Versuchsbericht 2014

Landwirtschaftskammer Niedersachsen

Versuchsergebnisse zur grundwasserschutzorientierten Landbewirtschaftung

Dieser Versuchsbericht sowie Anlage, Betreuung und Auswertung der Versuche wird finanziert durch das Niedersächsische Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 3

Versuchsdurchführung 4

1.1. Lage der Versuchsstandorte 4

1.2. Einteilung der Versuche 4

Versuche mit ergänzenden Sickerwasseruntersuchungen 4

Mehrjährige Feldversuche 5

Ergänzende N_{min}-Untersuchungen 5

1.3. Berechnung der potentiellen Nitratkonzentration im Sickerwasser 6

1.4. Beginn der Sickerwasserperiode 7

1.5. Gestaffelte N-Düngung 8

2. Versuchsergebnisse 9

2.1. Versuche mit Sickerwasseruntersuchungen 9

Fruchtfolge und Stickstoffdüngung – Hamerstorf 9

Fruchtfolge und Höhe der Stickstoffdüngung – Thülsfelde 16

Zwischenfruchtanbau – Wehnen 26

Langjährige organische Düngung – Wehnen 38

2.2. Mehrjährige Feldversuche 43

Bodenbearbeitung und Begrünung durch Grünroggen nach der Silomaisernte 43

Kritischer Rohproteingehalt zur Überprüfung der bedarfsgerechten N-Düngung von Silomais 47

Vergleich verschiedener N-Düngestrategien zu Silomais 59

Weiterentwicklung von Herbizidstrategien in Silomais – Verzicht auf Metolachlor und Terbuthylazin 81

2.3. Ergänzende N_{min}-Untersuchungen 89

Grasuntersaaten in Silomais 89

Silomais nach mehrjährigem Feldfutterbau 96

Gülleunterfußdüngung zu Silomais 99

3. Anhang 103

3.1. Versuchsübersicht....103
3.2. Klimadaten....104
3.3. N-Düngeempfehlungen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen....106
3.4. Literaturverzeichnis....107
3.5. Abbildungsverzeichnis....107
3.6. Tabellenverzeichnis....115

1. Einleitung

Im Rahmen der landesweiten Aufgaben im kooperativen Trinkwasserschutz (§ 28 NWG) führt die Landwirtschaftskammer Niedersachsen Versuche zur grundwasserschutzorientierten Landbewirtschaftung durch.

Der Schwerpunkt liegt hier bei der Vermeidung von Nitrateinträgen in das Grundwasser. Deshalb werden, je nach Fragestellung, in vier Versuchen durch das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie ergänzende Sickerwasseruntersuchungen durchgeführt. Verschiedene grundwasserschutzorientierte Bewirtschaftungsmaßnahmen können so nicht nur bezüglich ihrer Auswirkungen auf N-Dynamik im Boden, Erträge und Qualitätsparameter sondern auch hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Sickerwasserqualität untersucht werden. Die Sickerwasseruntersuchungen bieten die Möglichkeit, die Nitratkonzentration im Sickerwasser direkt zu ermitteln und liefern gleichzeitig die Grundlage, um die Reststickstoffgehalte im Boden nach der Ernte und zu Beginn der Sickerwasserspende im Hinblick auf die Höhe der tatsächlichen Nitratauswaschung zu beurteilen. Besonders die Reststickstoffgehalte im Boden direkt nach der Ernte und zu Beginn der Sickerwasserspende liefern wichtige Hinweise darauf, wie viel mineralisierter und somit auswaschungsgefährdeter Stickstoff zu Beginn Sickerwasserperiode im Boden vorliegt.

Um auch die Einträge anderer chemischer Parameter in das Grundwasser, wie beispielsweise Pflanzenschutzmittel und deren Metaboliten zu minimieren, werden in diesem Jahr erstmalig Ergebnisse aus Feldversuchen zur Entwicklung alternativer Herbizidstrategien unter Verzicht auf auswaschungsgefährdetere Wirkstoffe, bzw. deren Metaboliten vorgestellt.

Dem Niedersächsischen Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz und dem Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz sei an dieser Stelle für die Finanzierung aus der Wasserentnahmegebühr gedankt.

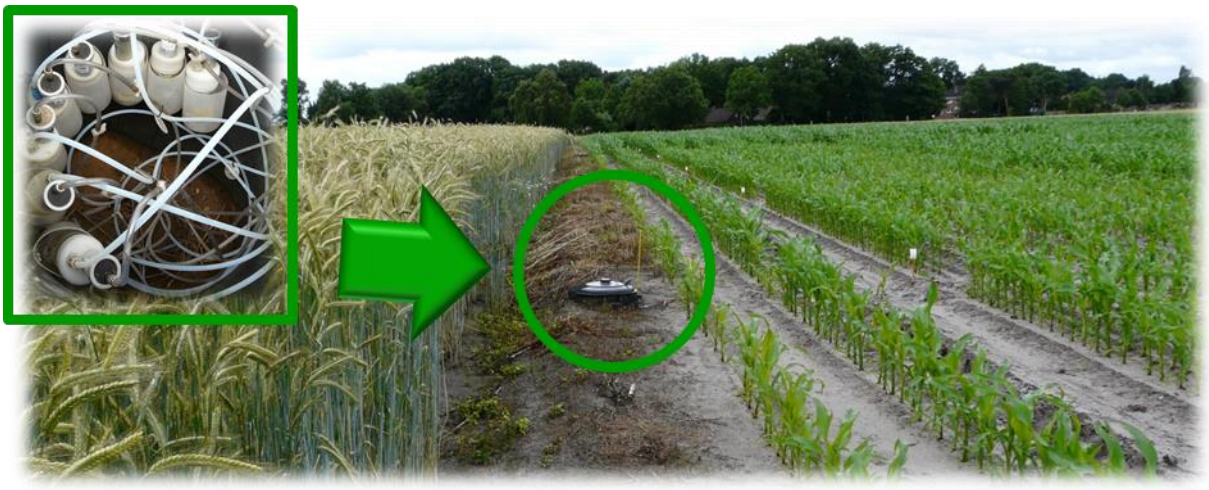
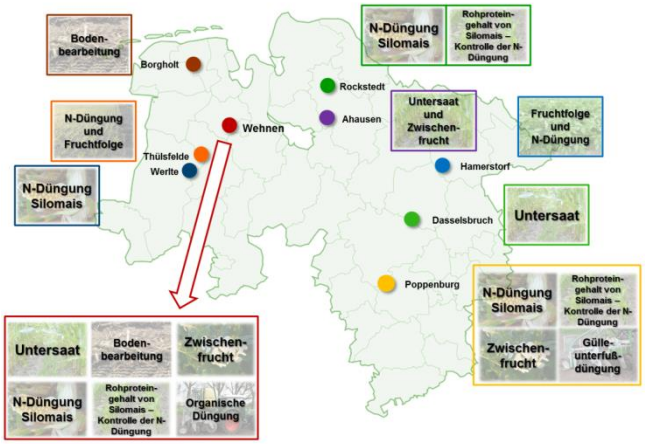


Abbildung 1: Sickerwasseranlage auf der Versuchsfläche in Wehnen

Versuchsdurchführung

1.1. Lage der Versuchsstandorte



Bei der Auswahl der Versuchsstandorte werden die verschiedenen Anbauverhältnisse in Niedersachsen bestmöglich berücksichtigt. Schwerpunkte werden im Hinblick auf die Auswaschungsgefährdung gesetzt. Diese wird neben den Standorteigenschaften indirekt auch von der Höhe des Wirtschaftsdüngeranfalls beeinflusst.

Abbildung 2: Standorte der Wasserschutzversuche 2014

Auf den auswaschungsgefährdeten Geeststandorten im nordwestlichen Niedersachsen werden beispielsweise intensive Sickerwasseruntersuchungen durchgeführt.

1.2. Einteilung der Versuche

Je nach Versuchsfrage werden Feldversuche mit unterschiedlichem Umfang durchgeführt. Tabelle 27 (Seite103) gibt eine Übersicht über die 2014 durchgeführten Versuche.

Versuche mit ergänzenden Sickerwasseruntersuchungen

Erkenntnisse über die exakten Zusammenhänge zwischen Stickstoffdynamik im Boden, und der Nitratkonzentration im Sickerwasser liefern Versuche mit ergänzenden Sickerwasseruntersuchungen.

Abbildung 3: Sickerwasseranlage Versuchsfläche Wehnen, 2014

Um belastbare Daten zu erhalten und den komplexen Fragestellungen Rechnung zu tragen, werden diese Versuche meist mit einer geplanten Laufzeit von zehn Jahren oder länger angelegt. So können beispielsweise die langfristigen Auswirkungen einer grundwasserschutzorientierten Gestaltung der Fruchtfolge untersucht werden. Die Sickerwasserqualität kann direkt im Zusammenhang mit den Reststickstoffgehalten im Boden beurteilt werden. So liefern diese Versuche auch eine wertvolle Grundlage bei der Auswertung mehrjähriger Feldversuche.

Sickerwasseruntersuchungen durch das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG)

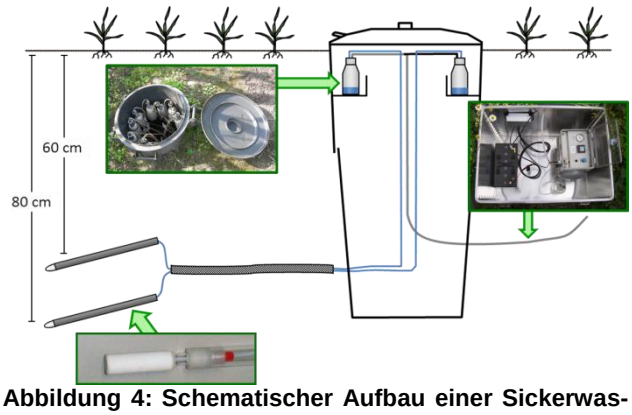


Abbildung 4: Schematischer Aufbau einer Sickerwasseranlage nach Dr. Walter Schäfer (LBEG)

Die nebenstehende Abbildung zeigt den Aufbau einer Sickerwasseranlage. Die Sickerwasserproben werden vom Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) durchgeführt und ausgewertet.

Mehrjährige Feldversuche

Viele Versuchsfragen lassen sich auch durch mehrjährige Feldversuche beantworten. Diese Versuche werden meist in drei aufeinanderfolgenden Jahren an verschiedenen Standorten durchgeführt. Je nach Versuchsfrage wird auch in den meisten mehrjährigen Feldversuchen eine N-Düngestaffel angelegt. Mit Hilfe der festen N-Düngestaffel können bei Bedarf weitere Daten flexibel berechnet werden.

Abbildung 5: Organische Düngung in Kleinparzellen, Versuchsfläche Werlte, 2014

Mehrjährige Feldversuche sind zudem sehr gut geeignet, um verschiedene Anbauverfahren zu vergleichen.

Ergänzende N_{min}-Untersuchungen

Viele pflanzenbauliche Themen sind nicht nur im Wasserschutz, sondern auch allgemein von Bedeutung. In diesem Fall können bereits angelegte Versuche anderer Fachbereiche für Aussagen zum Wasserschutz genutzt werden. Diese Versuche werden unter anderem um zusätzliche N_{min}-Probenahmen ergänzt, um die Auswirkungen auf mögliche Nährstoffeinträge in das Grundwasser besser einschätzen zu können. Von besonderem Interesse sind beispielsweise ergänzende Daten zu Freiwilligen Vereinbarungen oder Agrarumweltmaßnahmen.

Ergänzende N_{min}-Untersuchungen wurden unter anderem 2014 in einem Versuch zum Silomaisanbau nach mehrjährigem Feldfutterbau und im Silomaisanbau mit Grasuntersaaten durchgeführt.

1.3. Berechnung der potentiellen Nitratkonzentration im Sickerwasser

In Versuchen ohne ergänzende Sickerwasseruntersuchungen wird die Nitratkonzentration im Sickerwasser nach den untersuchten Bewirtschaftungsmaßnahmen mit Hilfe der Reststickstoffgehalte im Boden und der Sickerwasserrate des Versuchsstandorts näherungsweise errechnet. Die Formel ist in Abbildung 6 dargestellt.

Berechnungsformel: mg NO_3/l im Sickerwasser = $\frac{N_{min}\text{ Herbst (kg/ha)}}{\text{SWR (mm/Jahr)}}$ X 443

Abbildung 6: Berechnung der potentiellen Nitratkonzentration im Sickerwasser (AID Leittext „Landwirtschaft und Wasserschutz“ www.lwk-niedersachsen.de, Webcode: 01022941)

Die Berechnung anhand des Herbst-N_{min}-Wertes, der Sickerwasserrate und einer Konstanten liefert jedoch nur einen Orientierungswert für die potentielle Nitratkonzentration im Sikcerwasser. Der Herbst-N_{min}-Wert unterliegt naturgemäßen Schwankungen und die mittlere Sickerwasserrate liefert nur einen ungefähren Wert für die Sickerwasserneubildung der jeweiligen Sickerwasserperiode der einzelnen Standorte. Die mittleren Sickerwasserraten für die einzelnen Bodenklimaräume zur Berechnung der potentiellen Nitratkonzentration im Sickerwasser werden vom Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) zur Verfügung gestellt. Abbildung 7 zeigt die Bodenklimaräume Niedersachsens.

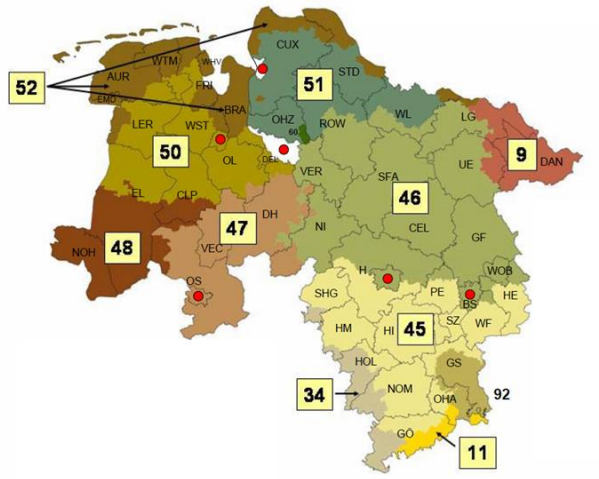


Abbildung 7: Bodenklimaräume Niedersachsen

Die zur Berechnung der potentiellen Nitratkonzentration im Sickerwasser verwendete Sickerwasserrate der jeweiligen Bodenklimaräume ist in Tabelle 1 dargestellt.

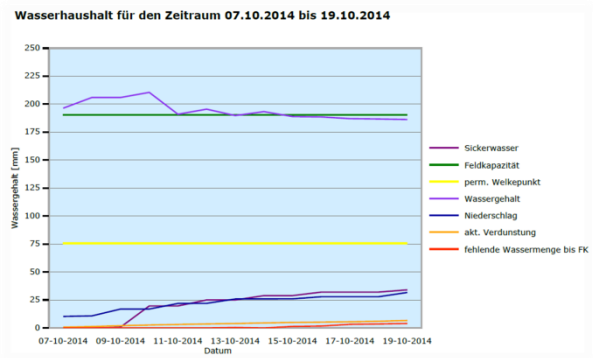
Tabelle 1: Mittlere Sickerwasserrate der Bodenklimaräume Niedersachsens für Acker und Grünland

Nr.	Boden-Klima-Raum	Landkreis	Gesamtabfluss nach GROWA06 [mm/Jahr]	
			Acker	Grünland
09	Diluviale Böden der Altmark und Nord-Niedersachsens	DAN, LG, UE	172	75
11	Verwitterungsböden in den Übergangslagen (Ost)	GÖ, OHA	219	210
34	Höhenlagen West	GÖ, HM, HOL, NOM, SHG	307	300
45	Südhannover / Lehmböden	GÖ, GS, H, HE, HI, HM, HOL, NOM, OHA, PE, SHG, SZ, WF	203	205
46	Lüneburger Heide / sandige Böden	BS, CE, DH, GF, H, HE, LG, NI,PE, ROW, SFA,UE, VER, WF, WL, WOB	238	180
47	Mittleres Niedersachsen / leichte Lehmböden	DH, NI, OL, OS, VEC	263	197
48	Südwestliches Weser-Ems Gebiet / sandige Böden	CLP, EL, NOH, OS	301	265
50	Nordwestliches Weser-Ems Gebiet / sandige Böden	AUR, CLP, DEL, DH, EL, FRI, LER, OL, WST, WTM	297	225
51	Elbe-Weser-Dreieck / sandige Böden	CUX, OHZ, ROW, STD, WL	299	217
52	Niedersächsische Küsten- und Elbmarsch	AUR, BRA, CUX, EMD, FRI, LER, LG, STD, WHV, WL, WST, WTM	287	231

Mit Hilfe der Wasserschutzversuche mit Saugsondenanlagen und weiteren Sickerwasseruntersuchungen im Rahmen des landesweiten Emissionsmonitorings wird das Berechnungsschema durch das LBEG beständig weiterentwickelt.

1.4. Beginn der Sickerwasserperiode

Für die Berechnung des Beginns der Sickerwasserperiode wird das Modell „BOWAB“ des LBEG verwendet. Dieses Fachprogramm ist im Internet unter http://nibis.lbeg.de/cardomap3/# frei verfügbar. BOWAB ermöglicht neben einer standort- und kulturspezifischen Bestimmung der Sickerwasserperiode auch die Ermittlung von Kennwerten zur Beregnungssteuerung. Abbildung 8 zeigt beispielhaft die Ergebnisse einer Wasserhaushaltsberechnung.



Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (2014): Fachprogramm Bodenwasserhaushalt im NIBIS-Kartensever. http://nibis.lbeg.de/cardomap3/#;

Abbildung 8: Ergebnisse einer Wasserhaushaltsberechnung;

Das Fachprogramm wird beständig durch das LBEG aktualisiert und weiterentwickelt.

1.5. Gestaffelte N-Düngung

Um Fragen zur Höhe der Stickstoffdüngung und die Auswirkung auf den Grundwasserschutz zu beantworten und als Grundlage für die Berechnung möglicher Ausgleichszahlungen werden in vielen Düngungsversuchen feste Düngestaffeln angelegt.

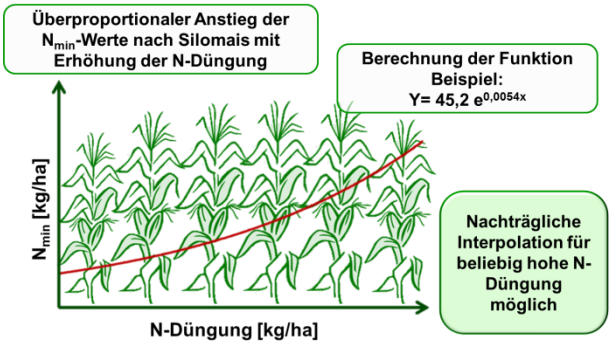


Abbildung 9: Beispielhafter Verlauf der N_{min}-Werte direkt nach der Ernte mit steigender N-Düngung zu Silomais

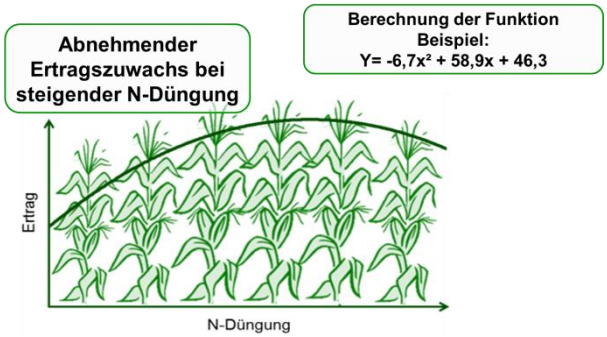


Abbildung 10: Beispielhafter Verlauf der Ertragskurve bei steigender N-Düngung zu Silomais

Mit Hilfe der festen N-Düngungsstufen können für einzelne Jahre und Standorte, Erfolgsparameter wie N_{min}-Werte oder Erträge für jede Höhe der N-Düngung nachträglich interpoliert werden. Abbildung 9 und Abbildung 10 zeigen Beispiele für einen exponentiellen Anstieg der N_{min}-Werte direkt nach der Silomaisernte und die Berechnung des Ertragsverlaufs mit Hilfe einer Polynomfunktion. In Einzelfällen ist eine Berechnung jedoch aufgrund des Kurvenverlaufs oder eines sehr niedrigen Bestimmtheitsmaßes nicht möglich.

Die N-Düngestaffeln liefern eine wichtige Datengrundlage, beispielsweise bei der Einschätzung der Höhe von Ausgleichszahlungen in Wasserschutzgebieten. Eine Variante mit deutlich überhöhter N-Düngung ist notwendig um einen Ertragsrückgang infolge zu hoher N-Düngung bei der Berechnung der Funktion berücksichtigen zu können.

2. Versuchsergebnisse

2.1. Versuche mit Sickerwasseruntersuchungen

Fruchtfolge und Stickstoffdüngung – Hamerstorf

Versuchsfrage

- Welchen Einfluss hat die N-Düngung auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser?
- Wie kann die Sickerwasserqualität durch eine grundwasserschutzorientierte Gestaltung der Fruchtfolge und eine Anpassung der N-Düngung verbessert werden?

Versuchsaufbau und -durchführung

Dieser Versuch wurde 2014 auf der Versuchsfläche der Versuchsstation Hamerstorf im Landkreis Uelzen neu angelegt und löst damit den Wasserschutzversuch in Hohenzethen ab, da ergänzende Fragestellungen aufgrund der begrenzten Versuchsfläche nicht mehr in den Versuchsplan aufgenommen werden konnten. In Hamerstorf werden sowohl eine konventionelle und eine grundwasserschutzorientierte Bioenergie Fruchtfolge verglichen. 2014 wurde in beiden Fruchtfolgen Kartoffeln angebaut.

Abbildung 11: Kartoffel (Belana) Versuchsfläche Hamerstorf, 2014, Versuch 643

In Hamerstorf werden in zusätzlichen Varianten ergänzend zu der N-Düngestaffel die N-Mineraldüngeräquivalente validiert und ergänzende Daten zu aktuellen Agrarumweltmaßnahmen erhoben (siehe Abbildung 12, reduzierte Sollwertdüngung zu Kartoffeln).

Abbildung 12: Reduzierte Sollwertdüngung zu Kartoffeln in der grundwasserschonenden Fruchtfolge, Hamerstorf, 2014, Versuch 643

Der Versuch wurde als zweifaktorielle Spaltenanlage angelegt (Faktor 1: Fruchtfolge, Faktor 2: Düngung).

Tabelle 2 zeigt die konventionelle und die grundwasserschutzorientierte Bioenergiefruchtfolge 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* *reduzierte Aussaatstärke und Untersaat*	*Silomais* *Grasuntersaat*	*Braugerste* *Anschließende Zwischenfrucht*

Bei der Planung der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge wurden die Standortbedingungen des Beregnungsstandortes Hamerstorf berücksichtigt. So kann beispielsweise bei

der Aussaat von Winterroggen und Untersaat nach der Kartoffelernte die Herbstfeuchte bestmöglich genutzt werden.

Neben der Fruchtfolge wird auch der Einfluss der N-Düngung auf Sickerwasserqualität, N-Dynamik im Boden, Erträge und Qualitätsparameter untersucht. Neben der N-Düngestaffel wurden die Auswirkungen eines stabilisierten N-Düngers (ENTEC) überprüft. Zur Validierung der Mineraldüngeräquivalente und um die Auswirkungen organischer Düngung mit Gärresten zu erfassen, wurden zusätzlich zur N-Düngestaffel eine Variante mit ausschließlicher Gärrestdüngung und eine Variante mit Gärrestdüngung in Kombination mit einer ergänzenden Mineraldüngergabe angelegt. Die N-Düngungsvarianten der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: N-Düngung in der grundwasserschutzorientierten Bioenergiefruchtfolge, Hamerstorf, 2014, Versuch 643

Variante Nr.	Variante Bezeichnung	N-Düngung (Termin 01) [kg/ha]	N-Düngung (Termin 02) [kg/ha]
1	0 kg N/ha	-	-
2	80 kg Mineral-N/ha	80	-
3	100 kg Mineral-N/ha	80	20
4	160 kg Mineral-N/ha	100	60
5	200 kg Mineral-N/ha	100	100
6	240 kg Mineral-N/ha	140	100
7	160 kg Mineral-N/ha; stabilisiert (ENTEC)	160	-
8	Sollwert – 20 % (mineralisch)	80	48
9	100 kg N/ha Gärrest + 60 kg N/ha mineralisch	100 + 60	
10	100 kg N/ha Gärrest	100	

Die Düngung in der konventionellen Fruchtfolge ist in Tabelle 4 abgebildet. Die erste Düngung wurde am 28.04.2014 ausgebracht, die zweite N-Düngergabe wurde am 10.06.2014 gegeben.

Tabelle 4: N-Düngung in der konventionellen Fruchtfolge, Hamerstorf, 2014, Versuch 643

Variante Nr.	Variante Bezeichnung	N-Düngung (Termin 01) [kg/ha]	N-Düngung (Termin 02) [kg/ha]
1	0 kg N/ha	-	-
2	80 kg Mineral-N/ha	80	-
3	100 kg Mineral-N/ha	80	20
4	160 kg Mineral-N/ha	100	60
5	200 kg Mineral-N/ha	100	100
6	240 kg Mineral-N/ha	140	100
7	160 kg Mineral-N/ha; stabilisiert (ENTEC)	160	-
8	Sollwert – 20 % (mineralisch)	80	48
9	100 kg N/ha Gärrest + 60 kg N/ha mineralisch	100 + 60	
10	100 kg N/ha Gärrest	100	

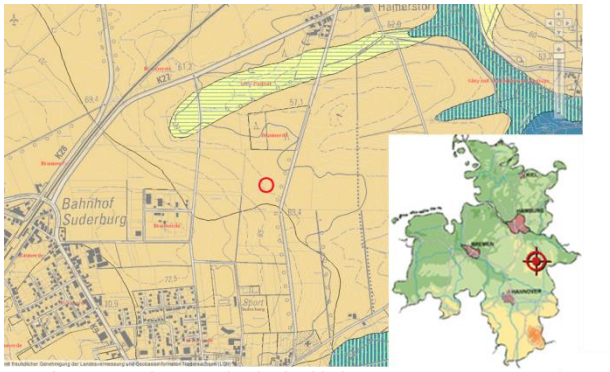
Da nach der Kartoffelernte Winterroggen ausgesät wird, ist in beiden Fruchtfolgen eine Winterbegrünung der Fläche gegeben. In der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge wird der Winterroggen mit verringerter Aussaatstärke und in Kombination mit einer Untersaat ausgesät. In der anschließenden Rotation der Fruchtfolge kann jedoch anhand der beiden N-Düngestaffeln die N-Nachlieferung aus der Zwischenfrucht nach der Braugerste zu Kartoffeln

erfasst werden. Pflanzenschutzmaßnahmen erfolgten nach den Grundsätzen des integrierten Pflanzenschutzes.

Standorteigenschaften

Abbildung 14 zeigt die Lage der Versuchsfläche am Standort Hamerstorf. Der Versuchsstandort liegt in der Gemeinde Suderburg süd-westlich von Uelzen. Tabelle 5 gibt eine Übersicht der Standorteigenschaften. Die Aussaat erfolgte am 24.04.2014, mit der Sorte Belana.

Abbildung 13: Bodenwassersammelflachen der Sickerwasseranlage am Standort Hamerstorf



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

Abbildung 14: Lage des Versuchsstandorts Hamerstorf

Tabelle 5: Standorteigenschaften, Versuchsstandort Hamerstorf, 2014, 643

Allgemein	
Bodenart	Sand
Bodentyp	Pseudogley-Braunerde
Ackerzahl	29
Vorfrucht	Zuckerrübe
Ergebnisse der Bodenuntersuchung **13.03.2014**	
pH	5,6
P [mg/100 g Boden]	5
K [mg/100 g Boden]	4
Mg [mg/100 g Boden]	3
Ergebnisse der N_{min}-Untersuchung **07.03.2014**	
0-30 cm	12
30-60 cm	16
60-90 cm	15

Bei dem Standort handelt es sich um schwach steinige, schwach schluffige Sande. Das Ausgangsmaterial ist Geschiebedecksand über glazifluviatilen Sanden und Geschiebelehm. Die effektive Durchwurzelungstiefe liegt bei 7 dm.

Ergebnisse

Abbildung 15 und Abbildung 16 zeigen die N-Dynamik in den beiden Fruchtfolgen von März, bis zu Beginn der Sickerwasserperiode in der mit 160 kg N/ha gedüngten Variante. Auf Grund der einheitlichen vorangegangenen Bewirtschaftung traten kaum Unterschiede zwischen den N_{min}-Werten der beiden Fruchtfolgen auf, die nicht im Fehlerbereich der N_{min}-Methode lagen.

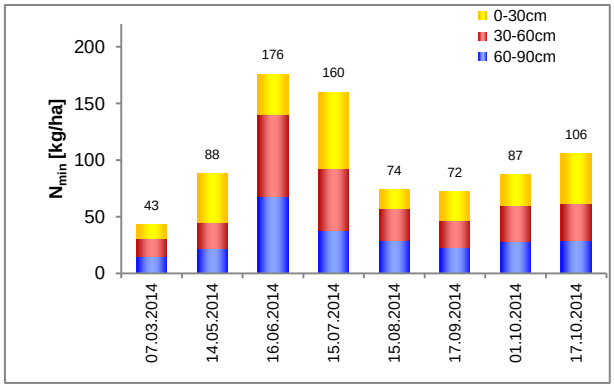


Abbildung 15: N_{min}-Werte im Vegetationsverlauf in der mit 160 kg N/ha gedüngten Variante; Versuchsstandort Hamerstorf; 2014; grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge

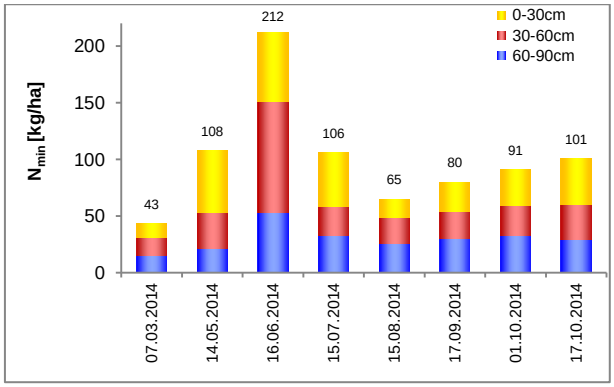


Abbildung 16: N_{min}-Werte im Vegetationsverlauf in der mit 160 kg N/ha gedüngten Variante; Versuchsstandort Hamerstorf; 2014; konventionelle Fruchtfolge

Am 07.03.2014 wurde auf der Fläche zu Versuchsbeginn eine Mischprobe gezogen. In beiden Fruchtfolgen stiegen die N_{min}-Werte im Vegetationsverlauf von Anfang März bis Mitte Juni in Folge der N-Düngung an. Bei der Probenahme am 16.06.2014 wurde der höchste Gehalt an mineralisiertem Stickstoff gemessen. In der konventionellen Fruchtfolge stieg der N_{min}-Wert auf über 200 kg N_{min}/ha an. In der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge lag der N_{min}-Wert bei der anschließenden N_{min}-Untersuchung am 15.07.2014 auf dem gleichen Niveau. In der konventionellen Fruchtfolge war der Gehalt an mineralisiertem Stickstoff im Boden bis zu diesem Zeitpunkt auf 106 kg N_{min}/ha gesunken. Die Ergebnisse der N_{min}-Untersuchungen im August und September zeigten in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge keine Unterschiede.

In beiden Fruchtfolgen konnte ein tendenzieller Anstieg der N_{min}-Werte von August bis Oktober beobachtet werden.

Die Ergebnisse der N_{min}-Probenahme direkt nach der Ernte und zu Beginn der Sickerwasserperiode in allen Varianten sind, gemeinsam mit den Erträgen in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt. Abbildung 17 zeigt die Ergebnisse der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge. In Abbildung 18 sind die Ergebnisse der konventionellen Fruchtfolge dargestellt. Die Ergebnisse der Sickerwasseruntersuchungen werden durch das LBEG in einem gesonderten Bericht veröffentlicht. Der Stärkeertrag ist in einer gesonderten Graphik (Abbildung 19, Seite14) abgebildet.

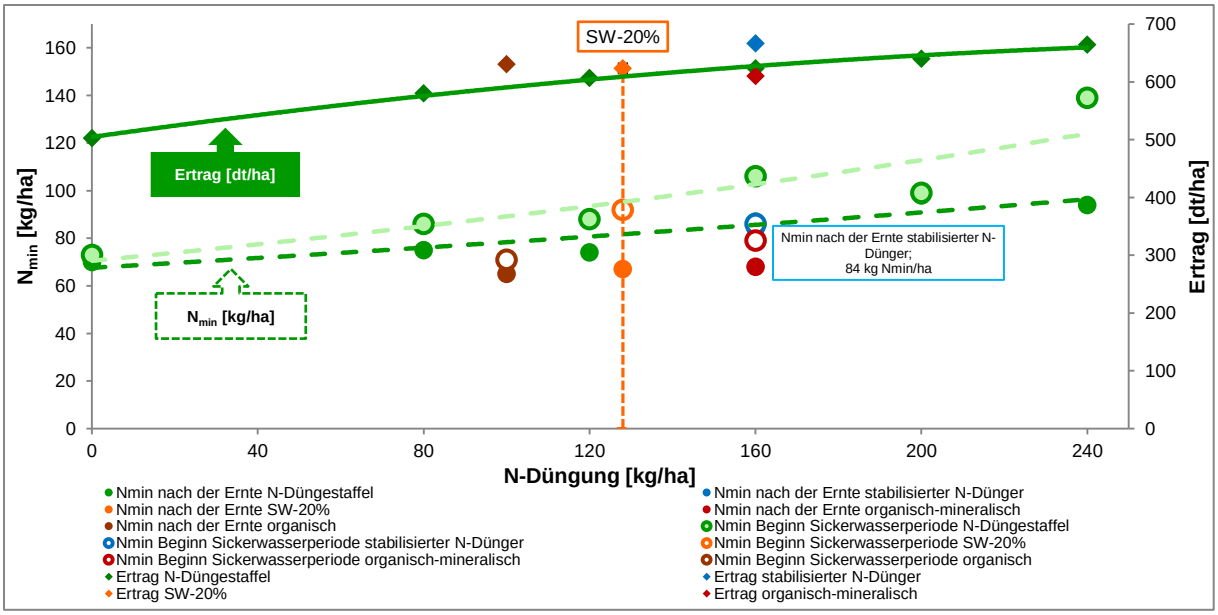


Abbildung 17: N_{min}-Werte und Erträge; Hamerstorf; Kartoffel; grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge; 2014 (643)

Die N_{min}-Werte direkt nach der Ernte lagen zwischen 65 kg N_{min}/ha in der mit 120 kg Gesamt-N rein organisch gedüngten Variante und 98 kg N_{min}/ha in der mit 200 kg N/ha gedüngten Variante der N-Düngestaffel. In der ungedüngten Variante lag der N_{min}-Wert direkt nach der Ernte bei 70 kg N_{min}/ha. Zu Beginn der Sickerwasserperiode konnte in allen Varianten ein Anstieg der N_{min}-Werte im Vergleich zu den Ergebnissen der N_{min}-Untersuchungen direkt nach der Ernte festgestellt werden. In den niedriger gedüngten Varianten waren die Unterschiede jedoch deutlich geringer ausgeprägt als in den höher gedüngten Varianten der N-Düngestaffel. In der mit 240 kg N/ha gedüngten Variante der N-Düngestaffel stiegen die Reststickstoffgehalte von 94 kg N_{min}/ha direkt nach der Ernte bis auch 139 kg N_{min}/ha zu Beginn der Sickerwasserperiode an.

In beiden Fruchtfolgen wurde der höchste Ertrag in der mit 160 kg N/ha und mit stabilisiertem N-Dünger gedüngten Variante erzielt. In der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge lag der Ertrag in dieser Variante bei 667 dt/ha. In der ungedüngten Variante wurden 503 dt/ha geerntet (Abbildung 17).

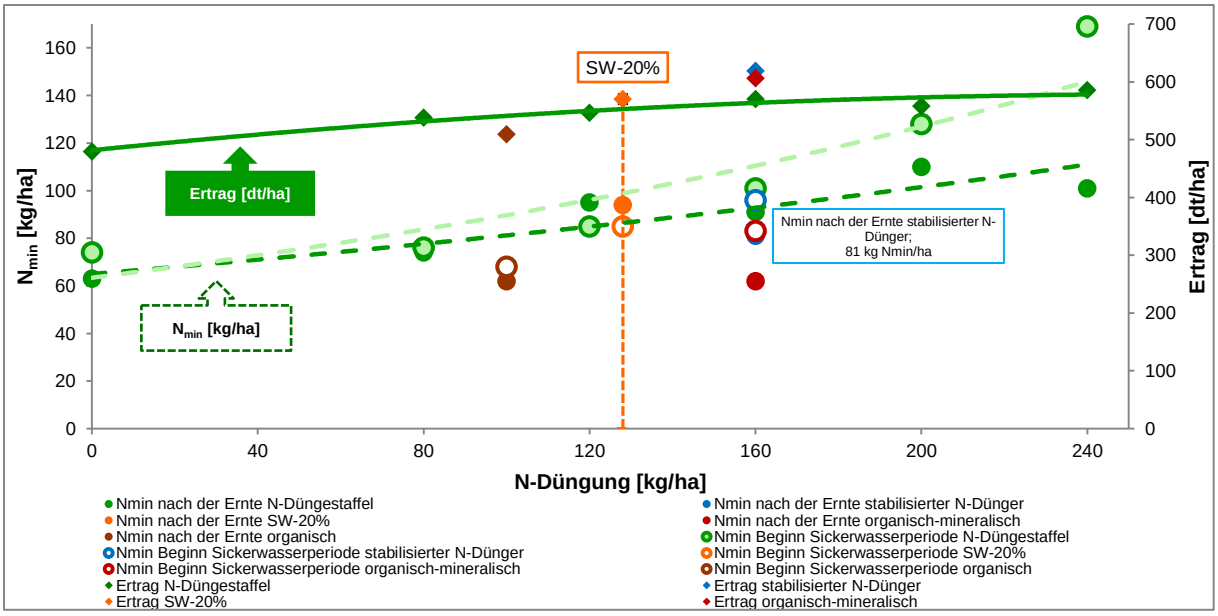


Abbildung 18: N_{min}-Werte und Erträge; Hamerstorf; Kartoffel; konventionelle Fruchtfolge; 2014 (643)

In der konventionellen Fruchtfolge stiegen die Reststickstoffgehalte im Boden sowohl direkt nach der Ernte, als auch zu Beginn der Sickerwasserperiode mit steigender N-Düngung. Direkt nach der Ernte stiegen die N_{min}-Werte in der N-Düngestaffel von 63 kg N_{min}/ha in der ungedüngten Variante bis auf 110 kg N_{min}/ha in der mit 200 kg N/ha gedüngten Variante. Bis zum Beginn der Sickerwasserperiode änderten sich die N_{min}-Werte in der konventionellen Fruchtfolge nur in den Varianten mit überhöhter N-Düngung. In der Variante mit deutlich überhöhter N-Düngung (240 kg N/ha) stiegen die N_{min}-Werte von 101 kg N_{min}/ha direkt nach der Ernte, um knapp 70 kg N_{min}/ha auf 169 kg N_{min}/ha zu Beginn der Sickerwasserperiode. Welche Auswirkungen die unterschiedliche N-Düngung und die Fruchtfolgegestaltung langfristig auf die N-Dynamik und die Nitratauswaschung haben werden, wird sich in den nächsten Jahren zeigen.

Der Ertrag variierte 2014 in der konventionellen Fruchtfolge zwischen 479 dt/ha in der ungedüngten Variante und 619 dt/ha, in der mit stabilisiertem N-Dünger und 160 kg N/ha gedüngten Variante. Abbildung 19 zeigt den Stärkeertrag in den einzelnen Varianten.

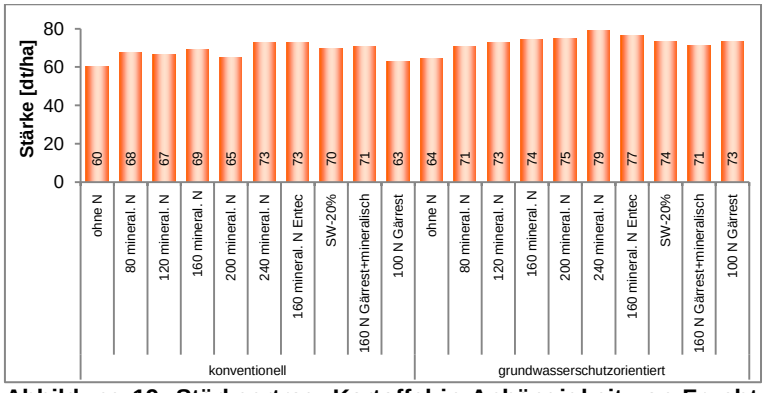


Abbildung 19: Stärkeertrag, Kartoffel in Anhängigkeit von Fruchtfolge und Form und Höhe der N-Düngung, Hamerstorf, 2014

Der Stärkeertrag variierte 2014 von 60 dt/ha in der ungedüngten Variante der konventionellen Fruchtfolge und 79 dt/ha in der mit 240 kg N/ha gedüngten Variante der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge.

Zusammenfassung

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

- Anhand der ersten Ergebnisse am Versuchsstandort Hamerstorf können noch keine allgemeinen Aussagen oder Beratungsempfehlungen hergeleitet werden
- Tendenziell stiegen die N_{min}-Werte nach der Ernte bis zum Beginn der Sickerwasserperiode leicht an.
- Der Einfluss der grundwasserschutzorientierten Gestaltung der Fruchtfolge auf Sickerwasserqualität, N-Dynamik im Boden, Erträge und Qualitätsparameter bleibt abzuwarten.
- Die Reduzierung der Sollwertdüngung um 20 % hatte bei Kartoffeln 2014 am Standort Hamerstorf keinen Minderertrag zur Folge.
- Die Ergebnisse der Sickerwasseruntersuchungen während der Sickerwasserperiode 2014/2015 werden durch das LBEG in einem gesonderten Bericht veröffentlicht.
- Im Startjahr unterschieden sich die beiden Fruchtfolgen nicht. In den folgenden Rotationen kann der Einfluss vorangegangenen Zwischenfrucht auf die N-Dynamik im Kartoffelanbau untersucht werden.

Fruchtfolge und Höhe der Stickstoffdüngung – Thülsfelde

Versuchsfrage

- Welchen Einfluss hat die 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?

Versuchsaufbau und -durchführung

Die Versuchsfläche am Standort Thülsfelde ist in drei Teilflächen (a, b und c) untergliedert. Auf der ersten Teilfläche befindet sich die Saugkerzenanlage. 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 in der grundwasserschonenden Fruchtfolge Silomais in Engsaat angebaut. 2008 wurde die Fruchtfolge geändert und an geänderte regionalspezifische Gegebenheiten angepasst. Die Fruchtfolge seit 2009 ist in Tabelle 6 dargestellt. Der Versuch ist als einfaktorielle Blockanlage mit vier Wiederholungen angelegt.

Tabelle 6: Fruchtfolge Versuch 644, 2009-2016

Jahr	Fruchtart		
	644 a Fruchtfolge Saugkerzenanlage	**644 b Konventionelle Fruchtfolge**	**644 c 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*	*Winterroggen*	*Winterroggen + Zwischenfrucht Senf*
2016	*Wintergerste + Zwischenfrucht Rübsen*	*Silomais (Normalsaat, 75 cm)*	*Sommergerste + Zwischenfrucht Senf*

2014 wurden die Auswirkungen unterschiedlicher N-Düngung bei Silomais in Engsaat (Reihenabstand 37,5 cm) und Normalsaat (Reihenabstand 75 cm) verglichen. Tabelle 7 gibt eine Übersicht über Höhe und Verteilung der N-Düngung der einzelnen Varianten.

Tabelle 7: N-Düngung Versuch 644, 2014

Teilstück	Variante	N-Düngung [kg N/ha]	Termin
644a	1	0	1. N-Düngung: 07.05-2014 2. N-Düngung: 16.06.2014 Gülledüngung 14.04.2014
	2	50 KAS	
	3	100 KAS	
	4	150 (80/40) KAS	
	5	200 (100/100) KAS	
	6	171; (105) KAS; (66) Schweinegülle	
644b	1	0	1. N-Düngung: 07.05-2014 2. N-Düngung: 12.06.2014 Gülledüngung 14.04.2014
	2	50 KAS	
	3	100 KAS	
	4	150 (80/40) KAS	
	5	200 (100/100) KAS	
	6	172; (106) KAS; (66) Schweinegülle	
	7	250 (100/150) KAS	
644c	1	0	1. N-Düngung: 07.05-2014 2. N-Düngung: 16.06.2014 Gülledüngung 14.04.2014
	2	50 KAS	
	3	100 KAS	
	4	150 (80/40) KAS	
	5	200 (100/100) KAS	
	6	170; (104) KAS; (66) Schweinegülle	
	7	250 (100/150) KAS	

Neben den N_{min}-Untersuchungen im Frühjahr, direkt nach der Ernte und zu Beginn der Sickerwasserperiode werden in Thülsfelde in der nach Sollwert gedüngten Variante monatlich N_{min}-Proben gezogen, um die N-Dynamik im Boden zu erfassen. Erträge und Qualitätsparameter werden ebenfalls ermittelt.

Abbildung 20 zeigt die Lage des Versuchsstandortes Thülsfelde.

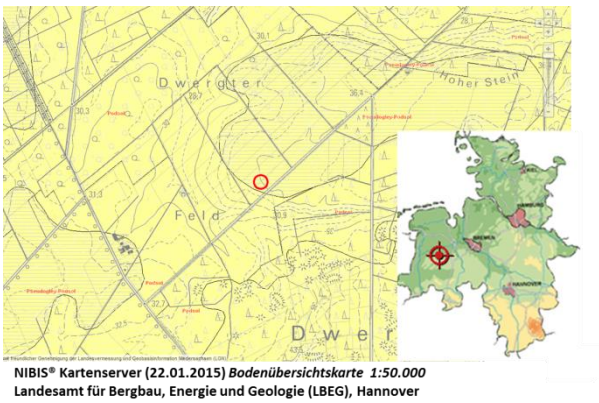


Abbildung 20: Lage des Versuchsstandorte Thülsfelde

Der Standort 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.

644a Silomais – Engsaat

Tabelle 8 zeigt die Eigenschaften des Versuchsstandortes Thülsfelde auf der Teilfläche mit ergänzenden Sickerwasseruntersuchungen.

Tabelle 8: Standorteigenschaften Versuchsstandort Thülsfelde; 2014; 644a;

Bodenart	pH	P	K	Mg	N_{min} 0-60 cm	N_{min} 0-90 cm	Humus	C/N	C_{org}
		mg in 100 g Boden			Kg /ha		%		%
Sand	5,6	6	5	5	9	13	2,7	14	1,57

N_{min}-Werte

In der nach Sollwert gedüngten Variante wurden wie bereits in den Vorjahren monatlich N_{min}-Proben gezogen, um die N-Dynamik im Jahresverlauf zu erfassen. Abbildung 21 zeigt die Ergebnisse der N_{min}-Untersuchungen des Versuchsblocks mit Sickerwasseranlage im Jahresverlauf.

Bei der N-Düngung hatten sowohl die am 14.04.2014 ausgebrachte Schweinegülle (66 kg N/ha) als auch die am 06.05.2014 ausgebrachte Mineraldüngergabe (105 kg N/ha KAS) einen deutlichen Effekt auf die N-Dynamik im Boden. Die Ergebnisse der N_{min}-Untersuchungen im Frühjahr (Abbildung 21) zeigten, dass die Höhe der N-Düngung keinen Einfluss auf die Höhe der Frühjahrs-N_{min}-Werte hatte. Die N_{min}-Werte lagen unabhängig von der N-Düngung im Vorjahr gleichmäßig auf einem relativ niedrigen Niveau.

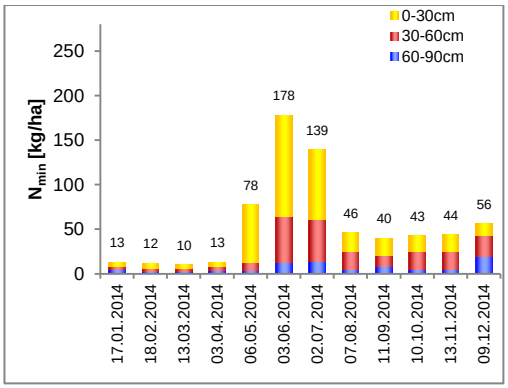


Abbildung 21: N_{min}-Werte unter Silomais (Engsaat) im Jahresverlauf in der nach Sollwert gedüngten Variante; 2014

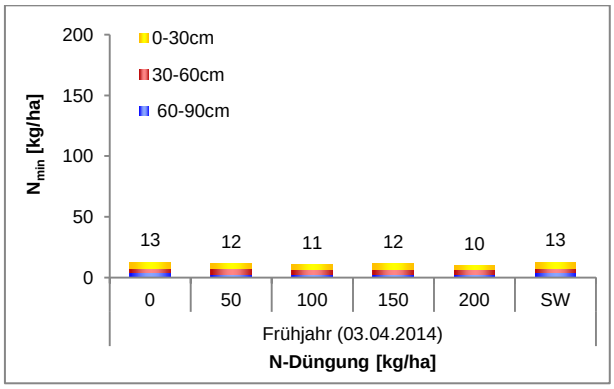


Abbildung 22: Frühjahrs-N_{min}-Werte vor Silomais; Versuchsstandort Thülsfelde (644a)

Ein Vergleich der N_{min}-Werte direkt nach der Ernte (Abbildung 23) und zu Beginn der Sickerwasserperiode (Abbildung 24) zeigt besonders bei überhöhter N-Düngung (200 kg N/ha) eine Verlagerung des Stickstoffs von der obersten Bodenschicht (0-30 cm) in die darunterliegenden Schichten.

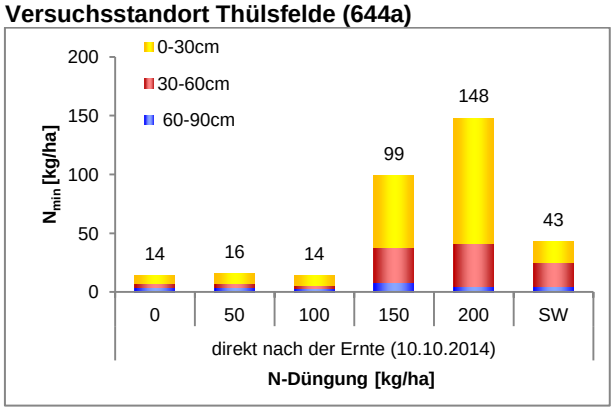


Abbildung 23: N_{min}-Werte direkt nach der Silomaisernte (Silomais-Engsaat); Versuchsstandort Thülsfelde (644a)

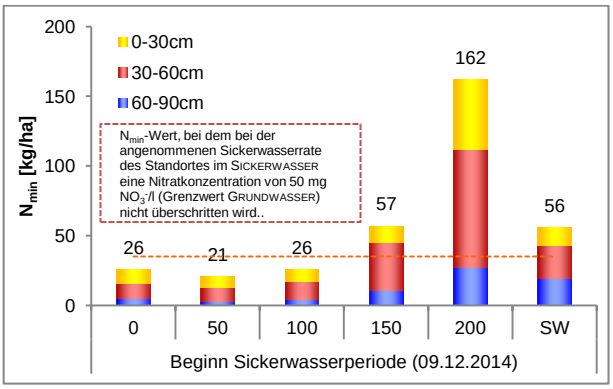


Abbildung 24: Herbst-N_{min}-Werte nach Silomais (Silomais-Engsaat); Versuchsstandort Thülsfelde (644a)

Bis zu einer N-Düngung von 100 kg N/ha lagen die N_{min}-Werte auf einem relativ niedrigen Niveau. Bei einer weiteren Steigerung der N-Düngung kam es zu einem deutlichen Anstieg

der auswaschungsgefährdeten Reststickstoffgehalte. Zu Beginn der Sickerwasserperiode war diese Abstufung ebenfalls deutlich zu erkennen. Wie sich die Reststickstoffgehalte auf die Nitratauswaschung in das Grundwasser auswirken, wird durch die ergänzenden Sickerwasseruntersuchungen erfasst. Die Ergebnisse der Sickerwasseruntersuchungen werden am Ende der Sickerwasserperiode durch das LBEG ausgewertet und in einem gesonderten Bericht veröffentlicht.

Ertrag

Die Erträge von Silomais in Engsaat sind zusammen mit den entsprechenden N_{min}-Werten direkt nach der Ernte aus dem ersten Block in Abbildung 25 dargestellt.

Bis zu einer N-Düngung von 100 kg N/ha konnten die Erträge durch eine Erhöhung der N-Düngung gesteigert werden. Bei einer N-Düngung von 100 kg N/ha lag der Trockenmasseertrag bei 233 dt TM/ha. Durch eine weitere Steigerung der N-Düngung konnte der Ertrag nicht erhöht werden. Die Ergebnisse zeigen, dass 2014 am Standort Thülsfelde bei sorgfältiger Bemessung der N-Düngung ohne Ertragsrückgang niedrige auswaschungsgefährdete Reststickstoffgehalte erreicht werden konnten. Die N-Bilanz (Abbildung 26) war in der mit 100 kg N/ha gedüngten Variante am niedrigsten. In allen Varianten war die N-Bilanz deutlich negativ. Ein Vergleich der N-Bilanzen bei Engsaat und Normalsaat (Abbildung 32 und Abbildung 38) zeigte keinen eindeutigen Einfluss der Aussaatdichte auf die N-Bilanz.

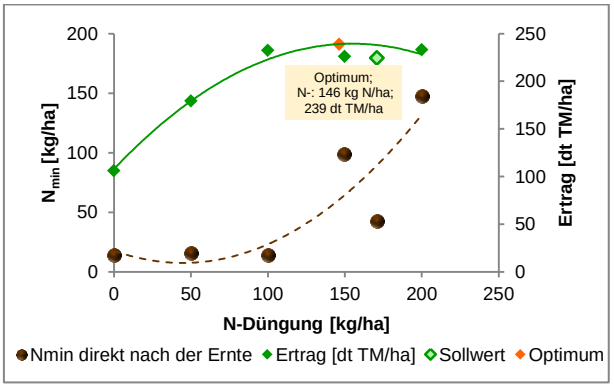


Abbildung 25: Silomaisertrag 2014 (Engsaat) und N_{min}-Werte direkt nach der Ernte, in Abhängigkeit von der Höhe der N-Düngung; Versuchsstandort Thülsfelde (644a)

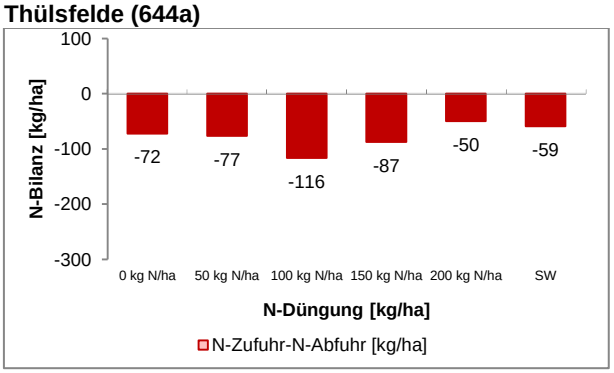


Abbildung 26: N-Bilanz Silomais (Engsaat) in Abhängigkeit von der Höhe der N-Düngung; Versuchsstandort Thülsfelde (644a)

644b Silomais Normalsaat

Tabelle 9 zeigt die Eigenschaften der Teilfläche mit konventioneller Fruchtfolge des Versuchsstandortes in Thülsfelde.

Tabelle 9: Standorteigenschaften Versuchsstandort Thülsfelde; 2014; 644b;

Bodenart	pH	P	K	Mg	N_{min} 0-60 cm	N_{min} 0-90 cm	Humus	C/N	C_{org}
		mg in 100 g Boden			Kg /ha		%		%
Sand	5,3	9	7	5	8	11	3,3	16	1,57

N_{min}-Werte

In der konventionellen Fruchtfolge wurden 2014 in Silomais mit Normalsaat (Reihenabstand 75 cm) ebenfalls in der nach Sollwert gedüngten Variante monatlich N_{min}-Proben gezogen. Die N_{min}-Werte im Jahresverlauf sind in Abbildung 27 dargestellt.

Die N_{min}-Werte von Januar bis April lagen einheitlich auf einem relativ niedrigen Niveau zwischen 9 kg N_{min}/ha am 13.03.2014 und 14 kg N_{min}/ha am 17.01.2014. Die Schweinegülle wurde am 14.4.2014 ausgebracht. Die mineralische Ergänzungsdüngung (KAS) erfolgte am 07.05.2014. Beide Düngergaben hatten einen deutlichen Anstieg des mineralisierten Stickstoffs vor allem in der oberen Bodenschicht (0-30 cm) zur Folge. Der höchste N_{min}-Wert lag bei 221 kg N_{min}/ha und wurde am 10.06.2014 gemessen.

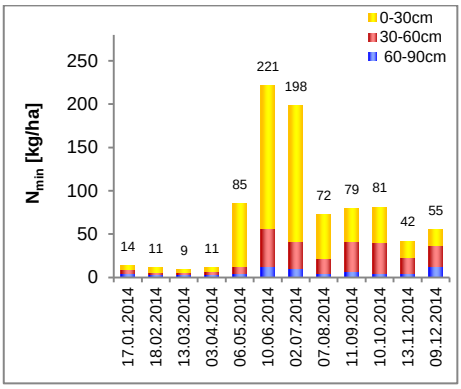


Abbildung 27: N_{min}-Werte unter Silomais (Normalsaat) im Jahresverlauf in der nach Sollwert gedüngten Variante; 2014

Die in den Monaten August, September und Oktober gemessenen N_{min}-Werte lagen insgesamt auf einem einheitlichen Niveau zwischen 72 kg N_{min}/ha am 07.08.2014 und 81 kg N_{min}/ha am 10.10.2014. In diesem Zeitraum kam es zu einer leichten Verlagerung des mineralisierten Stickstoffs von der oberen Bodenschicht (0-30 cm) in die darunter liegenden Schichten.

Abbildung 28 zeigt die Ergebnisse der Frühjahrs-N_{min}-Probenahme am 03.04.2014 in allen Varianten.

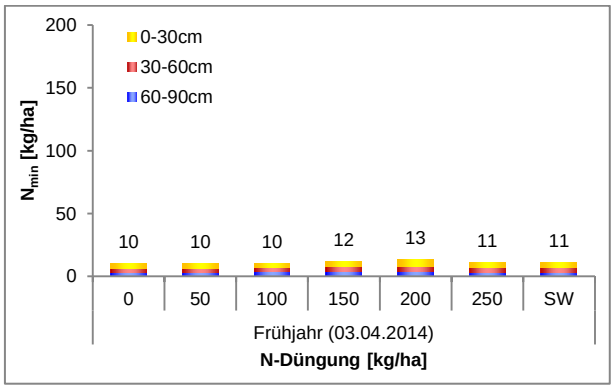


Abbildung 28: Frühjahrs-N_{min}-Werte vor Silomais; Versuchsstandort Thülsfelde (644b)

Wie schon im ersten Block lagen die N_{min}-Werte unabhängig von der Höhe der N-Düngung im Vorjahr einheitlich auf einem relativ niedrigen Niveau zwischen 10 kg N_{min}/ha und 13 kg N_{min}/ha.

Die Ergebnisse der N_{min}-Untersuchungen direkt nach der Ernte (10.10.2014) sind in Abbildung 29 dargestellt. Abbildung 30 zeigt die Herbst-N_{min}-Werte.

Die Herbst-N_{min}-Probenahme wurde ca. zwei Monate später am 09.12.2014 durchgeführt. In diesem Zeitraum kam es bereits zu einer Verlagerung des mineralisierten Stickstoffs von der obersten Bodenschicht in die darunterliegenden Schichten.

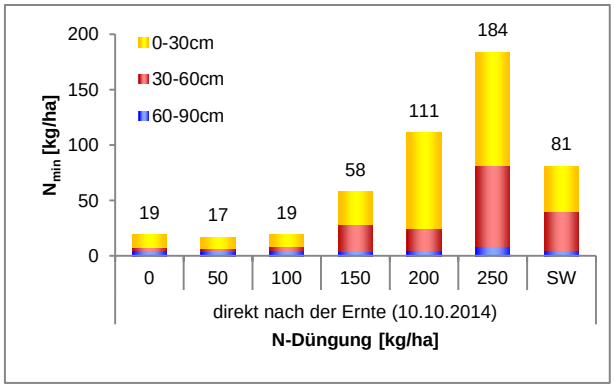


Abbildung 29: N_{min}-Werte direkt nach der Silomaisernte (Silomais-Normalsaat); Versuchsstandort Thülsfelde (644b)

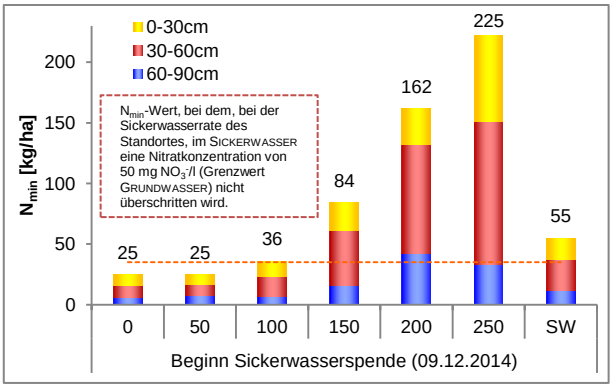


Abbildung 30: Herbst-N_{min}-Werte nach Silomais (Silomais-Normalsaat); Versuchsstandort Thülsfelde (644b)

In den Varianten, die mit 100 kg N/ha oder weniger gedüngt wurden, lagen die N_{min}-Werte sowohl direkt nach der Ernte als zu Beginn der Sickerwasserperiode auf einem relativ niedrigen Niveau. Mit einer weiteren Erhöhung der N-Düngung stiegen Reststickstoffgehalte stark an. Bei einer N-Düngung von 150 kg N/ha lag der N_{min}-Wert direkt nach der Ernte bei 58 kg N_{min}/ha und stieg bis zum Beginn der Sickerwasserperiode auf 84 kg N_{min}/ha an. Die höchsten N_{min}-Werte traten in der mit 250 kg N/ha deutlich überdüngten Variante auf. Hier lag der N_{min}-Wert direkt nach der Ernte bei 184 kg N_{min}/ha und stieg bis zum Beginn der Sickerwasserperiode auf 225 kg N_{min}/ha an. In der konventionellen Fruchtfolge kam es 2014 am Standort Thülsfelde unter Silomais mit 75 cm Reihenabstand in der N-Düngestaffel, ab einer Höhe von 100 kg N/ha zu einem Anstieg der N_{min}-Werte in dem Maß in dem die N-Düngung erhöht wurde. Es war ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Höhe der N-Düngung und der N_{min}-Werten zu erkennen.

Ertrag

In Abbildung 31 sind die Silomaiserträge in dt TM/ha zusammen mit den N_{min}-Werten direkt nach der Ernte dargestellt.

Das ökonomische Optimum lag in Höhe der Sollwertdüngung. Bei einem völligen Verzicht auf N-Düngung lag der Ertrag bei 122 dt TM/ha. Nur in der ungedüngten Variante kam es zu einem statistisch abgesicherten Ertragsunterschied im Vergleich zur Sollwertvariante. In der mit 100 kg N/ha gedüngten Variante lag der Ertrag bei 217 dt TM/ha. In dieser Variante lag der N_{min}-Wert direkt nach der Ernte bei 19 kg N_{min}/ha.

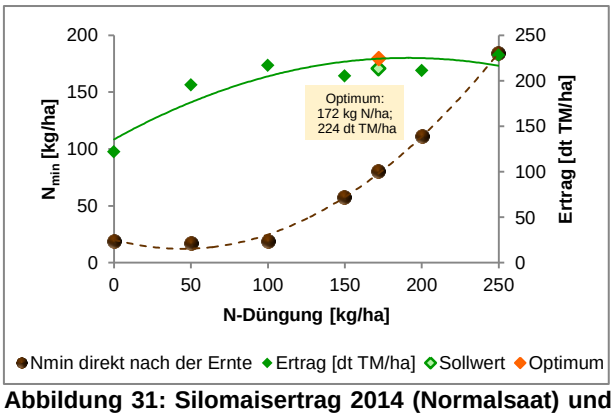


Abbildung 31: Silomaisertrag 2014 (Normalsaat) und N_{min}-Werte direkt nach der Ernte in Abhängigkeit von der Höhe der N-Düngung; Versuchsstandort Thülsfelde (644b), 2014

Durch eine Reduzierung der N-Düngung konnten 2014 am Standort Thülsfelde bei Silomais mit einem Reihenabstand von 75 cm die N_{min}-Werte ohne Ertragsverluste im Vergleich zur Sollwertvariante deutlich gesenkt werden. Durch eine Steigerung der N-Düngung über die Sollwertempfehlung hinaus konnte der Ertrag nicht signifikant gesteigert werden.

Abbildung 32 zeigt die N-Bilanzen von Silomais 2014 bei normalem Reihenabstand am Standort Thülsfelde.

In allen Varianten war die N-Bilanz negativ. Durch eine N-Düngung von 50 kg N/ha oder 100 kg N/ha wurde die N-Bilanz im Vergleich zur ungedüngten Variante weiter gesenkt. Zu einer nahezu ausgeglichenen N-Bilanz (-1 kg N/ha) kam es erst bei deutlich überhöhter N-Düngung (250 kg N/ha) oberhalb des ökonomischen Optimums.

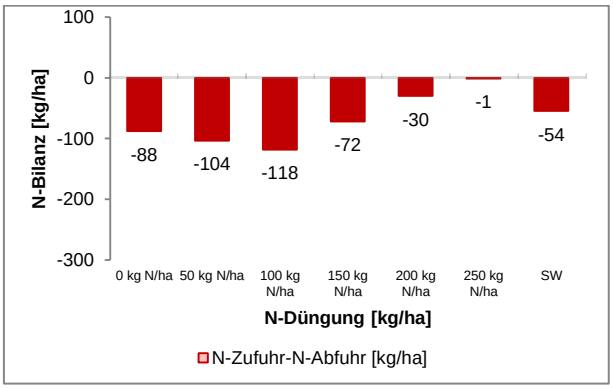


Abbildung 32: N-Bilanz Silomais (Normalsaat) in Abhängigkeit von der Höhe der N-Düngung; Versuchsstandort Thülsfelde (644b)

644c Silomais Engsaat

Tabelle 10 zeigt die Eigenschaften der Teilfläche mit der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge des Versuchsstandortes in Thülsfelde.

Tabelle 10: Standorteigenschaften Versuchsstandort Thülsfelde; 2014; 644c;

Boden-art	pH	P	K	Mg	N_{min} 0-60 cm	N_{min} 0-90 cm	Humus	C/N	C_{org}
		mg in 100 g Boden			Kg /ha		%		%
Sand	5,6	9	6	5	10	14	3,4	15	1,97

N_{min}-Werte

2014 wurde in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge, wie schon auf der Teilfläche mit Sickerwasseranlage, Silomais in Engsaat angebaut. Auch in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge wurden in der nach Sollwert gedüngten Variante monatlich N_{min}-Untersuchungen durchgeführt, um die N-Dynamik im Jahresverlauf zu erfassen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 33 dargestellt. Die organische Düngung (Schweinegülle) wurde am 14.04.2014 ausgebracht. Die mineralische N-Düngung erfolgte am 07.05.2014.

Von Januar bis April lagen die N_{min}-Werte einheitlich auf einem relativ niedrigen Niveau zwischen 13 kg N_{min}/ha im Februar und im März und 21 kg N_{min}/ha im Januar. Nach der ersten N-Düngung konnte bei der N_{min}-Probenahme am 06.05.2014 bereits ein Anstieg auf 104 kg N_{min}/ha festgestellt werden. Der größte Teil des mineralisierten Stickstoffs (88 kg N_{min}/ha) lag in den obersten 30 cm vor.

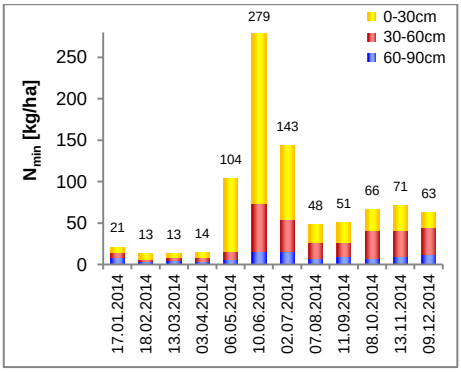


Abbildung 33: N_{min}-Werte unter Silomais (Engsaat) im Jahresverlauf in der

nach Sollwert gedüngten Variante; 2014

Der höchste N_{min}-Wert, mit 279 kg N_{min}/ha wurde im Anschluss an die mineralische N-Düngung bei der Probenahme am 10.06.2014 gemessen. Bis zum 02.07.2014 sank der N_{min}-Wert wieder auf 143 kg N_{min}/ha. Bei den anschließenden Probenahmen vom 07.08.2014 bis zum Jahresende variierten die N_{min}-Werte nur leicht von 48 kg N_{min}/ha im August und 71 kg N_{min}/ha am 13.11.2014. Die Unterschiede zwischen den N_{min}-Werten von August bis Dezember lagen im Fehlerbereich der N_{min}-Methode. Die Frühjahrs-N_{min}-Werte in allen N-Düngungsvarianten sind in Abbildung 34 abgebildet.

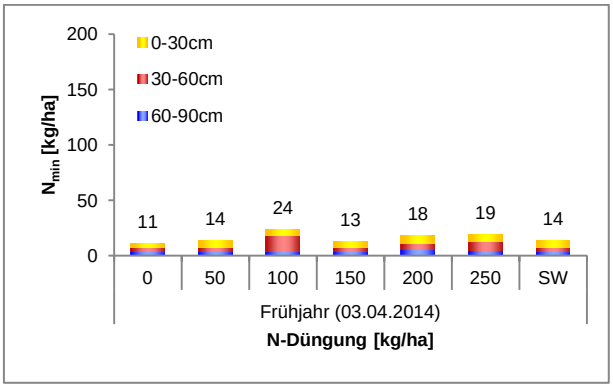


Abbildung 34: Frühjahrs-N_{min}-Werte vor Silomais; Versuchsstandort Thülsfelde (644c)

In der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge lagen die Frühjahrs-N_{min}-Werte wie auch auf den beiden anderen Teilflächen einheitlich auf einem niedrigen Niveau, zwischen 11 und 24 kg N_{min}/ha. Die im Vorjahr erfolgte N-Düngung hatte keinen Einfluss auf den Frühjahrs-N_{min}-Wert. Abbildung 35 zeigt die N_{min}-Werte direkt nach der Ernte. Die Herbst-N_{min}-Werte sind in Abbildung 36 dargestellt.

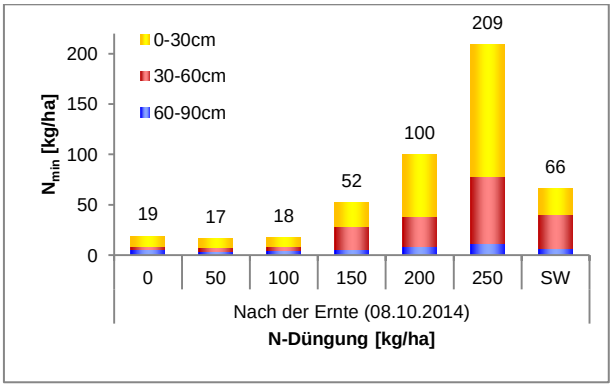


Abbildung 35: N_{min}-Werte direkt nach der Silomaisernte (Silomais-Engsaat); Versuchsstandort Thülsfelde (644c)

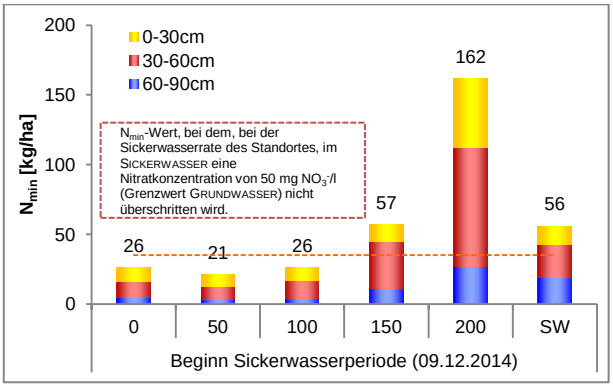


Abbildung 36: Herbst-N_{min}-Werte nach Silomais (Silomais-Engsaat); Versuchsstandort Thülsfelde (644c)

In den Varianten mit einer N-Düngung von 0 bis 100 kg N/ha lagen Reststickstoffgehalte an beiden Probenahmeterminen auf einem relativ niedrigen Niveau. Direkt nach der Ernte variierte in diesen drei Varianten der N_{min}-Wert lediglich zwischen 17 und 19 kg N_{min}/ha und stieg bis zum Beginn der Sickerwasserperiode auf 33 bis 38 kg N_{min}/ha. Mit einer Steigerung der N-Düngung darüber hinaus kam es zu einem deutlichen Anstieg der Reststickstoffgehalte. An beiden Probenahmeterminen trat der höchste N_{min}-Wert in der deutlich überdüngten Variante (250 kg N/ha) auf. Direkt nach der Ernte lag der N_{min}-Wert in der mit 250 kg N/ha gedüngten Variante bei 209 kg N_{min}/ha und sank bis zum Beginn der Sickerwasserperiode auf 154 kg N_{min}/ha. Besonders in den hoch gedüngten Varianten (150, 200 und 250 kg N/ha) konnte bis zum Beginn der Sickerwasserperiode eine Verlagerung des mineralisierten Stick-

stoffs von der obersten Bodenschicht (0-30 cm) in die darunterliegende Schicht (30-60 cm) beobachtet werden.

Ertrag

Abbildung 37 zeigt die Silomaiserträge der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge in dt TM/ha zusammen mit den N_{min}-Werten direkt nach der Ernte.

Der höchste Ertrag wurde in der mit 150 kg N/ha gedüngten Variante erreicht und lag bei 226 dt TM/ha. Bei einem völligen Verzicht auf N-Düngung lag der Ertrag bei 98 dt TM/ha. Ein statistisch absicherbarer Ertragsunterschied im Vergleich zur Sollwertvariante trat in der ungedüngten und in der mit 50 kg N/ha gedüngten Variante auf.

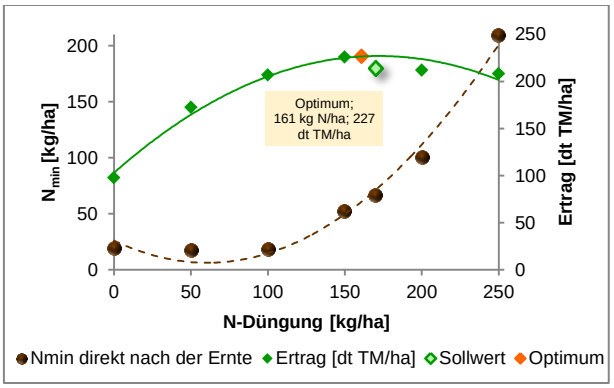


Abbildung 37: Silomaisertrag 2014 (Engsaat), und N_{min}-Werte direkt nach der Ernte, in Abhängigkeit von der Höhe der N-Düngung; Versuchsstandort Thülsfelde (644c)

Eine Erhöhung der N-Düngung über den Sollwert hinaus führte nicht zu einer Ertragssteigerung. Eine weitere Steigerung der N-Düngung führte jedoch zu sehr hohen Reststickstoffgehalten im Boden. Abbildung 38 zeigt die N-Bilanzen der Teilfläche mit grundwasserschutzorientierter Fruchtfolge.

Die Abbildung zeigt, dass durch eine leichte N-Düngung aufgrund des höheren N-Entzugs infolge der Ertragssteigerung, die N-Bilanz von -61 kg N/ha in der ungedüngten Variante bis auf -83 kg N/ha in der mit 150 kg N/ha gedüngten Variante gesenkt werden konnte. In der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge war die N-Bilanz, wie auch auf den beiden anderen Teilflächen nur bei N-Düngung deutlich über dem ökonomischen Optimum positiv oder ausgeglichen.

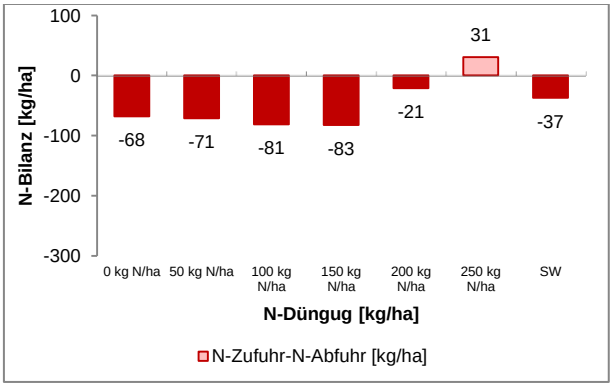


Abbildung 38: N-Bilanz Silomais (Engsaat) in Abhängigkeit von der Höhe der N-Düngung; Versuchsstandort Thülsfelde (644c)

Zusammenfassung

Fruchtfolge und Höhe der N-Düngung

- Die Engsaat hatte keinen Einfluss auf die N_{min}-Werte direkt nach der Ernte oder zu Beginn der Sickerwasserperiode.
- Die Reihenweite hatte 2014 am Standort Thülsfelde keinen durchgängigen Einfluss auf den Ertrag.
- Bei einer Steigerung der N-Düngung über 100 kg N/ha stiegen auch die N_{min}-Werte überproportional an.
- Die Höhe der N-Düngung im Vorjahr hatte auf dem leichten Versuchsstandort Thülsfelde aufgrund der Auswaschung während der Sickerwasserperiode keinen Einfluss auf die Frühjahrs-N_{min}-Werte.
- Bei einer N-Düngung, die über der Sollwertempfehlung und dem ökonomischen Optimum lag, stiegen mit zunehmender N-Düngung die N_{min}-Werte direkt nach der Ernte und zu Beginn der Sickerwasserperiode. Der Ertrag nahm nicht zu.
- Von der Ernte bis zum Beginn der Sickerwasserperiode konnte bereits eine Verlagerung des Stickstoffs in tiefere Bodenschichten beobachtet werden. Die Ergebnisse der Sickerwasseruntersuchungen werden durch das LBEG in einem gesonderten Bericht veröffentlicht.
- Am Standort Thülsfelde bestätigten sich die Ergebnisse der Vorjahre:
    - Das anhand der N-Düngestaffel errechnete N-Optimum bestätigte den N-Sollwert für Silomais. Nach rd. 15 Jahren reduzierter bzw. strikter Sollwert-Düngung wurden im Bereich knapp unterhalb des N-Sollwerts geringe N_{min}-Werte ermittelt.
    - Eine geringe Reduzierung der N-Düngung führte, wegen des flachen Verlaufs der Ertragskurve von Silomais zu einem relativ geringen Ertragsrückgang.
    - Über dem N-Sollwert liegende N-Düngung (feste N-Düngestaffel) konnte nicht in Ertrag umgesetzt werden.

Zwischenfruchtanbau – Wehnen

Versuchsfrage

- 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 Sickerwasserspende konserviert?
- Wie viel des von der Zwischenfrucht aufgenommen Stickstoffs steht der nachfolgenden Hauptfrucht in den Folgejahren zur Verfügung?

Versuchsaufbau und Durchführung

Dieser Versuch mit ergänzenden Sickerwasseruntersuchungen durch das LBEG wurde 2012 in Wehnen angelegt. Die Lage des Versuchsstandortes ist in Abbildung 39 abgebildet.

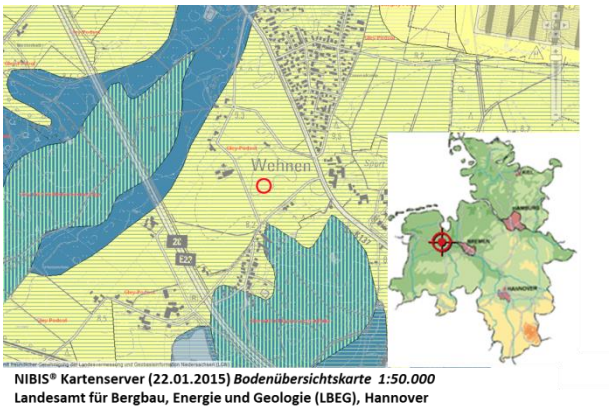


Abbildung 39: Lage des Versuchsstandortes Wehnen

Ziel des Versuchs ist es, die Stickstoffaufnahme durch die Zwischenfrucht, die Auswirkungen des Zwischenfruchtbaus auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser, und die N-Dynamik im Boden besser einschätzen zu können. Zusätzlich werden die Auswirkungen der verschiedenen Zwischenfruchtvarianten auf den N-Düngebedarf der nachfolgenden Hauptkultur Silomais genauer untersucht.

Um hohe N_{min}-Werte nach der Silomaisernte zu vermeiden, ist nicht nur die Verfügbarkeit des - durch die Zwischenfrucht konservierten Reststickstoffs im Boden - nach der Getreideernte von Bedeutung, sondern auch die Auswirkungen der zur Zwischenfrucht erfolgten N-Düngung auf die N-Dynamik im Boden. Hierzu werden vier Varianten des Zwischenfruchtanbaus nach Winterroggen und eine N-Düngestaffel zu Silomais kombiniert. 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 anschließende Hauptfrucht auf der Versuchsfläche in zwei Blöcken ein Jahr zeitversetzt angebaut. Die beiden Blöcke und die Sickerwasseranlage sind in Abbildung 40 zu sehen.

Abbildung 40: Sickerwasseranlage, Winterroggen mit anschließendem Zwischenfruchtanbau und Silomais, Wehnen, 23.06.2014, 645

Der Winterroggen wird einheitlich nach N-Sollwert gedüngt. Dem Winterroggen folgen, auf demselben Block vier Zwischenfrucht-Varianten. Auf dem zweiten Block wird orthogonal zu den Zwischenfruchtvarianten im Vorjahr Silomais in sechs N-Düngungsvarianten angebaut. Daraus ergeben sich 24 Kombinationen aus Zwischenfrucht, Silomais und N-Düngung. Tabelle 11 gibt eine Übersicht über die Fruchtfolge und N-Düngungsvarianten der beiden Blöcke.

Tabelle 11: Varianten des Versuchs zum grundwasserschutzorientierten Zwischenfruchtanbau 2012-2014

<table>
<tr><th></th><th colspan="2">Block 1</th><th colspan="2">Block 2</th></tr>
<tr><td>Jahr</td><td colspan="4">2012</td></tr>
<tr><td>Frucht und Varianten</td><td colspan="2">Silomais, einheitlich nach Sollwert gedüngt</td><td>Winterroggen einheitlich nach Sollwert gedüngt</td><td>Zwischenfrucht vier Varianten:
• Keine Zwischenfrucht
• Ölrettich ungedüngt
• Ölrettich mineralisch gedüngt
• Ölrettich organisch gedüngt</td></tr>
<tr><td>Jahr</td><td colspan="4">2013</td></tr>
<tr><td>Frucht und Varianten</td><td>Winterroggen einheitlich nach Sollwert gedüngt</td><td>Zwischenfrucht vier Varianten:
• Keine Zwischenfrucht
• Ölrettich ungedüngt
• Ölrettich mineralisch gedüngt
• Ölrettich organisch gedüngt</td><td colspan="2">Silomais N-Düngestaffel; sechs Varianten
• Ungedüngt
• 60 kg N/ha
• 120 kg N/ha
• 180 kg N/ha
• 240 kg N/ha
• 300 kg N/ha</td></tr>
<tr><td>Jahr</td><td colspan="4">2014</td></tr>
<tr><td>Frucht und Varianten</td><td colspan="2">Silomais N-Düngestaffel; sechs Varianten
• Ungedüngt
• 60 kg N/ha
• 120 kg N/ha
• 180 kg N/ha
• 240 kg N/ha
• 300 kg N/ha</td><td>Winterroggen einheitlich nach Sollwert gedüngt</td><td>Zwischenfrucht vier Varianten:
• Keine Zwischenfrucht
• Ölrettich ungedüngt
• Ölrettich mineralisch gedüngt
• Ölrettich organisch gedüngt</td></tr>
</table>

Ergebnisse

N-Dynamik im Boden und Erträge

Am 25.03.2014 wurden in Block 1 vor der Silomaisaussaat N_{min}-Proben gezogen, um den Einfluss der vorangegangenen Zwischenfrucht auf den Frühjahrs-N_{min}-Wert zu erfassen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 41 dargestellt. Außerdem sind die Ergebnisse der N_{min}-Probenahme unter Winterroggen am 18.02.2014 abgebildet.

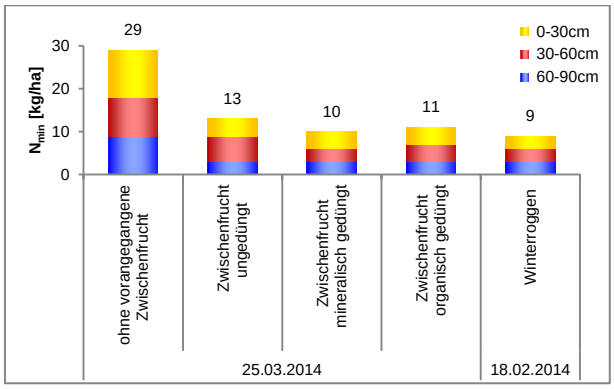


Abbildung 41: Frühjahrs-N_{min}-Werte für Silomais (25.03.2014) und Winterroggen (18.02.2014)

Die Frühjahrs-N_{min}-Werte lagen in allen drei Varianten mit vorangegangener Zwischenfrucht auf einem einheitlichen Niveau zwischen 10 und 13 kg N_{min}/ha. Die zur Zwischenfrucht ausgebrachte N-Düngung hatte keinen Einfluss auf die Höhe des Frühjahrs-N_{min}-Wertes. In der Variante ohne vorangegangene Zwischenfrucht lag der N_{min}-Wert etwas höher bei 29 kg N_{min}/ha.

Inwieweit sich dies in den folgenden Jahren ebenfalls beobachten lässt, bleibt abzuwarten. Neben den N_{min}-Untersuchungen im Frühjahr, direkt nach der Ernte und zu Beginn der Sickerwasserspende wurden auch während der Vegetationsperiode, am 10.06.2014 N_{min}-Proben gezogen. Abbildung 42 bis Abbildung 45 zeigen die Ergebnisse der N_{min}-Probenahmen unter Silomais bei unterschiedlicher vorangegangener Zwischenfrucht und N-Düngung. Der deutlichste Anstieg der N_{min}-Werte mit steigender N-Düngung konnte unter Silomais ohne vorangegangene Zwischenfrucht festgestellt werden (Abbildung 42). Bei Silomais nach organisch gedüngter Zwischenfrucht stiegen die N_{min}-Werte ebenfalls tendenziell mit steigender N-Düngung. Die Beziehung zwischen der Höhe der N-Düngung zu Silomais und dem N_{min}-Wert war jedoch schwächer.

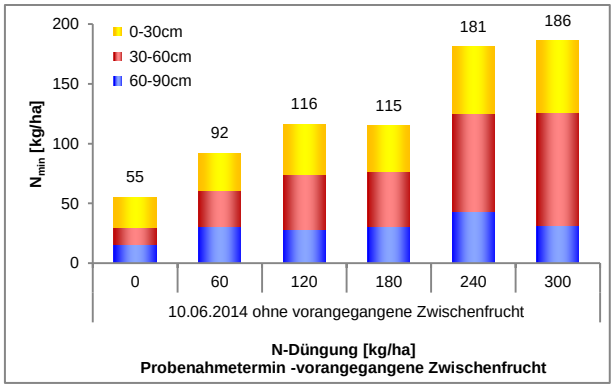


Abbildung 42: N_{min}-Werte unter Silomais ohne vorangegangene Zwischenfrucht, während der Vegetationsperiode (10.06.2014); Versuchsstandort Wehnen

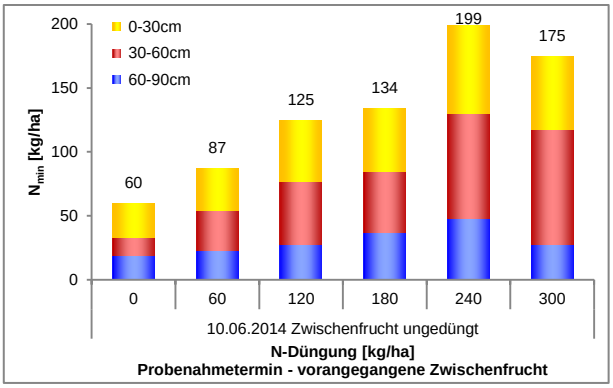


Abbildung 43: N_{min}-Werte unter Silomais nach ungedüngter Zwischenfrucht, während der Vegetationsperiode (10.06.2014); Versuchsstandort Wehnen

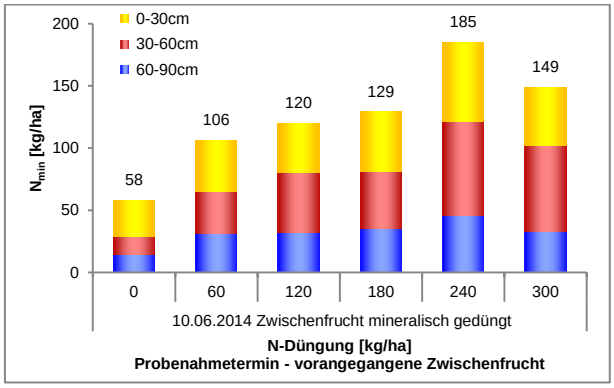


Abbildung 44: N_{min}-Werte unter Silomais nach mineralisch gedüngter Zwischenfrucht, während der Vegetationsperiode (10.06.2014); Versuchsstandort Wehnen

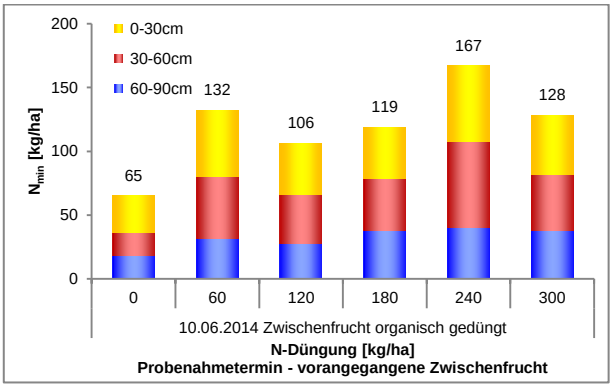


Abbildung 45: N_{min}-Werte unter Silomais nach organisch gedüngter Zwischenfrucht, während der Vegetationsperiode (10.06.2014); Versuchsstandort Wehnen

Abbildung 46 zeigt den N_{min}-Wert unter Winterroggen während der Vegetationsperiode.

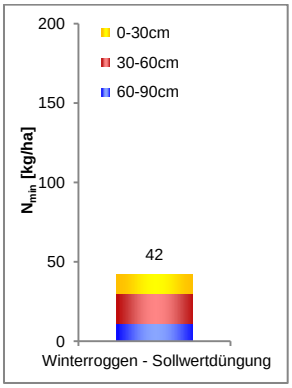


Abbildung 46: N_{min}-Wert unter Winterroggen nach Sollwertdüngung, während der Vegetationsperiode (10.06.2014); Versuchsstandort Wehnen

Abbildung 47: Winterroggen auf der Versuchsfläche am Standort Wehnen; (23.06.2014)

Abbildung 48 zeigt die Ergebnisse der N_{min}-Probenahmen direkt nach der Winterroggenernte und den Herbst-N_{min}-Wert zu Beginn der Sickerwasserperiode in den unterschiedlichen Zwischenfruchtvarianten. Die Auswirkungen der Zwischenfrucht auf den Herbst-N_{min}-Wert waren 2014 weniger deutlich ausgeprägt als in den beiden vorangegangenen Versuchsjahren.

Zu Beginn der Sickerwasserperiode konnten zwischen den Varianten keine Unterschiede festgestellt werden, die nicht im Fehlerbereich der N_{min}-Methode lagen. Während direkt nach der Winterroggenernte noch ein großer Teil des mineralisierten Stickstoffs in der obersten Bodenschicht (0-30 cm) vorlag, konnte bis zum Beginn der Sickerwasserperiode bereits eine Verlagerung in die tieferen Bodenschichten beobachtet werden.

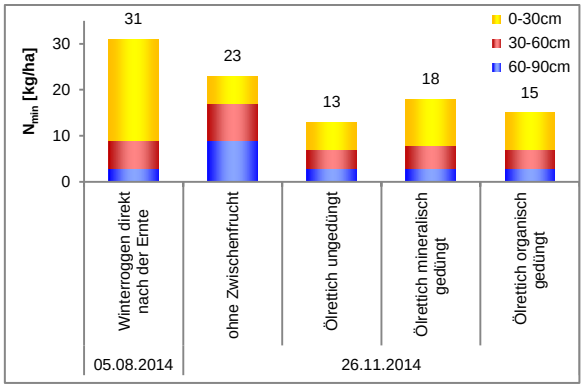


Abbildung 48: N_{min}-Werte nach Winterroggen direkt nach der Ernte (05.08.2014) und zu Beginn der Sickerwasserperiode (26.11.2014) mit unterschiedlichen Zwischenfrüchten

Um die N-Nachlieferung der Zwischenfrucht an die anschließende Hauptfrucht und deren Einfluss auf die N-Dynamik im Boden besser einschätzen zu können, sind die Ergebnisse der Ertragsermittlung der Zwischenfrucht des Vorjahres (2013/2014) an dieser Stelle noch einmal aufgeführt. Die vorangegangene Zwischenfrucht und die erfolgte N-Düngung zur Zwischenfrucht hatten 2014 keinen einheitlichen Einfluss auf die N_{min}-Werte direkt nach der Ernte Die Zwischenfrucht konnte 2013 aufgrund der Witterungsverhältnisse erst sehr spät, am 03.09.2013 gesät werden. Bis zum Ende der Vegetationsperiode konnte sich deshalb nur ein sehr schwacher Bestand entwickeln (Abbildung 49).

Dies zeigte sich nicht nur in Bezug auf die oberirdisch geernteten Trockenmasseerträge sehr deutlich, sondern auch bei der Höhe der N-Aufnahme, die 2013/2014 (Abbildung 50) deutlich niedriger war, als 2014/2015 (Abbildung 54). Die N-Nachlieferung der Zwischenfrucht an den 2014 ausgesäten Silomais lag ebenfalls auf einem entsprechend niedrigen Niveau. Dies wird bei Betrachtung der auf einem nahezu einheitlichen Niveau verlaufenden Ertragskurven deutlich.

Abbildung 49: Zwischenfruchtbestand, Wehnen, 29.11.2013

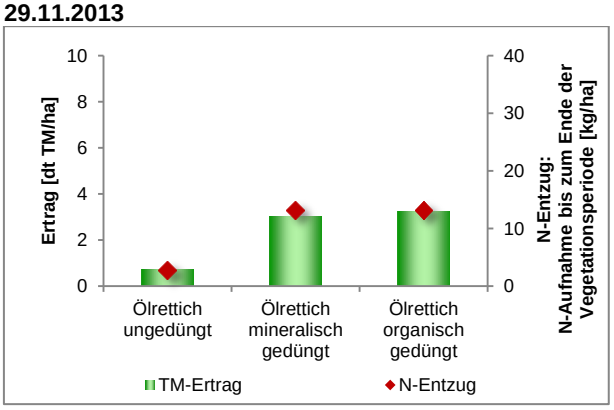


Abbildung 50: N-Aufnahme durch die Zwischenfrucht und oberirdischer Trockenmasseertrag 2013/2014 in Abhängigkeit von der N-Düngung

Die N_{min}-Werte direkt nach der Silomaisernte und die Trockenmasseerträge sind in Abbildung 51 abgebildet.

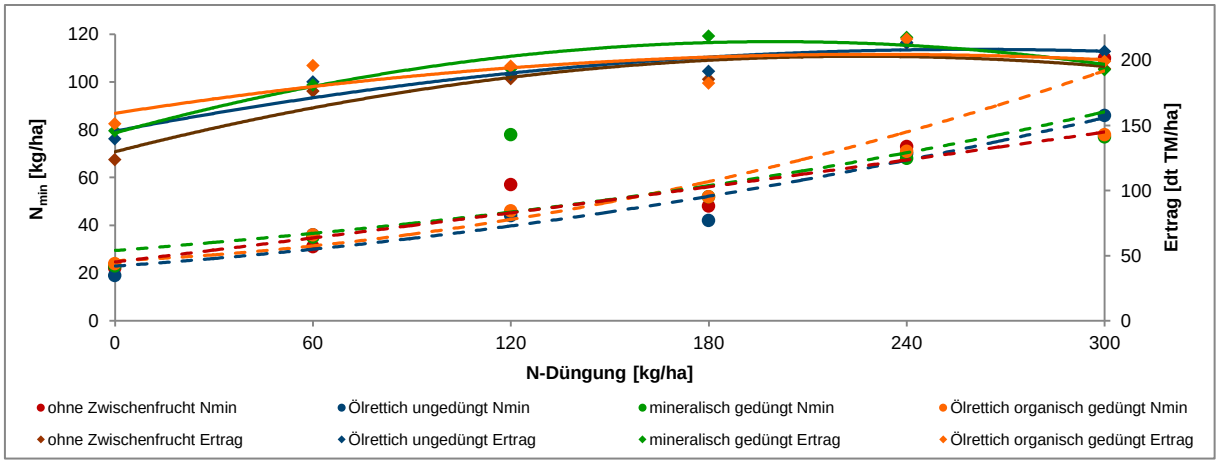


Abbildung 51: N_{min}-Werte direkt nach der Ernte und Silomaiserträge in Abhängigkeit von vorangegangener Zwischenfrucht und Höhe der N-Düngung zu Silomais, Wehnen, 2014

Die Herbst-N_{min}-Werte zu Beginn der Sickerwasserperiode sind in Abbildung 52 dargestellt. Der höchste N_{min}-Wert wurde in der deutlich überdüngten Variante (300 kg N/ha) ohne vorangegangene Zwischenfrucht gemessen (123 kg N_{min}/ha). In den ungedüngten Varianten und in den mit 60 kg N/ha und 120 kg N/ha lagen die Herbst-N_{min}-Werte unabhägig von der vorangegangenen Zwischenfrucht auf einem relativ niedrigen Niveau und stiegen nicht über 32 kg N_{min}/ha. Bei einer N-Düngung von 120 kg N/ha zu Silomais konnten direkt nach der Ernte Unterschiede zwischen den N_{min}-Gehalten, in Abhängigkeit von der vorangegangenen Zwischenfrucht festgestellt werden. Zu Beginn der Sickerwasserperiode traten jedoch keine Unterschiede mehr zwischen den Varianten mit unterschiedlicher vorangegangener Zwischenfrucht auf.

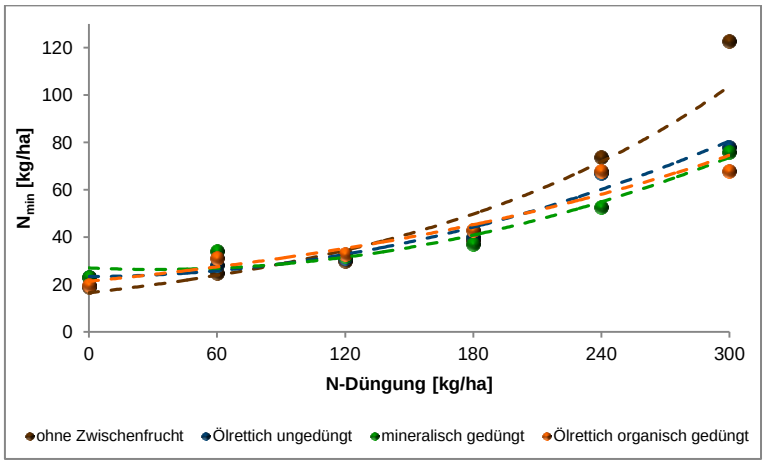


Abbildung 52: Herbst-N_{min}-Werte zu Beginn der Sickerwasserperiode, nach Silomais in Abhängigkeit von vorangegangener Zwischenfrucht und Höhe der N-Düngung zu Silomais, Wehnen, 2014

Auch in diesem Versuch kam es bei überhöhter N-Düngung zu dem für Silomais typischen starken Anstieg der N_{min}-Werte. Der deutlichste Anstieg konnte in der Variante ohne vorangegangene Zwischenfrucht beobachtet werden.

Die Auswirkungen der vorangegangenen Zwischenfrucht und der unterschiedlich hohen N-Düngung zu Silomais auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser und die Nitratfrachten werden durch das LBEG in einem gesonderten Bericht veröffentlicht. Dieser Bericht wird veröffentlicht, sobald die Ergebnisse der Sickerwasseruntersuchungen der gesamten Sickerwasserperiode ausgewertet wurden.

N-Aufnahme durch die Zwischenfrucht

2014 konnte die Zwischenfrucht bereits Mitte August ausgesät werden und entwickelte sich deutlich besser als im Vorjahr (Abbildung 53). Die N-Aufnahme durch die Zwischenfrucht und der oberirdische Trockenmasseertrag sind in Abbildung 54 dargestellt. Der höchste Trockenmasseertrag wurde bei mineralisch gedüngter Zwischenfrucht ermittelt. Es konnte jedoch kein Unterschied zwischen der N-Aufnahme in der organisch gedüngten und der mineralisch gedüngten Variante festgestellt werden. Sowohl die mineralisch, als auch die organisch gedüngte Zwischenfrucht nahm ca. doppelt so viel Stickstoff auf, wie der Ölrettich in der ungedüngten Variante, der sich unter den Bedingungen am Standort Wehnen auch ohne N-Düngung zufriedenstellend entwickelte.

Abbildung 53: Entwicklung des Zwischenfruchtbestandes 2014 am Versuchsstandort Wehnen

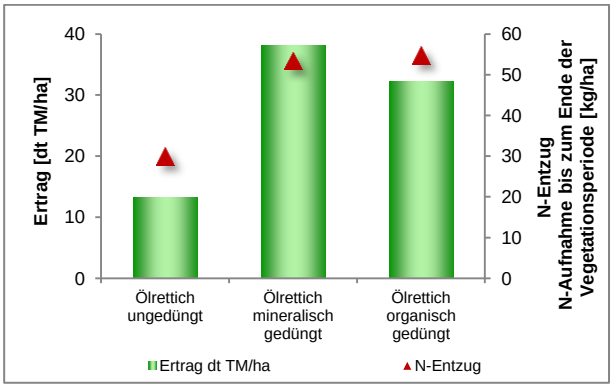


Abbildung 54: N-Aufnahme durch die Zwischenfrucht und oberirdischer Trockenmasseertrag 2014/2015 in Abhängigkeit von der N-Düngung

Die gedüngte Zwischenfrucht konnte somit nahezu den gesamten über die Düngung zugeführten Stickstoff aufnehmen. Darüber hinaus fand jedoch keine Stickstoffaufnahme statt.

Ergänzende Untersuchungen

Zusätzlich zur N-Aufnahme durch die Zwischenfrucht wurde der N-Gehalt der Zwischenfrucht entsprechend der N-Fraktionen (Ammonium-Stickstoff, Nitrat-Stickstoff und organischer Stickstoff) am 18.12.2014 analysiert. Die Ergebnisse zeigten eine unterschiedliche N-Zusammensetzung winterharter und nicht winterharter Zwischenfrüchte (Abbildung 56). Hierfür wurde eine weitere Probe der oberirdischen Pflanzenmasse in einem Ackergrasbestand gezogen. Abbildung 55 zeigt die Ergebnisse der N-Analysen von ungedüngtem, mineralisch gedüngtem und organisch gedüngtem Ölrettich. Abbildung 56 zeigt zum Vergleich die Aufteilung des Stickstoffs im winterharten Ackergras.

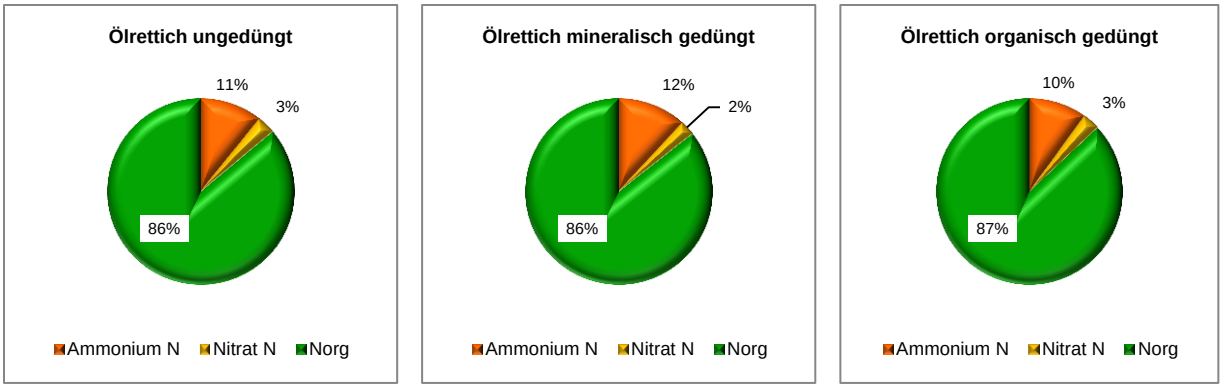


Abbildung 55: Anteile Ammonium-N, Nitrat-N und organischer Stickstoff, am gesamt Stickstoffgehalt von Ölrettich als Zwischenfrucht, bei unterschiedlicher Düngung

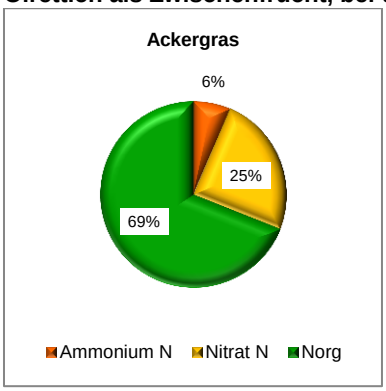


Abbildung 56: Anteile Ammonium-N, Nitrat-N und organischer Stickstoff, am gesamt Stickstoffgehalt von Ackergras

Die Form der N-Düngung hatte keinen Einfluss auf die anteilige Verteilung des Stickstoffs bei Ölrettich. Der Vergleich zu Ackergras zeigte einen deutlich höheren Anteil Nitrat-Stickstoffs in der winterharten Zwischenfrucht und einen geringeren Anteil organischen Stickstoffs.

Tabelle 12 gibt eine Übersicht über die zugeführte N-Düngung, den TM-Gehalt der Pflanzen und den Gesamt N-Gehalt [%]. Die Höhe der N-Düngung wurde in den beiden gedüngten Varianten mit Ölrettich als Zwischenfrucht nicht variiert.

Tabelle 12: TM-Gehalt von Ackergras und Ölrettich; 18.12.2014; Wehnen

Zwischenfrucht	N-Düngung	TM-Gehalt [%]	N-Gehalt
Ackergras	0 kg N/ha	11,6	0,52 %
Ölrettich ungedüngt	0 kg N/ha	12,9	0,29 %
Ölrettich mineralisch gedüngt	60 kg N/ha	12	0,36 %
Ölrettich organisch gedüngt	60 kg N/ha	12,5	0,31 %

Zusammenfassung

Grundwasserschutz durch Zwischenfruchtanbau

- Nach Winterroggen konnte die Zwischenfrucht die Herbst-N_{min}-Werte im Vergleich zur Variante ohne Zwischenfrucht reduzieren. Dies bestätigt die Ergebnisse der Vorjahre. Die Herbst-N_{min}-Werte in den Varianten mit Zwischenfruchtanbau lagen unabhängig von Form und Höhe der N-Düngung auf einheitlich niedrigem Niveau.
- Die vorangegangene Zwischenfrucht hatte keinen Einfluss auf die N_{min}-Werte nach Silomais im Folgejahr.
- 2014 lag der N-Entzug des Ölrettichs in den gedüngten Varianten etwa in Höhe der N-Düngung. Die ungedüngte Zwischenfrucht nahm bis zum Vegetationsende 30 kg N/ha auf.
- Die unterschiedliche Entwicklung der Zwischenfruchtbestände in den einzelnen Versuchsjahren zeigte, dass Aussaatzeitpunkt und Witterungsverlauf am Standort Wehnen von größerer Bedeutung für die N-Aufnahme der Zwischenfrucht waren, als die N-Düngung.
- Aufgrund des schwach entwickelten Zwischenfruchtbestandes 2013/2014 konnte 2014, nur eine geringe N-Nachlieferung der Zwischenfrucht an die nachfolgende Hauptfrucht Silomais festgestellt werden. Die N-Nachlieferung lag unabhängig von der N-Düngung zur Zwischenfrucht bei ca. 10 kg N/ha.
- Die bisherigen Ergebnisse der Sickerwasseruntersuchungen über die Sickerwasserperioden 2012/2013 und 2013/2014 zeigten, dass auf diesem Standort mit dem Anbau von Zwischenfrüchten die Nitratkonzentration im Sickerwasser im ersten Versuchsjahr reduziert werden konnte. Im Mittel der ersten beiden Versuchsjahre lag die Nitratkonzentration jedoch auf einem ähnlichen Niveau, wie in der Vergleichsvariante ohne Zwischenfruchtanbau. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass sich nach zwei Jahren Versuchslaufzeit, insbesondere aufgrund der unterschiedlichen Entwicklung des Zwischenfruchtbestandes, in den ersten Versuchsjahren noch kein Trend ableiten lässt.
- Insbesondere für belastbare Aussagen zur langfristigen N-Nachlieferung von Zwischenfrüchten (gedüngt/ungedüngt) sind weitere Versuchsjahre mit gleichbleibender Fruchtfolge notwendig.

Ergänzende Untersuchungen Demonstrationsfläche Poppenburg

2014 wurde am Versuchsstandort Poppenburg eine Demonstrationsfläche zum Zwischenfruchtanbau angelegt, um den Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitung und N-Düngung auf verschiedene Zwischenfrüchte zu veranschaulichen (Abbildung 57). Die verschiedenen Zwischenfrüchte hatten sich bis zum Zeitpunkt der Probenahme gut entwickelt.

Abbildung 57: Zwischenfruchtmischung, Demonstrationsfläche Poppenburg,12.09.2014

In einigen Varianten wurden ergänzende Untersuchungen durchgeführt. Neben den N_{min}-Werten wurden der Trockenmasseertrag und der Rohproteingehalt ermittelt. Um die zum Zeitpunkt der Durchführung bekannten Greening-Anforderungen zu berücksichtigen wurden in einer Ölrettich-Gelbsenf-Mischung („Acker Fit Rübe“) N_{min}-Proben gezogen.

Um weitere Daten zu den Auswirkungen des Leguminosenanbaus auf die Reststickstoffgehalte im Herbst im Boden zu erhalten, wurden weitere N_{min}-Untersuchungen in einer leguminosenhaltigen Mischung („Terra Life Beta Sola“) durchgeführt. Tabelle 13 zeigt die Zusammensetzung der leguminosenhaltigen Zwischenfruchtmischung.

Tabelle 13: Zusammensetzung der leguminosenhaltigen Zwischenfruchtmischung

Zusammensetzung Zwischenfruchtmischung	
49%	Leguminosen (Wicke und Alexandrinerklee)
25,5%	Ölrettich (verschiedene Sorten)
22,5%	Rauhafer
3%	Ramtillkraut

Die Ölrettich-Gelbsenf-Mischung enthielt zu 66 % Ölrettich und zu 34 % Gelbsenf. In dieser Zusammensetzung wäre die Mischung nicht greeningfähig, da der Ölrettichanteil über 60 % liegt.

Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die Hersteller ihre Mischungen an den aktuellen Stand der Greeninganforderungen anpassen werden. Tabelle 14 gibt eine Übersicht über die N-Düngungsvarianten.

Tabelle 14: N-Düngung Zwischenfruchtmischung

N-Düngung Zwischenfrucht (anrechenbar)
Ungedüngt
40 kg N/ha mineralisch
Ca. 40 kg N/ha aus Gärrest
Ca. 40 kg N/ha aus separiertem Gärrest

Wie sich die unterschiedliche N-Düngung auf die N_{min}-Werte ausgewirkt hat, ist in Abbildung 58 dargestellt. Die Bodenbearbeitung wurde in allen Varianten mit der Ölrettich-Gelbsenf-Mischung mit Pflug und Kreiselegge durchgeführt.

In den Varianten mit leguminosenhaltiger Mischung wurde zusätzlich eine flach gegrubberte Variante ohne Düngung beprobt. Die Ergebnisse der N_{min}-Probenahme sind in Abbildung 58 dargestellt.

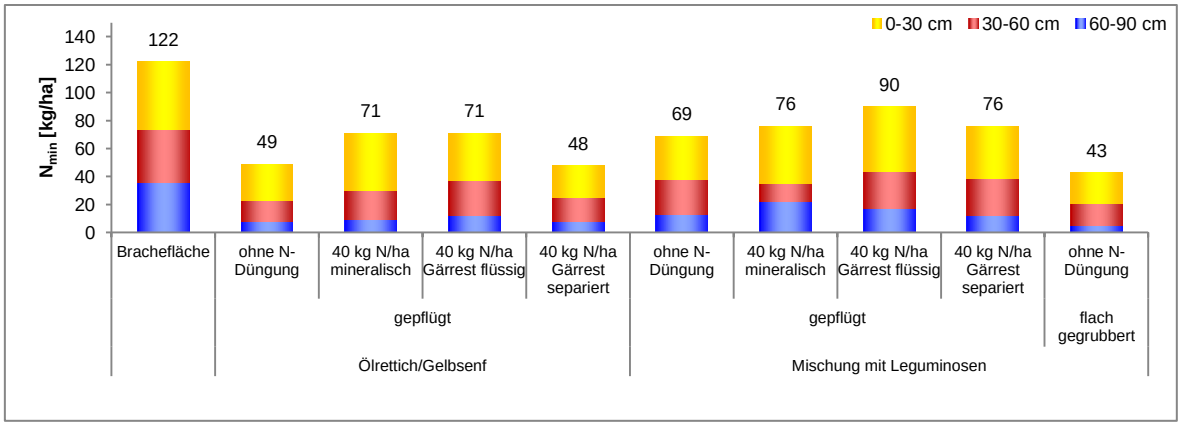


Abbildung 58: N_{min}-Werte auf einer Demonstrationsfläche zum Zwischenfruchtanbau, Poppenburg, 04.11.2014

Abbildung 60 zeigt den Trockenmasseertrag und den N-Entzug der beiden Zwischenfruchtmischungen bei unterschiedlicher N-Düngung. In Abbildung 59 ist der Rohproteingehalt in den verschiedenen Varianten dargestellt.

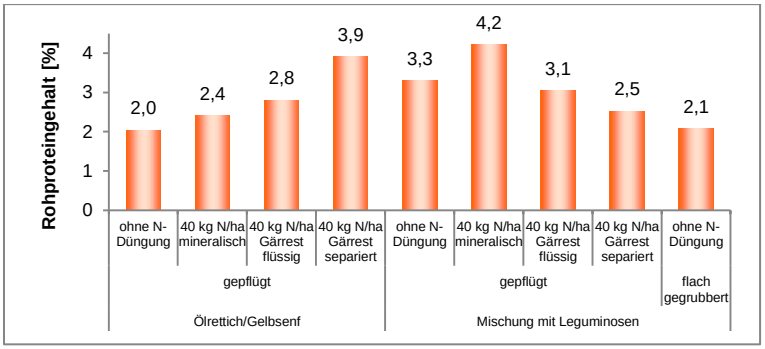


Abbildung 59: Rohproteingehalt verschiedener Zwischenfruchtvarianten zum Vegetationsende; Demonstrationsfläche Poppenburg; 2014

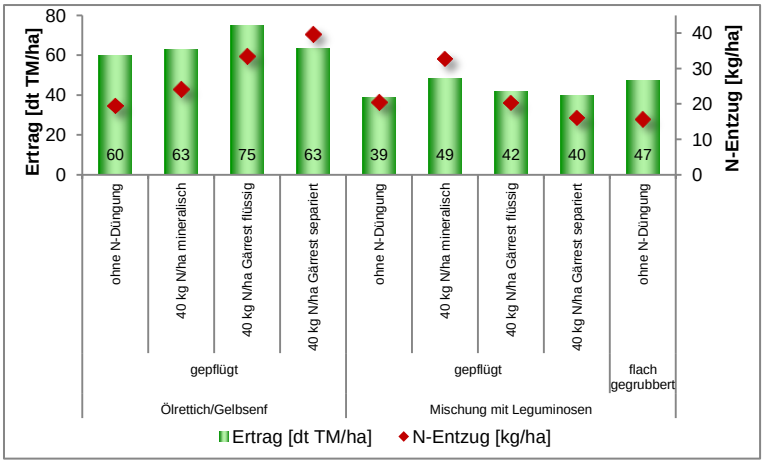


Abbildung 60: Trockenmasseertrag und N-Entzug verschiedener Zwischenfruchtvarianten zum Vegetationsende; Demonstrationsfläche Poppenburg; 2014

In der Ölrettich-Senf-Mischung wurde der Trockenmasseertrag durch die Mineraldüngergabe, im Vergleich zur ungedüngten Variante nicht erhöht und auch der N-Entzug stieg kaum an. Der Anstieg der N_{min}-Werte bestätigt, dass hier die N-Düngung von der Zwischenfrucht nicht in Biomasse umgesetzt werden konnte. In der mit flüssigen Gärresten gedüngten Variante steigen sowohl der Trockenmasseertrag als auch der N-Entzug an. Der N_{min}-Wert zu Vegetationsende lag auf dem gleichen Niveau wie in der mineralisch gedüngten Variante.

Durch die organische Düngung wurde eventuell auch das Mineralisationspotential des Standortes erhöht. Bei der Düngung der Senf-Ölrettich-Mischung mit separierten Gärresten konnte dieser Effekt nicht beobachtet werden. Hier lag der Trockenmasseertrag etwas niedriger, als in der mit flüssigem Gärrest gedüngten Variante. Der N-Entzug war jedoch etwas höher.

Abbildung 61 zeigt eine Zusammenstellung der N-Zufuhr (anrechenbare N-Düngung) des N-Entzuges und des daraus resultierenden N-Saldos auf der Demonstrationsfläche zum Zwischenfruchtanbau. In keiner der gedüngten Varianten wurde von der Zwischenfrucht mehr Stickstoff aufgenommen, als bei der N-Düngung ausgebracht worden war.

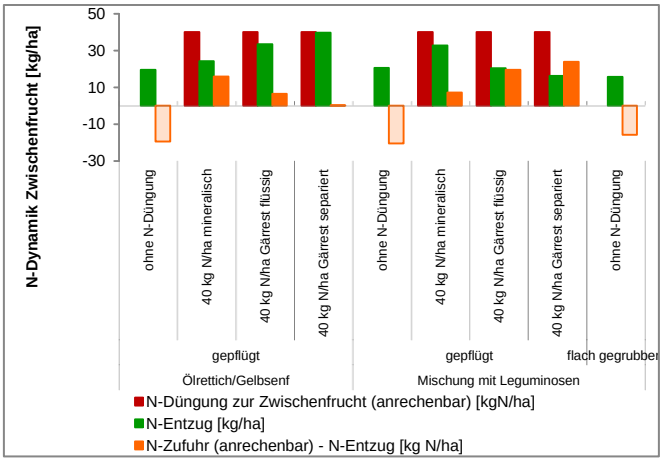


Abbildung 61: Zusammenstellung – anrechenbare N-Düngung zur Zwischenfrucht, N-Entzug der Zwischenfrucht und daraus errechnetes N-Saldo; Demofläche Poppenburg; 2014

Zusammenfassung

Ergänzende Untersuchungen zum Zwischenfruchtanbau

- Im Vergleich zur Brachefläche wurden die N_{min}-Werte auf einer Demonstrationsfläche unter Zwischenfrucht reduziert
- Durch die N-Düngung wurde der Rohproteingehalt der Zwischenfrüchte erhöht.
- Der N-Entzug der Zwischenfrucht war 2014 am Versuchsstandort Poppenburg niedriger, als die N-Zufuhr durch die N-Düngung der Zwischenfrucht.
- Die N_{min}-Werte in den ungedüngten Varianten waren, unabhängig von der Zwischenfrucht und Form der N-Düngung, tendenziell niedriger, als in den gedüngten Varianten.

Langjährige organische Düngung – Wehnen

Versuchsfrage

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

Versuchsdurchführung und Standorteigenschaften

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. Der Versuch wurde 2014 am Versuchsstandort Wehnen neu angelegt. Abbildung 62 zeigt die Lage des Versuchsstandortes.

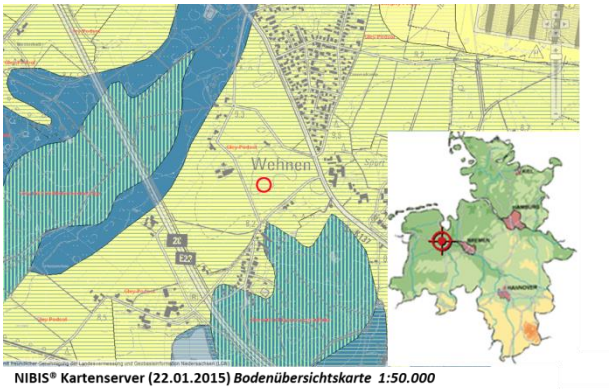


Abbildung 62: Lage des Versuchsstandortes in Wehnen

Eine möglichst genaue Einschätzung der Wirksamkeit organischer Dünger - insbesondere auch die N-Nachlieferung langjährig organisch gedüngter Standorte – ist für den Grundwasserschutz von Bedeutung, um überschüssige N-Düngung zu vermeiden. Besonders im Maisanbau hat überschüssige N-Düngung häufig hohe auswaschungsgefährdete Reststickstoffgehalte im Herbst im Boden zur Folge.

Die effiziente Nutzung organischer Dünger sowie die möglichst präzise Einschätzung ihrer Wirkung leisten einen wichtigen Beitrag, Nitrateinträge in das Grundwasser zu vermeiden.

Abbildung 63: Versuchsfläche am Standort Wehnen; 14.05.2014; Versuch 649

Parallel zu einer N-Düngestaffel mit mineralischer N-Düngung in sechs Stufen wurde in diesem Versuch 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.

In Tabelle 15 sind die Standorteigenschaften des Versuchsstandortes aufgeführt. Die Frühjahrs N_{min}-Probe wurde am 27.03.2014 gezogen. Die Bodenuntersuchung wurde einen Tag zuvor am 26.03.2014 durchgeführt.

Tabelle 15: Standortdaten; Versuchsstandort Wehnen, Versuch 649

Versuchsstandort Wehnen; Versuch 649	
Bodenart	Sand
Ackerzahl	25
Humus	3 %
C/N	15
N_{min} (0-60 cm)	12 kg N_{min}/ha (27.03.2014)
ph	5,0
P	12 mg in 100 g Boden
K	5 mg in 100 g Boden
Mg	5 mg in 100 g Boden
Frühjahrs-N_{min} (0-60 cm)	12 kg N_{min}/ha

Wirtschaftsdünger sind wertvolle Mehrnährstoffdünger. Bei bedarfsgerechter Düngung limitiert der Nährstoff, dessen Bedarf zuerst abgedeckt wird, den Einsatz von Wirtschaftsdüngern. Dies ist in diesem Versuch Phosphor. Bei der im Versuch verwendeten Schweinegülle ist somit die N-Düngung mit Wirtschaftsdüngern auf ca. 120 kg N/ha begrenzt. Dies wurde auch bei der Versuchsplanung berücksichtigt. Eine weitere Steigerung der N-Düngung wurde durch eine ergänzende Gabe mit Mineraldünger erreicht. Tabelle 16 zeigt die einzelnen Varianten mit Höhe, Form und Aufteilung der N-Düngung. Eine ergänzende Variante mit 170 kg N/ha aus organischer Düngung wurde ebenfalls angelegt, um die Auswirkungen auf die auswaschungsgefährdeten Reststickstoffgehalte im Boden direkt nach der Ernte und zu Beginn der Sickerwasserperiode zu untersuchen.

Tabelle 16: N-Düngung Versuch 649, Wehnen, 2014

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 60 N	-	60	-
3	KAS 120 N	-	120	-
4	KAS 180 N geteilt	-	120	60
5	KAS 240 N geteilt	-	120	120
6	KAS 300 N geteilt	-	120	180
7		Gülle 120 Gesamt-N	-	-
8	KAS 60 N	Gülle 120 Gesamt-N	60	-
9	KAS 120 N	Gülle 120 Gesamt-N	120	-
10	KAS 180 N geteilt	Gülle 120 Gesamt-N	120	60
11	KAS 240 N geteilt	Gülle 120 Gesamt-N	120	120
12		Gülle 170 Gesamt-N		

Auf der Versuchsfläche werden Silomais und Winterroggen im Wechsel angebaut. Im ersten Versuchsjahr 2014 wurde nach Einbau der Sickerwasseranlage Silomais ausgesät.

Ergebnisse

N_{min}-Werte und Erträge

Abbildung 64 zeigt die Ergebnisse der N_{min}-Untersuchungen direkt nach der Ernte und den Silomaisertrag(dt TM/ha) bei mineralischer N-Düngung, organischer und organisch-mineralischer Düngung. Die N_{min}-Probenahme direkt nach der Ernte fand am 06.10.2014 statt. Auch in diesem Versuch konnte 2014 der für Silomais typische starke Anstieg der N_{min}-Werte mit steigender N-Düngung beobachtet werden. Ob die Düngung in Form von mineralischer N-Düngung (KAS) oder mit Schweinegülle erfolgte, wirkte sich im ersten Versuchsjahr

erst bei deutlich überhöhter N-Düngung auf die N_{min}-Werte direkt nach der Ernte aus. In den meisten Varianten konnten bei gleich hoher N-Düngung kaum Unterschiede zwischen den N_{min}-Werten festgestellt werden. In der ungedüngten Variante lag der N_{min}-Wert direkt nach der Ernte bei 19 kg N_{min}/ha und stieg auch durch eine N-Düngung mit 60 kg N/ha in Form von Mineraldünger zunächst nicht an.

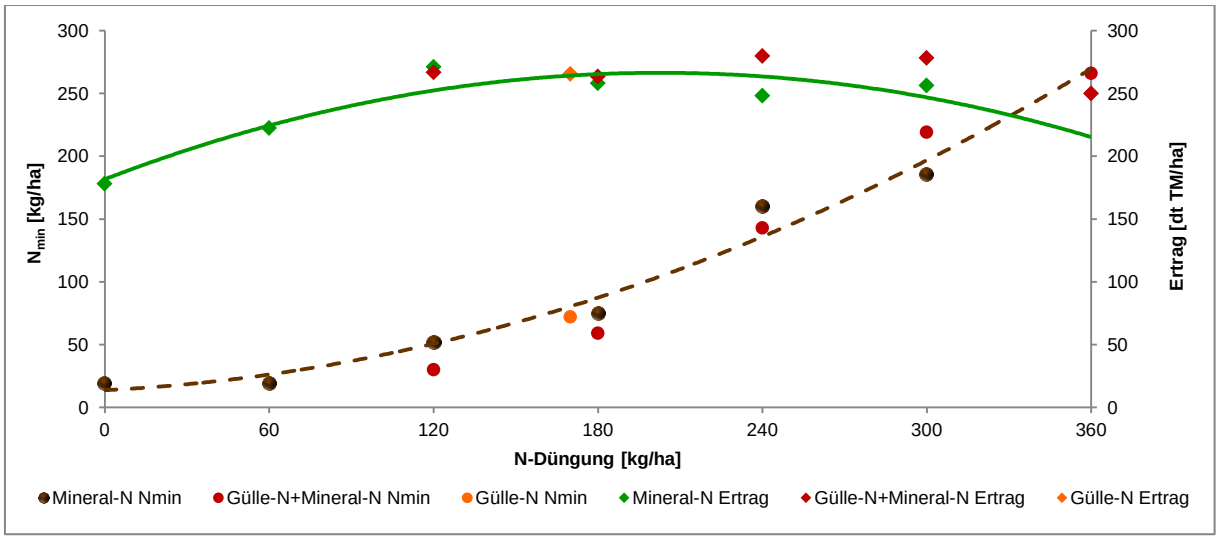


Abbildung 64: N_{min}-Werte direkt nach der Ernte und Erträge bei Silomais in Abhängigkeit von Höhe und Form der N-Düngung; Wehnen; 2014

Die Form der N-Düngung (mineralisch vs. organisch-mineralisch) hatte im ersten Versuchsjahr nur bei deutlich überhöhter N-Düngung Einfluss auf den TM-Ertrag. Hier kam es bei überhöhter N-Düngung bei organisch-mineralischer N-Düngung zu einem geringeren Ertragsrückgang, als bei mineralischer N-Düngung. Das anhand der mineralischen N-Düngestaffel berechnete ökonomische Optimum lag 2014, in diesem Versuch bei einer N-Düngung von 180 kg N/ha und einem Ertrag von 265 dt TM/ha.

Bis zum Beginn der Sickerwasserperiode änderten sich die N_{min}-Werte in den drei ersten N-Düngungsstufen, 120 kg N/ha, 60 kg N/ha und in der ungedüngten Variante nicht. Die Herbst-N_{min}-Werte zu Beginn der Sickerwasserperiode und die errechnete potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser sind in Abbildung 67 dargestellt. Bei einer N-Düngung über dem Sollwert traten deutlichere Unterschiede zwischen den N_{min}-Werten direkt nach der Ernte und den Herbst-N_{min}-Werten zu Beginn der Sickerwasserperiode auf, als in den Vraianten mit niedrigerer N-Düngung. Die deutlichsten Veränderungen von der N_{min}-Untersuchung direkt nach der Ernte am 06.10.2014 bis zur Herbst-N_{min}-Probenahme am 26.11.2014 traten bei deutlich überhöhter Düngung auf. Bei organisch-mineralischer Düngung von 300 kg N/ha sank der N_{min}-Wert in diesem Zeitraum von 219 kg N_{min}/ha auf 105 kg N_{min}/ha. In der Variante mit rein mineralischer N-Düngung sank der N_{min}-Wert hingegen 186 kg N_{min}/ha auf 149 kg N_{min}/ha. Zum besseren Vergleich zeigen Abbildung 65 und Abbildung 66 die N_{min}-Werte und die Verteilung der mineralisierten Stickstoffs auf die einzelnen Bodenschichten direkt nach der Ernte und zu Beginn der Sickerwasserperiode.

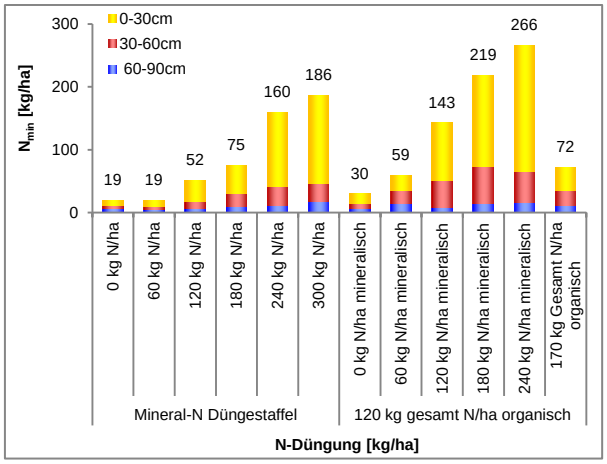


Abbildung 65: Einfluss der Höhe und der Form der der N-Düngung auf N_{min}-Werte und Schichtung direkt nach der Ernte; Versuchsstandort Wehnen; 2014

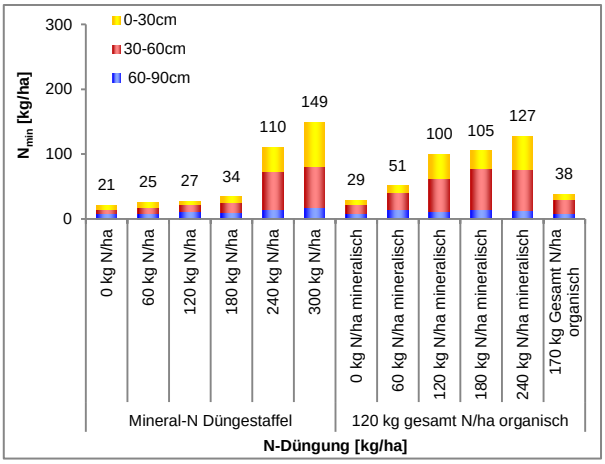


Abbildung 66: Einfluss der Höhe und der Form der der N-Düngung auf N_{min}-Werte und Schichtung zu Beginn der Sickerwasserperiode; Versuchsstandort Wehnen; 2014

Welchen Einfluss Höhe und Form der N-Düngung auf die Nitratauswaschung im Verlauf der Sickerwasserperiode und die Nitratfrachten hatten, wird durch das LBEG mit Hilfe der Saugkerzenanalage untersucht.

Die vollständigen Ergebnisse der Sickerwasseranalysen liegen, je nach Dauer der Sickerwasserperiode, erst deutlich nach den übrigen Ergebnissen vor. Die Auswertung der Sickerwasseruntersuchungen wird deshalb durch das LBEG in einem gesonderten Bericht veröffentlicht.

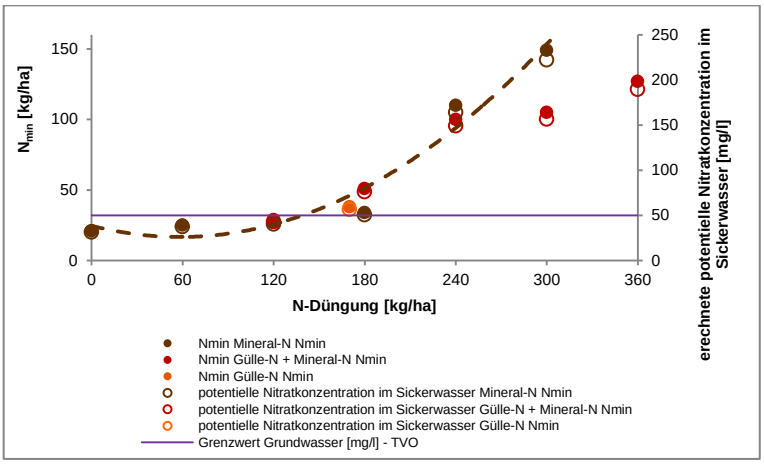


Abbildung 67: N_{min}-Werte nach Silomais zu Beginn der Sickerwasserperiode in Abhängigkeit von Höhe und Form der N-Düngung; und errechnete potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser; Wehnen; 26.11.2014

Relativer Ertrag und N-Bilanz

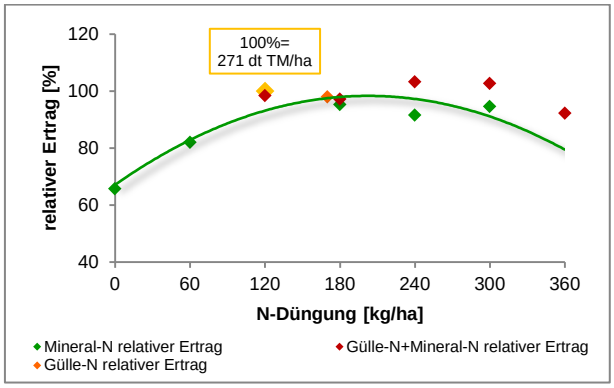


Abbildung 68: Relativer Silomaisertrag; in Abhängigkeit von Form und Höhe der N-Düngung; Wehnen, 2014

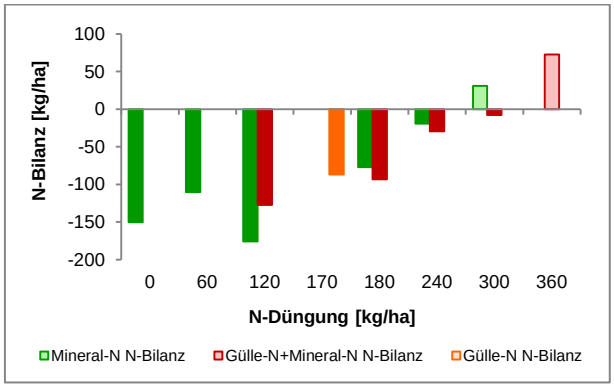


Abbildung 69: N-Bilanzen von Silomais in Abhängigkeit von Höhe und Form der N-Düngung; Wehnen, 2014

Abbildung 68 zeigt die relativen Silomaiserträge. Als Verrechnungsbasis für den Relativertrag diente die Variante mit einer N-Düngung von 120 kg mineralischer N-Düngung/ha.

Die N-Bilanzen sind in Abbildung 69 dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass bei bedarfsgerechter N-Düngung zu Silomais die aus N-Zufuhr und N-Abfuhr berechnete N-Bilanz deutlich negativ ist. Dieses Ergebnis bestätigt vorangegangene Versuche und liegt vermutlich in der Fähigkeit des Maises, die bodenbürtige Stickstoffnachlieferung in hohem Maß nutzen zu können, begründet.

Zusammenfassung

Einfluss von langjähriger organischer Düngung auf Nitratkonzentration im Sickerwasser, N-Dynamik im Boden, Erträge und Qualitätsparameter 2014

- Es handelt sich bisher um einjährige Ergebnisse. Bezüglich der langfristigen Auswirkungen organischer Düngung auf Sickerwasserqualität, N-Dynamik im Boden, Erträge und Qualitätsparameter können daher noch keine allgemeinen Beratungsempfehlungen erstellt werden.
- Es bleibt abzuwarten, wie sich die organische Düngung langfristig auf die N-Dynamik im Boden auswirkt.
- Im ersten Versuchsjahr hatte die Form der N-Düngung bei bedarfsgerechter N-Düngung kaum Einfluss auf den N_{min}-Wert direkt nach der Ernte oder den Herbst-N_{min}-Wert zu Beginn der Sickerwasserperiode.
- Generell stiegen die N_{min}-Werte durch bei Steigerung der N-Düngung an.
- Erst bei deutlich überhöhter N-Düngung (300 kg N/ha) konnte eine ausgeglichene N-Bilanz festgestellt werden.
- Bei überhöhter organischer Düngung traten die deutlichsten Veränderungen von der N_{min}-Untersuchung direkt nach der Ernte am 06.10.2014 bis zur Herbst-N_{min}-Probenahme am 26.11.2014 auf.

2.2. Mehrjährige Feldversuche

Bodenbearbeitung und Begrünung durch Grünroggen nach der Silomaisernte

Versuchsfrage

- 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 Zwischenfrucht verringert werden?

Die Zerkleinerung der Maisstoppeln ist sowohl eine wichtige Maßnahme zur Reduzierung von Fusarien in Mais und Folgekulturen als auch zur Bekämpfung des Maiszünslers, dessen Larven in den unzerkleinerten Stoppeln überwintern (RECKLEBEN (2014)). Bei der Bodenbearbeitung nach Mais kann es je nach Intensität der Bearbeitung zu einer erneuten Durchlüftung des Bodens und besonders bei milder Witterung auch zu einer erhöhten N-Mineralisation kommen.

In diesem Versuch werden die Auswirkungen der Bodenbearbeitung (Grubbern) und einer anschließenden Begrünung (Grünroggen) auf die N-Dynamik im Herbst, nach der Maisernte und mögliche Wechselwirkungen zwischen Bodenbearbeitung und Begrünung untersucht.

Versuchsdurchführung

Der Versuch wurde 2012 erstmals an den Standorten Borgholt (LK Oldenburg) und Wehnen (LK Ammerland) auf den Flächen der Landessortenversuche für Silomais angelegt. Abbildung 70 zeigt die vier Varianten des Versuchs.

Um die N-Dynamik in den verschiedenen Varianten zu erfassen, wurden zu mehreren Terminen N_{min}-Proben gezogen. Zunächst wurde der N_{min}-Wert direkt nach der Ernte ermittelt. Weitere N_{min}-Untersuchungen im Abstand von vier Wochen, zu Beginn der Sickerwasserperiode und im Frühjahr folgten.

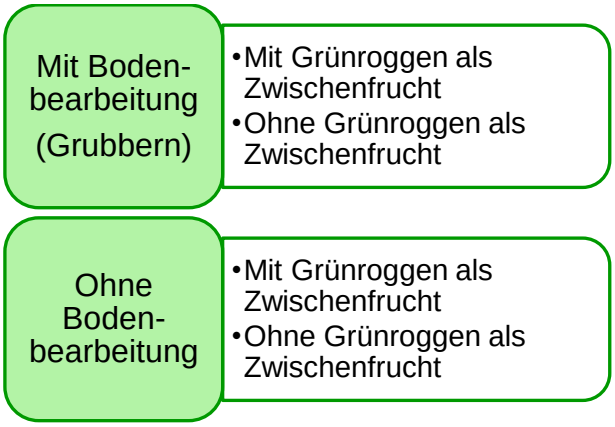


Abbildung 70: Varianten des Versuchs zur Erfassung der Auswirkungen von Bodenbearbeitung nach der Silomaisernte auf die auswaschungsgefährdeten Reststickstoffgehalte im Boden

2014 wurde der Versuch bereits das dritte Jahr angelegt. Ein zusammenfassender Bericht über die gesamten Ergebnisse wird gesondert veröffentlicht.

Ergebnisse

Die aktuellen Ergebnisse und die N_{min}-Werte der Vorjahre zeigten einen deutlichen Einfluss des Witterungsverlaufs auf die N-Dynamik im Boden. Um die Ergebnisse besser beurteilen zu können, zeigt Abbildung 71 Temperaturverlauf und Niederschlagsmengen an der Wetterstation in Wehnen im Probenahmezeitraum. Am Standort Borgholt befindet sich keine Wetterstation.

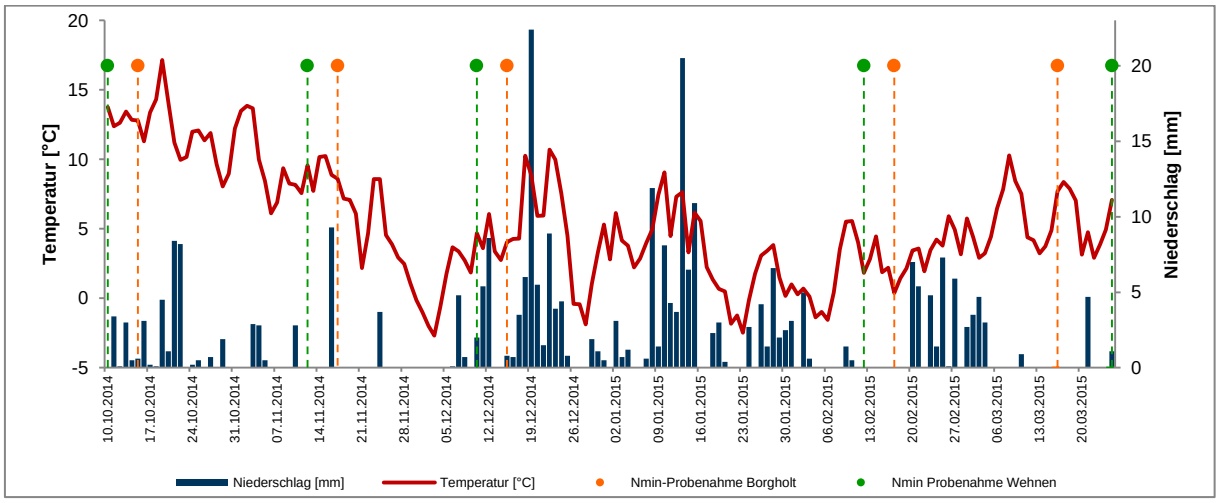


Abbildung 71: Witterungsverlauf während des Probenahmezeitraums 2014/2015; Wetterstation Wehnen

Bei der im Vergleich zum langjährigen Mittel, relativ milden Witterung konnte sich 2014 der Grünroggen gut entwickeln und hatte daher einen stärkeren Einfluss auf die N-Dynamik im Boden als beispielsweise im ersten Versuchsjahr 2012/2013.

Versuchsstandort Borgholt

Am Standort Borgholt lag der Frühjahrs-N_{min}-Wert in einer Tiefe von 0-60 cm bei 7 kg N_{min}/ha. Die N_{min}-Probenahme fand am 12.03.2014 statt. Der Silomais wurde daraufhin mit 173 kg N/ha gedüngt. Die Ergebnisse der N_{min}-Untersuchungen direkt nach der Maisernte und der darauffolgenden N_{min}-Probenahmen sind in Abbildung 72 dargestellt.

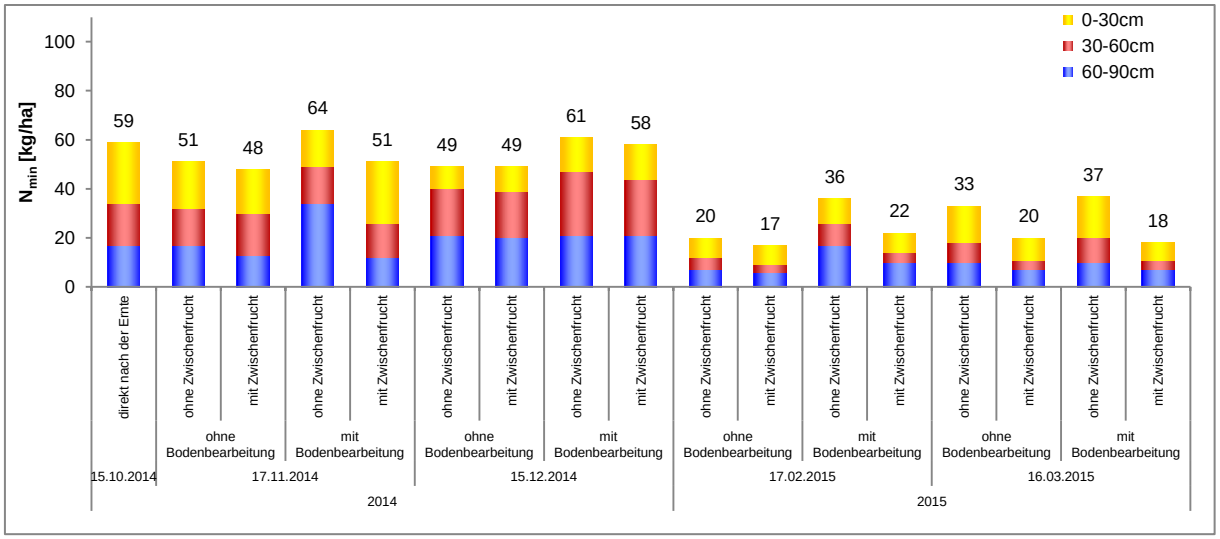


Abbildung 72: N_{min}-Werte nach Silomais in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Aussaat von Grünroggen; 2014-2015; Versuchsstandort Borgholt

Vier Wochen nach der Bodenbearbeitung trat der höchste N_{min}-Wert in der Variante mit Bodenbearbeitung ohne Grünroggen als Zwischenfrucht auf (64 kg N_{min}/ha). Der niedrigste N_{min}-Wert (48 kg N_{min}/ha) wurde vier Wochen nach der Bodenbearbeitung in der Variante ohne Bodenbearbeitung mit Grünroggen als Zwischenfrucht festgestellt. Tendenziell bestätigt dies zwar den vermuteten Einfluss von Bodenbearbeitung und Grünroggen als anschließende Begrünung nach Silomais auf die N-Dynamik im Boden, die Unterschiede zwischen den N_{min}-Werten in den verschiedenen Varianten lagen jedoch im Fehlerbereich der N_{min}-Methode.

Im darauffolgenden Frühjahr wurden besonders bei der N_{min}-Probenahme im März, unabhängig von der Bodenbearbeitung niedrigere N_{min}-Werte in den Varianten mit Grünroggen festgestellt. Dies weist darauf hin, dass der Grünroggen zu diesem Zeitpunkt bereits wieder Stickstoff aus dem Boden aufgenommen hatte.

Versuchsstandort Wehnen

Am Versuchsstandort Wehnen wurde der Silomais nach dem N-Sollwertschema mit 150 kg N/ha gedüngt. Der Frühjahrs-N_{min}-Wert am 12.03.2014 lag bei 29 kg N_{min}/ha (0-60 cm). Abbildung 73 zeigt die Ergebnisse der N_{min}-Untersuchungen am Versuchsstandort Wehnen.

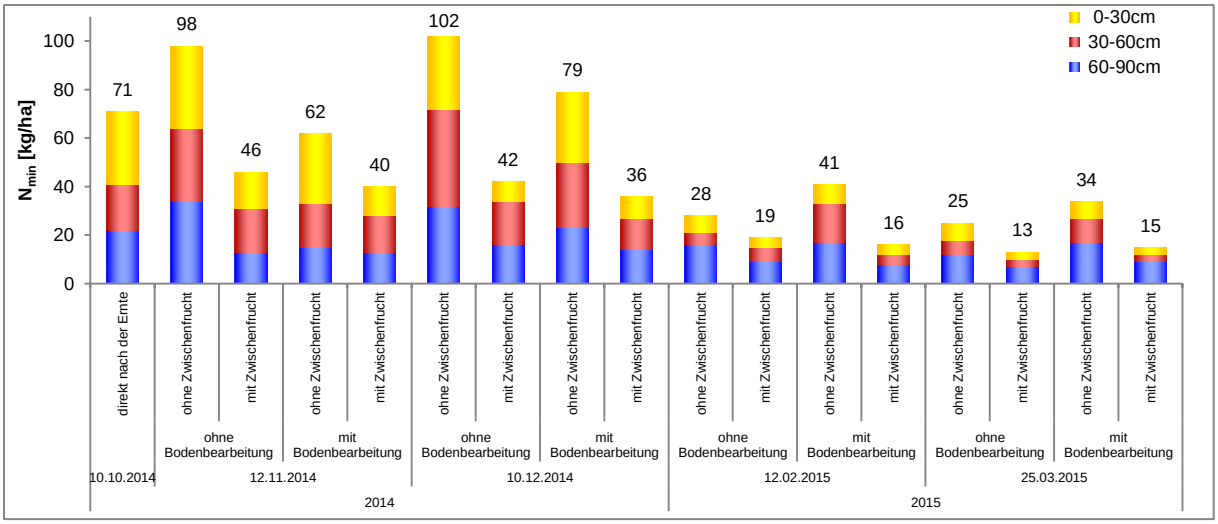


Abbildung 73: N_{min}-Werte nach Silomais in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Aussaat von Grünroggen; 2014-2015; Versuchsstandort Wehnen

Direkt nach der Ernte lag der N_{min}-Wert am Standort Wehnen höher als am Versuchsstandort Borgholt. Auffällig war am Standort Wehnen der relativ starke Anstieg der N_{min}-Werte innerhalb von vier Wochen nach der Ernte in der Variante ohne Bodenbearbeitung und ohne Zwischenfrucht. In den beiden Varianten mit Begrünung durch Grünroggen hatte die Bodenbearbeitung bis zum 12.11.2014 keinen Einfluss auf den N_{min}-Wert. Bis zum 10.12.2014 änderten sich die N_{min}-Werte kaum. Bei den N_{min}-Untersuchungen im darauffolgenden Frühjahr (12.02.2015) wurde der höchste N_{min}-Wert in der Variante mit Bodenbearbeitung ohne Zwischenfrucht festgestellt (102 kg N_{min}/ha). Während die N_{min}-Werte in den beiden Varianten ohne Bodenbearbeitung unabhängig von Grünroggen als Zwischenfrucht auf einem ähnlichen Niveau lagen, reduzierte der Winterroggen in den beiden Varianten mit Bodenbearbeitung den mineralisierten Stickstoff im Boden um 25 kg N_{min}/ha. Am 25.03.2015 wurde kein Unterschied zwischen den N_{min}-Werten in den beiden Varianten mit Winterroggen als Zwischenfrucht festgestellt. Der N_{min}-Wert war in diesen beiden Varianten unabhängig von der Bodenbearbeitung tendenziell niedriger als in den Varianten ohne Winterroggen.

Zusammenfassung

Bodenbearbeitung und Begrünung durch Grünroggen nach der Silomaisernte

- Am Versuchsstandort Wehnen war 2014 der Einfluss der Bodenbearbeitung auf den N_{min}-Wert deutlicher ausgeprägt, als am Versuchsstandort Borgholt.
- bei moderaten N_{min}-Werten direkt nach der Ernte, hatte die Bodenbearbeitung kaum Einfluss auf die auswaschungsgefährdeten Reststickstoffgehalte im Herbst 2014 im Boden.
- Bei wärmerer Witterung wurde 2014 eine höhere Nachmineralisierung festgestellt als beispielsweise im ersten Versuchsjahr 2012.
- Obwohl eine Winterbegrünung nach Mais aufgrund der späten Aussaat deutlich weniger Stickstoff aufnimmt als beispielsweise eine Zwischenfrucht nach Getreide, wurde die erhöhte Mineralisierung bei milder Witterung durch eine verstärkte N-Aufnahme der Winterbegrünung kompensiert.

Kritischer Rohproteingehalt zur Überprüfung der bedarfsgerechten N-Düngung von Silomais

Versuchsfrage

- Ist der Rohproteingehalt (RP) von Silomais ein geeignetes Steuerungs- und Kontrollinstrument für eine bedarfsgerechte N-Düngung zur langfristigen Vermeidung auswaschungsgefährdeter Reststickstoffgehalte im Boden im Herbst nach der Ernte?
- Wie beeinflussen neben der N-Düngung die Sorte und der Standort den Rohproteingehalt von Silomais?

Der kritische Rohproteingehalt von 6,6 % ± 0,4 wird als Kenngröße für bedarfsgerechte N-Düngung von Silomais diskutiert (HERMANN und TAUBE; (2005)). Entsprechende Versuche zeigten, dass ein Zusammenhang zwischen der Höhe der N-Düngung und dem Rohproteingehalt besteht. Weitere Erhebungen, beispielsweise im Rahmen der Landessortenversuche wiesen jedoch darauf hin, dass neben der Höhe der N-Düngung weitere Faktoren, wie Sorte und Standort den Rohproteingehalt ebenfalls beeinflussen. Um den Einfluss von Sorte und Standort zu untersuchen, wurde 2012 ein umfangreicher Feldversuch angelegt. In diesem Versuch wurde an drei Standorten eine N-Düngestaffel mit drei Sorten angelegt. Ergänzend zu der N-Düngestaffel mit Mineraldünger wurde eine weitere Variante mit organischer Düngung angelegt. Bei einer N-Düngung von 180 kg N/ha und mehr wurde die N-Düngung in zwei Gaben aufgeteilt.

Abbildung 74 zeigt die Versuchsfläche am Standort Wehnen am 07.07.2014.

Die drei Sorten wurden aufgrund ihres mittleren Rohproteingehaltes in den Landessortenversuchen ausgewählt. Abbildung 75 zeigt den gemittelten Rohproteingehalt der drei verwendeten Sorten in den Landessortenversuchen 2012. Es wurden die Sorten

- Marleen (hoher Rohproteingehalt)
- Farmflex (mittlerer Rohproteingehalt)
- Ricardinio (niedriger Rohproteingehalt)

angebaut.

Abbildung 74: Versuchsfläche am Standort Wehnen, 2014

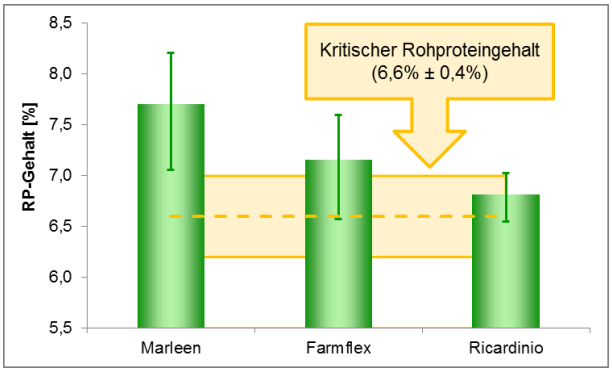


Abbildung 75: Gemittelte Rohproteingehalte bei drei Maissorten, Landessortenversuche 2012

Bei sieben unterschiedlichen N-Düngungs-Varianten und drei verschiedenen Silomaissorten wurden an jedem der drei Standorte 21 Varianten angelegt.

Abbildung 76: Varianten zur Überprüfung der Einflussfaktoren N-Düngung, Sorte und Standort auf den Rohproteingehalt,

Der Versuch wurde 2014 an den drei Standorten Poppenburg im Landkreis Hildesheim, Rockstedt im Landkreis Rotenburg (Wümme) und Wehnen im Landkreis Ammerland durchgeführt. 2014 wurde der Versuch nach drei Versuchsjahren abgeschlossen. Ein Abschlussbericht über die Ergebnisse aller drei Versuchsjahre wird gesondert veröffentlicht.

Ergebnisse

Nachfolgend werden die Ergebnisse an den einzelnen Versuchsstandorten dargestellt.

Versuchsstandort Poppenburg

Abbildung 77 zeigt die Lage des Versuchsstandortes Poppenburg.

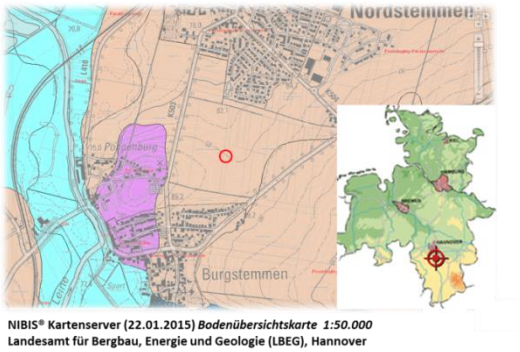


Abbildung 77: Lage der Versuchsfläche am Standort Poppenburg, 2014

Abbildung 78: Versuchsstandort Poppenburg 12.09.2014

Tabelle 17 gibt eine Übersicht über die Standorteigenschaften des Versuchsstandortes Poppenburg.

Tabelle 17: Versuchsstandort Poppenburg, Versuch 648, 2014

Standorteigenschaften Versuchsstandort Poppenburg	
Bodenart:	Lehm
Ackerzahl	85
pH	6,7
P	9 mg/100 g Boden
K	12 mg/100 g Boden
Mg	8 mg/100 g Boden
Frühjahrs N_{min} 0-60 cm	80 kg N_{min}/ha
Frühjahrs N_{min} 0-90 cm	114 kg N_{min}/ha

Die Rohproteingehalte der drei Sorten in Abhängigkeit von Höhe und Form der N-Düngung am Versuchsstandort Poppenburg sind in Abbildung 79 dargestellt. Der „kritische Rohproteingehalt“ von 6,6 % ± 0,4 % ist ebenfalls abgebildet. Der Einfluss der Sorte auf den Rohproteingehalt ist deutlich erkennbar.

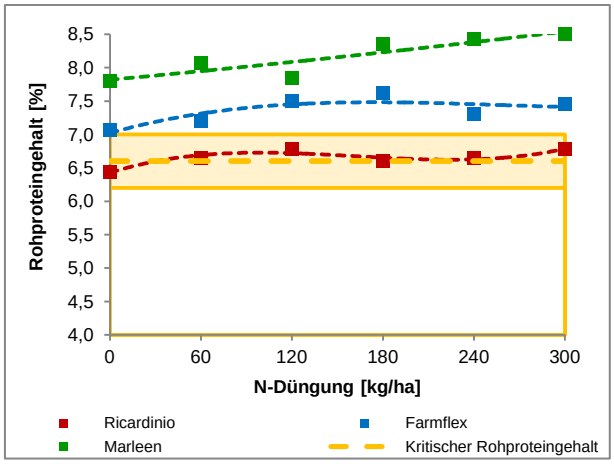


Abbildung 79: Sorteneinfluss auf den Rohproteingehalt von Silomais, Versuchsstandort Poppenburg, 2014

Bei der Sorte Ricardinio stieg der Rohproteingehalt nur in den gedüngten Varianten im Vergleich zur ungedüngten Variante. Zwischen den Rohproteingehalten der gedüngten Varianten konnte bei der Sorte Ricardinio kein gerichteter Einfluss der Höhe der N-Düngung auf den Rohproteingehalt festgestellt werden. Auch bei deutlich überhöhter N-Düngung stieg der Rohproteingehalt von Ricardinio nicht über 7 %.

Bei der Sorte Farmflex lag der Rohproteingehalt insgesamt auf einem etwas höheren Niveau. Bei der Sorte Farmflex lag der Rohproteingehalt bereits in der ungedüngten Variante mit 7,2 % über dem kritischen Rohproteingehalt von 6,6 % ± 0,4. Der Rohproteingehalt von 7,6 % in der mit 180 kg N/ha gedüngten Variante konnte durch weitere Steigerung der N-Düngung auch deutlich über den Sollwert hinaus nicht mehr erhöht werden.

Die höchsten Rohproteingehalte zeigte die Sorte Marleen. Hier lag der Rohproteingehalt bereits ohne jegliche Stickstoffdüngung bei 7,8 %. Mit steigender N-Düngung stieg auch der Rohproteingehalt tendenziell weiter an. Der höchste Rohproteingehalt lag bei 8,5 %, bei einer deutlich überhöhten N-Düngung von 300 kg N/ha. In dieser Variante konnte bei der Sorte Marleen am Standort Poppenburg bereits ein Ertragsrückgang festgestellt werden.

Die Ergebnisse der N_{min}-Untersuchungen direkt nach der Silomaisernte und der Ertragsermittlung bei unterschiedlich hoher N-Düngung sind in Abbildung 80 abgebildet. Die N_{min}-Werte lagen auf einem extrem hohen Niveau und konnten auch durch einen völligen Verzicht auf N-Düngung nicht unter 47 kg N_{min}/ha gesenkt werden. Bei einer N-Düngung von 120 kg N/ha lagen die N_{min}-Werte im Sortenmittel bereits bei 100 kg N_{min}/ha. N_{min}-Werte in dieser Höhe traten an keinem anderen Versuchsstandort auf.

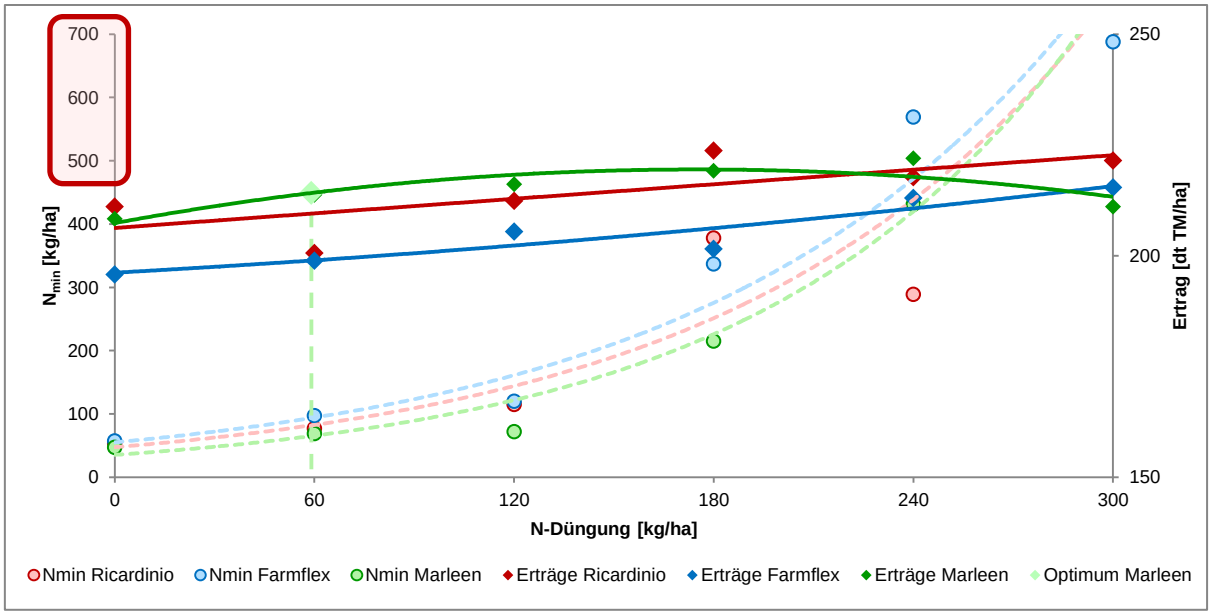


Abbildung 80: Silomais - sortenabhängige Ertragskurve, Optima und N_{min}-Werte direkt nach der Ernte (30.09.2014); Versuchsstandort Poppenburg, 2014

Die Ertragskurve zeigte den für Mais typischen flachen Verlauf. Bedingt durch den Verlauf der Ertragskurve konnte am Standort Poppenburg für die Sorten Ricardinio und Farmflex kein Optimum errechnet werden. Das ökonomische Optimum der Sorte Marleen lag bei einer N-Düngung von knapp 60 kg N/ha (59 kg N/ha) und einem Ertrag von 214 dt TM/ha. Der N_{min}-Wert direkt nach der Ernte lag bei einer N-Düngung von 60 kg N/ha bei ca. 70 kg N_{min}/ha.

Abbildung 81 zeigt die Ergebnisse der Herbst-N_{min}-Untersuchungen zu Beginn der Sickerwasserperiode und die errechnete potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser (Formel siehe Abbildung 6, Seite 6). Die N_{min}-Proben wurden am 11.12.2014 gezogen. Die N_{min}-Werte lagen wie schon direkt nach der Ernte auf einem sehr hohen Niveau.

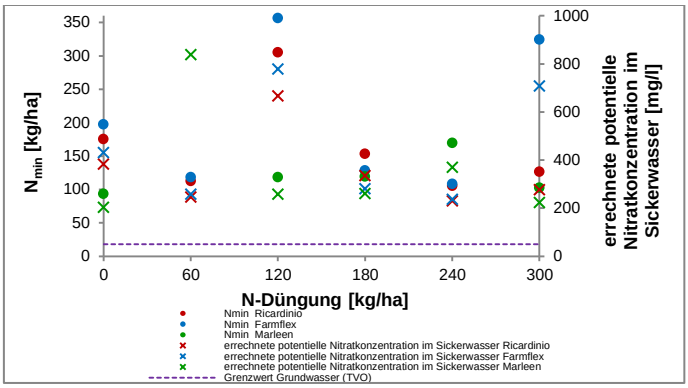


Abbildung 81: Herbst-N_{min}-Werte nach Silomais zu Beginn der Sickerwasserperiode und errechnete potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser; Versuchsstandort Poppenburg; 11.12.2014.

Die Ergebnisse der N_{min}-Untersuchungen zu Beginn der Sickerwasserperiode schwankten stark und ungerichtet unabhängig von Sorte oder der Höhe der N-Düngung. Abbildung 82 zeigt die N-Bilanzen am Standort Poppenburg. Hier zeigten sich entsprechend der Rohproteingehalte ebenfalls deutliche Sortenunterschiede.

Im Vergleich zu den Versuchsstandorten Rockstedt und Wehnen traten am Standort Poppenburg die niedrigsten N-Salden auf. Bei gemeinsamer Betrachtung mit Abbildung 80 wird deutlich, dass bei einer ausgeglichenen N-Bilanz nicht nur die N_{min}-Werte extrem anstiegen, sondern die N-Düngung auch bereits deutlich über dem Sollwert und dem errechneten N-Optimum lag.

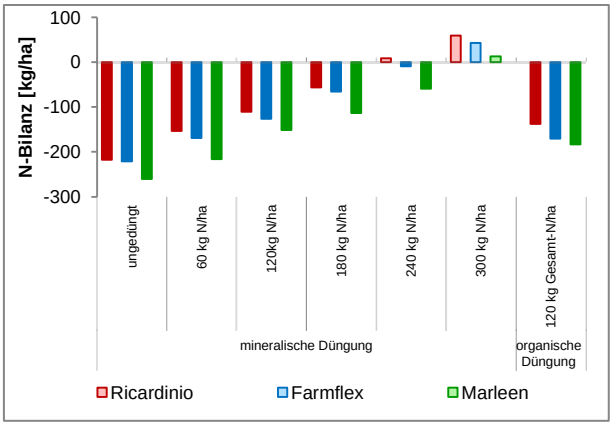


Abbildung 82: N-Bilanzen von Silomais bei gestaffelter N-Düngung; Versuchsstandort Poppenburg, 2014

Versuchsstandort Rockstedt

Die Lage der Versuchsflächen am Standort Rockstedt ist in Abbildung 83 dargestellt. Abbildung 84 zeigt die Versuchsfläche am 16.09.2014. Ein optischer Unterschied zwischen der ungedüngten und den gedüngten Varianten war deutlich erkennbar.

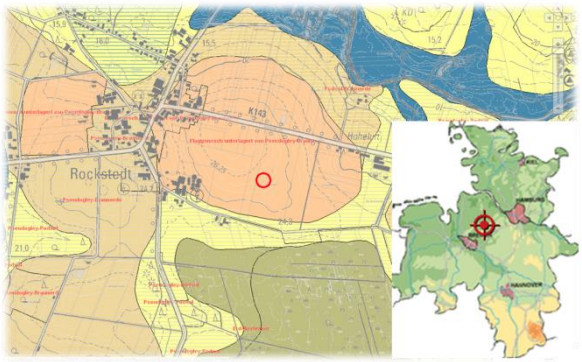


Abbildung 83: Lage der Versuchsfläche am Standort Rockstedt; 2014

Abbildung 84: Versuchsstandort Rockstedt, 16.09.2014

Tabelle 18 gibt eine Übersicht über die Standorteigenschaften.

Tabelle 18: Versuchsstandort Rockstedt, Versuch 648, 2014

Standorteigenschaften Versuchsstandort Rockstedt	
Bodenart:	Lehmiger Sand
Ackerzahl	35
pH	5,2
P	8 mg/100 g Boden
K	6 mg/100 g Boden
Mg	2 mg/100 g Boden
Frühjahrs N_{min} 0-60 cm	8 kg N_{min}/ha

Abbildung 85 zeigt den Rohproteingehalt der drei untersuchten Sorten bei unterschiedlich hoher N-Düngung. Insgesamt lag der Rohproteingehalt am Standort Rockstedt niedriger, als am Versuchsstandort Poppenburg.

Auch am Standort Rockstedt war der Sorteneinfluss auf den Rohproteingehalt erkennbar. Der Sorteneinfluss auf den Rohproteingehalt verstärkte sich mit steigender N-Düngung. Der deutlichste Sorteneinfluss auf den Rohproteingehalt trat bei überhöhter N-Düngung auf.

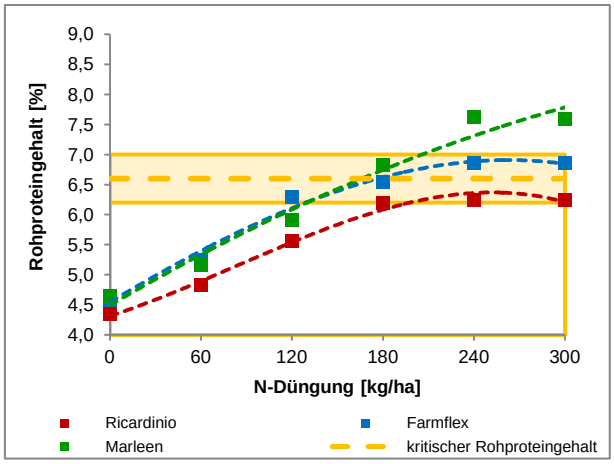


Abbildung 85: Sorteneinfluss auf den Rohproteingehalt, Versuchsstandort Rockstedt, 2014

Bei der Sorte mit niedrigem Rohproteingehalt (Ricardinio) lag der Rohproteingehalt bei einer N-Düngung von 180 kg N/ha bei 6,2 %. Auch bei einer weiteren Erhöhung der N-Düngung stieg der Rohproteingehalt der Sorte Ricardinio nicht weiter an. Bei der Sorte Farmflex mit mittlerem Rohproteingehalt wurde der kritische Rohproteingehalt von 6,6 % ± 0,4 auch bei deutlich überhöhter N-Düngung nicht überschritten.

Bei einer Steigerung der N-Düngung von 180 kg N/ha auf 240 kg N/ha stieg der Rohproteingehalt der Sorte Farmflex lediglich von 6,8 % auf 6,9 %. Eine weitere Steigerung der N-Düngung führte bei der Sorte Farmflex nicht zu einem Anstieg des Rohproteingehaltes. Am Versuchsstandort Rockstedt wurde der kritische Rohproteingehalt bei überhöhter N-Düngung nur bei der Sorte Marleen überschritten. Durch eine Steigerung der N-Düngung von 180 kg N/ha auf 240 kg N/ha stieg der Rohproteingehalt von 6,8 % auf 7,6 %. Auch bei einer weiteren Steigerung der N-Düngung erhöhte sich der Rohproteingehalt nicht.

Die N_{min}-Werte direkt nach der Ernte und die Erträge in Abhängigkeit von Silomaissorte und der Höhe der N-Düngung sind in Abbildung 86 dargestellt.

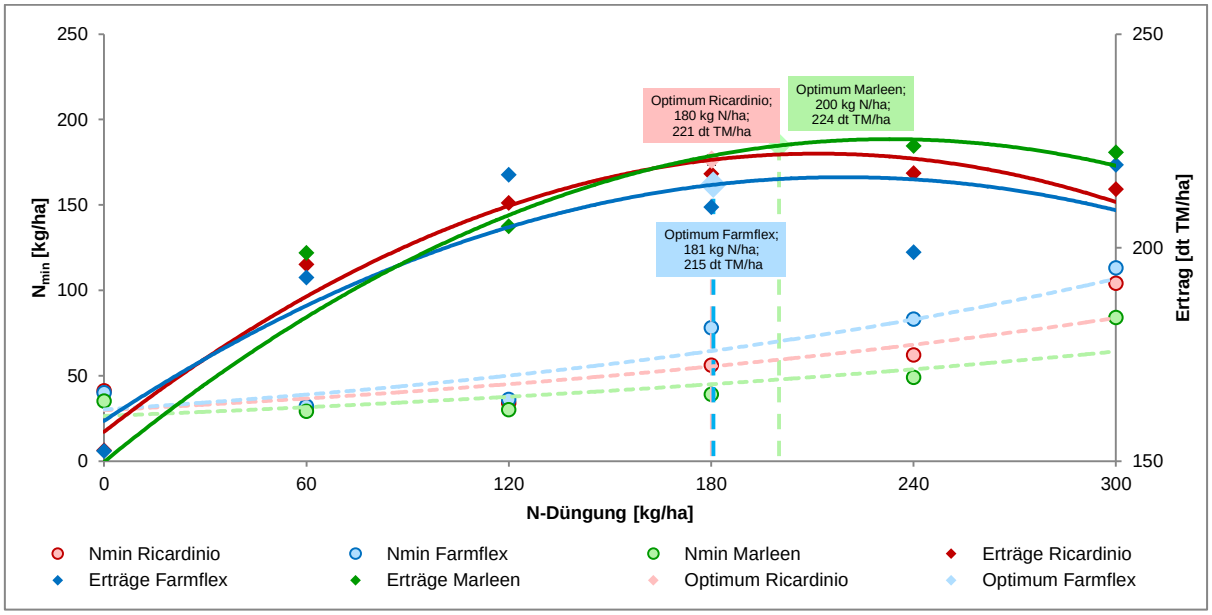


Abbildung 86: Silomais - sortenabhängige Ertragskurve, Optima und N_{min}-Werte direkt nach der Ernte (08.10.2014); Versuchsstandort Rockstedt, 2014

Die N_{min}-Werte direkt nach der Ernte stiegen mit einem Anstieg der N-Düngung an, lagen jedoch insgesamt auf einem deutlich niedrigeren Niveau, als am Versuchsstandort Poppenburg. In der ungedüngten Variante und auch bei einer N-Düngung von 60 kg N/ha, sowie bei einer N-Düngung von 120 kg N/ha hatte die Sorte keinen Einfluss auf den N_{min}-Wert direkt

nach der Ernte. Bei einer Erhöhung der N-Düngung auf 180 kg N/ha konnte zwischen dem N_{min}-Wert im Boden unter der Sorte Farmflex und dem N_{min}-Wert im Boden unter der Sorte Marleen ein Unterschied von 39 kg N_{min}/ha festgestellt werden. Der niedrigste N_{min}-Wert (29 kg N_{min}/ha) wurde bei einer N-Düngung von 60 kg N/ha in der Variante mit der Sorte Marleen gemessen. Der höchste N_{min}-Wert direkt nach der Ernte (113 kg N_{min}/ha) trat 2014 am Standort Rockstedt bei deutlich überhöhter N-Düngung unter der Sorte Farmflex auf.

Am Standort Rockstedt hatte die Höhe der N-Düngung 2014 einen deutlicheren Einfluss auf den Ertrag als am Versuchsstandort Poppenburg. Das ökonomische Optimum für die Sorten Ricardinio und Marleen lag im Bereich der Sollwertdüngung.

Die Herbst-N_{min}-Werte zu Beginn der Sickerwasserperiode und die daraus errechnete potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser sind in Abbildung 87 dargestellt. Auch zu Beginn der Sickerwasserperiode konnten bei einer N-Düngung von 180 kg N/ha und bei einer weiteren Steigerung der N-Düngung Sortenunterschiede zwischen den N_{min}-Werten festgestellt werden.

Bei einer Steigerung der N-Düngung, auf 240 kg N/ha deutlich über den N-Düngebedarf hinaus, variierten die Herbst N_{min}-Werte von 71 kg N_{min}/ha (Sorte Marleen) und 156 kg N_{min}/ha (Sorte Farmflex).

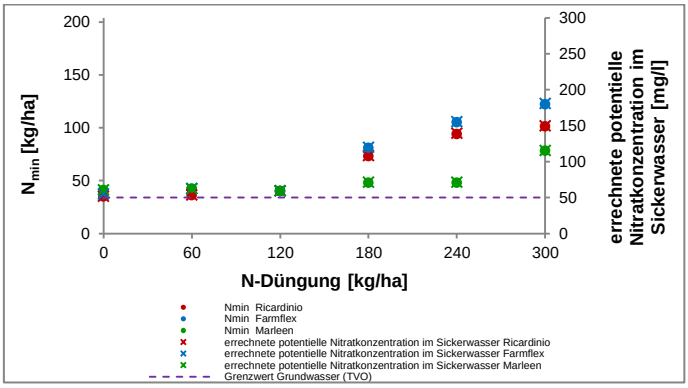


Abbildung 87: Herbst-N_{min}-Werte nach Silomais zu Beginn der Sickerwasserperiode und errechnete potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser; Versuchsstandort Rockstedt; 04.11.20114

Abbildung 88 zeigt, dass die N-Bilanzen auch am Versuchsstandort Rockstedt wie schon am Standort Poppenburg erst bei überhöhter N-Düngung ausgeglichen oder positiv waren.

Die unterschiedlichen Rohproteingehalte der drei Sorten spiegelten sich besonders in den höher gedüngten Varianten auch in den N-Bilanzen wieder. Dies fiel besonders in der mit 240 kg N/ha gedüngten Variante auf.

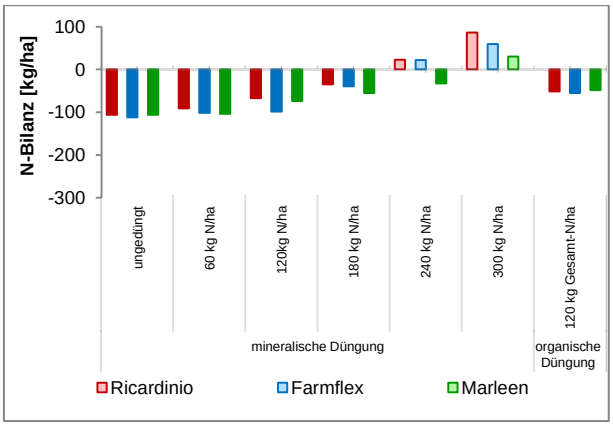


Abbildung 88: N-Bilanzen von Silomais bei gestaffelter N-Düngung; Versuchsstandort Rockstedt, 2014

In dieser Variante war die N-Bilanz der Sorte Ricardinio mit niedrigem Rohproteingehalt und der Sorte Farmflex mit mittlerem Rohproteingehalt auf Grund des geringeren N-Entzuges

bereits positiv (21 kg N/ha und 22 kg N/ha, während die N-Bilanz der Sorte Marleen mit hohem Rohproteingehalt mit -32 kg N/ha um ca. 50 kg N/ha niedriger war. Bei deutlich überhöhter N-Düngung von 300 kg N/ha war die N-Bilanz bei allen drei Sorten positiv. Bei allen drei Sorten lag bei einer N-Düngung in Höhe des ökonomischen Optimums eine negative N-Bilanz vor.

Versuchsstandort Wehnen

Der dritte Versuchsstandort war die Versuchsstation Wehnen im Landkreis Ammerland. Die Abbildung 89 zeigt die Lage der Versuchsparzellen.

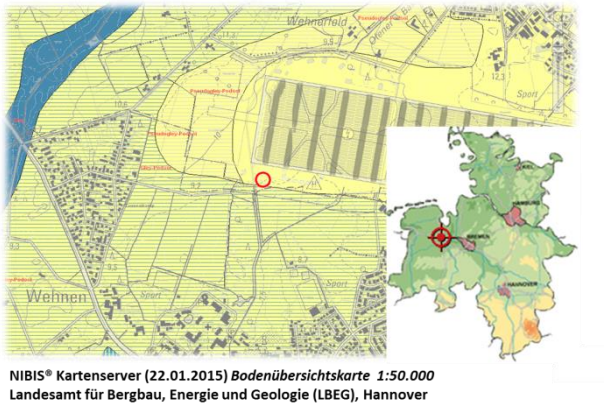


Abbildung 89: Lage der Versuchsfläche am Standort Wehnen, 2014

Abbildung 90: Versuchsstandort Wehnen 07.07.2014

Tabelle 19 gibt eine Übersicht über die Standorteigenschaften.

Tabelle 19: Versuchsstandort Wehnen, Versuch 648, 2014

Standorteigenschaften Versuchsstandort Wehnen	
Bodenart:	Sand
Ackerzahl	25
pH	5,3
P	7 mg/100 g Boden
K	4 mg/100 g Boden
Mg	6 mg/100 g Boden
Frühjahrs N_{min} 0-60 cm	30 kg N_{min}/ha
Frühjahrs N_{min} 0-90 cm	37 kg N_{min}/ha
N-gesamt	0,14 %
C_{org}	2,46 %
C/N	18

Die Frühjahrs-N_{min}-Probenahme wurde in einer Tiefe von 0-90 cm durchgeführt. In der 60-90 cm tiefen Bodenschicht wurden 7 kg N_{min}/ha festgestellt.

Abbildung 91 zeigt die Ergebnisse der Ermittlung des Rohproteingehaltes in Abhängigkeit von Sorte und Höhe der N-Düngung. Der kritische Rohproteingehalt von 6,6 % ± 0,4 ist ebenfalls dargestellt.

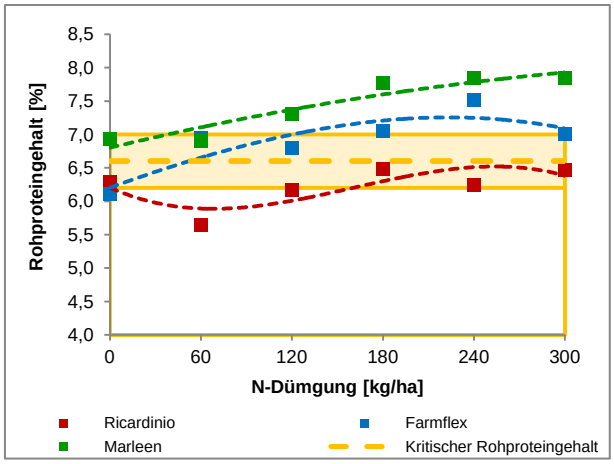


Abbildung 91: Sorteneinfluss auf den Rohproteingehalt, Versuchsstandort Wehnen, 2014

In der ungedüngten Variante lagen der Rohproteingehalt der Sorte Ricardinio und der Sorte Farmflex auf einem Niveau, bei 6,3 % und 6,1 %. Der Rohproteingehalt der Sorte Marleen lag mit 6,9 % in der ungedüngten Variante höher und bereits ohne jegliche N-Düngung knapp unter dem kritischen Rohproteingehalt von 6,6 % ± 0,4.

Der Rohproteingehalt der Sorte Ricardinio schwankte unabhängig von der Höhe der N-Düngung zwischen 5,6 % in der mit 60 kg N/ha gedüngten Variante und 6,5 %. Auch bei deutlich überhöhter N-Düngung überschritt der Rohproteingehalt der Sorte Ricardinio 7 % nicht. Bei den Sorten Farmflex und Marleen konnte ein deutlicherer Einfluss der Höhe der N-Düngung auf den Rohproteingehalt festgestellt werden. Bei der Sorte Farmflex stieg der Rohproteingehalt mit einer Steigerung der N-Düngung bis auf 7,5 % in der mit 240 kg N/ha bereits überdüngten Variante an. Bei einer weiteren Steigerung der N-Düngung sank der Rohproteingehalt auf 7 %. Bei der Sorte Marleen wurde der höchste Rohproteingehalt (7,9 %) in der Variante mit der höchsten N-Düngung gemessen. Ab einer N-Düngung von 120 kg N/ha lag der Rohproteingehalt der Sorte Marleen oberhalb des kritischen Rohproteingehaltes von 6,6 % ± 0,4.

Die Ergebnisse der N_{min}-Untersuchungen direkt nach der Ernte und der Ertragsermittlung sind in Abbildung 92 dargestellt.

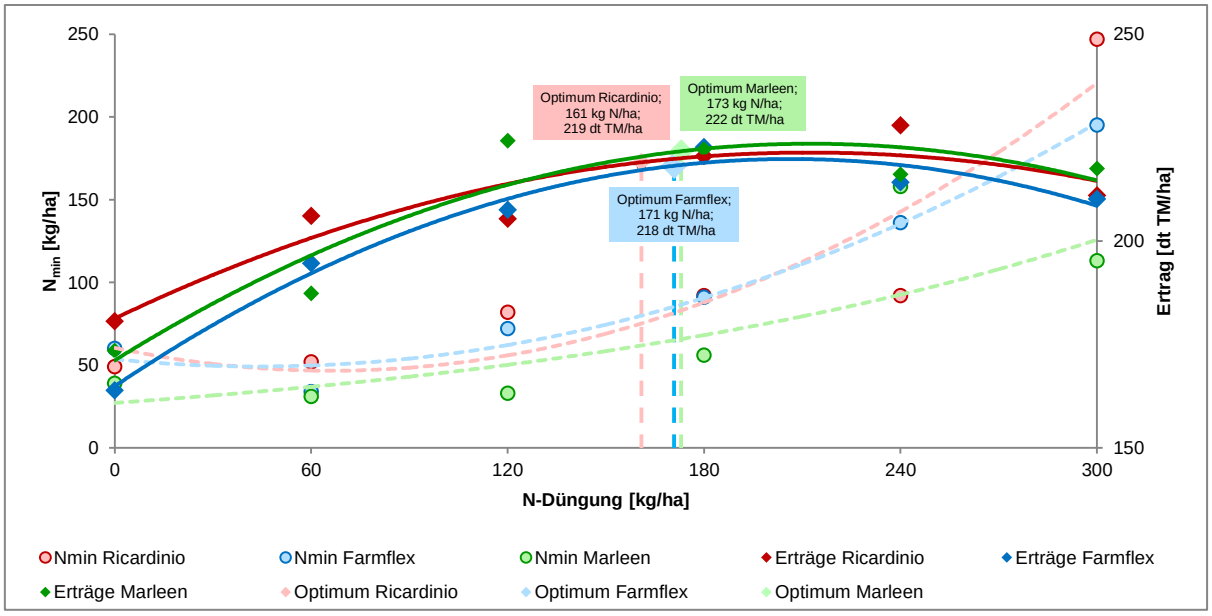


Abbildung 92: Silomais - sortenabhängige Ertragskurve, Optima und N_{min}-Werte direkt nach der Ernte (30.09.2014); Versuchsstandort Wehnen, 2014

In der ungedüngten Variante und in der mit 60 kg N/ha gedüngten Variante konnten kaum Sortenunterschiede zwischen den Reststickstoffgehalten im Boden festgestellt werden. Bei der Sorte Farmflex sank der N_{min}-Wert durch die N-Düngung mit 60 kg N/ha im Vergleich zur ungedüngten Variante um ca. 30 kg N_{min}/ha. Bei einer weiteren Steigerung der N-Düngung wurde der Sorteneinfluss auf den N_{min}-Wert deutlicher. Bei gleicher N-Düngung mit 120 kg N/ha lag der N_{min}-Wert der Sorte Ricardinio bei 82 kg N_{min}/ha, und somit um ca. 50 kg N_{min}/ha über dem N_{min}-Wert der Sorte Marleen. Bei überhöhter N-Düngung vergrößerten sich zwar die Unterschiede zwischen den Sorten in den N-Düngungsvarianten, es konnte jedoch kein einheitlicher Sorteneffekt auf den N_{min}-Wert mehr festgestellt werden. Dies war auch zu Beginn der Sickerwasserperiode der Fall. Die Ergebnisse der Herbst-N_{min}-Probenahme und der daraus errechneten potentiellen Nitratkonzentration im Sickerwasser werden in Abbildung 93 gezeigt.

Am Standort Wehnen war der Einfluss der Höhe der N-Düngung auf den Silomaisertrag deutlich erkennbar. Das anhand von Produkt- und Faktorpreis errechnete ökonomische Optimum für die N-Düngung der drei Sorten variierte am Standort Wehnen kaum. In der ungedüngten Variante wurde der höchste Ertrag (181 dt TM/ha) mit der Sorte Ricardinio erzielt; ebenso in der mit 60 kg N/ha gedüngten Variante. Bereits bei einer N-Düngung von 120 kg N/ha wurden mit der Sorte Marleen 224 dt TM/ha geerntet. Der Ertrag der Sorte Marleen wurde durch eine Steigerung der N-Düngung darüber hinaus nicht weiter erhöht. Bei allen drei Sorten kam es bei deutlich überhöhter N-Düngung von 300 kg N/ha am Standort Wehnen zu Mindererträgen

Wie schon direkt nach der Ernte, waren auch zu Beginn der Sickerwasserperiode besonders bei überhöhter N-Düngung Sortenunterschiede zwischen den auswaschungsgefährdeten Reststickstoffgehalten im Boden deutlich erkennbar.

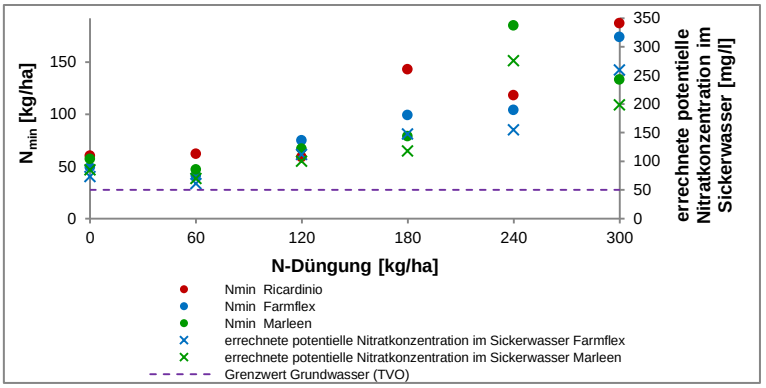


Abbildung 93: Herbst-N_{min}-Werte nach Silomais zu Beginn der Sickerwasserperiode und errechnete potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser; Versuchsstandort Wehnen;

Bei einer N-Düngung von 180 kg N/ha variierte der Herbst-N_{min}-Wert sortenabhängig um 64 kg N/ha. Besonders ausgeprägt waren die Sortenunterschiede jedoch zwischen den auswaschungsgefährdeten Reststickstoffgehalten im Herbst im Boden in der mit 240 kg N/ha deutlich überdüngten Variante. Wie auch an den beiden anderen Versuchsstandorten hatte die Sorte neben der Höhe der N-Düngung ebenfalls einen Einfluss auf die N-Bilanz. Die N-Bilanzen der drei Sorten in Abhängigkeit von der Höhe der N-Düngung sind in Abbildung 94 dargestellt.

In der ungedüngten Variante und in der mit 60 kg N/ha gedüngten Variante konnte kein einheitlicher Sorteneinfluss auf die N-Bilanz festgestellt werden. Bei einer weiteren Steigerung der N-Düngung zeigten sich klare Abstufungen der N-Bilanz, entsprechend des Rohproteingehaltes der Sorte. Bei einer N-Düngung mit 240 kg N/ha deutlich oberhalb der Sollwertempfehlung des ökonomischen Optimums waren die N-Bilanzen nahezu ausgeglichen.

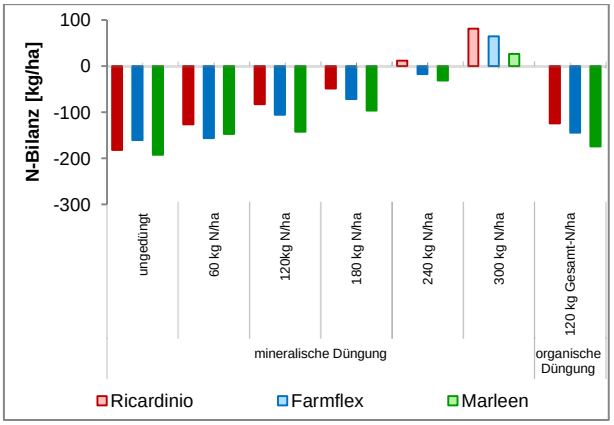


Abbildung 94: N-Bilanzen von Silomais bei gestaffelter N-Düngung; Versuchsstandort Wehnen, 2014

Nur in der höchsten N-Düngungsstufe, in der bereits ein Ertragsrückgang in Folge der stark überhöhten N-Düngung festgestellt werden konnte, war die N-Bilanz bei allen drei Sorten ausgeglichen.

Zusammenfassung

Überprüfung des kritischen Rohproteingehaltes von Silomais als Kontroll- bzw. Steuerungsinstrument für bedarfsgerechte und grundwasserschutzorientierte N-Düngung

- Im Mittel aller drei Versuchsjahre und Standorte lag der Rohproteingehalt bei einer N-Düngung in Höhe des ökonomischen Optimums bei ca. 6,6 % ± 0,4.
- Aufgrund des starken Sorten- und Standorteinflusses kann die bedarfsgerechte N-Düngung im Einzelfall nicht (allein) mit Hilfe des Rohproteingehaltes überprüft werden. Am Versuchsstandort Wehnen beispielsweise stieg der Rohproteingehalt der Sorte Ricardinio nicht über 6,5 %. Bei der Sorte Marleen hingegen lag der Rohproteingehalt am Standort Poppenburg bereits in der ungedüngten Variante bei 7,8 %.
- Die dreijährigen Ergebnisse werden in einem gesonderten Bericht veröffentlicht.
- Besonders bei überhöhter N-Düngung konnte sowohl direkt nach der Ernte als auch zu Beginn der Sickerwasserspende, an allen drei Standorten der für Mais typische, starke Anstieg der Reststickstoffgehalte im Herbst im Boden festgestellt werden.

Vergleich verschiedener N-Düngestrategien zu Silomais

Versuchsfrage

- 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 bodenbürtige Stickstoffnachlieferung eines Standortes 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. Die N-Nachlieferung des Standortes wird jedoch von vielen verschiedenen Faktoren, insbesondere durch die Witterung beeinflusst und ist deshalb nur schwer im Voraus einzuschätzen und bei der Düngeplanung zu berücksichtigen.
Ergebnisse vorangegangener Feldversuche zeigten, dass N-Düngung oberhalb des N-Düngebedarfs zu einem extrem starken Anstieg der Herbst-N_{min}-Werte führt. Die hohen auswaschungsgefährdeten Reststickstoffgehalte können jedoch durch eine präzise Einschätzung des N-Düngebedarfs vermieden werden.

Versuchsdurchführung

2013 wurde der Versuch zur Überprüfung des kritischen Rohproteingehaltes als Kontrollinstrument der bedarfsgerechten N-Düngung zu Silomais um drei Varianten zum Vergleich verschiedener N-Düngestrategien und um einen vierten Standort ergänzt. Als vierter Versuchsstandort kam Werlte im Landkreis Emsland hinzu. Hier wurde mit der Sorte Farmflex eine N-Düngestaffel mit ergänzenden Varianten zum Vergleich der N-Düngestrategien angelegt. Die N-Düngung in den Varianten mit einer N-Düngung von 180 kg N/ha und mehr wurde in zwei Gaben aufgeteilt. Neben den untersuchten Strategien zur Ermittlung des N-Düngebedarfs wurde in Werlte ebenfalls eine Variante mit organischer Düngung zur Validierung der Mineraldüngeräquivalente angelegt. Die im Versuch untersuchten N-Düngestrategien sind in Abbildung 95 dargestellt. Die Versuchsstandorte Poppenburg, Rockstedt und Wehnen wurden bereits im vorangegangenen Kapitel beschrieben.

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 N_{min}-Wert in einer Tiefe von 0-60 cm berücksichtigt. Zusätzlich wurden weitere Korrekturfaktoren, wie langjährige organische Düngung oder vorangegangene Zwischenfrüchte berücksichtigt.

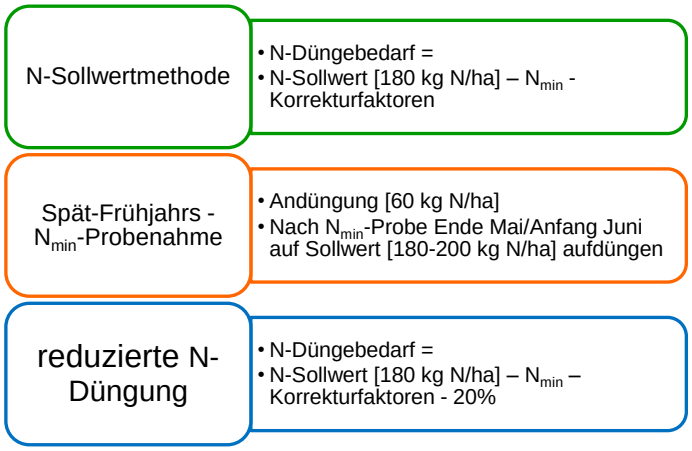


Abbildung 95: Im Versuch untersuchte Strategien zur Ermittlung des N-Düngebedarfs

Die N-Sollwertmethode ist zusätzlich im Anhang unter „N-Düngeempfehlungen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen“ (Seite 106) ausführlich erläutert. Im Rahmen der Novellierung der Düngeverordnung und einem in diesem Rahmen erarbeiteten, bundeseinheitlichen N-Sollwertschemas wird in Zukunft der Frühjahrs-N_{min}-Wert für Mais voraussichtlich in einer Tiefe von 0-90 cm zu berücksichtigen sein.

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 – Anfang Juni bei Bedarf auf einen Sollwert von 180 kg N/ha nachgedüngt. Dieses Verfahren ist auch im „Ratgeber Pflanzenbau und Pflanzenschutz“ (Ausgabe 2014) der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen sowie im Anwenderhandbuch für die Zusatzberatung Wasserschutz beschrieben und wird auch als vegetationsbegleitendes Beratungsinstrument eingesetzt.

Bei der **reduzierten N-Düngung** wurde der N-Düngebedarf zunächst anhand des N-Sollwertschemas ermittelt und anschließend um **20 %** reduziert.

In allen drei Varianten wurden, wie in der begleitenden N-Düngestaffel die Auswirkungen auf die N-Dynamik im Boden –insbesondere auswaschungsgefährdete Reststickstoffgehalte im Herbst, Erträge und Qualitätsparameter untersucht.

Ergebnisse

Die Ergebnisse an den drei Versuchsstandorten sind im folgenden Kapitel aufgeführt. Eine Übersicht über die Ergebnisse der drei N-Düngestrategien ist im Anschluss daran in Tabelle 21 aufgestellt.

Mit Hilfe der mittleren Sickerwasserrate (Tabelle 1; Seite 7) und der Formel zur Berechnung der potentiellen Nitratkonzentration im Sickerwasser (Abbildung 6 Seite 6) wurde berechnet, bei welchem Herbst-N_{min}-Wert eine Nitratkonzentration von 50 mg Nitrat/l (Grenzwert der

Trinkwasserverordnung für oberflächennahes Grundwasser) im Sickerwasser nicht überschritten würde.

Die N-Bilanzen wurden aus N-Zufuhr in kg N/ha abzüglich der mit Hilfe des Rohproteingehaltes errechneten N-Abfuhr berechnet.

Versuchsstandort Poppenburg

Die Eigenschaften des Versuchsstandortes Poppenburg sind bereits in Tabelle 17 auf Seite 48 aufgeführt.

Die Ergebnisse der N_{min}-Untersuchungen direkt nach der Silomaisernte und die TM-Erträge am Standort Poppenburg sind in Abbildung 96 dargestellt. Die N_{min}-Werte lagen sowohl direkt nach der Ernte als auch zu Beginn der Sickerwasserperiode auf einem extrem hohen Niveau. Sehr hohe N_{min}-Werte wurden am Standort Poppenburg bereits in den vorangegangenen Versuchsjahren festgestellt. Auch 2014 führte eine Erhöhung der N-Düngung zu einem starken Anstieg der N_{min}-Werte.

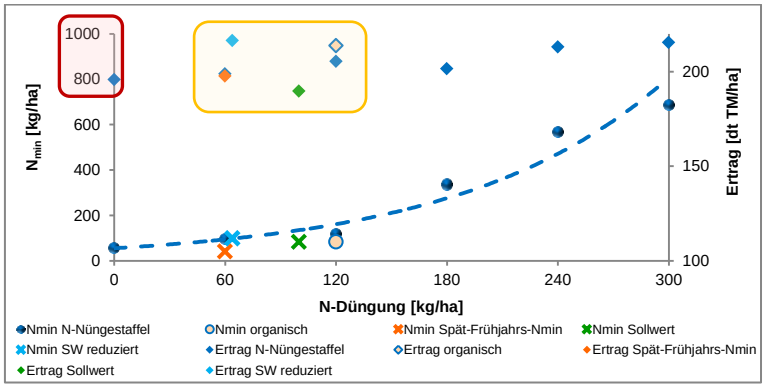


Abbildung 96: N_{min}-Werte direkt nach der Ernte und Trockenmasseertrag; Poppenburg; 2014

In den mit 240 kg N/ha und 300 kg N/ha überdüngten Varianten traten N_{min}-Werte weit über 200 kg N_{min}/ha auf. Direkt nach der Ernte trat der niedrigste N_{min}-Wert in einer der beiden mit 60 kg N/ha gedüngten Varianten auf.

Eine mit 60 kg N/ha gedüngte Variante war zunächst im Rahmen der N-Düngestaffel angelegt worden. In der Variante „Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme“ hatte die auf die Startdüngung von 60 kg N/ha folgende N_{min}-Untersuchung Ende Mai keinen weiteren N-Düngebedarf angezeigt, so dass in dieser Variante ebenfalls lediglich 60 kg N/ha gedüngt worden waren.

Die N_{min}-Werte in diesen zwei gleich gedüngten Varianten unterscheiden sich um 56 kg N_{min}/ha. In der Variante „Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme“ lag der N_{min}-Wert direkt nach der Ernte bei 41 kg N_{min}/ha in der im Rahmen der N-Düngestaffel ebenfalls mit 60 kg N/ha gedüngten Variante wurde ein N_{min}-Wert von 97 kg N_{min}/ha ermittelt.

Die TM-Erträge schwankten am Versuchsstandort Poppenburg sehr stark und unabhängig von der Höhe der N-Düngung. Dies konnte besonders im Bereich der N-Düngung zwischen 60 kg N/ha und 120 kg N/ha festgestellt werden. Ein statistisch absicherbarer Minderertrag im Vergleich zur Sollwertvariante, die in Poppenburg mit 100 kg N/ha gedüngt wurde, trat selbst in der Variante ohne jegliche N-Düngung nicht auf. Der höchste TM-Ertrag wurde in der Variante mit reduzierter Sollwertdüngung erzielt. Bei einer N-Düngung von 64 kg N/ha lag der Ertrag in dieser Variante bei 216 dt TM/ha.

Abbildung 97 zeigt die Herbst-N_{min}-Werte. Die Ergebnisse der Herbst-N_{min}-Probenahme schwankten stark und unabhängig von der Höhe der N-Düngung. Der N_{min}-Wert, bei dem der Grenzwert für Grundwasser von 50 mg Nitrat/l im Sickerwasser erreicht wird, wurde mit Hilfe der Sickerwasserraten in Tabelle 1 (Seite 7) berechnet.

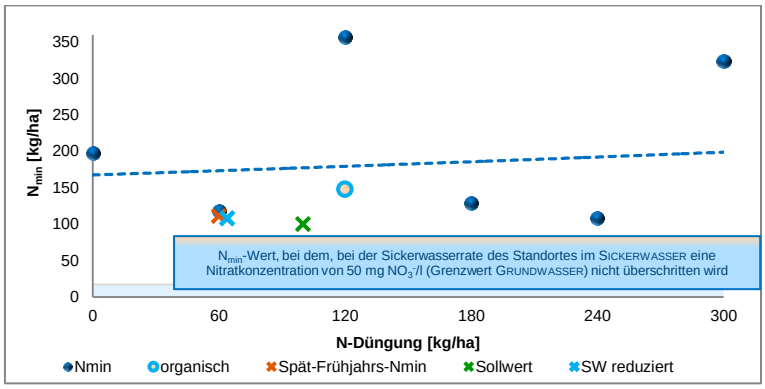


Abbildung 97: Herbst-N_{min}-Werte nach Silomais, bei unterschiedlich hoher N-Düngung; Poppenburg; 04.11.2014

Der höchste N_{min}-Wert zu Beginn der Sickerwasserperiode trat in der mit 120 kg N/ha gedüngten Variante auf und lag bei 356 kg N_{min}/ha. Bei einer niedrigen N-Düngung von 60 kg N/ha traten niedrigere N_{min}-Werte auf als in der völlig ungedüngten Variante.

Während der N_{min}-Wert in der ungedüngten Variante bis zum Beginn der Sickerwasserperiode von 57 kg N_{min}/ha auf beinahe 200 kg N_{min}/ha anstieg, lag der N_{min}-Wert bei einer N-Düngung von 60 kg N/ha bei 118, beziehungsweise 111 kg N_{min}/ha.

Die N-Bilanzen am Standort Poppenburg sind in Abbildung 98 abgebildet. Die niedrigste N-Bilanz trat in der völlig ungedüngten Variante auf. Der hohe Ertrag und der infolgedessen ebenfalls relativ hohe N-Entzug führten in der Variante mit reduzierter Sollwertdüngung zu einer N-Bilanz von -184 kg N/ha.

Eine nahezu ausgeglichene N-Bilanz (-9 kg N/ha) trat erst in der mit 240 kg N/ha gedüngten Variante auf. Durch die überhöhte N-Düngung konnte der Ertrag im Vergleich zur Sollwertvariante nicht weiter gesteigert werden, führte aber zu sehr hohen N_{min}-Werten direkt nach der Ernte.

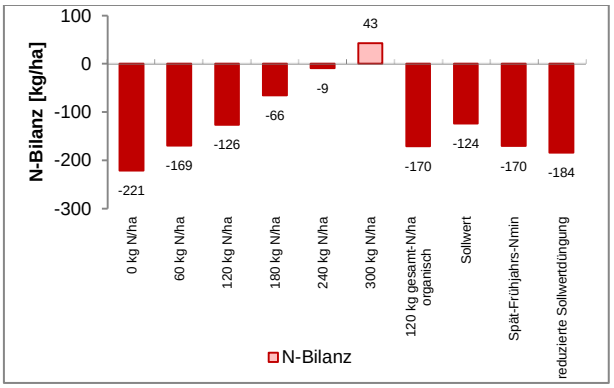


Abbildung 98: N-Bilanz von Silomais bei unterschiedlich hoher N-Düngung; Versuchsstandort Poppenburg; 2014

Versuchsstandort Rockstedt

Die N-Dynamik im Boden und die Erträge wurden am Versuchsstandort Rockstedt deutlich stärker von der Höhe der N-Düngung beeinflusst als am Versuchsstandort Poppenburg.

Abbildung 99 zeigt die Ergebnisse der N_{min}-Untersuchungen direkt nach der Ernte und die TM-Erträge. Bei einer Steigerung der N-Düngung über den Sollwert hinaus kam es zu einem starken Anstieg der N_{min}-Werte.

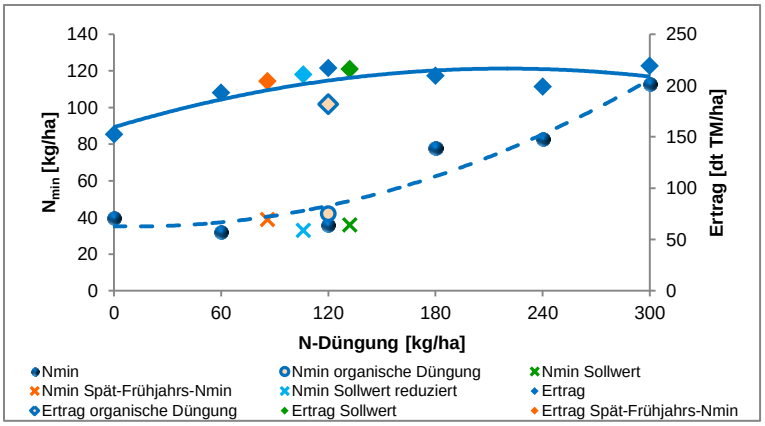


Abbildung 99: N_{min}-Werte direkt nach der Ernte und Trockenmasseertrag; Rockstedt; 2014

Während die N_{min}-Werte bei einer N-Düngung von 0 kg N/ha bis 132 kg N/ha in der nach Sollwert gedüngten Variante, auf einem einheitlichen Niveau zwischen 32 kg N_{min}/ha und 40 kg N_{min}/ha lagen, stiegen die Reststickstoffgehalte bei einer Erhöhung der N-Düngung darüber hinaus stark an.

Bei einer N-Düngung von 180 kg N/ha lag der N_{min}-Wert direkt nach der Ernte bereits bei 78 kg N_{min}/ha und stieg dann bis auf 113 kg N_{min}/ha bei deutlich überhöhter N-Düngung von 300 kg N/ha an.

In der ungedüngten und in der mit 60 kg N/ha gedüngten Variante kam es im Vergleich zur Sollwertvariante zu einem Ertragsrückgang. Zwischen den Erträgen in den drei Varianten zum Vergleich der N-Düngestrategien gab es keine statistisch absicherbaren Ertragsunterschiede. In der nach dem N-Sollwertschema gedüngten Variante lag der Ertrag bei 216 dt TM/ha. In der mit 240 kg N/ha gedüngten Variante der N-Düngestaffel kam es wegen zu hoher N Düngung bereits zu einem Ertragsrückgang auf 199 dt TM/ha. Durch eine Steigerung der N-Düngung über den Sollwert hinaus konnte der Ertrag nicht statistisch absicherbar erhöht werden.

Die Ergebnisse der Herbst-N_{min}-Probenahme zu Beginn der Sickerwasserperiode sind in Abbildung 100 dargestellt. Auch hier konnten im Bereich der N-Düngung von 0 kg N/ha bis 132 kg N/ha (N- Sollwertdüngung) keine Unterschiede zwischen den N_{min}-Werten festgestellt werden, die nicht im Fehlerbereich der N_{min}-Methode lagen.

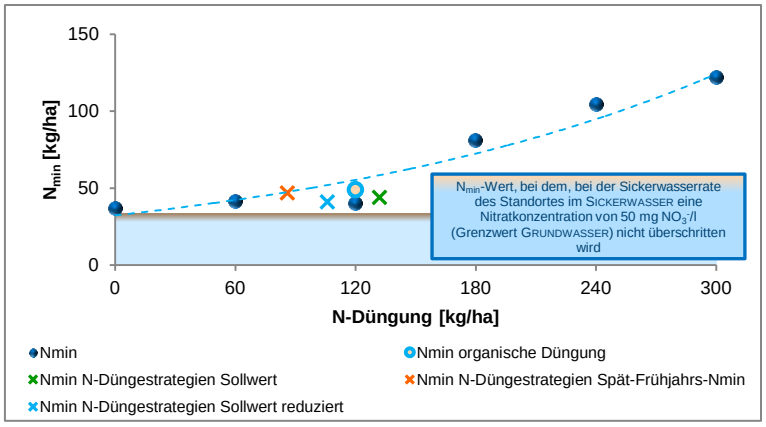


Abbildung 100: Herbst-N_{min}-Werte nach Silomais, bei unterschiedlich hoher N-Düngung; Rockstedt; 04.11.2014

Die Reststickstoffgehalte im Boden variierten in diesen Varianten von 37 kg N_{min}/ha in der ungedüngten Variante und 47 kg N_{min}/ha in der Variante „Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme“. Wurde die N-Düngung darüber hinaus erhöht, stiegen die Herbst-N_{min}-Werte auf 81 kg N_{min}/ha bei einer N-Düngung von 180 kg N/ha.

In der höchsten N-Düngungsstufe wurde auswaschungsgefährdete Reststickstoffgehalte von 122 kg N_{min}/ha gemessen.

Abbildung 101 zeigt die N-Bilanzen in den einzelnen Varianten 2014 am Standort Rockstedt.

Die niedrigste N-Bilanz wurde in der Variante mit reduzierter Sollwertdüngung ermittelt. In dieser Variante lag die N-Bilanz bei -107 kg N/ha. Die N-Bilanz in der Variante mit reduzierter Sollwertdüngung unterschied sich somit kaum von der N-Bilanz in der Variante ohne jegliche N-Düngung. In der N-Düngestaffel stieg die N-Bilanz mit einer Steigerung der N-Düngung.

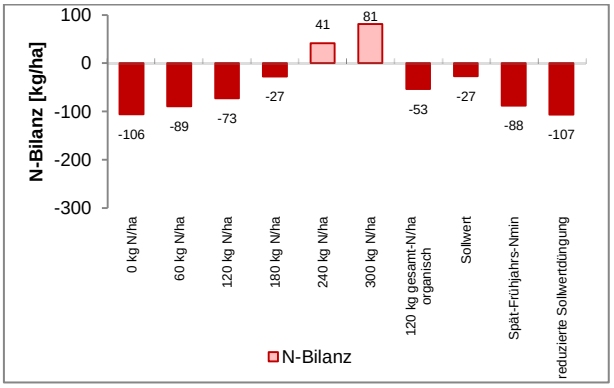


Abbildung 101: N-Bilanz von Silomais bei unterschiedlich hoher N-Düngung; Versuchsstandort Rockstedt; 2014

Durch den relativ niedrigen Ertrag in der mit 240 kg N/ha gedüngten Variante kam es am Standort Rockstedt bereits in dieser Variante zu einer positiven N-Bilanz, während an den Standorten Poppenburg und Wehnen lediglich in der höchsten N-Düngungsstufe der N-Düngestaffel eine positive N-Bilanz errechnet wurde.

Versuchsstandort Wehnen

In Abbildung 102 sind die Ergebnisse der N_{min}-Untersuchungen direkt nach der Ernte und die Ergebnisse der Ertragsermittlung dargestellt.

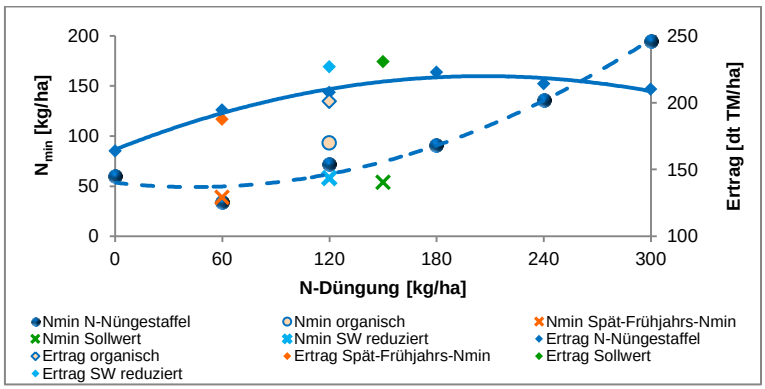


Abbildung 102: N_{min}-Werte direkt nach der Ernte und Trockenmasseertrag; Wehnen; 2014

In der ungedüngten Variante lagen die N_{min}-Werte direkt nach der Ernte bei 60 kg N_{min}/ha. Bei einer geringen N-Düngung von 60 kg N/ha wurde in der N-Düngestaffel ein N_{min}-Wert von 34 kg N_{min}/ha festgestellt.

Am Standort Wehnen wurde wie schon am Versuchsstandort Poppenburg in der Variante Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme kein weiterer N-Düngebedarf nach der ersten N-Düngergabe von 60 kg N/ha festgestellt. In dieser Variante, die ebenfalls mit 60 kg N/ha gedüngt worden war, lag der N_{min}-Wert bei 39 kg N_{min}/ha. In der nach Sollwert mit 150 kg N/ha gedüngten Variante lag der N_{min}-Wert direkt nach der Ernte bei 54 kg N_{min}/ha. Durch eine Reduzierung der Sollwertdüngung um 20 % konnte der N_{min}-Wert nicht gesenkt werden. In den Varianten mit überhöhter N-Düngung kam es zu einem deutlichen Anstieg des mineralisierten Stickstoffs im Boden. Bei einer N-Düngung von 240 kg N/ha stieg der N_{min}-Wert auf 136 kg N_{min}/ha und in der höchsten N-Düngungsstufe stieg der N_{min}-Wert auf beinahe 200 kg N_{min}/ha an.

Der Einfluss der N-Düngung auf das Ertragsniveau war am Standort Wehnen sehr deutlich zu erkennen. Der höchste Ertrag wurde in der nach Sollwert gedüngten Variante erzielt. Diese Variante war mit 150 kg N/ha gedüngt worden. In dieser Variante konnten 231 dt TM/ha geerntet werden. Eine Reduzierung der Sollwertdüngung um 20 % hatte keinen statistisch absicherbaren Ertragsrückgang zur Folge. In den beiden Varianten mit überhöhter N-Düngung von 240 kg N/ha und 300 kg N/ha kam es zu Mindererträgen im Vergleich zur Sollwertvariante. Der Ertrag bei deutlich überhöhter N-Düngung von 300 kg N/ha lag lediglich bei 210 dt TM/ha. Auch eine Reduzierung der N-Düngung führte am Versuchsstandort Wehnen zu einem Ertragsrückgang. Bereits in der mit 120 kg N/ha gedüngten Variante der N-Düngestaffel waren die Erträge niedriger als in der nach dem N-Sollwertschema gedüngten Variante. In der Variante „Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme, die mit 60 kg N/ha gedüngt worden war, wurden 188 dt TM/ha geerntet.

Abbildung 103 zeigt die Herbst-N_{min}-Werte zu Beginn der Sickerwasserperiode 2014 am Standort Wehnen.

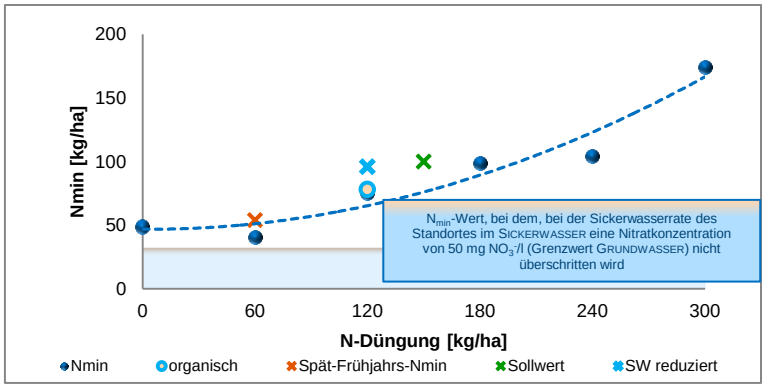


Abbildung 103: Herbst-N_{min}-Werte nach Silomais, bei unterschiedlich hoher N-Düngung; Wehnen; 04.11.2014

Auch zu Beginn der Sickerwasserperiode konnte am Standort Wehnen eine Reduzierung der Sollwertdüngung um 20 % die N_{min}-Werte nicht reduzieren.

In der nach N-Sollwert gedüngten Variante wurden auswaschungsgefährdete Reststickstoffgehalte von 100 kg N_{min}/ha ermittelt. Die Herbst-N_{min}-Werte in der Variante mit reduzierter Sollwertdüngung waren mit 96 kg N_{min}/ha nicht geringer. Der geringste Herbst-N_{min}-Wert wurde, wie schon direkt nach der Ernte, in der mit 60 kg N/ha gedüngten Variante der N-Düngestaffel gemessen. In dieser Variante lag der N_{min}-Wert zu Beginn der Sickerwasserperiode bei 41 kg N_{min}/ha. Bei einer N-Düngung von 180 kg N/ha lag der N_{min}-Wert mit 99 kg N_{min}/ha auf einem Niveau mit der Sollwertvariante und der Variante mit reduzierter Sollwertdüngung. Der höchste Herbst-N_{min}-Wert (174 kg N_{min}/ha) trat in der Variante der N-Düngestaffel mit der höchsten N-Düngung auf.

Die N-Bilanzen der untersuchten Varianten sind in Abbildung 104 dargestellt.

Eine Steigerung der N-Düngung von 0 kg N/ha auf 60 kg N/ha hatte keinen wesentlichen Anstieg der N-Bilanz zur Folge. Mit einer weiteren Erhöhung der N-Düngung von 60 kg N/ha auf 120 kg N/ha, und auch in den weiteren Varianten der N-Düngestaffel kam es zu einem deutlichen Anstieg der N-Bilanz durch Erhöhen der N-Düngung.

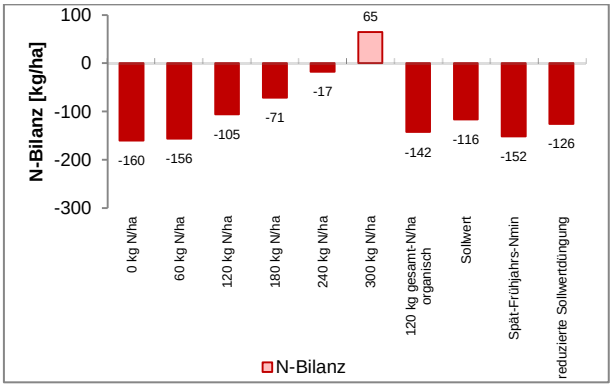


Abbildung 104: N-Bilanz von Silomais bei unterschiedlich hoher N-Düngung; Versuchsstandort Wehnen; 2014

Eine positive N-Bilanz (65 kg N/ha) lag nur in der mit 300 kg N/ha stark überdüngten, Variante der N-Düngestaffel vor. In der nach N-Sollwertschema gedüngten Variante, in der der höchste Ertrag erzielt worden war, war die N-Bilanz ebenfalls deutlich negativ (-116 kg N/ha).

Versuchsstandort Werlte

Die Lage der Versuchsfläche am Standort Werlte im Landkreis Emsland ist in Abbildung 106 dargestellt. Tabelle 20 gibt eine Übersicht über die Standorteigenschaften.

Abbildung 105: Versuchsfläche am Standort Werlte, 24.06.2014

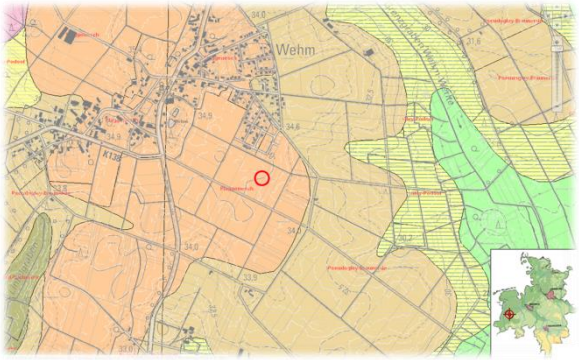


Abbildung 106: Lage der Versuchsfläche am Standort Werlte, 2014

Tabelle 20: Versuchsstandort Werlte, Versuch 648, 2014

Standorteigenschaften Versuchsstandort Werlte	
Bodenart:	Sand
Ackerzahl	41
pH	5,4
P	12,8 mg/100 g Boden
K	5 mg/100 g Boden
Mg	4 mg/100 g Boden
Frühjahrs N_{min} 0-60 cm	23 kg/ha
N-gesamt	0,14 %
Humus	2,5 %
C_{org}	1,44 %
C/N	10

Der Frühjahrs-N_{min}-Wert in einer Tiefe von 0-60 cm lag bei 23 kg N_{min}/ha. Bereits im Vorjahr wurde auf der Versuchsfläche Silomais angebaut. Durch einen technischen Fehler war in der Variante mit reduzierter Sollwertdüngung eine zu hohe N-Düngergabe ausgebracht worden.

Abbildung 107 zeigt die Ergebnisse der N_{min}-Untersuchungen direkt nach der Silomaisernte und der Ertragsermittlung.

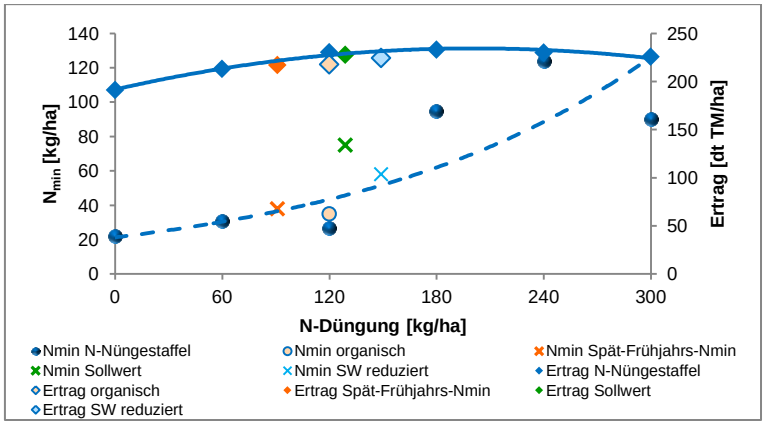


Abbildung 107: N_{min}-Werte direkt nach der Ernte und Trockenmasseertrag; Werlte; 2014

In der ungedüngten Variante lag der N_{min}-Wert direkt nach der Ernte bei 22 kg N_{min}/ha. Eine Steigerung der N-Düngung auf bis zu 120 kg N/ha hatte zunächst keinen Anstieg der Reststickstoffgehalte im Boden nach der Ernte zur Folge.

Eine weitere Erhöhung der N-Düngung führte zu einem überproportionalen Anstieg des mineralisierten Stickstoffs im Boden. In der nach Sollwert gedüngten Variante wurde direkt nach der Ernte bereits ein N_{min}-Wert von 75 kg N/ha festgestellt. Der höchste N_{min}-Wert direkt nach der Ernte (124 kg N_{min}/ha) wurde in der mit 240 kg N/ha überdüngten Variante gemessen.

Die Ertragskurve zeigte den für Silomais typischen flachen Verlauf. Nur in der ungedüngten Variante kam es zu einem statistisch absicherbaren Ertragsunterschied im Vergleich zur Sollwertvariante. In der ungedüngten Variante lag der Ertrag bei 191 dt TM/ha. Der höchste Ertrag (233 dt TM/ha) wurde in der mit 180 kg N/ha gedüngten Variante erzielt. In der höchsten N-Düngungsstufe wurden 226 dt TM/ha geerntet.

Die auswaschungsgefährdeten Reststickstoffgehalte zu Beginn der Sickerwasserperiode im Boden werden in Abbildung 108 gezeigt.

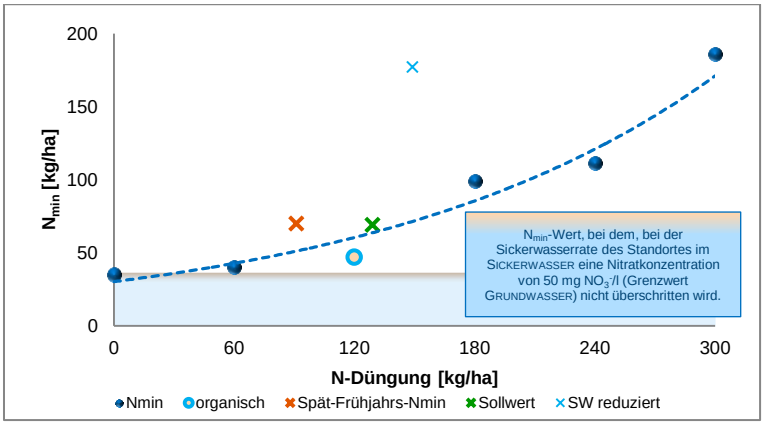


Abbildung 108: Herbst-N_{min}-Werte nach Silomais, bei unterschiedlich hoher N-Düngung; Werlte; 27.10.2014

Die Ergebnisse zeigen einen deutlichen Anstieg der Herbst-N_{min}-Werte mit steigender N-Düngung. Die geringsten Gehalte an mineralisiertem Stickstoff wurden in der ungedüngten Variante gemessen (35 kg N_{min}/ha).

In den mit 60 kg N/ha und 120 kg N/ha gedüngten Varianten lagen die N_{min}-Werte bei 40 kg N_{min}/ha und 48 kg N_{min}/ha auf dem gleichen Niveau. Eine weitere Steigerung der N-Düngung führte jedoch zu einem überproportionalen Anstieg der Reststickstoffgehalte im Boden. Bei überhöhter N-Düngung (240 kg N/ha) wurde ein N_{min}-Wert über 100 kg N_{min}/ha gemessen. Der höchste N_{min}-Wert trat in der am höchsten gedüngten Variante (300 kg N/ha) auf. In dieser Variante wurden 186 kg N_{min}/ha gemessen.

Die Höhe der N-Düngung hatte ebenfalls einen deutlichen Einfluss auf die N-Bilanzen. Die Ergebnisse der N-Bilanzierung anhand von N-Zufuhr und N-Abfuhr sind in Abbildung 109 dargestellt.

Mit steigender N-Düngung erhöhte sich am Standort Werlte, 2014 auch die N-Bilanz. In der mit 180 kg N/ha gedüngten Variante, in der der höchste Ertrag erzielt wurde, war die N-Bilanz, wie auch an den anderen Standorten, negativ (-36 g N/ha). Erst bei überhöhter N-Düngung war die N-Bilanz nahezu ausgeglichen.

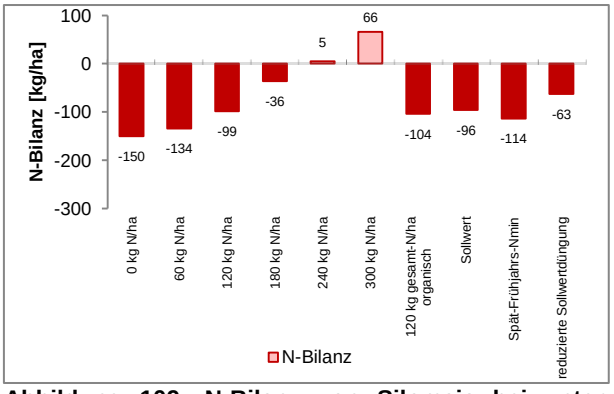


Abbildung 109: N-Bilanz von Silomais bei unterschiedlich hoher N-Düngung; Versuchsstandort Werlte; 2014

Tabelle 21 zeigt eine Übersicht über die Höhe der N-Düngung, die N_{min}-Werte direkt nach der Ernte und zu Beginn der Sickerwasserperiode und die Erträge in den anhand der untersuch-

ten N-Düngestrategien gedüngten Varianten. Zusätzlich sind die Ergebnisse der ungedüngten Variante angegeben.

Tabelle 21: Übersicht N-Düngung, N_{min}-Werte und Erträge bei unterschiedlichen N-Düngestrategien und ohne N-Düngung; 2014

Standort	Variante	N-Düngung [kg/ha]	N_{min} direkt nach der Ernte [kg/ha]	Herbst-N_{min} [kg/ha]	Ertrag [dt TM/ha]
Poppenburg	Ohne N-Düngung	0	57	197	196
	Sollwertdüngung	100	84	100	109
	Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme	60	41	111	198
	Reduzierte Sollwert-düngung	64	99	108	216
Rockstedt	Ohne N-Düngung	0	40	37	152
	Sollwertdüngung	132	36	44	216
	Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme	86	39	47	204
	Reduzierte Sollwert-düngung	106	33	41	210
Wehnen	Ohne N-Düngung	0	60	49	164
	Sollwertdüngung	150	54	100	230
	Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme	60	39	54	188
	Reduzierte Sollwert-düngung	120	58	96	227
Werlte	Ohne N-Düngung	0	22	35	191
	Sollwertdüngung	129	75	69	228
	Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme	91	38	70	217
	*Reduzierte Sollwert-düngung**	*149*	*58*	*177*	*224*
	**durch einen technischen Fehler bei der N-Düngung wurde in dieser Variante eine zu hohe N-Düngergabe ausgebracht*				

Zusammenfassung

Vergleich verschiedener N-Düngestrategien zu Silomais

- Die Höhe der N-Düngung hat im Maisanbau entscheidenden Einfluss auf die Höhe der Herbst-N_{min}-Werte. Häufig können die Herbst-N_{min}-Werte durch eine Reduzierung der N-Düngung deutlich gesenkt werden.
- Der N-Sollwert zu Silomais wurde weitgehend bestätigt. Eine weitere Reduzierung der N-Düngung kann an Standorten mit hoher bodenbürtiger N-Nachlieferung ohne Ertragsverluste möglich sein.
- Der anhand der untersuchten N-Düngestrategien ermittelte N-Düngebedarf lag zwischen 60 und 150 kg N/ha. In diesen Varianten lag der der Herbst-N_{min}-Wert zwischen 40 und 100 kg N_{min}/ha.
- Die N-Düngestaffel zeigt, dass eine weitere Steigerung der N-Düngung im Herbst hohe auswaschungsgefährdete Reststickstoffgehalte im Boden hinterlässt und nicht zu Mehrerträgen führt.
- Bei ausgeglichenen N-Bilanzen traten sehr hohe Herbst-N_{min}-Werte auf und die N-Düngung lag deutlich über dem errechneten ökonomischen Optimum.
- Der N-Bedarf sollte bei der Düngung auf keinen Fall überschritten werden, um Nitratauswaschung in das Grundwasser zu vermeiden. Die N-Düngeempfehlungen sind zu beachten.

Vegetationsbegleitende Untersuchungen

Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme

An den vier Versuchsstandorten wurden zusätzlich zu den N_{min}-Proben direkt nach der Ernte und zu Beginn der Sickerwasserperiode auch Spät-Frühjahrs-N_{min}-Proben gezogen.

Um den Einfluss des Probenahmetermins auf den N_{min}-Wert zu erfassen, wurden von Kalenderwoche 21 bis Kalenderwoche 24 in wöchentlichem Abstand N_{min}-Untersuchungen durchgeführt. Die Ergebnisse an den einzelnen Versuchsstandorten sind nachfolgend beschrieben.

Versuchsstandort Poppenburg

Am Versuchsstandort Poppenburg wurde 2014 die zweite N-Düngergabe am 13.Juni ausgebracht, so dass nur in drei N-Düngungsstufen die Auswirkungen der Höhe der N-Düngung auf den Spät-Frühjahrs-N_{min}-Wert erfasst werden konnten. Spät-Frühjahrs-N_{min}-Proben wurden in der ungedüngten Variante, in der mit 60 kg N/ha gedüngten Variante und in der mit 120 kg N/ha gedüngten Variante gezogen. Um die Schwankungsbreite der Spät-Frühjahrs-N_{min}-Werte bei gleicher N-Düngung zu erfassen, wurden in drei, bis zum Zeitpunkt der Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme einheitlich mit 120 kg N/ha gedüngten Flächen, N_{min}-Proben gezogen. Die Ergebnisse der N_{min}-Untersuchungen sind in Abbildung 110 dargestellt. Für die Darstellung der Ergebnisse in der mit 120 kg N/ha gedüngten Variante wurden die Ergebnisse der drei Wiederholungen gemittelt. Abbildung 111 zeigt die Einzelergebnisse der drei Wiederholungen.

Am Versuchsstandort Poppenburg lagen die Spät-Frühjahrs-N_{min}-Werte insgesamt auf einem sehr hohen Niveau. Auch in der ungedüngten Variante lag der Spät-Frühjahrs-N_{min}-Wert an allen vier Probenahmeterminen über 100 kg N_{min}/ha.

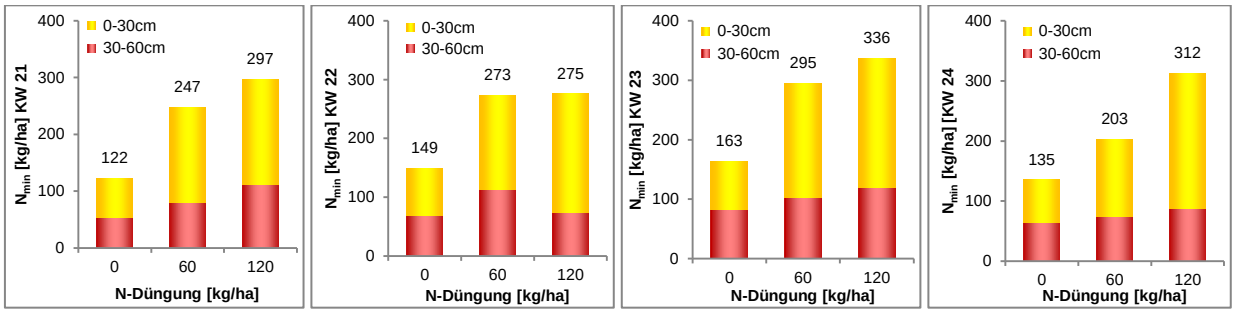


Abbildung 110: Ergebnisse der Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme in wöchentlichem Abstand (KW 21-KW 24) Versuchsstandort Poppenburg; 2014

Bei der Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probe in der 22. Kalenderwoche lag der N_{min}-Wert in der mit 60 kg N/ha gedüngten Variante auf dem gleichen Niveau wie in der mit 120 kg N/ha gedüngten Variante. An den drei anderen Terminen wurde ein eindeutiger Anstieg des Spät-Frühjahrs-N_{min}-Wertes mit steigender, vorangegangener N-Düngung festgestellt.

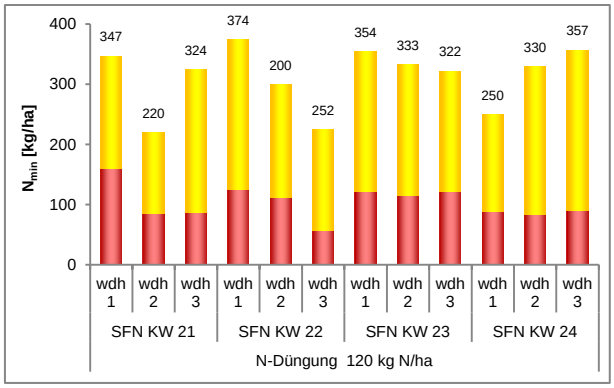


Abbildung 111: N_{min}-Werte in drei Wiederholungen bei vorangegangener N-Düngung von 120 kg N/ha; Versuchsstandort Poppenburg, 2014

Die Ergebnisse der drei Wiederholungen (Abbildung 107) zeigen, dass nach einer N-Düngung im Frühjahr von 120 kg N/ha die N_{min}-Werte auch bei gleichem Probenahmetermin variieren können. In zum Zeitpunkt der Probenahme identisch gedüngten Varianten schwankten die die Ergebnisse am gleichen Probenahmetermin um 100 kg N_{min}/ha.

Alle Ergebnisse zeigten jedoch deutlich, dass an diesem Standort kein weiterer N-Düngebedarf mehr bestand. Diese Aussage wird durch die Ergebnisse der Ertragsermittlung (Abbildung 96, Seite 61) bestätigt.

Versuchsstandort Rockstedt

Am Versuchsstandort Rockstedt wurde die zweite N-Düngergabe am 13.06.2014 ausgebracht. In Kalenderwoche 21 bis Kalenderwoche 23 konnten daher nur in der ungedüngten Variante, der mit 60 kg N/ha gedüngten Variante und der mit 120 kg N/ha gedüngten Variante Spät-Frühjahrs-N_{min}-Untersuchungen durchgeführt werden. Die Ergebnisse sind in Abbildung 112 dargestellt.

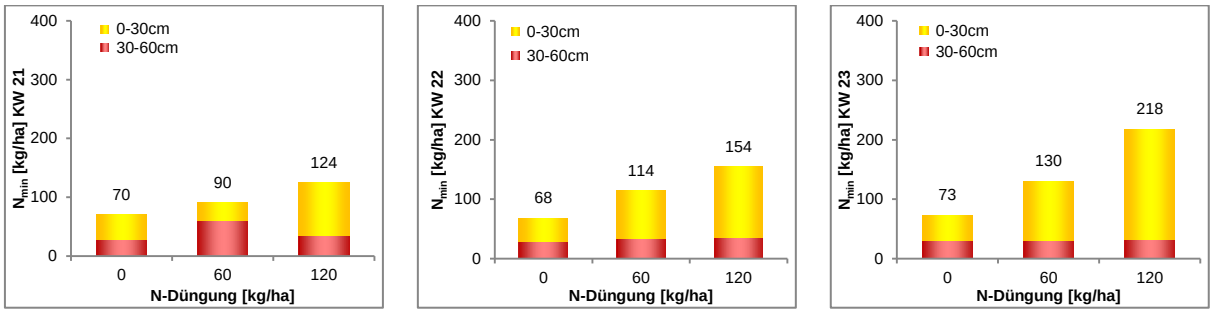


Abbildung 112: Ergebnisse der Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme in wöchentlichem Abstand (KW 21-KW 23) Versuchsstandort Rockstedt; 2014

An allen drei Probenahmeterminen konnte ein Anstieg des mineralisierten Stickstoffs im Boden mit steigender N-Düngung beobachtet werden. Tendenziell stiegen die N_{min}-Werte von der 21. Bis zur 23. Kalenderwoche in den beiden gedüngten Varianten an. Abbildung 113 zeigt die Ergebnisse der Spät-Frühjahrs-N_{min}-Untersuchungen in der 24. Kalenderwoche.

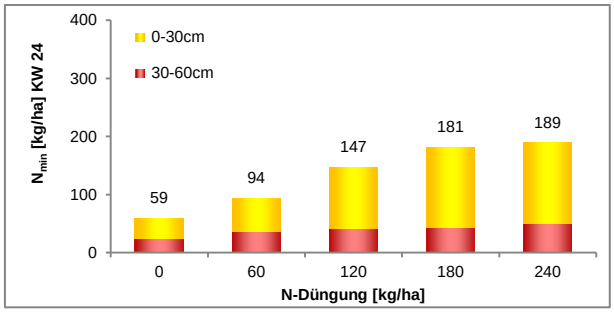


Abbildung 113: Ergebnisse der Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme KW 24; Versuchsstandort Rockstedt; 2014

Auch am vierten Probenahmetermin stiegen die N_{min}-Werte mit steigender N-Düngung. Die Ertragsermittlung zeigte, dass es bei einer Reduzierung der N-Düngung auf 60 kg N/ha oder bei einem Verzicht auf N-Düngung im Vergleich zur Sollwertvariante zu Mindererträgen kam.

Bei einer Orientierung an einem Zielwert zwischen 180 kg N_{min}/ha und 200 kg N_{min}/ha bei der Spät Frühjahrs-N_{min}-Probenahme, wurde der Bedarf einer weiteren N-Düngung am Standort Rockstedt durch die Ergebnisse der N_{min}-Untersuchungen in diesen beiden Varianten an allen vier Probenahmeterminen angezeigt.

Durch die Aufteilung der N-Düngung in zwei Teilgaben konnte die Varianz der N_{min}-Werte bei einheitlich mit 120 kg N/ha gedüngten Varianten am gleichen Probenahmetermin erfasst werden. Abbildung 114 zeigt die Ergebnisse in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Probenahme (Kalenderwoche 21 bis Kalenderwoche 23).

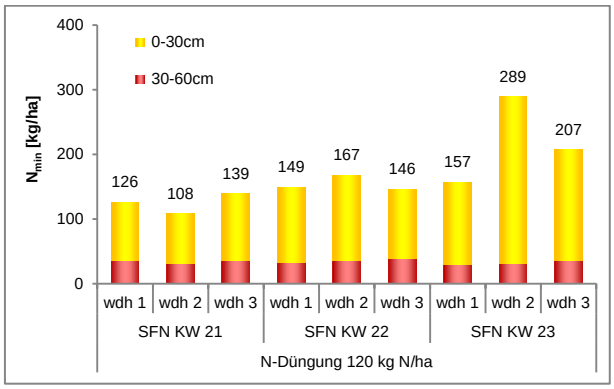


Abbildung 114: N_{min}-Werte in drei Wiederholungen bei vorangegangener N-Düngung von 120 kg N/ha; Versuchsstandort Rockstedt, 2014

Während die Unterschiede zwischen den N_{min}-Werten an den ersten beiden Probenahmeterminen in den drei Wiederholungen mit 20 kg N_{min}/ha bis 30 kg N_{min}/ha noch im normalen Schwankungsbereich der N_{min}-Methode lagen, waren die Unterschiede bei der N_{min}-Probenahme in Kalenderwoche 23 sehr stark ausgeprägt.

Die Ergebnisse 2014 am Standort Rockstedt sprechen für eine Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme Ende Mai. Dies würde außerdem eine bessere Anpassung an die Witterungsverhältnisse bei einer eventuell notwendigen zweiten N-Düngergabe ermöglichen.

Versuchsstandort Wehnen

Am Standort Wehnen wurde die zweite N-Düngung am 11.06.2014 ausgebracht. Im Probenahmezeitraum der Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme konnten daher nur in den ersten drei N-Düngungsstufen der N-Düngestaffel N_{min}-Untersuchungen durchgeführt werden. Abbildung 115 zeigt die Ergebnisse der Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme 2014 am Standort Wehnen.

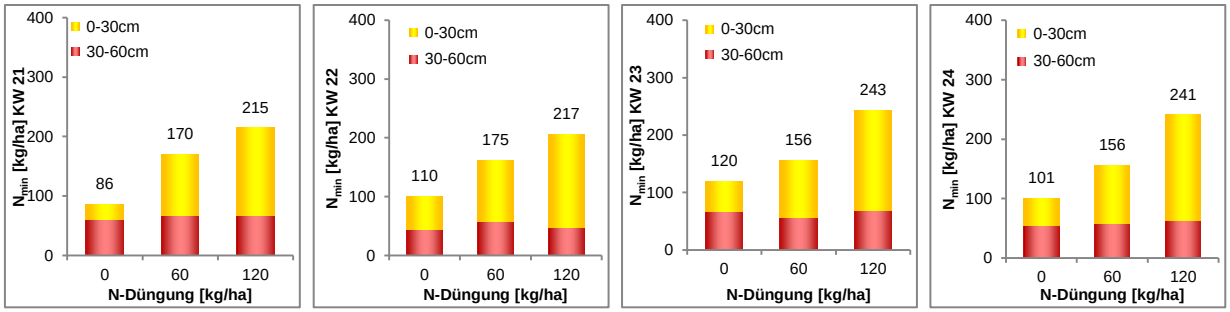


Abbildung 115: Ergebnisse der Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme in wöchentlichem Abstand (KW 21-KW 24) Versuchsstandort Wehnen; 2014

An allen drei Probenahmeterminen konnte in den drei beprobten Varianten ein Anstieg des mineralisierten Stickstoffs im Boden mit steigender N-Düngung festgestellt werden. Ein tendenzieller Anstieg der N_{min}-Werte von Kalenderwoche 21 bis Kalenderwoche 24 wie am Versuchsstandort Rockstedt wurde in Wehnen nicht beobachtet. Abbildung 116 zeigt die Varianz der N_{min}-Werte in einheitlich mit 120 kg N/ha gedüngten Varianten zu den vier Probenahmeterminen.

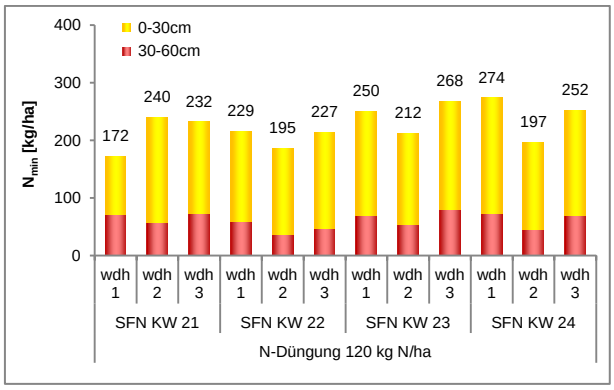


Abbildung 116: N_{min}-Werte in drei Wiederholungen bei vorangegangener N-Düngung von 120 kg N/ha; Versuchsstandort Wehnen, 2014

In Kalenderwoche 22, Kalenderwoche 23 und Kalenderwoche 24 lag der N_{min}-Wert in der zweiten Wiederholung unter dem im Mittel der drei Wiederholungen gemessenen N_{min}-Wert. Diese Schwankungen selbst in randomisierten Versuchsparzellen zeigen die hohe Bedeutung einer repräsentativen Probenahme, um aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen.

Versuchsstandort Werlte

Am Versuchsstandort Werlte erfolgte die zweite N-Düngung am 11.06.2014. Die Ergebnisse der N_{min}-Untersuchungen in den ersten drei Varianten der N-Düngestaffel sind in Abbildung 117 dargestellt.

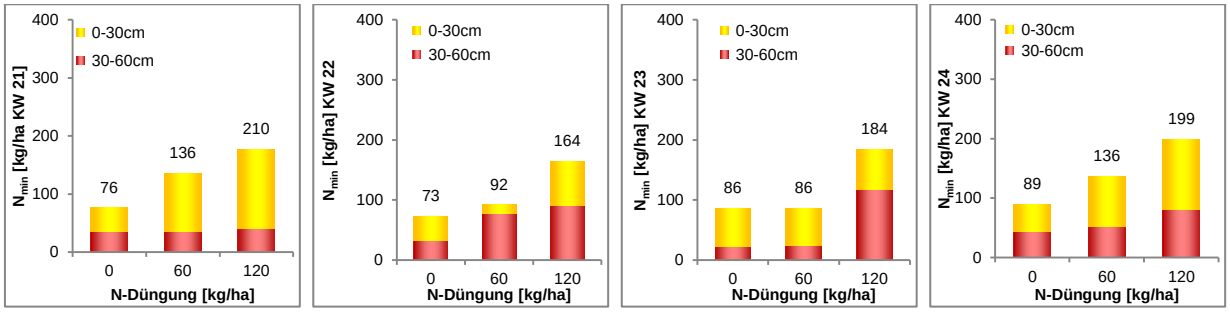


Abbildung 117: Ergebnisse der Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme in wöchentlichem Abstand (KW 21-KW 24) Versuchsstandort Werlte; 2014

Durch hohe Niederschläge (Abbildung 129, Seite 79) zwischen der N_{min}-Probenahme in der 21. Kalenderwoche und der Probenahme in der 22. Kalenderwoche kam es zu einer deutlichen Verlagerung des mineralisierten Stickstoffs von der oberen Bodenschicht (0-30 cm) in

die darunter liegende Bodenschicht (30-60 cm) vor allem in den beiden gedüngten Varianten. Ein leichter Rückgang des mineralisierten Stickstoffs lässt vermuten, dass in diesem Zeitraum durch die starken Niederschläge Nitrat ausgewaschen wurde. Die N_{min}-Werte der zum Zeitpunkt der Probenahme einheitlich mit 120 kg N/ha gedüngten Varianten, variierten am Standort Werlte besonders stark. Abbildung 118 zeigt die einzelnen Ergebnisse.

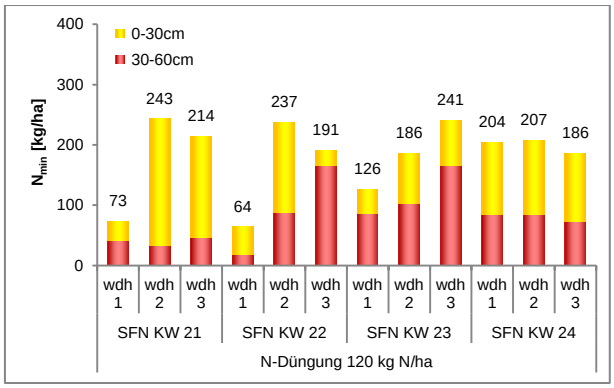


Abbildung 118: N_{min}-Werte in drei Wiederholungen bei vorangegangener N-Düngung von 120 kg N/ha; Versuchsstandort Werlte, 2014

Besonders an den ersten beiden Probenahmeterminen wurden in der ersten Wiederholung deutlich niedrigere N_{min}-Werte gemessen, als in den Wiederholungen zwei und drei. Bei den Probenahmen in der 24. Kalenderwoche lagen die Spät-Frühjahrs-N_{min}-Werte jedoch auf einem einheitlichen Niveau zwischen 180 kg N_{min}/ha und 207 kg N_{min}/ha.

Nitrachek

Bei der Nitrachekmethode wird die Nitratkonzentration im Pflanzensaft an der Halm-/Stängelbasis gemessen (Abbildung 119). So kann der Versorgungszustand der Pflanze erfasst werden, beispielsweise um den N-Düngebedarf zu überprüfen.

Ziel der Probenahme war es, die vorgegebene Spannbreite von 3000-5000 ppm Nitrat im Pflanzensaft bei ausreichender Stickstoffversorgung der Maispflanzen zu validieren (Abbildung 120). Ab einer Konzentration von 6000 ppm wird derzeit von Luxuskonsum ausgegangen. Die ersten Ergebnisse 2013 hatten diesen Zielwert weitgehend bestätigt. Es wurde jedoch deutlich, dass die Ergebnisse immer im Zusammenhang mit vorangegangenen Bewirtschaftungsmaßnahmen und dem Witterungsverlauf beurteilt werden müssen.

Abbildung 119: geeigneter Bereich für die Nitrachek-Probenahme

Daher ist die Methode beispielsweise bei Sommertrockenheit nur bedingt einsetzbar.

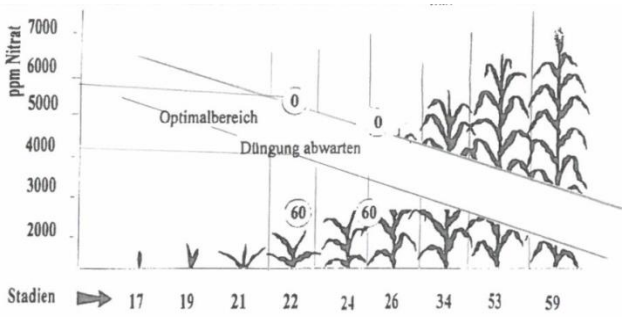


Abbildung 120: Angestrebte Nitratkonzentration im Pflanzensaft bei Mais, Dr. A. Nitsch, Hannoversche Land-und forstwirtschaftliche Zeitung, Mai 1996

Um die Ergebnisse in diesem Zusammenhang besser beurteilen zu können, werden Witterungsverlauf; Ausbringungszeitpunkt der N-Düngung und Termine der Probenahme an den vier Versuchsstandorten in den jeweiligen Kapiteln graphisch dargestellt.

Versuchsstandort Poppenburg

Am Versuchsstandort Poppenburg waren an vier Terminen Nitrachek Untersuchungen durchgeführt worden. Abbildung 121 zeigt den Witterungsverlauf und die Probenahmetermine.

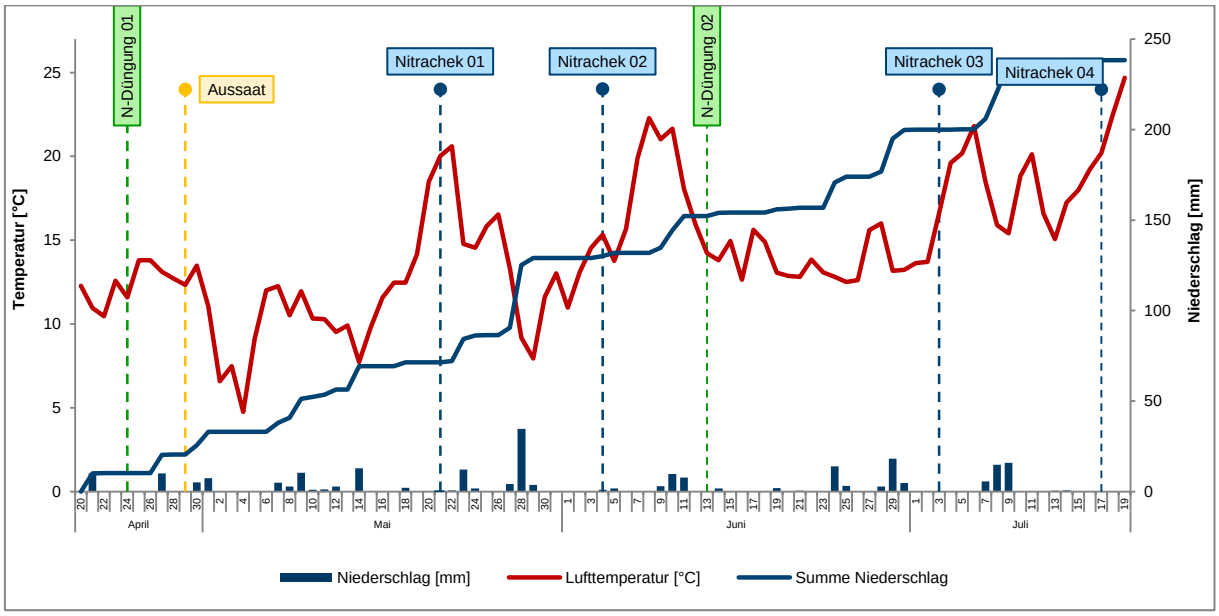


Abbildung 121: Witterungsverlauf und Probenahme Nitrachek; Versuchsstandort Poppenburg, 2014

Die Ergebnisse der Nitrachek-Untersuchungen in Poppenburg sind in Abbildung 122 dargestellt. In Übereinstimmung mit der sehr flach verlaufenden Ertragskurve am Standort Poppenburg lagen auch die Ergebnisse der Nitrachek-Untersuchungen unabhängig von der Höhe der N-Düngung auf einem ähnlichen Niveau und im angestrebten Bereich zwischen 3000 ppm und 5000 ppm.

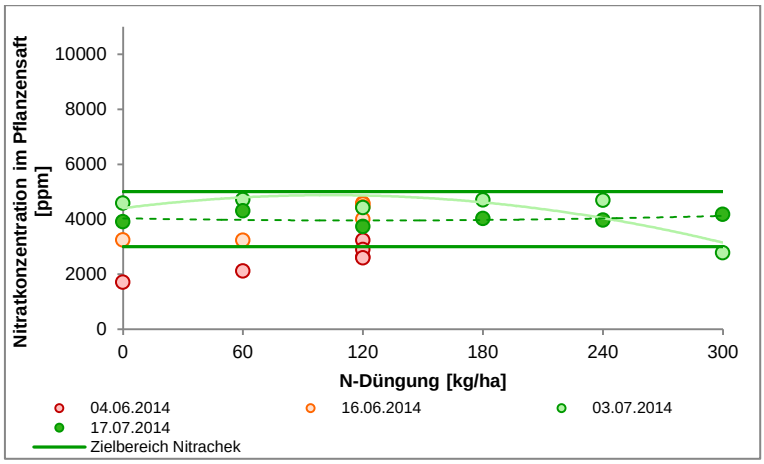


Abbildung 122: Nitratkonzentration im Pflanzensaft in Abhängigkeit von N-Düngung und Probenahmetermin; Poppenburg; 2014

Auch die Ertragsermittlung ergab bei der Sorte Farmflex keinen statistisch absicherbaren Ertragsunterschied zwischen der ungedüngten Variante und der nach Sollwert gedüngten Variante.

Versuchsstandort Rockstedt

Der Witterungsverlauf von Aussaat und erster N-Düngung am 27.04.2014 bis zur zweiten Nitrachek-Probename am 06.07.2014 ist in Abbildung 123 dargestellt.

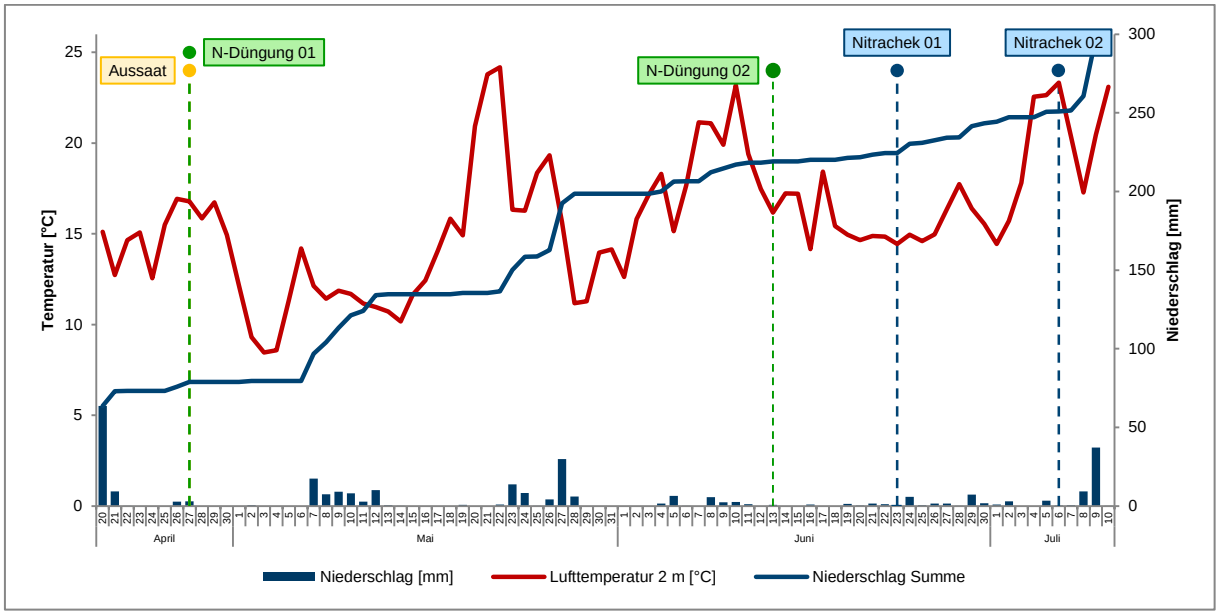


Abbildung 123: Witterungsverlauf und Probenahme Nitrachek; Versuchsstandort Rockstedt, 2014

Abbildung 124 zeigt die Ergebnisse der Nitrachek-Untersuchungen. Die Nitratkonzentration im Pflanzensaft wurde sowohl von der Höhe der N-Düngung als auch vom Probenahmetermin beeinflusst.

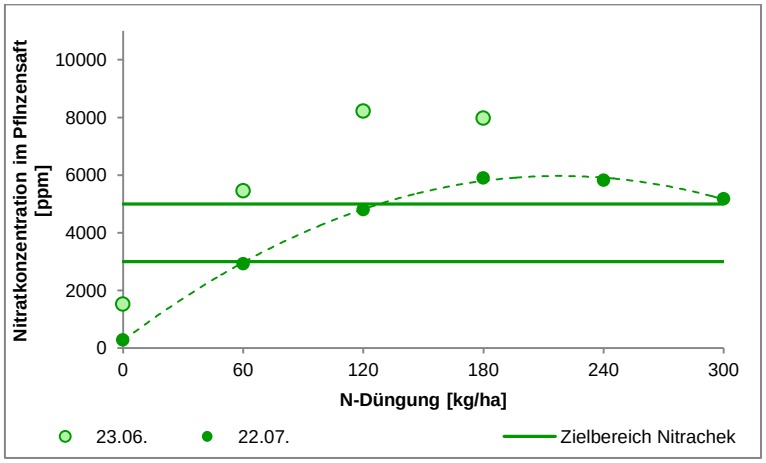


Abbildung 124: Nitratkonzentration im Pflanzensaft in Abhängigkeit von N-Düngung und Probenahmetermin; Rockstedt; 2014

Im Vergleich zu den anderen Versuchsstandorten lag die Nitratkonzentration im Pflanzensaft besonders in der ungedüngten Variante auf einem sehr niedrigen Niveau. Bei der ersten Probenahme am 23.06.2014 wurde in der ungedüngten Variante eine Nitratkonzentration von 1250 ppm gemessen.

Bei einer geringen N-Düngung von 60 kg N/ha lag die Nitratkonzentration im Pflanzensaft am ersten Probenahmetermin bereits bei 5460 ppm und stieg bei einer N-Düngung von 120 kg N/ha weiter auf 8220 ppm.

Bei der zweiten Probenahme am 22.07.2014 lagen die Ergebnisse insgesamt auf einem etwas niedrigeren Niveau. In der mit 60 kg N/ha und der mit 120 kg N/ha gedüngten Variante lag die Nitratkonzentration im Pflanzensaft im angestrebten Bereich. Eine Steigerung der N-Düngung über 180 kg N/ha hatte keinen weiteren Anstieg der Nitratkonzentration im Pflanzensaft zur Folge.

Versuchsstandort Wehnen

Der Witterungsverlauf von der Aussaat am 23.04.2014 bis zur zweiten Nitrachek-Probenahme am Versuchsstandort Wehnen ist in Abbildung 125 abgebildet. Die Abbildung zeigt deutlich die geringen Niederschläge zwischen der zweiten N-Düngung und dem ersten Nitrachek-Probenahmetermin. In diesem Zeitraum hatte die Wetterstation lediglich 2,2 mm Niederschlag aufgezeichnet.

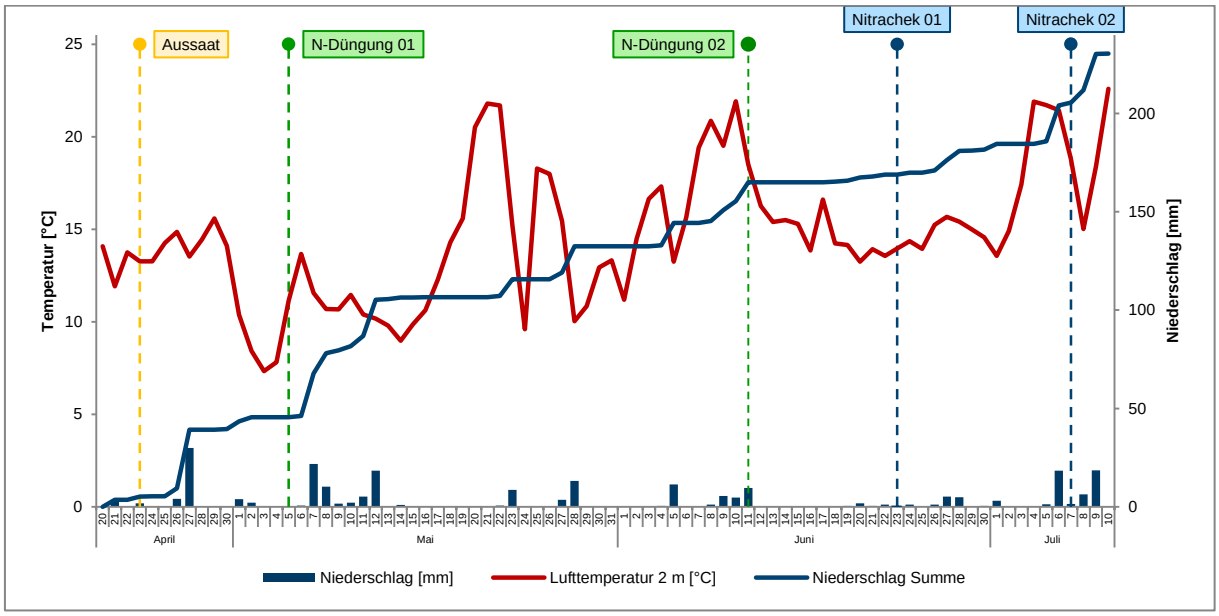


Abbildung 125: Witterungsverlauf und Probenahme Nitrachek; Versuchsstandort Wehnen, 2014

Die Ergebnisse der Nitrachek-Probenahme am Versuchsstandort Wehnen sind in Abbildung 126 dargestellt. Am Standort Wehnen waren nicht nur die Varianten der N-Düngestaffel beprobt worden, sondern auch die Varianten des Vergleichs unterschiedlicher Strategien zur N-Düngebedarfsermittlung bei Silomais.

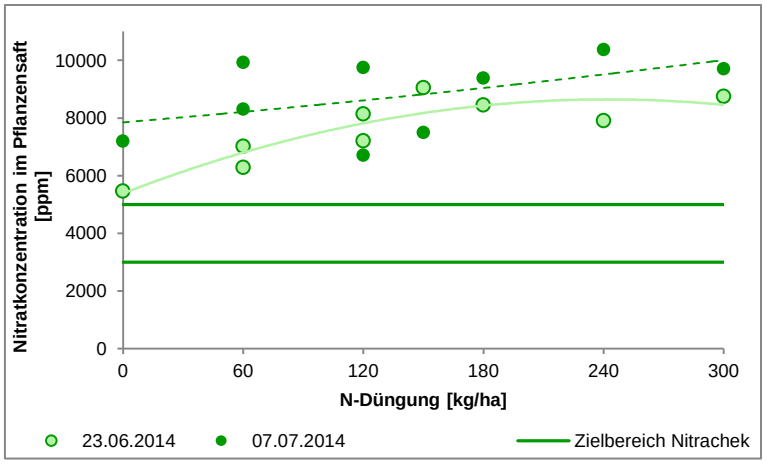


Abbildung 126: Nitratkonzentration im Pflanzensaft in Abhängigkeit von N-Düngung und Probenahmetermin; Wehnen; 2014

Am Standort Wehnen lag die Nitratkonzentration im Pflanzensaft an beiden Terminen und in allen Varianten oberhalb des angestrebten Zielwertes zwischen 3000 ppm und 5000 ppm Nitrat. Die höchste Nitratkonzentration im Pflanzensaft wurde am ersten Probenahmetermin in der mit 240 kg N/ha gedüngten Variante festgestellt. In dieser Variante lag die Nitratkonzentration bei 10.380 ppm. Die Trockenheit nach der zweiten N-Düngergabe ist wahrscheinlich dafür verantwortlich, dass die Nitratkonzentration im Pflanzensaft in den mit 180 kg N/ha und höher gedüngten Varianten, verglichen mit der mit 120 kg N/ha gedüngten Variante nicht weiter anstieg.

Am zweiten Probenahmetermin ist ein wesentlich deutlicherer Zusammenhang (r^2=0,8053) zwischen der Höhe der N-Düngung und der Nitratkonzentration im Pflanzensaft zu erkennbar.

Abbildung 127: Silomais; Variante 60 kg N/ha; Versuchsstandort Wehnen; 23.06.2014

Abbildung 128: Silomais; Variante 120 kg N/ha; Versuchsstandort Wehnen; 07.07.2014;

Versuchsstandort Werlte

Abbildung 129 zeigt den Witterungsverlauf am Versuchsstandort Werlte vom Zeitpunkt der ersten N-Düngung und Aussaat bis zur zweiten Nitrachek-Untersuchung am 08.07.2014.

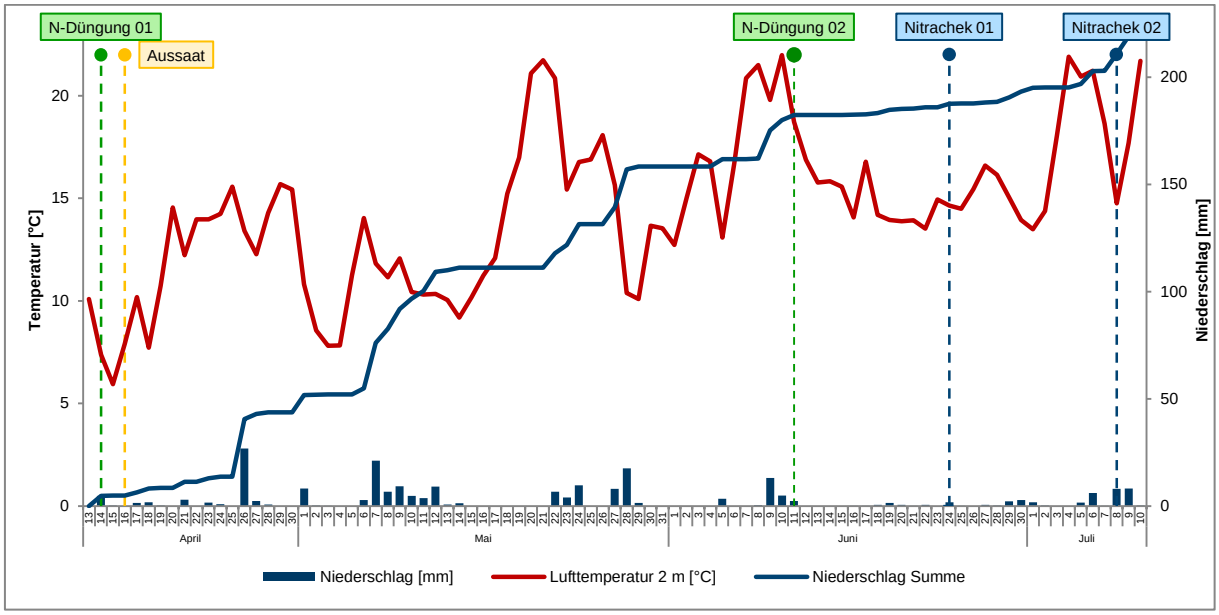


Abbildung 129: Witterungsverlauf und Probenahme Nitrachek; Versuchsstandort Werlte, 2014

In Werlte waren, wie auch am Standort Wehnen, zwischen der zweiten N-Düngung und der ersten Nitrachek-Probenahme kaum Niederschläge gefallen. Dies hatte auch am Versuchsstandort Werlte Einfluss auf die Nitratkonzentration im Pflanzensaft. Die Ergebnisse der Nitrachek-Analyse sind in Abbildung 130 dargestellt. Am Standort Werlte wurden zusätzlich zu den Varianten der N-Düngestaffel auch die Varianten zum Vergleich der verschiedenen N-Düngestrategien beprobt.

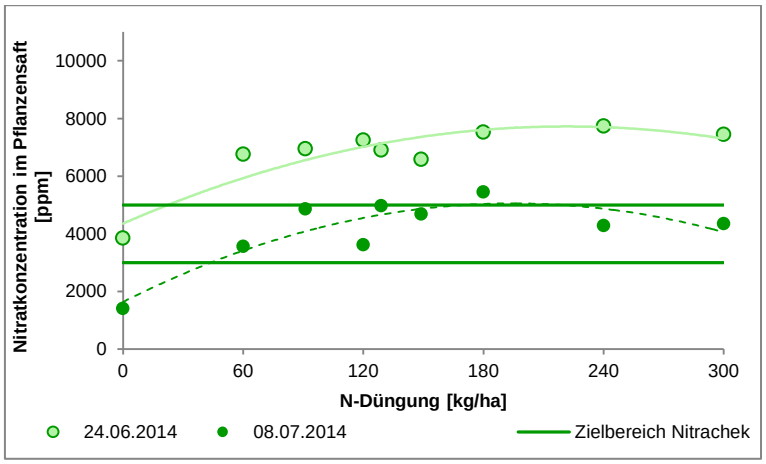


Abbildung 130: Nitratkonzentration im Pflanzensaft in Abhängigkeit von N-Düngung und Probenahmetermin; Werlte; 2014

Abbildung 131: Silomais; Versuchsfläche Werlte; 08.07.2014

Am ersten Probenahmetermin lag die Nitratkonzentration im Pflanzensaft in der ungedüngten Variante bei 3840 ppm, und somit im angestrebten Bereich zwischen 3000 und 5000 ppm. Bei einer weiteren Erhöhung der N-Düngung stieg die Nitratkonzentration auf bis zu 7733 ppm in der, mit 240 kg N/ha gedüngten Variante an. Obwohl optisch kaum Unter-

schiede zwischen den einzelnen Varianten zu erkennen waren (Abbildung 132), traten bei der Nitratkonzentration im Pflanzensaft deutliche Unterschiede zwischen den Varianten auf. Am zweiten Probenahmetermin lag die Nitratkonzentration im Pflanzensaft im Bereich der N-Düngung von 60 kg N/ha bis 149 kg N/ha im angestrebten Bereich zwischen 3000 ppm und 5000 ppm Nitrat im Pflanzensaft.

Abbildung 132: Silomais; gestaffelte N-Düngung; Versuchsstandort Werlte; 24.06.2014

Die höchste Nitratkonzentration im Pflanzensaft trat am zweiten Probenahmetermin bei einer N-Düngung von 180 kg N/ha auf (5450 ppm). Bei einer weiteren Steigerung der N-Düngung sank die Nitratkonzentration im Pflanzensaft wieder.

Zusammenfassung

Vegetationsbegleitende Untersuchungen:

- Auch im zweiten Versuchsjahr konnte ein deutlicher Witterungseinfluss auf die Nitratkonzentration im Pflanzensaft beobachtet werden. Bei Sommertrockenheit sind Rückschlüsse auf den N-Düngebedarf kaum möglich.
- Der Zielwert von 180 kg N_{min}/ha für die Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme wurde bisher im Mittel der Jahre und Standorte unter Berücksichtigung des Ertrags bestätigt. Der Schwankungsbereich in den einzelnen Jahren und Standorten war jedoch sehr hoch.
- Probenahmen in einem weiteren Versuchsjahr werden durchgeführt, um dreijährige Ergebnisse zu erhalten.
- Vegetationsbegleitende Untersuchungen können wichtige Erkenntnisse zum N-Düngebedarf liefern, müssen jedoch immer im Zusammenhang mit dem Witterungsverlauf, vorangegangenen Bewirtschaftungsmaßnahmen und Standorteigenschaften beurteilt werden, um Rückschlüsse für weiteren Handlungsbedarf zu ziehen.

Weiterentwicklung von Herbizidstrategien in Silomais – Verzicht auf Metolachlor und Terbuthylazin

Im Grundwasserschutz gewinnt die Vermeidung von Pflanzenschutzmitteleinträgen immer mehr an Bedeutung, da es immer häufiger, trotz korrekter Anwendung, zu Funden von Metaboliten zugelassener Pflanzenschutzmittel kommt. Die Ergebnisse des Pflanzenschutzmittel Monitorings in Niedersachsen sind auf der Internetseite des Niedersächsischen Landesbetriebs für Wasserwirtschaft Küsten- und Naturschutz (NLWKN) verfügbar (www.nlwkn.niedersachsen.de). Im grundwasserschutzorientierten Maisanbau wird vor allem immer wieder über den Einsatz von Herbiziden mit den Wirkstoffen Terbuthylazin und Metolachlor diskutiert. Bei den Funden handelt es sich häufig um nicht relevante Metaboliten dieser beiden Wirkstoffe, die in der Zulassung und durch die sogenannten Gesundheitlichen Vorsorgewerte (GOW) des UBA unterschiedlich bewertet werden. Es sind z. T. höhere Gehalte zulässig als aus trinkwasserhygienischer Sicht erwünscht sind, daher können Funde oberhalb der Vorsorgewerte vermehrt auftreten. Detaillierte Informationen zu den grundlegenden rechtlichen Rahmenbedingungen im Pflanzenschutz können unter www.folienserie.agroscience.de beim Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit heruntergeladen werden.

Durch den völligen Verzicht auf einzelne Wirkstoffe kann es jedoch in einigen Fällen zu Zielkonflikten zwischen Grundwasserschutz und Resistenzmanagement oder zu Schwierigkeiten bei der Bekämpfung einiger Unkräuter kommen.

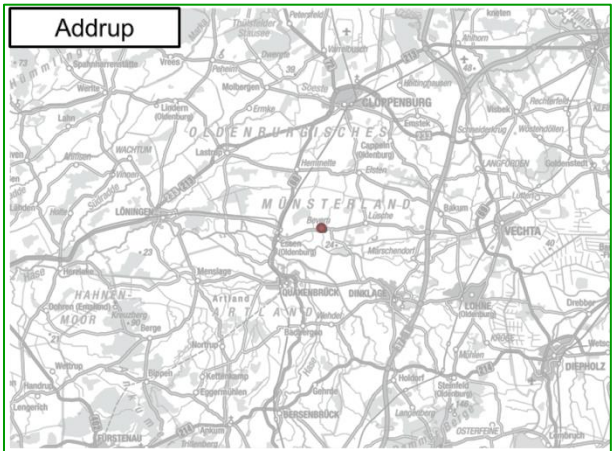
Das Pflanzenschutzamt der Landwirtschaftskammer Niedersachsen legte 2014 im Rahmen der Versuche zur grundwasserschutzorientierten Landbewirtschaftung, an drei Standorten, einen Versuch zur Weiterentwicklung von Herbizidstrategien im Maisanbau, unter Verzicht auf Terbuthylazin und Metolachlor an.

In Rahmen dieses Versuchs wurden vier verschiedene Varianten angelegt. In der Kontrollvariante wurde vollständig auf Unkrautbekämpfung verzichtet. In der konventionellen Variante wurde der Wirkungsgrad einer praxisüblichen Herbizidbehandlung im Silomais erfasst und mit den Wirkungsgraden von zwei Wasserschutzvarianten „Substitution des Wirkstoffes“ ohne Terbuthylazin und Metolachlor verglichen. Die eingesetzten Pflanzenschutzmittel, die Anwendungstermine und die Aufwandmengen an den drei Versuchsstandorten sind in den anschließenden Kapiteln standortspezifisch dargestellt. In beiden Wasserschutzvarianten „Substitution des Wirkstoffes“ wurden zwei Behandlungen durchgeführt, während in der konventionellen Vergleichsvariante nur eine Überfahrt notwendig war.

Ergebnisse

Versuchsstandort Addrup

Die Lage des Versuchsstandorts Addrup im Landkreis Cloppenburg ist in Abbildung 133 dargestellt. Die Aussaat erfolgte am 22.04.2014. Die Bonitur des Wirkungsgrades fand am 19.08.2014 statt.



NIBIS® Kartenserver (2014): Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Hannover, 10.12.2014

Abbildung 133: Lage des Versuchsstandorts Addrup

In der **konventionellen Variante** wurden die Pflanzenschutzmittel Calaris, Dual Gold und B 235, mit den Wirksoffen Terbuthylacin, Mesotrione (Calaris), S-Metolachlor (Dual Gold) und Bromoxynil (B 235) eingesetzt. Die Pflanzenschutzmaßnahme wurde am 27.05.2014 durchgeführt.

In den beiden Wasserschutzvarianten „Substitution der/s Wirkstoffe/s“ wurde der Herbizideinsatz in zwei Behandlungen gesplittet. In der **ersten Wasserschutzvariante** wurden am ersten Behandlungstermin, dem 14.05.2014, die Pflanzenschutzmittel Sulcogan (Wirkstoff Sulcotrion) und B 235 (Wirkstoff Bromoxynil) eingesetzt. Am 11.06.2014 wurden für die zweite Behandlung die Pflanzenschutzmittel Elumis und Peak mit den Wirkstoffen Bromoxynil, Mesotrione, Nicosulfuron und Prosulfuron verwendet.

In der **zweiten Wasserschutzvariante** wurden am ersten Behandlungstermin die Pflanzenschutzmittel Clio Super mit den Wirkstoffen Topramezone und Dimethenamid-P und ebenfalls B 235 verwendet. In der zweiten Pflanzenschutzbehandlung am 11.06.2014 wurden die Pflanzenschutzmittel Laudis und B 235 mit den Wirkstoffen Tembotrione und Bromoxynil eingesetzt.

Eine Übersicht über die Versuchsdurchführung in den einzelnen Varianten ist in Tabelle 22 dargestellt.

Tabelle 22: Pflanzenschutz und Wasserschutz; Varianten Standort Addrup, 2014

Variante	Durchführung				
	Termin	BBCH	Mittel	Aufwandmenge [l,kg/ha]	Wirkstoff
Kontrolle					
Konventionell	27.05.2014	13	Calaris	1,25	Terbuthylacin, Mesotrione
			Dual Gold	1	S-Metolachlor
			B 235	0,3	Bromoxynil
Wasserschutz 01	14.05.2014	11	Sulcogan	1	Sulcotrion
			B 235	0,3	Bromoxynil
	11.06.2014	18	Elumis	1,5	Mesotrione Nicosulfuron
			Peak	0,016	Nicosulfuron Prosulfuron
Wasserschutz 02	14.05.2014	11	Clio Super	1,5	Topramezone Dimethenamid-P
			B 235	0,3	Bromoxynil
	11.06.2014	18	Laudis	1,8	Tembotrione
			B 235	0,3	Bromoxynil

Die Ergebnisse der Bonitur sind in Abbildung 134 dargestellt. Am Standort Addrup traten Grüne Borstenhirse, Schwarzer Nachtschatten und Weißer Gänsefuß auf. Der Deckungsgrad des Silomais lag in der Kontrollvariante – ohne Pflanzenschutz - bei 39 % und in den drei anderen Varianten bei 50 %. In der Variante ohne Unkrautbekämpfung lag der Deckungsgrad der Unkräuter zwischen 10 % bei Grüner Borstenhirse und 36 % bei Weißem Gänsefuß. Der Deckungsgrad des Schwarzen Nachtschattens lag in der unbehandelten Kontrolle bei 13 %.

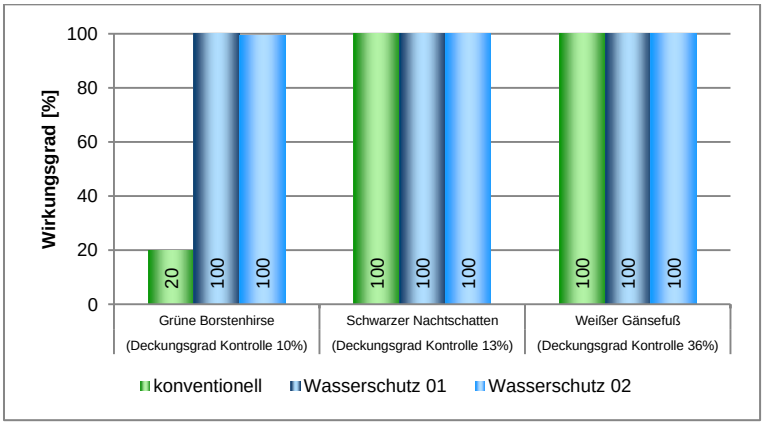


Abbildung 134: Wirkungsgrad alternativer Herbizidstrategien unter Verzicht auf Terbuthylacin und Metolachlor; Addrup, 2014

Bei Schwarzem Nachtschatten und Weißem Gänsefuß gab es keine Unterschiede im Wirkungsgrad zwischen den drei getesteten Varianten. Sowohl in der konventionellen Variante als auch in den beiden Wasserschutzvarianten lag der Wirkungsgrad hier bei 100 %.

Bei Grüner Borstenhirse war der Wirkungsgrad in den Wasserschutzvarianten wie schon für Schwarzen Nachtschatten und Weißen Gänsefuß bei 100 %. In der konventionellen Variante lag der Wirkungsgrad bei der Bekämpfung der Grünen Borstenhirse bei 20 %.

Versuchsstandort Bad Laer

Abbildung 135 zeigt die Lage des Versuchsstandortes Bad Laer im Landkreis Osnabrück. Die Aussaat erfolgte am 24.04.2014. Die Bonitur des Wirkungsgrades wurde am 23.07.2014 durchgeführt.

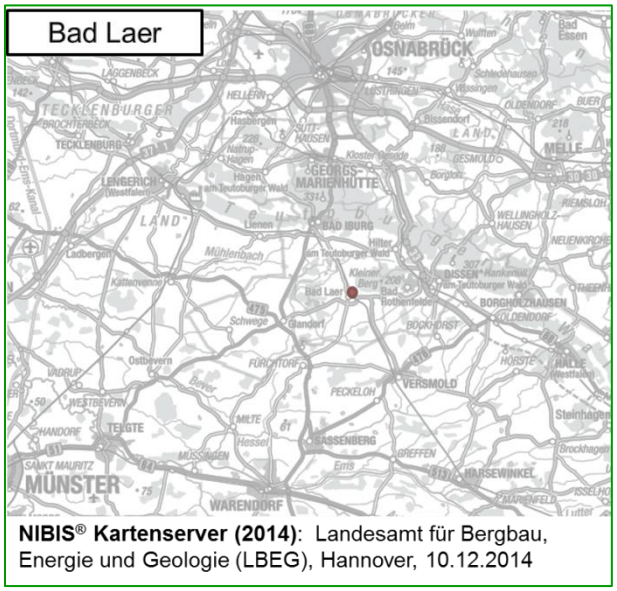


Abbildung 135: Lage des Versuchsstandorts Bad Laer

In der **konventionellen Variante** wurde eine Pflanzenschutzbehandlung am 27.05.2014 durchgeführt. In dieser Variante wurden die Pflanzenschutzmittel Calaris mit den Wirkstoffen Terbuthylacin und Mesotrione, Dual Gold mit dem Wirkstoff S-Metholachlor, B 235 (Wirkstoff Bromoxynil) und Nicogan mit dem Wirkstoff Nicosulfuron eingesetzt.

In den beiden Wasserschutzvarianten „Substitution der/s Wirkstoffe/s“ wurden zwei Unkrautbekämpfungsmaßnahmen, am 05.05.2014 und am 03.06.2014, durchgeführt.

In der **ersten Wasserschutzvariante** wurden am ersten Termin die Pflanzenschutzmittel Sulcogan (Wirkstoff Sulcotrion) und B 235 verwendet. Am 03.06.2014 wurde die zweite Pflanzenschutzbehandlung mit den Pflanzenschutzmitteln Elumis und Peak durchgeführt. Elumis enthält die Wirkstoffe Mesotrione und Nicosulfuron. Peak enthält ebenfalls Nicosulfuron und als zweiten Wirkstoff Prosulfuron.

In der **zweiten Wasserschutzvariante** wurde am ersten Termin Clio Super, mit den Wirkstoffen Topramezone und Dimethenamid-P, zusammen mit B 235 eingesetzt. Am zweiten Termin, den 03.06.2014 wurde noch einmal B 235, zum zweiten Termin jedoch in Kombination mit dem Pflanzenschutzmittel Laudis (Wirkstoff Tembotrione).

Tabelle 23 gibt eine Übersicht über die Pflanzenschutzmaßnahmen in den drei Varianten am Standort Bad Laer.

Tabelle 23: Pflanzenschutz und Wasserschutz; Varianten Standort Bad Laer, 2014

Variante	Durchführung				
	Termin	BBCH	Mittel	Aufwandmenge [l,kg/ha]	Wirkstoff
Kontrolle					
Konventionell	27.05.2014	13/14	Calaris	1,25	Terbuthylacin, Mesotrione
			Dual Gold	1	S-Metolachlor
			B 235	0,3	Bromoxynil
			Nicogan	1	Nicosulfuron
Wasserschutz 01	05.05.2014	10/11	Sulcogan	1	Sulcotrion
			B 235	0,3	Bromoxynil
	03.06.2014	15/16	Elumis	1	Mesotrione Nicosulfuron
			Peak	0,016	Nicosulfuron Prosulfuron
Wasserschutz 02	05.05.2014	10/11	Clio Super	1,5	Topramezone Dimethenamid-P
			B 235	0,3	Bromoxynil
	03.06.2014	15/16	Laudis	1,8	Tembotrione
			B 235	0,3	Bromoxynil

Am Versuchsstandort Bad Laer traten auf der Versuchsfläche Grüne Borstenhirse und weißer Gänsefuß, sowie Stern- und Vogelmiere auf. Der Deckungsgrad in der Kontrolle ohne Herbizideinsatz lag für Grüne Borstenhirse bei 12 %, für Stern- und Vogelmiere bei 7 % und für Weißen Gänsefuß bei 2 %. Der Deckungsgrad der Kulturpflanze Mais lag in der unbehandelten Kontrolle bei 79 % und stieg durch die Pflanzenschutzmaßnahmen auf 81 % in der konventionellen und 82 % in den beiden Wasserschutzvarianten an.

Die Ergebnisse der Bonitur des Wirkungsgrades sind in Abbildung 136 dargestellt.

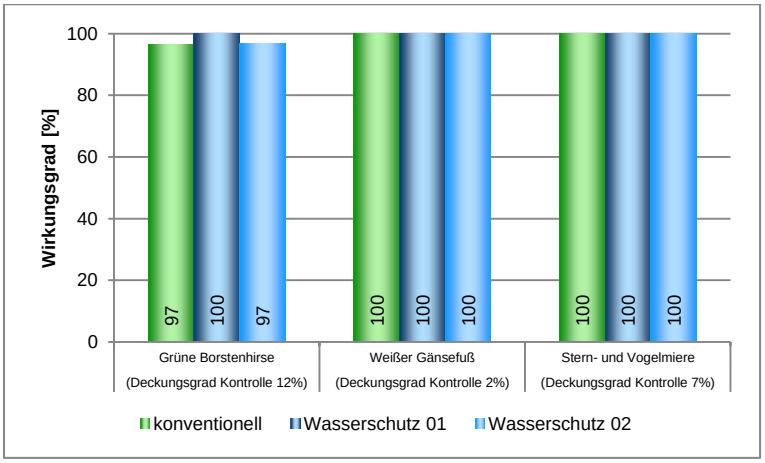


Abbildung 136: Wirkungsgrad alternativer Herbizidstrategien unter Verzicht auf Terbuthylazin und Metolachlor; Bad Laer, 2014

Sowohl für Weißen Gänsefuß, als auch für Stern- und Vogelmiere lag der Wirkungsgrad in allen drei Varianten bei 100 %. Nur bei Grüner Borstenhirse gab es Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten. In der ersten Wasserschutzvariante wurde ebenfalls ein Wirkungsgrad von 100 % erreicht.

In der konventionellen Variante und in der zweiten Wasserschutzvariante lag der Wirkungsgrad bei 97 %. Da erfolgreicher Pflanzenschutz langfristig von vielen, verschiedenen Faktoren beeinflusst wird, und weitere Aspekte, wie beispielsweise das Resistenzmanagement ebenfalls beachtet werden müssen, sollte die Vorgehensweise mit der Pflanzenschutzberatung vor Ort abgesprochen werden.

Versuchsstandort Marklohe

Abbildung 137 zeigt die Lage des Versuchsstandortes im Landkreis Nienburg. Der Mais wurde hier am 07.04.2014 ausgesät. Der Wirkungsgrad der einzelnen Unkrautbekämpfungsmaßnahmen wurde am 17.07.2014 bonitiert.

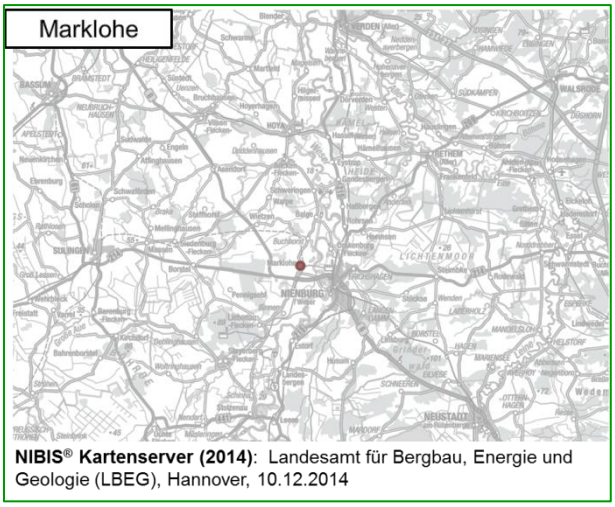


Abbildung 137: Lage des Versuchsstandorts Marklohe

In der **konventionellen Variante** wurden die Pflanzenschutzmittel Zintan Gold Pack, mit den Wirkstoffen S-Metholachlor, Terbuthylacin und Mesotrione, B 235 (Wirkstoff Bromoxynil) und Nicogan mit dem Wirkstoff Nicosulfuron verwendet. Die Herbizidbehandlung wurde am 20.05.2014 durchgeführt. In den beiden Wasserschutzvarianten wurden zwei Herbizidbehandlungen, jeweils am 02.05.2014 und am 27.05.2014 durchgeführt.

In der **ersten Wasserschutzvariante** „„Substitution des/r Wirkstoffe/s“ wurde am 02.05.2014 eine Herbizidbehandlung mit den Pflanzenschutzmitteln Sulcogan (Wirkstoff Sulcotrion) und B 235 durchgeführt. Bei der zweiten Herbizidbehandlung wurde das Pflanzenschutzmittel Elumis P-Pack mit den Wirkstoffen Mesotrione, Nicosulfuron und Prosulfuron eingesetzt.

In der **zweiten Wasserschutzvariante** wurde die Herbizidbehandlung am 02.05.2014 mit den Pflanzenschutzmitteln Clio Super (Wirkstoffe Topramezone und Dimethenamid-P) und B 235 durchgeführt. Am zweiten Termin wurde B 235 (Wirkstoff Bromoxynil) zusammen mit Laudis, mit dem Wirkstoff Tembotrione eingesetzt.

Tabelle 24 zeigt eine Übersicht über die einzelnen Varianten und die durchgeführten Pflanzenschutzmaßnahmen.

Tabelle 24: Pflanzenschutz und Wasserschutz; Varianten Standort Marklohe, 2014

Variante	Durchführung				
	Termin	BBCH	Mittel	Aufwandmenge [l,kg/ha]	Wirkstoff
Kontrolle					
Konventionell	20.05.2014	13-14	Zintan Gold Pack	2,25	S-Metolachlor Terbuthylacin Mesotrione
			B 235	0,3	Bromoxynil
			Nicogan	0,5	Nicosulfuron
Wasserschutz 01	02.05.2014	10-11	Sulcogan	1	Sulcotrion
			B 235	0,3	Bromoxynil
	27.05.2014	15-16	Elumis P-Pack	1,061	Mesotrione Nicosulfuron Prosulfuron
Wasserschutz 02	02.05.2014	10-11	Clio Super	1,5	Topramezone Dimethenamid-P
			B 235	0,3	Bromoxynil
	27.05.2014	15-16	Laudis	1,8	Tembotrione
			B 235	0,3	Bromoxynil

Die Boniturergebnisse am Standort Marklohe sind in Abbildung 138 dargestellt. Der Deckungsgrad der Unkräuter variierte in der Kontrollvariante von 5 % (Einjähriges Rispengras und Windenknöterich) bis zu 41 % (Weißer Gänsefuß). Der Deckungsgrad der Echten Kamille in der unbehandelten Variante lag bei 21 %. Außerdem traten am Standort Marklohe Grüne Borstenhirse und Ackerstiefmütterchen auf. Der Deckungsgrad der Grünen Borstenhirse lag in der Kontrollvariante bei 18 %. Der Deckungsgrad für Ackerstiefmütterchen lag bei 10 %. Bei Bekämpfung des Ackerstiefmütterchens konnte in allen drei Pflanzenschutzvarianten ein Wirkungsgrad von 100 % erzielt werden.

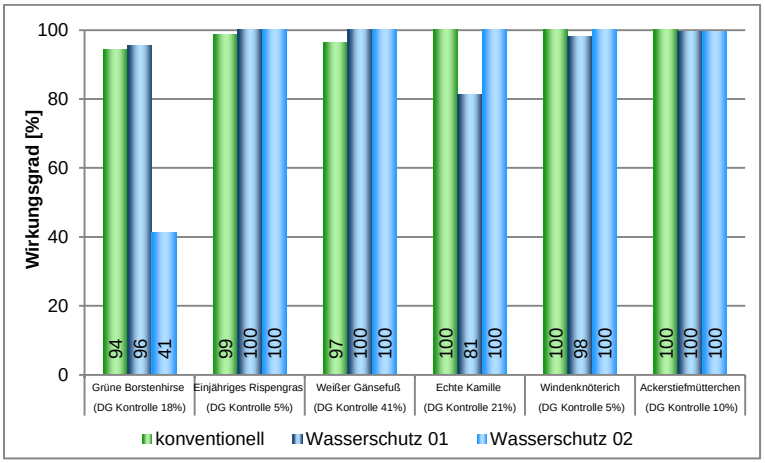


Abbildung 138: Wirkungsgrad alternativer Herbizidstrategien unter Verzicht auf Terbuthylazin und Metolachlor; Marklohe, 2014

Bei Einjährigem Rispengras und Weißem Gänsefuß lag der Wirkungsgrad in beiden Varianten ohne Terbuthylazin und Metolachlor bei 100 %. In der konventionellen Variante lag der Wirkungsgrad für einjähriges Rispengras bei 99 % und bei Weißem Gänsefuß bei 97 %.

Bei der Bekämpfung von Windenknöterich und Echter Kamille wurde jeweils in der konventionellen Variante und in der zweiten Wasserschutzvariante ein Wirkungsgrad von 100 % erreicht. In der ersten terbuthylazin- und metolachlorfreien Variante konnte hingegen bei Echter Kamille nur ein Wirkungsgrad von 81 % erreicht werden. Der Wirkungsgrad für die Bekämpfung von Windenknöterich lag bei 98 %. Bei Grüner Borstenhirse wurde der höchste

Wirkungsgrad in der ersten Wasserschutzvariante erzielt (96 %) der Wirkungsgrad in der konventionellen Variante lag bei 94 %. In der zweiten Wasserschutzvariante lag der Wirkungsgrad lediglich bei 41 %.

Um alle für den Grundwasserschutz, aber auch langfristig für erfolgreichen Pflanzenschutz wichtigen Aspekte zu berücksichtigen, sollte die Vorgehensweise bei Bedarf mit der Pflanzenschutzberatung vor Ort abgestimmt werden.

Zusammenfassung

In Bezug auf den Wirkungsgrad war ein Verzicht auf Terbuthylazin und Metolachlor im Maisanbau möglich. Hierfür war jedoch eine Splittung der Anwendung notwendig.

Um weitere Aspekte wie beispielsweise Resistenzmanagement oder die Bekämpfung standortspezifischer Problemunkräuter wie Hirsen oder Storchschnabel ebenfalls ausreichend zu berücksichtigen, sollte die Vorgehensweise mit der Pflanzenschutzberatung vor Ort abgestimmt werden. In Wasserschutzgebieten ist eine Umsetzung des Verzichts auf die Anwendung bestimmter Wirkstoffe im Rahmen Freiwilliger Vereinbarungen möglich, auch um entstehende Mehrkosten (Substitution von Boden- gegen Blattherbizide) auszugleichen. Hier bietet sich aus Sicht des Wasserschutzes beispielsweise die Kombination mit Untersaaten an, um zusätzlich die Gefahr der Nitratauswaschung nach der Maisernte zu reduzieren.

Da erfolgreicher Pflanzenschutz langfristig von vielen, verschiedenen Faktoren beeinflusst wird, und weitere Aspekte, wie beispielsweise das Resistenzmanagement ebenfalls beachtet werden müssen, sollte die Vorgehensweise mit der Pflanzenschutzberatung vor Ort abgesprochen werden.

2.3. Ergänzende N_{min}-Untersuchungen

Grasuntersaaten in Silomais

Versuchsfrage

- Können die Reststickstoffgehalte nach Mais durch Untersaaten reduziert werden?
- Wie beeinflussen Auswahl der Untersaat und Aussaatzeitpunkt die Herbst-N_{min}-Werte?
- Wie beeinflusst der Wuchstyp von Mais die N-Aufnahme der Untersaat?

Durch den späten Erntezeitpunkt bei Mais sind Untersaaten in maisbetonten Fruchtfolgen oft besser geeignet, den Stickstoff zu konservieren als beispielsweise Grünroggen als Zwischenfrucht. Durch Untersaaten können nicht nur die Nitratausträge in das Grundwasser verringert werden. Weitere positive Auswirkungen sind erhöhter Erosionsschutz, Verbesserung der Humusbilanz und eine verbesserte Befahrbarkeit der Flächen zur Maisernte. Sowohl der aktuelle Versuch, als auch frühere Ergebnisse zeigen, dass die Auswahl der Untersaat und der Aussaatzeitpunkt der Untersaat von entscheidender Bedeutung sind, um die Reststickstoffgehalte erfolgreich zu reduzieren und gleichzeitig das Ertragspotential des Silomais auszuschöpfen. Wüchsigere Untersaaten, wie beispielsweise Weidelgras-Mischungen können gegebenenfalls nach der Maisernte mehr Stickstoff aus dem Boden aufnehmen und vor Auswaschung bewahren als weniger wüchsige Untersaaten wie Rotschwingel; die Gefahr von Konkurrenzeffekten steigt jedoch bei wüchsigen Untersaaten; besonders bei früher Aussaat. Weitere Informationen zu Untersaaten in Mais befinden sich auf der Internetseite der Landwirtschaftskammer (www.lwk-niedersachsen, Webcode 01017714). Sowohl der Fachbereich für Grünland und Futterbau als auch im Pflanzenschutz führt die Landwirtschaftskammer Versuche zu Untersaaten im Silomaisanbau durch.

Durch die günstige Frühsommerwitterung im Jahr 2014 konnten sich die Untersaaten an den Versuchsstandorten Dasselsbruch und Wehnen gut etablieren. Abbildung 139 zeigt die Grasuntersaat am Versuchsstandort Dasselsbruch Ende August.

Abbildung 139: Untersaaten in Silomais, Dasselsbruch, 31.08.2014, 887

Versuchsdurchführung

2014 wurden zwei Versuche zu Grasuntersaaten in Silomais durchgeführt.

Versuch 887: Ein Versuch zu den Auswirkungen unterschiedlicher Grasuntersaaten und verschiedener Aussaatzeitpunkte auf N-Dynamik im Boden, Erträge und Qualitätsparameter wurde 2014 abgeschlossen. 2014 wurden im letzten Versuchsjahr keine Untersaaten mehr ausgesät, sondern auf den Versuchsparzellen nach der Ernte der Untersaat die Stickstoffnachlieferung zu darauffolgenden Silomais untersucht. Dies ist in Abbildung 140 veranschaulicht.

Abbildung 140: Ergänzende Untersuchungen zur N-Nachlieferung von Untersaaten.

Um die N-Nachlieferung im Folgejahr zu erfassen, wurde auf denselben Parzellen wieder Silomais ausgesät, auf denen jedoch bis auf die Unterfußdüngung keinerlei N-Dünger ausgebracht wurde.

Versuch 888: In einem 2014 neu angelegten Versuch werden die Auswirkungen unterschiedlicher Maiswuchstypen und verschiedener Untersaaten auf N-Dynamik im Boden, Erträge und Qualitätsparameter untersucht. Die Blattstellung des Maises beeinflusst den Lichteinfall in den Bestand (WANG (2001)) und somit auch die Intensität der Beschattung der Untersaat. Tabelle 25 zeigt die Zusammensetzung der verwendeten Untersaaten.

Tabelle 25: Übersicht Untersaatenzusammensetzung; Versuch 888

Untersaat	Zusammensetzung
Humus Plus Energie (DSV)	85 % Welsches Weidelgras, 15 % Bastard Weidelgras
Q-Gras Mais (Meiners Saaten)	50 % Welsches Weidelgras, 50 % Deutsches Weidelgras
Terra Vis (Agravis)	50 % Welsches Weidelgras, 50 % Deutsches Weidelgras (Rasensorte)

Beide Versuche wurden an den Standorten Dasselsbruch im Landkreis Celle und Wehnen im Landkreis Ammerland angelegt.

Ergebnisse

N-Nachlieferung der Untersaaten

N_{min}-Werte

Die Ergebnisse der N_{min}-Probenahmen direkt nach der Silomaisernte und zu Beginn der Sickerwasserperiode sind in Abbildung 141 und Abbildung 142 dargestellt. Sowohl direkt nach der Silomaisernte als auch zu Beginn der Sickerwasserperiode wurde in der Variante ohne Untersaat am Standort Dasselsbruch der höchste N_{min}-Wert festgestellt. Direkt nach der Maisernte traten jedoch zwischen den N_{min}-Werten in den drei beprobten Varianten keine Unterschiede auf, die nicht im Fehlerbereich der N_{min}-Methode lagen.

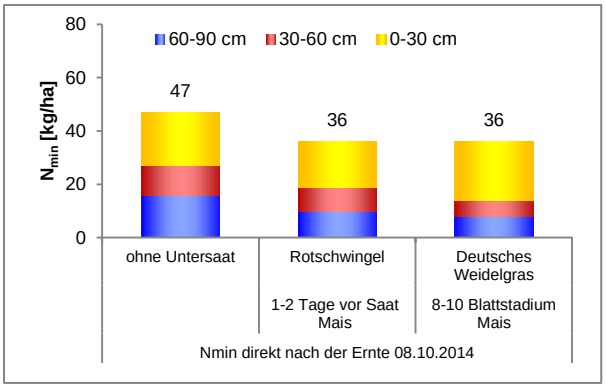


Abbildung 141: N_{min}-Werte in Silomais mit Untersaaten, direkt nach der Silomaisernte, Dasselsbruch, 2014, 887

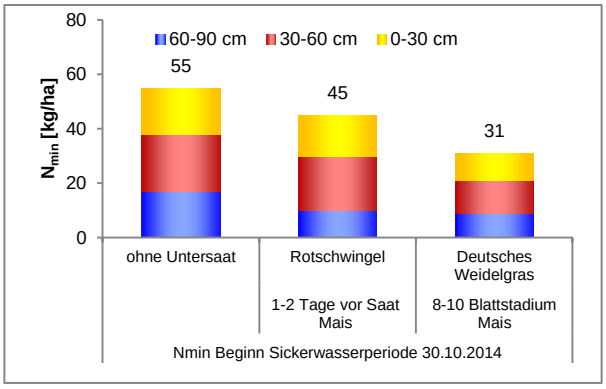


Abbildung 142: N_{min}-Werte in Silomais mit Untersaaten, zu Beginn der Sickerwasserperiode, Dasselsbruch, 2014, 887

Bis zum Beginn der Sickerwasserperiode, etwa drei Wochen später, lagen die N_{min}-Werte auf einem ähnlichen Niveau. Der niedrigste N_{min}-Wert trat zu Beginn der Sickerwasserperiode auf (31 kg N_{min}/ha). Die Abbildungen zeigen eine tendenzielle Zunahme des mineralisierten Stickstoffs in einer Tiefe von 30-60 cm.

Am Versuchsstandort Wehnen wurden in dem Versuch zur N-Nachlieferung vorangegangener Untersaaten im Silomais ebenfalls N_{min}-Untersuchungen durchgeführt. Abbildung 150 zeigt die N_{min}-Werte direkt nach der Silomaisernte am 15.10.2014. Der höchste N_{min}-Wert trat, wie schon am Versuchsstandort Dasselsbruch, in der Variante ohne Untersaat auf (63 kg N_{min}/ha). Die N_{min}-Werte lagen insgesamt auf einem relativ ähnlichen Niveau. Die geringsten Gehalte an mineralisiertem Stickstoff wurden in der Variante mit Deutschem Weidelgras als Untersaat festgestellt.

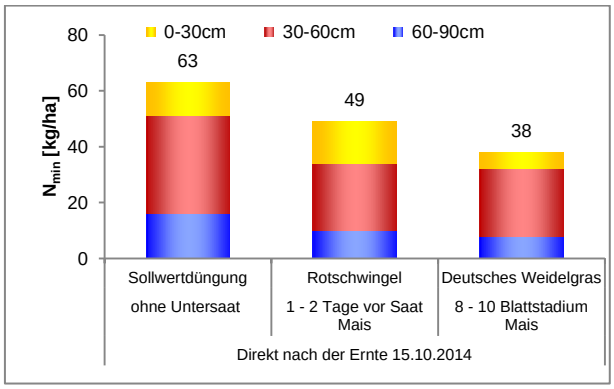


Abbildung 143: N_{min}-Werte in Silomais mit Untersaaten, direkt nach der Silomaisernte, Wehnen, 2014, 887

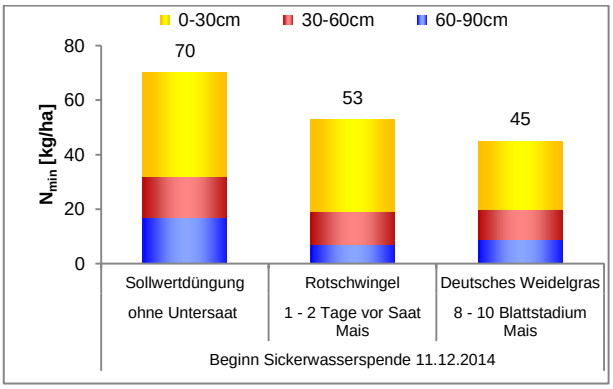


Abbildung 144: N_{min}-Werte in Silomais mit Untersaaten, zu Beginn der Sickerwasserperiode, Wehnen, 2014, 887

Bis zum Beginn der Sickerwasserperiode, circa acht Wochen später, konnten die Untersaaten die auswaschungsgefährdeten Reststickstoffgehalte im Boden nicht weiter reduzieren. Die Abstufung der N_{min}-Werte in den drei beprobten Varianten änderte sich nicht. Im Gegensatz zu den N_{min}-Werten am Standort Dasselsbruch stiegen in Wehnen die N_{min}-Werte in der obersten beprobten Bodenschicht (0-30 cm).

Erträge

Die Trockenmasseerträge in den einzelnen Varianten am Versuchsstandort Dasselsbruch sind in Abbildung 145 dargestellt. In den Varianten mit vorangegangener Untersaat wurden hier 36 kg N/ha (DAP) als Unterfußdüngung ausgebracht. Die Variante ohne Untersaat mit Sollwertdüngung wurde in Dasselsbruch mit weiteren 89 kg N/ha (KAS) gedüngt. Abbildung 146 zeigt die Ergebnisse der Ertragsermittlung am Versuchsstandort Wehnen. In Wehnen wurden 30 kg N/ha als Unterfußdünger gegeben. Entsprechend des Sollwertschemas wurden in der Variante ohne vorangegangene Untersaat mit Sollwertdüngung weitere 124 kg N/ha (KAS) ausgebracht.

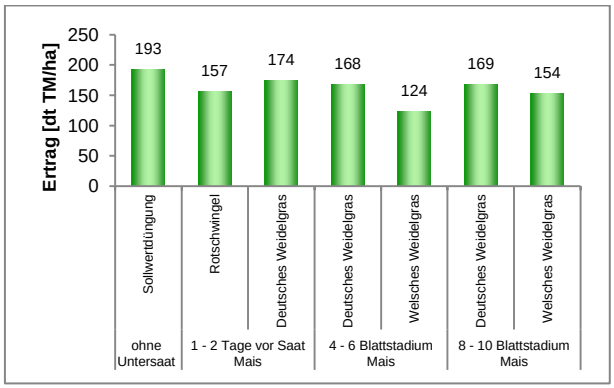


Abbildung 145: Silomaiserträge 2014 in Abhängigkeit von der vorangegangenen Untersaat; Dasselsbruch

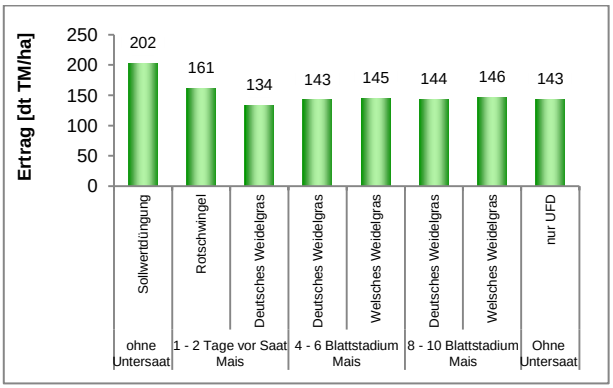


Abbildung 146: Silomaiserträge 2014 in Abhängigkeit von der vorangegangenen Untersaat; Wehnen

In der Variante mit Sollwertdüngung wurde an beiden Standorten der höchste Ertrag ermittelt (193 dt TM/ha in Dasselsbruch, 202 dt TM/ha in Wehnen). Der höchste anhand der N-Nachlieferung der Untersaaten erzielte Ertrag trat am Standort Dasselsbruch nach deutschem Weidelgras auf, das im Vorjahr kurz vor der Maisaussaat ausgesät worden war (174 dt TM/ha). Das ein bis zwei Tage vor der Maisaussaat ausgesäte Deutsche Weidelgras hatte 2013 direkt nach der Silomaisernte am Standort Dasselsbruch die niedrigsten N_{min}-Werte hinterlassen. Dies könnte einen Hinweis auf die N-Aufnahme bereits während der Vegetationsperiode des Vorjahres liefern. Ein statistisch absicherbarer Ertragsunterschied zwischen der Variante mit früh ausgesätem Deutschen Weidelgras und der Standardvariante ohne Untersaat konnte 2013 nicht festgestellt werden. In Wehnen trat die höchste N-Nachlieferung in der Variante mit Rotschwingel als vorangegangener Untersaat. Der Rotschwingel war 2013 am Standort Wehnen nicht beerntet worden. Die N-Nachlieferung aus der Untersaat führte in Wehnen in keiner Variante zu einer Ertragssteigerung im Vergleich zur Variante „ohne vorangegangene Untersaat – nur Unterfußdüngung“.

Die Ergebnisse an den beiden Standorten zeigen, dass die N-Nachlieferung vorangegangener Untersaat nicht nur von der Untersaat, sondern auch deutlich von den Standorteigenschaften beeinflusst werden kann. Anhand der einjährigen Ergebnisse können jedoch keine allgemeinen Beratungsempfehlungen erstellt werden.

Einfluss des Mais-Wuchstyps

N_{min}-Werte

Auch in dem Versuch zur Untersuchung der Auswirkungen unterschiedlicher Maiswuchstypen und Untersaaten wurden N_{min}-Proben gezogen. Die Ergebnisse der N_{min}-Untersuchungen am Standort Dasselsbruch sind in Abbildung 147 dargestellt. In der Variante ohne Untersaat lag der N_{min}-Wert bei 68 kg N_{min}/ha. Der N_{min}-Wert in der Variante mit einer Schwingelmischung als Untersaat lag auf dem gleichen Niveau.

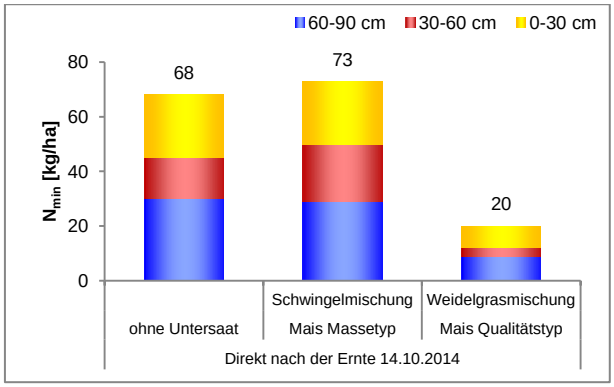


Abbildung 147: N_{min}-Werte in Silomais mit Untersaaten, direkt nach der Silomaisernte, Dasselsbruch, 2014, 888

In einer weiteren beprobten Variante konnte der N_{min}-Wert direkt nach der Ernte durch eine Weidelgrasmischung als Untersaat deutlich auf 20 kg N_{min}/ha gesenkt werden. Abbildung 148 und Abbildung 149 zeigen die Ergebnisse am Versuchsstandort Wehnen direkt nach der Ernte und zu Beginn der Sickerwasserperiode.

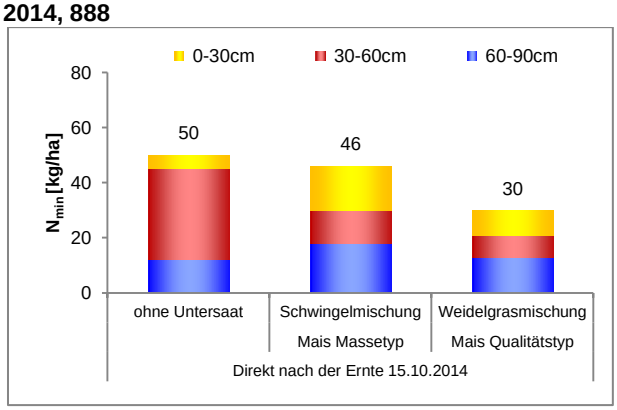


Abbildung 148: N_{min}-Werte in Silomais mit Untersaaten, direkt nach der Silomaisernte, Wehnen, 2014, 888

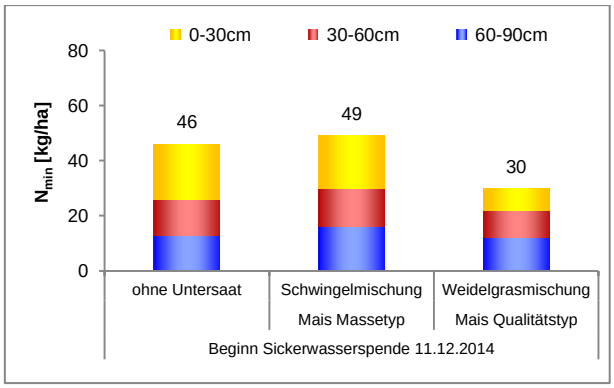


Abbildung 149: N_{min}-Werte in Silomais mit Untersaaten, zu Beginn der Sickerwasserperiode, Wehnen, 2014, 888

Zu den Auswirkungen des Mais-Wuchstyp auf die Entwicklung der Untersaat und die N-Dynamik im Boden können anhand der ersten einjährigen Ergebnisse noch keine allgemeinen Aussagen getroffen werden. Die wüchsigere Weidelgrasmischung konnte jedoch in allen Fällen die N_{min}-Werte zur Ernte und zu Beginn Sickerwasserperiode stärker reduzieren als die Schwingelmischung. Dies wird durch die Ergebnisse der N_{min}-Untersuchungen der Vorjahre bestätigt.

Erträge

Abbildung 150 und Abbildung 151 zeigen die Erträge der beiden Maiswuchstypen mit verschiedenen Untersaaten an den Standorten Dasselsbruch und Wehnen.

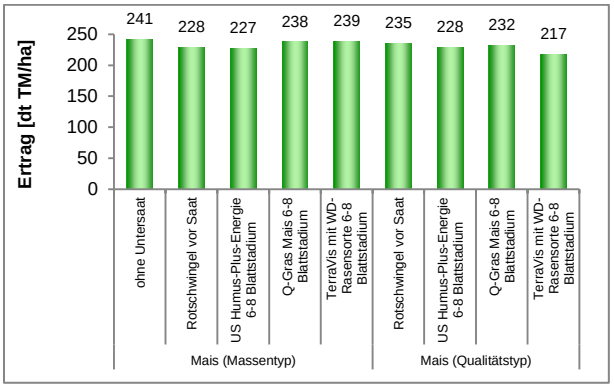


Abbildung 150: Erträge unterschiedlicher Maiswuchstypen mit verschiedenen Untersaaten; 2014; Dasselsbruch; 888

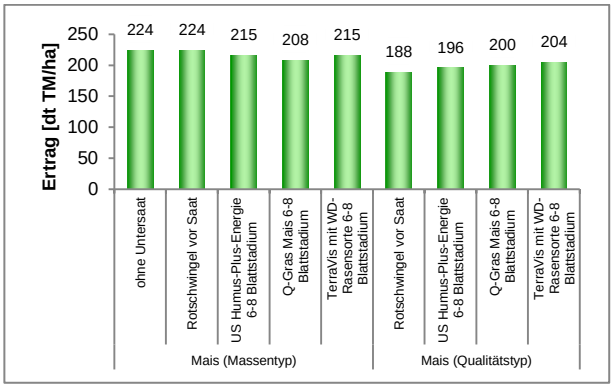


Abbildung 151: Erträge unterschiedlicher Maiswuchstypen mit verschiedenen Untersaaten; 2014; Wehnen; 888

In Wehnen lagen die Trockenmasseerträge des Qualitätstyps im Mittel unter den Erträgen des Massetyps. Am Versuchsstandort Dasselsbruch konnte kein einheitlicher Einfluss des Mais-Wuchstyps auf den Trockenmasseertrag festgestellt werden.

Anhand der ersten, einjährigen Ergebnisse können keine allgemeinen Beratungsempfehlungen erstellt werden.

Weitere N_{min}-Untersuchungen zu Untersaaten im Maisanbau

In einem Pflanzenschutzversuch der Landwirtschaftskammer Niedersachsen wurden ebenfalls ergänzende N_{min}-Untersuchungen zum Einfluss von Untersaaten, beziehungsweise Zwischenfrüchten auf die N-Dynamik im Boden nach der Maisernte durchgeführt.

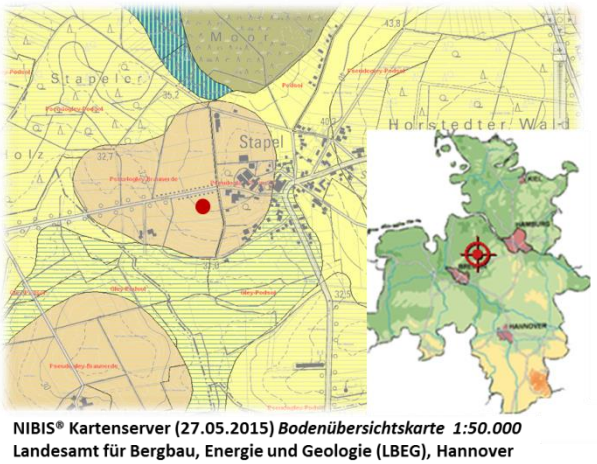


Abbildung 152: Lage des Versuchsstandortes Stapel

Abbildung 153: Versuchsstandort Stapel

Abbildung 154 zeigt, dass die N_{min}-Werte direkt nach der Maisernte in allen Varianten auf einem niedrigen Niveau lagen. Der niedrigste N_{min}-Wert (17 kg N_{min}/ha) wurde in der Variante mit einer Schwingelmischung als Untersaat ermittelt.

Abbildung 156 zeigt die N_{min}-Werte in den einzelnen Varianten im darauffolgenden Frühjahr.

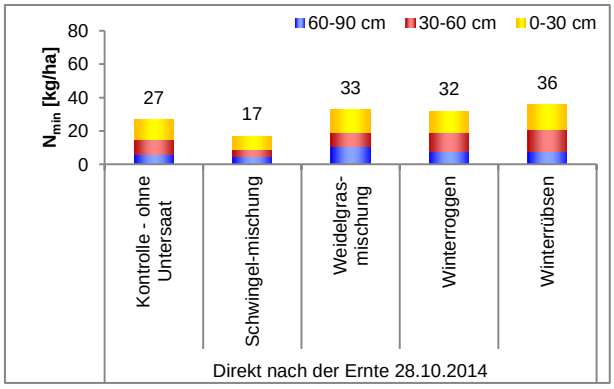


Abbildung 154: N_{min}-Werte direkt nach der Maisernte mit verschiedenen Untersaaten/Zwischenfrüchten in einem Pflanzenschutzversuch

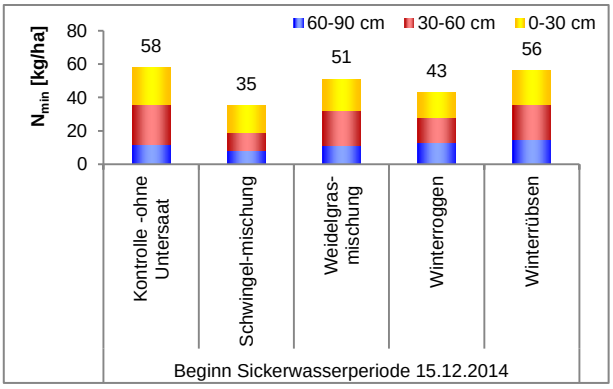


Abbildung 155: N_{min}-Werte nach Mais, zu Beginn der Sickerwasserperiode mit verschiedenen Untersaaten/Zwischenfrüchten in einem Pflanzenschutzversuch

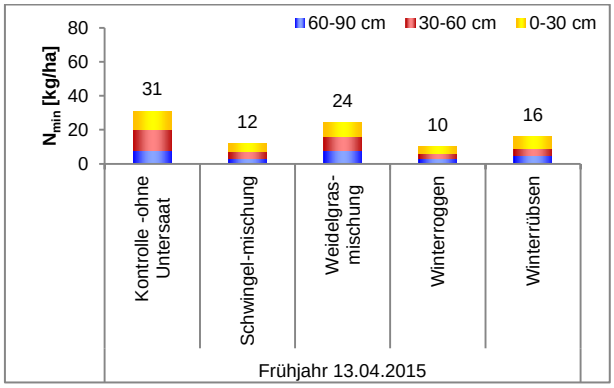


Abbildung 156: N_{min}-Werte nach Mais, im Frühjahr mit verschiedenen Untersaaten/Zwischenfrüchten in einem Pflanzenschutzversuch

Bis zum Beginn der Sickerwasserperiode stiegen die N_{min}-Werte in allen Varianten an. Der höchste N_{min}-Wert (58 kg N_{min}/ha) trat in der Kontrollvariante ohne Untersaat auf. Wie schon direkt nach der Maisernte wurde der niedrigste N_{min}-Wert in der Variante mit einer Schwingelmischung als Untersaat festgestellt.

Da die N_{min}-Werte besonders direkt nach der Ernte insgesamt schon auf einem relativ niedrigen Niveau lagen, traten jedoch kaum Unterschiede zwischen den N_{min}-Werten in den einzelnen Varianten auf, die nicht im Fehlerbereich der N_{min}-Methode lagen. Auch im darauffolgenden Frühjahr traten kaum Unterschiede zwischen den N_{min}-Werten in den einzelnen Varianten auf. In allen Varianten mit winterharten Untersaaten oder mit Zwischenfruchtanbau lag der N_{min}-Wert niedriger als in der Kontrollvariante ohne Untersaat/Zwischenfrucht.

Zusammenfassung

Untersaaten in Silomais

- Die auswaschungsgefährdeten Reststickstoffgehalte im Boden im Herbst konnten -im Mittel der Jahre und Standorte- durch die Untersaat erfolgreich reduziert werden.
- Bei entsprechender Auswahl der Untersaat und des Aussaatzeitpunktes konnte der Silomais sein Ertragspotential auch mit Grasuntersaat voll ausschöpfen.
- Zum Einfluss des Maiswuchstyps auf die N-Dynamik im Boden können anhand der einjährigen Ergebnisse noch keine abgesicherten Aussagen getroffen werden.
- Die N-Nachlieferung der Untersaaten aus dem Vorjahr an den darauffolgenden Silomais variierte deutlich zwischen den beiden Versuchsstandorten. Um abgesicherte Aussagen für die Beratung abzuleiten, sind weitere Untersuchungen notwendig.

Silomais nach mehrjährigem Feldfutterbau

- Welchen Einfluss hat mehrjähriger Feldfutterbau vor Silomaisanbau auf die N-Dynamik im Boden und die Höhe der auswaschungsgefährdeten Reststickstoffgehalte im Herbst?

Um zusätzliche Erkenntnisse zum Einfluss des Umbruchs nach mehrjährigen Feldfutterbau auf die N-Dynamik im Boden und die nachfolgende Hauptfrucht Silomais zu gewinnen, wurde in diesem Versuch nach mehrjährigem Feldfutterbau Silomais mit reduzierter N-Düngung angebaut und mit N_{min} Untersuchungen begleitet.

Versuchsdurchführung

N-Düngung zu Silomais nach mehrjährigem Ackerfutterbau wurde nur in Form von Unterfußdüngung ausgebracht. Der Versuch wurde an den Versuchsstandorten Poppenburg im Landkreis Hildesheim und Werlte im Landkreis Emsland angelegt. In Poppenburg wurden 36 kg N/ha als Unterfußdünger, in Werlte wurden 40 kg N/ha als Unterfußdüngung ausgebracht. Zum Vergleich wurde in einer Variante mit gleicher N-Düngung Mais nach Brache angebaut. Am Standort Poppenburg konnte zusätzlich Mais mit verschiedenen Untersaaten angebaut werden.

Ergebnisse

N_{min}-Werte

An beiden Standorten wurden zu Beginn der Sickerwasserperiode N_{min}-Proben gezogen. Die Ergebnisse der N_{min}-Untersuchungen an den beiden Versuchsstandorten Poppenburg und Werlte sind in Abbildung 157 und Abbildung 158 dargestellt. Insgesamt lagen in diesem Versuch die N_{min}-Werte am Standort Poppenburg auf einem etwas niedrigeren Niveau als am Versuchsstandort Werlte.

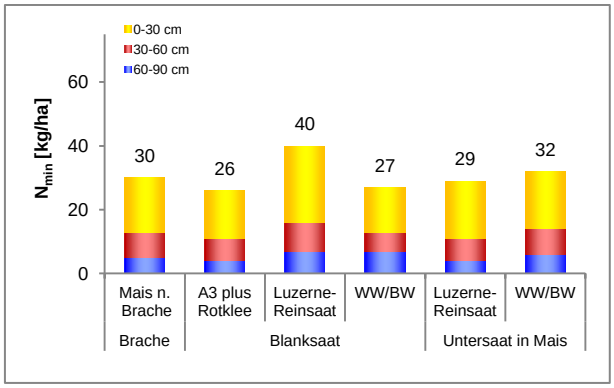


Abbildung 157: Herbst-N_{min}-Werte nach Silomais bei unterschiedlichem vorangegangenem mehrjährigen Feldfutterbau; Poppenburg 29.09.2014

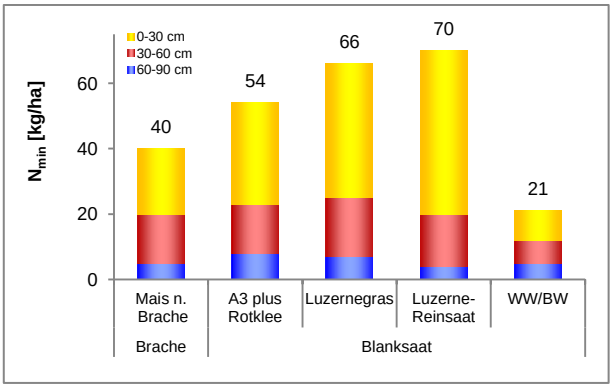


Abbildung 158: Herbst-N_{min}-Werte nach Silomais bei unterschiedlichem vorangegangenem mehrjährigen Feldfutterbau; Werlte 27.10.2014

In Poppenburg konnten keine Unterschiede zwischen den N_{min}-Werten in den einzelnen Varianten festgestellt werden, die nicht im Fehlerbereich der N_{min}-Methode lagen. Am Ver-

suchsstandort Werlte konnten zu Beginn der Sickerwasserperiode noch große Mengen mineralisierten Stickstoffs in der obersten Bodenschicht (0-30 cm) festgestellt werden.

Erträge

Die beiden folgenden Abbildungen zeigen die Trockenmasseerträge des Silomais und die Rohproteingehalte 2014 an den beiden Standorten.

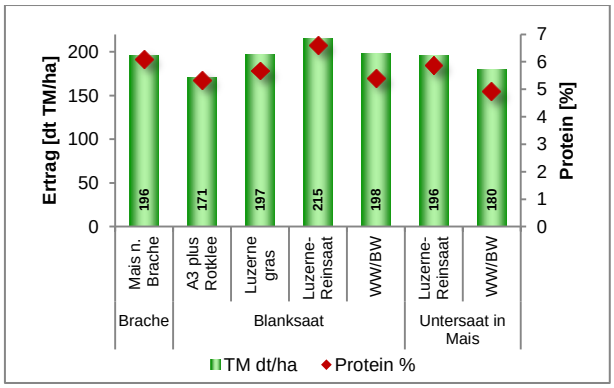


Abbildung 159: Silomaiserträge und Rohproteingehalte 2014 bei unterschiedlichem vorangegangenem mehrjährigen Feldfutterbau, Versuchsstandort Poppenburg

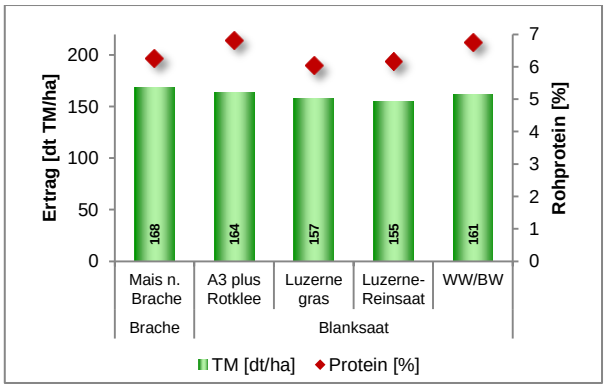


Abbildung 160: Silomaiserträge und Rohproteingehalte 2014 bei unterschiedlichem vorangegangenem mehrjährigen Feldfutterbau, Versuchsstandort Werlte

Am Standort Poppenburg wurde der höchste Silomaisertrag nach Luzerne in Reinsaat erzielt. Die Erträge in der Vergleichsvariante nach Brache, nach Luzerne-Gras und nach einer Weidelgrasmischung (Welsches Weidelgras und Bastard Weidelgras) lagen etwas darunter auf einem einheitlichen Niveau. Am Standort Werlte traten die höchsten Erträge in der Vergleichsvariante „Mais nach Brache“ auf. Eine gemeinsame Betrachtung mit den N_{min}-Werten zum Beginn der Sickerwasserperiode (Abbildung 158) weist darauf hin, dass ein Teil der Mineralisation aus dem vorangegangenen Feldfutterbau in diesem Fall erst nach der Maisernte erfolgte.

Anhand der einjährigen Versuchsergebnisse können keine allgemeinen Aussagen zum Einfluss mehrjährigen Feldfutterbaus vor Maisanbau auf die N-Dynamik im Boden hergeleitet werden. Insbesondere die Ergebnisse am Standort Werlte weisen jedoch darauf hin, dass es durch einen Anstieg der N-Mineralisation zu erhöhten auswaschungsgefährdeten Reststickstoffgehalten zu Beginn der Sickerwasserperiode kommen kann, da die vermehrte N-Mineralisation nicht immer vom Mais genutzt werden kann. Eine Begrünung der Fläche während der Sickerwasserperiode könnte das Risiko erhöhter Nitrateinträge in das Grundwasser infolge erhöhter N-Mineralisation reduzieren.

Um einschätzen zu können, inwieweit die N-Düngung zu Silomais ohne Ertragsrückgang reduziert werden sollte und wie sich der Anbau von mehrjährigem Ackerfutterbau langfristig auf die Mineralisationsprozesse im Boden auswirkt, sind weitere Untersuchungen notwendig. Vorangegangene Untersuchungen zu den Auswirkungen von Grünlandumbruch auf die N-Dynamik im Boden und die Nitratkonzentration im Sickerwasser (SEIDEL, (2005)) zeigten unter anderem neben einem deutlichen Einfluss der Folgefrucht und der N-Düngung zur

Folgefrucht zusätzlich einen Einfluss des Umbruchzeitpunktes auf die Höhe der Nitratauswaschung.

Zusammenfassung

Silomais nach mehrjährigem Feldfutterbau

- Der Einfluss des mehrjährigen Ackerfutterbaus vor Silomais auf die auswaschungsgefährdeten Reststickstoffgehalte zu Beginn der Sickerwasserperiode variierte deutlich zwischen den beiden Standorten.
- Ein genereller Anstieg der N_{min}-Werte durch Silomaisanbau nach mehrjährigem Ackerfutterbau im Vergleich zu Silomaisanbau nach Brache konnte bei reduzierter N-Düngung zu Silomais nicht festgestellt werden.
- Sowohl die N_{min}-Werte zu Beginn der Sickerwasserperiode als auch die Ergebnisse der Ertragsermittlung am Standort Werlte weisen darauf hin, dass es standort- und witterungsabhängig zu erhöhter N-Freisetzung durch den vorangegangenen Ackerfutterbau kommen kann. Die Ergebnisse von ERIKSEN J. (2001) zeigten beispielsweise, dass an den von ihm untersuchten Standorten die N-Düngung zu Getreide nach Grünlandumbruch um 25-115 kg N/ha im Vergleich zu Getreide als Vorfrucht reduziert werden konnte.
- Die einjährigen Ergebnisse der ergänzenden N_{min}-Untersuchungen können lediglich Hinweise liefern; es können jedoch keine allgemeinen Beratungsempfehlungen erstellt werden. Hierfür werden die Untersuchungen fortgesetzt.

Gülleunterfußdüngung zu Silomais

- Wie beeinflusst Gülleunterfußdüngung die Höhe der Reststickstoffgehalte im Boden direkt nach der Silomaisernte und zu Beginn der Sickerwasserperiode?
- Wie beeinflusst der Einsatz von Nitrifikationshemmstoffen bei Gülleunterfußdüngung die Höhe der Reststickstoffgehalte im Boden direkt nach der Silomaisernte und zu Beginn der Sickerwasserperiode?

Die Unterfußdüngung mit Gülle wird bereits seit einigen Jahren von den norddeutschen Landwirtschaftskammern (Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Schleswig-Holstein) kontinuierlich erforscht, da das Verfahren im Vergleich zur Schleppschlauchausbringung und anschließender Einarbeitung unter bestimmten Bedingungen einige Vorteile bietet. Aus Sicht des Wasserschutzes sind vor allem die Verbesserung der betrieblichen Nährstoffbilanz und eine mögliche Reduzierung des Mineraldüngerzukaufs positiv zu bewerten. Zusätzlich wird durch präzisere Ausbringung und effizientere Nutzung der Gülle der Einsatz in Ackerbaubetrieben erleichtert.

Für den Oberflächengewässerschutz sind Vorteile durch verminderte Oberflächenabschwemmung von Nährstoffen und Verhinderung von Direkteinträgen in Gewässer zu erwarten. Außerdem ist die Gülleunterfußdüngung sehr gut mit dem sogenannten „Strip-Till-Verfahren“ kombinierbar. So lassen sich auch die Vorteile der Mulchsaat im Maisanbau nutzen. Hierzu gehört unter anderem der Erosionsschutz. Eine weitere positive Umweltwirkung ist die deutliche Reduzierung der gasförmigen Emissionen, da die Ausbringung der Wirtschaftsdünger direkt in den Boden erfolgt. Dies trägt ebenfalls dazu bei Nährstoffeinträge in nicht-agrarische Ökosysteme zu minimieren. In mehrjährigen Versuchen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen zeigte sich, dass jahres- und standortspezifische Gegebenheiten die Ergebnisse deutlich beeinflussten. In einigen Fällen war es beispielsweise möglich, mineralische Unterfußdüngung zu Silomais ohne Ertragsverluste vollständig durch Gülleunterfußdüngung zu ersetzen. Teilweise wurde der Ertrag hierdurch sogar gesteigert. In anderen Fällen kam es durch die Substitution der mineralischen Unterfußdüngung mit Gülleunterfußdüngung jedoch zu Mindererträgen. Die Auswirkungen auf die N-Dynamik im Boden und die Reststickstoffgehalte im Herbst variierten ebenfalls. Weitere Informationen zu den Versuchsergebnissen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen finden sich im Internet (www.lwk-niedersachsen.de, Webcode 01014478). Es besteht weiterer Forschungsbedarf, um abgesicherte Erkenntnisse bezüglich der Auswirkungen verschiedener Einflussfaktoren zu gewinnen und allgemeine Beratungsempfehlungen ableiten zu können. In Zusammenarbeit mit den Landwirtschaftskammern der Länder Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Schleswig-Holstein wird derzeit, finanziert durch die deutsche Bundesstiftung Umwelt an der Hochschule Osnabrück intensiv an verschiedenen Fragestellungen geforscht (für weitere Informationen siehe www.al.hs-osnabrueck.de „Fakultät AL, laufende Forschungsprojekte“).

Tabelle 26 gibt eine Übersicht über die im Rahmen des Forschungsvorhabens untersuchten Varianten.

Tabelle 26: Übersicht Varianten Gülleunterfußdüngung (100 % entsprechen der Sollwertdüngung)

Variante Nr.	Beschreibung
V1	Kontrolle ohne Düngung
V2	Ohne organische Düngung; mit mineralischer Unterfußdüngung
V3	Sollwertdüngung – Gülle mit Schleppschlauchausbringung ohne mineralische Unterfußdüngung
V4	Sollwertdüngung – Gülle mit Schleppschlauchausbringung mit mineralischer Unterfußdüngung
V5	Sollwertdüngung – Gülleunterfußdüngung ohne mineralische Unterfußdüngung
V6	Sollwertdüngung – Gülleunterfußdüngung mit mineralischer Unterfußdüngung
V7	Sollwertdüngung - Gülleunterfußdüngung mit Nitrifikationshemmstoff; ohne mineralische Unterfuß-düngung
V8	Sollwertdüngung - Gülleunterfußdüngung mit Nitrifikationshemmstoff; mit mineralischer Unterfuß-düngung
V9	66 % der Sollwertdüngung; Gülleunterfußdüngung ohne mineralische Unterfußdüngung
V10	66 % der Sollwertdüngung; Gülleunterfußdüngung mit mineralischer Unterfußdüngung
V11	66 % der Sollwertdüngung - Gülleunterfußdüngung mit Nitrifikationshemmstoff; ohne mineralische Unterfußdüngung
V12	66 % der Sollwertdüngung - Gülleunterfußdüngung mit Nitrifikationshemmstoff; mit mineralischer Unterfußdüngung

Ergebnisse

Abbildung 161 zeigt die N_{min}-Werte direkt nach der Silomaisernte, in den in Tabelle 26 beschriebenen Varianten. Die Herbst-N_{min}-Werte zu Beginn der Sickerwasserperiode sind in Abbildung 162 dargestellt.

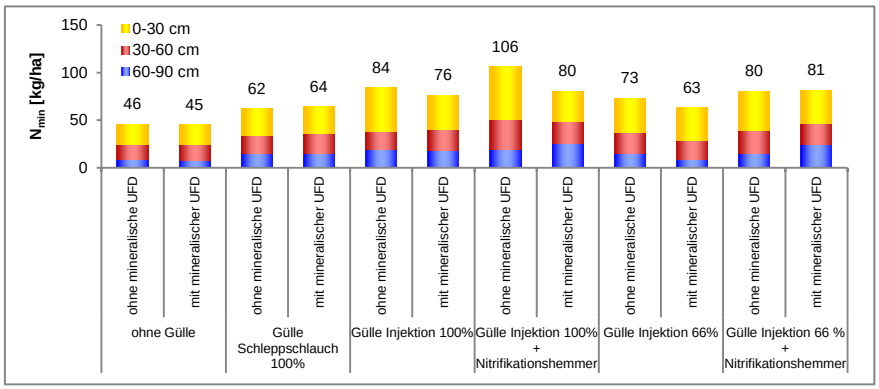


Abbildung 161: N_{min}-Werte nach Silomais mit Gülleunterfußdüngung und breit ausgebrachter Gülle im Vergleich, direkt nach der Ernte; Versuchsstandort Poppenburg; (30.09.2014)

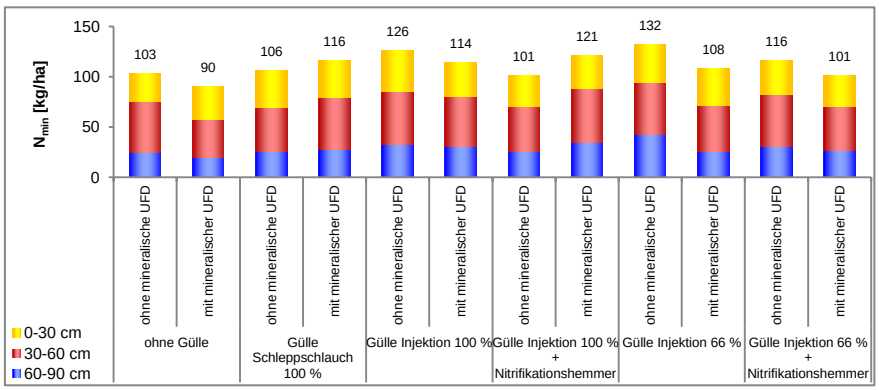


Abbildung 162: N_{min}-Werte nach Silomais mit Gülleunterfußdüngung und breit ausgebrachter Gülle im Vergleich, zu Beginn der Sickerwasserperiode; Versuchsstandort Poppenburg; (10.12.2014)

Die niedrigsten N_{min}-Werte wurden direkt nach der Ernte in den beiden Kontrollvarianten ohne Gülledüngung mit und ohne mineralische Unterfußdüngung festgestellt. Die mineralische Unterfußdüngung hatte in diesen beiden Varianten keinen Einfluss auf den N_{min}-Wert.

Die mineralische Unterfußdüngung hatte keinen durchgängigen Einfluss auf die N-Dynamik im Boden.

Während die N_{min}-Werte in den beiden Varianten mit Schleppschlauchausbringung der Gülle direkt nach der Ernte tendenziell geringer waren, als in den Varianten mit Gülleunterfußdüngung, konnte dieser Effekt zu Beginn der Sickerwasserperiode nicht mehr beobachtet werden. Bis zum Beginn der Sickerwasserperiode konnte tendenziell eine Verlagerung in die tieferen Bodenschichten festgestellt werden. Die Verringerung der N-Düngung auf 66 % der Sollwertdüngung konnte die Reststickstoffgehalte im Boden nicht reduzieren. Auch der Einsatz des Nitrifikationshemmstoffes hatte 2014 am Standort Poppenburg keinen durchgängigen Einfluss auf die N_{min}-Werte direkt nach der Ernte und zu Beginn der Sickerwasserperiode. Die konzentrierte Ausbringung des Wirtschaftsdüngers erschwert die Ermittlung der Reststickstoffgehalte bezogen auf die gesamte Fläche direkt nach der Ernte oder zu Beginn der Sickerwasserperiode. Unter welchen Bedingungen die N_{min}-Probenahme geeignet ist, bei organischer Unterfußdüngung den Reststickstoffgehalt im Herbst im Boden zu erfassen, wird ebenfalls im Rahmen des Projektes der Deutschen Bundesstiftung Umwelt an der Hochschule Osnabrück untersucht (https://www.hs-osnabrueck.de/44545.html).

Die Exaktversuche zur Gülleunterfußdüngung, die seit mehreren Jahren von der LWK Niedersachsen durchgeführt werden, zeigen, dass es möglich ist, die mineralische Unterfußdüngung zu Mais durch Unterfußdüngung mit Wirtschaftsdüngern zu ersetzen. Standorteigenschaften und Witterung haben jedoch neben Höhe und Ausbringungsform der Wirtschaftsdünger deutlichen Einfluss auf die N-Dynamik im Boden und die Ertragswirkung der organischen Düngung. Weitere Ergebnisse aus den Versuchen zur Gülleunterfußdüngung werden in ein einem gesonderten Bericht veröffentlicht.

Zusammenfassung

Gülleunterfußdüngung zu Silomais

- N_{min}-Beprobung direkt nach der Ernte oder zu Beginn der Sickerwasserperiode bei erfolgter Gülleunterfußdüngung ist bei überhöhter N-Düngung problematisch, wenn die Gülleunterfußdüngung nicht vollständig von den Pflanzen aufgenommen wurde. Die Fragestellung wird weiter innerhalb des Forschungsprojektes der Hochschule Osnabrück und im Rahmen ergänzender Untersuchungen der LWK-Niedersachsen bearbeitet.
- Derzeit werden in den Exaktversuchen mit Sollwertdüngung oder reduzierter N-Düngung die N_{min}-Proben zu 50 % in der Reihe und zu 50 % zwischen den Reihen gezogen. Bei bedarfsgerechter Düngung kann davon ausgegangen werden, dass bis zur Ernte der Stickstoff aus der Gülleunterfußdüngung vollständig von der Pflanze aufgenommen wurde.
- Die Ergebnisse der vorangegangenen Versuchsjahre zeigten, dass es möglich ist mineralische Unterfußdüngung zu Silomais durch Unterfußdüngung mit Gülle oder Gärresten ohne Ertragseinbußen zu ersetzen.

3. Anhang

3.1. Versuchsübersicht

Tabelle 27: Versuchsübersicht 2014

Versuchsnummer der LWK	Versuchsfrage	Standort	Laufzeit
	Versuche mit Sickerwasseruntersuchungen durch das LBEG		
643	• Welchen Einfluss hat die N-Düngung auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser? • Wie kann die Sickerwasserqualität durch eine grundwasserschutzorientierte Gestaltung der Fruchtfolge beeinflusst werden?	Hamerstorf	Hamerstorf seit 2014
644	• Welchen Einfluss hat die N-Düngung auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser? • Wie wirken sich reduzierte und überhöhte N-Düngung langfristig, auf N-Dynamik im Boden, Erträge und Qualitätsparameter aus?	Thülsfelde	Seit 1995
645	• Welche Auswirkungen haben Art und Höhe der N-Düngung zur Zwischenfrucht auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser? • Wie viel Stickstoff wird im Herbst von der Zwischenfrucht aufgenommen und wie viel Stickstoff steht der nachfolgenden Hauptfrucht in den Folgejahren langfristig zur Verfügung?	Wehnen	Seit 2012
Neu (649)	• Welchen Einfluss hat die Höhe der organischen N-Düngung auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser? • Wie wirken sich langfristig reduzierte und überhöhte organische Düngung auf N-Dynamik im Boden, Erträge und Qualitätsparameter aus?	Wehnen	Seit 2014
	Mehrjährige Feldversuche		
646	• Werden die Reststickstoffgehalte im Boden durch Bodenbearbeitung nach der Maisernte erhöht? • Können die Reststickstoffgehalte im Boden nach der Ernte durch die Aussaat von Grünroggen reduziert werden?	• Borgholt • Wehnen	2012-2014
648a	• Ist der Rohproteingehalt ein geeignetes Instrument um die bedarfsgerechte N-Düngung zu Silomais zu überprüfen?	• Poppenburg • Rockstedt • Wehnen	2012-2014
648b	• Vergleich verschiedener Strategien zur Ermittlung des N-Düngebedarfs von Silomais, um hohe Reststickstoffgehalte nach überhöhter N-Düngung zu vermeiden	• Poppenburg • Rockstedt • Wehnen • Werlte	2013-2015
NEU	• Weiterentwicklung von Herbizidstrategien in Silomais unter Verzicht auf Terbuthylacin und Metolachlor	• Addrup • Bad Laer • Marklohe	Seit 2014
	Ergänzende N_{min}-Untersuchungen		
887/888	Einfluss von Grasuntersaaten in Silomais auf Reststickstoffgehalte und N-Dynamik im Boden	• Dasselsbruch • Wehnen	
901	Auswirkungen von Gülleunterfußdüngung zu Silomais auf die N-Dynamik im Boden	• Poppenburg	
NEU	Einfluss von Silomaisanbau nach mehrjährigem Feldfutterbau auf die N-Dynamik im Boden	• Poppenburg • Werlte	Seit 2014
NEU	Ergänzende Untersuchungen Demonstrationsfläche Zwischenfruchtanbau (N_{min}-Untersuchungen und Pflanzenanalysen)	• Poppenburg	Seit 2014

3.2. Klimadaten

Im folgenden Kapitel sind zunächst die Klimadaten der Niedersächsischen Versuchsstationen gemittelt dargestellt (Abbildung 164.) Im Anschluss daran sind die Witterungsdaten 2014 und im langjährigen Mittel (2000-2014) der einzelnen Versuchsstandorte abgebildet.

Abbildung 163: Wetterstation, Versuchsstandort Dasselsbruch

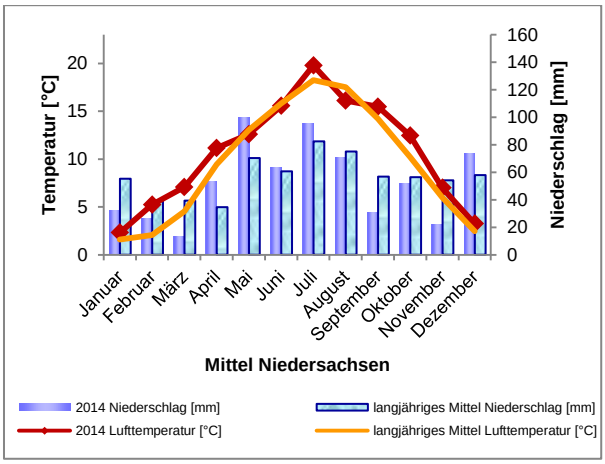


Abbildung 164: Klimadaten; Mittel der Wetterstationen in Niedersachsen

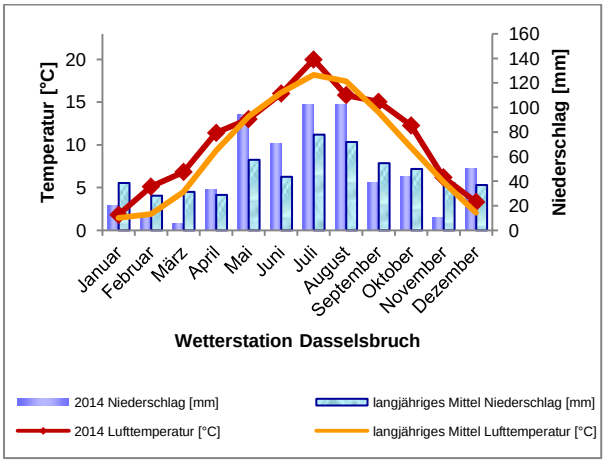


Abbildung 165: Klimadaten; Wetterstation Dasselsbruch

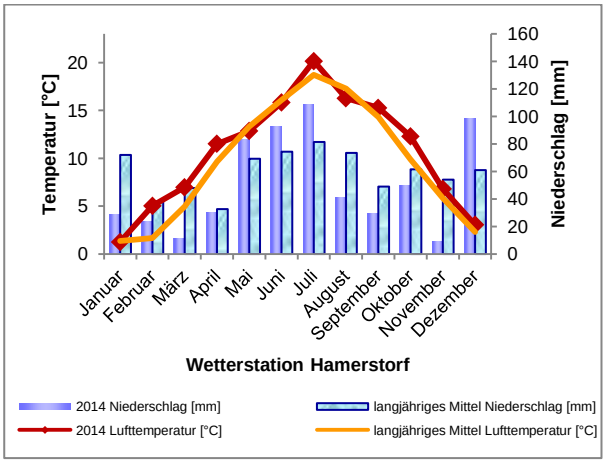


Abbildung 166: Klimadaten; Wetterstation Hamerstorf

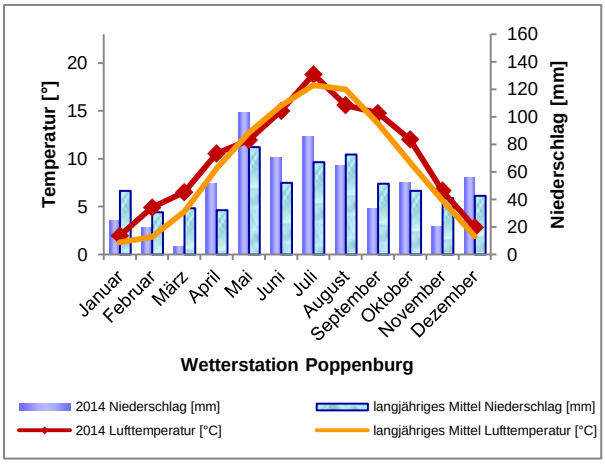


Abbildung 167: Klimadaten der Wetterstation Poppenburg

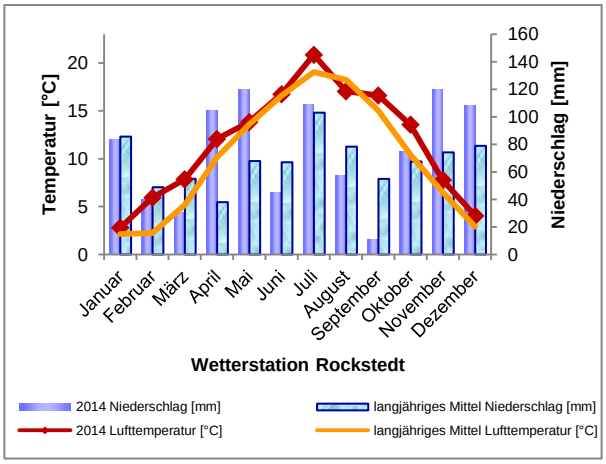


Abbildung 168: Klimadaten der Wetterstation Rockstedt

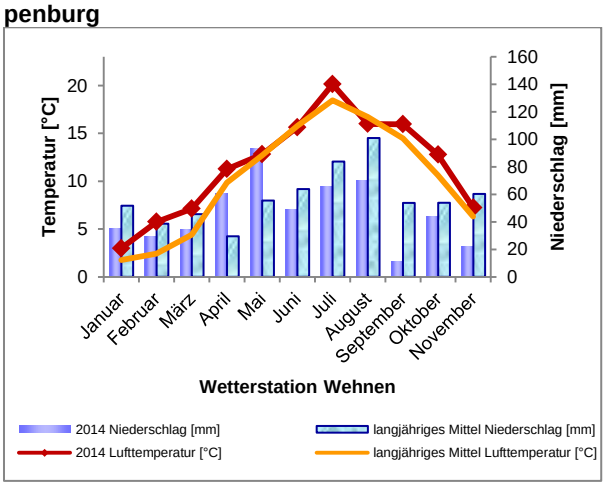


Abbildung 169: Klimadaten der Wetterstation Wehnen

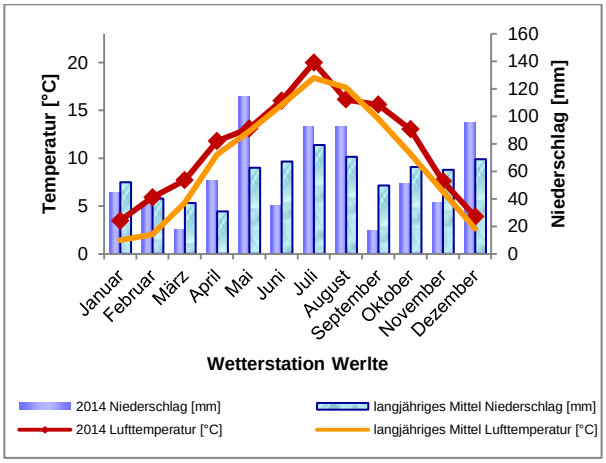


Abbildung 170: Klimadaten der Wetterstation Werlte

3.3. N-Düngeempfehlungen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen

Eine Übersicht über die N-Düngeempfehlungen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen ist in den folgenden Abbildungen dargestellt. Aktuelle, an den jahresspezifischen Witterungsverlauf angepasste Empfehlungen sind ebenfalls im Internet unter www.lwk-niedersachsen.de und dem entsprechenden Webcode verfügbar (Abbildung 172).

Pflanzenart	Probe-nahme-tiefe cm	Sollwert (incl. Spät-gabe) kg N/ha	Verteilung: Vegetations-beginn	Verteilung: Schossen EC 30 – 32	Verteilung: Spätgabe EC 49
Herbstaussaat					
Raps	0 – 90	**200**	130 - N_{min}	70	–
Gerste	0 – 90	**190**	50	90 - N_{min}	50
Roggen	0 – 90	**150**	60	90 - N_{min}	–
Triticale	0 – 90	**190**	50	90 - N_{min}	50
Futterweizen	0 – 90	**210**	60	90 - N_{min}	60
Backweizen	0 – 90	**230**	60	90 - N_{min}	80
beim Einsatz von Gülle in Wintergetreide					
Gerste	0 – 90	**190**	120 - N_{min}	70	–
Roggen	0 – 90	**150**	120 - N_{min}	30	–
Triticale	0 – 90	**190**	120 - N_{min}	70	–
Futterweizen	0 – 90	**210**	120 - N_{min}	50	40
Backweizen	0 – 90	**230**	120 - N_{min}	70	40
Frühjahrsaussaat					
Weizen	0 – 90	**200**	50	100 - N_{min}	50
Braugerste	0 – 60	**120**	120 - N_{min}	–	–
Futtergerste	0 – 60	**140**	140 - N_{min}	–	–
Hafer	0 – 60	**100**	100 - N_{min}	–	–

Bemerkungen:

Die empfohlene Stickstoffdüngung ergibt sich aus dem angegebenen Sollwert in kg/ha abzüglich des N_{min}-Gehaltes im Boden.

Der im Boden bei Vegetationsbeginn vorhandene und gemessene Stickstoff (N_{min}) wirkt wie Stickstoff aus der Mineraldüngung.

Die Probenahmetiefe zur Ermittlung des N_{min}-Gehaltes sollte der Durchwurzelungstiefe des Bodens entsprechen, maximal jedoch 90 cm betragen.

Der **Probenahmetermin** liegt immer **vor** dem **1. Düngungstermin**. Wurde keine eigene Probe gezogen, können die in der Land und Forst veröffentlichten N_{min}-Gehalte zur Ermittlung des Düngerbedarfes herangezogen werden.

Während der Vegetationszeit können die Anlage eines Düngefensters bzw. zusätzliche Messungen des Nitratgehaltes in der Pflanze (Nitrachek) oder des Chlorophyllgehaltes (Chlorophyllmeter, N-Tester) weitere Entscheidungshilfen bieten.

N_{min}-Untersuchungen u.a.durch das Institut für Boden und Umwelt der LUFA Nord-West:
- in Hameln: Finkenborner Weg 1A, 31787 Hameln
Telefon: 05151 987140

Hackfrüchte und Mais			zur Saat	v. d. Reihen-schließen	Bemerkungen
Zuckerrüben	0 – 90	**160**	160 - N_{min}	–	Auf leichten Böden und in Trockenlagen zur Saat nicht über 80 kg N/ha düngen. Düngermenge ggf. teilen.
Kartoffeln	0 – 60	**160**	100 - N_{min}	60	Aufteilung nur dann zu empfehlen, wenn genügend Feuchtigkeit im Boden gewährleistet ist.
Mais	0 – 60	**180**	180 - N_{min}	–	Die N-Gabe der Unterfuß-Reihendüngung muss bei der Gesamtgabe berücksichtigt werden. Auf auswaschungsgefährdeten Standorten ist eine Aufteilung der Düngermenge zu empfehlen.

Abbildung 171: N-Düngeempfehlungen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Sollwertschema)

Abbildung 172: Aktuelle, online verfügbare N-Düngeempfehlungen

Korrekturen des Sollwertes(kg N/ha):

a) Standorteigenschaften
für Marschböden:
+ 20 bis + 40 W-Getreide, W-Raps
+ 20 bis + 60 W-Weizen

b) Bewirtschaftungsverhältnisse
bei langjährig organischer Düngung*:
- 20 alle Früchte außer Mais
- 40 Mais
*i. d. R bei P-Gehalten in der Krume > 13 mg P-CAL / 100 g Boden

c) bei einzelnen Früchten:
bei Gründüngungsvorfrucht:
(je nach Aufwuchsmenge und Abfriertermin):
bis - 20

Wintergetreide:
+ 20 bis + 40
- bei schlechter Bestandesentwicklung im Frühj./ standortbedingter schlechter N-Nachlieferung
- 20
- bei guter Bestandesentwicklung im Frühjahr/ standortbedingter guter N-Nachlieferung
- 20 bis - 40
- Abschlussdüngung bei niedriger Ertragserwartung und Trockenschäden entspr. reduzieren
+ 20
- bei **Stoppelweizen** als Zwischendüngung in der Schossphase

Winterraps:
+ 20 bis + 40
- bei schlechter Bestandesentwicklung im Frühj./ standortbedingter schlechter N-Nachlieferung
- 20 bis - 40
- bei guter Bestandesentwicklung im Frühjahr/ standortbedingter guter N-Nachlieferung

Zuckerrübe:
+ 20 bis + 40
- bei standortbedingter schlechter N-Nachlieferung
- 20
- bei standortbedingter guter N-Nachlieferung

Kartoffel:
+ 20
- bei schlechter Bestandesentwicklung im Jugendstadium/ standortbedingter schlechter N-Nachlieferung
+ 30
- je 100 dt/ha Ertrag beim Anbau von Industriekartoffeln ab einem Ertragsniveau > 500 dt/ha [1)]
+ 40
- bei Frühkartoffeln
- 20 bis - 40
- bei standortbedingter guter N-Nachlieferung
- bei Pflanzkartoffeln; bei Qualitätsspeisekartoffeln je nach Sorte

Mais:
+ 20
- bei standortbedingter schlechter N-Nachlieferung
- 20
- bei standortbedingter guter N-Nachlieferung

Die Summe der Zu- und Abschläge unter c) sollte 40 kg N/ha nicht überschreiten (mit Ausnahme von 1)), bei Mais nicht 20 kg N/ha.

Herausgeber:
Landwirtschaftskammer Niedersachsen
Geschäftsbereich Landwirtschaft

Dr. Gerhard Baumgärtel 0511 3665-1295
Dr. Matthias Benke 0441 801-420
Tim Eiler 0441 801-735

Abbildung 173: Übersicht der, bei Sollwertdüngung zu berücksichtigenden Korrekturfaktoren

3.4. Literaturverzeichnis

ERIKSEN J.; (2001); *„Nitrate leaching and growth of cereal crops following cultivation of contrasting temporary grasslands"* Journal of agricultural science Volume Nr 136 pp 271-218

HERMANN A. and TAUBE F.; (2005); *„Nitrogen Concentration at Maturity—An Indicator of Nitrogen Status in Forage Maize";* Agronomy Journal Volume Nr 1/97 pp 201-210

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFALEN; (2014) *Ratgeber Pflanzenbau und Pflanzenschutz*; Ausgabe 2014, Seite 270

NITSCH A.; (1996); *„Düngen mit dem Nitrachek-Test – schlagspezifische N-Düngung zu Kartoffeln und Mais"* Hannoversche Land-und forstwirtschaftliche Zeitung, Nr. 18; Mai 1996

RECKLEBEN Y. (2014) *„Strohzerkleinerung und Stoppelbearbeitung nach Mais –Auf die Technik kommt es an"*; LOP 9/2014; Seite 32-37

SEIDEL K.; (2005); *„Stickstoffausträge und Stickstoffhaushalt nach Grünlanderneuerung und Grünlandumbruch";* Göttinger Agrarwissenschaftliche Beiträge Band 15; Sierke Verlag

WANG S.; (2001) *„Einfluss von Blattstellung und Bestandesdichte auf Ertrag, Qualität, Lichtaufnahme und Blattflächenindex bei Silomaissorten verschiedenen Wuchstyps*" Dissertation Humboldt Universität zu Berlin

3.5. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Sickerwasseranlage auf der Versuchsfläche in Wehnen 3
Abbildung 2: Standorte der Wasserschutzversuche 2014 4
Abbildung 3: Sickerwasseranlage Versuchsfläche Wehnen, 2014 4
Abbildung 4: Schematischer Aufbau einer Sickerwasseranlage nach Dr. Walter Schäfer (LBEG) 5
Abbildung 5: Organische Düngung in Kleinparzellen, Versuchsfläche Werlte, 2014 5
Abbildung 6: Berechnung der potentiellen Nitratkonzentration im Sickerwasser (AID Leittext „Landwirtschaft und Wasserschutz" www.lwk-niedersachsen.de, Webcode: 01022941) 6
Abbildung 7: Bodenklimaräume Niedersachsen 6
Abbildung 8: Ergebnisse einer Wasserhaushaltsberechnung; 7
Abbildung 9: Beispielhafter Verlauf der N_{min}-Werte direkt nach der Ernte mit steigender N-Düngung zu Silomais 8
Abbildung 10: Beispielhafter Verlauf der Ertragskurve bei steigender N-Düngung zu Silomais 8
Abbildung 11: Kartoffel (Belana) Versuchsfläche Hamerstorf, 2014, Versuch 643 9
Abbildung 12: Reduzierte Sollwertdüngung zu Kartoffeln in der grundwasserschonenden Fruchtfolge, Hamerstorf, 2014, Versuch 643 9
Abbildung 13: Bodenwassersammelflachen der Sickerwasseranlage am Standort Hamerstorf 11
Abbildung 14: Lage des Versuchsstandorts Hamerstorf 11

Abbildung 15: N_{min}-Werte im Vegetationsverlauf in der mit 160 kg N/ha gedüngten Variante; Versuchsstandort Hamerstorf; 2014; grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge.....12
Abbildung 16: N_{min}-Werte im Vegetationsverlauf in der mit 160 kg N/ha gedüngten Variante; Versuchsstandort Hamerstorf; 2014; konventionelle Fruchtfolge 12
Abbildung 17: N_{min}-Werte und Erträge; Hamerstorf; Kartoffel; grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge; 2014 (643) 13
Abbildung 18: N_{min}-Werte und Erträge; Hamerstorf; Kartoffel; konventionelle Fruchtfolge; 2014 (643).....14
Abbildung 19: Stärkeertrag, Kartoffel in Anhängigkeit von Fruchtfolge und Form und Höhe der N-Düngung, Hamerstorf, 2014.....14
Abbildung 20: Lage des Versuchsstandorte Thülsfelde 17
Abbildung 21: N_{min}-Werte unter Silomais (Engsaat) im Jahresverlauf in der nach Sollwert gedüngten Variante; 2014 18
Abbildung 22: Frühjahrs-N_{min}-Werte vor Silomais; Versuchsstandort Thülsfelde (644a) 18
Abbildung 23: N_{min}-Werte direkt nach der Silomaisernte (Silomais-Engsaat); Versuchsstandort Thülsfelde (644a).....18
Abbildung 24: Herbst-N_{min}-Werte nach Silomais (Silomais-Engsaat); Versuchsstandort Thülsfelde (644a) 18
Abbildung 25: Silomaisertrag 2014 (Engsaat) und N_{min}-Werte direkt nach der Ernte, in Abhängigkeit von der Höhe der N-Düngung; Versuchsstandort Thülsfelde (644a) 19
Abbildung 26: N-Bilanz Silomais (Engsaat) in Abhängigkeit von der Höhe der N-Düngung; Versuchsstandort Thülsfelde (644a).....19
Abbildung 27: N_{min}-Werte unter Silomais (Normalsaat) im Jahresverlauf in der nach Sollwert gedüngten Variante; 2014 20
Abbildung 28: Frühjahrs-N_{min}-Werte vor Silomais; Versuchsstandort Thülsfelde (644b) 20
Abbildung 29: N_{min}-Werte direkt nach der Silomaisernte (Silomais-Normalsaat); Versuchsstandort Thülsfelde (644b).....21
Abbildung 30: Herbst-N_{min}-Werte nach Silomais (Silomais-Normalsaat); Versuchsstandort Thülsfelde (644b) 21
Abbildung 31: Silomaisertrag 2014 (Normalsaat) und N_{min}-Werte direkt nach der Ernte in Abhängigkeit von der Höhe der N-Düngung; Versuchsstandort Thülsfelde (644b), 2014.....21
Abbildung 32: N-Bilanz Silomais (Normalsaat) in Abhängigkeit von der Höhe der N-Düngung; Versuchsstandort Thülsfelde (644b).....22
Abbildung 33: N_{min}-Werte unter Silomais (Engsaat) im Jahresverlauf in der nach Sollwert gedüngten Variante; 2014 22
Abbildung 34: Frühjahrs-N_{min}-Werte vor Silomais; Versuchsstandort Thülsfelde (644c).....23

Abbildung 35: N_{min}-Werte direkt nach der Silomaisernte (Silomais-Engsaat); Versuchsstandort Thülsfelde (644c) 23
Abbildung 36: Herbst-N_{min}-Werte nach Silomais (Silomais-Engsaat); Versuchsstandort Thülsfelde (644c).....23
Abbildung 37: Silomaisertrag 2014 (Engsaat), und N_{min}-Werte direkt nach der Ernte, in Abhängigkeit von der Höhe der N-Düngung; Versuchsstandort Thülsfelde (644c).....24
Abbildung 38: N-Bilanz Silomais (Engsaat) in Abhängigkeit von der Höhe der N-Düngung; Versuchsstandort Thülsfelde (644c) 24
Abbildung 39: Lage des Versuchsstandortes Wehnen.....26
Abbildung 40: Sickerwasseranlage, Winterroggen mit anschließendem Zwischenfruchtanbau und Silomais, Wehnen, 23.06.2014, 645 27
Abbildung 41: Frühjahrs-N_{min}-Werte für Silomais (25.03.2014) und Winterroggen (18.02.2014).....28
Abbildung 42: N_{min}-Werte unter Silomais ohne vorangegangene Zwischenfrucht, während der Vegetationsperiode (10.06.2014); Versuchsstandort Wehnen 29
Abbildung 43: N_{min}-Werte unter Silomais nach ungedüngter Zwischenfrucht, während der Vegetationsperiode (10.06.2014); Versuchsstandort Wehnen 29
Abbildung 44: N_{min}-Werte unter Silomais nach mineralisch gedüngter Zwischenfrucht, während der Vegetationsperiode (10.06.2014); Versuchsstandort Wehnen 29
Abbildung 45: N_{min}-Werte unter Silomais nach organisch gedüngter Zwischenfrucht, während der Vegetationsperiode (10.06.2014); Versuchsstandort Wehnen 29
Abbildung 46: N_{min}-Wert unter Winterroggen nach Sollwertdüngung, während der Vegetationsperiode (10.06.2014); Versuchsstandort Wehnen 29
Abbildung 47: Winterroggen auf der Versuchsfläche am Standort Wehnen; (23.06.2014) 29
Abbildung 48: N_{min}-Werte nach Winterroggen direkt nach der Ernte (05.08.2014) und zu Beginn der Sickerwasserperiode (26.11.2014) mit unterschiedlichen Zwischenfrüchten 30
Abbildung 49: Zwischenfruchtbestand, Wehnen, 29.11.2013 30
Abbildung 50: N-Aufnahme durch die Zwischenfrucht und oberirdischer Trockenmasseertrag 2013/2014 in Abhängigkeit von der N-Düngung 30
Abbildung 51: N_{min}-Werte direkt nach der Ernte und Silomaiserträge in Abhängigkeit von vorangegangener Zwischenfrucht und Höhe der N-Düngung zu Silomais, Wehnen, 2014 ...31
Abbildung 52: Herbst-N_{min}-Werte zu Beginn der Sickerwasserperiode, nach Silomais in Abhängigkeit von vorangegangener Zwischenfrucht und Höhe der N-Düngung zu Silomais, Wehnen, 2014.....31
Abbildung 53: Entwicklung des Zwischenfruchtbestandes 2014 am Versuchsstandort Wehnen.....32

Abbildung 54: N-Aufnahme durch die Zwischenfrucht und oberirdischer Trockenmasseertrag 2014/2015 in Abhängigkeit von der N-Düngung 32
Abbildung 55: Anteile Ammonium-N, Nitrat-N und organischer Stickstoff, am gesamt Stickstoffgehalt von Ölrettich als Zwischenfrucht, bei unterschiedlicher Düngung 33
Abbildung 56: Anteile Ammonium-N, Nitrat-N und organischer Stickstoff, am gesamt Stickstoffgehalt von Ackergras 33
Abbildung 57: Zwischenfruchtmischung, Demonstrationsfläche Poppenburg,12.09.2014.....35
Abbildung 58: N_{min}-Werte auf einer Demonstrationsfläche zum Zwischenfruchtanbau, Poppenburg, 04.11.2014 36
Abbildung 59: Rohproteingehalt verschiedener Zwischenfruchtvarianten zum Vegetationsende; Demonstrationsfläche Poppenburg; 2014 36
Abbildung 60: Trockenmasseertrag und N-Entzug verschiedener Zwischenfruchtvarianten zum Vegetationsende; Demonstrationsfläche Poppenburg; 2014.....36
Abbildung 61: Zusammenstellung – anrechenbare N-Düngung zur Zwischenfrucht, N-Entzug der Zwischenfrucht und daraus errechnetes N-Saldo; Demofläche Poppenburg; 2014 37
Abbildung 62: Lage des Versuchsstandortes in Wehnen.....38
Abbildung 63: Versuchsfläche am Standort Wehnen; 14.05.2014; Versuch 649.....38
Abbildung 64: N_{min}-Werte direkt nach der Ernte und Erträge bei Silomais in Abhängigkeit von Höhe und Form der N-Düngung; Wehnen; 2014 40
Abbildung 65: Einfluss der Höhe und der Form der der N-Düngung auf N_{min}-Werte und Schichtung direkt nach der Ernte; Versuchsstandort Wehnen; 2014 41
Abbildung 66: Einfluss der Höhe und der Form der der N-Düngung auf N_{min}-Werte und Schichtung zu Beginn der Sickerwasserperiode; Versuchsstandort Wehnen; 2014.....41
Abbildung 67: N_{min}-Werte nach Silomais zu Beginn der Sickerwasserperiode in Abhängigkeit von Höhe und Form der N-Düngung; und errechnete potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser; Wehnen; 26.11.2014 41
Abbildung 68: Relativer Silomaisertrag; in Abhängigkeit von Form und Höhe der N-Düngung; Wehnen, 2014.....42
Abbildung 69: N-Bilanzen von Silomais in Abhängigkeit von Höhe und Form der N-Düngung; Wehnen, 2014.....42
Abbildung 70: Varianten des Versuchs zur Erfassung der Auswirkungen von Bodenbearbeitung nach der Silomaisernte auf die auswaschungsgefährdeten Reststickstoffgehalte im Boden 43
Abbildung 71: Witterungsverlauf während des Probenahmezeitraums 2014/2015; Wetterstation Wehnen.....44
Abbildung 72: N_{min}-Werte nach Silomais in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Aussaat von Grünroggen; 2014-2015; Versuchsstandort Borgholt.....45

Abbildung 73: N_{min}-Werte nach Silomais in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Aussaat von Grünroggen; 2014-2015; Versuchsstandort Wehnen 46
Abbildung 74: Versuchsfläche am Standort Wehnen, 2014 47
Abbildung 75: Gemittelte Rohproteingehalte bei drei Maissorten, Landessortenversuche 2012 47
Abbildung 76: Varianten zur Überprüfung der Einflussfaktoren N-Düngung, Sorte und Standort auf den Rohproteingehalt, ...48
Abbildung 77: Lage der Versuchsfläche am Standort Poppenburg, 2014 48
Abbildung 78: Versuchsstandort Poppenburg 12.09.2014 48
Abbildung 79: Sorteneinfluss auf den Rohproteingehalt von Silomais, Versuchsstandort Poppenburg, 2014 49
Abbildung 80: Silomais - sortenabhängige Ertragskurve, Optima und N_{min}-Werte direkt nach der Ernte (30.09.2014); Versuchsstandort Poppenburg, 2014 50
Abbildung 81: Herbst-N_{min}-Werte nach Silomais zu Beginn der Sickerwasserperiode und errechnete potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser; Versuchsstandort Poppenburg; 11.12.2014. 50
Abbildung 82: N-Bilanzen von Silomais bei gestaffelter N-Düngung; Versuchsstandort Poppenburg, 2014 51
Abbildung 83: Lage der Versuchsfläche am Standort Rockstedt; 2014.....51
Abbildung 84: Versuchsstandort Rockstedt, 16.09.2014.....51
Abbildung 85: Sorteneinfluss auf den Rohproteingehalt, Versuchsstandort Rockstedt, 201452
Abbildung 86: Silomais - sortenabhängige Ertragskurve, Optima und N_{min}-Werte direkt nach der Ernte (08.10.2014); Versuchsstandort Rockstedt, 2014.....52
Abbildung 87: Herbst-N_{min}-Werte nach Silomais zu Beginn der Sickerwasserperiode und errechnete potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser; Versuchsstandort Rockstedt; 04.11.20114 53
Abbildung 88: N-Bilanzen von Silomais bei gestaffelter N-Düngung; Versuchsstandort Rockstedt, 2014 53
Abbildung 89: Lage der Versuchsfläche am Standort Wehnen, 2014 54
Abbildung 90: Versuchsstandort Wehnen 07.07.2014 54
Abbildung 91: Sorteneinfluss auf den Rohproteingehalt, Versuchsstandort Wehnen, 2014 ..55
Abbildung 92: Silomais - sortenabhängige Ertragskurve, Optima und N_{min}-Werte direkt nach der Ernte (30.09.2014); Versuchsstandort Wehnen, 2014 56
Abbildung 93: Herbst-N_{min}-Werte nach Silomais zu Beginn der Sickerwasserperiode und errechnete potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser; Versuchsstandort Wehnen; 57
Abbildung 94: N-Bilanzen von Silomais bei gestaffelter N-Düngung; Versuchsstandort Wehnen, 2014 57

Abbildung 95: Im Versuch untersuchte Strategien zur Ermittlung des N-Düngebedarfs.....60
Abbildung 96: N_{min}-Werte direkt nach der Ernte und Trockenmasseertrag; Poppenburg; 2014 61
Abbildung 97: Herbst-N_{min}-Werte nach Silomais, bei unterschiedlich hoher N-Düngung; Poppenburg; 04.11.2014 62
Abbildung 98: N-Bilanz von Silomais bei unterschiedlich hoher N-Düngung; Versuchsstandort Poppenburg; 2014 62
Abbildung 99: N_{min}-Werte direkt nach der Ernte und Trockenmasseertrag; Rockstedt; 2014 63
Abbildung 100: Herbst-N_{min}-Werte nach Silomais, bei unterschiedlich hoher N-Düngung; Rockstedt; 04.11.2014.....64
Abbildung 101: N-Bilanz von Silomais bei unterschiedlich hoher N-Düngung; Versuchsstandort Rockstedt; 2014 64
Abbildung 102: N_{min}-Werte direkt nach der Ernte und Trockenmasseertrag; Wehnen; 2014 .65
Abbildung 103: Herbst-N_{min}-Werte nach Silomais, bei unterschiedlich hoher N-Düngung; Wehnen; 04.11.2014 66
Abbildung 104: N-Bilanz von Silomais bei unterschiedlich hoher N-Düngung; Versuchsstandort Wehnen; 2014 66
Abbildung 105: Versuchsfläche am Standort Werlte, 24.06.2014 67
Abbildung 106: Lage der Versuchsfläche am Standort Werlte, 2014 67
Abbildung 107: N_{min}-Werte direkt nach der Ernte und Trockenmasseertrag; Werlte; 2014....67
Abbildung 108: Herbst-N_{min}-Werte nach Silomais, bei unterschiedlich hoher N-Düngung; Werlte; 27.10.2014 68
Abbildung 109: N-Bilanz von Silomais bei unterschiedlich hoher N-Düngung; Versuchsstandort Werlte; 2014 68
Abbildung 110: Ergebnisse der Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme in wöchentlichem Abstand (KW 21-KW 24) Versuchsstandort Poppenburg; 2014.....70
Abbildung 111: N_{min}-Werte in drei Wiederholungen bei vorangegangener N-Düngung von 120 kg N/ha; Versuchsstandort Poppenburg, 2014 71
Abbildung 112: Ergebnisse der Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme in wöchentlichem Abstand (KW 21-KW 23) Versuchsstandort Rockstedt; 2014 71
Abbildung 113: Ergebnisse der Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme KW 24; Versuchsstandort Rockstedt; 2014 72
Abbildung 114: N_{min}-Werte in drei Wiederholungen bei vorangegangener N-Düngung von 120 kg N/ha; Versuchsstandort Rockstedt, 2014.....72
Abbildung 115: Ergebnisse der Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme in wöchentlichem Abstand (KW 21-KW 24) Versuchsstandort Wehnen; 2014.....73

Abbildung 116: N_{min}-Werte in drei Wiederholungen bei vorangegangener N-Düngung von 120 kg N/ha; Versuchsstandort Wehnen, 2014 73
Abbildung 117: Ergebnisse der Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme in wöchentlichem Abstand (KW 21-KW 24) Versuchsstandort Werlte; 2014.....73
Abbildung 118: N_{min}-Werte in drei Wiederholungen bei vorangegangener N-Düngung von 120 kg N/ha; Versuchsstandort Werlte, 2014 74
Abbildung 119: geeigneter Bereich für die Nitrachek-Probenahme.....74
Abbildung 120: Angestrebte Nitratkonzentration im Pflanzensaft bei Mais, Dr. A. Nitsch, Hannoversche Land-und forstwirtschaftliche Zeitung, Mai 1996 74
Abbildung 121: Witterungsverlauf und Probenahme Nitrachek; Versuchsstandort Poppenburg, 2014.....75
Abbildung 122: Nitratkonzentration im Pflanzensaft in Abhängigkeit von N-Düngung und Probenahmetermin; Poppenburg; 2014.....75
Abbildung 123: Witterungsverlauf und Probenahme Nitrachek; Versuchsstandort Rockstedt, 2014 76
Abbildung 124: Nitratkonzentration im Pflanzensaft in Abhängigkeit von N-Düngung und Probenahmetermin; Rockstedt; 2014 76
Abbildung 125: Witterungsverlauf und Probenahme Nitrachek; Versuchsstandort Wehnen, 2014 77
Abbildung 126: Nitratkonzentration im Pflanzensaft in Abhängigkeit von N-Düngung und Probenahmetermin; Wehnen; 2014 78
Abbildung 127: Silomais; Variante 60 kg N/ha; Versuchsstandort Wehnen; 23.06.2014.....78
Abbildung 128: Silomais; Variante 120 kg N/ha; Versuchsstandort Wehnen; 07.07.2014;....78
Abbildung 129: Witterungsverlauf und Probenahme Nitrachek; Versuchsstandort Werlte, 2014 79
Abbildung 130: Nitratkonzentration im Pflanzensaft in Abhängigkeit von N-Düngung und Probenahmetermin; Werlte; 2014 79
Abbildung 131: Silomais; Versuchsfläche Werlte; 08.07.2014 79
Abbildung 132: Silomais; gestaffelte N-Düngung; Versuchsstandort Werlte; 24.06.2014.....80
Abbildung 133: Lage des Versuchsstandorts Addrup 82
Abbildung 134: Wirkungsgrad alternativer Herbizidstrategien unter Verzicht auf Terbuthylacin und Metolachlor; Addrup, 2014.....83
Abbildung 135: Lage des Versuchsstandorts Bad Laer 84
Abbildung 136: Wirkungsgrad alternativer Herbizidstrategien unter Verzicht auf Terbuthylazin und Metolachlor; Bad Laer, 2014.....85
Abbildung 137: Lage des Versuchsstandorts Marklohe 86

Abbildung 138: Wirkungsgrad alternativer Herbizidstrategien unter Verzicht auf Terbuthylazin und Metolachlor; Marklohe, 2014 87
Abbildung 139: Untersaaten in Silomais, Dasselsbruch, 31.08.2014, 887 89
Abbildung 140: Ergänzende Untersuchungen zur N-Nachlieferung von Untersaaten. 90
Abbildung 141: N_{min}-Werte in Silomais mit Untersaaten, direkt nach der Silomaisernte, Dasselsbruch, 2014, 887 91
Abbildung 142: N_{min}-Werte in Silomais mit Untersaaten, zu Beginn der Sickerwasserperiode, Dasselsbruch, 2014, 887 91
Abbildung 143: N_{min}-Werte in Silomais mit Untersaaten, direkt nach der Silomaisernte, Wehnen, 2014, 887 91
Abbildung 144: N_{min}-Werte in Silomais mit Untersaaten, zu Beginn der Sickerwasserperiode, Wehnen, 2014, 887 91
Abbildung 145: Silomaiserträge 2014 in Abhängigkeit von der vorangegangenen Untersaat; Dasselsbruch 92
Abbildung 146: Silomaiserträge 2014 in Abhängigkeit von der vorangegangenen Untersaat; Wehnen 92
Abbildung 147: N_{min}-Werte in Silomais mit Untersaaten, direkt nach der Silomaisernte, Dasselsbruch, 2014, 888 93
Abbildung 148: N_{min}-Werte in Silomais mit Untersaaten, direkt nach der Silomaisernte, Wehnen, 2014, 888 93
Abbildung 149: N_{min}-Werte in Silomais mit Untersaaten, zu Beginn der Sickerwasserperiode, Wehnen, 2014, 888 93
Abbildung 150: Erträge unterschiedlicher Maiswuchstypen mit verschiedenen Untersaaten; 2014; Dasselsbruch; 888 94
Abbildung 151: Erträge unterschiedlicher Maiswuchstypen mit verschiedenen Untersaaten; 2014; Wehnen; 888 94
Abbildung 152: Lage des Versuchsstandortes Stapel 94
Abbildung 153: Versuchsstandort Stapel 94
Abbildung 154: N_{min}-Werte direkt nach der Maisernte mit verschiedenen Untersaaten/Zwischenfrüchten in einem Pflanzenschutzversuch 95
Abbildung 155: N_{min}-Werte nach Mais, zu Beginn der Sickerwasserperiode mit verschiedenen Untersaaten/Zwischenfrüchten in einem Pflanzenschutzversuch 95
Abbildung 156: N_{min}-Werte nach Mais, im Frühjahr mit verschiedenen Untersaaten/Zwischenfrüchten in einem Pflanzenschutzversuch 95
Abbildung 157: Herbst-N_{min}-Werte nach Silomais bei unterschiedlichem vorangegangenem mehrjährigen Feldfutterbau; Poppenburg 29.09.2014 96

Abbildung 158: Herbst-N_{min}-Werte nach Silomais bei unterschiedlichem vorangegangenem mehrjährigen Feldfutterbau; Werlte 27.10.2014.....96
Abbildung 159: Silomaiserträge und Rohproteingehalte 2014 bei unterschiedlichem vorangegangenem mehrjährigen Feldfutterbau, Versuchsstandort Poppenburg.....97
Abbildung 160: Silomaiserträge und Rohproteingehalte 2014 bei unterschiedlichem vorangegangenem mehrjährigen Feldfutterbau, Versuchsstandort Werlte.....97
Abbildung 161: N_{min}-Werte nach Silomais mit Gülleunterfußdüngung und breit ausgebrachter Gülle im Vergleich, direkt nach der Ernte; Versuchsstandort Poppenburg; (30.09.2014) 101
Abbildung 162: N_{min}-Werte nach Silomais mit Gülleunterfußdüngung und breit ausgebrachter Gülle im Vergleich, zu Beginn der Sickerwasserperiode; Versuchsstandort Poppenburg; (10.12.2014).....101
Abbildung 163: Wetterstation, Versuchsstandort Dasselsbruch.....104
Abbildung 164: Klimadaten; Mittel der Wetterstationen in Niedersachsen 104
Abbildung 165: Klimadaten; Wetterstation Dasselsbruch.....104
Abbildung 166: Klimadaten; Wetterstation Hamerstorf.....104
Abbildung 167: Klimadaten der Wetterstation Poppenburg.....105
Abbildung 168: Klimadaten der Wetterstation Rockstedt 105
Abbildung 169: Klimadaten der Wetterstation Wehnen.....105
Abbildung 170: Klimadaten der Wetterstation Werlte.....105
Abbildung 171: N-Düngeempfehlungen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Sollwertschema).....106
Abbildung 172: Aktuelle, online verfügbare N-Düngeempfehlungen 106
Abbildung 173: Übersicht der, bei Sollwertdüngung zu berücksichtigenden Korrekturfaktoren 106

3.6. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Mittlere Sickerwasserrate der Bodenklimaräume Niedersachsens für Acker und Grünland 7
Tabelle 2: Fruchtfolge Hamerstorf, Versuch 643..... 9
Tabelle 3: N-Düngung in der grundwasserschutzorientierten Bioenergiefruchtfolge, Hamerstorf, 2014, Versuch 643.....10
Tabelle 4: N-Düngung in der konventionellen Fruchtfolge, Hamerstorf, 2014, Versuch 643 .10
Tabelle 5: Standorteigenschaften, Versuchsstandort Hamerstorf, 2014, 643.....11
Tabelle 6: Fruchtfolge Versuch 644, 2009-2016 16
Tabelle 7: N-Düngung Versuch 644, 2014.....17
Tabelle 8: Standorteigenschaften Versuchsstandort Thülsfelde; 2014; 644a;.....17
Tabelle 9: Standorteigenschaften Versuchsstandort Thülsfelde; 2014; 644b;.....19

Tabelle 10: Standorteigenschaften Versuchsstandort Thülsfelde; 2014; 644c; 22
Tabelle 11: Varianten des Versuchs zum grundwasserschutzorientierten Zwischenfruchtanbau 2012-2014 27
Tabelle 12: TM-Gehalt von Ackergras und Ölrettich; 18.12.2014; Wehnen.....33
Tabelle 13: Zusammensetzung der leguminosenhaltigen Zwischenfruchtmischung 35
Tabelle 14: N-Düngung Zwischenfruchtmischung.....35
Tabelle 15: Standortdaten; Versuchsstandort Wehnen, Versuch 649 39
Tabelle 16: N-Düngung Versuch 649, Wehnen, 2014.....39
Tabelle 17: Versuchsstandort Poppenburg, Versuch 648, 2014 48
Tabelle 18: Versuchsstandort Rockstedt, Versuch 648, 2014.....51
Tabelle 19: Versuchsstandort Wehnen, Versuch 648, 2014 54
Tabelle 20: Versuchsstandort Werlte, Versuch 648, 2014 67
Tabelle 21: Übersicht N-Düngung, N_{min}-Werte und Erträge bei unterschiedlichen N-Düngestrategien und ohne N-Düngung; 2014 69
Tabelle 22: Pflanzenschutz und Wasserschutz; Varianten Standort Addrup, 2014 83
Tabelle 23: Pflanzenschutz und Wasserschutz; Varianten Standort Bad Laer, 2014 85
Tabelle 24: Pflanzenschutz und Wasserschutz; Varianten Standort Marklohe, 2014.....87
Tabelle 25: Übersicht Untersaatenzusammensetzung; Versuch 888.....90
Tabelle 26: Übersicht Varianten Gülleunterfußdüngung (100 % entsprechen der Sollwertdüngung) 100
Tabelle 27: Versuchsübersicht 2014.....103