Versuchsbericht 2017

Grundwasserschutzorientierte Landbewirtschaftung

Landwirtschaftskammer Niedersachsen

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

Abschlussbericht Versuchsjahr 2017

Ergebnisse aus den Wasserschutzversuchen

Herausgeber:

Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWKNi)

Mars-la-Tour-Straße 1-13 26121 Oldenburg

E-Mail: info@lwk-niedersachsen.de

Internet: www.lwk-niedersachsen.de

Stand:

April 2019

Hinweis:

Dieser Versuchsbericht sowie die Anlage, Betreuung und Auswertung der Versuche werden durch das Niedersächsische Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz finanziert.

Inhalt

1. Einleitung 5
1.1. Witterung im Versuchsjahr 2017 6
2. Material und Methode 8
2.1. Die N_{min}-Methode 8
2.2. Gesetz vom abnehmenden Ertragszuwachs zur Berechnung des ökonomischen Düngungs- und Ertrags-Optimum 9
2.3. Stickstoff-Mineraldüngeräquivalente (N-MDÄ) 10
2.4. N-Gehalt im Erntegut 11
2.5. N-Bilanz 11
2.6. N-Aufnahme (= N-Abfuhr) 12
2.7. N-Nachlieferung zur Folgefrucht 12
3. Versuche mit Sickerwasseruntersuchungen 13
3.1. Wasserschutzversuch Hamerstorf - Grundwasserschutzorientierte Gestaltung der Fruchtfolge und grundwasserschutzorientierte N-Düngung (643) 15
3.1.1. Versuchsaufbau und Durchführung 15
3.1.2. Ergebnisse 20
3.1.2.1. N_{min}-Werte im Jahresverlauf 20
3.1.2.2. Erträge 23
3.1.2.3. N-Bilanzen 26
3.1.3. Zusammenfassung 28
2.2. Versuchsstandort Thülsfelde - Grundwasserschutzorientierte Gestaltung der Fruchtfolge und N-Düngung (644) 30
2.2.1. Versuchsaufbau und Durchführung 30
2.2.2. Ergebnisse 33
2.2.2.1. N_{min}-Werte 33
2.2.2.2. Erträge 39
2.2.2.3. Optimale N-Düngung und optimaler Ertrag 41
2.2.2.4. N-Bilanzen 42

2.2.3. Zusammenfassung 43
2.3. Versuchsstandort Wehnen – Grundwasserschutz durch Zwischenfruchtanbau (645) 44
2.3.1. Grundwasserschutz durch Zwischenfruchtanbau 44
2.3.2. Ergebnisse 49
2.3.2.1. N_{min}-Werte 49
2.3.2.2. Erträge 52
2.3.2.3. Ertrags- und N-Düngungs-Optima 53
2.3.2.4. N-Bilanz 54
2.3.3. Zusammenfassung 57
2.4. Versuchsstandort Wehnen - Grundwasserschutzorientierte organische Düngung (649) 59
2.4.1. Versuchsaufbau und Durchführung 59
2.4.2. Ergebnisse 62
2.4.2.1. N_{min}-Werte 62
2.4.2.2. Erträge 65
2.4.2.3. N-Mineraldüngeräquivalente 66
2.4.2.4. N-Bilanz 68
2.4.3. Zusammenfassung 69
3. Mehrjährige Feldversuche zur N-Düngung & N-Dynamik im Boden 70
3.1. Vergleich von N-Düngestrategien im Silomaisanbau (648) 70
3.1.1. Versuchsaufbau und Durchführung 70
3.1.2. Ergebnisse Werlte 73
3.1.3. Zusammenfassung 78
3.2. N-Düngung im Maisanbau auf humusreichen Standorten (916) 80
3.2.1. Versuchsaufbau und Durchführung 80
3.2.2. Ergebnisse Ihlow 81
3.2.2.1. N_{min}-Werte 81
3.2.2.2. Erträge 82
3.2.3. Ergebnisse Wettmar 84
3.2.4. Zusammenfassung 85

3.3. Regionalspezifische Strategien zur grundwasserschutzorientierten N-Düngung im Winterweizen (612) 86

3.3.1. Ergebnisse 88

3.3.1.1. Borwede (Blattweizen) 88

3.3.1.2. Hamerstorf (Blattweizen) 88

3.3.1.3. Höckelheim (Stoppel- und Blattweizen) 90

3.3.1.4. Otterndorf (Blattweizen) 93

3.3.1.5. Otterham (Blattweizen) 94

3.3.1.6. Poppenburg (Stoppelweizen) 95

3.3.1.7. Königslutter (Stoppelweizen) 96

3.3.1.8. Martinsbüttel und Groß Steinum (614 – stabilisierte Stickstoffdünger) 97

3.3.2. Erträge 99

3.3.3. Zusammenfassung 100

3.4. Einfluss organischer N-Düngung auf Wintergerste (421) 102

3.4.1. Versuchsaufbau und Durchführung 102

3.4.2. Ergebnisse 103

3.4.2.1. N_{min}-Werte 103

3.4.2.2. Erträge 104

3.4.3. Zusammenfassung 106

3.5. Einfluss der N-Düngung und Beregnung auf Sommergerste (227) 107

3.5.1. Versuchsaufbau und Durchführung 107

3.5.2. Ergebnisse 109

3.5.2.1. N_{min}-Werte 109

3.5.2.2. Erträge 110

3.5.3. Zusammenfassung 112

3.6. Festmistdüngung zu Wintergerste (461) 113

3.6.1. Versuchsaufbau und Durchführung 113

3.6.2. Ergebnisse 116

3.6.2.1. N_{min}-Werte 116

3.6.2.2. Erträge 117

3.6.3. Zusammenfassung 119

3.7. Einfluss organischer N-Düngung auf Winterroggen (401) 120

3.7.1. Versuchsaufbau und Durchführung 120

3.7.2. Ergebnisse 121

3.7.2.1. N_{min}-Werte 121

3.7.2.2. Erträge 123

3.7.2.3. Ertragsoptimum und N-MDÄ 124

3.7.3. Zusammenfassung 126

3.8. Auswirkungen der Stickstoffdüngung auf Winterraps (653) 127

3.8.1. Versuchsaufbau und Durchführung 127

3.8.2. Ergebnisse 128

3.8.2.1. Astrup 128

3.8.2.2. Otterham 129

3.8.3. Zusammenfassung 131

4. Anhang 132

4.1. Klimadaten 132

4.2. Tabellenverzeichnis 137

4.3. Abbildungsverzeichnis 139

Literaturverzeichnis 145

1. Einleitung

Im Rahmen der landesweiten Aufgaben im kooperativen Trinkwasserschutz (§ 28 NWG) führt die Landwirtschaftskammer Niedersachsen Versuche zur grundwasserschutzorientierten Landbewirtschaftung durch. Das Niedersächsische Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz und der Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) stellen dabei die Finanzierung aus der Wasserentnahmegebühr zur Verfügung.

Ziel der Versuche ist es, Maßnahmen zur Vermeidung von Nitrateinträgen in das Grundwasser zu untersuchen und weiterzuentwickeln. Zusätzlich erfolgen Sickerwasseruntersuchungen an drei Standorten in Thülsfelde, Wehnen und Hamerstorf durch das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) [*Abbildung 2*].

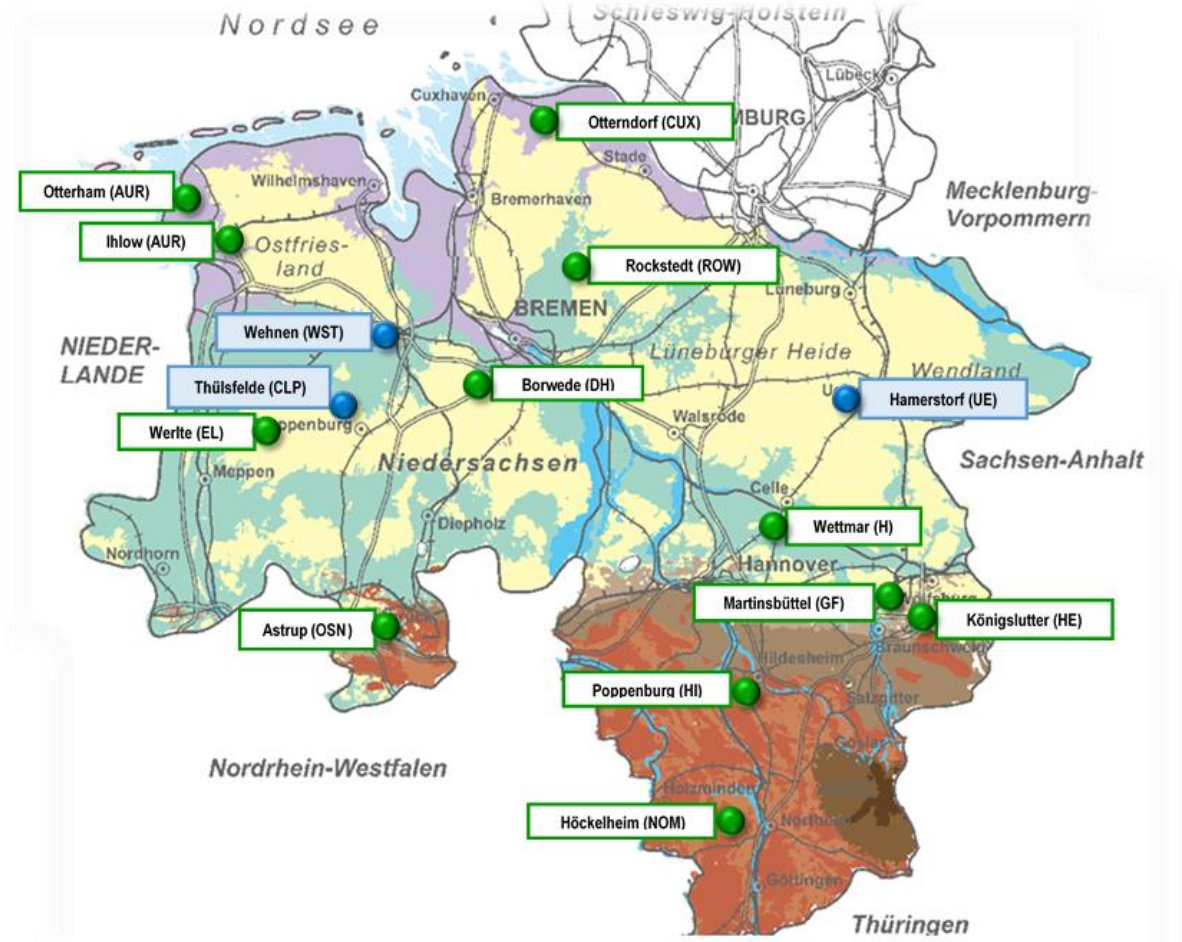

Abbildung 1: Lage der Versuchsstandorte der Wasserschutzversuche nach Boden-Klima-Raum (BKR) in Niedersachsen 2017

Je nach Versuchsfrage werden an allen Standorten [*Abbildung 1*] die Auswirkungen der Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die N-Dynamik im Boden, N-Bilanzen, Erträge und Qualitätsparameter untersucht. Der Versuchsbericht beinhaltet neben den Wasserschutzversuchen auch Ergebnisse aus Feldver-

suchen anderer pflanzenbaulicher Maßnahmen. Bei der Auswahl der Versuchsstandorte werden die verschiedenen Anbauverhältnisse und die Auswaschungsgefährdung in Niedersachsen bestmöglich berücksichtigt. Daher werden an drei Standorten in vier Anlagen Sickerwasseruntersuchungen durchgeführt.

Versuche mit Sickerwasseruntersuchungen		
Hamerstorf	**Thülsfelde**	**Wehnen**
• Verbesserung der Sickerwasserqualität durch grundwasserschutzorientierte Gestaltung der Fruchtfolge	• Auswirkungen unterschiedlicher Furchtfolgen und reduzierter und überhöhter N-Düngung auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser	• Reduzierung der Nitratkonzentration im Sickerwasser durch Zwischenfruchtanbau • Grundwasserschutzorientierte organische Düngung

Abbildung 2: Standorte mit N_{min}-Probenahme und Erfassung der Nitratkonzentration im Sickerwasser (LBEG)

1.1. Witterung im Versuchsjahr 2017

Das Bewirtschaftungsjahr 2017 war durch große Niederschlagsmengen gekennzeichnet. Vielerorts waren die Böden zur Ernte teils wassergesättigt, dass es zu Ernteproblemen und –ausfällen kam. An einigen Standorten in Niedersachsen fielen teilweise bis zu doppelte Niederschlagsmengen im Vergleich zum langjährigen Mittel. Eine Übersicht der Niederschlagsmengen einiger Versuchsstandorte sind in *Abbildung 3* dargestellt. Weitere Klimadaten zu den Versuchsstandorten sind im Anhang (*Kapitel 4.1*) zu finden.

An fast allen Standorten war bereits vor der Ernte vertikaler Wassertransport und damit eine Stickstoffverlagerung zu verzeichnen. Diese Besonderheit ist bei der Betrachtung der Versuchsergebnisse unbedingt zu berücksichtigen.

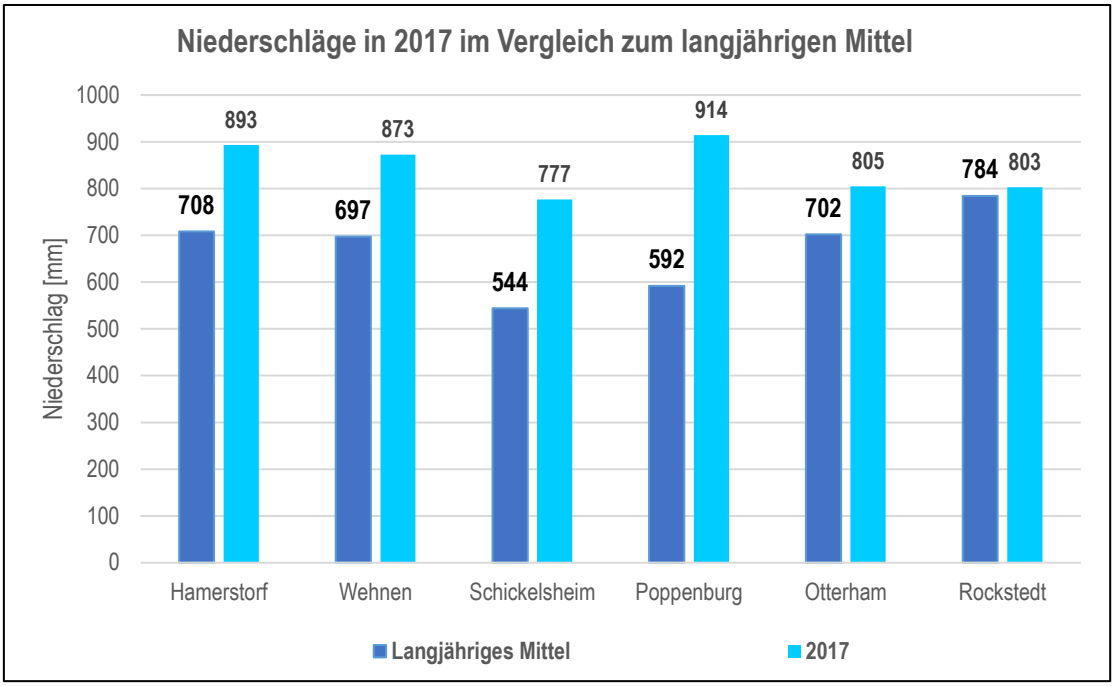

Abbildung 3: Niederschlagsmengen in 2017 im Vergleich zum langjährigen Mittel

2. Material und Methode

2.1. Die N_{min}-Methode

Die N_{min}-Untersuchung dient zur Erfassung des pflanzenverfügbaren, mineralisierten Stickstoffanteils des Bodens (löslicher, mobiler Anteil). Der mineralische Stickstoffgehalt im Boden, kurz N_{min}, setzt sich aus der Summe von Nitrat-Stickstoff (NO_{3-}) und Ammonium-Stickstoff (NH_4^+) zusammen.

Die Frühjahrs-N_{min}-Werte geben Auskunft über die im Frühjahr im Boden verfügbare Stickstoffmenge und werden für die Ermittlung einer bedarfsgerechten Stickstoffdüngung genutzt. Die Ernte-N_{min}-Werte geben den Reststickstoffgehalt im Boden direkt nach der Ernte an und können als erfolgsorientierte Maßnahme genutzt werden. Nach der Ernte unterliegt der Stickstoff allerdings noch Umbau- und Mineralisationsprozessen. Um diese Effekte genauer erfassen zu können und damit gleichzeitig Aussagen über die N-Dynamik im Boden zu treffen, kann eine Herbst-N_{min}-Beprobung durchgeführt werden. So soll möglichst eine Bewertung des Auswaschungspotentials vor Beginn der Sickerwasserspende sowie eine Prognose der Nitrat-Konzentration im Sickerwasser vorgenommen werden.

Für die methodische Vorgehensweise wird auf die folgenden zwei Dokumente verwiesen:

- Untersuchung des mineralischen Stickstoffs im Boden - Empfehlung zur Nutzung der Herbst-N_{min}-Methode Band 8 (NLWKN 2010)
- Hinweise zur Entnahme von Bodenproben auf N_{min} (LUFA 2017)

Da Versuchsparzellen deutlich kleiner und homogener als in der landwirtschaftlichen Praxis sind, werden für die N_{min}-Proben auf der Versuchsfläche anstatt der regulären 16 Einstiche i.d.R. zwischen 6 bis 10 Einstiche vorgenommen.

Umrechnung Grenzwert der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) in N_{min}

Die Trinkwasserverordnung[1] regelt Schutzvorschriften für das Trinkwasser im Rahmen der Umsetzung der EG-Richtlinie. Dabei ist der Zweck der Verordnung, die menschliche Gesundheit vor nachteiligen Einflüssen, die sich aus Verunreinigungen des Wassers ergeben, zu schützen. In der TrinkwV sind Grenzwerte für chemische Parameter festgelegt, unter anderem für Nitrat. Dabei darf die Konzentration von Trinkwasser einen Wert von 50 mg pro Liter Wasser nicht überschreiten.

Zum Abgleich der N_{min}-Werte [in kg N_{min}/ha] mit der Nitratkonzentration im Wasser [in mg NO_{3-}/l] kann eine Umrechnung wie folgt erfolgen:

mg NO_{3-}/l im Sickerwasser = (Herbst-N_{min} (kg/ha)) / (Sickerwasserrate SWR (mm/Jahr)) x 443

N_{min} Nitrat-N + Ammonium-N in kg N/ha für die Tiefe 0 – 90 cm

443 Umrechnungsfaktor von N zu Nitrat (4,43) kombiniert mit dem Faktor 100 zur Einheit-Umrechnung (mm zu Liter Sickerwasser/ha und kg zu mg Nitrat)

[1] https://www.gesetze-im-internet.de/trinkwv_2001/BJNR095910001.html

SWR jährliche Sickerwasserrate in mm – im Optimalfall einzeljahresbezogen, ansonsten langjähriges Mittel

2.2. Gesetz vom abnehmenden Ertragszuwachs zur Berechnung des ökonomischen Düngungs- und Ertrags-Optimum

Das Gesetz vom abnehmenden Ertragszuwachs nach Mitscherlich besagt, dass der Pflanzenertrag durch die Steigerung von Nährstoffgaben bis zu einem möglichen Höchstertrag ansteigt. Der Ertragszuwachs wird dabei mit jeder zusätzlichen Düngeeinheit kleiner. Werden die Nährstoffgaben über den Höchstertrag gesteigert, kann der Ertrag wieder zurückgehen. Um den Höchstertrag statistisch erfassen zu können, werden die Wasserschutzversuche mit einer festen Stickstoffdüngestaffel angelegt, das heißt es werden bewusste niedrige sowie überhöhte Düngungsgaben als Versuchsvarianten appliziert. Dadurch ist es möglich, das ökonomische Optimum für den Ertrag und die eingesetzte Düngermenge nach der Ernte jahresspezifisch zu ermitteln.

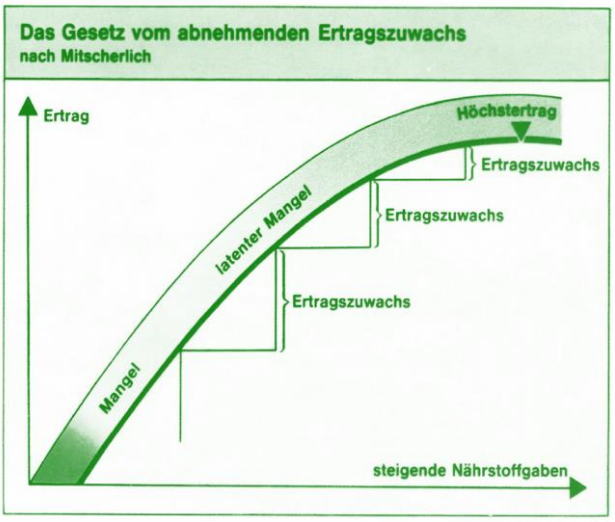

Abbildung 4: Das Gesetz vom abnehmenden Ertragszuwachs nach Mitscherlich

Das ökonomische Optimum setzt sich also aus einer bestimmten N-Düngung und dem dazugehörigen Ertrag zusammen. Es gibt an, bei welcher N-Düngung der Ertrag wirtschaftlich am meisten Gewinn bringt. Für die Berechnung werden Kosten für die Düngung (inkl. Ausbringung) in Relation zu den erwirtschafteten Erträgen gesetzt. Die Berechnungen in den Wasserschutzversuchen orientieren sich an den aktuellen veröffentlichten Richtwert-Deckungsbeiträgen (Heft 2017) der Landwirtschaftskammer Niedersachsen.

Im Versuchsjahr 2017 (Richtwert-Deckungsbeiträgen, 2017) liegen die Kosten für die N-Düngung (Düngemittel und Ausbringungskosten) bei 1,00 € (= Faktorpreis). Der mögliche zu erwirtschaftende Preis für das Ernteprodukt (=Produktpreis) errechnet sich auf der Grundlage Maissilage (34% TS) ex Silo mit einem Preis von 3,30 €/dt. Gerechnet auf die mittlere Trockenmasse der Ernte sowie der mittleren Erträge der Versuchsstandorte ergibt sich ein Produktpreis im Jahr 2017 von rd. 19 €/dt.

Mithilfe der mathematischen Gleichung entsprechend der Ertragskurve des Versuchsjahres lässt sich zunächst das N-Düngungsoptimum ermitteln. Dazu wird die erste Ableitung der Formel erstellt und der Produktpreis sowie der Faktorpreis zum Lösen der Formel eingesetzt. Das Ergebnis kann anschließend zur Ermittlung des Ertragsoptimums in die Ausgangsformel eingesetzt werden.

Beispiel (Thülsfelde 2017):

Ertragsfunktion: $f(x)= -0{,}0028x^2 + 0{,}985x + 137{,}72$

Berechnung N-Optimum: $-0{,}0056x + 0{,}985$ *(Bildung 1. Ableitung)*

$19*(-0{,}0056x + 0{,}985) = 1$

$-0{,}1064x + 18{,}715 = 1$

$-0{,}1064x = -17{,}715$

Errechnetes N-Optimum: ***166 kg N/ha***

Berechnung Ertragsoptimum: $-0{,}0028*(166{,}49)^2 + 0{,}985*166{,}49+137{,}72$

Errechnetes Ertragsoptimum: 224 dt TM/ha

2.3. Stickstoff-Mineraldüngeräquivalente (N-MDÄ)

Die Stickstoff-Mineraldüngeräquivalente (N-MDÄ) dient als Bezugsmaß für die Nährstoffwirksamkeit von organischen Düngemitteln. Die prozentuale Gewichtung errechnet sich aus dem Verhältnis der Nährstoffausnutzung des organischen Düngers im Vergleich zu einer gleich hohen Mineraldüngergabe. Die N-MDÄ wird auch als anrechenbare Wirksamkeit bezeichnet. Um die N-MDÄ berechnet zu können wird eine mineralische N-Düngestaffel für die Ableitung der Ertragsfunktion (siehe 2.2) und eine rein organische Variante (z.B. 120 kg Gesamt-N aus Schweingülle) benötigt. Die Höhe der N-Düngung orientiert sich an dem Nährstoff, der zuerst abgedeckt wird.

Beispiel (Winterroggen Wehnen 2017):

Ertragsfunktion: $f(x)= -0{,}0033x^2 + 0{,}852x + 36{,}521$

Die mit 120 kg Gesamt-N/ha organisch gedüngte Variante hatte einen Ertrag von 54 dt TM/ha.

Berechnung: $f(x) = -0{,}0033x^2 + 0{,}852x + 36{,}521$ | $f(x)=54$

$54 = -0{,}0033x^2 + 0{,}852x + 36{,}521$ | $/-0{,}0033$

$-16364 = x^2 - 258x - 11067$ | $+16364$

$0 = x^2 - 258x + 5297$ | *Anwendung p/q-Formel*

$x_{1,2} = (p/2) \pm \sqrt{(p/2)^2-q}$

$$x_{1,2} = (-258/2) \pm \sqrt{(-258/2)^2-5297}$$

$$x_{1,2} = 129 \pm \sqrt{11344}$$

$$x_{1,2} = 129 \pm 107$$

$$x_1 = 23 \qquad x_2=236$$

Berechnung N-MDÄ [%]: *N-MDÄ= (x_1 / eingesetzte Menge organischer Dünger) *100*

Errechnete N-MDÄ: *19 %*

In den Versuchen, in denen es nicht um die Ermittlung der N-MDÄ sondern vielmehr um die Anwendung bei der N-Bedarfsermittlung (z.B. in en nach N-Bedarf gedüngten Varianten) geht, werden immer die N-Anrechenbarkeiten gemäß der Empfehlungen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen herangezogen (webcode:01016600).

2.4. N-Gehalt im Erntegut

Der Rohproteingehalt wird aus der Summe aller Verbindungen im Erntegut, die Stickstoff enthalten, gebildet. Der Umrechnungsfaktor von Rohprotein zu Stickstoff liegt bei Getreide bei 6,25, nur bei Winterweizen ist dieser mit 5,7 etwas geringer. Der Rohproteingehalt kann mithilfe des N-Gehalts wie folgt berechnet werden:

Rohproteingehalt allgemein [%] = *N-Gehalt [kg/dt] x 6,25*

Rohproteingehalt Winterweizen [%] = *N-Gehalt [kg/dt] x 5,7*

N-und Rohproteingehalte beziehen sich beim Erntegut immer auf die Trockenmasse.

Eine weitere mögliche Berechnungsformel für den N-Gehalt lautet:

N-Gehalt [kg/dt] = *Rohproteingehalt [%] x 0,16*

Um den durch die Pflanze gebundenen Stickstoff (N-Aufnahme) ermitteln zu können kann wie folgt gerechnet werden:

Beispiel: Winterweizen mit 90 dt TM Ertrag, 11% Rohproteingehalt

N-Aufnahme durch den Winterweizen: *90 dt TM x 11% / 6,25= 158,4 kg N/ha*

2.5. N-Bilanz

Die N-Bilanz errechnet sich aus der N-Zufuhr der Düngung und der N-Abfuhr mit dem Erntegut. Der Bilanzierungszeitraum bezieht sich dabei auf den in der Düngeverordnung (DüV) definierten Zeitraum, dem Düngejahr. Das Düngejahr ist nach § 2 Nummer 4 der DüV wie folgt definiert: „Zeitraum von

12 Monaten, auf den sich die Bewirtschaftung des überwiegenden Teiles der landwirtschaftlich genutzten Fläche, insbesondere die dazugehörige Düngung, bezieht.“ Bei der Bilanzierung muss - bei Abweichung des Zeitraums von der DüV - der gewählte Zeitraum, z.B. Kalenderjahr mit angegeben werden.

N-Bilanz [kg N/ha] = N-Zufuhr [kg N/ha] – N-Abfuhr [kg N/ha]
N-Zufuhr [kg N/ha] = N-Düngung [kg N/ha]
*N-Abfuhr [kg N/ha] = N-Gehalt [kg N/dt] * Ertrag [dt TM/ha]*

2.6. N-Aufnahme (= N-Abfuhr)

Mithilfe des ermittelten N-Gehalts einer Kultur und dem dazugehörigen Aufwuchs kann die N-Aufnahme berechnet werden. Durch die ermittelte N-Aufnahme kann beispielsweise ermittelt werden, wie viel des gedüngten Stickstoffs durch eine Kultur aufgenommen werden kann. Die N-Aufnahme ist abhängig vom N-Angebot eines Standortes.

*N-Aufnahme [kg N/ha] = N-Gehalt [kg N/dt] * Ertrag [dt TM/ha]*
N-Angebot [kg N/ha] = N-Zufuhr [kg N/ha] + N_{min} [kg N/ha]

In dem Versuchsbericht wird der Ertrag grundsätzlich in Trockenmasse angegeben. Dabei muss unbedingt beachtet werden, dass es sich um Exaktversuche handelt, in denen die Kernparzelle beerntet wird und somit versucht wird, Randeffekte auszuschließen. Daher liegen die Erträge häufig rd. 10 – 15 % (teilweise 20 %) über den Praxiserträgen.

2.7. N-Nachlieferung zur Folgefrucht

Die N-Nachlieferung einer Zwischenfrucht an die darauffolgende Hauptfrucht wird über die Differenz der errechneten N-Düngungsoptima der Vergleichsvarianten (siehe Kapitel 2.2) berechnet. Dazu wird neben einer N-Düngungssteigerung zur Ermittlung der optimalen N-Düngung und den Zwischenfruchtvarianten immer eine Kontrollvariante zum Vergleich (Variante ohne Zwischenfrucht) benötigt.

N-Nachlieferung [kg N/ha] = N-Optimum Variante ohne Zwischenfrucht [kg N/ha] – N-Optimum zu errechnende Variante (z.B. ungedüngte ZwF) [kg N/ha]

3. Versuche mit Sickerwasseruntersuchungen

Die Versuche mit Sickerwasseruntersuchungen werden an vier Standorten in Hamerstorf, Thülsfelde und Wehnen durchgeführt [Abbildung 2]. Das LBEG erfasst dabei die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser, ergänzend dazu untersucht die Landwirtschaftskammer Niedersachsen den mineralischen Stickstoffgehalt des Bodens (N_{min}) in den verschiedenen N-Düngungsvarianten.

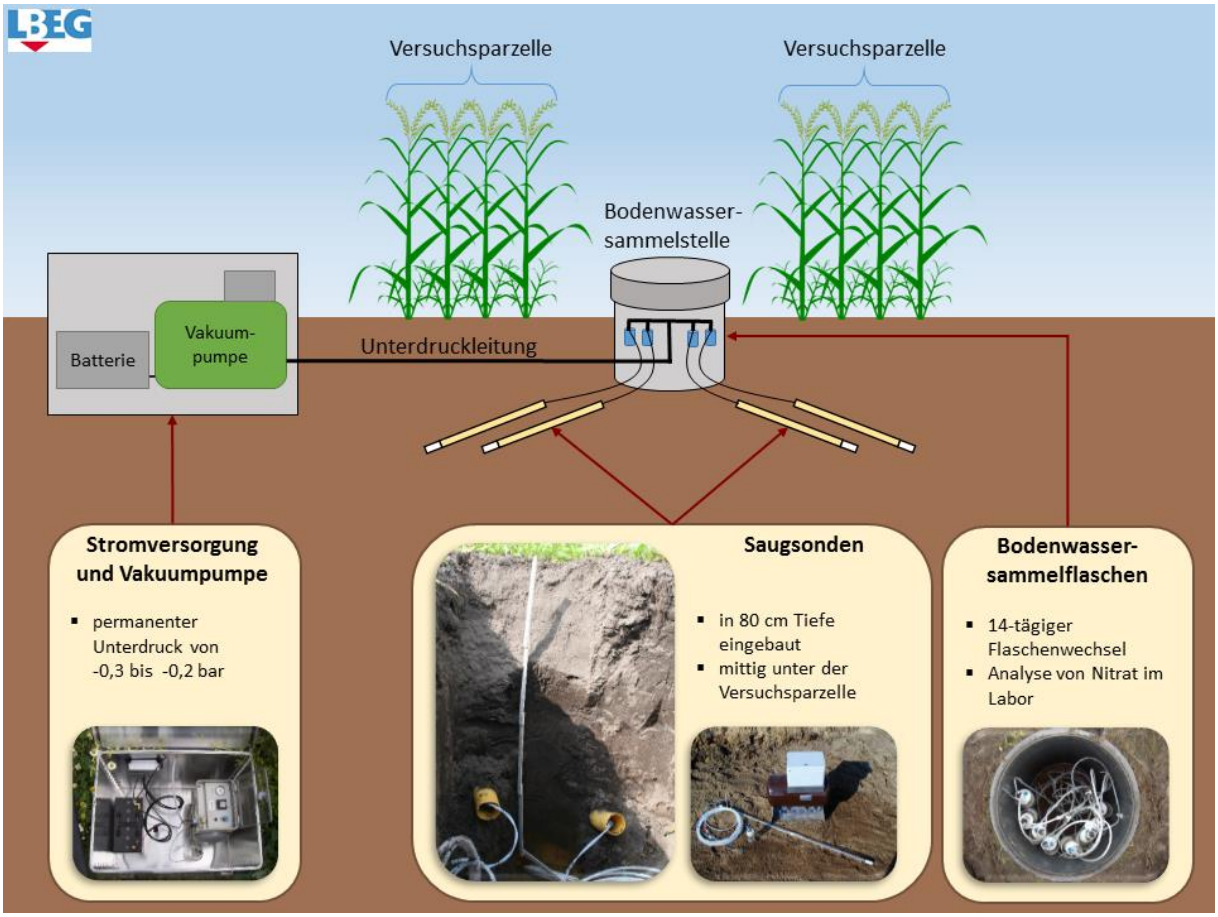

Abbildung 5: Beispielhafter Aufbau der Sickerwasseranlagen [Affelt, LBEG]

Die Untersuchungen geben Auskunft über den Einfluss der Bewirtschaftungsmaßnahmen, insbesondere zu den Auswirkungen unterschiedlicher Stickstoffdüngermengen auf den Nitratgehalt im Sickerwasser. Dabei wird mit Hilfe von Saugsonden dem Boden durch Unterdruck, erzeugt durch eine installierte Unterdruckpumpe, Sickerwasser entzogen *[Abbildung 5*]. Das Sickerwasser wird während der Sickerwasserperiode in den Sammelflaschen aufgefangen und anschließend auf Nitrat analysiert.

Die Versuche mit begleitenden Sickerwasseruntersuchungen ermöglichen, neben der Untersuchung der N-Dynamik im Boden, auch die Beurteilung der damit zusammenhängenden Nitratkonzentration im Sickerwasser und der Nitratfrachten während der Grundwasserneubildung in den einzelnen Varianten. Die Auswertung der langjährigen Versuchsergebnisse aus Thülsfelde (LK Cloppenburg) und Wehnen (LK Ammerland) zeigt einen engen Zusammenhang zwischen den Reststickstoffgehalten im Herbst im

Boden und der Nitratkonzentration im Sickerwasser während der Sickerwasserperiode [*Abbildung 6*]. Mit Hilfe der langjährigen Ergebnisse auf diesen leichten, auswaschungsgefährdeten Standorten kann die Aussage, dass hohe N_{min}-Gehalte auch zu hohen Nitratkonzentrationen im Sickerwasser führen, getroffen werden.

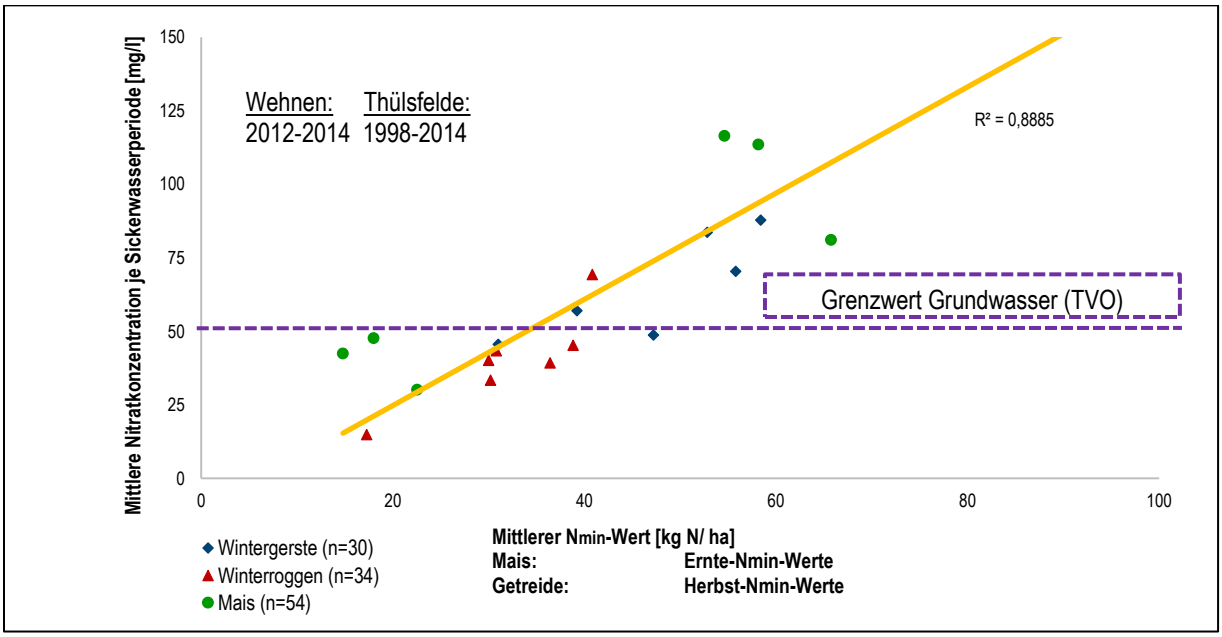

Abbildung 6: Zusammenhang zwischen N_{min}-Werten und Nitratkonzentration während der Sickerwasserperiode

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

Die Sickerwasseruntersuchungen leisten zusätzlich zu ihrem wissenschaftlichen Wert einen Beitrag zur Etablierung des Erfolgsparameters geringer Nitratgehalte im Sickerwasser. Durch Besichtigungen und Diskussionen rund um die Ergebnisse aus den Versuchsflächen und Sickerwasseranlagen wird der direkte Einfluss der Bewirtschaftung, insbesondere der Stickstoffdüngung, auf die Nitratauswaschung aufgezeigt und der Beratung zur Verfügung gestellt.

3.1. Wasserschutzversuch Hamerstorf - Grundwasserschutzorientierte Gestaltung der Fruchtfolge und grundwasserschutzorientierte N-Düngung (643)

Versuchsfragen:

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

3.1.1. Versuchsaufbau und Durchführung

Der Versuchsstandort Hamerstorf liegt im Landkreis Uelzen in der Gemeinde Suderburg. Die Fläche liegt 65 m über NN. Das Ausgangsmaterial ist ein Geschiebedecksand über glazialfluviatilen Sanden und Geschiebelehm [*Abbildung 7*]. Der Boden wird als Braunerde mit wechselndem Stauwassereinfluss beschrieben. Der Sand-Standort ist auswaschungsgefährdet, die Ackerzahl beträgt 25. Das C/N-Verhältnis liegt bei 8,5 mit einem Humusgehalt von 1,2%.

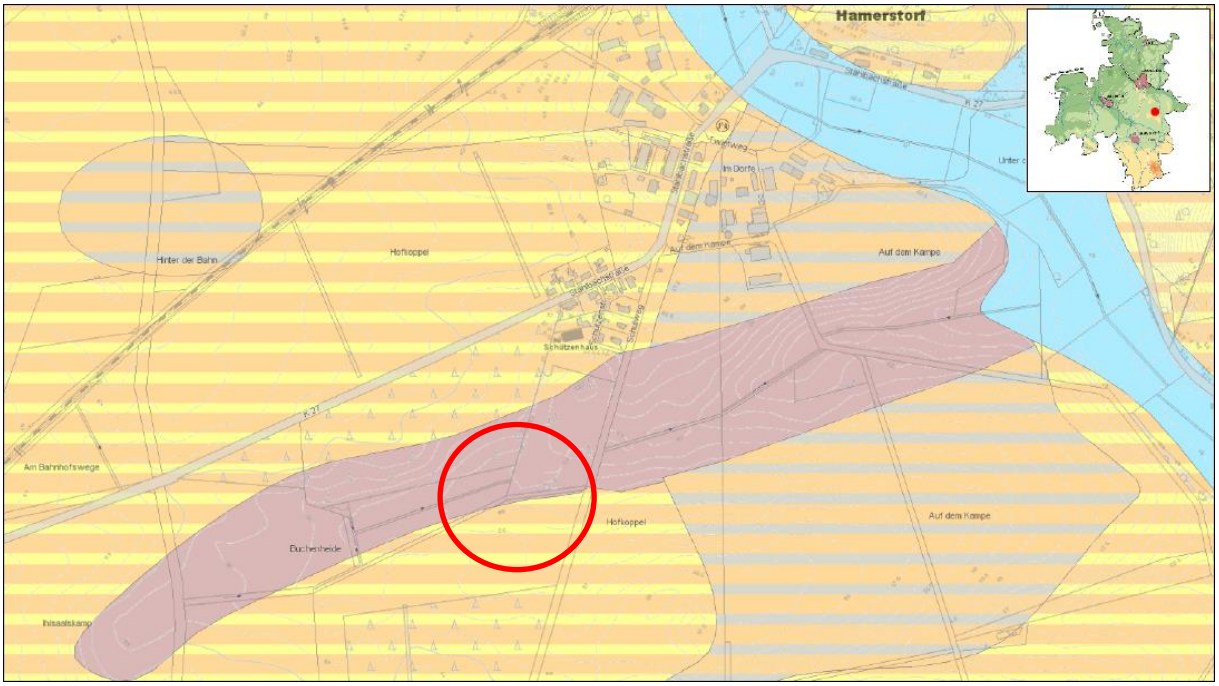

Abbildung 7: Lage des Versuchsstandorts Hamerstorf – Bodenkarte von Niedersachsen (BK50) [NIBIS Kartenserver (31.05.2018), Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG)]

Seit 1995 gibt es den Versuch im LK Uelzen, bis 2013 auf einer Versuchsfläche in Hohenzethen, seit 2014 ist dieser in Hamerstorf angelegt. Dabei geht es um die Auswirkungen der Fruchtfolgegestaltung,

als auch um die Untersuchung des Einflusses der Höhe und Form der N-Düngung. In weiteren Varianten, ergänzend zu den festen mineralischen N-Steigerungsstufen wird die standortspezifische N-Mineraldüngeräquivalente bei organischer Düngung untersucht. Ziel ist es, die Auswirkungen einer grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge und einer angepassten N-Düngung im Vergleich zu einer konventionellen Fruchtfolge zu untersuchen und Empfehlungen für die Beratung herzuleiten und die N-Effizienz zu beurteilen.

Dazu wurde standort- und regionalspezifisch die Fruchtfolge geplant. Regionalspezifisch ist es zudem typisch, dass der Wasserhaushalt durch Beregnung der Flächen verbessert wird. Durch Aussaat von Winterroggen nach der Kartoffelernte und gleichzeitiger Aussaat einer Untersaat soll die Herbstfeuchte bestmöglich genutzt werden und ein Untersaatenbestand vor den Wintermonaten etabliert werden. Untersaaten bringen neben der Bedeckung im Winter weitere Vorteile für den Grundwasserschutz mit sich [*Abbildung 8*]. Aufgrund des späten Erntezeitpunktes von Silomais sind Untersaaten als Begrünung bes-

Abbildung 8: Mögliche Vorteile von Untersaaten im Grundwasserschutz

ser geeignet die Herbst-N_{min}-Werte zu senken, als beispielsweise eine Winterbegrünung mit Grünroggen, da die Untersaat zum Zeitpunkt der späteren Maisaussaat bereits etabliert ist. Durch eine vollständige Begrünung der Fläche kann der nach der Ernte im Boden verbliebene Reststickstoff weitgehend konserviert werden. Gleichzeitig kann über eine Schnittnutzung der Untersaat der N-Entzug erhöht werden. Daneben kann durch die Untersaat die Bodenerosion im Winter verringert und gleichzeitig auch

die Humuszufuhr erhalten werden. Als Grasuntersaaten haben sich hauptsächlich Weidelgras-Mischungen und Schwingel-Mischungen (Rotschwingel) bewährt. Ein Vorteil des Rotschwingels gegenüber dem wüchsigeren Weidelgras ist die höhere Trockentoleranz[1].

Die Versuchsanlage in Hamerstorf ist als zweifaktorielle Spaltenanlage angelegt [*Abbildung 9*], mit einer *konventionellen* und *grundwasserschutzorientierten* Fruchtfolge. Am 28.03.2017 wurden in der konventionellen Fruchtfolge Braugerste nach Silomais, in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge Braugerste (Sorte Quench) mit anschließender Zwischenfrucht nach Silomais mit Grasuntersaat getestet. Insgesamt gibt es jeweils 10 Düngungsstufen, um auch den Einfluss der Höhe der N-Düngung auf die Sickerwasserqualität und die N-Dynamik im Boden zu untersuchen [*Tabelle 1*].

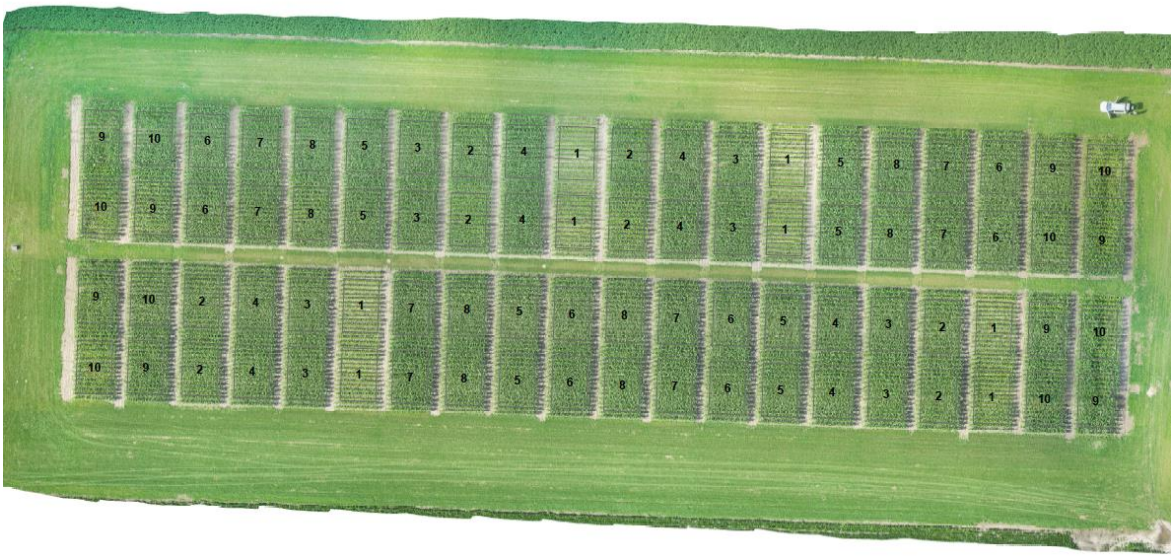

Abbildung 9: Luftbildaufnahme des Versuchs mit Silomais am 30.06.2016 (Bild: Orlowski)

Tabelle 1: Fruchtfolge der Versuchsfläche am Standort in Hamerstorf von 2014-2018, Vers. Nr.: 643

Jahr	Fruchtart	
	Konventionelle Fruchtfolge	Grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge
2014	Kartoffel	Kartoffel
2015	Winterroggen	Winterroggen GPS (reduzierte Aussaatstärke und Untersaat)
2016	Silomais	Grasuntersaat mit Beerntung, anschl. Silomais mit Grasuntersaat
2017	**Braugerste**	**Braugerste + Zwischenfrucht**
2018	Kartoffel	Frühe Kartoffelsorte + Zwischenfrucht

[1] Landwirtschaftskammer Niedersachsen, 2016

Zusätzlich zu den mineralischen N-Düngungsstufen (Variante 1-6) werden die Auswirkungen eines stabilisierten N-Düngers (ENTEC) überprüft (Variante 7). ENTEC-Dünger enthalten Ammoniumstabilisatoren, die die Nitrifikation im Boden verlangsamen. Für den Wasserschutz sind dabei besonders die Vorteile einer verbesserten Stickstoffversorgung bei unterschiedlichen Witterungsverläufen insbesondere auf auswaschungsgefährdeten Standorten, die bessere N-Ausnutzung durch eine angepasste Stickstoffnachlieferung und die damit verbundene Reduzierung der Stickstoffauswaschung und –verlagerung herauszustellen[2]. Der Einsatz von Stickstoffhemmern ist für das Grundwasser allerdings nicht unproblematisch, da einige Abbauprodukte wie z.B. das Triazol im Grundwasser gefunden werden. Um auch die standortspezifische Mineraldüngeräquivalente zu berechnen und deren langfristige Entwicklung festzuhalten, wird zusätzlich eine Variante mit ausschließlicher Gärrestdüngung (Variante 10) und eine Variante in Kombination mit Gärrestdüngung und Mineraldünger (Variante 9) angelegt. Variante 8 stellt die jährlich pflanzenbedarfsgerechte Sollwertdüngung minus 20% dar [Tabelle 3]. Der Versuch wurde in 2017 an 2 Terminen im Sommer mit je 30 mm/ha beregnet [*Tabelle 2*].

Tabelle 2: Beregnungstermine der Versuchsfläche in Hamerstorf in 2017

	Beregnung [je Termin 30 mm]
1. Termin	30.05.2017
2. Termin	20.06.2017

Tabelle 3: N-Düngungsstufen der Versuchsfläche in Hamerstorf in 2017

2016	**Vers.-Nr.: 643**		
	Braugerste		
Variante	**Bezeichnung**	**Mineralische N-Düngung [kg N/ha]**	**Organische N-Düngung [kg N/ha]**
1	Min. 0 kg N/ha	0	-
2	Min. 40 kg N/ha	40	-
3	Min. 80 kg N/ha	80	-
4	Min. 120 kg N/ha	120	-
5	Min. 160 kg N/ha	160	-
6	Min. 200 kg N/ha	200	-
7	120 kg N/ha stabilisiert (ENTEC)	100	-
8	Sollwert (SW) -20 %	80	-
9	80 kg Gesamt-N aus Gärrest + 20 kg N mineralisch	20	80
10	80 kg Gesamt-N aus Gärrest	-	80
Behandlungstermine		**Braugerste**	**Zwischenfrucht**
1. N-Düngungstermin		27.03. organisch, 29.03. mineralisch	20 kg N/ha am 16.08.
2. N-Düngungstermin		10.05. mineralisch	

[2] BAYWA AG, 2017

Im Jahr 2017 wurde Braugerste (Sorte Quench) in der konventionellen Fruchtfolge und Braugerste (Sorte Quench) mit anschließender Zwischenfrucht (Ölrettich) in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge angebaut. Die Aussaat der Braugerste erfolge am 28.03.2017. Die Braugerste wurde am 31.07.2017 geerntet, in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge wurde anschließend am 16.08.2017 ein Ölrettich (N-Düngung 20 kg N/ha) ausgesät, der am 13.11.2017 beerntet wurde.

3.1.2. Ergebnisse

3.1.2.1. N_{min}-Werte im Jahresverlauf

Um die Entwicklung des mineralischen Stickstoffgehalts standortspezifisch im Boden im Jahresverlauf zu erfassen, wurde eine N_{min}-Beprobung in der Variante der mineralischen N-Düngestaffel 120 kg N/ha in beiden Fruchtfolgen durchgeführt (*Abbildung 10*). Insgesamt sind die N_{min}-Werte über das Jahr verteilt mit 10 bis 23 kg N_{min}/ha niedrig. Lediglich im April und Mai liegen die N_{min}-Werte aufgrund der am 29.03.2017 und 10.05.2017 erfolgten N-Düngung einem insgesamt hohen Niveau zwischen 131 und 71 kg N_{min}/ha. In der Grundwasserschutz-Fruchtfolge steigt der N_{min}-Wert im September aufgrund der zur Zwischenfrucht erfolgten N-Düngung Mitte August auf 33 kg N_{min}/ha leicht an. Die Zwischenfrucht konnte allerdings die gedüngte Stickstoffmenge aufnehmen, sodass sich der N_{min}-Wert zum Ende der Vegetationsperiode wieder sinkt. Ein signifikanter Unterschied zwischen dem N_{min}-Verlauf der konventionellen und grundwasserschutzorientierten Variante ist dabei nicht zu erkennen.

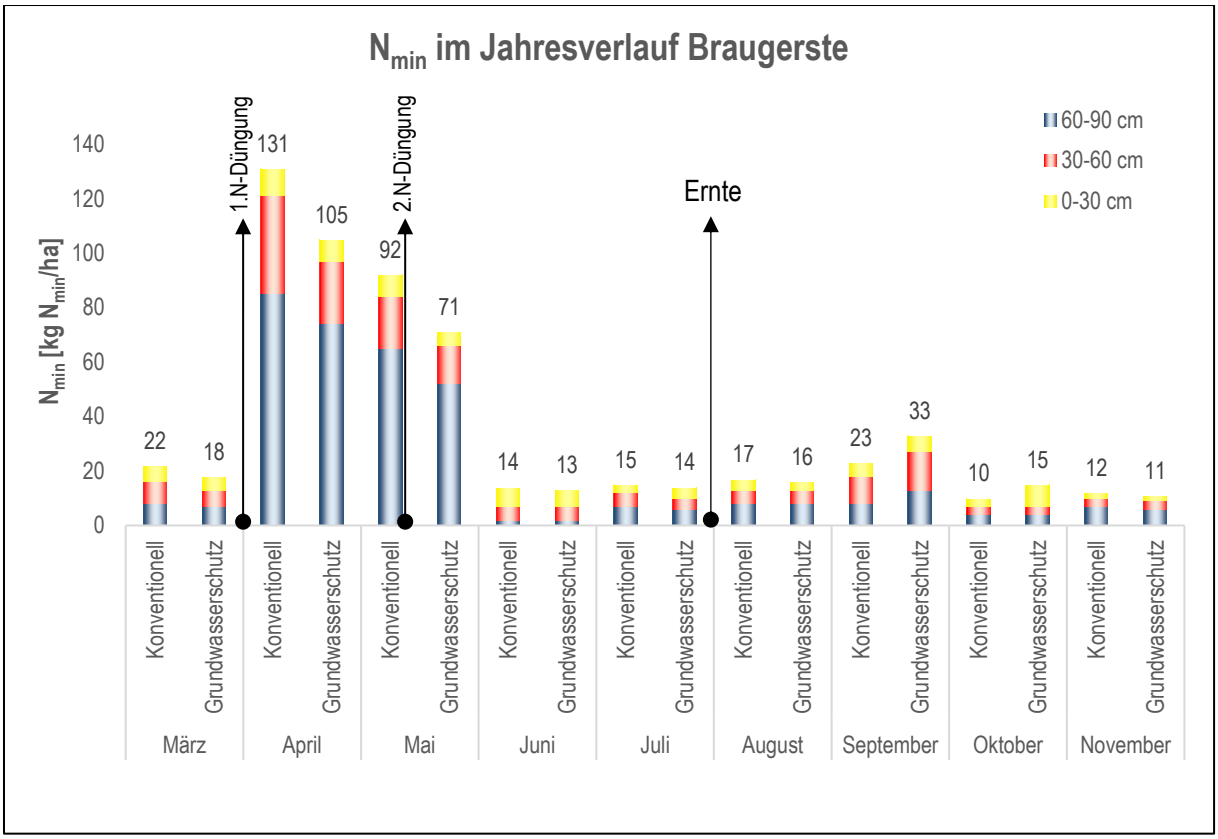

Abbildung 10: N_{min}-Werte unter Braugerste und Braugerste mit anschließender Zwischenfrucht im Jahresverlauf bei einer N-Düngung von 120 kg N/ha am Versuchsstandort in Hamerstorf in 2017

N_{min}-Werte der grundwasserschonenden und konventionellen Fruchtfolge

Die im Frühjahr gemessenen N_{min}-Werte lagen in den Varianten zwischen 18 und 23 kg N_{min}/ha [*Abbildung 11*].

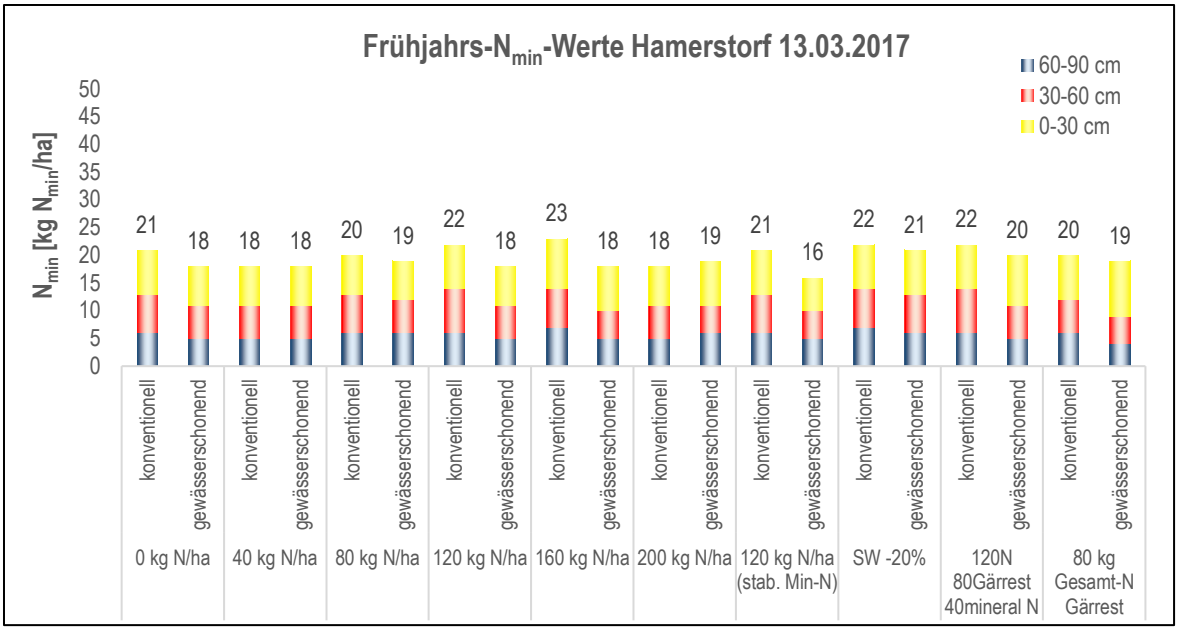

Abbildung 11: Frühjahrs-N_{min}-Werte in der konventionellen und grundwasserschutzorientierten Fruchtfolgerotation im Vergleich vom 13.03.2017 am Versuchsstandort Hamerstorf

Im Vergleich der beiden Fruchtfolgerotationen in 2017 am Standort in Hamerstorf fallen keine wesentlichen Unterschiede im Ernte-N_{min}-Wert zwischen der konventionellen und grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge auf. Diese liegen insgesamt auf einem niedrigen Niveau zwischen 15 und 23 kg N_{min}/ha. Auch innerhalb der N-Düngungsstufen sind keine signifikanten Unterschiede erkennbar.

Vom Zeitpunkt der Ernte bis zum Probenahmetermin im Herbst am 22.11.2017 nahmen die N_{min}-Werte leicht ab und lagen zwischen 9 und 28 kg N_{min}/ha [*Abbildung 13*]. Es ist zu beachten, dass aufgrund des sehr regenreichen Sommers 2017 bereits vor Ernte der Hauptkultur Sickerwasser aufgetreten ist. Daher bleiben die Ergebnisse aus den Sickerwasseruntersuchungen durch das LBEG abzuwarten, um eine mögliche Minderung der N_{min}-Werte der Ganzjahresbedeckung in der Grundwasserschutz-Fruchtfolge und den reduziert gedüngten Varianten feststellen zu können. Diese werden in einem gesonderten Bericht veröffentlicht *(www.lwk-niedersachsen.de webcode: 01031393)*.

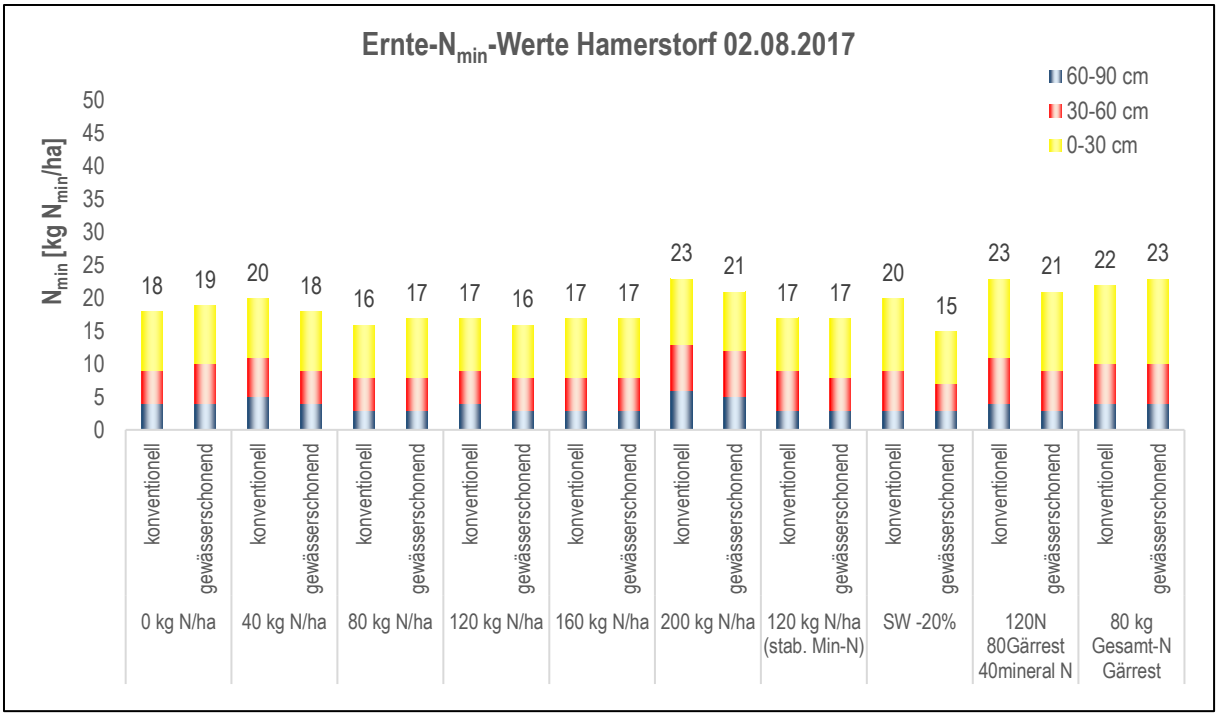

Abbildung 12: Ernte-N_{min}-Werte in der konventionellen und grundwasserschutzorientierten Fruchtfolgerotation im Vergleich vom 02.08.2017 am Versuchsstandort Hamerstorf

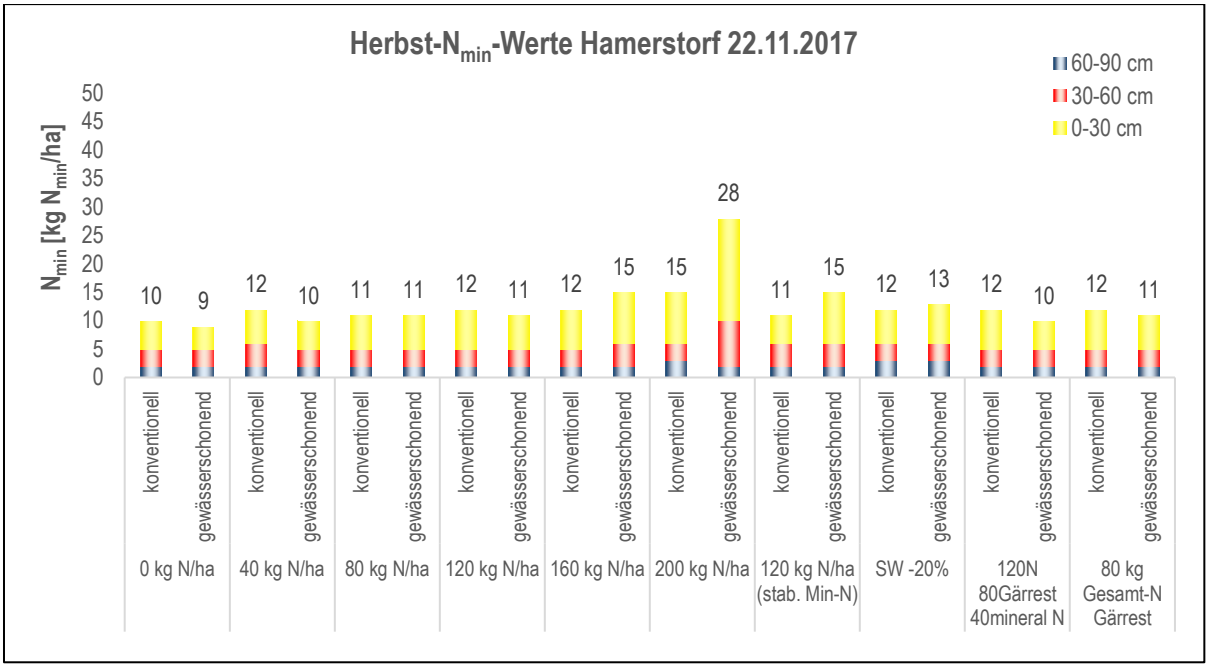

Abbildung 13: Herbst-N_{min}-Werte in der konventionellen und grundwasserschutzorientierten Fruchtfolgerotation im Vergleich vom 22.11.2017 am Versuchsstandort Hamerstorf

3.1.2.2. Erträge

Grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge

Die Braugerste-Erträge in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge am Versuchsstandort in Hamerstorf wurden am 31.07.2017 (Erntedatum Braugerste) ermittelt [*Abbildung 14*].

Der Ertrag in den mineralischen N-Düngungsstufen stieg mit zunehmender N-Düngung an und nimmt bei einer Überdüngung wieder leicht ab. Dabei unterscheiden sich die Erträge in der Variante 150 kg N/ha und 250 kg N/ha kaum. Auch die mineralisch, organisch und mit ENTEC stabilisierte gedüngten Varianten (100 kg N/ha, 80 kg Gesamt-N aus Gärrest, 120 kg N/ha ENTEC) weisen hinsichtlich der Erträge keinen signifikanten Unterschied auf.

Der Rohproteingehalt nimmt mit zunehmender N-Düngung leicht zu, dabei liegt dieser in allen Varianten zwischen 10 und 12,7 %.

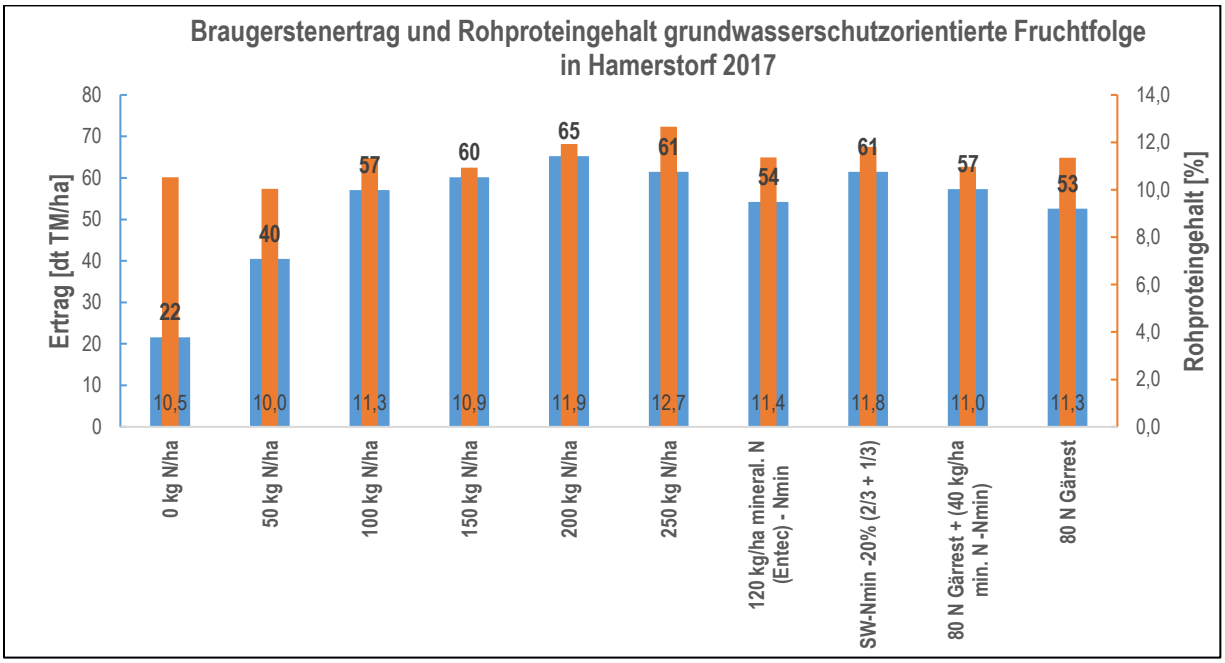

Abbildung 14:Ertrag der Braugerste und Rohproteingehalt in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge am Versuchsstandort in Hamerstorf im Versuchsjahr 2017

Der Ertrag der Zwischenfrucht Ölrettich im Versuchsjahr 2017 unterscheidet sich je nach N-Düngungsstufe der vorangegangenen Braugerste. In der ungedüngten, der mit 200 kg N/ha gedüngten und in der mit 80 kg Gesamt-N aus Gärrest gedüngten Variante war der Ertrag mit 5,2, 7,8 und 5,7 dt TM/ha am höchsten. Die N-Gehalte liegen zwischen 1,5 und 2,9 % [*Abbildung 15*].

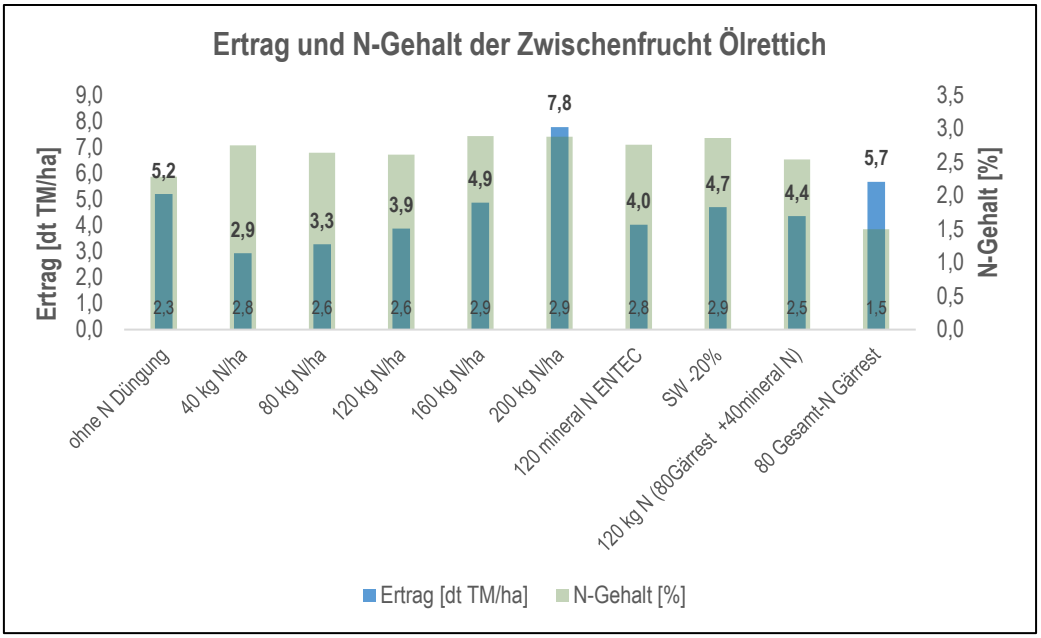

Abbildung 15: Ertrag von Ölrettich und N-Gehalt in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge am Versuchsstandort in Hamerstorf im Versuchsjahr 2017

Die N-Aufnahme der Pflanze lässt sich aus dem Ertrag und dem N-Gehalt der Pflanze ermitteln [2.6]. Im Versuchsjahr 2017 am Standort in Hamerstorf wird deutlich, dass mit zunehmender mineralischer N-Düngung auch der N-Entzug steigt. In der mit 100 kg N/ha gedüngten Variante wurden 104 kg N/ha, in der mit 200 kg N/ha gedüngten Variante 125 kg N/ha entzogen [*Abbildung 16*]. Bei den in vergleichbarer Höhe mineralisch und organisch gedüngten Varianten waren die N-Entzüge in den organisch gedüngten Varianten etwas geringer. Ein Grund könnte die etwas später zur Verfügung stehende N-Menge aus der Organik sein. Dazu bleibt das nächste Versuchsjahr abzuwarten.

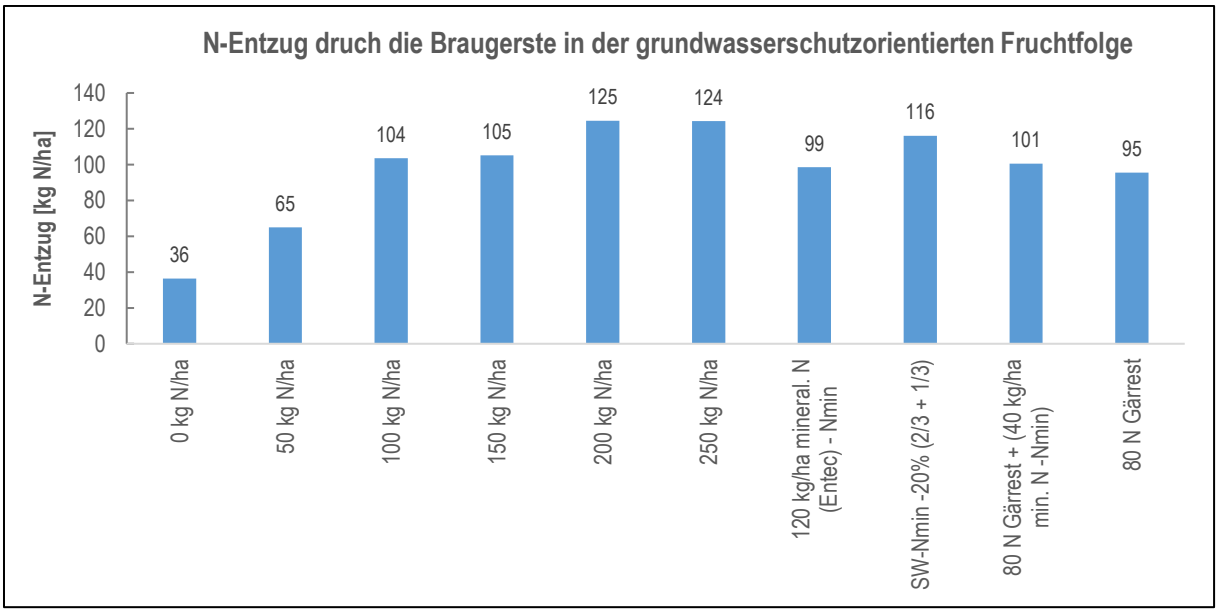

Abbildung 16: N-Entzug durch die Braugerste in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge bis zu Beginn der Sickerwasserspende in 2017 am Versuchsstandort Hamerstorf

Konventionelle Fruchtfolge

In der konventionellen Fruchtfolge steigt der Ertrag der Braugerste mit zunehmender N-Düngung auf 61 dt TM/ha an und nimmt in der mit 250 kg N/ha überdüngten Variante wieder leicht ab. Der in diesem Jahr erreichte Höchstertrag konnte schon bei einer N-Düngung von 100 kg N/ha erreicht werden. Die organisch (80 kg Gesamt-N aus Gärresten) und mineralisch (100 kg N/ha mineralisch) gedüngten Varianten unterscheiden sich mit 41 und 55 dt TM/ha deutlich voneinander, anders als in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge. Die mit ENTEC stabilisierte N-Düngungsvariante (120 kg N/ha) hat im Vergleich zur mineralisch gedüngten Variante (100 kg N/ha) etwas niedrigeren Ertrag, trotz höherer Düngungsmengen. Der Rohproteingehalt nimmt mit zunehmender N-Düngung zu und liegt insgesamt auf einem Niveau zwischen 10,5 und 12,9% [*Abbildung 17*].

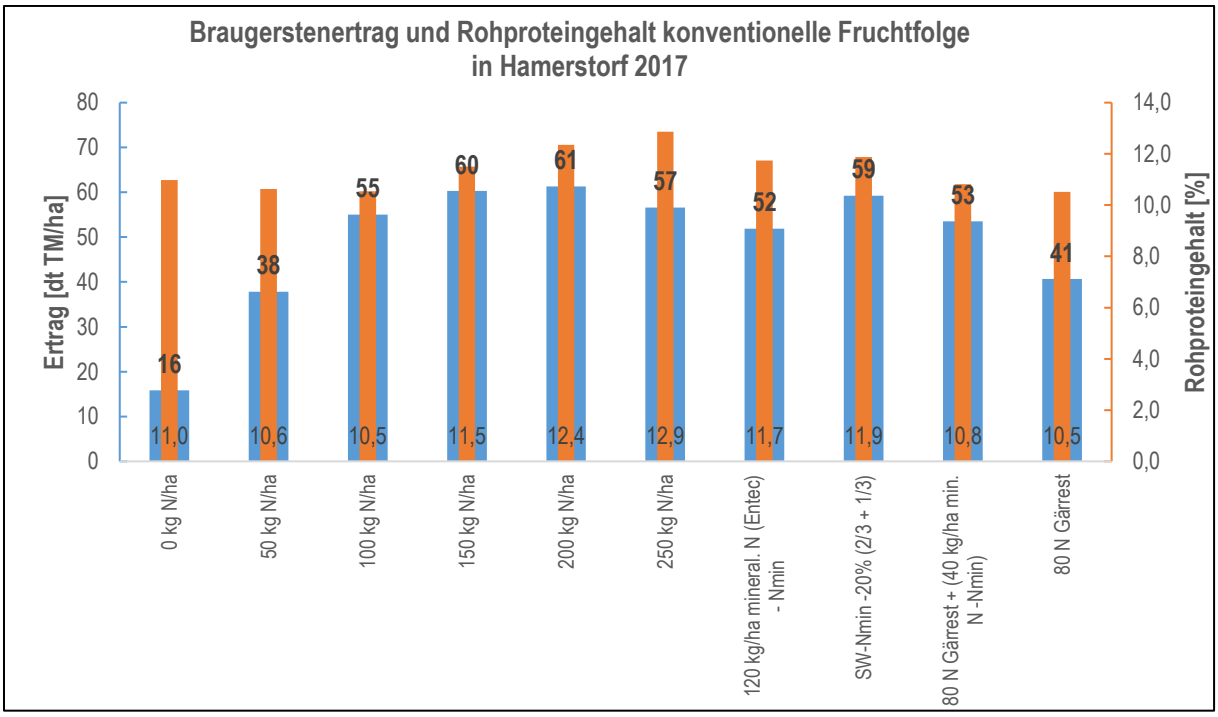

Abbildung 17: Ertrag der Braugerste und Rohproteingehalt der konventionellen Fruchtfolge am Versuchsstandort in Hamerstorf im Versuchsjahr 2017

Der N-Entzug der Braugerste in der konventionellen Fruchtfolge am Versuchsstandort in Hamerstorf im Jahr 2017 nimmt mit zunehmender N-Düngung in der mineralischen N-Düngungssteigerung zu und verhält sich damit ähnlich die die Varianten der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge [*Abbildung 18*]. Die mit 120 kg N/ha (ENTEC) gedüngte Variante hat einen Entzug von 97 kg N/ha. Die Braugerste der organisch gedüngten Variante entzog dabei deutlich weniger Stickstoff, als in der mineralischen N-Düngestaffel.

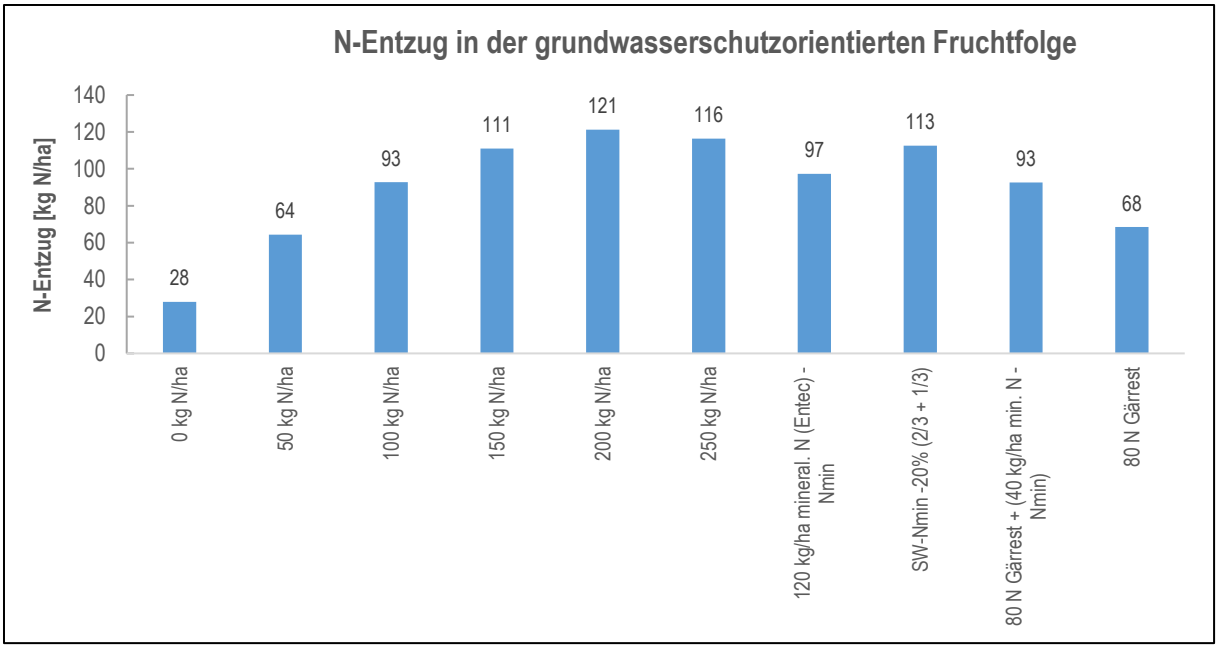

Abbildung 18: N-Entzug durch die Braugerste in der konventionellen Fruchtfolge bis zu Beginn der Sickerwasserspende in 2017 am Versuchsstandort Hamerstorf

3.1.2.3. N-Bilanzen

Die N-Bilanz errechnet sich aus der N-Zufuhr aus der Düngung und der N-Abfuhr (Ertrag mal N-Gehalt im Erntegut) mit dem Erntegut. Die N-Bilanzsalden für alle N-Düngungsvarianten der beiden Fruchtfolgen sind in *Abbildung 19* dargestellt. Als Bilanzierungszeitraum ist das Kalenderjahr 2017 (01.01.2017 – 31.12.2017) gewählt. Insgesamt liegen die Bilanzsalden in einem Bereich zwischen -36 und 134 kg N/ha.

In den N-Düngungsvarianten bis 100 kg N/ha sind die Bilanzsalden beider Fruchtfolgen negativ bzw. neutral. In der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge variieren die Salden zwischen -36 kg N/ha in der ungedüngten und plus 126 kg N/ha in der deutlich überdüngten (250 kg N/ha) Variante. In der mit 150 kg N/ha gedüngten Variante ist die N-Bilanz mit 45 kg N/ha im Vergleich etwas geringer als in der mit 120 kg N/ha-ENTEC gedüngten Variante, in der die Bilanz bei 21 kg N/ha liegt. Im negativen Bereich liegt dagegen die Bilanz in der mit 80 kg Gesamt-N aus Gärrest gedüngten Variante (N-Bilanz -15 kg N/ha) sowie die mit 100 kg N/ha mineralisch gedüngten Variante (N-Bilanz -4 kg N/ha). Zusätzlich muss in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge der N-Entzug durch den Ölrettich berücksichtigt werden.

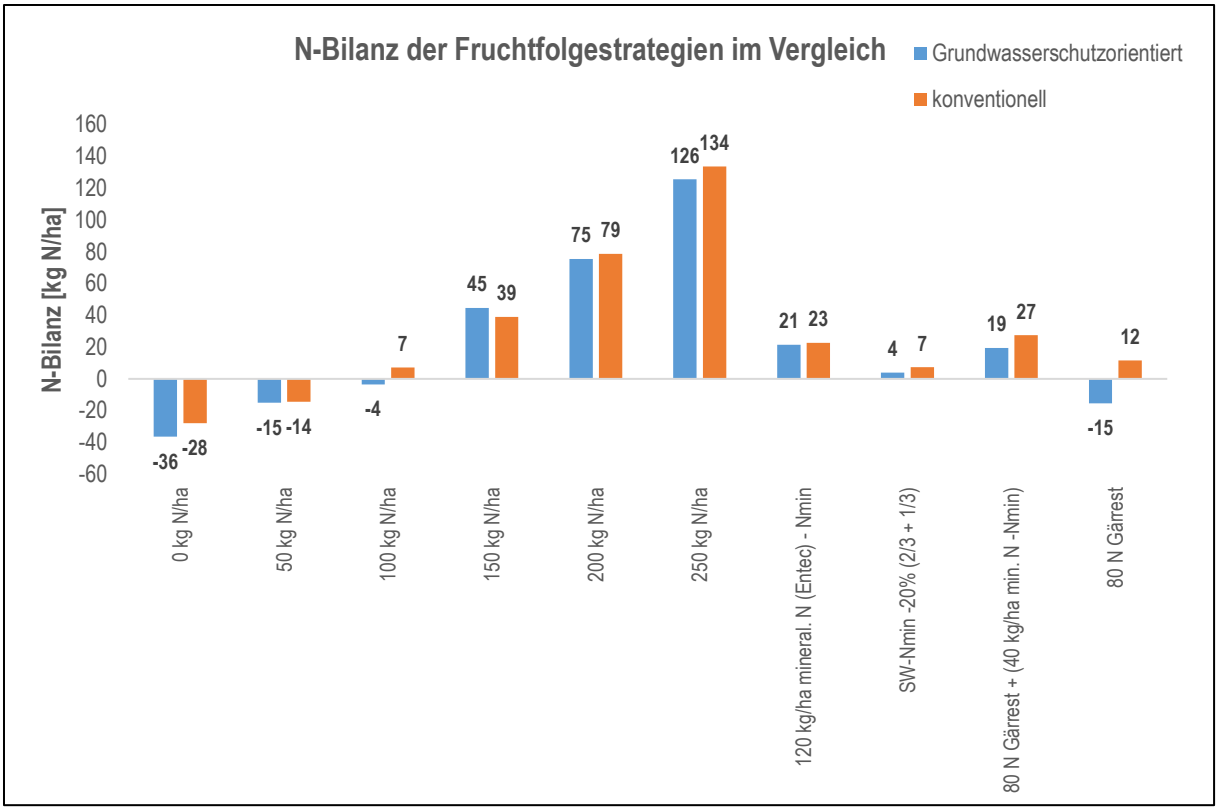

Abbildung 19: N-Bilanz der grundwasserschutzorientierten und konventionellen Fruchtfolge mit Braugerste in 2017 im Vergleich und in Unterscheidung nach der N-Düngestrategie

In der konventionellen Fruchtfolge liegen die Bilanzsalden auf einem Niveau zwischen -28 und 134 kg N/ha und damit ähnlich wie in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge. Bei einer N-Düngung ab 150 kg N/ha steigt das Saldo und es kommt zur N-Zufuhr durch die N-Düngung. Deutlich wird, dass die mit stabilisiertem ENTEC-Dünger Variante ein mit 23 kg N/ha ähnliches Bilanzsaldo zur vergleichbaren mineralisch gedüngten Variante hat. Die mit 80 kg Gesamt-N/ha organisch gedüngten Variante hat ein Bilanzsaldo von 12 kg N/ha.

Insgesamt liegen die N-Bilanzen auf einem für Getreide typischen Niveau, es wird anhand der N-Bilanzen die Wirkung der N-Düngung deutlich. Es zeigt sich, dass es bei den ungedüngten Parzellen beider Fruchtfolgestrategien zu negativen N-Bilanzsalden kommt. In den mit über 200 kg N/ha gedüngten Varianten ist ein deutlicher N-Überschuss zu verzeichnen.

Die grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge hat (auch ohne Berücksichtigung des Ertrages durch den Ölrettich) niedrigere N-Salden.

3.1.3. Zusammenfassung

Welchen Einfluss haben die N-Düngung und die Fruchtfolgegestaltung auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser?

Die N_{min}-Werte am Versuchsstandort in Hamerstorf von der Sommergerste liegen zu allen beprobten Terminen im Frühjahr, nach der Ernte und im Herbst im Versuchsjahr 2017 einheitlich auf einem relativ niedrigen Niveau zwischen 9 und 28 kg N_{min}/ha. Vom Zeitpunkt der Ernte bis zum Probenahmetermin im Herbst nehmen die N_{min}-Werte leicht ab und zeigen damit einen Erfolg der Zwischenfrucht auf.
Liegen die N_{min}-Werte im Jahresverlauf in fast allen Monaten auf einem niedrigen Niveau, ist die Wirkung des Düngeraufwandes und der Beginn der N-Mineralisierung durch den Boden im N_{min}-Wert im April und Mai deutlich erkennbar.
Inwieweit ggfs. eine Auswaschung in dem sehr regenreichen Versuchsjahr 2017 erfolgte, kann über die Untersuchungen des Sickerwassers durch das LBEG verifiziert werden. Die Ergebnisse der entsprechenden Sickerwasseruntersuchungen werden in einem gesonderten Bericht veröffentlicht *(www.lwk-niedersachsen.de webcode: 01031393).*

Wie kann die Sickerwasserqualität durch eine grundwasserschutzorientierte Gestaltung der Fruchtfolge und eine Anpassung der N-Düngung verbessert werden?

Bei der Gestaltung der Fruchtfolge am auswaschungsgefährdeten Standort in Hamerstorf wirkt sich vor allem eine ganzjährige Begrünung der Fläche positiv aus. Aufgrund regionalbedingt nur geringer Niederschlagsmengen im Spätsommer/Herbst ist es schwierig, einen guten Zwischenfruchtaufwuchs zu etablieren. Die Erträge zeigen, dass es in 2017 keinen Unterschied zwischen der grundwasserschutzorientierten und der konventionellen Fruchtfolge gab.

Wie wirken sich die Höhe der N-Düngung und die Fruchtfolgegestaltung auf die N-Dynamik im Boden, Erträge und Qualitätsparameter aus?

In den N-Düngungsvarianten bis 100 kg N/ha sind die Bilanzsalden beider Fruchtfolgen negativ bzw. neutral. In der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge variieren die Salden zwischen -36 kg N/ha in der ungedüngten und plus 126 kg N/ha in der deutlich überdüngten (250 kg N/ha) Variante. Insgesamt liegen die N-Bilanzen auf einem für Getreide typischen Niveau, es wird anhand der N-Bilanzen die Wirkung der N-Düngung deutlich. Es zeigt sich, dass es bei den ungedüngten Parzellen beider Fruchtfolgestrategien zu negativen N-Bilanzsalden kommt. In den mit über 200 kg N/ha gedüngten Varianten ist ein deutlicher N-Überschuss zu verzeichnen. In der Tendenz weist die grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge bessere N-Salden auf.
Zu beachten ist am Standort in Hamerstorf die Beregnung, die in den meisten Versuchsjahren zu abgesicherten hohen Entzügen führt. Im Versuchsjahr 2017 allerdings wurde lediglich an zwei Terminen beregnet, da in den Sommermonaten ausreichend Niederschlag gefallen ist.

Um differenzierte Aussagen in Bezug auf den Vergleich der beiden Fruchtfolgestrategien treffen zu können, sind weitere Versuchsjahre sowie zusätzlich die betriebswirtschaftliche Bewertung notwendig.

2.2. Versuchsstandort Thülsfelde - Grundwasserschutzorientierte Gestaltung der Fruchtfolge und N-Düngung (644)

Versuchsfragen

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

2.2.1. Versuchsaufbau und Durchführung

Der Versuchsstandort liegt im Landkreis Cloppenburg in der Gemeinde Molbergen in einem Wasserschutzgebiet. Die Fläche liegt 35 m über NN und ist schwach geneigt. Der Boden im Wasserschutzgebiet Thülsfelde ist ein Podsol aus schwach schluffigem bis schwach tonigem Sand. Das Ausgangsmaterial ist ein Flugsand über Geschiebedecksand über Geschiebelehm mit Stauwassereinfluss im Untergrund (*Abbildung 20*).

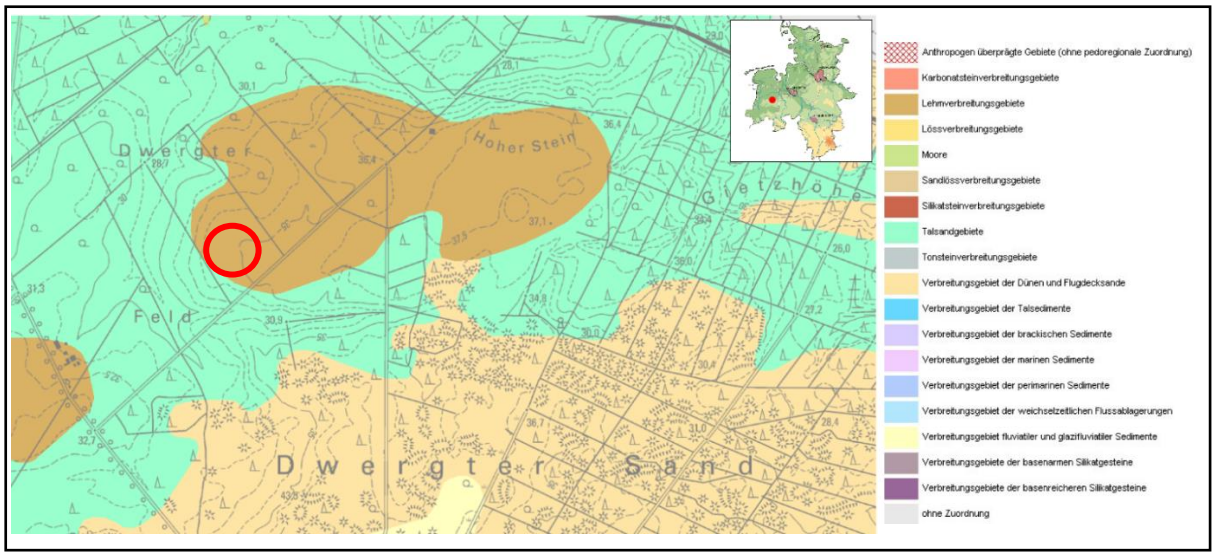

Abbildung 20: Lage des Versuchsstandorts Thülsfelde mit Bodenlandschaften 1:500.000, Maßstab 1:16.000 [NIBIS Kartenserver (04.05.2017), Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG)]

Die Versuchsfläche am Standort in Thülsfelde ist in drei Teilflächen (a, b und c) mit unterschiedlichen Fruchtfolgen untergliedert. Dies ermöglicht den Vergleich über die Auswirkungen der Fruchtfolge auf die Versuchsparameter. Der Versuch ist als einfaktorielle Blockanlage mit vier Wiederholungen angelegt.

Auf der *Teilfläche a Silomais Engsaat* werden Sickerwasseruntersuchungen durchgeführt. Auf den *Teilflächen b Silomais Normalsaat* und *c Silomais Engsaat* findet ein Vergleich zwischen einer grundwasserschutzorientierten *(c)* und konventionellen Fruchtfolge *(b)* statt. In der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge werden, wenn möglich, nach der Hauptfrucht Zwischenfrüchte angebaut. Zusätzlich ist der Silomaisanteil in der Rotation geringer als in der konventionellen Fruchtfolge. Silomais wird in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge und auf der *Teilfläche a* mit Sickerwasseruntersuchung in Engsaat angebaut [*Tabelle 4*]. Die Aussaat mit der Sorte Grosso erfolgte auf allen Teilstücken am 26.04.2017. Am 22.09.2017 erfolgte die Ernte.

Tabelle 4: Fruchtfolge der Versuchsfläche am Standort in Thülsfelde von 2009-2018, Vers.Nr.: 644

Jahr	Fruchtart		
	a	b	c
	Fruchtfolge Sickerwasseranlage	Konventionelle Fruchtfolge	Grundwasserschutz-orientierte Fruchtfolge
2009	Winterroggen + ZF Winterrübsen	Silomais (Normalsaat 75 cm)	Winterroggen + ZF Senf
2010	Winterroggen + ZF Senf	Winterroggen	Sommergerste + ZF Senf
2011	Silomais (Engsaat, 37,5 cm)	Silomais (Normalsaat 75 cm)	Silomais (Engsaat, 37,5 cm)
2012	Sommergerste + ZF Winterrübsen	Silomais (Normalsaat 75 cm)	Winterroggen + ZF Senf
2013	Winterroggen + ZF Senf	Winterroggen	Sommergerste
2014	Silomais (Engsaat 37,5 cm)	Silomais (Normalsaat 75 cm)	Silomais (Engsaat 37,5 cm)
2015	Winterroggen	Winterroggen	Winterroggen
2016	Wintergerste + ZF Senf/ Ölrettich	Silomais (Normalsaat 75 cm)	Sommergerste + ZF Senf/ Ölrettich
2017	**Silomais (Engsaat, 37,5 cm)**	**Silomais (Normalsaat 75 cm)**	**Silomais (Engsaat, 37,5 cm)**
2018	Winterroggen + ZF Senf/Ölrettich	Winterroggen	Winterroggen + ZF Senf/Ölrettich

Die drei Teilflächen haben einen pH-Gehalt um 5,2 bis 5,4. Die Ergebnisse aus den Bodenuntersuchungen zeigen, dass alle Teilflächen bei P, K und Mg in der Gehaltsklasse C einzustufen sind.

Tabelle 5: Ergebnisse der Bodenuntersuchungen der Teilflächen a, b und c am Standort in Thülsfelde vom 17.01.2017

Bodenuntersuchungen 17.01.2017 [mg/kg]											
Teilfläche a				Teilfläche b				Teilfläche c			
pH	P	K	Mg	pH	P	K	Mg	pH	P	K	Mg
5,5	8,0	5,0	5,0	5,2	9,0	4,0	5,0	5,2	9,0	7,0	5,0

Tabelle 6 zeigt die N-Düngungsvarianten 2017 in den drei Fruchtfolgen und die Termine der N-Düngung.

Tabelle 6: Düngungsstufen und Applikationstermine der Teilflächen a, b und c

2017	Vers.-Nr.: 644						
Fruchtfolge mit Sickerwasseranlage (a) Silomais Engsaat							
Variante	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	
Min. N-Düngung [kg N/ha]	0	50	100	150	200	166	
Org. N-Düngung [kg N/ha]	-	-	-	-	-	54*	
Konventionelle Fruchtfolge (b) Silomais Normalsaat							
Variante	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*
Min. N-Düngung [kg N/ha]	0	50	100	150	200	172	250
Org. N-Düngung [kg N/ha]	-	-	-	-	-	54*	-
Grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge (c) Silomais Engsaat							
Variante	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*
Min. N-Düngung [kg N/ha]	0	40	80	120	160	166	200
Org. N-Düngung [kg N/ha]	-	-	-	-	-	54*	-
1. N-Düngung	12.04.2017 (org.) und 03.05.2017 (min.)						
2. N-Düngung	22.06.2017 (min.)						

** 80%-anrechenbarer Anteil*

2.2.2. Ergebnisse

2.2.2.1. N_{min}-Werte

N_{min}-Werte im Jahresverlauf

Um die Entwicklung des mineralischen Stickstoffgehalts im Boden im Jahresverlauf zu erfassen, wurde in der nach N-Sollwert gedüngten Variante auf den drei Teilstücken im monatlichen Abstand eine N_{min}-Probe (0 – 90 cm) gezogen [*Abbildung 21*].

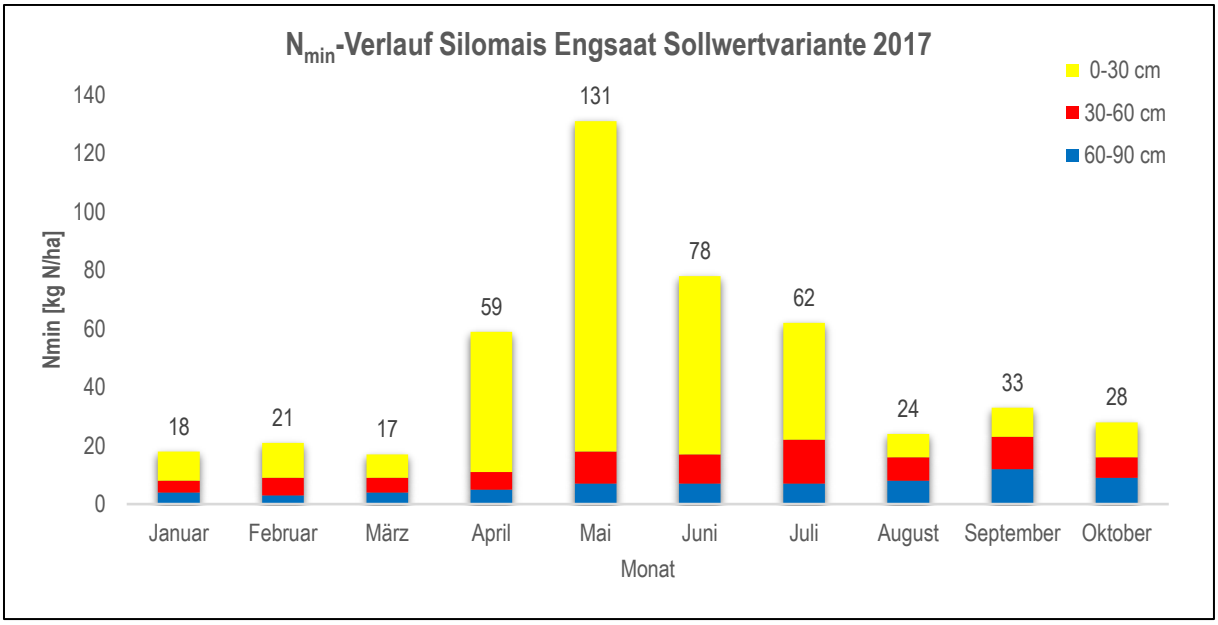

Abbildung 21: N_{min}-Werte im Jahresverlauf nach N-Sollwertdüngung bei Silomais Engsaat auf der Teilfläche a mit Sickerwasseranlage

Im Jahr 2017 befinden sich die N_{min}-Werte im Jahresverlauf unter der N-Sollwertdüngung auf einem für Silomais typischen Niveau. Im April, Mai, Juni und Juli steigen die N_{min}-Werte auf 131 kg N_{min}/ha an. Dies ist mit der zur Aussaat ausgebrachten Schweinegülle als auch auf die am 03.05.2017 ausgebrachte mineralische N-Düngergabe zurückzuführen. Am 22.06.2017 erfolgte die 2.Gabe der mineralischen N-Düngung. Wie sich die Reststickstoffgehalte auf die Nitratauswaschung in das Grundwasser auswirken, wird durch die ergänzenden Sickerwasseruntersuchungen auf dieser Teilfläche erfasst. Die Ergebnisse werden jeweils am Ende der Sickerwasserperiode durch das LBEG ausgewertet und sind in einem separaten Bericht veröffentlicht *(www.lwk-niedersachsen.de webcode: 01031393).*

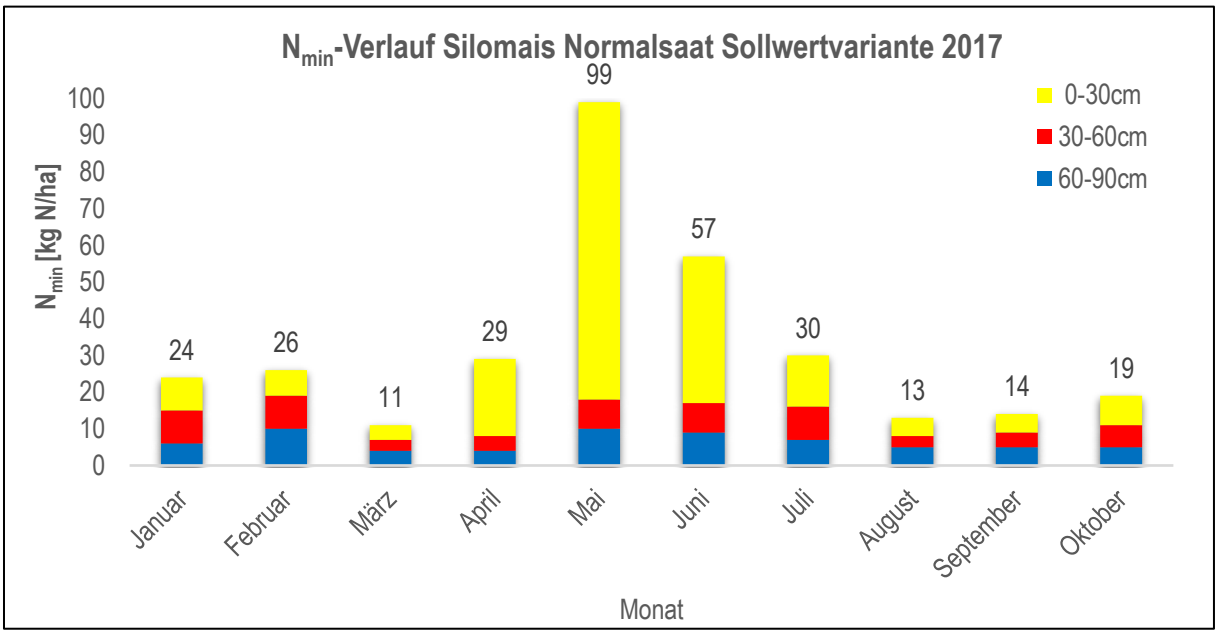

Abbildung 22: N_{min}-Werte im Jahresverlauf nach N-Sollwertdüngung bei Silomais Normalsaat auf der Teilfläche b konventionelle Fruchtfolge

In der konventionellen Fruchtfolge (Teilfläche b) stand im Jahr 2017 Silomais in Normalsaat. Die N_{min}-Werte unter der N-Sollwertdüngung sind von Januar bis zur Aussaat im April gering und steigen im Mai auf 99 kg N_{min}/ha stark an. Auch hier zeigt sich die Wirkung der N-Düngung im April, Mai und Juni. Nach der Ernte im September (N_{min}-Gehalt 14 kg N_{min}/ ha) und auch im Oktober ist ein niedriger N_{min}-Gehalt von 19 kg N_{min}/ ha gemessen worden.

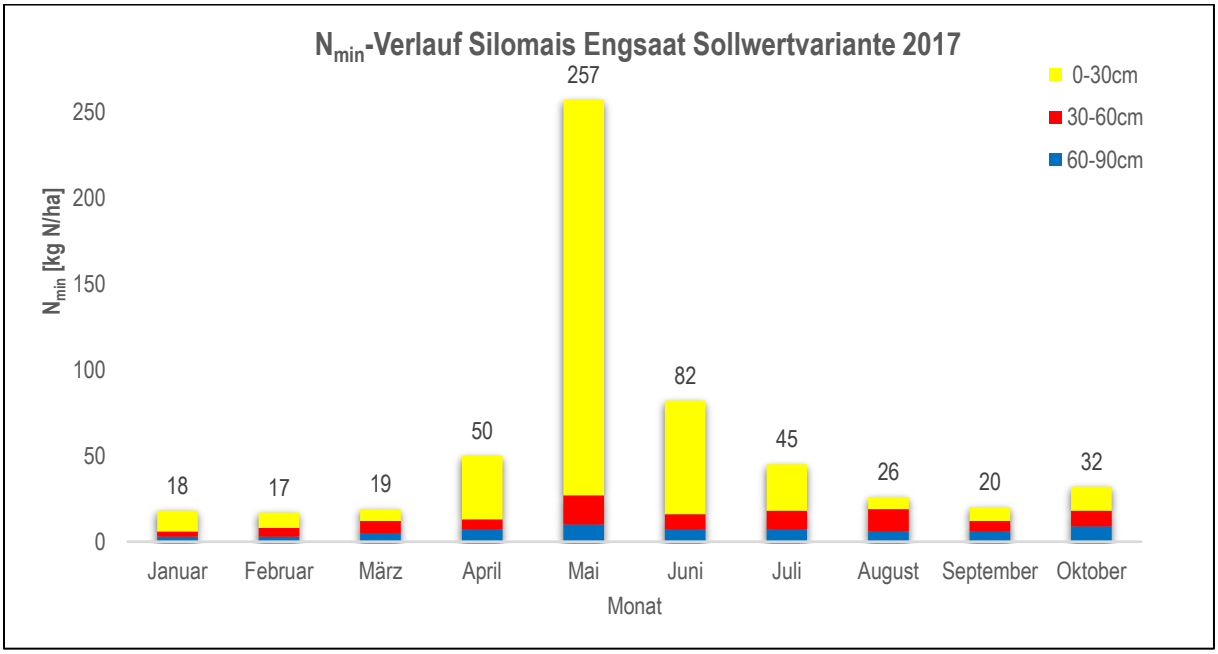

Abbildung 23: N_{min}-Werte im Jahresverlauf nach N-Sollwertdüngung bei Silomais Engsaat auf der Teilfläche c grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge

Die N_{min}-Gehalte im Jahresverlauf unter Silomais Engsaat in der Düngung nach N-Sollwert verhalten sich ähnlich wie auf den anderen beiden Teilstücken. Allerdings sind trotz gleicher Düngung die Gehalte im Mai mit 257 kg N_{min}/ha sehr viel höher, als auf den anderen Teilstücken. Diese Schwankungen werden bei N_{min}-Untersuchungen in Zeiträumen mit hohen Bodentemperaturen des Öfteren beobachtet. Vermutlich sind sie auf unterschiedliche Mineralisationsbedingungen zurückzuführen. Die N_{min}-Ergebnisse sind deshalb in diesem Zeitraum als Kontrollinstrument nur bedingt geeignet. Aufgrund des sehr nassen Sommers, in dem zum Teil schon vor der Ernte Sickerwasser stattgefunden hat, ist es möglich, dass ein Teil des Stickstoffs ausgewaschen worden ist. Dazu bleiben die Erträge mit den entsprechenden N-Gehalten der Pflanze und weiterhin die Ergebnisse aus den Sickerwasseruntersuchungen auf dem Teilstück a durch das LBEG abzuwarten.

N_{min}-Ergebnisse im Teilstück mit der Variante 644a:

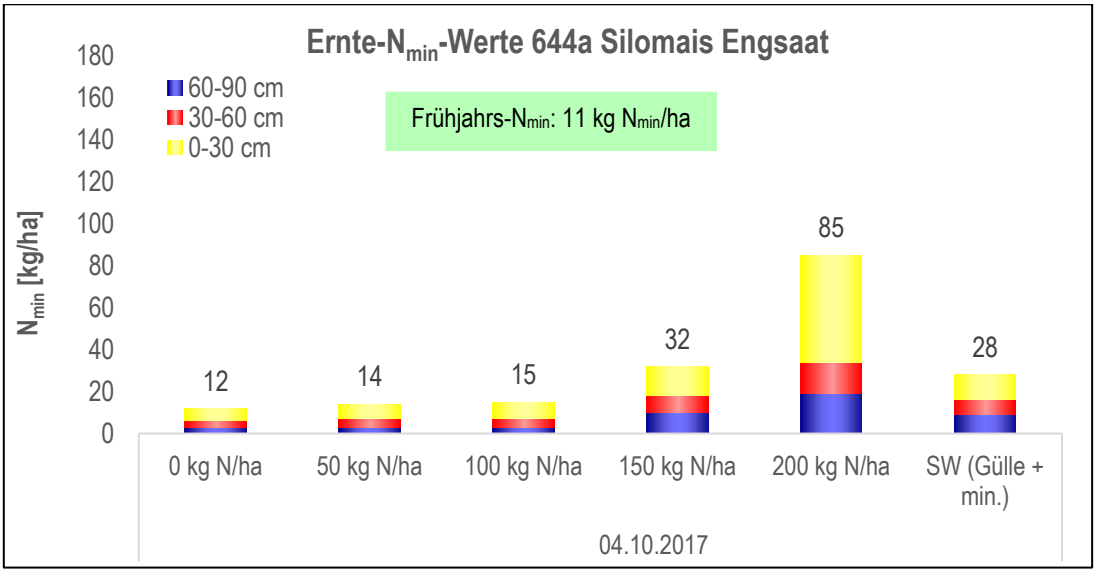

Abbildung 24: Ernte-N_{min}-Werte nach Silomais vom 04.10.2017 Teilstück a Thülsfelde

Im Teilstück a (644a) mit Engsaat wurde ein Frühjahrs-N_{min}-Gehalt am 13.03.2017 von 11 kg N_{min}/ha ermittelt. In der Variante ohne N-Düngung der Fruchtfolge mit Sickerwasseruntersuchungen lag der Ernte-N_{min}-Wert bei 12 kg N_{min}/ha. Bis zu einer N-Düngung von 100 kg N/ha konnte kein Anstieg der Ernte-N_{min}-Werte festgestellt werden. Mit einer Steigerung der N-Düngung darüber hinaus stiegen auch die Ernte-N_{min}-Werte. In der mit 150 kg N/ha gedüngten Variante lag der Ernte-N_{min}-Wert bei 32 kg N_{min}/ha, ähnlich wie die nach N-Sollwert (180 kg N/ha) gedüngte Variante, bei der dieser bei 28 kg N_{min}/ha lag. Bei einer überhöhten N-Düngung mit 200 kg N/ha stieg der N_{min} auf 85 kg N_{min}/ha an [*Abbildung 24*].

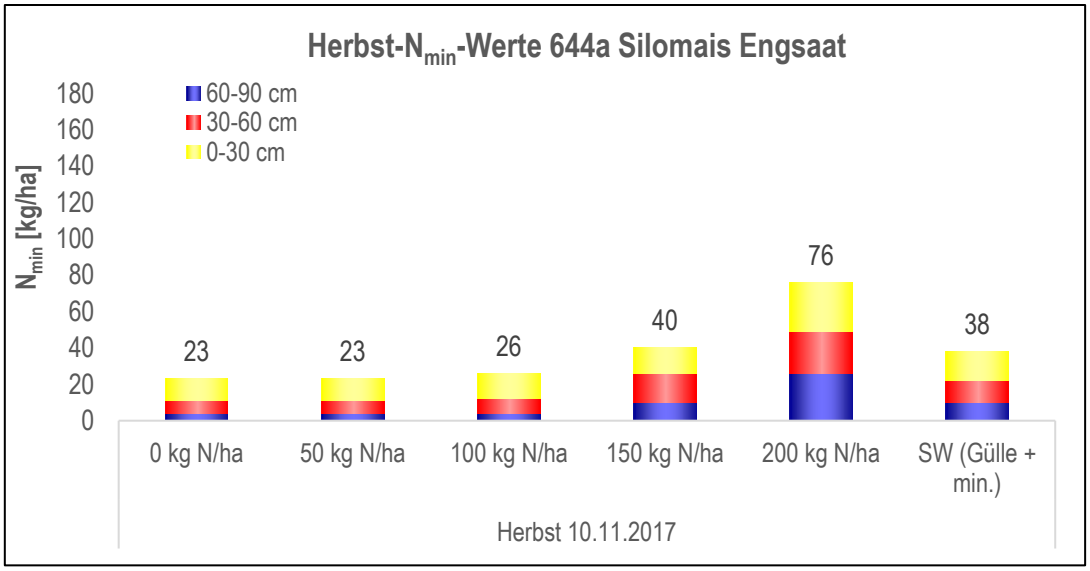

Abbildung 25: Herbst-N_{min}-Werte nach Silomais vom 10.11.2017 Teilstück a Thülsfelde

Am 10.11.2017 erfolgte eine zweite Probenahme im Herbst, um ggf. eine Stickstoffmineralisation zu erfassen. Bis zu einer N-Düngung von 150 kg N/ha lagen die N_{min}-Gehalte zwischen 23 und 40 kg N_{min}/ha. Die höchste N-Düngungsstufe wies dabei einen N_{min}-Gehalt von 76 kg N_{min}/ha auf. Die nach Sollwert (org. + min.) gedüngte Variante hatte einen Reststickstoffgehalt von 38 kg N_{min}/ha [*Abbildung 25*].

Ergebnisse im Teilstück mit der Variante 644c:

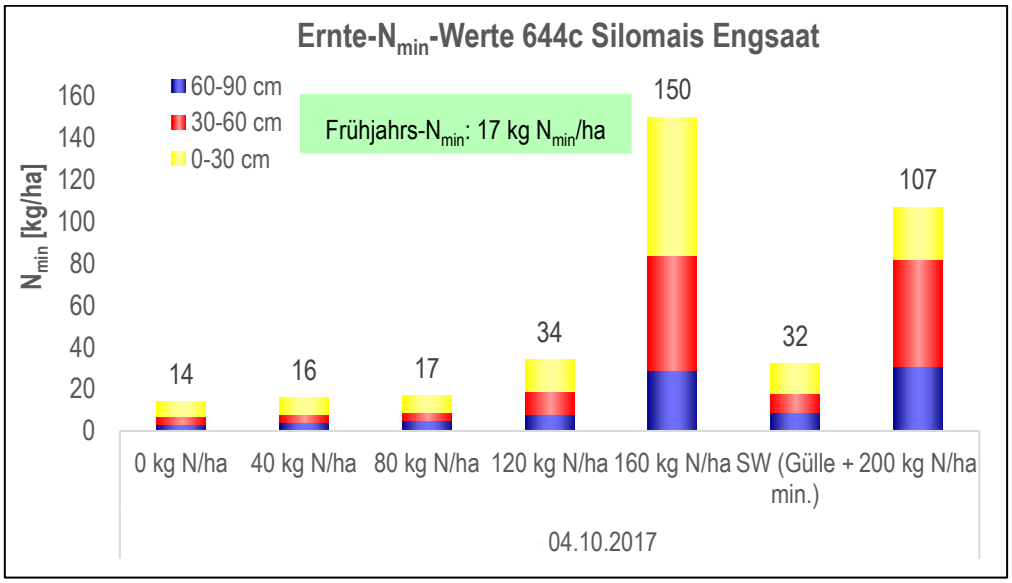

Abbildung 26: Ernte-N_{min}-Werte nach Silomais vom 04.10.2017 Teilstück c Thülsfelde

In der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge mit Engsaat (644c) ist der N_{min}-Verlauf ähnlich wie in der Variante im Teilstück a [*Abbildung 26*]. In der 160 kg N/ha und 200 kg N/ha gedüngten Variante stiegen die N_{min}-Werte allerdings auf 150 und 107 kg N_{min}/ha an. Die Sollwertvariante lag mit

32 kg N_{min}/ha auf ähnlich niedrigem Niveau wie in der Fruchtfolge mit ergänzenden Sickerwasseruntersuchungen.

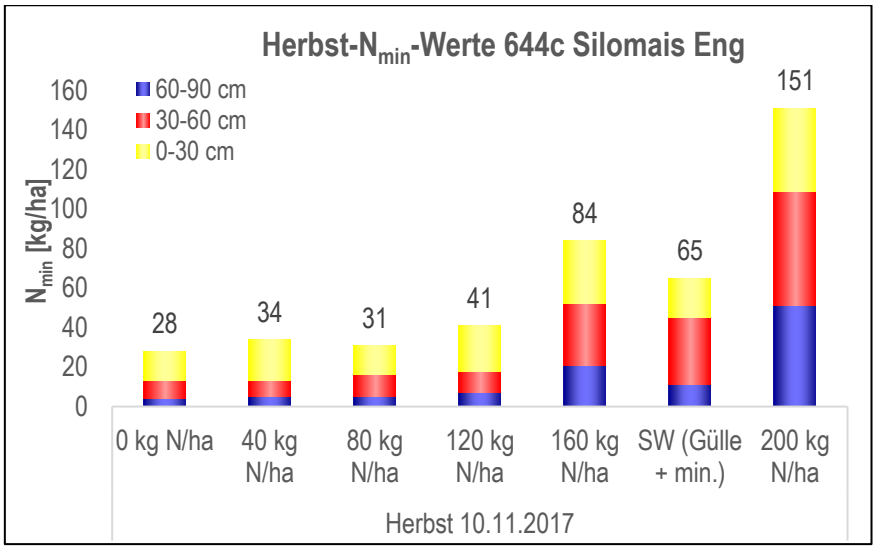

Abbildung 27: Herbst-N_{min}-Werte nach Silomais vom 10.11.2017 Teilstück c Thülsfelde

Beim zweiten Probenahme-Termin am 10.11.2017 lagen die Herbst-N_{min}-Gehalte in den Varianten mit einer N-Düngung von bis zu 120 kg N/ha zwischen 28 und 41 kg N_{min}/ha. Bei einer N-Düngung oberhalb des Sollwertes waren die Herbst-N_{min}-Gehalte mit 84 (160 kg N/ha) bzw. 151 kg N_{min}/ha höher. In der nach N-Sollwert gedüngten Variante aus Schweinegülle mit mineralischer Ergänzung wurde ein N_{min}-Wert von 65 kg N_{min}/ha ermittelt [*Abbildung 27*].

Ergebnisse im Teilstück mit der Variante 644b:

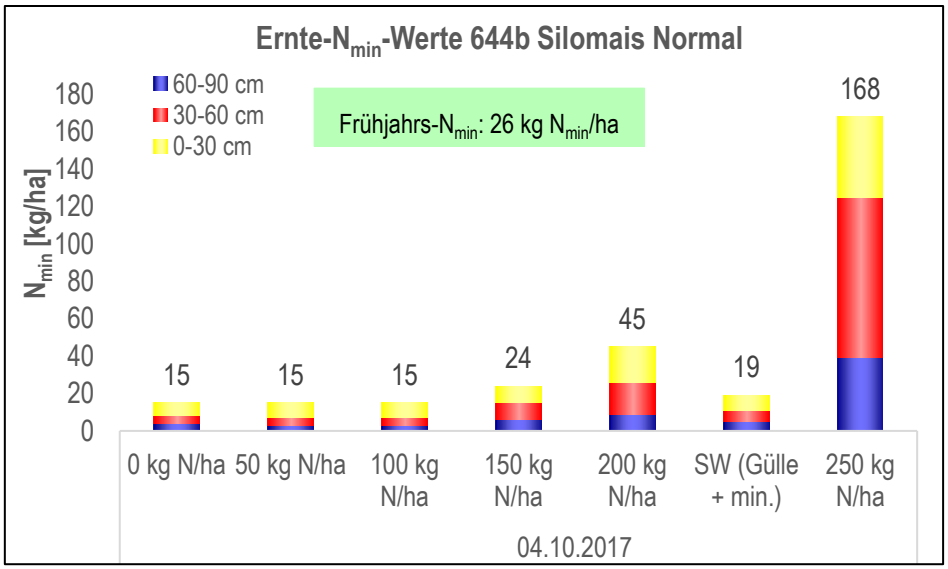

Abbildung 28: Ernte-N_{min}-Werte nach Silomais vom 04.10.2017 Teilstück b Thülsfelde

In der konventionellen Fruchtfolge (644b) mit Normalsaat bis zu einer N-Düngung von 150 kg N/ha lag der N_{min}-Wert auf einem niedrigen Niveau unter 24 kg N_{min}/ha. In der mit 200 kg N/ha gedüngten Vari-

ante stieg der N_{min}-Wert auf 45 kg N_{min}/ha. In der deutlich überhöhten mit 250 kg N/ha gedüngten Variante stieg der N_{min}-Wert drastisch auf 168 kg N_{min}/ha. Der Frühjahrs-N_{min}-Wert lag in 2017 zwischen 11 bzw. 19 kg N_{min}/ha [*Abbildung 28*].

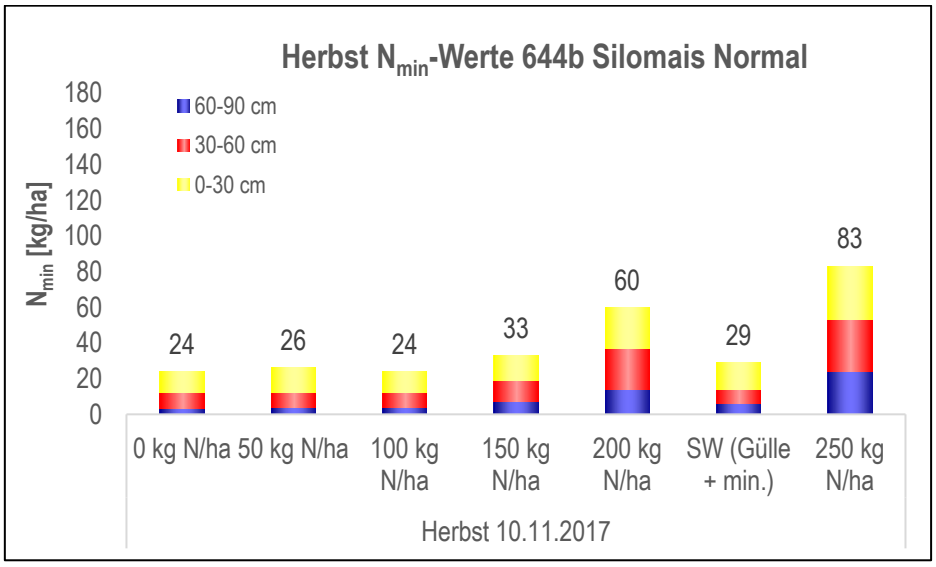

Abbildung 29: Herbst-N_{min}-Werte nach Silomais vom 10.11.2017 Teilstück b Thülsfelde

Die Herbst-N_{min}-Werte vom 10.11.2017 in den bis in Höhe des Sollwertes gedüngten Varianten liegen zwischen 24 bzw. 33 kg N_{min}/ha. Die hoch bzw. sehr hoch gedüngten Varianten weisen einen Herbst-N_{min}-Gehalt von 60 (200 kg N/ha) bzw. 83 kg N_{min}/ha (250 kg N/ha) auf. Die nach Sollwert gedüngte Variante hat dabei nur einen Herbst-N_{min}-Gehalt von 29 kg N_{min}/ha [*Abbildung 29*]. In der sehr hoch gedüngten Variante zeigt die deutliche Abnahme des N_{min}-Wertes, dass zwischen dem Ernte-Zeitpunkt und dem Zeitpunkt der Messung des Herbst-N_{min}-Gehaltes eine Auswaschung stattgefunden haben muss.

2.2.2.2. Erträge

Die Erträge des Silomais nehmen bis zu einer N-Düngung von 100 kg N/ha mit zunehmender Höhe der N-Düngung zu. Die höheren Erträge konnten durch eine Engsaat erreicht werden. Der Höchstertrag wurde im Teilstück a in der mit 100 kg N/ha gedüngten Variante mit 244 dt TM/ha erreicht. Auffallend ist zudem, dass bei einer Überdüngung (N-Düngung > 200 kg N/ha) der Ertrag wieder zurückgeht und auch die Proteingehalte und damit auch die N-Aufnahme des Silomais geringer sind [*Abbildung 30*]. Es bleiben auch hier die Sickerwasseruntersuchungen durch das LBEG abzuwarten, um konkrete Aussagen zum N-Austrag unter den hoch gedüngten Varianten treffen zu können. Da seit 1995 alle N-Düngungsstufen wiederholt werden, kann eine deutliche Aushagerung in der Nullparzelle und der N-Düngungsvariante mit 50 kg N/ha festgestellt werden. Der Aushagerungseffekt ist im Vergleich in den Getreidevarianten deutlicher erkennbar als im Mais, der den Stickstoff im Bodenvorrat besser nutzt.

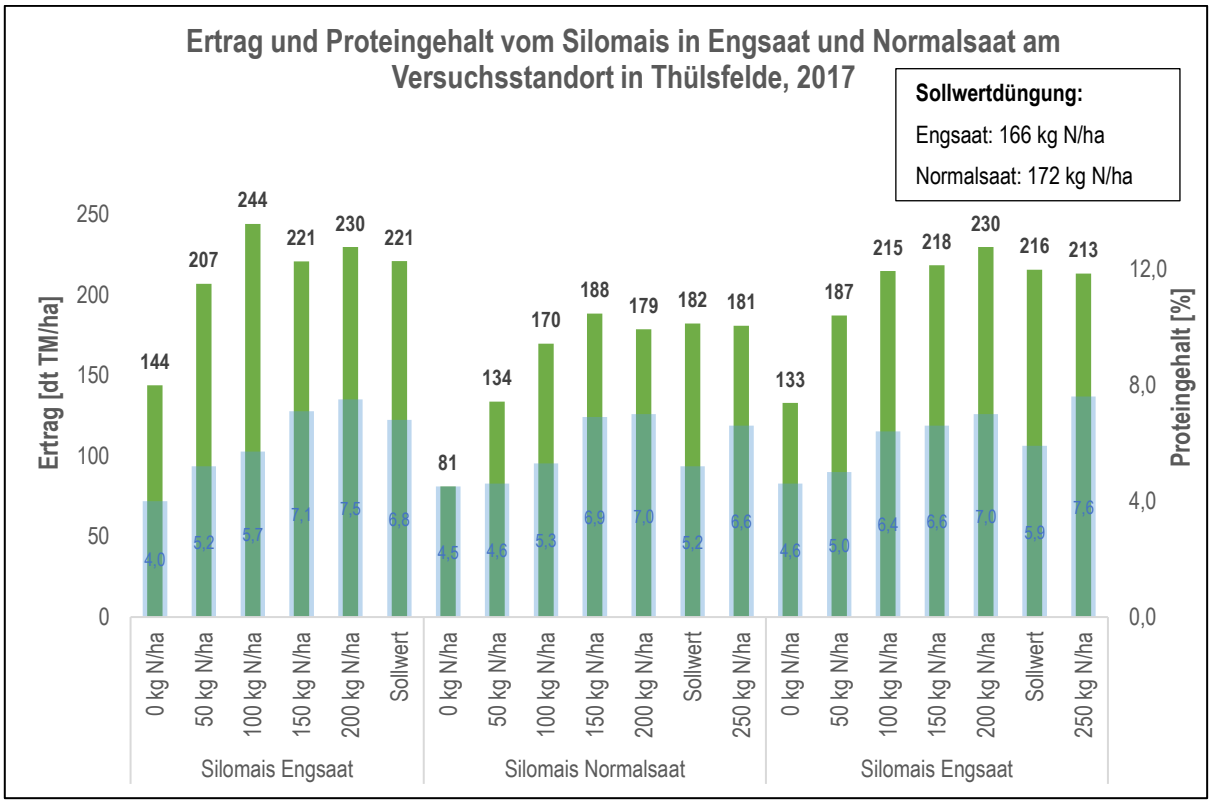

Abbildung 30: Erträge und Proteingehalte bei unterschiedlicher N-Düngung zu Silomais auf den drei Teilflächen am Versuchsstandort in Thülsfelde, 2017

Anhand der Entwicklung der relativen Erträge in Abhängigkeit von der N-Düngungsstufe kann eine Tendenz zur Entwicklung der Bodenfruchtbarkeit über die Jahre ermittelt werden. In der folgenden Abbildung wird die Entwicklung der Erträge von Silomais im Zeitraum von 1998 bis 2017 für die verschiedenen N-Düngungsvarianten dargestellt. Die Sollwertdüngungs-Variante wird gleich 100 % gesetzt. Auf der ungedüngten Parzelle zeigt sich infolge der Aushagerung ein langfristiger Rückgang der Mais-Erträge. Die Erträge bei einer Düngung von 50 bzw. 100 kg N/ha hielten sich auf einem gleichmäßigen Niveau, zum Teil deutlich unterhalb der Sollwertdüngung. Auf den 150 und 200 kg N-Varianten ist ein

minimaler Zuwachs der relativen Erträge erkennbar. Hinsichtlich des Ertrags wird die N-Sollwertdüngung (180 kg N/ha minus 20 kg N/ha Abschlag N-Nachlieferung minus N_{min}) im langjährigen Mittel bestätigt [*Abbildung 31*].

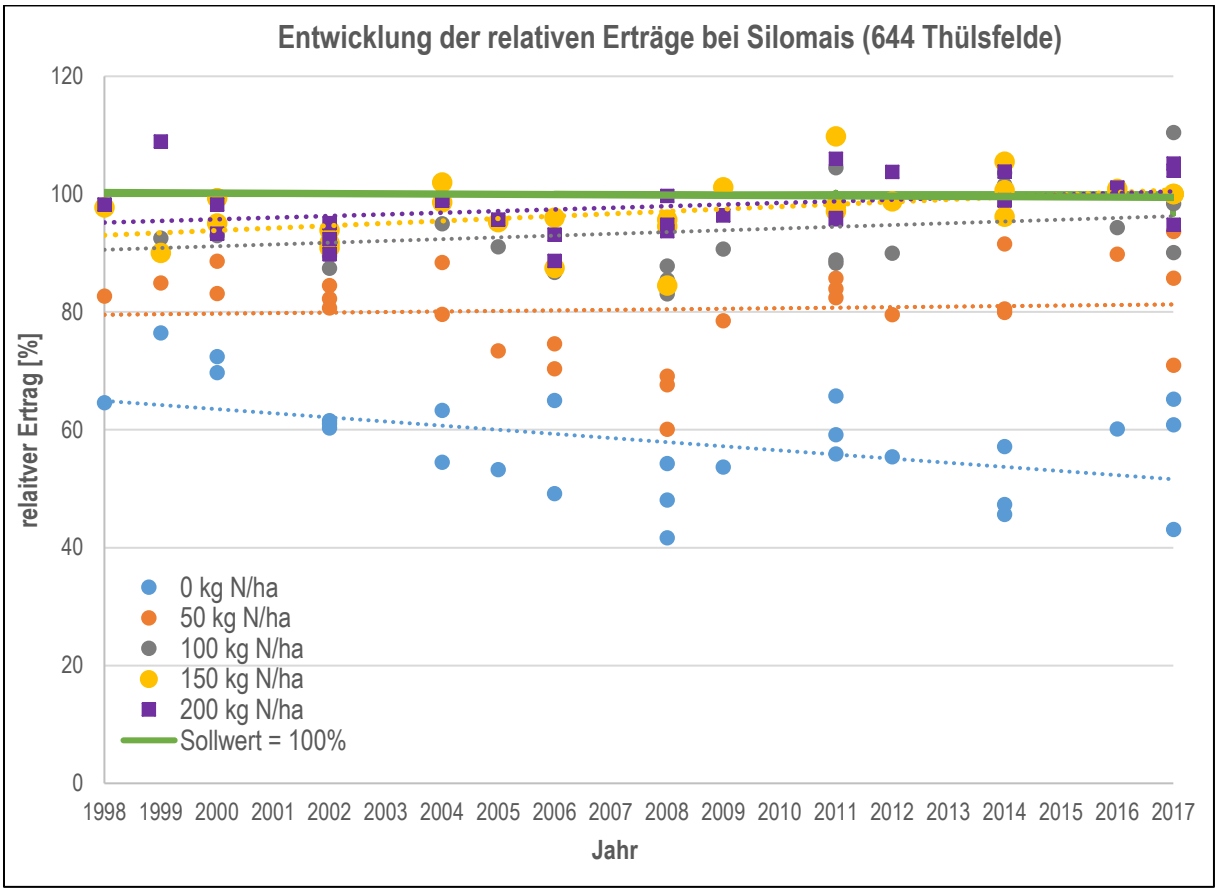

Abbildung 31: Entwicklung der relativen Erträge bei unterschiedlicher N-Düngung (1998 – 2017) von Silomais am Versuchsstandort Thülsfelde

2.2.2.3. Optimale N-Düngung und optimaler Ertrag

Durch die Anlage der festen N-Düngestaffel ist es möglich, die optimale N-Düngung und den optimalen Ertrag rechnerisch zu ermitteln. Das N-Düngungsoptimum lag 2017 auf dem Teilstück mit Sickerwasseranalysen (a) bei Silomais Engsaat bei 131 kg N/ha bei einem Optimalertrag von 240 dt TM/ha, in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge (c) bei Silomais Engsaat bei 163 kg N/ha mit einem Optimalertrag von 230 dt TM/ha. In der konventionellen Fruchtfolge (b) mit Silomais Normalsaat lag der N-Düngungsoptimum mit 173 kg N/ha etwas höher, als bei den Flächen mit Engsaat. Das Ertragsoptimum war mit 189 dt TM/hat deutlich geringer *[Abbildung 32]*.

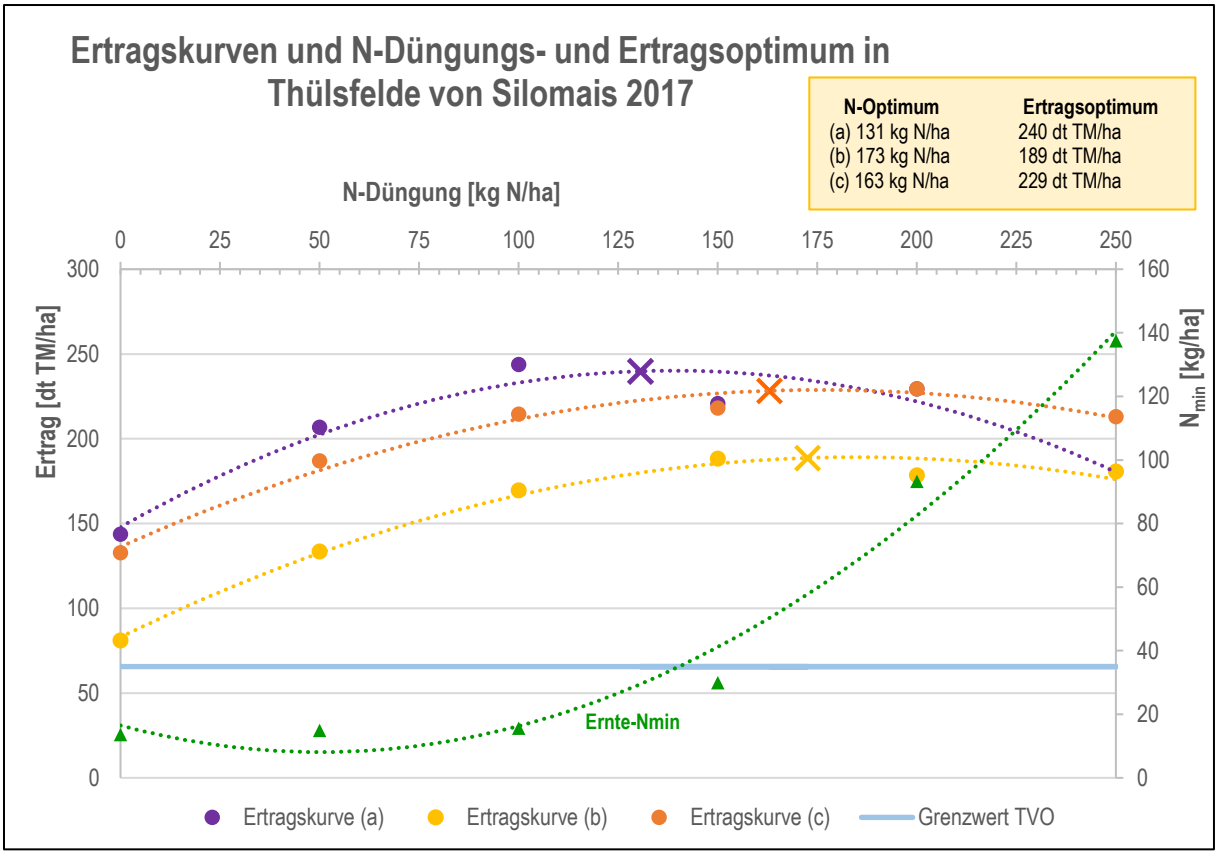

Abbildung 32: N_{min}-Werte und errechnetes N-Düngungs- und Ertragsoptimum der drei Teilflächen in Thülsfelde 2017 (644 a, b, c)

Aus Wasserschutzsicht wird ein Grenzwert für Nitrat im Trinkwasser von 50 mg/l als Maßstab zugrunde gelegt. Dieser errechnet sich am Standort Thülsfelde in etwa einem N_{min}-Wert von 35 kg N_{min}/ha[4]. Dieser Wert ist beim Ernte-N_{min}-Wert im Jahr 2017 nur zu erreichen, wenn die N-Düngung 140 kg N/ha nicht überschreitet *[Abbildung 32]*. Der Herbst-N_{min}-Wert (Ernte-N_{min} bei Mais, bei Getreide Herbst-N_{min}) ist aufgrund seiner engen Korrelation zur Sickerwasserbelastung mit Nitrat wichtig für den vorbeugenden Trinkwasserschutz.

[4] NLWKN, 2010

2.2.2.4. N-Bilanzen

Die N-Bilanz wird anhand der N-Zufuhr aus der Düngung und der N-Abfuhr mit dem Erntegut errechnet. Dabei ergibt sich die N-Abfuhr aus dem N-Gehalt des Ernteguts und dem erzielten TM-Ertrags des Anbaujahres. Als Bilanzierungszeitraum ist das Kalenderjahr 2017 (01.01.2017 – 31.12.2017) gewählt.

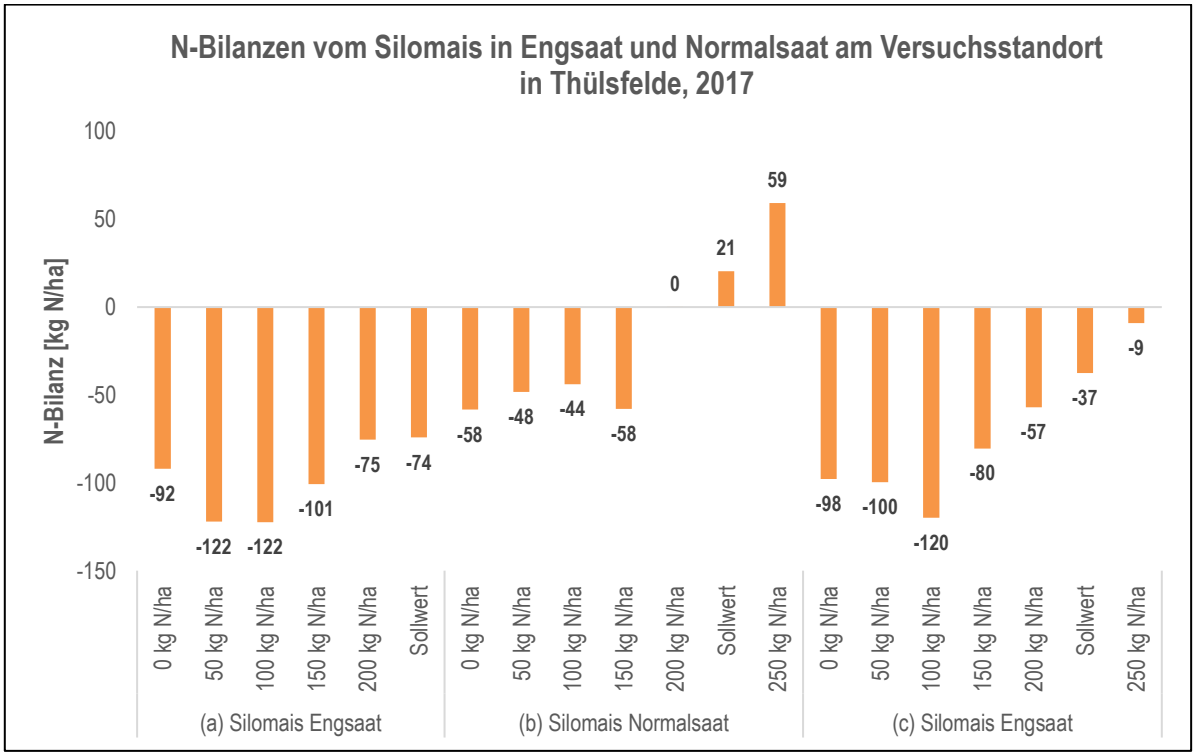

Abbildung 33:N-Bilanzen (N-Zufuhr – N-Abfuhr) [kg N/ha] zu Silomais im Jahr 2017, Versuchsstandort Thülsfelde

In der Fruchtfolge mit Silomais Engsaat über der Sickerwasseranlage variiert die Bilanz zwischen – 122 kg N/ha in der mit 50 und 100 kg N/ha gedüngten Variante und - 74 kg N/ha in der Sollwert-Variante. Die N-Bilanzen in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge mit der gleichen Kultur Silomais Engsaat variieren zwischen - 120 kg N/ha in der mit 100 kg N/ha gedüngten Variante und - 9 kg N/ha in der 250 kg N/ha Variante. Anders in der konventionellen Fruchtfolge auf der Teilfläche b unter Silomais Normalsaat, denn hier liegen die N-Bilanzen aufgrund der niedrigen TM-Erträge auf einem deutlich höheren Niveau zwischen -58 und 59 kg N/ha als auf den Teilstücken a und b mit Silomais Engsaat.

2.2.3. Zusammenfassung

Welchen Einfluss hat die Höhe der N-Düngung auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser?

Insgesamt lagen die N_{min}-Werte in allen N-Düngungsvarianten im Jahresverlauf zu Silomais auf einem kulturtypischen Niveau zwischen 24 und 32 kg N_{min}/ha. Nur innerhalb der Vegetationsperiode gab es Schwankungen, sodass der N_{min}-Gehalt im Boden im Mai bis Juli anstieg. Bei einer N-Düngung über den N-Bedarfswert hinaus, stiegen auch die Reststickstoffgehalte nach der Ernte deutlich an. Dies bestätigt die langjährigen Ergebnisse, dass eine Überdüngung zum deutlichen Anstieg der auswaschungsgefährdeten Reststickstoffgehalte im Boden führt. Von der Ernte bis zum Herbsttermin kam es teilweise zu einem Anstieg, was auf eine mögliche Nachmineralisation zurückzuführen ist. Für genauere Aussagen zur eine ggfs. stattgefunden Verlagerung bleiben die Sickerwasseruntersuchungen durch das LBEG abzuwarten.

Bei der Beurteilung der Ergebnisse der N_{min}-Untersuchungen am Versuchsstandort Thülsfelde muss berücksichtigt werden, dass es sich hier um einen statischen Langzeitversuch handelt, der an diesem Standort bereits seit 1995 mit gleicher N-Düngung der einzelnen Parzellen durchgeführt wird, Auf der Null-N-Düngungsvarianten kommt es Aushagerungseffekten.

Wie wirken sich reduzierte und überhöhte N-Düngung auf Sickerwasserqualität, N-Dynamik im Boden, Erträge und Qualitätsparameter aus?

Die Erträge vom Silomais in 2017 nehmen mit zunehmender Düngung in der N-Staffel zu. Ab einer Düngung von 150 kg N/ha zu Silomais blieben die Erträge auf ähnlichem Niveau. In allen ungedüngten Varianten waren Ertragseinbußen gegenüber den nach N-Bedarfswert gedüngten Varianten zu vermerken. Insgesamt waren die Erträge in den Fruchtfolgen mit Engsaat etwas höher als in der Normalsaat, was auf die Anzahl der vorhandenen Pflanzen zurückzuführen ist. Die relativen Erträge bei unterschiedlicher N-Düngung unter Silomais zeigen, dass auf der ungedüngten Parzelle, infolge der Aushagerung des Standortes, ein langfristiger Ertragsrückgang von 70% (Anfangsjahre) auf 50% festzustellen war. Am Standort in Thülsfelde bestätigte sich, dass bei einer N-Düngung über dem N-Sollwert die N_{min}-Werte überproportional zunahmen bei einem nur sehr geringen Ertragszuwachs.

Die N-Bilanzen lagen typisch für Silomais in vielen Varianten im negativen Bereich, sodass es folglich zu deutlichen Entzügen kam. Lediglich in der konventionellen Fruchtfolge mit Silomais in Normalsaat waren positive Bilanzen in der nach Sollwert und der mit 250 kg N/ha gedüngten Variante zu verzeichnen. Die N-Salden in den überdüngten Varianten waren weniger negativ. Anhand der hohen N-Bilanzüberschüsse in den gering gedüngten Varianten wird deutlich, dass der Silomais neben der N-Düngung vor allem die bodenbürtige N-Nachlieferung nutzen konnte.

Wie sich die Reststickstoffgehalte auf die Nitratauswaschung in das Grundwasser auswirken, wird durch die ergänzenden Sickerwasseruntersuchungen auf dieser Teilfläche erfasst. Die Ergebnisse werden jeweils am Ende der Sickerwasserperiode durch das LBEG ausgewertet und in einem separaten Bericht veröffentlicht (www.lwk-niedersachsen.de).

2.3. Versuchsstandort Wehnen – Grundwasserschutz durch Zwischenfruchtanbau (645)

Versuchsfragen

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

2.3.1. Grundwasserschutz durch Zwischenfruchtanbau

Am Standort in Wehnen werden seit 2012 Versuche zum Anbau von Zwischenfrüchten durchgeführt. Der Zwischenfruchtanbau ist vielfältig und erfüllt viele pflanzenbauliche Ziele und Umweltaspekte, die in *Abbildung 34* dargestellt sind.

Abbildung 34: Vorteile durch Zwischenfruchtanbau

Aus Sicht des Wasserschutzes sind die Vorteile von reduzierten Nitrateinträgen in das Grundwasser während der Sickerwasserperiode im Herbst und der Erosionsschutz zur Vermeidung von Nährstoffeinträgen in Oberflächengewässer herauszustellen. Häufig lassen sich die verschiedenen positiven Aspekte des Zwischenfruchtanbaus erfolgreich kombinieren.

Allerdings ist der Zwischenfruchtanbau von betriebsspezifischen Gegebenheiten beeinflusst. Um die Nitratauswaschung zu minimieren, erfolgt die Bemessung der N-Düngung auch bei Zwischenfrüchten jahres- und standortspezifisch. Dabei ist zu beachten, dass mit verspäteten Aussaatterminen die Zeitspanne zur Aufnahme von Stickstoff abnimmt. Der Versuch zum grundwasserschutzorientierten Zwischenfruchtanbau mit ergänzenden Sickerwasseruntersuchungen durch das LBEG wird seit 2012 am Versuchsstandort Wehnen durchgeführt [*Abbildung 35*].

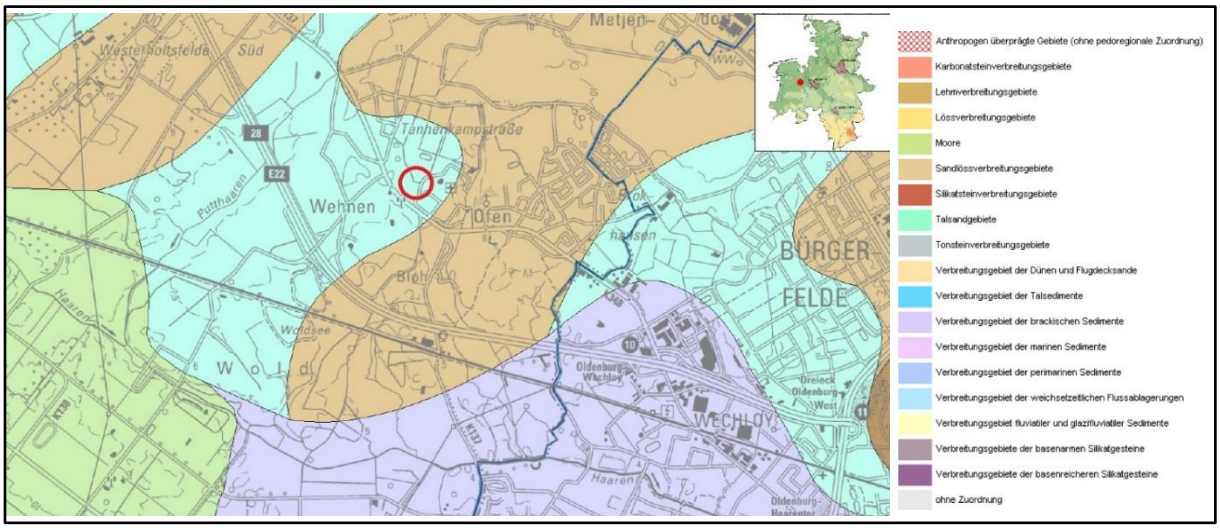

Abbildung 35: Lage des Versuchsstandortes in Wehnen mit Bodenlandschaften 1:500.000, Maßstab 1:16.000[5]

Im Versuch in Wehnen werden folgende Parameter untersucht:

1) Stickstoffaufnahme und –nachlieferung durch die Zwischenfrucht
2) Auswirkungen des Zwischenfruchtanbaus auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser
3) Auswirkungen auf die Stickstoffdynamik im Boden

Zusätzlich werden die Auswirkungen der verschiedenen Zwischenfruchtvarianten auf den N-Düngebedarf der nachfolgenden Hauptkultur Silomais anhand einer festen N-Düngestaffel untersucht. Um hohe N_{min}-Werte nach der darauffolgenden Silomaisernte zu vermeiden, ist nicht nur die Verfügbarkeit des durch die Zwischenfrucht konservierten Reststickstoffs im Boden von Bedeutung, sondern auch die langfristigen Auswirkungen des Zwischenfruchtanbaus und u.a. der erfolgten N-Düngung auf die N-Dynamik im Boden und die standörtliche N-Nachlieferung.

Es werden drei Varianten des Zwischenfruchtanbaus sowie eine Vergleichsvariante ohne Zwischenfrucht nach Winterroggen mit einer N-Düngestaffel zu Silomais im Folgejahr kombiniert.

[5] NIBIS Kartenserver LBEG

Zwischenfruchtversuch in Wehnen 2017

Frucht	Silomais	Winterroggen	Nicht-Winterhart: Senf-Ölrettich Winterhart Raps, Markstammkohl, Rübsen
Sorte	Grosso	SU Perfomer	-
Aussaat Datum	19.04.2017	13.10.2016	25.08.2017
Erntedatum	25.09.2017	02.08.2017	13.11.2017

Abbildung 36: Versuchsaufbau des Zwischenfruchtversuchs in Wehnen mit Frucht, Sorte, Ernte- und Aussaatdatum

Mit der Fruchtfolge Winterroggen mit nachfolgender Zwischenfrucht und Silomais als darauffolgende Hauptfrucht, können auf zwei Teilflächen (Block 1 und 2) um ein Jahr zeitversetzt jedes Jahr sowohl Daten zum Zwischenfruchtanbau als auch zu den Auswirkungen auf die nachfolgende Hauptkultur ermittelt werden [Abbildung *36*]. Als Zwischenfrucht wird seit 2015 eine Ölrettich-Senf-Mischung (47% Ölrettich Sorte Rego und 53% Senf Sorte Seco) angebaut, um den Versuch an die geltenden Greeninganforderungen anzupassen. In 2017 wurde erstmalig eine Variante mit einer ungedüngten winterharten Zwischenfrucht aus Winterraps, Winterrübsen und Markstammkohl getestet. Dafür wurde die Variante der mineralisch gedüngten nicht winterharten Zwischenfrucht aus Senf-Ölrettich ersetzt.

Der Winterroggen wird einheitlich entsprechend der N-Sollwertempfehlungen gedüngt. Anschließend folgen dem Winterroggen die vier Zwischenfrucht-Varianten. Auf dem zweiten Block wird orthogonal zu den Zwischenfruchtvarianten des Vorjahres Silomais in einer festen N-Düngestaffel mit sechs N-Düngungsvarianten in Stufen von 0 kg N/ha à 60 kg N/ha angebaut. In den Varianten mit einer N-Düngung höher als 120 kg N/ha wird die N-Düngung in zwei Gaben aufgeteilt. Aus den Zwischenfruchtvarianten und den N-Düngungsstufen ergeben sich somit 24 Kombinationen aus Nicht-Zwischenfrucht/Zwischenfrucht, Silomais und N-Düngung [*Tabelle 7* und *Tabelle 8*].

Tabelle 7: Varianten des Versuchs in Wehnen zum grundwasserschutzorientieren Zwischenfruchtanbau für die Jahre 2014 bis 2018

Zwischenfruchtversuch in Wehnen (Versuchsnummer 645)		
	Block 1	**Block 2**
2014		
Winterroggen einheitlich nach Sollwert gedüngt	Zwischenfrucht vier Varianten: • Keine Zwischenfrucht • Senf-Ölrettich ungedüngt • Senf-Ölrettich mineralisch gedüngt 60 kg N • Senf-Ölrettich organisch gedüngt 60 kg Gesamt-N	Silomais N-Düngestaffel; sechs Varianten • Ohne N-Düngung • 60 kg N/ha • 120 kg N/ha • 180 kg N/ha • 240 kg N/ha • 300 kg N/ha
2015		
Silomais N-Düngestaffel; sechs Varianten • Ohne N-Düngung • 60 kg N/ha • 120 kg N/ha • 180 kg N/ha • 240 kg N/ha • 300 kg N/ha	Winterroggen einheitlich nach Sollwert gedüngt	Zwischenfrucht vier Varianten: • Keine Zwischenfrucht • Senf-Ölrettich ungedüngt • Senf-Ölrettich mineralisch gedüngt 60 kg N • Senf-Ölrettich organisch gedüngt 60 kg Gesamt-N
2016		
Winterroggen einheitlich nach Sollwert gedüngt	Zwischenfrucht vier Varianten: • Keine Zwischenfrucht • Ölrettich ungedüngt • Ölrettich mineralisch gedüngt 60 kg N • Ölrettich organisch gedüngt 60 kg Gesamt-N	Silomais N-Düngestaffel; sechs Varianten • Ohne N-Düngung • 60 kg N/ha • 120 kg N/ha • 180 kg N/ha • 240 kg N/ha • 300 kg N/ha
2017		
Silomais N-Düngestaffel; sechs Varianten • Ohne N-Düngung • 60 kg N/ha • 120 kg N/ha • 180 kg N/ha • 240 kg N/ha • 300 kg N/ha	Winterroggen einheitlich nach Sollwert gedüngt	Zwischenfrucht vier Varianten: • Keine Zwischenfrucht • Senf-Ölrettich ungedüngt • Winterharte Winterraps, Rübsen, Markstammkohl-Mischung ungedüngt • Senf-Ölrettich organisch gedüngt 60 kg Gesamt-N
2018		
Winterroggen einheitlich nach Düngebedarf gedüngt	Zwischenfrucht vier Varianten: • Keine Zwischenfrucht • Senf-Ölrettich ungedüngt • Winterharte Winterraps, Rübsen, Markstammkohl-Mischung ungedüngt • Senf-Ölrettich organisch gedüngt 60 kg Gesamt-N	Silomais N-Düngestaffel; sechs Varianten • Ohne N-Düngung • 60 kg N/ha • 120 kg N/ha • 180 kg N/ha • 240 kg N/ha • 300 kg N/ha

Tabelle 8: N-Düngungsstufen in den Varianten des Versuchs in Wehnen zum grundwasserschutzorientieren Zwischenfruchtanbau in 2017

Variante	Silomais		Winterroggen	Senf-Ölrettich/ Winterraps-Rübsen-Markstammkohl
	19.04.2017	03.06.2017	04.05.2017	29.08.2017
	kg N/ha			
1	-	-	Einheitlich nach N-Bedarfswert	-
2	60	-		-
3	120	-		-
4	180	-		62
5	180	60		
6	180	120		

Der Versuch ist auf einem leichten Sandstandort (Ackerzahl 25) angelegt. Der Humusgehalt der Versuchsfläche liegt bei 3 %, das C/N Verhältnis bei 15. Die Fläche unter Block 1 (Winterroggen) hat einen

pH-Gehalt von 4,8. Die Ergebnisse aus der Bodenuntersuchung zeigen eine Kaliumversorgung in Gehaltsklasse B, die Magnesiumversorgung in Gehaltsklasse C und Phosphorversorgung in Gehaltsklasse D. Unter Block 2 (Silomais) sind die Ergebnisse aus der Bodenuntersuchung ähnlich, wobei lediglich die Kaliumgehaltsklasse mit C einzustufen ist [*Tabelle 9*].

Tabelle 9: Ergebnis der Bodenuntersuchung der Fläche in Wehnen (Vers.-Nr. 645) vom 26.01.2017

Bodenuntersuchungen Wehnen 02.02.2016							
Block 1 (Winterroggen)				Block 2 (Silomais)			
pH	P	K	Mg	pH	P	K	Mg
	[mg/ 100 g Boden]				[mg/ 100 g Boden]		
4,8	12,0	4,0	4,0	5,0	11,0	6,0	4,0
Gehaltsklasse	*D*	*B*	*C*		*D*	*C*	*C*

2.3.2. Ergebnisse

2.3.2.1. N_{min}-Werte

Silomais

Zur Erfassung der Entwicklung des mineralischen Stickstoffgehaltes im Boden werden jährlich an drei Terminen (Frühjahr, nach der Ernte, Herbst) innerhalb eines Blocks N_{min}-Proben (0 - 90 cm) gezogen. Zum Zeitpunkt der Frühjahrs-N_{min}-Beprobung (30.03.2017) im Silomais lag der N_{min}-Wert zwischen 12 (ungedüngte Zwischenfrucht) und 24 kg N_{min}/ha (organisch gedüngte Zwischenfrucht).

Bei der Nachernte-Beprobung im Mais lagen die N_{min}-Werte in allen Varianten, unabhängig von der vorangegangenen Zwischenfrucht, bis zur N-Düngungshöhe im Bereich des N-Sollwertes unter 20 kg N_{min}/ha. Mit Zunahme der N-Düngung (ab 240 bzw. 300 kg N/ha) verdrei- bis vervierfachte sich der N_{min}-Wert. Der höchste N_{min}-Werte wurde dabei in der mit 300 kg N/ha mineralisch gedüngten Variante (nach einer mineralisch gedüngten Zwischenfrucht) gemessen. Die Ergebnisse zeigen, wie auch schon in den Vorjahren, dass sich bei einer N-Düngung oberhalb der N-Sollwertempfehlungen (zukünftig N-Bedarfswert) und bei einer zusätzlichen N-Nachlieferung durch die vorangegangene Zwischenfrucht die auswaschungsgefährdeten Reststickstoffgehalte im Herbst im Boden erhöhen [*Abbildung 35*]. Im Mittel der niedrigen N-Düngungsstufen ist eine Abhängigkeit der N_{min}-Werte von der vorangegangenen Zwischenfrucht, anders als in den anderen Versuchsjahren, nicht eindeutig zu erkennen.

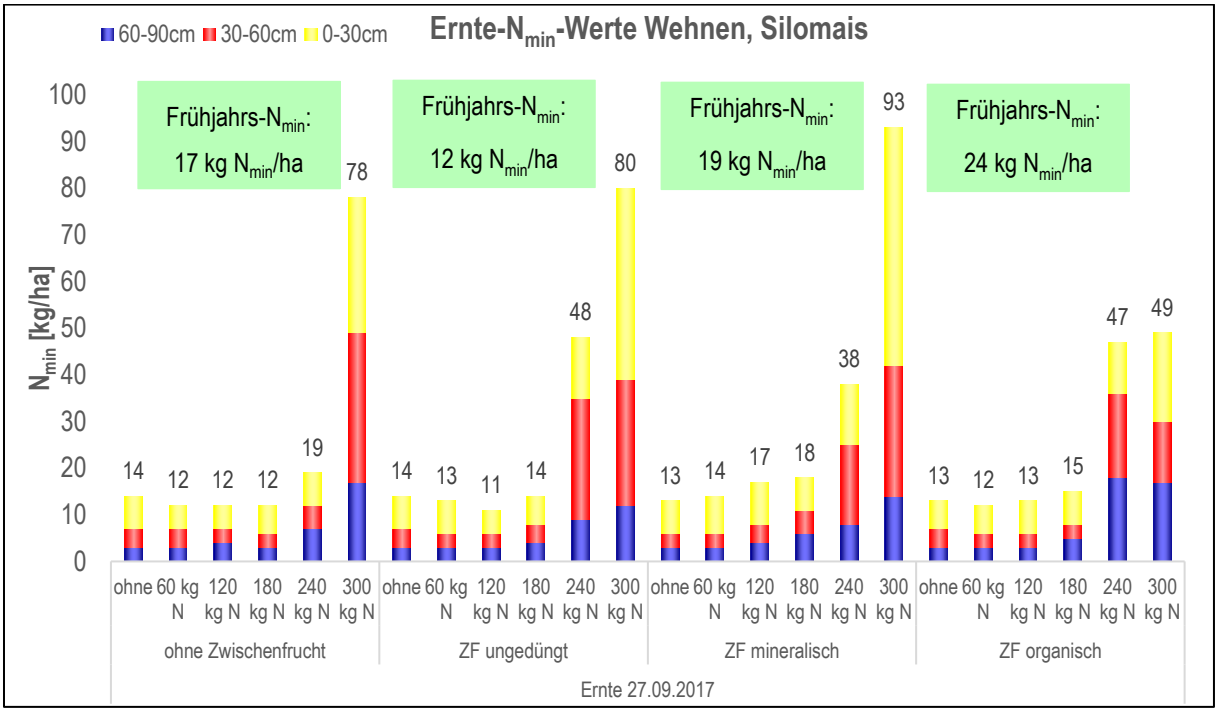

Abbildung 37: Ernte-N_{min}-Werte vom 27.09.2017 unter Silomais der N-Düngestaffel abhängig von der vorangegangenen Zwischenfrucht

Die Herbst-N_{min}-Beprobung wurde am 14.11.2017 trotz frühem Beginn der Sickerwasserperiode durchgeführt, um ggf. Nachmineralisationseffekte zu erfassen. Dabei lagen alle N_{min}-Werte auf insgesamt

niedrigem Niveau zwischen 21 und 29 kg N_{min}/ha in den bis 180 kg N/ha gedüngten Varianten [*Abbildung 38*]. Die zum Teil deutlich höheren N_{min}-Werten in den mit 240 bzw. 300 kg N/ha gedüngten Varianten nach der Ernte fanden sich zum zweiten Probetermin aufgrund von Auswaschung nur leicht erhöht wieder. Hier hat mit großer Wahrscheinlichkeit bedingt durch die hohen Niederschläge am Standort in Wehnen eine Nitratverlagerung zur Verringerung des im Boden vorhandenen mineralischen Stickstoffs geführt. Dies ist auch in der Verteilung des N_{min}-Gehaltes in den untersuchten Bodenschichten ablesbar. Weitere Erkenntnisse zur Stickstoffverlagerung werden die ergänzenden Sickerwasseruntersuchungen des LBEG bringen, die insbesondere in Jahren mit hohen Herbstniederschlägen wichtig für die Deutung des Verlagerungsverlaufes sind.

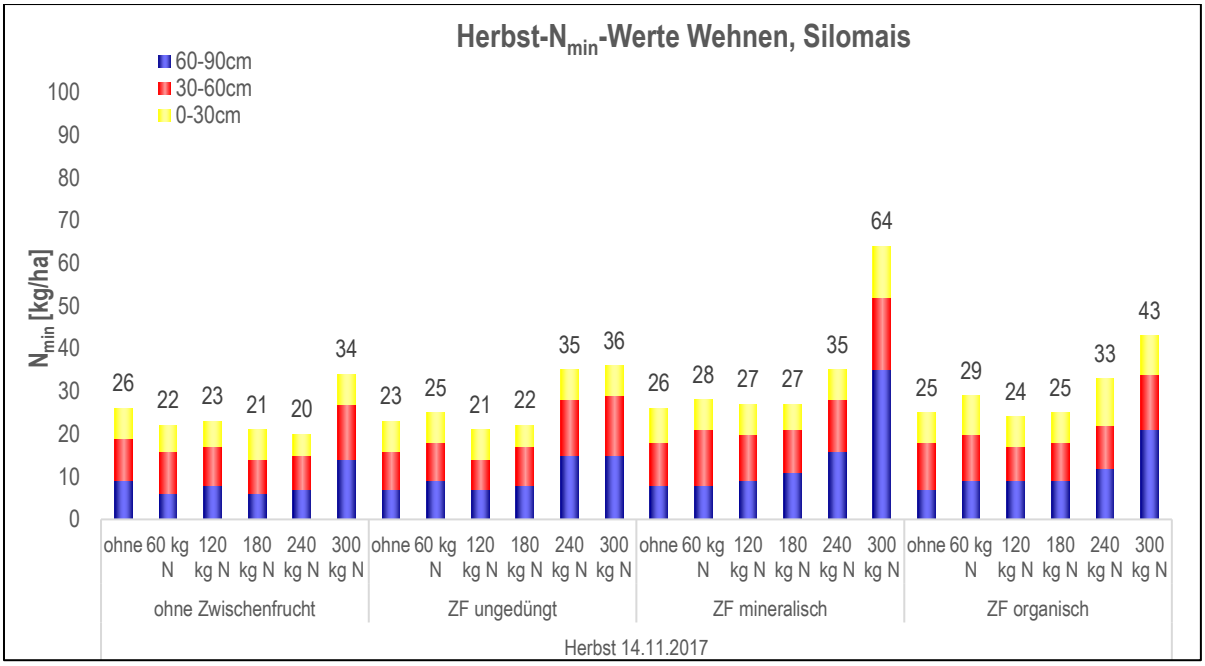

Abbildung 38: Herbst-N_{min}-Werte vom 14.11.2017 unter Silomais der N-Düngestaffel abhängig von der vorangegangenen Zwischenfrucht

Winterroggen und Zwischenfrucht

Zur Erfassung der Entwicklung des mineralischen Stickstoffgehaltes im Boden unter Winterroggen werden jährlich an drei Terminen (Frühjahr, nach der Ernte, Herbst) innerhalb eines Blocks N_{min}-Proben (0-90 cm) gezogen. Zum Zeitpunkt der Frühjahrs-N_{min}-Beprobung (30.03.2017) lag der N_{min}-Wert zwischen 12 (ungedüngte Zwischenfrucht) und 24 kg N_{min}/ha (organisch gedüngte Zwischenfrucht).

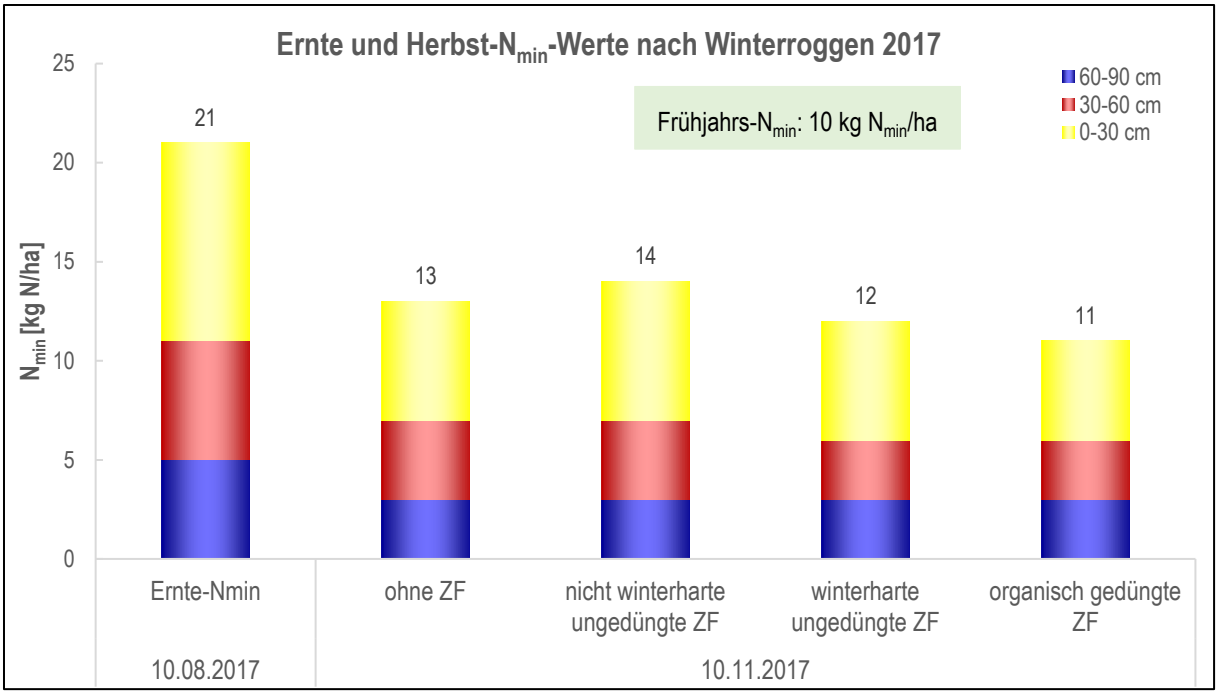

Abbildung 39: N_{min}-Werte nach der Ernte und im Herbst auf dem Block 1 unter Winterroggen bzw. nach den Zwischenfruchtvarianten in 2017 in Wehnen

Nach der Ernte lag der N_{min}-Wert mit 21 kg N_{min}/ha auf einem insgesamt niedrigen Niveau. Die N_{min}-Werte im Herbst nach den vier Düngungsvarianten zur Zwischenfrucht unterscheiden sich nur unwesentlich. In der ungedüngten winterharten Zwischenfrucht liegt dieser bei 14 kg N_{min}/ha. Die Variante mit der organisch gedüngten Zwischenfrucht hatte einen N_{min}-Wert von 11 kg N_{min}/ha [*Abbildung 39*]. Im Versuchsjahr 2017 trat bereits vor der Ernte der Hauptkultur Sickerwasser auf, sodass um die Auswirkungen der Zwischenfrucht zu erfassen und damit die Auswaschung in tiefere Bodenschichten der Varianten vergleichen zu können, die Sickerwasseranalysen durch das LBEG abzuwarten bleiben. Im Mittel der bisherigen sechs Versuchsjahren (2012 – 2017) wird deutlich, dass eine Zwischenfrucht, gedüngt oder ungedüngt den Reststickstoffgehalt nach der Ernte deutlich reduzieren konnte [*Abbildung 40*].

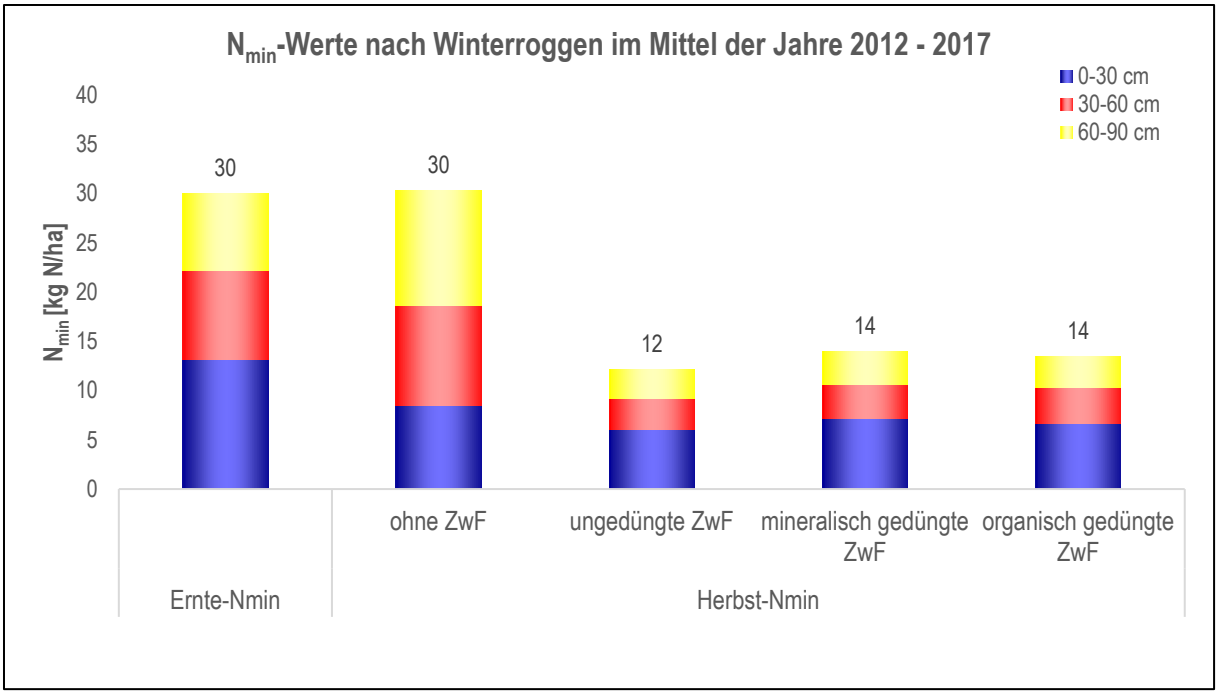

Abbildung 40: N_{min}-Werte nach der Ernte und im Herbst unter Winterroggen bzw. nach den Zwischenfruchtvarianten im Mittel der Versuchsjahre 2012 - 2017 in Wehnen

2.3.2.2. Erträge

Winterroggen und Zwischenfrucht

Der Winterroggen wurde am 13.10.2016 ausgesät und am 14.03.2017 und 10.04.2017 einheitlich auf N-Sollwert gedüngt. Die Ernte erfolgte am 02.08.2017. Der Winterroggenertrag lag bei 67 dt TM/ha bei einem Proteingehalt von 9,9 %.

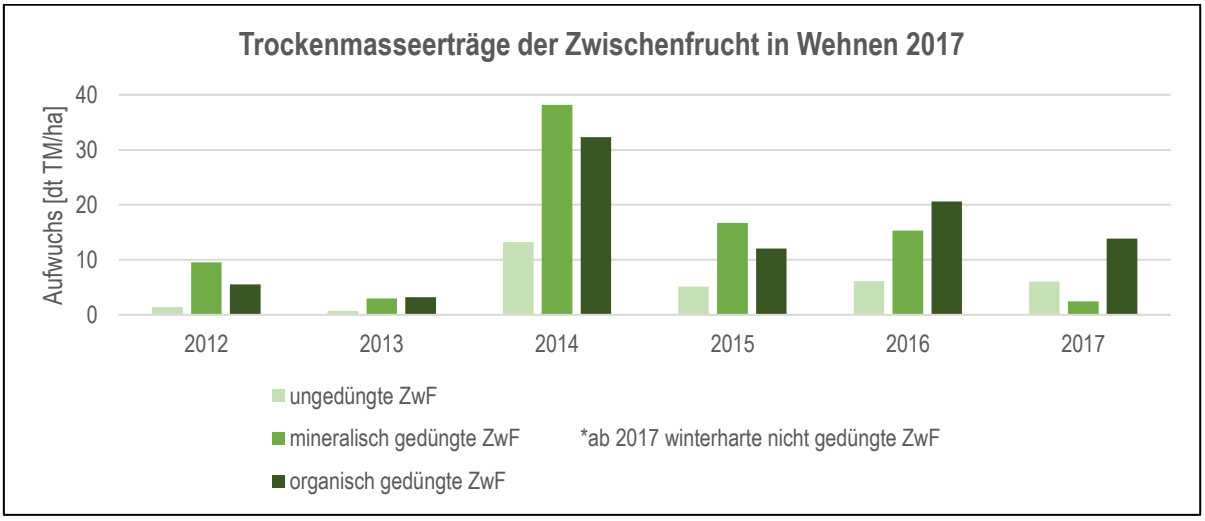

Abbildung 41: Trockenmasseerträge der drei Varianten zur Zwischenfrucht in Wehnen in 2017

Die ungedüngte Zwischenfrucht (Aussaat 25.08.2017) erreichte (Aufwuchsbestimmung 13.11.2017) bei einer Wuchszeit von 82 Tagen einen Ertrag von 6,0 dt TM/ha. Mit der mit 60 Gesamt-N/ha organisch gedüngten Variante konnte ein Ertrag von 13,8 dt TM/ha erzielt werden [*Abbildung 41*]. Die erstmalig

in diesem Jahr aufgebaute winterharte Zwischenfrucht erzielte lediglich einen Ertrag von 2,4 dt TM/ha. Zu beachten ist, dass bei der Aufwuchsbestimmung lediglich der oberirdische Pflanzenaufwuchs bestimmt wird.

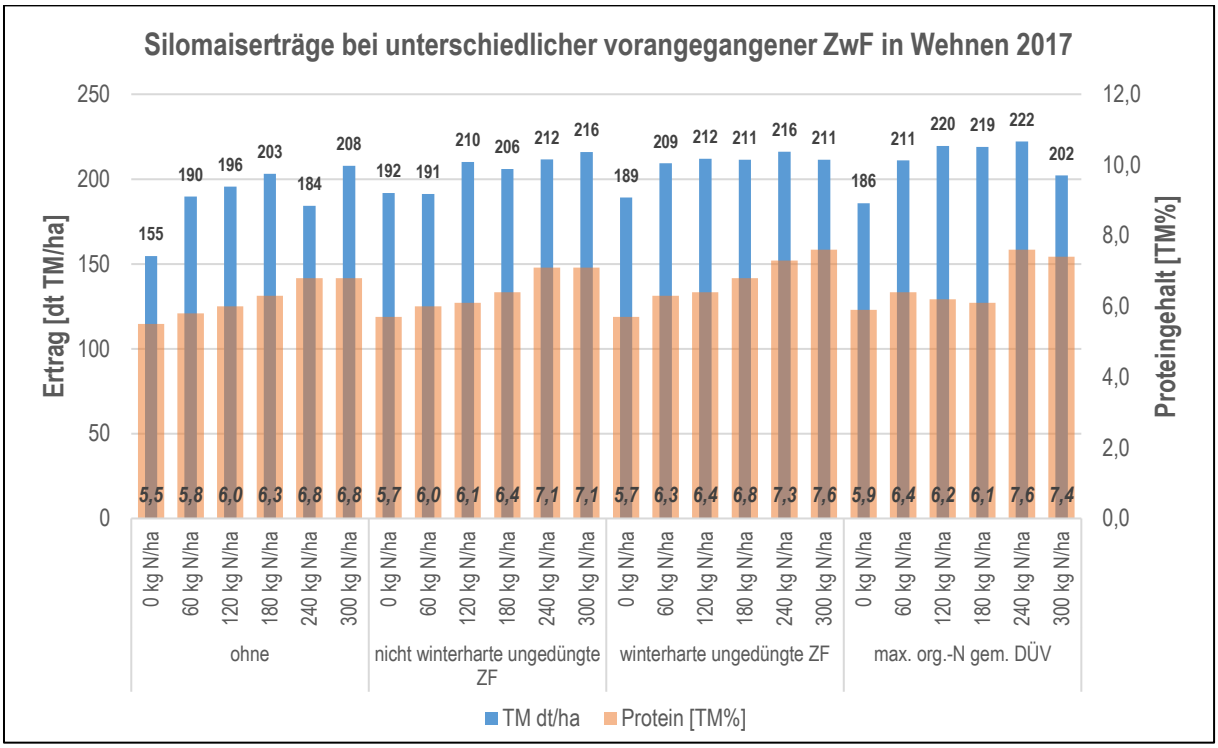

Abbildung 42: Trockenmasseerträge von Silomais in allen Düngungsvarianten und unterschiedlich vorangegangenen Zwischenfruchtvarianten in Wehnen in 2017

Die Silomaiserträge in 2017 schwanken innerhalb aller Düngungsvarianten und den Begrünungsvarianten zwischen 155 und 222 dt TM/ha. Dabei ist der Ertrag unter der Variante ungedüngt und der Variante ohne vorangegangene Zwischenfrucht am niedrigsten. Mit zunehmender N-Düngung werden die Unterschiede zwischen den Zwischenfruchtvarianten geringer. Die Proteingehalte liegen zwischen 5,5 und 7,6 % und nehmen mit steigender N-Düngung zu [*Abbildung 42*]. Mit zunehmender N-Düngung steigt der Rohproteingehalt auch in den hoch gedüngten Varianten an, während der Ertrag in diesen Varianten stagniert.

2.3.2.3. Ertrags- und N-Düngungs-Optima

Die Anlage der N-Düngestaffel im Silomais ermöglicht es, nach der Ernte die optimale N-Düngung und den optimalen Ertrag rechnerisch zu ermitteln [*Siehe S. 9*]. Die ökonomisch optimale N-Düngung im Silomais lag 2017 in allen Varianten zwischen 158 und 189 kg N/ha bei einem Ertrag von 184 bis 190 dt TM/ha. Die Erträge unterscheiden sich innerhalb der Varianten nur unwesentlich voneinander. Die errechnete N-Düngung in den Varianten mit vorangegangenen gedüngten Zwischenfrüchten ist geringer als in den Varianten ohne vorangegangene Zwischenfrucht bzw. mit vorangegangener ungedüngter Zwischenfrucht, da es zu einer höheren N-Nachlieferung an die Folgefrucht Silomais kommt. In der

Variante mit einer vorangegangenen ungedüngten Zwischenfrucht verschiebt sich das Optimum, sodass am Standort in Wehnen im Mittel der Versuchsjahre 2013 bis 2017 durch die gedüngten Zwischenfruchtvarianten rund 30 kg N/ha an die Folgefrucht Silomais nachgeliefert werden konnte. Die ungedüngte Zwischenfrucht lieferte im Mittel der Jahre rd. 10 kg N/ha nach [*Abbildung 43*].

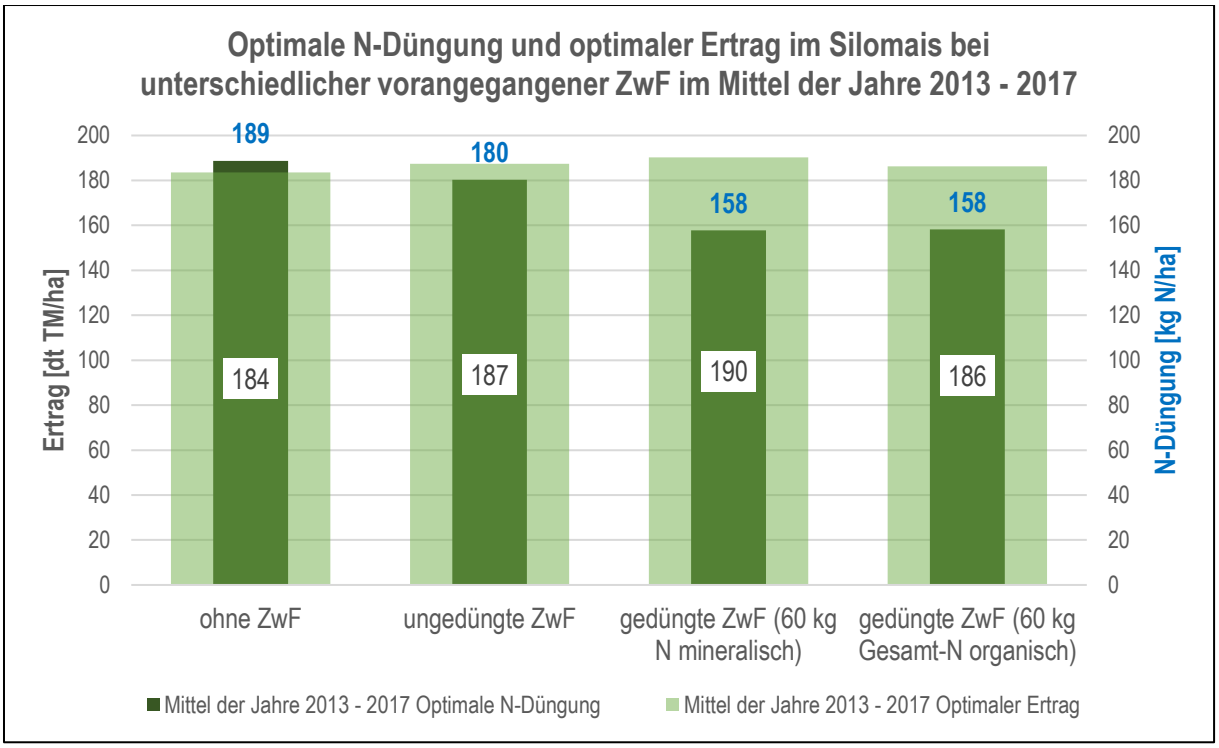

Abbildung 43: Ökonomisch optimale N-Düngung und Ertragsoptimum im Mittel der Jahre 2013 – 2017 am Versuchsstandort in Wehnen in Abhängigkeit von der vorangegangenen Zwischenfrucht

Insgesamt konnte, unabhängig von der vorangegangenen Zwischenfrucht, der für Silomais typische flache Verlauf der Erträge innerhalb der N-Steigerungsstufen beobachtet werden. Die Auswirkungen der Zwischenfrucht und der N-Düngung zur Zwischenfrucht auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser und die Nitratfrachten sind durch das LBEG in einem gesonderten Bericht veröffentlicht. Die Ergebnisse aus den ersten Sickerwasserperioden zeigen, dass neben der N-Düngung auch der Aussaattermin der Zwischenfrucht und der Witterungsverlauf einen wesentlichen Einfluss auf die N-Aufnahme und die Höhe der Nitratauswaschung haben.

2.3.2.4. N-Bilanz

Die N-Bilanz errechnet sich aus der N-Zufuhr der Düngung und der N-Abfuhr mit dem Erntegut. Die N-Bilanzsalden für alle N-Düngungsvarianten und die unterschiedlichen vorangegangenen Varianten der Zwischenfrucht in 2016 sind in *Abbildung 44* dargestellt. Als Bilanzierungszeitraum ist das Kalenderjahr 2017 (01.01.2017 – 31.12.2017) gewählt.

Insgesamt liegen die Bilanzsalden in einem Bereich zwischen -175 und 74 kg N/ha. In den N-Düngungsvarianten ohne vorangegangene Zwischenfrucht variieren die Salden zwischen minus 136 kg N/ha in der ungedüngten und plus 74 kg N/ha in der deutlich überdüngten (300 kg N/ha) Variante.

Unter Silomais mit ungedüngter nicht winterharter Zwischenfrucht lagen die N-Bilanzsalden zwischen -175 kg N/ha und 55 kg N/ha. Die N-Bilanzen unter Silomais mit winterharter ungedüngter Zwischenfrucht variiert in 2017 zwischen -173 kg N/ha in der ungedüngten und 43 kg N/ha in der mit 300 kg N/ha gedüngten Variante. Im Silomais mit vorangegangener organisch gedüngter Zwischenfrucht lagen die N-Bilanzsalden zwischen -175 und 61 kg N/ha. Dabei waren alle Varianten bis 240 kg N/ha im zum Teil deutlich negativen Bereich. Im Vergleich aller Varianten waren die N-Entzüge ohne vorangegangene Zwischenfrucht insgesamt etwas geringer.

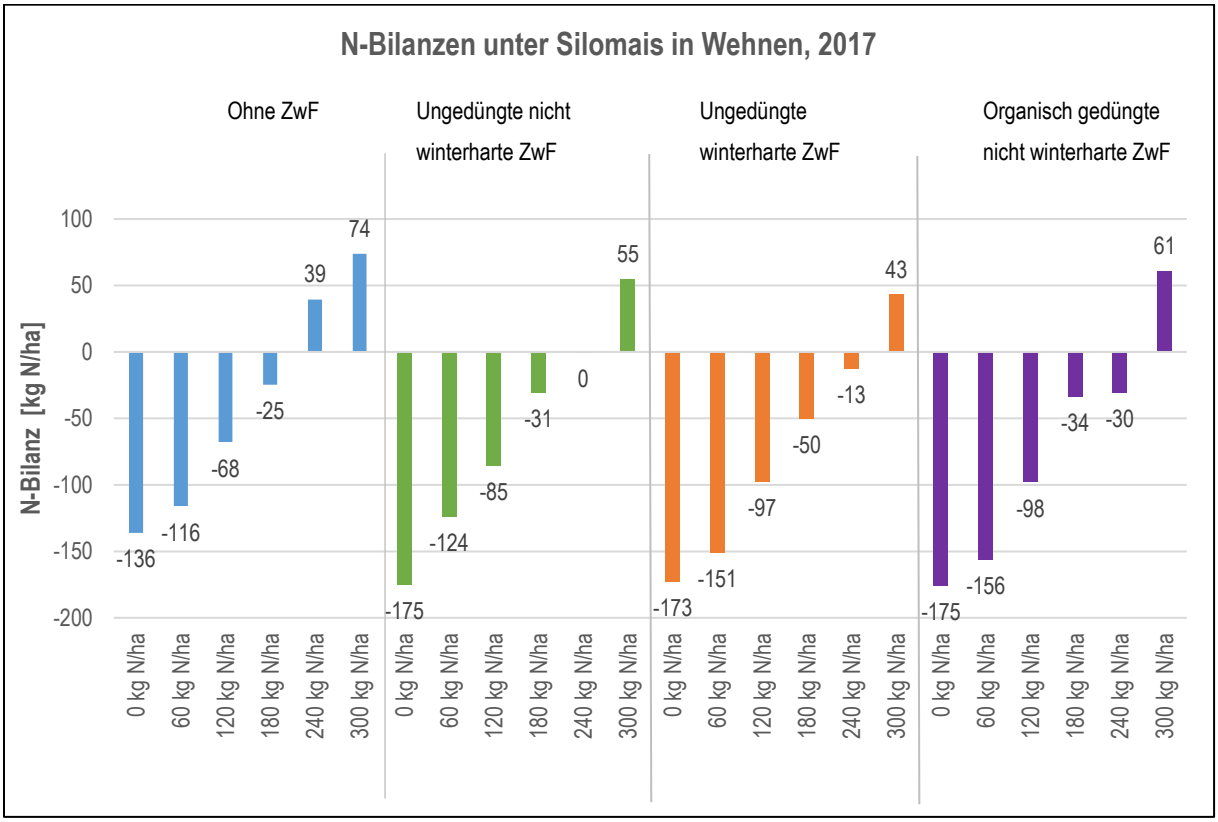

Abbildung 44: N-Bilanz unter Silomais ohne vorangegangene Zwischenfrucht in Wehnen 2017

Anhand der N-Bilanzen wird die Wirkung der N-Düngung deutlich und zeigt, dass es bei den Zwischenfruchtparzellen infolge der höheren N-Entzüge zu negativen N-Salden infolge der höheren N-Abfuhren kommt. In der mit 300 kg N/ha gedüngten Variante war immer ein N-Überschuss zu verzeichnen. Mais kann sowohl den Stickstoff aus dem Boden als auch aus der Düngung gut verwerten, daher reagiert er bei unterschiedlichen N-Düngungshöhen mit nur geringen Ertragsschwankungen. Zudem kann Mais einen großen Anteil seines N-Bedarfes aus dem Bodenvorrat decken. Gibt es also zusätzlich eine vorangegangene Zwischenfrucht beim Mais, ist entsprechend das N-Angebot größer. Auch auf organisch gedüngten Böden ist die N-Nachlieferung größer. Daher muss beim Mais die N-Nachlieferung aus der

Vorfrucht und der organischen Düngung berücksichtigt werden, um nach der Ernte hohe Rest-N_{min}-Gehalte zu vermeiden.

2.3.3. Zusammenfassung

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?

Die Ernte- und Herbst-N_{min}-Werte in 2017 nach Winterroggen und den unterschiedlichen Varianten zur vorangegangenen Zwischenfrucht zu Silomais sind sehr niedrig. Dabei ist aufgrund des sehr regenreichen Sommers kein wesentlicher Unterschied zwischen den Zwischenfrucht-Varianten zu erkennen. Die Versuchsergebnisse der vorherigen Versuchsjahre (2012 bis 2016) zeigen allerdings, dass eine Zwischenfrucht am Standort in Wehnen unabhängig von der N-Düngung die Reststickstoffgehalte im Boden nach der Ernte reduziert.

Eine N-Düngung zu Mais mit mehr als 180 kg N/ha führte in 2017 in allen Varianten ob mit oder ohne Zwischenfrucht zu einem Anstieg der N_{min}-Werte im Herbst. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die N-Bedarfswertdüngung zu Mais in Wehnen bestätigt. Eine N-Düngung oberhalb der N-Düngeempfehlung führt am Standort in Wehnen zur Zunahme der auswaschungsgefährdeten Reststickstoffgehalte im Herbst im Boden.

Die Auswirkungen der Zwischenfrucht und der N-Düngung zur Zwischenfrucht auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser und die Nitratfrachten sind durch das LBEG in einem gesonderten Bericht veröffentlicht. Die Ergebnisse aus den ersten Sickerwasserperioden zeigen, dass neben der N-Düngung vor allem der Aussaattermin der Zwischenfrucht und der Witterungsverlauf einen wesentlichen Einfluss auf die N-Aufnahme und die Höhe der Nitratauswaschung haben. Nach dem Versuchsjahr 2018 ist ein Kurzbericht zur Auswertung der Versuchsjahre 2012 – 2018 geplant.

Wie viel Stickstoff wird im Herbst von den Zwischenfrüchten aufgenommen und wie viel Stickstoff wird während der Sickerwasserperiode konserviert?

Die N-Bilanzen vom Silomais zeigen deutlich negative Bilanzsalden auf. Lediglich in der mit 300 kg N/ha gedüngten Variante ist immer ein N-Überschuss zu verzeichnen. Mais kann sowohl den Stickstoff aus dem Boden als auch aus der Düngung gut verwerten, daher reagiert er bei unterschiedlichen N-Düngungshöhen mit nur geringen Ertragsschwankungen. Zudem kann Mais einen großen Anteil seines N-Bedarfes aus dem Bodenvorrat decken. Gibt es zusätzlich eine vorangegangene Zwischenfrucht beim Mais, ist entsprechend das N-Angebot größer. Auch auf organisch gedüngten Böden ist die N-Nachlieferung größer. Daher muss beim Mais die N-Nachlieferung aus der Vorfrucht und der organischen Düngung berücksichtigt werden, um nach der Ernte hohe Rest-N_{min}-Gehalte zu vermeiden.

Wie bereits in den Vorjahren nahm der oberirdische Aufwuchs der gedüngten Zwischenfrucht mehr Stickstoff auf, als die ungedüngte Zwischenfrucht. Allerdings ist die gesamte mineralisch gedüngte N-Menge von 60 kg N/ha nicht vollständig in der oberirdischen N-Aufnahme der Zwischenfrucht wiederzufinden. Zudem wird anhand der N-Nachlieferung deutlich, dass nicht die gesamte zur Zwischenfrucht gedüngte N-Menge an die nachfolgende Frucht Silomais im direkten Folgejahr freigegeben wird. Die ungedüngte Zwischenfrucht liefert im Vergleich geringere Anteile an Stickstoff nach.

Mit einer gut entwickelten Zwischenfrucht lassen sich die positiven Effekte des Zwischenfruchtanbaus [*Abbildung 34*] eher erreichen. Dabei wird aus den Versuchsergebnissen am Standort in Wehnen deutlich, dass eine Zwischenfrucht die auswaschungsgefährdeten Reststickstoffgehalte im Herbst reduzieren kann. Zudem ist der Effekt einer Gründüngung durch die Nachlieferung an die Folgefrucht herauszustellen. Es wird deutlich, dass eine Zwischenfrucht, gedüngt oder nicht gedüngt, auf kurze Sicht für den Grundwasserschutz besser ist als keine Zwischenfrucht. Bei später Aussaat und hohen Ernte-N_{min}-Werten sollte eine reduzierte Düngung erfolgen bzw. auf eine Düngung verzichtet werden.

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

Die ökonomisch optimale N-Düngung im Mais lag in 2017 liegt in allen Varianten in 2017 zwischen 158 und 189 kg N/ha bei einem Ertrag von 184 bis 190 dt TM/ha. Dabei wird deutlich, dass das N-Optimum bei vorangegangener Zwischenfrucht verschiebt. Entsprechend sollte dies immer bei der N-Düngung zu Silomais nach Zwischenfrucht berücksichtigt werden. Auf langjährig organisch gedüngten Flächen, wie in Wehnen, ist nach bisherigen Ergebnissen mit einer Stickstoffnachlieferung für die Folgefrucht von etwa 30 kg N/ha auszugehen. Zur Stickstoffnachlieferung im zweiten Jahr nach Anbau der Zwischenfrucht gibt es bisher noch keine Erkenntnisse. Die N-Nachlieferung ist schwer zu ermitteln, da viele Einflüsse auf die Stickstoffnachlieferung einwirken. Weiterhin kann noch keine konkrete Aussage zu den Unterschieden bei der Auswirkung einer winterharten oder nicht winterharten Zwischenfrucht getroffen werden. Dafür bleiben die nächsten Versuchsjahre abzuwarten.

2.4. Versuchsstandort Wehnen - Grundwasserschutzorientierte organische Düngung (649)

Versuchsfragen:

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

2.4.1. Versuchsaufbau und Durchführung

Am Standort in Wehnen wird seit 2014 die Stickstoff-Nachlieferung auf langjährig organisch gedüngten Standorten und deren Auswirkung auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser, die N-Dynamik im Boden, Erträge und Qualitätsparameter untersucht. Eine möglichst genaue Einschätzung der Wirksamkeit organischer Dünger und der N-Nachlieferung langjährig organisch gedüngter Standorte ist für den Grundwasserschutz von Bedeutung, um eine Überschätzung des N-Düngebedarfs und hohe auswaschungsgefährdete Reststickstoffgehalte im Herbst im Boden zu vermeiden. Besonders im Maisanbau hat eine überhöhte N-Düngung auf diesen Standorten eine Erhöhung der auswaschungsgefährdete Reststickstoffgehalte im Herbst zur Folge. Die effiziente Nutzung organischer Dünger sowie die möglichst präzise Einschätzung der Nährstoff-Wirkung leisten einen wichtigen Beitrag, Nitrateinträge in das Grundwasser zu vermeiden.

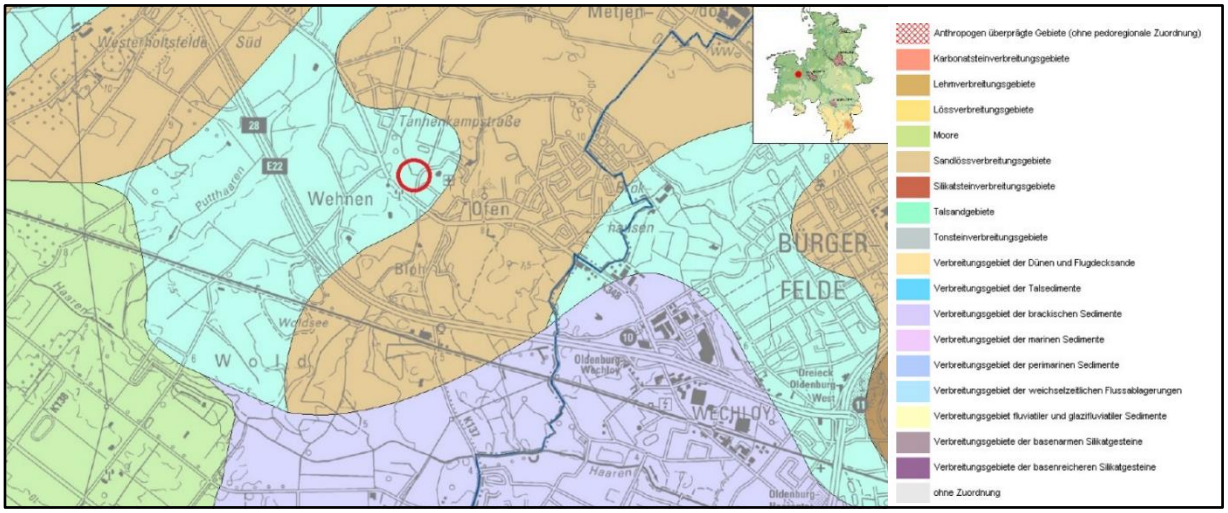

Abbildung 45: Lage des Versuchsstandortes in Wehnen mit Bodenlandschaften 1:500.000, Maßstab 1:16.000[1]

[1] NIBIS Kartenserver LBEG

In einem Versuch am Standort in Wehnen wird dazu in einer Fruchtfolgerotation Silomais und Winterroggen angebaut. Im Versuchsjahr 2017 wurde Winterroggen angebaut, dessen Aussaat am 11.10.2016 erfolgte. Am 26.01.2017 wurde eine Bodenuntersuchung vorgenommen, dabei ist die P-Versorgung des Bodens am Standort in Wehnen der Gehaltsklasse D zuzuordnen. Der Frühjahrs-N_{min}-Wert wurde am 22.02.2017 ermittelt und liegt bei 14 kg N_{min}/ha *[Tabelle 10]*.

Tabelle 10: Ergebnis der Boden- und N_{min}-Untersuchung der Versuchsfläche in Wehnen (Vers.-Nr. 649)

Bodenuntersuchungen Wehnen 2016				
Bodenart	Sand			
Ackerzahl	34			
Humus	3%			
C/N-Verhältnis	15			
Bodenuntersuchung *[mg/ 100 g Boden]* 26.01.2017	**pH**	**P**	**K**	**Mg**
	4,9	11,0	3,0	3,0
Gehaltsklasse		D	B	C
Frühjahrs-N_{min}-Wert *[kg Nmin/ha]*	**0-30 cm**	**30-60 cm**	**60-90 cm**	**0-90 cm**
22.02.2017	4	5	5	14

Wirtschaftsdünger sind wertvolle Mehrnährstoffdünger, deren Einsatz durch den zuerst erreichten Bedarf eines Nährstoffs limitiert ist. Im Versuch am Standort in Wehnen wird Schweinegülle eingesetzt, der Phosphorbedarf wird zuerst abgedeckt und limitiert so die Höhe der N-Gabe. Damit ergibt sich eine Ausbringung von organisch 120 kg Gesamt-N/ha, diese wird entsprechend bei der Bemessung der Höhe der N-Düngung berücksichtigt. Insgesamt gibt es in dem Versuch 12 Varianten, die sich in der Höhe, Form und Aufteilung der N-Düngung unterscheiden. Parallel zu den organisch gedüngten Varianten wird in einer mineralischen festen N-Düngestaffel die langfristige Auswirkung mineralischer N-Dünger im Vergleich zum Wirtschaftsdüngereinsatz untersucht. In einer Variante mit 170 kg Gesamt-N aus organischer Düngung sollen die Auswirkungen auf die auswaschungsgefährdeten Reststickstoffgehalte im Boden direkt nach der Ernte und zu Beginn der Sickerwasserperiode untersucht werden [*Tabelle 11*].

Tabelle 11: N-Düngungsstufen im Winterroggen in Wehnen im Wasserschutzversuch

Nr.	Varianten-Bezeichnung	Org. Düngung	Min. Düngung (1.Gabe)	Min. Düngung (2.Gabe)	Gesamt-N
		09.03.2017	09.03.2017	13.04.2017	
		kg N/ha			
1	0 kg N/ha	-	-	-	0
2	40 kg N/ha	-	20	20	40
3	80 kg N/ha	-	40	40	80
4	120 kg N/ha	-	60	60	120
5	160 kg N/ha	-	80	80	160
6	200 kg N/ha	-	100	100	200
7	Organisch 120 kg Gesamt-N	120	-	-	120
8	40 kg N/ha min. + organisch 120 kg Gesamt-N	120	20	20	160
9	80 kg N/ha min. + organisch 120 kg Gesamt-N	120	40	40	200
10	120 kg N/ha min. + organisch 120 kg Gesamt-N	120	60	60	240
11	160 kg N/ha min. + organisch 120 kg Gesamt-N	120	80	80	280
12	Organisch 170 kg Gesamt-N	170	-	-	170

Alle Varianten werden auf N-Dynamik im Boden, Erträge und Qualitätsparameter und deren Auswirkungen auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser (LBEG) untersucht. Ziel ist es, die langfristige N-Nachlieferung aus der organischen Düngung bzw. dem Bodenvorrat besser zu erfassen. Weiterhin werden Ergebnisse zur Wirkung der organischen und organisch-mineralischen Düngung im Vergleich zur mineralischen N-Düngung erwartet.

2.4.2. Ergebnisse

2.4.2.1. N_{min}-Werte

In allen N-Düngungsvarianten zum Winterroggen wurde direkt nach der Ernte und zu einem späteren Termin im Herbst der Boden auf den mineralischen Stickstoffgehalt untersucht. Am 22.02.2017 wurde ein Frühjahrs-N_{min}-Wert von 14 kg N_{min}/ha gemessen.

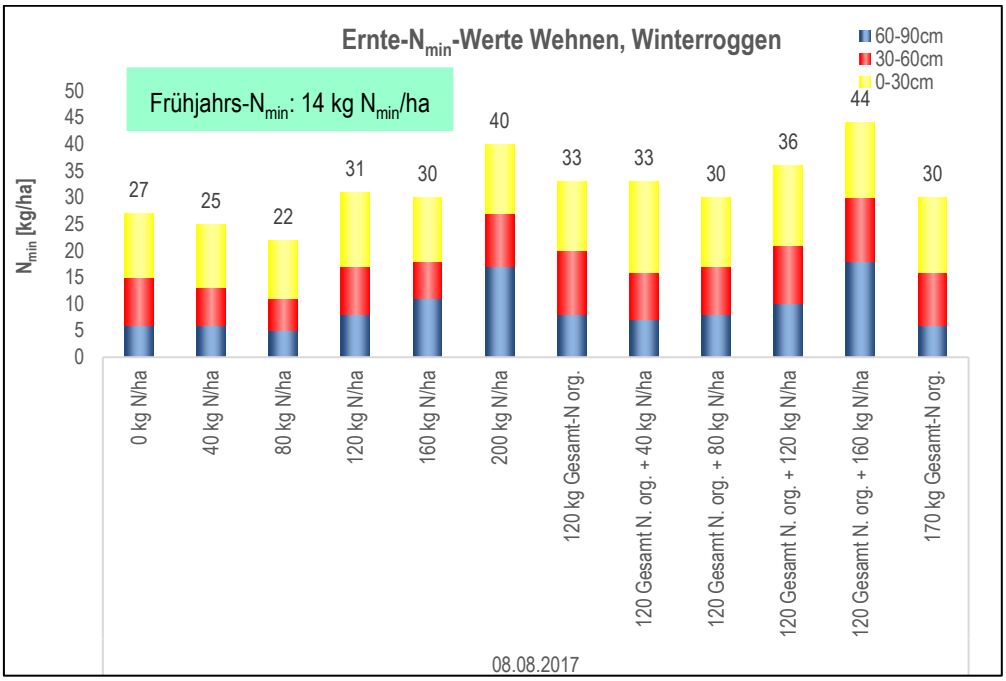

Abbildung 46: Ernte-N_{min}-Werte nach Winterroggen der N-Düngestaffel und den organisch und organisch-mineralischen Varianten

Die Ergebnisse der Ernte-N_{min}-Untersuchungen zeigen, dass diese bei mineralischer N-Düngung und entsprechender anrechenbarer organischer N-Düngung auf einem vergleichbaren Niveau liegen. Die Ernte N_{min}-Werte lagen 2017 zwischen 33 kg N_{min}/ha (bei einer Düngung mit 120 kg Gesamt-N/ha aus Schweinegülle in Kombination mit einer mineralischen Ergänzungsdüngung von 60 kg N/ha) und 44 kg N_{min}/ha in einer Variante mit 120 kg gesamt-N/ha aus Schweinegülle in Kombination mit einer überhöhten mineralischen Ergänzungsdüngung von 240 kg N/ha.

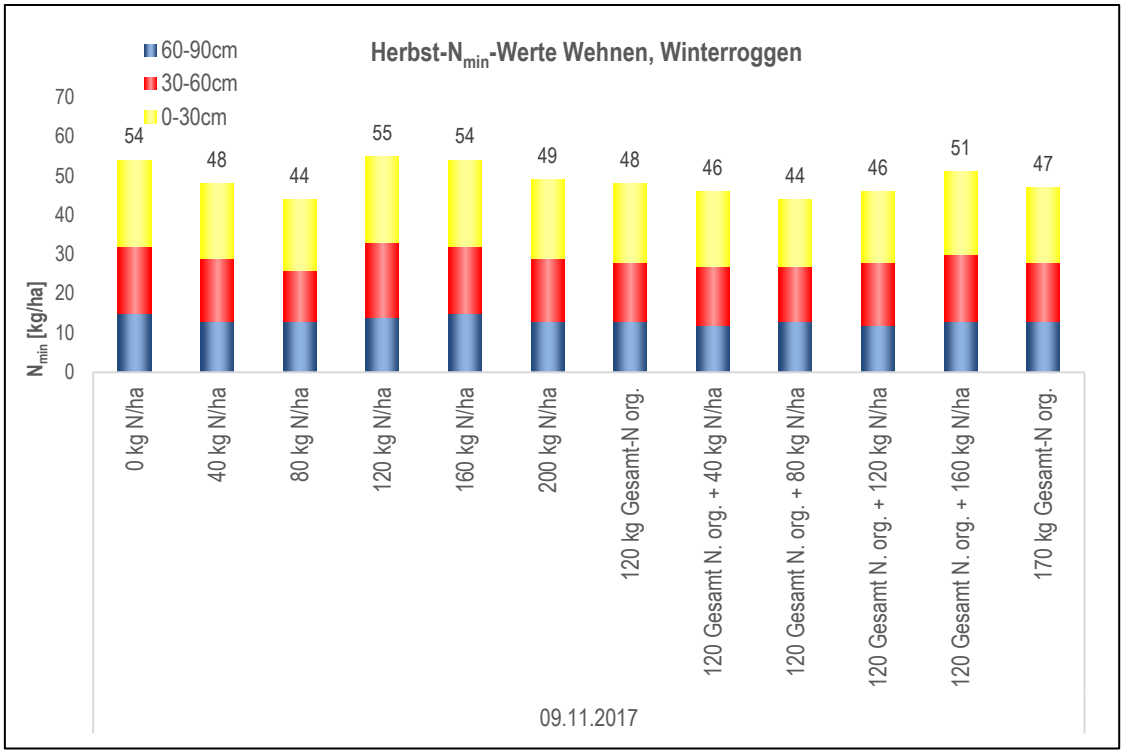

Abbildung 47: Herbst-N_{min}-Werte nach Winterroggen der N-Düngestaffel und den organisch und organisch-mineralischen Varianten

Am 09.11.2017 wurden in einem zweiten Termin Herbst-N_{min}-Werte ermittelt. Dabei liegen alle Werte unabhängig von der N-Düngungsstufe auf gleichem Niveau zwischen 44 und 55 kg N_{min}/ha. Alle N_{min}-Werte sind zwischen dem Termin der Erntebeprobung und dem Herbsttermin um ca. 20 kg N_{min}/ ha angestiegen. Die Sickerwasseruntersuchungen und Berechnungen zur Nitratfracht des LBEG können nach Abschluss der Sickerwasserperiode 2017/2018 Auskunft geben, inwieweit bereits Nitrat zu diesem Termin in tiefere Schichten ausgewaschen wurde.

Da es aufgrund der bestehenden Rotation für jede Frucht nur alle zwei Jahre Ergebnisse gibt, werden im Folgenden die Versuchsjahre mit Winterroggen 2015 und 2017 verglichen. Um weitere Ergebnisse und Aussagen bzgl. der langjährigen Entwicklung der N-Dynamik im Boden bekommen zu können, sind weitere Versuchsjahre abzuwarten. Die N_{min}-Werte nach Winterroggen in 2015 und 2017 am Versuchsstandort in Wehnen zeigen, dass die Höhe der N-Düngung – anders als im Silomais - keinen direkten Einfluss auf den Ernte- und Herbst-N_{min}-Wert hat [*Abbildung 48*]. Im Vergleich der beiden Jahre, liegen die N_{min}-Werte in 2015 auf einem gering niedrigeren Niveau als in 2017. Daraus geht hervor, dass neben der Höhe der N-Düngung weitere Faktoren wie z.B. die Witterung, Einfluss auf die N-Verfügbarkeit haben. 2017 war ein sehr nasses Jahr, auch in Wehnen fielen rd. 176 mm mehr Niederschlag als im langjährigen Mittel [*Abbildung 3*]. Um Aussagen zur Nitratverlagerung vor der Ernte in tiefere Bodenschichten und ggf. eine Auswaschung in das Sickerwasser treffen zu können, bleiben die Auswertungen der ergänzenden Sickerwasseruntersuchungen durch das LBEG abzuwarten.

In beiden Versuchsjahren wird deutlich, dass es vom Zeitpunkt nach der Ernte bis zum Herbst zu einem Anstieg der N_{min}-Werte und damit zu einer leichten Nachmineralisation am Standort in Wehnen kommt.

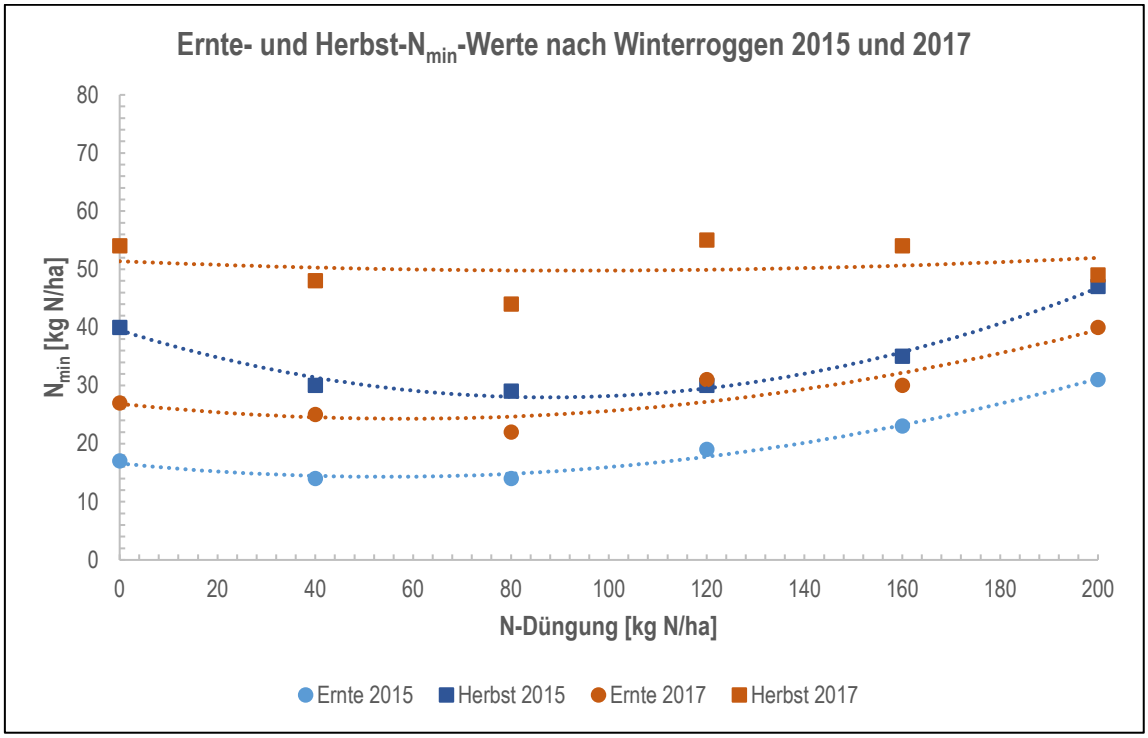

Abbildung 48: N_{min}-Werte nach der Ernte und im Herbst nach Winterroggen am Standort in Wehnen in 2015 und 2017

Nach Auswertung der Sickerwasseranalysen kann sich, insbesondere für 2017, in den höher gedüngten Varianten eine höhere N-Nachlieferung ergeben.

2.4.2.2. Erträge

Die Winterroggenernte erfolgte am 02.08.2017. Der höchste Ertrag von 88 dt TM/ha wurde dabei in der Variante mit einer mineralischen N-Düngung von 120 kg N/ha erzielt. Auch die Erträge in der 80 kg N/ha und 120 kg N/ha mineralisch gedüngten Varianten liegen mit 85 dt TM/ha und 87 dt TM/ha nur knapp unter dem in 2017 erreichten Höchstertrag und damit im Bereich der Grenzdifferenz. Der geringste Ertrag zeigt sich in der ungedüngten Parzelle mit 36 dt TM/ha. Das errechnete ökonomische Optimum für die N-Düngung liegt in 2017 am Versuchsstandort in Wehnen bei 115 kg N/ha bei einem errechneten Ertragsoptimum von 90 dt TM/ha [*Abbildung 49*].

Das N-Angebot im Frühjahr liegt bei 14 kg N_{min}/ha (22.02.2017). Die Reststickstoffgehalte direkt nach der Ernte und im Herbst liegen auf einem für Winterroggen niedrigen Niveau, sodass bei optimaler N-Düngung nur Reststickstoffmengen von rd. 30 (nach der Ernte) bzw. 50 kg N_{min}/ha hinterlassen wurden.

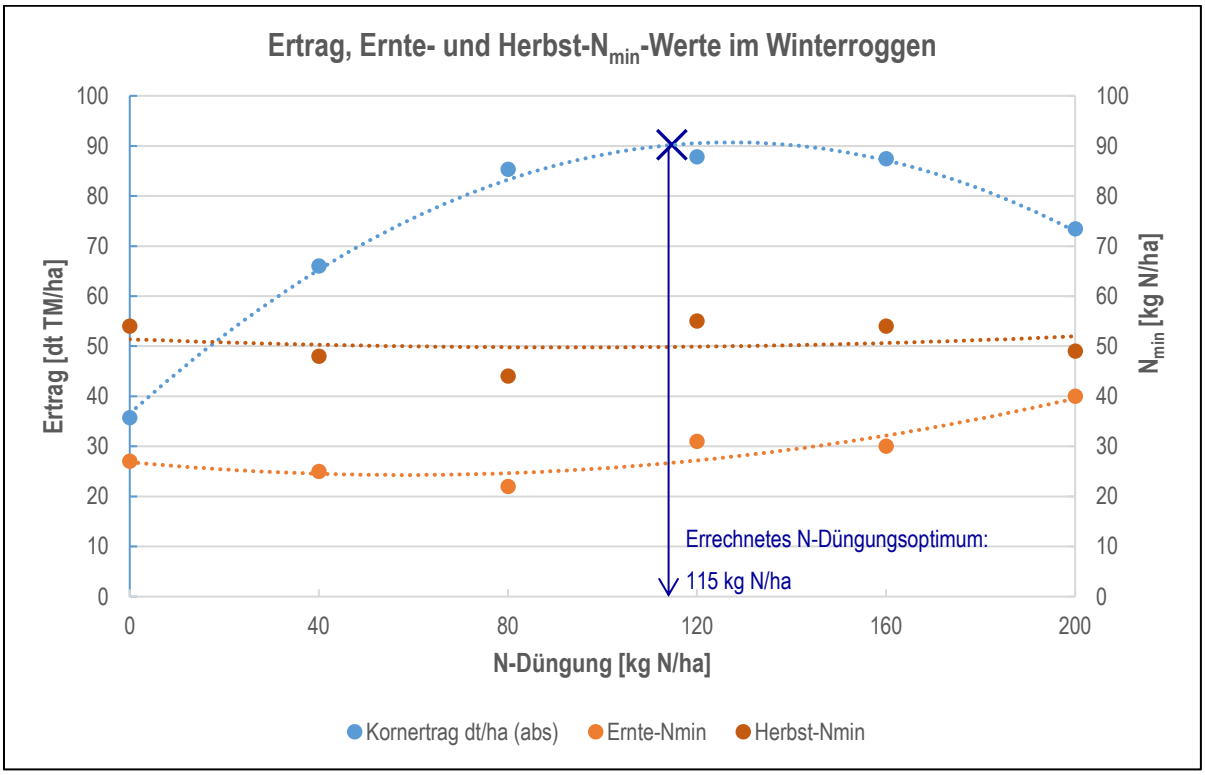

Abbildung 49: Winterroggenertrag in der N-Düngestaffel, errechnetes Ertrags- und N-Düngungsoptimum und Ernte- und Herbst-N_{min}-Werte am Versuchsstandort in Wehnen in 2017

Die Erträge und Proteingehalte der mineralischen N-Düngestaffel und der organisch und organisch-mineralisch gedüngten Varianten sind in *Abbildung 50* dargestellt. Auffallend ist, dass die rein organisch gedüngten Varianten mit 120 und 170 kg Gesamt-N aus Schweinegülle mit 54 und 72 dt TM/ha deutlich geringere Erträge erzielt haben als die kombinierten Varianten. Die Proteingehalte liegen insgesamt zwischen 9,1 (120 kg Gesamt-N org. + 40 kg N/ha min.) und 12,7% (200 kg N/ha min.).

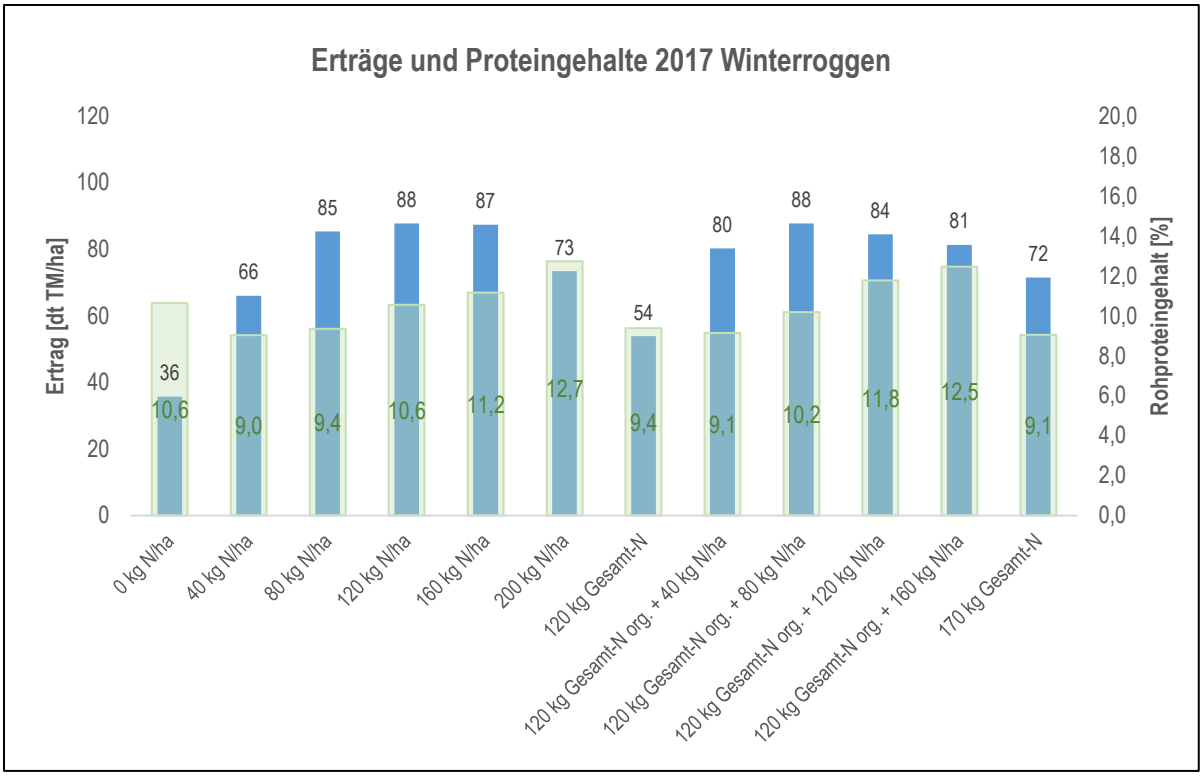

Abbildung 50: Winterroggenerträge und Proteingehalte in Abhängigkeit von der Höhe und Form der N-Düngung am Versuchsstandort in Wehnen in 2017

2.4.2.3. N-Mineraldüngeräquivalente

Das N-Mineraldüngeräquivalent (N-MDÄ) gibt die Nährstoffwirksamkeit von Wirtschaftsdüngern in Bezug zur Wirkung von Mineraldüngern an [2.3]. Das N-MDÄ ist abhängig von der Witterung, der Fruchtart, dem Standort, der Bewirtschaftungshistorie, der Düngungshöhe und der Düngerart. Die N-MDÄ wird in der Variante mit 120 kg Gesamt-N aus organischer N-Düngung (Schweinegülle) berechnet. Ziel ist es, beim Einsatz von organischen Düngern eine möglichst hohe berechenbare N-Effizienz (N-MDÄ) zu erreichen.

In 2017 liegt die errechnete Wirksamkeit der phosphorarme Mastschweinegülle bei einer Ausbringung von 120 kg Gesamt-N zu Winterroggen bei 50% [*Abbildung 51*].

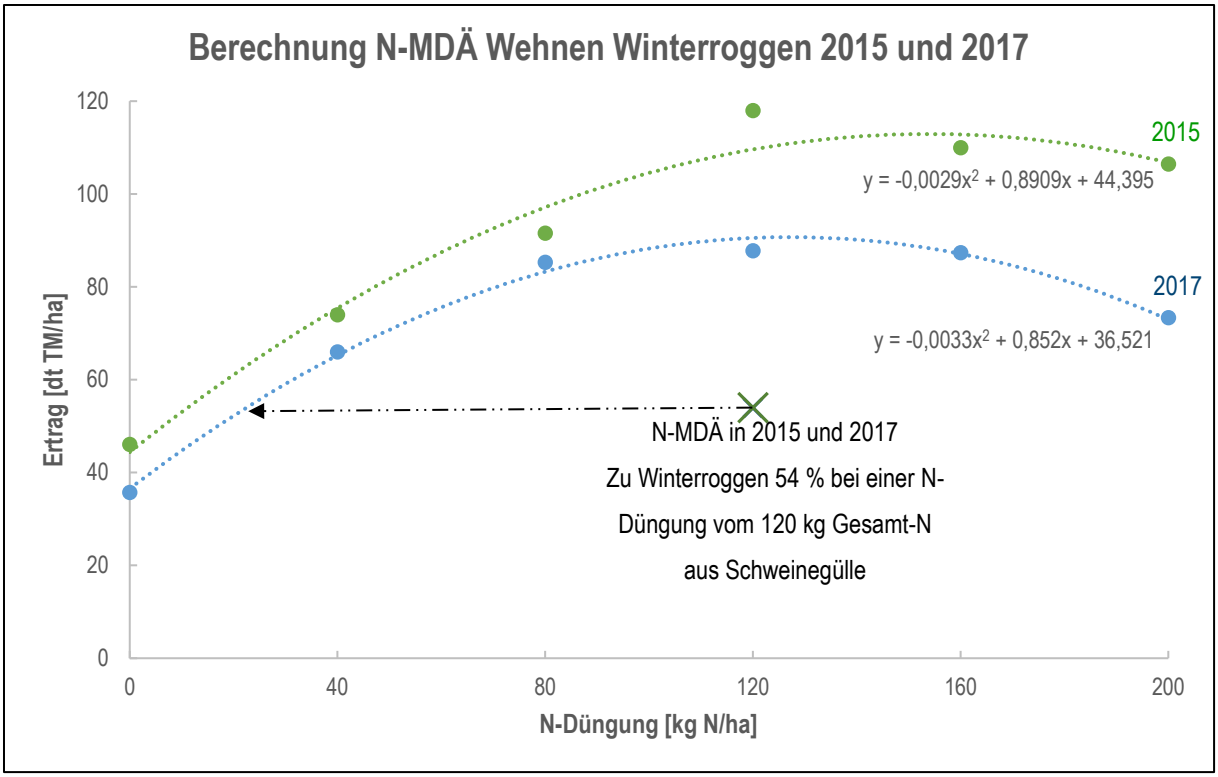

Abbildung 51: N-Mineraldüngeräquivalente von Schweinegülle bei Winterroggen bei 120 kg Gesamt-N/ha am Versuchsstandort in Wehnen, 2015 und 2017

2.4.2.4. N-Bilanz

Die N-Bilanz errechnet sich aus der N-Zufuhr der Düngung und der N-Abfuhr mit dem Erntegut. Der Bilanzierungszeitraum bezieht sich auf das Kalenderjahr 2017 (01.01.2017 – 31.12.2017). Die N-Bilanzsalden für alle N-Düngungsvarianten sind in *Abbildung 52* dargestellt und liegen in 2017 im Winterroggen zwischen -61 und 82 kg N/ha.

In der mineralischen N-Düngestaffel variieren die Salden zwischen -61 kg N/ha in der ungedüngten Variante und 50 kg N/ha in der deutlich überdüngten (N-Düngung 200 kg N/ha) Variante. In den organisch/ organisch-mineralischen Varianten steigen die N-Bilanzsalden mit zunehmender N-Düngung an. Für Winterroggen liegen die N-Bilanzsalden insgesamt in einem für Getreide typischen Verlauf, wobei bei einer optimalen N-Düngung ein annähernd ausgeglichener Saldo erreicht wird. Hierbei ist es unerheblich, ob die N-Düngung rein mineralisch oder organisch, organisch-mineralisch verabreicht wurde.

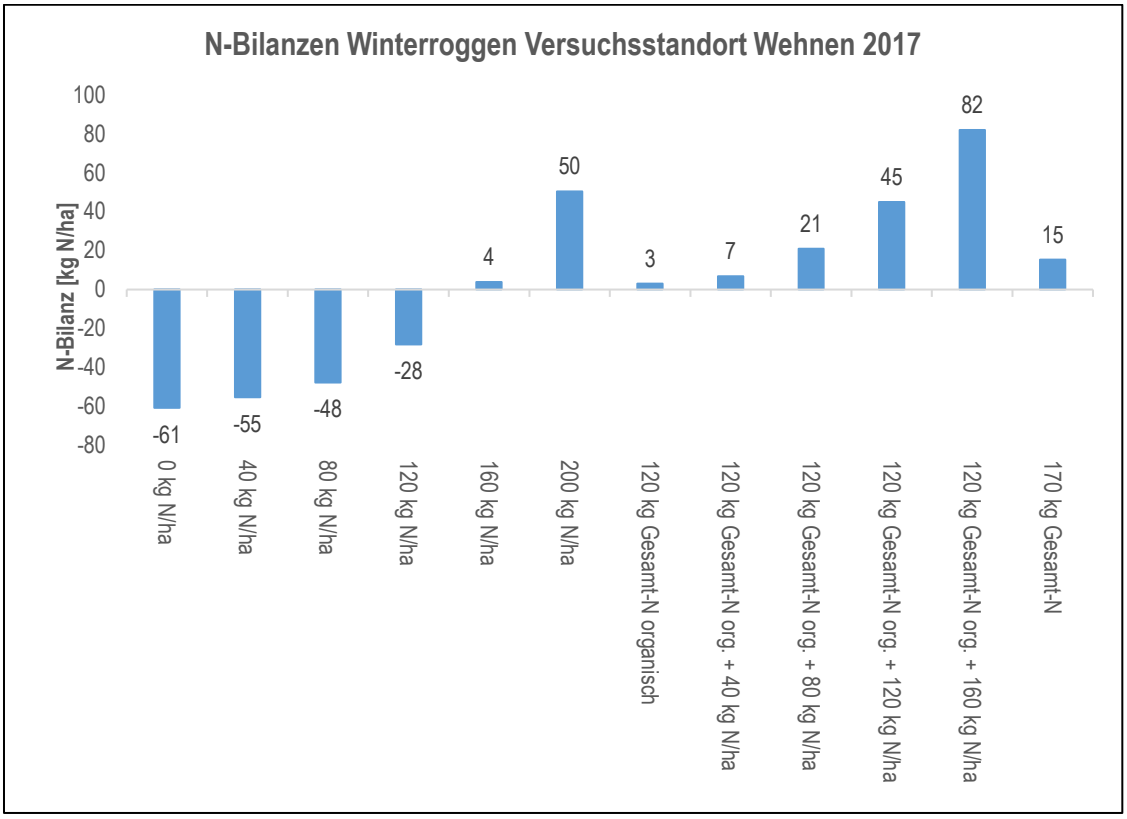

Abbildung 52: N-Bilanz vom Winterroggen bei unterschiedlichen N-Düngestrategien zur mineralischen, organischen und organisch-mineralischen Düngung am Versuchsstandort in Wehnen, 2017

2.4.3. Zusammenfassung

Welchen Einfluss hat die Höhe der organischen N-Düngung auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser?

Sowohl direkt nach der Ernte als auch zu Beginn der Sickerwasserspende (Herbst-N_{min}) lagen die N_{min}-Werte in 2017 in den Varianten auf einem niedrigen Niveau. Durch einen völligen Verzicht auf die N-Düngung konnten die N_{min}-Werte infolge mangelnder N-Entzüge nicht weiter gesenkt werden. Auch in den rein organisch gedüngten Varianten (N-Düngung 120 kg Gesamt-N und 170 kg Gesamt-N) und den kombinierten Varianten aus organisch-mineralischer Düngung konnten sowohl nach der Ernte als auch zu Beginn der Sickerwasserspende einheitlich niedrige N_{min}-Werte von 30 bis 51 kg N_{min}/ha erreicht werden. Genaue Aussagen zur tatsächlichen Sickerwasserbelastung liefern die Sickerwasseruntersuchungen des LBEG.

Wie wirkt sich eine organische Düngung im Vergleich zu einer mineralischen N-Düngung auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser und die N-Dynamik im Boden aus?

In den beiden Versuchsjahren 2015 und 2017 lag die errechnete Wirksamkeit der Schweinegülle bei einer Ausbringung von 120 kg Gesamt-N zu Winterrogen bei 50%. Anders als in den Versuchsjahren mit Silomais, in denen für das Wachstum des Silomais optimale Wachstumsbedingungen herrschten und durch die standörtlich bedingte N-Nachlieferung sehr gute Erträge aufgrund einer hohen N-Mineralisation erreicht werden konnten. Hier konnte die Schweinegülle zu 100% wirken und die gleichen Erträge wie durch eine mineralische N-Düngung erreicht werden.

Um die Wirkung der organischen Dünger gut auszunutzen, ist der Einsatz im Hackfruchtanbau vorteilhaft, denn diese können durch ihren zeitlichen N-Bedarf das N-Angebot aus organischen Düngern sehr gut ausnutzen. Für den Wasserschutz ist neben der Art der N-Düngung vor allem die Höhe der N-Düngung entscheidend.

Wie wirken sich eine langfristig reduzierte und eine überhöhte organische Düngung auf die N-Dynamik im Boden, Erträge und Qualitätsparameter aus?

Um genaue Aussagen zur langfristigen Auswirkung insbesondere der N-Nachlieferung der organischen N-Dünger treffen zu können sind weitere Versuchsjahre erforderlich.

3. Mehrjährige Feldversuche zur N-Düngung & N-Dynamik im Boden

3.1. Vergleich von N-Düngestrategien im Silomaisanbau (648)

Versuchsfragen

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

Mais kann die standörtliche bodenbürtige Stickstoffnachlieferung sehr gut nutzen. Dies lässt sich dadurch erklären, dass bei Mais der Zeitpunkt der höchsten N-Aufnahme mit dem Zeitpunkt der wesentlichen N-Freisetzung des Standortes weitgehend zusammenfällt[1]. Neben Standorteigenschaften und Bewirtschaftungsmaßnahmen beeinflusst jedoch auch der jahresspezifische Witterungsverlauf die Höhe der bodenbürtigen N-Nachlieferung. Die Höhe der jahres- und standortspezifischen N-Nachlieferung ist deshalb im Voraus nur schwer einzuschätzen.

Ergebnisse vorangegangener Feldversuche zeigen, dass eine N-Düngung oberhalb des N-Düngebedarfs zu einem extrem starken Anstieg der Herbst-N_{min}-Werte führt. Die hohen auswaschungsgefährdeten Reststickstoffgehalte nach Mais können durch eine möglichst präzise Einschätzung des N-Düngebedarfs vermieden werden. Deshalb wird seit 2013 ein Feldversuch durchgeführt, um verschiedene N-Düngestrategien hinsichtlich der Auswirkung auf die Herbst-N_{min}-Werte und ihres Nutzens für den Grundwasserschutz zu vergleichen. Die dreijährigen Ergebnisse sind auf der Internetseite der LWK Niedersachsen verfügbar. Der Versuch wurde in 2017 fortgeführt.

3.1.1. Versuchsaufbau und Durchführung

Zur Validierung der verschiedenen N-Düngestrategien und der Berechnung jahres- und standortspezifischer N-Mineraldüngeräquivalente für einen möglichst effizienten grundwasserschonenden Wirtschaftsdüngereinsatz wurde eine feste N-Düngestaffel angelegt. Die ergänzenden N_{min}-Untersuchungen wurden in 2017 an zwei lehmig sandigen Standorten in Rockstedt (LK Rotenburg) und Werlte (LK

[1] Eiler, 2002

Emsland) durchgeführt. Aufgrund der Witterung in 2017 konnte der Versuch in Rockstedt nicht beerntet und daher nicht mit in die Auswertung einbezogen werden.

In dem Versuch werden neben einer festen N-Düngestaffel sowie der N-Sollwertmethode auch eine Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme und eine Variante mit reduzierter N-Solltwertdüngung (N-Sollwert -20 %) verglichen [*Abbildung 53*].

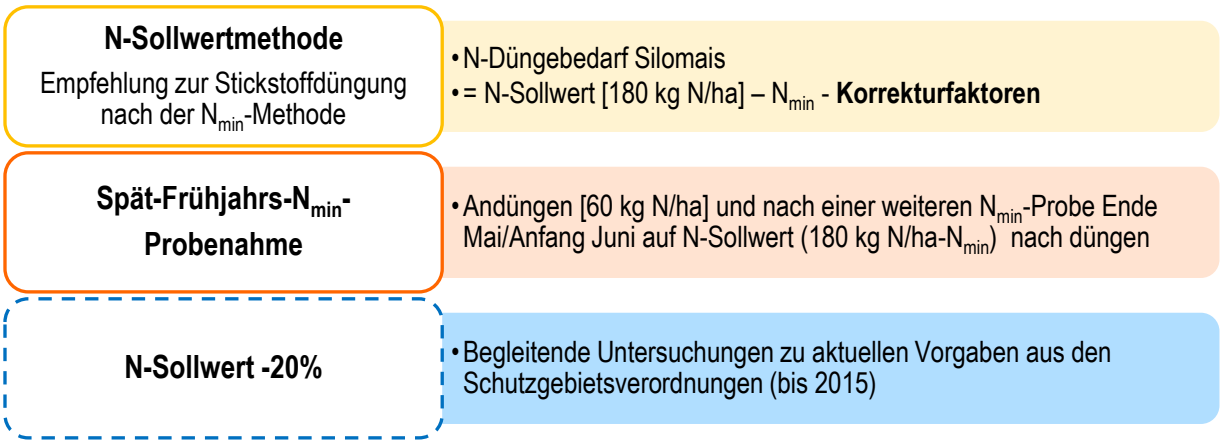

Abbildung 53: Verschiedene Strategien zur N-Düngebedarfsermittlung von Silomais im Versuch zur grundwasserschutzorientierten Silomaisdüngung

Bei der Methode Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme erfolgt zunächst eine verhaltene Startdüngung von 60 kg N/ha. Dann wird nach einer weiteren N_{min}-Untersuchung Ende Mai beziehungsweise Anfang Juni auf einen Sollwert von 180 kg N/ha nachgedüngt [*Abbildung 54*]. Bei der Weiterführung des Versuchs in 2018 wird die N-Sollwertmethode an die neuen Vorgaben der DüV angepasst werden.

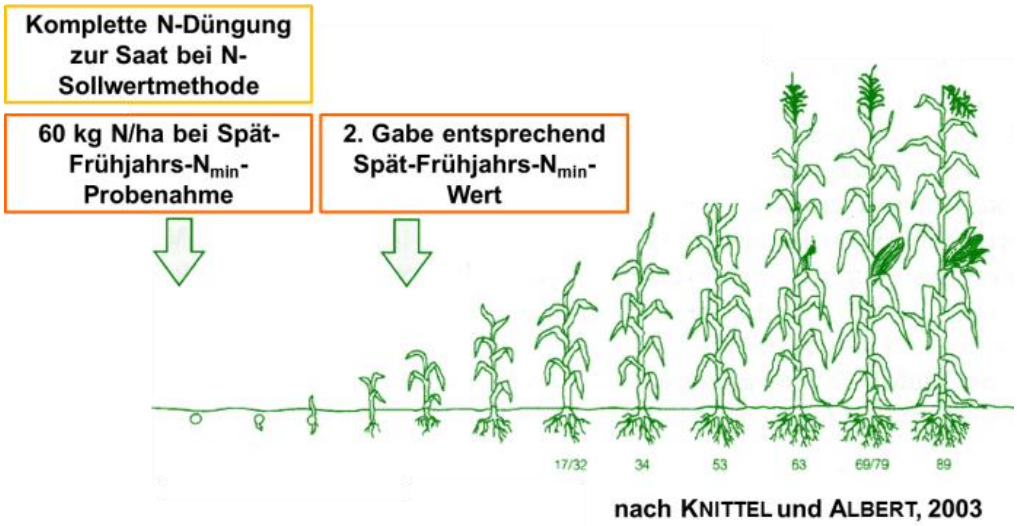

Abbildung 54: N-Düngung zu Mais nach der N-Sollwertmethode und der Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme[2]

[2] KNITTEL und ALBERT, 2003

Mit Hilfe der festen N-Düngestaffel konnten zusätzlich zu den standortspezifischen Mineraldüngeräquivalenten der jeweiligen Wirtschaftsdünger in ergänzenden Varianten auch die Auswirkungen unterschiedlicher Ausbringungszeitpunkte und Einarbeitung von organischen Düngern erfasst werden. Bei der Variante mit später N_{min}-Probenahme ist rein mineralisch gedüngt (Variante 9) [*Tabelle 12*]. In den Varianten 10 bis 11 ist mit einer Anrechenbarkeit von 80% der Gülle gerechnet worden.

Tabelle 12: Stickstoffdüngergaben zum Silomais für das Versuchsjahr 2017 am Standort Werlte

Nr.	Varianten-Bezeichnung	*N-Düngergabe [kg N/ha]*
1	0 kg N/ha	0
2	60 kg N/ha	60
3	120 kg N/ha	120
4	180 kg N/ha	180
5	240 kg N/ha	240
6	300 kg N/ha	300
7	120 kg Gesamt-N Gülle	84
8	KAS (SW 180 $N_{min.}$)	132
9	Variante späte N_{min} Probennahme	168
10	Verteilvariante 1: Gülle breit nach SW (80% anr.) vor Saat	152
11	Verteilvariante 2: Gülle breit nach SW (80% anr.), 50% v.Saat-50% Bestand	152
12	Verteilvariante 3: wie Var.11 nur Gülle in den Bestand eingearbeitet	152

3.1.2. Ergebnisse Werlte

Am Versuchsstandort in Werlte wurde in 2017 an insgesamt 3 Terminen der mineralische Stickstoffgehalt im Boden erfasst [*Abbildung 55*]. Dabei lag der Frühjahrs-N_{min}-Wert am 31.03.2017 bei 30 kg N_{min}/ha (0 – 60 cm). Die Aussaat erfolgte am 28.04.2017.

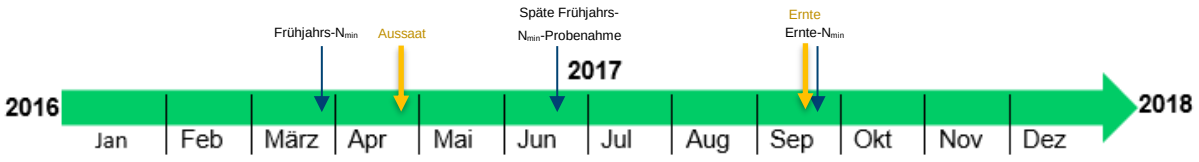

Abbildung 55: N_{min}-Probenahmetermine im Versuchsjahr 2017 am Versuchsstandort in Werlte

Für die Varianten der N-Düngestaffel fand zusätzlich eine späte N_{min}-Beprobung am 23.06.2017 statt, um die Stickstoffdynamik im Boden zur Vegetationszeit zu erfassen. In 2017 liegen diese zwischen 34 (120 kg Gesamt-N) und 133 kg N_{min}/ha (180 kg N/ha) [*Abbildung 56*]. Auffällig dabei ist, dass sich zum Zeitpunkt der Probenahme bereits Stickstoff in tiefere Bodenschichten (30 – 60 cm) verlagert hat.
Für die Variante 9„späte N_{min}-Probe“ wurde am 13.06.2017 ein N_{min}-Wert von 72 kg N_{min}/ha ermittelt, der bei der Bemessung der zweiten N-Gabe berücksichtigt wurde.

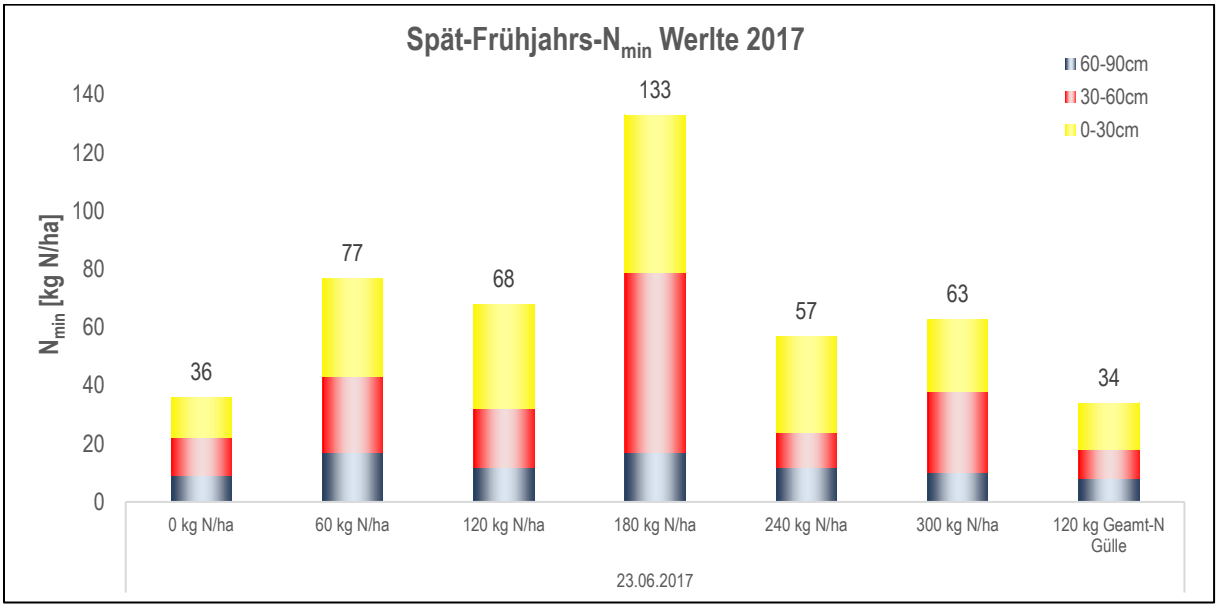

Abbildung 56: Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme am 23.06.2017 in Werlte

Die Ernte erfolgte am 16.09.2017. Die Bemessung des Ernte-N_{min}-Gehaltes wurde am 20.09.2017 durchgeführt. Nach der Ernte stieg der N_{min}-Wert mit steigender N-Düngung an. Bis zu einer N-Düngung bis zu 180 kg N/ha lag der N_{min}-Wert bis 25 kg N_{min}/ha auf einem niedrigen Niveau. Dabei unterschieden sich die Variante 120 kg N/ha mineralisch und 120 kg Gesamt-N aus Schweinegülle nicht. Ab einer Düngungshöhe von 240 kg N/ha lag der N_{min}-Wert bei 70 bzw. 82 kg N_{min}/ha (mineralische N-Düngung mit 300 kg N/ha). Auffallend war, dass die Methode „N-Düngung anhand der späten N_{min}-Probenahme“

bei einer N-Düngung von 90 kg N/ha mit 57 kg N_{min}/ha nach der Ernte über den vergleichbaren Varianten lag. Hier wurde evtl. die N-Nachlieferung des Standortes unterschätzt [*Abbildung 57*].

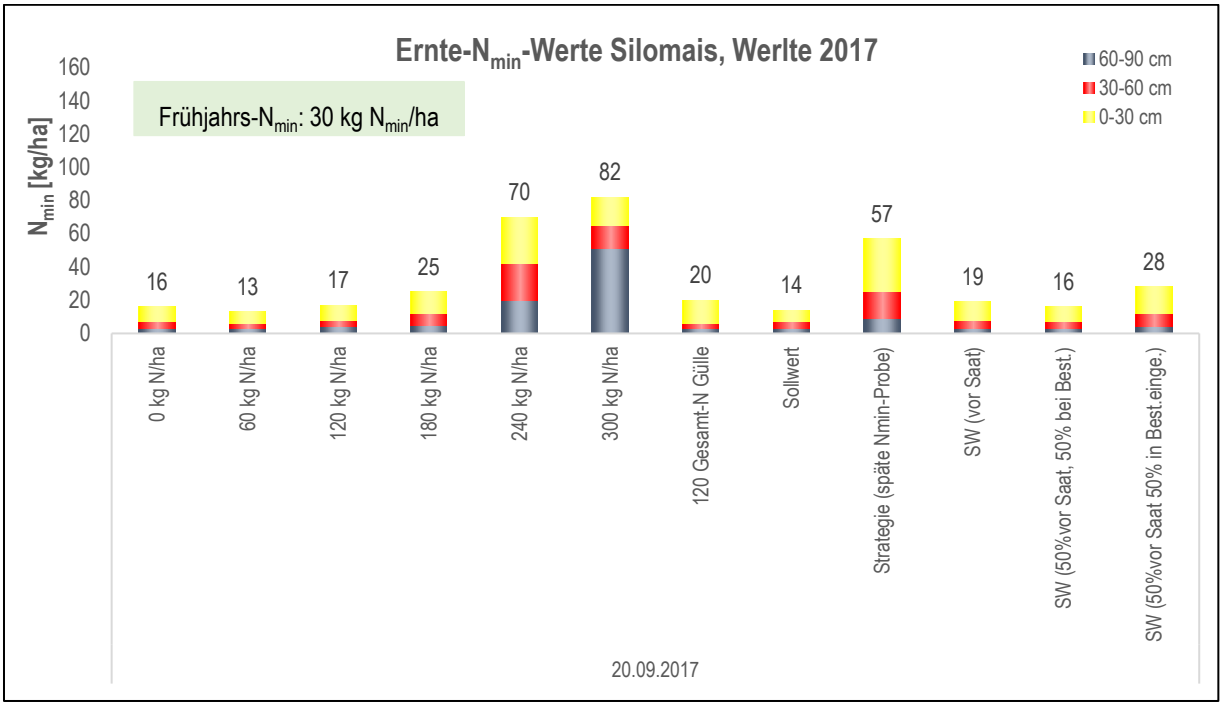

Abbildung 57: Ernte-N_{min}-Werte unterschiedlicher N-Düngestrategien im Mais in Werlte 2017

Eine Herbst-N_{min}-Beprobung fand am 01.11.2017 statt. Die N_{min}-Werte liegen zwischen 41 (N-Düngung nach N-Sollwert) und 88 kg N_{min}/ha (N-Düngung 240 kg N/ha). Auffallend ist, dass es in den niedrig gedüngten Variante zu einer Nachmineralisation vom Zeitraum nach der Ernte bis zum Probenahme-Termin im Herbst kam [*Abbildung 59*].

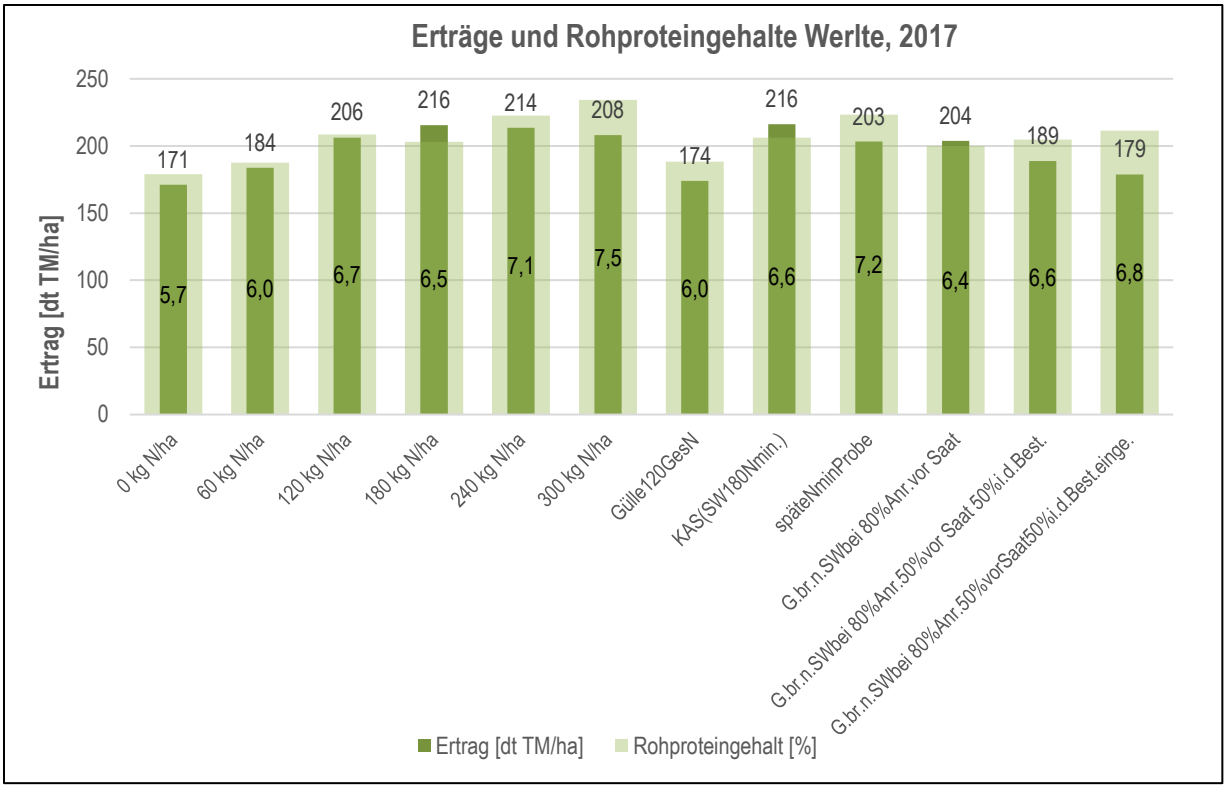

Abbildung 58: Erträge und Rohproteingehalte von Silomais bei unterschiedlicher N-Düngung am Versuchsstandort in Werlte, 2017

Die Erträge am Versuchsstandort in Werlte im Versuchsjahr 2017 liegen zwischen 171 dt TM/ha in der ungedüngten Variante und 216 dt TM/ha in der mit 180 kg N/ha gedüngten Variante und sind damit auf einem insgesamt niedrigeren Niveau als in Versuchsjahr 2016. Im Laufe der Vegetationszeit traten keine stark ertragsmindernden Mängel auf. Aufgrund der regelmäßigen Sommerniederschläge kam es zum zügigen Ausreifen der Pflanzen. Die starken Spätsommerstürme sorgten für Lagerbildung im Versuch, sodass die Ernte frühzeitig und unter schweren Bedingungen am 19.09.17 erfolgte. Verbleibende Ernterückstände durch das Lager konnten bei der Ertragsermittlung nicht berücksichtigt werden, was z.T. die im Vergleich zum Vorjahr niedrigeren Erträge erklärt. Die Erträge nehmen insgesamt in der N-Düngestaffel mit zunehmender N-Düngung zu, ab einer N-Düngung ab 120 kg N/ha gibt es allerdings keine wesentlichen Ertragsunterschiede mehr. Die mit 120 kg Gesamt-N aus Gülle gedüngten Varianten erzielte lediglich einen Ertrag von 174 dt TM/ha. Die Rohproteingehalte nehmen mit zunehmender N-Düngung zu und liegen zwischen 5,7 und 7,5 % [*Abbildung 58*].

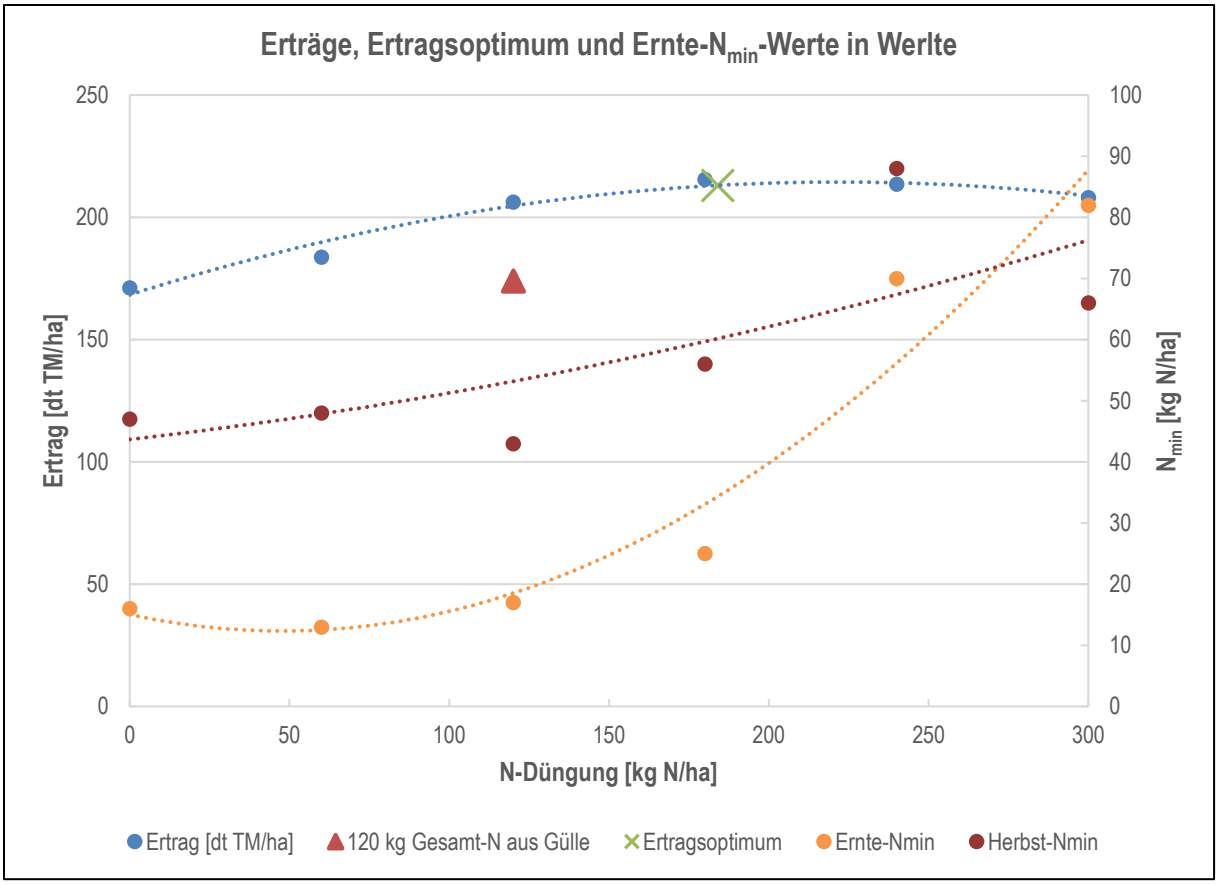

Abbildung 59: Erträge, Ertragsoptimum und Ernte- und Herbst-N_{min}-Werte der N-Düngestaffel in Werlte, 2017

Die Ernte- und Herbst-N_{min}-Werte nehmen mit zunehmender N-Düngung in der N-Düngestaffel zu [*Abbildung 59*]. Deutlich wird dabei der extreme Anstieg der N_{min}-Werte nach der Ernte bei einer N-Düngung größer als 180 kg N/ha. Das errechnete Ertragsoptimum liegt bei 213 dt TM/ha bei einer N-Düngung von 184 kg N/ha und einem angenommenen Ernte-N_{min}-Wert von 25 kg N_{min}/ha. Aufgrund des sehr flachen Kurvenverlaufs der Erträge (nur geringe Ertragsunterschiede) liegt das errechnete Ertragsoptimum entsprechend hoch, was bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden muss.

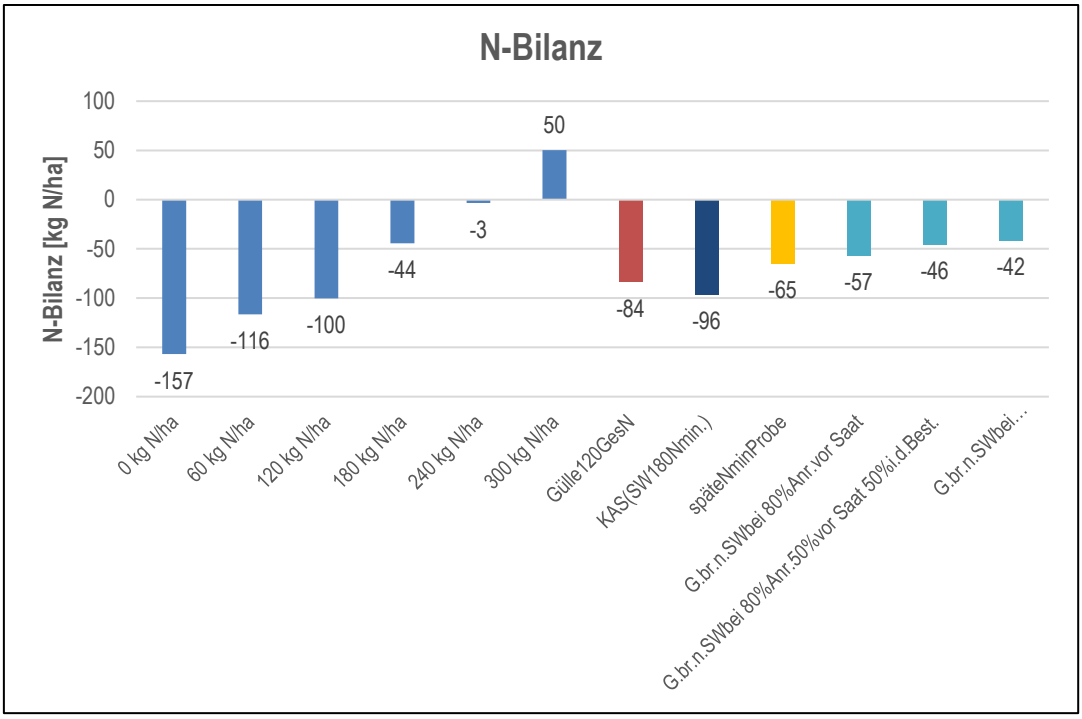

Abbildung 60: N-Bilanz (N-Zufuhr abzüglich der N-Abfuhr) bei unterschiedlicher N-Düngung zu Silomais am Versuchsstandort in Werlte, 2017*
** keine Berücksichtigung der Ausbringungsverluste*

Die N-Bilanz errechnet sich aus der N-Zufuhr (der N-Düngung) und der N-Abfuhr (Ertrag und N-Gehalt des Ernteguts). Wie bereits in den Vorjahren liegen die N-Salden von Silomais in fast jeder N-Düngungsvariante im z.T. deutlich negativen Bereich. In der mit 300 kg N/ha gedüngten Variante lag die N-Bilanz bei 50 kg N/ha. Die N-Salden der 120 kg N/ha gedüngten Variante und der Variante mit 120 kg Gesamt-N aus Schweinegülle unterschieden sich dabei nur unwesentlich voneinander. Die nach Sollwert gedüngte Variante aus KAS hat ein N-Saldo von -96 kg N/ha. Die Variante zur späten N_{min}-Probenahme hat mit – 65 kg N/ha ein für Silomais typisches negatives Bilanzsaldo, bei einem für die Witterung entsprechend gutem Ertrag [*Abbildung 58*]. Bei den N-Salden der Varianten mit unterschiedlichen Düngungsterminen gibt es keinen signifikanten Unterschied, dabei liegen alle N-Bilanzen in einem Bereich zwischen -57 und -42 kg N/ha [*Abbildung 60*].

3.1.3. Zusammenfassung

Können auswaschungsgefährdete Reststickstoffgehalte nach Silomais durch eine möglichst präzise Einschätzung des N-Düngebedarfs gesenkt werden?

Eine möglichst genaue Einschätzung des N-Düngebedarfs wird über die späte N_{min}-Probenahme untersucht. Im Jahr 2017 war diese Methode in Werlte aufgrund der hohen Abhängigkeit der N_{min}-Werte vom Zeitpunkt des Probenahmetermins bedingt durch unterschiedliche Mineralisation eine nicht geeignete Methode zur N-Düngungsbemessung. Zusätzlich erschwerte die Witterung die Abschätzung des Zeitpunkts der N-Aufnahme der Pflanze. Das wird vor allem in den Unterschieden der Ernte- und Herbst-N_{min}-Wert zwischen den Varianten deutlich. Die Variante „späte N_{min}-Probenahme" fällt mit 57 kg N_{min}/ha deutlich schlechter aus, als die Varianten nach Sollwertdüngung mit 14 kg N_{min}/ha.
Die N_{min}-Werte in Werlte liegen nach der Ernte in den moderat gedüngten Varianten auf einem insgesamt relativ niedrigen Niveau zwischen 13 und 25 kg N_{min}/ha. Lediglich die mit 240 und 300 kg N/ha überdüngten Varianten und die Variante zur späten N_{min}-Probenahme liegen mit 57 (Variante späte N_{min}-Probenahme), 70 (N-Düngung 240 kg N/ha) und 82 kg N_{min}/ha (N-Düngung 300 kg N/ha) deutlich höher. Die N-Sollwert-Düngeempfehlung bestätigt sich im Versuchsjahr 2017 in Werlte ebenso wie im Vorjahr 2016.

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?

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 Anfang Juni auf einen Sollwert von 180 kg N/ha nachgedüngt. In Werlte wurde im Spät-Frühjahr ein N_{min}-Wert von 72 kg N_{min}/ha gemessen. Der Ernte-N_{min}-Werte in Werlte (57 kg N_{min}/ha) ist im Vergleich zu den ähnlich hoch gedüngten Varianten der N-Düngestaffel z.T. deutlich höher. Der Herbst-N_{min}-Gehalt stieg am Standort in Werlte nicht weiter an. Mit der Festlegung des Probenahme-Termins im Spät-Frühjahr muss immer gleichzeitig der Zeitpunkt der Mineralisation standortspezifisch erfasst werden. Dies war im Versuchsjahr aufgrund der sehr nassen Witterung nur bedingt möglich. Im Versuchsjahr 2017 konnte mit der Methode der späten die N_{min}-Probenahme gute Erträge erzielt werden, allerdings mit im Vergleich zur N-Düngestaffel höheren Reststickstoffgehalten nach der Ernte und im Herbst. Für eine genauere Abschätzung der Eignung der späten N_{min}-Probenahme bleiben weitere Versuchsjahre abzuwarten, in denen, so wie in 2016 ein Vergleich weiterer Standorte erfolgen kann.

Wie wirkt sich die Höhe der N-Düngung an verschiedenen Standorten auf die Erträge und die N-Dynamik im Boden aus?

Die Erträge nehmen in 2017 mit zunehmender Düngung in der N-Staffel zu. Ab einer Düngung von 180 kg N/ha zu Silomais stagnieren die Erträge auf ähnlichem Niveau und nehmen bei der deutlichen

Überdüngung von 300 kg N/ha sogar wieder ab. In der ungedüngten Variante liegt der Ertrag um fast 50 dt TM/ha geringer als in den nach N-Sollwert gedüngten Varianten. Am Standort in Werlte bestätigt sich die Annahme, dass bei N-Düngung über dem N-Sollwert die N_{min}-Werte überproportional zunehmen bei nur sehr geringem Ertragszuwachs.

Unter Silomais lagen die N-Bilanzen in allen Varianten bis zu einer N-Düngung von 180 kg N/ha zwischen -157 (keine Düngung) und -42 kg N/ha (N-Düngung 300 kg N/ha) und weisen damit eine sehr große Schwankungsbreite in Abhängigkeit von der N-Düngung auf. Dabei gibt es einen Zusammenhang zwischen dem Saldoüberschuss und den Rest-N_{min}-Gehalten, denn die N-Salden liegen auch in den überdüngten Varianten im negativen bzw. ausgeglichenen Bereich. Lediglich in der mit 300 kg N/ha gedüngten Variante lag das N-Saldo bei 50 kg N/ha.

Welche Vor- und Nachteile der untersuchten Strategien in der grundwasserschutzorientierten Düngeberatung gibt es?

Vorteile (+)	Nachteile (-)
Späte N_{min}-Probenahme: • Die Möglichkeit der Abschätzung der standortspezifischen N-Nachlieferung. Mais kann aufgrund der guten zeitlichen Übereinstimmung von N-Mineralisation im Boden und N-Bedarf der Pflanze die standörtliche N-Nachlieferung des Standortes sehr gut nutzen, sodass eine Überdüngung so vermieden werden kann **N-Sollwertdüngung:** • Für den N-Sollwert kann durch eine einfache Berechnung der benötigten Düngeraufwand abgeleitet werden **Grundsätzlich:** • Die N-Düngestrategie sollte durch die Düngeberatung an die betriebs- und standortspezifischen Anforderungen angepasst werden Vegetationsbegleitende Untersuchungen wie z.B. die Methode des Nitratchecks oder die späte N_{min}-Probenahme können helfen, die Versorgung der Pflanzen einzuschätzen, um zu beurteilen, ob ein weiterer N-Düngebedarf besteht.	**Späte N_{min}-Probenahme:** • Es besteht die Schwierigkeit den optimalen Zeitpunkt für die späte N_{min}-Beprobung im Frühjahr abzuschätzen • Durch zusätzliche Analysen, wie z.B. der späten N_{min}-Probenahme oder dem Nitratcheck entsteht ein zusätzlicher Aufwand • Bei Wirtschaftsdüngergaben zu mehreren Ausbringungszeitpunkten ist der Aufwand bezogen auf die Arbeitsgänge groß • Die Ergebnisse aus den zusätzlichen Analysen müssen immer im Zusammenhang mit den Standorteigenschaften, dem Witterungsverlauf und der vorangegangenen Bewirtschaftung beurteilt werden • Der Witterungsverlauf ist nur schwer vorherzusagen. Eine Vorhersage zu den Mineralisierungsbedingungen ist schwierig möglich.

3.2. N-Düngung im Maisanbau auf humusreichen Standorten (916)

Versuchsfragen

- Wie hoch ist die **Stickstoff-Nachlieferung auf humusreichen Standorten** bei Mais?
- Kann ein **Abschlag in der Höhe der N-Düngung über den N_t-Gehalt** des Bodens bestimmt werden?
- Wie verändern sich die **N_{min}-Gehalte im Jahresverlauf unter Silomais auf humusreichen Standorten**?

Standorte mit bodenbürtig hoher N-Nachlieferung haben eine ausgeprägte N-Dynamik. Häufig entstehen solche Standorte nach Grünlandumbruch oder nach Grundwasserabsenkung auf Anmooren und Niedermooren. Diese Standorte werden dann als Quellenstandorte bezeichnet, dessen Bodeneffekte einen hohen Einfluss auf den N_{min}-Wert haben[1]. Um den Ziel des Wasserschutzes der Reduktion des N_{min}-Wertes nach der Ernte bzw. im Herbst gerecht werden zu können, bedarf es bei der N-Düngung möglichst genauer N-Düngungs-Abschläge, um gleichzeitig Ertragseinbußen zu vermeiden. Nach mindestens drei Versuchsjahren erfolgt die zusammenfassende Auswertung.

3.2.1. Versuchsaufbau und Durchführung

Für die weitere Untersuchung der N-Dynamik auf humusreichen Standorten wird seit 2015 auf zwei Versuchsstandorten in Ihlow (LK Aurich) und Wettmar (LK Hannover) ein Versuch angelegt, um die N-Nachlieferung entsprechender Standorte unter Silomais genauer untersuchen zu können. Aufgrund der sehr nassen Witterung konnte der Versuch am Standort in Wettmar in 2017 nicht ausgewertet werden. Nach Vollendung von drei vollen Versuchsjahren ist für 2018 ist ein Kurzbericht geplant, der auf der Internetseite der Landwirtschaftskammer veröffentlicht werden soll.

Der Versuchsstandort Ihlow liegt im nordwestlichen Teil Niedersachsens. Der Humusgehalt des Standortes beträgt 23,6 %, bei einem N_t-Gehalt von 0,69 %. Aus dem C_{org} von 13,7 % ergibt sich so ein relativ weites C- zu N-Verhältnis von 20 [*Tabelle 13*].

Tabelle 13: Bodenanalysen am Versuchsstandort Ihlow 05.04.2017, Vers.-Nr.: 916

Ort	N_{min} [kg N/ha]	Bodenart	pH	Humus [%]	N_t [%]	C/N	C_{org} [%]
	0 – 90 cm			0 – 30 cm			
Ihlow	84	a S	5,5	23,6	0,69	20	13,7

Insgesamt gibt es an jedem Standort neun N-Düngungsvarianten. Mit der N-Düngestaffel werden neben der ungedüngten Parzelle verschiedene N-Düngungsstufen [*Tabelle 14*] und eine deutlich überdüngte

[1] NLWKN, 2010

Variante zur statistischen Verrechnung, getestet. Neben diesen N-Stufen wird eine Variante getestet, deren Empfehlung aus einem Modell- und Pilotprojekt „L5“ entwickelt wurde[2]. Dabei wird je nach Höhe des N_t-Gehaltes des Bodens ein schlagspezifischer Abschlag in der Höhe der N-Zufuhr vorgenommen, ohne dass es zu Ertragseinbußen kommen soll. Weiterhin wird eine regionalspezifische Variante „Fuhrberger Feld“ nach der Methode von Springob untersucht[3]. Alle N-Düngungsgaben erfolgen in mineralischer Form am 12.05.2017 bzw. in den Varianten 5 und 6 eine zweite Gabe am 08.06.2017.

Tabelle 14: Untersuchte N-Düngungsvarianten in Ihlow 2017

Variante		Ihlow [kg N/ha]
Mineralische N-Düngestaffel	1.	0
	2.	40
	3.	80
	4.	120
	5.	180
	6.	240
N-Bedarfswert	7.	115
Abschlag L5	8.	55
Abschlag regionalspezifisch	9.	16

3.2.2. Ergebnisse Ihlow

3.2.2.1. N_{min}-Werte

Im Versuchsjahr 2017 wurde in Ihlow unter guten Bedingungen am 08.05.2017 Silomais gesät. Am Versuchsstandort in Ihlow (13,74% Corg) lag der Frühjahrs-N_{min}-Wert mit 84 kg N_{min}/ha (0-90 cm) auf hohem Niveau.

Um den Zeitpunkt der höchsten N-Mineralisation zu erfassen, wird in einigen Varianten zusätzlich zu den N_{min}-Probenahmeterminen im Frühjahr und nach der Ernte ein später Frühjahrs-N_{min}-Wert ermittelt.

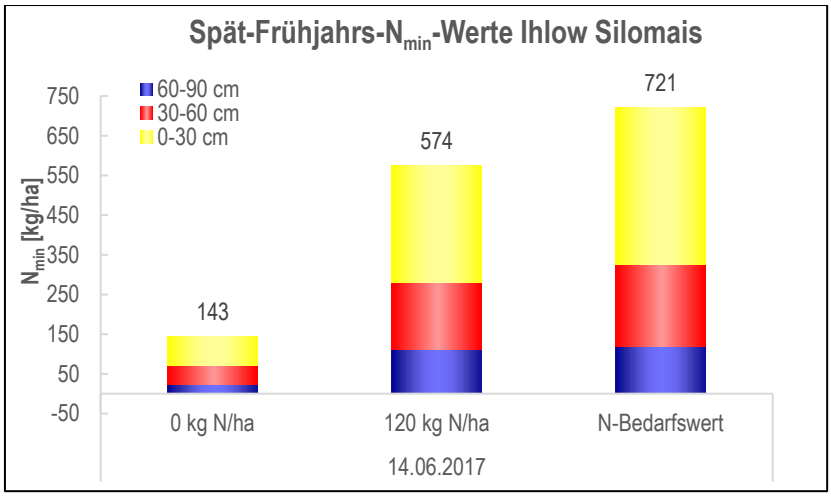

Abbildung 61: Spät-Frühjahrs-N_{min}-Werte bei Silomais in Ihlow 14.06.2017

[2] *Höper et al.,2014*
[3] *Springob et al., 2013*

Nach der Aussaat Anfang Mai stiegen die Temperaturen an. Zu diesem Zeitpunkt, wenn die Böden nass und warm werden, liefern humusreiche Standorte, wie Ihlow viel Stickstoff nach, der dann der Kultur zur Verfügung steht. Entsprechend stiegen auch die N_{min}-Werte in der ungedüngten Variante auf 143 kg N_{min}/ha deutlich an. In den gedüngten Varianten wurden sehr hohe Spät-Frühjahrs-N_{min}-Werte gemessen, die sich aber nicht im Ernte-N_{min}-Wert bestätigten [*Abbildung 61*].

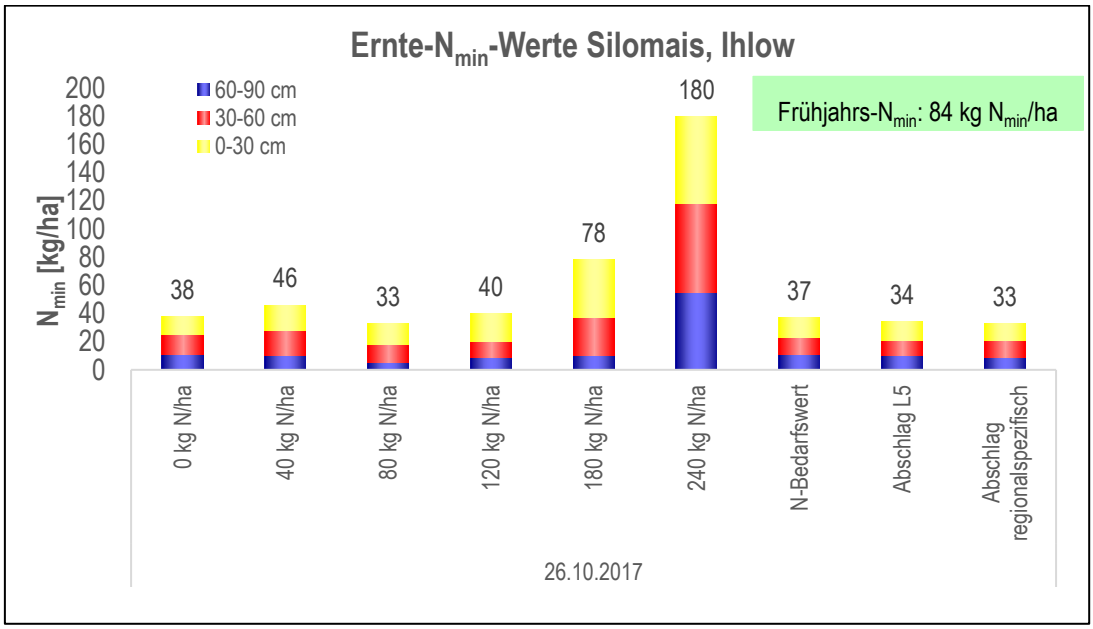

Abbildung 62: Ernte-N_{min}-Werte vom 26.10.2017 am Versuchsstandort Ihlow

Die N_{min}-Werte nach der Ernte (26.10.2017) variieren in der N-Düngestaffel bis 120 kg N/ha und den regionalspezifischen Beratervarianten zwischen 33 und 46 kg N/ha und waren damit auf relativ niedrigem Niveau. Ab einer N-Düngungshöhe von 180 kg N/ha (exkl. N_{min}) steigt der N_{min}-Gehalt von 78 auf 180 kg N_{min}/ha bei einer deutlich überhöhten N-Düngung (240 kg N/ha) an [*Abbildung 62*]. Obwohl schon aufgrund der Niederschläge eine Verlagerung des Nitrats vor dem Erntetermin aufgetreten ist, bilden die N_{min}-Werte auch die ansteigende N-Düngung ab. Die Ergebnisse der N_{min}-Untersuchungen direkt nach der Maisernte 2017 im Versuch zur Anpassung der Maisdüngung auf humusreichen Standorten bestätigen, dass auf diesen Standorten eine überhöhte N-Düngung einen Anstieg der Ernte-N_{min}-Werte zur Folge hat. Aufgrund der anhaltender Niederschläge konnte der Silomaisversuch erst Ende Oktober beerntet werden. Somit erübrigte sich auch der späte N_{min}-Probenahme-Termin im Herbst. Der Versuch soll auch in 2018 weitergeführt werden.

3.2.2.2. Erträge

Die Erträge am Versuchsstandort in Ihlow in einem Versuchsjahr mit optimalen Wachstumsbedingungen liegen zwischen 124 dt TM/ha in der ungedüngten Variante und 216 dt TM/ha in der mit 240 kg N/ha gedüngten Variante.

Durch die warmen Temperaturen und ausreichenden Niederschlägen im Juni und Juli wuchs ein guter Bestand heran, sodass insgesamt nur geringe Unterschiede in den Varianten erkennbar waren. Die Witterung im September war kühl und feucht, wodurch die Abreife verzögert wurde. Aufgrund der vielen Niederschläge im Herbst konnte die Ernte erst am 16.10.2017 durchgeführt werden.

Die Erträge in der N-Düngestaffel nehmen mit zunehmender N-Düngung zu, bei einem insgesamt relativ flachen Verlauf der Ertragskurve. Die nach N-Bedarfswert gedüngte Variante erzielte einen Ertrag von 189 dt TM/ha. Bei dem Abschlagsverfahren nach L5 liegt der Ertrag bei 165 dt TM/ha, in der regionalspezifischen Variante ist der Ertrag ggü. der N-Bedarfswert-Variante mit 141 dt TM/ha deutlich geringer. Die Rohproteingehalte (Sorte Tokala) nehmen auch mit zunehmender N-Düngung zu und liegen zwischen 5,2 und 7,5 % [*Abbildung 63*].

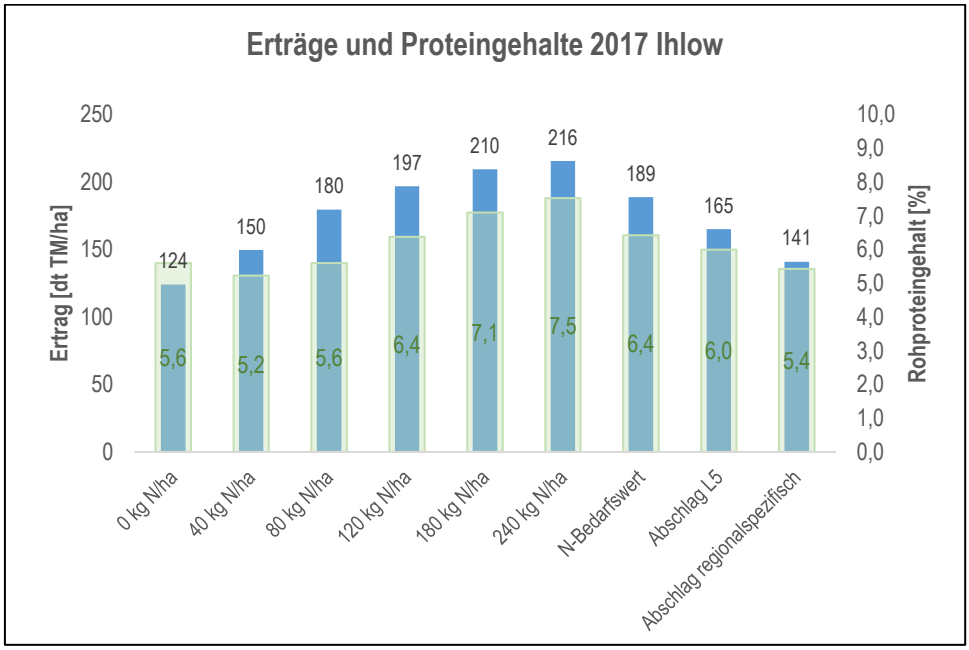

Abbildung 63: Erträge und Rohproteingehalte vom Silomais bei unterschiedlicher N-Düngung am Versuchsstandort in Ihlow 2017

Die Ermittlung des Ertragsoptimums konnte aufgrund des Kurvenverlaufs der N-Düngestaffel am Versuchsstandort Ihlow in 2017 nicht berechnet werden, da es zu einer Ertragssteigerung bis zur höchsten N-Düngungsstufe von 240 kg N/ha kommt. Im Versuchsjahr 2018 werden daher die N-Düngungsstufen der Varianten um eine Düngungsstufe von 300 kg N/ha erweitert, bei der es vermutlich zur Ertragsminderung kommt.

3.2.3. Ergebnisse Wettmar

Am Versuchsstandort Wettmar konnte aufgrund der Witterungen im Versuchsjahr 2017 keine Beerntung und keine N_{min}-Beprobung stattfinden [*Abbildung 64*].

Abbildung 64: Nässeschäden in Wettmar 2017

3.2.4. Zusammenfassung

Wie hoch ist die Stickstoff-Nachlieferung auf humusreichen Standorten bei Mais?

Wie verändern sich die N_{min}-Gehalte im Jahresverlauf unter Silomais auf humusreichen Standorten?

Um die Stickstoff-Nachlieferung von humusreichen Standorten im Silomaisanbau erfassen zu können, wurde an zwei Versuchsstandorten in Ihlow (LK Aurich, 24 % Humus) und Wettmar (LK Celle, 12 % Humus) ein Versuch mit einer mineralischen N-Düngestaffel und mit Varianten zu regionalspezifischen N-Düngeabschlägen anhand des Nt-Gehaltes, angelegt. Der Versuch am Standort in Wettmar fiel in 2017 aufgrund der Witterung aus.

Der Frühjahrs-N_{min}-Wert lag mit 84 kg N_{min}/ha (Ihlow) zwar etwas höher als im Vorjahr, allerdings auf einem für diesen Bodenklimaraum typischen Niveau. In der Regel liefern humusreiche Standorte viel Stickstoff nach, sobald der Boden feucht und warm wird. Sobald dieser Zeitpunkt erreicht ist, ist die N-Nachlieferung im Vergleich zu anderen Standorten höher, was bei der Planung der N-Düngungshöhe, gerade in Gebieten mit Bedeutung für den Wasserschutz, in Form von Abschlägen berücksichtigt werden sollte. Um diesen Nachlieferungs-Zeitpunkt genauer erfassen zu können, wurde in Ihlow zusätzlich ein später N_{min}-Wert ermittelt, der in der ungedüngten Parzelle bei 143 kg N_{min}/ha am 14.06.2017 lag und damit das N-Mineralisationspotential dieser Standorte belegt. Die Rest-N_{min}-Gehalte nach der Ernte steigen auf den nachliefernden Standorten bei einer N-Düngung über den N-Bedarfswert hinaus für Silomais typisch exponentiell stark an bei annähernd gleichen Erträgen.

Es wird deutlich, dass bei der Bemessung der Höhe des N-Düngeabschlages ohne Ertragseinbußen neben dem Nt-Gehalt die Witterung im Frühjahr entscheidend ist. Um hohe Rest-N_{min}-Gehalte nach der Ernte zu vermeiden, kann zusätzlich die späte N_{min}-Beprobung im Sommer als Hilfestellung bei der Bemessung der erforderlichen N-Düngung dienen. Dabei ist die Betrachtung des Verlaufs der Witterung entscheidend, um auf humusreichen Standorten maximale N-Düngeabschläge machen zu können.

Kann ein Abschlag in der Höhe der N-Düngung über den Nt-Gehalt des Bodens bestimmt werden?

Im Versuchs wird in den Varianten Abschlag L5 und dem regionalenspezifischen Verfahren angenommen, dass die bodenbürtige N-Nachlieferung auf humusreichen Standorten im Wesentlichen durch Nt-Gehalt bestimmt wird. Dabei soll der Nt-Gehalt als Maß für die Höhe von N-Düngeabschlägen im Maisanbau genutzt werden. Entsprechende N-Düngeabschläge wurden auf Grundlage der Nt-Gehalte nach den Verfahren L5 und der regionalspezifischen Variante abgeleitet. Mit einem N-Düngeabschlag von 60 kg N/ha (Verfahren L5) wurden geringere Silomais-Erträge im Vergleich zur N-Bedarfswert-Variante erzielt. Die Rest-N_{min}-Gehalte beider Varianten unterschieden sich dabei nur unwesentlich. Höhere N-Düngeabschlage von mehr als 60 kg N/ha (regionalspezifische Variante) führten in 2017 auf beiden Standorten zu signifikanten Mindererträgen, bei nahezu gleichen Rest-N_{min}-Werten. Zur Validierung der jeweiligen Abschlagsverfahren sind weitere Versuche erforderlich.

3.3. Regionalspezifische Strategien zur grundwasserschutzorientierten N-Düngung im Winterweizen (612)

Versuchsfragen

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

In einem vom Fachbereich „Pflanzenbau, Saatgut“ durchgeführten Versuch zur N-Düngung von Winterweizen wurden 2015 an verschiedenen Standorten Varianten angelegt um unterschiedliche, regionalspezifische Strategien zur grundwasserschutzorientierten N-Düngung zu untersuchen.
Die N-Düngeempfehlungen der LWK (N-Sollwert und Korrekturfaktoren) sind auf der Internetseite der LWK verfügbar. Die empfohlene Aufteilung der N-Düngung zu Winterweizen wird in drei Gaben unterteilt, die erste zu Vegetationsbeginn, die zweite zum Schossen und eine dritte zum Ährenschieben [*Abbildung 65*].

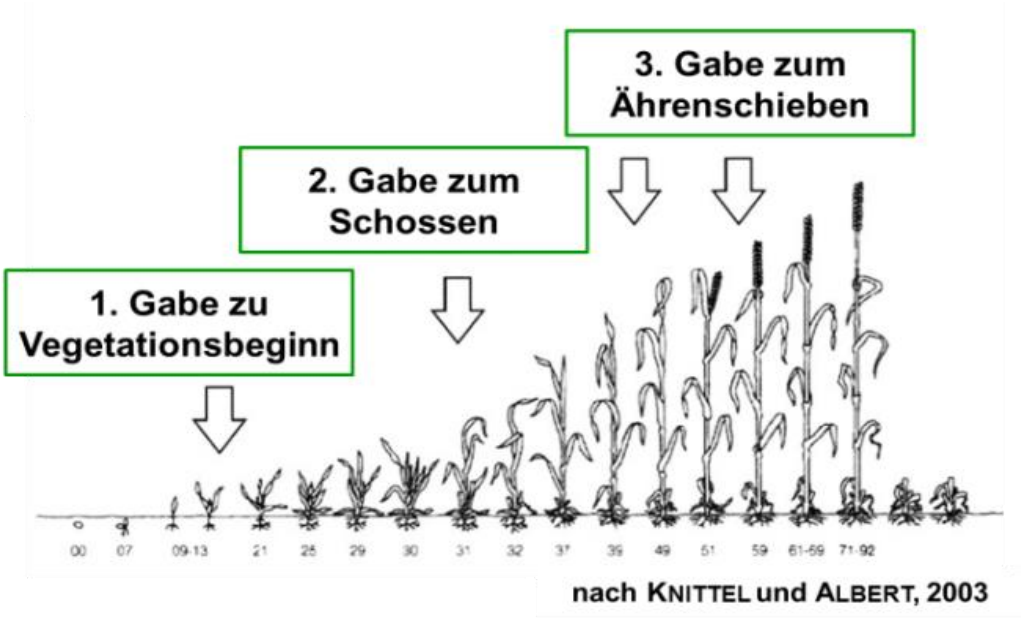

Abbildung 65: Aufteilung der N-Düngung zu Winterweizen[1]

Die regionalspezifischen Maßnahmen zur grundwasserschutzorientierten Gestaltung der N-Düngung werden abhängig von den Standortbedingungen und –eigenschaften durchgeführt. Neben einer festen N-Düngestaffel werden zusätzliche Varianten angelegt, u.a. eine regionalspezifische Wasserschutzvariante []. Dabei werden für jeden Versuchsstandort entsprechend der Standorteigenschaften Annahmen getroffen, wodurch eine standortspezifische Reduzierung der N-Düngung vorgenommen werden kann. In einigen Wasserschutzvarianten (WSG) wurde beispielsweise auf die dritte N-Düngergabe zum Ährenschieben (Spätgabe) verzichtet, oder die Spätgabe wurde reduziert, beziehungsweise vorgezogen.

[1] KNITTEL und ALBERT, 2003

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

Tabelle 15: Versuch zu N-Düngestrategien zu Winterweizen verschiedener Standorte in Niedersachsen: Gestaltung der regionalspezifischen Wasserschutzvarianten - Übersicht

Standort	Wasserschutzvariante
Winterweizen mit Blattvorfrucht	
Borwede (LK Diepholz)	Reduktion der N-Düngung um 40 kg; N2 (-10kg); N3 (-30kg)
Hamerstorf (LK Uelzen)	Reduktion der N-Düngung um 40 kg; N2 (-10kg); N3 (-30kg)
Höckelheim (LK Northeim)	Reduktion der N-Düngung um 40 kg; geringere Andüngung/andere Aufteilung
Königslutter (LK Helmstedt)	Reduzierung um 20 kg; N3 mit ENTEC
Winterweizen mit Getreidevorfrucht	
Otterham (LK Aurich)	Keine Wasserschutzvariante; Vergleichsvariante N stabilisiert in 2 Gaben
Poppenburg (LK Hildesheim)	Reduzierung um 40 kg; 3 x 60 kg N
Höckelheim (LK Northeim)	N2 (+10kg); N3 (-11 kg) und schon in EC 39 statt EC 51
Otterndorf (LK Cuxhaven)	Keine Wasserschutzvariante; vgl. Berater 1: gleiche Aufteilung, aber mit Utec + ui

Neben einer N-Staffel mit 6 Düngungsstufen und der Wasserschutzvariante, wurden weitere Düngesysteme mit differenzierter N-Verteilung und jahresspezifischer Anpassung der N-Gaben in Menge und Zeit (Nitrachek, ISIP) untersucht.

3.3.1. Ergebnisse

3.3.1.1. Borwede (Blattweizen)

Am Versuchsstandort in **Borwede (612)** (Blattweizen) wurde der Frühjahrs-N_{min} (15.03.2017) mit 45 kg N_{min}/ha ermittelt. Die Ernte-N_{min}-Werte (15.08.2017) lagen zwischen 37 kg N_{min}/ha in der Variante ohne N-Düngung und 101 kg N_{min}/ha (SW + 30 kg N/ha) und 137 kg N_{min}/ha in der Variante mit deutlich überhöhter N-Düngung (Sollwert + 60 kg N/ha). In der Sollwertvariante lag der Ernte-N_{min}-Wert bei 67 kg N_{min}/ha. In der Wasserschutzvariante mit vorgezogener Spätgabe und einer N-Düngung in Höhe von 165 kg N/ha lag der N_{min}-Wert mit 44 kg N_{min}/ha auf dem gleichen Niveau, wie in der Variante ohne N-Düngung. Der relativ hohe Anteil des Nitratstickstoffs in der Bodenschicht 30-60 cm deutet auf die beginnende Nitrat-Verlagerung hin.

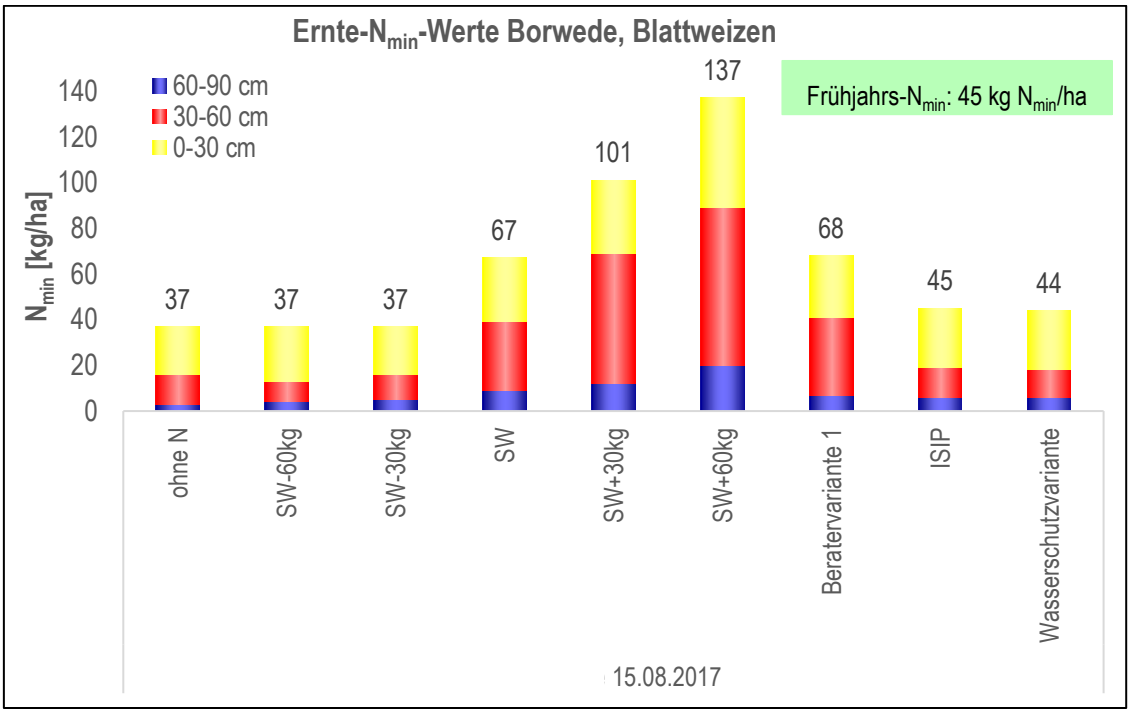

Abbildung 66: Ernte-N_{min}-Werte nach Winterweizen (Blatt) am Versuchsstandort Borwede 15.08.2017

3.3.1.2. Hamerstorf (Blattweizen)

Am Versuchsstandort **Hamerstorf (612)** 08.02.2017 wurde ein Frühjahrs-N_{min}-Wert von 12 kg N_{min}/ha ermittelt. Am 03.08.2017 lagen die Ernte-N_{min}-Werte nach Winterweizen (Blattweizen) auf einem relativ niedrigen Niveau zwischen 33 kg N_{min}/ha und 44 kg N_{min}/ha. Zwischen der Höhe der N-Düngung und dem festgestellten N_{min}-Wert nach der Ernte gab es kaum Unterschiede. Nach der Ernte des Winterweizens in Hamerstorf erfolgte Mitte August die Einsaat einer Zwischenfrucht, die mineralisch gedüngten wurde (50 kg N/ha).

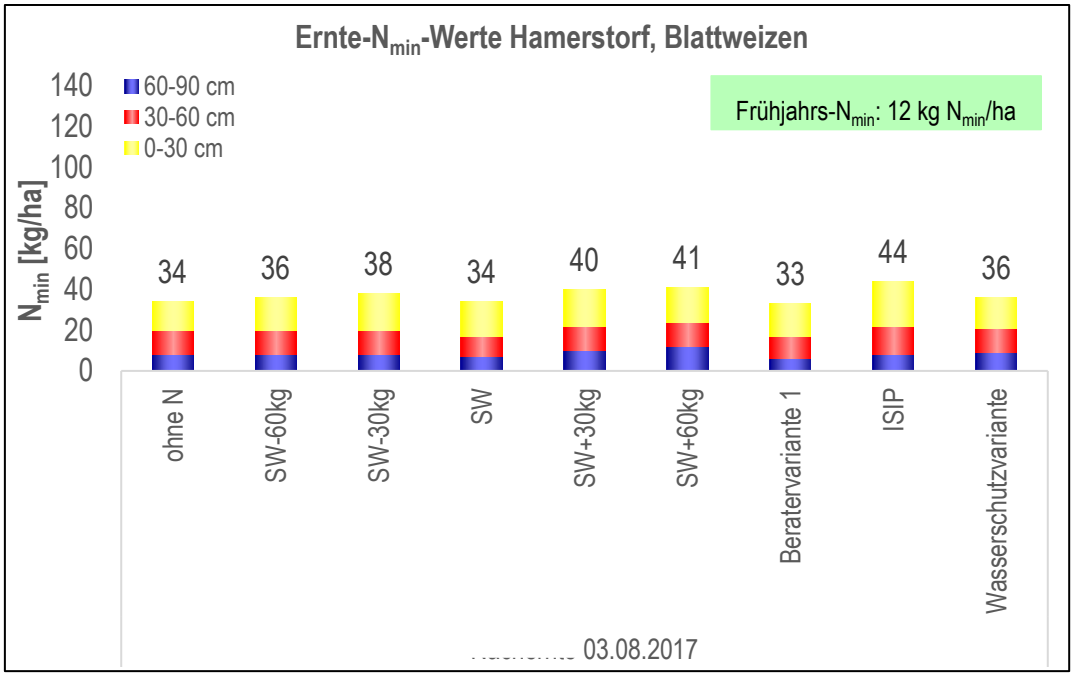

Abbildung 67: Ernte-N_{min}-Werte nach Winterweizen (Blatt) am Versuchsstandort Hamerstorf 03.08.2017

Die Herbst-N_{min}-Beprobung wurde am 07.11.2017 durchgeführt, um neben Auswaschungs- und Nachmineralisationseffekte nach der Ernte, die N-Aufnahme durch die Zwischenfrucht zu erfassen. Dabei lagen alle N_{min}-Werte auf einem sehr niedrigen Niveau zwischen 13 und 16 kg N_{min}/ha. Die N-Düngungsstufen fanden sich dabei, wie auch schon beim N_{min}-Probenahme-Termin nach der Ernte nicht wieder. Die niedrigen N_{min}-Werte können auf eine N-Aufnahme über die gut entwickelte Zwischenfrucht zurückzuführen sein, sodass ein großer Teil des Stickstoffs in der Zwischenfrucht gespeichert wurde. Aufgrund der hohen Niederschläge in 2017 und den Standorteigenschaften eines Sandbodens kann u. U. der in Hamerstorf angelegte Versuch mit begleitenden Sickerwasseruntersuchungen durch das LBEG weitere Interpretationshilfe über eine evtl. Nitratauswaschung geben.

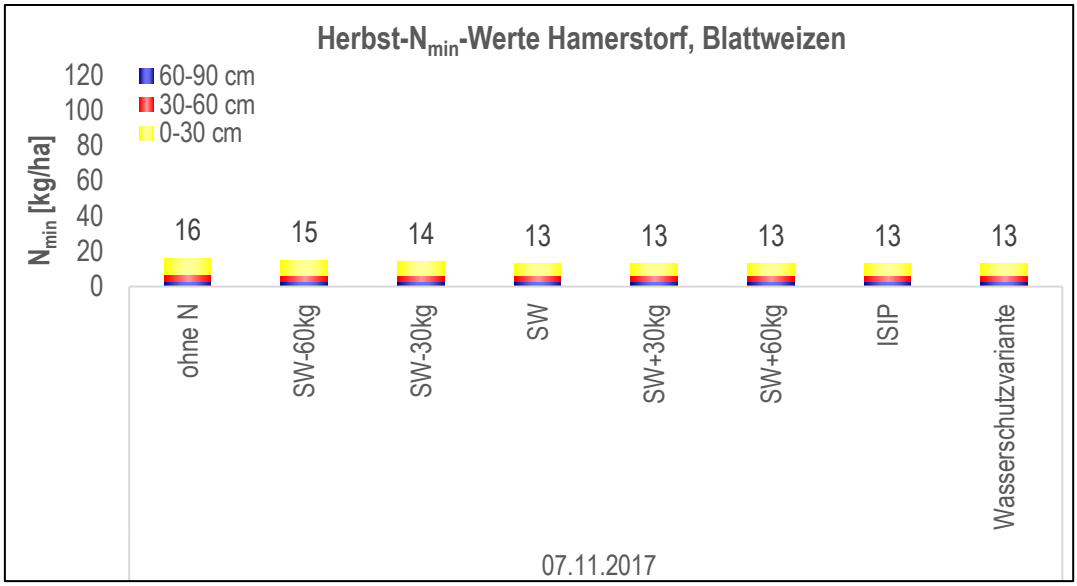

Abbildung 68: Herbst-N_{min}-Werte nach Winterweizen (Blatt) am Versuchsstandort Hamerstorf 07.11.2017

3.3.1.3. Höckelheim (Stoppel- und Blattweizen)

Am Versuchsstandort **Höckelheim (612)** (Stoppelweizen) wurden auf einem lehmigen Schluff (Ackerzahl 75) am 19.02.2017 ein Frühjahrs-N_{min}-Gehalt von 38 kg N_{min}/ha ermittelt. Die Ernte erfolgte am 03.08.2017. Die Ernte-N_{min}-Werte (16.08.2017) wurden vor der Aussaat der Zwischenfrucht am 22.08.2017 ermittelt. Als Zwischenfrucht folgte in 2017 eine Senf-Ölrettich-Phacelia-Mischung, die mit 60 kg Gesamt-N über Gärrest gedüngt wurde. Die Ernte-N_{min}-Werte nach Winterweizen nehmen bis zu einer Steigerung auf den N-Sollwert von 46 auf 71 kg N_{min}/ha zu. Der höchste Wert wurde unter der überhöht gedüngten Variante (Sollwert + 30 kg N/ha) mit 116 kg N_{min}/ha gemessen. In der Wasserschutzvariante (N-Düngung von 152 kg N/ha) wurde der Wert von 55 kg N_{min}/ha festgestellt. Neben der ungedüngten Variante wurde in der N-Sollwert minus 60 kg N/ha der niedrigste Wert ermittelt. In der Wasserschutzvariante mit vorgezogener Spätgabe (152 kg N/ha) lag der Ernte-N_{min}-Wert mit 55 kg N_{min}/ha jedoch ebenfalls auf einem relativ niedrigen Niveau. In der Variante mit N-Sollwertdüngung (152 kg N/ha) lag der Ernte-N_{min}-Wert bei 71 kg N_{min}/ha.

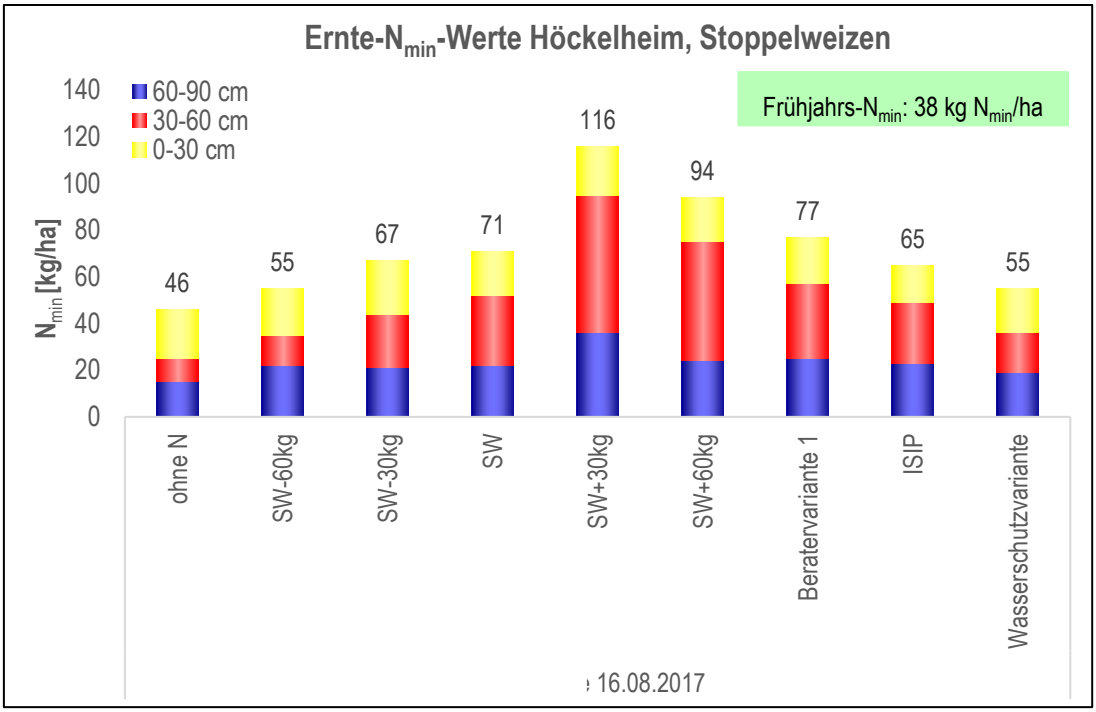

Abbildung 69: Ernte- N_{min}-Werte nach Winterweizen (Stoppel) am Versuchsstandort Höckelheim 16.08.2017

Die Herbst-N_{min}-Beprobung in der nachfolgenden Zwischenfrucht wurde am 15.11.2017 über eine GPS-Ortung des Standortes durchgeführt. Dabei lagen alle N_{min}-Werte unabhängig von der vorangegangenen N-Düngung zwischen 18 und 30 kg N_{min}/ha. Dabei war kein eindeutiger Unterschied im Herbst-N_{min}-Wert zwischen der vorangegangenen N-Düngung deutlich. Vom Zeitpunkt der Ernte bis zum zweiten Probenahme-Termin Mitte November kam es zu einer Abnahme der N_{min}-Werte. In der Sollwert-Variante kam es zu einer Abnahme um 48 kg N_{min}/ha. Die größte Abnahme wurde in der hoch gedüngten Variante (SW + 60 kg N/ha) mit 86 kg N_{min}/ha festgestellt. Es ist davon auszugehen, dass ein großer Teil des Stickstoffs durch die Zwischenfrucht aufgenommen wurde. Das zeigte sich auch durch die geringen N_{min}-Wert in der untersten Schicht. Nach dem mit BOWAB (Bodenwasserbilanzierung, LBEG) ermittelten Beginn der Sickerwasserperiode trat bereits mit dem Erntetermin Sickerwasser auf, sodass neben der N-Aufnahme durch die Zwischenfrucht auch eine Nitratverlagerung nicht auszuschließen ist.

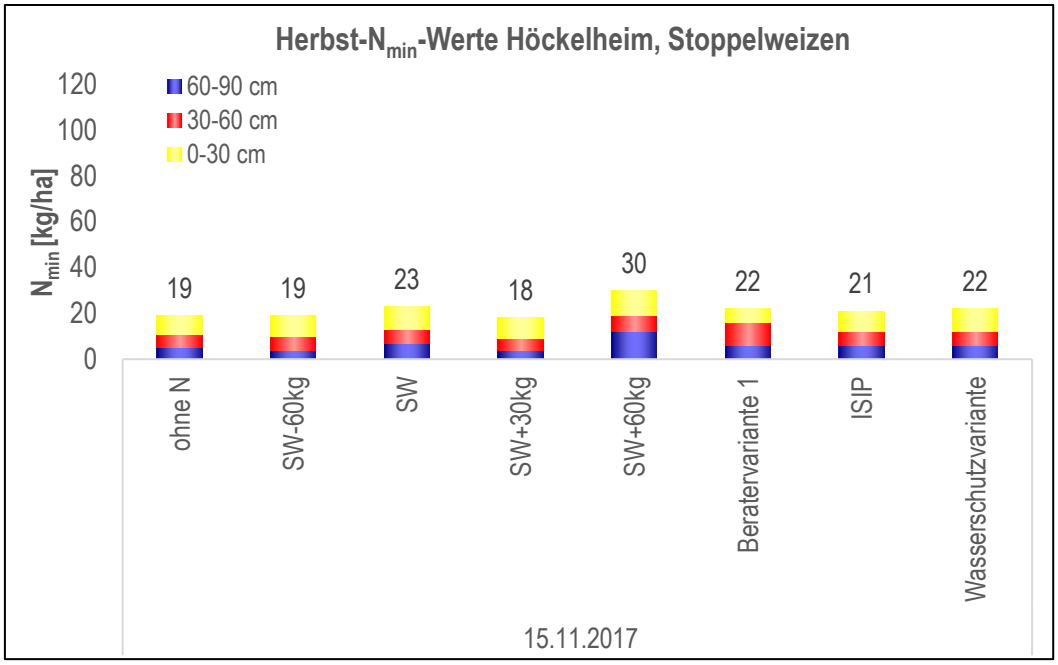

Abbildung 70: Herbst- N_{min}-Werte nach Winterweizen (Stoppel) am Versuchsstandort Höckelheim 15.11.2017

Weiterhin wurde am Versuchsstandort **Höckelheim (612)** neben dem Stoppelweizen- auch ein Blattweizenversuch (Vorfrucht Zuckerrübe) durchgeführt. Hier wurde am 21.03.2017 ein Frühjahrs-N_{min}-Gehalt von 98 kg N_{min}/ha ermittelt. Die Ernte-N_{min}-Werte (16.08.2017) unterscheiden sich dabei, im Gegensatz zum Versuch in Höckelheim mit Stoppelweizen kaum. Insgesamt liegen die N_{min}-Werte nach der Ernte auf einem Niveau zwischen 41 (Beratervariante) und 63 (ISIP) kg N_{min}/ha. Dabei ist kein Einfluss der Höhe der N-Düngung erkennbar. In der Wasserschutzvariante (N-Düngung von 172 kg N/ha) wurde der Wert von 58 kg N_{min}/ha festgestellt. In der nach Sollwert (212 kg N/ha) gedüngten Variante lag der N_{min}-Wert nach der Ernte bei 43 kg N_{min}/ha.

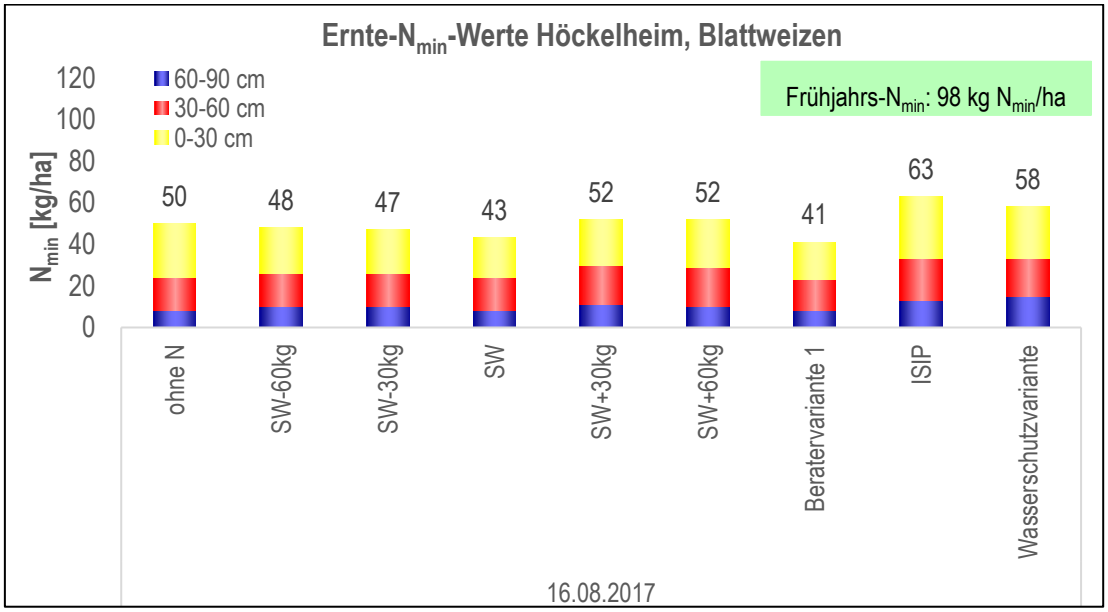

Abbildung 71: Ernte-N_{min}-Werte nach Winterweizen (Blatt) am Versuchsstandort Höckelheim 16.08.2017

Die Herbst-N_{min}-Beprobung (Blattweizen) wurde am 15.11.2017 durchgeführt, um Auswaschungs- und Nachmineralisationseffekte nach der Ernte zu erfassen. Dabei lagen alle N_{min}-Werte unabhängig von der vorangegangenen N-Düngung zwischen 57 und 63 kg N_{min}/ha. Es wird deutlich, dass es vom Zeitpunkt der Ernte bis zum zweiten Probenahme-Termin Mitte November aufgrund der Witterung zu einer Zunahme der N_{min}-Werte gekommen ist und folglich eine Nachmineralisation stattgefunden hat. Lediglich in der ISIP-Variante nahm der N_{min}-Wert von 63 auf 61 kg N_{min}/ha ab. Im Durchschnitt aller 9 Varianten betrug die Differenz zwischen Ernte-N_{min} und Herbst-N_{min} 11 kg N/ha. Dabei ist zu beachten, dass bereits zum Ernte-Termin am Standort in Höckelheim in 2017 Sickerwasser auftrat.

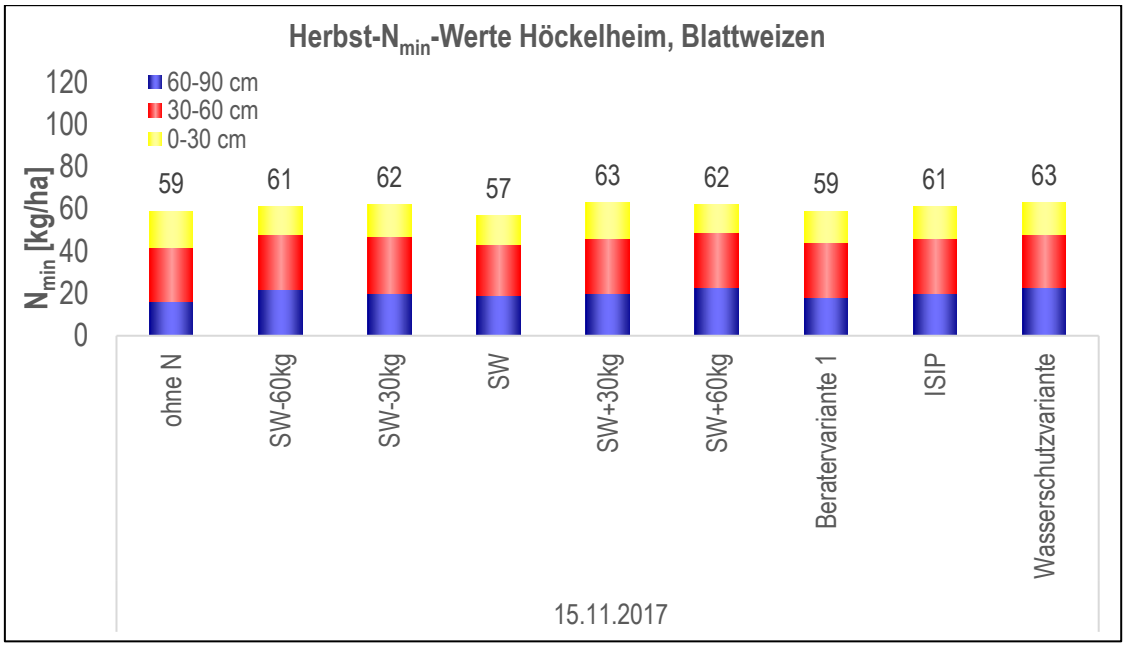

Abbildung 72: Herbst-N_{min}-Werte nach Winterweizen (Blatt) am Versuchsstandort Höckelheim 15.11.2017

3.3.1.4. Otterndorf (Blattweizen)

Im Versuch in **Otterndorf (612)**, (Blattweizen) ist auf dem lehmig tonigen Versuchsstandort ein Frühjahrs-N_{min}-Wert am 06.02.2017 von 91 kg N_{min}/ha ermittelt worden. Die Ernte-N_{min}-Werte (Probenahme-Termin 17.08.2017) lagen unabhängig von der N-Düngung auf annähernd ähnlichem Niveau zwischen 28 bis 56 kg N_{min}/ha. In der Variante mit N-Sollwertdüngung (N-Düngung 150 kg N/ha) wurden 35 kg N_{min}/ha in der Variante ohne N-Düngung 31 kg N_{min}/ha ermittelt. Der höchste Wert wurde unter der Variante Sollwert plus 30 kg N/ha gemessen. Auf diesem Standort wurde aufgrund der Bodenart Marsch keine explizite Wasserschutzvariante angelegt. Als Vergleich dient dort die Sollwert minus 30 kg N/ha, also reduziert gedüngte Variante.

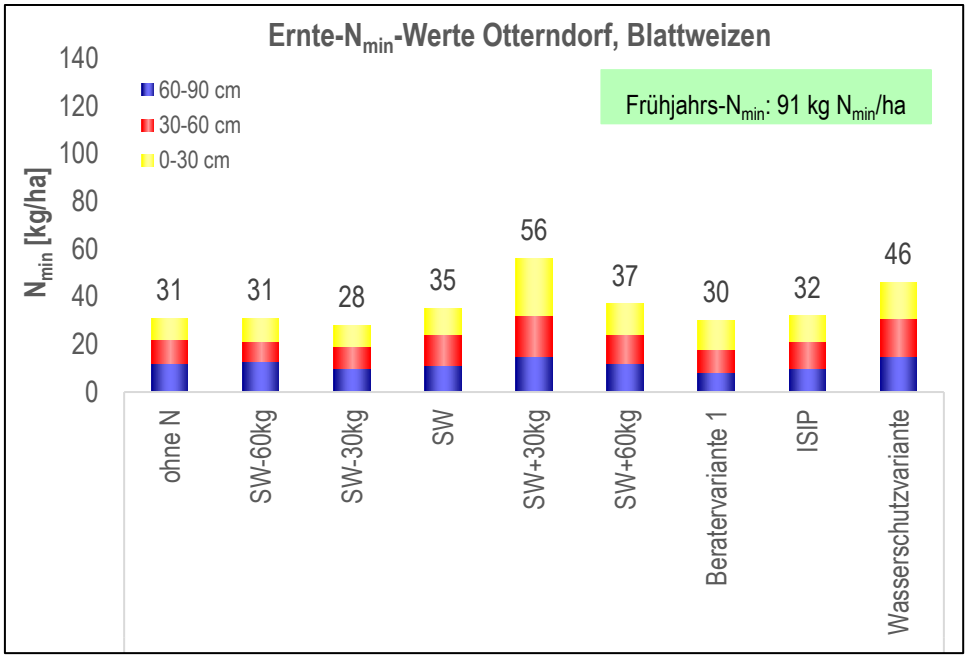

Abbildung 73: Ernte-N_{min}-Werte nach Winterweizen (Blatt) am Versuchsstandort Otterndorf 17.08.2017

3.3.1.5. Otterham (Blattweizen)

Auf dem Marschstandort (Bodenart: uT) **Otterham (612)** (Blattweizen) lag der Frühjahrs-N_{min}-Wert (26.01.2017) bei 96 kg N/ha. Die Beprobung der Ernte-N_{min}-Werte fand am 09.08.2017 statt. Die ermittelten Wert lagen zwischen 39 und 54 kg N/ha. Dabei war kein Einfluss einer steigenden N-Düngung feststellbar. Der gemessene Stickstoff lag zum großen Teil in der in ersten beprobten Schicht (0-30 cm) auf einem relativ hohen Niveau. In der Variante mit N-Sollwertdüngung wurden 144 kg N/ha gedüngt. Hier lag der Ernte-N_{min}-Wert bei 44 kg N_{min}/ha. In der Variante ohne N-Düngung war der Ernte-N_{min}-Wert mit 54 kg N_{min}/ha höher, lag aber auf einem vergleichbaren Niveau.

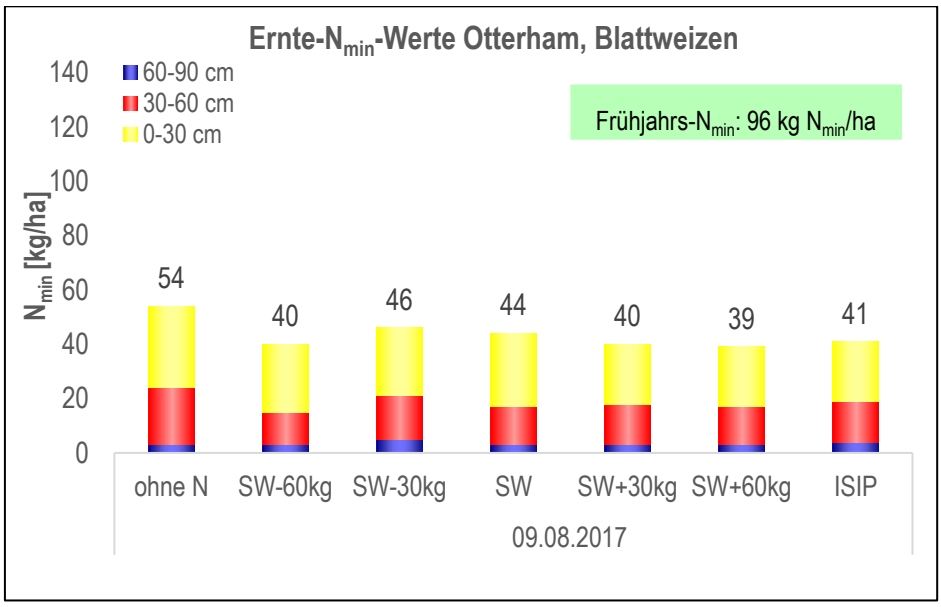

Abbildung 74: Ernte-N_{min}-Werte nach Winterweizen (Blatt) am Versuchsstandort Otterham 09.08.2017

3.3.1.6. Poppenburg (Stoppelweizen)

Am Versuchsstandort in **Poppenburg (612)** mit der Ackerzahl 90 wurde in 2017 ein Stoppelweizen angebaut, dabei ergab die Bodenuntersuchung im Frühjahr (am 16.03.2017) einen N_{min}-Wert von 30 kg N/ha. Bei einer Steigerung der N-Düngung bis in Höhe des N-Sollwertes gab es keine Unterschiede zwischen den Varianten hinsichtlich der Höhe des Rest-N_{min}-Gehaltes nach der Ernte (24.08.2017). Dabei lagen die Werte zwischen 61 und 66 Ernte-N_{min}-Wert/ha. Bei einer weiteren Steigerung der N-Düngung über den Sollwert hinaus, stiegen auch die N_{min}-Werte auf 96 (Sollwert plus 30 kg N/ha) bzw. 119 (Sollwert plus 60 kg N/ha) kg N_{min}/ha an. Die Sollwertvariante wurde 2017 mit 220 kg N/ha gedüngt. Der niedrigste N_{min}-Wert (57 kg N_{min}/ha) wurde – wie schon in 2016 - in der Wasserschutzvariante ermittelt. Im Vergleich zur N-Sollwertvariante wurde in der Wasserschutzvariante die N-Düngung auf 180 kg N/ha reduziert und es wurde auf die Spätgabe verzichtet. In der Variante ohne N-Düngung lag der Ernte-N_{min}-Wert bei 62 kg N_{min}/ha. Dies zeigt das hohe standörtliche N-Mineralisationspotential des Versuchsstandortes, vergleichbar mit dem Versuchsstandort in Königslutter.

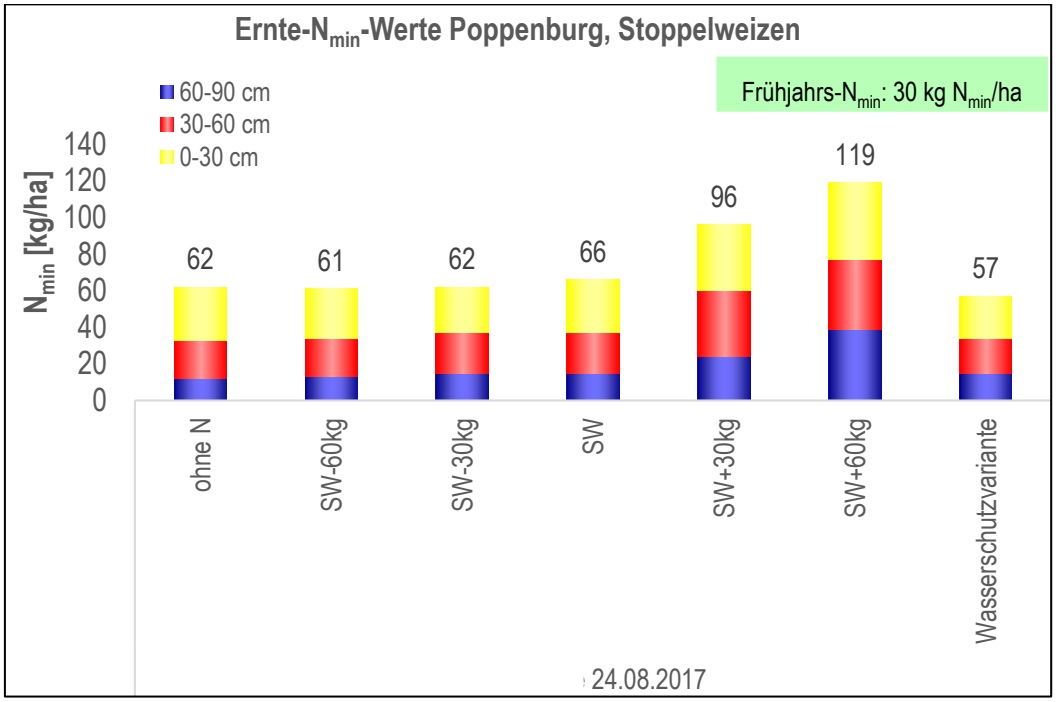

Abbildung 75: Ernte-N_{min}-Werte nach Winterweizen (Stoppel) am Versuchsstandort Poppenburg 24.08.2017

3.3.1.7. Königslutter (Stoppelweizen)

Am Versuchsstandort **Königslutter (612)** (Stoppelweizen), einem Lehmstandort mit der Ackerzahl 89, wurden ein Frühjahrs N_{min}-Wert (27.02.2017) von 75 kg N_{min}/ha gemessen. Die Ernte-N_{min}-Werte (gemessen am 13.08.2017) lagen wie in 2016 auf relativ hohem Niveau. Dabei variieren die Werte zwischen 59 kg N_{min}/ha in der Variante Sollwert minus 60 kg N/ha und 107 kg N_{min}/ha in der Variante mit deutlich überhöhter N-Düngung. In der Wasserschutzvariante wurde die N-Düngung im Vergleich zur Sollwertvariante um 20 kg N/ha auf 155 kg N/ha reduziert. Die N-Sollwertvariante am Versuchsstandort Königslutter wurde 2016 mit 175 kg N/ha gedüngt. Die Steigerung der N-Düngung führte auch 2017 zum Anstieg der Ernte-N_{min}-Werte. Aufgrund der hohen standörtlichen N-Mineralisation des Lehmbodens kam es, begünstigt durch den Witterungsverlauf, auch nach Abschluss der N-Aufnahme des Weizens, in allen Varianten zu hohen Ernte-N_{min}-Werten. Auch in der Variante ohne N-Düngung lag der Ernte-N_{min}-Wert mit 87 kg N_{min}/ha auf einem sehr hohen Niveau.

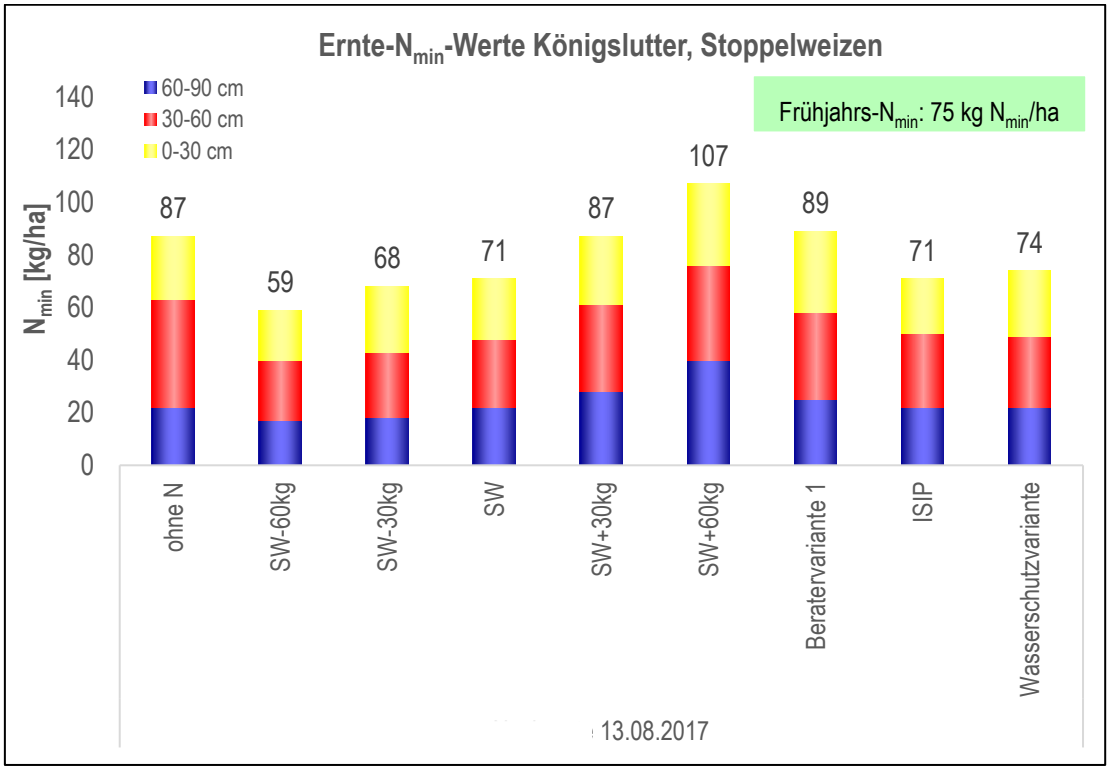

Abbildung 76: Ernte-N_{min}-Werte zu Winterweizen mit Getreidevorfrucht am Versuchsstandort Königslutter vom 13.08.2017

3.3.1.8. Martinsbüttel und Groß Steinum (614 – stabilisierte Stickstoffdünger)

An zwei leichteren Standorten (lehmiger Sand, Ackerzahl 49 in Martinsbüttel und Ackerzahl 38 in Groß Steinum) wurden 2017 N-Düngungsvarianten u.a. mit stabilisierten Stickstoffdünger angelegt. Neben der ungedüngten Variante wurde in drei weiteren Varianten (Sollwert, Sollwert plus 30 kg N/ha sowie Sollwert mit stabilisiertem Stickstoffdünger) auf N_{min} nach der Ernte untersucht. Zu beachten ist, dass 2017 im Juni 97 mm und im Juli 126 mm Niederschlag schon zu Verlagerungsprozessen vor der Ernte im August geführt haben.

Am Versuchsstandort Martinsbüttel (614) (Stoppelweizen) wurde am 20.02.2017 ein Frühjahrs-N_{min}-Wert von 42 kg N_{min}/ha ermittelt. Am 13.08.2017 wurden die Ernte-N_{min}-Werte nach Winterweizen gemessen. Diese lagen unabhängig von der Höhe der N-Düngung wie auch in 2016 auf einem einheitlichen Niveau zwischen 51 kg N_{min}/ha in der Variante mit Sollwertdüngung, in der Variante mit überhöhter N-Düngung bei 51 kg N_{min}/ha und in der Variante mit stabilisierter N-Düngung bei 55 kg N_{min}/ha. In der Variante ohne N-Düngung lag der Ernte-N_{min}-Wert bei 40 kg/ha. Für 2017 wurde ein N-Sollwert für diesen Standort von 250 kg N/ha errechnet.

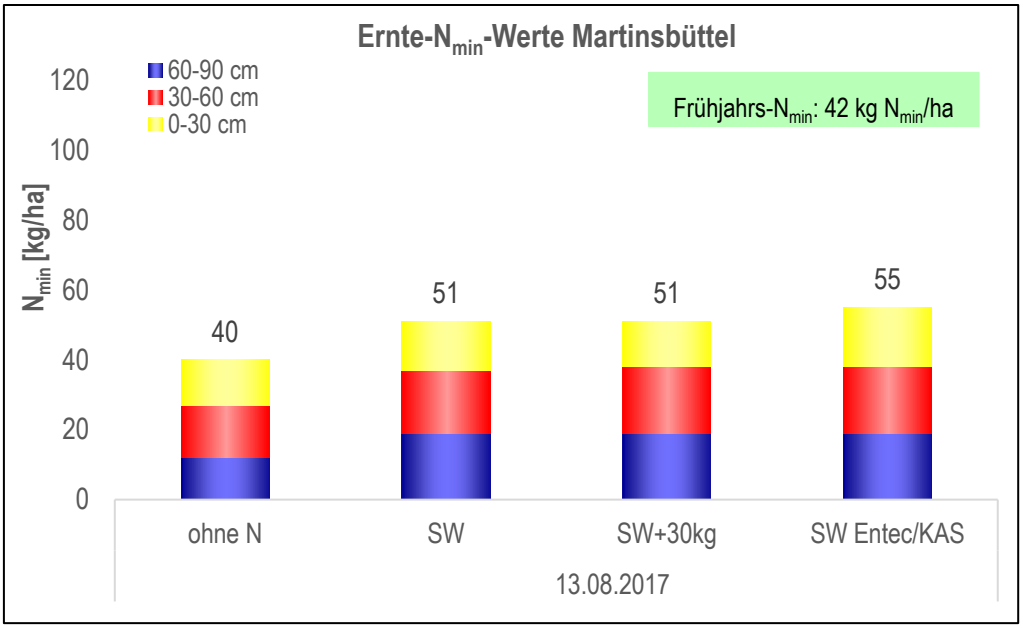

Abbildung 77: Ernte-N_{min}-Werte zu Winterweizen am Versuchsstandort Martinsbüttel vom 13.08.2017

Die gleichen N Düngungs-Varianten wurden am Standort in **Groß Steinum (614)** (Stoppelweizen) angelegt. Der im Frühjahr am 02.03.2017 ermittelte N_{min}-Wert lag bei 23 kg N/ha. Dabei wurde an diesem Standort in 2017 mit einem Sollwert von 230 kg N/ha gerechnet. Die N_{min}-Beprobung nach der Ernte am 13.08.2017 ergab kaum Unterschiede zwischen den Varianten. Diese lagen alle zwischen 37 (ungedüngt) und 49 (Sollwert plus 30 kg N/ha) kg N_{min}/ha.

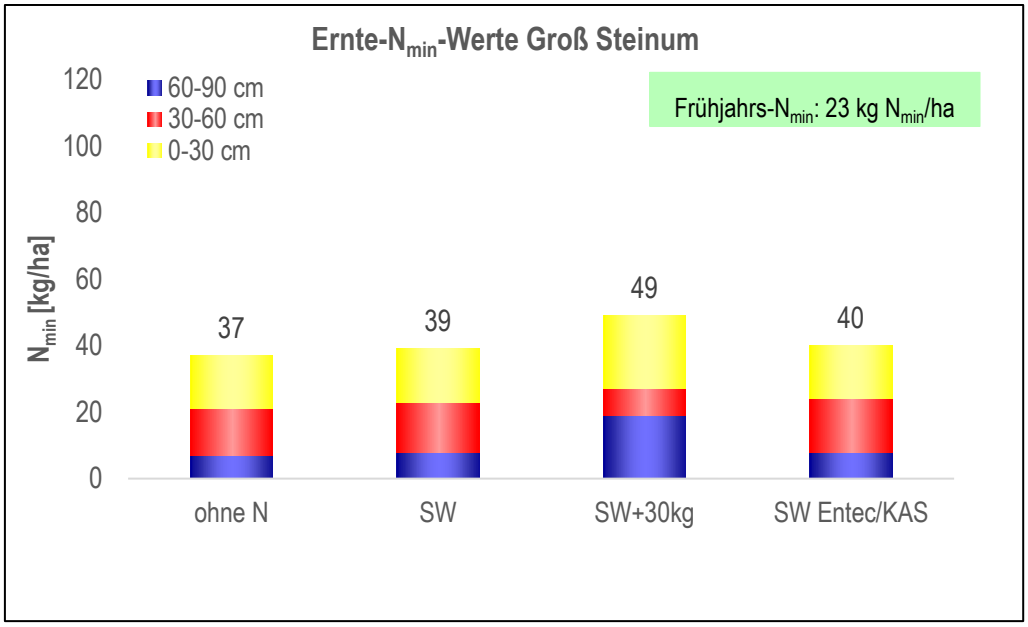

Abbildung 78: Ernte-N_{min}-Werte zu Winterweizen am Versuchsstandort Groß Steinum vom 13.08.2017

Die beiden Versuche an den Standorten Martinsbüttel und Groß Steinum wurden auf Praxisflächen durchgeführt. Daher konnte kein zweiter Probetermin im Herbst realisiert werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Wasserschutz- und Sollwert-Varianten häufig besser in Bezug auf den Ernte-N_{min}-Werte (niedriger) abschneiden. Der Ernte-N_{min} Wert bis zu einer Höhe der Sollwert-Düngung lag stets auf gleichem Niveau (auch ungedüngt), erst ab einer Düngung über N-Bedarfswert stiegen die N_{min}-Werte an. Dies bestätigen langjährige Ergebnisse.

3.3.2. Erträge

Die Erträge der Varianten [*Tabelle 16*] aller Winterweizenversuche zur Untersuchung der regionalspezifischen Düngestrategien sind in *Tabelle 17* dargestellt.

Tabelle 16: Variantenübersicht der Winterweizenversuche verschiedener Standorte in Niedersachsen

Var.-Nr.	Beschreibung Variante
1	ohne N
2	SW-60kg
3	SW-30kg
4	SW(B)
5	SW+30kg
6	SW+60kg
7	Beratervariante 1
9	ISIP
11	Wasserschutzvariante

Tabelle 17: Erträge [dt TM/ha] der auf N_{min} untersuchten Winterweizenflächen verschiedener Standorte in Niedersachsen

Standort	1	2	3	4	5	6	7	9	11
Winterweizen mit Blattvorfrucht									
Borwede (LK Diepholz)	73,7	105,1	106,4	107,4	109,4	107,1	108,0	109,1	108,5
Hamerstorf (LK Uelzen)	22,8	77,4	80,4	82,3	88,0	85,0	80,1	80,8	78,5
Höckelheim (LK Northeim)	82,1	98,0	96,7	98,2	103,0	103,0	102,6	100,5	103,0
Königslutter (LK Helmstedt)	76,6	105,2	107,4	110,4	109,2	107,2	107,6	108,9	106,4
Winterweizen mit Getreidevorfrucht									
Otterham (LK Aurich)	96,8	114,5	118,8	115,2	120,8	124,9	121,7	119,8	
Poppenburg (LK Hildesheim)	50,6	100,9	103,3	104,5	103,9	103,0	103,2	102,9	103,2
Höckelheim (LK Northeim)	81,1	99,0	101,2	101,4	102,3	102,0	101,5	97,3	99,5
Otterndorf (LK Cuxhaven)	74,1	81,9	100,0	105,7	108,2	106,7	106,6	106,6	

3.3.3. Zusammenfassung

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

Die Stickstoffdüngungsversuche im Winterweizen an Standorten mit Blatt- und Getreidevorfrucht zeigen, dass die N-Düngung nach Sollwertempfehlung der LWK grundsätzlich richtig ist. Eine Düngung über den empfohlenen Sollwert hinaus sollte in jedem Fall unterbleiben. Höhere Stickstoffgaben führen zu keiner Steigerung der Weizenerträge, begünstigen jedoch das Auftreten erhöhter Rest-N_{min}-Werte zur Ernte und steigern somit die Gefahr von umweltrelevanten Stickstoffausträgen. Optimierungsmöglichkeiten bei der Stickstoffdüngung ergeben sich durch eine an die Standortverhältnisse und die jahresaktuelle Witterung angepasste N-Düngestrategie.

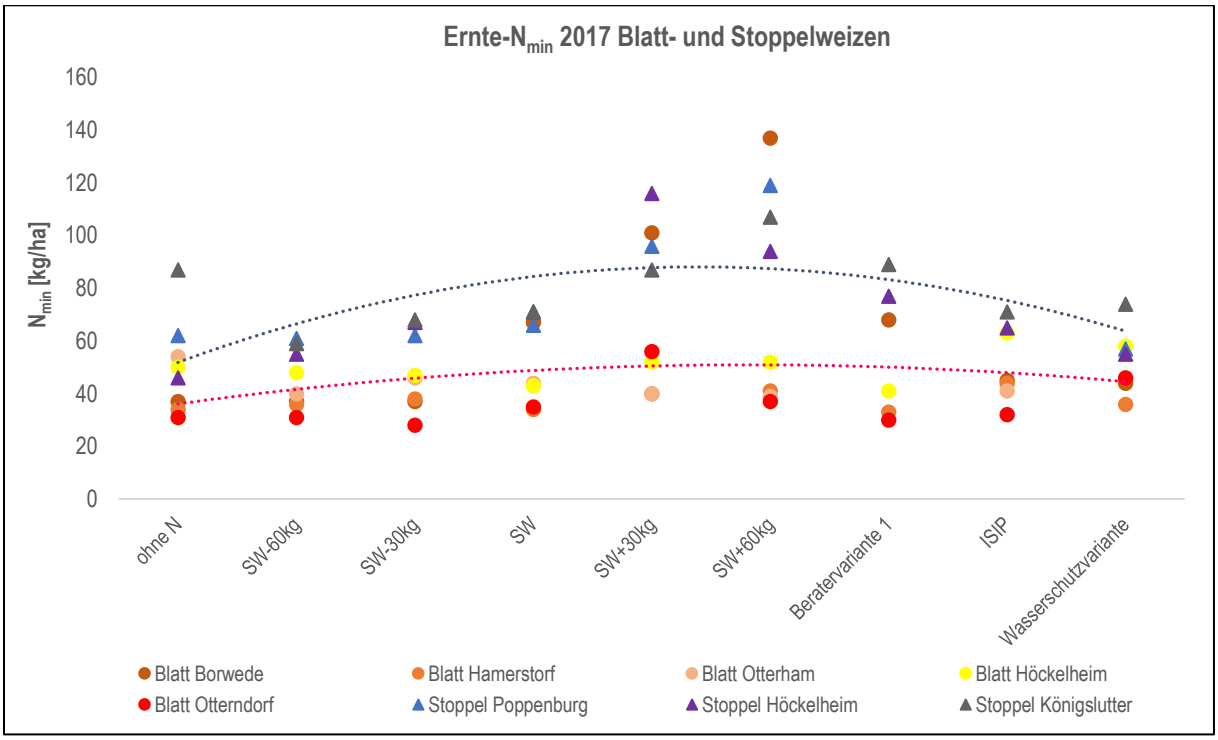

Abbildung 79: Ernte-N_{min}-Werte von Blatt- und Stoppelweizen im Vergleich aller Standorte in 2017

Der Vergleich der acht Versuchsstandorte zeigt, dass neben der N-Düngungshöhe vor allem der Standort, möglicherweise auch in Kombination mit einer Vorfruchtwirkung einen Einfluss auf den N_{min}-Wert nach der Ernte hat. Dabei lagen an fast allen Standorten die Ernte-N_{min}-Werte bei Blattweizen deutlich niedriger als bei den Stoppelweizen-Varianten. Im Mittel der Standorte lag der N_{min}-Wert nach der Ernte beim Blattweizen zwischen 38 und 61 kg N_{min}/ha, während die N_{min}-Werte beim Stoppelweizen je nach vorangegangener N-Düngung zwischen 58 und 107 kg N_{min}/ha lagen. Bei der Interpretation der Ergebnisse muss beachtet werden, dass der Standorteffekt einen Einfluss auf die N_{min}-Werte nach der Ernte hat. Alle Weizenversuche mit Getreidevorfrucht lagen auf Lössstandorten mit einem hohen Mineralisierungspotential, deshalb waren dort auch schon bei der Ernte (nach Ende der N-Aufnahme) hohe N_{min}-

Werte zu finden. Dafür spricht ebenfalls, das die N_{min}-Werte in den ungedüngten bzw. geringer gedüngten Varianten in gleicher Größenordnung lagen, wie die N_{min}-Werte der nach Sollwert gedüngten Variante. Wird nach der Ernte eine Zwischenfrucht angesät, so kann diese den mineralisierten Stickstoff nutzen (z.B. Höckelheim). Die Weizenstandorte mit Blattvorfrucht liegen in der Regel auf den eher leichteren Standorten (Ausnahme Höckelheim), die tendenziell eher durch geringere Mineralisationsraten geringere Ernte-N_{min}-Werte zeigen.

Eine grundwasserschutzorientierte N-Düngung sollte stets standortangepasst und die jahresspezifischen Besonderheiten (Witterung, Bestandesentwicklung) berücksichtigend erfolgen. Dabei sollten die regionalspezifischen Empfehlungen der jeweiligen Beratungsorganisation beachtet und ggf. Methoden zur vegetationsbegleitenden Anpassung der N-Düngung in Höhe und zeitlicher Verteilung (z.B. ISIP-Düngeprognosemodell, Nitrachek) genutzt werden. In 2017 wurde eine hohe Streuung der Frühjahrs-N_{min}-Werte festgestellt. Flächenbezogene N_{min}-Werte waren notwendig, um eine optimale N-Bedarfsdeckung zu erreichen.

3.4. Einfluss organischer N-Düngung auf Wintergerste (421)

Versuchsfragen:

- Welchen Einfluss hat die **Höhe der N-Düngung** auf die Rest-Stickstoffgehalte im Boden nach der Ernte von Wintergerste?
- Wie wirkt sich eine **organische N-Düngung im Vergleich zu einer mineralischen N-Düngung** auf die Reststickstoffgehalte im Boden nach der Ernte und die N-Dynamik im Boden aus?

3.4.1. Versuchsaufbau und Durchführung

Am Standort in Wehnen wurde im Rahmen eines Versuchs zur organischen N-Düngung im Versuchsjahr 2017 Wintergerste (Sorte: Galation) angebaut. Ziel des Versuches ist es, die N-Nachlieferung auf langjährig organisch gedüngten Standorten und deren Auswirkungen auf die Rest-Stickstoffgehalte im Boden nach der Ernte, N-Dynamik im Boden, Erträge und Qualitätsparameter zu untersuchen. Die effiziente Nutzung organischer Dünger sowie die möglichst präzise Einschätzung der Nährstoffwirkung leisten einen wichtigen Beitrag, um Nitrateinträge ins Grundwasser zu vermeiden.

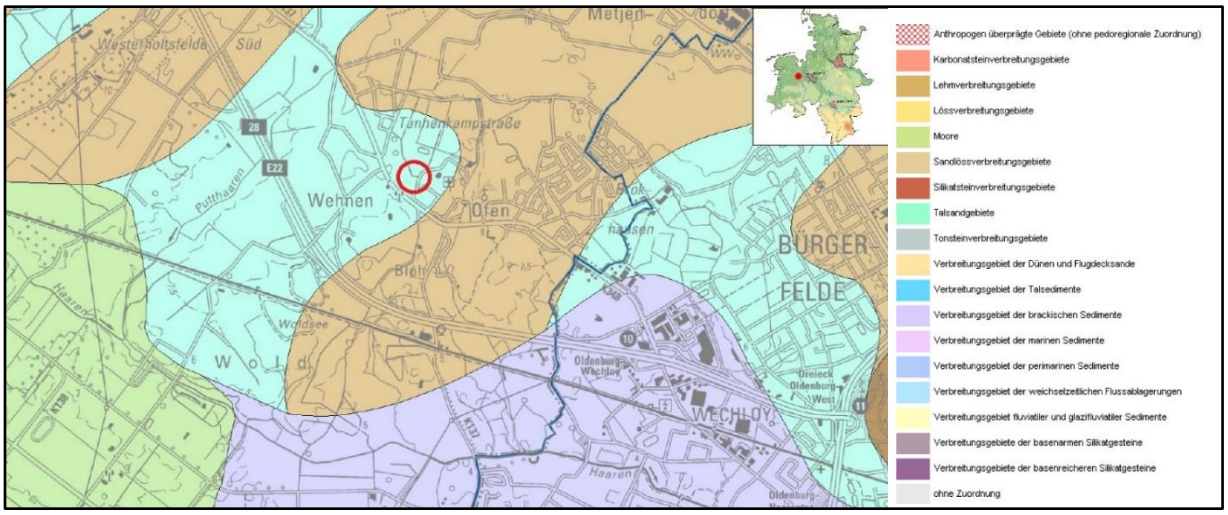

Abbildung 80: Lage des Versuchsstandortes in Wehnen mit Bodenlandschaften 1:500.000, Maßstab 1:16.000[1]

Dazu wird in einer Fruchtfolgerotation Silomais, Winterroggen, Wintergerste angebaut. Im Versuchsjahr 2017 stand Wintergerste, deren Aussaat am 29.09.2016 erfolgte. Die am 03.02.2017 durchgeführte N_{min}-Untersuchung im Frühjahr ergab einen relativ hohen Wert von 78 kg N_{min}/ha *[Tabelle 18]*.

[1] NIBIS Kartenserver LBEG

Tabelle 18: Ergebnis der Boden- und N_{min}-Untersuchung der Versuchsfläche in Wehnen (Vers.-Nr. 421)

Bodenuntersuchungen Wehnen 2017				
Bodenart	Sand			
Ackerzahl	25			
Bodenuntersuchung *[mg/ 100 g Boden]* 26.01.2017	**pH**	**P**	**K**	**Mg**
	5,2	5,0	4,0	6,0
Gehaltsklasse		B	B	D
Frühjahrs-N_{min}-Wert *[kg N_{min}/ha]*	**0-30 cm**	**30-60 cm**	**60-90 cm**	**0-90 cm**
03.02.2017	10	33	35	78

Insgesamt werden 7 von insgesamt 18 Varianten des Versuchs durch N_{min}-Untersuchungen nach der Ernte begleitet, die sich in Höhe und Form der N-Düngung unterscheiden. Dabei wird in einer mineralisch festen N-Düngestaffel die langfristige Auswirkung mineralischer N-Dünger mit einer organisch-mineralischen Düngung verglichen. In dieser Variante wird 120 kg Gesamt-N mit einer 60 kg Mineral-N Ergänzung gedüngt [*Tabelle 19*].

Tabelle 19: N-Düngungsstufen in den Varianten des Versuchs in Wehnen

Nr.	Varianten-Bezeichnung	Org. Düngung	Min. Düngung (1.Gabe)	Min. Düngung (2.Gabe)	Min. Düngung (3.Gabe)	Gesamt-N
		13.03.2017	*09.03.2017*	*11.04.2017*	*12.05.2017*	
		kg N/ha				
1	0 kg N/ha	-	-	-	-	0
2	60 kg N/ha	-	30	30	-	60
3	120 kg N/ha	-	30	60	30	120
4	180 kg N/ha	-	45	90	45	180
5	240 kg N/ha	-	60	120	60	240
6	N-Sollwert-Düngung	-	50	32	50	132
7	120 kg Gesamt-N aus Schweinegülle + 60 kg Mineral-N	83	30	30	-	143

3.4.2. Ergebnisse

3.4.2.1. N_{min}-Werte

Am Versuchsstandort Wehnen ist in 2017 mit steigender N-Düngung (N-Düngestaffel) zu Wintergerste ein deutlicher Anstieg der Reststickstoffgehalte nach der Ernte im Boden zu beobachten.

Die Ernte erfolgte am 18.07.2017. Die Ernte-N_{min}-Werte vom 21.07.2017 lagen zwischen 46 und 117 kg N_{min}/ha. Dabei zeigte sich ein deutlicher Einfluss der Höhe der N-Düngung. Mit zunehmender N-Düngung steigen die N_{min}-Werte im Boden an. Unter der Sollwertvariante wurden direkt nach der Ernte 95 kg N_{min}/ha ermittelt, in der überdüngten Variante (240 kg N/ha) 117 kg N_{min}/ha. Am 25.08.2017 wurde nach der Wintergerste als Zwischenfrucht ein Ölrettich-Senf-Gemisch ausgesät [*Abbildung 81*].

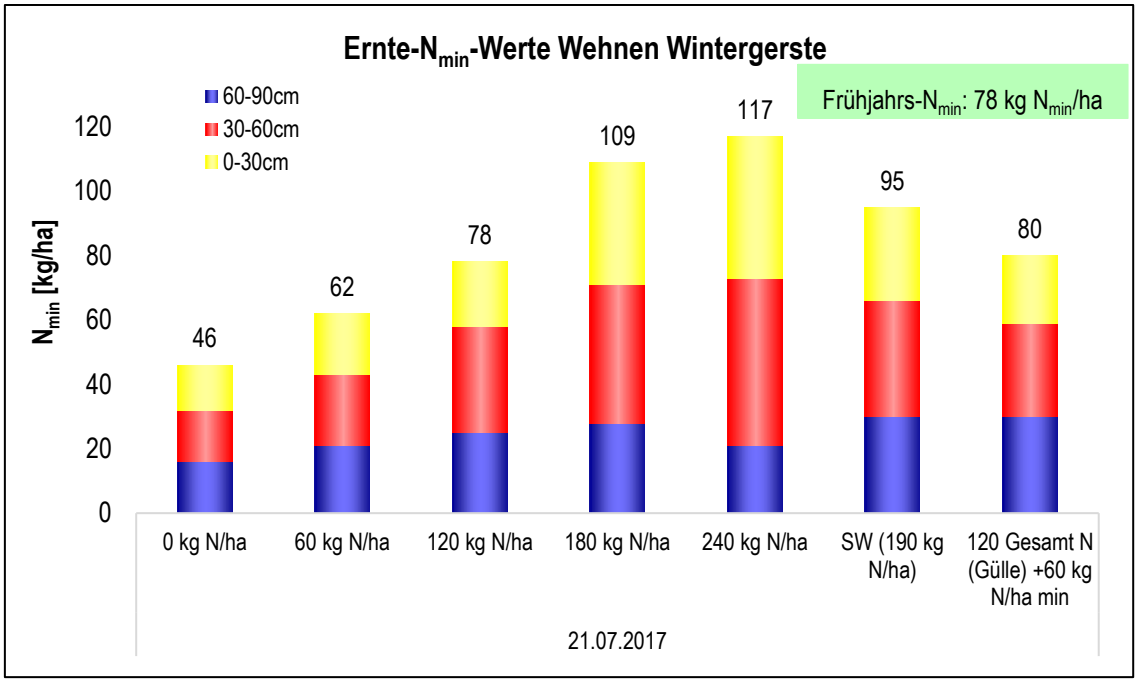

Abbildung 81: Ernte-N_{min}-Werte nach Wintergerste vom 21.07.2017 am Versuchsstandort in Wehnen

Im weiteren Verlauf der Vegetation beim zweiten Probenahme-Termin am 15.11.2017 im Zwischenfruchtbestand sanken die N_{min}-Werte auf 19 bis 25 kg N_{min}/ha ab [*Abbildung 82*].

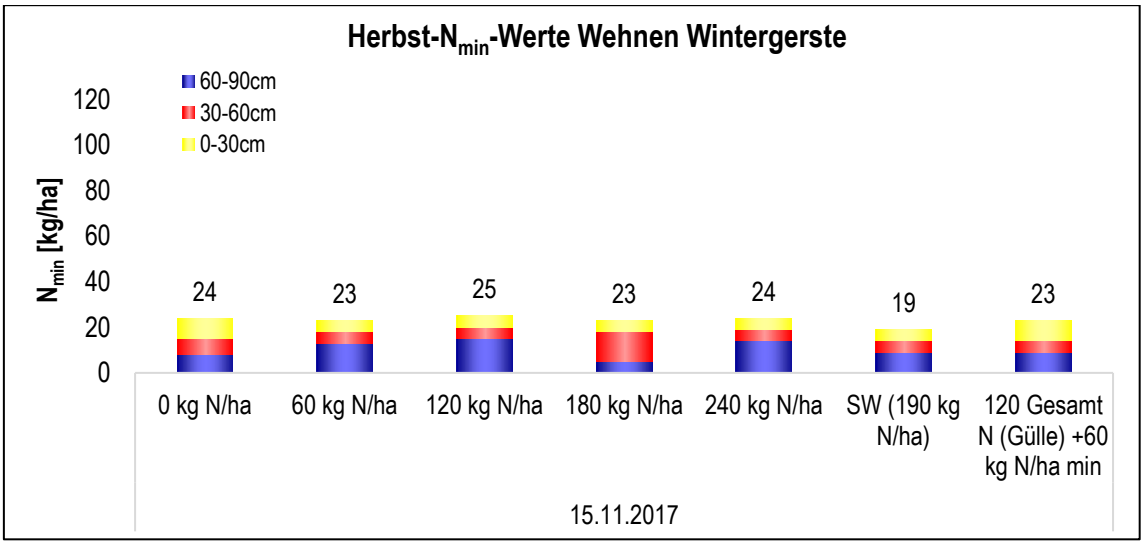

Abbildung 82: Herbst-N_{min}-Werte nach Wintergerste und nachfolgender Zwischenfrucht vom 15.11.2017 am Versuchsstandort in Wehnen

3.4.2.2. Erträge

Die Erträge der Wintergerste am Versuchsstandort Wehnen im Versuchsjahr 2017 liegen zwischen 28 dt TM/ha in der ungedüngten Variante und 72 dt TM/ha in der mit 240 kg N/ha gedüngten Variante. Dabei nehmen die Erträge in der N-Düngestaffel bis zur Düngestufe 180 kg N/ha zu, bei der Variante

mit 240 kg N/ha erfolgt eine leichte Abnahme der Erträge. Der Ertrag der organisch-mineralisch gedüngten Variante liegt bei 67 dt TM/ha. Die Rohproteingehalten liegen zwischen 11,9 und 13,9 % [*Abbildung 83*].

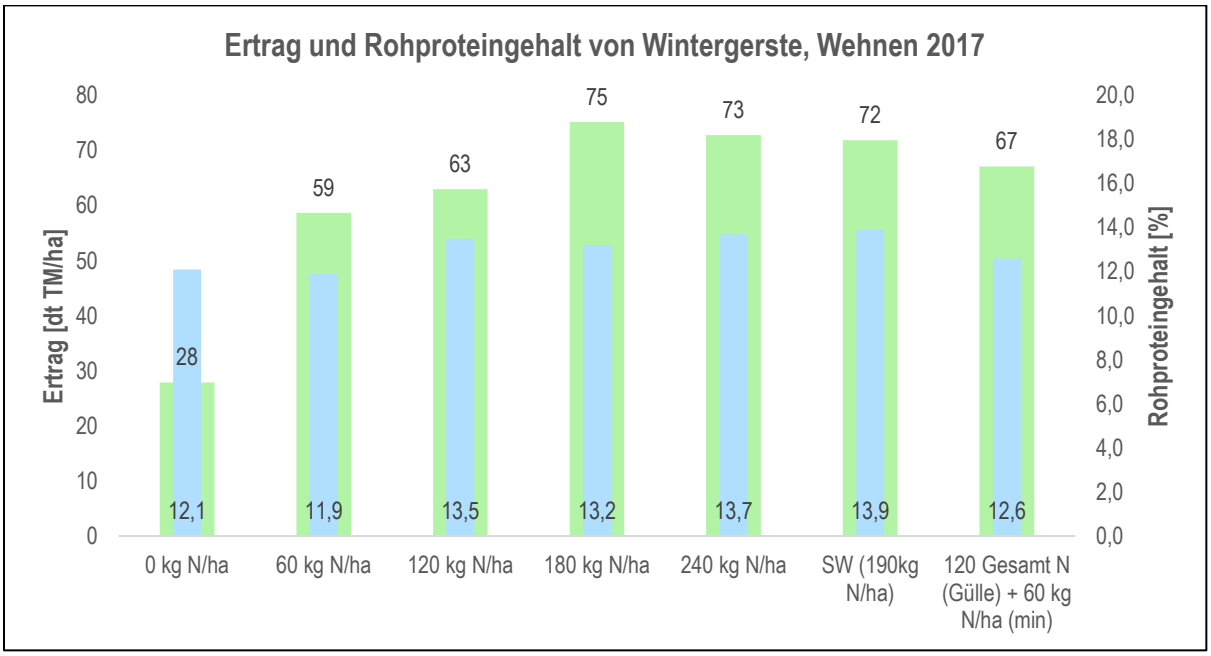

Abbildung 83: Erträge und Rohproteingehalte von Wintergerste im Versuchsjahr 2017 am Standort in Wehnen

3.4.3. Zusammenfassung

Welchen Einfluss hat die Höhe der N-Düngung auf die Rest-Stickstoffgehalte im Boden nach der Ernte bei Wintergerste?

In Wehnen wird seit 2016 in einem Versuch die N-Nachlieferung in einer Silomais, Winterroggen, Wintergerste Fruchtfolge auf einem langjährig organisch gedüngten Standort untersucht. Dabei soll weiterhin die effiziente Nutzung organischer Dünger, sowie die präzise Einschätzung der Nährstoffwirkung erfolgen. In einer mineralischen N-Düngestaffel wird die langfristige Auswirkung der N-Dünger untersucht und gleichzeitig mit einer Variante zur organisch-mineralischen N-Düngung verglichen. Die Untersuchungen zeigen, dass mit einem erhöhten Einsatz von N-Düngemitteln ein Anstieg der Reststickstoffgehalte im Boden zu beobachten ist.

Die Sollwert-Variante liegt bei 95 kg N_{min}/ha und damit niedriger als der N_{min} –Wert bei einer Düngung von 180 kg N/ha. Die jedoch geringen Abweichungen können aber durch die Probenahme entstanden sein. Durch die ausgebrachte Zwischenfrucht konnten die am 15.11.2017 gemessenen Herbst-N_{min}-Werte auf ein ähnlich niedriges Niveau innerhalb der Varianten gesenkt werden.

Wie wirkt sich eine organische Düngung im Vergleich zu einer mineralischen N-Düngung auf die Reststickstoffgehalte im Boden nach der Ernte und die N-Dynamik im Boden aus?

Im Vergleich der nach N-Sollwert gedüngten Variante (132 kg N/ha) und der organisch-mineralisch gedüngten Variante (120 kg Gesamt-N aus Gülle + 60 kg N/ha mineralisch) liegt der N_{min}-Wert in der kombinierten N-Düngung mit 80 kg N_{min}/ha etwas geringer als in der N-Sollwertvariante (95 kg N_{min}/ha). Diese Beobachtung konnte bereits im letzten Versuchsjahr gemacht werden.

3.5. Einfluss der N-Düngung und Beregnung auf Sommergerste (227)

Versuchsfragen:

- Welchen Einfluss hat die **Höhe der N-Düngung** auf die Rest-Stickstoffgehalte im Boden nach der Ernte von Sommergerste?
- Welchen Einfluss hat die **Beregnungsmenge** auf Ertrag und Qualität von Sommergerste?
- Welchen Einfluss haben die **Höhe der N-Düngung** und **Verteilung** auf die Ertragsreaktionen und die Qualität (Proteingehalt) von Sommergerste bei Trockenstress und bei guter Wasserversorgung?

3.5.1. Versuchsaufbau und Durchführung

Am Standort in Hamerstorf wird seit 2015 durch den Fachbereich Pflanzenbau und Saatgut (FB 3.8) der Einfluss von unterschiedlichen Beregnungsstrategien auf die Rest-Stickstoffgehalte im Boden nach der Ernte, N-Dynamik im Boden, Erträge und Qualitätsparameter untersucht. Die effiziente Nutzung der Beregnungsgaben sowie die möglichst präzise Einschätzung der Höhe der N-Düngung und der damit verbundenen Nährstoff-Wirkung leisten einen wichtigen Beitrag, Nitrateinträge gerade auf Beregnungsstandorten in das Grundwasser zu vermeiden. Der Sand-Standort ist auswaschungsgefährdet, die Ackerzahl beträgt 35. Neben dem N-Düngungseinfluss (3 Düngungsstufen, davon ungedüngt, Sollwertdüngung und Sollwertdüngung + 60 kg N/ha) wird auch der Einfluss der Beregnungsintensität (ohne und mit Beregnungsgabe) untersucht.

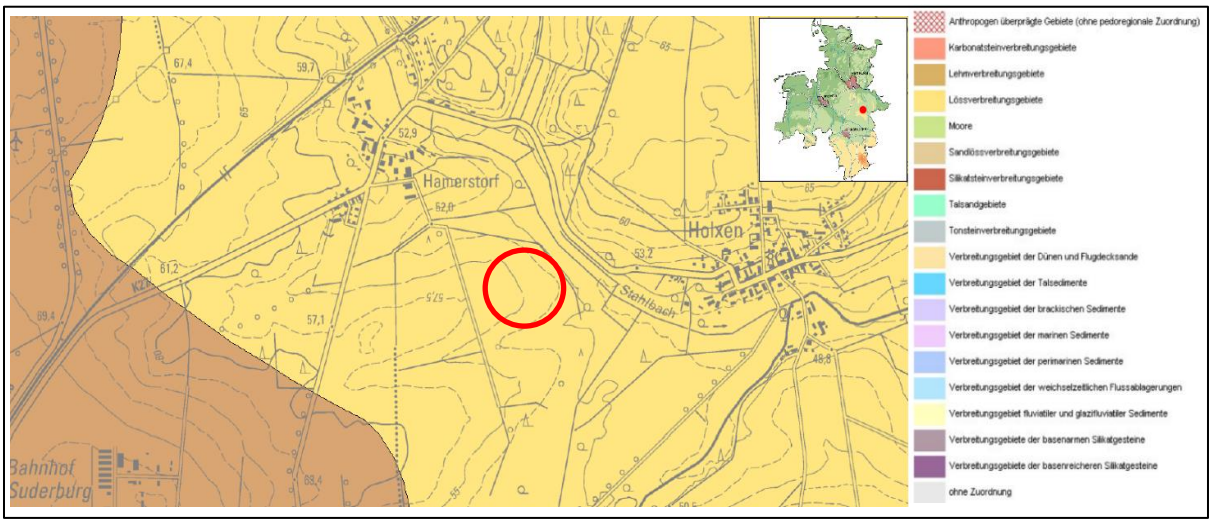

Abbildung 84: Lage des Versuchsstandorts Hamerstorf mit Bodenlandschaften 1:50.000, Maßstab 1:16.000 [NIBIS Kartenserver (04.05.2017), Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG)]

Im Versuchsjahr 2017 erfolgte die Aussaat der Sommergerste (Sorte: Quench) am 17.03.2017. Der Frühjahrs-N_{min}-Wert lag bei 19 kg N_{min}/ha. Weiterhin wurde am 09.03.2017 eine Bodenuntersuchung vorgenommen [*Tabelle 20*].

Tabelle 20: Ergebnis der Boden- und N_{min}-Untersuchung 2017 der Versuchsfläche in Hamerstorf

Bodenuntersuchungen Wehnen 2017				
Bodenart	Anlehmiger Sand			
Ackerzahl	32			
Bodenuntersuchung *[mg/ 100 g Boden]* 09.03.2017	**pH**	**P**	**K**	**Mg**
	5,6	5,0	7,0	4,0
Gehaltsklasse		C	B	C
Frühjahrs-N_{min}-Wert *[kg N_{min}/ha]*	**0-30 cm**	**30-60 cm**	**60-90 cm**	**0-90 cm**
09.03.2017	6	7	6	19

3.5.2. Ergebnisse

3.5.2.1. N_{min}-Werte

Im Versuchsjahr 2017 erfolgten die begleitenden N_{min}-Untersuchungen in insgesamt sechs Varianten. Nach der Ernte der Sommergerste wurde am 16.08.2017 Ölrettich als nachfolgende Zwischenfrucht angebaut. Die Ernte-N_{min}-Werte lagen auf etwas höherem Niveau zwischen 30 und 35 kg N_{min}/ha. Am Versuchsstandort Hamerstorf hatten nach dem Anbau von Sommergerste, wie auch im Versuchsjahr 2016, weder die Höhe der N-Düngung, noch die Beregnung einen durchgängigen Einfluss auf die Höhe der Ernte-N_{min}-Werte.

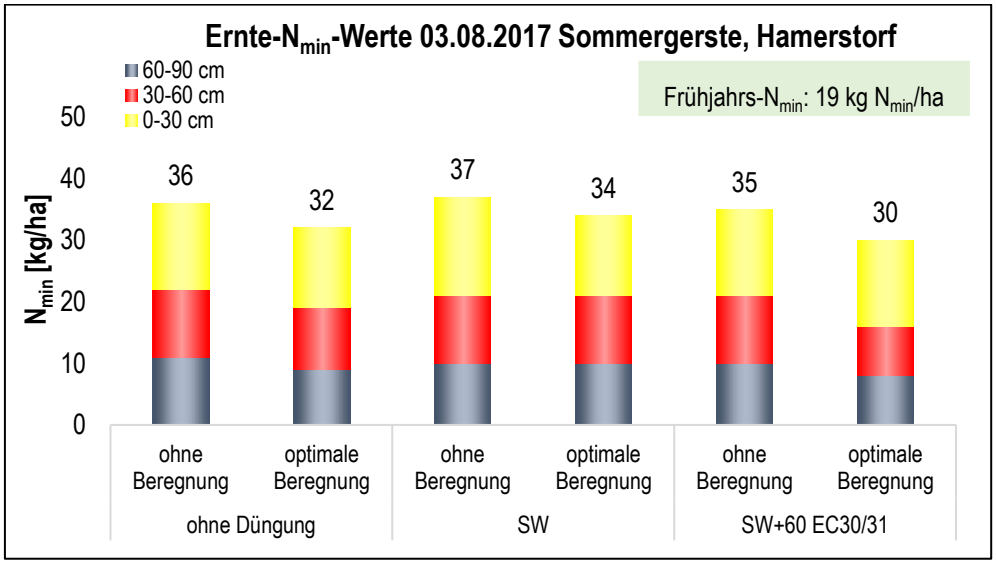

Abbildung 85: Ernte-N_{min}-Werte im Versuch zu Beregnungsstrategien am Versuchsstandort Hamerstorf, 03.08.2017

Um einen evtl. Nachmineralisations-Effekt bzw. den beginnenden Nitrataustrag erfassen zu können, wurde im weiteren Verlauf der Vegetation der Herbst-N_{min}-Werte (09.11.2017) ermittelt. Dieser lag in allen Varianten bedingt durch den Anbau der Zwischenfrucht unabhängig von der vorangegangene N-Düngung auf einem sehr niedrigen Niveau zwischen 11 bis 14 kg N_{min}/ha. Aufgrund der sehr späten Probenahme für das regenreiche Jahr 2017 trat bereits vor der Ernte eine Nitratverlagerung im Boden auf, sodass die Höhe des Nitrataustrags nur unter zur Hilfenahme der Sickerwasseruntersuchungen des LBEG abgeschätzt werden können.

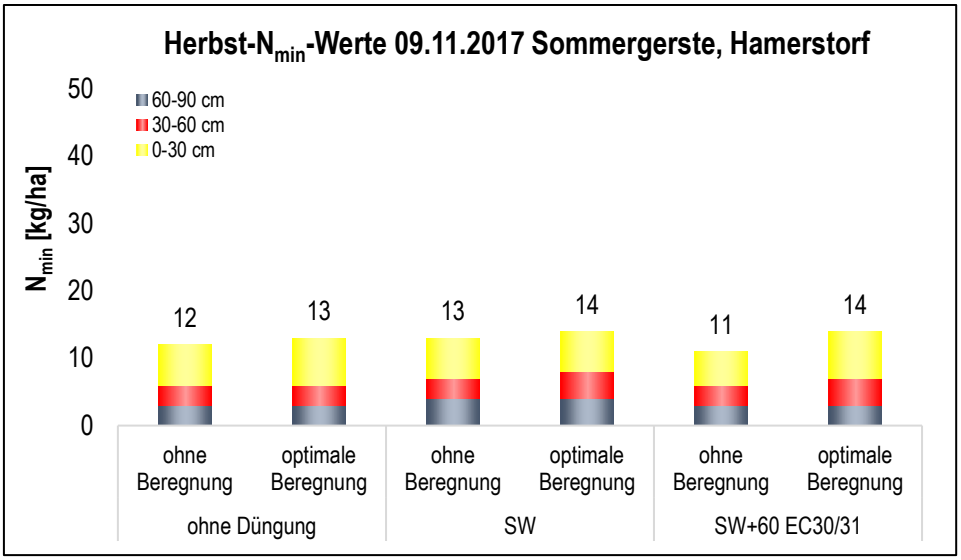

Abbildung 86: Herbst-N_{min}-Werte im Versuch zu Beregnungsstrategien am Versuchsstandort Hamerstorf, 09.11.2017

3.5.2.2. Erträge

Im Versuchsjahr 2017 liegen die Erträge am Versuchsstandort Hamerstorf in der Variante ohne Beregnung zwischen 27 dt TM/ha ohne N-Düngung und 61 dt TM/ha in der Variante Sollwert + 60 kg N/ha. Bei optimaler Beregnung konnten in der Variante ohne N-Düngung 32,5 dt TM/ha geerntet werden. Der Ertrag bei der Düngevariante Sollwert + 60 kg N/ha liegt bei 63 dt TM/ha. Bei beiden Beregnungsstufen erfolgt ein Anstieg des Ertragsniveaus über die Düngestufen, wobei nur noch ein leichter Anstieg zwischen der SW und SW + 60 kg N/ha Düngung zu beobachten ist. Die Rohproteingehalte liegen zwischen 10,9 und 12 % und unterscheiden sich nur unwesentlich in Abhängigkeit von der N-Düngung und Beregnungsgabe **[***Abbildung 87***]**.

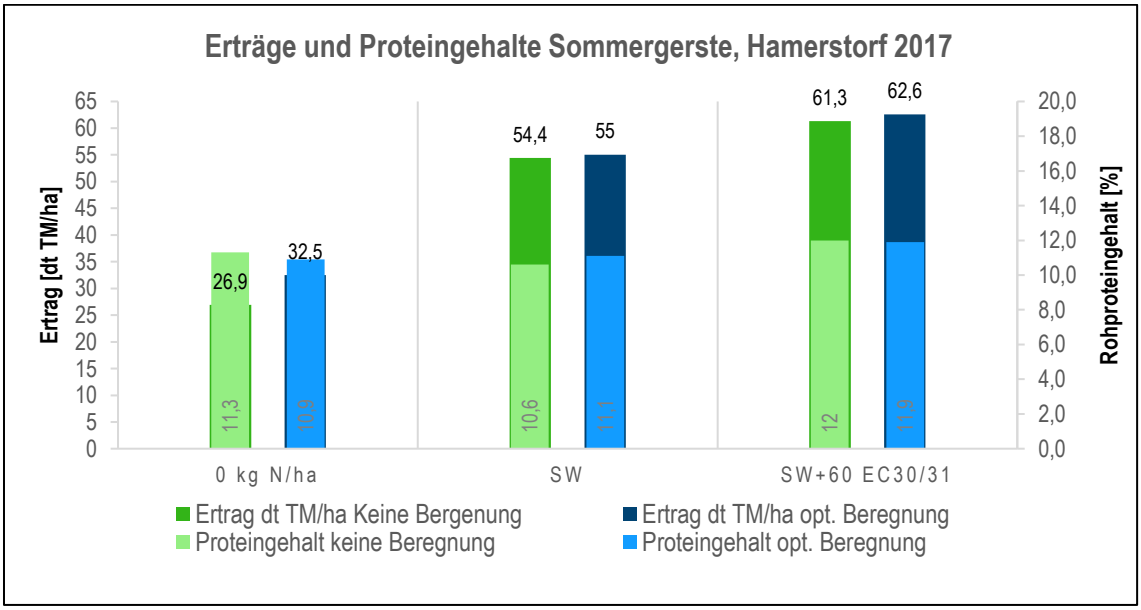

Abbildung 87: Erträge und Qualitätsparameter (Proteingehalt) von Sommergerste am Versuchsstandort Hamerstorf in 2017

Die N-Bilanz ergibt sich aus der N-Zufuhr und N-Abfuhr. Dabei wird die N-Abfuhr aus dem N-Gehalt des Ernteguts und Nebenernteprodukten und dem erzielten Ertrag berechnet. Als Bilanzierungszeitraum dient hierbei das Kalenderjahr.

Auf den ungedüngten Versuchsflächen kommt es zu den größten N-Entzügen. Dabei liegt der N-Entzug in der Variante mit optimaler Beregnung mit -57 kg N/ha höher als der in der Variante ohne Beregnung. Auch in der Variante bei der 60 kg N/ha gedüngt wurden, liegt die N-Bilanz im negativen Bereich, wieder mit leicht höherem negativen Wert in der Variante mit optimaler Bewässerung. In der Düngungsvariante mit 160 kg N/ha weist die Fläche ohne Beregnung einen leicht höheren Bilanzwert auf als die mit optimaler Beregnung, wobei der Unterschied nur minimal ist.

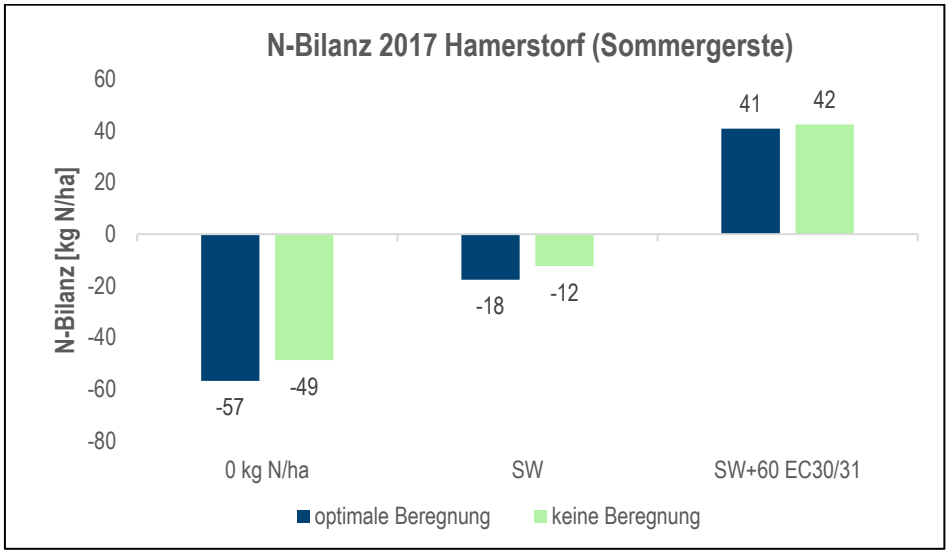

Abbildung 88: N-Bilanzen der einzelnen Varianten zur Sommergerste am Versuchsstandort Hamerstorf 2017

3.5.3. Zusammenfassung

Welchen Einfluss hat die Höhe der N-Düngung auf die Rest-Stickstoffgehalte im Boden nach der Ernte von Sommergerste?

Am Standort in Hamerstorf wird seit 2015 der Einfluss von unterschiedlichen Beregnungsstrategien auf die Reststickstoffgehalte im Boden nach der Ernte, N-Dynamik im Boden, Erträge und Qualitätsparameter untersucht. Bei dem Versuchsstandort Hamerstorf handelt es sich um einen leichten auswaschungsgefährdeten Sandstandort. In allen beprobten Varianten liegen die Rest-N_{min}-Gehalte nach der Ernte in einem niedrigen Bereich zwischen 36 und 30 kg N_{min}/ha. Ein Zusammenhang zwischen der Höhe der N-Düngung, der Beregnung und der Höhe der Rest-Stickstoffgehalte nach der Ernte im Boden ist am Standort Hamerstorf nur bedingt erkennbar.

Welchen Einfluss hat die Beregnungsmenge auf Ertrag und Qualität von Sommergerste?

Zusätzlich zu den N-Düngungsvarianten wurden zwei unterschiedliche Beregnungsstrategien (ohne und optimierte Beregnung) getestet. Dabei kann nur in der Variante ohne N-Düngung ein deutlicher Unterschied zwischen den Erträgen beobachtet werden. Es zeigt sich, dass die Pflanze durch die Beregnung höhere Erträge ohne Düngung erzielen kann. Bei den Qualitäten ist in den verschiedenen Düngungsvarianten kein Einfluss der Beregnung zu erkennen.

Auch die N-Bilanz zeigt in diesem Jahr keine großen Unterschiede zwischen den Varianten ohne und mit Beregnung. Diese Unterschiede waren im letzten Versuchsjahr aufgrund der höheren Niederschläge deutlich ausgeprägter.

3.6. Festmistdüngung zu Wintergerste (461)

Versuchsfragen:

- Welchen Einfluss hat die N-Düngung unterschiedlicher Festmiste auf **die Reststickstoffgehalte nach der Ernte und im Herbst** im Boden?
- Welche Auswirkungen haben **unterschiedliche Festmistarten und Ausbringungszeitpunkte** auf Ertrag, Produktqualität und N-Dynamik im Boden?

3.6.1. Versuchsaufbau und Durchführung

Am Standort in Wehnen [*Abbildung 89*] werden seit 2002 die Auswirkungen unterschiedlicher Festmistarten und Ausbringungszeitpunkte auf die Rest-Stickstoffgehalte im Boden nach der Ernte, die N-Dynamik im Boden, die Erträge und die Qualitätsparameter untersucht. Ziel ist es, die Festmiste so einzusetzen, dass die Nährstoffe für das Pflanzenwachstum optimal genutzt und dadurch Nährstoffverluste minimiert werden. Dazu wird in einer Fruchtfolgerotation Wintergerste – Silomais - Winterweizen angebaut.

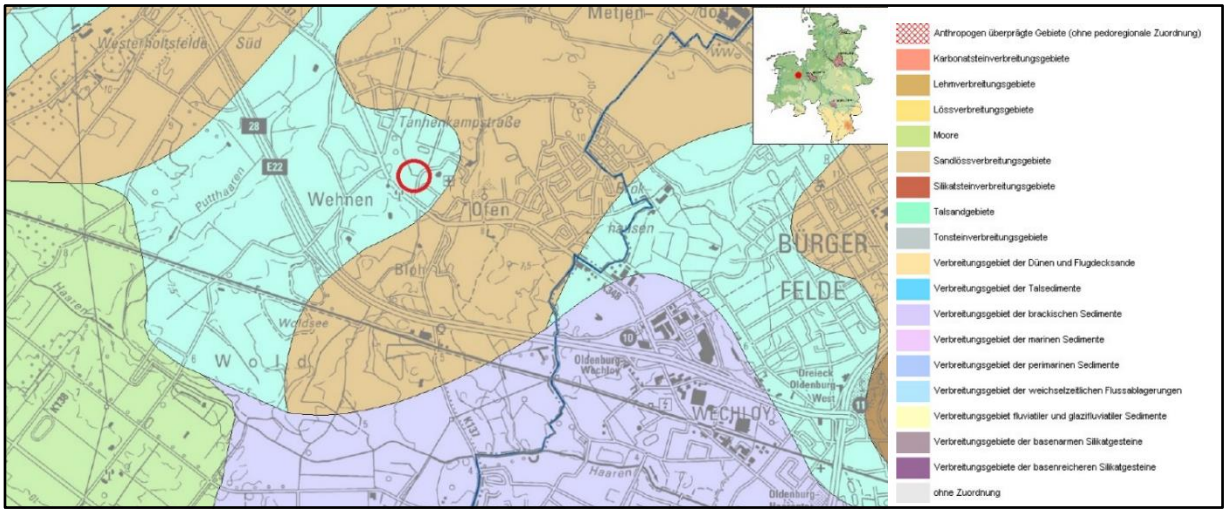

Abbildung 89: Lage des Versuchsstandortes in Wehnen mit Bodenlandschaften 1:500.000, Maßstab 1:16.000[1]

Bei den Wirtschaftsdüngern ist grundsätzlich zwischen Stallmist und Geflügelkot zu unterscheiden [*Abbildung 90*]. Stallmist ist ein stapelfähiges Gemisch aus Kot, Harn und Einstreu. Zusätzlich können Futtermittelreste sowie Reinigungs- und Niederschlagswasser enthalten sein. Ausschlaggebend für die Einordnung sind der Strohanteil und die N-Verfügbarkeit. Den Stallmisten werden Rinder-, Enten-, und Putenmist aufgrund ihrer Düngewirkung und des hohen Strohanteils zugeordnet. Demgegenüber findet man im Hähnchenmist in der Regel nur geringe Strohanteile. Er ist daher bezüglich der Düngewirkung dem Hühnertrockenkot, d.h. dem getrockneten Frischkot ohne Einstreu zuzuordnen.

[1] NIBIS Kartenserver LBEG

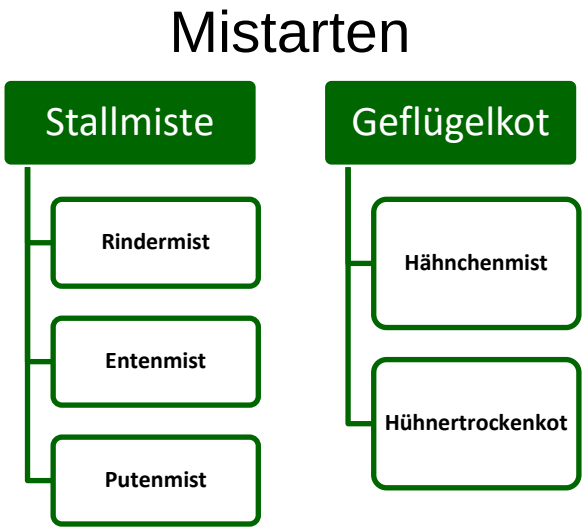

Abbildung 90: Unterscheidung der Mistarten bei Wirtschaftsdüngern

Im Versuchsjahr 2017 wurde Silomais nach Wintergerste am 27.04.2017 ausgesät. Am 26.01.2017 wurde eine Bodenuntersuchung vorgenommen, dabei ist die P-Versorgung des Bodens am Standort in Wehnen der Gehaltsklasse C zuzuordnen. Der Frühjahrs-N_{min}-Wert wurde am 23.03.2017 ermittelt und liegt bei 27 kg N_{min}/ha *[Tabelle 21]*.

Tabelle 21: Ergebnis der Boden- und N_{min}-Untersuchung der Versuchsfläche in Wehnen (Vers.-Nr. 421)

Bodenuntersuchungen Wehnen 2017					
Bodenart	Sand	**Ackerzahl**		35	
Bodenuntersuchung *[mg/ 100 g Boden]* 26.01.2017		**pH**	**P**	**K**	**Mg**
		5,1	7,0	5,0	6,0
	Gehaltsklasse		C	C	D
Frühjahrs-N_{min}-Wert *[kg Nmin/ha]*		**0-30 cm**	**30-60 cm**	**60-90 cm**	**0-90 cm**
23.03.2017		10	9	8	27

Naturgemäß unterliegen die TS- und Nährstoffgehalte in Festmisten größeren Schwankungen. Die für 2017 gültigen Richtwerte für Trockensubstanz, Gesamt-N und Phosphor sind in *Tabelle 22* dargestellt.

Tabelle 22: Gültige Richtwerte verschiedener Miste

	Trockensubstanz [%]	Gesamt-N [kg/t]	Phosphor (P_2O_5) [kg/t]
Putenmist	50	22	23
Entenmist	30	8	7
HTK	50	25	20
Hähnchenmist	50	24	21

Insgesamt werden 10 von insgesamt 30 Varianten des Versuchs [*Abbildung 91*] durch N_{min}-Untersuchungen nach der Ernte und zu Beginn der Sickerwasserspende begleitet, die sich in der Höhe und Form der N-Düngung unterscheiden. Dabei wird in einer mineralischen festen N-Düngestaffel (von 0 bis 300 kg N/ha in Abstufungen á 60 kg N/ha) die langfristige Auswirkung mineralischer N-Dünger zum Wirtschaftsdüngereinsatz verglichen. In den weiteren Varianten wird jeweils der Einsatz von Putenmist, Entenmist, Hühnertrockenkot und Hähnchenmist mit je 100 kg Gesamt-N und einer 60 kg Mineral-N Ergänzung untersucht.

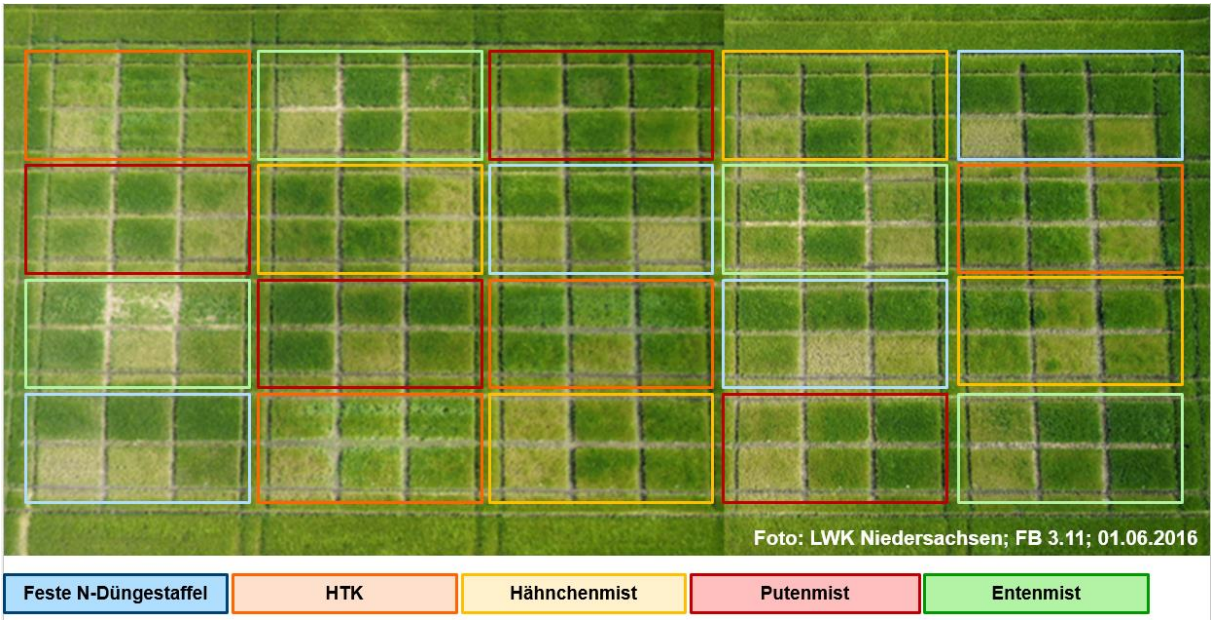

Abbildung 91: Luftbildaufnahme des Festmistversuchs mit Wintergerste in Wehnen vom 01.06.2016

3.6.2. Ergebnisse

3.6.2.1. N_{min}-Werte

Die Ernte des Silomais am Versuchsstandort Wehnen erfolgte am 12.10.2017. Bis zu einer N-Düngungshöhe von 120 kg N/ha unterschieden sich die Ernte-N_{min}-Gehalte (Probenahme 13.10.2017) mit Gehalten zwischen 20 und 24 kg N/ha nicht. Ab einer N Düngungshöhe von 180 kg N/ha stieg der ermittelte Ernte-N_{min} auf 75 kg N_{min}/ha bis auf 147 kg N_{min}/ha in der stark überdüngten Variante mit 300 kg N/ha an. In den mit 100 kg Gesamt-N/ha aus Festmist und mit 60 kg N/ha mineralisch über KAS ergänzten Düngungsvarianten gibt es z.T. große Unterschiede zwischen den Varianten. In der mit Hühnertrockenkot (HTK) gedüngten Variante liegt der Ernte-N_{min}-Gehalt bei 50 kg N_{min}/ha. In der mit strohreichem Entenmist (EM) gedüngten Variante wurde der niedrigste Wert mit 37 kg N_{min}/ha erreicht. Hähnchenmist (HM) bzw. Putenmist (PM) wiesen mit 91 bzw. 129 kg N_{min}/ha die höchsten N_{min}-Gehalte auf, welche vergleichbar mit der in der N-Düngestaffel 240 kg N/ha gedüngten Variante sind. Es ist zu beachten, dass an diesem Standort, wie regional auch in ganz Niedersachsen, bereits Sickerwasser und damit eine Nitratverlagerung vor dem Erntetermin aufgetreten ist. Hier kann u. U. der in Wehnen angelegte Versuch mit begleitenden Sickerwasseruntersuchungen durch das LBEG weitere Interpretationshilfe geben.

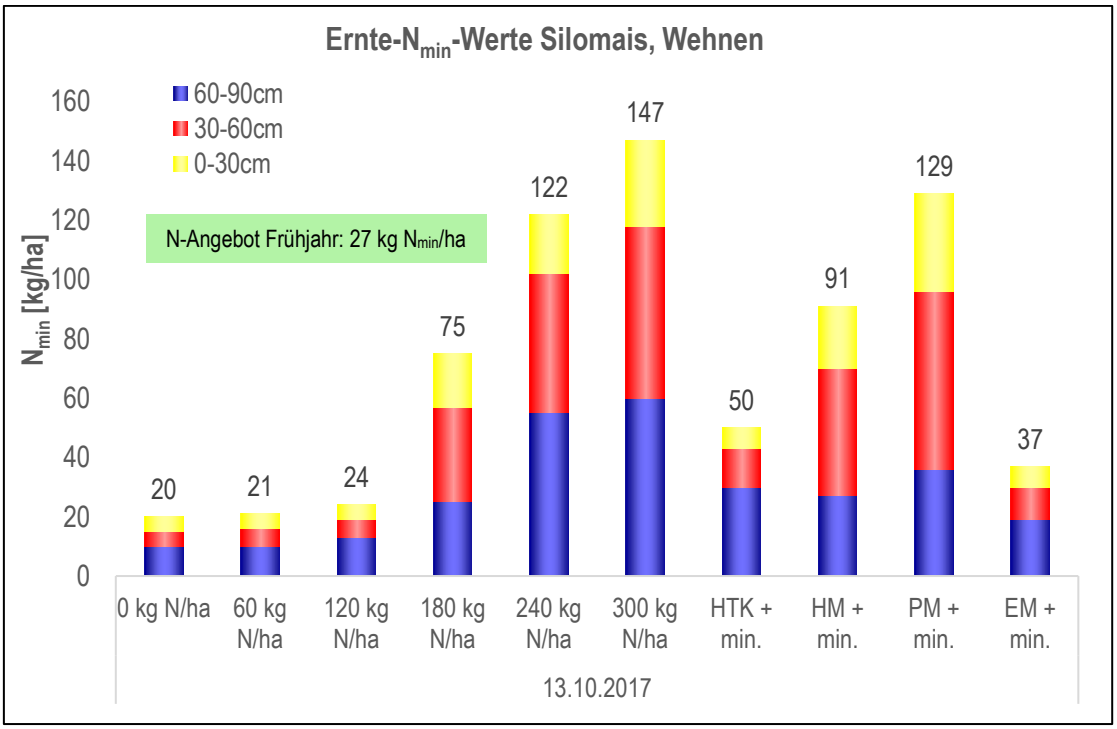

Abbildung 92: Ernte-N_{min}-Werte von Silomais bei unterschiedlich vorangegangener N-Düngung am Versuchsstandort Wehnen, 13.10.2017

Der zweite Probenahme-Termin wurde zur Erfassung einer evtl. weiteren Nachmineralisation bis zum Termin am 15.11.2017 durchgeführt. Während die N_{min}-Werte der mineralischen N-Düngestaffel annähernd gleich waren, konnte bei den organisch gedüngten Varianten eher eine Zunahme der N_{min}-Gehalte gemessen werden. So wurde bei der Variante mit Putenmist ein N_{min}-Gehalt festgestellt, der um

20 kg N_{min}/ha höher lag, als zum Termin direkt nach der Ernte, obwohl vermutlich bereits vor der Ernte eine Nitratverlagerung stattgefunden hat

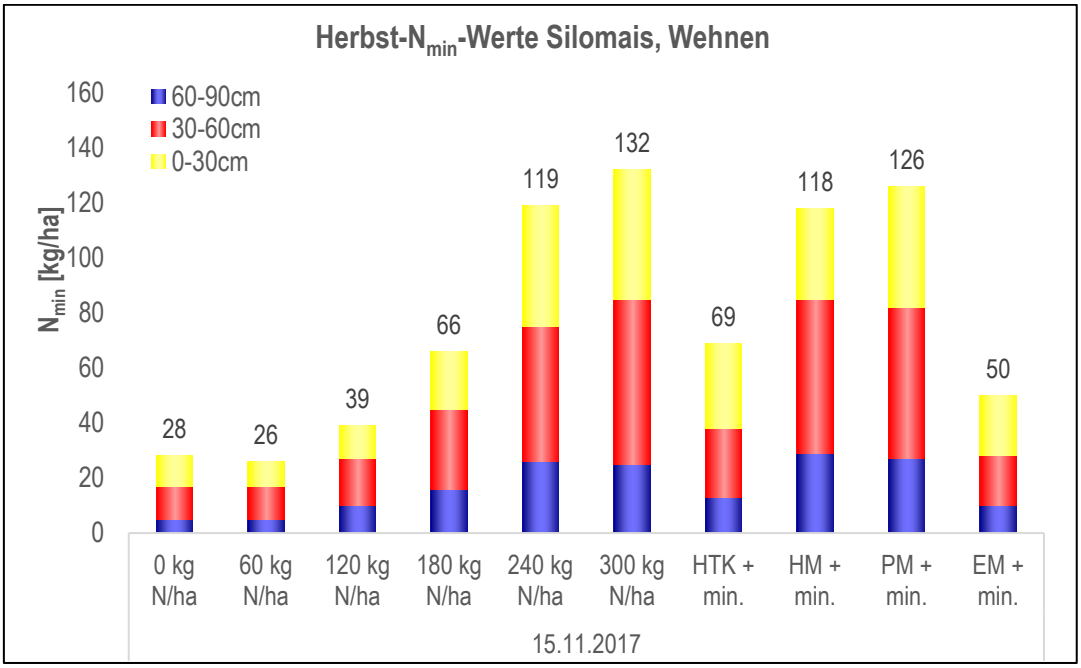

Abbildung 93: Herbst-N_{min}-Werte zu Silomais bei unterschiedlich vorangegangener N-Düngung am Versuchsstandort Wehnen, 15.11.2017

3.6.2.2. Erträge

Die Erträge der N-Düngungsstufen zeigen, dass mit zunehmender N-Düngung auch der Ertrag bis zu einer gewissen Menge ansteigt. Dieser nimmt allerdings ab einer N-Düngung von 180 kg N/ha wieder leicht ab [*Abbildung 94*]. Daher ist von einer Überdüngung über den empfohlenen Sollwert hinaus abzuraten, gleichzeitig würde dies zu einer überproportionalen Steigerung der N_{min}-Gehalte nach der Ernte führen [*Abbildung 95*]. Der höchste Ertrag wurde mit 235 dt TM/ha in der mit HTK kombinierten Variante erreicht. Bei den untersuchten Mistarten wirken der Hühnertrockenkot und der Putenmist in Bezug auf den Ertrag zu Silomais am besten. Mit einer N-Düngung über Hähnchenmist konnten im Vergleich die geringsten Erträge von 213 dt TM/ha erzielt werden. Die Rohproteingehalte liegen insgesamt zwischen 6,1 % (N-Düngung: 60 kg N/ha) und 7,9 % (HM + min.).

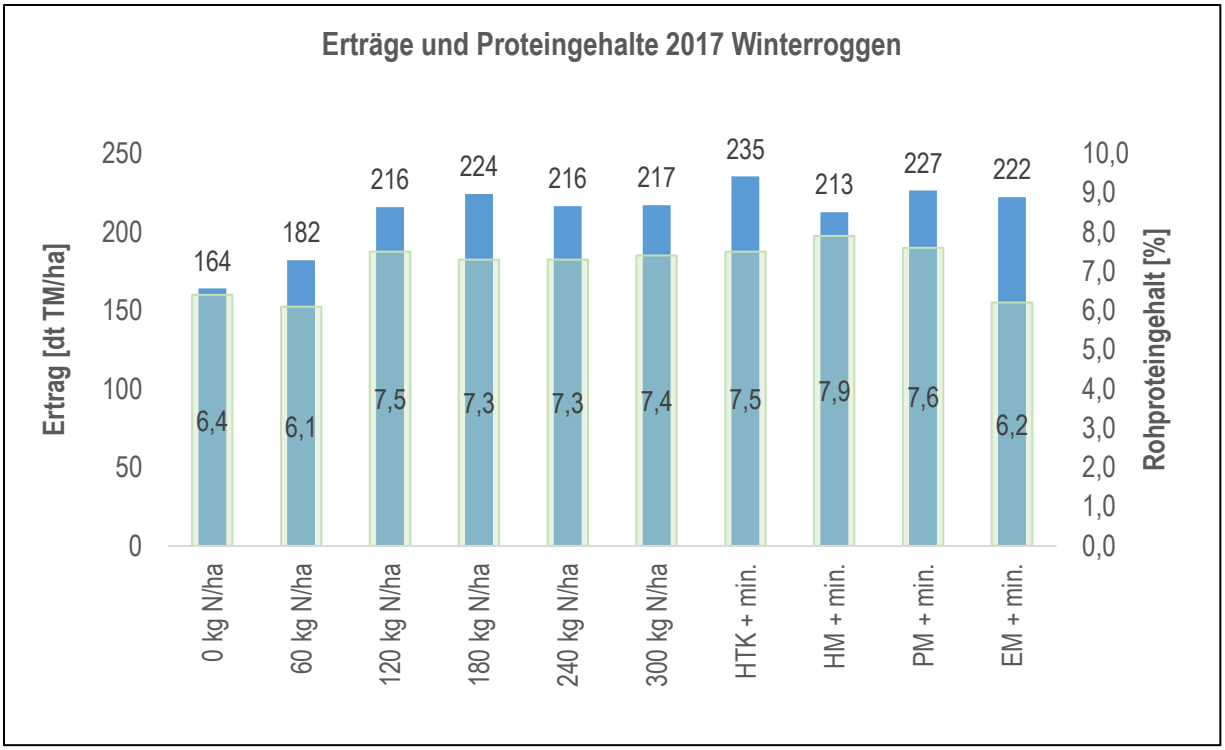

Abbildung 94: Erträge und Rohproteingehalte von Silomais bei unterschiedlichen Varianten zur mineralischen und organisch-mineralischen N-Düngung am Versuchsstandort in Wehnen, 2017

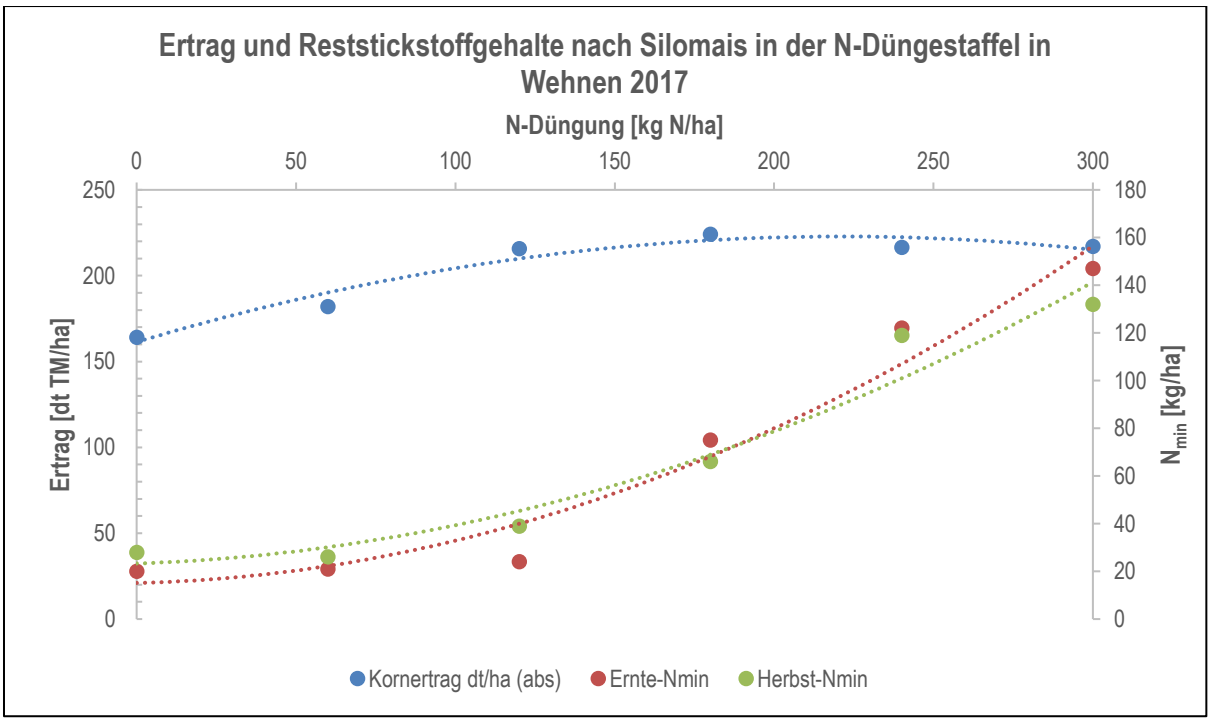

Abbildung 95: Ertrag, Ernte- und Herbst-N_{min}-Werte nach Silomais in der N-Düngestaffel in Wehnen 2017

3.6.3. Zusammenfassung

Welchen Einfluss hat die N-Düngung unterschiedlicher Festmiste auf die Reststickstoffgehalte nach der Ernte und im Herbst im Boden?

In einem Versuch in Wehnen wird die langfristige Auswirkung mineralischer N-Dünger untersucht. In weiteren Varianten wird der Einsatz von Putenmist, Entenmist, Hühnertrockenkot und Hähnchenmist mit je 100 kg Gesamt-N und einer 60 kg Mineral-N Ergänzung untersucht. Im Versuchsjahr 2017 wurde Silomais angebaut.

Die Reststickstoffgehalte im Boden nach der Ernte liegen im Versuchsjahr 2017 auf einem Niveau zwischen 20 und 147 kg N_{min}/ha. Die geringsten Gehalte sind unter der ungedüngten (20 kg N_{min}/ha) vorzufinden. In der N-Düngestaffel wird die Zunahme der Rest-Stickstoffgehalte im Boden nach der Ernte mit zunehmender N-Düngung deutlich, was typisch für die Kultur Silomais ist. Dabei steigen die N_{min}-Werte bei einer N-Düngung mit mehr als 120 kg N/ha stark an. In den organisch-mineralisch gedüngten Varianten liegt der N_{min}-Wert in der mit HTK gedüngten Varianten mit 50 kg N_{min}/ha und in der Varianten mit EM mit 37 kg N_{min}/ha im Vergleich am niedrigsten. Der Einfluss der N-Düngungsstufen ist auch in den N_{min}-Werten Mitte November deutlich erkennbar, die Werte unterscheiden sich nur gering von den Reststickstoffgehalten nach der Ernte.

Es stimmt bedenklich, dass auf dem Versuchsstandort Wehnen in 2017 die Puten- und Hähnchenmiste trotz bedarfsgerechter N-Düngung hohe Rest-N_{min}-Werte nach der Ernte hinterlassen haben. In Trinkwassergewinnungsgebieten sollten Miste aus Vorsorgegründen daher nur mengenmäßig begrenzt eingesetzt werden.

Welche Auswirkungen haben unterschiedliche Festmistarten und Ausbringungszeitpunkte auf Ertrag, Produktqualität und N-Dynamik im Boden?

Die Erträge der mineralischen N-Düngungsstufen zeigen, dass mit zunehmender N-Düngung auch der Ertrag bis zu einer gewissen Menge ansteigt. Dieser stagniert allerdings ab einer N-Düngung von 180 kg N/ha bei 224 dt TM/ha. Daher ist von einer Überdüngung über den empfohlenen Sollwert hinaus abzuraten, gleichzeitig würde dies zu einer überproportionalen Steigerung der N_{min}-Gehalte nach der Ernte führen. Bei den untersuchten Mistarten wirken HTK und PM in Bezug auf den Ertrag bei Silomais am besten und erreichten Erträge zwischen 227 und 235 dt TM/ha. Mit einer N-Düngung über HM konnten im Vergleich die geringsten Erträge von 213 dt TM/ha erzielt werden. Wie sich die N-Düngung durch die organische N-Düngung der Miste langfristig auf die N-Dynamik auswirkt, bleibt abzuwarten. In 2019 soll eine langjährige Auswertung der vorhandenen Versuchsergebnisse erfolgen und auf der Seite der LWK veröffentlich werden.

3.7. Einfluss organischer N-Düngung auf Winterroggen (401)

Versuchsfragen:

- Wie wirkt sich eine **organische N-Düngung** im Vergleich zur mineralischen auf die Reststickstoffgehalte im Boden nach der Ernte und zu Beginn der Sickerwasserspende aus?

3.7.1. Versuchsaufbau und Durchführung

Am Standort in Wehnen [*Abbildung 96*] wird seit 2006 die Auswirkung einer organischen und organisch-mineralischen N-Düngung im Vergleich zu einer rein mineralischen N-Düngung auf die Rest-Stickstoffgehalte im Boden nach der Ernte, die N-Dynamik im Boden, die Erträge und die Qualitätsparameter untersucht.

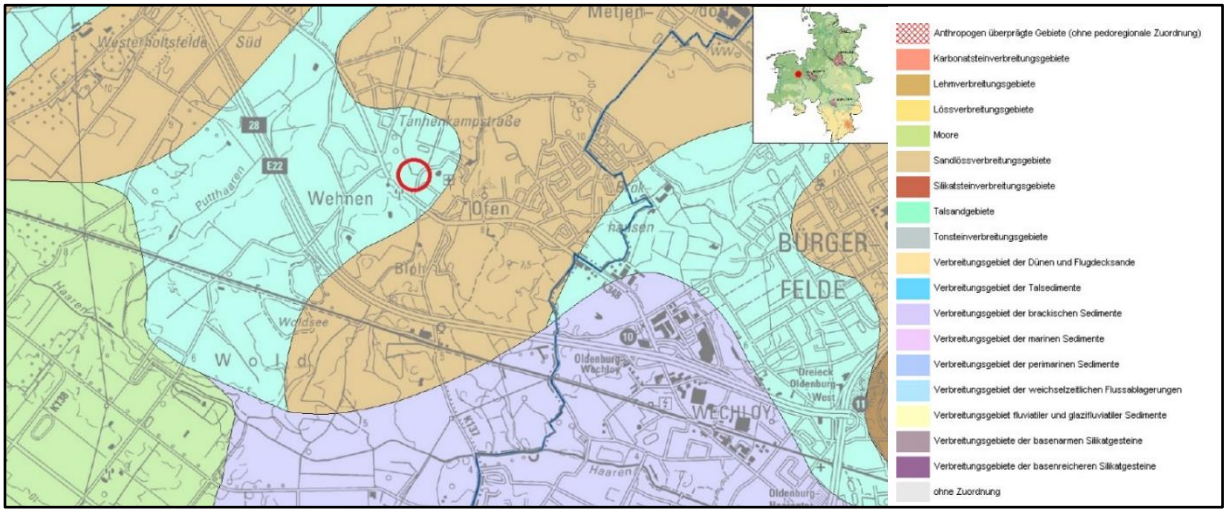

Abbildung 96: Lage des Versuchsstandortes in Wehnen mit Bodenlandschaften 1:500.000, Maßstab 1:16.000[1]

Der Standort in Wehnen ist ein Sandstandort mit der Ackerzahl 35. Aufgrund der langjährigen organischen Düngung und der standörtlich bedingten N-Nachlieferung liegt der P-Gehalt bei 7,0 mg/ 100 g Boden (Bodenuntersuchung vom 26.01.2017) [*Tabelle 23*]. N_{min}-Untersuchungen werden in einer festen N-Düngestaffel, bei N-Sollwertdüngung und in einer Variante mit organisch-mineralischer Düngung durchgeführt [Versuchsvarianten mit N-Angebot sind in *Tabelle 24* dargestellt]. Der Frühjahrs-N_{min}-Wert wurde am 03.02.2017 mit 69 kg N_{min}/ha ermittelt. Die Aussaat des Winterroggens (Sorte: SU Mephisto) erfolgte am 02.10.2016.

[1] NIBIS Kartenserver LBEG

Tabelle 23: Ergebnis der Boden- und N_{min}-Untersuchung der Versuchsfläche in Wehnen (Vers.-Nr. 401)

Bodenuntersuchungen Wehnen 2017				
Bodenart	Sand			
Ackerzahl	35			
Bodenuntersuchung *[mg/ 100 g Boden]* 26.01.2017	**pH**	**P**	**K**	**Mg**
	5,1	7,0	4,0	4,0
Gehaltsklasse		C	B	C
Frühjahrs-N_{min}-Wert *[kg N_{min}/ha]*	**0-30 cm**	**30-60 cm**	**60-90 cm**	**0-90 cm**
03.02.2017	6	25	38	69

Tabelle 24: N-Angebot (N-Düngung inkl. N_{min}) der Varianten des Versuchs in Wehnen (Vers.-Nr. 401)

Nr.	Variante	N-Angebot
1	ohne Düngung	69 kg N/ha
2	50 kg N/a	119 kg N/ha
3	100 kg N/ha	169 kg N/ha
4	150 kg N/ha	219 kg N/ha
5	200 kg N/ha	269 kg N/ha
6	Sollwertvariante	150 kg N/ha
9	120 kg Gesamt-N aus Schweinegülle + 60 kg N/ha min. (geteilte Gabe)	212 kg N/ha

3.7.2. Ergebnisse

3.7.2.1. N_{min}-Werte

Die Ernte-N_{min}-Werte (07.08.2017) nach Winterroggen lagen in den Varianten der mineralisch gedüngten N-Düngestaffel bis zu einer N-Düngung von 150 kg N/ha zwischen 26 kg N_{min}/ha und 35 kg N_{min}/ha. Bei der Variante mit der höchsten N-Düngung konnte jedoch ein für Winterroggen eher untypischer Anstieg des Ernte-N_{min}-Wertes auf 76 kg N_{min}/ha (davon rd. 30 kg N/ha in der Schicht 60 bis 90 cm) beobachtet werden. Der niedrigste Ernte-N_{min}-Wert wurde in den Varianten mit 50 kg N/ha und in der Kontrollvariante „ungedüngt“ ermittelt. In der Sollwertvariante (190 kg N/ha) lag der Ernte-N_{min}-Wert bei 32 kg N_{min}/ha. Der Ernte-N_{min}-Wert in der Variante mit organischer Düngung entsprach mit 29 kg N_{min}/ha dem Ernte-N_{min}-Wert bei mineralischer N-Düngung in vergleichbarer Höhe [*Abbildung 97*].

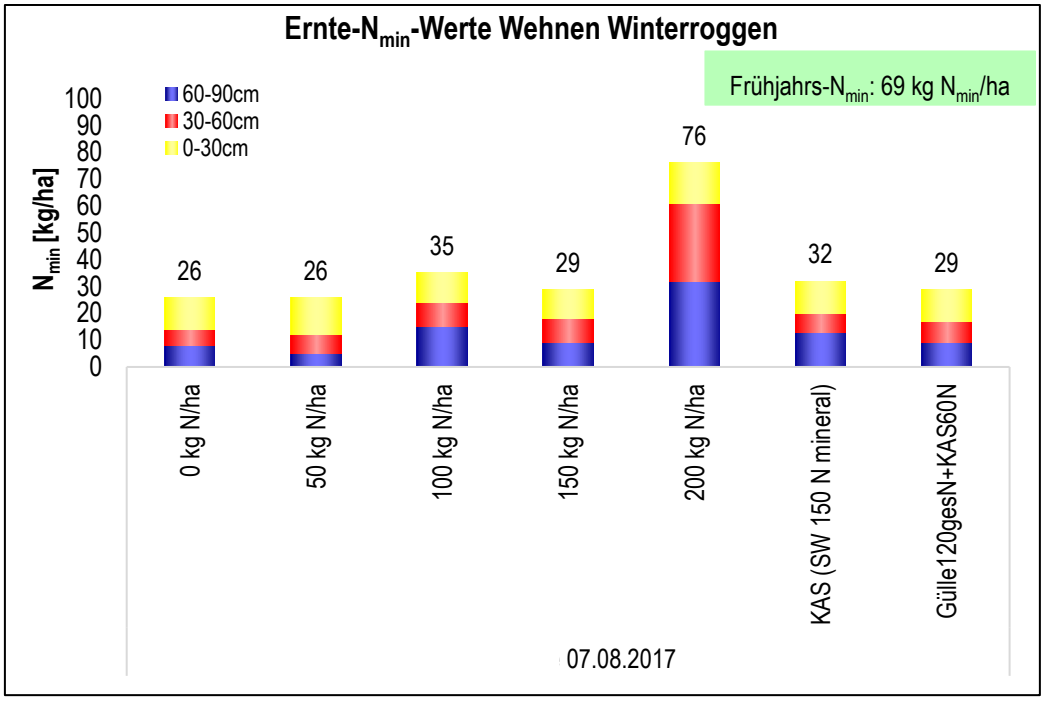

Abbildung 97: Ernte-N_{min}-Werte von Winterroggen bei unterschiedlich vorangegangener N-Düngung am Versuchsstandort Wehnen, 07.08.2017

Der zweite Probetermin im Herbst (14.11.2017) wurde durchgeführt, um ggf. eine Nachmineralisation zu erfassen. Dabei lagen die Herbst-N_{min}-Werte auf gleichem Niveau zwischen 45 und 51 (überdüngte Variante) kg N_{min}/ha. Hier hatte vom Zeitpunkt der Ernte bis zum zweiten Probetermin eine N-Mineralisation im Boden stattgefunden. In der mit 200 kg N/ha gedüngten Variante nahmen die Rest-N_{min}-Gehalte allerdings ab. Um beurteilen zu können, inwieweit eine Auswaschung die N-Mineralisationseffekt überlagert hat, kann der Abgleich mit den ergänzenden Sickerwasseruntersuchungen durch das LBEG in den Wasserschutzversuchen vergleichbarer Standorte helfen.

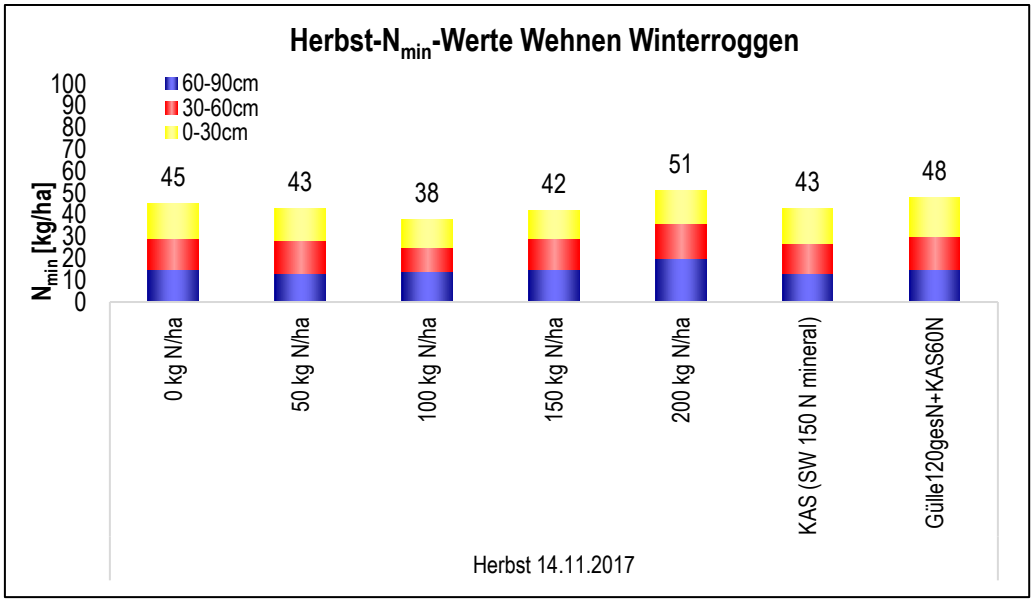

Abbildung 98: Herbst-N_{min}-Werte von Winterroggen bei unterschiedlich vorangegangener N-Düngung am Versuchsstandort Wehnen, 14.11.2017

3.7.2.2. Erträge

Die Erträge der N-Düngungsstufen zeigen, dass bis zu einer Düngung von 150 kg N/ha der Ertrag ansteigt. Bei einer N-Düngung von 200 kg N/ha ist kein weiterer Ertragszuwachs zu beobachten und der Ertrag sinkt leicht auf 101 dt TM/ha. Bei der N-Düngung nach Sollwert liegt der Ertrag mit 100 dt TM/ha unter dem Ertrag, der durch eine Düngung mit 150 kg N/ha erreicht werden kann (108 dt TM/ha). Die Rohproteingehalte in diesem Versuch schwanken auf einem Niveau zwischen 9,4 % (N-Düngung 50 kg N/ha und Gülle 120 ges.-N) und 12,7 % (N-Düngung 200 kg N/ha).

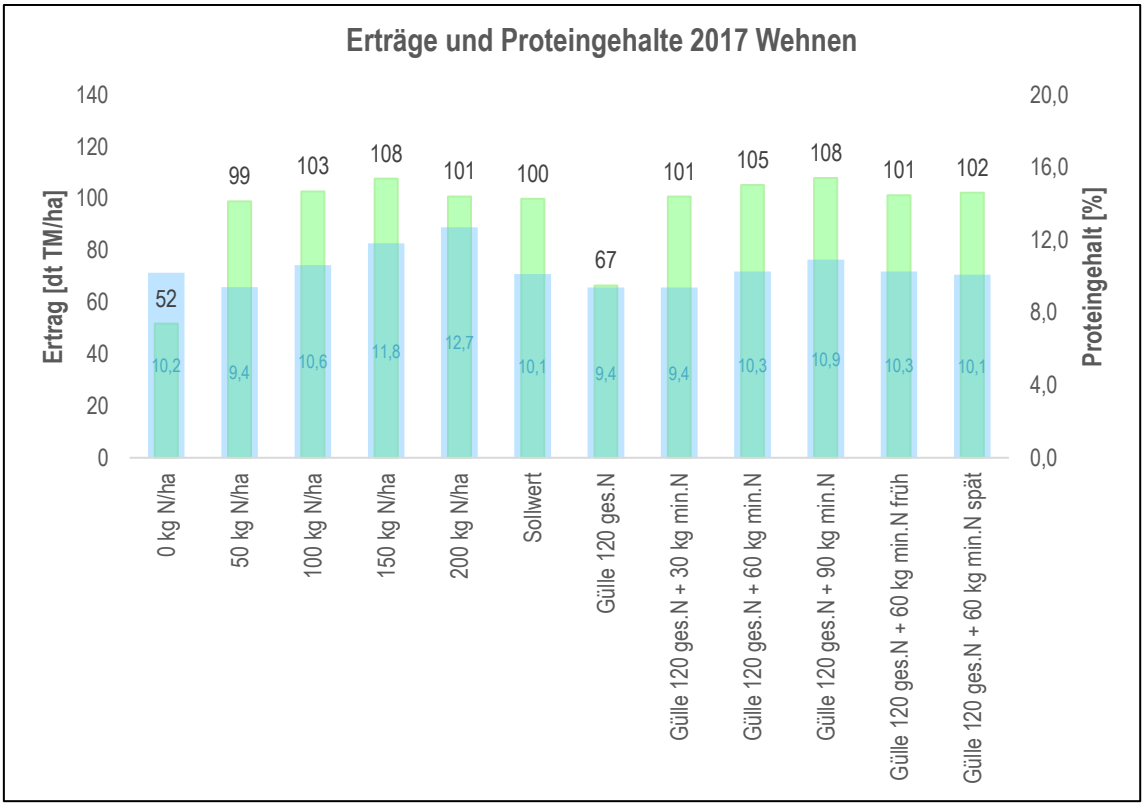

Abbildung 99: Erträge und Rohproteingehalte von Winterroggen bei unterschiedlichen Varianten zur mineralischen, organischen und organisch-mineralischen N-Düngung am Versuchsstandort in Wehnen, 2017

3.7.2.3. Ertragsoptimum und N-MDÄ

Neben dem Ertragsoptimum, das aus der Funktion der N-Düngestaffel abgeleitet wird, wurde die N-MDÄ für die Variante mit 120 kg Gesamt-N aus organischer N-Düngung (Schweinegülle) berechnet [*siehe 2.2 und 2.3*].

Das errechnete N-Düngungsoptimum lag in 2017 bei 122 kg N/ha bei einem errechneten Ertragsoptimum von knapp 110 dt TM/ha.

Die errechnete Wirksamkeit der Schweinegülle bei einer organischen N-Düngung von 120 kg Gesamt-N lag bei 11 %. So konnte im Vergleich zu der mit 120 kg N/ha mineralische gedüngten Variante nur ein Ertrag von 67 dt TM/ha erzielt werden [*Abbildung 100*].

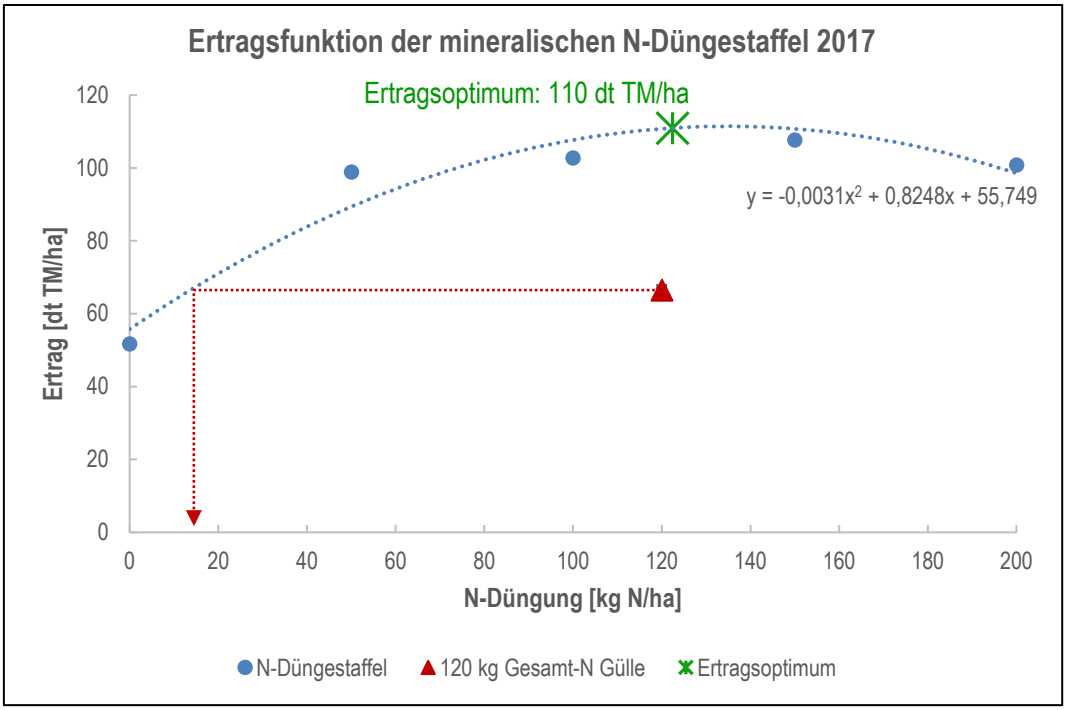

Abbildung 100: Ertragsfunktion der mineralischen N-Düngestaffel, Ertragsoptimum und N-Mineraldüngeräquivalente von Schweinegülle bei Winterroggen am Versuchsstandort Wehnen in 2017

3.7.3. Zusammenfassung

Wie wirkt sich eine organische N-Düngung im Vergleich zur mineralischen auf die Reststickstoffgehalte im Boden nach der Ernte und zu Beginn der Sickerwasserspende aus?

In einem Versuch in Wehnen wird die langfristige Auswirkung mineralischer, organischer und organisch-mineralischer N-Dünger untersucht. Aufgrund der langjährigen organischen Düngung und der standörtlich bedingten N-Nachlieferung liegt der P-Gehalt bei 9,0 mg/ 100 g Boden.

Die Ernte-N_{min}-Werte nach Winterroggen lagen in den Varianten der mineralisch gedüngten N-Düngestaffel bis zu einer N-Düngung von 100 kg N/ha einheitlich zwischen 41 kg N_{min}/ha und 44 kg N_{min}/ha. Bei einer weiteren Erhöhung der N-Düngung konnte ein für Winterroggen untypischer, deutlicher Anstieg der Ernte-N_{min}-Werte beobachtet werden. Der niedrigste Ernte-N_{min}-Wert wurde in der Variante mit N-Sollwertdüngung erreicht. Daher ist von einer Überdüngung über den empfohlenen Sollwert hinaus abzuraten, gleichzeitig würde dies zu einer überproportionalen Steigerung der N_{min}-Gehalte nach der Ernte führen. Bei den untersuchten Varianten zur organischen und organisch-mineralischen N-Düngung ist in Bezug auf die Höhe der N-Düngung auch mit steigender Höhe ein Ertragszuwachs beim Winterroggen zu erkennen.

3.8. Auswirkungen der Stickstoffdüngung auf Winterraps (653)

Versuchsfragen:

- Wie wirken sich **unterschiedliche N-Düngungshöhen** auf die Reststickstoffgehalte im Boden nach der Ernte und zu Beginn der Sickerwasserspende im Rapsanbau aus?

3.8.1. Versuchsaufbau und Durchführung

In einem Pflanzenbauversuch der Landwirtschaftskammer Niedersachsen zur N-Düngung von Winterraps wurden 2017 an zwei Versuchsstandorten in Astrup (LK Osnabrück) und Otterham (LK Aurich) Untersuchungen zu den Reststickstoffgehalten im Boden nach der Ernte durchgeführt. Um die Auswirkungen der Höhe der N-Düngung auf den Ernte-N_{min}-Wert zu erfassen, wurden jeweils eine ungedüngte Variante, eine Variante mit N-Sollwertdüngung, zwei Varianten mit reduzierter N-Sollwertdüngung und eine Variante mit Düngung über dem N-Sollwert untersucht [*Tabelle 26*]. Zusätzlich dazu kam am Versuchsstandort Astrup die Deckung des Sollwertes nur durch organische Düngemittel, in diesem Falle Gülle, als Vergleich. In Astrup wurde die Sorte Avatar angebaut, in Otterham die Sorte Raptor. Zudem unterscheiden sich die Versuchsstandorte insbesondere durch ihre Standorteigenschaften und die damit verbundene unterschiedliche N-Nachlieferung [*Tabelle 25*].

Tabelle 25: Standorteigenschaften der Versuchsstandorte Astrup und Otterham

Standort	Ackerzahl	Bodenart	pH	P	K	Mg
				[mg/100 g]		
Astrup	54	lS	6,3	6,0	15,0	6,0
Otterham	85	uT	6,6	9,0	10,0	8,0

Tabelle 26: N-Angebot (N-Düngung inkl. N_{min}) der Varianten der Versuchsstandorte Astrup und Otterham in 2017 (Vers.-Nr. 653)

Nr.	Variante	N-Angebot Astrup	N-Angebot Otterham
1	ohne N-Düngung	16 kg N/ha	23 kg N/ha
2	SW -60 kg N/ha	140 kg N/ha	140 kg N/ha
3	SW -30 kg N/ha	170 kg N/ha	170 kg N/ha
4	SW	200 kg N/ha	200 kg N/ha
5	SW +30 kg N/ha	230 kg N/ha	230 kg N/ha

3.8.2. Ergebnisse

3.8.2.1. Astrup

Der Standort in Astrup ist ein sandiger Lehm mit der Ackerzahl 52. Die Aussaat erfolgte am 28.08.2016. Am 01.02.2017 wurde am Versuchsstandort in Astrup ein Frühjahrs-N_{min}-Wert von 16 kg N_{min}/ha ermittelt.

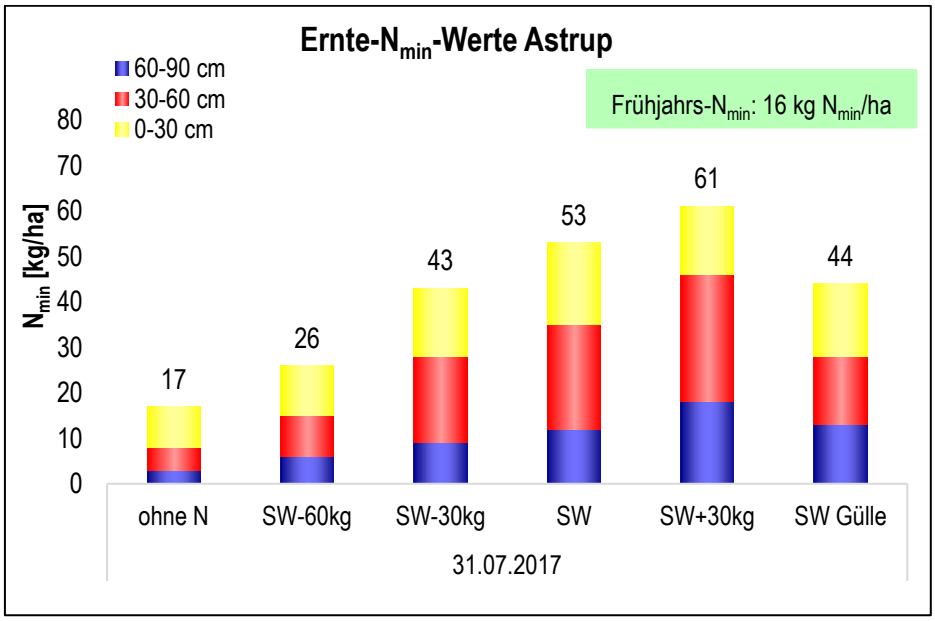

Abbildung 101: Ernte-N_{min}-Werte nach Winterraps am Versuchsstandort Astrup 2017

Die Ernte-N_{min}-Werte am 31.07.2017 lagen insgesamt auf einem Niveau zwischen 17 kg N_{min}/ha und 61 kg N_{min}/ha. Dabei wird deutlich, dass mit steigender N-Düngung auch der Ernte-N_{min}-Wert zugenommen hat. Die nach Sollwert (Sollwert 2017: 184 kg N/ha) mit Schweinegülle organisch gedüngte Variante wies mit 44 kg N_{min}/ha einen etwas geringeren N_{min}-Gehalt nach der Ernte auf, als die rein mineralisch gedüngte Sollwert-Variante mit 53 kg N_{min}/ha. In Astrup handelt es sich um einen sandigen Lehm mit rel. hohem Tonanteil. Dieser Standort ist bisher nicht organisch gedüngt. Unter anderem auf Grund des rel. hohen Tonanteiles weist der Standort eine geringe bis mittlere Mineralisationsrate auf und ist in der Stickstoffnachlieferung je nach Witterungsverhältnissen eher verhalten. Unter den diesjährigen Witterungsbedingungen mit z.T. extremen und heftigen Niederschlägen kann es auf diesem Standort zur Verschlämmung mit nachfolgender Dichtlagerung im Oberboden kommen. Dadurch ist die Mineralisation sehr eingeschränkt und die Werte bleiben häufig auf relativ niedrigem Niveau.

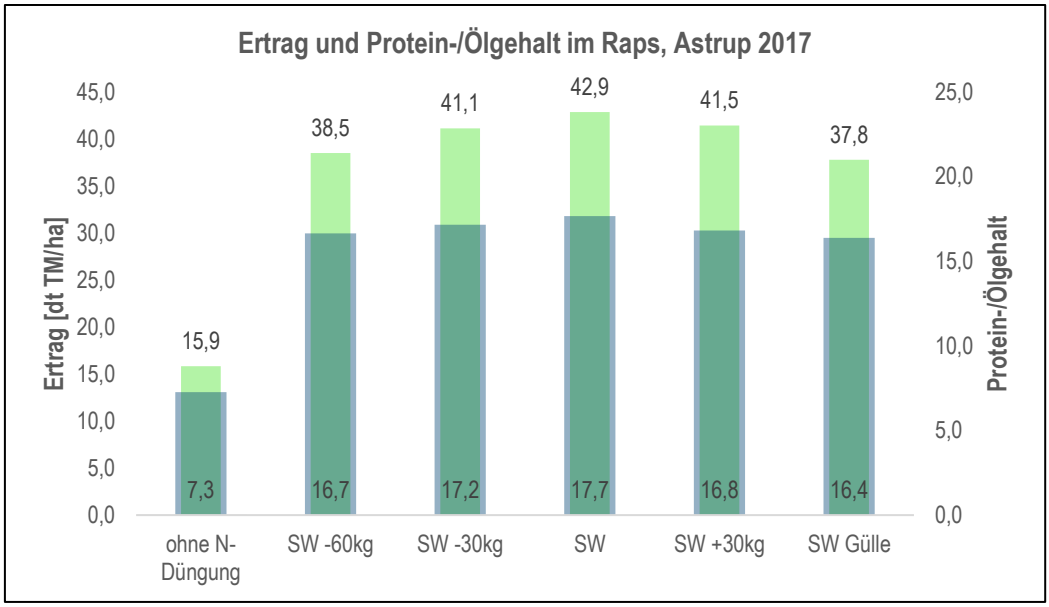

Abbildung 102: Korn- und Ölertrag von Winterraps am Versuchsstandort Astrup, 2017

Die Erträge am Standort Astrup liegen zwischen 15,9 dt TM/ha in der ungedüngten Variante und 42,9 dt TM/ha bei der nach N-Sollwert gedüngten Variante. Die Variante Sollwertdüngung nur durch organische Düngemittel erreicht einen Ertrag von 37,8 dt TM/ha. Auch der Protein-/Ölgehalt ist in der nach Sollwert gedüngten Variante am höchsten und liegt hier bei 17,7 dt/ha. Bei der Variante mit organischer Düngung wird ein Ölertrag von 16,4 dt/ha erreicht [*Abbildung 102*].

3.8.2.2. Otterham

Der Standort Otterham ist ein Marschboden mit vorherrschender Bodenart schluffiger Ton (Ackerzahl 85). Am 26.01.2017 wurde ein Frühjahrs-N_{min}-Wert von 23 kg N_{min}/ha ermittelt.

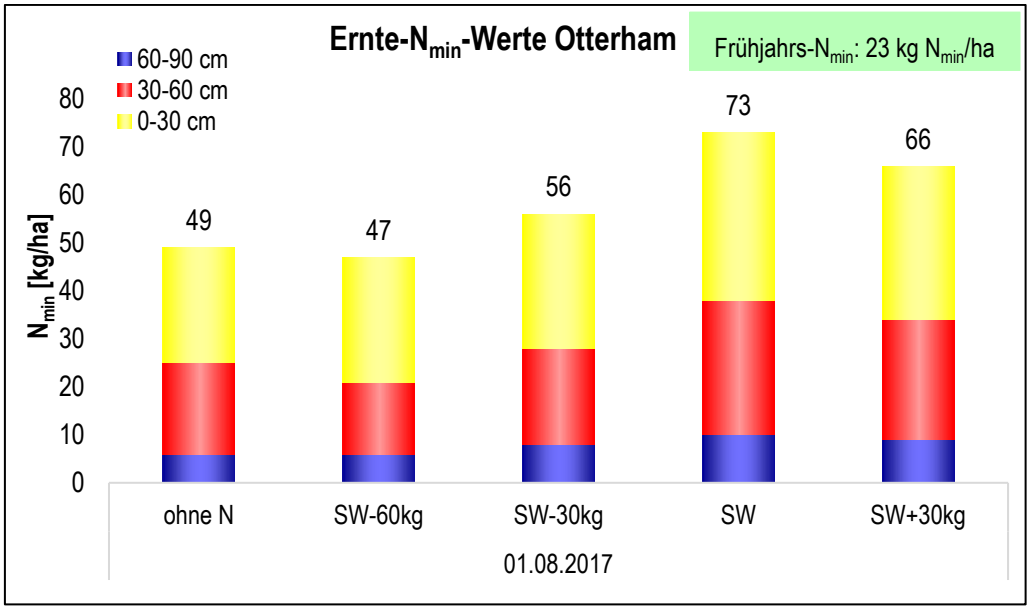

Abbildung 103: Ernte-N_{min}-Werte nach Winterraps am Versuchsstandort Otterham 2017

Die höchsten Ernte-N_{min}-Werte nach Winterraps traten unter der nach Sollwert (177 kg N/ha) gedüngten Variante mit 73 kg N_{min}/ha auf. In allen anderen Varianten liegen die N_{min}-Werte zwischen 47 kg N_{min}/ha und 66 kg N_{min}/ha. Die vollständige Auswertung der N-Entzüge bleibt abzuwarten, um die Ergebnisse der Ernte-N_{min}-Untersuchungen abschließend beurteilen zu können und eine Nachlieferung an die Folgekultur oder Zwischenfrucht abschätzen zu können. Der Standort Otterham ist ein Marschboden mit vorherrschender Bodenart schluffiger Ton. Diese Böden liefern aufgrund hoher Nt-Gehalte ebenfalls viel Stickstoff nach. Zudem wurde dieser Standort bereits langjährig organisch gedüngt. In 2016 lagen die N_{min}-Werte allerdings auf einem höheren Niveau. Aufgrund der Witterungsverhältnisse in 2017 kann also davon auszugehen sein, dass bereits vor dem N_{min}-Probenahme-Termin der Ernte eine Nitratverlagerung stattgefunden hat [*Abbildung 103*].

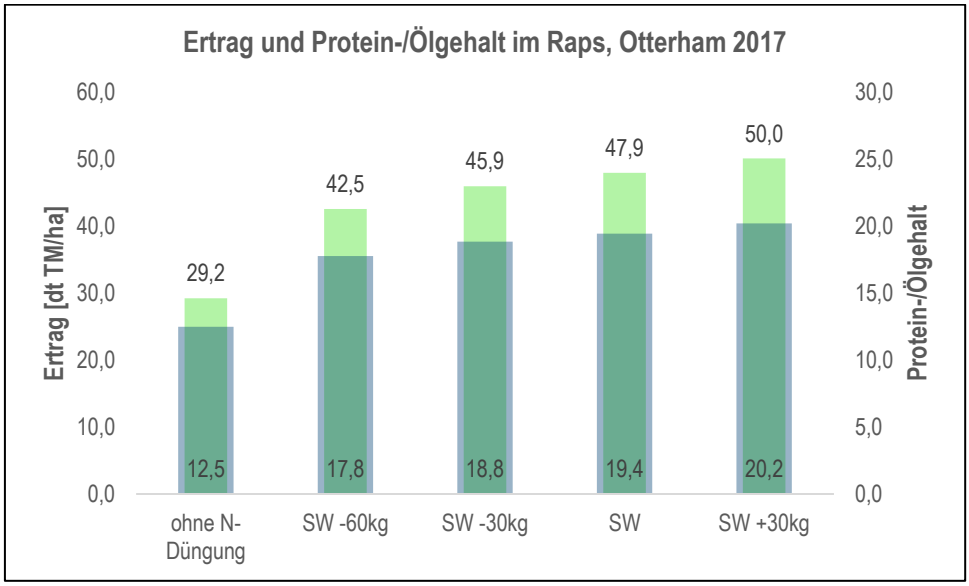

Abbildung 104: Korn- und Ölertrag von Winterraps am Versuchsstandort Otterham, 2017

Die Erträge in Otterham liegen zwischen 29,2 dt TM/ha in der Variante ohne N-Düngung und 50 dt TM/ha bei der Sollwert + 30 kg N/ha gedüngten Variante. Der Ölertrag liegt zwischen 12,5 dt/ha (ohne N-Düngung) und 20,2 dt/ha (Solltwert+30 kg N/ha). Im Vergleich zum Ver-suchsstandort in Astrup werden hier deutlich höhere Werte erreicht.

3.8.3. Zusammenfassung

Wie wirken sich unterschiedliche N-Düngungshöhen auf die Reststickstoffgehalte im Boden nach der Ernte und zu Beginn der Sickerwasserspende im Rapsanbau aus?

Das N_{min}-Niveau der Böden und der Flächenbewirtschaftung wird durch die Ernte-N_{min}-Werte an den Versuchsstandorten widergespiegelt. Die N_{min}-Werte nach der Ernte am Standort Astrup liegen zwischen 17 und 61 kg N_{min}/ha. Bei der Variante Sollwert Gülle konnte im Vergleich zur Variante der Deckung des Sollwertes durch mineralische Düngung ein niedrigerer Ernte-N_{min}-Wert festgestellt werden. Obwohl der Sollwert am Standort in Otterham niedriger liegt als am Standort in Astrup werden hier höhere Ernte-N_{min}-Werte gemessen. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass es sich beim Standort Otterham um einen langjährig gedüngten Marschstandort handelt und somit auch die N-Nachlieferung an dem Standort eine Rolle spielt. Auch die Höhe des Ertrags an diesem Standort ist höher als in Astrup.

4. Anhang

4.1. Klimadaten

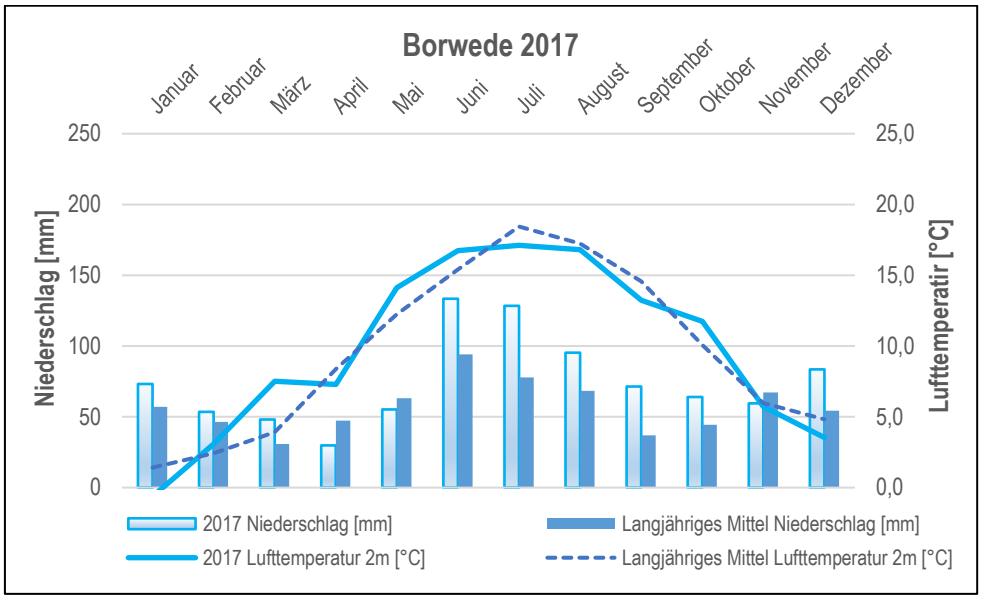

Abbildung 105: Versuchsstandort Borwede Klimadaten 2017 und im langjährigen Mittel

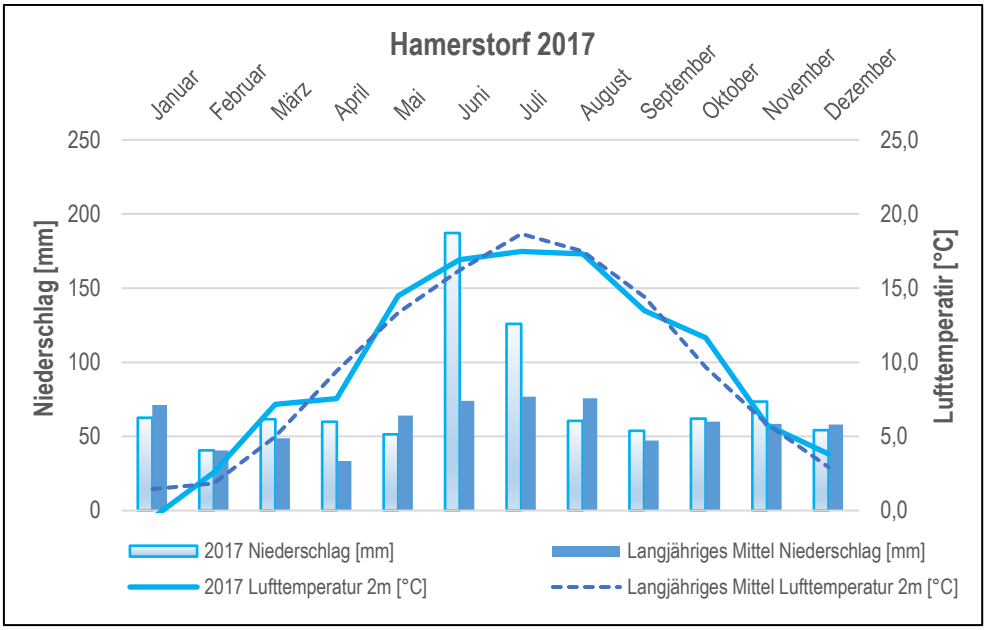

Abbildung 106: Versuchsstandort Hamerstorf Klimadaten 2017 und im langjährigen Mittel

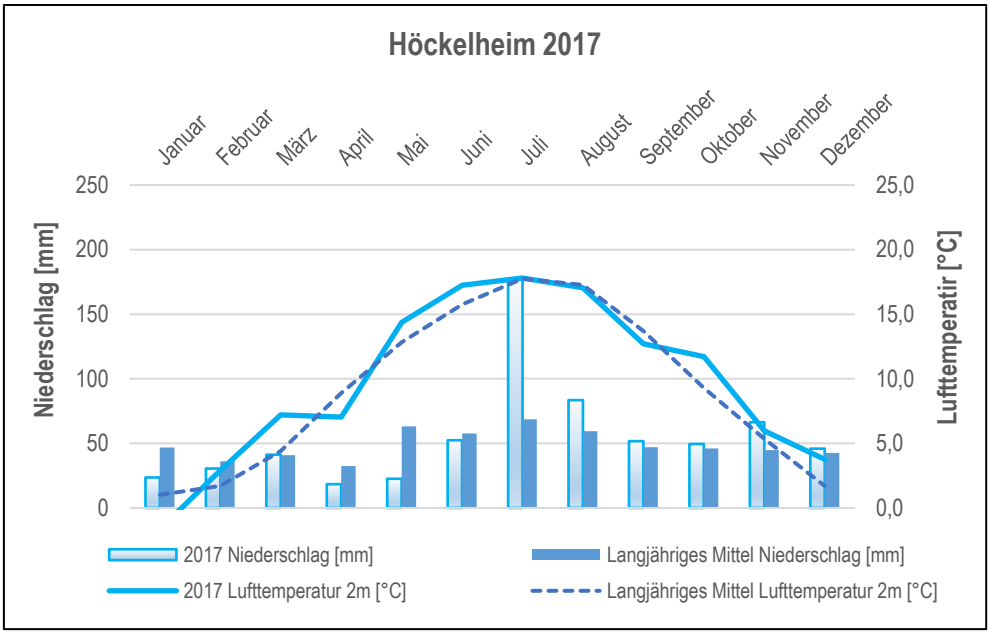

Abbildung 149: Versuchsstandort Höckelheim Klimadaten 2017 und im langjährigen Mittel

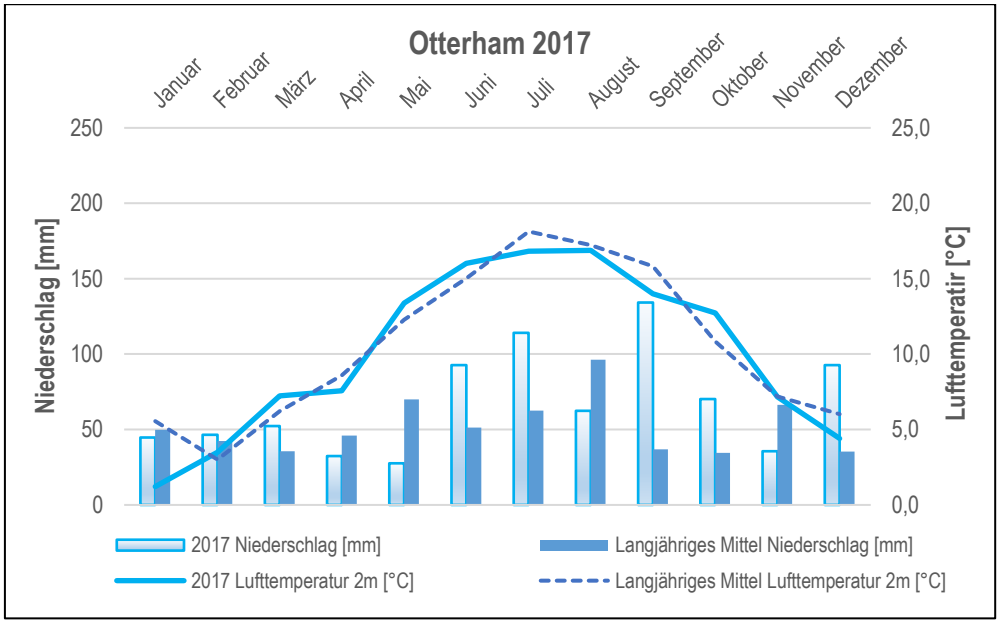

Abbildung 149: Versuchsstandort Otterham Klimadaten 2017 und im langjährigen Mittel

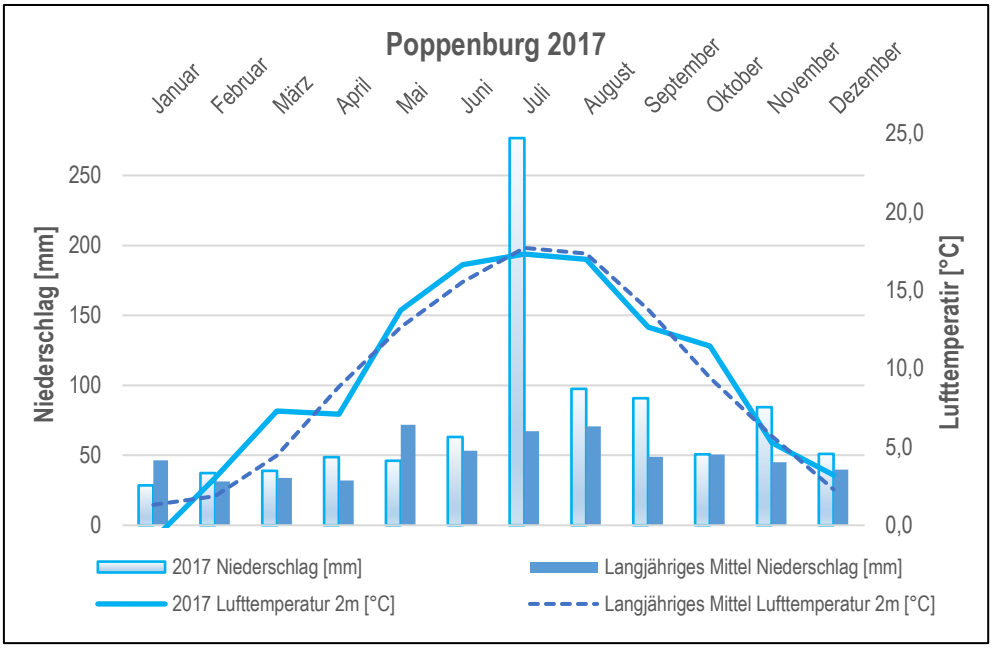

Abbildung 107: Versuchsstandort Poppenburg Klimadaten 2017 und im langjährigen Mittel

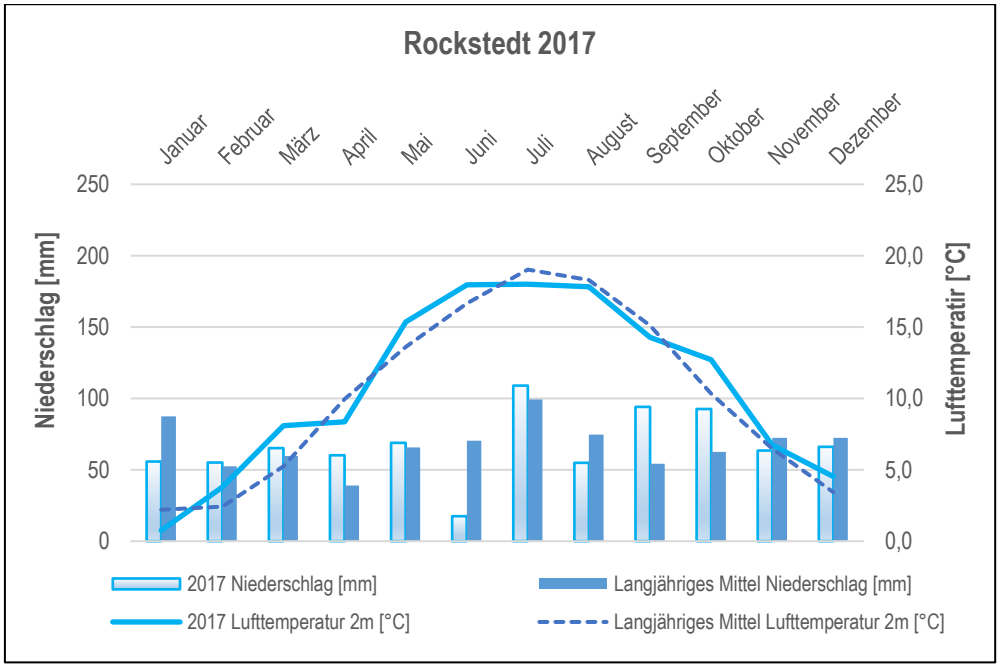

Abbildung 108: Versuchsstandort Rockstedt Klimadaten 2017 und im langjährigen Mittel

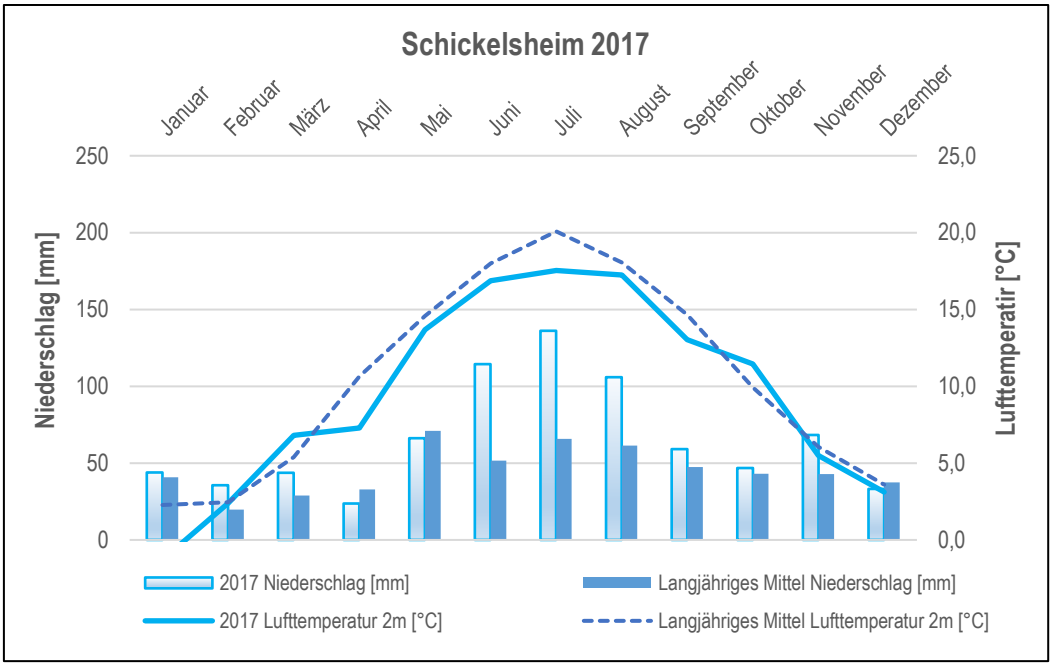

Abbildung 109: Versuchsstandort Schickelsheim Klimadaten 2017 und im langjährigen Mittel

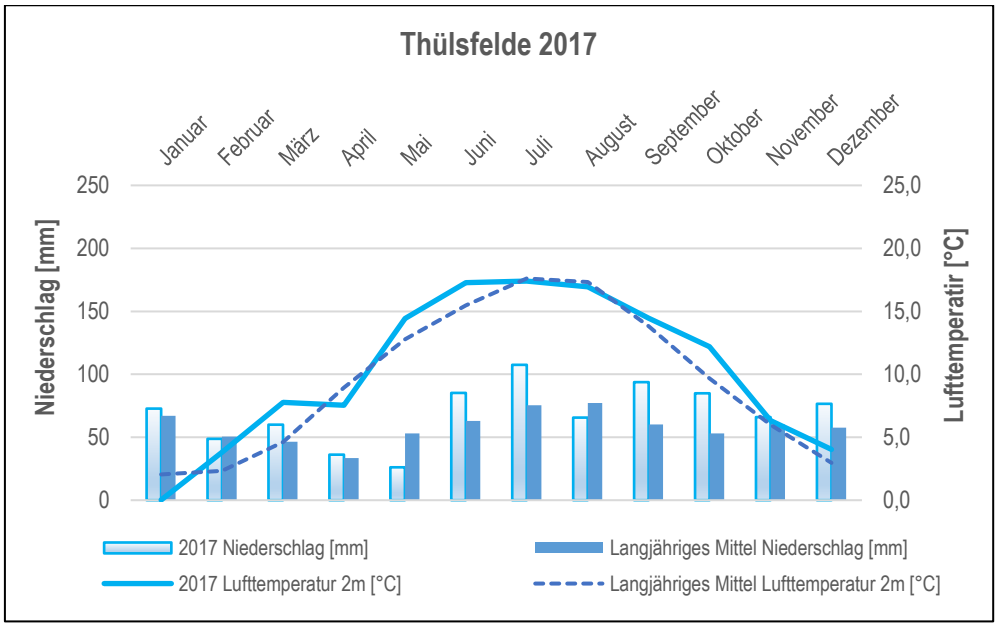

Abbildung 110: Versuchsstandort Thülsfelde Klimadaten 2017 und im langjährigen Mittel

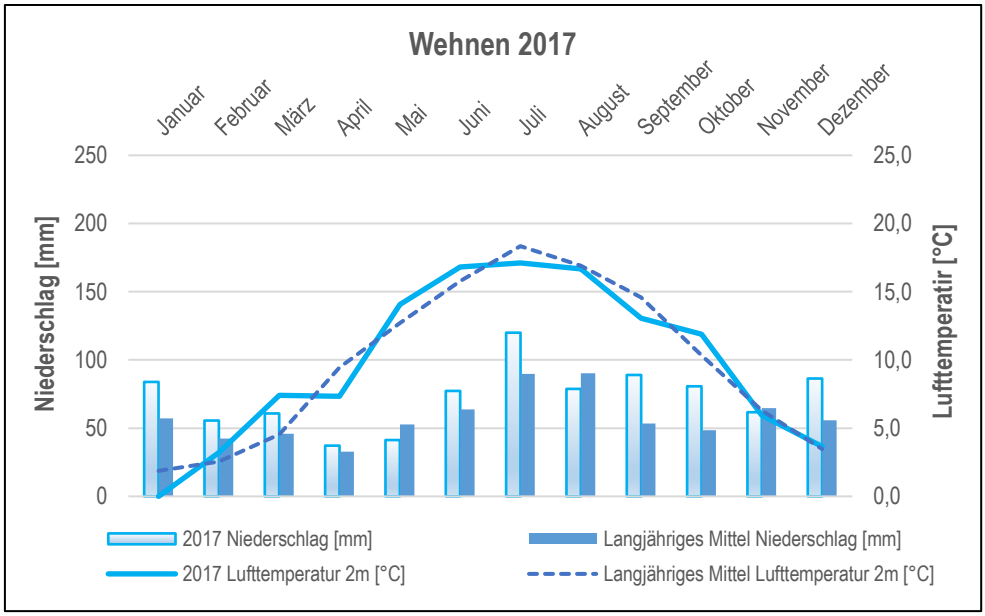

Abbildung 111: Versuchsstandort Wehnen Klimadaten 2017 und im langjährigen Mittel

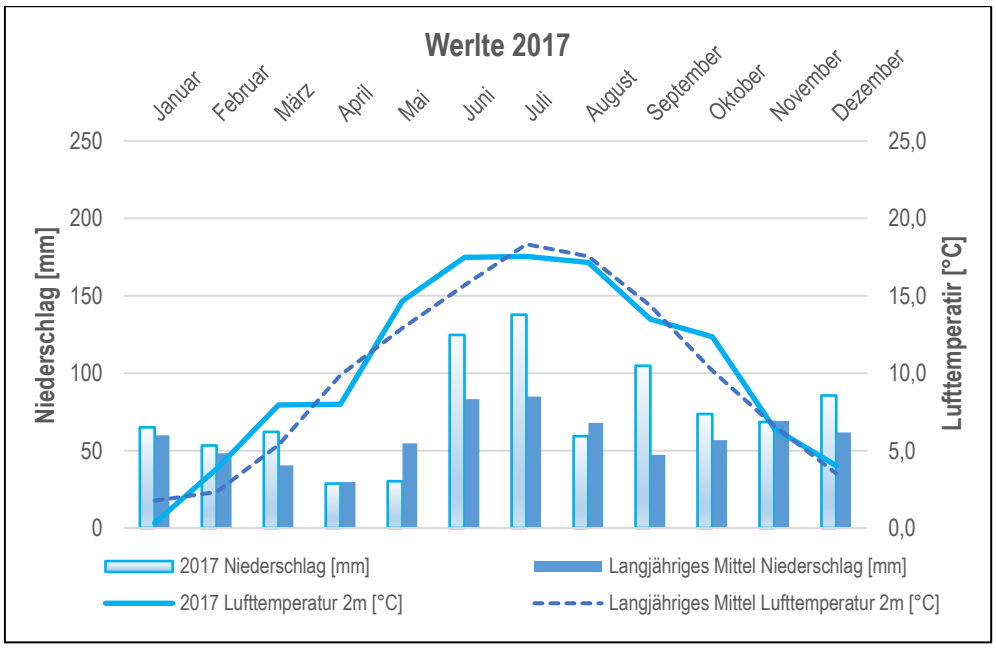

Abbildung 112: Versuchsstandort Werlte Klimadaten 2017 und im langjährigen Mittel

4.2. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Fruchtfolge der Versuchsfläche am Standort in Hamerstorf von 2014-2018, Vers. Nr.: 643 17
Tabelle 2: Beregnungstermine der Versuchsfläche in Hamerstorf in 2017 18
Tabelle 3: N-Düngungsstufen der Versuchsfläche in Hamerstorf in 2017 18
Tabelle 4: Fruchtfolge der Versuchsfläche am Standort in Thülsfelde von 2009-2018, Vers.Nr.: 644 31
Tabelle 5: Ergebnisse der Bodenuntersuchungen der Teilflächen a, b und c am Standort in Thülsfelde vom 17.01.2017 31
Tabelle 6: Düngungsstufen und Applikationstermine der Teilflächen a, b und c 32
Tabelle 7: Varianten des Versuchs in Wehnen zum grundwasserschutzorientieren Zwischenfruchtanbau für die Jahre 2014 bis 2018 47
Tabelle 8: N-Düngungsstufen in den Varianten des Versuchs in Wehnen zum grundwasserschutzorientieren Zwischenfruchtanbau in 2017 47
Tabelle 9: Ergebnis der Bodenuntersuchung der Fläche in Wehnen (Vers.-Nr. 645) vom 26.01.2017 48
Tabelle 10: Ergebnis der Boden- und N_{min}-Untersuchung der Versuchsfläche in Wehnen (Vers.-Nr. 649) 60
Tabelle 11: N-Düngungsstufen im Winterroggen in Wehnen im Wasserschutzversuch 61
Tabelle 12: Stickstoffdüngergaben zum Silomais für das Versuchsjahr 2017 am Standort Werlte 72
Tabelle 13: Bodenanalysen am Versuchsstandort Ihlow 05.04.2017, Vers.-Nr.: 916 80
Tabelle 14: Untersuchte N-Düngungsvarianten in Ihlow 2017 81
Tabelle 15: Versuch zu N-Düngestrategien zu Winterweizen verschiedener Standorte in Niedersachsen: Gestaltung der regionalspezifischen Wasserschutzvarianten - Übersicht 87
Tabelle 16: Variantenübersicht der Winterweizenversuche verschiedener Standorte in Niedersachsen 99
Tabelle 17: Erträge [dt TM/ha] der auf N_{min} untersuchten Winterweizenflächen verschiedener Standorte in Niedersachsen 99
Tabelle 18: Ergebnis der Boden- und N_{min}-Untersuchung der Versuchsfläche in Wehnen (Vers.-Nr. 421) 103
Tabelle 19: N-Düngungsstufen in den Varianten des Versuchs in Wehnen 103
Tabelle 20: Ergebnis der Boden- und N_{min}-Untersuchung 2017 der Versuchsfläche in Hamerstorf ..108
Tabelle 21: Ergebnis der Boden- und N_{min}-Untersuchung der Versuchsfläche in Wehnen (Vers.-Nr. 421) 114
Tabelle 22: Gültige Richtwerte verschiedener Miste 114
Tabelle 23: Ergebnis der Boden- und N_{min}-Untersuchung der Versuchsfläche in Wehnen (Vers.-Nr. 401) 121
Tabelle 24: N-Angebot (N-Düngung inkl. N_{min}) der Varianten des Versuchs in Wehnen (Vers.-Nr. 401) 121

Tabelle 25: Standorteigenschaften der Versuchsstandorte Astrup und Otterham 127
Tabelle 26: N-Angebot (N-Düngung inkl. N_{min}) der Varianten der Versuchsstandorte Astrup und Otterham in 2017 (Vers.-Nr. 653) 127

4.3. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage der Versuchsstandorte der Wasserschutzversuche nach Boden-Klima-Raum (BKR) in Niedersachsen 2017 5
Abbildung 2: Standorte mit N_{min}-Probenahme und Erfassung der Nitratkonzentration im Sickerwasser (LBEG) 6
Abbildung 3: Niederschlagsmengen in 2017 im Vergleich zum langjährigen Mittel 7
Abbildung 4: Das Gesetz vom abnehmenden Ertragszuwachs nach Mitscherlich 9
Abbildung 5: Beispielhafter Aufbau der Sickerwasseranlagen [Affelt, LBEG] 13
Abbildung 6: Zusammenhang zwischen N_{min}-Werten und Nitratkonzentration während der Sickerwasserperiode 14
Abbildung 7: Lage des Versuchsstandorts Hamerstorf – Bodenkarte von Niedersachsen (BK50) [NIBIS Kartenserver (31.05.2018), Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG)] 15
Abbildung 8: Mögliche Vorteile von Untersaaten im Grundwasserschutz 16
Abbildung 9: Luftbildaufnahme des Versuchs mit Silomais am 30.06.2016 (Bild: Orlowski) 17
Abbildung 10: N_{min}-Werte unter Braugerste und Braugerste mit anschließender Zwischenfrucht im Jahresverlauf bei einer N-Düngung von 120 kg N/ha am Versuchsstandort in Hamerstorf in 2017 ...20
Abbildung 11: Frühjahrs-N_{min}-Werte in der konventionellen und grundwasserschutzorientierten Fruchtfolgerotation im Vergleich vom 13.03.2017 am Versuchsstandort Hamerstorf 21
Abbildung 12: Ernte-N_{min}-Werte in der konventionellen und grundwasserschutzorientierten Fruchtfolgerotation im Vergleich vom 02.08.2017 am Versuchsstandort Hamerstorf 22
Abbildung 13: Herbst-N_{min}-Werte in der konventionellen und grundwasserschutzorientierten Fruchtfolgerotation im Vergleich vom 22.11.2017 am Versuchsstandort Hamerstorf 22
Abbildung 14:Ertrag der Braugerste und Rohproteingehalt in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge am Versuchsstandort in Hamerstorf im Versuchsjahr 2017 23
Abbildung 15: Ertrag von Ölrettich und N-Gehalt in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge am Versuchsstandort in Hamerstorf im Versuchsjahr 2017 24
Abbildung 16: N-Entzug durch die Braugerste in der grundwasserschutzorientierten Fruchtfolge bis zu Beginn der Sickerwasserspende in 2017 am Versuchsstandort Hamerstorf 24
Abbildung 17: Ertrag der Braugerste und Rohproteingehalt der konventionellen Fruchtfolge am Versuchsstandort in Hamerstorf im Versuchsjahr 2017 25
Abbildung 18: N-Entzug durch die Braugerste in der konventionellen Fruchtfolge bis zu Beginn der Sickerwasserspende in 2017 am Versuchsstandort Hamerstorf 26
Abbildung 19: N-Bilanz der grundwasserschutzorientierten und konventionellen Fruchtfolge mit Braugerste in 2017 im Vergleich und in Unterscheidung nach der N-Düngestrategie 27
Abbildung 20: Lage des Versuchsstandorts Thülsfelde mit Bodenlandschaften 1:500.000, Maßstab 1:16.000 [NIBIS Kartenserver (04.05.2017), Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG)] 30

Abbildung 21: N_{min}-Werte im Jahresverlauf nach N-Sollwertdüngung bei Silomais Engsaat auf der Teilfläche a mit Sickerwasseranlage 33
Abbildung 22: N_{min}-Werte im Jahresverlauf nach N-Sollwertdüngung bei Silomais Normalsaat auf der Teilfläche b konventionelle Fruchtfolge 34
Abbildung 23: N_{min}-Werte im Jahresverlauf nach N-Sollwertdüngung bei Silomais Engsaat auf der Teilfläche c grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge 34
Abbildung 24: Ernte-N_{min}-Werte nach Silomais vom 04.10.2017 Teilstück a Thülsfelde 35
Abbildung 25: Herbst-N_{min}-Werte nach Silomais vom 10.11.2017 Teilstück a Thülsfelde 36
Abbildung 26: Ernte-N_{min}-Werte nach Silomais vom 04.10.2017 Teilstück c Thülsfelde 36
Abbildung 27: Herbst-N_{min}-Werte nach Silomais vom 10.11.2017 Teilstück c Thülsfelde 37
Abbildung 28: Ernte-N_{min}-Werte nach Silomais vom 04.10.2017 Teilstück b Thülsfelde 37
Abbildung 29: Herbst-N_{min}-Werte nach Silomais vom 10.11.2017 Teilstück b Thülsfelde 38
Abbildung 30: Erträge und Proteingehalte bei unterschiedlicher N-Düngung zu Silomais auf den drei Teilflächen am Versuchsstandort in Thülsfelde, 2017 39
Abbildung 31: Entwicklung der relativen Erträge bei unterschiedlicher N-Düngung (1998 – 2017) von Silomais am Versuchsstandort Thülsfelde 40
Abbildung 32: N_{min}-Werte und errechnetes N-Düngungs- und Ertragsoptimum der drei Teilflächen in Thülsfelde 2017 (644 a, b, c) 41
Abbildung 33:N-Bilanzen (N-Zufuhr – N-Abfuhr) [kg N/ha] zu Silomais im Jahr 2017, Versuchsstandort Thülsfelde 42
Abbildung 34: Vorteile durch Zwischenfruchtanbau 44
Abbildung 35: Lage des Versuchsstandortes in Wehnen mit Bodenlandschaften 1:500.000, Maßstab 1:16.000 45
Abbildung 36: Versuchsaufbau des Zwischenfruchtversuchs in Wehnen mit Frucht, Sorte, Ernte- und Aussaatdatum 46
Abbildung 37: Ernte-N_{min}-Werte vom 27.09.2017 unter Silomais der N-Düngestaffel abhängig von der vorangegangenen Zwischenfrucht 49
Abbildung 38: Herbst-N_{min}-Werte vom 14.11.2017 unter Silomais der N-Düngestaffel abhängig von der vorangegangenen Zwischenfrucht 50
Abbildung 39: N_{min}-Werte nach der Ernte und im Herbst auf dem Block 1 unter Winterroggen bzw. nach den Zwischenfruchtvarianten in 2017 in Wehnen 51
Abbildung 40: N_{min}-Werte nach der Ernte und im Herbst unter Winterroggen bzw. nach den Zwischenfruchtvarianten im Mittel der Versuchsjahre 2012 - 2017 in Wehnen 52
Abbildung 41: Trockenmasseerträge der drei Varianten zur Zwischenfrucht in Wehnen in 2017 52
Abbildung 42: Trockenmasseerträge von Silomais in allen Düngungsvarianten und unterschiedlich vorangegangenen Zwischenfruchtvarianten in Wehnen in 2017 53

Abbildung 43: Ökonomisch optimale N-Düngung und Ertragsoptimum im Mittel der Jahre 2013 – 2017 am Versuchsstandort in Wehnen in Abhängigkeit von der vorangegangenen Zwischenfrucht 54
Abbildung 44: N-Bilanz unter Silomais ohne vorangegangene Zwischenfrucht in Wehnen 2017 55
Abbildung 45: Lage des Versuchsstandortes in Wehnen mit Bodenlandschaften 1:500.000, Maßstab 1:16.000 59
Abbildung 46: Ernte-N_{min}-Werte nach Winterroggen der N-Düngestaffel und den organisch und organisch-mineralischen Varianten.....62
Abbildung 47: Herbst-N_{min}-Werte nach Winterroggen der N-Düngestaffel und den organisch und organisch-mineralischen Varianten.....63
Abbildung 48: N_{min}-Werte nach der Ernte und im Herbst nach Winterroggen am Standort in Wehnen in 2015 und 2017.....64
Abbildung 49: Winterroggenertrag in der N-Düngestaffel, errechnetes Ertrags- und N-Düngungsoptimum und Ernte- und Herbst-N_{min}-Werte am Versuchsstandort in Wehnen in 2017.....65
Abbildung 50: Winterroggenerträge und Proteingehalte in Abhängigkeit von der Höhe und Form der N-Düngung am Versuchsstandort in Wehnen in 2017 66
Abbildung 51: N-Mineraldüngeräquivalente von Schweinegülle bei Winterroggen bei 120 kg Gesamt-N/ha am Versuchsstandort in Wehnen, 2015 und 2017 67
Abbildung 52: N-Bilanz vom Winterroggen bei unterschiedlichen N-Düngestrategien zur mineralischen, organischen und organisch-mineralischen Düngung am Versuchsstandort in Wehnen, 2017.....68
Abbildung 53: Verschiedene Strategien zur N-Düngebedarfsermittlung von Silomais im Versuch zur grundwasserschutzorientierten Silomaisdüngung.....71
Abbildung 54: N-Düngung zu Mais nach der N-Sollwertmethode und der Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme.....71
Abbildung 55: N_{min}-Probenahmetermine im Versuchsjahr 2017 am Versuchsstandort in Werlte 73
Abbildung 56: Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme am 23.06.2017 in Werlte 73
Abbildung 57: Ernte-N_{min}-Werte unterschiedlicher N-Düngestrategien im Mais in Werlte 2017.....74
Abbildung 58: Erträge und Rohproteingehalte von Silomais bei unterschiedlicher N-Düngung am Versuchsstandort in Werlte, 2017 75
Abbildung 59: Erträge, Ertragsoptimum und Ernte- und Herbst-N_{min}-Werte der N-Düngestaffel in Werlte, 2017.....76
Abbildung 60: N-Bilanz (N-Zufuhr abzüglich der N-Abfuhr) bei unterschiedlicher N-Düngung zu Silomais am Versuchsstandort in Werlte, 2017* 77
Abbildung 61: Spät-Frühjahrs-N_{min}-Werte bei Silomais in Ihlow 14.06.2017 81
Abbildung 62: Ernte-N_{min}-Werte vom 26.10.2017 am Versuchsstandort Ihlow 82
Abbildung 63: Erträge und Rohproteingehalte vom Silomais bei unterschiedlicher N-Düngung am Versuchsstandort in Ihlow 2017.....83
Abbildung 64: Nässeschäden in Wettmar 2017 84

Abbildung 65: Aufteilung der N-Düngung zu Winterweizen 86
Abbildung 66: Ernte-N_{min}-Werte nach Winterweizen (Blatt) am Versuchsstandort Borwede 15.08.2017 88
Abbildung 67: Ernte-N_{min}-Werte nach Winterweizen (Blatt) am Versuchsstandort Hamerstorf 03.08.2017 89
Abbildung 68: Herbst-N_{min}-Werte nach Winterweizen (Blatt) am Versuchsstandort Hamerstorf 07.11.2017 90
Abbildung 69: Ernte- N_{min}-Werte nach Winterweizen (Stoppel) am Versuchsstandort Höckelheim 16.08.2017 91
Abbildung 70: Herbst- N_{min}-Werte nach Winterweizen (Stoppel) am Versuchsstandort Höckelheim 15.11.2017 92
Abbildung 71: Ernte-N_{min}-Werte nach Winterweizen (Blatt) am Versuchsstandort Höckelheim 16.08.2017 92
Abbildung 72: Herbst-N_{min}-Werte nach Winterweizen (Blatt) am Versuchsstandort Höckelheim 15.11.2017 93
Abbildung 73: Ernte-N_{min}-Werte nach Winterweizen (Blatt) am Versuchsstandort Otterndorf 17.08.2017 94
Abbildung 74: Ernte-N_{min}-Werte nach Winterweizen (Blatt) am Versuchsstandort Otterham 09.08.2017 94
Abbildung 75: Ernte-N_{min}-Werte nach Winterweizen (Stoppel) am Versuchsstandort Poppenburg 24.08.2017 95
Abbildung 76: Ernte-N_{min}-Werte zu Winterweizen mit Getreidevorfrucht am Versuchsstandort Königslutter vom 13.08.2017 96
Abbildung 77: Ernte-N_{min}-Werte zu Winterweizen am Versuchsstandort Martinsbüttel vom 13.08.2017 97
Abbildung 78: Ernte-N_{min}-Werte zu Winterweizen am Versuchsstandort Groß Steinum vom 13.08.2017 98
Abbildung 79: Ernte-N_{min}-Werte von Blatt- und Stoppelweizen im Vergleich aller Standorte in 2017 100
Abbildung 80: Lage des Versuchsstandortes in Wehnen mit Bodenlandschaften 1:500.000, Maßstab 1:16.000 102
Abbildung 81: Ernte-N_{min}-Werte nach Wintergerste vom 21.07.2017 am Versuchsstandort in Wehnen 104
Abbildung 82: Herbst-N_{min}-Werte nach Wintergerste und nachfolgender Zwischenfrucht vom 15.11.2017 am Versuchsstandort in Wehnen 104
Abbildung 83: Erträge und Rohproteingehalte von Wintergerste im Versuchsjahr 2017 am Standort in Wehnen 105

Abbildung 84: Lage des Versuchsstandorts Hamerstorf mit Bodenlandschaften 1:50.000, Maßstab 1:16.000 [NIBIS Kartenserver (04.05.2017), Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG)] 107
Abbildung 85: Ernte-N_{min}-Werte im Versuch zu Beregnungsstrategien am Versuchsstandort Hamerstorf, 03.08.2017 109
Abbildung 86: Herbst-N_{min}-Werte im Versuch zu Beregnungsstrategien am Versuchsstandort Hamerstorf, 09.11.2017 110
Abbildung 87: Erträge und Qualitätsparameter (Proteingehalt) von Sommergerste am Versuchsstandort Hamerstorf in 2017 110
Abbildung 88: N-Bilanzen der einzelnen Varianten zur Sommergerste am Versuchsstandort Hamerstorf 2017 111
Abbildung 89: Lage des Versuchsstandortes in Wehnen mit Bodenlandschaften 1:500.000, Maßstab 1:16.000 113
Abbildung 90: Unterscheidung der Mistarten bei Wirtschaftsdüngern 114
Abbildung 91: Luftbildaufnahme des Festmistversuchs mit Wintergerste in Wehnen vom 01.06.2016 115
Abbildung 92: Ernte-N_{min}-Werte von Silomais bei unterschiedlich vorangegangener N-Düngung am Versuchsstandort Wehnen, 13.10.2017 116
Abbildung 93: Herbst-N_{min}-Werte zu Silomais bei unterschiedlich vorangegangener N-Düngung am Versuchsstandort Wehnen, 15.11.2017 117
Abbildung 94: Erträge und Rohproteingehalte von Silomais bei unterschiedlichen Varianten zur mineralischen und organisch-mineralischen N-Düngung am Versuchsstandort in Wehnen, 2017....118
Abbildung 95: Ertrag, Ernte- und Herbst-N_{min}-Werte nach Silomais in der N-Düngestaffel in Wehnen 2017 118
Abbildung 96: Lage des Versuchsstandortes in Wehnen mit Bodenlandschaften 1:500.000, Maßstab 1:16.000 120
Abbildung 97: Ernte-N_{min}-Werte von Winterroggen bei unterschiedlich vorangegangener N-Düngung am Versuchsstandort Wehnen, 07.08.2017 122
Abbildung 98: Herbst-N_{min}-Werte von Winterroggen bei unterschiedlich vorangegangener N-Düngung am Versuchsstandort Wehnen, 14.11.2017 123
Abbildung 99: Erträge und Rohproteingehalte von Winterroggen bei unterschiedlichen Varianten zur mineralischen, organischen und organisch-mineralischen N-Düngung am Versuchsstandort in Wehnen, 2017 124
Abbildung 100: Ertragsfunktion der mineralischen N-Düngestaffel, Ertragsoptimum und N-Mineraldüngeräquivalente von Schweinegülle bei Winterroggen am Versuchsstandort Wehnen in 2017 125
Abbildung 101: Ernte-N_{min}-Werte nach Winterraps am Versuchsstandort Astrup 2017 128

Abbildung 102: Korn- und Ölertrag von Winterraps am Versuchsstandort Astrup, 2017.....129
Abbildung 103: Ernte-N_{min}-Werte nach Winterraps am Versuchsstandort Otterham 2017.....129
Abbildung 104: Korn- und Ölertrag von Winterraps am Versuchsstandort Otterham, 2017 130
Abbildung 105: Versuchsstandort Borwede Klimadaten 2017 und im langjährigen Mittel.....132
Abbildung 106: Versuchsstandort Hamerstorf Klimadaten 2017 und im langjährigen Mittel.....132
Abbildung 107: Versuchsstandort Poppenburg Klimadaten 2017 und im langjährigen Mittel.....134
Abbildung 108: Versuchsstandort Rockstedt Klimadaten 2017 und im langjährigen Mittel 134
Abbildung 109: Versuchsstandort Schickelsheim Klimadaten 2017 und im langjährigen Mittel.....135
Abbildung 110: Versuchsstandort Thülsfelde Klimadaten 2017 und im langjährigen Mittel 135
Abbildung 111: Versuchsstandort Wehnen Klimadaten 2017 und im langjährigen Mittel.....136
Abbildung 112: Versuchsstandort Werlte Klimadaten 2017 und im langjährigen Mittel.....136

Literaturverzeichnis

NIEDERSÄCHSISCHER LANDESBETRIEB FÜR WASSERWIRTSCHAFT, KÜSTEN- UND NATURSCHUTZ (NLWKN), 2010: Untersuchung des mineralischen Stickstoffs im Boden – Empfehlungen zur Nutzung der Herbst-N_{min}-Methode für die Erfolgskontrolle und zur Prognose der Sickerwassergüte; Band 8, Hannover; website: https://www.nlwkn.niedersachsen.de/service/veroeffentlichungen_webshop/schriften_zum_downloaden/downloads_grundwasser_trinkwasser/veroeffentlichungen-zum-thema-grundwassertrinkwasser-zum-downloaden-44047.html, zuletzt aufgerufen am 10.05.2017

BAYWA AG, 2017: Düngemittel: ENTEC; München; website: https://www.baywa.de/pflanzenbau_obst/ackerbau_gruenland/duengemittel/stabilisierte_n_duenger/entec/, zuletzt aufgerufen am 11.12.2017

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN, 2016: Untersaaten und Bodenbearbeitung nach der Ernte - Versuchsergebnisse zum grundwasserschutzorientierten Maisanbau; Kurzbericht; Oldenburg, website: https://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/77/nav/1667/article/29240.html, zuletzt aufgerufen am 11.12.2017

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN, 2016: Ergebnisse Rohproteingehalt als Beratungsinstrument für grundwasserschutzorientierte Maisdüngung; Kurzbericht; Oldenburg, website: http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/wasserschutzfuerniedersachsen/nav/1667/article/22262.html, zuletzt aufgerufen am 14.12.2017

EILER T.; 2002 “Am Sollwert ausrichten” Agrarforum Landwirtschaft und Wasserschutz Beilage des Landwirtschaftsblattes Weser-Ems44/02 Seite 13-16

KNITTEL H. und ALBERT E., 2003: „Praxishandbuch Dünger und Düngung“ (Agrimedia GmbH, Bergen/Dumme)

SPRINGOB ET AL., 2013: M&P-Vorhaben ’Ermittlung und praxisgerechte Schematisierung der N-Mineralisation auf N-Quellstandorten zur bedarfsgerechten Reduktion der N-Düngung im Maisanbau

HÖPER ET. AL., (2014). Nmin-Schätzrahmen „Apparente N-Mineralisation zu Mais“. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover