



# Nitratdünger

Erträge optimieren,  
die Umwelt schonen.





# Inhalt

Die Welt ernähren, die Natur schützen	S.4
▶ Die Landwirtschaft von morgen	
Mineralische Stickstoffquellen	S.5
▶ Stickstoff - Quelle des Lebens	
▶ Mineraldünger	
Stickstoffumsetzung im Boden	S.6
▶ Stickstoff aus Nitrat	
▶ Stickstoff aus Ammonium	
▶ Stickstoff aus Harnstoff	
Den Optimalertrag sichern	S.8
▶ Optimierung von Ertrag und Qualität	
▶ Frankreich	
▶ Deutschland	
▶ Großbritannien	
▶ Steigerung der Düngereffizienz	
▶ Anpassung der Düngung an den Bedarf der Pflanze	
▶ Verringerung des Düngereinsatzes durch sensorgesteuerte Düngung	
▶ Präzise Ausbringung	
▶ Reduzierung der Bodenversauerung	
Die Umwelt schonen	S.12
▶ Optimierung der Düngemittelproduktion	
▶ Optimierte Düngung	
▶ Reduzierung gasförmiger N-Verluste	
▶ Dem Klimawandel entgegenwirken	
▶ Auswaschung minimieren	
▶ Wirkungen auf die Umwelt berücksichtigen	
Umschlagseite	
▶ Über Yara	
▶ Literatur	

# Bessere Dünger

Diese Broschüre fasst einige der wesentlichen Aspekte der agronomischen und ökologischen Auswirkungen verschiedener Stickstoffdünger zusammen.

Mineralische Stickstoffdünger haben in Abhängigkeit von ihrer chemischen Zusammensetzung deutliche Auswirkungen auf Ertrag und Umwelt. Wie den europäischen Landwirten seit vielen Jahren bekannt ist, sind Produkte auf Nitratbasis die effizienteste und zuverlässigste zur Verfügung stehende Stickstoffquelle. Darüber hinaus ist die Umweltbelastung durch diese Produkte dank einer verminderten Auswaschung, geringerer gasförmiger Verluste und eines geringeren CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks während ihres gesamten Lebenszyklus deutlich niedriger als bei Produkten auf Harnstoffbasis (Harnstoff, AHL).

Mit Nitrat-Düngemitteln - wie Ammoniumnitrat, Kalkammonsalpeter und NPK-Mehrnährstoffdüngern - kann Stickstoff mit der erforderlichen Präzision, Effizienz und Sicherheit gedüngt und damit den agronomischen und ökologischen Erfordernissen der modernen Landwirtschaft entsprochen werden.

Düngemittel auf Nitratbasis sind die natürliche Wahl für Landwirte, denen sowohl der Ertrag als auch die Umwelt am Herzen liegen.

Parameter	Beobachtung
Effizienz	7,5 – 18 % mehr Stickstoff werden benötigt, um mit Harnstoff-Düngemitteln den gleichen Ertrag zu erzielen
Ertrag	2 bis 5 % höherer Ertrag mit Nitratdüngern*
Qualität	0,3 - 0,9 % höherer Proteingehalt mit Nitratdüngern*
Zuverlässigkeit	Hohe Zuverlässigkeit der Nitratdünger aufgrund geringerer Verluste
Gasförmige Verluste	1 bis 3 % gasförmige Verluste bei Nitratdüngern im Vergleich zu 27 % bei Harnstoff*
Auswaschung	Geringeres Auswaschungsrisiko bei Nitratdüngern aufgrund der höheren Stickstoffeffizienz
CO <sub>2</sub> -Fußabdruck	12,5 % niedrigerer CO <sub>2</sub> -Fußabdruck während des Lebenszyklus bei Nitratdüngern im Vergleich zum Harnstoff*
Umweltindex	46,6 % niedrigerer Umweltindex bei Nitratdüngern im Vergleich zum Harnstoff*

\* Bei gleichem Stickstoffeinsatz.





# Die Welt ernähren, die Natur schützen

Die wachsende Weltbevölkerung und die zunehmende Umweltdiskussion werfen ein neues Licht auf die Landwirtschaft. Wie können Ernährungssicherheit und Umweltschutz in Einklang gebracht werden? Welche Rolle spielen Mineraldünger? Wie ist die agronomische Leistung gegenüber der Umweltbelastung zu bewerten? Yara verfügt über umfangreiches und fundiertes Wissen auf dem Gebiet der Pflanzenernährung und Düngung und gibt Empfehlungen bezüglich der Auswahl der geeignetsten Mineraldünger.

## Die Landwirtschaft von morgen

In der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts ermöglichte es die „grüne Revolution“, die globale Nahrungsmittelproduktion zu verdreifachen, während die Weltbevölkerung rasant von 3 auf 6 Milliarden Menschen anwuchs. Da erwartet wird, dass die Weltbevölkerung bis zum Jahre 2030 auf rund 8,5 Milliarden Menschen anwächst, wird auch die Nahrungsmittelproduktion erneut um mehr als 50% steigen müssen [Lit. 1]. Da kaum zusätzliche geeignete Flächen für den landwirtschaftlichen Anbau zur Verfügung stehen, ist die Ertragsoptimierung auf der vorhandenen landwirtschaftlichen Fläche eine Notwendigkeit.

Die europäische Landwirtschaft ist eine der effizientesten der Welt. Dennoch ist die Europäische Union zum weltweit größten Importeur von Agrarerzeugnissen geworden. Die Netto-Importe übersteigen die Exporte um 65 Millionen Tonnen und dies mit einem Anstieg von 40 % während des letzten Jahrzehnts. Die erforderliche landwirtschaftliche Fläche außerhalb der Europäischen Union für die Bereitstellung dieser Importe beläuft sich auf fast 35 Millionen Hektar (was ungefähr der Größe Deutschlands entspricht!). [Lit. 2]

Weitere Fortschritte hinsichtlich Ertrag und Produktivität sind erforderlich, um die Herausforderungen des 21. Jahrhunderts zu bewältigen. Mineraldünger sind der Schlüssel für eine effiziente Nutzung von Ackerland. Sie tragen dazu bei, Ernährungssicherheit im globalen Maßstab zu gewährleisten, unberührte Wälder, natürliches Grasland und Moore vor der Zerstörung zu bewahren und somit den Klimawandel abzuschwächen.

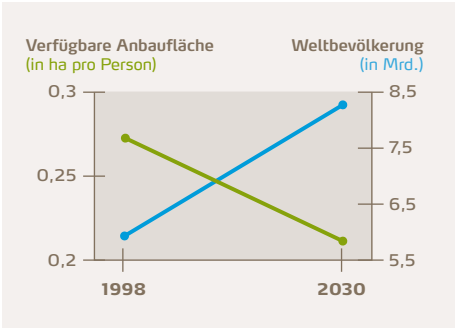


ABBILDUNG 1: Die Weltbevölkerung wächst, aber die verfügbaren Anbauflächen sind begrenzt. Die effiziente Nutzung der Agrarflächen ist somit eine zwingende Notwendigkeit. [Lit. 1]

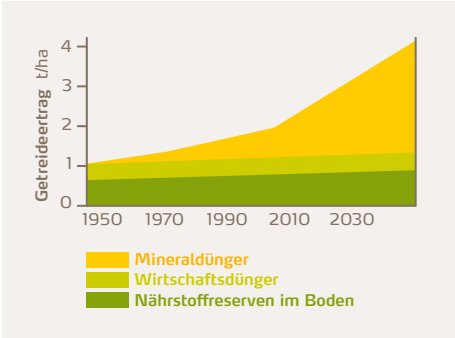


ABBILDUNG 2: Die globale Nahrungsmittelproduktion wird zunehmend von Mineraldüngern gesichert. [Lit. 3]

# Mineralische Stickstoffquellen

Die europäischen Landwirte verlassen sich traditionell auf Nitratdünger wie Kalkammonsalpeter als die effizienteste Stickstoffquelle. Aber auch andere Quellen wie Harnstoff und AHL finden Berücksichtigung. Die einzelnen mineralischen Stickstoffquellen interagieren auf unterschiedliche Weise mit dem Boden. Diese Unterschiede müssen bei der Bewertung der agronomischen und ökologischen Leistungen berücksichtigt werden.

## Stickstoff - Quelle des Lebens

Stickstoff ist ein lebenswichtiges Element für Pflanzen. Er stimuliert beispielsweise die Photosynthese, die Eiweißbildung, das Wurzelwachstum sowie die Aufnahme anderer Nährstoffe. Allerdings kommen 99 % des Stickstoffes auf der Erde in der Atmosphäre vor und weniger als 1 % in der Erdkruste. Der Distickstoff (N<sub>2</sub>) der Atmosphäre ist chemisch inaktiv und kann von den allermeisten Pflanzen nicht genutzt werden.

Die geringe Menge an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Boden begrenzt die Erzeugung von Biomasse in natürlichen Ökosystemen. Die Kulturpflanzen dezimieren die Menge des verfügbaren Stickstoffs im Boden weiter. Der Stickstoff wird während des Pflanzenwachstums aufgenommen und dann mit den Ernteprodukten von den Feldern

exportiert. Er muss deshalb durch organische oder mineralische Stickstoffquellen wieder zugeführt werden. Düngemittel - ob nun als Wirtschaftsdünger oder als mineralischer Stickstoff angewandt - sind daher wesentliches Element einer nachhaltigen Landwirtschaft.

Stickstoffmangel führt zu sinkender Bodenfruchtbarkeit, niedrigen Erträgen und einer mangelhaften Ertragsqualität. Andererseits können überschüssige Stickstoffmengen im Boden in das Grundwasser gelangen, die Oberflächengewässer eutrophieren oder in die Atmosphäre entweichen, wo sie zur Umweltbelastung und Klimaerwärmung beitragen.

## Mineraldünger

Diese Broschüre bewertet die Effizienz und die Nebenwirkungen der wesentlichen in Europa eingesetzten mineralischen Stickstoffdünger:

- Nitratdünger enthalten Stickstoff in Form von Ammoniumnitrat, d.h. als NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (Ammonium) und NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Nitrat) etwa zu gleichen Teilen. Kalkammonsalpeter (KAS) enthält zusätzlich Dolomit oder Kalkstein. Reine Nitratdünger werden in der Regel nur in Sonderkulturen eingesetzt.
- Harnstoff enthält Stickstoff in der Amid - (NH<sub>2</sub>) Form.
- Ammonnitrat-Harnstoff-Lösung (AHL) ist eine wässrige Lösung aus Harnstoff und Ammoniumnitrat.

Schlussfolgerungen zu speziellen Produkten, wie z.B. NPK oder schwefelhaltigen Düngern, können - wenn auch nicht gesondert aufgeführt - leicht von den allgemeinen Beobachtungen abgeleitet werden.

PRODUKT	N-GEHALT		
	Nitrat-N	Ammonium-N	Amid-N
Kalkammonsalpeter	50 %	50 %	
Ammonnitrat	50 %	50 %	
AHL	25 %	25 %	50 %
Harnstoff			100 %

TABELLE 1: Die gebräuchlichen Mineraldüngersorten enthalten Stickstoff in Form von Nitrat, Ammonium oder Amid in unterschiedlichen Anteilen. Nur Nitrat wird leicht von den Pflanzen aufgenommen. Ammonium und Amid werden durch Hydrolyse und Nitrifikation in Nitrat umgewandelt.

# Stickstoffumsetzung im Boden

Der Stickstoff durchläuft im Boden – in Abhängigkeit von der chemischen Zusammensetzung der verwendeten Stickstoffform – bestimmte Umwandlungsprozesse. Während Nitrat direkt von den Pflanzen aufgenommen wird, müssen Ammonium und Harnstoff zunächst in Nitrat umgewandelt werden. Verluste, die bei Umwandlungsprozessen auftreten können, sind bei Nitrat am niedrigsten und bei Harnstoff am größten.

- 1 Anwendung von Düngemitteln, die mineralischen Stickstoff in Form von Harnstoff, Ammonium, Nitrat oder als Kombination enthalten. Organische Düngemittel wie Gülle enthalten meist organischen Stickstoff und Ammonium.

2 Die Aufnahme von Nitrat erfolgt schnell aufgrund der hohen Mobilität dieser Stickstoffform. Die meisten Pflanzen bevorzugen deshalb Nitrat vor Ammonium.

3 Die Aufnahme von Ammonium erfolgt langsamer als die von Nitrat. Ammonium ist an Tonpartikel im Boden gebunden, und die Wurzeln müssen es erst erreichen. Das meiste Ammonium wird daher nitrifiziert, bevor es von den Pflanzen aufgenommen wird.

4 Bei der Nitrifikation wird Ammonium durch Bodenbakterien innerhalb einiger Tage bis mehrerer Wochen in Nitrat umgewandelt. Während dieses Prozesses werden Lachgas und Stickoxid an die Atmosphäre abgegeben.
- 5 Die Denitrifikation wird durch Sauerstoffmangel (Staunässe) begünstigt. Die Bodenbakterien wandeln Nitrat über Nitrit in Lachgas, Stickstoffmonoxid und Stickstoff  $N_2$  um. Diese werden an die Atmosphäre abgegeben.

6 Bei der Immobilisierung wird mineralischer Stickstoff in die organische Bodenbiomasse eingebaut. Bodenmikroorganismen bevorzugen Ammonium als Stickstoffquelle. Der immobilisierte Stickstoff steht den Pflanzen nicht für die Aufnahme zur Verfügung, sondern muss zunächst wieder mineralisiert werden. Bei der Mineralisierung der organischen Substanz im Boden (und von Wirtschaftsdüngern) wird Ammonium in den Boden freigesetzt.
- 7 Bei der Harnstoffhydrolyse durch Bodenenzyme wird Harnstoff in Ammonium und  $CO_2$ -Gas umgewandelt. Je nach Temperatur kann die Hydrolyse einen Tag bis zu einer Woche dauern. Der pH-Wert um die Harnstoffkörner steigt während des Prozesses stark an, wodurch die Ammoniakverflüchtigung begünstigt wird.

8 Gasförmige Ammoniakverluste treten auf, wenn Ammonium in Ammoniak umgewandelt und an die Atmosphäre abgegeben wird. Ein hoher pH-Wert des Bodens begünstigt die Umwandlung von Ammonium zu Ammoniak. Erfolgt die Umwandlung an der Bodenoberfläche, dann sind die Verluste am höchsten. Diese beiden Umstände treten ein, wenn Harnstoff ausgebracht und nicht sofort eingearbeitet wurde.

9 Zur Auswaschung von Nitrat kommt es hauptsächlich im Winter, wenn Niederschläge den von den Kulturen nicht aufgenommenen und bis dahin zu Nitrat umgewandelten Stickstoff sowie im Herbst noch mineralisiertes Nitrat aus der Wurzelzone verlagern. Eine präzise an den Bedarf angepasste Düngung beugt einer Auswaschung vor.

$CO_2$	Kohlendioxid (Gas)
$CO(NH_2)_2$	Harnstoff
$NH_3$	Ammoniak (Gas)
$NH_4^+$	Ammonium
$NO_3^-$	Nitrat
$NO_2^-$	Nitrit
$NO$	Stickstoffmonoxid (Gas)
$N_2O$	Distickstoffoxid (Gas)
$N_2$	Stickstoff (Gas)

## Stickstoff aus Nitrat

Nitrat ( $NO_3^-$ ) wird von den Pflanzen leicht in hohen Mengen aufgenommen. Anders als Harnstoff oder Ammonium ist es sofort als Nährstoff verfügbar. Nitrat ist sehr mobil im Boden und erreicht schnell die Wurzeln der Pflanze. Die Anwendung von Stickstoff in Form von Nitratdünger wie z.B. Kalkammonsalpeter sichert daher eine sofortige Nährstoffversorgung.

Die negative Ladung von Nitrat unterstützt die Aufnahme positiv geladener Nährstoffe wie Magnesium, Kalzium und Kalium.

Zu beachten ist, dass auch Stickstoff im Boden, der organisch, als Harnstoff oder Ammonium ausgebracht wird, im Wesentlichen zu Nitrat umgewandelt wird, bevor er von den Pflanzen aufgenommen wird. Wird Nitrat direkt angewendet, dann werden Verluste aus der Umwandlung von Harnstoff zu Ammonium und von Ammonium zu Nitrat vermieden.

## Stickstoff aus Harnstoff

Pflanzenwurzeln können nur geringste Mengen Harnstoff direkt aufnehmen. Zunächst muss Harnstoff durch Bodenenzyme zu Ammonium hydrolysiert werden, was je nach Temperatur einen Tag bis eine Woche dauern kann. Für diese Hydrolyse wird Feuchtigkeit benötigt. Das durch Hydrolyse erzeugte Ammonium kann leichter gasförmig als Ammoniak entweichen als Ammonium aus Ammoniumnitrat. Der Grund dafür ist, dass die Hydrolyse von Harnstoff zunächst zu stark alkalischen Bodenbedingungen in der unmittelbaren Nähe des eingesetzten Harnstoffkorns führt. Diese alkalischen Bedingungen verschieben das chemische Gleichgewicht zwischen  $NH_4^+$  und  $NH_3$  hin zur letzteren Form, was Verflüchtungsverluste verursacht. Diese Verluste sind eine wesentliche Ursache für die oft geringere N-Effizienz von Harnstoff. Aus diesem Grund sollte Harnstoff bei der Anwendung möglichst sofort in den Boden eingearbeitet werden.

## Stickstoff aus Ammonium

Ammonium ( $NH_4^+$ ) kann von den Pflanzen direkt in geringen Mengen aufgenommen werden. Das positiv geladene Ion wird an den Bodenmineralen fixiert und ist weniger mobil als Nitrat ( $NO_3^-$ ). Die Pflanzenwurzeln müssen deshalb in Richtung des Ammoniums wachsen. Der größte Teil des Ammoniums wird durch Bodenmikroben in Nitrat umgewandelt. Diese Nitrifikation ist temperaturabhängig und kann eine bis mehrere Wochen dauern. Ein weiterer Teil des Ammoniums wird durch Bodenmikroben in der organischen Bodensubstanz immobilisiert und nur über längere Zeiträume wieder freigesetzt.

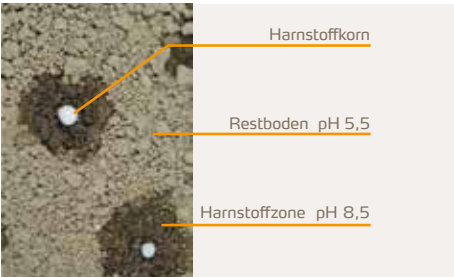


ABBILDUNG 4: Die Harnstoffhydrolyse führt zu einer lokalen Erhöhung des pH-Wertes, was zur  $NH_3$  Bildung und gasförmigen Ammoniakverlusten führt.

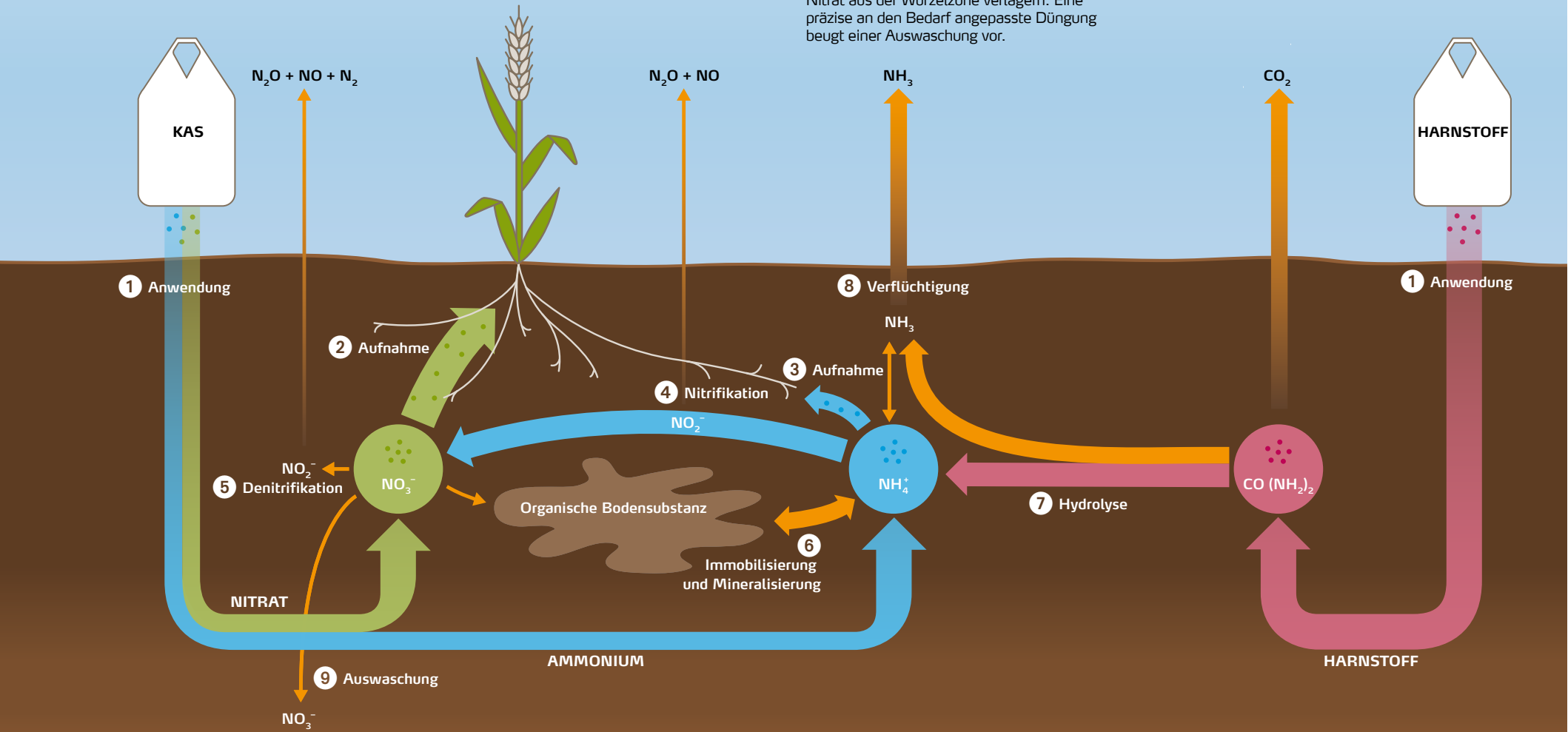


ABBILDUNG 3: Umwandlung von Harnstoff, Ammonium und Nitrat im Boden. Harnstoff weist die höchsten Umwandlungsverluste auf, Nitrate die niedrigsten. AHL, eine 50/50 % Kombination aus Ammoniumnitrat und Harnstoff, erfährt die gleichen Umwandlungen und Verluste wie seine Bestandteile.





Frankreich

In Frankreich haben Arvalis und Yara zwischen 1987 und 2004 122 Feldversuche mit Winterweizen auf verschiedenen Böden durchgeführt. Bei einer durchschnittlichen optimalen N-Gabe von 183 kg/ha erreichte Ammoniumnitrat 2,6 dt/ha mehr Ertrag und einen um 0,75 % höheren Proteingehalt als AHL. Zusätzliche 27 kg N/ha (15 %) waren bei AHL erforderlich, um das wirtschaftliche Optimum zu erreichen. [Lit. 4]

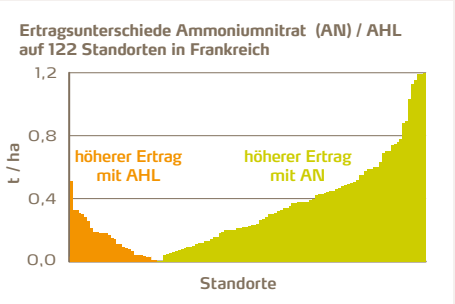


ABBILDUNG 5: Von 122 Standorten in Frankreich mit optimaler N-Düngung (Nopt) hatten 75 % einen höheren Ertrag mit Ammoniumnitrat und nur 25 % einen höheren Ertrag mit AHL. [Lit. 4]

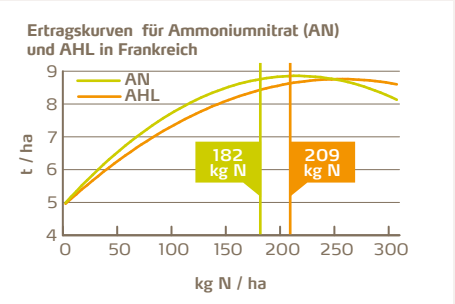


ABBILDUNG 6: Die N-Ertragskurven für die Versuche zeigen, dass mit AHL durchschnittlich 27 kg Stickstoff zusätzlich erforderlich gewesen wären, um das ökonomische Optimum zu erreichen. [Lit. 4]

Deutschland

In Deutschland führte Yara zwischen 2004 und 2010 insgesamt 55 Feldversuche mit Wintergetreide auf verschiedenen Böden durch. Bei einer durchschnittlichen optimalen N-Gabe von 210 kg/ha erzielte Kalkammonsalpeter 2 % mehr Ertrag und einen um 0,23 % höheren Proteingehalt als Harnstoff. Zusätzliche 15 kg N/ha (7,1 %) waren bei Harnstoff erforderlich, um das ökonomische Optimum zu erreichen. [Lit. 5]

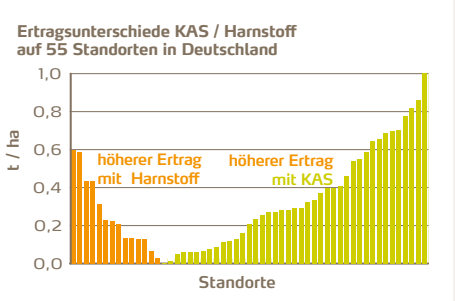


ABBILDUNG 7: Von 55 Standorten in Deutschland mit optimaler N-Düngung (Nopt) hatten 75 % einen höheren Ertrag mit Kalkammonsalpeter und nur 25 % einen höheren Ertrag mit Harnstoff. [Lit. 5]

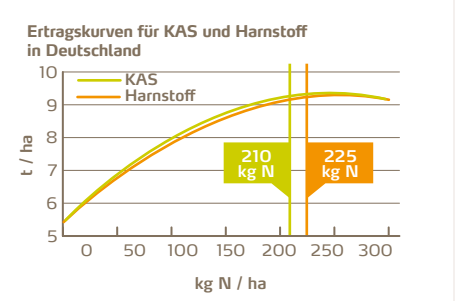


ABBILDUNG 8: Die N-Ertragskurven für die Versuche zeigen, dass mit Harnstoff durchschnittlich 15 kg Stickstoff zusätzlich erforderlich gewesen wären, um das ökonomische Optimum zu erreichen. [Lit. 5]

Den Optimalertrag sichern

Die goldene Regel bei der Düngung ist einfach: Bringen Sie die richtige Menge Stickstoff zum richtigen Zeitpunkt aus. Düngemittel mit einer zuverlässigen Stickstoffwirkung und guter Streuqualität reduzieren Verluste und verbessern die Aufnahme durch die Pflanze.

Kalkammonsalpeter und Ammoniumnitrat zeigten in Feldversuchen meist höhere Erträge und bessere Qualitäten als Harnstoff und AHL. Gute fachliche Praxis bei der Düngung und der Einsatz von Precision Farming Technologie können die Düngereffizienz weiter verbessern.

Optimierung von Ertrag und Qualität

Die verschiedenen mineralischen Stickstoffquellen haben unterschiedliche Auswirkungen auf Ertrag und Qualität der Ernte. Dies ist auch den europäischen Landwirten seit Jahrzehnten bekannt. Die unterschiedliche Leistungsfähigkeit der mineralischen Stickstoffquellen ist vor allem durch die Verluste, insbesondere die gasförmigen Verluste, bedingt. Einige dieser Verluste werden durch ein Missverhältnis zwischen der gedüngten Stickstoffmenge und der Aufnahme durch die Pflanze verschärft. Blattverätzungen bei der Anwendung von

AHL können ebenfalls Auswirkungen auf den Ertrag haben. Der größte Teil der bei Harnstoff und AHL beobachteten Minderleistung kann durch eine höhere Stickstoffdosierung kompensiert werden, allerdings auf Kosten einer erhöhten Umweltbelastung.

Großbritannien

Die umfangreichste Studie zum Vergleich der verschiedenen Formen von Stickstoffdünger wurde im Auftrag der britischen Regierung zwischen 2003 und 2005 (Department for Environment, Food and Rural Affairs, Defra) [Lit. 6] durchgeführt. Neben quantitativen Unterschieden hob die Studie die Variabilität der Ergebnisse bei Harnstoff und AHL hervor. Die erforderlichen Aufwandmengen an Stickstoff können daher nicht mit der gleichen Sicherheit bestimmt werden wie bei Nitratdüngern.

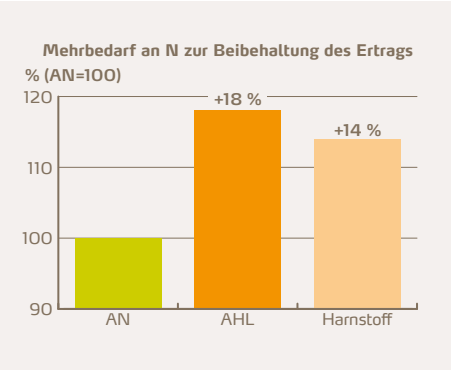


ABBILDUNG 9: Um den gleichen Ertrag zu erreichen, wurde deutlich mehr Stickstoff aus Harnstoff und AHL benötigt als aus Ammoniumnitrat. [Lit. 6]

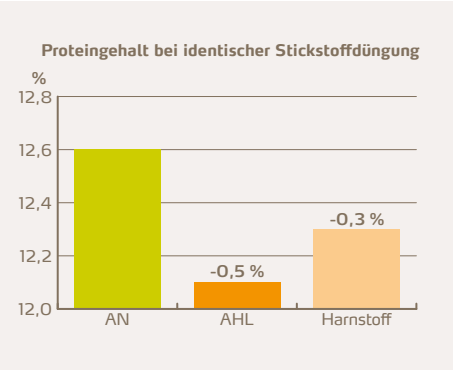


Abbildung 10: Der Proteingehalt war in Versuchen, die mit Harnstoff oder AHL gedüngt wurden, deutlich niedriger als bei den mit Ammoniumnitrat gedüngten. [Lit. 6]

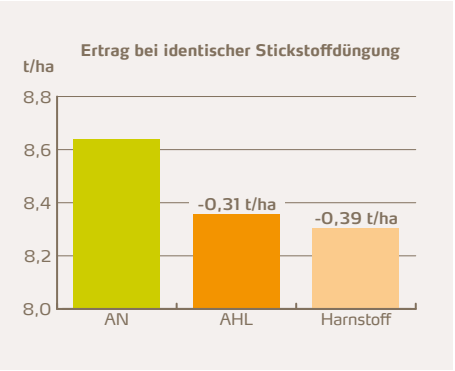


Abbildung 11: Der Ertrag war bei Harnstoff und AHL ebenfalls deutlich niedriger als bei Ammoniumnitrat. [Lit. 6]

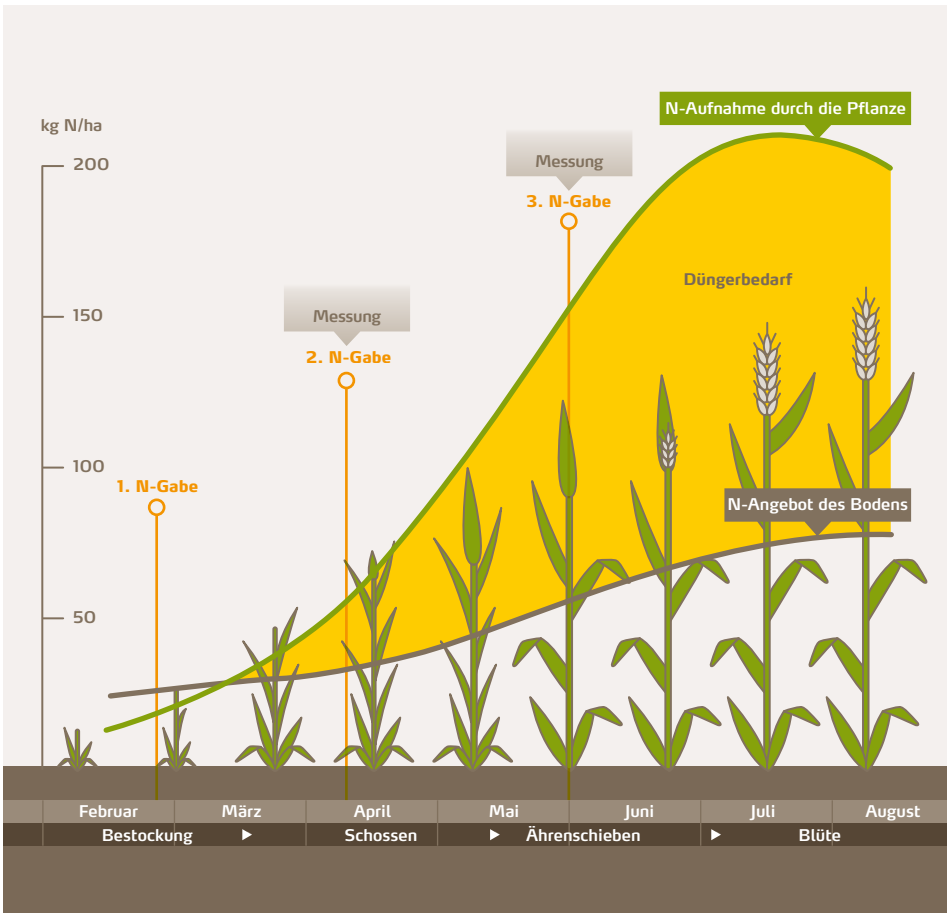


Steigerung der Düngereffizienz  
Anpassung der Düngung an den Bedarf der Pflanze

Stickstoff muss in ausreichender Menge vorhanden sein, damit Wachstum und Ertrag nicht eingeschränkt werden. Allerdings kann eine über den Bedarf der Pflanze hinausgehende Stickstoffdüngung zu einer Überversorgung der Pflanzen und zu einer Belastung der Umwelt führen. Die genaue Anpassung der Stickstoffdüngung an den aktuellen Bedarf der Pflanzen unter Berücksichtigung des Stickstoffangebots des Bodens ermöglicht daher beides: sowohl ökonomisch optimale Erträge bzw. Maximierung des Einkommens als auch die Minimierung möglicher Umweltbelastungen.

Die Aufteilung der N-Düngung in mehrere Teilgaben gilt unter den meisten Bedingungen als die beste Methode zur Optimierung der Stickstoffdüngung. Mit Hilfe des YARA N-Tester™ kann der Düngebedarf zum Zeitpunkt der 2. und 3. N-Gabe bei Getreide vor Ort präzise ermittelt werden. Düngemittel mit einer gut einschätzbaren Freisetzung des für die Pflanzen verfügbaren Stickstoffs sind am besten für die geteilte N-Düngung geeignet. Hierzu gehören Kalkammonsalpeter und andere nitratbasierte Stickstoffdünger, im Allgemeinen jedoch nicht Harnstoff. Die Umsetzung des Harnstoffs zu Ammonium (Harnstoffhydrolyse) und Ammoniakverluste durch Verflüchtigung hängen stark von den Witterungsbedingungen nach dem Ausbringen ab, vor allem von der Höhe der Niederschläge. Diese können nicht zuverlässig vorhergesagt werden, was entweder zu einer Unter- oder Überversorgung mit Stickstoff führen kann. Die Studie des Defra hat die „Unzuverlässigkeit“ von Harnstoff hervorgehoben; die gemessenen Verflüchtigungsverluste variierten von 2 bis 58 % des aufgebrauchten Stickstoffs!

Eine insgesamt ausgewogene Ernährung mit allen notwendigen Nährstoffen ist eine weitere Voraussetzung für den wirtschaftlichen und umweltschonenden Einsatz von Düngemitteln. So kann eine unzureichende Versorgung mit Phosphor, Kalium oder Schwefel die Effizienz des Stickstoffeinsatzes mindern. Durch regelmäßige Analyse der Bodenvorräte kann ermittelt werden, ob diese Nährstoffe gedüngt werden sollten.



Gesplittete Düngung von Kalkammonsalpeter zu Winterweizen. Der jeweilige Düngerbedarf hängt sowohl vom Stickstoffangebot des Bodens als auch vom Bedarf der Pflanzen ab. Mit Hilfsmitteln wie dem YARA N-Tester oder dem YARA N-Sensor wird die aktuelle Versorgung der Pflanzen mit Stickstoff objektiv gemessen und die zur 2. und 3. Gabe zu düngende N-Menge präzise ermittelt. [Lit. 5]

Verringerung des Düngereinsatzes durch  
sensorgesteuerte Düngung

Durch teilflächenspezifische Ausbringung mit dem YARA N-Sensor™ kann der Stickstoff sogar auf jeder Teilfläche eines Schläges bedarfsgerecht ausgebracht und so die Effizienz weiter erhöht werden. Hierzu misst der N-Sensor den Stickstoffbedarf der Pflanzen kontinuierlich während des Streuens und regelt den Düngerstreuer entsprechend auf und ab. Durch den YARA N-Sensor und den gleichzeitigen Einsatz effizienter Nitratdünger wie Kalkammonsalpeter werden Höchsterträge bei niedrigerem Stickstoffeinsatz ermöglicht. In mehr als einhundert Feldversuchen wurde die sensorgestützte N-Düngung mit der betriebsüblichen Düngung verglichen. Dabei wurde eine Erhöhung des Proteingehalts um 0,2 - 1,2 %, eine Ertragssteigerung von 7 % und eine Senkung des Stickstoffeinsatzes um 12 % nachgewiesen. [Lit. 8]

Präzise Ausbringung

Eine gleichmäßige Verteilung beim Düngerstreuen gewährleistet eine optimale Nährstoffversorgung. Kalkammonsalpeter weist durch die höhere Rohdichte und die niedrigere Stickstoffkonzentration bessere Streueigenschaften auf als Harnstoff. Wind kann die Streugenauigkeit bei Harnstoff weiter verschlechtern, was zu einer erheblichen lokalen Über- oder Unterversorgung führt (technische Streifenkrankheit!).

Eine in Deutschland durchgeführte Studie hat bei Harnstoff größere Streufehler aufgezeigt als bei Kalkammonsalpeter. Die Ergebnisse sind in den nebenstehenden Abbildungen dargestellt. Selbst bei einer Streubreite von nur 21 Metern führte bereits eine schwache Brise von 4 m/s bei Harnstoff zu einer Abweichung von der vorgesehenen Aufwandmenge in Höhe von 26 %, wohingegen es bei KAS nur 6 % waren!

Ein Streufehler von 26 % ist bei Winterweizen erfahrungsgemäß mit Ertragsverlusten von mindestens 2 % verbunden. Eine größere Streubreite führt zu noch höheren Verlusten. Eine geringere Streubreite erhöht den Arbeitsaufwand und vermindert die Schlagkraft. [Lit. 7]

Reduzierung der Bodenversauerung

Viele Dünger haben einen versauernden Effekt auf den Boden, der durch Kalkung wieder ausgeglichen werden muss. Kalkammonsalpeter versauert den Boden in deutlich geringerem Ausmaß als Harnstoff oder AHL, so dass weniger Kalk zugekauft und ausgebracht werden muss.

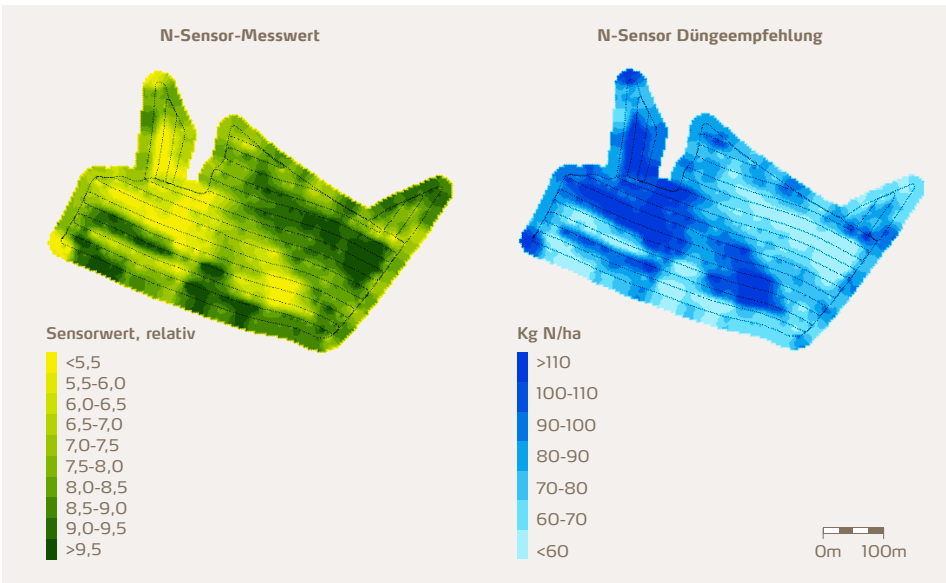


ABBILDUNG 13: Der YARA N-Sensor™ appliziert automatisch die für jede Teilfläche optimale N-Menge (blau) auf der Grundlage einer Echtzeit-Messung von Biomasse und Chlorophyll (grün) und vermeidet dabei sowohl Über- als auch Unterversorgung. Winterweizen, Deutschland. [Lit. 5]

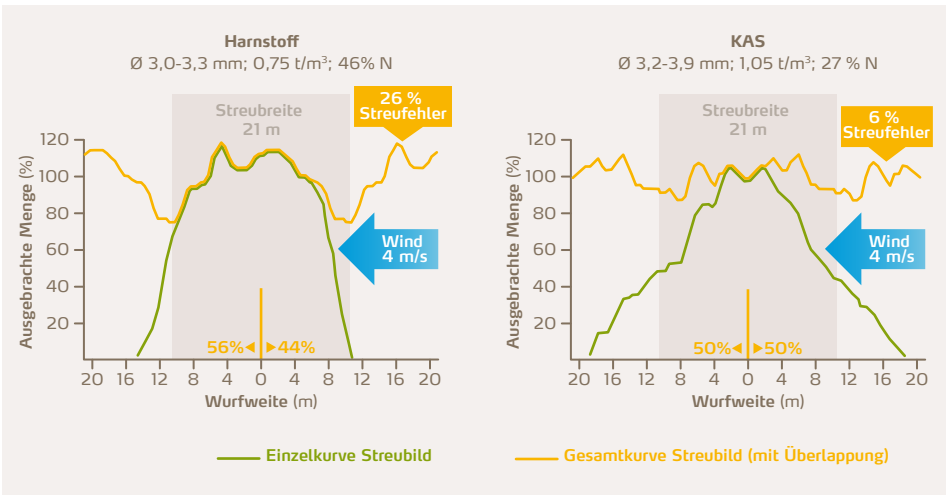


ABBILDUNG 14: Die Streufehler sind bei Harnstoff deutlich höher als bei KAS. Selbst bei einer Streubreite von nur 21 m führt eine leichte Brise von 4 m/s bei Harnstoff zu erheblichen Streufehlern und späteren Ertragsverlusten. [Lit. 7]

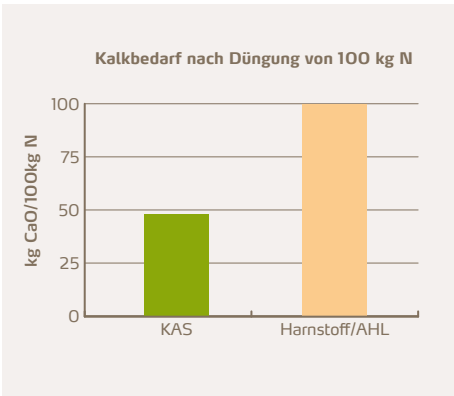


ABBILDUNG 15: Kalkammonsalpeter weist eine erheblich geringere Kalkzehrung auf als Harnstoff und AHL. [Lit. 9]



ABBILDUNG 16: Der YARA N-Tester ist ein tragbares Messgerät, mit dem der tatsächliche Stickstoffbedarf von Getreide auf dem Feld ermittelt werden kann.



# Die Umwelt schonen

Kalkammonsalpeter ist ein besonders effizienter Stickstoffdünger, der klare ökologische Vorteile gegenüber Harnstoff und AHL aufweist:

- Geringerer carbon footprint (CO<sub>2</sub>-Fußabdruck), einschließlich Produktion und Anwendung
- Geringere Ammoniakverflüchtigung
- Niedrigerer aggregierter Umwelt-Index



## Optimierung der Düngemittelproduktion

Mineralische Stickstoffdünger werden aus dem Luftstickstoff der Atmosphäre erzeugt. Der Prozess erfordert Energie und setzt damit CO<sub>2</sub> frei, wodurch er zum Klimawandel beiträgt. Dank ständiger technischer Verbesserungen arbeiten die europäischen Düngemittel-Anlagen heute nahe am theoretischen Energieminimum und die Yara-Anlagen gehören zu den besten der Welt.

Neben CO<sub>2</sub> setzt die Düngemittelproduktion auch N<sub>2</sub>O (Lachgas), ein starkes Treibhausgas, frei. Yara hat eine patentrechtlich geschützte Katalysatortechnologie entwickelt, mit dessen Hilfe ein Großteil des während der Produktion entstehenden N<sub>2</sub>O abgebaut werden kann. Als Vorreiter in der Branche teilt Yara heute seine Katalysatortechnologie mit anderen Düngemittelherstellern auf der ganzen Welt.

Die Klimawirkung von Düngemitteln kann durch ihren CO<sub>2</sub>-Fußabdruck gemessen werden. Er wird ausgedrückt in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent pro kg hergestelltem Stickstoff. Doch um die tatsächlichen Auswirkungen eines Produktes auf das Klima zu verstehen, muss eine Lebenszyklus-Analyse (LCA) durchgeführt werden, die alle Schritte von der Herstellung bis zur Anwendung umfasst. Ein detaillierter Vergleich des jeweiligen CO<sub>2</sub>-Fußabdruckes verschiedener Düngemitteltypen wird im nächsten Abschnitt dargelegt.

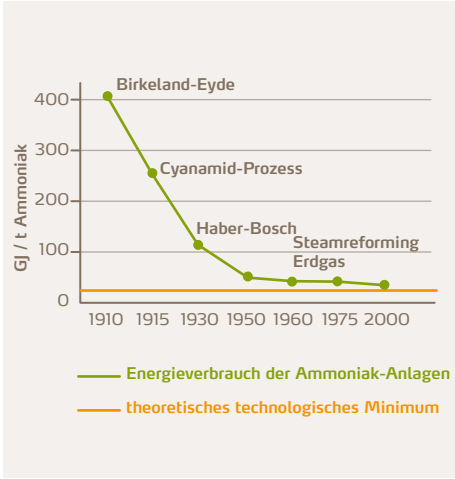


Abbildung 17: Der Energieverbrauch der europäischen Düngemittel-Produktionsanlagen ist im Laufe der Zeit zurückgegangen und liegt heute nahe dem theoretischen Minimum. [Lit. 10]

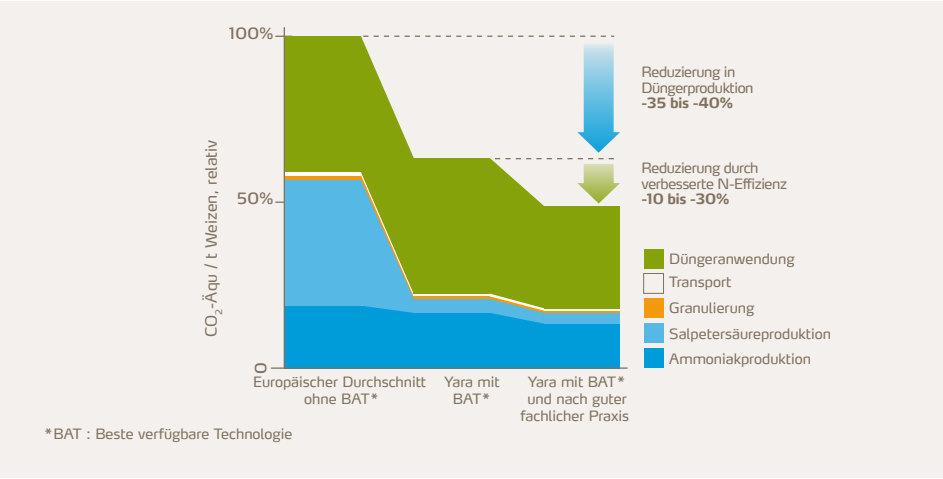


ABBILDUNG 18: Yara hat den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der Nitratdüngerproduktion um 35 - 40 % reduziert. Die Verbesserung der N-Effizienz beim Einsatz von Düngemitteln kann weitere 10 - 30 % Reduktion beitragen. [Lit. 11], [Lit. 12]

## Optimierte Düngung

Unerwünschte ökologische Auswirkungen ergeben sich durch den Einsatz von mineralischen oder organischen Stickstoffdüngern immer dann, wenn Stickstoff in die Umwelt gelangt. Wo solche Verluste niedrig gehalten werden, sind die negativen Auswirkungen auf die Umwelt ebenfalls gering.

### Reduzierung gasförmiger N-Verluste

Ammonium kann sich beim Ausbringen von Düngemitteln als Ammoniak (NH<sub>3</sub>) verflüchtigen. Das Europäische Emissionskataster hat geschätzt, dass 94 % aller NH<sub>3</sub>-Emissionen durch die Landwirtschaft verursacht werden. Die meisten dieser Emissionen werden durch organische Quellen verursacht, etwa 20 % stammen jedoch aus mineralischen Stickstoffdüngern.

Die Ammoniak-Verflüchtigung ist ein direkter Stickstoffverlust und somit auch ein Geldverlust. Verflüchtigtes Ammoniak stellt außerdem eine erhebliche Umweltbelastung dar. Es überschreitet nationale Grenzen und verursacht Versauerung und Eutrophierung von Land und Wasser. Um Ammoniak-Emissionen unabhängig von ihrem

Entstehungsort auf nationaler Ebene zu steuern, wurden das UN/ECE-Protokoll von Göteborg und die EU-Richtlinie über nationale Emissionshöchstmengen eingeführt.

Es ist seit langem bekannt, dass Harnstoff oder AHL höhere Verflüchtigungsverluste als Kalkammonsalpeter verursachen. Ammoniakverluste aus Harnstoff können durch Einarbeitung in den Boden nach der Ausbringung reduziert werden. Dies ist jedoch nur für Frühjahrssaaten möglich. Auf Grünland werden die Verluste im Allgemeinen größer sein als auf Ackerböden, da Grasnarben eine hohe Ureaseaktivität besitzen und der Harnstoff in größerem Umfang an der Bodenoberfläche verbleibt.

Gasförmige Verluste [% N]	Ackerland		Grünland	
	EMEP	Defra	EMEP	Defra
Kalkammonsalpeter	0,6 %	3 (-3 bis 10) %	1,6 %	2 (-4 bis 13) %
AHL	6 %	14 (8 bis 17) %	12 %	k.A.
Harnstoff	11,5 %	22 (2 bis 43) %	23 %	27 (10 bis 58) %

Tabelle 3: Durchschnittliche Ammoniak-Emissionen pro kg Stickstoff für verschiedene Düngemitteltypen. Die Tabelle enthält Daten aus dem amtlichen europäischen Emissionsinventar EMEP sowie der Defra-Studie. In allen Fällen sind die gasförmigen Verluste bei Harnstoff und AHL deutlich höher als bei Kalkammonsalpeter. [Lit. 13], [Lit. 14], [Lit. 15]





Dem Klimawandel entgegenwirken

Produktion, Transport und Einsatz von Mineräldüngern tragen direkt und indirekt zu Emissionen von Treibhausgasen (THG), insbesondere Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O), bei. Gleichzeitig erhöhen die Düngemittel die Produktivität der Landwirtschaft und stimulieren die CO<sub>2</sub>-Aufnahme durch die Pflanzen. Sie steigern den Ertrag und reduzieren die Notwendigkeit, neues Land zu bebauen. Hierdurch werden zusätzliche THG-Emissionen aus Flächennutzungsänderungen, die derzeit alleine schon 20 % der globalen THG-Emissionen ausmachen, vermieden.

Mit Hilfe von Lebenszyklus-Analysen von Düngemitteln werden sowohl die Emissionen als auch die Bindung von Treibhausgasen in der Düngemittelproduktion, bei Transport und Lagerung sowie während der Anwendung und des Wachstums der Kulturen, d.h. in jeder Phase des «Lebens» eines Düngemittels bestimmt. Dies ermöglicht ein besseres Verständnis dessen, was getan werden kann und muss, um die gesamte CO<sub>2</sub>-Bilanz zu verbessern. Um unterschiedliche Treibhausgase vergleichbar zu machen, werden sie in CO<sub>2</sub>-Äquivalente (CO<sub>2</sub>-Äqu.) umgerechnet. Zum Beispiel entspricht 1 kg N<sub>2</sub>O einem CO<sub>2</sub>-Äqu. von 296 kg, da N<sub>2</sub>O eine 296-mal stärkere Wirkung auf das Klima hat als CO<sub>2</sub>. Die daraus berechnete Gesamtmenge an CO<sub>2</sub> wird als «CO<sub>2</sub>-Fußabdruck» bezeichnet.

Unterschiedliche Dünger haben unterschiedliche CO<sub>2</sub>-Fußabdrücke. Harnstoff emittiert weniger CO<sub>2</sub> bei der Produktion als Ammoniumnitrat. Bei der Ausbringung ist dieser Unterschied aber aufgehoben, da der Harnstoff das in seinem Molekül enthaltene CO<sub>2</sub> wieder freisetzt. Außerdem setzt Harnstoff bei der Anwendung in der Landwirtschaft mehr N<sub>2</sub>O frei. Der über den gesamten Lebenszyklus eines Produkts oder einer Dienstleistung gemessene CO<sub>2</sub>-Fußabdruck ist somit bei Harnstoff höher als bei Ammoniumnitrat. Zusätzlich müssen die gasförmigen N-Verluste beim Harnstoff und dessen niedrigere N-Effizienz durch eine um etwa 15 % höhere N-Aufwandmenge ausgeglichen werden.

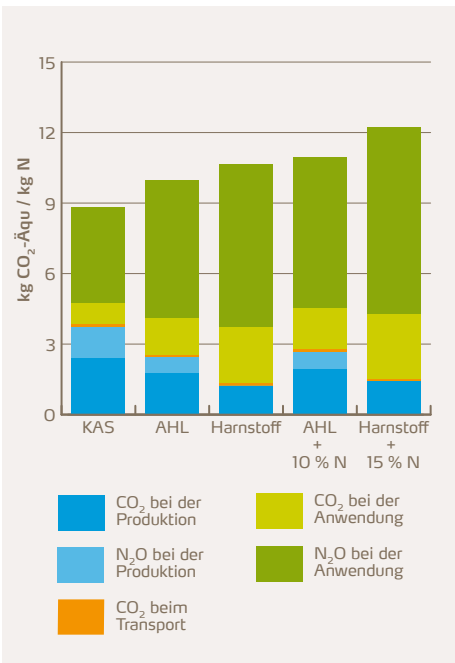


Abbildung 19: Der über den gesamten Lebenszyklus gemessene CO<sub>2</sub>-Fußabdruck ist bei Kalkammonsalpeter geringer als bei Harnstoff und AHL. Durch den Ausgleich der geringeren Effizienz von Harnstoff und AHL durch eine höhere N-Menge ist der Unterschied noch deutlicher. [Lit. 16]

Auswaschung minimieren

Erhöhte Nitratgehalte im Grund- und Oberflächenwasser sind unerwünscht. Die EU-Nitratrichtlinie von 1991 hat die tolerierbare Grenze auf 50 mg Nitrat/l festgesetzt. Die Nitratauswaschung ist von der Stickstoffquelle unabhängig. Sie kann durch Mineräldünger, organische Dünger oder auch durch die organische Bodensubstanz verursacht werden.

Zu Nitratauswaschung kommt es, wenn der Boden mit Wasser gesättigt ist und das Nitrat durch versickerndes Regenwasser oder durch Bewässerungswasser aus der Wurzelzone nach unten ausgetragen wird. Nitrat wird nicht an Bodenpartikel gebunden und verbleibt in der Bodenlösung, so dass es sich mit dem Bodenwasser frei bewegt. Ammonium wird in erster Linie an Tonpartikel im Boden gebunden und wird daher kaum ausgewaschen. Harnstoff wird mittels

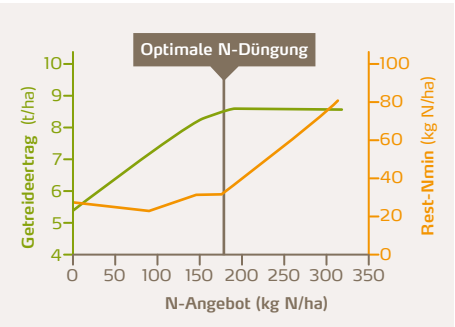


Abbildung 20: Die Rest-Nmin-Mengen im Boden nach der Ernte und damit die Gefahr der Auswaschung ist bei einer ökonomisch optimalen N-Düngung kaum höher als bei reduzierter oder gar unterlassener N-Düngung. [Lit. 17]

Hydrolyse relativ rasch in Ammonium umgewandelt. Das Harnstoff-Molekül selbst ist sehr mobil und kann durch heftige Regenfälle nach dem Ausbringen direkt in den Untergrund ausgewaschen werden.

Zur Nitratauswaschung kommt es während des Winters. Ziel muss es deshalb sein, die Nitratkonzentration im Boden am Ende der Vegetationsperiode (Rest-Nmin) zu minimieren. Bei Wintergetreide erhöht eine Stickstoffdüngung bis hin zum ökonomischen Optimum die Nitratgehalte im Boden nach der Ernte nicht wesentlich. Die optimale Aufwandmenge von Stickstoff minimiert daher auch die Menge an Rest-Nmin.

Auswaschung kann durch gute fachliche Praxis vermieden werden:

- Bestimmung des Nmin-Gehalts im Boden zu Vegetationsbeginn durch Bodenanalyse
- Geteilte N-Düngung: Ausbringung der gesamten N-Menge in mehreren Teilgaben, um die N-Düngung während der Vegetationsperiode flexibel an den N-Bedarf der Kulturen im jeweiligen Jahr und auf dem jeweiligen Standort anpassen zu können
- Verwendung von Düngemitteln mit einer schnellen, gut kalkulierbaren Wirkung von Stickstoff, wie z.B. Ammoniumnitrat im Kalkammonsalpeter
- Wenn möglich, die N-Effizienz durch teilflächenspezifische Stickstoffdüngung weiter erhöhen
- Förderung eines tiefen und weitreichenden Wurzelsystems, um den Stickstoff effizienter zu nutzen
- Erhaltung eines optimalen Bodengefüges
- Rest-Nmin nach der Ernte durch Zwischenfrüchte über Winter konservieren
- Gewährleistung einer ausgewogenen Ernährung der Kulturen mit allen anderen Nährstoffen, damit der zur Verfügung stehende Stickstoff aufgenommen und verwertet werden kann

Wirkungen auf die Umwelt berücksichtigen

Die unterschiedlichen Auswirkungen von Düngerherstellung und -anwendung auf die Umwelt (Bodennutzung, Eutrophierung von Wasser und Land, globale Erwärmung und Versauerung) können durch den so genannten Umwelt-Index EcoX zusammengefasst werden. Der Index misst die einzelnen Umweltbelastungen auf der Basis einer Lebenszyklus-Analyse. Alle Belastungen werden dann mit den europäischen Vorgaben und Zielwerten verglichen, gewichtet und addiert. Je höher der resultierende Wert, desto höher ist die Umweltbelastung. Kalkammonsalpeter weist den niedrigsten Umwelt-Index auf.

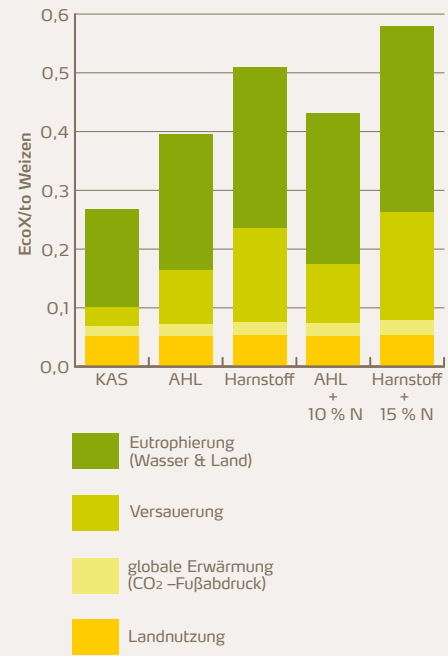


ABBILDUNG 21: Der Umwelt-Index EcoX für verschiedene N-Dünger. Mittel aus 15 Feldversuchen mit Winterweizen in Großbritannien bei einer N-Gabe von 160 kg / ha. Der EcoX von Harnstoff ist fast zweimal höher als der von Kalkammonsalpeter. [Lit. 18]





Knowledge grows

Für weitere Informationen kontaktieren Sie bitte:  
YARA GmbH & Co. KG  
Hanninghof 35  
D-48249 Dülmen  
Tel. 02594 798 123  
Fax. 02594 798 455  
E-mail: [yara.de@yara.com](mailto:yara.de@yara.com)  
[www.yara.de](http://www.yara.de)

Die in diesem Prospekt enthaltenen Informationen entsprechen unserem derzeitigen Kenntnisstand und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Eine Gewähr oder Haftung für das Zutreffen im Einzelfall ist ausgeschlossen, da die Standort- und Anbaubedingungen erheblichen Schwankungen unterliegen. Die zur Verfügung gestellten Informationen ersetzen keine individuelle Beratung. Sie sind unverbindlich und insbesondere nicht Gegenstand eines Beratungs- / Auskunftsvertrages.



## Über Yara

Yara International ASA ist ein internationales Unternehmen mit Hauptsitz in Oslo, Norwegen. Yara ist auf die Ernährung von Pflanzen sowie auf Produkte für den Umweltschutz und für industrielle Anwendungen spezialisiert. Als weltgrößter Anbieter von Mineraldüngern tragen wir dazu bei, Nahrungsmittel und erneuerbare Energien für die wachsende Weltbevölkerung bereitzustellen. Aufgrund unserer langjährigen Erfahrung und unseres fundierten Wissens über Produktion und Anwendung von Pflanzennährstoffen sind wir davon überzeugt, dass Mineraldünger wichtiger Bestandteil einer ökologisch und ökonomisch nachhaltigen Landwirtschaft sind.

## Literatur

- [Lit. 1] Food and Agriculture Organization of the United Nations (2003): World Agriculture towards 2015/2030.
- [Lit. 2] Von Witzke H., Noleppa, S. (2010): EU agricultural production and trade: can more efficiency prevent increasing 'land-grabbing' outside of Europe? Humboldt Universität zu Berlin.
- [Lit. 3] nach Kaarstad, O. (1997): Fertilizer's significance for cereal production and cereal yields from 1950 to 1995. In: International symposium on fertilization and the environment (Mortwedt, J. and Shaviv, A.; Eds.). Haifa, Israel, April 1997.
- [Lit. 4] Lesouder C., Taureau J. (1997): Fertilisation azotée, formes et modes d'actions. Perspectives Agricoles N° 221.
- [Lit. 5] Yara International, Institut für Pflanzenernährung und Umweltforschung Hanninghof, Deutschland.
- [Lit. 6] Dampney P., Dyer C., Goodlass G., Chambers B. (2006): Component report for DEFRA project NT2605/WP1a. Crop Responses.
- [Lit. 7] Stamm R. (2006): Streufehler bei Seitenwind. DLZ Agrarmagazin 10:2006.
- [Lit. 8] Agricon: [www.agricon.de/produkte/yara-n-sensor/sensorvergleich](http://www.agricon.de/produkte/yara-n-sensor/sensorvergleich).
- [Lit. 9] Sluijsmans C.M.J. (1970): Influence of fertilizer upon liming status of the soil. J. Plant Nutr. Soil Sci., 126.
- [Lit. 10] Adapted from Anundskas, A. (2000): Technical improvements in mineral nitrogen fertilizer production. In: Harvesting energy with fertilizers. European Fertilizer Manufacturers Association.
- [Lit. 11] Pachauri R., Reisinger A. (2007): Climate Change 2007. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland.
- [Lit. 12] European Fertilizer Manufacturers Association (EFMA), Annual Report 2008, Industry Benchmarks.
- [Lit. 13] Dampney P., Chadwick D., Smith K., Bhogal A. (2004): Report for DEFRA project NT2603. The behaviour of some different fertiliser-N materials.
- [Lit. 14] Chadwick D., Misselbrook T., Gilhespy S., Williams J., Bhogal A., Sagoo L., Nicholson F., Webb J., Anthony S., Chambers B. (2005): Component report for Defra project NT2605/WP1b. Ammonia Emissions and crop N use efficiency.
- [Lit. 15] EMEP/CORINAIR Technical Report No. 16/2007.
- [Lit. 16] nach Brentrup F. (2010). Yara International, Institut für Pflanzenernährung und Umweltforschung Hanninghof, Deutschland.
- [Lit. 17] Baumgärtel G., Engels T., Kuhlmann H. (1989): Wie kann man die ordnungsgemäße N-Düngung überprüfen? DLG-Mitteilungen 9, 472-474.
- [Lit. 18] nach: Brentrup F., Küsters J., Lammel J., Barraclough P., Kuhlmann H. (2004): Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology II. The application to N fertilizer use in winter wheat production systems. Europ. J. Agronomy 20, 265–279.

