



Knowledge grows

# Ureaseinhibitoren - was sind sie wert?

PURE NUTRIENT INFO NR. 14 | Ureaseinhibitoren

## Fiktion und Fakten

Ureaseinhibitoren sind bereits seit ein paar Jahrzehnten bekannt. Aber erst in der letzten Zeit haben sie als mögliche Abhilfe gegen einige der Schwachstellen von Harnstoff und AHL zunehmend an Aufmerksamkeit gewonnen. Manche sehen die Inhibitoren sogar als mögliche Alternative für Nitratdünger. Aber halten diese Additive ihr Versprechen? Unter welchen Bedingungen können sie eingesetzt werden? Wie sieht ihre wirtschaftliche Bilanz aus? In dieser Pure Nutrient Info wird die Leistung der Ureaseinhibitoren genauer unter die Lupe genommen.

# Harnstoff - niedriger Preis, hoher Verlust

Viele Landwirte entscheiden sich für Düngemittel mit Harnstoff aufgrund ihres attraktiven Preises. Harnstoff und AHL sind als Stickstoffquellen jedoch weitaus weniger effizient als Nitratdünger. Einer der größten Nachteile ist die Ammoniakverflüchtigung, die erhebliche Verluste, Luftverunreinigung und eine Euthrophierung der Ökosysteme zur Folge hat. **Was sind die Ursachen?**

## Warum verflüchtigt sich Harnstoff?

Der Harnstoff muss im Boden zunächst in Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) und Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) umgewandelt werden, bevor er von den Pflanzen aufgenommen werden kann. Die Umsetzung von Harnstoff zu Ammonium wird von einem Bodenzym, der Urease, gesteuert. Da für den Prozess ebenfalls Feuchtigkeit erforderlich ist, spricht man von Hydrolyse. Während der Hydrolyse steigt der pH-Wert des Bodens um die Harnstoffgranulate vorübergehend an. Dadurch verschiebt sich das Gleichgewicht zwischen gelöstem Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) und gasförmigem Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) zugunsten des Ammoniak,

was einen hohen Stickstoffverlust durch Verflüchtigung zur Folge hat (Abbildung 1).

Bei Nitratdüngern hingegen kommt es zu keiner Hydrolyse. Damit sind diese Düngemittel wesentlich weniger anfällig für Ammoniakverluste (Abbildung 2).

Die Verluste setzen in der Regel innerhalb von zwei Tagen nach der Harnstoffgabe ein (Abbildung 4). Immer dann, wenn der Harnstoff nicht oder nur unzureichend in den Boden eingearbeitet werden kann, steigen die Ammoniakverluste. Aber auch höhere Temperaturen, Wind, hohe pH-Werte des Bodens, leichte Sandböden und die Ausbringung auf Grünland begünstigen die  $\text{NH}_3$ -Emissionen.

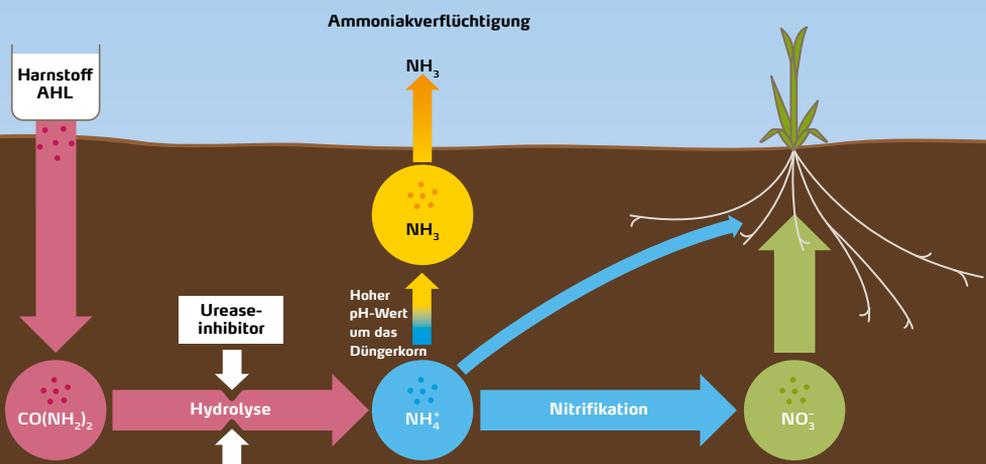


Abbildung 1: Bei der Hydrolyse von Harnstoff zu Ammonium wird vorübergehend der pH-Wert um die Düngerkörner stark erhöht. Das Ammonium wird verstärkt zu gasförmigem Ammoniak umgewandelt. Ureaseinhibitoren verzögern den hydrolytischen Prozess, d. h. sie begrenzen pH-Anstieg und Ammoniakbildung und geben damit dem Harnstoff mehr Zeit, mit der Feuchtigkeit in den Boden einzudringen.



## Warum ist Verflüchtigung ein Problem?

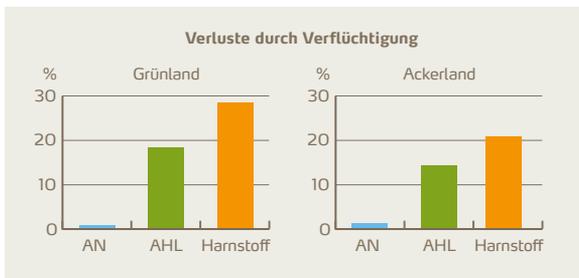


Abbildung 2: Die Ammoniakverflüchtigung fällt je nach Stickstoffquelle sehr unterschiedlich aus [1].

Die Ammoniakverflüchtigung bringt ein zweifaches Problem mit sich:

- Zum einen bedeutet dies den direkten Verlust von Stickstoff und damit finanzielle Einbußen. Die Verluste bei einer Harnstoffgabe belaufen sich auf 6 bis 47 % des gedüngten Stickstoffs, während sie bei Nitratdüngern zu vernachlässigen sind. Die Verluste bei einer AHL-Gabe liegen irgendwo dazwischen. Die Europäische Umweltagentur hat einen Emissionsfaktor von 19,9 % für Harnstoff, 10,8 % für AHL und 3,0 % für AN veranschlagt [2]. Verluste durch Verflüchtigung sind schwer vorhersehbar und daher kaum wirksam auszugleichen. Sie hängen von diversen Umgebungsparametern ab. Den größten Einfluss hat jedoch die Stickstoffform.
- Zum anderen stellt Ammoniak in der Luft eine Belastung für die Umwelt dar. Ein Großteil des in die Atmosphäre abgegebenen Ammoniaks stammt aus der Landwirtschaft. Er verbreitet sich über Landesgrenzen hinweg und verursacht eine Versauerung und Eutrophierung von Boden und Wasser durch die Ablagerung von Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ). Aus diesem Grund strebt die Europäische Union eine Reduzierung der Ammoniakemissionen an und hat landesspezifische

Emissionshöchstwerte vorgeschrieben.

- Der Ammoniak in der Luft reagiert mit anderen Substanzen, wobei feine Partikel entstehen. Dieser Feinstaub beeinträchtigt die Luftqualität und stellt ein Gesundheitsrisiko dar, insbesondere für Kleinkinder, Asthmatiker und Menschen mit Ateminsuffizienz.

Die Europäische Stickstoffbewertungsgruppe [3] hat die sozialen Kosten für Gesundheitsschäden aufgrund von Ammoniakemissionen auf 9,5 €/kg  $\text{NH}_3$  und für Schäden an Ökosystemen auf 2 €/kg  $\text{NH}_3$  geschätzt. Pro Jahr können mehr als 100 kg  $\text{NH}_3$  pro Tonne Harnstoff in die Atmosphäre entweichen. Damit erhält die europaweite Begrenzung der Ammoniakemissionen absolute Priorität.

## Beste landwirtschaftliche Praxis

Im Hinblick auf eine Optimierung der landwirtschaftlichen Praxis wird u. a. versucht, den Ammoniakverlust durch verschiedene Maßnahmen einzugrenzen. Am effizientesten erweist sich die Verwendung von Nitratdüngern an Stelle von Harnstoff oder AHL. Auch durch Teilgaben lässt sich die Verflüchtigung reduzieren. Die Einarbeitung des Harnstoffs in den Boden direkt nach der Ausbringung ist ebenfalls überaus wirksam, lässt sich jedoch oft nur schwer umsetzen.

Die nachstehenden Bedingungen erhöhen das Risiko von Verflüchtigung. Wenn auch nur eine dieser Bedingungen gegeben ist, sollte die Gabe von Harnstoff oder AHL ernsthaft überdacht werden.

- Ankündigung eines heißen und windigen Wetters ohne Niederschläge für den Zeitpunkt der Ausbringung.
- Grünland oder Felder mit vielen Pflanzenrückständen (z. B. reduzierte Bodenbearbeitung), die den Ammoniakverlust fördern.
- Basische Böden oder Böden mit niedriger Pufferkapazität (sandige Böden), die vorübergehend pH-Spitzenwerte erzeugen.

# Hemmung der natürlichen Ureaseaktivität

Ureaseinhibitoren sind chemische Substanzen, die die Aktivität der natürlichen Urease im Boden hemmen. Dadurch bleibt dem Harnstoff mehr Zeit, um in den Boden einzudringen. Und das wiederum bedeutet eine Reduzierung der Ammoniak-Konzentrationspitzen und des Verflüchtigungsrisikos bei der Ausbringung. **Wie wirken Ureaseinhibitoren?**

## Was ist NBPT?

Seit den 1970er Jahren wurden zahlreiche Moleküle auf ihre Fähigkeiten als Ureaseinhibitor untersucht, doch nur wenige erfüllen die gestellten Anforderungen. Die Verbindungen müssen in niedrigen Konzentrationen wirksam, schadstofffrei, stabil, kostengünstig und mit Harnstoff kompatibel sein. N-(n-Butyl)-thiophosphortriamid (NBPT, Abbildung 3) wird seit den frühen 1980ern in den USA als Ureaseinhibitor eingesetzt. 2008 wurde NBPT auch in der EU zugelassen und dient als aktiver Inhaltsstoff in handelsüblichen Harnstoffdüngern mit Ureaseinhibitoren.

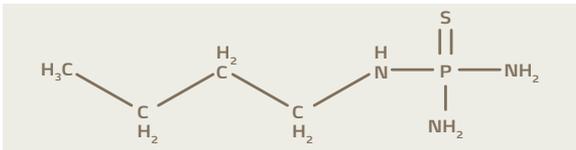


Abbildung 3: Molekülformel von NBPT.

## Wie agiert NBPT?

Für die Umwandlung von Harnstoff in Ammonium ist zum einen Feuchtigkeit, zum anderen die Aktivität des Ureaseenzyms im Boden erforderlich. Urease ist in zahlreichen Bakterien, Pilzen, Algen und Pflanzen sowie in einigen wirbellosen Lebewesen enthalten und kommt ebenfalls als freies Enzym im Boden vor. Bei Ureaseinhibitoren handelt es sich um chemische Stoffe, die die natürliche Aktivität dieser Bodenenzyme vorübergehend blockieren. Dadurch wird die Umwandlung von Harnstoff zu Ammonium gedrosselt. Das Ergebnis der langsameren Umwandlung von Harnstoff zu Ammonium sind niedrigere pH-Werte und Ammoniumspitzen im Boden, da die Harnstoffmoleküle mehr Zeit haben, in tiefere Bodenschichten vorzudringen. Damit reduziert sich die Verflüchtigung. Versuche haben gezeigt, dass Ureaseinhibitoren Verflüchtigungsverluste von Harnstoff um etwa 60 bis 70 % und von AHL um 40 bis 50 % reduzieren können [4].

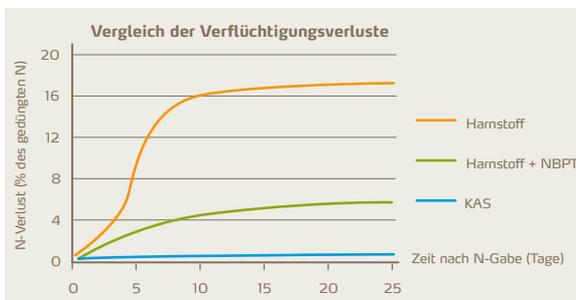


Abbildung 4: Gesamtverlust durch Verflüchtigung bei der Gabe von Harnstoff, Harnstoff + NBPT und Kalkammonsalpeter auf sauren Böden (pH 5,8) [7].

## Mindestkonzentration

Die Effizienz von Ureaseinhibitoren ist nur dann gewährleistet, wenn diese in einer Mindestkonzentration verfügbar sind. Für NBPT gelten in Europa 0,04 % als Unter- und 0,10 % als Obergrenze für Harnstoffdünger, die mit Ureaseinhibitoren angeboten werden dürfen.

## Stabilität

Ureaseinhibitoren haben nur begrenzte Stabilität und zerfallen mit der Zeit. Der Zerfall ist temperaturabhängig. Die typische Halbwertszeit beträgt weniger als 6 Monate. Düngemittel mit NBPT müssen deshalb so schnell wie möglich nach ihrer Herstellung verwendet werden (Abbildung 5). NBPT zersetzt sich besonders schnell, wenn es mit Sulfat in Kontakt kommt und kann daher bisher nicht mit sulfathaltigen Düngemitteln eingesetzt werden.

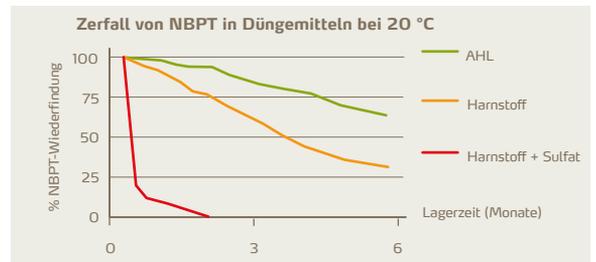


Abbildung 5: Die Konzentration von NBPT in Düngemitteln nimmt im Laufe der Zeit stark ab [5][8].

## Schutz und Sicherheit

### Auswirkungen auf den Menschen

Gemäß der europäischen Gesetzgebung wird NBPT provisorisch als „gefährlich“ eingestuft. Das reine Produkt reizt das Auge und kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen. Beim Umgang mit reinem NBPT sind Schutzkleidung, Handschuhe und Schutzbrille zu tragen. Für Harnstofffertigprodukte, die NBPT enthalten, sind keine Einschränkungen gegeben. Bisher wurden keine Spuren von NBPT in der Nahrungskette nachgewiesen.

### Auswirkungen auf den Boden

Ausgebrachtes NBPT wird in kürzester Zeit im Boden abgebaut, wobei die Halbwertszeit ein bis zwei Wochen beträgt. Derzeit sind keine schädliche Auswirkungen von NBPT für Bodenorganismen und Tiere bekannt.

### Auswirkungen auf Pflanzen

Urease ist in Pflanzen für die Zersetzung von künstlich zugeführtem oder in der Pflanze natürlich erzeugtem Harnstoff erforderlich. Ureaseinhibitoren können von den Wurzeln aufgenommen und in die Blätter gelangen, wo sie die endogene Ureaseaktivität hemmen. Die Folge ist eine Veränderung des Stickstoff-Stoffwechsels. Nach der Ausbringung von Harnstoff mit NBPT wurden bei zahlreichen Feldfrüchten Chlorosen und Nekrosen an den Blatträndern festgestellt. Diese Symptome sind kurzlebig und scheinen in erster Linie auf die Ansammlung von Harnstoff in den Blättern zurückzuführen sein.

# Vorteile und Grenzen der Inhibitoren

Die Vorteile von Ureaseinhibitoren müssen unter agronomischen, ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten analysiert werden. In Bezug auf die Verflüchtigung lässt sich mit Ureaseinhibitoren eine Verbesserung im Vergleich zu einfachem Harnstoff oder AHL erzielen. Im Vergleich zu Nitratdüngern fällt die Stickstoffeffizienz allerdings nach wie vor schlechter aus. **Wo liegen die Unterschiede?**

## Wirtschaftlicher Wert

Studien in Deutschland und Frankreich haben eine Reduzierung der Harnstoffverluste durch Ammoniak-Verflüchtigung bestätigt, wenn NBPT beigefügt wird. Hauptvorteil der Ureaseinhibitoren sind die erzielten Stickstoffeinsparungen. Der Umfang der Einsparungen ist abhängig von erwarteten Verlusten aus Harnstoff ohne Inhibitoren (15 bis 25 % Verluste) und der erwarteten Verlustreduzierung durch Inhibitoren (Reduzierung um 60 bis 80 %). Ausgehend von diesen Werten – erwarteter Harnstoffverlust und erwartete Verlustreduzierung durch Inhibitoren – kann dann die Menge des eingesparten Stickstoffs berechnet werden (siehe Abbildung 6). Für einen wirtschaftlich rentablen Einsatz von Ureaseinhibitoren müssen die Stickstoffeinsparungen (in %) den Mehrpreis für die Inhibitoren übersteigen.

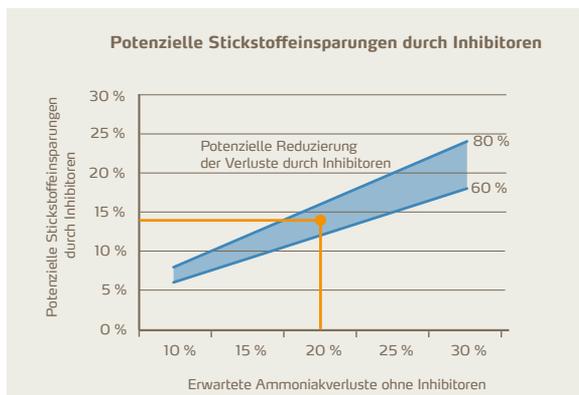


Abbildung 6: Der Wert eines Inhibitorzusatzes ist von zwei Faktoren abhängig: dem erwarteten Ammoniakverlust und der Reduzierung dieses Verlustes durch die Inhibitorwirkung.

**Beispiel:** Bei einem erwarteten Ammoniakverlust von 20 % ohne Inhibitoren und einer potenziellen Reduzierung des Verflüchtigungsverlustes dank Ureaseinhibitoren von 70 % lässt sich eine Stickstoffeinsparung von ungefähr 14 % realisieren (Abbildung 6). Die Verwendung eines Inhibitors ist im Beispiel also nur wirtschaftlich, wenn der Mehrpreis für die Inhibitoren im Vergleich zum reinen Harnstoff unter 14 % beträgt.

Liegen die erwarteten Ammoniak-Verluste aufgrund günstiger Anbaubedingungen oder wie bei AHL unter 20 %, müsste der Preisaufschlag für Harnstoffprodukte mit Inhibitoren noch geringer ausfallen.

## Stickstoffeffizienz

Ureaseinhibitoren lösen jedoch nicht alle Probleme, die in Verbindung mit Harnstoff und AHL auftreten:

- Die geringere Streugenauigkeit von Harnstoff kann zusätzliche Ertrags- und Qualitätseinbußen zur Folge haben. Windgeschwindigkeit und Niederschlagsvorhersagen müssen vor der Ausstreuerung berücksichtigt werden, wenn eine uneinheitliche Stickstoffgabe vermieden werden soll. Daher erweist sich Harnstoff als weniger geeignet für die Präzisionslandwirtschaft.
- Harnstoff ermöglicht häufig nicht die bei Vegetationsbeginn für Wurzelwachstum und Bestockung oder Schossbildung erforderliche Nitratkonzentration.
- Eine N-Spätgabe als Harnstoff mit Ureaseinhibitoren zur Gewährleistung eines hohen Proteingehalts erweist sich nach wie vor als wenig zuverlässig, insbesondere bei trockenem Boden und geringer Nitratverfügbarkeit.
- Bei AHL zeigen Ureaseinhibitoren eine deutlich schwächere Wirkung als bei Harnstoff. Das liegt am geringeren Harnstoffgehalt und an den entsprechend niedrigeren Verflüchtigungsverlusten.
- Importierter Harnstoff weist oft Qualitätsschwankungen auf, die sich negativ auf die Streugenauigkeit auswirken können.

## Ökologische Aspekte

Ureaseinhibitoren reduzieren die Ammoniakverflüchtigung und verbessern dadurch die Umweltverträglichkeit von Harnstoff und AHL. Dennoch setzen Nitratdünger nach wie vor den Maßstab. Das gilt ganz besonders dann, wenn die globalen Umweltauswirkungen mit dem so genannten EcoX-Umweltindex verglichen werden. Dieser Index bewertet die Umweltbelastung durch Eutrophierung, Versauerung, globale Erwärmung und Landnutzungsänderung (Abbildung 7).

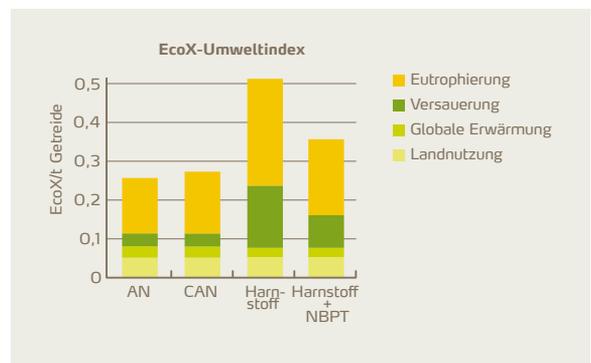


Abbildung 7: Die Umweltbelastung gemäß EcoX-Umweltindex für durchschnittlich 15 Feldversuche in Großbritannien mit Winterweizen bei einer Gabe von 160 kg N/ha. Die mit NBPT beobachtete Verbesserung wird unter der Annahme berechnet, dass eine 60 %ige Reduzierung der Ammoniakverflüchtigung erzielt werden kann [7].

# Nitratdünger - der Maßstab für Effizienz

Ureaseinhibitoren reduzieren die Ammoniakverluste, die bei harnstoffbasierten Düngemitteln auftritt. Wenn für die N-Düngung nur Harnstoff oder AHL zur Auswahl stehen, lassen sich durch Ureaseinhibitoren deshalb die Umweltauswirkungen und die agrarökonomischen Ergebnisse verbessern. In Sachen Streugenaugigkeit, Wirkungssicherheit und Umweltverträglichkeit gelten Nitratdünger jedoch nach wie vor als der Maßstab.

	KAS	AHL	AHL + NBPT	Harnstoff	Harnstoff + NBPT
Stickstoff Effizienz	●●●	●	●●	●	●●
Verteilgenauigkeit	●●●●	●●●●	●●●●	●	●
Streukosten	●●●●	●	●	●●●●	●●●●
Eignung für die Qualitätsgabe	●●●●	●●	●●	●●	●●
Ertragswirkung	●●●●	●	●●	●	●●
Einsatzmöglichkeiten	●●●●	●●	●●	●●	●●
Produktstabilität bei Schwefelzugabe	●●●●	●●●●	●	●●●●	●
Ammoniak-Verluste	●●●●	●	●●	●	●●
Umweltindex (EcoX)	●●●●	●	●●	●	●●



## YaraVera AMIPLUS™ - Yara's Harnstoff mit Ureaseinhibitor

Zur Verbesserung der Harnstoff-Effizienz unter Bedingungen, die Ammoniak-Verluste fördern, bietet Yara auch Harnstoff mit dem Ureaseinhibitor NBPT [N-(n-Butyl)-thiophosphoriamid] an.

### LITERATUR

- [1] Chadwick D. et al. (2005): component report for DEFRA project NT2605/WP1b ammonia emissions and crop N use efficiency.
- [2] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013
- [3] Mark A. Sutton et al. (2011): The European Nitrogen Assessment. Cambridge University Press.
- [4] Chadwick D. et al. (2005): Component report for DEFRA project NT2605/WP1b ammonia emissions and crop N use efficiency
- [5] Watson C. et al. (2005): Component report for DEFRA project NT2605/WP3 optimum use of NBPT urease inhibitor.
- [6] Watson C. et al. (2005): IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers.
- [7] Yara International, Research Centre Hanninghof, Germany.
- [8] Yara International, Research Centre Sluiskil, Netherlands.

YARA GmbH & Co. KG - Hanninghof 35 - D-48249 Dülmen  
Tel. 02594 798 0 - Fax. 02594 798 455 - [www.yara.de](http://www.yara.de)



## Weitere Informationen über Stickstoff-Dünger und Landwirtschaft

### PURE NUTRIENT APP

Die Pure Nutrient App für iPad, iPhone und Android-Geräte bietet alle Pure-Nutrient-Materialien und zusätzliche Multimedia-Inhalte in einem handlichen Format zum Herunterladen.



### YARA WEBSITE

[www.yara.de](http://www.yara.de)



### YOUTUBE KANAL

[www.youtube.com/YaraDeutschland](http://www.youtube.com/YaraDeutschland)



## Über Yara

Yara International ASA ist ein internationales Unternehmen mit Hauptsitz in Oslo, Norwegen. Als weltgrößter Anbieter von Mineraldüngern tragen wir seit über 100 Jahren dazu bei, Nahrungsmittel und erneuerbare Energien für die wachsende Weltbevölkerung bereitzustellen. Die Yara GmbH & Co KG versorgt Landwirte in ganz Deutschland mit Qualitätsprodukten, Know-how und Beratung. Für ausführlichere Informationen wenden Sie sich bitte an Ihren lokalen Yara Ansprechpartner.