

Grundwasserschutzorientierte Maisdüngung

Die Wasserschutzversuche und der vorliegende Bericht werden im Rahmen der landesweiten Aufgaben im kooperativen Trinkwasserschutz gem. § 28 NWG finanziert. Dem Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz sowie dem Niedersächsischen Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz sei an dieser Stelle für die Finanzierung aus der Wasserentnahmegebühr gedankt.

Themenübersicht



Einleitung

- Wasserschutz und Düngerecht
- Herbst- $N_{\min}$ -Werte und Nitratkonzentration im Sickerwasser



Möglichkeiten der N-Düngebedarfsermittlung

- Das N-Sollwertschema
- Die Spät-Frühjahrs- $N_{\min}$ -Probenahme
- N-Sollwert und Spät-Frühjahrs- $N_{\min}$ im Vergleich



Weitere Anpassungsmöglichkeiten bei der N-Düngung

- Reduzierte Sollwertdüngung
- Die Nitrachek-Methode
- Anpassung der N-Düngung auf humusreichen Standorten



N-Effizienz erhöhen durch Gülleunterfußdüngung

- N-Bilanzen reduzieren durch Unterfußdüngung mit Wirtschaftsdüngern
- $N_{\min}$ -Probenahme bei Gülleunterfußdüngung

1. Einleitung

1.1. Wasserrecht und Düngerecht

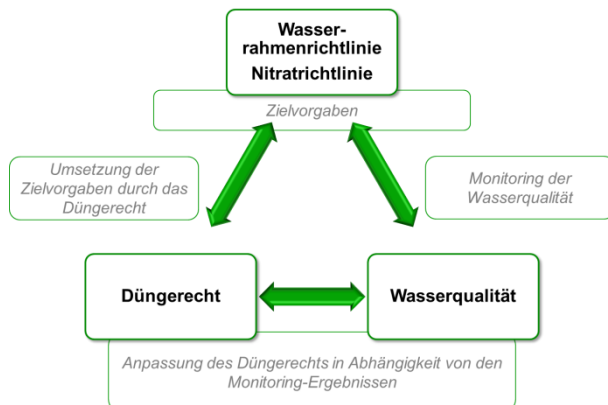


Abbildung 1: Übersicht über die Zusammenhänge von Wasserschutz und Düngerecht

Die Nitratrichlinie und die Wasser-rahmenrichtlinie dienen vorrangig der Verbesserung der Wasserqualität. Entsprechend der Monitoring-Ergebnisse wird das Düngerecht evaluiert und angepasst. Mit der Novelle der Düngeverordnung wird dieser Prozess vorgenommen. Wasserschutz und Düngerecht sind somit in einem Regelkreis verbunden (Abbildung 1).

Die Nitratrichlinie schreibt vor, dass die N-Düngung auf ein Gleichgewicht zwischen dem Nährstoffbedarf der Pflanze, der N-Nachlieferung aus dem Boden und der N-Düngung ausgerichtet sein muss. Dieses Gleichgewicht ist eine wesentliche Voraussetzung um Nitratauswaschung in das Grundwasser zu vermeiden und Erträge zu sichern. Die möglichst präzise Bestimmung des N-Düngebedarfs ist deshalb ein zentrales Thema der Versuche zur grundwasserschutzorientierten Landbewirtschaftung. Die Reststickstoffgehalte im Boden nach der Ernte und zu Beginn der Sickerwasserperiode können - unter Berücksichtigung von Standortverhältnissen, Witterungsverlauf und Bewirtschaftungsmaßnahmen - als Erfolgsparemeter für grundwasserschonende Landbewirtschaftung herangezogen werden, (Anwenderhandbuch für die Zusatzberatung Wasserschutz NLWKN, (2015)). N_{min} -Untersuchungen bieten so die Möglichkeit, die Auswirkungen von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Reststickstoffgehalte im Boden zu beurteilen. Herbst- N_{min} -Proben zu Beginn der Sickerwasserperiode helfen die potentielle Nitratauswaschung im Winter einzuschätzen. Ernte- N_{min} -Werte hingegen können als Erfolgsparemeter für eine grundwasserschonende N-Düngung verwendet werden.

Der nachfolgende Abschnitt zeigt an den Ergebnissen der Wasserschutzversuche mit ergänzenden Sickerwasseruntersuchungen den Zusammenhang zwischen Herbst- N_{min} -Werten und der Nitratkonzentration im Sickerwasser. Die Sickerwasseruntersuchungen werden durch das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) durchgeführt.

1.2. Herbst- N_{min} -Werte und Nitratkonzentration im Sickerwasser

Das LBEG betreut Saugsondenanlagen in Wasserschutzversuchen an den Standorten Hammerstorf (Landkreis Uelzen), Thülsfelde (Landkreis Cloppenburg) und Wehnen (Landkreis Ammerland). In Varianten mit unterschiedlicher N-Düngung wird die Nitratkonzentration im Sickerwasser gemessen.

Am Versuchsstandort Thülsfelde werden bereits seit 17 Jahren Wasserschutzversuche durchgeführt, in sechs der Versuchsjahre wurde in dem Versuch am Standort Thülsfelde

Mais angebaut. In Wehnen wird Mais seit zwei Jahren in einem rotierenden System jährlich angebaut.

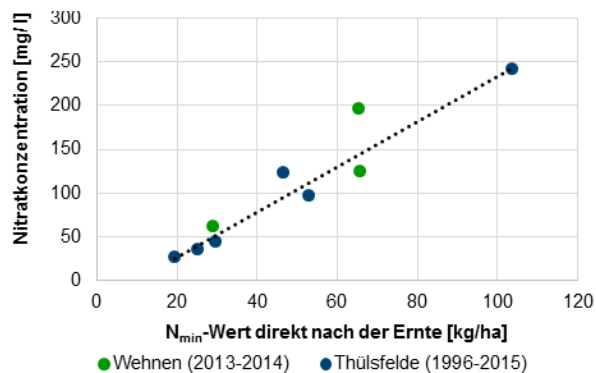


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen der Nitratkonzentration im Sickerwasser und den Ernte-N_{min}-Werten, an den Versuchsstandorten Thülsfelde und Wehnen (Lars Konen, LBEG)

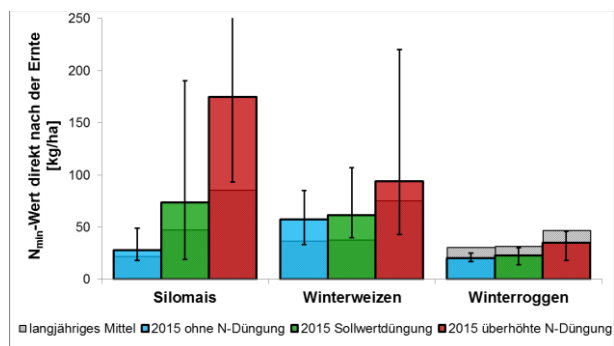


Abbildung 3: Einfluss der N-Düngung auf die Ernte-N_{min}-Werte bei Silomais, Winterweizen und Winterroggen (Vergleich langjähriges Mittel und 2015)

Im nachfolgenden Abschnitt werden verschiedene Methoden zur N-Düngebedarfsermittlung im Maisanbau beschrieben.

2. Möglichkeiten der N-Düngebedarfsermittlung

Mais nutzt - im Vergleich zu Getreide - die standörtliche N-Nachlieferung sehr gut, da die N-Mineralisation des Bodens und der N-Bedarf der Pflanzen in der Regel zeitlich zusammenfallen, (EILER (2002)). Dies erklärt die deutlich negativen N-Bilanzen (N-Zufuhr abzüglich N-Abfuhr) bei bedarfsgerechter N-Düngung des Maises. Zwischen dem N-Bedarf der Maispflanzen und dem N-Düngebedarf besteht daher häufig eine deutliche Differenz.

Die Berücksichtigung der standörtlichen N-Nachlieferung im Rahmen der N-Düngebedarfsermittlung wird jedoch durch deren hohe jahres- und standortspezifische Variabilität erschwert.

Abbildung 2 zeigt deutlich, dass an den beiden Versuchsstandorten Thülsfelde und Wehnen, die stark austragsgefährdete sandige Böden aufweisen, hohe Herbst-N_{min}-Werte auch zu hohen Nitratkonzentrationen im Sickerwasser führten. Die Herbst-N_{min}-Werte werden im Maisanbau stärker als bei Getreide von der Höhe der N-Düngung beeinflusst (Abbildung 3). Besonders bei überhöhter N-Düngung kommt es zu einem starken Anstieg der Herbst-N_{min}-Werte. Deshalb ist im Maisanbau die Einhaltung der N-Sollwert-Düngung von entscheidender Bedeutung, um hohe Herbst-N_{min}-Werte und damit auch einen Anstieg der Nitratauswaschung zu vermeiden.



Abbildung 4: Feldversuch zur grundwasser-schutzorientierten N-Düngung von Silomais; Variante „Sollwertdüngung“ (links) und Variante „Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme“ (rechts); Versuchsstandort Werlte; 23.06.2015

Es gibt verschiedene Strategien um den N-Düngebedarf von Mais zu ermitteln. Abbildung 4 zeigt die Variante „N-Sollwertdüngung“ und die Variante „Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme“ am Versuchsstandort Werlte. Neben den Standorteigenschaften und dem Witterungsverlauf sind bei der Auswahl der N-Düngestrategie die betriebs-spezifischen Anforderungen, wie beispielsweise der Einsatz von Wirtschaftsdüngern, zu berücksichtigen.

2.1. N-Sollwert

Das N-Sollwertschema (Abbildung 5) bietet eine, in umfangreichen Feldversuchen validierte, Möglichkeit der N-Düngebedarfsermittlung im Maisanbau.

Sollwert Mais: 180 kg N/ha
zu Vegetationsbeginn: 180 kg - N _{min}
A: Anpassung an Standort:
- 40 kg N/ha bei langjähriger organischer Düngung*
B: Weitere Anpassung an Standort, Bewirtschaftung und Witterung:
Sollwert bzw. Düngung erhöhen:
+ 20 kg N/ha standortbedingter schlechter N-Nachlieferung
Sollwert bzw. Düngung reduzieren:
- 20 kg N/ha bei standortbedingter guter N-Nachlieferung
bis - 20 kg N/ha bei Gründüngungsvorfrucht (je nach Aufwuchsmenge und Abfrietermin)
Die Summe der Zu- und Abschläge unter B sollten 20 kg N/ha nicht überschreiten. *i.d.R. bei P-Gehalten in der Krume > 13 mg P-CAL / 100 g Boden

Abbildung 5: N-Düngebedarfsermittlung anhand des N-Sollwertschemas

Anpassungen an den Standort: Um die Standorteigenschaften zu berücksichtigen und um Überdüngung zu vermeiden, gibt es zusätzliche Korrekturfaktoren. Bei langjähriger organischer Düngung erfolgt, zusätzlich zum Abzug des Frühjahrs-N_{min}-Wertes ein Abschlag von 40 kg N/ha. Bei P-Gehalten in der Krume über 13 mg P/100 g Boden (CAL) kann in der Regel von einer langjährigen organischen Düngung ausgegangen werden.

Weitere Anpassungen an den Standort: Bei guter oder schlechter standörtlicher N-Nachlieferung sollte die N-Düngung um weitere 20 kg N/ha reduziert oder erhöht werden. Um die N-Nachlieferung vorangegangener Zwischenfrüchte zu berücksichtigen, werden je nach Aufwuchs und Abfrietermin außerdem bis zu 20 kg N/ha abgezogen. Insgesamt sollten jedoch im Rahmen der „weiteren Anpassungen an den Standort“ (Abbildung 5) nicht mehr als 20 kg N/ha in Abzug gebracht werden.

Bei der N-Düngebedarfsermittlung anhand des N-Sollwertschemas wird zunächst der Frühjahrs-N_{min}-Wert vom N-Sollwert abgezogen. Derzeit wird bei der Maisdüngung der Frühjahrs-N_{min}-Wert in einer Tiefe von 0-60 cm berücksichtigt. Die N_{min}-Probenahme sollte zeitnah zur N-Düngung und Aussaat erfolgen.

2.2. Die Spät-Frühjahrs- $N_{\min}$ -Probenahme

Die Spät-Frühjahrs- $N_{\min}$ -Probenahme bietet eine weitere Möglichkeit, besonders auf Standorten mit hoher standörtlicher N-Nachlieferung, den N-Düngebedarf zu ermitteln und die jahres- und standortspezifische N-Nachlieferung bei der N-Düngung möglichst exakt zu berücksichtigen, (LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFALEN (2014)). Bei dieser Methode wurde der Mais im Feldversuch zunächst mit 60 kg N/ha angedüngt. Der weitere N-Düngebedarf wurde dann mithilfe einer $N_{\min}$ -Probe Ende Mai/Anfang Juni ermittelt. Die Probenahme sollte in diesem Fall nur zwischen den Reihen erfolgen, um den Unterfußdünger nicht zu beproben. Der Zielbereich für den Spät-Frühjahrs- $N_{\min}$ -Wert liegt zwischen 180 und 200 kg $N_{\min}$ /ha. Bei niedrigeren Werten kann - unter Berücksichtigung bereits erfolgter Unterfußdüngung - entsprechend nachgedüngt werden. Bei der Bemessung der zweiten N-Düngung sollten jedoch auch der bisherige Witterungsverlauf und die vorangegangenen Bewirtschaftungsmaßnahmen berücksichtigt werden.

2.3. N-Sollwert und Spät-Frühjahrs- $N_{\min}$ -Probenahme im Vergleich

In einem Feldversuch wurden unter anderem die N-Düngebedarfsermittlung anhand des N-Sollwertschemas mit der N-Düngung nach der Spät-Frühjahrs- $N_{\min}$ -Probenahme verglichen. Der Versuch wurde in den Jahren 2013 bis 2015 an den Versuchsstandorten Poppenburg (Landkreis Hildesheim), Rockstedt (Landkreis Rotenburg), Wehnen (Landkreis Ammerland) und Werlte (Landkreis Emsland) durchgeführt. Abbildung 6 zeigt die Herbst- $N_{\min}$ -Werte, den Trockenmasseertrag und die N-Düngung im Mittel der Jahre und Standorte. Die Fehlerindikatorbalken zeigen die jahres- und standortbedingten Schwankungen der Ergebnisse. Im Mittel der Jahre und Standorte wurde mit dem N-Sollwertschema ein N-Düngebedarf von 132 kg N/ha ermittelt. Anhand der Spät-Frühjahrs- $N_{\min}$ -Probenahme wurde im Mittel der Jahre und Standorte ein N-Düngebedarf von 94 kg N/ha ermittelt.

In einzelnen Jahren und an einzelnen Standorten traten auch bei Sollwertdüngung sehr hohe Herbst- $N_{\min}$ -Werte auf. Dies war beispielsweise am Versuchsstandort Poppenburg 2015 der Fall. Hier wurde in der Variante mit Sollwertdüngung ein Herbst- $N_{\min}$ -Wert über 250 kg $N_{\min}$ /ha festgestellt.

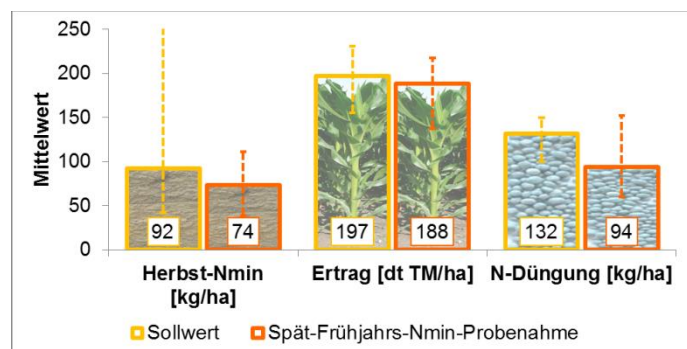


Abbildung 6: Vergleich Herbst- $N_{\min}$ -Werte, Ertrag und N-Düngung bei Sollwertdüngung und Spät-Frühjahrs- $N_{\min}$ -Probenahme; Fehlerindikatorbalken zeigen den Schwankungsbereich

Dieser in Einzelfällen stattfindende überproportionale Anstieg der $N_{\min}$ -Werte konnte in der Variante „Spät-Frühjahrs- $N_{\min}$ -Probenahme“ nicht beobachtet werden. Im Mittel der Jahre und Standorte lag der Herbst- $N_{\min}$ -Wert in den Varianten mit Sollwertdüngung bei 92 kg $N_{\min}$ /ha. In der Variante „Spät-Frühjahrs- $N_{\min}$ -Probenahme“ lag der mittlere Herbst- $N_{\min}$ -Wert

bei 74 kg N_{min}/ha. Besonders zwischen den Versuchsstandorten, aber auch zwischen den Versuchsjahren konnten jedoch große Schwankungen festgestellt werden.

Vor allem auf Versuchsstandorten mit hoher bodenbürtiger N-Nachlieferung (beispielsweise 2015 am Versuchsstandort Poppenburg) konnten in der Variante „Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme“ die Herbst-N_{min}-Werte durch die geringere N-Düngung ohne Ertragsverluste reduziert werden. Lediglich am Versuchsstandort Wehnen trat im Jahr 2013 in der Variante „Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme“ ein statistisch absicherbarer Minderertrag im Vergleich zur Sollwertvariante auf.

Im Mittel der Jahre und Standorte lag der Ertrag bei Sollwertdüngung bei 197 dt TM/ha, in der Variante „Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme“ lag der Ertrag im Mittel der Jahre und Standorte bei 188 dt TM/ha. Der standort- und jahresspezifische Schwankungsbereich der beiden Varianten war annähernd gleich. Während der Ertrag in der „N-Sollwert“ Variante je nach Jahr und Standort zwischen 155 und 230 dt TM/ha lag, variierte der Ertrag in der Variante „Spät-Frühjahrs-N_{min}-Probenahme“ zwischen 137 und 217 dt TM/ha.

3. Weitere Anpassungsmöglichkeiten bei der N-Düngung

3.1. Reduzierte Sollwertdüngung

Eine weitere Möglichkeit, wenn beispielsweise trotz einer N-Düngung entsprechend der Sollwertempfehlung wiederholt hohe Herbst-N_{min}-Werte auftreten, ist die Reduzierung der Sollwertdüngung. Die Frage nach den Auswirkungen einer Reduzierung der Sollwertdüngung auf die Herbst-N_{min}-Werte und den Ertrag stellt sich vor allem in Wasserschutzgebieten im Zusammenhang mit erfolgshonorierten Freiwilligen Vereinbarungen immer wieder. Mit den Ergebnissen einer festen N-Düngestaffel konnten in dem Versuch zur grundwasser-schutzorientierten Maisdüngung Herbst-N_{min}-Werte und Erträge bei Sollwertdüngung und bei reduzierter Sollwertdüngung (10/20 %) berechnet werden. Bei den Versuchsstandorten handelte es sich vorrangig um Standorte mit hoher N-Nachlieferung. Die Ergebnisse der Berechnungen und die entsprechende Höhe der N-Düngung sind in Abbildung 7 dargestellt.

Die errechneten Herbst-N_{min}-Werte lagen bei Sollwertdüngung im Mittel der Jahre und Standorte bei 80 kg N_{min}/ha. Bei einer Reduzierung der Sollwertdüngung um 20 % lagen die errechneten Herbst-N_{min}-Werte im Mittel der Jahre und Standorte bei 68 kg N_{min}/ha. Eine Reduzierung der Sollwertdüngung um 10 % hatte kaum Einfluss auf den Ertrag.

Der errechnete Ertrag bei Sollwertdüngung lag im Mittel der Jahre und Standorte bei 198 dt TM/ha. Durch eine Reduzierung der Sollwertdüngung um 10 % sank der errechnete Ertrag

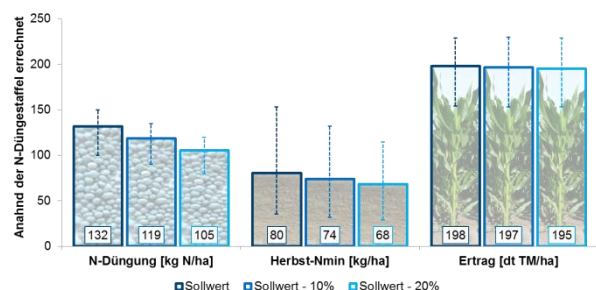


Abbildung 7: N-Düngung, Herbst-N_{min}-Werte und Trockenmasseertrag bei Sollwertdüngung und reduzierter Sollwertdüngung im Mittel der Jahre und Standorte im Vergleich; vorrangig Standorte mit hoher N-Nachlieferung; Fehlerindikatorbalken zeigen den Schwankungsbereich

lediglich um 1 dt TM/ha. Auch bei einer Reduzierung der Sollwertdüngung um 20 % lag der Ertrag im Mittel der Jahre und Standorte noch bei 195 dt TM/ha. Die Indikatorbalken zeigen neben dem Einfluss der N-Düngung deutliche Jahres- und Standorteinflüsse auf Herbst- $N_{\min}$ -Werte und Erträge. Im ersten Versuchsjahr wurde eine weitere Variante angelegt, um vom LBEG entwickelte Abschlüsse zur präziseren Berücksichtigung der standortspezifischen N-Nachlieferung zu validieren. Auf den Versuchsstandorten ergab die Anwendung dieses Schätzrahmens jedoch nur einen Änderungsbedarf zwischen 0 und 10 kg N/ha im Vergleich zu Sollwertdüngung. Deshalb wurde in den Versuchsjahren 2014 und 2015 die N-Düngebedarfsermittlung in dieser Variante geändert. In Anlehnung an Fragestellungen aus Wasserwirtschaft und Wasserschutzberatung sowie aktuelle Schutzgebietsverordnungen wurde eine Variante mit einer um 20 % reduzierten Sollwertdüngung angelegt. Abbildung 8 zeigt die Ergebnisse der Herbst- $N_{\min}$ -Probenahme und der Ertragsermittlung in diesen Varianten und in den Varianten der festen N-Düngestaffel.

Die Darstellung der Einzelergebnisse verdeutlicht auch, dass neben der Höhe der N-Düngung auch die Standorteigenschaften und der Witterungsverlauf in den Einzeljahren die Herbst- $N_{\min}$ -Werte und die Erträge beeinflussen.

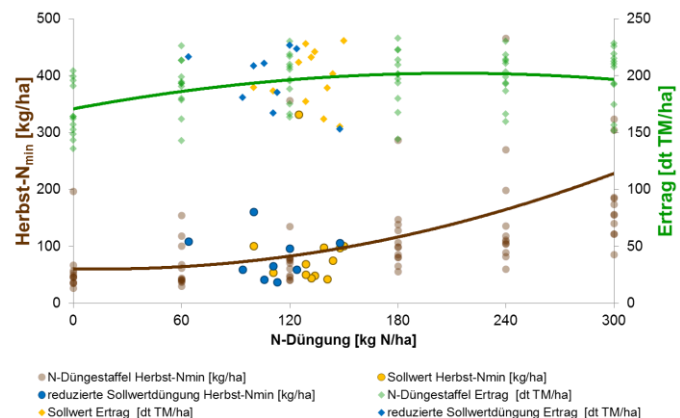


Abbildung 8: Herbst- $N_{\min}$ -Werte und Trockenmasseerträge bei Sollwertdüngung und in der Variante „Abschlüsse nach Schätzrahmen/Sollwert-20 %“ im Vergleich

3.2. Die Nitrachek-Methode

Wird die Sollwertdüngung reduziert, bieten vegetationsbegleitende Untersuchungen eine gute Möglichkeit, die N-Versorgung der Pflanzen zu überprüfen, um bei Bedarf gegebenenfalls nachdüngen zu können. Neben der Spät-Frühjahrs- $N_{\min}$ -Probenahme kommt zum Beispiel auch die Nitrachek-Methode in Frage. Dabei wird die Nitratkonzentration im Pflanzensaft ermittelt, um die N-Versorgung der Pflanzen zu beurteilen, (NITSCH (1996)). Die Ergebnisse der Nitrachek-Analysen bieten eine Orientierung, müssen jedoch immer im Zusammenhang mit den Standorteigenschaften, dem Witterungsverlauf und vorangegangenen Bewirtschaftungsmaßnahmen beurteilt werden, um weiteren Handlungsbedarf herleiten zu können.

Abbildung 9 zeigt die Ergebnisse der Nitrachek-Analysen bei unterschiedlicher N-Düngung. Die Ergebnisse zeigen, dass die Nitratkonzentration im Pflanzensaft vor allem bei einer Steigerung der N-Düngung zwischen 0 und 120 kg N/ha zunimmt, die Fehlerindikatorbalken verdeutlichen jedoch die hohe standort- und jahresspezifische Variabilität.

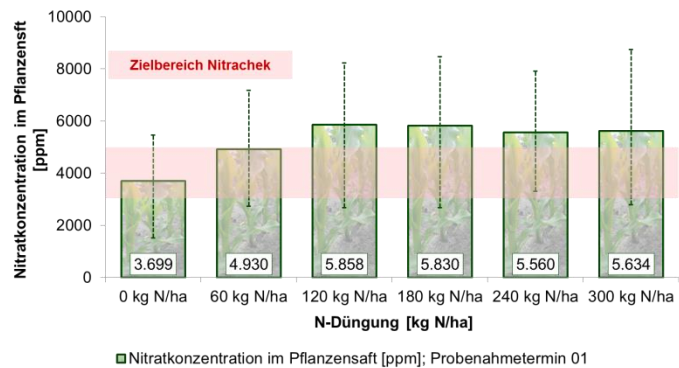


Abbildung 9: Nitratkonzentration im Pflanzensaft bei unterschiedlicher N-Düngung; Fehlerindikatorbalken zeigen den jahres- und standortbedingten Schwankungsbereich

Auch bei bedarfsgerechter N-Düngung können Nitratkonzentrationen im Pflanzensaft auftreten, die über dem derzeitigen Zielbereich von 3000-5000 ppm liegen. Die Versuchsergebnisse zeigten auch, dass die Methode besonders bei Frühsommertrockenheit kaum einsetzbar ist, um den weiteren N-Düngebedarf im Vegetationsverlauf zu bestimmen, da in diesem Fall die Nitratkonzentration im Pflanzensaft - trotz ausreichender N-Mengen im Boden - relativ gering war. Auch der Einsatz von Nitrifikationshemmstoffen im Zusammenhang mit Gülleunterfußdüngung erschwert die Beurteilung der Ergebnisse, da noch nicht ausreichend quantifiziert ist, inwieweit die Pflanze nach dem Einsatz von Nitrifikationshemmstoffen mehr Stickstoff in Form von Ammonium-N, anstatt von Nitrat-N aufnimmt. Hinzu kommt, dass die Wirkungsdauer der Nitrifikationshemmstoffe jahres- und standortspezifisch stark variieren kann. Aufgrund der hohen Variabilität ist es nur schwer möglich, anhand der Ergebnisse weiteren N-Düngebedarf exakt zu bestimmen. Die Methode bietet jedoch, beispielsweise nach reduzierter Sollwertdüngung, die Möglichkeit die N-Versorgung der Pflanzen zu beurteilen. Besonders wenn nach einer geringen Reduzierung der N-Sollwertdüngung hohe Nitratkonzentrationen im Pflanzensaft auftreten, zeigt dies, dass die Pflanzen trotz der reduzierten N-Düngung ausreichend mit Stickstoff versorgt sind und kein weiterer N-Düngebedarf besteht.

3.3. N-Düngung auf humusreichen Standorten

Der Humusgehalt ist ein wichtiger Faktor, um die standörtliche N-Nachlieferung einschätzen zu können. Versuchsergebnisse zeigten, dass der N_t -Gehalt als Standortparameter für die Ermittlung von N-Abschlägen besser geeignet ist als der Humusgehalt. Um die N-Nachlieferung auf humusreichen Standorten bei der Maisdüngung besser berücksichtigen zu können, wurde daher ein Abschlagverfahren entwickelt, dass es ermöglicht, die standörtliche N-Nachlieferung anhand des N_t -Gehaltes einzuschätzen (SPRINGOB et al. (2013) und HÖPER et al. (2014)). [Detaillierte Informationen zu diesem Verfahren](#) sind auch auf der Internetseite der Landwirtschaftskammer Niedersachsen verfügbar. Tabelle 1 zeigt die Höhe der empfohlenen Abschläge in Abhängigkeit vom N_t -Gehalt.

Tabelle 1: Verfahren „L 5“; Abschlüsse vom Sollwert bei Maisanbau auf humusreichen Standorten

Abzüge vom Sollwert bei Maisanbau auf humusreichen Standorten					
N _t [%]	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
Abzug [kg N/ha]	20	30	40	50	60

Das Verfahren wird derzeit im Rahmen von mehrjährigen Exaktversuchen validiert. Die ersten Ergebnisse weisen darauf hin, dass das Verfahren eine gute Möglichkeit bietet, hohe Herbst-N_{min}-Werte zu vermeiden und die standörtliche N-Nachlieferung möglichst exakt zu berücksichtigen. Allerdings werden auf humusreichen Standorten trotz reduzierter Düngung häufig hohe Herbst-N_{min}-Werte gemessen, sodass eine Teilnahme an der erfolgshonorierten Freiwilligen Vereinbarung nicht immer empfohlen werden kann.

4. Gülleunterfußdüngung

4.1. N-Bilanzen reduzieren durch Unterfußdüngung mit Wirtschaftsdüngern

In Zusammenarbeit mit den Landwirtschaftskammern der Länder Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Schleswig-Holstein wurde an der [Hochschule Osnabrück](#), finanziert durch die deutsche Bundesstiftung Umwelt, in den vergangenen Jahren intensiv an verschiedenen Fragestellungen zur Gülleunterfußdüngung im Silomaisanbau geforscht. Abbildung 10 zeigt den Feldversuch zur Gülleunterfußdüngung am Versuchsstandort Wehnen.



Abbildung 10: Feldversuch zur Gülleunterfußdüngung im Silomaisanbau; Versuchsstandort Wehnen; 11.09.2015

Die Unterfußdüngung mit Gülle oder Gärresten - anstatt mit Mineraldünger - bietet im Maisanbau die Möglichkeit, die N-Effizienz zu erhöhen und durch den Verzicht auf mineralische Unterfußdüngung betriebliche N- und P-Bilanzüberschüsse zu verringern, (OLFS et al. (2016)). Die Ergebnisse zeigen, dass bei Gülleunterfußdüngung auf den meisten Standorten in Nordwestdeutschland ohne Ertragsrückgang auf mineralischen Unterfußdünger verzichtet werden kann, (FEDEROLF et al. (2016a)). Die Ergebnisse weisen außerdem darauf hin, dass durch die Kombination mit Nitrifikationshemmstoffen, insbesondere auf leichten Standorten, Nitratauswaschung infolge von starken Frühsommerniederschlägen verringert werden kann, (OLFS et al. (2016)).

Die Ergebnisse des Feldversuchs an sieben Versuchsstandorten 2014 verdeutlichen die erhöhte N-Aufnahme-Effizienz und die verringerten N-Bilanzen bei Unterfußdüngung im Vergleich zur Gülleausbringung mit dem Schleppschlauch, (Abbildung 11, FEDEROLF et al. (2016a)).

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

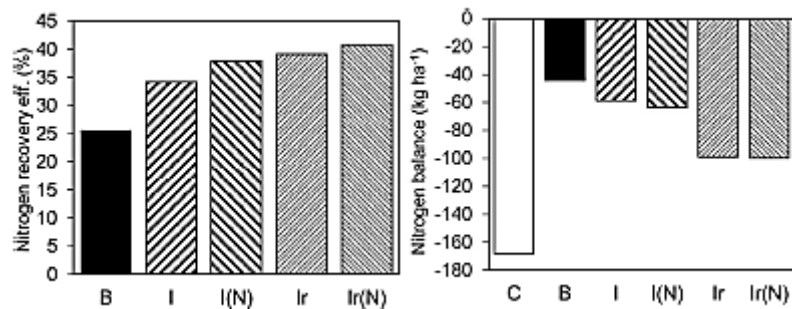


Abbildung 11: N-Aufnahme-Effizienz (links) und N-Bilanz (rechts); C: ungedüngt, B: Gülle breit verteilt (Schleppschlauch), I: Unterfußdüngung, I(N): Unterfußdüngung mit Nitrifikationshemmstoff, Ir: Unterfußdüngung mit um 1/3 reduzierter Düngung, Ir(N): Unterfußdüngung mit um 1/3 reduzierter Düngung mit Nitrifikationshemmstoff, (FEDEROLF et al. (2016a))

Beim Anbau ist zu bedenken, dass die verlängerte und verbesserte N-Verfügbarkeit zu einer verzögerten Abreife führen kann; dies sollte bei der Sortenwahl entsprechend berücksichtigt werden (FEDEROLF et al. (2016b)). Die Gülleunterfußdüngung lässt sich in der Regel auch gut mit dem Strip-Till-Verfahren kombinieren, so dass zusätzlich Vorteile des Strip-Till-Verfahrens, wie beispielsweise ein verbesserter Erosionsschutz, im Maisanbau genutzt werden können, (FEDEROLF et al. (2016b)).

4.2. N_{min} -Probenahme bei Gülleunterfußdüngung

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



Abbildung 12: Probenahme mithilfe einer speziell angefertigten Schaufel, um bei Gülleunterfußdüngern repräsentative Ergebnisse zu erhalten (WESTERSCHULTE et al. (2015))

In verschiedenen Feldversuchen wurde von WESTERSCHULTE et al. (2015), ein Verfahren erprobt, das es ermöglicht, mithilfe einer speziell angefertigten Schaufel, für die Probenahme in der Reihe (Abbildung 12) in Kombination mit Probenahmen zwischen den Reihen mit dem Bohrstock, repräsentative Proben zu ziehen. Die Probenahme mit dem Bohrstock im Gülleband führte nicht zu repräsentativen Ergebnissen. Außerdem kann es bei einer Probenahme im Gülleband zu einem deutlichen Übertrag in die darunterliegenden Bodenschichten kommen, (WESTERSCHULTE et al. (2015)).

Bei der Ernte- oder Herbst- N_{min} -Probenahme kann, bei bedarfsgerechter N-Düngung, in der Regel davon ausgegangen werden, dass der ausgebrachte Dünger von den Pflanzen aufgenommen wurde und deshalb in der Reihe keine höheren N_{min} -Werte zu erwarten sind als

zwischen den Reihen. Abbildung 13 zeigt Ernte- $N_{\min}$ -Werte nach Silomais auf verschiedenen Flächen. Auf jeder der Flächen wurde 2015 zum Vergleich die $N_{\min}$ -Probenahme jeweils in der Reihe, zwischen den Reihen und randomisiert durchgeführt.

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

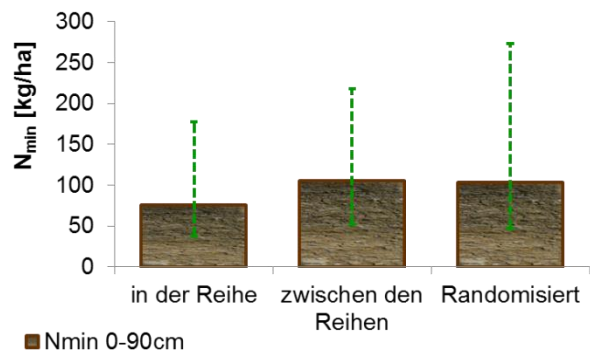


Abbildung 13: $N_{\min}$ -Werte direkt nach der Maisernte – Probenahme auf den gleichen Flächen, in der Reihe, zwischen den Reihen und randomisiert im Vergleich (2015); n=12 (LWK Niedersachsen)

5. Zusammenfassung

Grundwasserschutzorientierte Maisdüngung

- Im Silomaisanbau konnte in Feldversuchen auf vielen Standorten ein Anstieg der Herbst- N_{min} -Werte mit steigender N-Düngung festgestellt werden. **Um hohe Herbst- N_{min} -Werte zu vermeiden, darf der N-Düngebedarf deshalb auf keinen Fall überschritten werden.**
 - Auf den beiden leichten Versuchsstandorten mit langjähriger organischer Düngung, die durch eine hohe N-Nachlieferung gekennzeichnet sind, gibt es eine sehr enge Beziehung zwischen den Herbst- N_{min} -Werten und der Nitratkonzentration im Sickerwasser. **Hohe Herbst- N_{min} -Werte führten an den beiden Versuchsstandorten auch zu hohen Nitratkonzentrationen im Sickerwasser.**
- Die **N-Düngestrategie** kann entsprechend der betriebsspezifischen Anforderungen ausgewählt werden:
 - Bei hohem Mineraldüngereinsatz bietet die Spät-Frühjahrs- N_{min} -Probenahme eine Möglichkeit die jahres- und standortspezifische N-Nachlieferung bei der Bemessung der N-Düngung einzubeziehen. Besonders auf Standorten mit hoher bodenbürtiger N-Nachlieferung bietet die Methode Einsparpotential bei der N-Düngung.
 - Wenn bei Wirtschaftsdüngereinsatz eine einmalige Düngergabe bevorzugt wird, lassen sich in der Regel bei Sollwertdüngung unter Berücksichtigung der standortspezifischen Korrekturfaktoren ebenfalls ähnliche Herbst- N_{min} -Werte erzielen.
 - Treten dennoch wiederholt hohe Herbst- N_{min} -Werte auf, kann die Sollwertdüngung häufig ohne Ertragsverluste reduziert werden, um -besonders bei der Teilnahme an erfolgshonorierten Freiwilligen Vereinbarungen- hohe Herbst- N_{min} -Werte zu vermeiden.
 - Auf eine Reduzierung der N-Düngung reagiert der Mais auf Standorten mit hoher N-Nachlieferung im Vergleich zu Getreide mit einem sehr geringen Ertragsrückgang.
- Für **humusreiche Standorte** wurde ein Abschlagsverfahren entwickelt, das es ermöglicht, die standörtliche Nachlieferung in Abhängigkeit vom N_t -Gehalt einzuschätzen (SPRINGOB et al. (2013) und HÖPER et al. (2014)). Das Verfahren wird derzeit in Feldversuchen validiert.
- **Vegetationsbegleitende Untersuchungen**, wie Spät-Frühjahrs- N_{min} -Probenahmen oder Nitrachek-Analysen helfen die N-Nachlieferung des Standortes und die N-Versorgung der Pflanzen einzuschätzen und zu beurteilen, ob weiterer N-Düngebedarf besteht.
 - Die Ergebnisse vegetationsbegleitender Untersuchungen liefern jedoch nur eine Momentaufnahme und müssen immer unter Berücksichtigung der Standorteigenschaften, des Witterungsverlaufs und vorangegangener Bewirtschaftungsmaßnahmen beurteilt werden.
- **Gülleunterfußdüngung** (OLFS et al. (2016) und FEDEROLF et al. (2016a,b)), bietet auf vielen Standorten in Niedersachsen die Möglichkeit auf mineralischen Unterfußdünger im Maisanbau zu verzichten und lässt sich gut mit dem Strip-Till-Verfahren kombinieren.
 - Durch den Verzicht auf mineralischen Unterfußdünger können die N- und P-Salden reduziert werden.
 - Repräsentative, vegetationsbegleitende N_{min} -Untersuchungen sind jedoch nach Gülleunterfußdüngung aufgrund der konzentrierten Wirtschaftsdünger- ausbringung nur mit sehr hohem Aufwand möglich (WESTERSCHULTE et al. (2015)).

6. Anhang

6.1. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht über die Zusammenhänge von Wasserschutz und Düngerecht	2
Abbildung 2: Zusammenhang zwischen der Nitratkonzentration im Sickerwasser und den Ernte-N _{min} -Werten, an den Versuchsstandorten Thülsfelde und Wehnen (Lars Konen, LBEG)	3
Abbildung 3: Einfluss der N-Düngung auf die Ernte-N _{min} -Werte bei Silomais, Winterweizen und Winterroggen (Vergleich langjähriges Mittel und 2015).....	3
Abbildung 4: Feldversuch zur grundwasserschutzorientierten N-Düngung von Silomais; Variante „Sollwertdüngung“ (links) und Variante „Spät-Frühjahrs-N _{min} -Probenahme“ (rechts); Versuchsstandort Werlte; 23.06.2015.....	4
Abbildung 5: N-Düngebedarfsermittlung anhand des N-Sollwertschemas	4
Abbildung 6: Vergleich Herbst-N _{min} -Werte, Ertrag und N-Düngung bei Sollwertdüngung und Spät-Frühjahrs-N _{min} -Probenahme; Fehlerindikatorbalken zeigen den Schwankungsbereich .	5
Abbildung 7: N-Düngung, Herbst-N _{min} -Werte und Trockenmasseertrag bei Sollwertdüngung und reduzierter Sollwertdüngung im Mittel der Jahre und Standorte im Vergleich; vorrangig Standorte mit hoher N-Nachlieferung; Fehlerindikatorbalken zeigen den Schwankungsbereich	6
Abbildung 8: Herbst-N _{min} -Werte und Trockenmasseerträge bei Sollwertdüngung und in der Variante „Abschläge nach Schätzrahmen/Sollwert-20 %“ im Vergleich	7
Abbildung 9: Nitratkonzentration im Pflanzensaft bei unterschiedlicher N-Düngung; Fehlerindikatorbalken zeigen den jahres- und standortbedingten Schwankungsbereich.....	8
Abbildung 10: Feldversuch zur Gülleunterfußdüngung im Silomaisanbau; Versuchsstandort Wehnen; 11.09.2015	9
Abbildung 11: N-Aufnahme-Effizienz (links) und N-Bilanz (rechts); C: ungedüngt, B: Gülle breit verteilt (Schleppschlauch), I: Unterfußdüngung, I(N): Unterfußdüngung mit Nitrifikationshemmstoff, Ir: Unterfußdüngung mit um ⅓ reduzierter Düngung, Ir(N): Unterfußdüngung mit um ⅓ reduzierter Düngung mit Nitrifikationshemmstoff, (FEDEROLF et al. (2016a)).....	10
Abbildung 12: Probenahme mithilfe einer speziell angefertigten Schaufel, um bei Gülleunterfußdüngern repräsentative Ergebnisse zu erhalten (WESTERSCHULTE et al. (2015))	10
Abbildung 13: N _{min} -Werte direkt nach der Maisernte – Probenahme auf den gleichen Flächen, in der Reihe, zwischen den Reihen und randomisiert im Vergleich (2015); n=12 (LWK Niedersachsen)	11

6.2. Literaturnachweis

EILER T.; (2002)

„Am Sollwert ausrichten“

Agrarforum Landwirtschaft und Wasserschutz Beilage des Landwirtschaftsblattes Weser-Ems 44/02 Seite 13-16

FEDEROLF C.-P., WESTERSCHULTE M., OLFS H.-W., BROLL G., TRAUTZ D. (2016a)

„Enhanced nutrient use efficiencies from liquid manure by positioned injection in maize cropping in northwest Germany“

European Journal of Agronomy 75 (2016) pp 130-138

FEDEROLF C.-P., WESTERSCHULTE M., OLFS H.-W., TRAUTZ D. (2016b)

„Gülleunterfußdüngung zu Silomais im Nordwesten – Die Nährstoffbilanzen entlasten“

LOP 5/2016 Seite 23-27

Hochschule Osnabrück – laufende Projekte

<http://old.hs-osnabrueck.de/44545.html>

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN (2013)

„Empfehlungen für die Stickstoffdüngung“

<https://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/pflanze/nav/341/article/14022.html>

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN (2015)

„Abschläge von der Stickstoffdüngung der Sollwertmethode zu Silomais auf Standorten mit hohem Humusgehalt“

<https://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/wasserschutzfuerniedersachsen/nav/1670/article/26940.html>

→ SPRINGOB, G., AUE, Ch., RAUE, W., SEITZ, O., SCHÜRMANN, T., ANTONY, F., REINERT, C., VON KORN, H.-Ch., (2013) Modell- und Pilotvorhaben (M&P) „Ermittlung und praxismgerechte Schematisierung der N-Mineralisation auf N-Mineralisation auf N-Quellstandorten zur bedarfsgerechten Reduktion der N-Düngung im Maisanbau“ (unveröffentlicht)

→ HÖPER, H., SCHÄFER, W. und EILER, T. (2014). N_{min} -Schätzrahmen „Apparente N-Mineralisation zu Mais“. Auswertung von Feldversuchen im Silomaisanbau im Rahmen der landesweiten Aufgaben der LWK im kooperativen Trinkwasserschutz § 28 NWG. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover (LBEG) (unveröffentlicht)

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFALEN; (2014)

„Ratgeber Pflanzenbau und Pflanzenschutz“;

Ausgabe 2014, Seite 270

NITRATRICHTLINIE

Richtlinie des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen (91 / 676 / EWG)

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1991:375:0001:0008:DE:PDF>

NITSCH A.;(1996)

„Düngen nach der Nitrachek-Methode“

Hannoversche Land-und forstwirtschaftliche Zeitung, Mai 1996

NLWKN (Stand 2010, 1. Auflage 2012)

„Untersuchung des mineralischen Stickstoffs im Boden Empfehlungen zur Nutzung der Herbst- N_{min} -Methode für die Erfolgskontrolle und zur Prognose der Sickerwassergüte“

http://www.nlwkn.niedersachsen.de/service/veroeffentlichungen_webshop/schriften_zum_downloaden/downloads_grundwasser_trinkwasser/veroeffentlichungen-zum-thema-grundwassertrinkwasser-zum-downloaden-44047.html?cp=4_22077#list_22077

NLWKN,(2015)

„Anwenderhandbuch für die Zusatzberatung Wasserschutz – Grundwasserschutzorientierte Bewirtschaftungsmaßnahmen in der Landwirtschaft und Methoden zu ihrer Erfolgskontrolle“ (Band 21)

http://www.nlwkn.niedersachsen.de/service/veroeffentlichungen_webshop/schriften_zum_downloaden/downloads_grundwasser_trinkwasser/veroeffentlichungen-zum-thema-grundwassertrinkwasser-zum-downloaden-44047.html

OLFS H.-W., FEDEROLF C.-P., WESTERSCHULTE M., TRAUTZ D. (2016)

„Gülleinjektion im Maisanbau – Mineralische Unterfußdüngung kann ersetzt werden“

Mais 2/2016 Seite 64-67

WASSERRAHMENRICHTLINIE

Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates, vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik

http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0003.02/DOC_1&format=PDF

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

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

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