



Knowledge grows



Pure Nutrient Info#12

# Wassernutzungs-Effizienz

## *Mehr Ertrag - Tropfen für Tropfen?*

### **Wassernutzungs-Effizienz**

Wasser ist eine wertvolle, landwirtschaftliche Ressource. Einige Regionen Europas sehen sich heute bereits wiederholt mit Wasserknappheit konfrontiert. Und im Zuge des Klimawandels könnte sich diese Problematik weiter verschärfen. Damit stellt sich die Frage: Wie den Wasserverbrauch senken und dennoch hohe Erträge erzielen? Und welche Rolle spielt die Pflanzenernährung beim Wasserverbrauch?

Yara hat sich mit einer Reihe von Versuchen dem Thema Wasserverbrauch und Ernährungszustand von Kulturpflanzen gewidmet. Die erzielten Erkenntnisse werden in dieser Ausgabe von „Pure Nutrient Info“ präsentiert.

# Wasserbedarf im Pflanzenbau

Pflanzen brauchen Wasser, um wachsen zu können. Der größte Teil des Wasserverbrauchs ist auf Transpiration durch die Pflanzen zurückzuführen. Wasser aus Niederschlag oder Bewässerung kann auch durch Oberflächenabfluss, Versickerung und Bodenverdunstung (Evaporation) verlorengehen. Eine effiziente Nutzung des verfügbaren Wassers ist ausschlaggebend für einen hohen Ertrag. Der jeweilige Wasserbedarf ist von der Pflanzenart und den Wachstumsbedingungen abhängig. **Wie kann die Pflanzenernährung zu einer optimalen Nutzung des verfügbaren Wassers und damit einem maximalen Ertrag beitragen?**

## Wasserbedarf

Tabelle 1 zeigt den Wasserbedarf für die wichtigsten Kulturpflanzen unter schlechten und guten Wachstumsbedingungen. „Gute Wachstumsbedingungen“ bedeuten in diesem Zusammenhang eine ausreichende Nährstoffversorgung und effiziente Wassernutzung, wohingegen „schlechte Wachstumsbedingungen“ auf eine unzureichende Nährstoffzufuhr, extremen Wasserverlust durch Verdunstung, hohe Temperaturen und niedrige Luftfeuchtigkeit verweisen.

Kulturpflanze	Wasserverbrauch (mm/t Ertrag x ha)	
	Gut	Schlecht
Winterweizen	60	85
Winterroggen	50	95
Sommergerste	40	90
Raps	65	130
Silomais	7	15
Körnermais	40	75
Zuckerrübe	8	12
Kartoffel	6	20

Tabelle 1: Der Wasserverbrauch pro Tonne Ertrag ist von der Witterung und Nährstoffversorgung abhängig. Unter guten Bedingungen ist für einen bestimmten Ertrag wesentlich weniger Wasser erforderlich als unter schlechten Bedingungen.

## Wasserverwertung der Nutzpflanzen

Der Wasserverlust auf landwirtschaftlichen Anbauflächen ist hauptsächlich auf vier Ursachen zurückzuführen: Transpiration, Verdunstung (Evaporation), Oberflächenabfluss und Versickerung. **Bei guten Anbaubedingungen beschränkt sich der Wasserverbrauch größtenteils auf Verdunstung und Transpiration.**

### Verdunstung

**Bodenverdunstung (Evaporation) ist Wasserverlust in seiner unproduktivsten Form.** Ein gut entwickeltes Laubdach kann die Verdunstung reduzieren, sodass mehr Wasser für die Entwicklung der Biomasse bereitsteht.

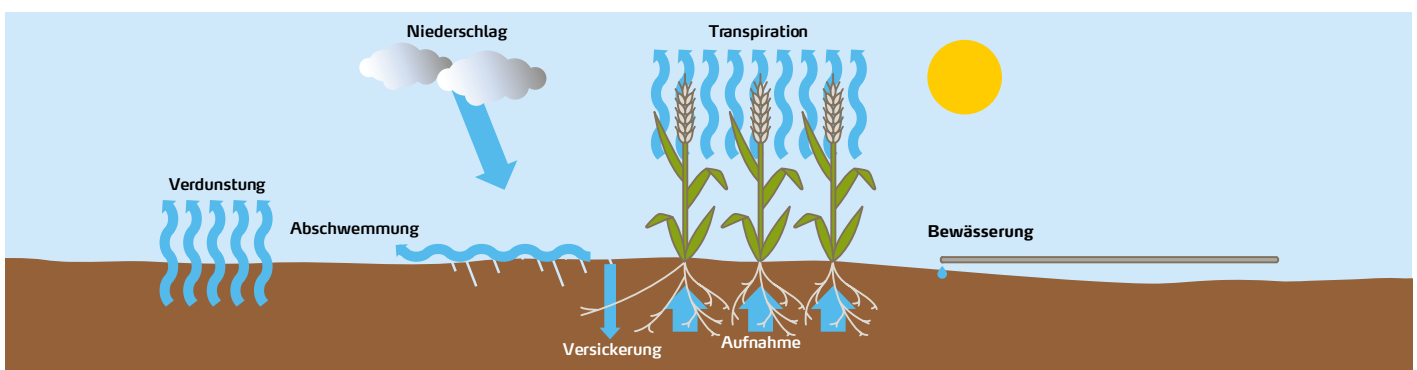


Abbildung 1: Wasserverlust durch Transpiration, Verdunstung, Oberflächenabfluss und Versickerung unter den Wurzelbereich.

## Transpiration

**Transpiration ist ein natürlicher Vorgang und für das Pflanzenwachstum erforderlich.** Pflanzen nehmen über die Spaltöffnungen ihrer Blätter (Stomata) Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) für die Fotosynthese auf. Dabei verlässt Wasser das Pflanzengewebe. Sobald nicht mehr ausreichend Wasser zur Verfügung steht, schließen sich die Stomata. Der dadurch im Pflanzengewebe entstehende  $\text{CO}_2$ -Mangel bewirkt, dass weniger Biomasse erzeugt wird. Die Transpiration treibt die Wasseraufnahme an und damit auch die Nährstoffaufnahme und -verteilung. Sie dient ebenfalls der Kühlung des Pflanzengewebes und dem Schutz vor Hitzestress.

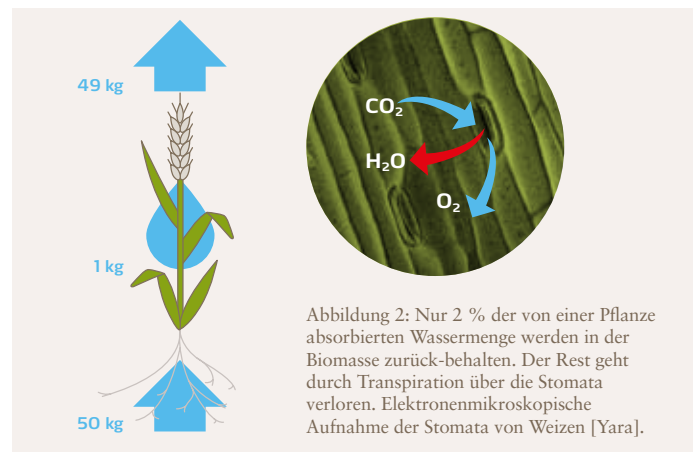


Abbildung 2: Nur 2 % der von einer Pflanze absorbierten Wassermenge werden in der Biomasse zurück-behalten. Der Rest geht durch Transpiration über die Stomata verloren. Elektronenmikroskopische Aufnahme der Stomata von Weizen [Yara].

## Wasserversorgung für mehr Ertrag

**Ein erfolgreiches Ertragsmanagement bedeutet maximale  $\text{CO}_2$ -Aufnahme in das Pflanzengewebe für jede transpirierte Wassereinheit.** Der Wasserbedarf pro Ertragseinheit ist von spezifischen Anbaubedingungen wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Nährstoffverfügbarkeit abhängig.



Abbildung 2: Von Yara durchgeführte Feldversuche mit Regenschutzdächern zur Simulation von Wassermangel.

## Nährstoffversorgung und Wassernutzung

Oft wird irrtümlicherweise davon ausgegangen, dass intensiver Pflanzenbau mit erhöhtem Wasserbedarf einhergeht, während extensive Bewirtschaftung zur Reduzierung des Wasserverbrauchs beiträgt. In Wahrheit ist jedoch genau das Gegenteil der Fall. Der Wasserbedarf pro Produktionseinheit nimmt mit zunehmendem Ertrag ab. Die von Yara durchgeführten Versuche lassen konkrete Rückschlüsse auf die Beziehung zwischen Nährstoffversorgung, Ertrag und Wasseraufnahme zu.

### Aufgabe der Hauptnährstoffe

**Kalium** ist von grundlegender Bedeutung für die Steuerung der Stomata-Funktion. Bei Mangel schließen sich die Stomata nicht richtig, was unnötigen Wasserverlust zur Folge hat.

Eine gute **Phosphat**-Verfügbarkeit trägt zu einer frühzeitigen Wurzel- und Triebentwicklung bei und fördert dadurch die Bildung eines geschlossenen Laubdachs sowie den Wurzelwuchs bis in tiefergelegene, feuchte Bodenhorizonte.

**Stickstoff** ist unerlässlich für die Bildung von Chlorophyll und Enzymen, die beide an der Umwandlung von CO<sub>2</sub> zu Biomasse beteiligt sind. Stickstoffmangel behindert die Fotosynthese und führt dadurch zu zusätzlichem Wasserverlust.



Abbildung 3: In Gefäßversuchen kontrolliert Yara gezielt Nährstoffversorgung, Wasseraufnahme und Ernteertrag.

### Stickstoffversorgung und Wassernutzung

Im Gewächshaus wurde Winterweizen unter unterschiedlichen Ernährungsbedingungen angepflanzt. Der Wasserverbrauch wurde täglich gemessen und der erzielte Kornertrag bei der Ernte ermittelt.

Mit zunehmender Stickstoffgabe konnte eine Erhöhung des Ertrags festgestellt werden. Parallel dazu stieg der Wasserverbrauch an, jedoch in geringerem Umfang. Das bedeutet, dass der Wasserbedarf im Verhältnis zum Ertrag mit zunehmender Stickstoffgabe sinkt (Abbildung 4). **Mit anderen Worten: Je effizienter die Stickstoffversorgung, umso geringer die pro Kilogramm Getreide benötigte Wassermenge!**

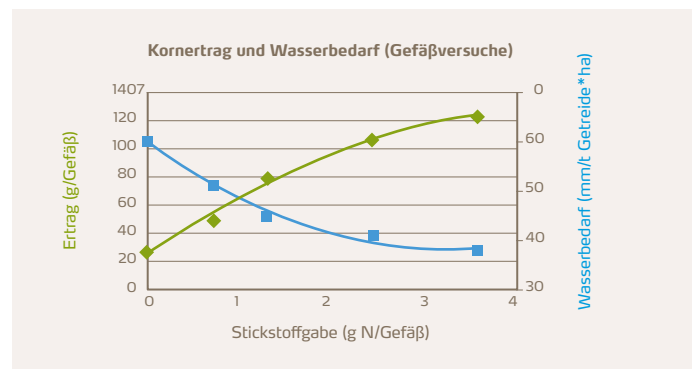


Abbildung 4: Kornertrag und Wasserverbrauch steigen bei Erhöhung der Stickstoffgabe in einem Gefäßversuch [1]. Allerdings sinkt dabei der Wasserbedarf pro Ertragseinheit, was einen höheren Ertrag bei geringerem Wasserverbrauch bedeutet.

## Schlussfolgerungen

1

Bei regenabhängigem Anbau muss die Stickstoffgabe auf die verfügbare Wassermenge abgestimmt werden, damit ein optimaler Ertrag erreicht werden kann. Eine bedarfsgerechte Stickstoffversorgung mit leicht verfügbaren N-Formen ist ausschlaggebend für eine effiziente Nutzung des verfügbaren Wassers und zur Erzielung eines hohen Ertrags.

2

Ausgewogene Nährstoffversorgung und zeitige Aussaat garantieren die frühe Ausbildung eines bodendeckenden Laubdachs und reduzieren dadurch die Bodenverdunstung.

3

Eine bedarfsgerechte Nährstoffversorgung schafft die besten Voraussetzungen für eine effiziente Wassernutzung und damit für einen hohen Ertrag, Tropfen für Tropfen.

## Stickstoffversorgung und Verdunstung

Verdunstung trägt wesentlich zum Wasserverbrauch bei. Yara hat die Bodenverdunstung in kontrollierten Feldversuchen mit unterschiedlichen Stickstoffgaben gemessen. **Die Bodenverdunstung nimmt mit zunehmender Stickstoffgabe ab.** Diese Wirkung ist hauptsächlich auf eine schnellere Laubdachbildung (Abbildung 5) zurückzuführen, durch die der Boden vor direkter Sonneneinstrahlung und Wind geschützt wird. Das stärkere Pflanzenwachstum fördert darüber hinaus die Wurzelbildung, sodass mehr Feuchtigkeit aufgenommen und der Wasserverlust durch Versickerung begrenzt wird.

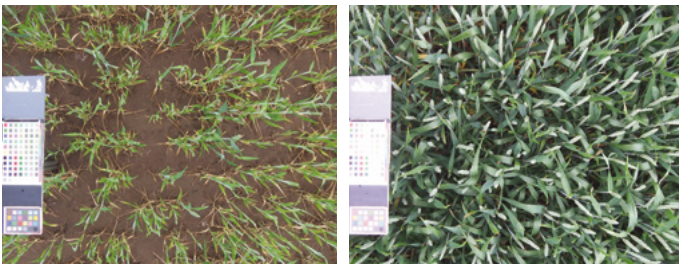


Abbildung 5: Eine ausreichende Stickstoffversorgung (180 kg N/ha im rechten Bild im Vergleich zu 0 kg N/ha in linken Bild) beschleunigt die Bildung eines bodendeckenden Laubdachs und reduziert damit den Wasserverlust durch Verdunstung [1].

## Stickstoffversorgung und Transpiration

**Bei reduzierter Verdunstung (Abbildung 6) steht mehr Wasser für die Transpiration der Pflanzen zur Verfügung.** Durch eine ausreichende Versorgung mit Stickstoff kann somit sichergestellt werden, dass das verfügbare Wasser dem Pflanzenwachstum und dem Ertrag zu Gute kommt.

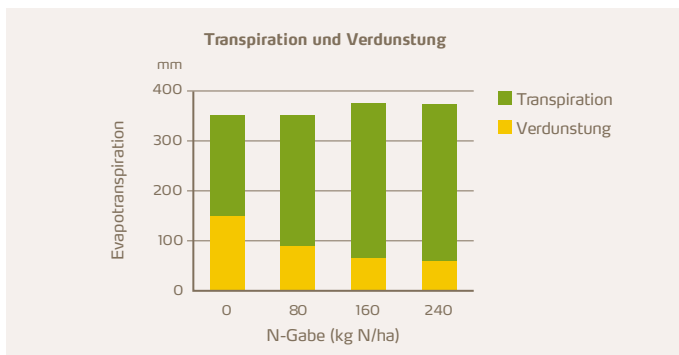


Abbildung 6: Bei ausreichender Nährstoffversorgung geht weniger Wasser durch Bodenverdunstung verloren. Damit steht mehr Wasser für das Pflanzenwachstum und folglich die Transpiration zur Verfügung [2].

## Konkreter Wasserbedarf

Welche Wassermenge wird für 1 Tonne Getreide benötigt? Die in Gefäßversuchen gewonnenen Erkenntnisse haben sich unter realen Anbaubedingungen bestätigt. In 200 Feldversuchen wurde der konkrete Bezug zwischen Stickstoffversorgung und Wassernutzung unter Freilandbedingungen untersucht. Jede Parzelle erhielt dieselbe Wassermenge, jedoch eine unterschiedliche Stickstoffgabe. **Die entsprechenden Wirkungskurven (Abbildung 7) belegen, dass sich der Wasserbedarf mit Erhöhung der Stickstoffgabe bis zum wirtschaftlichen Optimum von rund 100 mm auf 60 mm verringert.**

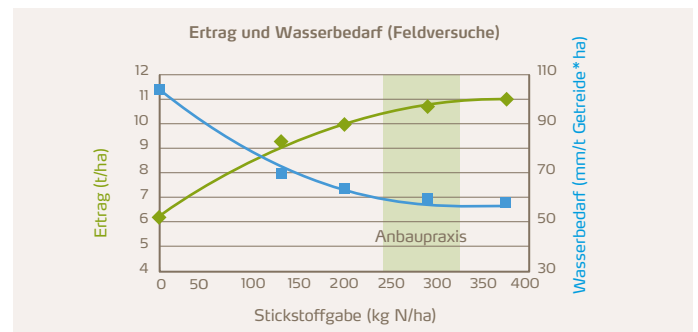


Abbildung 7: Die Wirkung der Stickstoffdüngung auf die Wassernutzungseffizienz entspricht im Großen und Ganzen dem N-Wirkungsgrad für den Ertrag. Die Wassernutzungseffizienz ist am höchsten, wenn das wirtschaftliche Optimum für den Ertrag erreicht ist [2].

- Bei einer optimalen Stickstoffversorgung werden für die Produktion von 10 Tonnen Getreide 600 mm Wasser benötigt.
- Bei Stickstoffmangel sind für 10 Tonnen Getreide 700 mm Wasser sowie mehr Fläche erforderlich.

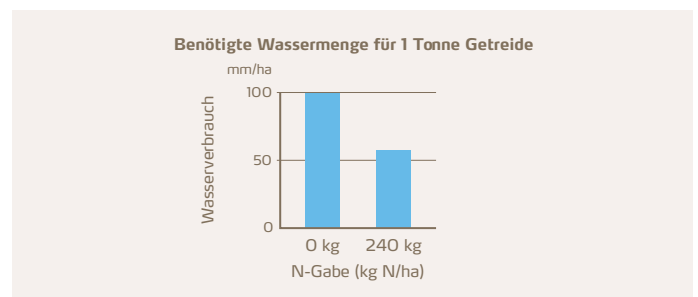


Abbildung 8: Bei einer optimalen Nährstoffversorgung wird weniger Wasser pro Tonne Getreide benötigt. Die Daten wurden aus der Wirkungskurve in Abbildung 7 abgeleitet [2].

# N-Form und Wassernutzung

Durch eine optimale Nährstoffversorgung lässt sich eine effiziente Wassernutzung gewährleisten. Hierbei stellt sich allerdings die Frage, welche Stickstoffform bei einem begrenzten Wasserangebot am besten geeignet ist. Zahlreiche Studien belegen die eindeutig bessere Leistung nitratbasierter Düngemittel im Vergleich zu Harnstoff und AHL bei trockenen Bedingungen.

## N-Verfügbarkeit in trockenen Böden

Bei einem von Yara durchgeführten Gefäßversuch [3] wurden 5 cm hohe Säulen mit Ackerkrume gefüllt (Schlufflehm- bzw. Sandboden). Auf die Oberfläche der Bodensäulen wurde Stickstoff in Form von KAS oder Harnstoff aufgebracht. Während eines Zeitraums von 3 Wochen wurde die Luftfeuchtigkeit bei einer Umgebungstemperatur von 25 °C permanent auf einem niedrigen Pegel von 7,5 % bzw. 5,0 % gehalten. Anschließend wurden die Bodensäulen in 1 cm dicke Scheiben zerlegt. Jede Scheibe wurde auf ihren Nitrat-, Ammonium- und Harnstoffgehalt untersucht.

**Der Stickstoff aus KAS konnte zu über 80 % wieder aufgefunden werden, während es bei Harnstoff nur 40 % waren. Das bedeutet eine wesentlich bessere N-Verfügbarkeit mit KAS im Vergleich zu Harnstoff.** Zwar ermöglichte die Restfeuchte im Boden die Umwandlung von Harnstoff zu Ammonium, dennoch wurden über 60 % des Harnstoffgebundenen Stickstoffs nicht wieder gefunden, hauptsächlich aufgrund von Ammoniakverflüchtungen. Kommen Urease-Inhibitoren in Spiel, reduzieren sich die Verluste durch Verflüchtigung zwar. Sie bleiben allerdings weiterhin höher als bei Nitrat-Stickstoff. Zudem enthielt bei der Harnstoffdüngung, die für die Stickstoffaufnahme wichtige Wurzelzone kaum pflanzenverfügbaren Nitratstickstoff.

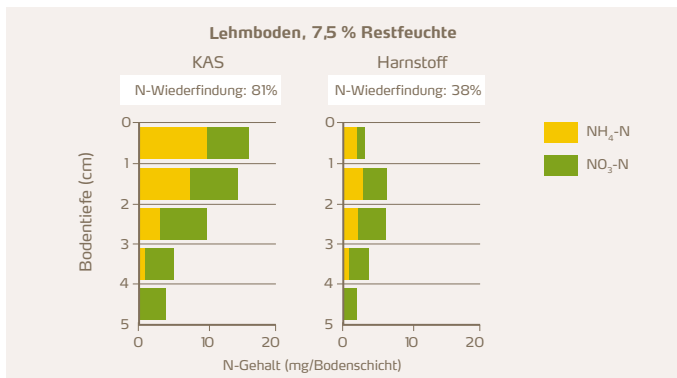
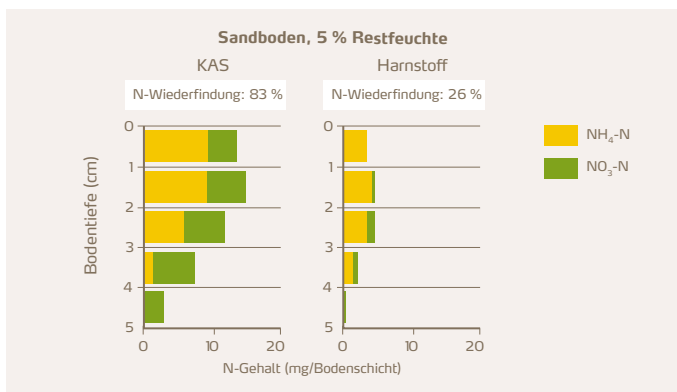


Abbildung 9: Die Stickstoffverfügbarkeit und -effizienz bei Nitratdüngung ist höher als bei Harnstoffdüngung. Das ist auf einen geringeren Verlust und eine bessere Mobilität der Nitrate zurückzuführen, insbesondere bei der Gabe auf trockene Böden [3].

## Harnstoffhaltige Düngemittel oder Ammoniumnitrat

Bei begrenzter Wasserverfügbarkeit ist die Wahl der richtigen N-Form von grundlegender Bedeutung. Ammoniumnitrat, z.B. als KAS, löst sich schnell und nahezu ohne jeden Verlust im Boden. Darüber hinaus zeichnet sich Nitrat unter trockenen Bedingungen durch bessere Mobilität und Penetration in durchwurzelte Bodenschichten aus. Leicht verfügbarer Nitratstickstoff kann schnell absorbiert werden und erweist sich damit als ideal für eine gezielte Stickstoffgabe bei Wassermangel.

Wird Harnstoff gedüngt, so muss dieser laut Düngeverordnung mit einem Ureaseinhibitor behandelt sein, um die Ammoniakverluste zu minimieren. Der Inhibitor drosselt die Geschwindigkeit der Umwandlung von Harnstoff zu Ammonium und weiter zu Nitrat. Das heißt, der mit einem Ureaseinhibitor behandelte Stickstoff kann nicht sofort in größeren Mengen von den Pflanzen aufgenommen werden. Gerade bei Trockenheit besteht weiterhin das Problem, dass das bei der Umwandlung von Harnstoff entstehende Ammonium an Tonminerale gebunden wird und den Pflanzen nicht zur Verfügung steht.

## Ertragssteigerung durch Nitratdüngung bei Dürre

In unabhängigen Feldversuchen in Frankreich wurde der Ertrag verschiedener Stickstoffdünger bei guter Wasserversorgung und unter Trockenbedingungen untersucht. Zum Schossen wurden 130 kg/ha Stickstoff (BBCH 30) in Form von KAS bzw. AHL zugeführt. Ein Teil der Anbaufläche wurde mit mobilen Glasdächern bedeckt und erhielt nach der Ausbringung 23 Tage lang kein Regenwasser. Die restliche Fläche profitierte am 1. und am 7. Tag nach der Düngung von Regen. **Der Ertrag fiel sowohl unter normalen als auch unter trockenen Bedingungen für die AHL-Variante niedriger aus als für KAS, bei Trockenheit war der Unterschied jedoch drastischer.** Die Untersuchung belegt im Wesentlichen, dass der Ertrag bei einer knappen Wasserversorgung höher ausfällt, wenn an Stelle von AHL Dünger mit einem höheren Nitratgehalt eingesetzt werden. Dieses Ergebnis ist auf verschiedene Faktoren zurückzuführen: Geringerer gasförmiger Verlust, höhere Mobilität im Boden, besseres Wurzelwachstum und effizientere Wassernutzung bei einer Nitratdüngung.

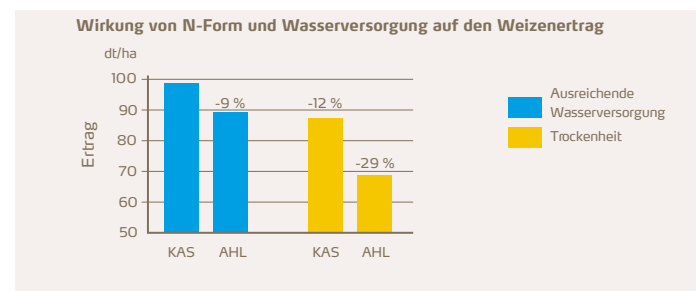


Abbildung 10: Feldversuche mit Weizen belegen eine effizientere Stickstoffverwertung bei Einsatz von Kalkammonsalpeter (KAS) im Vergleich zu AHL. Bei Trockenheit (23 Tage nach der Düngung ohne Regen) fällt dieser Unterschied noch markanter aus [2].

# 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.*

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

© 2020 Yara. All rights reserved.



Die in dieser Broschüre 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.