss haben die N-Düngung und die Fruchtfolgegestaltung auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser?
- Wie kann die Sickerwasserqualität durch eine grundwasserschutzorientierte Gestaltung der Fruchtfolge und eine Anpassung der N-Düngung verbessert werden?
- Wie wirken sich die Höhe der N-Düngung und die Fruchtfolgegestaltung auf die N-Dynamik im Boden, Erträge und Qualitätsparameter aus?

2.1.1. Versuchsaufbau und Durchführung

Dieser Versuch wurde 2014 auf der Versuchsfläche der Versuchsstation Hamerstorf im Landkreis Uelzen angelegt. Abbildung 4 zeigt die Lage des Versuchsstandortes.

In Hamerstorf werden sowohl die Auswirkungen der Fruchtfolgegestaltung, als auch der Einfluss der Höhe und Form der N-Düngung untersucht. In zusätzlichen Varianten, ergänzend zu der festen Mineral-N-Düngestaffel, werden die standortspezifischen N-Mineraldüngeräquivalente bei organischer Düngung untersucht und begleitende Daten zu aktuellen Agrarumweltmaßnahmen erhoben.

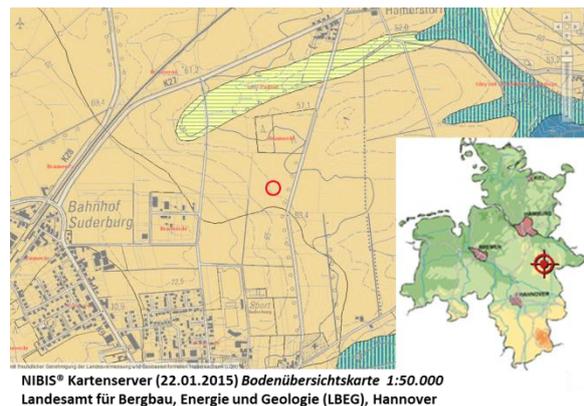


Abbildung 4: Lage des Versuchsstandortes Hamerstorf

Der Versuch wurde als zweifaktorielle Spaltenanlage angelegt (Faktor 1: Fruchtfolge, Faktor 2: Düngung). Tabelle 2 zeigt die konventionelle und die grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge im Vergleich.

Tabelle 2: Fruchtfolge Hamerstorf, Versuch 643

Faktor 1: Fruchtfolge	Jahr			
	2014	2015	2016	2017
Konventionelle Fruchtfolge	Kartoffel	Winterroggen	Silomais	Braugerste
Grundwasserschutzorientierte Bioenergiefruchtfolge	Kartoffel	Winterroggen (GPS) reduzierte Aussaatstärke und Untersaat	Silomais Grasuntersaat	Braugerste Anschließende Zwischenfrucht

Bei der Planung der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge wurden die Standortbedingungen des Beregnungsstandortes Hamerstorf (Tabelle 3), der als leichter Standort mit geringer Wasserhaltekapazität eingestuft ist, berücksichtigt.

Tabelle 3: Beregnung; Versuchsstandort Hamerstorf; 2015

Datum	Beregnungsmenge
23.05.2015	Jeweils 30 mm
03.06.2015	
17.06.2015	
03.07.2015	

So kann beispielsweise bei der Aussaat von Winterroggen nach der Kartoffelernte und gleichzeitiger Aussaat einer Untersaat die Herbstfeuchte bestmöglich genutzt und ein entsprechender Untersaatenbestand vor dem Winter etabliert werden.

Durch diese Maßnahmen wird die grundwasserschutzorientierte Gestaltung der Fruchtfolge vor allem durch eine möglichst vollständige Begrünung der Fläche umgesetzt. Nach der Ernte im Boden verbliebener Reststickstoff und nach der Ernte mineralisierter Stickstoff (beispielsweise nach der Kartoffelernte) können bei vollständiger Begrünung der Fläche weitgehend konserviert werden. Durch die Schnittnutzung der Untersaat soll darüber hinaus der N-Entzug in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge im Vergleich zur konventionellen Fruchtfolge erhöht werden.

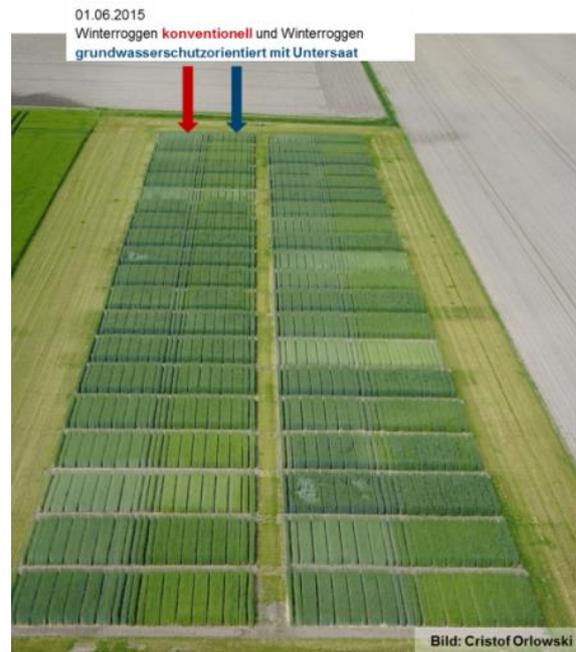


Abbildung 5: Versuchsfläche; Versuchsstandort Hamerstorf, 01.06.2015

Neben dem Einfluss der Fruchtfolgegestaltung wird auch der Einfluss der N-Düngung auf Sickerwasserqualität, N-Dynamik im Boden, Erträge und Qualitätsparameter untersucht. Tabelle 4 zeigt die N-Düngung zu Winterroggen in den N-Düngungsvarianten der beiden Fruchtfolgen.

Tabelle 4: Übersicht N-Düngung zu Winterroggen; Versuchsstandort Hamerstorf; 2015

Variante		N- Düngung [kg N/ha]	
Nr.	Bezeichnung	Vegetationsbeginn 09.03.2015	Zu Reihenschluss 08.04.2015
1	0 kg N/ha	-	-
2	50 kg N/ha	50	
3	100 kg N/ha	100	
4	150 kg N/ha	100	50
5	200 kg N/ha	100	100
6	250 kg N/ha	150	100
7	140 kg N/ha -N ENTEC	140	
8	SW – 20%	80	40
9	140 kg N/ha, 100 kg gesamt N/ha aus Gärrest + 40 kg Mineral-N	102 kg N/ha (aus Gärrest)	40 kg N/ha (mineralisch)
10	100 kg gesamt N/ha aus Gärrest	102 kg N/ha (aus Gärrest)	

Zusätzlich zur festen N-Düngestaffel werden die Auswirkungen eines stabilisierten N-Düngers (ENTEC) überprüft. Um standortspezifische Mineraldüngeräquivalente zu berechnen, und deren langfristige Entwicklung, aber auch um die Auswirkungen organischer Düngung auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser, die N-Dynamik im Boden, Erträge und

Qualitätsparameter zu erfassen, wurden zusätzlich zur N-Düngestaffel eine Variante mit ausschließlicher Gärrestdüngung und eine Variante mit Gärrestdüngung in Kombination mit einer ergänzenden Mineraldüngergabe angelegt. Tabelle 5 gibt eine Übersicht über die zusätzliche N-Düngung zur Untersaat nach der Winterroggenernte in den einzelnen Varianten der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge.

Tabelle 5: N-Düngung zur Untersaat nach der Winterroggenernte in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge; Versuchsstandort Hamerstorf; 2015

Variante		N- Düngung	
Nr.	Bezeichnung	Datum	Kg N/ha
1	0 kg N/ha		-
2	50 kg N/ha	04.08.2015	60 kg N/ha (mineralisch)
3	100 kg N/ha		
4	150 kg N/ha		
5	200 kg N/ha		
6	250 kg N/ha		
7	140 kg N/ha -N ENTEC		
8	SW – 20%		
9	140 kg N/ha, 100 kg gesamt N/ha aus Gärrest + 40 kg Mineral-N		
		29.06.2015	30 kg N/ha (mineralisch)
10	100 kg gesamt N/ha aus Gärrest	25.06.2015	40 kg N/ha (Gärrest)
		29.06.2015	30 kg N/ha (mineralisch)

2.1.2. Ergebnisse

N_{min} -Werte

Grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge

Abbildung 6 zeigt die Ergebnisse der monatlichen N_{min} -Probenahme von Januar bis August 2015 in der mit 150 kg N/ha gedüngten Variante (\approx N-Sollwertdüngung), in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge.

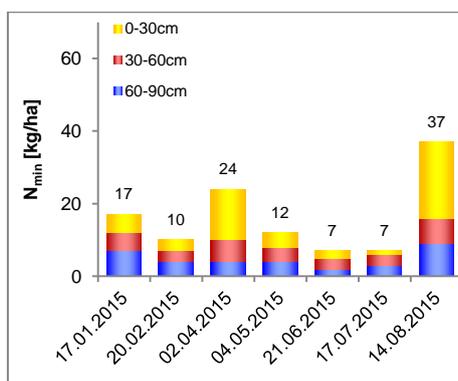


Abbildung 6: N_{min} -Werte im Jahresverlauf, bis zur Ernte, bei einer N-Düngung von 150 kg N/ha (grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge); Versuchsstandort Hamerstorf

Im Verlauf der monatlichen N_{min} -Probenahme variierten die N_{min} -Werte zwischen 7 kg N_{min} /ha und 37 kg N_{min} /ha und lagen somit durchgängig auf einem relativ niedrigen Niveau. Direkt nach der GPS-Ernte (21.06.2015) und bei der darauf folgenden N_{min} -Probenahme am 17.07.2015 wurden die niedrigsten N_{min} -Werte ermittelt. Infolge der N-Düngung zur Grasuntersaat (Tabelle 5) am 04.08.2015 konnte bei der N_{min} -Probenahme am 14.08.2015 ein Anstieg des mineralischen Stickstoffs vor allem in der obersten Bodenschicht (0-30 cm) beobachtet werden.

Abbildung 7 zeigt die Frühjahrs- N_{min} -Werte in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge am 20.02.2015. Die Frühjahrs- N_{min} -Werte lagen, unabhängig von der N-Düngung im Vorjahr, einheitlich auf einem relativ niedrigen Niveau zwischen 9 und 17 kg N_{min} /ha. Dies bestätigt auch die langjährigen Ergebnissen am Versuchsstandort Thülsfelde; einem weiteren leicht-

ten, auswaschungsgefährdeten Versuchsstandort mit ergänzenden Sickerwasseruntersuchungen.

Die Ernte- N_{min} -Werte in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge sind in Abbildung 8 dargestellt. Die Ernte- N_{min} -Probenahme erfolgte nach der GPS-Ernte am 21.06.2015.

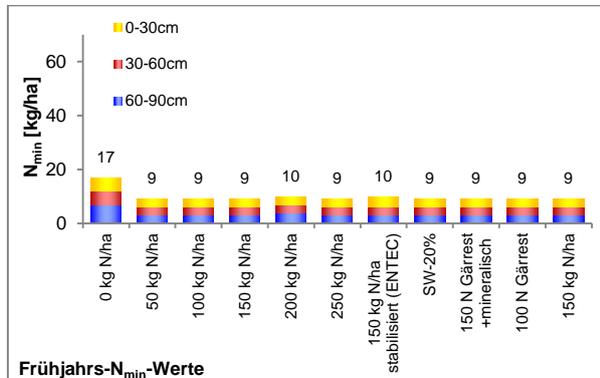


Abbildung 7: Frühjahrs- N_{min} -Werte; grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge; 20.02.2015; Versuchsstandort Hamerstorf

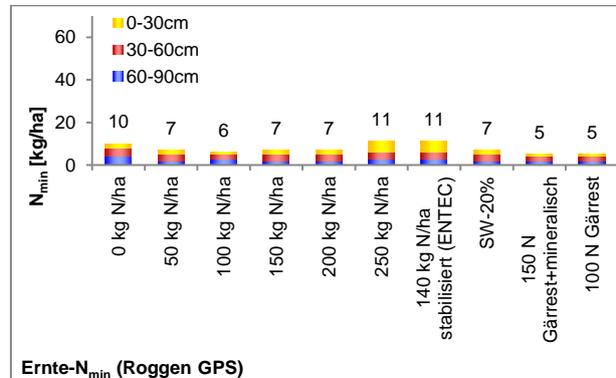


Abbildung 8: Ernte- N_{min} -Werte; grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge; 21.06.2015; Versuchsstandort Hamerstorf

Obwohl das unterschiedliche N-Düngungsniveau in den einzelnen Varianten am Gras- und Roggenaufwuchs optisch erkennbar war (Abbildung 5), lagen die N_{min} -Werte nach der Roggen-GPS-Ernte ebenfalls auf einem einheitlichen, niedrigen Niveau zwischen 5 kg N_{min} /ha und 11 kg N_{min} /ha.

Konventionelle Fruchtfolge

Abbildung 9 zeigt die N_{min} -Werte im Jahresverlauf in der mit 150 kg N/ha gedüngten Variante in der konventionellen Fruchtfolge.

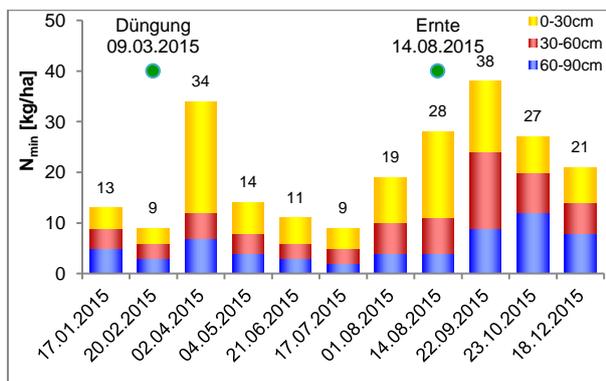


Abbildung 9: N_{min} -Werte unter Winterroggen und nach der Winterroggenernte im Jahresverlauf bei einer N-Düngung von 150 kg N/ha (konventionelle Fruchtfolge); Versuchsstandort Hamerstorf

Bei der monatlichen N_{min} -Probenahme von Januar bis Dezember lagen die N_{min} -Werte zwischen 9 kg N_{min} /ha und 38 kg N_{min} /ha. Bei Winterroggen ohne Untersaat konnte im Frühjahr ein deutlicherer Anstieg des mineralischen Stickstoffs im Boden beobachtet werden als in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge mit Untersaat.

Infolge der N-Düngung am 09.03.2015 konnte bei der drauffolgenden N_{min} -Probenahme am 02.04.2015 ein Anstieg des mineralisierten Stickstoffs in der obersten Bodenschicht (0-30 cm) festgestellt werden, ebenso wie nach der Winterroggenernte am 14.08.2015 aufgrund der nach der Winterroggenernte durchgeführten Bodenbearbeitung.

Abbildung 10 zeigt die Frühjahrs- N_{min} -Werte in der konventionellen Fruchtfolge. Wie auch in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge lagen die Frühjahrs- N_{min} -Werte unabhängig

von der N-Düngung im Vorjahr einheitlich auf eine relativ niedrigen Niveau zwischen 9 kg N_{\min} /ha und 13 kg N_{\min} /ha und bestätigen ebenfalls die langjährigen Ergebnisse am Versuchsstandort Thülsfelde

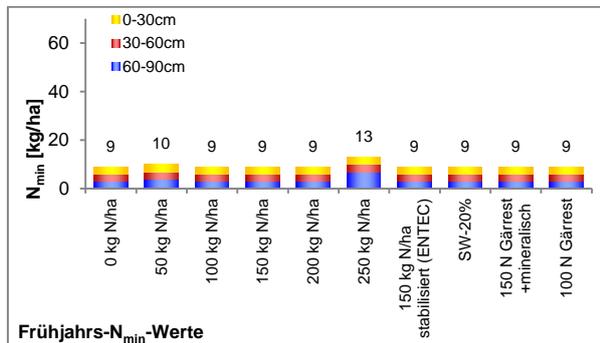


Abbildung 10: Frühjahrs- N_{\min} -Werte; konventionelle Fruchtfolge; 20.02.2015; Versuchsstandort Hameerstorf

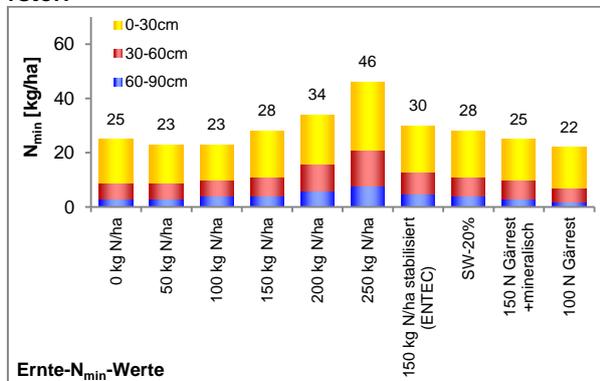


Abbildung 11: Ernte- N_{\min} -Werte; konventionelle Fruchtfolge; 14.08.2015; Versuchsstandort Hameerstorf

Im Vergleich zu den Varianten mit mineralischer N-Düngung konnten in den Varianten mit organischer oder organisch-mineralischer N-Düngung keine erhöhten Ernte- N_{\min} -Werte festgestellt werden. Der höchste Ernte- N_{\min} -Wert (46 kg N_{\min} /ha) wurde in der mit 250 kg N/ha überhöht gedüngten Variante festgestellt. In der mit 100 kg N/ha gedüngten Variante lag der Ernte- N_{\min} -Wert bei 23 kg N_{\min} /ha. Durch eine Reduzierung der N-Düngung unter 100 kg N/ha konnten die Ernte- N_{\min} -Werte nicht weiter gesenkt werden.

Die Herbst- N_{\min} -Werte in der konventionellen Fruchtfolge sind in Abbildung 12 dargestellt.

Zu Beginn der Sickerwasserperiode am 22.09.2015 lagen die N_{\min} -Werte in der konventionellen Fruchtfolge zwischen 33 kg N_{\min} /ha in der mit 50 kg N/ha gedüngten Variante und 65 kg N_{\min} /ha. Der höchste N_{\min} -Wert trat in der mit 150 kg N/ha gedüngten Variante mit stabilisierter N-Düngung (ENTEC) auf.

Die Ergebnisse dort zeigen ebenfalls, dass sich auch langfristig überhöhte N-Düngung, infolge der Nitratauswaschung im Winter nicht unbedingt auf die Frühjahrs- N_{\min} -Werte auswirkt. Abbildung 11 zeigt die Ergebnisse der N_{\min} -Probenahme direkt nach der Winterroggenernte in der konventionellen Fruchtfolge. Ab einer Steigerung der N-Düngung zu Winterroggen über 100 kg N/ha hinaus stiegen die Ernte- N_{\min} -Werte zwar an, lagen jedoch insgesamt auf einem relativ niedrigen Niveau. Dies bestätigt die Beobachtungen vorangegangener Versuchsjahre an anderen Versuchsstandorten, die zeigen, dass bei Winterroggen im Vergleich zu anderen Kulturen die Höhe der N-Düngung nur einen geringen Einfluss auf die Höhe der Ernte- N_{\min} -Werte hat.

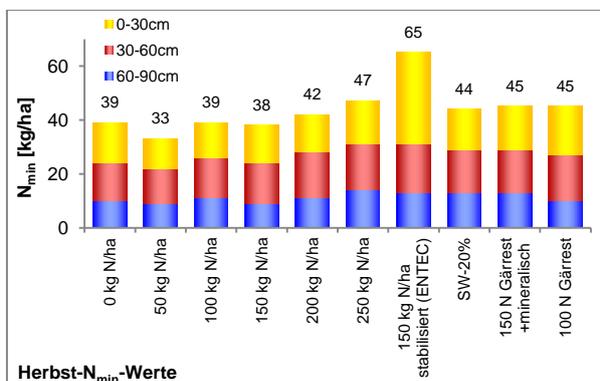


Abbildung 12: Herbst- N_{\min} -Werte; konventionelle Fruchtfolge; 22.09.2015; Versuchsstandort Hameerstorf

In den Varianten der festen N-Düngestaffel lagen die Herbst- N_{\min} -Werte zwischen 33 kg N_{\min} /ha (in der mit 50 kg N/ha gedüngten Variante) und 47 kg N_{\min} /ha (in der Variante mit der höchsten N-Düngung). Möglicherweise kam es in der Variante mit stabilisiertem N-Dünger nach der Ernte zu einer erhöhten N-Mineralisation im Boden. Dass der Winterroggen in der Variante mit stabilisiertem N-Dünger weniger Stickstoff aufnehmen konnte, ist unwahrscheinlich, da der N-Entzug bei stabilisierter N-Düngung mit dem N-Entzug, in der ebenfalls mit 150 kg N/ha, jedoch nicht mit stabilisiertem N-Dünger gedüngten Variante, vergleichbar war (Abbildung 20).

Bei den Herbst- N_{\min} -Werten konnten, wie auch bei den Ernte- N_{\min} -Werten, zwischen den organisch und organisch-mineralisch gedüngten Varianten keine Unterschiede zu den N_{\min} -Werten der Varianten mit entsprechender mineralischer N-Düngung festgestellt werden, die nicht im Fehlerbereich der N_{\min} -Methode lagen.

Nach jeweils weiteren 60 mm Niederschlag wurden nach Beginn der Sickerwasserperiode am Versuchsstandort Hamerstorf weitere N_{\min} -Proben gezogen um die Verlagerung des mineralischen Stickstoffs im Verlauf der Sickerwasserperiode zu zeigen. Abbildung 13 zeigt die Ergebnisse der N_{\min} -Probenahme am 23.10.2015 nach 60 mm Niederschlag. Die N_{\min} -Werte nach insgesamt 120 mm Niederschlag am 18.12.2015 sind in Abbildung 14 dargestellt.

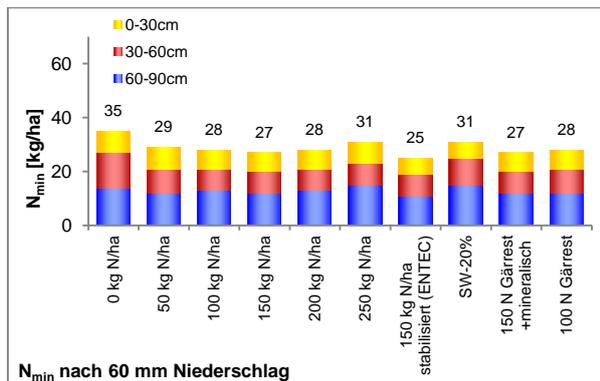


Abbildung 13: N_{\min} -Werte nach weiteren 60 mm Niederschlag nach Beginn der Sickerwasserperiode; konventionelle Fruchtfolge; 23.10.2015; Versuchsstandort Hamerstorf

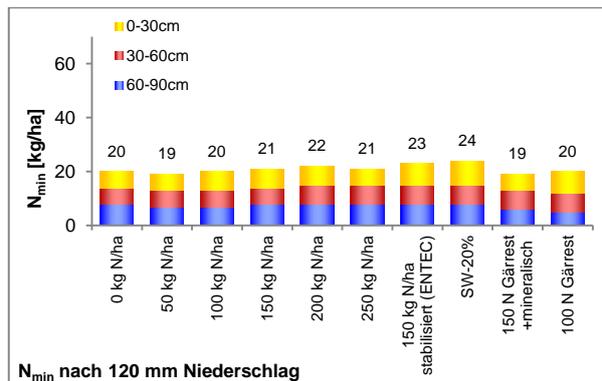


Abbildung 14: N_{\min} -Werte nach weiteren 120 mm Niederschlag nach Beginn der Sickerwasserperiode; konventionelle Fruchtfolge; 18.12.2015; Versuchsstandort Hamerstorf

Im Vergleich zu den N_{\min} -Werten zu Beginn der Sickerwasserperiode am 22.09.2015 konnte nach weiteren 60 mm Niederschlag in der festen N-Düngestaffel eine Reduzierung der N_{\min} -Werte zwischen 4 kg N_{\min} /ha (in den Varianten ohne N-Düngung und mit einer N-Düngung von 50 kg N/ha) und 16 kg N_{\min} /ha in der höchsten N-Düngungsstufe (250 kg N/ha) festgestellt werden. Der Anteil mineralischen Stickstoffs in der untersten beprobten Schicht (60-90 cm) war im Vergleich zur Herbst- N_{\min} -Probenahme gestiegen. Nach weiteren 60 mm Niederschlag sanken die N_{\min} -Werte tendenziell weiter. Besonders die sinkenden Gehalte mineralisierten Stickstoffs in der Schicht zwischen 60 und 90 cm zeigen, dass in diesem Zeitraum Stickstoff ausgewaschen wurde.

Die Ergebnisse der entsprechenden Sickerwasseruntersuchungen durch das LBEG werden in einem gesonderten Bericht veröffentlicht.

Erträge

Grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge

Abbildung 15 zeigt die Roggen-GPS-Erträge in den einzelnen N-Düngungsvarianten. Die Erträge der Untersaat am 31.07.2015 und am 17.09.2015 sind in Abbildung 16 dargestellt.

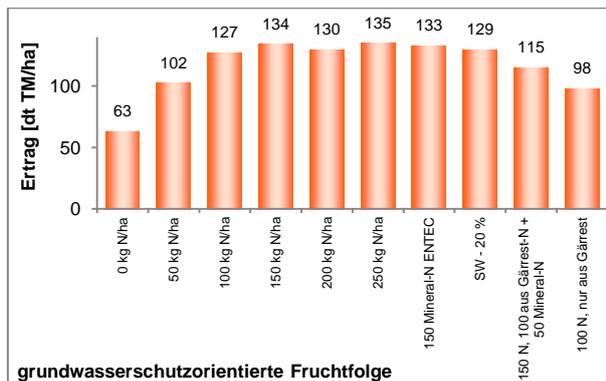


Abbildung 15: Ertrag Roggen-GPS [dt TM/ha]; Versuchsstandort Hamerstorf; 19.06.2015

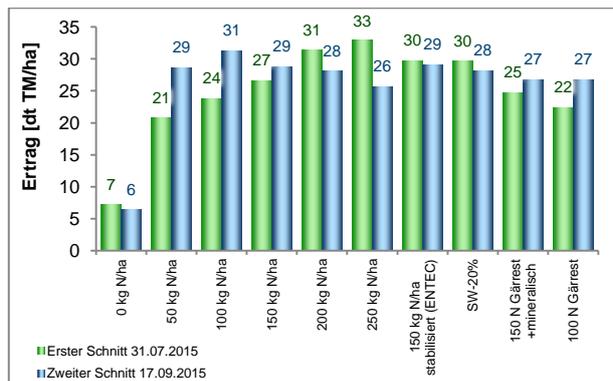
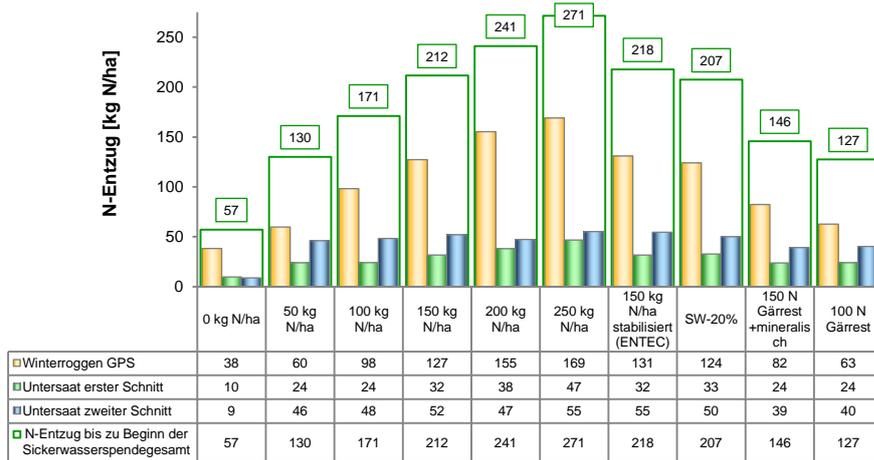


Abbildung 16: Ertrag Untersaat [dt TM/ha]; erster Schnitt; 31.07.2015; zweiter Schnitt; 17.09.2015; grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge; Versuchsstandort Hamerstorf

Der GPS-Ertrag in der festen N-Düngestaffel stieg mit zunehmender N-Düngung bis zu einer N-Düngergabe von 150 kg N/ha an. In der mit 150 kg N/ha gedüngten Variante wurden 134 dt TM/ha geerntet. Bei einer weiteren Erhöhung der N-Düngung konnten keine statistisch absicherbaren Ertragsunterschiede festgestellt werden. Der Ertrag in der Variante ohne N-Düngung lag mit 63 dt TM/ha über 50 % niedriger.

Die Grasuntersaat wurde 2015 zweimal geerntet. Der erste Schnitt erfolgte am 31.07.2015; der zweite Schnitt am 17.09.2015. In den Varianten der festen N-Düngestaffel mit einer N-Düngung von 50 bis 150 kg N/ha wurde im zweiten Schnitt ein höherer Ertrag erzielt als im ersten Schnitt. In den übrigen Varianten der festen N-Düngestaffel wurde beim ersten Schnitt ein höherer Ertrag geerntet. Zwischen den organisch gedüngten Varianten und den Varianten mit entsprechender mineralischer N-Düngung konnten kaum Ertragsunterschiede festgestellt werden. Die jeweiligen N-Entzüge in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge bis zum Beginn der Sickerwasserperiode sind in Abbildung 17 dargestellt.



Bei einer Reduzierung der N-Düngung sanken auch die N-Entzüge.

Abbildung 17: N-Entzug in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge bis zu Beginn der Sickerwasserperiode; Versuchsstandort Hamerstorf; 2015

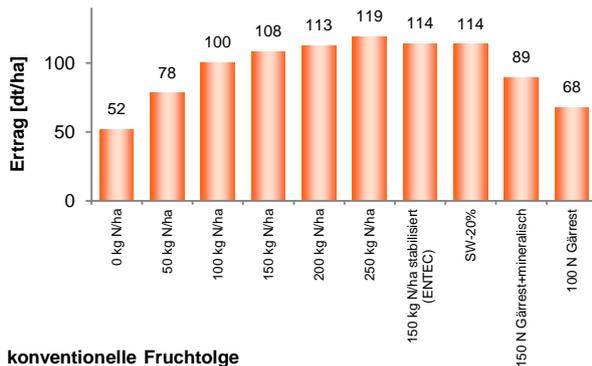
Die Ergebnisse 2015 am Versuchsstandort Hamerstorf bestätigen die Ergebnisse vorangegangener Versuche zur Getreidedüngung, die zeigen, dass im Getreideanbau infolge reduzierter N-Düngung auch die N-Aufnahme zurückgeht. In Versuchen zur grundwasserschutzorientierten Maisdüngung kann dagegen in der Regel nur ein vergleichsweise geringer Rückgang der N-Entzüge infolge reduzierter N-Düngung festgestellt werden.

Im Vergleich zu den entsprechend mineralisch gedüngten Varianten waren die N-Entzüge in den Varianten mit organischer Düngung etwas geringer. Es bleibt abzuwarten, wie sich die N-Dynamik in den Varianten mit organischer Düngung im Vergleich zu den Varianten mit mineralischer Düngung am Versuchsstandort Hamerstorf langfristig entwickelt.

Konventionelle Fruchtfolge

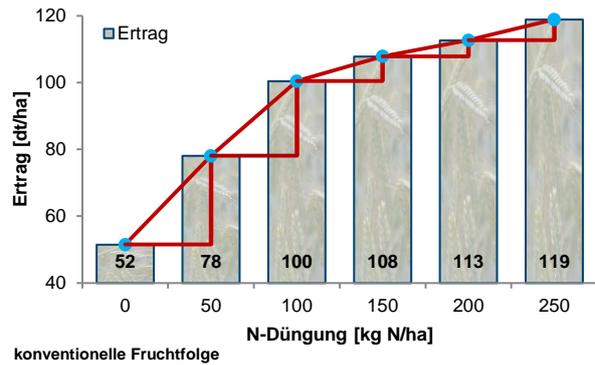
Die Winterroggenerträge in der konventionellen Fruchtfolge sind in Abbildung 18 dargestellt. Mit steigender N-Düngung stieg 2015 am Versuchsstandort Hamerstorf auch der Winterroggenertrag. Der Ertragszuwachs pro zusätzlich gedüngtem kg N/ha nahm erwartungsgemäß mit steigender N-Düngung ab.

Abbildung 19 veranschaulicht in diesem Zusammenhang das Prinzip des abnehmenden Ertragszuwachses am Beispiel des Winterroggenertrages in den Varianten der mineralischen N-Düngestaffel 2015 am Versuchsstandort Hamerstorf.



konventionelle Fruchtfolge

Abbildung 18: Winterroggen-Ertrag [dt/ha]; konventionelle Fruchtfolge; Versuchsstandort Hamerstorf



konventionelle Fruchtfolge

Abbildung 19: Abnehmender Ertragszuwachs bei Winterroggen mit steigender N-Düngung in der festen N-Düngestaffel

Abbildung 20 zeigt die N-Entzüge des Winterroggens in der konventionellen Fruchtfolge in den einzelnen N-Düngungsvarianten.

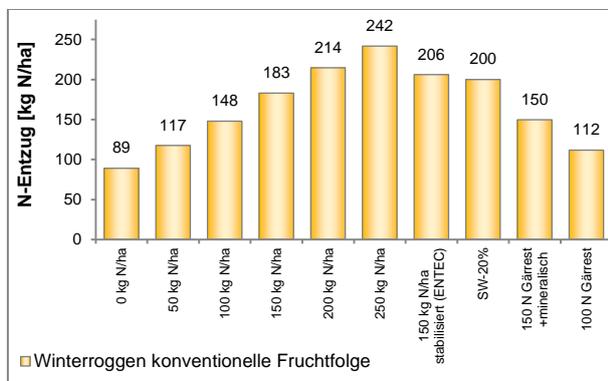


Abbildung 20: N-Entzug in der konventionellen Fruchtfolge; Versuchsstandort Hamerstorf; 2015

In den Varianten der N-Düngestaffel stiegen mit steigender N-Düngung auch die N-Entzüge. In der Variante mit überhöhter N-Düngung (250 kg N/ha) war der N-Entzug, mit 242 kg N/ha jedoch geringer als die N-Zufuhr.

Einfluss von Fruchtfolge und Stickstoffdüngung auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser, N-Dynamik im Boden, Erträge und Qualitätsparameter – Hamerstorf

- Die N_{\min} -Werte am Versuchsstandort Hamerstorf lagen insgesamt im Vergleich zu den N_{\min} -Werten auf langjährig organisch gedüngten Versuchsstandorten auf einem relativ niedrigen Niveau.
- Die N-Düngung des Vorjahres hatte keinen Einfluss auf die Frühjahrs- N_{\min} -Werte.
- Bei Winterroggen hatte die Höhe der N-Düngung nur einen geringen Einfluss auf die Höhe der Ernte- N_{\min} -Werte und der Herbst- N_{\min} -Werte. Dies bestätigt die Ergebnisse früherer Versuche auf leichten, auswaschungsgefährdeten Standorten. Eine über dem N-Bedarf liegende N-Düngung muss jedoch unbedingt vermieden werden um einen Anstieg der auswaschungsgefährdeten Reststickstoffgehalte im Herbst im Boden zu vermeiden.
- Die Untersaat im Winterroggen reduzierte sowohl die Schwankungsbreite der N_{\min} -Werte im Jahresverlauf als auch den Einfluss der Höhe der N-Düngung auf die N_{\min} -Werte.
- Bei der grundwasserschutzorientierten Gestaltung der Fruchtfolge soll vor allem eine ganzjährige Begrünung der Fläche sichergestellt werden.
 - Auf dem Versuchsstandort Hamerstorf ist beim Zwischenfruchtanbau häufig ein geringer Auflauf der Zwischenfrucht infolge fehlender Niederschläge im Herbst problematisch. Deshalb soll mit Hilfe einer Untersaat die Bodenfeuchte möglichst optimal genutzt werden. Daher wurden 2015 in der konventionellen und der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge Winterroggen und Roggen-GPS mit Untersaat verglichen
 - Durch die Schnittnutzung der Grasuntersaat können auch die N-Entzüge erhöht werden. 2015 konnten bis zum Beginn der Sickerwasserperiode bei GPS-Roggen mit Grasuntersaat die N-Entzüge im Vergleich zu Winterroggen erhöht werden. Lediglich in der Variante ohne N-Düngung und in der Variante mit organisch-mineralischer N-Düngung waren die N-Entzüge durch Winterroggen ohne Untersaat höher.

2.2. Grundwasserschutzorientierte Gestaltung der Fruchtfolge und grundwasserschutzorientierte N-Düngung - Versuchsstandort Thülsfelde

- Welchen Einfluss hat die Höhe der N-Düngung auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser?
- Wie wirken sich reduzierte und überhöhte N-Düngung auf Sickerwasserqualität, N-Dynamik im Boden, Erträge und Qualitätsparameter aus?

2.2.1. Versuchsaufbau und Durchführung

Abbildung 21 zeigt die Lage des Versuchsstandortes Thülsfelde.



NIBIS® Kartenserver (22.01.2015) Bodenübersichtskarte 1:50.000
Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Hannover

Abbildung 21: Lage des Versuchsstandorte Thülsfelde

Die Versuchsfläche am Standort Thülsfelde ist in drei Teilflächen (a, b und c) mit unterschiedlichen Fruchtfolgen untergliedert, um die jeweiligen Auswirkungen der Fruchtfolge auf die Versuchsparmeter erfassen und vergleichen zu können. Auf der ersten Teilfläche werden die Sickerwasseruntersuchungen durchgeführt. Auf der zweiten und dritten Teilfläche werden eine grundwasserschutzorientierte und eine konventionelle Fruchtfolge verglichen. In der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge werden, wenn möglich, nach der Hauptfrucht Zwischenfrüchte angebaut und der Silomaisanteil in der Rotation ist geringer als in der konventionellen Fruchtfolge. Zusätzlich wird der Silomais in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge wie auch auf der Teilfläche über der Sickerwasseranlage in Engsaat angebaut.

2008 wurde die Fruchtfolge geändert und an neue regionale Gegebenheiten angepasst.

Der Versuchsstandort liegt im Landkreis Cloppenburg in der Gemeinde Molbergen in einem Wasserschutzgebiet. Die Fläche liegt 35 m über NN und ist schwach geneigt. Der Boden ist ein Podsol aus schwach schluffigem bis schwach tonigem Sand. Das Ausgangsmaterial ist ein Flugsand über Geschiebedecksand über Geschiebelehm mit Stauwassereinfluss im Untergrund.



Abbildung 22: Bodenprofil Versuchsstandort Thülsfelde; 16.06.2016

Die Fruchtfolge seit 2009 ist in Tabelle 6 dargestellt. Die Zwischenfrüchte wurden gemäß der Greeninganforderungen angepasst. Der Versuch ist als einfaktorielle Blockanlage mit vier Wiederholungen angelegt.

Tabelle 6: Fruchtfolge Versuch 644, 2009-2016

Jahr	Fruchtart		
	644 a	644 b	644 c
	Fruchtfolge Saugkerzenanlage	Konventionelle Fruchtfolge	Grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge
2009	Winterroggen + Zwischenfrucht Winterrübsen	Silomais (Normalsaat 75 cm)	Winterroggen + Zwischenfrucht Senf
2010	Winterroggen + Zwischenfrucht Senf	Winterroggen	Sommergerste + Zwischenfrucht Senf
2011	Silomais (Engsaat, 37,5 cm)	Silomais (Normalsaat 75 cm)	Silomais (Engsaat, 37,5 cm)
2012	Sommergerste + Zwischenfrucht Winterrübsen	Silomais (Normalsaat 75 cm)	Winterroggen + Zwischenfrucht Senf
2013	Winterroggen + Zwischenfrucht Senf	Winterroggen	Sommergerste
2014	Silomais (Engsaat 37,5 cm)	Silomais (Normalsaat 75 cm)	Silomais (Engsaat 37,5 cm)
2015	Winterroggen + Zwischenfrucht Senf + Ölrettich	Winterroggen	Winterroggen + Zwischenfrucht Senf + Ölrettich
2016	<i>Wintergerste + Zwischenfrucht Senf + Ölrettich</i>	<i>Silomais (Normalsaat, 75 cm)</i>	<i>Sommergerste + Zwischenfrucht Senf + Ölrettich</i>

Tabelle 7 zeigt die N-Düngungsvarianten 2015 in den drei Fruchtfolgen und die Termine der N-Düngung. Der Winterroggen wurde am 21.10.2014 gesät.

Tabelle 7: N-Düngung Versuch 644, 2014

Teilstück	Variante	N-Düngung [kg N/ha]	Termin
644a	1	0 kg N/ha	Frühjahrs-N _{min} -Wert: 15 kg N _{min} /ha Erste N-Düngung: 04.03.2015 Zweite N-Düngung: 23.04.2015
	2	40 kg N/ha	
	3	80 kg N/ha	
	4	120 kg N/ha	
	5	160 kg N/ha	
	6	66 kg gesamt N/ha (Schweinegülle); + 62 kg N/ha	
644b	1	0 kg N/ha	Frühjahrs-N _{min} -Wert: 13 kg N _{min} /ha Erste N-Düngung: 04.03.2015 Zweite N-Düngung: 23.04.2015
	2	40 kg N/ha	
	3	80 kg N/ha	
	4	120 kg N/ha	
	5	160 kg N/ha	
	6	66 kg gesamt N/ha (Schweinegülle); + 74 kg N/ha	
	7	200 kg N/ha	
644c	1	0 kg N/ha	Frühjahrs-N _{min} -Wert: 17 kg N _{min} /ha Erste N-Düngung: 04.03.2015 Zweite N-Düngung: 23.04.2015
	2	40 kg N/ha	
	3	80 kg N/ha	
	4	120 kg N/ha	
	5	160 kg N/ha	
	6	66 kg gesamt N/ha (Schweinegülle); + 70 kg N/ha	
	7	200 kg N/ha	

Einen Tag nach der Ernte-N_{min}-Probenahme wurde die Fläche gegrubbert. Eine weitere Bodenbearbeitung (Grubbern) fand am 21.08.2015 im Zusammenhang mit der Aussaat der Zwischenfrucht auf dem Block über der Sickerwasseranlage und in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge statt. Als Zwischenfrucht wurde eine greeningfähige Senf-Ölrettich-Mischung ausgesät.

2.2.2. Ergebnisse

N_{min} -Werte

N_{min} -Werte im Jahresverlauf

In der entsprechend der N-Sollwertempfehlung gedüngten Variante wurde in monatlichem Abstand eine N_{min} -Probe gezogen, um die Entwicklung der N_{min} -Werte im Jahresverlauf zu erfassen. Abbildung 23 zeigt die Ergebnisse der monatlichen N_{min} -Untersuchung auf der **Teilfläche mit Sickerwasseranlage**.

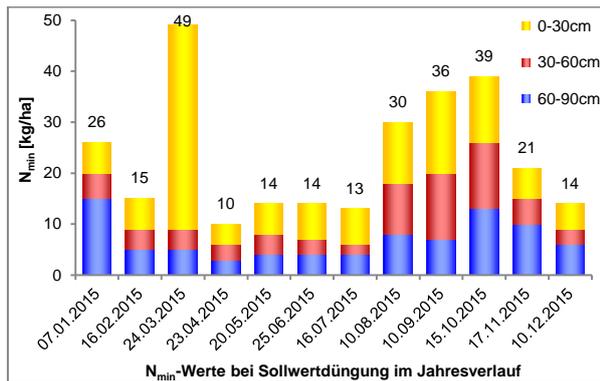


Abbildung 23: N_{min} -Werte im Jahresverlauf bei Sollwertdüngung; Block mit Sickerwasseruntersuchungen; Versuchsstandort Thülsfelde; 2015 (644a)

Insgesamt waren die N_{min} -Werte wie schon in den Vorjahren (Abbildung 26) unter Winterroggen relativ niedrig. Nach der N-Düngung am 04.03.2015 wurde bei der Probenahme am 24.03.2015 der höchste N_{min} -Wert (49 kg N_{min} /ha) im Jahresverlauf ermittelt. Von April bis Juli lagen die N_{min} -Werte einheitlich auf einem relativ niedrigen Niveau zwischen 10 und 14 kg N_{min} /ha.

Von 30 kg N_{min} /ha direkt nach der Ernte im August stiegen die N_{min} -Werte, vermutlich als Folge der Bodenbearbeitung nach der Ernte, bis zur N_{min} -Probenahme im Oktober leicht an (auf 39 kg N_{min} /ha). Dieser Effekt konnte auch in der konventionellen und in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge beobachtet werden. Die Ergebnisse der monatlichen N_{min} -Untersuchung in den beiden anderen Fruchtfolgen sind in Abbildung 24 (konventionelle Fruchtfolge) und Abbildung 25 (grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge) dargestellt.

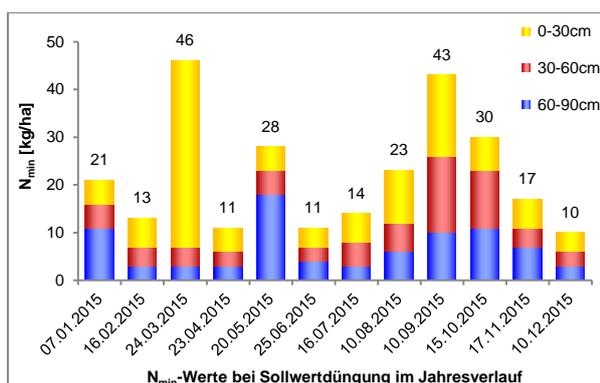


Abbildung 24: N_{min} -Werte im Jahresverlauf bei Sollwertdüngung; konventionelle Fruchtfolge; Versuchsstandort Thülsfelde; 2015 (644b)

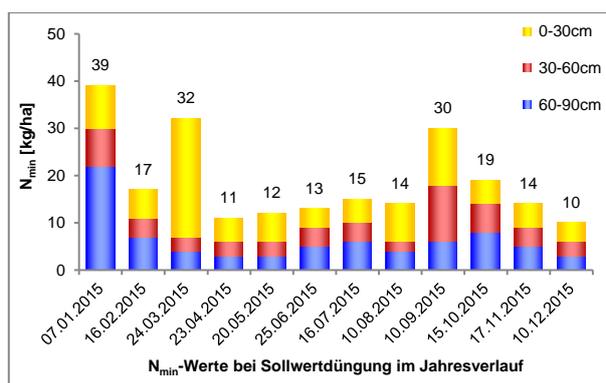


Abbildung 25: N_{min} -Werte im Jahresverlauf bei Sollwertdüngung; grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge; Versuchsstandort Thülsfelde; 2015 (644c)

In der **konventionellen Fruchtfolge** wurde der höchste N_{min} -Wert (46 kg N_{min} /ha) ebenfalls im Anschluss an die N-Düngung bei der N_{min} -Probenahme am 24.03.2015 festgestellt. Der Einfluss der N-Düngung auf den N_{min} -Wert zeigt sich auch deutlich am hohen Anteil an mineralischem Stickstoff in der obersten Bodenschicht (0-30 cm). Von der N_{min} -Probenahme Ende

Juni bis zum Probenahmetermin im September stiegen die N_{\min} -Werte in der konventionellen Fruchtfolge von 11 kg N_{\min} /ha auf 43 kg N_{\min} /ha an. Von September bis Dezember sanken die N_{\min} -Werte vermutlich infolge der Auswaschung kontinuierlich bis auf 10 kg N_{\min} /ha ab.

In der **grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge** lagen die Ergebnisse der monatlichen N_{\min} -Probenahme von April bis August einheitlich auf einem niedrigen Niveau zwischen 11 kg N_{\min} /ha und 15 kg N_{\min} /ha und entwickelten sich von September bis Dezember vergleichbar mit den N_{\min} -Werten in den beiden anderen Fruchtfolgen.

Abbildung 26 zeigt die Ergebnisse der monatlichen N_{\min} -Untersuchungen in Winterroggen von 1998-2014 im Vergleich zu den Ergebnissen 2015.

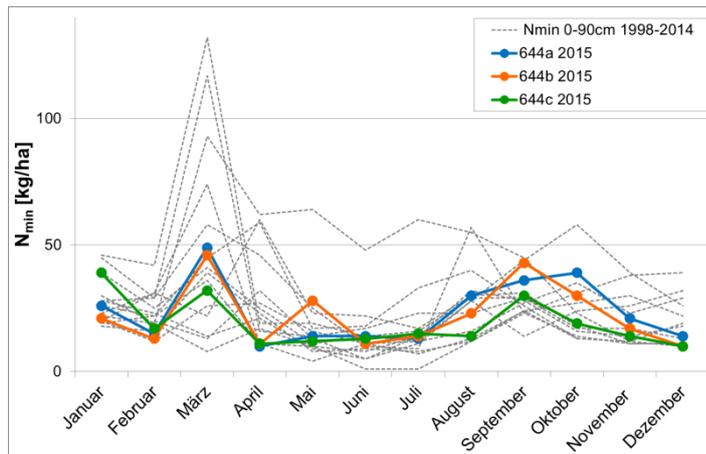


Abbildung 26: N_{\min} -Werte unter Winterroggen bei Sollwertdüngung im Jahresverlauf (1998-2014) und 2015 im Vergleich; Versuchsstandort Thülsfelde

Die langjährigen Ergebnisse zeigen, dass die N_{\min} -Werte im Winterroggenanbau auch in den Vorjahren, vor allem während der Vegetationsperiode, auf einem relativ niedrigen Niveau lagen. Zwar stiegen die N_{\min} -Werte durch die N-Düngung zu Jahresbeginn, sanken jedoch in der Regel relativ schnell unter 50 kg N_{\min} /ha.

Frühjahrs- N_{\min} -Werte

Insgesamt lagen die Frühjahrs- N_{\min} -Werte am Versuchsstandort Thülsfelde, wie schon in den Vorjahren, einheitlich auf einem relativ niedrigen Niveau zwischen 10 und 26 kg N_{\min} /ha. Abbildung 27 zeigt die Frühjahrs- N_{\min} -Werte auf der **Teilfläche mit Sickerwasseruntersuchungen**.

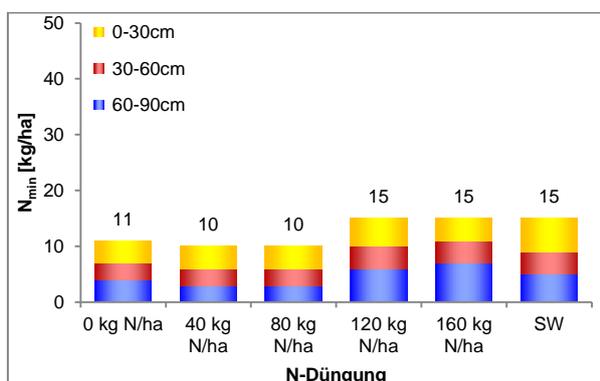


Abbildung 27: Frühjahrs- N_{\min} -Werte; Block mit Sickerwasseruntersuchungen; 16.02.2015; Versuchsstandort Thülsfelde (644a)

Auf dieser Teilfläche lagen die Unterschiede zwischen den Frühjahrs- N_{\min} -Werten in den einzelnen Varianten im Schwankungsbereich der N_{\min} -Methode. Die Frühjahrs- N_{\min} -Werte lagen unabhängig von der in den Vorjahren erfolgten N-Düngung zwischen 10 und 15 kg N_{\min} /ha.

Abbildung 28 zeigt die Frühjahrs- N_{\min} -Werte in der **konventionellen Fruchtfolge**. Auch in der konventionellen Fruchtfolge lagen die Unterschiede zwischen den N_{\min} -Werten in den N-

Düngungsvarianten im Fehlerbereich der N_{min} -Methode zwischen 11 kg N_{min} /ha in der ungedüngten Variante und 17 kg N/ha in der mit 160 kg N/ha gedüngten Variante.

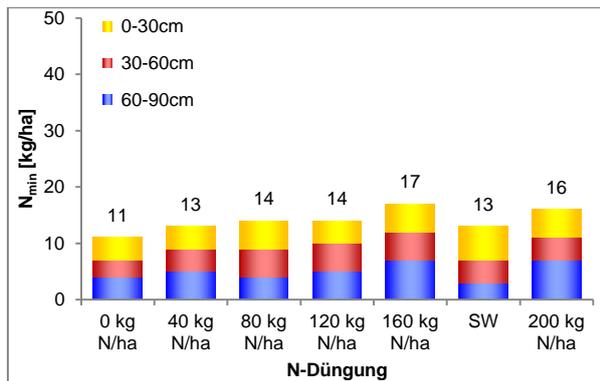


Abbildung 28: Frühjahrs- N_{min} -Werte; konventionelle Fruchtfolge; 16.02.2015; Versuchsstandort Thülsfelde (644b)

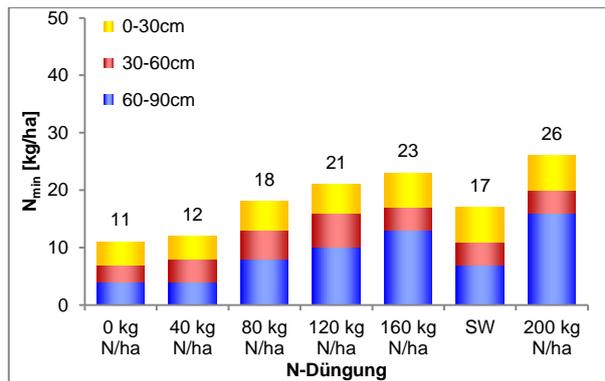


Abbildung 29: Frühjahrs- N_{min} -Werte; grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge; 16.02.2015; Versuchsstandort Thülsfelde (644c)

In der **grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge** lagen die N_{min} -Werte in den einzelnen Varianten ebenfalls auf einem ähnlichen Niveau, die Unterschiede waren jedoch etwas deutlicher als in den beiden anderen Fruchtfolgen. Hier lagen die N_{min} -Werte zwischen 11 kg N_{min} /ha in der ungedüngten Variante und 26 kg N_{min} /ha in der mit 200 kg N/ha überhöht gedüngten Variante.

Die Ergebnisse zeigen wie schon in früheren Versuchsjahren, dass reduzierte oder überhöhte N-Düngung in den Vorjahren die Frühjahrs- N_{min} -Werte auf dem leichten, auswaschungsgefährdeten Versuchsstandort Thülsfelde aufgrund der Nitratauswaschung im Winter kaum beeinflusst.

Ernte- N_{min} -Werte

Insgesamt lagen die N_{min} -Werte direkt nach der Winterroggenernte 2015, im Vergleich zu den Ergebnisse aus Maisdüngungsversuchen, unabhängig von der N-Düngung auf einem verhältnismäßig einheitlichen Niveau zwischen 14 und 40 kg N_{min} /ha. Abbildung 30 zeigt die Ergebnisse der N_{min} -Untersuchungen direkt nach der Ernte auf der **Teilfläche mit Sickerwasseruntersuchungen**.

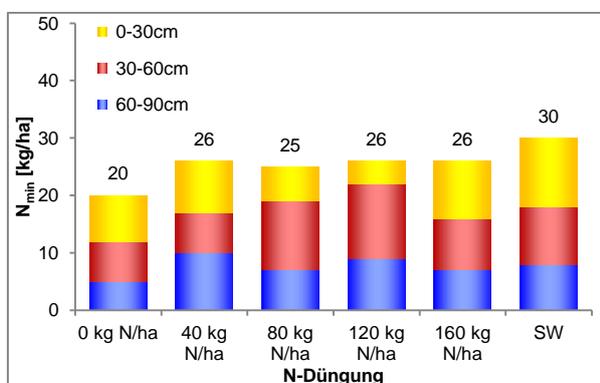


Abbildung 30: Ernte- N_{min} -Werte; Block mit Sickerwasseruntersuchungen; 10.08.2015; Versuchsstandort Thülsfelde (644a)

Auf der Teilfläche mit Sickerwasseruntersuchungen lagen die Ernte- N_{min} -Werte zwischen 20 kg N_{min} /ha in der Variante ohne N-Düngung und 30 kg N_{min} /ha in der Variante mit Sollwertdüngung.

Die Ernte- N_{\min} -Werte in der **konventionellen Fruchtfolge** sind in Abbildung 31 dargestellt. In der konventionellen Fruchtfolge konnte nur in der mit 200 kg N/ha überhöht gedüngten Variante ein Anstieg des Ernte- N_{\min} -Wertes bei steigender N-Düngung festgestellt werden. Der niedrigste N_{\min} -Wert lag bei 19 kg N_{\min} /ha und wurde sowohl in der mit 80 kg N/ha gedüngten Variante als auch in der mit 120 kg N/ha gedüngten Variante ermittelt. In der Variante ohne N-Düngung lag der Ernte- N_{\min} -Wert bei 21 kg N_{\min} /ha.

Abbildung 32 zeigt die Ernte N_{\min} -Werte in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge.

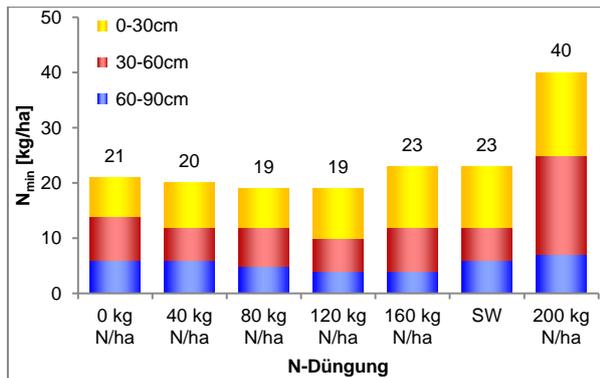


Abbildung 31: Ernte- N_{\min} -Werte; konventionelle Fruchtfolge; 10.08.2015; Versuchsstandort Thülsfelde (644b)

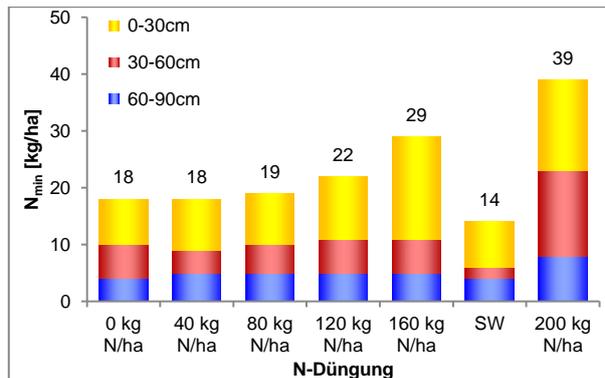


Abbildung 32: Ernte- N_{\min} -Werte; grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge; 10.08.2015; Versuchsstandort Thülsfelde (644c)

In der **grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge** konnte zwar ein leichter Anstieg der Ernte- N_{\min} -Werte mit steigender N-Düngung beobachtet werden, die N_{\min} -Werte in der mineralisch gedüngten N-Düngestaffel lagen jedoch wie auf den beiden anderen Blöcken insgesamt auf einem relativ einheitlichen Niveau zwischen 18 kg N_{\min} /ha (in der ungedüngten Variante und in der mit 40 kg N/ha gedüngten Variante) und 39 kg N_{\min} /ha in der mit 200 kg N/ha gedüngten Variante. Der geringste Ernte- N_{\min} -Wert (14 kg N_{\min} /ha) wurde in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge in der Variante mit organisch-mineralischer Sollwertdüngung festgestellt.

Herbst- N_{\min} -Werte

Die Herbst- N_{\min} -Werte nach Winterroggen lagen, wie schon die Ernte- N_{\min} -Werte, auf einem relativ einheitlichen Niveau. Die ungedüngte Zwischenfrucht in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge (644c) und auf dem Block mit Sickerwasseruntersuchungen (644a) hatte im Vergleich zu der konventionellen Fruchtfolge (644b) ohne Zwischenfrucht keinen Einfluss auf die Herbst- N_{\min} -Werte. Abbildung 33 zeigt die Herbst- N_{\min} -Werte auf der **Teilfläche mit Sickerwasseruntersuchungen**.

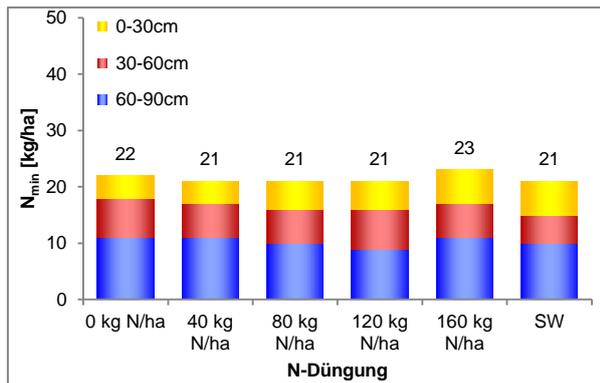


Abbildung 33: Herbst-N_{min}-Werte; Block mit Sickerwasseruntersuchungen; 17.11.2015: Versuchsstandort Thülsfelde (644a)

Die Herbst-N_{min}-Werte lagen unabhängig von der Höhe der N-Düngung in den einzelnen Varianten zwischen 21 kg N_{min}/ha und 23 kg N_{min}/ha. Auch in der konventionellen Fruchtfolge (Abbildung 34) und in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge (Abbildung 35) lagen die Unterschiede zwischen den Herbst-N_{min}-Werten in den einzelnen N-Düngungsvarianten im Fehlerbereich der N_{min}-Methode.

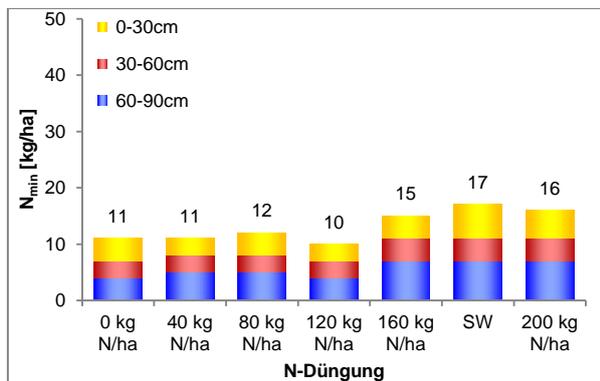


Abbildung 34: Herbst-N_{min}-Werte; konventionelle Fruchtfolge; 17.11.2015: Versuchsstandort Thülsfelde (644b)

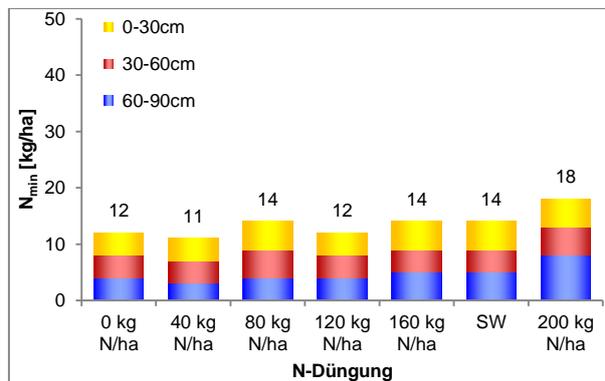


Abbildung 35: Herbst-N_{min}-Werte; grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge; 17.11.2015: Versuchsstandort Thülsfelde (644c)

In der **konventionellen Fruchtfolge** lagen die Herbst-N_{min}-Werte zwischen 10 kg N_{min}/ha in der mit 120 kg N/ha gedüngten Variante und 17 kg N_{min}/ha in der entsprechend dem N-Sollwertschema gedüngten Variante.

Auch in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge waren die Herbst-N_{min}-Werte relativ niedrig. Die N_{min}-Werte lagen auf dieser Teilfläche zwischen 11 kg N_{min}/ha in der mit 40 kg N/ha gedüngten Variante und 18 kg N_{min}/ha in der Variante mit überhöhter N-Düngung (200 kg N/ha).

Erträge

Abbildung 36 zeigt die Winterroggenerträge bei unterschiedlicher N-Düngung in den drei Fruchtfolgen im Vergleich.

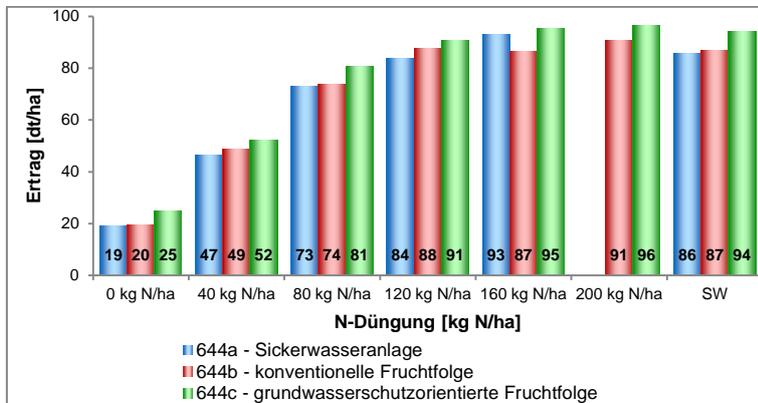


Abbildung 36: Winterroggenerträge bei unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Thülsfelde, 2015

Die Erträge sanken durch eine Reduzierung der N-Düngung deutlich ab. Ein Vergleich der Winterroggenerträge in den drei Fruchtfolgen weist darauf hin, dass sich die weitere Fruchtfolge und der Zwischenfruchtanbau in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge positiv auf den Ertrag auswirken.

Abbildung 37 zeigt die Entwicklung der relativen Erträge im Vergleich zur Variante mit Sollwertdüngung von 1998-2015. Besonders auf den ungedüngten Parzellen wurde infolge der Aushagerung auch ein langfristiger Rückgang der Winterroggenerträge festgestellt (Abbildung 37).

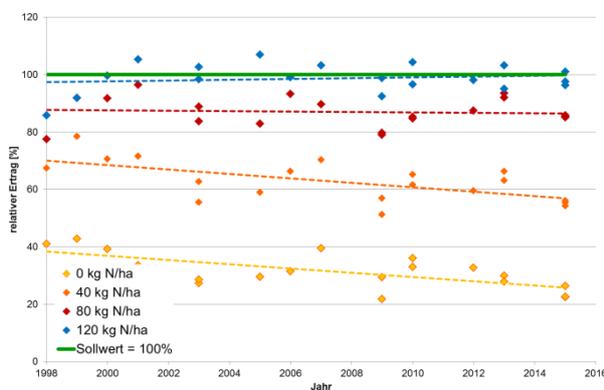


Abbildung 37: Entwicklung der relativen Erträge bei unterschiedlicher N-Düngung (1998-2015) Versuchsstandort Thülsfelde

Während ohne N-Düngung und bei einer N-Düngung mit 40 kg N/ha der relative Ertrag kontinuierlich weiter absank, blieben die Erträge bei einer N-Düngung von 80 kg N/ha auf einem gleichmäßigen Niveau unterhalb der Erträge in der Variante mit Sollwertdüngung.

N-Bilanzen

Die N-Bilanzen wurden anhand der N-Zufuhr aus der Düngung und der N-Abfuhr mit dem Erntegut errechnet. Die N-Bilanzen am Versuchsstandort Thülsfelde in den drei Fruchtfolgen sind in Abbildung 38 bis Abbildung 40 dargestellt. Abbildung 38 zeigt die N-Bilanzen der **Teilfläche mit der Sickerwasseranlage**.

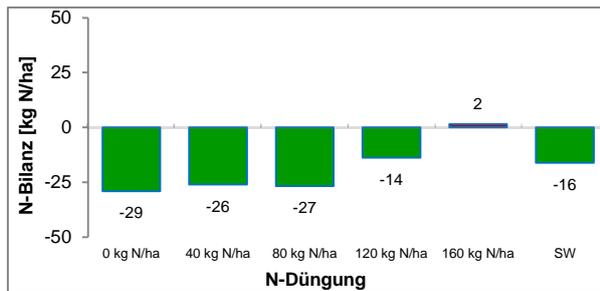


Abbildung 38: N-Bilanz (N-Zufuhr – N-Abfuhr) [kg N/ha] Fruchtfolge mit Sickerwasseranlage; Versuchsstandort Thülsfelde; 2015; (644a)

In der Fruchtfolge über der Sickerwasseranlage variierten die N-Bilanzen zwischen -29 kg N/ha in der ungedüngten Variante und 2 kg N/ha in der mit 160 kg N/ha gedüngten Variante. Durch eine N-Düngung von 40 oder 80 kg N/ha stieg die N-Bilanz infolge der höheren N-Entzüge kaum an.

Auch bei einer N-Düngung mit 120 kg N/ha war die N-Bilanz mit -14 kg N/ha negativ und lag auf dem gleichen Niveau wie die N-Bilanz der Variante mit Sollwertdüngung. Nur in der mit 160 kg N/ha gedüngten Variante wurde eine leicht positive N-Bilanz von 2 kg N/ha festgestellt.

In der **konventionellen Fruchtfolge** (Abbildung 39) lagen die N-Bilanzen auf einem ähnlichen Niveau. In dieser Fruchtfolge traten die niedrigsten N-Bilanzen (-30 kg N/ha) in der ungedüngten und in der mit 40 kg N/ha gedüngten Variante auf. Eine N-Düngung mit 80 kg N/ha erhöhte die N-Bilanz kaum. In der Variante mit Sollwertdüngung lag die N-Bilanz wie auch in der Fruchtfolge über der Sickerwasseranlage bei -16 kg N/ha. In der mit 200 kg N/ha gedüngten Variante war die N-Bilanz mit 35 kg N/ha am höchsten. Die N-Bilanzen in der **grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge** sind in Abbildung 40 dargestellt.

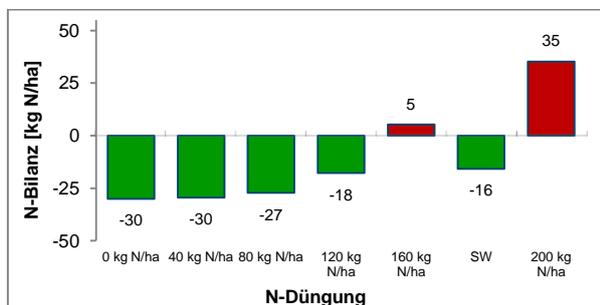


Abbildung 39: N-Bilanz (N-Zufuhr – N-Abfuhr) [kg N/ha] konventionelle Fruchtfolge; Versuchsstandort Thülsfelde; 2015; (644b)

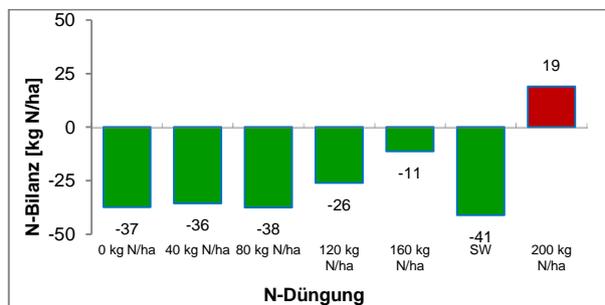


Abbildung 40: N-Bilanz (N-Zufuhr – N-Abfuhr) [kg N/ha] grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge; Versuchsstandort Thülsfelde; 2015; (644c)

Insgesamt lagen die N-Bilanzen in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge etwas niedriger als in der konventionellen Fruchtfolge. In der ungedüngten Variante lag die errechnete N-Bilanz bei -37 kg N/ha. Durch eine N-Düngung von 40 kg N/ha oder 80 kg N/ha erhöhte sich die N-Bilanz nicht.

Fruchtfolge und Höhe der N-Düngung – Versuchsstandort Thülsfelde

- Insgesamt lagen die N_{\min} -Werte unter Winterroggen im Jahresverlauf in der N-Sollwertvariante in allen drei Fruchtfolgen auf einem relativ niedrigen Niveau. Unabhängig von der Fruchtfolge und dem Probenahmetermin wurden N_{\min} -Werte zwischen 10 und 49 kg N_{\min} /ha gemessen. Dies bestätigt die langjährigen Ergebnisse am Versuchsstandort Thülsfelde, diese zeigen, dass unter Winterroggen relativ, unabhängig von der Höhe der N-Düngung, geringe N_{\min} -Werte auftreten.
- Die N-Düngung im Vorjahr hatte keinen Einfluss auf die Frühjahrs- N_{\min} -Werte. Die Ergebnisse der Sickerwasseruntersuchungen zeigen, dass nach höheren Reststickstoffgehalten im Herbst im Boden auch die Nitratkonzentration im Sickerwasser ansteigt und das Nitrat ausgewaschen wird.
- Auch die Ernte- und Herbst- N_{\min} -Werte nach Winterroggen waren in allen drei Fruchtfolgen relativ niedrig. Unabhängig von der Höhe der N-Düngung lagen die Ernte- N_{\min} -Werte zwischen 14 und 40 kg N_{\min} /ha. Zu Beginn der Sickerwasserperiode wurden Herbst- N_{\min} -Werte zwischen 10 und 23 kg N_{\min} /ha festgestellt.
- Die Erträge stiegen mit steigender N-Düngung. In der N-Sollwertvariante lagen die Erträge zwischen 86/87 dt/ha (in der Fruchtfolge über der Sickerwasseranlage und in der konventionellen Fruchtfolge) und 94 dt/ha (in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge). In allen N-Düngungsvarianten konnte in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge ein höherer Winterroggenertrag geerntet werden, als in der konventionellen Fruchtfolge.



Abbildung 41: Versuchsstandort Thülsfelde; Teilfläche mit Sickerwasseranlage und Wetterstation

2.3. Grundwasserschutz durch Zwischenfruchtanbau - Versuchsstandort Wehnen

- Welche Auswirkungen haben Art und Höhe der N-Düngung zur Zwischenfrucht und die Höhe der N-Düngung zur nachfolgenden Hauptfrucht auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser?
- Wie viel Stickstoff wird im Herbst von den Zwischenfrüchten aufgenommen und wie viel Stickstoff wird während der Sickerwasserperiode konserviert?
- Wie viel des, von der Zwischenfrucht aufgenommenen Stickstoffs, steht der nachfolgenden Hauptfrucht in den Folgejahren zur Verfügung?

Die Erwartungen an den Zwischenfruchtanbau sind vielfältig und werden stark von betriebs-spezifischen Gegebenheiten beeinflusst.

Abbildung 42 zeigt eine Auswahl möglicher Vorteile durch den Zwischenfruchtanbau. Häufig lassen sich verschiedene positive Aspekte des Zwischenfruchtanbaus erfolgreich kombinieren. Aus Sicht des Wasser-schutzes ist vor allem die Reduzierung der Nitrateinträge in das Grundwasser während der Sickerwasserperiode von Bedeutung. Aber auch der Erosionsschutz spielt eine wichtige Rolle, vor allem bei der Vermeidung von Nährstoffeinträgen in Oberflächengewässer.



Abbildung 42: Auswahl möglicher Vorteile durch Zwischenfruchtanbau

Für den Grundwasserschutz soll die Zwischenfrucht den, nach der Ernte im Boden verbliebenen Stickstoff, aufnehmen und möglichst für die Hauptfrucht im nächsten Jahr konservieren. Während unter dem Aspekt der N-Konservierung während der Sickerwasserperiode eine Düngung der Zwischenfrucht vor allem auf langjährig organisch gedüngten Standorten nicht immer notwendig ist, erfordern andere Anbauziele eine gewisse Bestandsentwicklung und somit auch eine Düngung der Zwischenfrucht. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn die Zwischenfrucht aus Gründen des Erosionsschutzes oder zur Unkrautunterdrückung angebaut wird. Um die Nitratauswaschung zu minimieren, sollte die Bemessung der N-Düngung auch bei Zwischenfrüchten jahres- und standortspezifisch erfolgen. Je später beispielsweise die Aussaat erfolgt, desto weniger Zeit bleibt der Zwischenfrucht, den gedüngten Stickstoff bis zum Ende der Vegetationsperiode aufzunehmen. Dies muss bei der Höhe der N-Düngung entsprechend berücksichtigt werden.

2.3.1. Versuchsaufbau und Durchführung

Der Versuch zum grundwasserschutzorientierten Zwischenfruchtanbau mit ergänzenden Sickerwasseruntersuchungen durch das LBEG wurde 2012 am Versuchsstandort Wehnen angelegt. Abbildung 43 zeigt die Lage des Versuchsstandortes.

Ziel des Versuchs ist es, die Stickstoffaufnahme durch die Zwischenfrucht, die Auswirkungen des Zwischenfruchtanbaus auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser und die N-Dynamik im Boden zu erfassen. Zusätzlich werden die Auswirkungen der verschiedenen Zwischenfruchtvarianten auf den N-Düngebedarf der nachfolgenden Hauptkultur Silomais anhand einer festen N-Düngestaffel genauer untersucht.

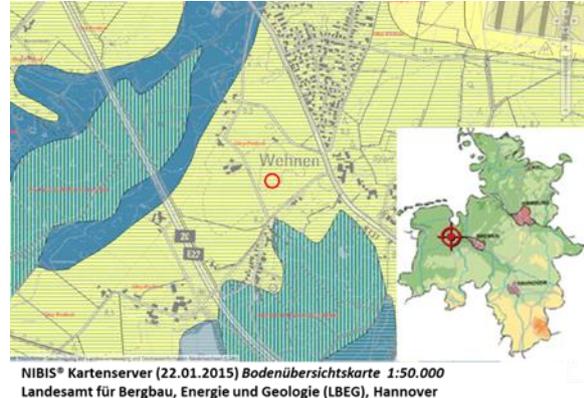


Abbildung 43. Lage des Versuchsstandortes Wehnen

Um hohe N_{\min} -Werte nach der darauffolgenden Silomaisernte zu vermeiden, ist nicht nur die Verfügbarkeit des durch die Zwischenfrucht konservierten Reststickstoffs im Boden von Bedeutung, sondern auch die langfristigen Auswirkungen der zur Zwischenfrucht erfolgten N-Düngung auf die N-Dynamik im Boden und die standörtliche N-Nachlieferung.

Um die vielfältigen Versuchsfragen beantworten zu können, werden drei Varianten des Zwischenfruchtanbaus sowie eine Vergleichsvariante ohne Zwischenfrucht nach Winterroggen mit einer N-Düngestaffel zu Silomais im Folgejahr kombiniert.



Abbildung 44: Zwischenfrucht mit unterschiedlicher Düngung und N-Düngestaffel Silomais; 11.09.2015; Versuchsstandort Wehnen

Um jedes Jahr sowohl Daten zum Zwischenfruchtanbau als auch zu den Auswirkungen auf die nachfolgende Hauptkultur erheben zu können, wird die Fruchtfolge Winterroggen mit nachfolgendem Ölrettich als Zwischenfrucht und Silomais als darauffolgende Hauptfrucht auf zwei Teilflächen (Blöcken) ein Jahr zeitversetzt angebaut (Abbildung 44).

Seit 2015 wird eine Ölrettich-Senf-Mischung als Zwischenfrucht angebaut, um den Versuch an die geltenden Greeninganforderungen anzupassen.

Der Winterroggen wird einheitlich entsprechend der N-Sollwertempfehlungen gedüngt. Dem Winterroggen folgen die vier Zwischenfrucht-Varianten. Auf dem zweiten Block wird orthogonal zu den Zwischenfruchtvarianten des Vorjahres Silomais in einer festen N-Düngestaffel mit sechs N-Düngungsvarianten in Stufen à 60 kg N/ha angebaut (Tabelle 8).

In den Varianten mit einer N-Düngung höher als 120 kg N/ha wird die N-Düngung in zwei Gaben aufgeteilt. Aus den Zwischenfruchtvarianten und den N-Düngungsstufen ergeben sich somit 24 Kombinationen aus Zwischenfrucht, Silomais und N-Düngung. 2015 wurde die Zwischenfrucht am 20.08. ausgesät.

Tabelle 8 zeigt die Varianten des Zwischenfruchtversuchs und die Fruchtfolge auf den beiden Blöcken.

Tabelle 8: Varianten des Versuchs zum grundwasserschutzorientierten Zwischenfruchtanbau 2012-2015

	Block 1		Block 2	
Jahr	2012 - Startjahr			
Frucht und Varianten	Silomais, einheitlich nach Sollwert gedüngt		Winterroggen einheitlich nach Sollwert gedüngt	Zwischenfrucht vier Varianten: <ul style="list-style-type: none"> • Keine Zwischenfrucht • Ölrettich ungedüngt • Ölrettich mineralisch gedüngt • Ölrettich organisch gedüngt
Jahr	2013			
Frucht und Varianten	Winterroggen einheitlich nach Sollwert gedüngt	Zwischenfrucht vier Varianten: <ul style="list-style-type: none"> • Keine Zwischenfrucht • Ölrettich ungedüngt • Ölrettich mineralisch gedüngt • Ölrettich organisch gedüngt 	Silomais N-Düngestaffel; sechs Varianten <ul style="list-style-type: none"> • Ohne N-Düngung • 60 kg N/ha • 120 kg N/ha • 180 kg N/ha • 240 kg N/ha • 300 kg N/ha 	
Jahr	2014			
Frucht und Varianten	Silomais N-Düngestaffel; sechs Varianten <ul style="list-style-type: none"> • Ohne N-Düngung • 60 kg N/ha • 120 kg N/ha • 180 kg N/ha • 240 kg N/ha • 300 kg N/ha 		Winterroggen einheitlich nach Sollwert gedüngt	Zwischenfrucht vier Varianten: <ul style="list-style-type: none"> • Keine Zwischenfrucht • Ölrettich ungedüngt • Ölrettich mineralisch gedüngt • Ölrettich organisch gedüngt
Jahr	2015			
Frucht und Varianten	Winterroggen einheitlich nach Sollwert gedüngt	Zwischenfrucht vier Varianten: <ul style="list-style-type: none"> • Keine Zwischenfrucht • Ölrettich/Senf ungedüngt • Ölrettich/Senf mineralisch gedüngt • Ölrettich/Senf organisch gedüngt 	Silomais N-Düngestaffel; sechs Varianten <ul style="list-style-type: none"> • Ohne N-Düngung • 60 kg N/ha • 120 kg N/ha • 180 kg N/ha • 240 kg N/ha • 300 kg N/ha 	

2.3.2. Ergebnisse

Winterroggen und Zwischenfrucht

N_{min} -Werte

Die Ergebnisse der N_{min} -Probenahmen 2015 in Block 1 sind in Abbildung 45 dargestellt.

Abbildung 46 zeigt die unterschiedlichen Zwischenfruchtvarianten am Versuchsstandort Wehnen am 11.11.2015.

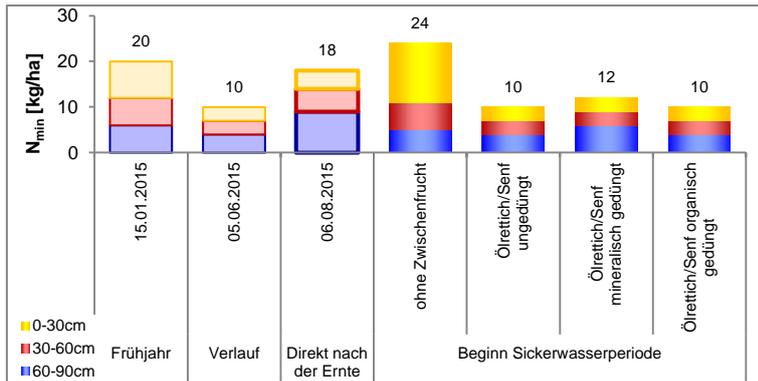


Abbildung 45: N_{min}-Werte unter Winterroggen mit Sollwertdüngung und anschließender Zwischenfrucht; Versuchsstandort Wehnen; 2015



Abbildung 46: Vergleichsvariante ohne Zwischenfrucht und Zwischenfrucht mit unterschiedlicher N-Düngung; 11.11.2015; Versuchsstandort Wehnen

Der Frühjahrs-N_{min}-Wert lag bei 20 kg N_{min}/ha, bei der N_{min}-Probenahme am 05.06.2015 wurde ein N_{min}-Wert von 10 kg N_{min}/ha ermittelt. Der Ernte N_{min}-Wert war, wie auch in den Vorjahren, mit 24 kg N_{min}/ha relativ niedrig. Durch die Zwischenfrucht konnte der N_{min}-Wert bis zum Beginn der Sickerwasserperiode auf 12 kg N_{min}/ha in der Variante mit mineralisch gedüngter Zwischenfrucht und 10 kg N_{min}/ha in den Varianten mit ungedüngter und organisch gedüngter Zwischenfrucht gesenkt werden. In der Vergleichsvariante ohne Zwischenfrucht stieg der N_{min}-Wert bis zum Beginn der Sickerwasserperiode hingegen auf 24 kg N_{min}/ha an. Wie sich dies auf die Nitratkonzentration im Verlauf der Sickerwasserperiode 2015/2016 auswirkt, wird durch das LBEG nach Abschluss der Sickerwasserperiode gesondert ausgewertet und veröffentlicht.

Erträge

Bei einer N-Düngung von 120 kg N/ha lag der Winterroggenenertrag bei 100 dt/ha mit einem Proteingehalt von 10,6 %.

N-Gehalt der Zwischenfrucht und Zwischenfruchtaufwuchs wurden am 12.11.2015 zu Vegetationsende bestimmt. Anhand der Ergebnisse wurde die N-Aufnahme der Zwischenfrucht berechnet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 47 abgebildet.

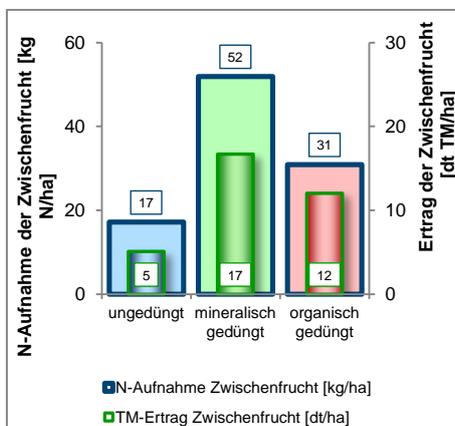


Abbildung 47: N-Aufnahme und Ertrag der Zwischenfrucht; 2015; Versuchsstandort Wehnen



Abbildung 48: Block 1 mit Winterroggen; Versuchsstandort Wehnen; 10.07.2015

Wie auch in den Vorjahren nahm die gedüngte Zwischenfrucht mehr Stickstoff auf, als die ungedüngte Zwischenfrucht. Der zur Zwischenfrucht gedüngte Stickstoff konnte jedoch nicht vollständig durch die Zwischenfrucht aufgenommen werden. Inwieweit sich die N-Aufnahme 2015 auf die Nitratauswaschung während der Sickerwasserperiode und die N-Nachlieferung an die 2016 folgende Hauptfrucht Mais auswirkt, bleibt abzuwarten.



Abbildung 49: Versuch zum grundwasserschutzorientierten Zwischenfruchtanbau; Senf-Ölrettich-Mischung; Versuchsstandort Wehnen; 28.01.2016

Silomais

N_{min} -Werte



Abbildung 50: Silomais 10.07.2015 Versuchsstandort Wehnen

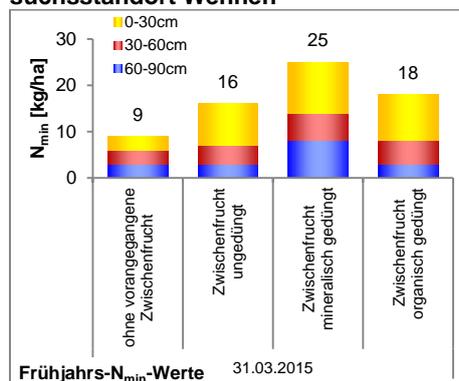


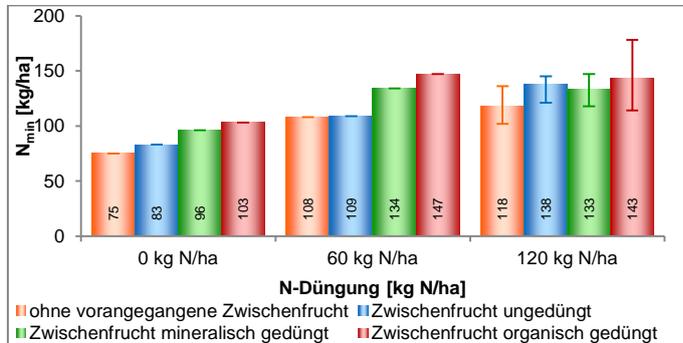
Abbildung 51: Frühjahrs- N_{min} -Werte bei unterschiedlicher vorangegangener Zwischenfrucht; 31.03.2015; Versuchsstandort Wehnen

Abbildung 51 zeigt die Ergebnisse der **Frühjahrs- N_{min} -Probenahme** bei Silomais am 31.03.2015. Die Frühjahrs- N_{min} -Probe wurde in Abhängigkeit von der Zwischenfruchtvariante 2014 in der 2013 ungedüngten Variante gezogen.

Die Frühjahrs- N_{min} -Werte variierten in Abhängigkeit der im Vorjahr angebaute Zwischenfrucht zwischen 9 kg N_{min} /ha in der Variante ohne vorangegangene Zwischenfrucht und 25 kg N_{min} /ha nach mineralisch gedüngter Zwischenfrucht. Nach ungedüngter und nach organisch gedüngter Zwischenfrucht waren die Frühjahrs- N_{min} -Werte mit 16 und 18 kg N_{min} /ha relativ ähnlich. Am 04.06.2015 wurden zusätzlich **Spät-Frühjahrs- N_{min} -Proben** gezogen. Die zweite N-Düngung in den Varianten mit einer N-Düngung über 120 kg N/ha erfolgte am 23.06.2015.

Deshalb waren zum Zeitpunkt der Spät-Frühjahrs- N_{min} -Probenahme in den Varianten der N-Düngestaffel mit einer N-Düngung von 120 kg N/ha oder höher erst 120 kg N/ha ausgebracht worden. Der Einfluss der N-Düngung und der vorangegangenen Zwischenfrucht auf die

Spät-Frühjahrs- N_{\min} -Werte ist in Abbildung 52 dargestellt. Die Fehlerindikatorbalken zeigen den Schwankungsbereich der Spät-Frühjahrs- N_{\min} -Werte in den zum Zeitpunkt der Probenahme einheitlich mit 120 kg N/ha gedüngten Varianten. Die größte Varianz konnte nach organisch gedüngter Zwischenfrucht beobachtet werden.



Die niedrigsten Spät-Frühjahrs- N_{\min} -Werte traten in den Varianten ohne N-Düngung zu Silomais auf. In dieser Variante lagen die Spät-Frühjahrs- N_{\min} -Werte zwischen 75 kg N_{\min} /ha ohne vorangegangene Zwischenfrucht und 103 kg N_{\min} /ha bei organisch gedüngter Zwischenfrucht im Vorjahr.

Abbildung 52: Spät-Frühjahrs- N_{\min} -Werte bei unterschiedlicher N-Düngung zu Silomais und unterschiedlicher vorangegangener Zwischenfrucht; 04.06.2015; Versuchsstandort Wehnen; Variante 120 kg N/ha: Indikatorbalken zeigen den Schwankungsbereich

Bei einer N-Düngung von 60 kg N/ha zu Silomais lagen die Spät-Frühjahrs- N_{\min} -Werte zwischen 108 kg N_{\min} /ha in der Variante ohne vorangegangene Zwischenfrucht und 147 kg N_{\min} /ha in der Variante mit organisch gedüngter Zwischenfrucht. In allen drei Maisdüngungsvarianten war der Spät-Frühjahrs- N_{\min} -Wert in der Variante ohne vorangegangene Zwischenfrucht am niedrigsten. Somit zeigen auch die Ergebnisse der Spät-Frühjahrs- N_{\min} -Probenahme, dass die vorangegangene Zwischenfrucht die standörtliche N-Nachlieferung beeinflusst. Die Unterschiede zwischen den Spät-Frühjahrs- N_{\min} -Werten im Vergleich zu der Variante ohne vorangegangene Zwischenfrucht entsprachen jedoch nicht exakt der N-Nachlieferung der Zwischenfrucht (Abbildung 57).

Abbildung 53 zeigt die **Ernte- N_{\min} -Werte** bei unterschiedlicher N-Düngung zu Silomais in Abhängigkeit von der vorangegangenen Zwischenfrucht. Bis zu einer N-Düngung von 180 kg N/ha lagen die Ernte- N_{\min} -Werte auf einem relativ niedrigen Niveau zwischen 18 und 32 kg N_{\min} /ha.

Bei einer weiteren Steigerung der N-Düngung über den N-Düngebedarf hinaus auf 240 kg N/ha stiegen die Ernte- N_{\min} -Werte auf 45 kg N_{\min} /ha ohne vorangegangene Zwischenfrucht und 70 kg N_{\min} /ha bei mineralisch gedüngter Zwischenfrucht im Vorjahr.

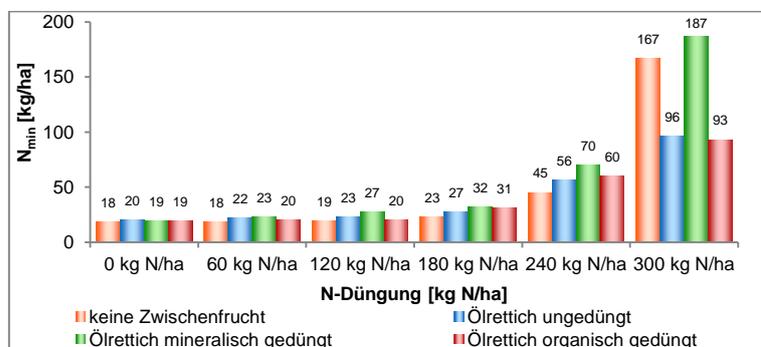
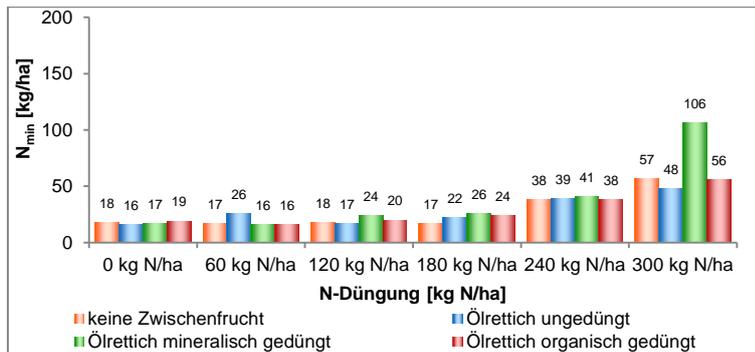


Abbildung 53: Ernte- N_{\min} -Werte bei unterschiedlicher N-Düngung zu Silomais und unterschiedlicher vorangegangener Zwischenfrucht; 31.10.2015; Versuchsstandort Wehnen

Die Ernte- N_{\min} -Werte bei ungedüngter und organisch gedüngter Zwischenfrucht lagen bei 56 kg N_{\min} /ha und 60 kg N_{\min} /ha. In der mit 300 kg N/ha deutlich überhöht gedüngten Varian-

te variierten die Ernte- N_{\min} -Werte am stärksten in Abhängigkeit von der vorangegangenen Zwischenfrucht. Der höchste N_{\min} -Wert lag bei 187 kg N_{\min} /ha in der Variante mit mineralisch gedüngter Zwischenfrucht. Der Ernte- N_{\min} -Wert in der Variante ohne vorangegangene Zwischenfrucht lag mit 167 kg N_{\min} /ha etwas niedriger. Mit 96 und 93 kg N_{\min} /ha waren die Ernte- N_{\min} -Werte sowohl nach ungedüngter als auch nach organisch gedüngter Zwischenfrucht deutlich niedriger.

Die **Herbst- N_{\min} -Werte** zu Beginn der Sickerwasserperiode sind in Abbildung 54 dargestellt.



Wie auch die Ernte- N_{\min} -Werte, lagen die Herbst- N_{\min} -Werte bei einer Silomaisdüngung von 0 kg N/ha bis 180 kg N/ha einheitlich auf einem relativ niedrigen Niveau zwischen 16 und 26 kg N_{\min} /ha.

Abbildung 54: Herbst- N_{\min} -Werte bei unterschiedlicher N-Düngung zu Silomais und unterschiedlicher vorangegangener Zwischenfrucht; 24.11.2015; Versuchsstandort Wehnen

Bei einer N-Düngung von 240 kg N/ha, oberhalb des N-Düngebedarfs, stiegen die Herbst- N_{\min} -Werte leicht auf 38 bis 41 kg N_{\min} /ha an. Bei deutlich überhöhter N-Düngung (300 kg N/ha) variierten die Herbst- N_{\min} -Werte zwischen 48 kg N_{\min} /ha in der Variante mit ungedüngter Zwischenfrucht im Vorjahr und 106 kg N_{\min} /ha bei vorangegangener, mineralisch gedüngter Zwischenfrucht. Ohne vorangegangene Zwischenfrucht und nach organisch gedüngter Zwischenfrucht lag der Herbst- N_{\min} -Wert in der höchsten N-Düngungsstufe mit 57 kg N_{\min} /ha und 56 kg N_{\min} /ha auf einem einheitlichen Niveau.

Erträge und N-Nachlieferung der Zwischenfrucht

Abbildung 56 zeigt die Silomaiserträge 2015 am Versuchsstandort Wehnen bei unterschiedlicher mineralischer N-Düngung und der vorangegangenen Zwischenfrucht.



Abbildung 55: Silomais; Variante ohne vorangegangene Zwischenfrucht; mit 120 kg N/ha N-Düngung; Versuchsstandort Wehnen 11.09.2015

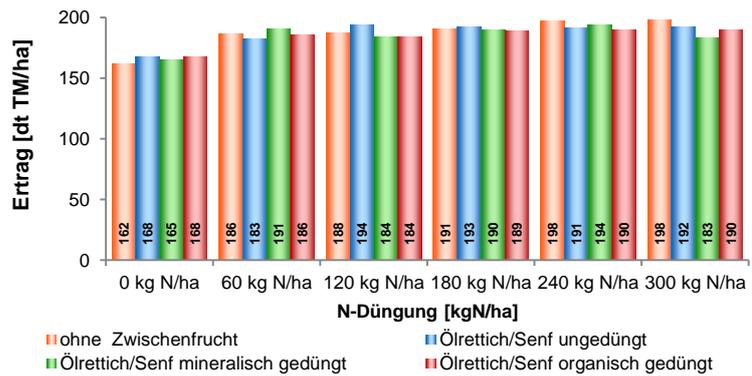


Abbildung 56: Silomaiserträge bei unterschiedlicher N-Düngung und unterschiedlicher vorangegangener Zwischenfrucht; 2015; Versuchsstandort Wehnen

Bei der ungedüngten und der organisch gedüngten Zwischenfrucht entsprach die N-Aufnahme 2014/2015 nahezu der N-Nachlieferung zur darauffolgenden Hauptfrucht 2015. Bei der mineralisch gedüngten Zwischenfrucht war die N-Nachlieferung etwas geringer als die N-Aufnahme.

Die Auswirkungen der Zwischenfrucht und der N-Düngung zur Zwischenfrucht auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser und die Nitratfrachten werden durch das LBEG in einem besonderen Bericht veröffentlicht.

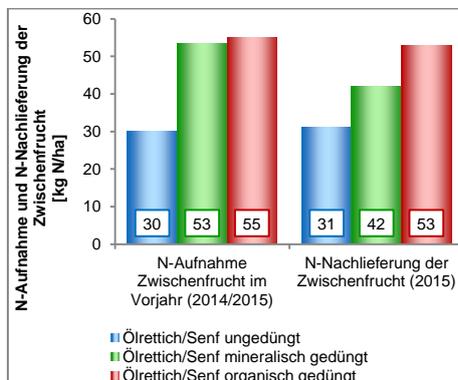


Abbildung 57: N-Aufnahme und N-Nachlieferung der Zwischenfrucht 2014/2015; Versuchsstandort Wehnen

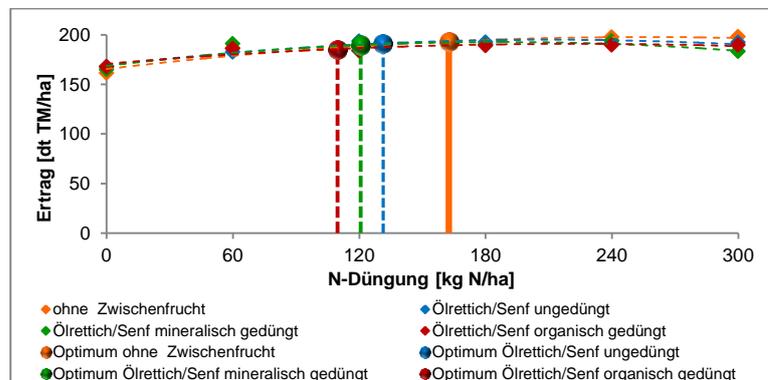


Abbildung 58: Ökonomisch optimale N-Düngung 2015 am Versuchsstandort Wehnen, in Abhängigkeit von der vorangegangenen Zwischenfrucht

Die N-Nachlieferung der Zwischenfrucht an die darauffolgende Hauptfrucht Silomais (Abbildung 57) wurde anhand der Unterschiede der optimalen N-Düngungshöhe errechnet (Abbildung 58). Unabhängig von der vorangegangenen Zwischenfrucht konnte der für Silomais typische flache Verlauf der Ertragskurve beobachtet werden.

Die Ergebnisse aus den ersten drei untersuchten Sickerwasserperioden zeigen, dass neben der Düngung der Witterungsverlauf und der Aussattermin einen wesentlichen Einfluss auf die N-Aufnahme der Zwischenfrucht und die Höhe der Nitratauswaschung hatten. Auf die Wichtigkeit des frühen Aussattermins weisen auch die ergänzenden Untersuchungen am Versuchsstandort Poppenburg hin (Abbildung 62).

Grundwasserschutz durch Zwischenfruchtanbau

Dauerversuch mit begleitenden Sickerwasseruntersuchungen

- In allen Versuchsjahren (2012-2015) konnten die Herbst- N_{\min} -Werte durch die Zwischenfrucht, unabhängig von der N-Düngung zur Zwischenfrucht, erfolgreich gesenkt werden.
- In den vorangegangenen Versuchsjahren wurden der Zwischenfruchtaufwuchs, die Nitratauswaschung und die N-Nachlieferung im Folgejahr vom Witterungsverlauf während der Sickerwasserperiode beeinflusst. Die Ergebnisse der Sickerwasseruntersuchungen 2015/2016 werden durch das LBEG in einem gesonderten Bericht veröffentlicht.
- Bei der Bemessung der Höhe der N-Düngung zur Zwischenfrucht ist neben den gesetzlichen Obergrenzen der N-Düngebedarf der Zwischenfrucht jahres- und standortspezifisch einzuschätzen. Dieser variiert je nach:
 - Anbauzielen
 - Aussattermin
 - StandorteigenschaftenBei später Aussaat beispielsweise ist die N-Düngung entsprechend zu verringern, um das Risiko erhöhter Nitratauswaschung zu minimieren, da die bisherigen Ergebnisse darauf hinweisen, dass bei späten Aussatterminen die Zwischenfrucht den ausgebrachten Stickstoff nicht mehr vollständig aufnehmen kann.
- Die Düngung zur Zwischenfrucht 2014 erhöhte die bodenbürtige N-Nachlieferung im Vergleich zur ungedüngten Zwischenfrucht. Vegetationsbegleitende Untersuchungen, wie beispielsweise Spät-Frühjahrs- N_{\min} -Probenahme, können helfen, die jahres- und standortspezifische N-Nachlieferung präziser einzuschätzen. Der Frühjahrs- N_{\min} -Wert wurde durch eine vorangegangene Zwischenfrucht nur leicht erhöht.
- Die anrechenbare N-Nachlieferung der Zwischenfrucht 2014/2015 zu Silomais (darauffolgende Hauptfrucht) lag zwischen 31 kg N/ha nach ungedüngter Zwischenfrucht und 53 kg N/ha nach organisch gedüngter Zwischenfrucht. Um Nitratauswaschung nach Silomais zu vermeiden, muss die N-Nachlieferung der Zwischenfrucht bei der Bemessung der N-Düngung zur darauffolgenden Hauptfrucht berücksichtigt werden.

2.3.3. Ergänzende Untersuchungen zum grundwasserschutzorientierten Zwischenfruchtanbau

Weitere Aspekte zum grundwasserschutzorientierten Zwischenfruchtanbau, wie beispielsweise der Einfluss der Bodenbearbeitung des Aussaattermins auf die N-Dynamik im Boden, wurden in ergänzenden Versuchen untersucht.

Einfluss von Bodenbearbeitung, Düngung und Aussaattermin auf den Herbst- N_{min} -Wert

Am Versuchsstandort Poppenburg im Landkreis Hildesheim wurden in verschiedenen Zwischenfrucht-Varianten Anfang November ergänzende N_{min} -Proben gezogen, um den Einfluss von Bodenbearbeitung, Düngung und Aussaattermin auf die Herbst- N_{min} -Werte zu erfassen.

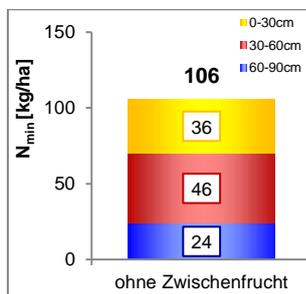


Abbildung 59: Herbst- N_{min} -Wert ohne Zwischenfrucht, 02.11.2015; Standort Poppenburg

Abbildung 59 zeigt, dass die N_{min} -Werte in der Vergleichsvariante ohne Zwischenfrucht nach Hafer als Hauptfrucht mit 106 kg N_{min} /ha relativ hoch waren. Die Probenahme erfolgte zu Vegetationsende am 02.11.2015. Um einschätzen zu können, inwieweit die N_{min} -Werte durch N-Düngung, Bodenbearbeitung und den Aussaattermin beeinflusst werden, wurde in allen Varianten eine einheitliche Senf-Ölrettich-Phacelia-Mischung als Zwischenfrucht verwendet (Abbildung 60).



Abbildung 60: Senf, Ölrettich und Phacelia als Zwischenfrucht

Bei der Bodenbearbeitung wurden die Auswirkungen von Grubbern im Vergleich zu pflügen auf die N_{min} -Werte untersucht. Die beiden Bodenbearbeitungsvarianten wurden jeweils einmal ohne Düngung, mit 60 kg Gesamt-N/ha aus Gärrest und 60 kg N/ha mineralischer Düngung angelegt. Abbildung 61 zeigt den Einfluss der Bodenbearbeitung und der Düngung auf die N_{min} -Werte.

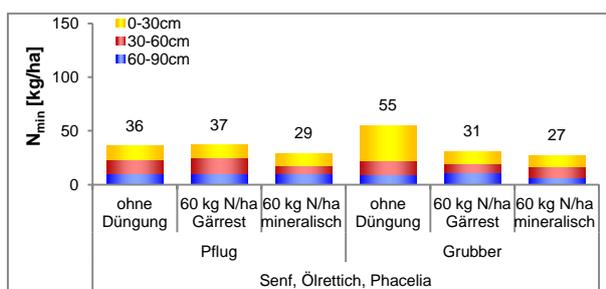


Abbildung 61: Herbst- N_{min} -Werte mit einer Senf, Ölrettich, Phacelia Mischung als Zwischenfrucht, nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung und N-Düngung; 02.11.2015; Standort Poppenburg

Ähnlich, wie auch am Versuchsstandort Wehnen, lagen die N_{min} -Werte, unabhängig von Bodenbearbeitungsintensität und N-Düngung, zwischen 27 kg N_{min} /ha und 55 kg N_{min} /ha und konnten im Vergleich zu der Variante ohne Zwischenfrucht deutlich gesenkt werden.

In den gepflügten Varianten variierten die N_{\min} -Werte von 29 kg N_{\min} /ha in der Variante mit mineralischer N-Düngung bis 37 kg N_{\min} /ha in der Variante mit 60 kg N/ha aus Gärrest. In den gegrubberten Varianten trat der höchste N_{\min} -Wert (55 kg N_{\min} /ha) in der Variante ohne N-Düngung auf. In den beiden gedüngten Varianten lag der N_{\min} -Wert mit 31 kg N_{\min} /ha (in der Variante mit Gärrestdüngung) und 27 kg N_{\min} /ha (in der Variante mit mineralischer N-Düngung) etwas niedriger. Ein durchgängiger Einfluss der Bodenbearbeitung und der N-Düngung auf die N_{\min} -Werte konnte 2015 am Versuchsstandort Poppenburg nicht festgestellt werden.

Der Aussaattermin hingegen hatte einen deutlich größeren Einfluss auf den Herbst- N_{\min} -Wert. Die Ergebnisse der N_{\min} -Untersuchungen in den Varianten mit unterschiedlichen Aussaatterminen der Zwischenfrucht sind in Abbildung 62 dargestellt. Der erste Aussaattermin war am 30.07.2015, der zweite Aussaattermin am 11.08.2015. Der letzte Aussaattermin war am 25.08.2015.

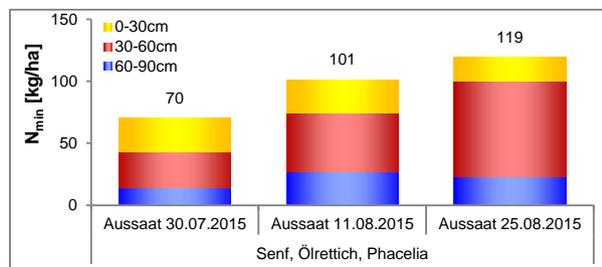


Abbildung 62: Herbst- N_{\min} -Werte mit einer Senf, Ölrettich, Phacelia Mischung als Zwischenfrucht, bei unterschiedlichen Aussaatterminen; 02.11.2015; Standort Poppenburg

Bei einer Verzögerung der Zwischenfruchtaussaat vom 30.07. auf den 11.08. stiegen die N_{\min} -Werte von 70 kg N_{\min} /ha um 31 kg N_{\min} /ha auf 101 kg N_{\min} /ha. Bei der Aussaat am 25.08. wurden mit 119 kg N_{\min} /ha die höchsten N_{\min} -Werte festgestellt.

Zwischen den N_{\min} -Werten in den Varianten mit verschiedenen Aussaatterminen konnten deutlichere Unterschiede festgestellt werden, als zwischen den Varianten mit unterschiedlicher Bodenbearbeitung oder N-Düngung. Je früher die Aussaat erfolgte, desto geringer waren die N_{\min} -Werte.

Auf der Fläche am Versuchsstandort Poppenburg wurde zum Vergleich zusätzlich in einer leguminosenhaltigen Mischung (in der Variante „Bodenbearbeitung: Pflug, ohne N-Düngung“) eine N_{\min} -Probe gezogen (Abbildung 64).

Die „Futtergreen“-Mischung (Aussaat: 27.08.2015) setzte sich aus Welschem Weidelgras (55 %), Bastard Weidelgras (5 %), Rotklee (30 %), Weißklee (5 %) und Inkarnatklee (5 %) zusammen.

Der N_{\min} -Wert am 02.11. lag in dieser Variante bei 87 kg N_{\min} /ha.



Abbildung 63: Blüte Inkarnatklee

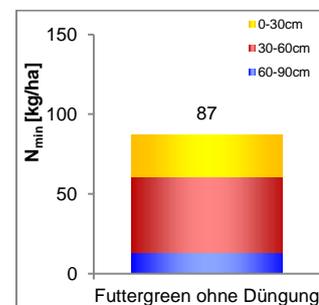


Abbildung 64: Herbst- N_{\min} -Wert mit Futtergreen-Mischung als Zwischenfrucht, 02.11.2015; Standort Poppenburg

Vergleich unterschiedlicher Zwischenfrüchte – Versuchsstandort Obershagen

Am nicht langjährig organisch gedüngten Versuchsstandort Obershagen im Landkreis Hannover konnten unter verschiedenen Zwischenfrüchten und Klee gras (Grünland) der Herbst- N_{min} -Wert verglichen werden (Abbildung 65).

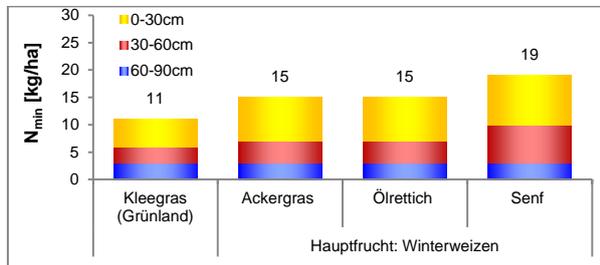


Abbildung 65: Herbst- N_{min} -Werte bei unterschiedlichen Zwischenfrüchten und Klee gras; 12.11.2015; Versuchsstandort Obershagen

Die Auswahl der Zwischenfrucht hatte 2015 am Versuchsstandort Obershagen bei Acker gras, Ölrettich und Senf keine Auswirkung auf die Höhe des Herbst- N_{min} -Wertes.

Die Herbst- N_{min} -Werte unter den verschiedenen Zwischenfrüchten lagen einheitlich auf einem relativ niedrigen Niveau zwischen 15 und 19 kg N_{min} /ha. Unter Klee gras (Grünland) wurde am Versuchsstandort Obershagen zu Beginn der Sickerwasserperiode ein N_{min} -Wert von 11 kg N_{min} /ha festgestellt.

Grundwasserschutz durch Zwischenfruchtanbau

Ergänzende Untersuchungen Versuchsstandorte Poppenburg/Obershagen:

- Am Versuchsstandort Poppenburg hatte 2015 der Aussaattermin einen deutlichen Einfluss auf die Reststickstoffgehalte und den Zwischenfruchtaufwuchs als Art und Höhe der N-Düngung. Je später die Zwischenfrucht ausgesät wurde, desto höher waren die N_{min} -Werte.
- Die Intensität der Bodenbearbeitung (Pflug oder Grubber) hatte 2015 am Versuchsstandort Poppenburg keinen Einfluss auf die Reststickstoffgehalte.
- Die Ergebnisse bestätigen den Nutzen eines im Sinne des Grundwasserschutzes geforderten frühen Aussaattermins.

2.4. Grundwasserschutzorientierte organische Düngung – Versuchsstandort

Wehnen

- Welchen Einfluss hat die Höhe der organischen N-Düngung auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser?
- Wie wirkt sich organische Düngung im Vergleich zu mineralischer N-Düngung auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser und die N-Dynamik im Boden aus?
- Wie wirken sich eine langfristig reduzierte und eine überhöhte organische Düngung auf N-Dynamik im Boden, Erträge und Qualitätsparameter aus?

In diesem Versuch wird die N-Nachlieferung auf langjährig organisch gedüngten Standorten und deren Auswirkung auf Nitratkonzentration im Sickerwasser, N-Dynamik im Boden, Erträge und Qualitätsparameter untersucht. Eine möglichst genaue Einschätzung der Wirksamkeit organischer Dünger und auch der N-Nachlieferung langjährig organisch gedüngter Standorte ist für den Grundwasserschutz von Bedeutung, um Überschätzung des N-Düngebedarfs und hohe auswaschungsgefährdete Reststickstoffgehalte im Herbst im Boden zu vermeiden. Besonders im Maisanbau hat überhöhte N-Düngung häufig hohe auswaschungsgefährdete Herbst-N_{min}-Werte zur Folge. Die effiziente Nutzung organischer Dünger sowie die möglichst präzise Einschätzung ihrer Wirkung leisten somit einen wichtigen Beitrag, Nitratreinträge in das Grundwasser zu vermeiden.

2.4.1. Versuchsaufbau und Durchführung

Der Versuch zur grundwasserschutzorientierten organischen Düngung wurde 2014 am Versuchsstandort Wehnen neu angelegt. Auf der Versuchsfläche werden Silomais und Winterroggen im Wechsel angebaut. 2015 stand Winterroggen auf der Versuchsfläche.

Die Aussaat erfolgte am 01.10.2014 mit 300 Körnern/m². Abbildung 66 zeigt die ungedüngte Variante am 22.06.2015.

Tabelle 9 gibt eine Übersicht über die Standorteigenschaften des Versuchsstandortes. Der Frühjahrs-N_{min}-Wert lag bei 13 kg N_{min}/ha. Die Frühjahrs-N_{min}-Probe wurde am 19.02.2015 gezogen.



Abbildung 66: ungedüngte Variante im Versuch zur grundwasserschutzorientierten organischen Düngung; 22.06.2015; Versuchsstandort Wehnen

Tabelle 9: Standortdaten; Versuchsstandort Wehnen, Versuch 649

Versuchsstandort Wehnen; Versuch 649	
Bodenart	Sand
Ackerzahl	25
Humus	3 %
C/N	15
N _{min} (0-90 cm) [kg/ha]	13
ph	5,5
P [mg/100 g Boden]	13
K [mg/100 g Boden]	3
Mg [mg/100 g Boden]	5



Wirtschaftsdünger sind wertvolle Mehrnährstoffdünger. Bei bedarfsgerechtem Einsatz limitiert der Nährstoff, dessen Bedarf zuerst abgedeckt wird, den Einsatz von Wirtschaftsdüngern. Dies ist bei der im Versuch verwendeten Schweinegülle Phosphor. Im Versuch ist somit die N-Düngung mit Wirtschaftsdüngern auf ca. 120 kg N/ha begrenzt. Dies wurde bei der Bemessung der N-Düngung in den organisch gedüngten Varianten berücksichtigt. Eine weitere Steigerung der N-Düngung wurde durch eine ergänzende Gabe mit Mineraldünger erreicht. Tabelle 10 zeigt die einzelnen Varianten mit Höhe, Form und Aufteilung der N-Düngung. Parallel zu einer festen N-Düngestaffel mit mineralischer N-Düngung in sechs Stufen wurde in diesem Versuch auch eine N-Düngestaffel mit organischer, beziehungsweise organisch-mineralischer Düngung angelegt. So können langfristig die Auswirkungen mineralischer N-Düngung und organisch-mineralischer N-Düngung auf N-Dynamik im Boden, Erträge und Qualitätsparameter verglichen werden. Eine ergänzende Variante mit 170 kg N/ha aus organischer Düngung wurde ebenfalls angelegt, um deren Auswirkungen auf die auswaschungsgefährdeten Reststickstoffgehalte im Boden direkt nach der Ernte und zu Beginn der Sickerwasserperiode zu untersuchen.

Tabelle 10: Varianten - N-Düngung Versuch 649, Versuchsstandort Wehnen, 2015

Nr.	mineralisch	Organische Düngung [kg N/ha]	Mineral-N [kg/ha] 1. Gabe	Mineral-N [kg/ha] 2. Gabe
1	ohne min. N-Düngung	-	-	-
2	KAS 40 N	-	20	20
3	KAS 80 N	-	40	40
4	KAS 120 N	-	60	60
5	KAS 160 N	-	80	80
6	KAS 200 N	-	100	100
7		Gülle 120 Gesamt-N	-	-
8	KAS 40 N	Gülle 120 Gesamt-N	20	20
9	KAS 80 N	Gülle 120 Gesamt-N	40	40
10	KAS 120 N	Gülle 120 Gesamt-N	60	60
11	KAS 160 N	Gülle 120 Gesamt-N	80	80
12		Gülle 170 Gesamt-N	-	-

Die erste N-Düngung des Winterroggens erfolgte zu Vegetationsbeginn am 03.03.2015, die zweite N-Düngergabe zum Schossen wurde am 16.04.2015 ausgebracht.

2.4.2. Ergebnisse

N_{min}-Werte

Die Ernte-N_{min}-Werte in den einzelnen Varianten sind in Abbildung 67 dargestellt. Abbildung 68 zeigt die Herbst-N_{min}-Werte. Sowohl die Ernte-N_{min}-Werte als auch die Herbst-N_{min}-Werte lagen wie auch in anderen Versuchen zur grundwasserschutzorientierten N-Düngung von Winterroggen auf einem relativ niedrigen Niveau.

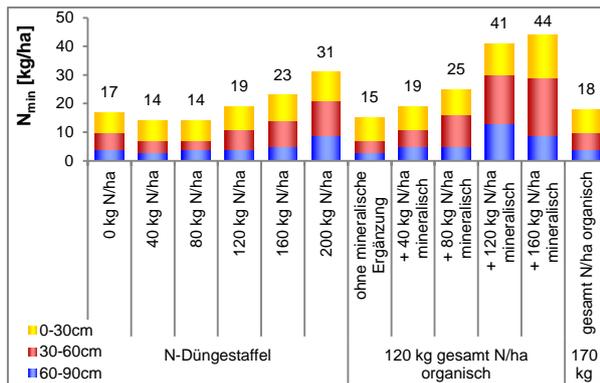


Abbildung 67: Ernte-N_{min}-Werte nach Winterroggen; bei unterschiedlicher mineralischer, organischer und organisch-mineralischer N-Düngung; 2015; Versuchsstandort Wehnen

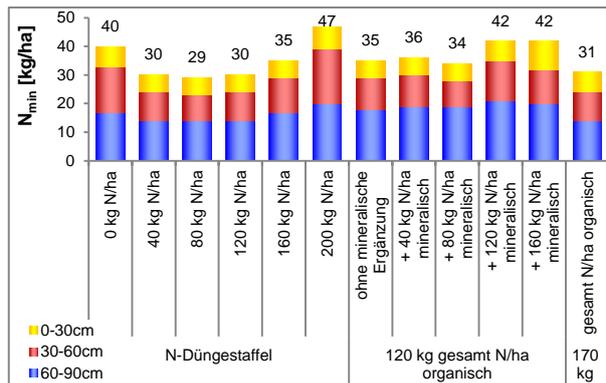


Abbildung 68: Herbst-N_{min}-Werte nach Winterroggen; bei unterschiedlicher mineralischer, organischer und organisch-mineralischer N-Düngung; 2015; Versuchsstandort Wehnen

Die Ernte-N_{min}-Werte in den einzelnen N-Düngungsvarianten lagen zwischen 14 kg N_{min}/ha und 44 kg N_{min}/ha. Die Herbst-N_{min}-Werte variierten zwischen 29 kg N_{min}/ha und 47 kg N_{min}/ha. In der mineralischen N-Düngestaffel wurden sowohl direkt nach der Ernte als auch zu Beginn der Sickerwasserperiode die niedrigsten N_{min}-Werte in Varianten mit niedriger N-Düngung festgestellt. Direkt nach der Ernte wurde der niedrigste N_{min}-Wert (14 kg N_{min}/ha) in den Varianten mit einer N-Düngung von 40 beziehungsweise 80 kg N/ha festgestellt. Zu Beginn der Sickerwasserperiode trat der niedrigste N_{min}-Wert (29 kg N_{min}/ha) in der mit 80 kg N/ha gedüngten Variante auf. Ein völliger Verzicht auf N-Düngung konnte die N_{min}-Werte, vermutlich infolge der deutlich reduzierten N-Entzüge in der ungedüngten Variante, nicht weiter senken. Direkt nach der Ernte traten die höchsten N_{min}-Werte in den Varianten mit organisch-mineralischer N-Düngung bei einer mineralischen Ergänzung von 120 kg N/ha und 160 kg N/ha auf. Ein Vergleich der Verteilung des mineralischen Stickstoffs auf die drei beprobten Bodenschichten zeigt, dass zwischen den beiden Probenahmeterminen eine Verlagerung nach unten stattgefunden hatte. Wie schon im Vorjahr nach Anbau von Silomais waren die N_{min}-Werte in der rein organisch gedüngten Variante (170 kg gesamt-N/ha) mit 18 kg N_{min}/ha direkt nach der Ernte und 31 kg N_{min}/ha zu Beginn der Sickerwasserperiode relativ niedrig.

Ergänzende N_{min}-Untersuchungen im Vegetationsverlauf

Zusätzlich zu den N_{min}-Untersuchungen durch die LWK Niedersachsen wurden im Rahmen einer Masterarbeit an der Universität Oldenburg während der Vegetationsperiode in der ungedüngten Variante, in der Variante mit rein mineralischer N-Düngung (120 kg N/ha), in einer organisch-mineralisch gedüngten Variante (120 kg gesamt-N/ha organisch und 40 kg N/ha mineralisch) und in der mit 170 kg N/ha rein organisch gedüngten Variante, ergänzende Untersuchungen zur Erfassung der räumlichen und zeitlichen N_{min}-Dynamik im Boden durchgeführt. Im Zuge dieser Untersuchungen wurde festgestellt, dass sich die N_{min}-Gehalte in Abhängigkeit von Düngerform, -menge und Zeitpunkt der N-Düngung unterschiedlich entwickelten, (AFFELT (2016)). In der mineralisch gedüngten Variante hatte besonders die zweite N-

Düngergabe zum Schossen einen Anstieg der Nitratgehalte im Boden zur Folge. In der organisch-mineralisch gedüngten Variante wurden bereits vor der zweiten N-Düngung höhere Nitratgehalte, vermutlich infolge der Mineralisation aus der organischen Düngung, beobachtet. In der rein organisch gedüngten Variante wurde eine geringere, aber dafür im Vergleich zu den mineralisch oder organisch-mineralisch gedüngten Varianten, kontinuierlichere Nitratfreisetzung aus der organischen Düngung festgestellt, (AFFELT (2016)).

Erträge

Die Winterroggenernte erfolgte am 04.08.2015. Die Winterroggenerträge in den einzelnen Varianten sind in Abbildung 69 dargestellt.

Der höchste Ertrag (118 dt/ha) wurde in der Variante mit einer mineralischen N-Düngung von 120 kg N/ha erzielt. In der mit 160 kg N/ha gedüngten Variante sank der Ertrag auf 110 dt/ha.

Das ökonomische Optimum für die N-Düngung lag 2015 am Versuchsstandort Wehnen bei 142 kg N/ha. Dies liegt bei einem Frühjahrs-N_{min}-Wert von 13 kg N_{min}/ha im Bereich der aktuellen N-Sollwertempfehlung.

Für eine N-Düngung in dieser Höhe wurden ein Herbst-N_{min}-Wert von 32 kg N_{min}/ha und ein Ertrag von 113 dt/ha errechnet (Abbildung 70).

Abbildung 71 zeigt die Proteingehalte des Winterroggens in den einzelnen N-Düngungsvarianten.

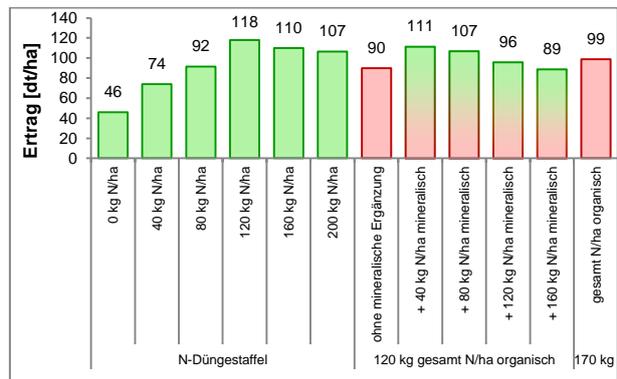


Abbildung 69: Winterroggenerträge bei mineralischer N-Düngung, organischer und organisch-mineralischer Düngung; 2015; Versuchsstandort Wehnen

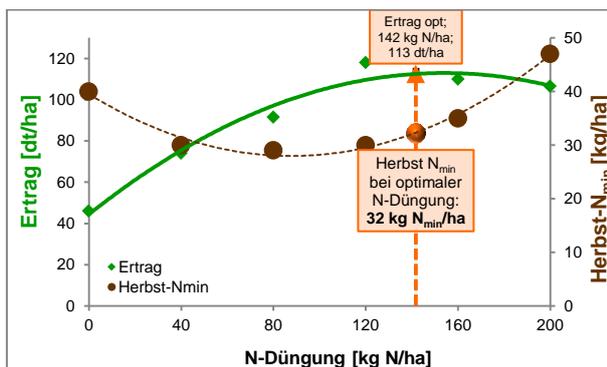


Abbildung 70: Herbst-N_{min}-Wert und Ertrag bei ökonomisch optimaler N-Düngung zu Winterroggen; Versuchsstandort Wehnen; 2015

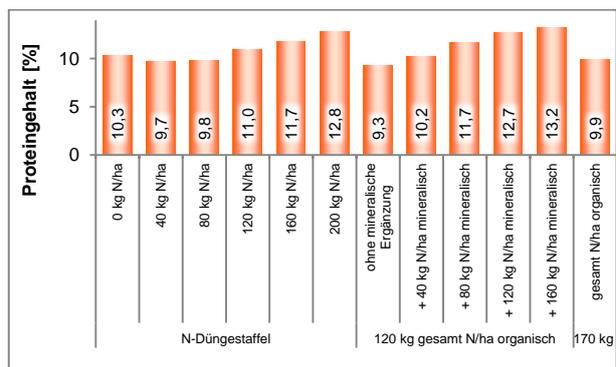


Abbildung 71: Proteingehalt von Winterroggen bei mineralischer N-Düngung, organischer und organisch-mineralischer Düngung; 2015; Versuchsstandort Wehnen

Bei einer Steigerung der N-Düngung von 0 kg N/ha auf 40 kg N/ha sank der Proteingehalt zunächst von 10,3 % auf 9,7 %, vermutlich aufgrund des Verdünnungseffektes infolge des Ertragszuwachses (Abbildung 72).

Mit einer weiteren Steigerung der N-Düngung stiegen in den Varianten der mineralisch gedüngten N-Düngestaffel auch die Proteingehalte auf bis zu 12,8 % in der Variante mit der höchsten N-Düngung an.

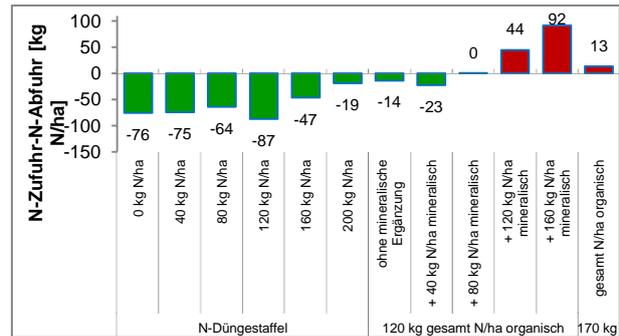


Abbildung 72: N-Bilanz (N-Zufuhr – N-Abfuhr) [kg N/ha]; Winterroggen; Versuchsstandort Wehnen; 2015

N-Mineraldüngeräquivalente

Abbildung 73 zeigt die N-Mineraldüngeräquivalente in den Varianten mit organischer und organisch-mineralischer N-Düngung.

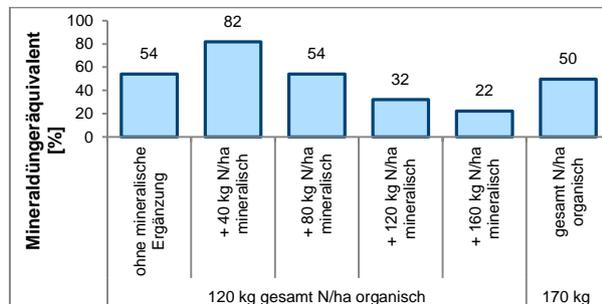


Abbildung 73: Mineraldüngeräquivalente von Schweinegülle bei Winterroggen bei 120 kg Gesamt-N/ha mit unterschiedlicher mineralischer Ergänzung und 170 kg Gesamt-N/ha; 2015; Versuchsstandort Wehnen – Berechnung Gesamt N, inkl. mineralischer Ergänzung

In der Variante mit einer organischen Düngung von 120 kg N/ha lag das Mineraldüngeräquivalent bei 54 %. Durch eine geringe mineralische Ergänzung von 40 kg N/ha konnte das Mineraldüngeräquivalent auf 82 % erhöht werden. Eine weitere Steigerung der mineralischen Ergänzung führte nicht zu einem Anstieg der Mineraldüngeräquivalente. In der Variante mit einer N-Düngung von 170 kg N/ha lag das Mineraldüngeräquivalent mit 50 % etwas niedriger als in der mit 120 kg N/ha gedüngten Variante.

Grundwasserschutzorientierte organische Düngung

- Die N_{\min} -Werte nach Winterroggen variierten von 14 bis 44 kg N_{\min} /ha direkt nach der Ernte und 29 und 47 kg N_{\min} /ha zu Beginn der Sickerwasserperiode. Die höchsten N_{\min} -Werte traten in den überhöht gedüngten Varianten auf.
- Sowohl direkt nach der Ernte als auch zu Beginn der Sickerwasserperiode traten die niedrigsten N_{\min} -Werte in den Varianten mit geringer N-Düngung auf. Durch einen völligen Verzicht auf N-Düngung konnten die N_{\min} -Werte infolge mangelnder N-Entzüge nicht weiter gesenkt werden.
- Eine über dem N-Bedarf liegende N-Düngung führte zu einem Anstieg der N_{\min} -Werte. Hierbei war es unerheblich, ob die N-Düngung rein mineralisch, organisch beziehungsweise organisch-mineralisch verabreicht wurde.
- Die Erträge stiegen zunächst mit steigender N-Düngung an. Ab einer N-Düngungshöhe von 120 kg N/ha und einem Ertrag von 118 dt/ha konnte der Ertrag nicht weiter erhöht werden. Als ökonomisch optimale N-Düngung wurde anhand der N-Düngestaffel eine N-Düngergabe von 142 kg N/ha errechnet. Bei einer N-Düngung von 142 kg N/ha lag 2015 der errechnete Herbst- N_{\min} -Wert bei 32 kg N_{\min} /ha und der Ertrag bei 113 dt/ha.
- Im Vergleich zu den rein organisch gedüngten Varianten führte eine mineralische Ergänzung von 40 kg N/ha zu einem Anstieg der N-Mineraldüngeräquivalente. Bei einer weiteren Steigerung der mineralischen N-Ergänzung wurde der N-Düngebedarf überschritten und die N-Mineraldüngeräquivalente sanken.
- Sowohl für Winterroggen als auch für Silomais liegen aus diesem Versuch derzeit lediglich einjährige Ergebnisse vor. Allgemeine Beratungsempfehlungen können daher noch nicht hergeleitet werden.
 - Die Ergebnisse der beiden ersten Versuchsjahre am Versuchsstandort Wehnen bestätigen die Ergebnisse vorangegangener Versuche, die zeigen, dass Winterroggen im Vergleich zu Silomais besonders bei überhöhter N-Düngung vergleichsweise geringe Herbst- N_{\min} -Werte hinterlässt.



Abbildung 74: Winterroggen; 170 kg gesamt-N/ha; Versuchsstandort Wehnen; 10.07.2015

3. Mehrjährige Feldversuche

3.1. Bodenbearbeitung und Begrünung durch Grünroggen nach der Silomais- ernte – Auswirkungen auf die N-Dynamik im Boden

- In welchem Umfang werden die Reststickstoffgehalte im Boden nach Silomais durch eine Bodenbearbeitung nach der Maisernte erhöht?
- Können die Reststickstoffgehalte im Boden nach Silomais durch die Aussaat von Grünroggen als Winterbegrünung verringert werden?

Bei Stoppel- oder Bodenbearbeitung nach der Maisernte besteht je nach Intensität der Bodenbearbeitung die Gefahr, dass es in Folge der erneuten Durchlüftung des Bodens zu einer erhöhten N-Mineralisation und zu einem Anstieg der auswaschungsgefährdeten Reststickstoffgehalte im Herbst im Boden kommt. Stoppel- und Bodenbearbeitung sind jedoch wichtige Maßnahmen sowohl zur Bekämpfung des Maiszünslers, dessen Larven in den unzerkleinerten Maisstopplern überwintern, als auch zur Reduzierung des Befallsdrucks durch Fusarien in den Folgekulturen. 2012 wurde deshalb erstmals ein Feldversuch durchgeführt, um die Auswirkungen von Bodenbearbeitung (grubbern) nach der Maisernte und einer Winterbegrünung mit Grünroggen auf die N-Dynamik im Boden zu untersuchen. Abbildung 75 zeigt die vier Varianten des Versuchs.

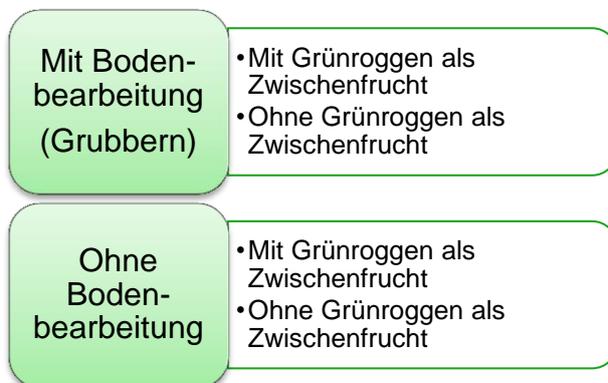
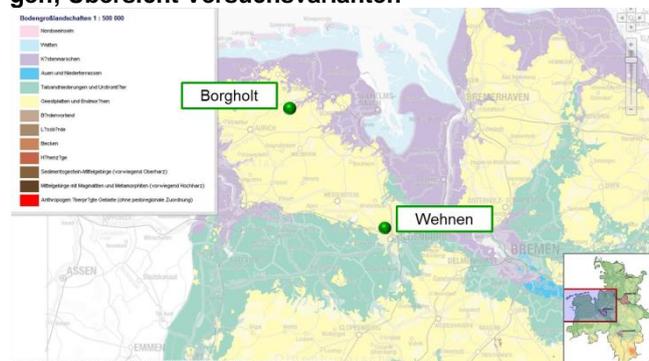


Bild: Karl-Gerd Harms, LWK Niedersachsen

Abbildung 75: Auswirkungen von Bodenbearbeitung nach der Maisernte und Winterbegrünung mit Grünroggen; Übersicht Versuchsvarianten



NIBIS® Kartenserver (2014) Bodengroßlandschaften 1:500.000, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Hannover

Abbildung 77: Lage der Versuchsstandorte Borgholt und Wehnen

Abbildung 76: Versuchsstandort Wehnen, Frühjahr 2013

Abbildung 77 zeigt die Lage der beiden Versuchsstandorte Borgholt (Landkreis Wittmund) und Wehnen (Landkreis Ammerland). Der Versuch wurde nach der Silomaisernte auf der Fläche der Landessortenversuche angelegt.

Abbildung 78 zeigt den Witterungsverlauf am Versuchsstandort Wehnen und die Probenahmetermine an den Versuchsstandorten Borgholt und Wehnen. Am Versuchsstandort Borgholt befindet sich keine Wetterstation.

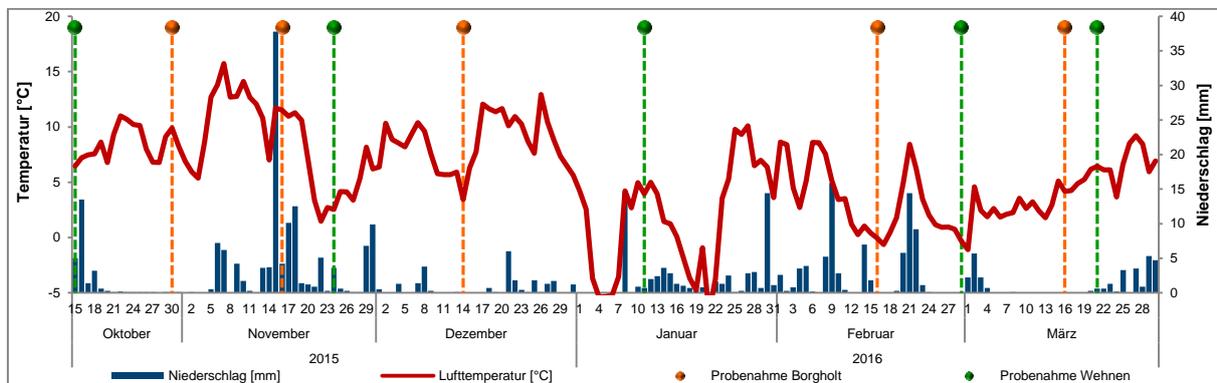


Abbildung 78: Versuch: Bodenbearbeitung und Winterbegrünung mit Grünroggen; 2015-2016 Probenahmetermine und Witterungsverlauf Wetterstation Wehnen

3.1.1. Versuchsstandort Borgholt

Am Versuchsstandort Borgholt wurde der Silomais am 24.10.2015 geerntet. Der Silomais war an diesem Versuchsstandort im Frühjahr mit 128 kg N/ha aus Gärrest gedüngt worden. Zusätzlich wurde eine mineralische Unterfußdüngung (20/20) gegeben.

Abbildung 79 zeigt die Ergebnisse der N_{min} -Probenahmen auf der Versuchsfläche Borgholt vom 30.10.2015 bis zum 16.03.2016. Um die Entwicklung der N_{min} -Werte zu erfassen wurden im darauffolgenden Frühjahr ebenfalls N_{min} -Proben gezogen.

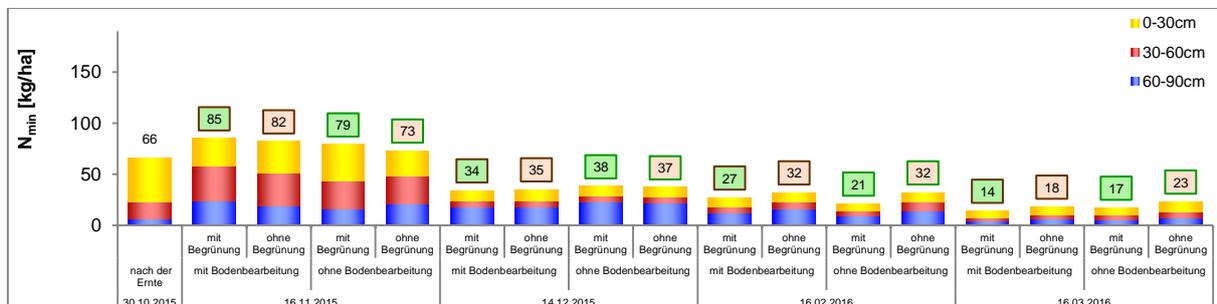


Abbildung 79: Einfluss von Bodenbearbeitung und Winterbegrünung mit Grünroggen auf die N-Dynamik im Boden im Verlauf der Sickerwasserperiode; Versuchsstandort Borgholt; 2015-2016

Am **30.10.2015** wurde vor der Anlage der Bodenbearbeitungsvarianten und der Aussaat des Grünroggens auf der gesamten Fläche eine N_{min} -Probe gezogen. An diesem Termin lag der N_{min} -Wert bei 66 kg N_{min} /ha.

Am **16.11.2015** erfolgte die erste Probenahme in den unterschiedlichen Varianten. Die N_{min} -Werte variierten unabhängig von Bodenbearbeitung und Begrünung zwischen 73 kg N_{min} /ha (in der Variante ohne Bodenbearbeitung und ohne Begrünung) und 85 kg N_{min} /ha (in der Variante mit Bodenbearbeitung und mit Begrünung). Tendenziell waren am ersten Probenahmetermin die N_{min} -Werte in den Varianten ohne Bodenbearbeitung zwar etwas geringer als in den Varianten mit Bodenbearbeitung, insgesamt lagen die Unterschiede jedoch noch im Fehlerbereich der N_{min} -Methode. Die N_{min} -Werte sanken zum zweiten Probenahmetermin in den Varianten mit Begrünung und in den Varianten ohne Begrünung gleichermaßen um

ca. 45 kg N_{\min} /ha. Am zweiten Probenahmetermin wiesen die Ergebnisse der N_{\min} -Probenahme sowohl aufgrund der höheren Anteile mineralischen Stickstoffs in der untersten beprobten Schicht als auch aufgrund des deutlich niedrigeren Niveaus im Vergleich zum ersten Probenahmetermin darauf hin, dass bereits Stickstoff ausgewaschen wurde. Dies wird durch Berechnungen des Bodenwasserhaushaltsmodells des LBEG (BOWAB[®]) bestätigt. Aufgrund der kurzen verbliebenen Vegetationszeit ist zu befürchten, dass der Stickstoff zu großen Teilen ausgewaschen und nicht durch den Grünroggen aufgenommen wurde.

Auch bei den Probenahmen im darauffolgenden Frühjahr lagen die N_{\min} -Werte in den einzelnen Varianten auf einem sehr ähnlichen Niveau und waren insgesamt niedriger als im Herbst/Winter. Tendenziell waren die N_{\min} -Werte in den Varianten mit einer Begrünung durch Winterroggen etwas geringer als ohne Winterbegrünung.

Am **16.02.2016** variierten die N_{\min} -Werte jedoch lediglich von 21 kg N_{\min} /ha bis 32 kg N_{\min} /ha. Bis zum **16.03.2016** sanken die N_{\min} -Werte weiter ab und lagen unabhängig von Bodenbearbeitung oder Begrünung zwischen 14 kg N_{\min} /ha (in der Variante mit Bodenbearbeitung und Begrünung) und 23 kg N_{\min} /ha (in der Variante ohne Bodenbearbeitung und ohne Begrünung).

Dies bestätigt die Ergebnisse der Vorjahre, die zeigen, dass bei moderaten Ausgangs- N_{\min} -Werten eine aus phytosanitären Gründen häufig notwendige Bodenbearbeitung durchgeführt werden kann, ohne die Gefahr der Nitrat Auswaschung während der Sickerwasserperiode durch höhere N-Mineralisation wesentlich zu erhöhen. Außerdem wird deutlich, dass der Winterroggen aufgrund des späten Aussaattermins nach der Maisernte kaum noch Stickstoff aus dem Boden aufnimmt.

3.1.2. Versuchsstandort Wehnen

Am Versuchsstandort Wehnen wurde der Silomais mit mineralischem NPK-Dünger, Saugülle und mineralischem Unterfußdünger gedüngt. Insgesamt wurden hier im Frühjahr 162 kg N/ha ausgebracht. Bodenbearbeitung und Aussaat des Winterroggens erfolgten am 13.10.2015. Abbildung 80 zeigt die Ergebnisse der N_{\min} -Untersuchungen am Versuchsstandort Wehnen.

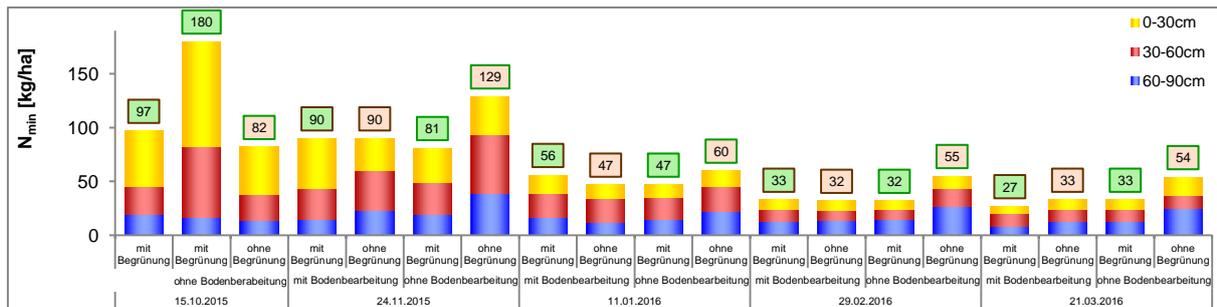


Abbildung 80: Einfluss von Bodenbearbeitung und Winterbegrünung mit Grünrognen auf die N-Dynamik im Boden im Verlauf der Sickerwasserperiode; Versuchsstandort Wehnen; 2015-2016

Die erste N_{min}-Probe wurde am **15.10.2015** gezogen. In der Variante ohne Bodenbearbeitung mit Begrünung wurde mit 180 kg N_{min}/ha ein deutlich höherer N_{min}-Wert als in den anderen Varianten festgestellt.

Bei der zweiten N_{min}-Probenahme am **24.11.2015** waren die N_{min}-Werte in den Varianten mit Bodenbearbeitung unabhängig von der Begrünung mit 90 kg N_{min}/ha in beiden Varianten relativ hoch. In der Variante mit Begrünung war jedoch der Anteil mineralischen Stickstoffs in der obersten Bodenschicht (0-30 cm) etwas höher als in der Variante ohne Begrünung. Bei den beiden Varianten ohne Bodenbearbeitung lag der N_{min}-Wert mit Begrünung bei 81 kg N_{min}/ha und ohne Begrünung bei 129 kg N_{min}/ha. Trotz der hohen Niederschläge zwischen dem ersten und dem zweiten Probenahmetermin waren die N_{min}-Werte am 24.11.2015 immer noch relativ hoch.

Bis zum dritten Probenahmetermin am **11.01.2016** waren die N_{min}-Werte deutlich gesunken und ein Einfluss der Bodenbearbeitung oder der Begrünung war nicht mehr zu erkennen. Die Ergebnisse der N_{min}-Untersuchungen variierten zwischen 47 kg N_{min}/ha in den Varianten „mit Bodenbearbeitung ohne Begrünung“, beziehungsweise „ohne Bodenbearbeitung mit Begrünung“ und 60 kg N_{min}/ha (in der Variante ohne Bodenbearbeitung und ohne Begrünung). Obwohl bei den nachfolgenden N_{min}-Untersuchungen nur noch geringe Unterschiede zwischen den N_{min}-Werten in den einzelnen Varianten festgestellt wurden, trat in dieser Variante (ohne Bodenbearbeitung und ohne Begrünung) an beiden Probenahmeterminen der höchste N_{min}-Wert auf.

Am **29.02.2016** lag in dieser Variante der N_{min}-Wert bei 55 kg N_{min}/ha. In den drei anderen Varianten lag der N_{min}-Wert einheitlich bei 32, beziehungsweise 33 kg N_{min}/ha.

Am **31.03.2016** konnten am Versuchsstandort Wehnen durchgängig geringere N_{min}-Werte in den Varianten mit Begrünung festgestellt werden, auch wenn die Unterschiede unabhängig von der Bodenbearbeitung im Fehlerbereich der N_{min}-Methode lagen. In beiden Varianten ohne Bodenbearbeitung lag der N_{min}-Wert mit Begrünung bei 33 kg N_{min}/ha und in der Variante ohne Begrünung bei 54 kg N_{min}/ha.

Bodenbearbeitung und Begrünung durch Grünroggen nach der Silomaisernte – Auswirkungen auf die N-Dynamik im Boden.

- Ein durchgängiger Einfluss von Bodenbearbeitung nach der Maisernte oder der Winterbegrünung mit Grünroggen auf die N_{\min} -Werte im Herbst konnte auch 2015 nicht festgestellt werden.
- Im Frühjahr waren die N_{\min} -Werte aufgrund der Nitratauswaschung über Winter einheitlich deutlich niedriger als im Herbst. Die N_{\min} -Werte in den Varianten mit Begrünung waren jedoch durchgängig etwas geringer, als in den Varianten ohne Begrünung
- Im Mittel der Jahre und Standorte hatte die Bodenbearbeitung (Grubbern) bei moderaten Ausgangs- N_{\min} -Werten direkt nach der Ernte kaum einen Einfluss auf die auswaschungsgefährdeten Reststickstoffgehalte im Herbst im Boden.
 - Die Versuchsergebnisse der Vorjahre zeigen, dass bei moderaten Ernte- N_{\min} -Werten die aus phytosanitären häufig notwendige Stoppel-/Bodenbearbeitung durchgeführt werden kann, ohne die Herbst- N_{\min} -Werte zu erhöhen.
- Bei wärmerer Witterung im Herbst/Winter wurden höhere N_{\min} -Werte festgestellt als im ersten Versuchsjahr (2012). Obwohl eine Winterbegrünung nach Mais aufgrund der späten Aussaat deutlich weniger Stickstoff aufnahm als eine Zwischenfrucht nach Getreide, konnte die erhöhte Mineralisierung infolge der milden Witterung durch eine verstärkte N-Aufnahme durch den Grünroggen kompensiert werden.

3.2. Vergleich grundwasserschutzorientierter N-Düngestrategien im Silomaisanbau

- Können auswaschungsgefährdete Reststickstoffgehalte nach Silomais durch eine möglichst präzise Einschätzung des N-Düngebedarfs gesenkt werden?
- Wie wirkt sich die Höhe der N-Düngung an verschiedenen Standorten auf die N-Dynamik im Boden aus?
- Sind N-Düngestrategien wie die Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme oder eine Reduzierung der Sollwertdüngung geeignet, um die Herbst-N_{min}-Werte zu Beginn der Sickerwasserperiode zu reduzieren?
- Vor- und Nachteile der untersuchten Strategien in der grundwasserschutzorientierten Düngeberatung

Mais kann die standörtliche bodenbürtige Stickstoffnachlieferung sehr gut nutzen. Dies lässt sich dadurch erklären, dass bei Mais der Zeitpunkt der höchsten N-Aufnahme mit dem Zeitpunkt der wesentlichen N-Freisetzung des Standortes weitgehend zusammenfällt (EILER, 2002). Neben Standorteigenschaften und Bewirtschaftungsmaßnahmen beeinflusst jedoch auch der jahresspezifische Witterungsverlauf die Höhe der bodenbürtigen N-Nachlieferung. Die präzise Höhe der jahres- und standortspezifischen N-Nachlieferung ist deshalb im Voraus nur schwer einzuschätzen.

Ergebnisse vorangegangener Feldversuche zeigen, dass N-Düngung oberhalb des N-Düngebedarfs zu einem extrem starken Anstieg der Herbst-N_{min}-Werte führt. Die hohen auswaschungsgefährdeten Reststickstoffgehalte können jedoch häufig durch eine möglichst präzise Einschätzung des N-Düngebedarfs vermieden werden. Deshalb wurde 2013-2015 ein Feldversuch durchgeführt, um verschiedene N-Düngestrategien hinsichtlich der Auswirkung auf die Herbst-N_{min}-Werte und ihres Nutzens für den Grundwasserschutz zu vergleichen. Die [dreijährigen Ergebnisse](#) sind bereits auf der Internetseite der LWK Niedersachsen verfügbar

3.2.1. Versuchsaufbau und Durchführung

In dem Versuch wurden neben der N-Sollwertmethode und der Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme auch eine Variante mit reduzierter Sollwertdüngung (Sollwert -20 %) verglichen (Abbildung 81). Bei der **N-Sollwertmethode** wurde von dem für Mais empfohlenen N-Sollwert von 180 kg N/ha zunächst der Frühjahrs N_{min}-Wert abgezogen. Derzeit wird für die Ermittlung des N-Düngebedarfs von Mais der Frühjahrs-N_{min}-Wert in einer Tiefe von 0-60 cm angerechnet. Zusätzlich werden bei der N-Sollwertmethode weitere Korrekturfaktoren, wie beispielsweise langjährige organische Düngung oder vorangegangene Zwischenfrüchte berücksichtigt, um die standörtliche N-Nachlieferung abschätzen zu können.

Bei der Methode **Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme** erfolgte zunächst eine verhaltene Startdüngung von 60 kg N/ha. Dann wurde nach einer weiteren N_{min}-Untersuchung Ende Mai beziehungsweise Anfang Juni auf einen Sollwert von 180 kg N/ha nachgedüngt. In einer dritten Variante wurden 2014 und 2015 die Auswirkungen einer Reduzierung der Sollwertdüngung um 20 % auf die N-Dynamik im Boden, Erträge und Qualitätsparameter untersucht.

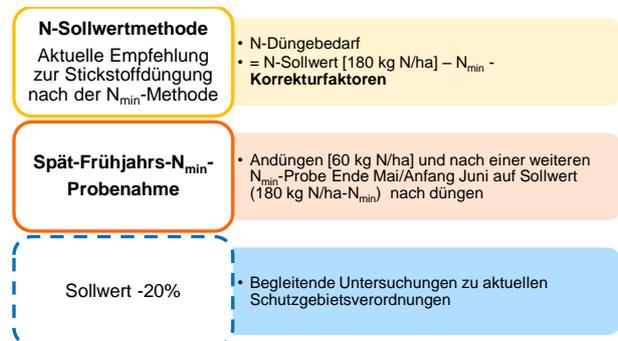


Abbildung 81: Verschiedene Strategien zur N-Düngebedarfsermittlung von Silomais

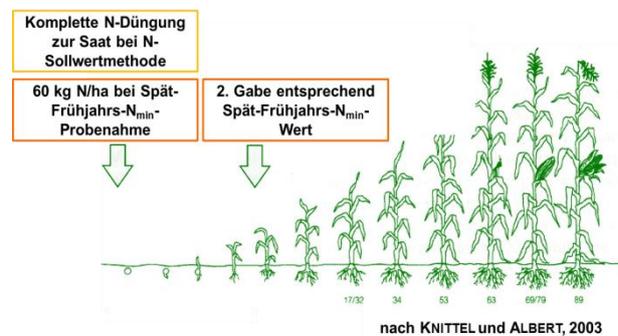


Abbildung 82: N-Düngung zu Mais nach der N-Sollwertmethode und der Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme, nach KNITTEL und ALBERT, 2003

Zur Validierung der verschiedenen N-Düngestrategien und der Berechnung jahres- und standortspezifischer Mineraldüngeräquivalente für einen möglichst effizienten grundwasser-schonenden Wirtschaftsdüngereinsatz wurde eine feste N-Düngestaffel angelegt.

Der Versuch wurde an vier Versuchsstandorten angelegt, um standortspezifische Einflüsse erfassen zu können. Abbildung 83 zeigt die Lage der Versuchsstandorte Poppenburg (Landkreis Hildesheim), Rockstedt (Landkreis Bremervörde), Wehnen (Landkreis Ammerland) und Werlte (Landkreis Emsland). An allen vier Versuchsstandorten wurde in dem Versuch die Maissorte Farmflex verwendet.

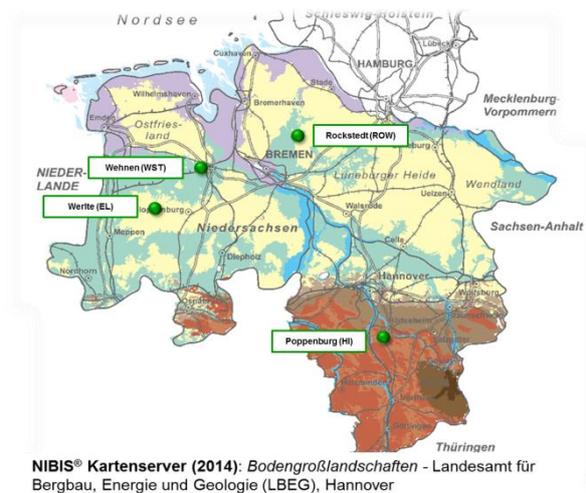


Abbildung 83: Lage der Versuchsstandorte zur Weiterentwicklung grundwasserschutzorientierter N-Düngestrategien im Silomaisanbau 2016

Mit Hilfe der festen N-Düngestaffel konnten zusätzlich zu den standortspezifischen Mineraldüngeräquivalenten der jeweiligen Wirtschaftsdünger in ergänzenden Varianten auch die Auswirkungen unterschiedlicher Ausbringungszeitpunkte und Einarbeitung von organischen Düngern erfasst werden.

3.2.2. Ergebnisse

Versuchsstandort Rockstedt



Abbildung 84: N-Düngestaffel Silomais; 09.07.2015; Versuchsstandort Rockstedt

Am Versuchsstandort Rockstedt waren die N_{\min} -Werte sowohl direkt nach der Ernte (Abbildung 85) als auch zu Beginn der Sickerwasserperiode (Abbildung 86) deutlich niedriger als am Versuchsstandort Poppenburg.

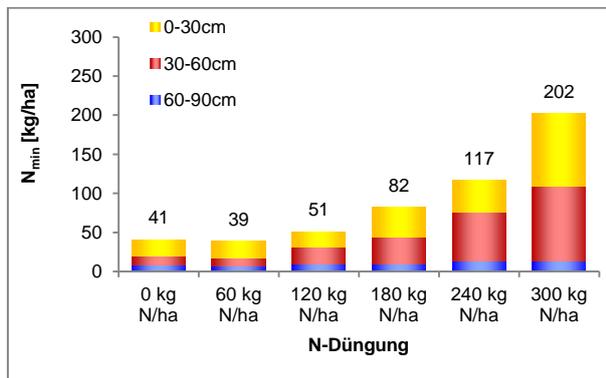


Abbildung 85: N_{\min} -Werte direkt nach der Silomais-ernte bei unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Rockstedt; 2015

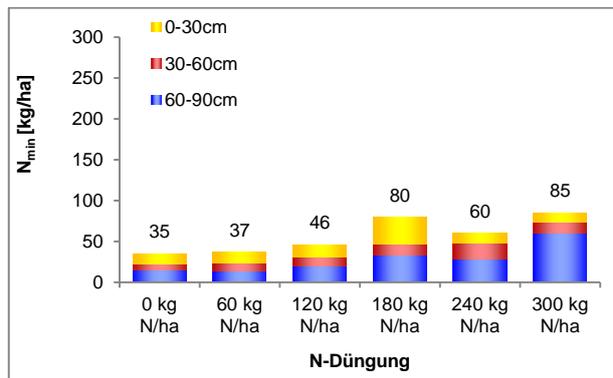


Abbildung 86: Herbst- N_{\min} -Werte nach Silomais mit unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Rockstedt; 2015

In der ungedüngten Variante und in den Varianten mit einer N-Düngung von 60 und 120 kg N/ha lagen die Ernte- N_{\min} -Werte 2015 am Versuchsstandort Rockstedt auf einem relativ einheitlichen Niveau zwischen 41 kg N_{\min} /ha in der ungedüngten Variante und 51 kg N_{\min} /ha in der mit 120 kg N/ha gedüngten Variante. Bei einer weiteren Steigerung der N-Düngung konnte ein Anstieg der N_{\min} -Werte auf bis zu 202 kg N_{\min} /ha in der mit 300 kg N/ha deutlich überdüngten Variante beobachtet werden. Einen Tag nach der Ernte- N_{\min} -Probenahme kam es - laut Fachprogramm zur Berechnung des Bodenwasserhaushaltes des LBEG (BOWAB®)- einmalig zu Sickerwasserbildung, bevor ab Ende-November am Versuchsstandort Rockstedt relativ kontinuierlich Sickerwasser auftrat.

Bei der Herbst- N_{\min} -Probenahme waren deshalb die Unterschiede zwischen den N_{\min} -Werten in den einzelnen Varianten deutlich schwächer ausgeprägt als direkt nach der Ernte und die N_{\min} -Werte lagen insgesamt auf einem niedrigeren Niveau. Die Herbst- N_{\min} -Werte variierten zwischen 35 kg N_{\min} /ha in der Variante ohne N-Düngung und 85 kg N_{\min} /ha in der mit 300 kg N/ha deutlich überdüngten Variante. Der Ernte N_{\min} -Wert in der Variante mit N-Sollwertdüngung lag bei 55 kg N_{\min} /ha.

Abbildung 87 zeigt die Ergebnisse der Ernte- N_{\min} -Probenahme und der Ertragsermittlung in den Varianten zum Vergleich der N-Düngestrategien und der Variante mit organischer Düngung im Vergleich zu den Ergebnissen der festen N-Düngestaffel.

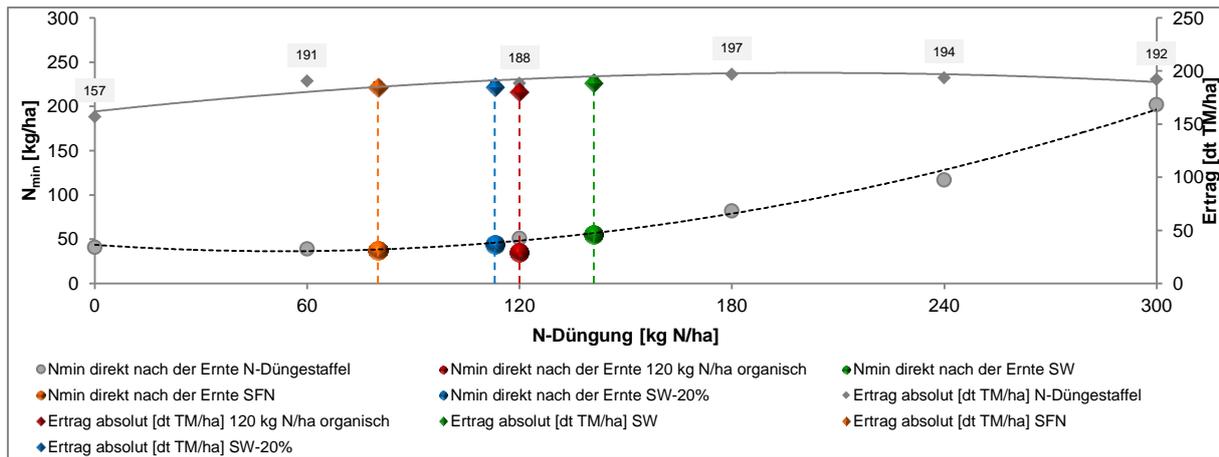


Abbildung 87: Versuch „Grundwasserschutzorientierte N-Düngung zu Silomais“ Ernte-N_{min}-Werte und Erträge; Versuchsstandort Rockstedt; 2015

In der Variante mit N-Sollwertdüngung wurde der Mais 2015 am Versuchsstandort Rockstedt mit 141 kg N/ha gedüngt.

Der Ernte-N_{min}-Wert lag in der Sollwertvariante bei 55 kg N_{min}/ha. Durch eine Reduzierung der N-Düngung auf 113 kg N/ha (Variante: SW-20 %) konnte der Ernte-N_{min}-Wert, bei einem Ertrag von 185 dt TM/ha, auf 44 kg N_{min}/ha gesenkt werden. In der Variante „Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme“ lag der Ernte-N_{min}-Wert bei 37 kg N_{min}/ha. In dieser Variante waren 80 kg N/ha gedüngt worden. Der Ertrag lag wie auch in der Variante mit reduzierter Sollwertdüngung bei 185 dt TM/ha.

Nicht nur der Einfluss der N-Düngung auf die N_{min}-Werte, auch der Einfluss auf den Ertrag war am Versuchsstandort Rockstedt deutlicher erkennbar als am Versuchsstandort Poppenburg. In der Variante ohne N-Düngung wurden 157 dt TM/ha geerntet. Durch eine N-Düngung von 60 kg N/ha konnte der Ertrag auf 191 dt TM/ha erhöht werden. In der Variante mit Sollwertdüngung lag der Ertrag bei 189 dt TM.

Abbildung 88 zeigt die Rohproteingehalte in den unterschiedlichen N-Düngungsvarianten.

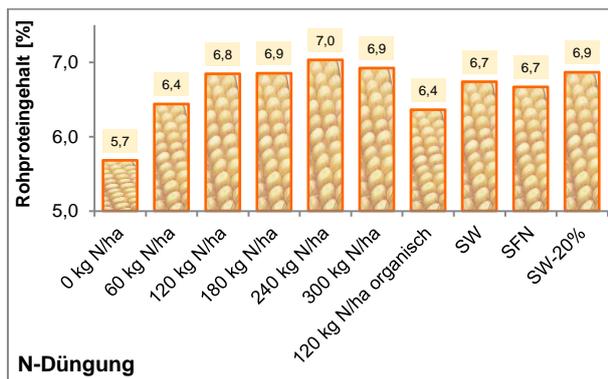


Abbildung 88. Rohproteingehalt von Silomais bei unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Rockstedt; 2015

In der Variante ohne N-Düngung lag der Rohproteingehalt bei 5,7 %. Der deutlichste Anstieg des Rohproteingehaltes trat bei einer Steigerung der N-Düngung von 0 kg N/ha auf 60 kg N/ha (Rohproteingehalt: 6,4 %) auf. In den gedüngten Varianten variierte der Rohproteingehalt zwischen 6,4 % (in der mit 60 kg N/ha gedüngten Variante) und 7 % (in der mit 240 kg N/ha gedüngten Variante).

In den Varianten zum Vergleich der N-Düngestrategien lag der Rohproteingehalt in der N-Sollwertvariante und in der Variante „Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme“ bei 6,7 %. In der Variante mit reduzierter Sollwertdüngung lag der Rohproteingehalt mit 6,9 % auf einem vergleichbaren Niveau.

Die N-Salden in den unterschiedlichen N-Düngungsvarianten sind in Abbildung 89 dargestellt.

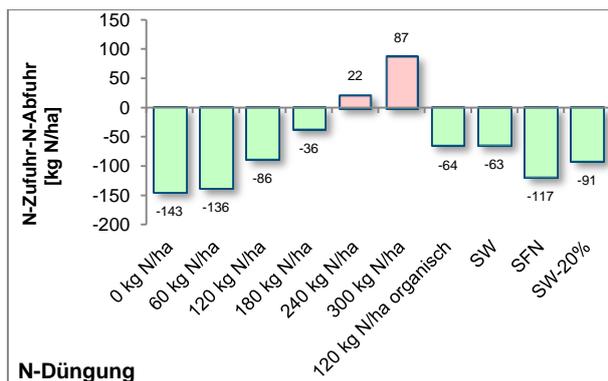


Abbildung 89: Gesamt-N-Zufuhr abzüglich N-Abfuhr, bei unterschiedlicher N-Düngung zu Silomais; Versuchsstandort Rockstedt; 2015

Auch am Versuchsstandort Rockstedt stiegen die N-Salden mit steigender N-Düngung. Bei einer Steigerung der N-Düngung von 0 kg N/ha auf 60 kg N/ha stieg der N-Saldo zunächst lediglich um 7 kg N/ha. Bei stark überhöhter N-Düngung (240 kg N/ha und 300 kg N/ha) traten am Versuchsstandort Rockstedt positive N-Salden in einer Höhe von 22 kg N/ha und 87 kg N/ha auf.

In den Varianten zum Vergleich der N-Düngestrategien war der N-Saldo in der Variante „Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme“ mit -117 kg N/ha am niedrigsten. Doch auch bei den beiden anderen N-Düngestrategien war der N-Saldo deutlich negativ, zwischen -63 kg N/ha und -91 kg N/ha.

Versuchsstandort Poppenburg



Abbildung 90: N-Düngestaffel Silomais; 15.09.2015; Versuchsstandort Poppenburg

Am Versuchsstandort Poppenburg, wurden 2015, wie bereits in den Vorjahren sowohl direkt nach der Ernte, als auch zu Beginn der Sickerwasserperiode aufgrund der hohen standörtlichen N-Nachlieferung sehr hohe N_{min} -Werte festgestellt. Auch die Erträge lagen im Vergleich zu den anderen Versuchsstandorten auf einem relativ hohen Niveau.

Die Ergebnisse der N_{min} -Probenahme direkt nach der Ernte am Versuchsstandort Poppenburg sind in Abbildung 91 dargestellt. Abbildung 92 zeigt die Herbst- N_{min} -Werte zu Beginn der Sickerwasserperiode.

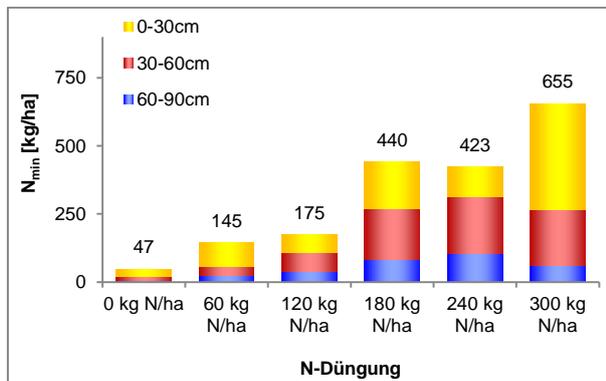


Abbildung 91: N_{min} -Werte direkt nach der Silomaisernte bei unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Poppenburg; 2015

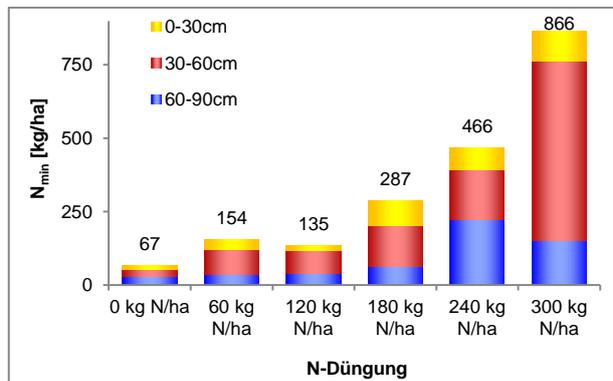


Abbildung 92: Herbst- N_{min} -Werte nach Silomais mit unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Poppenburg; 2015

Der niedrigste N_{min} -Wert trat sowohl direkt nach der Ernte (47 kg N_{min} /ha) als auch zu Beginn der Sickerwasserperiode (67 kg N_{min} /ha) in der Variante ohne N-Düngung auf. Mit steigender N-Düngung stiegen die N_{min} -Werte am Versuchsstandort Poppenburg sehr stark an. Bereits bei einer N-Düngung von 60 kg N/ha lag der N_{min} -Wert direkt nach der Ernte bei 145 kg N_{min} /ha und zu Beginn der Sickerwasserperiode bei 154 kg N_{min} /ha. Die hohen N_{min} -Werte in der Variante ohne N-Düngung und in der mit 60 kg N/ha nur niedrig gedüngten Variante zeigen deutlich das hohe N-Nachlieferungspotential des Standortes. Durch eine weitere Steigerung der N-Düngung auf 120 kg N/ha erhöhte sich der N_{min} -Wert direkt nach der Ernte auf 175 kg N_{min} /ha.

Bis zum Beginn der Sickerwasserperiode konnte bereits eine abwärts gerichtete Verlagerung des mineralisierten Stickstoffs beobachtet werden. Bei der Herbst- N_{min} -Probenahme lag der N_{min} -Wert, bei einer N-Düngung von 120 kg N/ha, mit 135 kg N_{min} /ha nicht höher als bei einer N-Düngung von 60 kg N/ha. In der Variante mit einer N-Düngung von 180 kg N/ha lag der Herbst- N_{min} -Wert bereits bei 287 kg N_{min} /ha und stieg in den Varianten mit deutlich überhöhter N-Düngung auf über 400 kg N_{min} /ha.

Abbildung 93 zeigt die Ernte- N_{min} -Werte und die Erträge in den Varianten zum Vergleich der unterschiedlichen N-Düngestrategien und die Ergebnisse aus der festen N-Düngestaffel.

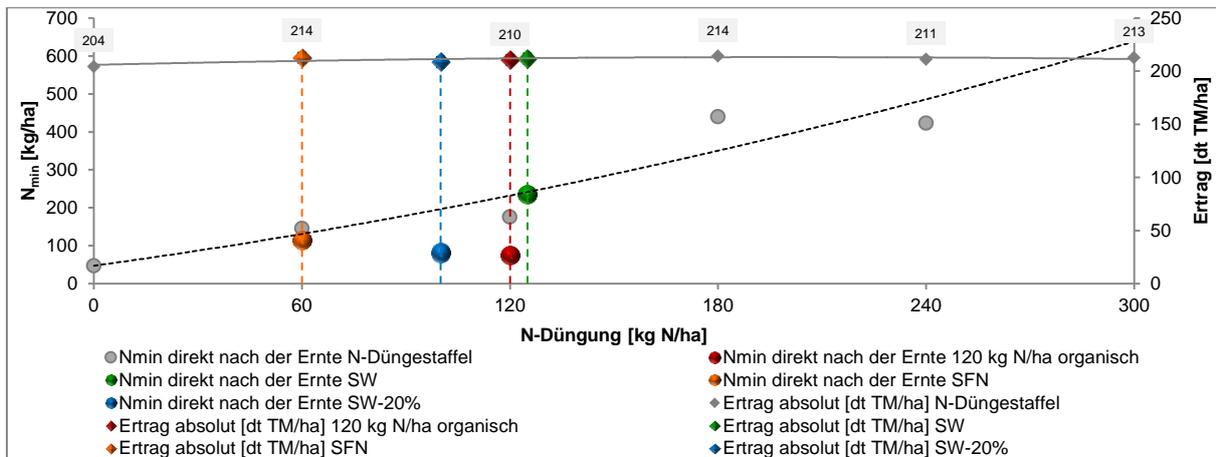


Abbildung 93: Versuch „Grundwasserschutzorientierte N-Düngung zu Silomais“ Ernte- N_{min} -Werte und Erträge; Versuchsstandort Poppenburg; 2015

Der anhand des N-Sollwertschemas ermittelte N-Düngebedarf am Versuchsstandort Poppenburg lag 2015 bei 125 kg N/ha. In dieser Variante wurde ein Ertrag von 212 dt TM/ha erzielt. Statistisch absicherbare Ertragsunterschiede im Vergleich zur Variante mit Sollwertdüngung traten in keiner Variante auf. Auch in der ungedüngten Variante lag der Ertrag bereits bei 204 dt TM/ha.

In den Varianten mit reduzierter N-Sollwertdüngung und „Spät-Frühjahrs- N_{min} -Probenahme“ konnte somit die N-Düngung 2015 am Versuchsstandort Poppenburg ohne Ertragseffekt reduziert werden. Die Ernte N_{min} -Werte sanken zwar, lagen allerdings mit 114 kg N_{min} /ha in der Variante „Spät-Frühjahrs- N_{min} -Probenahme“, trotz einer N-Düngung von lediglich 60 kg N/ha, immer noch auf einem sehr hohen Niveau.

In der organisch gedüngten Variante war der N_{min} -Wert mit 75 kg N_{min} /ha im Vergleich zum Ernte- N_{min} -Wert in der entsprechend mineralisch gedüngten Variante (175 kg N_{min} /ha) relativ gering. Dies war 2015 am Versuchsstandort Poppenburg auch in den Varianten mit organischer N-Düngung in Höhe des N-Sollwertes zu beobachten (vergl. Abbildung 110).

Abbildung 94 zeigt die Rohproteingehalte des Silomais am Versuchsstandort Poppenburg bei unterschiedlicher N-Düngung.

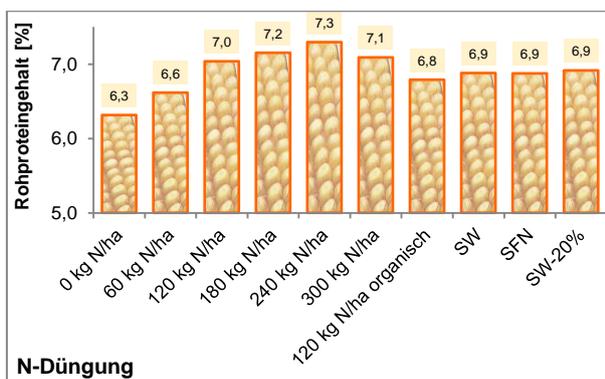


Abbildung 94: Rohproteingehalt von Silomais bei unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Poppenburg; 2015

Während die Höhe der N-Düngung am Versuchsstandort Poppenburg die Trockenmasseerträge kaum beeinflusste, stiegen die Rohproteingehalte in den Varianten der festen N-Düngestaffel mit zunehmender N-Düngung an. Der Rohproteingehalt stieg in diesen Varianten von 6,3 % in der Variante ohne N-Düngung auf 7,3 % in der höchsten N-Düngungsstufe.

In allen drei Varianten zum Vergleich unterschiedlicher N-Düngestrategien lag der Rohproteingehalt einheitlich bei 6,9 %.

Der N-Saldo aus N-Zufuhr abzüglich N-Abfuhr ist in Abbildung 95 dargestellt.

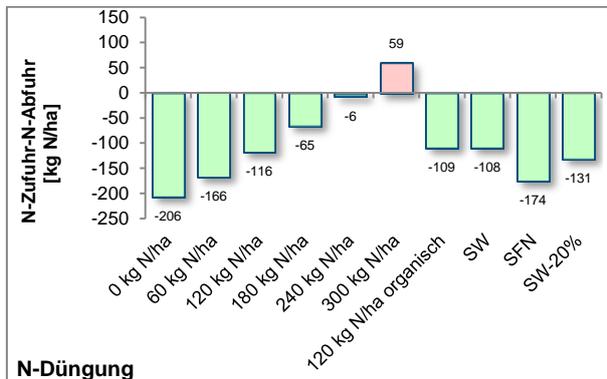


Abbildung 95: Gesamt-N-Zufuhr abzüglich N-Abfuhr, bei unterschiedlicher N-Düngung zu Silomais; Versuchsstandort Poppenburg; 2015

In den Varianten der festen N-Düngestaffel stieg der N-Saldo mit steigender N-Düngung. Eine positive N-Bilanz wurde 2015 am Versuchsstandort Poppenburg lediglich in der mit 300 kg N/ha deutlich überdüngten Variante errechnet. In allen drei Varianten zum Vergleich der N-Düngestrategien war der N-Saldo, mit -108 kg N/ha bis -174 kg N/ha deutlich negativ.

Versuchsstandort Wehnen



Abbildung 96: Versuch zur grundwasserschutzorientierten N-Düngung von Silomais; 22.06.2015; Versuchsstandort Wehnen

Am Versuchsstandort Wehnen konnte mit steigender N-Düngung zu Silomais sowohl direkt nach der Ernte als auch zu Beginn der Sickerwasserperiode ein deutlicher Anstieg der Reststickstoffgehalte im Herbst im Boden beobachtet werden.

Die Ernte N_{min} -Werte 2015 am Versuchsstandort Wehnen sind in Abbildung 97 dargestellt. Abbildung 98 zeigt die Herbst- N_{min} -Werte.

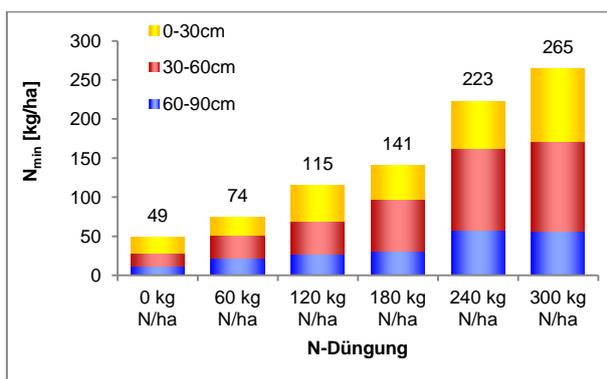


Abbildung 97: N_{min} -Werte direkt nach der Silomaisernte bei unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Wehnen; 2015

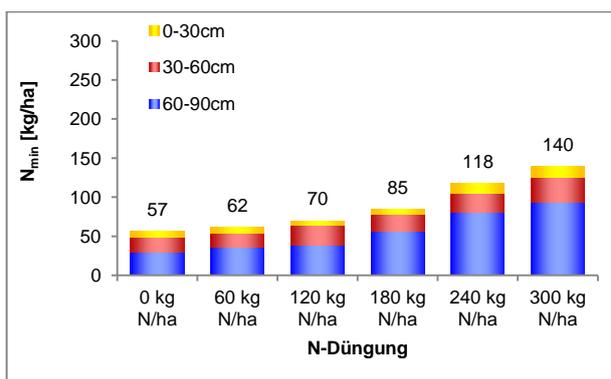


Abbildung 98: Herbst- N_{min} -Werte nach Silomais mit unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Wehnen; 2015

Direkt nach der Ernte trat der niedrigste N_{min} -Wert (49 kg N_{min} /ha) in der Variante ohne N-Düngung auf. In der Variante mit einer N-Düngung von 60 kg N/ha lag der Ernte- N_{min} -Wert bei 74 kg N_{min} /ha. Ab einer N-Düngung von 120 kg N/ha lagen die Ernte N_{min} -Werte bereits über 100 kg N_{min} /ha. Der höchste Ernte- N_{min} -Wert (265 kg N_{min} /ha) wurde in der mit 300 kg

N/ha deutlich überdüngten Variante festgestellt. Ein Vergleich der Ergebnisse der N_{\min} -Untersuchungen direkt nach der Ernte und zu Beginn der Sickerwasserperiode zeigte auch am Versuchsstandort Wehnen eine Abwärtsverlagerung des mineralischen Stickstoffs im Boden. Das Berechnungsmodell des LBEG für den Bodenwasserhaushalt wird derzeit für einige leichte Sandstandorte erneut validiert. Ein Vergleich der Ernte- und Herbst- N_{\min} -Werte deutet auf eine bereits erfolgte Nitratauswaschung zum errechneten Termin für den Beginn der Sickerwasserspende hin.

Der niedrigste N_{\min} -Wert (57 kg N_{\min} /ha) trat auch zu Beginn der Sickerwasserperiode in der Variante ohne N-Düngung auf und mit steigender N-Düngung nahmen die Herbst- N_{\min} -Werte zu. Der höchste Herbst- N_{\min} -Wert (140 kg N_{\min} /ha) wurde auch zu Beginn der Sickerwasserperiode in der Variante mit der höchsten N-Düngung festgestellt.

Die Ernte- N_{\min} -Werte in den drei Varianten zum Vergleich der N-Düngestrategien und die Erträge sind in Abbildung 99 dargestellt.

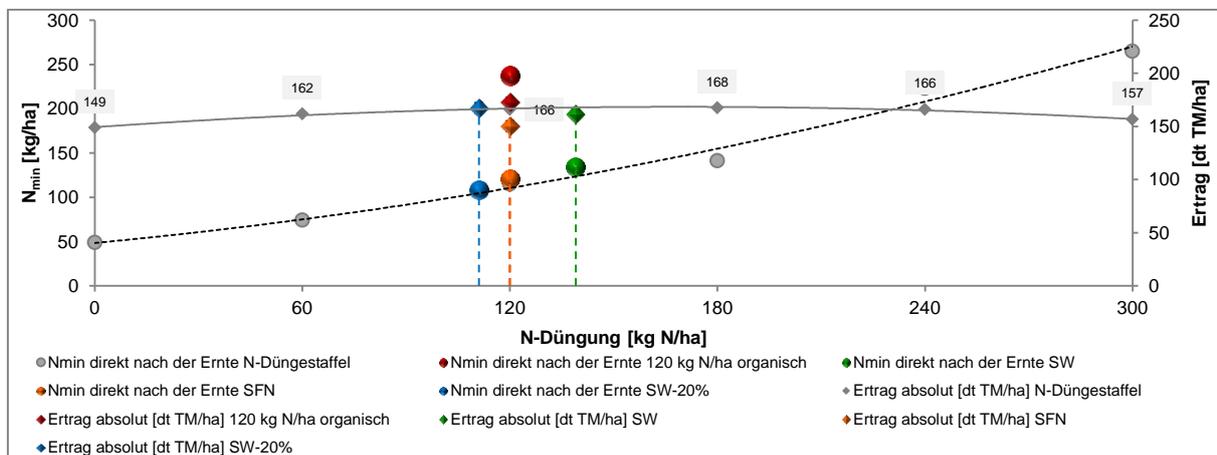


Abbildung 99: Versuch „Grundwasserschutzorientierte N-Düngung zu Silomais“ Ernte- N_{\min} -Werte und Erträge; Versuchsstandort Wehnen; 2015

In der N-Sollwertvariante wurden am Versuchsstandort Wehnen 139 kg N/ha gedüngt. In der Variante „Spät-Frühjahrs- N_{\min} -Probenahme“ wurde ein N-Düngebedarf von 120 kg N/ha ermittelt.

Die Ernte- N_{\min} -Werte sanken in den drei Varianten zum Vergleich der N-Düngestrategien mit einer Reduzierung der N-Düngung ebenfalls ab. In der „N-Sollwertvariante“ war der Ernte- N_{\min} -Wert mit 134 kg N_{\min} /ha relativ hoch. In der Variante mit einer um 20 % reduzierten Sollwertdüngung (N-Düngung: 111 kg N/ha) wurde ein Ernte- N_{\min} -Wert von 108 kg N_{\min} /ha ermittelt. Der höchste Ertrag in den drei Varianten zum Vergleich der N-Düngestrategien (167 dt TM/ha) wurde in der Variante mit reduzierter Sollwertdüngung erzielt.

Die Rohproteingehalte des Silomaises bei unterschiedlicher N-Düngung sind in Abbildung 100 dargestellt.

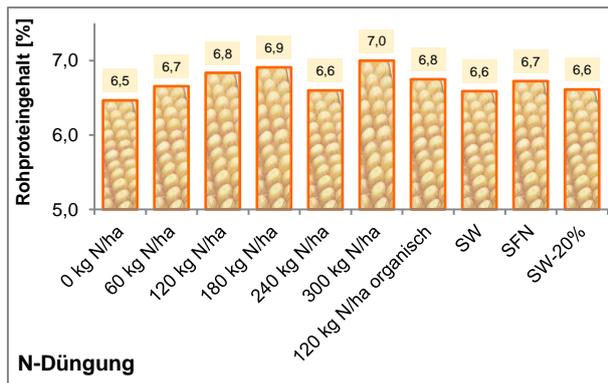


Abbildung 100: Rohproteingehalt von Silomais bei unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Wehnen; 2015

Am Versuchsstandort Wehnen stieg der Rohproteingehalt zwar zunächst, wie an den anderen Versuchsstandorten, mit steigender N-Düngung (von 6,5 % auf 6,9 %) an. Der Silomais in der mit 240 kg N/ha gedüngten Variante hatte jedoch lediglich einen Rohproteingehalt von 6,6 %. In der mit 300 kg N/ha deutlich überdüngten Variante lag der Rohproteingehalt bei 7 %.

In den drei Varianten zum Vergleich der N-Düngestrategien variierte der Rohproteingehalt lediglich um 0,1 %.

Abbildung 101 zeigt die N-Salden in den einzelnen Varianten am Versuchsstandort Wehnen.

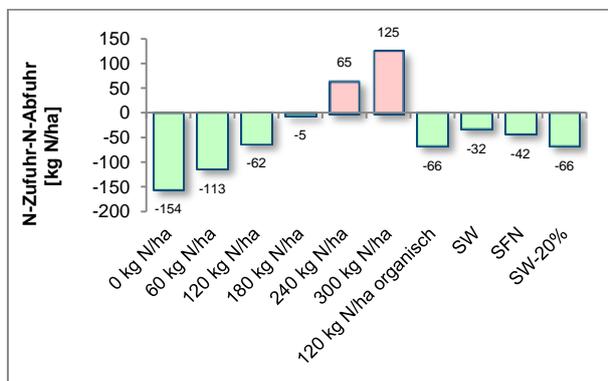


Abbildung 101: Gesamt-N-Zufuhr abzüglich N-Abfuhr, bei unterschiedlicher N-Düngung zu Silomais; Versuchsstandort Wehnen; 2015

Wie auch an den Versuchsstandorten Rockstedt und Werlte traten am Versuchsstandort Wehnen in den Varianten der N-Düngestaffel bis zu einer N-Düngung von 180 kg N/ha negative N-Salden auf. Bei einer weiteren Steigerung der N-Düngung wurden positive N-Salden von 65 kg N/ha und 125 kg N/ha festgestellt. In allen Varianten zum Vergleich der N-Düngestrategien war der N-Saldo negativ.

Durch eine Reduzierung der N-Sollwertdüngung um 20 % konnte der N-Saldo von -32 kg N/ha auf -66 kg N/ha gesenkt werden.

Versuchsstandort Werlte

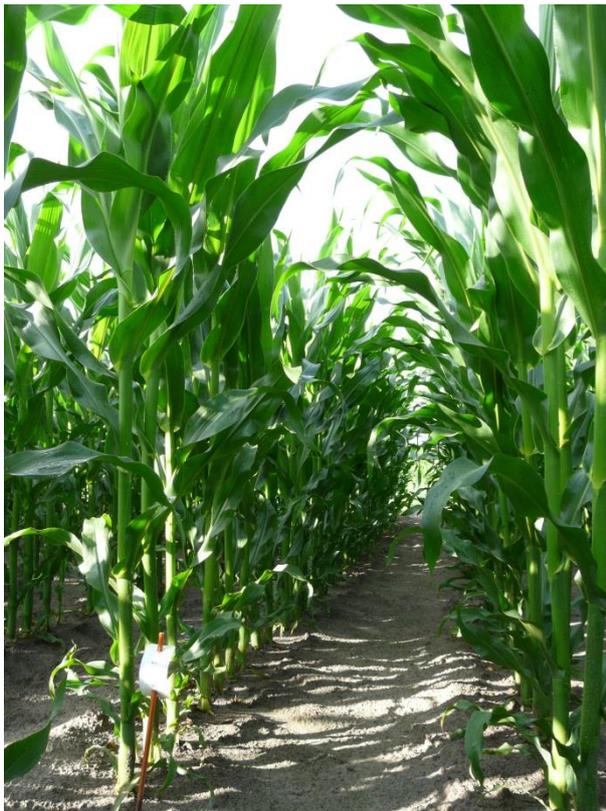


Abbildung 102: Versuch zur grundwasserschutzorientierten N-Düngung von Silomais; 08.07.2015; Versuchsstandort Werlte

Am Versuchstandort Werlte konnte, besonders in den Varianten mit überhöhter N-Düngung, ein deutlicher Einfluss der Höhe der N-Düngung sowohl auf die Ernte- als auch auf die Herbst-N_{min}-Werte festgestellt werden (Abbildung 103 und Abbildung 104). Der niedrigste Ernte-N_{min}-Wert (29 kg N_{min}/ha) trat in der Variante ohne N-Düngung auf. In der mit 60 kg N/ha gedüngten Variante lag der Ernte N_{min}-Wert bei 34 kg N_{min}/ha und stieg bei einer N-Düngung von 120 kg N/ha lediglich auf 50 kg N_{min}/ha an. In der mit 180 kg N/ha etwas höher als entsprechend der N-Sollwertempfehlung, gedüngten Variante wurde ein Ernte-N_{min}-Wert von 85 kg N_{min}/ha ermittelt.

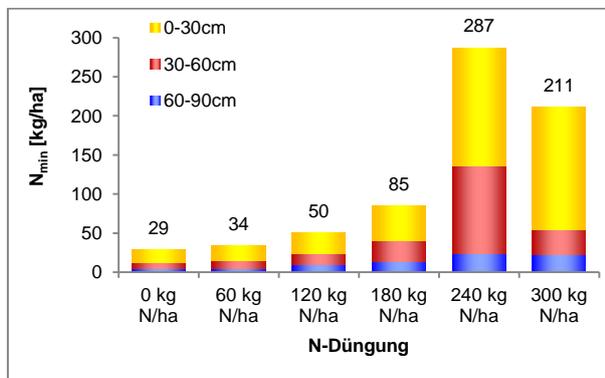


Abbildung 103: N_{min}-Werte direkt nach der Silomais-ernte bei unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Werlte; 2015

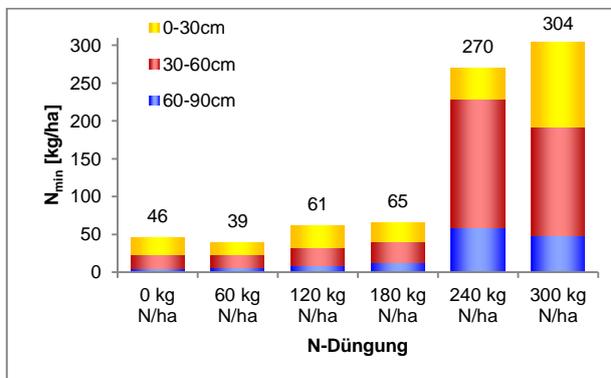


Abbildung 104: Herbst-N_{min}-Werte nach Silomais mit unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Werlte; 2015

In den mit 240 und 300 kg N/ha deutlich überhöht gedüngten Varianten kam es an beiden Probenahmeterminen auch zu einem deutlichen Anstieg der N_{min}-Werte. In beiden Varianten wurden N_{min}-Werte über 200 kg N_{min}/ha festgestellt. Die Schichtung des mineralisierten Stickstoffs im Boden zeigt bei einem Vergleich der Ernte- und Herbst-N_{min}-Werte, dass zwischen den beiden Probenahmeterminen eine Verlagerung nach unten stattgefunden hat.

Abbildung 105 zeigt die Ernte-N_{min}-Werte und die Erträge in den drei N-Düngestrategien und in der Variante mit organischer Düngung (120 kg gesamt-N/ha).

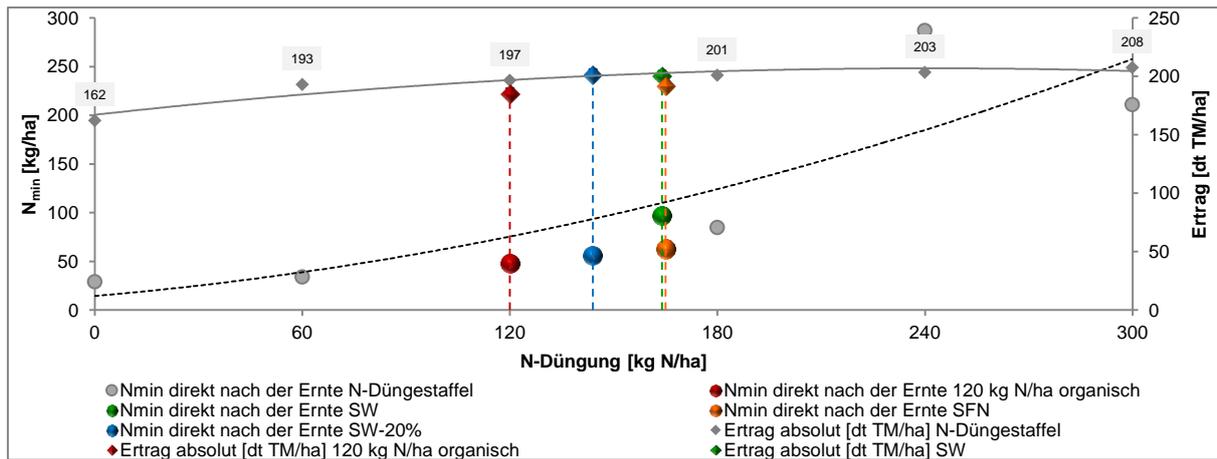


Abbildung 105: Versuch „Grundwasserschutzorientierte N-Düngung zu Silomais“ Ernte-N_{min}-Werte und Erträge; Versuchsstandort Werlte; 2015

In der Variante mit organischer Düngung (120 kg N/ha) lag der Ernte-N_{min}-Wert bei 48 kg N_{min}/ha. In den drei Varianten zum Vergleich unterschiedlicher N-Düngestrategien variierten die Ernte-N_{min}-Werte von 56 kg N_{min}/ha (in der Variante mit reduzierter Sollwertdüngung) und 97 kg N_{min}/ha (in der N-Sollwertvariante). Am Versuchsstandort Werlte unterschied sich der anhand der Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme ermittelte N-Düngebedarf (165 kg N/ha) lediglich um 1 kg N/ha von dem mit Hilfe des N-Sollwertschemas (164 kg N/ha) ermittelten N-Düngebedarf. In der Variante „Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme“ lag der Ernte-N_{min}-Wert bei 63 kg N_{min}/ha.

Wie auch am Versuchsstandort Wehnen wurde in den Varianten zum Vergleich der N-Düngestrategien der höchste Ertrag (202 dt TM/ha) in der Variante mit reduzierter N-Sollwertdüngung geerntet.

Die Rohproteingehalte des Silomais bei unterschiedlicher N-Düngung am Versuchsstandort Werlte sind in Abbildung 106 dargestellt.

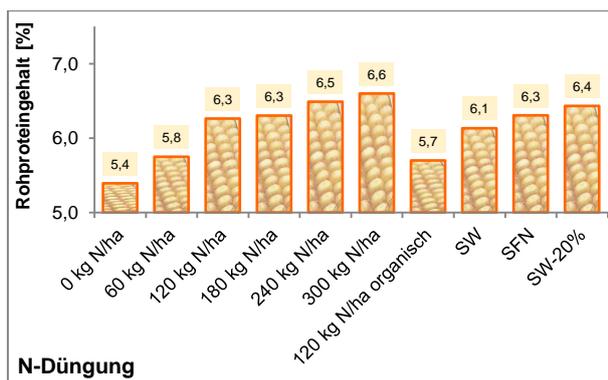


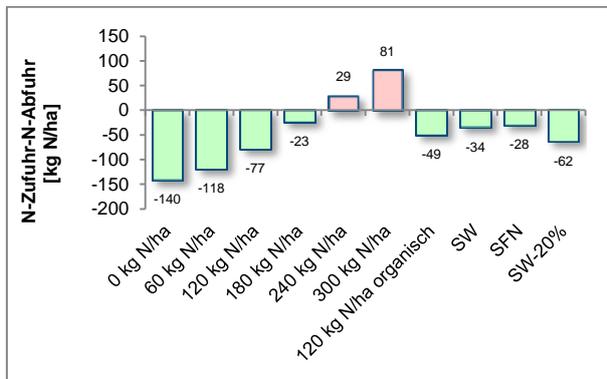
Abbildung 106: Rohproteingehalt von Silomais bei unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Werlte; 2015

Der höchste Rohproteingehalt lag bei 6,6 % und trat am Versuchsstandort Werlte in der mit 300 kg N/ha deutlich überdüngten Variante auf. In den Varianten zum Vergleich der N-Düngestrategien variierte der Rohproteingehalt zwischen 6,1 % in der N-Sollwertvariante und 6,4 % in der Variante mit reduzierter Sollwertdüngung. Die Rohproteingehalte verdeutlichen sowohl durch die absolute Höhe, als auch durch ihre hohe Variabilität, dass Rückschlüsse

Insgesamt lagen die Rohproteingehalte am Versuchsstandort Werlte auf einem etwas niedrigeren Niveau als an den drei anderen Versuchsstandorten. Besonders bei einer Steigerung der N-Düngung von 60 kg N/ha auf 120 kg N/ha konnte ein deutlicher Anstieg der Rohproteingehalte von 5,8 % auf 6,3 % festgestellt werden.

vom Rohproteingehalt auf die Höhe der N-Düngung kaum möglich sind und bestätigen die [Ergebnisse vorangegangener Feldversuche](#).

Abbildung 107 zeigt die aus N-Zufuhr abzüglich N-Abfuhr errechneten N-Salden.



Der N-Saldo lag in der ungedüngten Variante bei -140 kg N/ha. Mit steigender N-Düngung stieg auch der N-Saldo auf bis zu 81 kg N/ha in der mit 300 kg N/ha deutlich überdüngten Variante an. In den drei Varianten zum Vergleich der N-Düngestrategien wurde der niedrigste N-Saldo (-62 kg N/ha) in der Variante mit reduzierter Sollwertdüngung ermittelt.

Abbildung 107: Gesamt-N-Zufuhr abzüglich N-Abfuhr, bei unterschiedlicher N-Düngung zu Silomais; Versuchsstandort Werlte; 2015

Ausbringungszeitpunkt und Einarbeitung organischer Düngung



Abbildung 108: Variante geteilte organische N-Düngung mit anschließender Einarbeitung; Versuchsstandort Werlte; 23.06.2015

Zusätzlich zu der Variante mit einer organischen Düngung von 120 kg Gesamt-N/ha wurden durch den Fachbereich für Grünland und Futterbau drei weitere Varianten mit Gülle- oder Gärrestdüngung in Höhe des N-Sollwertes angelegt. In diesen Varianten wurden die Auswirkungen von Ausbringungszeitpunkt und Einarbeitung beim Einsatz von Wirtschaftsdüngern untersucht. Während in der ersten Variante der Wirtschaftsdünger in Höhe der Sollwertdüngung vor der Saat ausgebracht wurde, wurde in den beiden anderen Varianten die N-Düngung in zwei gleiche Gaben aufgeteilt und die zweite Gabe zum spätesten möglichen Zeitpunkt gegeben. Bei der geteilten Düngung wurden ergänzend die Auswirkungen der Einarbeitung untersucht (Abbildung 108).

Temperaturverlauf und Niederschläge an den Ausbringungsterminen der organischen Düngung für die vier Versuchsstandorte sind im Anhang dargestellt (Abbildung 153 bis Abbildung 156). Abbildung 109 zeigt die mittleren Ernte-/Herbst- N_{\min} -Werte der drei Varianten an den vier Versuchsstandorten. Da der Versuchsstandort einen deutlichen Einfluss auf die N_{\min} -Werte hatte, sind die Einzelergebnisse der jeweiligen Versuchsstandorte in Abbildung 110 dargestellt.

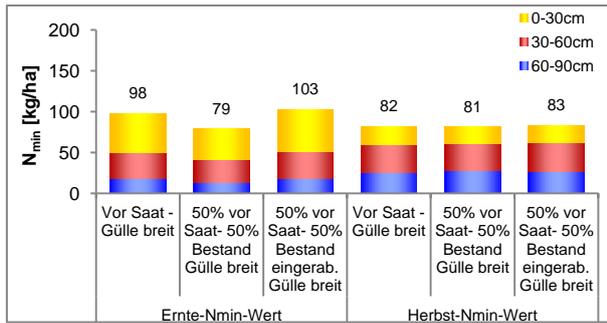


Abbildung 109: Einfluss des Ausbringungszeitpunktes und der Einarbeitung bei organischer Düngung in Höhe des N-Sollwertes bei Silomais auf die Ernte- und Herbst-N_{min}-Werte (Versuchsstandorte Poppenburg, Rockstedt, Wehnen und Werlte gemittelt)

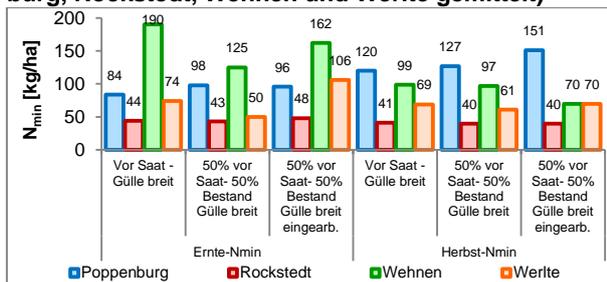


Abbildung 110: Einfluss des Ausbringungszeitpunktes und der Einarbeitung bei organischer Düngung in Höhe des N-Sollwertes bei Silomais auf die Ernte- und Herbst-N_{min}-Werte

Für die jeweiligen Varianten mit organischer N-Düngung wurden standortspezifische N-Mineraldüngeräquivalente berechnet (Abbildung 111).

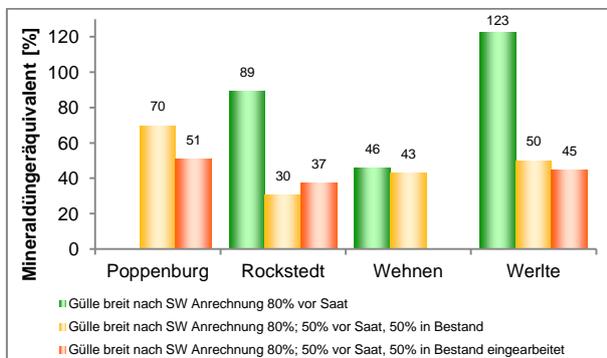


Abbildung 111: N-Mineraldüngeräquivalente von Gülle/Gärrest bei unterschiedlicher N-Düngungshöhe und Ausbringungszeitpunkt; 2015

Die geringeren Mineraldüngeräquivalente bei einer Aufteilung der N-Düngung konnten auch durch Einarbeitung der Wirtschaftsdünger nicht immer erhöht werden. Der Versuch wird fortgesetzt, um anhand mehrjähriger Ergebnisse abgesicherte Beratungsempfehlungen bezüglich der N-Effizienz erstellen zu können.

Wie in Abbildung 109 dargestellt, hatten im ersten Versuchsjahr weder der Ausbringungszeitpunkt noch die Einarbeitung einen standortübergreifenden Einfluss auf die Ernte- und Herbst-N_{min}-Werte. Der Versuch wird fortgesetzt, um anhand mehrjähriger Ergebnisse Beratungsaussagen herleiten zu können. Zu Beginn der Sickerwasserperiode variierten die gemittelten N_{min}-Werte in den drei Varianten lediglich um 2 kg N_{min}/ha.

Auch an den einzelnen Versuchsstandorten konnte bei N-Düngung in Höhe des N-Sollwertes kein Einfluss des Ausbringungszeitpunktes und der Einarbeitung auf die Ernte-/Herbst-N_{min}-Werte festgestellt werden.

In einigen Fällen konnte jedoch aufgrund des standort- und jahresspezifischen Verlaufs der Ertragskurve und der Erträge in einzelnen Varianten kein Mineraldüngeräquivalent berechnet werden. An den Versuchsstandorten Rockstedt, Wehnen und Werlte konnten bei Wirtschaftsdüngerausbringung vor der Saat höhere Mineraldüngeräquivalente erzielt werden als bei geteilter Düngergabe.

Vergleich grundwasserschutzorientierter N-Düngestrategien im Silomaisanbau

- Mit steigender N-Düngung stiegen an allen vier Versuchsstandorten die Ernte- N_{\min} -Werte an. Besonders bei Überschreiten des N-Düngebedarfs steigen die N_{\min} -Werte überproportional an.

Im Mittel der Jahre und Standorte waren sowohl die N-Sollwertmethode, als auch die Spät-Frühjahrs- N_{\min} -Methode geeignet, um den N-Düngebedarf von Silomais zu ermitteln. Bei der N-Düngebedarfsermittlung muss besonders auf langjährig organisch gedüngten oder stark N-nachliefernden Standorten, die bodenbürtige N-Nachlieferung berücksichtigt werden. Da diese stark variiert, kann keine N-Düngestrategie standortübergreifend empfohlen werden.

- Grundsätzlich hat der Standort einen großen Einfluss auf die Herbst- N_{\min} -Werte im Silomais. Je stärker der Standort nachliefert, umso wichtiger ist die präzise Ermittlung des N-Düngebedarfs um hohe Herbst- N_{\min} -Werte zu vermeiden.
 - Besonders bei Standorten mit sehr hoher bodenbürtiger N-Nachlieferung, wie beispielsweise am Versuchsstandort Poppenburg oder auf langjährig organisch gedüngten Standorten, bietet die Spät-Frühjahrs- N_{\min} -Probenahme eine Möglichkeit die N-Düngung jahres- und standortspezifisch anzupassen und das Einsparpotential bei der N-Düngung entsprechend zu nutzen.
 - Die N-Düngestrategie muss jedoch auch entsprechend der betriebsspezifischen Anforderungen ausgewählt werden. Bei Wirtschaftsdüngereinsatz ist es aus arbeitswirtschaftlichen Gründen häufig sinnvoll, die N-Düngung in einem Arbeitsgang vor der Aussaat durchzuführen.
- Silomais kann aufgrund der guten zeitlichen Übereinstimmung von N-Mineralisation im Boden und N-Bedarf der Pflanze die standörtliche N-Nachlieferung des Standortes sehr gut nutzen. Dies zeigen die hohen N-Entzüge in ungedüngten oder niedrig gedüngten Varianten.
 - Im Silomaisanbau werden geringe Reststickstoffgehalte im Herbst im Boden und optimale Erträge bei deutlich negativen N-Flächenbilanzen (N-Zufuhr abzüglich N-Abfuhr) erzielt.
- Treten auch bei Sollwertdüngung unter Berücksichtigung der Korrekturfaktoren wiederholte hohe Herbst- N_{\min} -Werte auf, kann die Sollwertdüngung häufig mit geringen Ertragseffekten um 10-20 % reduziert werden, um -besonders bei der Teilnahme an erfolgshonorierten Freiwilligen Vereinbarungen- hohe Herbst- N_{\min} -Werte zu vermeiden.
- Vegetationsbegleitende Untersuchungen, wie Spät-Frühjahrs- N_{\min} -Probenahmen oder Nitrachek-Analysen helfen die N-Nachlieferung des Standortes und die N-Versorgung der Pflanzen einzuschätzen und zu beurteilen, ob weiterer N-Düngebedarf besteht. Die Ergebnisse müssen jedoch immer im Zusammenhang mit Standorteigenschaften, Witterungsverlauf und vorangegangenen Bewirtschaftungsmaßnahmen beurteilt werden.

3.3. Weiterentwicklung regionalspezifischer Strategien zur grundwasserschutzorientierten Winterweizendüngung

- Welche Maßnahmen eignen sich regionalspezifisch zur grundwasserschutzorientierten N-Düngung von Winterweizen?

In einem, vom Fachbereich „Pflanzenbau, Saatgut“ durchgeführten Versuch zur N-Düngung von Winterweizen wurden 2015 an verschiedenen Standorten Varianten angelegt um unterschiedliche, regionalspezifische Strategien zur grundwasserschutzorientierten N-Düngung zu untersuchen. Die [N-Düngeempfehlungen der LWK](#) (N-Sollwert und Korrekturfaktoren) sind auf der Internetseite der LWK verfügbar. Abbildung 112 zeigt die empfohlene Aufteilung der N-Düngung zu Winterweizen.

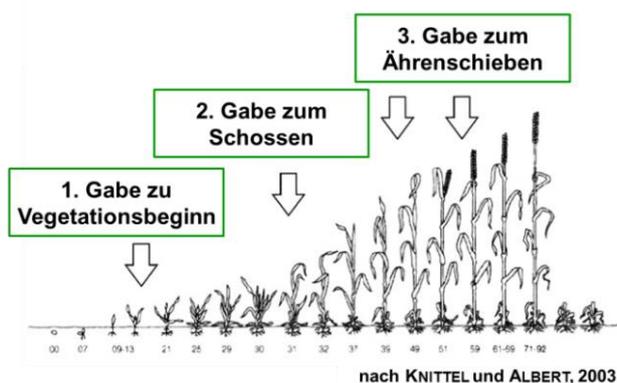


Abbildung 112: Aufteilung der N-Düngung zu Winterweizen nach KNITTEL und ALBERT (2003)

Tabelle 11 zeigt, welche Maßnahmen zur grundwasserschutzorientierten Gestaltung der N-Düngung an den einzelnen Standorten durchgeführt wurden. In einigen Wasserschutzvarianten wurde beispielsweise auf die dritte N-Düngergabe zum Ährenschieben (Spätgabe) verzichtet, oder die Spätgabe wurde reduziert, beziehungsweise vorgezogen.

Die Reduzierung der Spätgabe kann dazu beitragen, die Ernte- N_{min} -Werte zu senken, da besonders bei Frühsommertrockenheit die Gefahr besteht, dass die Pflanzen den spät gedüngten Stickstoff nicht mehr vollständig aufnehmen können.

Tabelle 11: Versuch N-Düngung zu Winterweizen; Gestaltung der regionalspezifischen Wasserschutzvariante - Übersicht

Standort	Wasserschutzvariante
Winterweizen mit Blattvorfrucht	
Borwede (LK Diepholz)	Reduzierung der Sollwert-Düngung um 10%; Verteilung auf 2 Gaben
Höckelheim (LK Northeim)	Reduzierung der Sollwert-Düngung bei gleichmäßiger Verteilung (50/50/50)
Otterndorf (LK Cuxhaven)	Reduzierung der Sollwertdüngung um 30 kg N/ha
Winterweizen mit Getreidevorfrucht	
Höckelheim (LK Northeim)	Reduzierung Sollwertdüngung-Düngung auf 230 kg N/ha Verteilung auf 3 Gaben; Spätgabe zu EC 47
Königslutter (LK Helmstedt)	Reduzierung der Sollwert-Düngung um 50 kg N/ha (16 %); Stabilisierte Düngung zum Schossen und vorgezogene Spätgabe
Poppenburg (LK Hildesheim)	Reduzierung der Sollwert-Düngung um 20 kg N/ha; höhere N-Gabe zum Schossen dafür Reduzierung der Spätgabe

Abbildung 113 zeigt die Lage der Versuchsstandorte 2016.

Zusätzlich zu den verschiedenen N-Düngungsstufen und der Wasserschutzvariante wurden weitere Varianten, wie beispielsweise zur Validierung des [ISIP-Modells](#), oder eine Variante mit frühjahrsbetonter Sollwertdüngung angelegt.

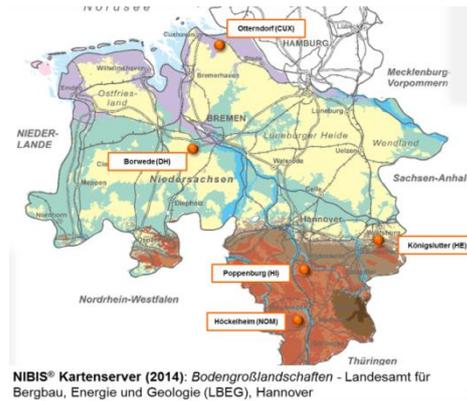


Abbildung 113: Lage der Versuchsstandorte zur grundwasserschutzorientierten N-Düngung von Winterweizen

3.3.1. Ergebnisse

Insgesamt bestätigen die N_{\min} -Werte 2015 die Ergebnisse der N_{\min} -Untersuchungen aus Weizendüngungsversuchen der Vorjahre und zeigen, dass eine Reduzierung der N-Düngung bei Winterweizen im Vergleich zu Silomais einen relativ geringen Einfluss auf die N_{\min} -Werte direkt nach der Ernte hat. Eine Reduzierung der N-Düngung führte in den vorangegangenen Versuchsjahren häufig auch zu geringeren N-Entzügen und konnte somit die Reststickstoffgehalte im Boden direkt nach der Ernte kaum reduzieren. Eine Steigerung der N-Düngung über den N-Sollwert hinaus sollte keinesfalls erfolgen, um das Risiko der Nitratauswaschung als Folge hoher Reststickstoffgehalte im Herbst im Boden zu minimieren. Abbildung 115 zeigt die N_{\min} -Werte in den Wasserschutzvarianten und in den entsprechend der N-Sollwertempfehlungen gedüngten Varianten an den Versuchsstandorten Borwede, Königslutter und Otterndorf im Vergleich.



Abbildung 114: Winterweizen; 12.06.2015; Versuchsstandort Borwede

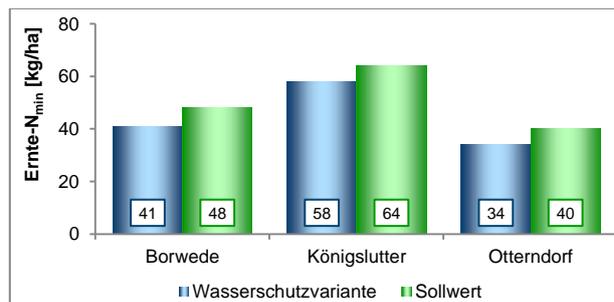


Abbildung 115: Vergleich der Ernte- N_{\min} -Werte in der Wasserschutzvariante und in der Variante mit Sollwertdüngung

An den drei Versuchsstandorten waren die Ernte- N_{\min} -Werte 2015 im Vergleich zur N-Sollwert-Variante leicht reduziert. Die Unterschiede waren jedoch sehr gering und häufig im Fehlerbereich der N_{\min} -Methode.

Dies wird durch die Auswertung der Ernte- N_{min} -Werte im langjährigen Mittel bestätigt (Abbildung 116). Im langjährigen Mittel traten an verschiedenen Versuchsstandorten zwar bei überhöhter N-Düngung des Weizens auch höhere Ernte- N_{min} -Werte auf, durch Verzicht auf N-Düngung konnten die Ernte- N_{min} -Werte im langjährigen Mittel im Vergleich zur N-Sollwertdüngung nicht gesenkt werden.

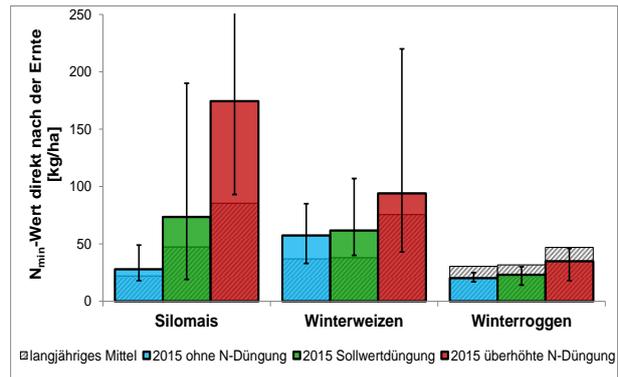


Abbildung 116: Vergleich der Ernte- N_{min} -Werte in Silomais, Winterweizen und Winterroggen bei unterschiedlichem N-Düngungsniveau im langjährigen Mittel und 2015 (in Zusammenarbeit mit Dr. Eric Reinsdorf)

Im aktuellen Versuch wurde auf eine Herbst- N_{min} -Probenahme verzichtet, da aufgrund der unterschiedlichen Bewirtschaftungsmaßnahmen nach der Ernte, wie Zwischenfruchtanbau oder Bodenbearbeitung eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse nicht gegeben war.

Winterweizen mit Blattvorfrucht - Versuchsstandort Borwede

Die Ergebnisse der Ernte- N_{min} -Untersuchungen und der Ertragsermittlung am Versuchsstandort Borwede sind in Abbildung 117 und Abbildung 118 dargestellt. Der Frühjahrs- N_{min} -Wert war dort 2015 mit 95 kg N_{min} /ha sehr hoch.

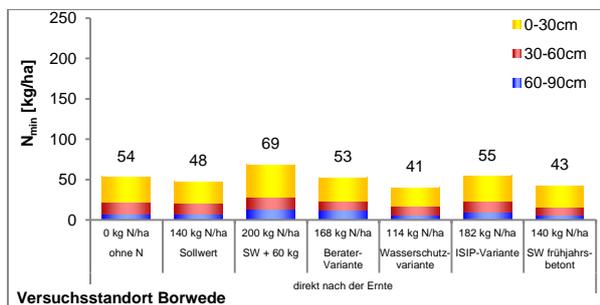


Abbildung 117: Ernte- N_{min} -Werte nach Winterweizen; Versuchsstandort Borwede; 14.08.2015

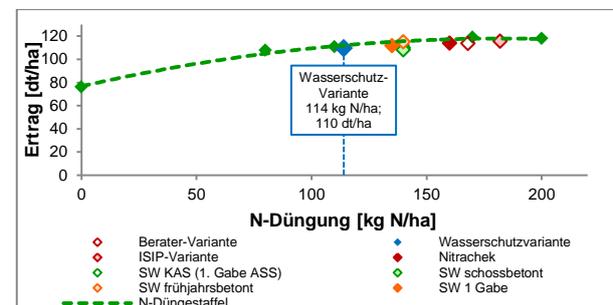


Abbildung 118: Winterweizenerträge bei unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Borwede; 2015

Der niedrigste N_{min} -Wert trat in der Wasserschutzvariante auf. In dieser Variante war die N-Sollwertdüngung um 10 % reduziert und auf zwei Gaben verteilt worden. Auch in der Variante ohne N-Düngung konnte der Ernte- N_{min} -Wert nicht weiter gesenkt werden als in der Wasserschutzvariante mit reduzierter Sollwertdüngung. Insgesamt lagen die Ergebnisse der N_{min} -Untersuchungen direkt nach der Ernte zwischen 41 kg N_{min} /ha in der Wasserschutzvariante und 69 kg N_{min} /ha in der überdüngten Variante (Sollwertdüngung + 60 kg N/ha). In der Variante mit Sollwertdüngung (N-Düngung: 140 kg N/ha) lag der Ernte- N_{min} -Wert bei 48 kg N_{min} /ha. In der Wasserschutzvariante wurden 114 kg N/ha gedüngt. Aufgrund der Frühsommertrockenheit wurde die N-Düngung auf zwei Gaben (60 kg N/ha und 54 kg N/ha) aufgeteilt und auf die Spätgabe verzichtet. Ein statistisch absicherbarer Ertragsunterschied zwischen der Wasserschutzvariante und der Sollwertvariante trat nicht auf.

Winterweizen mit Blattvorfrucht - Versuchsstandort Otterndorf

Die Ergebnisse der Ernte- N_{min} -Untersuchungen am Versuchsstandort Otterndorf sind in Abbildung 119 dargestellt. In der Wasserschutzvariante wurde die N-Sollwertdüngung um 30 kg N/ha reduziert.

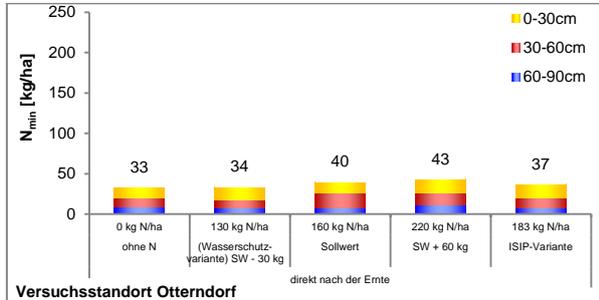


Abbildung 119: Ernte- N_{min} -Werte nach Winterweizen; Versuchsstandort Otterndorf; 25.08.2015

Die Ernte- N_{min} -Werte am Versuchsstandort Otterndorf lagen einheitlich auf einem relativ niedrigen Niveau, zwischen 33 kg N_{min} /ha in der ungedüngten Variante und 43 kg N_{min} /ha in der mit 220 kg N/ha überhöht gedüngten Variante. In der Wasserschutzvariante lag der Ernte- N_{min} -Wert mit 34 kg N_{min} /ha nicht höher als in der ungedüngten Variante.

Aufgrund des hohen Lagers im Versuch und der hohen Grenzdifferenz konnten die Erträge am Standort Otterndorf 2015 nicht ausgewertet werden. Lediglich in der Variante mit einer, um 60 kg N/ha reduzierten N-Sollwertdüngung Düngung trat kein Lager auf, weshalb 2015 am Standort Otterndorf in dieser Variante der höchste Ertrag erzielt wurde.

Winterweizen mit Blattvorfrucht – Versuchsstandort Höckelheim

Am Versuchsstandort Höckelheim wurden sowohl N-Düngung zu Winterweizen nach Blattvorfrucht als auch nach Getreidevorfrucht untersucht. Nach Getreidevorfrucht wurden direkt nach der Ernte N_{min} -Proben gezogen (Abbildung 121).

Die Erträge nach Blattvorfrucht am Versuchsstandort Höckelheim sind in Abbildung 120 dargestellt. Der Ertrag in der Wasserschutzvariante lag bei 95,7 dt/ha. Es konnte kein statistisch absicherbarer Ertragsunterschied im Vergleich zur N-Sollwertvariante (175 kg N/ha) festgestellt werden. In der Variante ohne N-Düngung sank der Ertrag auf 71 dt/ha.

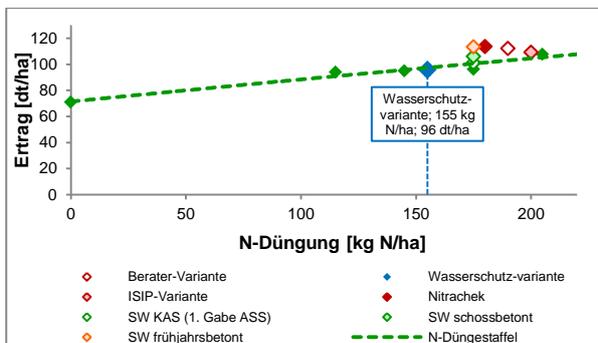


Abbildung 120: Winterweizenenerträge bei unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Höckelheim; 2015

Winterweizen mit Getreidevorfrucht - Versuchsstandort Höckelheim

Die Ergebnisse der N_{min} -Probenahme direkt nach der Ernte am Versuchsstandort Höckelheim sind in Abbildung 121 dargestellt. Abbildung 122 zeigt die Erträge in den einzelnen Varianten.

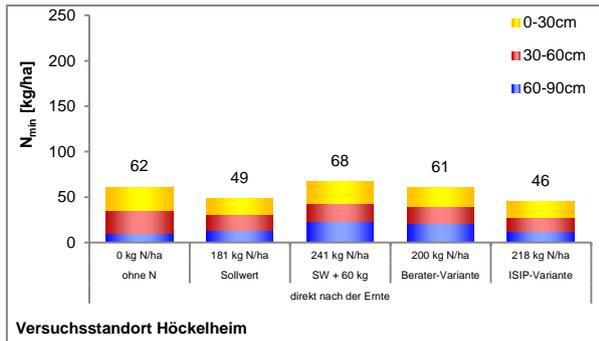


Abbildung 121: Ernte-N_{min}-Werte nach Winterweizen; Versuchsstandort Höckelheim; 05.08.2015

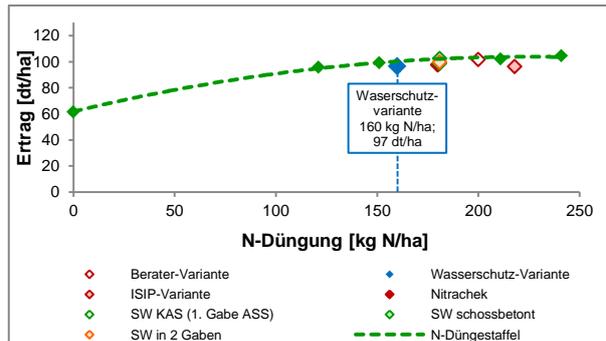


Abbildung 122: Winterweizenerträge bei unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Höckelheim; 2015

Die N_{min}-Probe der Wasserschutzvariante musste am Versuchsstandort Höckelheim aufgrund eines technischen Fehlers verworfen werden. Wie auch am Versuchsstandort Königslutter (Abbildung 123) lagen die Ernte-N_{min}-Werte unabhängig von der Höhe der N-Düngung auf einem relativ einheitlichen Niveau. Die Ernte-N_{min}-Werte am Versuchsstandort Höckelheim lagen zwischen 46 kg N_{min}/ha in der ISIP Variante und 68 kg N_{min}/ha in der Variante mit überhöhter N-Düngung. In der Variante mit Sollwertdüngung lag der Ernte-N_{min}-Wert bei 49 kg N_{min}/ha. Durch einen Verzicht auf N-Düngung konnte der Ernte-N_{min}-Wert im Vergleich zu Sollwertdüngung nicht reduziert werden.

Der Ertrag in der Wasserschutzvariante lag bei 97 dt/ha. Der Ertragsunterschied zur Variante mit N-Sollwertdüngung war statistisch nicht absicherbar.

Winterweizen mit Getreidevorfucht - Versuchsstandort Königslutter

Abbildung 123 zeigt die Ergebnisse der Ernte-N_{min}-Probenahme am Versuchsstandort Königslutter. Der Frühjahrs-N_{min}-Wert lag hier bei 25 kg N_{min}/ha. Die Erträge in den einzelnen N-Düngungsvarianten sind in Abbildung 124 dargestellt.

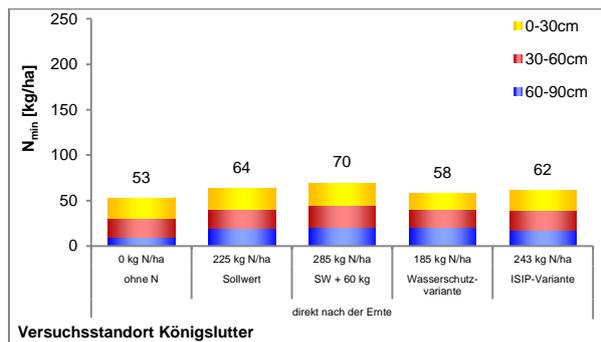


Abbildung 123: Ernte-N_{min}-Werte nach Winterweizen; Versuchsstandort Königslutter; 29.07.2015

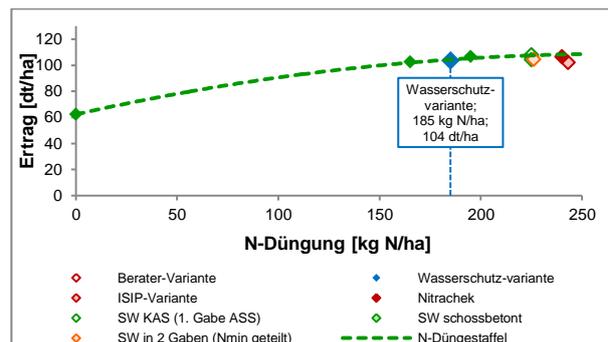


Abbildung 124: Winterweizenerträge bei unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Königslutter; 2015

In der Wasserschutzvariante wurde die Sollwertdüngung um 50 kg N/ha (16 %) reduziert. Zusätzlich wurde bei der N-Düngung zum Schossen ein stabilisierter N-Dünger verwendet. Insgesamt wurde die Wasserschutzvariante mit 185 kg N/ha gedüngt. Die Spätgabe wurde vorgezogen. Direkt nach der Ernte lag der N_{min}-Wert in der Wasserschutzvariante bei 58 kg N_{min}/ha. Die Ernte-N_{min}-Werte variierten von 53 kg N_{min}/ha in der ungedüngten Variante bis 70 kg N_{min}/ha in der überdüngten Variante (Sollwert + 60 kg N/ha). In der Sollwertvariante lag

der Ertrag bei 106,6 dt/ha. In der Wasserschutzvariante sank der Ertrag im Vergleich zur Sollwertvariante um 3,1 dt auf 103,5 dt/ha.

Winterweizen mit Getreidevorfrucht - Versuchsstandort Poppenburg

Abbildung 125 und Abbildung 126 zeigen die N_{min} -Werte direkt nach der Weizenernte und die Erträge am Versuchsstandort Poppenburg.

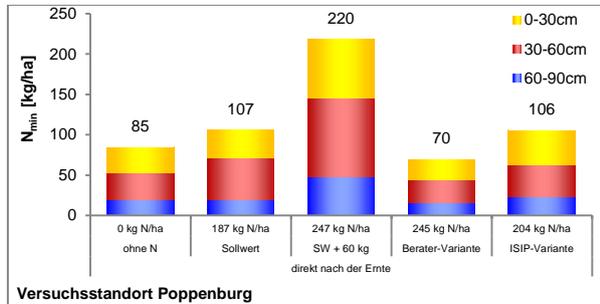


Abbildung 125: Ernte- N_{min} -Werte nach Winterweizen; Versuchsstandort Poppenburg; 22.08.2015

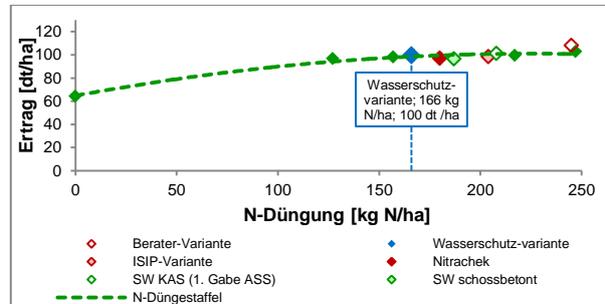


Abbildung 126: Winterweizenerträge bei unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Poppenburg; 2015

Die Ernte- N_{min} -Werte am Versuchsstandort Poppenburg lagen zwischen 70 kg N_{min} /ha und 220 kg N_{min} /ha und variierten unabhängig von der Höhe der N-Düngung. Insgesamt wurden am Versuchsstandort Poppenburg, wie schon in den Versuchen zur grundwasserschutzorientierten Maisdüngung, die höchsten Ernte- N_{min} -Werte festgestellt. In der ungedüngten Variante lag der Ernte- N_{min} -Wert bei 85 kg N_{min} /ha. Während in der N-Sollwertvariante der Ernte- N_{min} -Wert nach einer N-Düngung von 187 kg N/ha bei 107 kg N_{min} /ha lag, wurde in einer mit 245 kg N/ha gedüngten Variante ein Ernte- N_{min} -Wert von 70 kg N_{min} /ha ermittelt.

Der Ertrag in der N-Sollwertvariante lag bei 96,9 dt/ha. Im Vergleich zur Wasserschutzvariante konnte kein statistisch absicherbarer Ertragsunterschied festgestellt werden. In der Wasserschutzvariante wurden 99,7 dt/ha geerntet.

Weiterentwicklung regionalspezifischer Strategien zur grundwasserschutzorientierten Winterweizendüngung

- Um die Nitratauswaschung zu reduzieren, ist im Getreideanbau eine Zwischenfrucht sinnvoller, als eine Reduzierung der N-Düngung, (SEITZ et al. (2006)).
- Auch sehr hohe Frühjahrs- N_{\min} -Werte konnten bei der N-Düngebedarfsermittlung entsprechend des N-Sollwertschemas abgezogen werden, ohne dass ein Ertragsrückgang festgestellt werden konnte. Die Berücksichtigung eigener Frühjahrs- N_{\min} -Werte bei der N-Düngebedarfsermittlung kann besonders bei hohen Frühjahrs- N_{\min} -Werten dazu beitragen, überschüssige N-Düngung und damit die Gefahr erhöhter Ernte- N_{\min} -Werte oder N-Bilanzen zu vermeiden.
- Die Ernte- N_{\min} -Werte konnten durch die grundwasserschutzorientierte N-Düngung im Vergleich zur N-Sollwertdüngung kaum gesenkt werden. An den meisten Standorten lag der Unterschied zwischen den Ernte- N_{\min} -Werten bei Sollwertdüngung und bei grundwasserschutzorientierter N-Düngung unter 10 kg N_{\min} /ha. Die N-Salden konnten jedoch um bis zu 32 kg N/ha reduziert werden.
- Langjährige Ergebnisse aus Versuchen zur Weizendüngung (Abbildung 116) zeigen jedoch, dass es bei überhöhter N-Düngung im Mittel der Jahre und Standorte auch zu höheren Ernte- N_{\min} -Werten kommt.
 - Um hohe Reststickstoffgehalte im Boden nach der Ernte zu vermeiden, können Möglichkeiten die Bestandesführung auch hinsichtlich des N-Düngungstermins zu optimieren, wie beispielsweise die ISIP-Methode oder die Nitrachek-Methode, genutzt werden, da diese insbesondere bei ungünstiger Witterung dazu beitragen, überschüssige N-Düngung zu vermeiden
- Bei Winterweizen mit Blattvorfrucht hatte die grundwasserschutzorientierte N-Düngung keinen statistisch absicherbaren Einfluss auf den Weizenertrag.
- Bei Winterweizen mit Getreidevorfrucht kam es am Versuchsstandort Königslutter zu einem leichten Ertragsrückgang in der Variante mit grundwasserschutzorientierter N-Düngung im Vergleich zur N-Sollwertdüngung. Auf den anderen Versuchsstandorten gab es keine Ertragsunterschiede zwischen der N-Sollwertvariante und der Wasserschutzvariante.
- Die Ergebnisse weisen auch darauf hin, dass- besonders bei reduzierter N-Düngung- die Form des N-Düngers berücksichtigt werden sollte (zum Beispiel stabilisierter N-Dünger in Kombination mit einer Reduzierung der Spätgabe).

3.4. Weiterentwicklung grundwasserschutzorientierter Herbizidstrategien im Silomaisanbau

Das Pflanzenschutzgesetz schreibt vor, dass der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln auf keinen Fall zu einer Gefährdung der Gesundheit, des Grundwassers oder des Naturhaushaltes führen darf („Pflanzenschutzmittel dürfen nicht angewandt werden, soweit der Anwender damit rechnen muss, dass ihre Anwendung im Einzelfall: 1. schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit von Mensch oder Tier oder auf das Grundwasser oder 2. sonstige erhebliche schädliche Auswirkungen, insbesondere auf den Naturhaushalt, hat.“ [§ 13 \(1\) Pflanzenschutzgesetz](#)) Es kann jedoch vorkommen, dass auch bei sachgemäßer Anwendung Abbauprodukte (Metaboliten) zugelassener Pflanzenschutzmittel im Grundwasser gefunden werden. Eine Auswertung langjähriger Grundwasseruntersuchungen in Niedersachsen ist im „[Themenbericht Pflanzenschutzmittel](#) Wirkstoffe und Metaboliten im Grundwasser Datenauswertung 1989 bis 2013“ des NLWKN veröffentlicht. Bei den Funden handelt es sich häufig um nicht relevante Metaboliten, die in der Zulassung (Grenzwert 10 µg/l) und durch das Umweltbundesamt mit den sogenannten Gesundheitlichen Orientierungswerten (GOW) (1 oder 3 µg/l) unterschiedlich bewertet werden. Es gibt zudem den Wunsch, dass im Trinkwasser möglichst keine Spurenstoffe gefunden werden. Die Praxisempfehlungen für die Erstellung von Wasserschutzgebietsverordnungen empfehlen daher, dass der Grenzwert für Wirkstoffe in Höhe von 0,1 µg/l im Trinkwasser auch für nicht relevante Metaboliten angewendet wird. Da für die Zulassung der Grenzwert von 10 µg/l maßgeblich ist, können Funde oberhalb der Vorsorgewerte auftreten und höhere Gehalte zulässig sein als aus trinkwasserhygienischer Sicht erwünscht sind. Im grundwasserschutzorientierten Maisanbau wird vor allem immer wieder über den Einsatz von Herbiziden mit den Wirkstoffen Terbutylazin und Metolachlor diskutiert. Eine entsprechende Veröffentlichung des [Pflanzenschutzamtes](#) ist auf der Internetseite der LWK-Niedersachsen verfügbar.

Bereits im Vorjahr wurden an drei Standorten zwei Herbizidstrategien ohne Metolachlor und Terbutylazin verglichen. Der Versuch wurde 2015 an den drei Versuchsstandorten (Abbildung 127) Addrup im Landkreis Cloppenburg, Dissen im Landkreis Osnabrück und Kluse im Landkreis Emsland fortgesetzt.

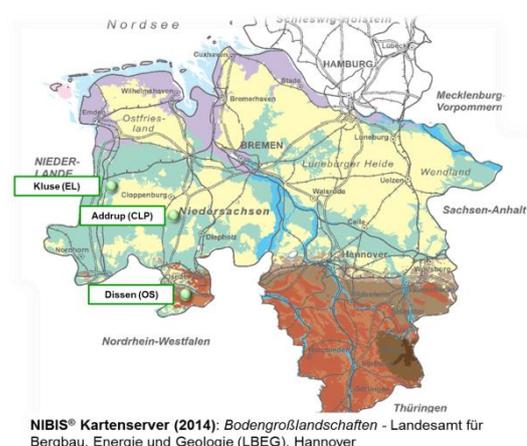


Abbildung 127: Lage der Versuchsstandorte „grundwasserschutzorientierte Herbizidstrategien“ im Silomaisanbau

Tabelle 12 gibt eine Übersicht über die Durchführung der konventionellen Vergleichsvariante und der beiden Wasserschutzvarianten an den drei Versuchsstandorten. Eine Kontrollvariante ohne Unkrautbekämpfungsmaßnahmen wurde an allen drei Standorten ebenfalls angelegt.

Tabelle 12: Varianten zur Weiterentwicklung grundwasserschutzorientierter Herbizidstrategien im Silomaisanbau - Übersicht

Variante	BBCH/Termin	Mittel	Aufwand- menge [l/kg/ha]	Wirkstoff
Kontrolle				
Versuchsstandort Addrup				
Konventionell	13-14/ 21.05.2015	Dual Gold	1	S-Metholachlor
		MaisTer	1,2	Foramsulfuron, Iodosulfuron-methyl-natrium
		B235	0,3	Bromoxynil
Wasserschutz 01	12 / 11.05.2015	Sulcogan	1	Sulcotrion
		B235	0,3	Bromoxynil
	18 / 16.06.2015	Elumis	1	Mesotrione, Nicosulfuron
		Peak	0,016	Nicosulfuron, Prosulfuron
Wasserschutz 02	12 / 11.05.2015	Clio Super	1,5	Topramezone, Dimethenamid-P
		B235	0,3	Bromoxynil
	18 / 16.06.2015	Laudis	1,8	Tembotrione
		B235	0,3	Bromoxynil
Versuchsstandort Dissen				
Konventionell	14 / 08.06.2015	Calaris	1,25	Terbutylazin, Mesotrione
		Dual Gold	1	S-Metholachlor
		B235	0,3	Bromoxynil
Wasserschutz 01	12 / 26.05.2015	Sulcogan	1	Sulcotrion
		B235	0,3	Bromoxynil
	16 / 15.06.2015	Elumis	1	Mesotrione, Nicosulfuron
		Peak	0,016	Nicosulfuron, Prosulfuron
Wasserschutz 02	12 / 26.05.2015	Clio Super	1,5	Topramezone, Dimethenamid-P
		B235	0,3	Bromoxynil
	16 / 15.06.2015	Laudis	1,8	Tembotrione
		B235	0,3	Bromoxynil
Versuchsstandort Kluse				
Konventionell	13-14 / 09.06.2015	Calaris	1,25	Terbutylazin, Mesotrione
		Dual Gold	1	S-Metholachlor
		B235	0,3	Bromoxynil
Wasserschutz 01	11-12 / 29.05.2015	Sulcogan	1	Sulcotrion
		B235	0,3	Bromoxynil
	15-16 / 09.07.2015	Elumis	1	Mesotrione, Nicosulfuron
		Peak	0,016	Nicosulfuron, Prosulfuron
Wasserschutz 02	11-12 / 29.05.2015	Clio Super	1,5	Topramezone, Dimethenamid-P
		B235	0,3	Bromoxynil
	15-16 / 09.07.2015	Laudis	1,8	Tembotrione
		B235	0,3	Bromoxynil

Im Gegensatz zur konventionellen Variante wurden in den Wasserschutzvarianten jeweils zwei Behandlungen durchgeführt.

3.4.1. Ergebnisse

Abbildung 128 zeigt die Ergebnisse am Versuchsstandort Addrup im Landkreis Cloppenburg. Die Ergebnisse am Versuchsstandort Dissen im Landkreis Osnabrück sind in Abbildung 129 dargestellt.

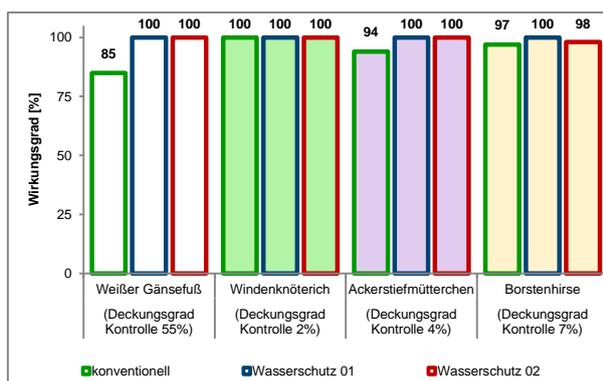


Abbildung 128: Wirkungsgrad grundwasserschutzorientierter und konventioneller Herbizidbehandlungen im Vergleich; Versuchsstandort Addrup; 2015

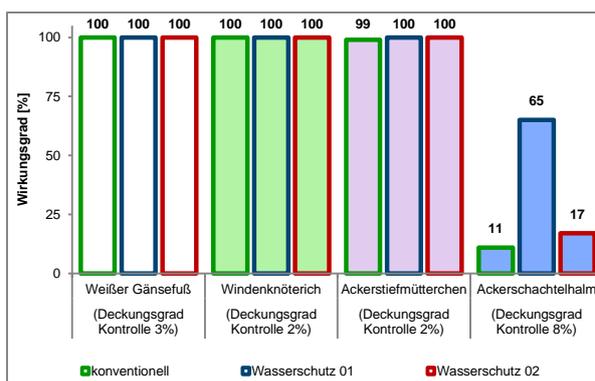


Abbildung 129: Wirkungsgrad grundwasserschutzorientierter und konventioneller Herbizidbehandlungen im Vergleich; Versuchsstandort Dissen; 2015

Am Versuchsstandort **Addrup** im Landkreis Cloppenburg (Abbildung 128) lag der Unkrautdeckungsgrad bei Weißem Gänsefuß in der unbehandelten Kontrolle bei 55 %. Bei Windenknöterich, Ackerstiefmütterchen und Borstenhirse lag der Unkrautdeckungsgrad zwischen 2 und 7 % auf einem deutlich niedrigeren Niveau. Die Bonitur am Versuchsstandort Addrup wurde am 03.08.2015 durchgeführt. Auch 2015 konnte am Standort Addrup wie schon im Vorjahr in den Wasserschutzvarianten der gleiche oder ein etwas höherer Wirkungsgrad erzielt werden als in der konventionellen Variante.

Am Standort **Dissen** im Landkreis Osnabrück (Abbildung 129) lag der Unkrautdeckungsgrad bei Windenknöterich und Ackerstiefmütterchen in der unbehandelten Kontrolle insgesamt auf einem ähnlichen Niveau (2 %). Der Unkrautdeckungsgrad von Weißem Gänsefuß lag bei 3 % und von Ackerschachtelhalm bei 8 %. Die Bonitur wurde am 20.07.2015 durchgeführt. Für Weißen Gänsefuß, Windenknöterich und Ackerstiefmütterchen lag der Wirkungsgrad in allen drei Varianten einheitlich bei 100 %, beziehungsweise 99 %. Der höchste Wirkungsgrad für die Bekämpfung des Ackerschachtelhalm wurde mit 65 % in der Variante „Wasserschutz 01“ nach einer Behandlung mit Sulcogan und B235 am ersten Termin und Elumis und Peak zum zweiten Termin erreicht. In der zweiten Wasserschutzvariante lag für Ackerschachtelhalm der Wirkungsgrad bei 17 % und in der konventionellen Variante bei 11 %.

Abbildung 130 zeigt die Ergebnisse am Versuchsstandort Kluse im Landkreis Emsland.

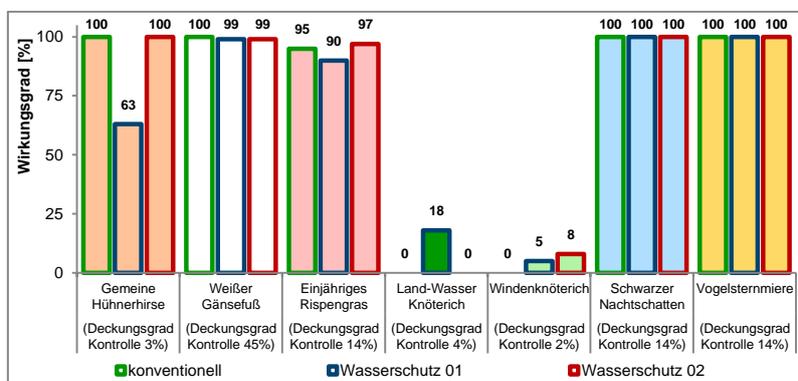


Abbildung 130: Wirkungsgrad grundwasserschutzorientierter und konventioneller Herbizidbehandlungen im Vergleich; Versuchsstandort Kluse; 2015

Am Versuchsstandort **Kluse** traten neben Weißem Gänsefuß und Windenknöterich, die auch an den Versuchsstandorten Addrup und Dissen festgestellt wurden, Gemeine Hühnerhirse, Einjähriges Rispengras, Landwasserknöterich, Windenknöterich, Schwarzer Nachtschatten und Vogelsternmiere auf. Die Bonitur wurde am 23.07.2015 durchgeführt. Der Unkrautdeckungsgrad in der unbehandelten Kontrollvariante variierte ähnlich wie am Versuchsstandort Addrup zwischen 2 % (Windenknöterich) und 45 % (Weißer Gänsefuß). Bei Einjährigem Rispengras, Schwarzem Nachtschatten und Vogelsternmiere lag der Unkrautdeckungsgrad in der Kontrollvariante bei 14 %. Bei Landwasserknöterich lag der Unkrautdeckungsgrad in der Kontrollvariante lediglich bei 4 %. Bei gemeiner Hühnerhirse lag der Unkrautdeckungsgrad bei 3 %.

Der Wirkungsgrad bei Weißem Gänsefuß, Schwarzem Nachtschatten, und Vogelsternmiere lag in allen drei Varianten einheitlich zwischen 99 % und 100 %. Bei Einjährigem Rispengras variierte der Wirkungsgrad von 90 % in der Variante „Wasserschutz 01“ und 97 % in der Variante „Wasserschutz 02“. Bei Gemeiner Hühnerhirse lag der Wirkungsgrad sowohl in der konventionellen Variante, als auch in der Variante „Wasserschutz 02“ bei 100 %. In der Variante „Wasserschutz 01“ lag der Wirkungsgrad für die Bekämpfung der Gemeinen Hühnerhirse bei 63 %. Bei der Bekämpfung des Windenknöterichs und Landwasserknöterichs konnten bei einem geringen Unkrautdeckungsgrad in der Kontrollvariante nur Wirkungsgrade bis zu 18 % erzielt werden.

Weiterentwicklung grundwasserschutzorientierter Herbizidstrategien im Silomaisanbau

- Bei beiden grundwasserschutzorientierten Herbizidstrategien ist im Vergleich zur konventionellen Variante eine weitere Überfahrt notwendig.
- Je nach Unkraut/Standort können vergleichbare Wirkungsgrade zur konventionellen Variante erzielt werden.
- Um neben dem Wasserschutz auch der Resistenzproblematik (besonders bei Hirsen) gerecht zu werden, empfiehlt das [Pflanzenschutzamt](#) neben Maßnahmen des integrierten Pflanzenschutzes, wie beispielsweise der Fruchtfolgegestaltung, auch einen Wechsel zwischen den Herbizidstrategien.

4. Ergänzende N_{min}-Untersuchungen

4.1. Auswirkungen von Untersaaten im Silomaisanbau auf die N-Dynamik im Boden

- Inwieweit können die Herbst-N_{min}-Werte im Silomaisanbau durch Grasuntersaaten reduziert werden?

Eine über Winter vorhandene Pflanzendecke konserviert die in der Pflanze gespeicherten Nährstoffe und mindert die Wasser- und Winderosion. Mit Hilfe einer Grasuntersaat wird eine Winterbegrünung der Ackerflächen ermöglicht. Untersaaten sind zusätzlich ein wichtiger Baustein zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit. Winterharte Gräser sind hierbei von Vorteil. Aufgrund des späten Erntezeitpunktes von Silomais sind Untersaaten besser geeignet die Herbst-N_{min}-Werte zu senken als beispielsweise eine Winterbegrünung mit Grünroggen, da die Untersaat zum Zeitpunkt der Maisernte bereits etabliert ist (Abbildung 133). Abbildung 131 zeigt den Mais mit einer Schwingelmischung als Untersaat am Versuchsstandort Stapel. An diesem Versuchsstandort wurde 2015 ein Versuch zu Untersaaten im Silomais durchgeführt. Die Maisaussaat erfolgte am 21.04.2015;



Abbildung 131: Mais mit Schwingelmischung als Untersaat; Versuchsstandort Stapel; 27.05.2015

Die Bodenart des Versuchsstandortes 2015 war, wie auch in vorangegangenen Versuchen zu Untersaaten im Silomaisanbau, Sand; der Humusgehalt des Versuchsstandortes lag bei 1,9 %. Abbildung 132 zeigt die Ergebnisse der Herbst-N_{min}-Probenahme in der Kontrollvariante ohne Untersaat im Vergleich zu den Herbst-N_{min}-Werten mit einer Schwingelmischung („Humus Plus Vorsaat“) und einer Weidelgrasmischung („Humus Plus Spät“) am 14.10.2015.

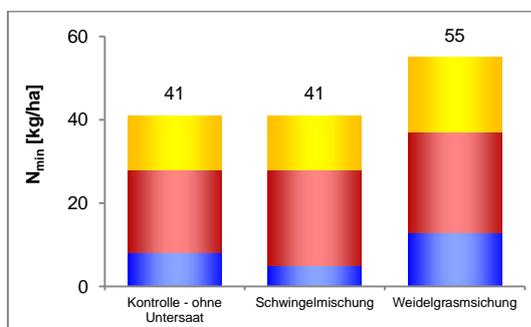


Abbildung 132: Herbst-N_{min}-Werte; bei Schwingelmischung und Weidelgrasmischung als Untersaat im Vergleich zu einer Kontrollvariante ohne Untersaat; Versuchsstandort Stapel; 14.10.2015



Abbildung 133: Untersaat nach der Maisernte

Die Schwingelmischung bestand zu 90 % aus Rotschwengel und zu 10 % aus härlichem Schwengel. Die Weidelgrasmischung setzte sich zu 50 % aus Deutschem Weidelgras und zu 50 % aus Welschem Weidelgras zusammen.

In den drei beprobten Varianten lagen die N_{min} -Werte zwischen 41 kg N_{min} /ha und 55 kg N_{min} /ha. Der relativ geringe Herbst- N_{min} -Wert von 40 kg N_{min} /ha in der Variante ohne Untersaat konnte 2015 am Versuchsstandort Stapel nicht weiter reduziert werden. In vorangegangenen Feldversuchen der LWK mit Grasuntersaaten im Mais konnten die auswaschunggefährdeten Reststickstoffgehalte im Herbst im Boden -im Mittel der Jahre und Standorte- durch die Untersaat erfolgreich reduziert werden (Abbildung 134).

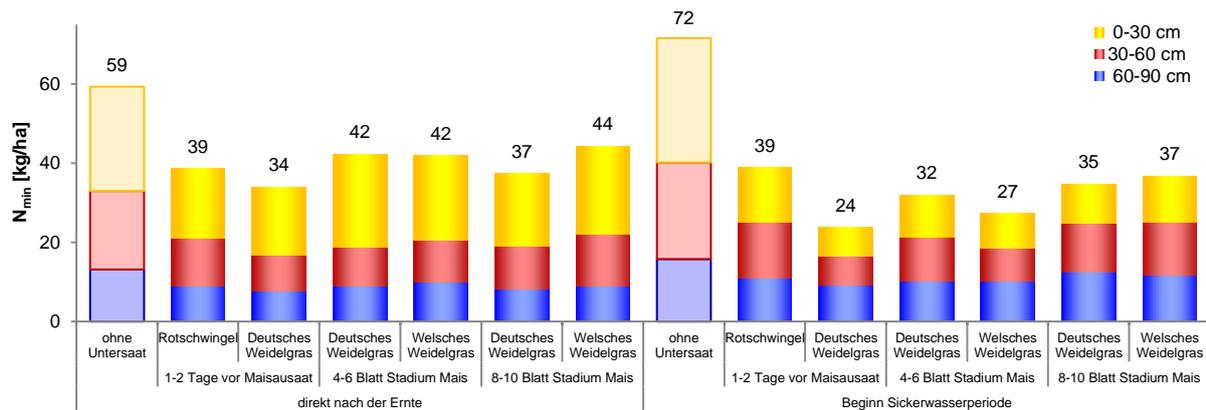


Abbildung 134: Einfluss von Grasuntersaaten in Silomais auf die N_{min} -Werte direkt nach der Ernte und die Herbst- N_{min} -Werte direkt nach der Sickerwasserperiode; Versuchsstandorte Dasselsbruch und Wehnen (2011-2013)

Abbildung 135 zeigt die Nährstoffgehalte der beiden Grasuntersaaten und von Winterroggen, der nach der Maisernte als Winterbegrünung ausgesät wurde. Die Untersaaten und der Winterroggen wurden im darauffolgenden Frühjahr am 18.04.2016 beprobt.

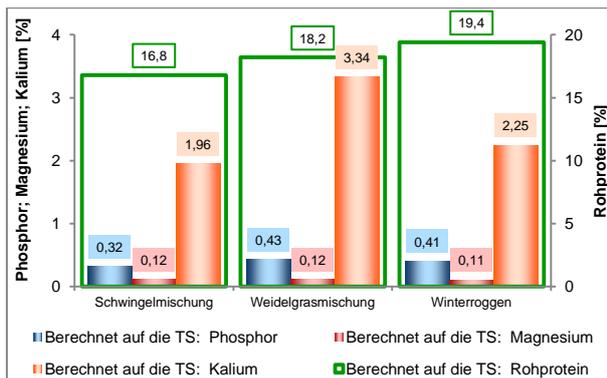


Abbildung 135: Nährstoffgehalte der Untersaat und Winterroggen als Begrünung am 18.04.2016

Der niedrigste Rohproteingehalt (16,8 %) wurde in der Schwingelmischung festgestellt. In der Weidelgrasmischung lag der Rohproteingehalt bei 18,2 %. Die Phosphor- und Magnesiumgehalte unterschieden sich kaum. Lediglich bei den Kaliumgehalten wurde in der Weidelgrasmischung ein etwas höherer Gehalt ermittelt.

Abbildung 136 zeigt die relativen Maiserträge im Vergleich zu der Variante ohne Untersaat.

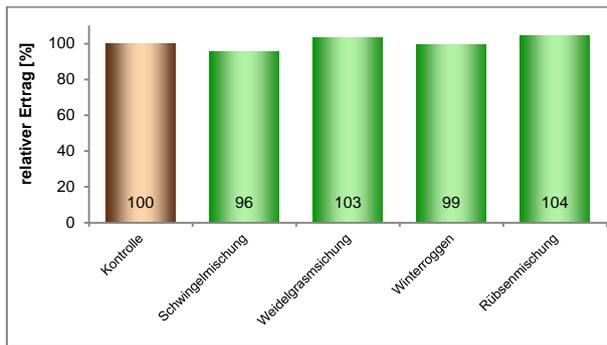


Abbildung 136: relativer Silomaisertrag bei unterschiedlicher Untersaat/Winterbegrünung; 2015 am Versuchsstandort Stapel

In keiner Variante mit Untersaaten konnte ein statistisch absicherbarer Ertragsunterschied zur Vergleichsvariante ohne Untersaaten festgestellt werden. Dies wird durch die Ergebnisse vorangegangener Versuche bestätigt, die zeigen, dass der Silomais bei entsprechender Auswahl der Untersaat und angepasstem Aussaattermin der Untersaat sein Ertragspotential auch mit Untersaat ausschöpfen kann.

Untersaaten im Maisanbau

- Bei insgesamt niedrigen Ernte-/Herbst-N_{min}-Werten konnten 2015 am Versuchsstandort Stapel die Reststickstoffgehalte im Herbst im Boden auch durch Untersaaten kaum weiter gesenkt werden.

Mehrfährige Ergebnisse vorangegangener Versuch zeigten jedoch:

- Untersaaten konnten unabhängig von der Auswahl und Aussaatzeitpunkt in dem durchgeführten Versuch die N_{min}-Werte im Mittel der Jahre und Standorte sowohl direkt nach der Ernte als auch zu Beginn der Sickerwasserperiode reduzieren. Die betriebsspezifischen Anforderungen können somit bei der Auswahl der Untersaat berücksichtigt werden.
- Bei entsprechender Auswahl des Aussaatzeitpunktes hatte die Untersaat- auch bei Sommertrockenheit- keinen Einfluss auf den Silomaisertrag.
- Unkrautbekämpfungsmaßnahmen sollten, besonders bei Einsatz von Bodenherbiziden, mit der Pflanzenschutzberatung vor Ort abgestimmt werden, um eine Schädigung der Untersaat zu vermeiden.

4.2. Auswirkungen von Gülleunterfußdüngung auf die N_{min}-Werte direkt nach der Silomaisernte und zu Beginn der Sickerwasserperiode

- Wie wirken sich Gülleunterfußdüngung und der Einsatz von Nitrifikationshemmstoffen auf die Ernte- und Herbst-N_{min}-Werte nach Silomais aus?

Während die mineralische Unterfußdüngung bei Silomais zur Unterstützung der Jugendentwicklung in der Praxis längst üblich ist, besteht hinsichtlich der Unterfußdüngung mit Wirtschaftsdüngung noch Forschungsbedarf.



Abbildung 137: Silomais nach Gülleunterfußdüngung in Kombination mit dem Nitrifikationshemmstoff Piadin; Versuchsstandort Wehnen; 22.06.2015

Bereits seit einigen Jahren untersuchen die Landwirtschaftskammern (Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Schleswig-Holstein) in einem von der Hochschule Osnabrück koordinierten und durch die deutsche Bundesstiftung Umwelt finanzierten Forschungsprojekt, die Substitution der mineralischen Unterfußdüngung durch Unterfußdüngung mit Gülle oder Gärresten. Im Rahmen dieses Projektes konnten bereits positive Effekte bezüglich der N-Effizienz beim Wirtschaftsdüngereinsatz belegt werden. So zeigte sich, dass besonders auf den leichten Sandstandorten Nordwestdeutschlands die mineralische Unterfußdüngung ohne Ertragseinbußen durch organische Unterfußdüngung ersetzt werden kann, (OLFS et al. (2016)).

Tabelle 13 gibt eine Übersicht über die Varianten des DBU Projektes, die im Rahmen der landesweiten Aufgaben im kooperativen Trinkwasserschutz, am Versuchsstandort Poppenburg im Landkreis Hildesheim auf Ernte- und Herbst-N_{min} untersucht wurden.

Tabelle 13: Übersicht - Varianten Gülleunterfußdüngung

Variante Nr.	Beschreibung		
	N-Düngung	Mineralische Unterfußdüngung	Nitrifikationshemmstoff
1	Ohne Güllendüngung	-	-
2	Ohne Güllendüngung	+	-
3	Sollwertdüngung –Schleppschlauchausbringung	-	-
4	Sollwertdüngung –Schleppschlauchausbringung	+	-
5	Sollwertdüngung – Gülleunterfußdüngung	-	-
6	Sollwertdüngung – Gülleunterfußdüngung	+	-
7	Sollwertdüngung - Gülleunterfußdüngung	-	+
8	Sollwertdüngung - Gülleunterfußdüngung	+	+
9	⅔ der Sollwertdüngung; Gülleunterfußdüngung	-	
10	⅔ der Sollwertdüngung; Gülleunterfußdüngung	+	
11	⅔ der Sollwertdüngung - Gülleunterfußdüngung	-	+
12	⅔ der Sollwertdüngung - Gülleunterfußdüngung	+	+

Die Ergebnisse des Feldversuchs an sieben Versuchsstandorten 2014 zeigen die erhöhte N-Aufnahme-Effizienz und die verringerten N-Bilanzen bei Unterfußdüngung im Vergleich zur Gülleausbringung mit dem Schleppschlauch, (Abbildung 138, FEDEROLF et al. (2016a)).

Durch eine Reduzierung der Sollwertdüngung konnte die N-Aufnahme-Effizienz weiter erhöht und die N-Bilanz im Vergleich zur Sollwertdüngung gesenkt werden.

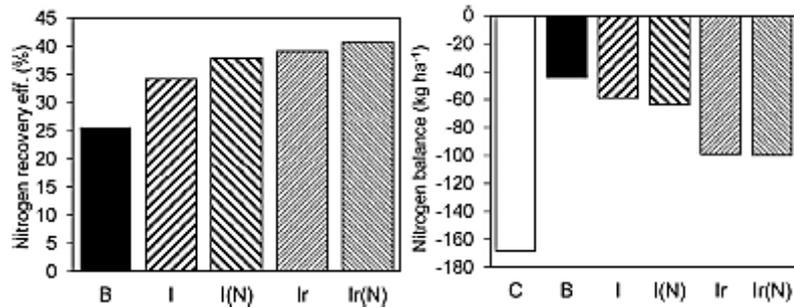


Abbildung 138: N-Aufnahme-Effizienz (links) und N-Bilanz (rechts); C: ungedüngt, B: Gülle breit verteilt (Schleppschlauch), I: Unterfußdüngung, I(N): Unterfußdüngung mit Nitrifikationshemmstoff, Ir: Unterfußdüngung mit um $\frac{1}{3}$ reduzierter Düngung, Ir(N): Unterfußdüngung mit um $\frac{1}{3}$ reduzierter Düngung mit Nitrifikationshemmstoff, (FEDEROLF et al. (2016a))

Beim zusätzlichen Einsatz von Nitrifikationshemmstoffen fallen auf leichten Standorten bei hohen Frühsommerniederschlägen die Nitratauswaschungen geringer aus, (FEDEROLF et al. (2016)). Nitrifikationshemmstoffe, wie Piadin, Entec, N-Lock oder Vizura, können somit bei entsprechender Witterung dazu beitragen, Auswaschungsverluste zu reduzieren und die N-Effizienz weiter zu erhöhen, (HARMS (2015)). Aufgrund der präzisen Ausbringung und der effektiveren Ausnutzung des in der Gülle enthaltenen Stickstoffs können so Nährstoffausträge minimiert werden. Durch das Ausbringen des Wirtschaftsdüngers direkt in den Boden werden vor allem die gasförmigen Emissionen deutlich reduziert und dadurch die N-Effizienz des Wirtschaftsdüngers erhöht. Durch eine möglichst optimale räumliche Ausrichtung der Wirtschaftsdüngergabe unter der Pflanze können Nährstoffverluste und Umweltbelastungen verringert werden, (FEDEROLF et al. (2016)). Für den Betrieb lohnt sich das Verfahren deshalb vor allem aufgrund der Senkung der betrieblichen Nährstoffbilanz infolge von geringeren Mineraldüngerzukaufen.

Zusätzlich ist die Ausbringung der Gülle als Unterfußdüngung auch gut mit dem Strip-Till-Verfahren kombinierbar. Die Vorteile des Strip-Till-Verfahrens, wie beispielsweise verbesserter Erosionsschutz, verringerte Oberflächenabschwemmung und reduzierte Direkteinträge in Oberflächengewässer, können so im Maisanbau genutzt werden.

Die Exaktversuche tragen dazu bei, das Verfahren weiter zu entwickeln und die Umsetzung in der Landwirtschaft zu fördern, indem sie -neben belastbaren Daten- regional- und jahresspezifische Informationen zu Umwelt- und Ertragswirkung bei Unterfußdüngung mit Wirtschaftsdüngern liefern.

4.2.1. N_{min}-Probenahme bei Gülleunterfußdüngung

Besonders bei vegetationsbegleitenden N_{min}-Untersuchungen (Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme) ist die repräsentative Probenahme nach Gülleunterfußdüngung aufgrund der konzentrierten Wirtschaftsdüngerabbringung schwierig und aufwendig.



Abbildung 139: Probenahme mithilfe einer speziell angefertigten Schaufel, um bei Gülleunterfußdüngern repräsentative Ergebnisse zu erhalten (WESTERSCHULTE et al. (2015))

In verschiedenen Feldversuchen wurde von WESTERSCHULTE et al. (2015) ein Verfahren erprobt, das es ermöglicht, mithilfe einer speziell angefertigten Schaufel für die Probenahme in der Reihe (Abbildung 139) in Kombination mit Probenahmen zwischen den Reihen mit dem Bohrstock repräsentative Proben zu ziehen.

Die Probenahme mit dem Bohrstock im Gülleband führte nicht zu repräsentativen Ergebnissen. Außerdem kann es bei einer Probenahme im Gülleband zu einem deutlichen Übertrag in die darunterliegenden Bodenschichten kommen, (WESTERSCHULTE et al. (2015)).

Bei der Ernte- oder Herbst-N_{min}-Probenahme kann bei bedarfsgerechter N-Düngung in der Regel davon ausgegangen werden, dass der ausgebrachte Dünger von den Pflanzen aufgenommen wurde und deshalb in der Reihe keine höheren N_{min}-Werte zu erwarten sind als zwischen den Reihen. Abbildung 140 zeigt Ernte-N_{min}-Werte nach Silomais auf verschiedenen Flächen. Auf jeder der Flächen wurde 2015 zum Vergleich die N_{min}-Probenahme jeweils in der Reihe, zwischen den Reihen und randomisiert durchgeführt.

Besonders bei insgesamt hohen N_{min}-Werten konnten an mehreren Standorten zwischen den Reihen höhere N_{min}-Werte als in der Reihe festgestellt werden. Die ersten Ergebnisse weisen jedoch darauf hin, dass die in der Praxis durchgeführte randomisierte Probenahme im Herbst nach der Maisernte auch bei Unterfußdüngung mit Wirtschaftsdüngern zu ausreichend repräsentativen Ergebnissen führt.

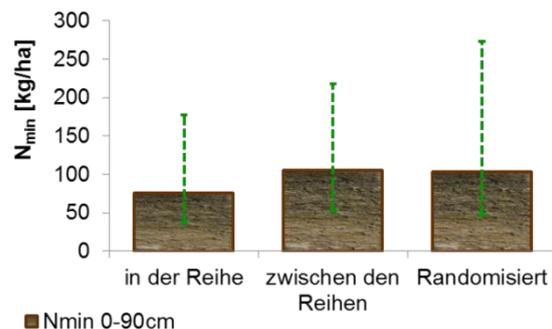


Abbildung 140: N_{min}-Werte direkt nach der Maisernte – Probenahme auf den gleichen Flächen, in der Reihe, zwischen den Reihen und randomisiert im Vergleich (2015); n=12 (LWK Niedersachsen)

Abbildung 141 und Abbildung 142 zeigen die Ergebnisse der N_{min}-Probenahme im Exaktversuch am Versuchsstandort Poppenburg in den einzelnen Varianten (Tabelle 13). In Abbildung 141 sind die N_{min}-Werte direkt nach der Silomaisernte dargestellt. Abbildung 142 zeigt die Herbst-N_{min}-Werte zu Beginn der Sickerwasserperiode.

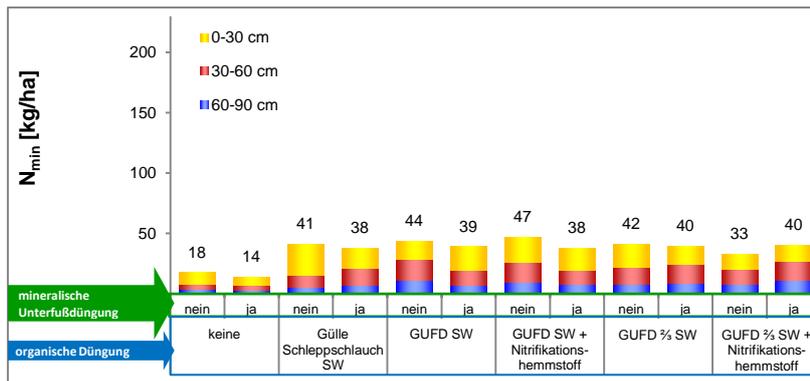


Abbildung 141: Ernte-N_{min}-Werte nach Silomais mit Gülleunterfußdüngung; N-Sollwertdüngung entspricht 100 %; Versuchsstandort Poppenburg; 10.10.2015

Mit mineralischer Unterfußdüngung fielen die N_{min}-Werte (außer in der Variante mit Gülleunterfußdüngung bei reduzierter Sollwertdüngung in Kombination mit Nitrifikationshemmstoff) tendenziell etwas höher aus.

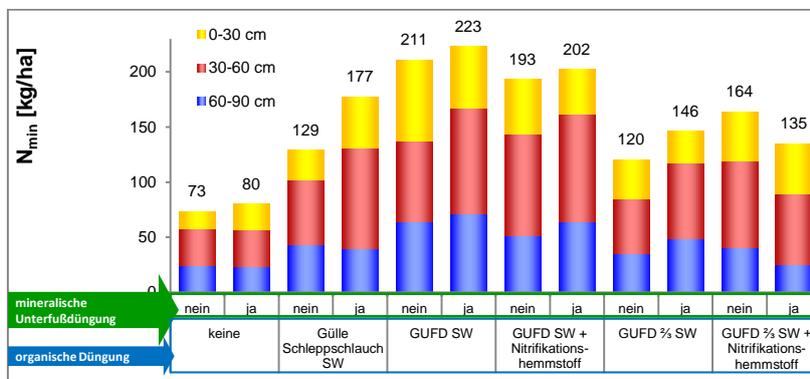


Abbildung 142: Herbst-N_{min}-Werte nach Silomais mit Gülleunterfußdüngung; N-Sollwertdüngung entspricht 100 %; Versuchsstandort Poppenburg; 27.10.2015

Anhand des Vergleichs der N_{min}-Werte direkt nach der Ernte mit den N_{min}-Werten zu Beginn der Sickerwasserperiode kann von einer tendenziellen Verlagerung in tiefere Bodenschichten ausgegangen werden. Die Variante ohne N-Düngung und die Variante mit lediglich mineralischer Unterfußdüngung hatten auch zu Beginn der Sickerwasserperiode die niedrigsten N_{min}-Gehalte. In dem Versuch zum Vergleich grundwasserschutzorientierter N-Düngestrategien waren 2015 am Versuchsstandort Poppenburg in einer Mineral-N-Düngestaffel ebenfalls sehr hohe N_{min}-Werte festgestellt worden (Abbildung 92). In diesem Versuch lag der Herbst-N_{min}-Wert in der Variante ohne N-Düngung bei 67 kg N_{min}/ha und stieg bereits in der mit 60 kg N/ha gedüngten Variante auf 154 kg N_{min}/ha an. Mit einer weiteren Steigerung der N-Düngung erhöhten sich auch die N_{min}-Werte.

Wie in dem Versuch zum Vergleich grundwasserschutzorientierter N-Düngestrategien im Silomaisanbau war auch in dem Versuch zur Gülleunterfußdüngung in der Variante ohne N-Düngung der Herbst-N_{min}-Wert mit 73 kg N_{min}/ha schon sehr hoch. Ein Vergleich der N_{min}-Werte in den Varianten mit N-Sollwertdüngung („Gülle Schleppschlauch SW“ vs. „GUFD SW“) zeigt, dass es 2015 am Versuchsstandort Poppenburg infolge der reduzierten N-Verluste bei

Direkt nach der Ernte waren die N_{min}-Gehalte des Bodens in den Kontrollvarianten ohne Gülleunterfußdüngung am geringsten. Die übrigen Varianten waren sich auf einem etwas höheren Niveau alle sehr ähnlich.

Dieser Trend kehrte sich bis zum Beginn der Sickerwasserperiode um. Bei Beginn der Sickerwasserperiode waren die N_{min}-Werte insgesamt deutlich angestiegen.

der Ausbringung zu einem Anstieg der N_{min}-Werte kam. Dies wird durch die niedrigeren N_{min}-Werte in den Varianten mit reduzierter Sollwertdüngung bestätigt ($\frac{2}{3}$ Sollwert).

Der Einsatz des Nitrifikationshemmstoffs hatte in diesem Versuchsjahr am Versuchsstandort Poppenburg keine durchgängige Auswirkung auf die Reststickstoffgehalte.

Wie repräsentativ die N_{min}-Werte direkt nach der Ernte und zu Beginn der Sickerwasserperiode bezüglich der Gesamtfläche sind, bleibt aufgrund der konzentrierten Wirtschaftsdünger Ausbringung noch abschließend zu klären. Ein Vergleich der einzelnen Varianten ist jedoch möglich.

Einfluss der Gülleunterfußdüngung zu Silomais auf die Ernte-/Herbst-N_{min}-Werte

- Gülleunterfußdüngung bietet im Vergleich zur Schleppschlauchausbringung mit anschließender Einarbeitung einige Vorteile. Aus Sicht des Wasserschutzes sind vor allem die Verbesserung der betrieblichen Nährstoffbilanz und eine Reduzierung bis hin zum Verzicht des Einsatzes mineralischen Unterfußdüngers positiv zu bewerten, (OLFS et al. (2016)).
- Die Ergebnisse der N_{min}-Untersuchungen 2015 am Versuchsstandort Poppenburg weisen darauf hin, dass die höhere N-Effizienz bei der Bemessung der Höhe der N-Düngung entsprechend berücksichtigt werden muss, um einen Anstieg der Herbst-N_{min}-Werte zu vermeiden.
- Darüber hinaus lässt sich die Streifenbearbeitung (Strip-Till Verfahren) sehr gut mit der Gülleunterfußdüngung kombinieren. So können zusätzlich die Vorteile der Mulchsaat, wie beispielsweise verbesserter Erosionsschutz, im Maisanbau genutzt werden, (FEDEROLF et al. (2016b)).
- Die Ergebnisse mehrjähriger Feldversuche in Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Schleswig-Holstein zeigen:
 - dass auf mineralische Unterfußdüngung beim Maisanbau verzichtet werden kann, wenn die flüssigen, organischen Nährstoffträger direkt unter der Maisreihe vor der Aussaat injiziert werden, ((OLFS et al. (2016)).
 - dass dieses Verfahren auf vielen Standorten zum Einsatz kommen kann, ohne dass Silomaisertrag und -qualität negativ beeinflusst werden, (FEDEROLF et al. (2016a)).
 - dass die Gülleinjektion sowohl für Betriebe mit Tierhaltung und Maisanbau als auch für Betriebe mit Raps- und Qualitätsweizenanbau ein wichtiger Baustein zur Entlastung der Nährstoffbilanzen sein kann, (OLFS et al. (2016)).

4.3. Auswirkungen von Energiegras im mehrjährigen Anbau auf die N-Dynamik im Boden

- Wie wirkt sich der mehrjährige Anbau von unterschiedlichen Energiegräsern auf die Herbst-N_{min}-Werte aus?

In einem Versuch des Fachbereichs für Grünland und Futterbau, zum mehrjährigen Anbau von Energiegras wurden 2015 an zwei Versuchsstandorten zu Beginn der Sickerwasserperiode in einigen Varianten, mit unterschiedlichen Energiegräsern, Herbst-N_{min}-Proben gezogen.

Abbildung 143 zeigt den Versuch am Versuchsstandort Wehnen. Der Versuch war im Herbst 2014 ausgesät worden. Die ausgebrachte N-Düngung lag entsprechend der Schnittnutzung und der Grasart zwischen 120 kg N/ha und 220 kg N/ha. Die Höhe der N-Düngung hatte an keinen der beiden Versuchsstandorte Einfluss auf die Herbst-N_{min}-Werte. Abbildung 144 und Abbildung 145 zeigen die Ergebnisse der Herbst-N_{min}-Probenahme an den Versuchsstandorten Obershagen im Landkreis Hannover und Werlte im Landkreis Emsland.



Abbildung 143: Versuch „Energiegras im mehrjährigen Anbau“; 22.05.2015; Versuchsstandort Wehnen

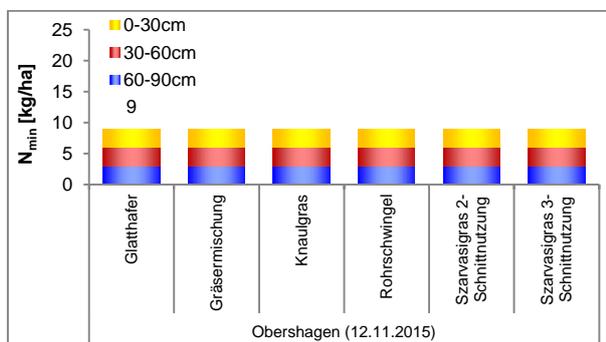


Abbildung 144: Herbst-N_{min}-Werte unter Energiegras im mehrjährigen Anbau; Versuchsstandort Obershagen; 12.11.2015

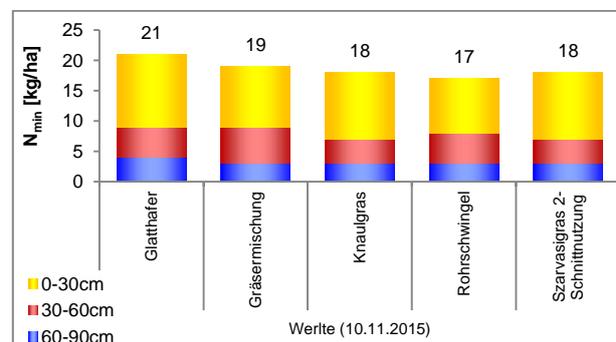


Abbildung 145: Herbst-N_{min}-Werte unter Energiegras im mehrjährigen Anbau; Versuchsstandort Werlte; 10.11.2015

Am Versuchsstandort Obershagen lagen die Herbst-N_{min}-Werte bei allen untersuchten Gräsern gleichmäßig auf einem sehr niedrigen Niveau. Am Versuchsstandort Werlte konnten ebenfalls keine Unterschiede zwischen den N_{min}-Werten unter den verschiedenen Energiegräsern festgestellt werden, die nicht im Fehlerbereich der N_{min}-Methode lagen. Hier variierten die Herbst-N_{min}-Werte zwischen 17 kg N_{min}/ha unter Rohrschwengel und 21 kg N_{min}/ha unter Glatthafer.

Energiegras im mehrjährigen Anbau

- Erste, ergänzende N_{min}-Untersuchungen in einem Versuch zum mehrjährigen Anbau von Energiegras zeigten unabhängig von N-Düngung und dem angebauten Energiegras sehr niedrige Herbst-N_{min}-Werte.

5. Anhang

5.1. Abkürzungsverzeichnis

Tabelle 14: Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
°C	Grad Celsius
µg	Mikrogramm
BBCH	Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Bundessortenamt und Chemische Industrie
dt	Dezitonne
GOW	Gesundheitlicher Orientierungswert
GUFD	Gülleunterfußdüngung
ha	Hektar
K	Kalium
KAS	Kalkammonsalpeter
Kg	Kilogramm
LBEG	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
LK	Landkreis
LWK	Landwirtschaftskammer
Mg	Magnesium
mm	Millimeter
N	Stickstoff
NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
NMDÄ	N-Mineraldüngeräquivalent
N _{min}	Mineralischer Stickstoff
NN	Normal Null
P	Phosphor
pH	Negativer dekadischer Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration
SFN	Spät-Frühjahrs-N _{min} -Probenahme
SW	Sollwert
TM	Trockenmasse
TS	Trockensubstanz

5.2. Klimadaten

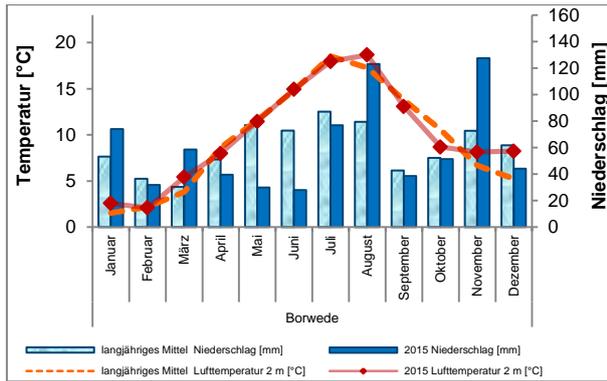


Abbildung 146: Witterungsverlauf Versuchsstandort Borwede

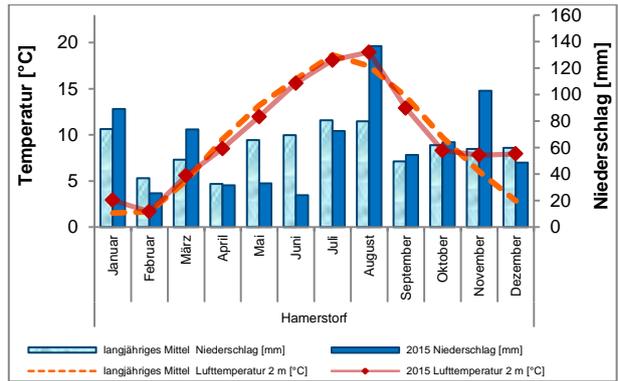


Abbildung 147: Witterungsverlauf Versuchsstandort Hamerstorf

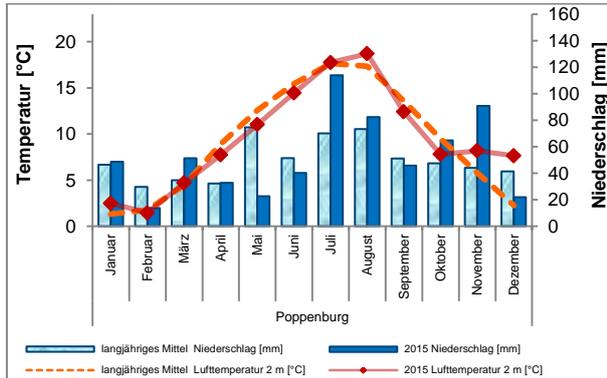


Abbildung 148: Witterungsverlauf Versuchsstandort Poppenburg

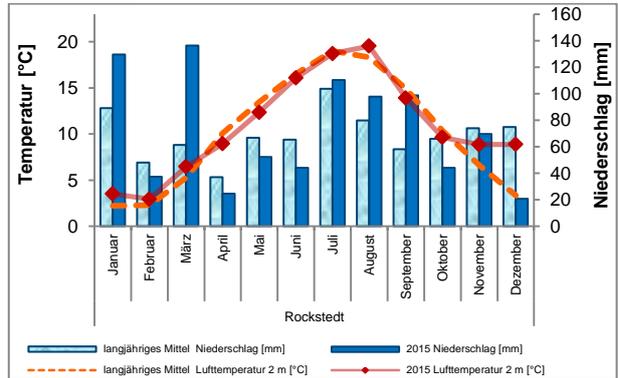


Abbildung 149: Witterungsverlauf Versuchsstandort Rockstedt

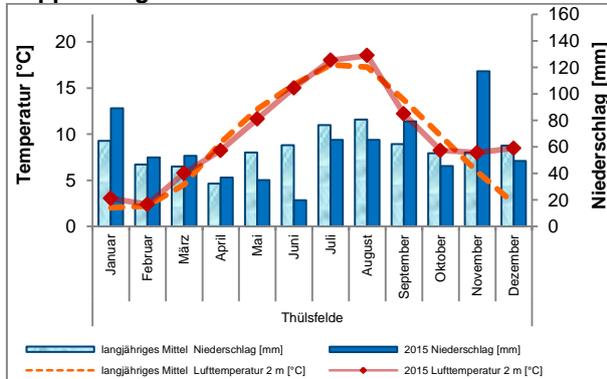


Abbildung 150: Witterungsverlauf Versuchsstandort Thülsfelde

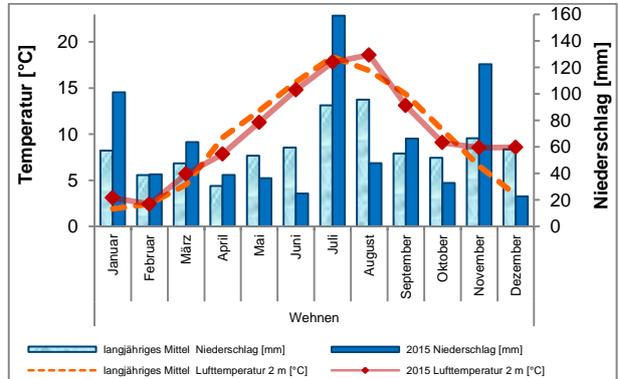


Abbildung 151: Witterungsverlauf Versuchsstandort Wehnen

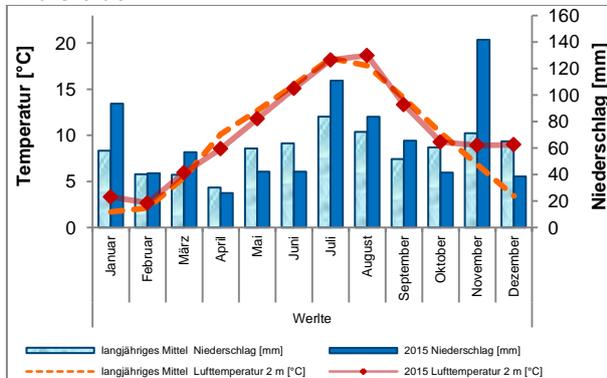


Abbildung 152: Witterungsverlauf Versuchsstandort Werthe

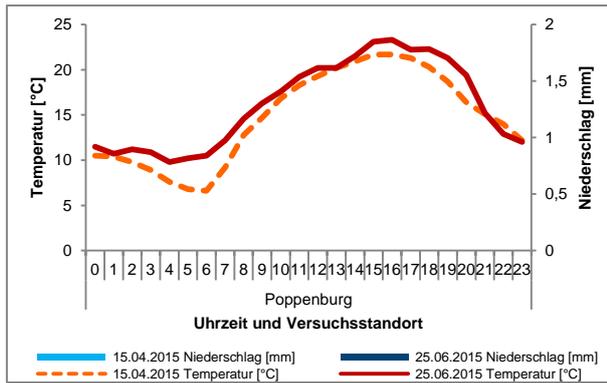


Abbildung 153: Temperatur und Niederschlag zum Zeitpunkt der organischen Düngung; Versuch zur grundwasserschutzorientierten Maisdüngung; Versuchsstandort Poppenburg

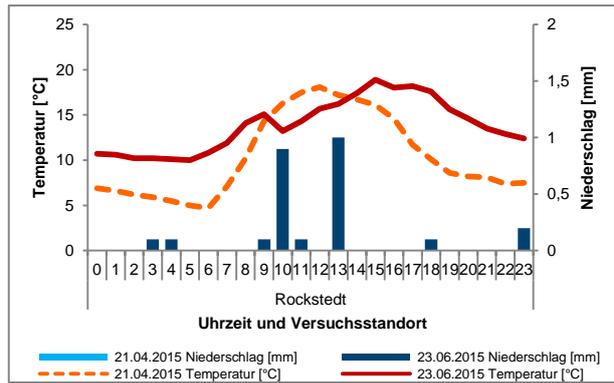


Abbildung 154: Temperatur und Niederschlag zum Zeitpunkt der organischen Düngung; Versuch zur grundwasserschutzorientierten Maisdüngung; Versuchsstandort Rockstedt

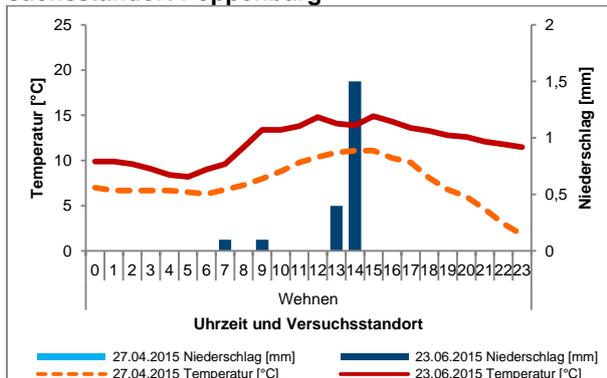


Abbildung 155: Temperatur und Niederschlag zum Zeitpunkt der organischen Düngung; Versuch zur grundwasserschutzorientierten Maisdüngung; Versuchsstandort Wehnen

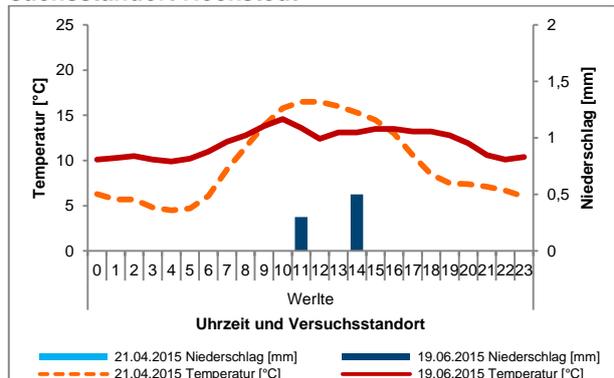


Abbildung 156: Temperatur und Niederschlag zum Zeitpunkt der organischen Düngung; Versuch zur grundwasserschutzorientierten Maisdüngung; Versuchsstandort Werlte

5.3. Versuchsdaten

Tabelle 15: Versuchsdaten; grundwasserschutzorientierte N-Düngung und Fruchtfolgegestaltung; konventionelle Fruchtfolge; Versuchsstandort Hamerstorf; 2015

Hamerstorf: grundwasserschutzorientierte N-Düngung und Fruchtfolgegestaltung															
Allgemein - konventionelle Fruchtfolge															
Jahr:	2015		Versuchsfrage: Welchen Einfluss hat die Höhe der N-Düngung auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser?												
Versuchsnummer der LWK:	643a		Wie kann die Sickerwasserqualität durch eine grundwasserschutzorientierte Gestaltung der Fruchtfolge und eine Anpassung der N-Düngung verbessert werden?												
Standort:	Hamerstorf														
Standort - konventionelle Fruchtfolge															
Klima/Witterung								Boden und Bewirtschaftung							
Mittlere Temperatur [°C]	10,4							Bodenart	Sand						
Temperatur im langjährigen Mittel [°C]	9,8							Bodentyp	Pseudogley Braunerde						
Jahresniederschlag [mm]	607							Ackerzahl	29						
Sommerniederschläge [mm] *April-September	385							Nutzbare Feldkapazität [mm]							
Niederschläge im langjährigen Mittel [mm]	715							C/N-Verhältnis	9						
vermutlich Starkregeneignisse [mm]; (>25 mm/h)	18.08.2015; 16.10.2015; 15.11.2015							Humusgehalt [%]	1,2						
Datum:								Mittlere Austauschhäufigkeit/anno	wurde im ersten Versuchsjahr durch das LBEG ermittelt						
Beregnung [mm]:	jeweils 30 mm							Mittlere Sickerwasserrate [mm/anno]	238						
Datum:	23.05.15, 03.06.15, 17.06.15, 30.07.15							langjährig organisch gedüngt	nein						
Bodenprobe Frühjahr:															
pH	5,6	P [mg/100 g Boden]	5	K [mg/100 g Boden]	4	Ma [mg/100 g Boden]	3								
Bewirtschaftung - konventionelle Fruchtfolge															
Hauptfrucht	Winterroggen					Sorte					KWS BONO				
Letzte Vorfrucht:	Kartoffeln					Folgefucht					Silomais				
Aussaatdatum:	07.10.2014					Erntedatum:					19.06.2015				
Pflanzenschutz [l bzw. kg/ha]:	16.03.2015 Trinity [2l/ha]; 09.04.2015 CCC 720 [1l/ha]; 23.04.2015 Capalo [1,4 l/ha]; 13.05.2015 Adexar [1,6 l/ha]														
Bodenbearbeitung	22.09.2015					Aussaatsdichte [Körner, bzw. Pflanzen/m²]					200				
nachfolgende Zwischenfrucht	keine					N-Düngung zur Zwischenfrucht [kg N/ha]:					gesamt: anerenbar:				
Hamerstorf grundwasserschutz															
Variante	Beschreibung der Varianten					Variante					Anhand der N-Düngestapel errechnete Daten:				
1	Ohne N-Düngung					11					Sollwert -20 %				
2	50 kg Mineral N/ha					12					Sollwert -10 %				
3	100 kg Mineral N/ha					13					Sollwert				
4	150 kg Mineral N/ha [Verrechnungsbasis für relative Erträge]					14					Sollwert +10 %				
5	200 kg Mineral N/ha					15					Sollwert + 20 %				
6	250 kg Mineral N/ha														
7	150 kg N/ha (stabilisiert; ENTEC)														
8	Sollwert -20%														
9	160 N Gärrest+ mineralisch														
10	100 kg N/ha aus Gärrest														
N-Düngung - konventionelle Fruchtfolge															
Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Frühjahrs N _{min} [kg/ha] 22.02.2015	9	10	9	9	9	13	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Mineralische N-Düngung [kg/ha]											120	135	150	165	180
Verwendeter Dünger:	KAS/AHL														
Organische N-Düngung [kg/ha]	Anrechenbar [70%]														
anrechenbar nach Abzug der Stall- und Lagerverluste gem. DüV															
Organische N-Düngung [kg/ha] gesamt											102 102				
Verwendeter Dünger:	Biogasgärrest														
Ermitteltes N-Angebot aus der Düngung:	0	50	100	150	200	250	140	120	142	102	120	135	150	165	180
N-Angebot: N-Düngung+Frühjahrs-N _{min}	9	60	109	159	209	263	149	129	151	111	129	144	159	174	189
bei der Ermittlung der Sollwertdüngung zu berücksichtigen:															
N-Nachlieferung aus der Zwischenfrucht (gem. DüV Anlage 2 Tab. 2)															
Aus Ernteresten der Vorfrucht verbleibender Stickstoff (gem. DüV Anlage 2, Tabelle 1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ergebnisse - konventionelle Fruchtfolge															
N _{min} -Werte [0-90 cm, in kg/ha]															
N _{min} direkt nach der Ernte; 14.08.2015	25	23	23	28	34	46	30	28	25	22	25	26	27	29	31
N _{min} zu Beginn der Sickerwasserspende; 22.09.2015	39	33	39	38	42	47	65	44	45	45	37	38	38	39	40
Ertrag und Qualitätsparameter															
Ertrag (absolut) [dt TM/ha]	51,5	78,1	100,4	107,8	112,7	118,9	113,9	113,6	89,1	67,8	103	106	109	112	114
Ertrag (relativ) [%]	84	94	96	100	98	103	109	100	106	89	95	99	102	104	106
Proteingehalt [%]	11	9	9	11	12	13	11	11	11	10					
N-Abfuhr	89	117	148	183	215	242	206	200	150	112					
N-Salden															
N-Bilanz [N-Zufuhr - N-Abfuhr] Unter Berücksichtigung gasförmiger Stall-, Lagerungs- und Ausbringungsverluste gem. DüV	-89	-67	-48	-33	-15	8	-66	-80	-8	-10					
N-Bilanz [N-Angebot-N-Abfuhr]	-80	-57	-39	-24	-6	21	-57	-71	1	-1					
Nitratkonzentration im Sickerwasser [mg/l]															
errechnete potentielle Auswirkungen auf die Sickerwasserqualität															
Berechnung der potentiellen Nitratkonzentration im Sickerwasser: (N _{min} -Herbst [kg/ha]/SWR [mm/Jahr]) * 443															
Die errechnete potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser kann aufgrund der Berechnungsgrundlagen nur einen Orientierungswert liefern.															
Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Sickerwasserrate	238														
Potentielle Sickerwasserbelastung [mg Nitrat/l]	73	61	73	71	78	87	121	82	84	84	69	70	71	73	75

Tabelle 16: Versuchsdaten; grundwasserschutzorientierte N-Düngung und Fruchtfolgegestaltung; grundwasser-schutzorientierte Fruchtfolge; Versuchsstandort Hamerstorf; 2015

Hamerstorf: grundwasserschutzorientierte N-Düngung und Fruchtfolgegestaltung															
Allgemein - grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge															
Jahr:	2015	Versuchsfrage: Welchen Einfluss hat die Höhe der N-Düngung auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser?													
Versuchsnummer der LWK:	643b	Wie kann die Sickerwasserqualität durch eine grundwasserschutzorientierte Gestaltung der Fruchtfolge und eine													
Standort:	Hamerstorf	Anpassung der N-Düngung verbessert werden?													
Standort - grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge															
Klima/Witterung					Boden und Bewirtschaftung										
Mittlere Temperatur [°C]	10,4	Bodenart			Sand										
Temperatur im langjährigen Mittel [°C]	9,8	Bodentyp			Pseudogley Braunerde										
Jahresniederschlag [mm]	607	Ackerzahl			29										
Sommerniederschlag [mm] <small>+April-September</small>	385	Nutzbare Feldkapazität [mm]													
Niederschläge im langjährigen Mittel [mm]	715	C/N-Verhältnis			9										
vermutlich Starkregenereignisse [mm; (>25 mm/h)]	18.08.2015; 16.10.2015; 15.11.2015	Humusgehalt [%]			1,2										
Datum:		Mittlere Austauschfähigkeit/anno			wurde im ersten Versuchsjahr durch das LBEG ermittelt										
Beregnung [mm];	jeweils 30 mm	Mittlere Sickerwasserrate [mm/anno]			238										
Datum:	23.05.15, 03.06.15, 17.06.15, 30.07.15	langjährig organisch gedüngt			nein										
Bodenprobe Frühjahr:															
pH	5,6	P [mg/100 g Boden]	5	K [mg/100 g Boden]	4	Mg [mg/100 g Boden]	3								
Bewirtschaftung - grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge															
Hauptfrucht:	Winterroggen mit Grasuntersaat	Sorte			KWS Bono										
Letzte Vorfrucht:	Kartoffel	Folgefucht			Silomais mit Untersaat										
Aussaaddatum:	07.10.2014	Erntedatum:			RoggenGPS: 19.06.2015; Untersaat: 31.07.2015; Untersaat: 17.09.2015										
Pflanzenschutz [l bzw. kg/ha]:	16.10.2014 Trinity [2]														
Bodenbearbeitung		Aussaatdichte [Körner, bzw. Pflanzen/m²]													
nachfolgende Zwischenfrucht		N-Düngung zur Zwischenfrucht [kg N/ha]:			gesamt:	anerkannt:									
Varianten - grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge															
Variante	Beschreibung der Varianten				Anhand der N-Düngestaffel errechnete Daten:										
1	Ohne N-Düngung				11	Sollwert -20 %									
2	150 kg Mineral N/ha				12	Sollwert -10 %									
3	100 kg Mineral N/ha				13	Sollwert									
4	150 kg Mineral N/ha [Verrechnungsbasis für relative Erträge]				14	Sollwert +10 %									
5	200 kg Mineral N/ha				15	Sollwert +20 %									
6	250 kg Mineral N/ha														
7	150 kg N/ha (stabilisiert; ENTEC)														
8	Sollwert -20%														
9	160 N Gärrest+ mineralisch														
10	100 kg N/ha aus Gärrest														
N-Düngung - grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge															
Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Frühjahrs N _{min} [kg/ha] 20.02.2015	9	9	9	10	9	10	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Roggen GPS															
Minerale N-Düngung [kg/ha]	0	50	100	150	200	250	140	120	40	0	120	135	150	165	180
Verwendeter Dünger:	KAS/AHL														
Organische N-Düngung [kg/ha]	Anrechenbar (70%)														
anrechenbar nach Abzug der Stall- und Lagerverluste gem. DüV					71 71										
Organische N-Düngung [kg/ha]	gesamt				102 102										
Verwendeter Dünger:	Biogasgärrest														
N-Angebot aus der Düngung:	0	50	100	150	200	250	140	120	111	71	120	135	150	165	180
N-Angebot: N-Düngung+Frühjahrs-N _{min}	9	59	109	160	209	260	149	129	120	80	129	144	159	174	189
bei der Ermittlung der Sollwertdüngung zu berücksichtigen:															
N-Nachlieferung aus der Zwischenfrucht (gem. DüV Anlage 2 Tab. 2)															
Aus Ernteresten der Vorfrucht verbleibender Stickstoff (gem. DüV Anlage 2, Tabelle 1)															
Untersaat															
Minerale N-Düngung [kg/ha]	0	60	60	60	60	60	60	60	30	30					
Verwendeter Dünger:	KAS/AHL														
Organische N-Düngung [kg/ha]	Anrechenbar (70%)														
anrechenbar nach Abzug der Stall- und Lagerverluste gem. DüV					28 28										
Organische N-Düngung [kg/ha]	gesamt				40 40										
Verwendeter Dünger:	Biogasgärrest														
N-Angebot aus der Düngung:	0	60	60	60	60	60	60	60	58	58					
Gesamt (Roggen GPS + Untersaat)															
Minerale N-Düngung [kg/ha]	0	110	160	210	260	310	200	180	70	30					
Verwendeter Dünger:	KAS/AHL														
Organische N-Düngung [kg/ha]	Anrechenbar (70%)														
anrechenbar nach Abzug der Stall- und Lagerverluste gem. DüV					99 99										
Organische N-Düngung [kg/ha]	gesamt				142 142										
Verwendeter Dünger:	Biogasgärrest														
N-Angebot aus der Düngung:	0	110	160	210	260	310	200	180	169	129					
Ergebnisse - grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge															
N _{min} -Werte [0-90 cm, in kg/ha]															
N _{min} direkt nach der Ernte (Roggen GPS)	10	7	6	7	7	11	11	7	5	5	6	6	6	7	7
N _{min} zu Beginn der Sickerwasserspende:															
Ertrag und Qualitätsparameter															
Roggen GPS															
Ertrag (absolut) [dt TM/ha]	63	102	127	134	130	135	133	129	115	98	129	133	135	137	138
Ertrag (relativ) [%]	47	76	95	100	97	101	99	96	86	73	96	99	101	102	103
Proteingehalt [%]	4	4	5	6	7	8	6	6	4,5	4,0					
N-Abfuhr [kg/ha]	38	60	98	127	155	169	131	124	82	63					
Untersaat (1. Schnitt)															
Ertrag (absolut) [dt TM/ha]	7	21	24	27	31	33	30	30	25	22	26	27	29	30	31
Ertrag (relativ) [%]	27	78	89	100	118	124	112	112	93	84	98	103	108	115	115
Proteingehalt [%]	8,6	7,3	6,4	7,5	7,6	8,9	6,7	6,9	6,1	6,8					
N-Abfuhr [kg/ha]	10	24	24	32	38	47	32	33	24	24					
Untersaat (2. Schnitt)															
Ertrag (absolut) [dt TM/ha]	6	29	31	29	28	26	29	28	27	27	32	32	33	32	32
Ertrag (relativ) [%]	22	99	108	100	97	89	101	98	93	93	110	112	113	113	111
Proteingehalt [%]	8,8	10,1	9,7	11,3	10,6	13,5	11,8	11,1	9,2	9,4					
N-Abfuhr [kg/ha]	9	46	48	52	47	55	55	50	39	40					
Gesamt															
N-Abfuhr [kg/ha]	57	130	171	212	241	271	218	207	146	127					
N-Salden															
Roggen GPS															
N-Bilanz [N-Zufuhr - N-Abfuhr] Unter Berücksichtigung gestillter Stall-, Lagerungs- und Ausbringungsverluste gem. DüV	-38	-10	2	23	45	81	9	-4	29	9					
N-Bilanz [N-Angebot-N-Abfuhr]	-29	-1	11	33	54	91	18	5	38	18					
Gesamt (Roggen GPS + Untersaat)															
N-Bilanz [N-Zufuhr - N-Abfuhr] Unter Berücksichtigung gestillter Stall-, Lagerungs- und Ausbringungsverluste gem. DüV	-57	-20	-11	-2	19	39	-18	-27	24	2					
N-Bilanz [N-Angebot-N-Abfuhr]	-48	-11	-2	8	28	49	-9	-18	33	11					
Nitratkonzentration im Sickerwasser [mg/l]															
errechnete potentielle Auswirkungen auf die Sickerwasserqualität															
Berechnung der potentiellen Nitratkonzentration im Sickerwasser: (N _{min} -Herbst [kg/ha]/SWR [mm/Jahr]) * 443															
Die errechnete potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser kann aufgrund der Berechnungsgrundlagen nur einen Orientierungswert liefern.															
Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Sickerwasserrate	238														
Potentielle Sickerwasserbelastung [mg Nitrat/l]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle 17: Versuchsdaten; grundwasserschutzorientierte N-Düngung und Fruchtfolgegestaltung; Teilfläche mit Sickerwasseruntersuchungen; Versuchsstandort Thülsfelde; 2015

Thülsfelde: grundwasserschutzorientierte Düngung und Fruchtfolgegestaltung													
Allgemein - Teilfläche mit Sickerwasseranlage													
Jahr:	2015			Versuchsfrage: Welchen Einfluss hat die Höhe der N-Düngung auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser, Erträge und Qualitätsparameter und wie wirken sich reduzierte und überhöhte N-Düngung langfristig auf N-Dynamik im Boden, Erträge und Qualitätsparameter aus?									
Versuchsnummer der LWK:	644a												
Standort:	Thülsfelde												
Standort -Block mit Sickerwasseranlage													
Klima/Witterung							Boden und Bewirtschaftung						
Mittlere Temperatur [°C]							Bodenart	Sand					
Temperatur im langjährigen Mittel [°C]							Bodentyp	Pseudogley-Podsol					
Jahresniederschlag [mm]							Ackerzahl	25					
Sommerniederschläge [mm] *April-September							Nutzbare Feldkapazität [mm]	109					
Niederschläge im langjährigen Mittel [mm]							C/N-Verhältnis	14					
vermutlich Starkregeneignisse [mm]; (>25 mm/h)							Humusgehalt [%]	2,7					
Datum:							Mittlere Austauschhäufigkeit/anno	3,3					
Beregnung [mm]:							Mittlere Sickerwasserrate [mm/anno]	325					
Datum:							langjährig organisch gedüngt	s. Variantenbeschreibung					
Bodenprobe Frühjahr:													
pH	5,9	P [mg/100 g Boden]	8	K [mg/100 g Boden]	4	Mg [mg/100 g Boden]	4						
Bewirtschaftung - Teilfläche mit Sickerwasseranlage													
Hauptfrucht	Winterroggen			Sorte			SU Forsetti						
Letzte Vorfrucht:	Mais (Silonutzung)			Folgefrucht			Wintergerste						
Aussaatdatum:	21.10.2014			Erntedatum:			08.08.2015						
Pflanzenschutz [l bzw.kg/ha]:	28.05.15 Aviator Xpro [0,65 l/ha], Fandango [0,65 l/ha]; 30.10.14 Bacara FORTE [1 l/ha]; 28.04.15 Moddus [0,2 l/ha], Chlormequat 720 [1 l/ha]												
Bodenbearbeitung	24.04.2014 Pflug mit Packer			Aussaaidichte [Körner/m ²]			240						
nachfolgende Zwischenfrucht	Senf/Ölrettich			N-Düngung zur Zwischenfrucht [kg N/ha]:			gesamt:	keine	anerchenbar:				
Varianten -Teilfläche mit Sickerwasseranlage													
Variante	Beschreibung der Varianten			Variante	Anhand der N-Düngestaffel errechnete Daten:								
1	Ohne N-Düngung			9	Sollwert -20 %								
2	40 kg N/ha (KAS)			10	Sollwert -10 %								
3	80 kg N/ha (KAS)			11	Sollwert								
4	120 kg N/ha (KAS)			12	Sollwert +10 %								
5	160 kg N/ha (KAS)			13	Sollwert + 20 %								
6	Sollwertdüngung organisch-mineralisch (Verrechnungsbasis für relative Erträge)												
7													
8													
N-Düngung - Teilfläche mit Sickerwasseranlage													
Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Frühjahrs N _{min} [kg/ha] (0-90 cm)	11	10	10	15	15	15			15	15	15	15	15
Mineralische N-Düngung [kg/ha]									94	106	118	130	142
Verwendeter Dünger:	KAS/AHL												
Organische N-Düngung [kg/ha]	Anrechenbar (70%)												
anrechenbar nach Abzug der Stall- und Lagerverluste gem. DüV				46									
Organische N-Düngung [kg/ha]	gesamt												
Verwendeter Dünger:	Schweinegülle												
Ermitteltes N-Angebot aus der Düngung:	0	40	80	120	160	118			94	106	118	130	142
N-Angebot: N-Düngung+Frühjahrs-N _{min} (0-90 cm)	11	50	90	135	175	133			109	121	133	145	157
bei der Ermittlung der Sollwertdüngung zu berücksichtigen:													
N-Nachlieferung aus der Zwischenfrucht (gem. DüV Anlage 2 Tab. 2)	20	20	20	20	20	20	20	20					
Aus Ernteresten der Vorfrucht verbleibender Stickstoff (gem. DüV Anlage 2, Tabelle 1)													
Ergebnisse - Teilfläche mit Sickerwasseranlage													
N _{min} -Werte [0-90 cm, in kg/ha]													
N _{min} direkt nach der Ernte: 10.08.2015	20	26	25	26	26	30			26	27	27	27	26
N _{min} zu Beginn der Sickerwasserspende; 17.11.2015	22	21	21	21	23	21			22	21	21	21	21
Ertrag und Qualitätsparameter													
Ertrag (absolut) [dt TM/ha]	19	47	73	84	93	86			84	88	90	92	92
Ertrag (relativ) [%]	22	54	85	97	108	100			97	102	105	107	107
Proteingehalt [%]	9,4	8,9	9,1	10,0	10,7	9,8							
N-Abfuhr	29	67	106	134	159	135							
N-Salden													
N-Bilanz [N-Zufuhr - N-Abfuhr] Unter Berücksichtigung gasförmiger Stall-, Lagerungs- und Ausbringungsverluste gem. DüV	-29	-27	-26	-14	1	-17							
N-Bilanz [N-Angebot-N-Abfuhr]	-18	-17	-16	1	16	-2							
Nitratkonzentration im Sickerwasser [mg/l]													
errechnete potentielle Auswirkungen auf die Sickerwasserqualität													
Berechnung der potentiellen Nitratkonzentration im Sickerwasser: (N _{min} -Herbst [kg/ha]/SWR [mm/Jahr]) * 443													
Die errechnete potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser kann aufgrund der Berechnungsgrundlagen nur einen Orientierungswert liefern.													
Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Sickerwasserrate	297												
Potentielle Sickerwasserbelastung [mg Nitrat/l]	33	31	31	31	34	31			32	32	32	32	31

Tabelle 18: Versuchsdaten; grundwasserschutzorientierte N-Düngung und Fruchtfolgegestaltung; konventionelle Fruchtfolge; Versuchsstandort Thülsfelde; 2015

Thülsfelde: grundwasserschutzorientierte Düngung und Fruchtfolgegestaltung													
Allgemein - konventionelle Fruchtfolge													
Jahr:	2015	Versuchsfrage: Welchen Einfluss hat die Höhe der N-Düngung auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser, Erträge und Qualitätsparameter und wie wirken sich reduzierte und überhöhte N-Düngung langfristig auf N-Dynamik im Boden, Erträge und Qualitätsparameter aus?											
Versuchsnummer der LWK:	644b												
Standort:	Thülsfelde												
Standort -konventionelle Fruchtfolge													
Klima/Witterung							Boden und Bewirtschaftung						
Mittlere Temperatur [°C]		Bodenart					Sand						
Temperatur im langjährigen Mittel [°C]		Bodentyp					Pseudogley-Podsol						
Jahresniederschlag [mm]		Ackerzahl					25						
Sommerniederschläge [mm] *April-September		Nutzbare Feldkapazität [mm]					109						
Niederschläge im langjährigen Mittel [mm]		C/N-Verhältnis					16						
vermutlich Starkregeneignisse [mm]; (>25 mm/h)		Humusgehalt [%]					3,3						
Datum:		Mittlere Austauschhäufigkeit/anno					3,3						
Berechnung [mm]:		Mittlere Sickerwasserrate [mm/anno]					325						
Datum:		langjährig organisch gedüngt					s. Variantenbeschreibung						
Bodenprobe Frühjahr:													
pH	5,4	P [mg/100 g Boden]	9	K [mg/100 g Boden]	4	Mg [mg/100 g Boden]	4						
Bewirtschaftung - konventionelle Fruchtfolge													
Hauptfrucht	Winterroggen			Sorte				SU Forsetti					
Letzte Vorfrucht:	Winterroggen (Körnernutzung)			Folgefucht				Mais (Silonutzung)					
Aussaatdatum:	21.10.2014			Erntedatum:				08.08.2015					
Pflanzenschutz [l bzw.kg/ha]:	28.05.15 Aviator Xpro [0,65 l/ha], Fandango [0,65 l/ha]; 30.10.14 Bacara FORTE [1 l/ha]; 28.04.15 Moddus [0,2 l/ha], Chlormequat 720 [1 l/ha]												
Bodenbearbeitung	24.04.2014 Pflug mit Packer			Aussaaidichte [Körner/m²]				240					
nachfolgende Zwischenfrucht	keine			N-Düngung zur Zwischenfrucht [kg N/ha]:				gesamt: anrechenbar:					
Varianten - konventionelle Fruchtfolge													
Variante	Beschreibung der Varianten				Variante	Anhand der N-Düngestaffel errechnete Daten:							
1	Ohne N-Düngung				9	Sollwert -20 %							
2	40 kg N/ha (KAS)				10	Sollwert -10 %							
3	80 kg N/ha (KAS)				11	Sollwert							
4	120 kg N/ha (KAS)				12	Sollwert +10 %							
5	160 kg N/ha (KAS)				13	Sollwert + 20 %							
6	Sollwertdüngung organisch-mineralisch [Verrechnungsbasis für relative Erträge]												
7	200 kg N/ha (KAS)												
8													
N-Düngung -konventionelle Fruchtfolge													
Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Frühjahrs N_{min} [kg/ha] (0-90 cm)	11	13	14	14	17	13	16		13	13	13	13	13
Mineralische N-Düngung [kg/ha]	0	40	80	120	160	74	200		96	108	120	132	144
Verwendeter Dünger:	KAS/AHL												
Organische N-Düngung [kg/ha] <small>Anrechenbar (70%) anrechenbar nach Abzug der Stall- und Lagerverluste gem. DüV</small>						46							
Organische N-Düngung [kg/ha] <small>gesamt</small>						66							
Verwendeter Dünger:	Schweinegülle												
Ermitteltes N-Angebot aus der Düngung:	0	40	80	120	160	120	200		96	108	120	132	144
N-Angebot: N-Düngung+Frühjahrs-N_{min}(0-90 cm)	11	53	94	134	177	133	216		109	121	133	145	157
bei der Ermittlung der Sollwertdüngung zu berücksichtigen:													
N-Nachlieferung aus der Zwischenfrucht (gem. DüV Anlage 2 Tab. 2)													
Aus Ernteresten der Vorfrucht verbleibender Stickstoff (gem. DüV Anlage 2, Tabelle 1)													
Ergebnisse -konventionelle Fruchtfolge													
N _{min} -Werte [0-90 cm, in kg/ha]													
N_{min} direkt nach der Ernte; 10.08.2015	21	20	19	19	23	23	40		18	19	20	21	23
N_{min} zu Beginn der Sickerwasserspende; 17.11.2015	11	11	12	10	15	17	16		13	13	13	13	14
Ertrag und Qualitätsparameter													
Ertrag (absolut) [dt TM/ha]	20	49	74	88	87	87	91		83	87	89	91	93
Ertrag (relativ) [%]	23	56	85	101	100	100	104		96	100	103	105	107
Proteingehalt [%]	9,6	8,9	9,1	9,8	11,2	9,8	11						
N-Abfuhr	30	70	107	138	155	136	165						
N-Salden													
N-Bilanz [N-Zufuhr - N-Abfuhr] Unter Berücksichtigung gasförmiger Stall-, Lagerungs- und Ausbringungsverluste gem. DüV	-30	-30	-27	-18	5	-16	35						
N-Bilanz [N-Angebot-N-Abfuhr]	-19	-17	-13	-4	22	-3	51						
Nitratkonzentration im Sickerwasser [mg/l]													
errechnete potentielle Auswirkungen auf die Sickerwasserqualität													
Berechnung der potentiellen Nitratkonzentration im Sickerwasser: (N _{min} -Herbst [kg/ha]/SWR [mm/Jahr]) * 443													
Die errechnete potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser kann aufgrund der Berechnungsgrundlagen nur einen Orientierungswert liefern.													
Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Sickerwasserrate	297												
Potentielle Sickerwasserbelastung [mg Nitrat/l]	16	16	18	15	22	25	24		19	19	20	20	20

Tabelle 19: Versuchsdaten; grundwasserschutzorientierte N-Düngung und Fruchtfolgegestaltung; grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge; Versuchsstandort Thülsfelde; 2015

Thülsfelde: grundwasserschutzorientierte Düngung und Fruchtfolgegestaltung													
Allgemein - grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge													
Jahr:	2015	Versuchsfrage: Welchen Einfluss hat die Höhe der N-Düngung auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser, Erträge und Qualitätsparameter und wie wirken sich reduzierte und überhöhte N-Düngung langfristig auf N-Dynamik im Boden, Erträge und Qualitätsparameter aus?											
Versuchsnummer der LWK:	644c												
Standort:	Thülsfelde												
Standort - grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge													
Klima/Witterung							Boden und Bewirtschaftung						
Mittlere Temperatur [°C]		Bodenart					Sand						
Temperatur im langjährigen Mittel [°C]		Bodentyp					Pseudogley-Podsol						
Jahresniederschlag [mm]		Ackerzahl					25						
Sommerniederschläge [mm] *April-September		Nutzbare Feldkapazität [mm]					109						
Niederschläge im langjährigen Mittel [mm]		C/N-Verhältnis					15						
vermutlich Starkregenereignisse [mm]; (>25 mm/h)		Humusgehalt [%]					3,4						
Datum:		Mittlere Austauschhäufigkeit/anno					3,3						
Berechnung [mm]:		Mittlere Sickerwasserrate [mm/anno]					325						
Datum:		langjährig organisch gedüngt					s. Variantenbeschreibung						
Bodenprobe Frühjahr:													
pH	5,3	P [mg/100 g Boden]	8	K [mg/100 g Boden]	3	Mg [mg/100 g Boden]	5						
Bewirtschaftung - grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge													
Hauptfrucht	Winterroggen			Sorte				SU Forsetti					
Letzte Vorfrucht:	Mais (Silonutzung)			Folgefucht				Winterroggen					
Aussaatdatum:	21.10.2014			Erntedatum:				08.08.2015					
Pflanzenschutz [l bzw.kg/ha]:	28.05.15 Aviator Xpro [0,65 l/ha], Fandango [0,65 l/ha]; 30.10.14 Bacara FORTE [1 l/ha]; 28.04.15 Moddus [0,2 l/ha], Chlormequat 720 [1 l/ha]												
Bodenbearbeitung	24.04.2014 Pflug mit Packer; 11.08.2015 Grubber; 21.08.2015 Scheibenege			Aussaatdichte [Körner/m²]				240					
nachfolgende Zwischenfrucht	Senf/Ölrettich			N-Düngung zur Zwischenfrucht [kg N/ha]:				gesamt: anrechenbar:					
Varianten - grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge													
Variante	Beschreibung der Varianten			Variante				Anhand der N-Düngestaffel errechnete Daten:					
1	Ohne N-Düngung			9				Sollwert -20 %					
2	40 kg N/ha (KAS)			10				Sollwert -10 %					
3	80 kg N/ha (KAS)			11				Sollwert					
4	120 kg N/ha (KAS)			12				Sollwert +10 %					
5	160 kg N/ha (KAS)			13				Sollwert +20 %					
6	Sollwertdüngung organisch-mineralisch (Verrechnungsbasis für relative Erträge)												
7	200 kg N/ha (KAS)												
8													
N-Düngung - grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge													
Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Frühjahrs N _{min} [kg/ha] (0-90 cm)	11	12	18	21	23	17	26		20	21	21	22	22
Mineralische N-Düngung [kg/ha]									120	135	150	165	180
Verwendeter Dünger:	KAS/AHL												
Organische N-Düngung [kg/ha] <small>Anrechenbar (70%) anrechenbar nach Abzug der Stall- und Lagerverluste gem. DüV</small>						46							
Organische N-Düngung [kg/ha] gesamt						66							
Verwendeter Dünger:	Biogasgärrest												
Ermitteltes N-Angebot aus der Düngung:	0	40	80	120	160	150	200		120	135	150	165	180
N-Angebot: N-Düngung+Frühjahrs-N _{min} (0-90 cm)	11	52	98	141	183	167	226		140	156	171	187	202
bei der Ermittlung der Sollwertdüngung zu berücksichtigen:													
N-Nachlieferung aus der Zwischenfrucht (gem. DüV Anlage 2 Tab. 2)	20	20	20	20	20	20	20	20					
Aus Ernteresten der Vorfrucht verbliebener Stickstoff (gem. DüV Anlage 2, Tabelle 1)													
Ergebnisse - grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge													
N _{min} -Werte [0-90 cm, in kg/ha]													
N _{min} direkt nach der Ernte; 11.08.2015	18	18	19	22	29	14	39		21	22	23	24	25
N _{min} zu Beginn der Sickerwasserspende; 17.11.2015	12	11	14	12	14	14	18		13	13	14	14	15
Ertrag und Qualitätsparameter													
Ertrag (absolut) [dt TM/ha]	25	52	81	91	95	94	96		93	95	97	98	99
Ertrag (relativ) [%]	26	55	86	96	101	100	102		99	101	103	104	105
Proteingehalt [%]	9,4	9,1	9,1	10,1	11,2	10,4	12						
N-Abfuhr	37	76	118	146	171	157	181						
N-Salden													
N-Bilanz [N-Zufuhr - N-Abfuhr] Unter Berücksichtigung gasförmiger Stall-, Lagerungs- und Ausbringungsverluste gem. DüV	-37	-36	-38	-26	-11	-7	19						
N-Bilanz [N-Angebot-N-Abfuhr]	-26	-24	-20	-5	12	10	45						
Nitratkonzentration im Sickerwasser [mg/l]													
errechnete potentielle Auswirkungen auf die Sickerwasserqualität													
Berechnung der potentiellen Nitratkonzentration im Sickerwasser: (N _{min} -Herbst [kg/ha]/SWR [mm/Jahr]) * 443													
Die errechnete potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser kann aufgrund der Berechnungsgrundlagen nur einen Orientierungswert liefern.													
Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Sickerwasserrate	297												
Potentielle Sickerwasserbelastung [mg Nitrat/l]	18	16	21	18	21	21	27		19	20	21	21	22
Als Zwischenfrucht kamen 20 kg/ha der Mischung Ölrettich (47 % Rego) und Weißsenf (53 % Seco) zum Einsatz. Diese Mischung ist für Greening geeignet.													

Tabelle 20: Versuchsdaten; grundwasserschutzorientierter Zwischenfruchtanbau; Versuchsstandort Wehnen; 2015 – ohne vorangegangene Zwischenfrucht

Wehnen: grundwasserschutzorientierter Zwischenfruchtanbau																							
Allgemein - ohne vorangegangene Zwischenfrucht																							
Jahr:	2015			Versuchsfrage: Welche Auswirkungen haben Art und Höhe der N-Düngung zur Zwischenfrucht und die Höhe der N-Düngung zur anschließenden Hauptfrucht auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser? Wie viel Stickstoff wird im Herbst von der Zwischenfrucht aufgenommen und wie viel Stickstoff wird während der Sickerwasserspense konserviert? Wie viel des von der Zwischenfrucht aufgenommenen Stickstoffs steht der nachfolgenden Hauptfrucht in den Folgejahren zur Verfügung?																			
Versuchsnummer der LWK:	645																						
Standort:	Wehnen																						
Standort - ohne vorangegangene Zwischenfrucht																							
Klima/Witterung							Boden und Bewirtschaftung																
Mittlere Temperatur [°C]	10,1			Bodenart	Sand																		
Temperatur im langjährigen Mittel [°C]	9,8			Bodentyp	vorwiegend Plaggenesch																		
Jahresniederschlag [mm]	755			Ackerzahl	25																		
Sommerniederschläge [mm] *April-September	373			Nutzbare Feldkapazität [mm]	120																		
Niederschläge im langjährigen Mittel [mm]	676			C/N-Verhältnis	15																		
vermutlich Starkregeneignisse [mm]; (>25 mm/h)	27.07.2015; 15.11.2015			Humusgehalt [%]	3																		
Datum:				Mittlere Austauschhäufigkeit/anno																			
Beregnung [mm]:				Mittlere Sickerwasserrate [mm/anno]	297																		
Datum:				langjährig organisch gedüngt	ja																		
Bodenprobe Frühjahr:																							
pH	5,4	P [mg/100 g Boden]	14	K [mg/100 g Boden]	4	Mg [mg/100 g Boden]	4																
Bewirtschaftung - ohne vorangegangene Zwischenfrucht																							
Hauptfrucht	Silomais			Sorte	Grosso																		
Letzte Vorfrucht:	Winterroggen (Silonutzung)			Folgefrucht	Winterroggen																		
Aussaatum:	22.04.2015			Erntedatum:	05.10.2015																		
Pflanzenschutz [l bzw.kg/ha]:	22.05.2015: Peak [0,014], Dual Gold [0,8], Calaris [1]; 09.06.2015: Motivell [0,5], Sulcogan [0,5], Certrol B [0,2]																						
Bodenbearbeitung	keine			Aussaatdichte [Körner/m²]	9																		
nachfolgende Zwischenfrucht				N-Düngung zur Zwischenfrucht [kg N/ha]:	gesamt:		anerchenbar:																
Varianten - ohne vorangegangene Zwischenfrucht																							
Variante	Beschreibung der Varianten			Variante	Anhand der N-Düngestaffel errechnete Daten:																		
1	Ohne N-Düngung			9	Sollwert -20 %																		
2	60 kg N/ha (KAS)			10	Sollwert -10 %																		
3	120 kg N/ha (KAS)			11	Sollwert																		
4	180 kg N/ha (KAS)			12	Sollwert +10 %																		
5	240 kg N/ha (KAS)			13	Sollwert +20 %																		
6	300 kg N/ha (KAS)																						
7																							
8																							
N-Düngung - ohne vorangegangene Zwischenfrucht																							
Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13										
Frühjahrs N _{min} [kg/ha] (0-90 cm) 31.03.2015	6	6	6	6	6	6			6	6	6	6	6										
Minerale N-Düngung [kg/ha]																							
Verwendeter Dünger:	KAS/AHL									139	157	174	191	209									
Organische N-Düngung [kg/ha] anrechenbar (70%) anrechenbar nach Abzug der Stall- und Lagerverluste gem. DüV																							
Organische N-Düngung [kg/ha] gesamt																							
Verwendeter Dünger:	Biogassärrest																						
Ermitteltes N-Angebot aus der Düngung:	0	60	120	180	240	300			139,2	156,6	174	191,4	208,8										
N-Angebot: N-Düngung+Frühjahrs-N _{min} (0-90 cm)	6	66	126	186	246	306			145	163	180	197	215										
bei der Ermittlung der Sollwertdüngung zu berücksichtigen:																							
N-Nachlieferung aus der Zwischenfrucht (gem. DüV Anlage 2 Tab. 2)																							
Aus Ernteresten der Vorfrucht verbleibender Stickstoff (gem. DüV Anlage 2, Tabelle 1)																							
Ergebnisse - ohne vorangegangene Zwischenfrucht																							
N _{min} -Werte [0-90 cm, in kg/ha]																							
N _{min} im Vegetationsverlauf; 04.06.2015	75	108	102	121	136	113			118	120	122	123	124										
N _{min} direkt nach der Ernte; 13.10.2015	18	18	19	23	45	167			8	15	24	34	47										
N _{min} zu Beginn der Sickerwasserspense; 24.11.2015	18	17	18	17	38	57			17	19	22	25	28										
Ertrag und Qualitätsparameter																							
Ertrag (absolut) [dt TM/ha]	162	186	188	191	198	198			191	193	194	196	197										
Ertrag (relativ) [%]	86	99	100	102	105	106			102	103	104	104	105										
Proteingehalt [%]	4,7	5,5	5,8	6,2	6,5	6,7																	
N-Abfuhr	122	164	174	189	206	212																	
N-Salden																							
N-Bilanz [N-Zufuhr - N-Abfuhr] Unter Berücksichtigung gasförmiger Stall-, Lagerungs- und Ausbringungsverluste gem. DüV	-122	-104	-54	-9	34	88																	
N-Bilanz [N-Angebot-N-Abfuhr]	-116	-98	-48	-3	40	94																	
Nitratkonzentration im Sickerwasser [mg/l]																							
errechnete potentielle Auswirkungen auf die Sickerwasserqualität																							
Berechnung der potentiellen Nitratkonzentration im Sickerwasser: (N _{min} -Herbst [kg/ha]/SWR [mm/Jahr]) * 443																							
Die errechnete potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser kann aufgrund der Berechnungsgrundlagen nur einen Orientierungswert liefern.																							
Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13										
Sickerwasserrate	297									27	25	27	25	57	85	0	0	25	28	32	37	42	
Potentielle Sickerwasserbelastung [mg Nitrat/l]																							

Tabelle 21: Versuchsdaten; grundwasserschutzorientierter Zwischenfruchtanbau; Versuchsstandort Wehnen; 2015 – nach ungedüngter Zwischenfrucht

Wehnen: grundwasserschutzorientierter Zwischenfruchtanbau														
Allgemein - nach ungedüngter Zwischenfrucht														
Jahr:	2015	Versuchsfrage: Welche Auswirkungen haben Art und Höhe der N-Düngung zur Zwischenfrucht und die Höhe der N-Düngung zur anschließenden Hauptfrucht auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser? Wie viel Stickstoff wird im Herbst von der Zwischenfrucht aufgenommen und wie viel Stickstoff wird während der Sickerwasserspense konserviert? Wie viel des von der Zwischenfrucht aufgenommenen Stickstoffs steht der nachfolgenden Hauptfrucht in den Folgejahren zur Verfügung?												
Versuchsnummer der LWK:	645													
Standort:	Wehnen													
Standort - nach ungedüngter Zwischenfrucht														
Klima/Witterung							Boden und Bewirtschaftung							
Mittlere Temperatur [°C]	10,1						Bodenart	Sand						
Temperatur im langjährigen Mittel [°C]	9,8						Bodentyp	vorwiegend Plaggenesch						
Jahresniederschlag [mm]	755						Ackerzahl	25						
Sommerniederschläge [mm] *April-September	373						Nutzbare Feldkapazität [mm]	120						
Niederschläge im langjährigen Mittel [mm]	676						C/N-Verhältnis	15						
vermutlich Starkregeneignisse [mm]; (>25 mm/h)	27.07.2015; 15.11.2015						Humusgehalt [%]	3						
Datum:							Mittlere Austauschhäufigkeit/anno							
Beregnung [mm]:							Mittlere Sickerwasserrate [mm/anno]	297						
Datum:							langjährig organisch gedüngt	ja						
Bodenprobe Frühjahr:														
pH	5,4	P [mg/100 g Boden]	14	K [mg/100 g Boden]	4	Mq [mg/100 g Boden]	4							
Bewirtschaftung - nach ungedüngter Zwischenfrucht														
Hauptfrucht	Silomais			Sorte				Grosso						
Letzte Vorfrucht:	Winterroggen (Silonutzung)			Folgefucht				Winterroggen						
Aussaatdatum:	22.04.2015			Erntedatum:				05.10.2015						
Pflanzenschutz [l bzw.kg/ha]:	22.05.2015: Peak [0,014], Dual Gold [0,8], Calaris [1]; 09.06.2015: Motivell [0,5], Sulcogan [0,5], Certrol B [0,2]													
Bodenbearbeitung				Aussaaidichte [Körner/m²]				9						
nachfolgende Zwischenfrucht	Örrettich/Senf			N-Düngung zur Zwischenfrucht [kg N/ha]:				gesamt:		anrechenbar:				
Varianten - nach ungedüngter Zwischenfrucht														
Variante	Beschreibung der Varianten				Variante	Anhand der N-Düngestaffel errechnete Daten:								
1	Ohne N-Düngung				9	Sollwert -20 %								
2	60 kg N/ha (KAS)				10	Sollwert -10 %								
3	120 kg N/ha (KAS)				11	Sollwert								
4	180 kg N/ha (KAS)				12	Sollwert +10 %								
5	240 kg N/ha (KAS)				13	Sollwert +20 %								
6	300 kg N/ha (KAS)													
7														
8														
N-Düngung - nach ungedüngter Zwischenfrucht														
Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Frühjahrs N _{min} [kg/ha] (0-90 cm) 31.03.2015	13	13	13	13	13	13			13	13	13	13	13	
Mineralische N-Düngung [kg/ha]														
Verwendeter Dünger: KAS/AHL	0	60	120	180	240	300			118	132	147	162	176	
Organische N-Düngung [kg/ha] anrechenbar (70%) anrechenbar nach Abzug der Stall- und Lagerverluste gem. DüV														
Organische N-Düngung [kg/ha] gesamt														
Verwendeter Dünger: Biogasgärrest														
Ermitteltes N-Angebot aus der Düngung:	0	60	120	180	240	300			118	132	147	162	176	
N-Angebot: N-Düngung+Frühjahrs-N _{min} (0-90 cm)	13	73	133	193	253	313			131	145	160	175	189	
bei der Ermittlung der Sollwertdüngung zu berücksichtigen:														
N-Nachlieferung aus der Zwischenfrucht (gem. DüV Anlage 2 Tab. 2)	20	20	20	20	20	20								
Aus Ernteresten der Vorfrucht verbleibender Stickstoff (gem. DüV Anlage 2, Tabelle 1)	0	0	0	0	0	0								
Ergebnisse - nach ungedüngter Zwischenfrucht														
N _{min} -Werte [0-90 cm, in kg/ha]														
N _{min} im Vegetationsverlauf; 04.06.2015	83	109	143	144	121	145			130	133	136	138	140	
N _{min} direkt nach der Ernte; 13.10.2015	20	22	23	27	56	96			19	21	24	28	32	
N _{min} zu Beginn der Sickerwasserspense; 24.11.2015	16	26	17	22	39	48			20	21	23	24	26	
Ertrag und Qualitätsparameter														
Ertrag (absolut) [dt TM/ha]	168	183	194	193	191	192			190	191	193	194	194	
Ertrag (relativ) [%]	89	97	103	103	102	103			101	102	103	103	104	
Proteingehalt [%]	4,8	5,5	6,0	6,3	6,6	7,0								
N-Abfuhr	129	161	187	193	200	216								
N-Salden														
N-Bilanz [N-Zufuhr - N-Abfuhr] Unter Berücksichtigung gasförmiger Stall-, Lagerungs- und Ausbringungsverluste gem. DüV	-129	-101	-67	-13	40	84								
N-Bilanz [N-Angebot-N-Abfuhr]	-116	-88	-54	0	53	97								
Nitratkonzentration im Sickerwasser [mg/l]														
errechnete potentielle Auswirkungen auf die Sickerwasserqualität														
Berechnung der potentiellen Nitratkonzentration im Sickerwasser: (N _{min} -Herbst [kg/ha]/SWR [mm/Jahr]) * 443														
Die errechnete potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser kann aufgrund der Berechnungsgrundlagen nur einen Orientierungswert liefern.														
Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Sickerwasserrate	297													
Potentielle Sickerwasserbelastung [mg Nitrat/l]	24	39	25	33	58	72	0	0	30	32	34	36	38	

Tabelle 22: Versuchsdaten; grundwasserschutzorientierter Zwischenfruchtanbau; Versuchsstandort Wehnen; 2015 – nach mineralisch gedüngter Zwischenfrucht

Wehnen: grundwasserschutzorientierter Zwischenfruchtanbau													
Allgemein - nach mineralisch gedüngter Zwischenfrucht													
Jahr:	2015			Versuchsfrage: Welche Auswirkungen haben Art und Höhe der N-Düngung zur Zwischenfrucht und die Höhe der N-Düngung zur anschließenden Hauptfrucht auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser? Wie viel Stickstoff wird im Herbst von der Zwischenfrucht aufgenommen und wie viel Stickstoff wird während der Sickerwasserspende konserviert? Wie viel des von der Zwischenfrucht aufgenommenen Stickstoffs steht der nachfolgenden Hauptfrucht in den Folgejahren zur Verfügung?									
Versuchsnummer der LWK:	645												
Standort:	Wehnen												
Standort - nach mineralisch gedüngter Zwischenfrucht													
Klima/Witterung							Boden und Bewirtschaftung						
Mittlere Temperatur [°C]	10,1			Bodenart			Sand						
Temperatur im langjährigen Mittel [°C]	9,8			Bodentyp			vorwiegend Plaggensch						
Jahresniederschlag [mm]	755			Ackerzahl			25						
Sommerniederschläge [mm] *April-September	373			Nutzbare Feldkapazität [mm]			120						
Niederschläge im langjährigen Mittel [mm]	676			C/N-Verhältnis			15						
vermutlich Starkregeneignisse [mm]; (>25 mm/h)	27.07.2015; 15.11.2015			Humusgehalt [%]			3						
Datum:				Mittlere Austauschhäufigkeit/anno									
Beregnung [mm]:				Mittlere Sickerwasserrate [mm/anno]			297						
Datum:				langjährig organisch gedüngt			ja						
Bodenprobe Frühjahr:													
pH	5,4	P [mg/100 g Boden]	14	K [mg/100 g Boden]	4	Mg [mg/100 g Boden]	4						
Bewirtschaftung - nach mineralisch gedüngter Zwischenfrucht													
Hauptfrucht	Silomais			Sorte			Grosso						
Letzte Vorfrucht:	Winterroggen (Silonutzung)			Folgefrucht			Winterroggen						
Aussaatdatum:	22.04.2015			Erntedatum:			05.10.2015						
Pflanzenschutz [l bzw. kg/ha]:	22.05.2015: Peak [0,014], Dual Gold [0,8], Calaris [1]; 09.06.2015: Motivell [0,5], Sulcogan [0,5], Certrol B [0,2]												
Bodenbearbeitung	Ölrettich/Senf			Aussaaddichte [Körner/m²]			9						
nachfolgende Zwischenfrucht	Ölrettich/Senf			N-Düngung zur Zwischenfrucht [kg N/ha]:			gesamt:	60	anerchenbar:				
Varianten - nach mineralisch gedüngter Zwischenfrucht													
Variante	Beschreibung der Varianten			Variante	Anhand der N-Düngestaffel errechnete Daten:								
1	Ohne N-Düngung			9	Sollwert -20 %								
2	60 kg N/ha (KAS)			10	Sollwert -10 %								
3	120 kg N/ha (KAS)			11	Sollwert								
4	180 kg N/ha (KAS)			12	Sollwert +10 %								
5	240 kg N/ha (KAS)			13	Sollwert +20 %								
6	300 kg N/ha (KAS)												
7													
8													
N-Düngung -nach mineralisch gedüngter Zwischenfrucht													
Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Frühjahrs N _{min} [kg/ha] (0-90 cm) 31.03.2015	17	17	17	17	17	17			17	17	17	17	17
Mineralische N-Düngung [kg/ha]													
Verwendeter Dünger: KAS/AHL	0	60	120	180	240	300			106	120	133	146	160
Organische N-Düngung [kg/ha] Anrechenbar [70%] anrechenbar nach Abzug der Stall- und Lagerverluste gem. DUV													
Organische N-Düngung [kg/ha] gesamt													
Verwendeter Dünger: Biogasgärrest													
Ermitteltes N-Angebot aus der Düngung:	0	60	120	180	240	300			106	120	133	146	160
N-Angebot: N-Düngung+Frühjahrs-N _{min} (0-90 cm)	17	77	137	197	257	317			123	137	150	163	177
bei der Ermittlung der Sollwertdüngung zu berücksichtigen:													
N-Nachlieferung aus der Zwischenfrucht (gem. DUV Anlage 2 Tab. 2)	30	30	30	30	30	30							
Aus Ernteresten der Vorfrucht verbleibender Stickstoff (gem. DUV Anlage 2, Tabelle 1)	0	0	0	0	0	0							
Ergebnisse - nach mineralisch gedüngter Zwischenfrucht													
N _{min} -Werte [0-90 cm, in kg/ha]													
N _{min} im Vegetationsverlauf; 04.06.2015	96	134	144	124	118	147			128	130	131	133	134
N _{min} direkt nach der Ernte; 13.10.2015	19	23	27	32	70	187			9	12	16	21	28
N _{min} zu Beginn der Sickerwasserspende; 24.11.2015	17	16	24	26	41	106			12	14	16	19	22
Ertrag und Qualitätsparameter													
Ertrag (absolut) [dt TM/ha]	165	191	184	190	194	183			117	99	79	57	32
Ertrag (relativ) [%]	88	102	98	101	103	98			100	101	101	102	102
Proteingehalt [%]	5,2	6,1	6,0	6,8	6,4	6,8							
N-Abfuhr	137	186	177	207	199	199							
N-Salden													
N-Bilanz [N-Zufuhr - N-Abfuhr] Unter Berücksichtigung gasförmiger Stall-, Lagerungs- und Ausbringungsverluste gem. DUV	-137	-126	-57	-27	41	101							
N-Bilanz [N-Angebot-N-Abfuhr]	-120	-109	-40	-10	58	118							
Nitratkonzentration im Sickerwasser [mg/l]													
errechnete potentielle Auswirkungen auf die Sickerwasserqualität													
Berechnung der potentiellen Nitratkonzentration im Sickerwasser: (N _{min} -Herbst [kg/ha]/SWR [mm/Jahr]) * 443													
Die errechnete potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser kann aufgrund der Berechnungsgrundlagen nur einen Orientierungswert liefern.													
Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Sickerwasserrate	297												
Potentielle Sickerwasserbelastung [mg Nitrat/l]	25	24	36	39	61	158			18	21	24	28	33

Tabelle 23: Versuchsdaten; grundwasserschutzorientierter Zwischenfruchtanbau; Versuchsstandort Wehnen; 2015 – nach organisch gedüngter Zwischenfrucht

Wehnen: grundwasserschutzorientierter Zwischenfruchtanbau													
Allgemein - nach organisch gedüngter Zwischenfrucht													
Jahr:	2015			Versuchsfrage: Welche Auswirkungen haben Art und Höhe der N-Düngung zur Zwischenfrucht und die Höhe der N-Düngung zur anschließenden Hauptfrucht auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser? Wie viel Stickstoff wird im Herbst von der Zwischenfrucht aufgenommen und wie viel Stickstoff wird während der Sickerwasserspende konserviert? Wie viel des von der Zwischenfrucht aufgenommenen Stickstoffs steht der nachfolgenden Hauptfrucht in den Folgejahren zur Verfügung?									
Versuchsnummer der LWK:	645												
Standort:	Wehnen												
Standort - nach organisch gedüngter Zwischenfrucht													
Klima/Witterung							Boden und Bewirtschaftung						
Mittlere Temperatur [°C]	10,1			Bodenart			Sand						
Temperatur im langjährigen Mittel [°C]	9,8			Bodentyp			vorwiegend Plaggensch						
Jahresniederschlag [mm]	755			Ackerzahl			25						
Sommerniederschläge [mm] *April-September	373			Nutzbare Feldkapazität [mm]			120						
Niederschläge im langjährigen Mittel [mm]	676			C/N-Verhältnis			15						
vermutlich Starkregeneignisse [mm]; (>25 mm/h)	27.07.2015; 15.11.2015			Humusgehalt [%]			3						
Datum:				Mittlere Austauschhäufigkeit/anno									
Beregnung [mm]:				Mittlere Sickerwasserrate [mm/anno]			297						
Datum:				langjährig organisch gedüngt			ja						
Bodenprobe Frühjahr:													
pH	5,4	P [mg/100 g Boden]	14	K [mg/100 g Boden]	4	Mg [mg/100 g Boden]	4						
Bewirtschaftung - nach organisch gedüngter Zwischenfrucht													
Hauptfrucht	Silomais			Sorte			Grosso						
Letzte Vorfrucht:	Winterroggen (Silonutzung)			Folgefrucht			Winterroggen						
Aussaatum:	22.04.2015			Erntedatum:			05.10.2015						
Pflanzenschutz [l bzw. kg/ha]:	22.05.2015: Peak [0,014], Dual Gold [0,8], Calaris [1]; 09.06.2015: Motivell [0,5], Sulcogan [0,5], Certrol B [0,2]												
Bodenbearbeitung				Aussaatdichte [Körner/m²]			9						
nachfolgende Zwischenfrucht	Ölrettich/Senf			N-Düngung zur Zwischenfrucht [kg N/ha]:			gesamt:	60	anerchenbar:				
Varianten - nach organisch gedüngter Zwischenfrucht													
Variante	Beschreibung der Varianten			Variante	Anhand der N-Düngestapel errechnete Daten:								
1	Ohne N-Düngung			9	Sollwert -20 %								
2	60 kg N/ha (KAS)			10	Sollwert -10 %								
3	120 kg N/ha (KAS)			11	Sollwert								
4	180 kg N/ha (KAS)			12	Sollwert +10 %								
5	240 kg N/ha (KAS)			13	Sollwert +20 %								
6	300 kg N/ha (KAS)												
7													
8													
N-Düngung -nach organisch gedüngter Zwischenfrucht													
Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Frühjahrs N _{min} [kg/ha] (0-90 cm) 31.03.2015	15	15	15	15	15	15			15	15	15	15	15
Mineralische N-Düngung [kg/ha]													
Verwendeter Dünger: KAS/AHL	0	60	120	180	240	300			108	122	135	149	162
Organische N-Düngung [kg/ha] anrechenbar [70%] anrechenbar nach Abzug der Stall- und Lagerverluste gem. DUV													
Organische N-Düngung [kg/ha] gesamt													
Verwendeter Dünger: Biogasgärrest													
Ermitteltes N-Angebot aus der Düngung:	0	60	120	180	240	300			108	121,5	135	148,5	162
N-Angebot: N-Düngung+Frühjahrs-N _{min} (0-90 cm)	15	75	135	195	255	315			123	137	150	164	177
bei der Ermittlung der Sollwertdüngung zu berücksichtigen:													
N-Nachlieferung aus der Zwischenfrucht (gem. DUV Anlage 2 Tab. 2)	30	30	30	30	30	30							
Aus Ernteresten der Vorfrucht verbleibender Stickstoff (gem. DUV Anlage 2, Tabelle 1)	0	0	0	0	0	0							
Ergebnisse - nach organisch gedüngter Zwischenfrucht													
N _{min} -Werte [0-90 cm, in kg/ha]													
N _{min} im Vegetationsverlauf; 04.06.2015	103	147	178	127	114	153			144	145	147	147	148
N _{min} direkt nach der Ernte; 13.10.2015	19	20	20	31	60	93			19	20	23	26	29
N _{min} zu Beginn der Sickerwasserspende; 24.11.2015	19	16	20	24	38	56			17	18	20	21	23
Ertrag und Qualitätsparameter													
Ertrag (absolut) [dt TM/ha]	168	186	184	189	190	190			145	135	124	112	98
Ertrag (relativ) [%]	89	99	98	101	101	101			99	99	100	101	101
Proteingehalt [%]	4,4	5,8	6,3	6,4	6,7	6,8							
N-Abfuhr	118	173	185	194	204	207							
N-Salden													
N-Bilanz [N-Zufuhr - N-Abfuhr] Unter Berücksichtigung gasförmiger Stall-, Lagerungs- und Ausbringungsverluste gem. DUV	-118	-113	-65	-14	36	93							
N-Bilanz [N-Angebot-N-Abfuhr]	-103	-98	-50	1	51	108							
Nitratkonzentration im Sickerwasser [mg/l]													
errechnete potentielle Auswirkungen auf die Sickerwasserqualität													
Berechnung der potentiellen Nitratkonzentration im Sickerwasser: (N _{min} -Herbst [kg/ha]/SWR [mm/Jahr]) * 443													
Die errechnete potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser kann aufgrund der Berechnungsgrundlagen nur einen Orientierungswert liefern.													
Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Sickerwasserrate	297												
Potentielle Sickerwasserbelastung [mg Nitrat/l]	28	24	30	36	57	84			26	27	29	31	34

Tabelle 24: Versuchsdaten; grundwasserschutzorientierte organische Düngung; Versuchsstandort Wehnen; 2015

Wehnen: grundwasserschutzorientierte organische Düngung																																																			
Allgemein																																																			
Jahr:	2015	Versuchsfrage: Welchen Einfluss hat die Höhe der organischen Düngung auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser? Wie wirken sich langfristig reduzierte und überhöhte organische Düngung auf n-Dynamik im Boden, Erträge und Qualitätsparameter aus?																																																	
Versuchsnummer der LWK:	649																																																		
Standort:	Wehnen																																																		
Standort																																																			
Klima/Witterung								Boden und Bewirtschaftung																																											
Mittlere Temperatur [°C]	10,1	Bodenart						Sand																																											
Temperatur im langjährigen Mittel [°C]	9,8	Bodentyp						Plaggenesch über Pseudogley																																											
Jahresniederschlag [mm]	755	Ackerzahl						25																																											
Sommerniederschläge [mm] <small>April-September</small>	373	Nutzbare Feldkapazität [mm]																																																	
Niederschläge im langjährigen Mittel [mm]	676	C/N-Verhältnis						15																																											
vermutlich Starkregenereignisse [mm]: (>25 mm/h)	27.07.2015; 15.11.2015	Humusgehalt [%]						3																																											
Datum:		Mittlere Austauschhäufigkeit/anno						Wird derzeit durch das LBEG ermittelt																																											
Beregnung [mm]:		Mittlere Sickerwasserrate [mm/anno]						297																																											
Datum:		langjährig organisch gedüngt						ja																																											
Bodenprobe Frühjahr:																																																			
pH	5,5	P [mg/100 g Boden]	13	K [mg/100 g Boden]	3	Mg [mg/100 g Boden]	5																																												
Bewirtschaftung																																																			
Hauptfrucht	Winterroggen (Körnernutzung)	Sorte					SU Mephisto																																												
Letzte Vorfrucht:	Silomais	Folgefucht					Silomais																																												
Aussaatdatum:	01.10.2014	Erntedatum:					04.08.2015																																												
Pflanzenschutz [l bzw. kg/ha]:	12.05.2015 Fandango [0,65 l/ha]; 06.10.2014 Bacara FORTE [1 l/kg]; 14.04.2015 Chlormequat 720 [1 l/ha]	Aussaatdichte [Körner/m²]					300																																												
Bodenbearbeitung	30.09.2014 Pflug mit Packer	N-Düngung zur Zwischenfrucht [kg N/ha]:					gesamt: <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> anrechenbar: <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>																																												
nachfolgende Zwischenfrucht	keine																																																		
Varianten																																																			
Variante	Beschreibung der Varianten	Anhand der N-Düngestaffel errechnete Daten:																																																	
1	Ohne N-Düngung	13	Sollwert -20 %																																																
2	40 kg N/ha (KAS)	14	Sollwert -10 %																																																
3	80 kg N/ha (KAS)	15	Sollwert																																																
4	120 kg N/ha (KAS)	16	Sollwert +10 %																																																
5	160 kg N/ha (KAS)	17	Sollwert + 20 %																																																
6	200 kg N/ha (KAS)																																																		
7	120 kg Gesamt N/ha (Schweinegülle)																																																		
8	120 kg Gesamt N/ha (Schweinegülle) + 40 kg N/ha (KAS)																																																		
9	120 kg Gesamt N/ha (Schweinegülle) + 80 kg N/ha (KAS)																																																		
10	120 kg Gesamt N/ha (Schweinegülle) + 120 kg N/ha (KAS)																																																		
11	120 kg Gesamt N/ha (Schweinegülle) + 160 kg N/ha (KAS)																																																		
12	170 kg Gesamt N/ha (Schweinegülle)																																																		
N-Düngung																																																			
Variante		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17																																	
Frühjahrs N _{min} [kg/ha]		21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21																																	
Mineralische N-Düngung [kg/ha]																																																			
Verwendeter Dünger:	KAS/AHL	0	40	80	120	160	200	0	40	80	120	160	0	103	116	129	142	155																																	
Organische N-Düngung [kg/ha] <small>Anrechenbar (70%) anrechenbar nach Abzug der Stall- und Lagerverluste gem. DüV</small>		0	0	0	0	0	0	84	84	84	84	84	119																																						
Organische N-Düngung [kg/ha] <small>gesamt</small>								120	120	120	120	120	170																																						
Verwendeter Dünger:	Schweinegülle																																																		
Ermitteltes N-Angebot aus der Düngung:		0	40	80	120	160	200	84	124	164	204	244	119	103	116	129	142	155																																	
N-Angebot: N-Düngung+Frühjahrs-N _{min}		21	61	101	141	181	221	105	145	185	225	265	140	124	137	150	163	176																																	
bei der Ermittlung der Sollwertdüngung zu berücksichtigen:																																																			
N-Nachlieferung aus der Zwischenfrucht (gem. DüV Anlage 2 Tab. 2)																																																			
Aus Ernteresten der Vorfrucht verbleibender Stickstoff (gem. DüV Anlage 2, Tabelle 1)																																																			
Ergebnisse																																																			
N _{min} -Werte [0-90 cm, in kg/ha]																																																			
N _{min} direkt nach der Ernte; 05.08.2015		17	14	14	19	23	31	15	19	25	41	44	18	16	17	19	20	22																																	
N _{min} zu Beginn der Sickerwasserspende; 19.11.2015		40	30	29	30	35	47	35	36	34	42	42	31	28	29	31	32	35																																	
Ertrag und Qualitätsparameter																																																			
Ertrag (absolut) [dt TM/ha]		46	74	92	118	110	107	90	111	107	96	89	99	105	109	111	113	113																																	
Ertrag (relativ) [%]		39	63	78	100	93	90	76	94	91	81	75	84	89	92	94	95	96																																	
Proteingehalt [%]		10,3	9,7	9,8	11,0	11,7	12,8	9,3	10,2	11,7	12,7	13,2	9,9																																						
N-Abfuhr		76	115	144	207	207	219	134	183	200	196	188	157																																						
N-Salden																																																			
N-Bilanz [N-Zufuhr - N-Abfuhr] <small>Unter Berücksichtigung gasförmiger Stall-, Lagerungs- und Ausbringungsverluste gem. DüV</small>		-76	-75	-64	-87	-47	-19	-50	-59	-36	8	56	-38																																						
N-Bilanz [N-Angebot-N-Abfuhr]		-55	-54	-43	-66	-26	2	-29	-38	-15	29	77	-17																																						
Nitratkonzentration im Sickerwasser [mg/l]																																																			
errechnete potentielle Auswirkungen auf die Sickerwasserqualität																																																			
Berechnung der potentiellen Nitratkonzentration im Sickerwasser: (N _{min} -Herbst [kg/ha]/SWR [mm/Jahr]) * 443																																																			
Die errechnete potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser kann aufgrund der Berechnungsgrundlagen nur einen Orientierungswert liefern.																																																			
Variante		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17																																	
Sickerwasserrate	297																																																		
Potentielle Sickerwasserbelastung [mg Nitrat/l]		60	45	43	45	52	70	52	54	51	63	63	46	42	43	45	48	52																																	

Tabelle 25: Versuchsdaten; grundwasserschutzorientierte N-Düngestrategien im Silomaisanbau; Versuchsstandort Rockstedt; 2015

Rockstedt: grundwasserschutzorientierte N-Düngestrategien im Silomaisanbau																			
Allgemein																			
Jahr:	2015	Versuchsfrage: Vor- und Nachteile verschiedener Strategien der N-Düngebedarfsermittlung in der grundwasserschutzorientierten																	
Versuchsnummer der LWK:	648	Düngeberatung																	
Standort:	Rockstedt																		
Klima/Witterung									Standort										
Mittlere Temperatur [°C]	10,8	Bodenart							lehmiger Sand										
Temperatur im langjährigen Mittel [°C]	10,2	Bodentyp							Pseudogley										
Jahresniederschlag [mm]	865	Ackerzahl							35										
Sommerniederschläge [mm] *April-September	428	Nutzbare Feldkapazität [mm]																	
Niederschläge im langjährigen Mittel [mm]	851	C/N-Verhältnis																	
vermutlich Starkregenereignisse [mm]; (>25 mm/h)	31.03.2015; 06.09.2015	Humusgehalt [%]																	
Datum:		Mittlere Austauschfähigkeit/anno																	
Beregnung [mm]:		Mittlere Sickerwasserrate [mm/anno]							299										
Datum:		langjährig organisch gedüngt							nein										
Bodenprobe Frühjahr:																			
pH	5,4	P [mg/100 g Boden]	7	K [mg/100 g Boden]	4	M [mg/100 g Boden]	3												
Bewirtschaftung																			
Hauptfrucht	Mais (Silonutzung)							Sorte		Farmflex									
Letzte Vorfrucht:	Mais (Silonutzung)							Folgefrucht											
Aussaaddatum:	23.04.2015							Erntedatum:		14.10.2015									
Pflanzenschutz [l bzw. kg/ha]:	21.05.2015 Clio Super [1 l/ha], Zeagran							ultimate [1l/ha]; 24.06.2015 KELVIN [0,6 l/ha], Buctril [0,3 l/ha]											
Bodenbearbeitung								Aussaatsdichte [Körner/m ²]		g									
nachfolgende Zwischenfrucht								N-Düngung zur Zwischenfrucht [kg N/ha]:		gesamt: <input type="text"/> anrechenbar: <input type="text"/>									
Varianten																			
Variante	Beschreibung der Varianten							Anhand der N-Düngestaffel errechnete Daten:											
1	Ohne N-Düngung							14	Sollwert -20 %										
2	60 kg N/ha (KAS)							15	Sollwert -10 %										
3	120 kg N/ha (KAS)							16	Sollwert										
4	180 kg N/ha (KAS)							17	Sollwert +10 %										
5	240 kg N/ha (KAS)							18	Sollwert + 20 %										
6	300 kg N/ha (KAS)																		
7	120 kg gesamt N/ha organisch																		
8	Sollwertdüngung																		
9	SFN																		
10	Schätzrahmen																		
11	Vor Saat - Gülle breit																		
12	50% vor Saat - 50% Bestand Gülle breit																		
13	50% vor Saat - 50% Bestand eingearbeitet Gülle breit																		
N-Düngung																			
Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Frühjahrs N _{min} [kg/ha] 16.03.2015	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
Mineralische N-Düngung [kg/ha]	0	60	120	180	240	300		141	80	113	0	0	0	113	127	141	155	169	
Verwendeter Dünger:	KAS/AHL																		
Organische N-Düngung [kg/ha]	Anrechenbar [70%; 80%; bei 11,12,13]																		
anrechenbar nach Abzug der Stall- und Lagerverluste gem. DüV																			
Organische N-Düngung [kg/ha] gesamt																			
Verwendeter Dünger:	Schweinegülle																		
Ermitteltes N-Angebot aus der Düngung:	0	60	120	180	240	300	84	141	80	113	144	144	144	113	127	141	155	169	
N-Angebot: N-Düngung+Frühjahrs-N _{min}	9	69	129	189	249	309	93	150	89	122	153	153	153	122	136	150	164	178	
bei der Ermittlung der Sollwertdüngung zu berücksichtigen:																			
N-Nachlieferung aus der Zwischenfrucht (gem. DüV Anlage 2 Tab. 2)																			
Aus Ernteresten der Vorfrucht verbleibender Stickstoff (gem. DüV Anlage 2, Tabelle 1)																			
Ergebnisse																			
N_{min}-Werte [0-90 cm, in kg/ha]																			
N _{min} direkt nach der Ernte: 20.10.2015	41	39	51	82	117	202	35	55	37	44	44	43	48	46	51	57	64	72	
N _{min} zu Beginn der Sickerwasserspende: 27.11.2015	35	37	46	80	60	85	33	42	39	37	41	40	40	51	53	56	58	60	
Ertrag und Qualitätsparameter																			
Ertrag (absolut) [dt TM/ha]	157	191	188	197	194	192	180	189	185	185	193	176	179	191	193	195	196	197	
Ertrag (relativ) [%]	80	97	96	100	98	98	92	96	94	94	98	89	91	97	98	99	100	100	
Proteingehalt [%]	5,7	6,4	6,8	6,9	7,0	6,9	6,4	6,7	6,7	6,9	6,5	6,4	6,5						
N-Abfuhr	143	196	205	217	217	212	184	203	198	204	201	180	186						
N-Salden																			
N-Bilanz [N-Zufuhr - N-Abfuhr] Unter Berücksichtigung gasförmiger Stall-, Lagerungs- und Ausbringungsverluste gem. DüV	-143	-136	-85	-37	23	88	-100	-62	-118	-91	-57	-36	-42						
N-Bilanz [N-Angebot-N-Abfuhr]	-134	-127	-76	-28	32	97	-91	-53	-109	-82	-48	-27	-33						
Nitratkonzentration im Sickerwasser [mg/l]																			
errechnete potentielle Auswirkungen auf die Sickerwasserqualität																			
Berechnung der potentiellen Nitratkonzentration im Sickerwasser: (N _{min} -Herbst [kg/ha]/SWR [mm/Jahr]) * 443																			
Die errechnete potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser kann aufgrund der Berechnungsgrundlagen nur einen Orientierungswert liefern.																			
Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Sickerwasserrate	299																		
Potentielle Sickerwasserbelastung [mg Nitrat/l]	Aufgrund des Witterungsverlaufs konnten keine Herbst-N _{min} -Werte ermittelt werden, die eine Berechnung der potentiellen Nitratkonzentration im Sickerwasser ermöglichen.																		

Tabelle 26: Versuchsdaten; grundwasserschutzorientierte N-Düngestrategien im Silomaisanbau; Versuchsstandort Poppenburg; 2015

Poppenburg: grundwasserschutzorientierte N-Düngestrategien im Silomaisanbau																		
Allgemein																		
Jahr:	2015		Versuchsfrage: Vor- und Nachteile verschiedener Strategien der N-Düngebedarfsermittlung in der grundwasserschutzorientierten Düngeberatung															
Versuchsnummer der LWK:	648																	
Standort:	Poppenburg																	
Standort																		
Klima/Witterung						Boden und Bewirtschaftung												
Mittlere Temperatur [°C]	9,5		Bodenart			Lehm												
Temperatur im langjährigen Mittel [°C]	9,2		Bodentyp			Gley												
Jahresniederschlag [mm]	629		Ackerzahl			85												
Sommerniederschläge [mm] *April-September	338		Nutzbare Feldkapazität [mm]															
Niederschläge im langjährigen Mittel [mm]	636		C/N-Verhältnis															
vermutlich Starkregeneignisse [mm]; (>25 mm/h)	02.04.2015; 05.07.2015; 19.07.2015		Humusgehalt [%]															
Datum:			Mittlere Austauschfähigkeit/anno															
Beregnung [mm]:			Mittlere Sickerwasserrate [mm/anno]			203												
Datum:			langjährig organisch gedüngt			nein												
Bodenprobe Frühjahr:																		
pH	6,3	P [mg/100 g Boden]	4	K [mg/100 g Boden]	8	M [mg/100 g Boden]	6											
Bewirtschaftung																		
Hauptfrucht	Mais (Silonutzung)			Sorte			Farmflex											
Letzte Vorfrucht:	Zuckerrübe			Folgefucht														
Aussaatdatum:	22.04.2015			Erntedatum:			24.09.2015											
Pflanzenschutz [l bzw. kg/ha]:				Aussaatdichte [Körner/m²]			9											
Bodenbearbeitung				N-Düngung zur Zwischenfrucht [kg N/ha]:			gesamt:			anrechenbar:								
nachfolgende Zwischenfrucht																		
Varianten																		
Variante	Beschreibung der Varianten			Variante			Anhand der N-Düngestaffel errechnete Daten:											
1	Ohne N-Düngung			14			Sollwert -20 %											
2	60 kg N/ha (KAS)			15			Sollwert -10 %											
3	120 kg N/ha (KAS)			16			Sollwert											
4	180 kg N/ha (KAS)			17			Sollwert +10 %											
5	240 kg N/ha (KAS)			18			Sollwert + 20 %											
6	300 kg N/ha (KAS)																	
7	120 kg gesamt N/ha organisch																	
8	Sollwertdüngung																	
9	SFN																	
10	Schätzrahmen																	
11	Vor Saat - Gülle breit																	
12	50% vor Saat - 50% Bestand Gülle breit																	
13	50% vor Saat - 50% Bestand eingearbeitet Gülle breit																	
N-Düngung																		
Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Frühjahrs N _{min} [kg/ha] 06.03.2015	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
Mineralische N-Düngung [kg/ha]	0	60	120	180	240	300		125	60	100	0	0	0	100	113	125	138	150
Verwendeter Dünger: KAS/AHL																		
Organische N-Düngung [kg/ha] anrechenbar nach Abzug der Stall- und Lagerverluste gem. DüV bei 11,12, 131							84				120	120	120					
Organische N-Düngung [kg/ha] gesamt							120				150	150	150					
Verwendeter Dünger: Schweinegülle																		
Ermitteltes N-Angebot aus der Düngung:	0	60	120	180	240	300	84	125	60	100	120	120	120	100	113	125	138	150
N-Angebot: N-Düngung+Frühjahrs-N _{min}	55	115	175	235	295	355	139	180	115	155	175	175	175	155	168	180	193	205
bei der Ermittlung der Sollwertdüngung zu berücksichtigen:																		
N-Nachlieferung aus der Zwischenfrucht (gem. DüV Anlage 2 Tab. 2)																		
Aus Erntestellen der Vorfrucht verbleibender Stickstoff (gem. DüV Anlage 2, Tabelle 1)																		
Ergebnisse																		
N_{min}-Werte [0-90 cm, in kg/ha]																		
N _{min} direkt nach der Ernte: 10.10.2015	47	145	175	440	423	655	75	235	114	81	84	98	96	196	219	241	265	289
N _{min} zu Beginn der Sickerwasserspende: 27.10.2015	67	154	135	287	466	866	103	332	109	160	120	127	151	115	132	153	178	206
Ertrag und Qualitätsparameter																		
Ertrag (absolut) [dt TM/ha]	204	214	210	214	211	213	211	212	213	209	215	212	210	211	212	212	213	213
Ertrag (relativ) [%]	95	100	98	100	99	99	98	99	99	97	101	99	98	99	99	99	99	99
Proteingehalt [%]	6,3	6,6	7,0	7,2	7,3	7,1	6,8	6,9	6,9	6,9	6,7	6,6	6,6					
N-Abfuhr	206	226	235	247	246	242	230	234	235	231	230	224	222					
N-Salden																		
N-Bilanz [N-Zufuhr - N-Abfuhr] Unter Berücksichtigung gasförmiger Stall-, Lagerungs- und Ausbringungsverluste gem. DüV	-206	-166	-115	-67	-6	58	-146	-109	-175	-131	-110	-104	-102					
N-Bilanz [N-Angebot-N-Abfuhr]	-151	-111	-60	-12	49	113	-91	-54	-120	-76	-55	-49	-47					
Nitratkonzentration im Sickerwasser [mg/l]																		
errechnete potentielle Auswirkungen auf die Sickerwasserqualität																		
Berechnung der potentiellen Nitratkonzentration im Sickerwasser: (N _{min} -Herbst [kg/ha]/SWR [mm/Jahr]) * 443																		
Die errechnete potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser kann aufgrund der Berechnungsgrundlagen nur einen Orientierungswert liefern.																		
Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Sickerwasserrate	203																	
Potentielle Sickerwasserbelastung [mg Nitrat/l]	146	336	295	626	1017	1890	225	725	238	349	262	277	330	250	288	334	388	450

Tabelle 27: Versuchsdaten; grundwasserschutzorientierte N-Düngestrategien im Silomaisanbau; Versuchsstandort Wehnen; 2015

Wehnen: grundwasserschutzorientierte N-Düngestrategien im Silomaisanbau																		
Allgemein																		
Jahr:	2015		Versuchsfrage: Vor- und Nachteile verschiedener Strategien der N-Düngebedarfsermittlung in der grundwasserschutzorientierten Düngeberatung															
Versuchsnummer der LWK:	648		Düngeberatung															
Standort:	Wehnen																	
Klima/Witterung								Standort				Boden und Bewirtschaftung						
Mittlere Temperatur [°C]	10,1		Bodenart				Sand											
Temperatur im langjährigen Mittel [°C]	9,8		Bodentyp				Gley Podsol											
Jahresniederschlag [mm]	755		Ackerzahl				30											
Sommerniederschläge [mm] *April-September	373		Nutzbare Feldkapazität [mm]				18											
Niederschläge im langjährigen Mittel [mm]	676		C/N-Verhältnis				0,14											
vermutlich Starkregenereignisse [mm]; (>25 mm/h)	27.07.2015; 15.11.2015		Nt [%]				297											
Datum:			Mittlere Austauschhäufigkeit/anno				langjährig organisch gedüngt											
Beregnung [mm]:			Mittlere Sickerwasserrate [mm/anno]				nein											
Datum:																		
Bodenprobe Frühjahr:																		
pH	4,9	P [mg/100 g Boden]	11	K [mg/100 g Boden]	11	M [mg/100 g Boden]	3											
Bewirtschaftung																		
Hauptfrucht	Mais (Silonutzung)				Sorte				Farmflex									
Letzte Vorfrucht:	Wintergerste				Folgefrucht													
Aussaatdatum:	29.04.2015				Erntedatum:				26.10.2015									
Pflanzenschutz [l bzw. kg/ha]:	22.05.2015 Peak [14 l/ha]; Dual Gold [0,8 ha/l]; Calaris [1 l/ha]; 09.06.2015 Motivell [0,5 l/ha]; SULCOGAN [0,5 l/ha]; Certral B [0,2 l/ha]																	
Bodenbearbeitung	keine				Aussaatdichte [Körner/m ²]				9									
nachfolgende Zwischenfrucht	keine				N-Düngung zur Zwischenfrucht [kg N/ha]:				gesamt: <input type="text"/> anrechenbar: <input type="text"/>									
Varianten																		
Variante	Beschreibung der Varianten				Anhand der N-Düngestaffel errechnete Daten:													
1	Ohne N-Düngung				14	Sollwert -20 %												
2	60 kg N/ha (KAS)				15	Sollwert -10 %												
3	120 kg N/ha (KAS)				16	Sollwert												
4	180 kg N/ha (KAS)				17	Sollwert +10 %												
5	240 kg N/ha (KAS)				18	Sollwert + 20 %												
6	300 kg N/ha (KAS)																	
7	120 kg gesamt N/ha organisch																	
8	Sollwertdüngung																	
9	SFN																	
10	Schätzrahmen																	
11	Vor Saat - Gülle breit																	
12	50% vor Saat - 50% Bestand Gülle breit																	
13	50% vor Saat - 50% Bestand eingearbeitet Gülle breit																	
N-Düngung																		
Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Frühjahrs N _{min} [kg/ha] 19.03.2015	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
Mineralische N-Düngung [kg/ha]																		
Verwendeter Dünger:	KAS/AHL																	
Organische N-Düngung [kg/ha]							84					142	142	142				
<small>anrechenbar nach Abzug der Stall- und Lagerverluste gem. DüV</small>																		
Organische N-Düngung [kg/ha] gesamt							120					178	178	178				
Verwendeter Dünger:	Schweinegülle																	
Ermitteltes N-Angebot aus der Düngung:	0	60	120	180	240	300	84	139	120	111	142	142	142	111	125	139	153	167
N-Angebot: N-Düngung+Frühjahrs-N _{min}	34	94	154	214	274	334	118	173	154	145	176	176	176	145	159	173	187	201
bei der Ermittlung der Sollwertdüngung zu berücksichtigen:																		
N-Nachlieferung aus der Zwischenfrucht (gem. DüV Anlage 2 Tab. 2)																		
Aus Ernteresten der Vorfrucht verbleibender Stickstoff (gem. DüV Anlage 2, Tabelle 1)																		
Ergebnisse																		
N _{min} -Werte [0-90 cm, in kg/ha]																		
N _{min} direkt nach der Ernte: 28.10.2015	49	74	115	141	223	265	237	134	121	108	190	125	162	69	79	90	101	112
N _{min} zu Beginn der Sickerwasserspende: 25.11.2015	57	62	70	85	118	140	77	98	60	65	99	97	70	52	61	72	85	99
Ertrag und Qualitätsparameter																		
Ertrag (absolut) [dt TM/ha]	46	74	92	118	110	107	90	111	107	96	86	99		95	99	102	105	108
Ertrag (relativ) [%]	39	63	78	100	93	90	76	94	91	81	75	84		80	84	87	89	91
Proteingehalt [%]	10,3	9,7	9,8	11,0	11,7	12,8	9,3	10,2	11,7	12,7	13,2	9,9						
N-Abfuhr	76	115	144	208	206	219	134	181	200	195	182	157						
N-Salden																		
N-Bilanz [N-Zufuhr - N-Abfuhr] Unter Berücksichtigung gasförmiger Stall-, Lagerungs- und Ausbringungsverluste gem. DüV	-76	-55	-24	-28	34	81	-50	-42	-80	-84	-40	-15						
N-Bilanz [N-Angebot-N-Abfuhr]	-42	-21	10	6	68	115	-16	-8	-46	-50	-6	19						
Nitratkonzentration im Sickerwasser [mg/l]																		
errechnete potentielle Auswirkungen auf die Sickerwasserqualität																		
Berechnung der potentiellen Nitratkonzentration im Sickerwasser: (N _{min} -Herbst [kg/ha]/SWR [mm/Jahr]) * 443																		
Die errechnete potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser kann aufgrund der Berechnungsgrundlagen nur einen Orientierungswert liefern.																		
Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Sickerwasserrate	297																	
Potentielle Sickerwasserbelastung [mg Nitrat/l]	Aufgrund des Witterungsverlaufs konnten keine Herbst-N _{min} -Werte ermittelt werden, die eine Berechnung der potentiellen Nitratkonzentration im Sickerwasser ermöglichen.																	

Tabelle 28: Versuchsdaten; grundwasserschutzorientierte N-Düngestrategien im Silomaisanbau; Versuchsstandort Werlte; 2015

Werlte: grundwasserschutzorientierte N-Düngestrategien im Silomaisanbau																		
Allgemein																		
Jahr:	2015		Versuchsfrage: Vor- und Nachteile verschiedener Strategien der N-Düngebedarfsermittlung in der grundwasserschutzorientierten Düngeberatung															
Versuchsnummer der LWK:	648																	
Standort:	Werlte																	
Standort																		
Klima/Witterung						Bodenart			Boden und Bewirtschaftung									
Mittlere Temperatur [°C]	10,4		Bodenart			Sand												
Temperatur im langjährigen Mittel [°C]	9,9		Bodentyp			Plaggenesch												
Jahresniederschlag [mm]	783		Ackerzahl			41												
Sommerniederschläge [mm] *April-September	370		Nutzbare Feldkapazität [mm]															
Niederschläge im langjährigen Mittel [mm]	741		C/N-Verhältnis			10												
vermutlich Starkregenereignisse [mm]; (>25 mm/h)	25.07.2015; 15.11.2015		Humusgehalt [%]			2,5												
Datum:			Mittlere Austauschfähigkeit/anno															
Beregnung [mm]:			Mittlere Sickerwasserrate [mm/anno]			297												
Datum:			langjährig organisch gedüngt			ja												
Bodenprobe Frühjahr:																		
pH	5,2	IP [mg/100 g Boden]	16	K [mg/100 g Boden]	7	Mg [mg/100 g Boden]	6											
Bewirtschaftung																		
Hauptfrucht:	Mais (Silonutzung)			Sorte			Farmflex											
Letzte Vorfrucht:	Mais (Silonutzung)			Folgefrucht														
Aussaaddatum:	17.04.2015			Erntedatum:			01.10.2015											
Pflanzenschutz [l bzw. kg/ha]:	22.05.2015; Zeagran ultimate [1,25 l/ha]			Clio Super [1,25 l/ha]; 08.06.2015; Motivell [1 l/ha]; Laudis [1,5 l/ha]														
Bodenbearbeitung				Aussaaddichte [Körner/m ²]			9											
nachfolgende Zwischenfrucht	keine			N-Düngung zur Zwischenfrucht [kg N/ha]:			gesamt: <input type="text"/> anrechenbar: <input type="text"/>											
Varianten																		
Variante	Beschreibung der Varianten							Anhand der N-Düngestafel errechnete Daten:										
1	Ohne N-Düngung							14	Sollwert -20 %									
2	60 kg N/ha (KAS)							15	Sollwert -10 %									
3	120 kg N/ha (KAS)							16	Sollwert									
4	180 kg N/ha (KAS)							17	Sollwert +10 %									
5	240 kg N/ha (KAS)							18	Sollwert + 20 %									
6	300 kg N/ha (KAS)																	
7	120 kg gesamt N/ha organisch																	
8	Sollwertdüngung																	
9	SFN																	
10	Schätzrahmen																	
11	Vor Saat - Gülle breit																	
12	50% vor Saat - 50% Bestand Gülle breit																	
13	50% vor Saat - 50% Bestand eingearbeitet Gülle breit																	
N-Düngung																		
Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Frühjahrs N _{min} [kg/ha] 17.04.2015	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Mineralische N-Düngung [kg/ha]	0	60	120	180	240	300		144	60	164	0	0	0	115	130	144	158	173
Verwendeter Dünger: [KAS/AHL]																		
Organische N-Düngung [kg/ha] anrechenbar [70%; 80% bei 11, 12, 13]							84				131	131	131					
anrechenbar nach Abzug der Stall- und Lagerverluste gem. Div																		
Organische N-Düngung [kg/ha] gesamt							120				164	164	164					
Verwendeter Dünger: [Schweinegülle]																		
Ermitteltes N-Angebot aus der Düngung:	0	60	120	180	240	300	84	144	60	164	131	131	131	115	130	144	158	173
N-Angebot: N-Düngung+Frühjahrs-N _{min}	13	73	133	193	253	313	97	157	73	177	144	144	144	128	143	157	171	186
bei der Ermittlung der Sollwertdüngung zu berücksichtigen:																		
N-Nachlieferung aus der Zwischenfrucht (gem. Div Anlage 2 Tab. 2)																		
Aus Ernteresten der Vorfrucht verbleibender Stickstoff (gem. Div Anlage 2, Tabelle 1)																		
Ergebnisse																		
N_{min}-Werte [0-90 cm, in kg/ha]																		
N _{min} direkt nach der Ernte; 02.10.2015	24	29	40	71	263	188	41	44	50	78	63	41	90	72	82	94	105	118
N _{min} zu Beginn der Sickerwasserspende; 10.11.2015	46	39	61	65	270	304	43	75	91	142	69	61	70	55	65	77	90	106
Ertrag und Qualitätsparameter																		
Ertrag (absolut) [dt TM/ha]	162	193	197	201	203	208	185	202	192	200	206	190	188	196	198	200	202	204
Ertrag (relativ) [%]	81	96	98	100	101	103	92	100	95	100	102	94	93	98	99	100	101	101
Proteingehalt [%]	5,4	5,8	6,3	6,3	6,5	6,6	5,7	6,1	6,3	6,4	6,2	6,3	6,2					
N-Abfuhr	140	179	199	203	211	220	169	197	194	205	204	192	186					
N-Salden																		
N-Bilanz [N-Zufuhr - N-Abfuhr] Unter Berücksichtigung gasförmiger Stall-, Lagerungs- und Ausbringungsverluste gem. Div	-140	-119	-79	-23	29	80	-85	-53	-134	-41	-73	-61	-55					
N-Bilanz [N-Angebot-N-Abfuhr]	-127	-106	-66	-10	42	93	-72	-40	-121	-28	-60	-48	-42					
Nitratkonzentration im Sickerwasser [mg/l]																		
errechnete potentielle Auswirkungen auf die Sickerwasserqualität																		
Berechnung der potentiellen Nitratkonzentration im Sickerwasser: (N _{min} -Herbst [kg/ha]/SWR [mm/Jahr]) * 443																		
Die errechnete potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser kann aufgrund der Berechnungsgrundlagen nur einen Orientierungswert liefern.																		
Variante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Sickerwasserrate	297																	
Potentielle Sickerwasserbelastung [mg Nitrat/l]	69	58	91	97	403	453	64	112	136	212	103	91	104	82	96	114	135	158

5.4. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht – Versuche zur grundwasserschutzorientierten Landwirtschaft 2015	4
Tabelle 2: Fruchtfolge Hamerstorf, Versuch 643.....	6
Tabelle 3: Berechnung; Versuchsstandort Hamerstorf; 2015	7
Tabelle 4: Übersicht N-Düngung zu Winterroggen; Versuchsstandort Hamerstorf; 2015	7
Tabelle 5: N-Düngung zur Untersaat nach der Winterroggenernte in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge; Versuchsstandort Hamerstorf; 2015.....	8
Tabelle 6: Fruchtfolge Versuch 644, 2009-2016	17
Tabelle 7: N-Düngung Versuch 644, 2014.....	17
Tabelle 8: Varianten des Versuchs zum grundwasserschutzorientierten Zwischenfruchtanbau 2012-2015	28
Tabelle 9: Standortdaten; Versuchsstandort Wehnen, Versuch 649	38
Tabelle 10: Varianten - N-Düngung Versuch 649, Versuchsstandort Wehnen, 2015	39
Tabelle 11: Versuch N-Düngung zu Winterweizen; Gestaltung der regionalspezifischen Wasserschutzvariante - Übersicht	64
Tabelle 12: Varianten zur Weiterentwicklung grundwasserschutzorientierter Herbizidstrategien im Silomaisanbau - Übersicht.....	72
Tabelle 13: Übersicht - Varianten Gülleunterfußdüngung	78
Tabelle 14: Abkürzungsverzeichnis	84
Tabelle 15: Versuchsdaten; grundwasserschutzorientierte N-Düngung und Fruchtfolgegestaltung; konventionelle Fruchtfolge; Versuchsstandort Hamerstorf; 2015	87
Tabelle 16: Versuchsdaten; grundwasserschutzorientierte N-Düngung und Fruchtfolgegestaltung; grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge; Versuchsstandort Hamerstorf; 2015.....	88
Tabelle 17: Versuchsdaten; grundwasserschutzorientierte N-Düngung und Fruchtfolgegestaltung; Teilfläche mit Sickerwasseruntersuchungen; Versuchsstandort Thülsfelde; 2015.....	89
Tabelle 18: Versuchsdaten; grundwasserschutzorientierte N-Düngung und Fruchtfolgegestaltung; konventionelle Fruchtfolge; Versuchsstandort Thülsfelde; 2015	90
Tabelle 19: Versuchsdaten; grundwasserschutzorientierte N-Düngung und Fruchtfolgegestaltung; grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge; Versuchsstandort Thülsfelde; 2015.....	91
Tabelle 20: Versuchsdaten; grundwasserschutzorientierter Zwischenfruchtanbau; Versuchsstandort Wehnen; 2015 – ohne vorangegangene Zwischenfrucht.....	92
Tabelle 21: Versuchsdaten; grundwasserschutzorientierter Zwischenfruchtanbau; Versuchsstandort Wehnen; 2015 – nach ungedüngter Zwischenfrucht	93

Tabelle 22: Versuchsdaten; grundwasserschutzorientierter Zwischenfruchtanbau; Versuchsstandort Wehnen; 2015 – nach mineralisch gedüngter Zwischenfrucht.....	94
Tabelle 23: Versuchsdaten; grundwasserschutzorientierter Zwischenfruchtanbau; Versuchsstandort Wehnen; 2015 – nach organisch gedüngter Zwischenfrucht	95
Tabelle 24: Versuchsdaten; grundwasserschutzorientierte organische Düngung; Versuchsstandort Wehnen; 2015	96
Tabelle 25: Versuchsdaten; grundwasserschutzorientierte N-Düngestrategien im Silomaisanbau; Versuchsstandort Rockstedt; 2015.....	97
Tabelle 26: Versuchsdaten; grundwasserschutzorientierte N-Düngestrategien im Silomaisanbau; Versuchsstandort Poppenburg; 2015	98
Tabelle 27: Versuchsdaten; grundwasserschutzorientierte N-Düngestrategien im Silomaisanbau; Versuchsstandort Wehnen; 2015	99
Tabelle 28: Versuchsdaten; grundwasserschutzorientierte N-Düngestrategien im Silomaisanbau; Versuchsstandort Werlte; 2015	100

5.5. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage der Versuchsstandorte der Wasserschutzversuche zur Minimierung der Nitratauswaschung aus der Landwirtschaft; 2015.....	3
Abbildung 2: Beispielhafter Aufbau der Sickerwasseranlage	5
Abbildung 3: Zusammenhang N_{min} -Werte und Nitratkonzentration während der Sickerwasserperiode (n. Lars Konen; LBEG)	5
Abbildung 4: Lage des Versuchsstandortes Hamerstorf	6
Abbildung 5: Versuchsfläche; Versuchsstandort Hamerstorf, 01.06.2015.....	7
Abbildung 6: N_{min} -Werte im Jahresverlauf, bis zur Ernte, bei einer N-Düngung von 150 kg N/ha (grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge); Versuchsstandort Hamerstorf.....	8
Abbildung 7: Frühjahrs- N_{min} -Werte; grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge; 20.02.2015; Versuchsstandort Hamerstorf	9
Abbildung 8: Ernte- N_{min} -Werte; grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge; 21.06.2015; Versuchsstandort Hamerstorf	9
Abbildung 9: N_{min} -Werte unter Winterroggen und nach der Winterroggenernte im Jahresverlauf bei einer N-Düngung von 150 kg N/ha (konventionelle Fruchtfolge); Versuchsstandort Hamerstorf	9
Abbildung 10: Frühjahrs- N_{min} -Werte; konventionelle Fruchtfolge; 20.02.2015; Versuchsstandort Hamerstorf	10
Abbildung 11: Ernte- N_{min} -Werte; konventionelle Fruchtfolge; 14.08.2015; Versuchsstandort Hamerstorf	10

Abbildung 12: Herbst- N_{\min} -Werte; konventionelle Fruchtfolge; 22.09.2015; Versuchsstandort Hamerstorf	10
Abbildung 13: N_{\min} -Werte nach weiteren 60 mm Niederschlag nach Beginn der Sickerwasserperiode; konventionelle Fruchtfolge; 23.10.2015; Versuchsstandort Hamerstorf	11
Abbildung 14: N_{\min} -Werte nach weiteren 120 mm Niederschlag nach Beginn der Sickerwasserperiode; konventionelle Fruchtfolge; 18.12.2015; Versuchsstandort Hamerstorf	11
Abbildung 15: Ertrag Roggen-GPS [dt TM/ha]; Versuchsstandort Hamerstorf; 19.06.2015 ..	12
Abbildung 16: Ertrag Untersaat [dt TM/ha]; erster Schnitt; 31.07.2015; zweiter Schnitt; 17.09.2015; grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge; Versuchsstandort Hamerstorf.....	12
Abbildung 17: N-Entzug in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge bis zu Beginn der Sickerwasserperiode; Versuchsstandort Hamerstorf; 2015	13
Abbildung 18: Winterroggen-Ertrag [dt/ha]; konventionelle Fruchtfolge; Versuchsstandort Hamerstorf	14
Abbildung 19: Abnehmender Ertragszuwachs bei Winterroggen mit steigender N-Düngung in der festen N-Düngestaffel.....	14
Abbildung 20: N-Entzug in der konventionellen Fruchtfolge; Versuchsstandort Hamerstorf; 2015	14
Abbildung 21: Lage des Versuchsstandorte Thülsfelde	16
Abbildung 22: Bodenprofil Versuchsstandort Thülsfelde; 16.06.2016	16
Abbildung 23: N_{\min} -Werte im Jahresverlauf bei Sollwertdüngung; Block mit Sickerwasseruntersuchungen; Versuchsstandort Thülsfelde; 2015 (644a)	18
Abbildung 24: N_{\min} -Werte im Jahresverlauf bei Sollwertdüngung; konventionelle Fruchtfolge; Versuchsstandort Thülsfelde; 2015 (644b)	18
Abbildung 25: N_{\min} -Werte im Jahresverlauf bei Sollwertdüngung; grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge; Versuchsstandort Thülsfelde; 2015 (644c).....	18
Abbildung 26: N_{\min} -Werte unter Winterroggen bei Sollwertdüngung im Jahresverlauf (1998-2014) und 2015 im Vergleich; Versuchsstandort Thülsfelde	19
Abbildung 27: Frühjahrs- N_{\min} -Werte; Block mit Sickerwasseruntersuchungen; 16.02.2015: Versuchsstandort Thülsfelde (644a)	19
Abbildung 28: Frühjahrs- N_{\min} -Werte; konventionelle Fruchtfolge; 16.02.2015: Versuchsstandort Thülsfelde (644b)	20
Abbildung 29: Frühjahrs- N_{\min} -Werte; grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge; 16.02.2015: Versuchsstandort Thülsfelde (644c)	20
Abbildung 30: Ernte- N_{\min} -Werte; Block mit Sickerwasseruntersuchungen; 10.08.2015: Versuchsstandort Thülsfelde (644a)	20

Abbildung 31: Ernte-N _{min} -Werte; konventionelle Fruchtfolge; 10.08.2015: Versuchsstandort Thülsfelde (644b)	21
Abbildung 32: Ernte-N _{min} -Werte; grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge; 10.08.2015: Versuchsstandort Thülsfelde (644c)	21
Abbildung 33: Herbst-N _{min} -Werte; Block mit Sickerwasseruntersuchungen; 17.11.2015: Versuchsstandort Thülsfelde (644a)	22
Abbildung 34: Herbst-N _{min} -Werte; konventionelle Fruchtfolge; 17.11.2015: Versuchsstandort Thülsfelde (644b)	22
Abbildung 35: Herbst-N _{min} -Werte; grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge; 17.11.2015: Versuchsstandort Thülsfelde (644c)	22
Abbildung 36: Winterroggenerträge bei unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Thülsfelde, 2015.....	23
Abbildung 37: Entwicklung der relativen Erträge bei unterschiedlicher N-Düngung (1998-2015) Versuchsstandort Thülsfelde	23
Abbildung 38: N-Bilanz (N-Zufuhr – N-Abfuhr) [kg N/ha] Fruchtfolge mit Sickerwasseranlage; Versuchsstandort Thülsfelde; 2015; (644a)	24
Abbildung 39: N-Bilanz (N-Zufuhr – N-Abfuhr) [kg N/ha] konventionelle Fruchtfolge; Versuchsstandort Thülsfelde; 2015; (644b)	24
Abbildung 40: N-Bilanz (N-Zufuhr – N-Abfuhr) [kg N/ha] grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge; Versuchsstandort Thülsfelde; 2015; (644c).....	24
Abbildung 41: Versuchsstandort Thülsfelde; Teilfläche mit Sickerwasseranlage und Wetterstation	25
Abbildung 42: Auswahl möglicher Vorteile durch Zwischenfruchtanbau	26
Abbildung 43: Lage des Versuchsstandortes Wehnen.....	27
Abbildung 44: Zwischenfrucht mit unterschiedlicher Düngung und N-Düngestaffel Silomais; 11.09.2015; Versuchsstandort Wehnen.....	27
Abbildung 45: N _{min} -Werte unter Winterroggen mit Sollwerdüngung und anschließender Zwischenfrucht; Versuchsstandort Wehnen; 2015.....	29
Abbildung 46: Vergleichsvariante ohne Zwischenfrucht und Zwischenfrucht mit unterschiedlicher N-Düngung; 11.11.2015; Versuchsstandort Wehnen	29
Abbildung 47: N-Aufnahme und Ertrag der Zwischenfrucht; 2015; Versuchsstandort Wehnen	29
Abbildung 48: Block 1 mit Winterroggen; Versuchsstandort Wehnen; 10.07.2015.....	29
Abbildung 49: Versuch zum grundwasserschutzorientierten Zwischenfruchtanbau; Senf-Ölrettich-Mischung; Versuchsstandort Wehnen; 28.01.2016	30
Abbildung 50: Silomais 10.07.2015 Versuchsstandort Wehnen.....	30

Abbildung 51: Frühjahrs-N _{min} -Werte bei unterschiedlicher vorangegangener Zwischenfrucht; 31.03.2015; Versuchsstandort Wehnen.....	30
Abbildung 52: Spät-Frühjahrs-N _{min} -Werte bei unterschiedlicher N-Düngung zu Silomais und unterschiedlicher vorangegangener Zwischenfrucht; 04.06.2015; Versuchsstandort Wehnen; Variante 120 kg N/ha: Indikatorbalken zeigen den Schwankungsbereich	31
Abbildung 53: Ernte-N _{min} -Werte bei unterschiedlicher N-Düngung zu Silomais und unterschiedlicher vorangegangener Zwischenfrucht; 31.10.2015; Versuchsstandort Wehnen	31
Abbildung 54: Herbst-N _{min} -Werte bei unterschiedlicher N-Düngung zu Silomais und unterschiedlicher vorangegangener Zwischenfrucht; 24.11.2015; Versuchsstandort Wehnen	32
Abbildung 55: Silomais; Variante ohne vorangegangene Zwischenfrucht; mit 120 kg N/ha N-Düngung; Versuchsstandort Wehnen 11.09.2015	33
Abbildung 56: Silomaiserträge bei unterschiedlicher N-Düngung und unterschiedlicher vorangegangener Zwischenfrucht; 2015; Versuchsstandort Wehnen	33
Abbildung 57: N-Aufnahme und N-Nachlieferung der Zwischenfrucht 2014/2015; Versuchsstandort Wehnen	33
Abbildung 58: Ökonomisch optimale N-Düngung 2015 am Versuchsstandort Wehnen, in Abhängigkeit von der vorangegangenen Zwischenfrucht.....	33
Abbildung 59: Herbst-N _{min} -Wert ohne Zwischenfrucht, 02.11.2015; Standort Poppenburg ...	35
Abbildung 60: Senf, Ölrettich und Phacelia als Zwischenfrucht	35
Abbildung 61: Herbst-N _{min} -Werte mit einer Senf, Ölrettich, Phacelia Mischung als Zwischenfrucht, nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung und N-Düngung; 02.11.2015; Standort Poppenburg	35
Abbildung 62: Herbst-N _{min} -Werte mit einer Senf, Ölrettich, Phacelia Mischung als Zwischenfrucht, bei unterschiedlichen Aussatterminen; 02.11.2015; Standort Poppenburg	36
Abbildung 63: Blüte Inkarnatklée	36
Abbildung 64: Herbst-N _{min} -Wert mit Futtergreen-Mischung als Zwischenfrucht, 02.11.2015; Standort Poppenburg	36
Abbildung 65: Herbst-N _{min} -Werte bei unterschiedlichen Zwischenfrüchten und Kleegras; 12.11.2015; Versuchsstandort Obershagen	37
Abbildung 66: ungedüngte Variante im Versuch zur grundwasserschutzorientierten organischen Düngung; 22.06.2015; Versuchsstandort Wehnen	38
Abbildung 67: Ernte-N _{min} -Werte nach Winterroggen; bei unterschiedlicher mineralischer, organischer und organisch-mineralischer N-Düngung; 2015; Versuchsstandort Wehnen.....	40
Abbildung 68: Herbst-N _{min} -Werte nach Winterroggen; bei unterschiedlicher mineralischer, organischer und organisch-mineralischer N-Düngung; 2015; Versuchsstandort Wehnen.....	40

Abbildung 69: Winterroggenerträge bei mineralischer N-Düngung, organischer und organisch-mineralischer Düngung; 2015; Versuchsstandort Wehnen.....	41
Abbildung 70: Herbst-N _{min} -Wert und Ertrag bei ökonomisch optimaler N-Düngung zu Winterroggen; Versuchsstandort Wehnen; 2015	41
Abbildung 71: Proteingehalt von Winterroggen bei mineralischer N-Düngung, organischer und organisch-mineralischer Düngung; 2015; Versuchsstandort Wehnen	41
Abbildung 72: N-Bilanz (N-Zufuhr – N-Abfuhr) [kg N/ha]; Winterroggen; Versuchsstandort Wehnen; 2015.....	42
Abbildung 73: Mineraldüngeräquivalente von Schweinegülle bei Winterroggen bei 120 kg Gesamt-N/ha mit unterschiedlicher mineralischer Ergänzung und 170 kg Gesamt-N/ha; 2015; Versuchsstandort Wehnen – Berechnung Gesamt N, inkl. mineralischer Ergänzung .	42
Abbildung 74: Winterroggen; 170 kg gesamt-N/ha; Versuchsstandort Wehnen; 10.07.2015	43
Abbildung 75: Auswirkungen von Bodenbearbeitung nach der Maisernte und Winterbegrünung mit Grünroggen; Übersicht Versuchsvarianten	44
Abbildung 76: Versuchsstandort Wehnen, Frühjahr 2013.....	44
Abbildung 77: Lage der Versuchsstandorte Borgholt und Wehnen.....	44
Abbildung 78: Versuch: Bodenbearbeitung und Winterbegrünung mit Grünroggen; 2015-2016 Probenahmeterminen und Witterungsverlauf Wetterstation Wehnen.....	45
Abbildung 79: Einfluss von Bodenbearbeitung und Winterbegrünung mit Grünroggen auf die N-Dynamik im Boden im Verlauf der Sickerwasserperiode; Versuchsstandort Borgholt; 2015-2016	45
Abbildung 80: Einfluss von Bodenbearbeitung und Winterbegrünung mit Grünroggen auf die N-Dynamik im Boden im Verlauf der Sickerwasserperiode; Versuchsstandort Wehnen; 2015-2016.....	47
Abbildung 81: Verschiedene Strategien zur N-Düngebedarfsermittlung von Silomais	50
Abbildung 82: N-Düngung zu Mais nach der N-Sollwertmethode und der Spät-Frühjahrs-N _{min} -Probenahme, nach KNITTEL und ALBERT, 2003.....	50
Abbildung 83: Lage der Versuchsstandorte zur Weiterentwicklung grundwasserschutzorientierter N-Düngestrategien im Silomaisanbau 2016	50
Abbildung 84: N-Düngestaffel Silomais; 09.07.2015; Versuchsstandort Rockstedt.....	51
Abbildung 85: N _{min} -Werte direkt nach der Silomaisernte bei unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Rockstedt; 2015	51
Abbildung 86: Herbst-N _{min} -Werte nach Silomais mit unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Rockstedt; 2015	51
Abbildung 87: Versuch „Grundwasserschutzorientierte N-Düngung zu Silomais“ Ernte-N _{min} -Werte und Erträge; Versuchsstandort Rockstedt; 2015	52

Abbildung 88. Rohproteingehalt von Silomais bei unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Rockstedt; 2015	53
Abbildung 89: Gesamt-N-Zufuhr abzüglich N-Abfuhr, bei unterschiedlicher N-Düngung zu Silomais; Versuchsstandort Rockstedt; 2015.....	53
Abbildung 90: N-Düngestaffel Silomais; 15.09.2015; Versuchsstandort Poppenburg	54
Abbildung 91: N_{\min} -Werte direkt nach der Silomaisernte bei unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Poppenburg; 2015	54
Abbildung 92: Herbst- N_{\min} -Werte nach Silomais mit unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Poppenburg; 2015	54
Abbildung 93: Versuch „Grundwasserschutzorientierte N-Düngung zu Silomais“ Ernte- N_{\min} -Werte und Erträge; Versuchsstandort Poppenburg; 2015.....	55
Abbildung 94: Rohproteingehalt von Silomais bei unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Poppenburg; 2015	55
Abbildung 95: Gesamt-N-Zufuhr abzüglich N-Abfuhr, bei unterschiedlicher N-Düngung zu Silomais; Versuchsstandort Poppenburg; 2015	56
Abbildung 96: Versuch zur grundwasserschutzorientierten N-Düngung von Silomais; 22.06.2015; Versuchsstandort Wehnen.....	56
Abbildung 97: N_{\min} -Werte direkt nach der Silomaisernte bei unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Wehnen; 2015	56
Abbildung 98: Herbst- N_{\min} -Werte nach Silomais mit unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Wehnen; 2015	56
Abbildung 99: Versuch „Grundwasserschutzorientierte N-Düngung zu Silomais“ Ernte- N_{\min} -Werte und Erträge; Versuchsstandort Wehnen; 2015.....	57
Abbildung 100: Rohproteingehalt von Silomais bei unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Wehnen; 2015	58
Abbildung 101: Gesamt-N-Zufuhr abzüglich N-Abfuhr, bei unterschiedlicher N-Düngung zu Silomais; Versuchsstandort Wehnen; 2015	58
Abbildung 102: Versuch zur grundwasserschutzorientierten N-Düngung von Silomais; 08.07.2015; Versuchsstandort Werlte.....	59
Abbildung 103: N_{\min} -Werte direkt nach der Silomaisernte bei unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Werlte; 2015	59
Abbildung 104: Herbst- N_{\min} -Werte nach Silomais mit unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Werlte; 2015	59
Abbildung 105: Versuch „Grundwasserschutzorientierte N-Düngung zu Silomais“ Ernte- N_{\min} -Werte und Erträge; Versuchsstandort Werlte; 2015.....	60
Abbildung 106: Rohproteingehalt von Silomais bei unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Werlte; 2015	60

Abbildung 107: Gesamt-N-Zufuhr abzüglich N-Abfuhr, bei unterschiedlicher N-Düngung zu Silomais; Versuchsstandort Werlte; 2015	61
Abbildung 108: Variante geteilte organische N-Düngung mit anschließender Einarbeitung; Versuchsstandort Werlte; 23.06.2015.....	61
Abbildung 109: Einfluss des Ausbringungszeitpunktes und der Einarbeitung bei organischer Düngung in Höhe des N-Sollwertes bei Silomais auf die Ernte- und Herbst-N _{min} -Werte (Versuchsstandorte Poppenburg, Rockstedt, Wehnen und Werlte gemittelt)	62
Abbildung 110: Einfluss des Ausbringungszeitpunktes und der Einarbeitung bei organischer Düngung in Höhe des N-Sollwertes bei Silomais auf die Ernte- und Herbst-N _{min} -Werte	62
Abbildung 111: N-Mineraldüngeräquivalente von Gülle/Gärrest bei unterschiedlicher N-Düngungshöhe und Ausbringungszeitpunkt; 2015.....	62
Abbildung 112: Aufteilung der N-Düngung zu Winterweizen nach KNITTEL und ALBERT (2003)	64
Abbildung 113: Lage der Versuchsstandorte zur grundwasserschutzorientierten N-Düngung von Winterweizen	65
Abbildung 114: Winterweizen; 12.06.2015; Versuchsstandort Borwede	65
Abbildung 115: Vergleich der Ernte-N _{min} -Werte in der Wasserschutzvariante und in der Variante mit Sollwertdüngung.....	65
Abbildung 116: Vergleich der Ernte-N _{min} -Werte in Silomais, Winterweizen und Winterroggen bei unterschiedlichem N-Düngungsniveau im langjährigen Mittel und 2015 (in Zusammenarbeit mit Dr. Eric Reinsdorf).....	66
Abbildung 117: Ernte-N _{min} -Werte nach Winterweizen; Versuchsstandort Borwede; 14.08.2015	66
Abbildung 118: Winterweizenerträge bei unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Borwede; 2015	66
Abbildung 119: Ernte-N _{min} -Werte nach Winterweizen; Versuchsstandort Otterndorf; 25.08.2015	67
Abbildung 120: Winterweizenerträge bei unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Höckelheim; 2015.....	67
Abbildung 121: Ernte-N _{min} -Werte nach Winterweizen; Versuchsstandort Höckelheim; 05.08.2015	68
Abbildung 122: Winterweizenerträge bei unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Höckelheim; 2015.....	68
Abbildung 123: Ernte-N _{min} -Werte nach Winterweizen; Versuchsstandort Königslutter; 29.07.2015	68
Abbildung 124: Winterweizenerträge bei unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Königslutter; 2015	68

Abbildung 125: Ernte- N_{\min} -Werte nach Winterweizen; Versuchsstandort Poppenburg; 22.08.2015	69
Abbildung 126: Winterweizenerträge bei unterschiedlicher N-Düngung; Versuchsstandort Poppenburg; 2015.....	69
Abbildung 127: Lage der Versuchsstandorte „grundwasserschutzorientierte Herbizidstrategien“ im Silomaisanbau	71
Abbildung 128: Wirkungsgrad grundwasserschutzorientierter und konventioneller Herbizidbehandlungen im Vergleich; Versuchsstandort Addrup; 2015.....	73
Abbildung 129: Wirkungsgrad grundwasserschutzorientierter und konventioneller Herbizidbehandlungen im Vergleich; Versuchsstandort Dissen; 2015	73
Abbildung 130: Wirkungsgrad grundwasserschutzorientierter und konventioneller Herbizidbehandlungen im Vergleich; Versuchsstandort Kluse; 2015	73
Abbildung 131: Mais mit Schwingelmischung als Untersaat; Versuchsstandort Stapel; 27.05.2015	75
Abbildung 132: Herbst- N_{\min} -Werte; bei Schwingelmischung und Weidelgrasmischung als Untersaat im Vergleich zu einer Kontrollvariante ohne Untersaat; Versuchsstandort Stapel; 14.10.2015	75
Abbildung 133: Untersaat nach der Maisernte	75
Abbildung 134: Einfluss von Grasuntersaaten in Silomais auf die N_{\min} -Werte direkt nach der Ernte und die Herbst- N_{\min} -Werte direkt nach der Sickerwasserperiode; Versuchsstandorte Dasselsbruch und Wehnen (2011-2013)	76
Abbildung 135: Nährstoffgehalte der Untersaat und Winterroggen als Begrünung am 18.04.2016	76
Abbildung 136: relativer Silomaisertrag bei unterschiedlicher Untersaat/Winterbegrünung; 2015 am Versuchsstandort Stapel.....	77
Abbildung 137: Silomais nach Gülleunterfußdüngung in Kombination mit dem Nitrifikationshemmstoff Piadin; Versuchsstandort Wehnen; 22.06.2015	78
Abbildung 138: N-Aufnahme-Effizienz (links) und N-Bilanz (rechts); C: ungedüngt, B: Gülle breit verteilt (Schleppschlauch), I: Unterfußdüngung, I(N): Unterfußdüngung mit Nitrifikationshemmstoff, Ir: Unterfußdüngung mit um $\frac{1}{3}$ reduzierter Düngung, Ir(N): Unterfußdüngung mit um $\frac{1}{3}$ reduzierter Düngung mit Nitrifikationshemmstoff, (FEDEROLF et al. (2016a)).....	79
Abbildung 139: Probenahme mithilfe einer speziell angefertigten Schaufel, um bei Gülleunterfußdüngern repräsentative Ergebnisse zu erhalten (WESTERSCHULTE et al. (2015))	80

Abbildung 140: N_{\min} -Werte direkt nach der Maisernte – Probenahme auf den gleichen Flächen, in der Reihe, zwischen den Reihen und randomisiert im Vergleich (2015); n=12 (LWK Niedersachsen)	80
Abbildung 141: Ernte- N_{\min} -Werte nach Silomais mit Gülleunterfußdüngung; N-Sollwertdüngung entspricht 100 %; Versuchsstandort Poppenburg; 10.10.2015	81
Abbildung 142: Herbst- N_{\min} -Werte nach Silomais mit Gülleunterfußdüngung; N-Sollwertdüngung entspricht 100 %; Versuchsstandort Poppenburg; 27.10.2015	81
Abbildung 143: Versuch „Energiegras im mehrjährigen Anbau“; 22.05.2015; Versuchsstandort Wehnen	83
Abbildung 144: Herbst- N_{\min} -Werte unter Energiegras im mehrjährigen Anbau; Versuchsstandort Obershagen; 12.11.2015	83
Abbildung 145: Herbst- N_{\min} -Werte unter Energiegras im mehrjährigen Anbau; Versuchsstandort Werlte; 10.11.2015.....	83
Abbildung 146: Witterungsverlauf Versuchsstandort Borwede.....	85
Abbildung 147: Witterungsverlauf Versuchsstandort Hamerstorf	85
Abbildung 148: Witterungsverlauf Versuchsstandort Poppenburg	85
Abbildung 149: Witterungsverlauf Versuchsstandort Rockstedt.....	85
Abbildung 150: Witterungsverlauf Versuchsstandort Thülsfelde	85
Abbildung 151: Witterungsverlauf Versuchsstandort Wehnen	85
Abbildung 152: Witterungsverlauf Versuchsstandort Werlte	85
Abbildung 153: Temperatur und Niederschlag zum Zeitpunkt der organischen Düngung; Versuch zur grundwasserschutzorientierten Maisdüngung; Versuchsstandort Poppenburg .	86
Abbildung 154: Temperatur und Niederschlag zum Zeitpunkt der organischen Düngung; Versuch zur grundwasserschutzorientierten Maisdüngung; Versuchsstandort Rockstedt.....	86
Abbildung 155: Temperatur und Niederschlag zum Zeitpunkt der organischen Düngung; Versuch zur grundwasserschutzorientierten Maisdüngung; Versuchsstandort Wehnen	86
Abbildung 156: Temperatur und Niederschlag zum Zeitpunkt der organischen Düngung; Versuch zur grundwasserschutzorientierten Maisdüngung; Versuchsstandort Werlte	86

5.6. Literaturverzeichnis

- AFFELT L.-T. (2016)
 „Räumliche und zeitliche N_{min} -Dynamik bei unterschiedlichen Düngevarianten – eine Feldversuchsstudie“
 Masterarbeit Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
- BAUER A.
 „Silomais - Stickstoffdüngung am Rohproteingehalt ausrichten?“
<https://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/wasserschutzfuerniedersachsen/nav/1667/article/28551.html>
 (15.12.2015)
- BAUER A. und REINSDORF E. (2016)
 „Den Stickstoff maßvoll einsetzen“
 Land und Forst; Ausgabe 8, 2016; Seite 35-36
- EILER T.; (2002)
 „Am Sollwert ausrichten“
 Agrarforum Landwirtschaft und Wasserschutz Beilage des Landwirtschaftsblattes Weser-Ems 44/02 Seite 13-16
- FEDEROLF C.-P., WESTERSCHULTE M., OLFS H.-W., BROLL G., TRAUTZ D. (2016a)
 „Enhanced nutrient use efficiencies from liquid manure by positioned injection in maize cropping in northwest Germany“
 European Journal of Agronomy 75 (2016) pp 130-138
- FEDEROLF C.-P., WESTERSCHULTE M., OLFS H.-W., TRAUTZ D. (2016b)
 „Gülleunterfußdüngung zu Silomais im Nordwesten – Die Nährstoffbilanzen entlasten“
 LOP 5/2016 Seite 23-27
- GIERUS M., HERMANN A., KRUSE S., KLEEN J., TAUBE F.; (2005)
 „Veränderungen der Rohproteinfraktion A (NPN) verschiedener Futterpflanzen im Vegetationsverlauf“
 Tagungsband der 49. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau; 25.-27.08.2005; Bad Elster
- HARMS K.-G., (2015)
 „N-Stabilisator richtig dosieren“
 DLZ Special (11/2015) „Stickstoff-Effizienz steigern bei Gülle und Gärresten“; Seite 21-22
- HEUMANN S., FIER A., HAßDENTEUFEL M., HÖPER H., SCHÄFER W., EILER T., BÖTTCHER J. (2013)
 „Minimizing nitrate leaching while maintaining crop yields: insights by simulating net N-mineralization“
 Nutrient cycling in Agroecosystems
- JANKOWSKI A. und ROSKAM A.
 „Themenbericht Pflanzenschutzmittel Wirkstoffe und Metaboliten im Grundwasser Datenauswertung 1989 bis 2013“
<http://www.nlwkn.niedersachsen.de/aktuelles/pressemitteilungen/pflanzenschutzmittel-im-grundwasser-nachgewiesen-134746.html> (23.06.2015)
- KNITTEL H. und ALBERT E. (2003)
 „Praxishandbuch Dünger und Düngung“ (Agrimedia GmbH, Bergen/Dumme)
- MITSCHERLICH (1909)
 „Das Gesetz des Minimums und das Gesetz des abnehmenden Bodenertrages“
 Landwirtschaftliche Jahrbücher Band 38
- NITSCH A., (1996)
 „Düngen nach der Nitrachek-Methode“
 Hannoversche Land- und forstwirtschaftliche Zeitung, Mai 1996
- OLFS H.-W., FEDEROLF C.-P., WESTERSCHULTE M., TRAUTZ D. (2016)
 „Gülleinjektion im Maisanbau – Mineralische Unterfußdüngung kann ersetzt werden“
 Mais 2/2016 Seite 64-67
- PFLANZENSCHUTZAMT LWK NIEDERSACHSEN (2016)
 „Wasserschutz und Pflanzenschutz“
<https://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/pflanze/nav/506/article/29251.html> (07.03.2016)
- PFLANZENSCHUTZGESETZ
https://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/pflschg_2012/gesamt.pdf
- SCHÄFER W., HÖPER H., WALLRABENSTEIN H.; (2013)
 „Möglichkeiten zur Optimierung der N-Düngung und Fruchtfolgen aus Sicht des Wasserschutzes“
<https://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/wasserschutzfuerniedersachsen/nav/1669/article/23725.html>
 (27.11.2013)

SCHIERMANN T.; (2004)

„*Untersuchungen zur Variabilität und Kausalität des potentiellen Nitrataustrages beim Anbau von Zea mays in Deutschland*“

Dissertation der Fakultät Agrarwissenschaften der Georg-August-Universität Göttingen

SEITZ O., SCHÄFER W., ESCH R. UND HÖPER H. (2006)

„*Nutzungsform beeinflusst Nitratkonzentration im Sickerwasser*“

Landwirtschaft und Wasserrahmenrichtlinie (2006); Seite 19-23

SVOBODA N., TAUBE F., KLUß C., WIENFORTH B., KLAGE H., OHL S., HARTUNG E., HERMANN A. (2013)

„*Crop production for biogas and water protection – A trade-off?*“

Agriculture, Ecosystems and Environment, Volume 177; pp 36-47

TAUBE F. (2013)

„*Wasserschutzkonformer Maisanbau*“

<https://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/wasserschutzfuerniedersachsen/nav/1669/article/23725.html>

(27.11.2013)

WESTERSCHULTE M., FEDEROLF C.-P., PRALLE H., TRAUTZ D., BROLL G., OLFS H.W. (2015)

„*Soil nitrogen dynamics after slurry injection in field trials: Evaluation of a soil sampling strategy*“

Journal of plant nutrition and soil sciences 2015,178 pp 923-934

WIESLER F., BEHRENS T. and HORST W. J; (2001)

„*The Role of Nitrogen-Efficient Cultivars in Sustainable Agriculture*“

The Scientific World 1(S2) pp 61-69