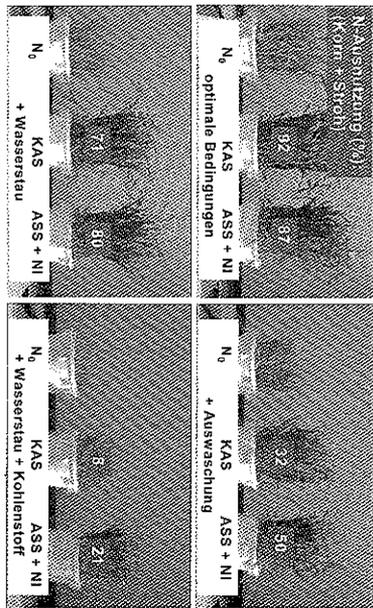


SD C49



## Nitrifikationsinhibitoren zur Steuerung der N-Freisetzung aus mineralischen und organischen Düngemitteln



Dr. Reinhold Gutser

## Nitrifikationsinhibitoren zur Steuerung der N-Freisetzungs aus mineralischen und organischen Düngemitteln

April 2006

Dr. Reinhold Gutser, Lehrstuhl für Pflanzenernährung der TU München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Am Hochanger 2, 85350 Freising-Weihenstephan  
Tel. 08161-71-5004, Fax: 08161-71-5094, Email: gutser@wzw.tum.de

Herausgeber:

Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft (RKL)

Leiter: Dr. Hardwin Traulsen

Am Kamp 13, 24768 Rendsburg, Tel. 04331-847940, Fax: 04331-847950

Internet: www.rkl-info.de; E-mail: mail@rkl-info.de

Sonderdruck aus der Kartei für Rationalisierung 4.1.1.2.0

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Zustimmung des Herausgebers

Was ist das RKL?

Das Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft ist ein bundesweit tätiger Beratungsring mit dem Ziel, Erfahrungen zu allen Fragen der Rationalisierung in der Landwirtschaft zu vermitteln. Dazu gibt das RKL Schriften heraus, die sich mit jeweils einem Schwerpunktthema befassen. In vertraulichen Rundschreiben werden Tipps und Erfahrungen von Praktikern weitergegeben. Auf Anforderung werden auch einzelbetriebliche Beratungen durchgeführt. Dem RKL sind fast 1400 Betriebe aus dem ganzen Bundesgebiet angeschlossen.

Wer mehr will als andere, muss zuerst mehr wissen. Das RKL gibt Ihnen wichtige Anregungen und Informationen.

## Gliederung

	Seite
1. Einleitung .....	379
2. Wirkungsweise von Nitrifikationsinhibitoren .....	380
3. Zugelassene Nitrifikationsinhibitoren in Deutschland .....	383
4. Kombination von Nitrifikationsinhibitoren mit Mineraldüngern .....	384
5. Kombination von Nitrifikationsinhibitoren mit organischen Düngern .....	390
6. Kosten .....	394
7. Zusammenfassung / Fazit .....	395

## 1. Einleitung

Seit etwa 30 Jahren beschäftigt sich die agrilkulturchemische Forschung mit der Entwicklung von synthetisch hergestellten Nitrifikationsinhibitoren (NI). Der Lehrstuhl für Pflanzenernährung ist seit dieser Zeit in diesem Forschungsbereich voll integriert. Die in diesem Beitrag mitgeteilten Erkenntnisse gehen im Wesentlichen auf mit öffentlichen Mitteln geförderte und gemeinsam mit den Herstellern von Stickstoffdüngemitteln durchgeführte Forschungsvorhaben zurück.

Das übergeordnete Ziel für den Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren liegt in der Sicherung einer hohen Stickstoffeffizienz der Düngung, bei größtmöglicher Schonung der Umwelt und dies auch weitgehend unabhängig von der Gunst der Witterung. Basis hierfür stellt eine fruchtspezifisch optimale Bemessung der Düngermenge dar. Zudem sollen mit diesen neuartigen Stickstoffdüngern vereinfachte Anwendungsstrategien ermöglicht werden mit sowohl arbeitswirtschaftlichen als auch pflanzenbaulichen Vorteilen.

Mit Nitrifikationsinhibitoren kann jedoch nicht der ungenügenden N-Verwertung und der nicht zu tolerierenden Umweltbelastung in Betrieben mit hohen N-Überschüssen entgegensteuert werden. Eine gute fachliche Düngepaxis lässt sich in diesen Betrieben (überwiegend mit hohen Tierbesatzdichten) ausschließlich durch eine Rücknahme der N-Zufuhr sowohl über die organische als auch die mineralische Düngung erreichen. Der entscheidende Schlüssel liegt dann in einer optimalen Verwertung des Wirtschaftsdüngers, wobei die Einbeziehung von Nitrifikationshemmstoffen von Nutzen sein kann.

Die Vorzüglichkeit der entwickelten NI-Wirkstoffe wurde bislang überwiegend an der Verbesserung der N-Effizienz von Mineraldüngern bemessen. Nachdem die

langfristige Verwertung optimal eingesetzter organischer Dünger mit durchschnittlich 65% deutlich unter der von Mineraldüngern mit 90% liegt (Abbildung 1), ist für die Kombination der Nitrifikationsinhibitoren mit schnell wirksamen organischen Düngern (Gülle, Gärückstände) ein höheres Potenzial zur Steigerung der N-Effizienz gegeben als für Mineraldünger. Hier haben die Düngemittelproduzenten (SKW-Piesertiz) bereits Inhibitoren für die Anwendung bei Gülle im Programm.

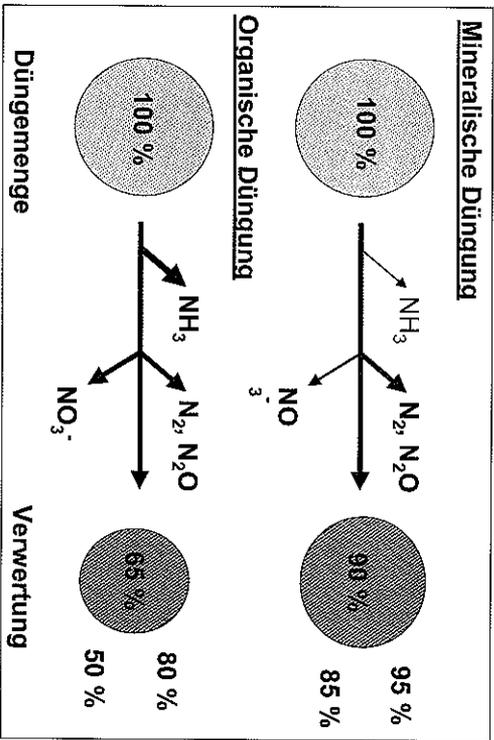


Abbildung 1: Langfristige Verwertung von mineralischen und organischen Düngern bei optimaler Anwendungsstrategie (Gutser, 2004).

## 2. Wirkungsweise von Nitrifikationsinhibitoren

Nitrifikationsinhibitoren hemmen den ersten Schritt der Nitrifikation des Düngestickstoffs, das heißt die Oxidation des NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Stickstoffs zum Nitrit-N (Abbildung 2). Mit der damit verlängerten NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Phase geht eine Verzögerung der Nitratbildung einher.

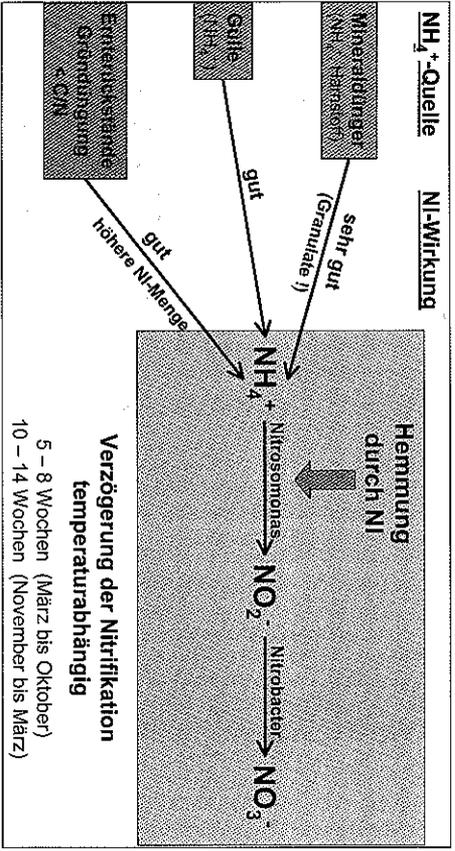
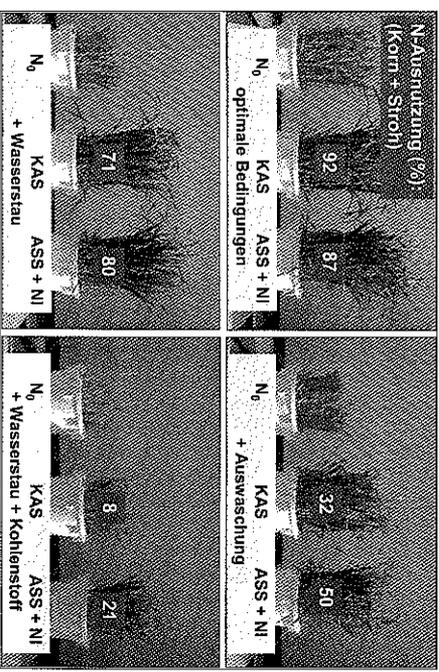


Abbildung 2: Wirkung von Nitrifikationshemmstoffen (NI).

Die nitrifikationsverzögernde Wirkung hält je nach Bodentextur, -feuchte und insbesondere -temperatur etwa 5-8 Wochen, im Winter bis zu 10 (14) Wochen an. Ammoniumstickstoff ist weniger verlustgefährdet als Nitratstickstoff. Ersterer wird zum größten Teil an den Sorptionskomplex im Boden (Ton, organische Substanz) gebunden und von den Pflanzen deshalb langsamer aufgenommen als Nitratstickstoff. Dieser liegt nahezu vollständig in der Bodenlösung vor und kann über den Massenfluss zur Wurzel von der Pflanze schnell aufgenommen werden. Wegen der Verlängerung der Ammoniumphase im Boden werden Dünger mit NI auch als „Ammonium-stabilisiert“ oder einfach als „stabilisiert“ bezeichnet. Mit dem Begriff „Stabilisierung“ soll zum Ausdruck gebracht werden, dass sich der „stabile“, das heißt wenig mobile, wenig verlustgefährdete, aber dennoch pflanzenverfügbare Ammoniumstickstoff im Boden nur verlangsamt in den „instabileren“, weil sehr mobilen und damit verlustgefährdeten, aber für Pflanzen schnell aufnehmbaren Nitratstickstoff umsetzen kann.

Das geringere Verlustrisiko eines stabilisierten Ammoniumstickstoffs kann in einem Modellexperiment veranschaulicht werden (Abbildung 3).



**Abbildung 3:** Potenzial für N-Verluste nach Düngung stabilerer und konventioneller Mineraldünger unter verschiedenen Wachstumsbedingungen.

Unter optimalen Wachstumsbedingungen erzielen mit Nitrat- oder stabilisiertem Ammoniumstickstoff gedüngte Pflanzen ähnliche Aufwüchse. Zweimalig simulierte Niederschlagsereignisse mit Auftreten von Sickerwasser oder Wasserstau bewirken in der stabilisierten Variante deutlich geringere Verluste sowohl durch Nitratauswaschung als auch durch Denitrifikation (gasförmig als  $N_2$  oder  $N_2O$ ).

Eine sichere nitrifikationsverzögernde Wirkung lässt sich insbesondere mit Düngergranulaten (z.B. Ammonsulfatsalpeter, Harnstoff) erzielen. Dies ist auf den engen Kontakt des Wirkstoffs mit dem Düngerstickstoff zurückzuführen. Ähnliches trifft auch für großtropfig applizierte Düngerlösungen sowie für platziert ausgebrachte Flüssigmiste oder Gärreste zu. Es liegen auch positive Erfahrungen für die N-Stabilisierung von N-reichen pflanzlichen Grünrückständen vor, allerdings nur in Kombination mit höheren Mengen an Wirkstoff. Die Nitrifikation von Bodenstickstoff lässt sich mit üblichen Wirkstoffmengen hingegen kaum beeinflussen.

Letztlich sei noch auf einen Sachverhalt hingewiesen, der sich aus der begünstigten Ernährung der Pflanzen mit Ammoniumstickstoff ableitet. Die Aufnahme dieser Stickstoffform führt zu einer Versauerung des Rhizosphärenbodens; damit erleichtert sich für die Pflanzen insbesondere auf neutralen oder alkalischen Böden die Aufnahme der Spurenelemente Mangan, Eisen, Zink und Kupfer und teilweise auch die Aufnahme von Phosphat. Unterstützt wird diese Erkenntnis durch die mehrfach belegte Beobachtung, dass mit Ammoniumstickstoff ernährte Pflanzen ein kräftigeres

Wurzelsystem auch in tieferen Bodenhorizonten ausbilden und auf diese Weise bei Trockenheit zusätzliche „Wasserquellen“ erschlossen werden können. Eine kräftige Bewurzelung ist wichtige Voraussetzung für ein gutes Aneignungsvermögen von Nährstoffen.

**3. Zugelassene Nitrifikationsinhibitoren in Deutschland**

Die Wirkstoffe bedürfen einer amtlichen Zulassung mit dem Nachweis einer toxikologischen und ökotoxikologischen Unbedenklichkeit. Sie dürfen nicht bakterizid, sondern nur bakteriostatisch und insgesamt nur spezifisch auf Nitrosomonas-Bakterien (verantwortlich für den ersten Schritt der Nitrifikation) wirken. In Deutschland sind nach dem bereits 20 Jahre verfügbaren Dicyandiamid (DCD, „Didin“) weitere Wirkstoffe wie DCD/Triazol, DMPP, Triazol/MP und andere zugelassen (Abbildung 4).

Wirkstoff	Produktname	Mindestkonzentration		
Wirkstoffkombinationen	Einsatzschwerpunkt	Wirkstoff (Dünger* (N-Form))	(in % vom zu stabilisierenden N)	
DCD	Dicyandiamid	Mineraldünger Gülle	Als Allein-Hemmkstoff nicht mehr im Handel	10
DCD/Triazol	Dicyandiamid + 1H-1,2,4-Triazol	Mineraldünger	Alzand® (Harnstoff)	2
3,4-DMP	3,4-Dimethyl- pyrazolophosphat	Mineraldünger	Entec® (Ammonsulfat- salpeter)	0,8
Triazol/3-MP	1H-1,2,4-Triazol + 3-Methylpyrazol	Mineraldünger- lösung	Alzon flüssig® (AHL)	0,2
		Gülle	Piadin® flüssig	0,2

\* z.T. auch als Mehrnährstoffdünger verfügbar

**Abbildung 4:** In Deutschland zugelassene Nitrifikationsinhibitoren (Düngemittel-VO Nov. 2003).

Übergeordnetes Ziel für die Neuentwicklungen war die Reduzierung der Wirkstoffmenge ohne Beeinträchtigung der Wirksamkeit. Die Wirkstoffmenge bestimmt sehr wesentlich die Herstellungskosten des NI-Düngers. Für DCD waren als Mindestmenge ca. 10% der im Dünger enthaltenen N-Menge erforderlich, für

DMPP und Triazol/MP werden dagegen nur noch 0,2% benötigt. Diese Einsparung an Wirkstoff war möglich wegen deren besserer Hemmwirkung und geringeren Mobilität im Boden. Eine ähnlich gute Sorption des  $\text{NH}_4^+$ -Stickstoffs und des Wirkstoffs an den Boden verhindert deren Entmischung und gewährleistet eine dauerhaftere Hemmleistung als das wasserlöslichere und mobilere DCD.

#### 4. Kombination von Nitrifikationsinhibitoren mit Mineraldüngern

Düngungsstrategie – Ertragsleistung – Stickstoffverluste

Grundsätzlich eignen sich Düngemittel für eine  $\text{NH}_4^+$ -Stabilisierung nur dann, wenn mindestens etwa 60% des enthaltenen Stickstoffs in Form von Ammonium- oder Harnstoffstickstoff vorliegen. Ansonsten beeinträchtigt das höhere Nitratangebot über den Dünger das Wirkprinzip stabilerer Dünger. Abbildung 5 belegt im Freilandexperiment die verlängerte  $\text{NH}_4^+$ -Phase eines mit N-kombinierten Ammonsulfatsalteters im Boden gegenüber einer dreifach gespitzten KAS-Düngung mit nahezu ausschließlichem Angebot an Nitratstickstoff.

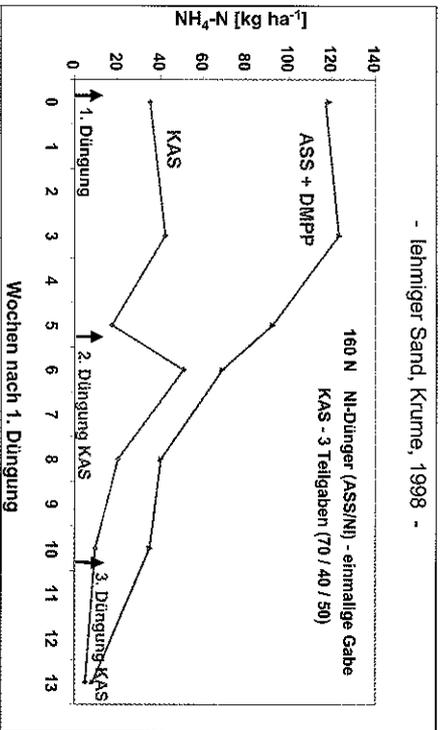


Abbildung 5: Ammoniumstickstoff-Gehalte des Bodens unter Winterweizen nach Einsatz mineralischer N-Dünger mit NI (Linzmeyer et al., 1998).

Ammonium- und Harnstoffdünger werden im Boden schnell nitrifiziert und wirken deshalb schnell. Die Dauer ihrer Ammoniumphase im Boden lässt sich nur über Nitrifikationshemmstoffe nennenswert verlängern. Eine Ausnahme stellt hierfür das CULTAN-Verfahren dar: Durch platzierte Applikation des Düngers (z.B.

Ammoniumsulfat) in den Boden werden Stickstoffdepots angelegt, in denen die Nitrifikation verzögert abläuft – mittels intensiver Bewurzelung der Depots kann sich die Kulturpflanze längerfristig mit  $\text{NH}_4^+$ -Stickstoff ernähren (siehe RKL-Heft über CULTAN; 4.1.1.2.0 Seite 397ff, Frühjahr 2006). Dagegen lässt sich mit oberflächiger großtropfiger oder platzierter (Bandablage) Applikation der Düngerlösung (AHL) keinesfalls eine längere  $\text{NH}_4^+$ -Phase gewährleisten. Bestenfalls könnte extreme Trockenheit die Nitrifikation des Düngerstickstoffs verzögern. Demnach kann eine effiziente und verlustarme Verwertung von Ammonium- und Carbamid(=Harnstoff)-Dünger ausschließlich über eine kulturbegleitende Aufteilung der N-Düngung erreicht werden, die durch N-Sensoren zusätzlich zur Verbesserung der N-Effizienz beiträgt.

Die Stabilisierung des Düngerstickstoffs ermöglicht und erfordert zugleich eine Anpassung der Einsatzstrategie für den Dünger. Wegen der geringeren Mobilität des stabilisierten  $\text{NH}_4^+$ -Stickstoffs können die Teilgaben höher dosiert und in das frühe Jugendwachstum der Pflanze vorverlegt werden, ohne eine N-Überversorgung befürchten zu müssen. Es ergeben sich daraus Vorteile gegenüber konventioneller Düngung hinsichtlich der Einsparung von Teilgaben, der N-Ausnutzung auch bei Trockenheit in der späteren Vegetation und der Ertragssicherheit.

Der Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren kann das Risiko der Nitratauswaschung nach Düngung zum Jugendstadium der Kulturpflanzen wesentlich vermindern (Abbildung 6). Trotz Aufteilung der Düngung führte KAS zu deutlich höheren Auswaschungsverlusten als der in einer Gabe zur Saat applizierte NI-Dünger.

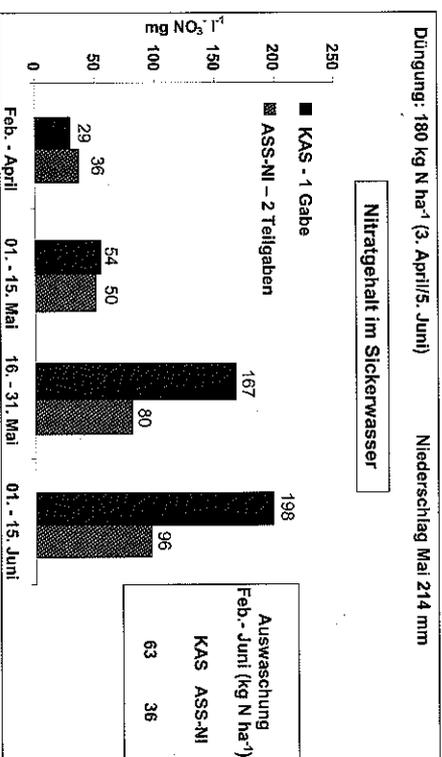


Abbildung 6: Nitratauswaschung unter Zuckerrüben nach Anwendung mineralischer N-Dünger mit NI – Lysimeter (Gutser, 2005).

N-Dünger erfordern angepasste Düngungsstrategien. Abbildung 7 enthält mögliche Strategien für N-Dünger zu Winterweizen. Die einmalige Düngung zu Vegetationsbeginn stellt allerdings eine Extremvariante dar, die zwar ausreichende Ertragsleistungen, aber nur ungenügende Kornqualitäten erzielen lässt. Für die Erzeugung von Qualitäts- und Eliteweizen sind deshalb übliche Spätdüngungsmaßnahmen mit konventionellen Düngern vorzusehen.

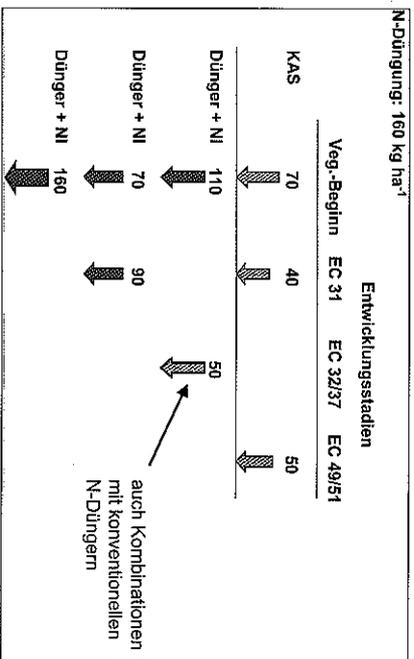


Abbildung 7: Beispiele für Strategien mit NI-haltigen Mineraldüngern zu Winterweizen.

Stabilisierte N-Dünger können trotz verzögerter Nitrifikation auch unter ungünstigen Witterungsbedingungen (Trockenheit, Kälte) den Stickstoffanspruch von Jungpflanzen sicherstellen, da die für konventionelle Dünger üblichen Teilgaben zu Vegetationsbeginn und zur Bestockung in einer Gabe zu Vegetationsbeginn zusammengefasst und zudem auch NI-Dünger mit Anteilen an Nitratstickstoff verabreicht werden können. Ammonsulfatsalpeter oder Ammonitrat-Harnstoff-Lösung enthalten 25% des Stickstoffs in Form von Nitratstickstoff. Eine N-Übersorgung junger Weizenpflanzen als Folge der hohen N-Andüngung kann wegen der langsamen Aufnahme des Ammoniumstickstoffs weitgehend ausgeschlossen werden. Somit reichen für Winterweizen in der Regel eine Aufteilung der N-Düngung in je eine Gabe zu Vegetationsbeginn und zum Schossen aus. Über die Vorteilhaftigkeit der Gewichtung beider Teilgaben, ob die N-Gabe zu Vegetationsbeginn oder zum Schossen besonders zu betonen ist?, entscheidet letztlich die Niederschlagsverteilung in der folgenden Vegetationsperiode (Abbildung 8).

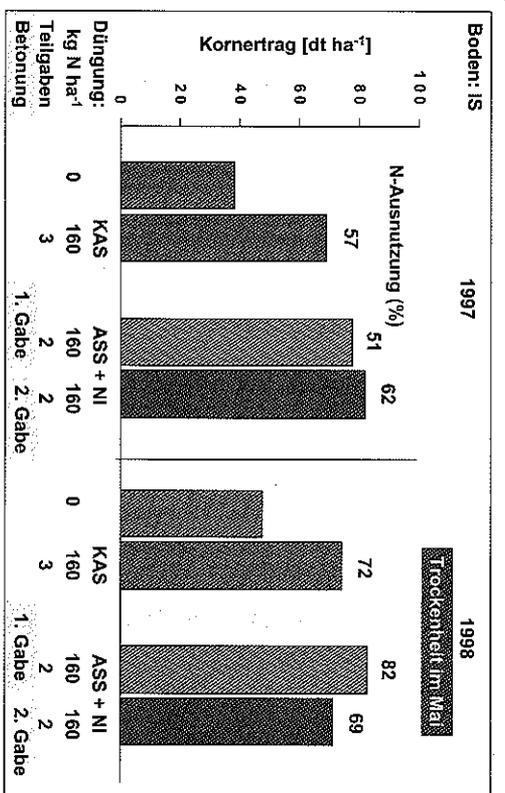


Abbildung 8: Ertragswirkung und N-Effizienz von stabilisierten Stickstoffdüngern zu Winterweizen in zwei Jahren mit unterschiedlicher Niederschlagsverteilung (Linzmeier et al., 1998).

Unter den Klimabedingungen Südbayerns erzielte 1997 – ein Jahr mit gleichmäßig verteilten Niederschlägen – die höhere Gabe zum Schossen und 1998 – ein Jahr mit Frühjahrsrockenheit (Mai) – die höhere Gabe zu Vegetationsbeginn deutliche Vorteile bezüglich Ertrag und N-Effizienz. Beide NI-Varianten waren insbesondere 1998 auch gegenüber dem konventionellen Düngungssystem deutlich überlegen. In einem nunmehr 20jährigen Langzeitexperiment im Weizenstephaner Lysimeter auf tiefgründiger Braunerde aus Lößlehm wurden DCD-stablisierter Ammonsulfatsalpeter (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-NI) sowie KAS in spezifischen Einsatzstrategien (NI-Variante mit Einsparung einer Teilgabe) in ihrer Wirkung auf Erträge, N-Abfuhr über die Ernte und N-Verluste durch Auswaschung geprüft (Abbildung 9).

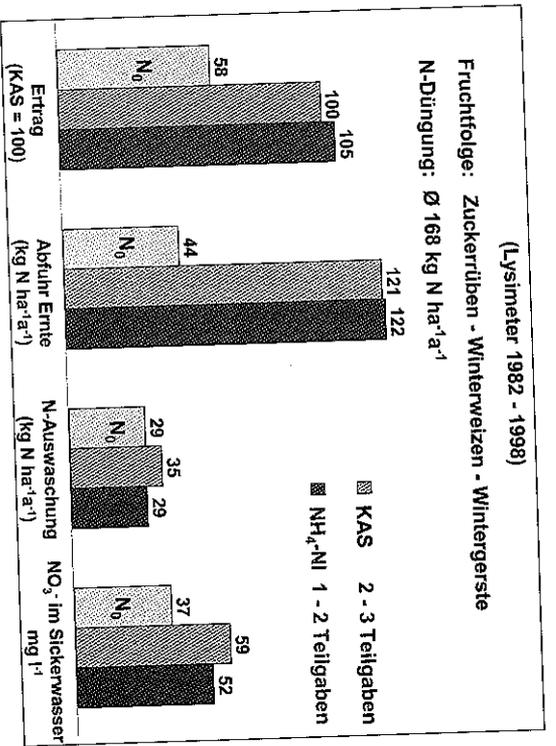


Abbildung 9: Langzelexperiment zur Effizienz mineralischer N-Dünger ohne und mit Nitrifikationsinhibitor (DCD) im Weizenstephaner Lysimeter (Gutser, 1999).

Mit dem systemgerecht eingesetzten NI-Dünger konnten sowohl Ertragsvorteile als auch eine Verringerung der N-Auswaschung gegenüber dem konventionellen Dünger erzielt werden. Allerdings führte die durch den Hemmstoff verminderte Nitratauswaschung bislang noch nicht zu einer nennenswert höheren N-Aufnahme der Pflanzen.

Grundsätzlich ist die mit NI-Düngern erzielbare Steigerung der N-Effizienz positiv korreliert mit dem kultur- und standortspezifischen Verlustisiko. Insofern sind auf ungünstigeren Standorten noch bessere Effekte durch Nitrifikationsinhibitoren zu erwarten als in diesem Experiment.

Der prognostizierte Klimawandel wird sich zukünftig erheblich auf die Wachstumsbedingungen der Kulturpflanzen auswirken. Perioden mit Trockenheit und Wasserüberschuss infolge Starkregen werden sich häufiger abwechseln. Die Zeiträume für die Auswaschung mobiler Nährstoffe werden sich auf die gesamte Wachstumsperiode erweitern. Im Einsatz von verlustärmeren NI-stabilisierten Stickstoffdüngern kann eine effiziente pflanzenbauliche Maßnahme zur Anpassung an zukünftige veränderte Wachstumsbedingungen gesehen werden.

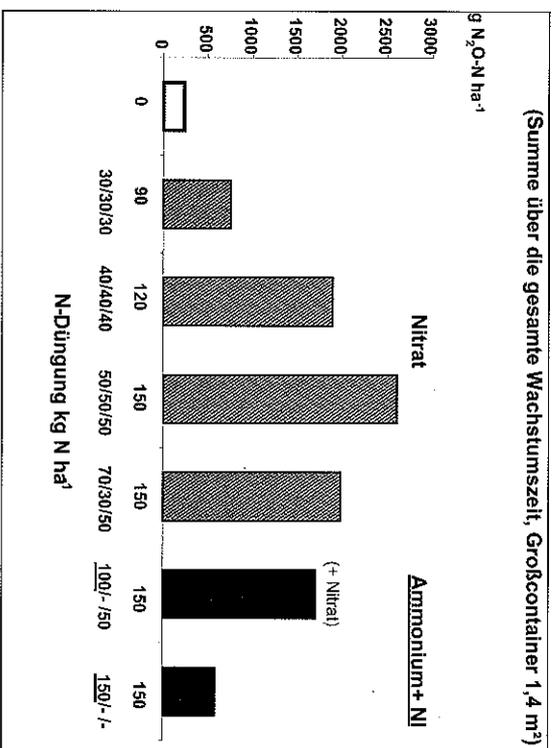


Abbildung 10: Modellversuch mit Sommerweizen zur Auswirkung von Düngerform und Düngungsstrategie (Kilian et al., 1998).

Als Ursache lassen sich die verminderte Zahl der Teilgaben (weniger häufige Stimulation der mikrobiellen Aktivität des Bodens), die Vorverlegung der N-Düngung in die frühe Vegetationsperiode (tiefere Bodentemperaturen) sowie das insgesamt niedrigere Niveau des Bodens an Nitratsickstoff (verlängerte Ammoniumphase) anführen. Die als Lachgas emittierte N-Menge mit 1-2 kg je Hektar stellt für den Landwirt zwar keinen nennenswerten Verlust dar; Lachgas besitzt jedoch auch in dieser Menge wegen seiner langen Halbwertszeit in der Atmosphäre eine hohe Umweltrelevanz (Beitrag zum Ozonabbau in der Stratosphäre).

Zuletzt ist noch auf einen aus Umweltsicht besonders wichtigen Sachverhalt hinzuweisen. Systemgerecht eingesetzter NI-Dünger kann die kurzfristig (innerhalb von 4-6 Wochen) nach der Düngung auftretende Emission an Lachgas (N<sub>2</sub>O) gegenüber konventioneller Düngung um 25-50% vermindern (Abbildung 10).

## 5. Kombination von Nitrifikationsinhibitoren mit organischen Düngern

Gülle – Gärückstände – Grüne Ernterückstände

Insbesondere für den Nitrifikationshemmstoff DCD („Didin“) liegen langjährige Erfahrungen vor, um das Risiko einer Nitratauswaschung nach der Ausbringung von organischen Düngern mit hohen Ammoniumgehalten zu minimieren. So konnte in Modellexperimenten gezeigt werden, dass DCD die Nitratbildung im Boden nach Gülledüngung deutlich zu verzögern vermag (Abbildung 11). Diese Hemmung hält während der Wintermonate als Folge niedriger Bodentemperaturen länger an als im Frühjahr.

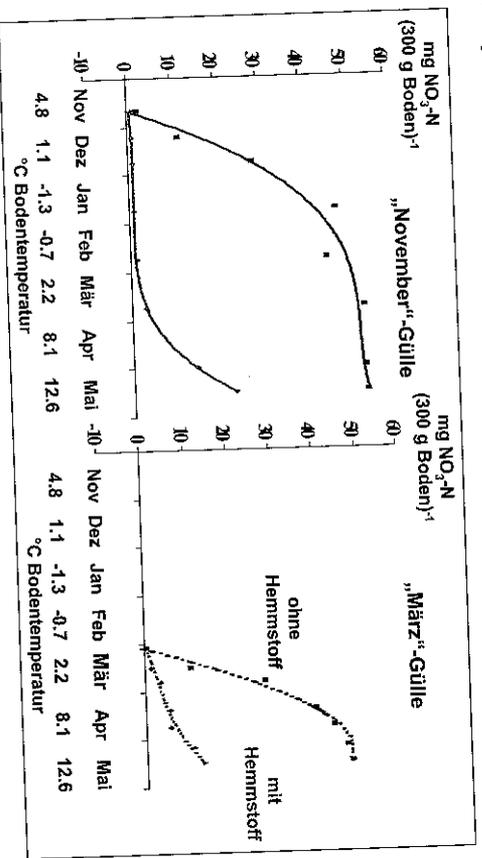


Abbildung 11: Nitrifikation von Rindergülle mit und ohne den Nitrifikationsinhibitor „Didin“ (Vilsmeier und Amberger, 1987).

In einer Vielzahl von Experimenten auf unterschiedlichen Standorten und im Weihenstephaner Lysimeter (Abbildung 12) musste allerdings erkannt werden, dass „Didin“ den im Spätherbst/Winter ausgebrachten Güllestickstoff nicht immer ausreichend lange bis zum Einsetzen der N-Aufnahme der Folgekultur zu konservieren vermochte. Eine wesentliche Ursache für unbefriedigende Ergebnisse dürfte in der guten Mobilität des Hemmstoffs im Boden und damit der Entmischung von Hemmstoff und Ammoniumstickstoff der Gülle liegen.

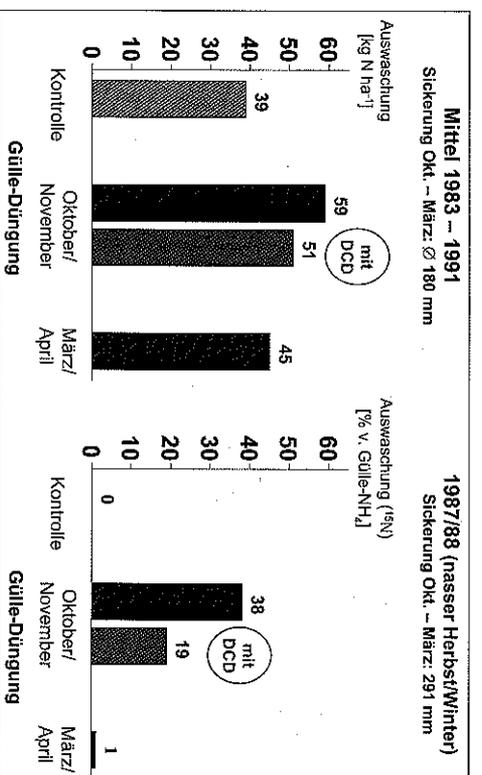


Abbildung 12: N-Auswaschung nach Düngung von N1-stabilsierter Gülle im Weihenstephaner Lysimeter (Vilsmeier und Gutser, 1989, ergänzt).

Mit dem Ausbringungsverbot von Gülle im Winter und der Auflage einer Lagerkapazität für Gülle über 50% des Anfalls wurde die Verlustproblematik von im Winter eingesetzter Gülle auf dem Verordnungswege gelöst (DüngeVO 1996, 2006).

Gülle muss demnach in erster Linie kulturspezifisch, das heißt in Menge und Ausbringungszeitpunkt an den N-Bedarf der Kulturpflanze angepasst und somit möglichst verlustarm eingesetzt werden. Die Minimierung der N-Verluste bezieht sich nicht nur auf den N-Eintrag in die Gewässer (Nitratauswaschung), sondern auch auf den in die Atmosphäre (Ammoniakemission). Die Minimierung der Verluste über beide Austragspfade erfordert häufig unterschiedliche und zum Teil gegensätzliche Einsatzverfahren für die Gülle. Verluste durch Nitratauswaschung werden am sichersten durch vegetationsbegleitende Teilgaben eingeschränkt. Damit entfällt aber die Möglichkeit einer sofortigen Einarbeitung, abgesehen von Reihenkulturen (die Injektion zwischen die Maisreihen erfordert allerdings einen hohen technischen Aufwand und besitzt eine geringe Flächenleistung). NH<sub>3</sub>-Emissionen werden am sichersten durch Injektion oder schnelles Flächenstreuen der Gülle in den Boden oder zumindest durch Ausbringen in der kühlen Jahreszeit (Februar–April bzw. Oktober/November) begrenzt. Um es auf den Punkt zu bringen, die Minimierung von Nitratlustern gelingt am sichersten durch eine Ausbringung der Gülle in der Vegetationszeit, die von NH<sub>3</sub>-Verlusten durch eine Ausbringung außerhalb der Vegetationszeit (vor dem Saattermin).

Für Nitrifikationsinhibitoren kann sich aus dieser Verlustproblematik zukünftig ein wichtiger Einsatzbereich eröffnen. Die Stabilisierung des Ammoniumstickstoffs der Gülle mindert generell das Risiko für eine Nitratauswaschung. Damit eröffnet sich die Möglichkeit einer umweltschonenden Anwendung der Gülle in der kühleren Jahreszeit (Februar-April) entweder vor der Saat oder noch deutlich vor dem Hauptwachstum der Kulturpflanze. Besteht die Möglichkeit der Einarbeitung, ist auch ein Zusammenlegen von Gülleteilgaben denkbar. Mit dieser Einsatzstrategie werden die Weichen für ein insgesamt effizienteres Recycling von Gülle oder Gärresten (beide weisen hohe Gehalte an Ammoniumstickstoff auf) richtig gestellt.

Ein 2005 durchgeführtes Feldexperiment mit kombinierter Anwendung von Biogasgülle und „Pladin“ (flüssiger Nitrifikationsinhibitor) zu Silomais bestätigt die Richtigkeit der oben vorgeschlagenen Einsatzstrategie (Abbildungen 13 und 14).

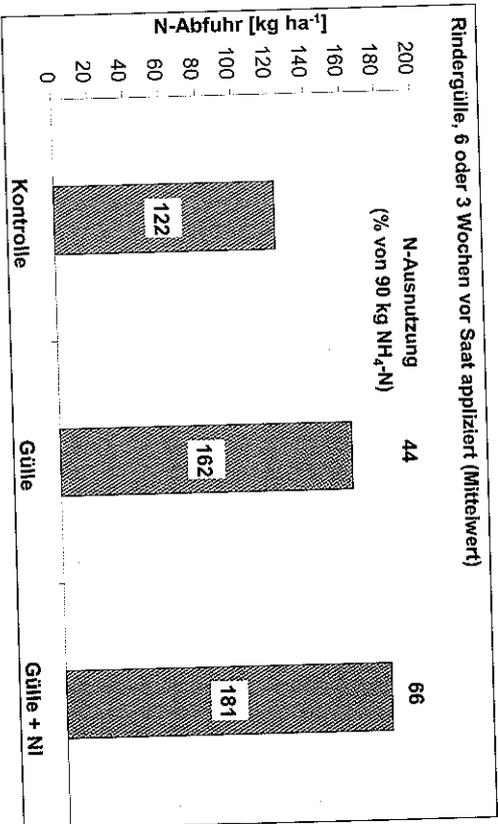


Abbildung 13: Feldexperiment zur N-Wirkung von mit „Pladin“ stabilisierter Biogasgülle zu Silomais (2005).

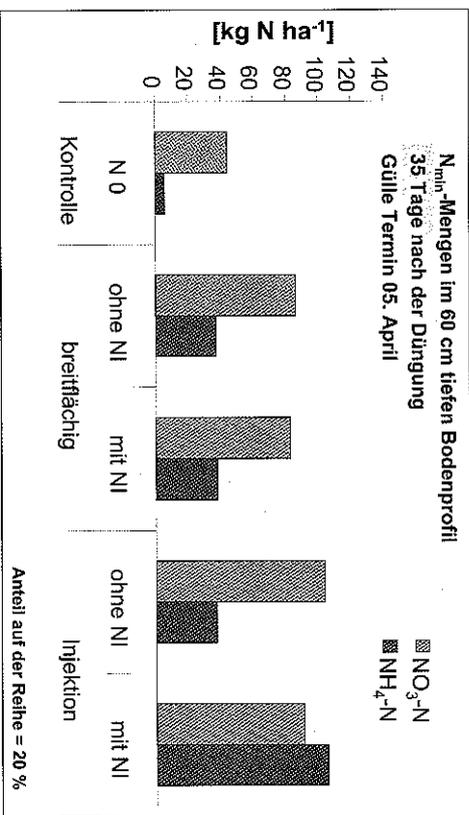


Abbildung 14: Stabilisierung des über Biogasgülle zugeführten Ammoniumstickstoffs durch „Pladin“ nach breitflächiger und platzierter Applikation (2005).

„Pladin“ führte zu einer deutlich besseren Verwertung des Güllestickstoff durch Mais (Abbildung 13). Die „Pladin“-bedingte Verzögerung der Nitrifikation war 35 Tage nach Ausbringung der Gülle nur noch in der platzierteren Güllevariante „Injektion“ eindeutig nachzuweisen (Abbildung 14). 17 Tage nach der Anwendung konnte die Hemmung auch noch nach „breitflächiger“ Applikation mit sofortiger Einarbeitung“ festgestellt werden. Die Dauer der Ammoniumphase kann demnach durch die konzentrierte Anwendung von Gülle und Nitrifikationshemmstoff in einem Gülleband beachtlich verlängert werden. Entsprechend länger bleibt auch der Ammoniumstickstoff der Gülle vor Auswaschung geschützt.

Entsprechend den positiven Ergebnissen mit Gülle kann mit modernen Hemmstoffen auch eine bessere Verwertungsstrategie für N-reiche pflanzliche Reststoffe wie Grünrückstände erwartet werden (Abbildung 15). Im Falle des Hemmstoffes DCD musste für die Erzielung dieser Ergebnisse die übliche Hemmstoffmenge allerdings verdreifacht werden. Für diesen Anwendungsbereich ist eine Erweiterung unseres Kenntnisstandes notwendig, insbesondere auch wegen der zeitlich und pflanzenbaulich vorteilhaften Begleitung dieser Maßnahme und vor allem auch wegen der Eignung zugelasener Inhibitoren.

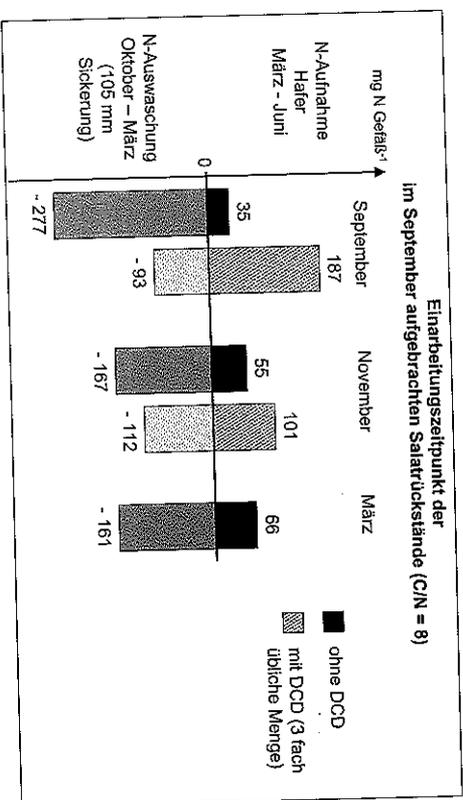


Abbildung 15. Modellexperiment zur Auswaschung und Verwertung des über Grünrückstände zugeführten Stickstoffs ohne und mit Nitrifikationshemmstoff (Diplomarbeiten Lehrstuhl für Pflanzenernährung, 1986 und 1987).

## 6. Kosten

### Kalkulationsbasis für eine ökonomische Bewertung

#### NI + Mineraldüngung

Mehrkosten für NI-Dünger:

Je nach notwendiger Wirkstoffmenge im Dünger und bezogen auf den gleichen Basisdünger fallen Mehrkosten von 8 bis 20 % an.

Bei einer durchschnittlichen Düngung von 160 kg N je Hektar entspricht dies 8 bis 19 € je Hektar.

#### Einsparungen:

Für eine Düngerrfahrt: 8 - 12 € je ha (im Mittel 10 €)

Dünger-N je nach Standortortität: 5 - 15 kg N je ha (Ø Preis 0,6 € je kg N)  
entspricht: 3 - 9 € je ha

Es werden keine Mehrerträge eingerechnet.

#### Summe der Einsparungen

13 € auf günstigen und 19 € auf ungünstigen Standorten je Hektar

### Ergebnis:

**Düngungssysteme mit NI-Dünger bringen keine finanziellen Nachteile.** Dünger mit niedrigen Wirkstoffkonzentrationen lassen auf mittleren bis schlechten Standorten geringe finanzielle Vorteile erwarten (5-10 € je ha).

In dieser vorsichtigen Kalkulation wurde der Wert der Umwelteleistung (NO<sub>3</sub>-Auswaschung, N<sub>2</sub>O-Emissionen nicht einbezogen).

### NI + organische Düngung

Basisdaten:

Ø 130 kg N je ha Gülleanfall mit 65 kg NH<sub>4</sub>-N (≈ 1,4 GV je ha)

Einsparung an Mineraldünger durch NI im Mittel: 20-25 kg N je ha

Einsatzmenge an NI: 5-6 L je ha (Kosten : 3 € je Liter)

Kostenrechnung (€ je ha)

Mehrkosten für NI

15 - 18 €

Einsparung Mineraldünger (20 bis 25 kg N x 0,6 €)

12 - 14 €

### Ergebnis:

Die Einsparung an Mineraldünger deckt in etwa die Mehrkosten für den Hemmstoff.

Höhere Güllengebaben bringen durchwegs eine Abdeckung der Hemmstoffkosten. Allerdings nimmt dann auch die Verwertung der Gülle unabhängig vom Wirkstoff ab.

### Pauschale Schlussfolgerung

NI-optimierte Systeme für mineralische und organische Düngung lassen Umweltvorteile erzielen ohne Mehrkosten für den Landwirt. Auf besonders verlustgefährdeten Standorten können sich zudem finanzielle Vorteile einstellen in Größenordnungen von bis zu 10 € je Hektar. Nach längerjährigem Einsatz von NI kann dieser Vorteil eventuell noch etwas anwachsen, da infolge der Remobilisierung von im Boden konserviertem Stickstoff noch etwas mehr Düngerstickstoff eingespart werden kann. Die Kalkulation setzt stets optimale Düngungsstrategien ohne und mit Nitrifikationsinhibitoren voraus.

## 7. Zusammenfassung / Fazit

Die Entwicklung von NI-stabilisierten Düngern zur Verbesserung der N-Auswertung bei Gülle und Mineraldüngung ist ein wichtiger Schritt zur Erweiterung der Vorgaben der neuen Düngerverordnung. Zu dem seit nunmehr 20 Jahren verfügbaren Dicyandiamid (DCD) sind derzeit fünf weitere Wirkstoffe mit verbesserten

Hemmstoffeigenschaften zugelassen. Von diesen neueren Inhibitoren werden zum Teil nur noch 2-5% der für DCD notwendigen Menge benötigt. Die stabilisierende Wirkung der Hemmstoffe nimmt von einem granulierten Mineraldünger über Mineraldüngerlösungen, platziert eingesetzter Gülle bis zur flächig verteilten Gülle ab. Es kann im Mittel von einer 5-8wöchigen Verzögerung der Nitrifikation ausgegangen werden. Nitrifikationsinhibitoren ermöglichen in Kombination mit Mineraldüngern eine Verminderung der Zahl der Teilgaben und eine Vorverlegung der Düngung in die frühe Vegetationszeit. In Kurz- und Langzeitexperimenten erwiesen sich Nl-stabilisierte Dünger als wenig anfällig für N-Verluste (Nitratauswaschung, Lachgas-Emissionen) und zeigten eine gute Ertragsleistung.

In Kombination mit organischen Düngern (Gülle, Gärreste, N-reiche Ernterückstände) besitzen Nitrifikationshemmstoffe ein großes Potenzial zur Verlustminimierung und Effizienzsteigerung. Stabilisierte Gülle wird auch weiterhin dem Ausbringungsverbot im Winter unterliegen. Wohl aber kann eine in der frühen Vegetationszeit beziehungsweise vor der Aussaat applizierte Nl-stabilisierte Gülle mit hoher N-Effizienz und verlustarm bezüglich Nitratauswaschung und Ammoniakemission verwertet werden. Der Stickstoff N-reicher Grünrückstände kann durch Kombination mit Hemmstoffen über Winter besser vor Auswaschung geschützt werden.