

03

# FAKTENCHECK **HARNSTOFF**



**Harnstoff: Lachgas-Emissionen vermindern**

# Lachgas - nicht lustig für das Klima



## Was macht Lachgas so gefährlich?

Lachgas? Den meisten Menschen ist der kuriose Stoff vor allem als Narkose- oder Rauschmittel bekannt. Früher wurde es sogar auf Jahrmärkten verteilt, um das Publikum zu belustigen. Was weniger spaßig ist: Lachgas – in der Fachsprache als Distickstoffmonoxid (N<sub>2</sub>O) bezeichnet – trägt in der Atmosphäre 300 mal stärker zur globalen Erwärmung bei als Kohlendioxid. Es ist ein natürlich vorkommendes Gas der Erdatmosphäre. Obwohl es dort nur in Spuren existiert, trägt es insgesamt etwa acht Prozent zum globalen Treibhauseffekt bei. Neben seiner Klimawirkung greift Lachgas auch die Ozonschicht in der

Stratosphäre an. Schon in naher Zukunft wird es die Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) als "Ozonkiller Nr. 1" abgelöst haben. Entsprechend groß ist das Interesse an der Vermeidung bzw. Verminderung von Emissionen dieses Spurengases. Die Treibhausgas-Emissionen insgesamt sollen in den nächsten Jahren so weit gesenkt werden, dass die globale Erwärmung auf 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau begrenzt bleibt (Randalls 2010). Anderenfalls steht die Menschheit nach Meinung vieler Experten vor kaum lösbaren Herausforderungen. ■

## Woher hat das Lachgas seinen Namen?

Obwohl das Lachgas in der Medizin als Narkotikum eingesetzt wird, trägt es seinen Namen zu Recht: Es soll die Endorphinausschüttung anregen und diese Glückshormone lassen uns tatsächlich leichter lachen!

Die berühmten „Glückshormone des Körpers“ wirken schmerzhemmend, beruhigend und angstlösend. Deshalb ist Lachgas so ein beliebtes Narkosemittel (Quelle: www.sat1.de). ■

Bildquelle: Nasa: Hurrikan Katrina.

## Ursachen von Lachgas-Emissionen

Lachgas ist am anthropogenen Treibhauseffekt zwar mit weniger als 8% beteiligt, in der öffentlichen Wahrnehmung spielt es aber gerade in Zusammenhang mit Landwirtschaft und N-Mineraldüngung eine entscheidende Rolle.

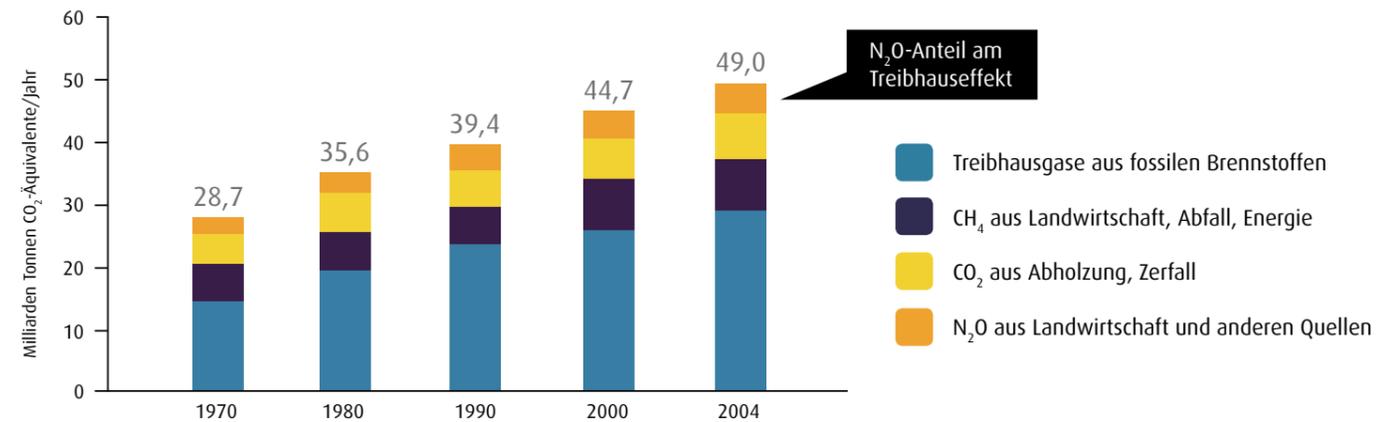
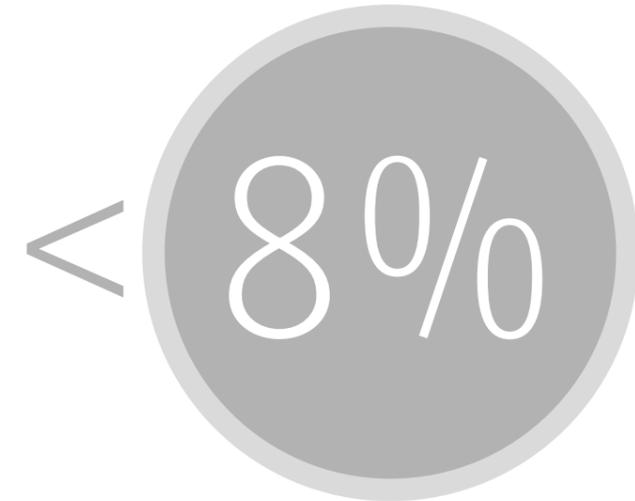


Abb. 1: LACHGAS-QUELLEN IN DEUTSCHLAND: ANTEIL DER LANDWIRTSCHAFT UND DER LANDWIRTSCHAFTLICH GENUTZTEN BÖDEN (QUELLE: IPCC 2007)

Rund 68% der Lachgas-Emissionen stammen aus der Landwirtschaft. Lachgas entsteht hier vor allem beim Abbau von Stickstoffverbindungen durch Bodenbakterien. Gelangt mehr Dünger auf die Felder als die Pflanzen für ihr momentanes Wachstum benötigen, kann der überschüssige Stickstoff aus den oberen Bodenschichten ausgewaschen werden oder in die Atmosphäre entweichen. Dünger ist hier aber nicht gleich Dünger. Vielerorts konnte die Stickstoffeffizienz bei der Düngung bereits erhöht werden. Das führte zu einem reduzierten Eintrag reaktiver Stickstoffverbindungen in die Umwelt und kommt gleichzeitig den Landwirten zugute. Ganz vermeiden lassen sich die Verluste aber nicht. Im Interesse des Klimaschutzes arbeiten Agrarforscher jedoch weiter verstärkt daran, diese Emissionen zu verringern.

Nach Ansicht von Wissenschaftlern fehlen langjährige Feldmessungen zu Lachgas-Emissionen. Ergebnisse aus Gewächshaus- und Laboruntersuchungen unter kontrollierten Umweltbedingungen sind auf die komplizierten Verhältnisse im Freiland nur eingeschränkt übertragbar. Deshalb gibt es bisher kaum tragfähige Modelle, mit deren Hilfe Lachgas-Emissionen abgeschätzt werden können (KTBL 2010).

Für die Zukunft wird ein leichter Rückgang der Treibhausgas-Emissionen aus der Landwirtschaft prognostiziert (Umweltbundesamt 2011). ■

## Weniger Lachgas aus der Industrie

Lachgas wird auch bei verschiedenen chemischen Prozessen freigesetzt, z. B. bei der Herstellung von Salpetersäure, Adipinsäure oder auch bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen. Hier ist die Industrie durch den Einsatz innovativer Katalysatorteknik jedoch mittlerweile in der Lage, Lachgas-Emissionen um bis zu 90% zu verringern (Wetterau 2007).

Der Vorteil dieser Katalysatoren liegt darin, dass sie das Lachgas in seine umweltfreundlichen Komponenten aufspalten können: Damit entstehen Stickstoff und Sauerstoff, die Hauptbestandteile unserer Umgebungsluft. Außerdem werden durch die direkte Zersetzung keine weiteren Stickoxide wie NO und NO<sub>2</sub> gebildet (Matthes 2011).

Unternehmen, die diese Technik bereits einsetzen, leisten damit einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz. ■

# Woher kommt das Lachgas?

Nach Einschätzung des IPCC<sup>1</sup> (1996, 2006) stellen landwirtschaftlich genutzte Böden mit einem Anteil von 50 bis 70% die mit Abstand größte Quelle anthropogener Lachgas-Emissionen dar. In Deutschland ist die Landwirtschaft laut Umweltbundesamt für 68% der von Menschen verursachten Lachgas-Freisetzungen verantwortlich.

68%

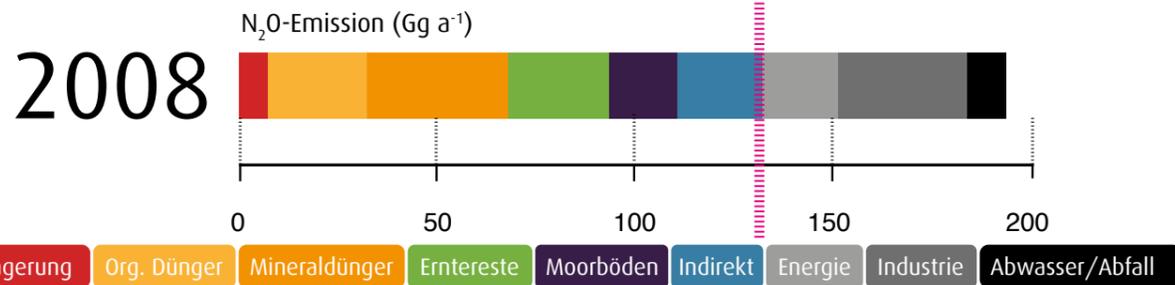
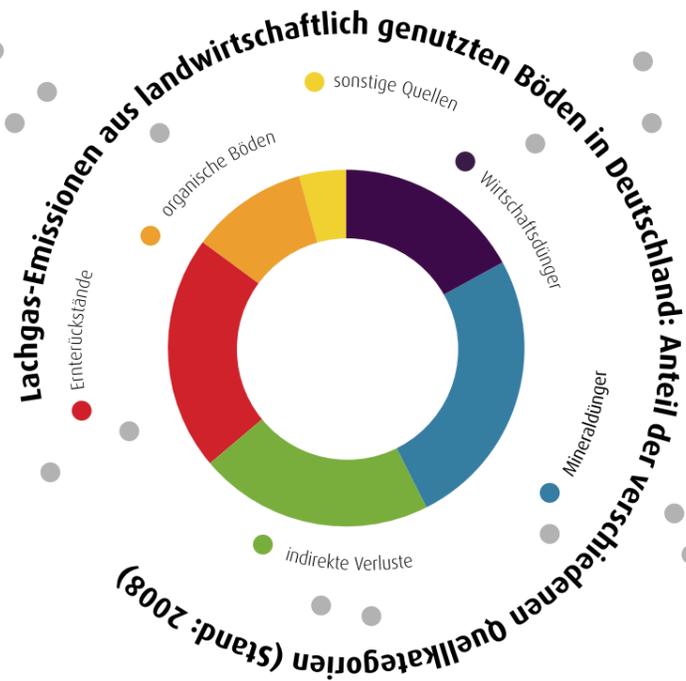


Abb. 2: NATIONALE EMISSION VON LACHGAS (UMWELTBUNDESAMT 2010)

<sup>1</sup> IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change (Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen)



Auch zwischen N-Düngung und Lachgas-Freisetzung besteht ein Zusammenhang. Zumindest unter mitteleuropäischen Klima- und Landnutzungsbedingungen gilt der Eintrag von reaktivem Stickstoff als Hauptursache für Lachgas-Emissionen aus Acker- und Grünlandflächen (Haenel et al. 2010).

Das IPCC (2006) geht derzeit von einem mittleren weltweiten N-Verlust in Form von Lachgas in Höhe von ca. 1,5% der gedüngten N-Menge aus (davon 1% direkte und ca. 0,5% indirekte Verluste).

Abb. 3: LACHGAS-EMISSIONEN AUS LANDWIRTSCHAFTLICH GENUTZTEN BÖDEN IN DEUTSCHLAND: ANTEIL DER VERSCHIEDENEN QUELLKATEGORIEN (STAND: 2008; QUELLE: HAENEL ET AL. 2010)

# Prozesse und Bedingungen im Boden, die zu Lachgas-Emissionen führen können

## DENITRIFIKATION

Die Lachgas-Bildung in unseren Böden ist mikrobieller Natur. Das Gas kann sowohl während der Denitrifikation (Reduktion von Nitrat zu N<sub>2</sub> → anaerober Prozess) als auch während der Nitrifikation (Oxidation von NH<sub>4</sub><sup>+</sup> zu NO<sub>3</sub><sup>-</sup> → aerober Prozess) entstehen.

Einige Fakten sprechen dafür, dass gerade bei hohen Lachgas-Emissionen der Denitrifikation eine größere Bedeutung zukommt (Senbayran et al. 2009; Kool 2010). Unter anderem wurde in Untersuchungen mit markiertem Stickstoff (<sup>15</sup>N) unter Praxisbedingungen festgestellt, dass Dünger-N-Verluste in Form von Lachgas überwiegend aus der Denitrifikation stammen.

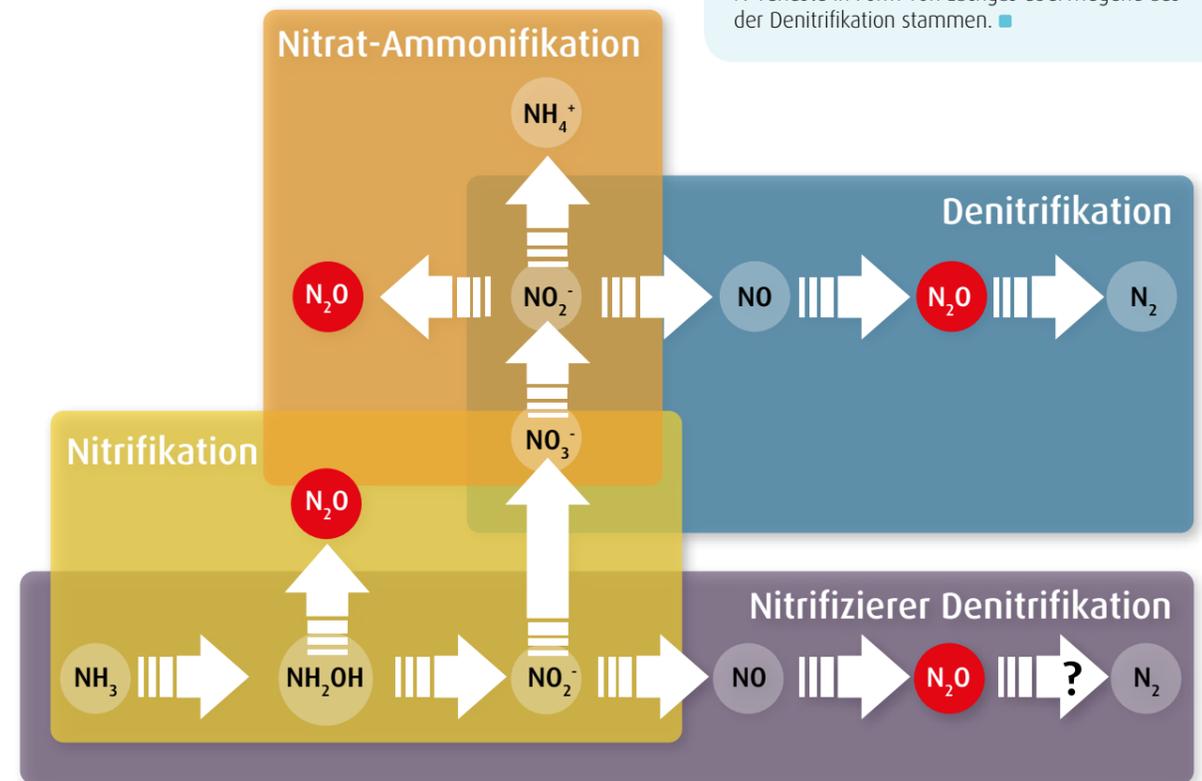


Abb. 4: PROZESSE DER LACHGAS-BILDUNG UND LACHGAS-UMSETZUNG (NACH WRAGE ET AL. 2001; BAGGS 2008)

## Welche Faktoren beeinflussen die Lachgas-Freisetzung aus gedüngten Böden?

Die Bedingungen, unter denen Lachgas freigesetzt wird, sind prinzipiell bekannt. Nach wie vor bestehen große Unsicherheiten darüber, welche Faktoren wie zusammenspielen müssen, um letztendlich hohe Emissionen auszulösen.

In einem viel beachteten mathematischen Modell zur Schätzung der globalen Lachgas-Freisetzung aus gedüngten Flächen (Bouwman et al. 2002) werden neben der N-Düngung selbst folgende Umweltfaktoren berücksichtigt, die die Höhe der Emissionen maßgeblich bestimmen:

- Form der Landnutzung, Kulturart
- Bodentextur
- Humusgehalt des Bodens
- Wasserdurchlässigkeit des Bodens
- Boden-pH-Wert

Der Einflussfaktor N-Düngung wird dabei durch den N-Input wesentlich stärker beeinflusst als durch die Dünger-N-Form.

Im globalen Maßstab spielen Klima und Bodenparameter sowie die Form der Landnutzung oft die entscheidende Rolle für die tatsächliche Höhe der Lachgas-Emissionen.

In tropischen Breiten und aus organischen Böden (Moore etc.) entweicht sehr viel mehr Lachgas als aus den Mineralböden der gemäßigten Breiten. Auch die Dünger-N-Verluste sind dort größer. Hohe Emissionen können auch durch Landnutzungsänderungen (Abholzung, Grünlandumbruch) ausgelöst werden. ■

ABB. 5: ABHOLZUNG UND INTENSIVE LANDWIRTSCHAFT IN DEN TROPEN: „BESTE“ VORAUSSETZUNGEN FÜR HOHE LACHGAS-EMISSIONEN



## Lachgas-Emissionen nach N-Düngung unter mitteleuropäischen Verhältnissen

Eine Stickstoff-Applikation induziert nicht automatisch Lachgas-Emissionen. Ob und wie viel Dünger-N in Form von Lachgas verloren geht, hängt hauptsächlich von folgenden Parametern ab:

- Menge an leicht verfügbarem Mineral-N im Boden: Die Fachliteratur weist diesbezüglich auf deutliche Zusammenhänge zwischen dem Nitrat-Gehalt im Boden und der Höhe der Lachgas-Freisetzung hin. Entsprechend eng korrelieren Lachgas-Emissionen mit den landwirtschaftlichen N-Überschüssen.
- Vorhandensein organischer Substanz: Auch mikrobielles Leben basiert auf Kohlenstoff-Gerüsten. Ernterückstände liefern diese Lebensgrundlage ebenso wie Gülle- oder Stallmistgaben.
- Bodenklima: Lachgas wird nur unter bestimmten Bedingungen frei. Hohe Emissionen sind in der Regel an eine weitgehende Wassersättigung und Sauerstoffarmut gekoppelt. Im Winter begünstigen Frost-Auftau-Perioden die Lachgas-Bildung, im Sommer eher ein feucht-warmes Bodenklima.

Das Risiko hoher Lachgas-Emissionen aus Acker- oder Grünlandböden steigt folglich

- mit zunehmenden N-Überschüssen auf der Fläche
- bei gemeinsamer Ausbringung von Mineralstickstoff und Wirtschaftsdüngern
- mit zunehmenden Nitrat-Gehalten im Boden.

Quellen: Bareth 2000; Bouwman et al. 2002; Ottow 2011; Ruser et al. 2001; v. Bochove et al. 2000

! Der letzte Punkt mag dafür ausschlaggebend sein, dass Harnstoff im Vergleich zu Kalkammonsalpeter (KAS) geringere Lachgas-Emissionen aufweist. ■

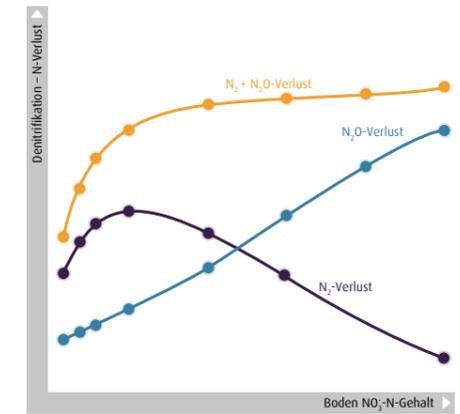
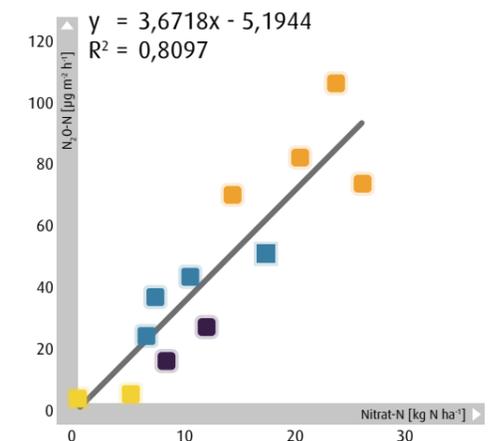
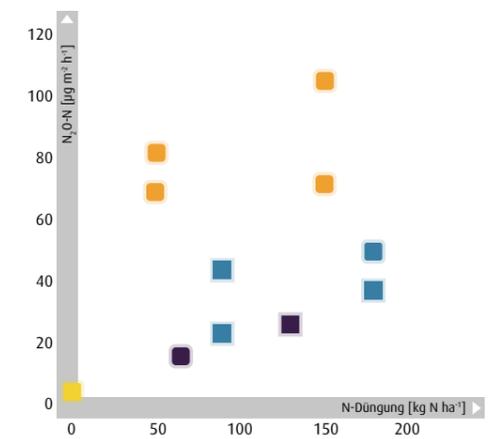


ABB. 6: KORRELATION NITRAT-GEHALT UND LACHGAS-EMISSIONEN (BARETH 2000)



- Brache
- Weizen
- Mais
- Kartoffel

ABB. 7: EINFLUSS VON N-DÜNGERMENGE UND NITRAT-GEHALT IM BODEN AUF DIE HÖHE DER LACHGAS-EMISSIONEN (RUSER ET AL. 2001)

Bildquelle: istockphoto; Oil palm plantations in northeastern Borneo, state of Sabah, Malaysia.

## Tierhaltung und Lachgas-Emissionen

Wirtschaftsdünger weisen zwar nicht zwangsläufig ein höheres Potenzial für Lachgas-Verluste auf als Mineraldünger, trotzdem zeichnet sich – ähnlich wie beim Ammoniak – ein deutlicher Zusammenhang zwischen der räumlichen Verteilung der Tierbestände und der Höhe der Treibhausgas-Emissionen ab.

### Großvieheinheiten in Deutschland (GV km<sup>2</sup>)

### t CO<sub>2</sub>-Äquivalent pro ha landwirtschaftlicher Nutzfläche

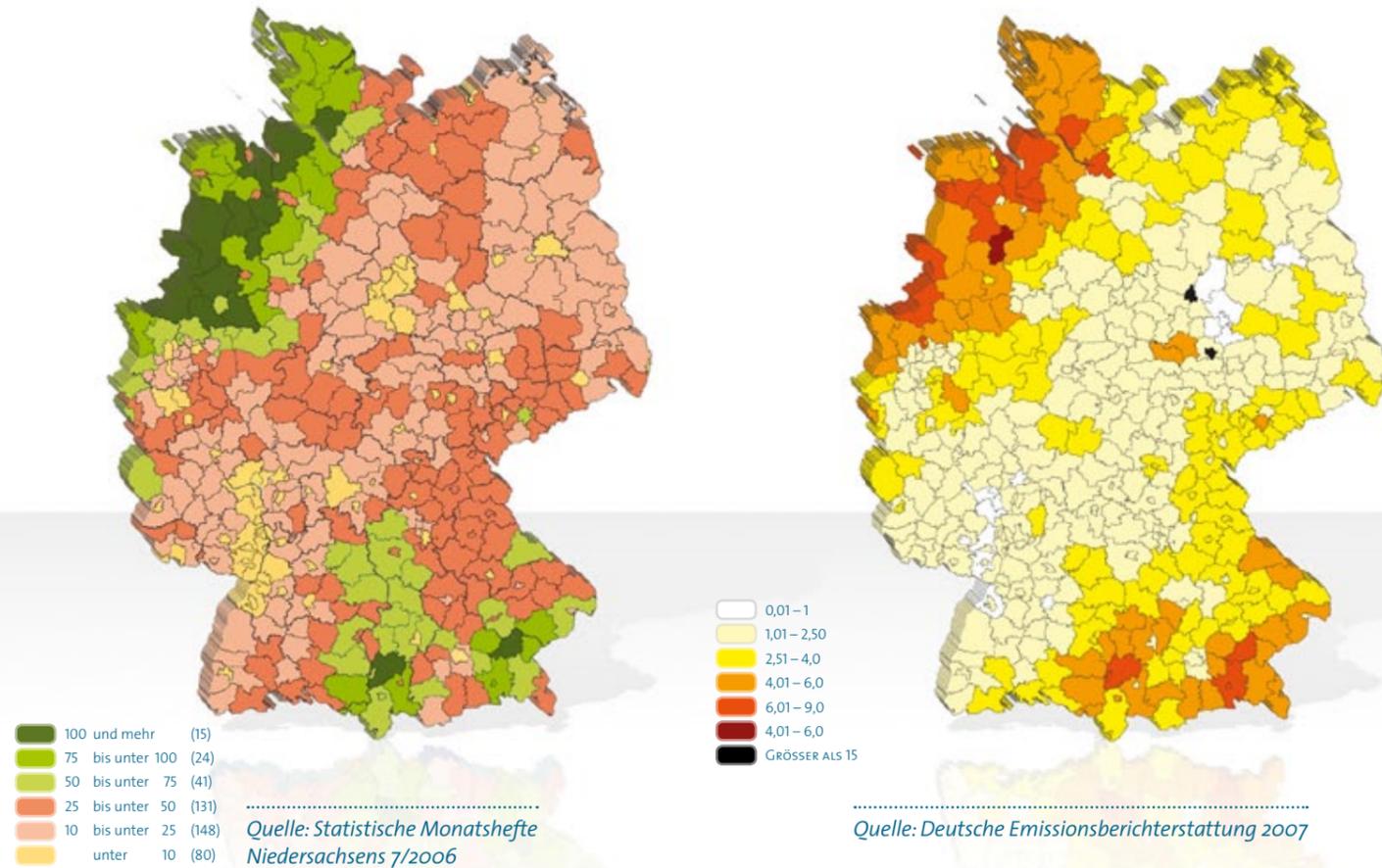


Abb. 8: ZUSAMMENHANG ZWISCHEN VIEHBESTÄNDEN UND TREIBHAUSGAS-EMISSIONEN

Diese Korrelation beruht zum einen auf den hohen N-Bilanz-Überschüssen in diesen Gebieten. Andererseits liegt auch in der zeitnahen Ausbringung organischer und mineralischer Dünger ein hohes Lachgas-Verlustpotenzial.

Die Abbildung verdeutlicht auch, dass in vielen Gebieten mit intensiver Landwirtschaft die Lachgas-Emissionen auch bei hohen, bedarfsgerechten Stickstoff-Gaben sehr gering sind. Dies gilt für die fruchtbaren Ackerbau-Regionen Mittel- und Ostdeutschlands oder für die Garten- und Weinbauggebiete im Südwesten.

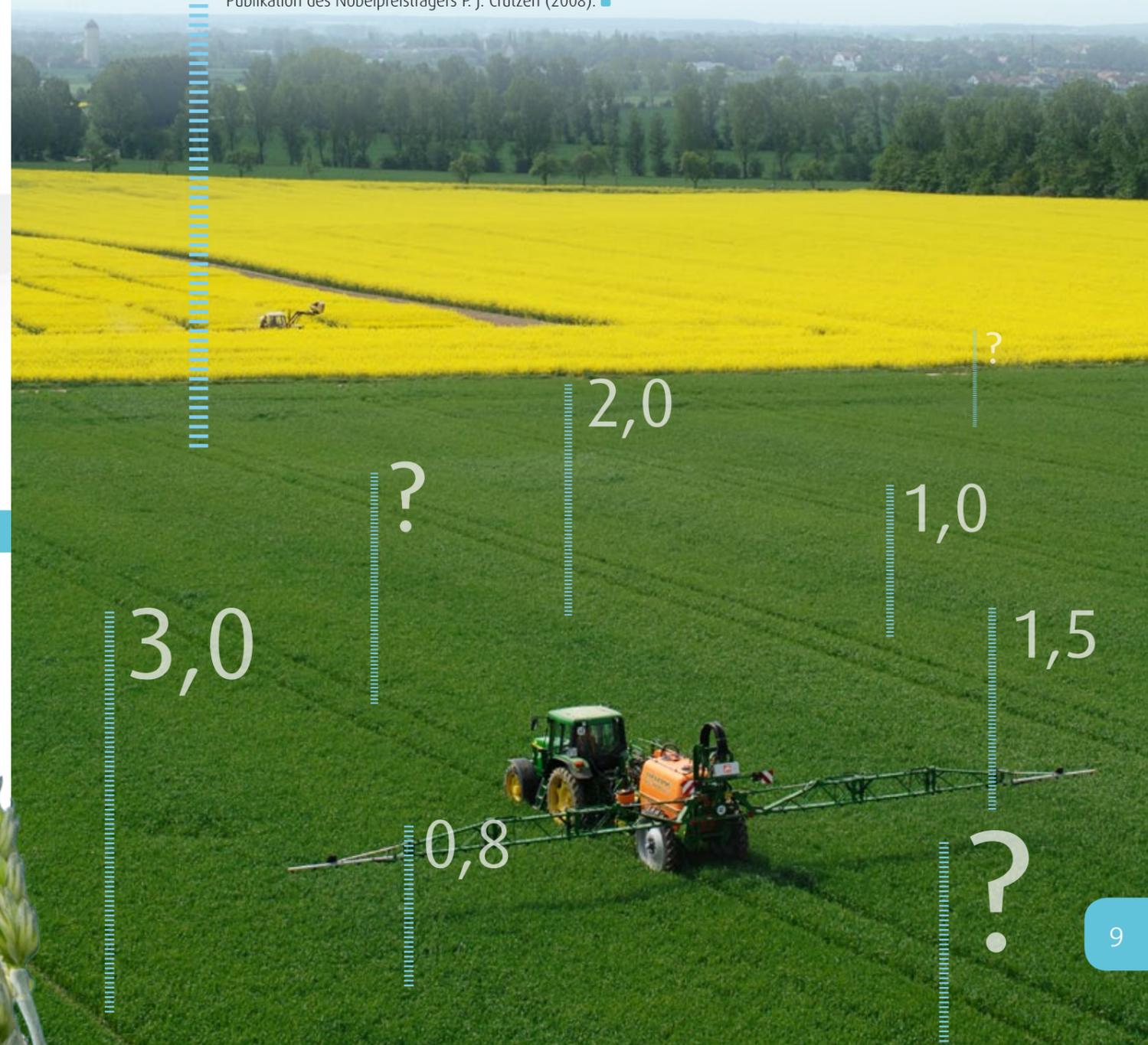


## Wie hoch sind die Dünger-N-Verluste in Form von Lachgas nach einer Stickstoff-Applikation nun genau?

Die tatsächliche Höhe der Lachgas-Verluste nach N-Düngung ist aufgrund der vielfältigen Einflussfaktoren schwer zu schätzen, weist eine hohe Variabilität auf und wird kontrovers diskutiert.

Es wird davon ausgegangen, dass durchschnittlich 1 % des gedüngten Stickstoffs direkt als Lachgas in die Atmosphäre entweicht (IPCC 2006). Hinzu kommen die indirekten Verluste in Form von Emissionen nach Auswaschung und Abschwemmung von Nitrat sowie nach Deposition von Ammoniak und Stickstoffmonoxid. Diese machen knapp ein Drittel der Gesamtverluste aus. Damit entweichen insgesamt knapp 1,5 % des gedüngten Stickstoffs auf direkten oder indirekten Pfaden in die Atmosphäre.

In der Fachliteratur finden sich Aussagen, wonach sowohl geringere als auch höhere Verluste auftreten. Lægread & Aastveit (2002) kamen zu dem Ergebnis, dass im Mittel nur 0,8 % der weltweit gedüngten N-Menge als Lachgas in die Atmosphäre entweichen. Diskutiert werden aber auch Verlustraten von mehr als 3 % des eingetragenen reaktiven Stickstoffs, nicht zuletzt ausgelöst durch eine viel beachtete Publikation des Nobelpreisträgers P. J. Crutzen (2008).



# Vergleich der Dünger-N-Formen

Ein entscheidender Faktor für die Höhe der Lachgas-Emissionen ist der Nitrat-Gehalt im Boden. Damit öffnet sich für Harnstoff-basierte Dünger ein mehr oder weniger großes Zeitfenster geringerer Emissionen, denn Nitrat entsteht hier erst im Anschluss an die Hydrolyse im Zuge der Nitrifikation. In diesem Zeitfenster können Bedingungen vorherrschen oder eintreten, die zu einer nachhaltigen Minderung der Lachgas-Emissionen führen.

Dazu gehören

- ein hoher N-Entzug
- die Belüftung des Bodens durch Wetterwechsel oder Bodenorganismen
- der Wasserentzug durch die Pflanzen

## Wie hoch sind die Dünger-N-Verluste auf dem Feld?

Der Standardwert des IPCC<sup>1</sup> für direkte Lachgas-Verluste aus Wirtschafts- und Mineraldüngern beträgt derzeit 1%. Als indirekte Verluste werden 1% des emittierten Ammoniak-Stickstoffs sowie 0,75% des ausgewaschenen Nitrat-Stickstoffs veranschlagt (IPCC 2006). Als international gültige Berechnungsgrundlage müssen zum Teil höhere Werte verwendet werden: 1,25% als direkte Verluste sowie 2,5% aus dem ausgewaschenen Dünger-Stickstoff. Diese Verlustraten waren das Ergebnis einer früheren Schätzung (IPCC 1996); ihre spätere Aktualisierung wurde im Rahmen der UN-Klimaberichterstattung bislang nicht akzeptiert.

## Lachgas-Emissionsfaktoren für Mineraldünger

In der aktuellen Umweltpolitik spielen die Dünger-N-Formen keine Rolle. Mit einer Neubewertung der Verluste (z. B. im Sinne von Crutzen et al. 2008) könnte sich diese Situation ändern. Die Wissenschaft jedenfalls hat sich auch der Bewertung der unterschiedlichen Dünger-N-Formen hinsichtlich ihres Lachgas-Verlustpotenzials angenommen.

Die umfassendste Zusammenstellung zum Wissen über dieses Thema stammt derzeit von Stehfest & Bouwman (2006). Unter Auswertung nahezu aller verfügbaren und seriösen Ergebnisse zu Lachgas-Emissionen nach Mineraldüngung stellten diese Autoren Emissionsfaktoren (durchschnittliche Verlustraten der eingesetzten Dünger-N-Mengen) für verschiedene Stickstoff-Dünger auf.

<sup>1</sup>IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change (Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen)

<sup>2</sup>REML: Residual Maximum Likelihood Procedure



Stehfest & Bouwman (2006) ermittelten aus dem vorhandenen Zahlenmaterial nicht nur Mittelwert und Median (letzterer ist für solche Messreihen oft aussagekräftiger), sondern sie nahmen auch eine biostatistische Angleichung der Studien vor (REML<sup>2</sup>), wodurch eine Überbewertung einzelner Ergebnisse vermieden werden soll.

TAB. 1: LACHGAS-EMISSIONSFAKTOREN (N-VERLUSTRATE IN %) NACH STEHFEST & BOUWMAN (2006)

N-Dünger:	Harnstoff (HS)	Ammoniumnitrat (AN)	Kalkammonsalpeter (KAS)
Mittelwert	2,22	3,20	2,58
Median	0,69	1,41	1,80
REML-Mittelwert	2,30	2,73	2,37
REML-Median	0,96	1,12	1,56

Aus dieser sorgfältigen und umfassenden Literatursauswertung ergibt sich für Harnstoff, Ammoniumnitrat und Kalkammonsalpeter ein eindeutiges Ranking. Harnstoff schneidet deutlich besser ab als die Nitrat-Dünger. Das gilt insbesondere für den aussagekräftigen Median-Wert. Die biostatistische Überarbeitung der Datensätze mit dem Ziel einer besseren Vergleichbarkeit (Verfahren: REML<sup>2</sup>) lässt die Vorteile des Harnstoffs gegenüber KAS ebenso klar hervortreten.

**Harnstoff schneidet deutlich besser ab als die Nitrat-Dünger.**

Untersuchungen an der TU München, in denen Harnstoff-Dünger mit Kalkammonsalpeter verglichen worden sind, bestätigen die Emissionsfaktoren von Stehfest & Bouwman (2006). Sie zeigen einmal mehr, dass Harnstoff-Applikationen geringere Lachgas-Emissionen nach sich ziehen als eine Düngung mit KAS. ■

**Harnstoff-Applikationen ziehen geringere Lachgas-Emissionen nach sich als eine Düngung mit KAS.**



# Der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck

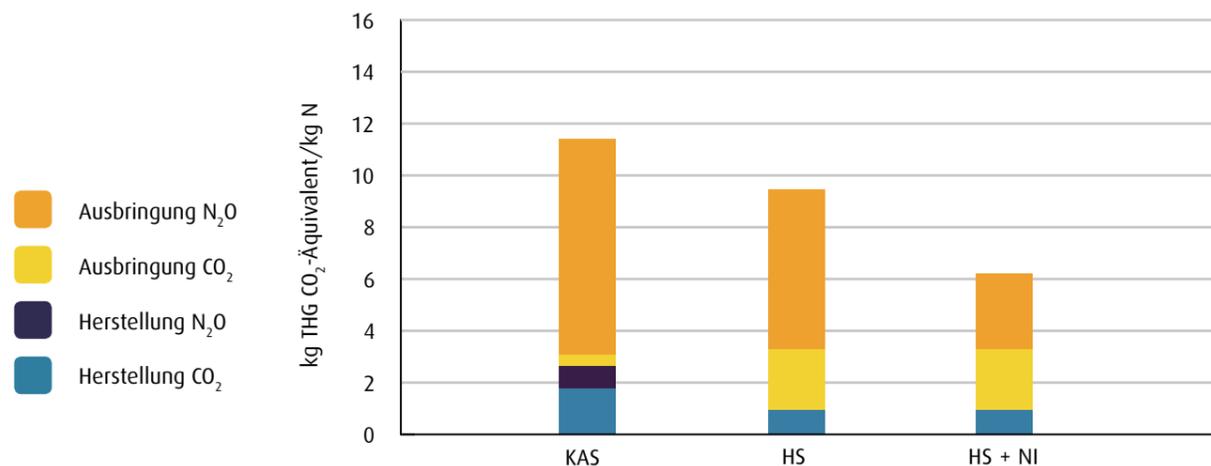
## Kenngröße zur Bewertung der Klimarelevanz der Stickstoff-Düngung

Lachgas-Verluste auf dem Feld allein sind unzureichend, um den Umwelteinfluss einer Stickstoff-Düngung zu beurteilen. Vielmehr müssen der gesamte Lebenszyklus eines Stickstoff-Düngers sowie alle Treibhausgase betrachtet werden. Dies geschieht über die Berechnung des sogenannten CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks (engl.: Carbon Footprint). Ermittelt werden dabei alle direkten und indirekten Treibhausgas-Emissionen im Rahmen der Herstellung, des Transportes und der Ausbringung des Düngemittels.

Da Lachgas und Methan stärkere Treibhausgase sind als Kohlendioxid, werden diese mit einem entsprechenden Faktor multipliziert und gehen als CO<sub>2</sub>-Äquivalente in die Berechnungen ein. Für Lachgas gilt derzeit eine 300 mal stärkere Wirkung als CO<sub>2</sub>.

Für den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck eines N-Düngers spielen die Lachgas-Emissionen eine ganz entscheidende Rolle. Die folgende Abbildung zeigt die Bewertung der Klimaeffekte der Dünger Kalkammonsalpeter (KAS), Harnstoff (HS) und Harnstoff mit Nitrifikationsinhibitoren (HS + NI).

Die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Äquivalente folgt dabei weitgehend dem Vorgehen von Brentrup (2010) bzw. Brentrup & Palliere (2008). Für die Berechnung der N<sub>2</sub>O-Verluste auf dem Feld wurden die Emissionsfaktoren von Stehfest & Bouwman (2006) genutzt.



Berechnung der N<sub>2</sub>O-Emissionen nach Ausbringung:  
 KAS = 1,56 %, HS = 0,96 % der ausgebrachten Düngermenge (nach Stehfest & Bouwman 2006)  
 N<sub>2</sub>O-Minderung durch Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren: 45 % (nach Ruser 2010)

Abb. 9: CO<sub>2</sub>-FUSSABDRUCK VERSCHIEDENER N-DÜNGER



Es wird deutlich, dass Harnstoff-Dünger nach dem heutigen Stand des Wissens in Sachen Klimaschutz eindeutig die bessere Wahl sind. Nitrifikationsinhibitoren können eine weitere Emissionsminderung bewirken.

# Was kann man noch tun?

## a) Erhöhung der Dünger-N-Effizienz = Vermeidung von N-Überschüssen

Der wichtigste Schlüssel zu einer effektiven Verringerung der Dünger-N-Verluste – sei es nun Nitrat, Lachgas oder Ammoniak – liegt in der Gewährleistung einer hohen Dünger-N-Effizienz.

Effiziente Dünger-N-Ausnutzung und damit eine nachhaltige N-Düngung wird überall dort erreicht, wo der flächenbezogene N-Bilanz-Überschuss (Verhältnis von N-Input zu N-Output) so gering wie möglich gehalten wird.

Maßnahmen zur Erhöhung der Dünger-N-Effizienz und zur Verringerung der Dünger-N-Verluste können unter anderem sein:

- möglichst genaue Anpassung der N-Düngungshöhe an den tatsächlichen Pflanzenbedarf unter Berücksichtigung von Bodenvorrat und Pflanzenwachstum
- ausgeglichenes Angebot an allen Nährstoffen (z. B. standortgerechte Grunddüngung mit PK, Sicherung des S-Bedarfes, Mikronährstoffe)
- optimaler Düngungstermin
- exakte Düngetechnik
- Einsatz von Düngern mit vermindertem N-Verlustpotenzial (z. B. Harnstoff mit Nitrifikationsinhibitor)
- optimales Anbauverfahren einschließlich Sortenwahl und Pflanzenschutz

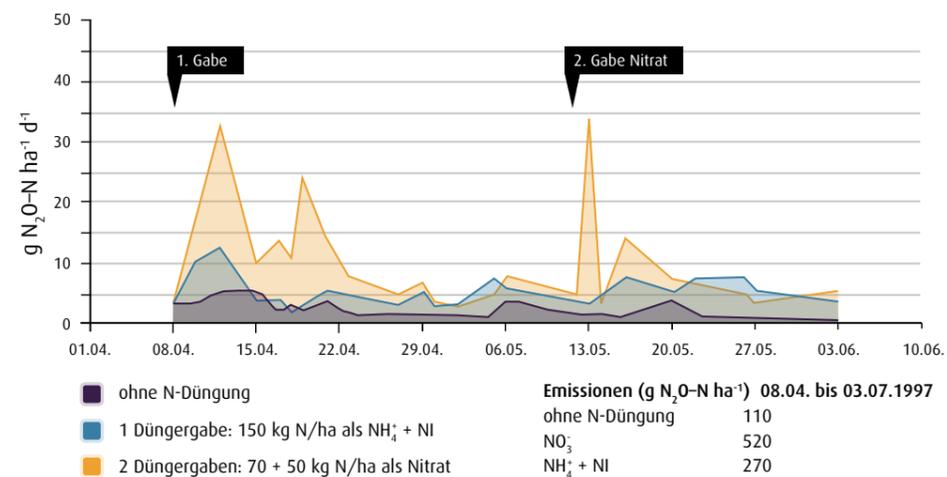


Abb. 11: WIRKUNG EINES NITRIFIKATIONSINHIBITORS (NI), ERGEBNISSE DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT MÜNCHEN AM STANDORT FREISING (KILIAN 1998)

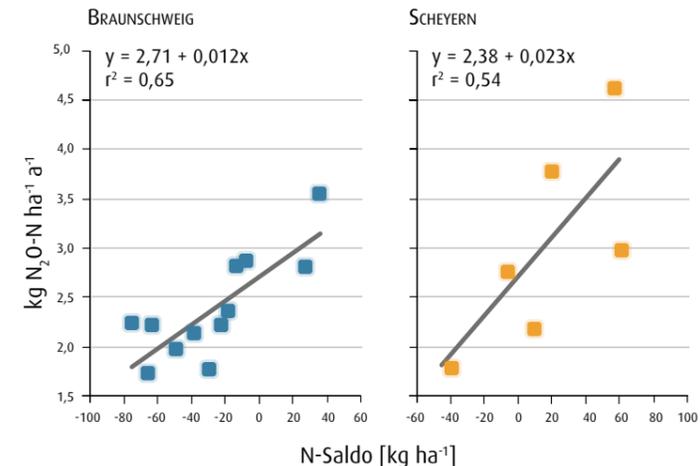


Abb. 10: ZUSAMMENHANG ZWISCHEN N-SALDO UND LACHGAS-VERLUSTEN AN DEN STANDORTEN BRAUNSCHWEIG UND SCHEVERN (RUSER 2010)

## b) Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren:

Harnstoff hat in der Regel ein geringeres Lachgas-Emissionspotenzial als KAS. Eine weitere effiziente Reduzierung der Emissionen wird erreicht, wenn Harnstoff zusammen mit Nitrifikationsinhibitoren eingesetzt wird. Zahlreiche wissenschaftliche Arbeiten belegen diesen Zusammenhang.

So ermittelten Akiyama et al. (2010) ein Reduktionspotenzial von ca. 35 %. Für Deutschland werden oft Minderungsraten von mehr als 50 % angegeben.

Ganzjährige Messungen und Langzeitstudien haben gezeigt, dass diese positiven Effekte bis in den Winter hinein bestehen bleiben und damit der Umwelt nachhaltig zugutekommen. Lachgas-Emissionen werden also durch den Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren nicht einfach auf einen späteren Zeitpunkt verlagert, sondern tatsächlich deutlich verringert (Ruser 2010).





In einem Feldexperiment der Technischen Universität München am Standort Freising (Dürnst/Weihenstephan) betrug die Verlustminderung bei Einsatz eines Nitrifikationsinhibitors ca. 60%. Neben diesem positiven Effekt bringt N-stabilisierter Harnstoff auch arbeitswirtschaftliche Vorteile mit sich. Im vorliegenden Versuch wurde der nicht stabilisierte Harnstoff in drei Gaben ausgebracht. Der Einsatz des Nitrifikationshemmers ermöglichte die Ausbringung der Gesamtmenge von 180 kg N/ha an nur zwei Terminen.

TAB. 2: FELDEXPERIMENT ZUR WIRKUNG EINES NITRIFIKATIONSINHIBITORS BEI DER HARNSTOFF-DÜNGUNG, N-INPUT: 180 KG/HA; MESSPERIODE: AB ERSTER N-APPLIKATION BIS ÄHRENSCHIEBEN (WEBER ET AL. 2004)

Düngerform (N-Input: 180 kg)	Kornertrag	N-Aufnahme	Dünger-N-Effizienz	Dünger-N-Verlust in Form von N <sub>2</sub> O	Verlustminderung durch NI
	dt/ha	kg N/ha	%	g N/ha	
ohne N-Düngung	39	52	-	-	60 %
Harnstoff	83	179	70	187	
Harnstoff + NI	84	184	73	75	

Von Trenkel (2010) wird beschrieben, dass in unterschiedlichen Untersuchungen eine Reduktion der N<sub>2</sub>O-Emissionen um 33 bis 96% durch die Nutzung von Nitrifikationsinhibitoren nachgewiesen wurde. Diese Untersuchungen wurden von verschiedenen Wissenschaftlern unter Modell- und Freilandbedingungen mit unterschiedlichen Kulturen (Mais, Winterweizen, Sommergerste, Grasland) und Düngern (Harnstoff, Ammoniumsulfat, Ammoniumsulfatsalpeter) durchgeführt, wobei die Beobachtungszeiträume zwischen 30 Tagen und drei Jahren variierten.

Auch organische Dünger lassen sich mit Nitrifikationsinhibitoren stabilisieren. Gerade im Hinblick auf die Bedeutung hoher Tierbestände und Güllemengen für die Emissionen liegt hier ein besonders großes Lachgas-Minderungspotenzial. Im Jahr 2009 wurden an der Technischen Universität München Effekte der Nitrifikationshemmung nach Ausbringung von Gärrückständen aus der Biogas-Erzeugung untersucht.

In den Varianten, in denen ein Inhibitor zum Einsatz kam, wurden anhaltend hohe NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Werte und eine verzögerte NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Bildung festgestellt. Die Lachgas-Emissionen konnten um 75% reduziert werden. Darüber hinaus wurde mit den N-stabilisierten Gärresten auch eine signifikante Ertragssteigerung erreicht.

TAB. 3: GÄRREST MIT UND OHNE NITRIFIKATIONSHEMMER, MODELLVERSUCH, TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN 2009 (FUCHS & SCHUSTER 2011)

Variante	N <sub>2</sub> O-Emissionen	Standardabweichung	Reduzierung der Lachgas-Emissionen durch NI
	kg N/ha		
Gärrest eingeschlitz	0,90	0,25	75 %
Gärrest eingeschlitz + NI	0,22	0,06	



In den Varianten, in denen N-stabilisierte Dünger zum Einsatz kamen, wurden erwartungsgemäß anhaltend hohe NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Werte und eine verzögerte NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Bildung festgestellt. Mit der N-stabilisierten Gärrest-Variante wurde eine signifikante Ertragssteigerung erreicht. ■

# Literaturverzeichnis

KTBL, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (2010): Klimagasen aus dem Acker- und Pflanzenbau auf der Spur; <http://www.ktbl.de>

Lægrend M., Aastveit A. H. (2002): Nitrous oxide emissions from field-applied fertilizers. In: Petersen & Olesen (Eds.): Greenhouse Gas Inventories for Agriculture in the Nordic Countries. Proc. Int. Workshop Helsingør, Denmark 24-25 Jan. 2002. DIAS report - Plant Production 81, 122-134.

Matthes G. (2011): Rote Karte für den Klimakiller Lachgas; CHEManager 19/2011

Ottow J.C.G. (2011): Mikrobiologie von Böden. Springer Berlin Heidelberg (ISBN: 978-3-642-00823-8); 500 S.

Randalls S. (2010): History of the 2 °C climate target. In: WIREs Climate Change, Vol. 1 Issue 4, 2010 doi:DOL: 10.1002/wcc.62

Röver M., Heinemeyer O., Kaiser E. A. (1998): Microbial induced nitrous oxide emissions from an arable soil during winter. Soil Biol. Biochem. 30: 1859-1865.

Ruser R. (2010): Möglichkeiten zur Minderung der Lachgasfreisetzung aus landwirtschaftlich genutzten Böden bei mineralischer Stickstoffdüngung. In: KTBL (Hrsg.): Emissionen landwirtschaftlich genutzter Böden (ISBN: 978-3-941583-45-0); KTBL-Schrift 483: 109-120.

Ruser R., Flessa H., Schilling R., Beese F., Munch J.C. (2001): Effect of crop-specific field management and N fertilization on N<sub>2</sub>O emissions from a fine-loamy soil. Nutrient Cycling in Agroecosystems 59: 177-191.

Sat 1 – Clever! - Die Show, die Wissen schafft [http://www.sat1.de/comedy\\_show/clever/wissensbuch/content/00386/003/](http://www.sat1.de/comedy_show/clever/wissensbuch/content/00386/003/)

Senbayram M., Chen R., Mühling K.H., Dittert K. (2009): Contribution of nitrification and denitrification to nitrous oxide emissions from soils after application of biogas waste and other fertilizers. Rapid communications in mass spectrometry 23 (vol. 16): 2489-2498.

Stehfest E., Bouwman L. (2006): N<sub>2</sub>O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions. Nutrient Cycling in Agroecosystems 74: 207-228.

Trenkel, M.E. (2010): Slow- and controlled-release and stabilized fertilizers – an option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture, IFA, Paris, France, ISBN 978-2-9523139-7-1

Umweltbundesamt (2010): Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol National Inventory Report for the German Greenhouse Gas Inventory (NIR) 1990 – 2008. [http://unfccc.int/national\\_reports/annex\\_i\\_ghg\\_inventories/national\\_inventories\\_submissions/items/5270.php](http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/5270.php)

Umweltbundesamt (2011): Daten zur Umwelt – Umwelt und Landwirtschaft; <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de>

Weber A., Gutscher R., Michel H. J., Wozniak H., Chen G. X., Xu H., Niclas H. J. (2004): Dicyandiamide and 1H-1,2,4-Triazole – a new effective nitrification inhibitor for reducing nitrous oxide emissions from cultivated land. In: A. Weiske (Ed.): Greenhouse Gas Emissions from Agriculture – Mitigation Options and Strategies. Proc. of the int. Conference, February 10-12, 2004 Leipzig, Germany, 273-275.

Wetterau, J. (2007): Rote Karte für Lachgas in der Düngemittelindustrie; [http://www.innovations-report.de/html/biowissenschaften\\_chemie/bericht-96598.ht](http://www.innovations-report.de/html/biowissenschaften_chemie/bericht-96598.ht)

Akiyama H., Yan X., Yagi K. (2010): Evaluation of effectiveness of enhanced-efficiency fertilizers as mitigation options for N<sub>2</sub>O and NO emissions from agricultural soils: Meta-analysis. Global Change Biology 16: 1837-1846.

Bareth G. (2000): Emissionen klimarelevanter Gase aus der Landwirtschaft – Regionale Darstellung und Abschätzung unter Nutzung von GIS am Beispiel des württembergischen Allgäus. Hohenheimer Bodenkundliche Hefte 56: S. 38.

v. Bochove E., Jones H.G., Prevost D. (2000): Winter fluxes of greenhouse gases from snow-covered agricultural soil: intra-annual and interannual variations. Global Biogeochem. Cycles 14: 1-113.

Bouwman A. F., Boumans L. J. M., Batjes H. H. (2002): Modeling global annual N<sub>2</sub>O and NO emissions from fertilized fields. Global Biogeochem. Cycles, 16(4): 28-1 to 28-9.

Brentrup F. (2010): Carbon Footprint der Weizenproduktion bei unterschiedlichem Stickstoff-Düngungsmanagement. KTBL-Schrift 483: 245-257.

Brentrup F., Palliere C. (2008): GHG Emissions and Energy Efficiency in European Nitrogen Fertiliser Production and Use. Proceedings of the International Fertiliser Society 639. York, UK. 26 pp.

Crutzen P. J., Mosier A. R., Smith K. A., Winniwarter W. (2008): N<sub>2</sub>O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. Atmos. Chem. Phys. 8: 389-395

Deutscher Bundestag (2010): Ausschussdrucksachen 17(16)37-E und 17(10)101-F: Antwort des Johann Heinrich von Thünen-Instituts (vTI) zum Thema "Landwirtschaft und Klimaschutz"

Fuchs M. & Schuster C. (2011): Verbesserung der N-Effizienz und Verringerung von Umweltbeeinflussungen organischer Dünger durch die gezielte Anwendung von Nitrifikationsinhibitoren. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 23, 234-235, [www.gpw.uni-bonn.de/pdf/publikationen/Tagungsband\\_2011.pdf](http://www.gpw.uni-bonn.de/pdf/publikationen/Tagungsband_2011.pdf)

Haenel H. D., Freibauer A., Rösemann C., Poddey E., Gensior A., Eurich-Menden B. & Döhler H. (2010): Emissionen landwirtschaftlich genutzter Böden im Rahmen der deutschen Klimaberichterstattung. In: KTBL (Ed.): Emissionen landwirtschaftlich genutzter Böden. KTBL-Schrift 483: 11-25.

IPCC (1996): Revised IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Workbook; Chap. 4.6. Agricultural Soils. Online: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/1gl/guidelin/ch4wb2.pdf>

IPCC (2006): Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol.4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Online: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>

IPCC (2007): Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4). Online: [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_and\\_data\\_reports.shtml](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml)

Kool D. (2010): On the origin of nitrous oxide and its oxygen. Diss. Univ. Wageningen. 199 pp.

Kilian A. (1998): N-Verluste als Lachgas aus unterschiedlich gedüngten Flächen. Abschlussbericht 23.3.98, BSTMELF, München, 1-36

# Harnstoff – Weltdünger Nummer 1

Harnstoff ist unter den Stickstoff-Düngern die Nummer 1 in der Welt. Sein Marktanteil beträgt derzeit fast 60 %, mit steigender Tendenz. Die Ernährung der wachsenden Weltbevölkerung hängt heute und in Zukunft entscheidend von dieser hochreinen, anwendungssicheren und vielfältig modifizierbaren Stickstoff-Quelle ab.

Im Boden wird der Carbamid-Stickstoff des Harnstoffs relativ schnell erst in die Ammonium-Form und dann in Nitrat umgewandelt. Die Effizienz von Harnstoff als Pflanzennährstoff ist genauso hoch wie die anderer N-Formen. Eine Düngung mit diesem stickstoffreichsten aller Dünger ermöglicht den Pflanzen neben der Aufnahme von Nitrat und Ammonium sogar die noch wenig erforschte direkte Aufnahme von Harnstoff.

Durch Urease- oder Nitrifikationsinhibitoren lässt sich der Anteil an Carbamid- bzw. Ammonium-Stickstoff im Boden zeitlich begrenzt erhöhen. Dadurch verringern sich Stickstoff-Verluste und der eingesetzte Harnstoff-Dünger kann unter ganz verschiedenen Umwelt- und Anbaubedingungen optimal wirken.

Harnstoff kann im Vergleich mit anderen N-Formen höhere Ammoniak-Verluste aufweisen. Dafür ist das Risiko einer Nitrat-Verlagerung bzw. -Auswaschung geringer und auch das klimarelevante Lachgas wird nach Harnstoff-Düngung in geringeren Mengen frei als nach einer Nitrat-Applikation. Beim CO<sub>2</sub>-Fußabdruck, einem Maßstab für die Klimawirkung des Düngers von seiner Herstellung bis zu seinen Effekten auf Ertrag und Umwelt, hat Harnstoff ebenfalls einen Vorteil.

Durch den Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren können sowohl Auswaschungs- als auch Lachgas-Verluste noch einmal drastisch gesenkt werden. Hohe Ammoniak-Emissionen nach Harnstoff-Applikationen, beispielsweise in subtropischen und tropischen Regionen oder auf alkalischen Böden, lassen sich dagegen durch Ureaseinhibitoren signifikant reduzieren.

Mehr als 86 % der Ammoniak-Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft stammen aus der Tierhaltung. Die Verluste nach Harnstoff-Düngung spielen dagegen eine untergeordnete Rolle. Unter mitteleuropäischen Anbau- und Umweltbedingungen dürften sie sogar deutlich niedriger sein als in den Emissionsinventaren der EU und der Bundesrepublik Deutschland angegeben. Dies ergab eine aktuelle Literaturrecherche.

Zahlreiche acker- und gartenbaulich geprägte Regionen weisen seit Jahren sowohl für Ammoniak als auch für Lachgas vergleichsweise geringe Emissionen und Dünger-N-Verlusten auf. Die Stickstoff-Bilanzüberschüsse konnten dort deutlich verringert werden; die Dünger-N-Effizienz nahm zu.

Weitere Anstrengungen sind erforderlich, um den wachsenden ökonomischen und ökologischen Ansprüchen an Düngung und Landwirtschaft gerecht zu werden. Mit Harnstoff-Düngern – sei es in Reinform, in Verbindung mit anderen Pflanzennährstoffen oder als N-stabilisierte Spezialität – lassen sich diese Herausforderungen optimal meistern. ■

## Kontakt

SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH  
Möllendorfer Strasse 13  
06886 Lutherstadt Wittenberg  
[www.skwp.de](http://www.skwp.de)  
[www.industriekulturstadt-wittenberg.de](http://www.industriekulturstadt-wittenberg.de)

## Design & Layout

triplex GmbH München  
[www.triplex.de](http://www.triplex.de)

# FAKTENCHECK HARNSTOFF 03

## Harnstoff: Lachgas-Emissionen vermindern