

## Versuchsergebnisse und Anbauempfehlungen zum grundwasserschutzorientierten Maisanbau

### Maisanbau

Die Anbaufläche von Mais hat im Jahr 2012 in Niedersachsen eine Größe von über 628.000 ha erreicht, das entspricht einer Ausweitung um mehr als 56 % seit 2007. Somit ist Mais mit annähernd  $\frac{1}{3}$  der Ackerfläche bzw.  $\frac{1}{4}$  der gesamten LF die Fruchtart mit dem größten Anbauumfang Niedersachsens. Vor diesem Hintergrund ist der grundwasserschonende Maisanbau vor allem in Wasserschutzgebieten von zentraler Bedeutung. In der vorliegenden Veröffentlichung sind Anbauempfehlungen und aktuelle Versuchsergebnisse zum grundwasserschonenden Silomaisanbau zusammengefasst.

### Optimale Düngung zu Silomais als Hauptfrucht

Unter den Klimabedingungen Niedersachsens hat der Mais eine langsame Jugendentwicklung mit einem schwach ausgeprägten Wurzelwachstum. Ein deutlicher Anstieg der N-Aufnahme erfolgt in der Regel ab Ende Juni mit Beginn des starken Massenwachstums. Den höchsten N-Bedarf erreicht der Mais mit Blühbeginn, zu einer Zeit mit hohen N-Mineralisierungsraten. Aufgrund der guten zeitlichen Übereinstimmung zwischen der N-Mineralisation im Boden und dem N-Bedarf der Maispflanzen deckt der Mais einen hohen Anteil seines N-Bedarfs aus dem N-Bodenvorrat. So sind in Feldversuchen der hohe Maisertrag in Varianten ohne N-Düngung und die negativen N-Salden bei einer optimalen N-Düngung auf die gute Ausnutzung des Bodenstickstoffs zurückzuführen.

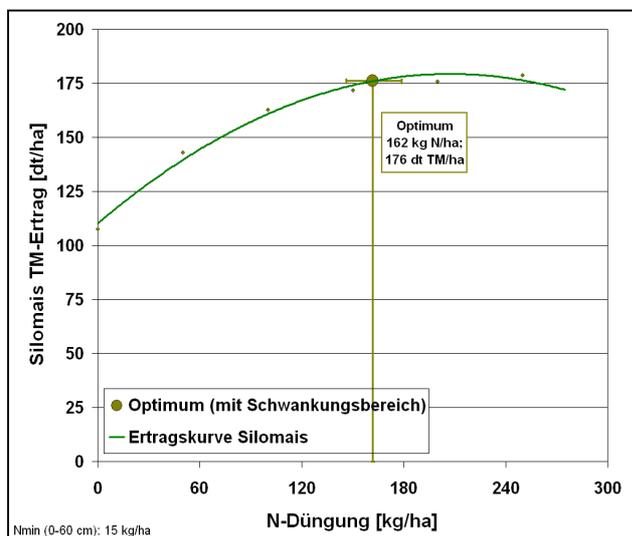


Abbildung 1: Einfluss der N-Düngung auf den Silomaisertrag (31 Versuche, 2009-2010)

Abbildung 1 zeigt, dass der optimale Silomaisertrag im Hauptfruchtanbau bei einem N-Angebot (15 kg/ha N<sub>min</sub> + 162 kg/ha N-Düngung) von ca. 180 kg N/ha erzielt wird. Dies entspricht der Stickstoffdüngempfehlung nach der N<sub>min</sub>-Methode (N-Sollwert). Infolge der Witterung und der Bewirtschaftung kann das N-Optimum um ca. 20 kg N/ha variieren.

Dabei ist stets zu beachten, dass die Bemessung der bedarfsgerechten Düngung so erfolgen muss, dass ein Gleichgewicht zwischen dem voraussichtlichen Nährstoffbedarf und der Nährstoffversorgung gewährleistet ist.

Sollwert [kg N/ha]: 180	Vegetationsbeginn
	180 - N <sub>min</sub>
<b>A: Anpassung an Standort [kg N/ha]:</b>	
- 40	bei langjähriger organischer Düngung*
<b>B: Weitere Anpassung an Standort, Bewirtschaftung und Witterung [kg N/ha]:</b>	
Sollwert bzw. Düngung erhöhen:	
bis + 20	standortbedingter schlechter N-Nachlieferung
Sollwert bzw. Düngung reduzieren:	
bis - 20	bei standortbedingter guter N-Nachlieferung
bis - 20	bei Gründungsvorfrucht (je nach Aufwuchsmenge und Abfriertermin)
Die Summe der Zu- und Abschläge unter B sollte 20 kg N/ha nicht überschreiten. <small>*i.d.R. bei P-Gehalten in der Krume &gt; 13 mg P-CAL / 100 g Boden</small>	

Abbildung 2: Stickstoffdüngempfehlung Mais im Hauptfruchtanbau; LWK Niedersachsen

Die N-Optima unterscheiden sich auf den ertragsstärkeren, schweren Standorten infolge einer höheren N-Nachlieferung nur unwesentlich von den ertragsschwächeren leichten Standorten mit einer schlechteren Wasserversorgung. Wie in Abbildung 2 aufgeführt, ist auf Flächen mit langjähriger organischer Düngung der Sollwert um 40 kg N/ha niedriger anzusetzen, da der Mais den aus dem Boden mineralisierten Stickstoff sehr gut nutzen kann. Zur verbesserten Einschätzung des Stickstoffnachlieferungsvermögens aufgrund der Einflüsse des Standorts, der organischen Düngung und der Fruchtfolge werden zur Zeit weitere Versuche sowie Modell- und Pilotvorhaben in Niedersachsen durchgeführt.

### Optimale Düngung zu Silomais als Zweitfrucht

Im Rahmen der Biogasproduktion wird zur Steigerung der TM- bzw. Methangaserträge pro Flächeneinheit in einigen Regionen der Silomais vermehrt als Zweitfrucht nach Getreide-GPS angebaut. Vor diesem Hintergrund wurden im Rahmen eines Feldversuchs auf einem schwach humosen Standort, mit langjähriger organischer Düngung die N-Optima von Silomais im Ein- und Zweitfruchtanbau bestimmt.

Das N-Optimum zu Silomais im Einfruchtanbau liegt, wie in den o. g. Versuchen, trotz langjähriger organischer Düngung bei 180 kg N/ha, da der P-Gehalt an diesem Standort weniger als 13 mg P-CAL/100 g Boden beträgt (siehe Abbildung 2 unten).

Im Zweitfruchtanbau (Vorfrucht vor Silomais: Roggen-GPS) kann aufgrund der N-Nachlieferung der Vorfrucht und eines durch die kürzere Wachstumsperiode geringeren N-Bedarfs der Maispflanzen die optimale N-Düngung zur Erzielung des optimalen Silomaisertrages um ca. 40 kg N/ha reduziert werden. Nach diesen Ergebnissen liegt der vorläufige N-Sollwert zu Silomais im Zweitfruchtanbau bei 140 kg N/ha (s. Abbildung 3). Auch im Zweitfruchtanbau sind die Abzüge vom Sollwert bei Flächen mit langjähriger organischer Düngung, aufgrund der bisher vorliegenden Ergebnisse mit 40 kg N/ha anzusetzen (s.o.).

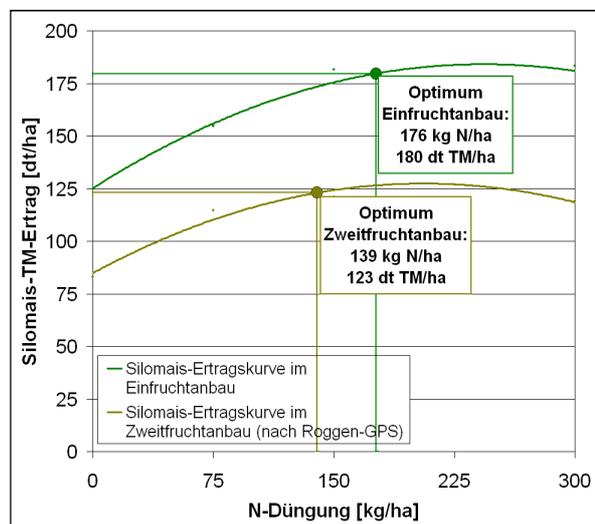
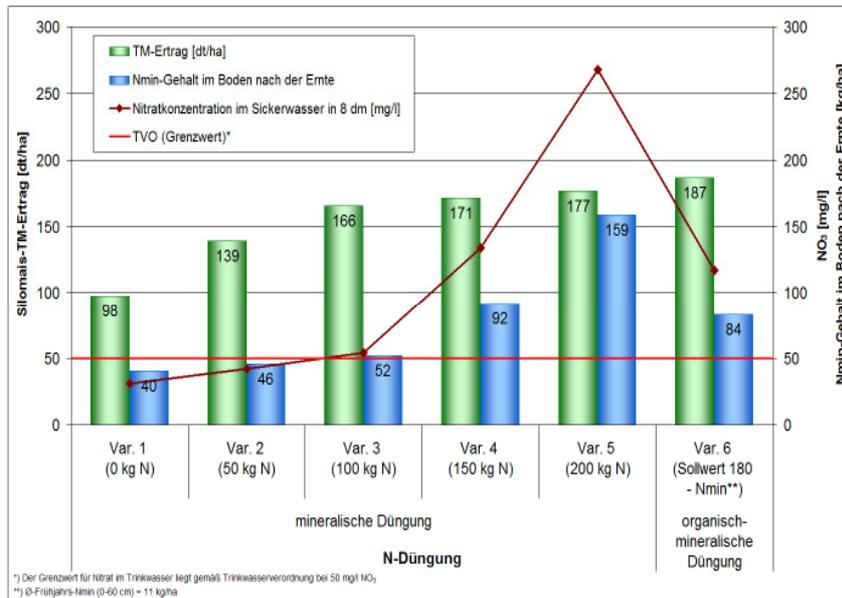


Abbildung 3: Einfluss der N-Düngung auf den Silomaisertrag im Ein- und Zweitfruchtanbau (jeweils 3 Versuche, 2011)

## Maßnahmen zum grundwasserschutzorientierten Maisanbau

### Reduzierte N-Düngung

Im Rahmen des Wasserschutzes wird eine reduzierte N-Düngung – unterhalb des N-Sollwertes – zur Verringerung der N-Austräge diskutiert. Die Versuchsergebnisse der LWK Niedersachsen und des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) zeigen, dass eine überhöhte Düngung zu sehr hohen Nitratbelastungen im Sickerwasser führt.



**Abbildung 4: Einfluss der N-Düngung auf den Silomais- und TM-Ertrag, den Nmin-Gehalt im Boden nach der Ernte und die Nitratkonzentration im Sickerwasser; Thülsfelde 1999-2011**

Abb. 4 zeigt, dass auf dem Standort Thülsfelde (humoser Sand) durch eine Reduzierung der optimalen N-Düngung (zum Beispiel in Variante 3) die Stickstoffausträge deutlich vermindert werden. Im Vergleich dazu fallen die Ertragsverluste auf diesem Standort im langjährigen Mittel geringer - mit ca. 10 % Ertragsunterschied zwischen Variante 6 und Variante 3, verglichen mit einer Reduzierung der Nitratkonzentration im Sickerwasser um ca. 50 % - aus. Diese Effekte können je nach Standort variieren.

Hilfreich bei der Umsetzung der reduzierten N-Düngung kann eine begleitende (späte) Nmin-Untersuchung Ende Mai / Anfang Juni sein. Hinsichtlich der Düngebedarfsermittlung im Maisanbau wurden erste Untersuchungen zur späten Nmin-Probenahme durchgeführt, die fortgesetzt werden. Darüber hinaus werden Untersuchungen zur Nitra-Check-Methode erfolgen.

### Untersaaten

Reststickstoff im Boden kann zum Teil durch winterharte Grasuntersaaten konserviert und so vor einem Austrag in tiefere Bodenschichten und in das Grundwasser bewahrt werden. Neben dem positiven Effekt der N-Fixierung fördern Grasuntersaaten die Bodenfruchtbarkeit, verbessern die Humusbilanz, mindern die Wasser- und Winderosion und verbessern die Befahrbarkeit der Flächen zur Maisernte.

Obwohl bei den Nmin-Werten Schwankungen zwischen den einzelnen Jahren und Standorten auftraten, sind Untersaaten in der Lage, die Reststickstoffgehalte im Herbst zu reduzieren und dadurch die Nitratauswaschung zu verringern. Vor allem extrem hohe Herbst-Nmin-Werte können vermieden werden.

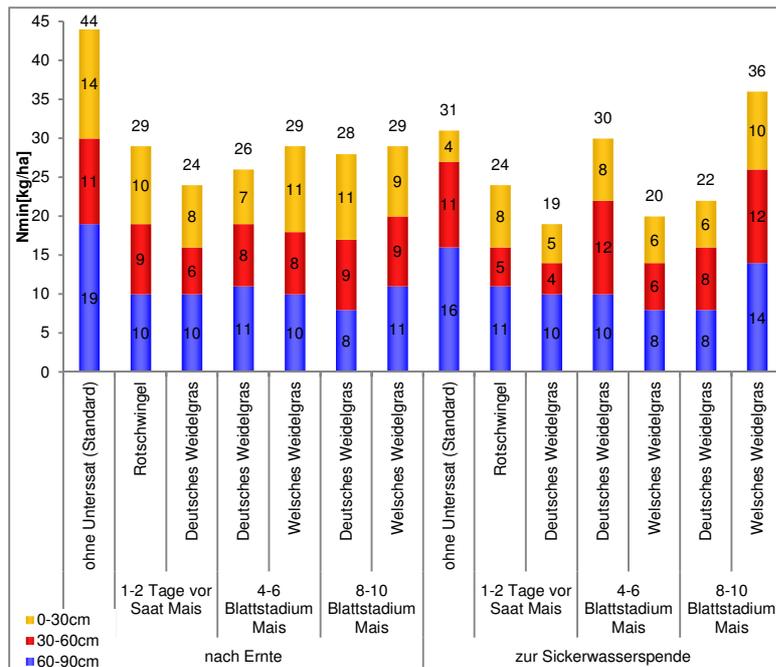


Abbildung 5: Nmin-Werte nach Silomais mit Untersaaten, Versuchsstandort Dasselsbruch, 2012

Dies wurde über zehn Jahre in verschiedenen Versuchen der LWK, wie zum Beispiel 1995-2004 am Standort Liebenau (siehe Merkblatt Wasserschutz Nr. 01; Webcode: 01005625), überprüft. Dort konnten in der nitratkonservierenden Fruchtfolge mit Untersaaten im mehrjährigen Mittel die Herbst-Nmin-Werte um knapp die Hälfte reduziert werden. Die aktuellen Ergebnisse aus dem Jahr 2012, am Versuchsstandort Dasselsbruch zeigen den positiven Einfluss der Untersaaten nach der Silomaisernnte (siehe Abbildung 5). Dort konnte der Nmin-Wert von 44 kg/ha, ohne Untersaat, reduziert werden.

Als Untersaaten haben sich Weidelgras-Mischungen bewährt. Aufgrund der Schnellwüchsigkeit der Gräser erfolgt die Aussaat mit 15-20 kg/ha im 4-6 Blatt Stadium des Maises breitwürfig ohne Einarbeitung. Dafür bieten sich vor allem Pneumatikstreuer an. Schleuderstreuer oder auch Schneckenkornstreuer sind deutlich windanfälliger und erreichen nur eine begrenzte Arbeitsbreite. Gute Erfahrungen wurden auch bei der späten Gülleausbringung gesammelt. Das Grassaatgut wird beim Befüllen über einen Injektor direkt in das Fass aufgenommen. Nach bisherigen Erkenntnissen kommt es zu einer gleichmäßigen Verteilung im Güllebehälter. Langsamer wachsende Gräser, wie Rotschwingel, sollten zu einem früheren Zeitpunkt ausgesät werden.

Im Durchschnitt der Jahre erreicht der Mais ab Mitte bis Ende Juni die entsprechende Wuchshöhe und Untersaaten können ohne Konkurrenzeffekte eingesät werden. Unter normalen Bedingungen entwickelt sich die Untersaat bis zur beginnenden Maisabreife nur langsam. Erst mit stärkerem Lichteinfall in den Bestand bzw. nach der Ernte setzt stärkeres Graswachstum ein. Bei einer ausgeprägten Sommertrockenheit verkümmern die Gräser, so dass keine zusätzliche Wasserkonkurrenz aufgebaut wird. Außerdem wird der Wasserverbrauch der Untersaaten in den meisten Fällen durch eine verringerte Evaporation des Bodens kompensiert. Die Ertragsneutralität kann, bei angepasstem Aussaatzeitpunkt und Auswahl der Untersaat gewährleistet werden. Der Mais kann sein Ertragspotential auch mit Untersaat ausschöpfen (Abbildung 6). Stark wüchsige Untersaaten, wie das Deutsche und Welsche Weidelgras, dürfen jedoch nicht zu früh ausgesät werden, um Ertragsverluste zu vermeiden (s. Abbildung 6).

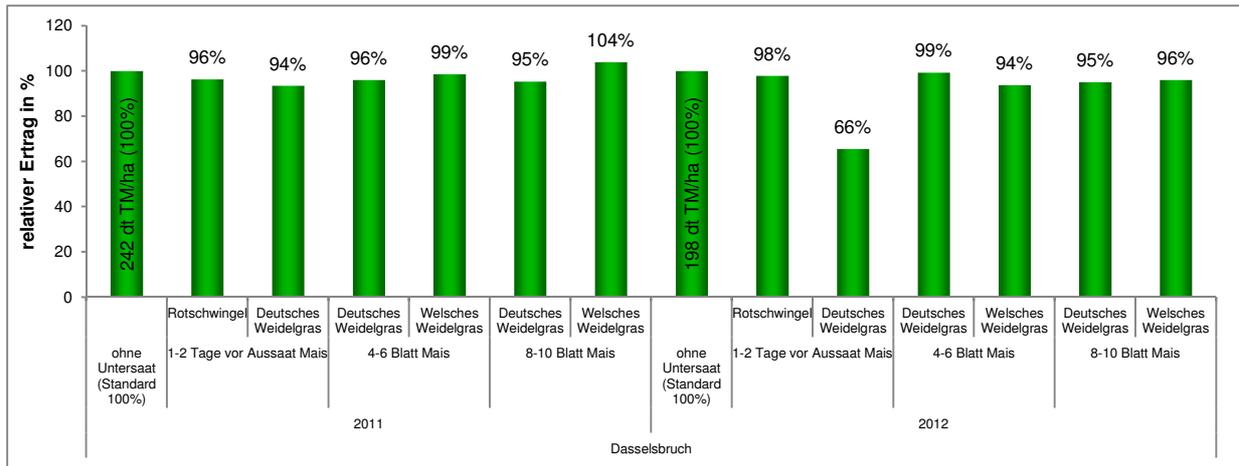


Abbildung 6: Relative Silomaiserträge am Standort Dasselbruch, 2011 und 2012

Für die Entwicklung der Untersaat hat die Auswahl der Herbizide eine entscheidende Bedeutung. Neben einer sicheren Herbizidwirkung steht die Verträglichkeit gegenüber der Untersaat im Vordergrund. Je enger der Abstand zwischen Grasaussaat und Herbizidbehandlung, desto größer ist das Schadrisiko. Besonders problematisch sind schwankende Verträglichkeiten bei Präparaten mit bodenwirksamen Bestandteilen. Deshalb ist die Mittelauswahl gegen Unkräuter und Hirsen bei Grasuntersaaten deutlich eingeschränkt und sollte mit den Pflanzenschutzberatern vor Ort abgesprochen werden.

### Verminderter Reihenabstand

Um sein Ertragspotenzial ausschöpfen zu können, benötigt Silomais erhebliche Nährstoffmengen. Versuche mit verringerten Reihenweiten beim Silomaisanbau aus den Jahren 1998-2000 wiesen neben reduzierten Rest-Nmin-Gehalten nach der Ernte im Vergleich zur Normalsaat (75 cm Reihenweite) bei gleicher N-Düngung auch eine Verbesserung der N-Ausnutzung auf. Bei geringeren Reihenweiten waren geringere N-Mengen zur Erzielung des Optimalertrages erforderlich. Am Dauerversuchsstandort Thülsfelde wurde in den Jahren 2008 und 2011 auf zwei Teilstücken die Normalsaat (75 cm) durch Engsaat (37,5 cm) ersetzt. Auf dem dritten Teilstück wurde der Silomais in Normalsaat ausgesät. In diesen Untersuchungen erzielten die Engsaaten bei gleicher N Düngung um 20 bzw. 30 dt TM/ha höhere Erträge. Die Engsaat führte hier zu einer verbesserten N-Effizienz (dargestellt im Versuchsjahr 2011). So wurden mit einer um ca. 20 kg N/ha verringerten N-Düngung bereits optimale Silomaiserträge erreicht (Abbildung 7).

Eine steigende N-Düngung führte sowohl in Normal- als auch in Engsaat zu einem Anstieg der Nmin-Werte. Eine Reduzierung der Rest-Nmin-Gehalte durch die Engsaat konnte in den aktuellen Versuchen nicht festgestellt werden.

Hinsichtlich einer Reduktion der N-Bilanz im Silomaisanbau ist die Steigerung der N-Effizienz positiv zu bewerten (siehe Abbildung 8).

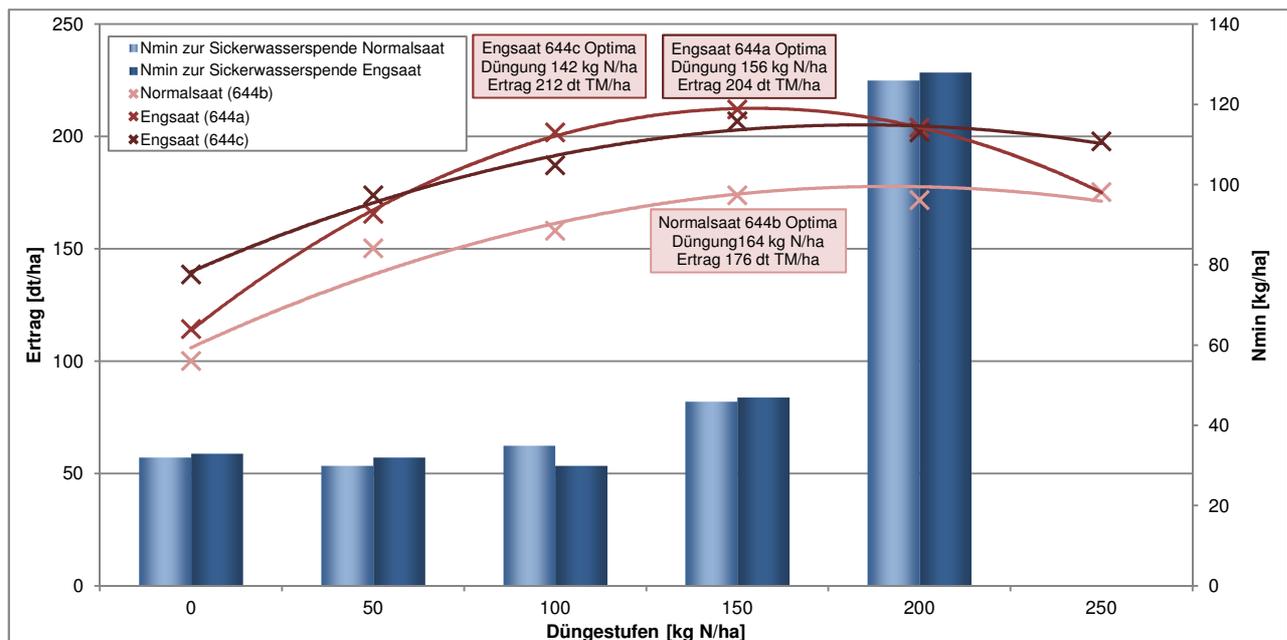


Abbildung 7: Silomaiserträge und Nmin-Gehalte im Boden nach Silomais und zur Sickerwasserspense in Abhängigkeit von der Reihenweite, Versuch 644, Thülsfelde 2011

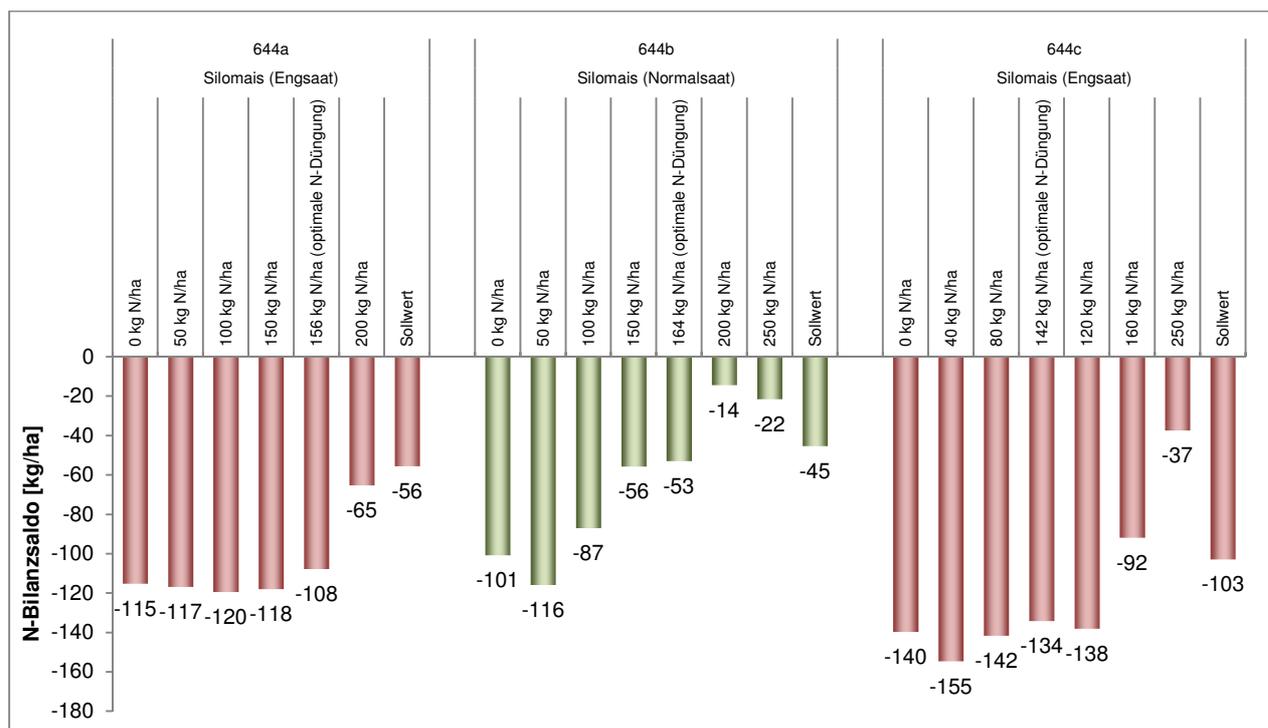
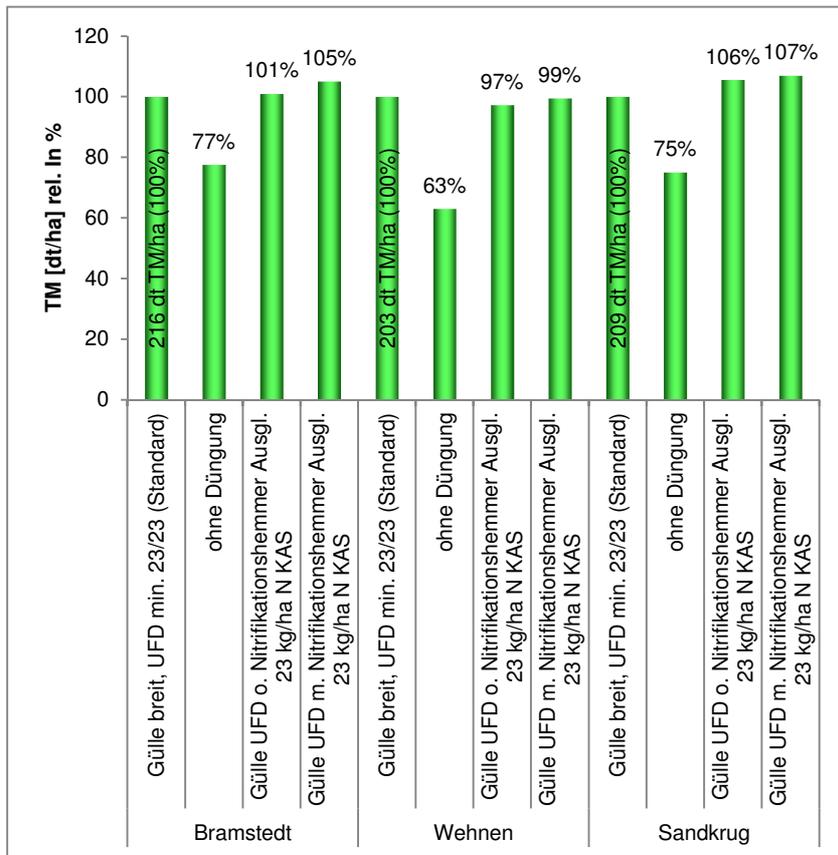


Abbildung 8: N-Bilanzsalden, Versuch 644, Thülsfelde 2011

### Gülleunterfußdüngung als Alternative zur mineralischen Unterfußdüngung

Die Gülleunterfußdüngung ist ein technisches Verfahren, das in den letzten Jahren beständig verbessert wurde. Das Verfahren wurde hinsichtlich der Ablage des Güllebandes optimiert. Im Laufe der Jahre stellte sich die Ablage des Güllebandes direkt unter der Saatreihe als die beste Ausbringungsform in Bezug auf die Nährstoffverfügbarkeit heraus. Die mineralische Unterfußdüngung kann im optimierten Verfahren ohne negative Auswirkungen auf den Ertrag durch Gülleunterfußdüngung ersetzt werden (Abbildung 9). So kann der anfallende Wirtschaftsdünger effizienter genutzt, und bei verringertem Mineraldüngerzukauf die N-Bilanz des Betriebes verbessert werden. Weitere Vorteile der Gülleunterfußdüngung sind geringe Emissionen und eine gute Kombinierbar-

keit mit dem „Strip-Till-Verfahren“, mit dem die Mulchsaat im Maisanbau realisiert werden kann. Hieraus ergeben sich weitere bodenschonende Auswirkungen.



Ein Verfahren, das in der Praxis, auch in Nordrhein-Westfalen immer stärker an Bedeutung gewinnt, ist die Kombination der Gülleunterfußdüngung mit einem Nitrifikationshemmer. Durch den Nitrifikationshemmer steht der Pflanze der Stickstoff länger als Ammonium anstelle des auswaschungsgefährdeten Nitrats zur Verfügung. Der Effekt des Nitrifikationshemmers auf den Ertrag variiert zwischen den einzelnen Standorten und Jahren von positiv bis neutral. Die Untersuchungen werden durch weitere Versuche der LWK Nordrhein-Westfalen ergänzt.

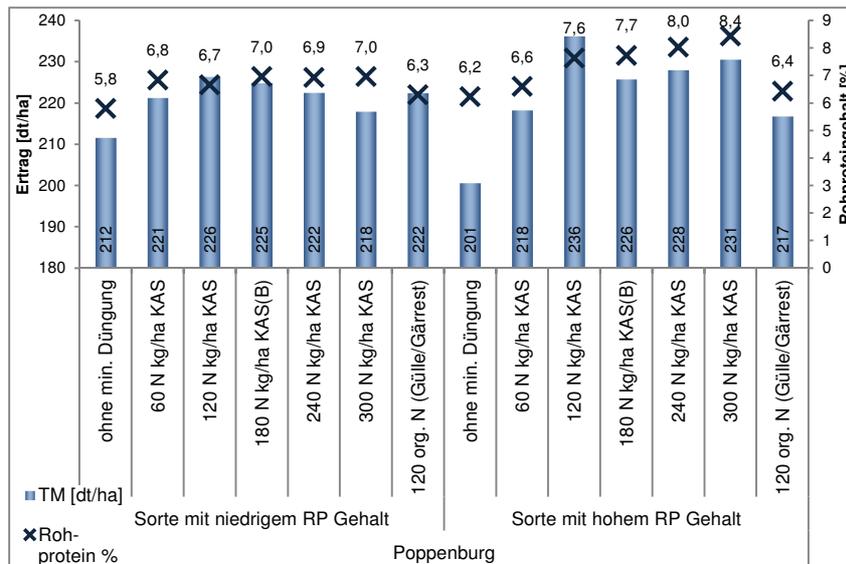
Abbildung 9: Relative Erträge Unterfußdüngung zu Silomais, relativer Ertrag der Standorte Bramstedt, Wehnen und Sandkrug, 2012

Die bislang ermittelten Nmin-Werte im Herbst nach der Ernte schwanken zwischen den einzelnen Jahren und Standorten. Die Auswirkungen der Gülleunterfußdüngung stellen sich überwiegend neutral bis positiv dar. Ein Vergleich der Nmin-Werte zwischen den Reihen und direkt in der Reihe, im Herbst 2011 und 2012 zeigt, dass die Pflanzen im optimierten Verfahren das im Frühjahr angelegte Nährstoffdepot unter der Reihe gut verwerten konnten.

### Kritischer Rohproteingehalt als Kenngröße der bedarfsgerechten Düngung

Im Maisanbau wird verstärkt der kritische Rohproteingehalt als Kenngröße zur Überprüfung der bedarfsgerechten N-Düngung diskutiert.

Der kritische Rohproteingehalt wird in der Fachliteratur häufig unabhängig von Standort oder angebauter Sorte, bei 7 % RP in der TM festgelegt (zum Beispiel HERRMANN und TAUBE 2005).



Versuche der LWK und anderer Versuchsansteller zeigen, dass zwischen der Höhe der N-Düngung und dem RP-Gehalt im Silomais ein Zusammenhang besteht. Erste Versuchsergebnisse der LWK-Niedersachsen zeigen, dass neben der Düngung und dem Standort (siehe Abbildung 10 und Abbildung 11) vor allem auch die Maissorte einen entscheidenden Einfluss auf den RP-Gehalt hat.

Abbildung 10: Ertrag und Rohproteingehalt von zwei Maissorten in Abhängigkeit von der N-Düngung, Poppenburg, 2012

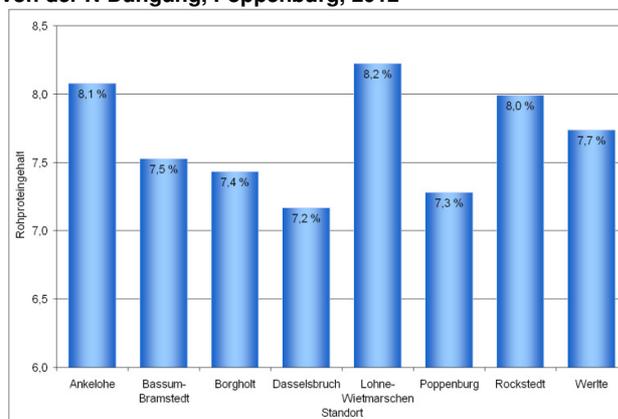


Abbildung 11: Rohproteingehalt von Silomais bei N-Sollwertdüngung in Abhängigkeit vom Standort (Ø 32 Maissorten; Landessortenversuche 2009-2011)

Ein Rohproteingehalt über 7 % weist nach diesen Ergebnissen nicht eindeutig auf eine Überdüngung hin. Hier sind voraussichtlich sorten- und standortspezifische RP-Gehalte für die Unterschiede verantwortlich. Vor diesem Hintergrund wurden in 2012 dreifaktorielle Feldversuche angelegt, in denen sowohl der Einfluss der Faktoren Maissorte, N-Nachlieferung des Standortes, und N-Düngung auf den Silomaisertrag, die Silomaisqualität (RP-Gehalt) und die Rest-Nmin-Gehalte im Boden überprüft werden.

### Bodenbearbeitung nach der Maisernte

Die Bodenbearbeitung nach der Maisernte kann sich durch die Nachmineralisation bei erneuter Durchlüftung des Bodens negativ auf die Herbst-Nmin-Werte und auf den Nitrataustrag auswirken. Der Verzicht auf Bodenbearbeitung nach Mais bei nachfolgendem Anbau einer Sommerung hat in einigen Regionen eine große Bedeutung als Maßnahme in der grundwasserschonenden Landwirtschaft. Bei der Bodenbearbeitung müssen phytosanitäre Aspekte wie die Bekämpfung des Maiszünslers, der in Maisstoppeln überwintert, beachtet werden. Daher wurden auf Praxisflächen die Rest-Nmin-Gehalte im Herbst nach verschiedenen Verfahren der Stoppel- und Bodenbearbeitung untersucht.

In diesen Erhebungsuntersuchungen auf Praxisflächen 2012 (LK Emsland und Bremervörde) wurden nach verschiedenen Bearbeitungsverfahren (Hammerschlegler, Vierkantwalze, Grubber, Scheibenegge sowie ohne Bodenbearbeitung) 4 und 8 Wochen nach der Bearbeitung, entgegen der Erwartung und entgegen der Beobachtungen in Wasserschutzgebieten, keine Unterschiede zwischen den Rest-Nmin-Gehalten der einzelnen Varianten festgestellt. 2013 sind weitere Erhebungsuntersuchungen geplant, um auch die Auswirkungen der einzelnen Verfahren auf die Frühjahrs-Nmin-Werte vergleichen zu können.

## Zusammenfassung

- Der N-Sollwert von 180 kg N/ha (im Mittel ca. 20 kg N<sub>min</sub> + 160 kg N-Zufuhr über Düngung) zu Silomais im Hauptfruchtanbau wurde bestätigt. Das Optimum variierte um 20 kg N/ha.
- Im Zweitfruchtanbau ist die optimale N-Düngung zu Silomais um ca. 40 kg N/ha zu reduzieren. Der bisher ermittelte N-Sollwert liegt somit bei 140 kg N/ha.
- Eine Verringerung der optimalen N-Düngung führte am Standort Thülsfelde mit einer erhöhten N-Nachlieferung zu einer deutlichen Verringerung des N-Austrages bei vergleichsweise geringen Ertragsverlusten. Die Verbesserung der Grundwasserqualität einerseits und betriebswirtschaftliche Auswirkungen andererseits sind standortbezogen und einzelbetrieblich zu berücksichtigen. Da es sich um die Versuchsergebnisse eines Standortes handelt, sind zur Ableitung landesweiter Ergebnisse und belastbarer Daten weitere Versuche in unterschiedlichen Bodenklimaregionen Niedersachsens erforderlich.
- Bei Berücksichtigung des optimalen Aussaatzeitpunktes und entsprechender Auswahl der Untersaat führen Grasuntersaaten zu einer Reduzierung der Rest-N<sub>min</sub>-Gehalte und verursachen keine Ertragsverluste.
- Eine Verringerung der Maisreihenweite führte, entgegen früherer Untersuchungen, zu keiner Absenkung der Reststickstoffgehalte im Boden nach der Ernte, in einigen Jahren jedoch zu einer Verbesserung der N-Effizienz.
- Die Auswirkungen der Gülleunterfußdüngung auf die Rest-N<sub>min</sub>-Gehalte nach der Ernte variieren von neutral bis positiv. Durch die präzise Ausbringung können die Wirtschaftsdünger jedoch effizienter genutzt und Mineraldünger eingespart werden. In Kombination mit dem Strip-Till-Verfahren kommt es durch die reduzierte Bodenbearbeitung zu zusätzlichen positiven Effekten für den Bodenschutz.
- Inwieweit ein kritischer RP-Gehalt als Indikator zur Überprüfung der bedarfsgerechten N-Düngung herangezogen werden kann, wird derzeit noch durch weitere Feldversuche untersucht. Sorten- und Standorteinflüsse sind bereits jetzt nachweisbar.
- In welcher Höhe durch Verzicht auf wendende, tiefe Bodenbearbeitung nach der Maisernte der Nitrat-Austrag in das Grundwasser reduziert werden kann, muss weiter geprüft werden.

Ausführlichere Ergebnisse und Daten finden sich im Versuchsbericht 2011 unter [www.lwk-niedersachsen.de](http://www.lwk-niedersachsen.de) (Webcode: 01021764).

Tim Eiler / Jutta Klaukien / Amelie Bauer

FB 3.12 Nachhaltige Landnutzung  
Mars-la-Tour-Str. 1-13  
26121 Oldenburg