



Foto: Werkbild

Nährstoffwechselwirkungen in Boden und Pflanze

Ein auf den Bedarf der Getreidekulturen abgestimmtes Düngemanagement ist von entscheidender Bedeutung für die Erreichung des standort- und sortenbedingten Ertragspotenzials. Gerade im Hinblick auf die organische Düngung und die damit verbundenen Richtlinien kann es jedoch zu Verschiebungen in den ausgebrachten Nährstoffmengen kommen.

Dr. Hendrik Führs und Reinhard Elfrich, K + S Kali GmbH, Kassel

Langfristig hat dieses ein Ungleichgewicht der einzelnen Nährstoffe zueinander im Boden und der Pflanze zur Folge. Daraus resultieren Auswirkungen auf das Wachstum und den Ertrag der Kultur, denn die 14 von den Pflanzen benötigten Nährstoffe stehen in vielfältigen Wechselbeziehungen zueinander. Diese Interaktionen finden sich im Boden, bei der Aufnahme durch die Pflanze, aber auch im Stoffwechsel der Pflanzenorgane. Dabei sind die Wechselbeziehungen oft gekennzeichnet durch gegenseitige Förderung (der sogenannte Synergismus) oder gegenseitige Hem-

mung (der sogenannte Antagonismus), ein entscheidender Grund für die oft angemahnte „ausgewogene“ Düngung, also die Zufuhr der verschiedenen Nährstoffe in einem für die Pflanze und den Boden vernünftigen Verhältnis. Welche Wechselbeziehungen bestehen zwischen den verschiedenen Nährstoffen, und was sind die Ursachen für diese Interaktionen? Wie sehen anzustrebende Verhältnisse von Nährstoffen im Boden aus? Wie stellt sich die Pflanze auf ein wandelndes Nährstoffangebot ein? Diese Fragen sollen nachfolgend an Beispielen erörtert werden.

Nährstoffantagonismen in der landwirtschaftlichen Praxis

Nährstoffantagonismen sind ein in der landwirtschaftlichen Praxis häufig beobachtetes Phänomen. Steht ein Nährstoff in ungewöhnlich großen Mengen der Pflanze zur Aufnahme zur Verfügung, kann die Aufnahme anderer Nährstoffe behindert sein. Dies kann z. B. schon durch eine normale Düngungsmaßnahme geschehen, wenn nach Auflösung des Düngerkorns zunächst lokal neue Nährstoffverhältnisse entstehen. Dies hat jedoch keine merklichen Auswirkungen

auf das Pflanzenwachstum, (a) weil nicht das gesamte Wurzelsystem betroffen ist, sondern sich die Nährstoffverfügbarkeit zunächst nur lokal ändert, (b) weil sich im Boden schnell neue Gleichgewichte einstellen, und (c) weil sich Pflanzen sehr kurzfristig auf sich verändernde Nährstoffverfügbarkeiten einstellen können. Langfristig kann eine zu einseitige oder gar unterlassene Zufuhr von Nährstoffen jedoch die Nährstoffverhältnisse derart verschieben, dass es zu merklichen Problemen beim Wachstum der Pflanzen kommt.

Kationen-Anionen-Bilanz bei der Nährstoffaufnahme – Wie Düngung die Physiologie der Pflanze beeinflusst

Pflanzen nehmen aus dem Boden bzw. dem Substrat die nötigen Nährstoffe in Form von positiv geladenen Kationen (v. a. NH_4^+ , K, Mg, Ca) und negativ geladenen Anionen (v. a. NO_3^- , PO_4^- , SO_4^-) auf. Stickstoff (N) ist neben Kalium (K) der mengenmäßig am stärksten benötigte

Tab. 1: Ein steigendes K-, aber auch NH_4^- -Angebot reduziert die Mg-Aufnahme bei Mais (Daten verändert nach Claassen und Wilcox, 1974)

Düngung		Ertrag(g TS/Gefäß)	Gehalt in der TS (%)	
N-Form (100 mg/kg)	K (mg/kg)		K	Mg
NO_3^-	0	2,4	1,83	0,71
	50	2,6	2,62	0,57
	100	3,3	3,48	0,44
NH_4^+	0	1,7	1,95	0,33
	50	2,6	2,54	0,33
	100	3,8	3,13	0,30
GD (p = 0,05)		0,8	0,68	0,07

Nährstoff. Im Gegensatz zu K und auch allen anderen essenziellen Nährstoffen kann N durch die Pflanze jedoch in zwei unterschiedlichen Formen aufgenommen werden, als positiv geladenes NH_4^+ -Ion oder als negativ geladenes NO_3^- -Ion. Damit legt die N-Form, die vorwiegend aufgenommen wird, die Kationen-Anionen-Bilanz der Nährstoffaufnahme fest. Wird mehr Nitrat aufgenommen, so fällt die Bilanz stärker zugunsten der Anionen aus, während bei vermehrter Ammoniumaufnahme (CULTAN, Einsatz von Nit-

rifikationshemmern) die Bilanz stark in Richtung Kationen verschoben ist.

Kalium, Magnesium und Ammonium zeigen sehr vielschichtige Wechselbeziehungen

Als Beispiel für Nährstoffantagonismen soll hier die Wechselbeziehung zwischen den Makronährstoffen Stickstoff (N), Kalium (K) und Magnesium (Mg) dienen. Tabelle 1 veranschaulicht, dass die Bezie-

Abb. 1: Während Magnesium vor allem über Massenfluss angeliefert wird, wird Kalium über Diffusion zur Wurzel transportiert (Verändert nach Strebel und Duynisveld, 1989)

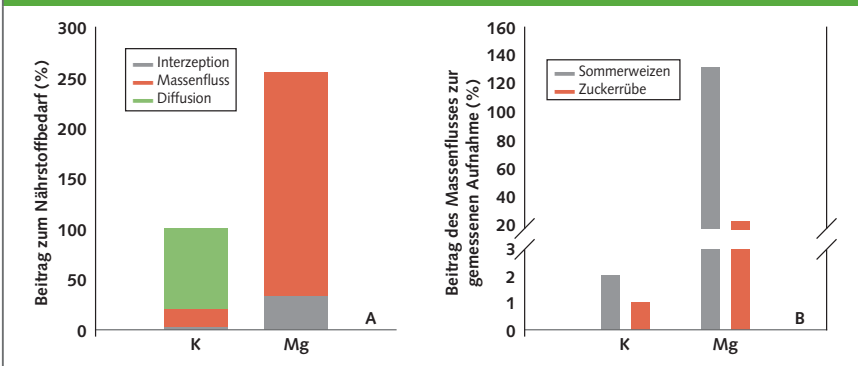


Abb. 2: Im Vergleich zu Ca und K hat Mg den kleinsten Ionenradius, aber die größte Hydrathülle

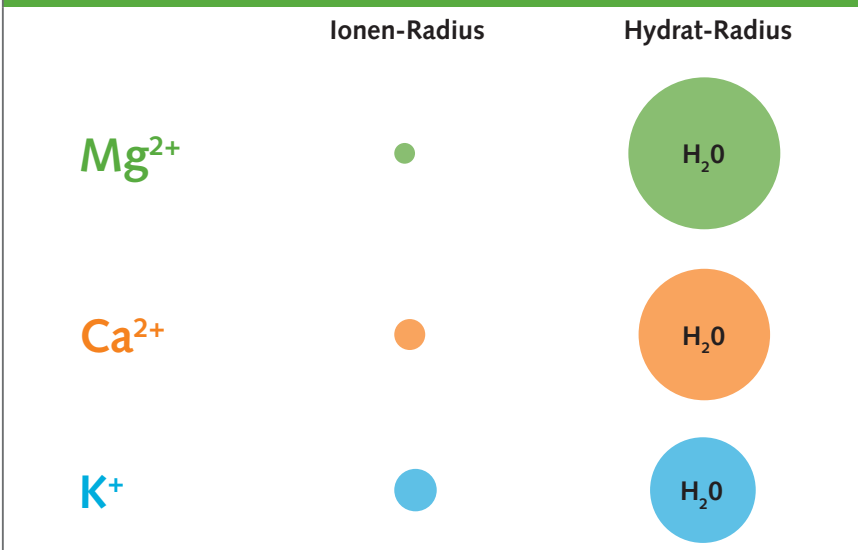
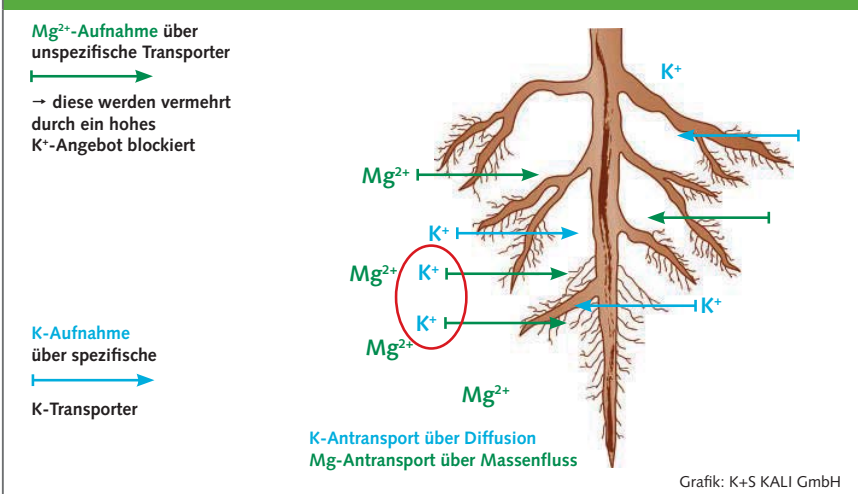


Abb. 3: Unspezifische Aufnahmesysteme für Mg können auch Kalium aufnehmen und daher bei hohem K-Angebot die Mg-Aufnahme reduzieren. Umgekehrt sind die K-Aufnahmesysteme jedoch sehr spezifisch, werden also kaum durch Mg beeinflusst.



hung zwischen diesen Nährstoffen vielseitig ist. Schaut man sich zunächst die mit Nitrat (NO₃) ernährte Variante an, wird deutlich, dass die Mg-Aufnahme bei steigendem K-Angebot sinkt. Hier liegt also ein antagonistischer Effekt vor. Bei einer N-Gabe in Form von Ammonium (NH₄) wird jedoch deutlich, dass die Mg-Aufnahme noch deutlich stärker gehemmt ist als bei einer K-Steigerung. Offensichtlich ist dieser antagonistische Effekt deutlich stärker ausgeprägt.

Bezogen auf die beiden Kationen K und Mg könnte nun eine Schlussfolgerung darin liegen, dass die Aufnahme von K durch ein steigendes Mg-Angebot ebenfalls eingeschränkt ist. Dies ist jedoch nicht oder zumindest nicht in gleichem Maße der Fall. Magnesium wird mit dem Massenfluss, also dem Transpirationsstrom der Pflanze an die Wurzel antransportiert (Abb. 1A). Die Ausprägung des Wurzelsystems der Pflanze hat ebenfalls einen Einfluss auf den Beitrag des Massenflusses zur Nährstoffanlieferung. Hier kann es in Abhängigkeit von der angebauten Frucht (Abb. 1B, Sommerweizen vs. Zuckerrübe) zu einer Anreicherung mit Mg im wurzelnahen Bereich kommen. Kalium hingegen wird aufgrund seiner starken Sorption im Boden unter normalen Wachstumsbedingungen hauptsächlich mittels der Diffusion an die Wurzel antransportiert (Abb. 1A). Da Diffusion nur von Orten höherer Konzentration stattfindet, ist es für die Pflanze also wichtig, die Konzentration von K in der Bodenlösung im Wurzelraum abzusenken, sodass K aus wurzelfernen Bodenbereichen nachdiffundieren kann. Sowohl der unterschiedliche Chemismus der Kationen (Ionenradius, Abb.2) als auch die Konsequenzen daraus für die Nährstoffverfügbarkeit im Wurzelraum zeigen, dass die Pflanzen mehr oder weniger spezifische Aufnahmesysteme für die jeweiligen Nährstoffe entwickelt haben müssen, um ihren Nährstoffbedarf zu decken. Diese Aufnahmesysteme sind Proteine, die in den Membranen der Wurzelzellen eingelagert sind und den Fluss von Nährstoffen in die Wurzel regulieren.

In der Tat hat die Pflanze für K sehr spezifische Aufnahmesysteme entwickelt, sodass sie nicht durch andere Nährstoffe blockiert werden. Bei Mg scheint dies jedoch anders zu sein. Hier scheinen die Aufnahmesysteme weniger spezifisch zu sein. Das bedeutet, dass die Mg-Transportsysteme auch andere Kationen, wie z. B. K, aufnehmen können

und daher bei übermäßigem K-Angebot in ihrer Mg-Aufnahmeaktivität gehemmt sind (Abb. 3). Betrachtet man nun noch den größeren Radius des hydratisierten Mg-Ions im Vergleich zum K-Ion, ist es ebenfalls denkbar, dass K durch die Mg-Aufnahmesysteme aufgenommen werden kann, aber nicht umgekehrt, da die K-Aufnahmesysteme nicht groß genug für die hydratisierten Mg-Ionen sind. Da NH_4 vom Chemismus und der Physiologie der Aufnahme durch Transportsysteme sich sehr ähnlich zum K verhält, liegt die Vermutung nahe, dass der NH_4 -Mg-Antagonismus ähnlichen Regeln folgt.

Schlussfolgerungen für die Praxis

Oftmals werden Nährstoffe recht einseitig eingesetzt, ohne zu beachten, dass eine hohe Konzentration eines Nährstoffes allein nicht wirksam ist oder sogar andere verdrängt. Stickstoff z. B. gilt als der Motor des Pflanzenwachstums, kann aber bei Mangel an anderen Nährstoffen seine Ertragswirkung nicht entfalten. Kalium, Magnesium und Schwefel katalysieren für den Einbau von Stickstoff in die Pflanze wichtige Enzyme und verbessern so die Stickstoff-Ausnutzung. Kalium lagert sich bekanntlich in die Zwischenschichten der negativ geladenen Tonmineralien ein. Bei Mangel an diesem Nährstoff binden die frei gewordenen Positionen NH_4 -N, welches folglich



Magnesium-Mangel bei Gerste

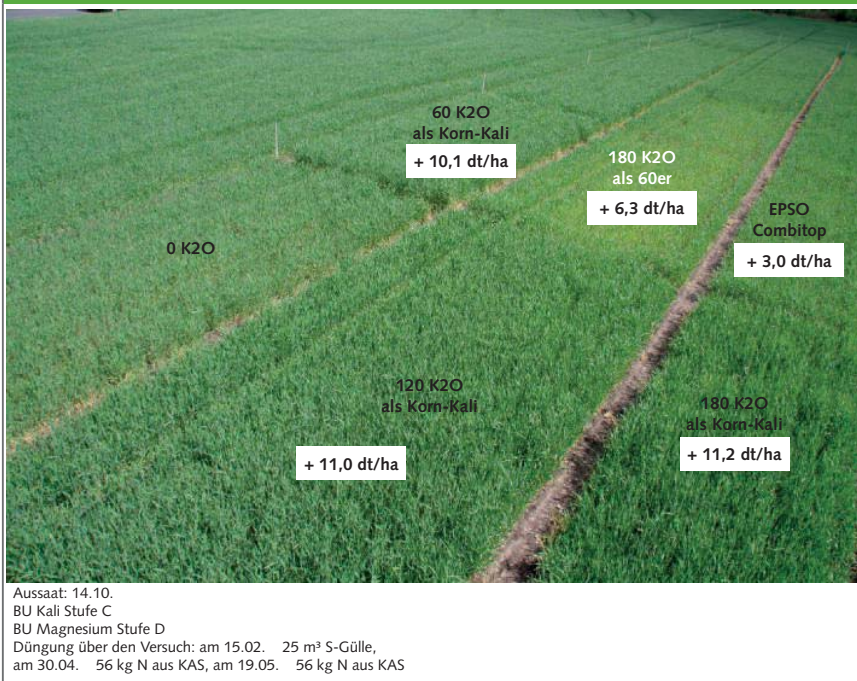
Foto: AgroConcept

lysiert für den Einbau von Stickstoff in die Pflanze wichtige Enzyme und verbessern so die Stickstoff-Ausnutzung. Kalium lagert sich bekanntlich in die Zwischenschichten der negativ geladenen Tonmineralien ein. Bei Mangel an diesem Nährstoff binden die frei gewordenen Positionen NH_4 -N, welches folglich

für das Pflanzenwachstum nicht mehr zur Verfügung steht. Gerade bei zunehmender Verwendung von Ammoniumbetonten Stickstoffdüngern, zu denen auch die organischen Komponenten zählen, ist folglich der Versorgung mit Kalium mehr Aufmerksamkeit zu schenken. Beim Wettbewerb um die Aufnahme in die Pflanze wird aus aufgeführten Gründen eher Magnesium durch das gleichgerichtete Ammonium verdrängt, sodass bei Anwendung entsprechender Düngesysteme Magnesium an Bedeutung gewinnt. In der Praxis wird bei guter Bodenversorgung den direkt wirkenden Mg-Formen der Vorzug gegeben – ESTA Kieserit enthält z. B. 100 % Magnesiumsulfat, das entspricht 25 % MgO und 20 % S.

Der beschriebene Antagonismus von Kalium zu Magnesium wird vielfach auch in Feldversuchen sichtbar (Abb. 4). In diesem Beispiel sind zusätzlich zur applizierten Schweinegülle verschiedene Kalidünger und -Mengen eingesetzt worden. Auf dem leichten und zur Trockenheit neigenden Boden stellen sich

Abb. 4: Feldversuch Hopsten Wintergerste 18.05.2010

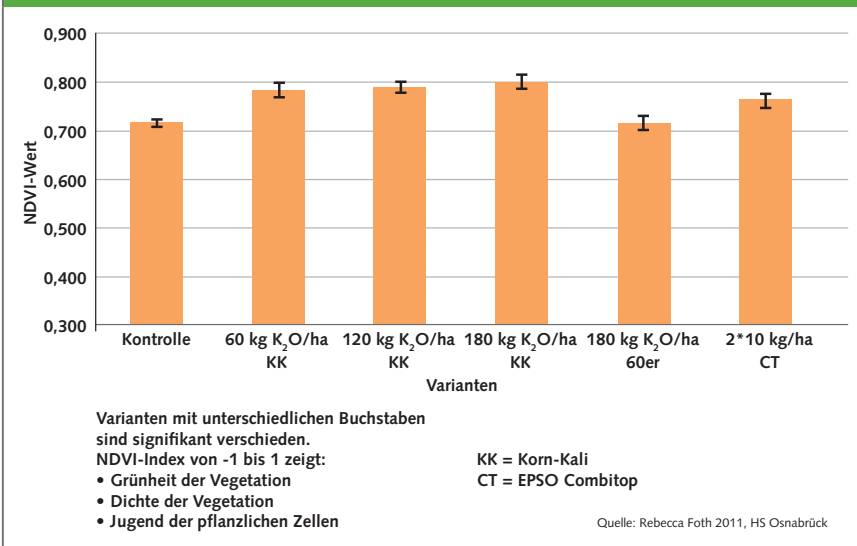


deutliche Ertragseffekte durch die Kalidüngung ein. Trotz guter Bodenversorgung beim Magnesium (Stufe D) liegt das Ertragsoptimum in den Varianten mit kombinierter K-/Mg-Düngung. Die Verwertung des zugeführten Kaliums bleibt bei isolierter Anwendung in Form von 60er-Kali hinter der Effizienz des Mg-haltigen Korn-Kali® zurück. In einer Masterarbeit der Hochschule Osnabrück wurde dieser Sachverhalt einmal mithilfe eines Greenseekers dargestellt (Abb. 5). Mithilfe dieses Gerätes wird aufgrund

einer Licht-Reflexion die Vitalität und Grünfärbung eines Getreidebestandes gemessen. Durch Korn-Kali war sowohl gegenüber der Kontrolle wie auch gegen die Kali-Form ohne parallele Mg-Zufuhr deutlich mehr Chlorophyll gebildet worden, damit auch die Bildung von Assimilaten und Biomasse gesteigert.

Als Faustzahl oder auch Zielwert für das Verhältnis von Kalium zu Magnesium im Boden und in der praktischen Düngung soll im Bereich Getreide wei-

Abb. 5: Messung Licht-Reflexion am 27. April 2011 mit Greenseeker im Exaktversuch zu Kalium und Magnesium in Hopsten



terhin 3 : 1 gelten. Für viele andere Interaktionen gibt es Erfahrungswerte, aber keine eindeutigen Zahlen, weil das System Boden mit je nach Bodenart unterschiedlicher Nährstoffbindung und Pflanze mit ihren vielfältigen Aufnahmemechanismen dafür einfach zu komplex ist. So ist z. B. klar herausgearbeitet, dass hohe Phosphorwerte (ähnlich wie hohe pH-Werte) Zink verdrängen, aber die Größenordnung ist nicht eindeutig zu definieren. Hier reichen angesichts in der Regel hoher Bodengehalte beim Zink schon wenige g ha⁻¹ in Form einer Blattdüngung aus, um einem vermuteten Engpass zu begegnen. Man kann sich aber auch einen Synergismus zunutze machen, indem Magnesium in Form einer Blattdüngung appliziert wird. Bekanntlich fördert Magnesium die Mobilität des von Natur aus eher immobilen Zink in der Pflanze und verbessert so die Ausnutzung dieses Spurennährstoffes.

Fazit

Für eine ausreichende Nährstoffversorgung der Getreidebestände gelten weiterhin Boden- und Pflanzenanalysen mit ihren definierten anzustrebenden Bereichen als Orientierung. In der praktischen Düngung kommt es allerdings zunehmend zu Ungleichgewichten zwischen Nährstoffen, sodass deren Effizienz in diesen Fällen nicht mehr gewährleistet ist. Ausgewogene Düngung bedeutet nicht nur auf einen Nährstoff fixierte Versorgung. So kann die Stickstoffeffizienz durch Kalium, Magnesium, Schwefel, aber unter Umständen auch schon durch wenige g ha⁻¹ Mangan verbessert werden. Die volle Wirkung einer Kalidüngung ist ebenso erst bei K-Düngern mit Begleitnährstoffen gegeben, um so die beschriebenen antagonistischen Effekte auszuschalten. <<

KONTAKT

Dr. Hendrik Führs
 K+S KALI GmbH, Kassel
 hendrik.fuehrs@kali-gmbh.com

Reinhard Elfrich
 K + S KALI GmbH, Everswinkel
 reinhard.elfrich@kali-gmbh.com