

NÄHRSTOFFINTERAKTIONEN



Foto: K. Stenert

Bei langjähriger konservierender Bodenbearbeitung reichern sich Nährstoffe wie Kalium, Magnesium und Phosphat in der Oberkrume an, während tiefere Schichten an Nährstoffen verarmen.

Nährstoffinteraktionen unter besonderer Berücksichtigung des Nährstofftiefenprofils bei konservierender Bodenbearbeitung

Nachteile bei Trockenheit?

Dr. Hendrik Führs und Dr. Hans-Peter König, K+S KALI GmbH, Kassel

In der Praxis kann es bei hohen Kaliumfrachten zu einem induzierten Magnesiummangel kommen, z. B. bei einer häufigen Düngung mit Gülle und Gärresten.

Unbestritten ist, dass die Pflanzen für ein gutes Wachstum, hohe Erträge und gute Qualitäten bestimmte Nährstoffe benötigen. Die 14 von den Pflanzen benötigten mineralischen Nährstoffe stehen in vielfältigen Wechselbeziehungen zueinander, sowohl im Boden als auch bei der Aufnahme, und im Stoffwechsel der Pflanze.

— Nährstoffantagonismen in der Praxis

Diese Wechselbeziehungen, oft gekennzeichnet durch gegenseitige Förderung (Synergismus) oder gegenseitige Hemmung (Antagonismus), sind letztlich ein entscheidender Grund für eine „ausgewogene“ Düngung, also die Zufuhr der verschiedenen Nährstoffe in einem für die Pflanze und dem Boden vernünftigen Verhältnis. Ein sehr bekanntes Beispiel für einen Antagonismus

ist ein induzierter Magnesiummangel bei einseitig hoher Kaliumdüngung. Gerade dieser Effekt zeigt die Bedeutung einer ausgewogenen Düngung. Werden hohe Kaliumfrachten auf den Acker gebracht (z. B. mit einer regelmäßigen Gülle- oder Gärrestdüngung), sollte gleichzeitig eine ausreichende Magnesiumversorgung sichergestellt sein.

Auch wenn einseitig zu hohe Kaliumdüngung Magnesiummangelsymptome hervorrufen kann, hat im Gegensatz dazu eine einseitig zu hohe Magnesiumversorgung, wie sie z. B. auf Kalium-fixierenden Böden auftreten kann, nicht notwendigerweise einen Magnesium-induzierten Kaliummangel zur Folge. **Tabelle 1** veranschaulicht, dass bei steigender und sogar übermäßiger Magnesiumversorgung die Kaliumaufnahme durch die Pflanze über weite Konzentrationsbereiche unbeeinflusst bleibt.

Ursachen des Antagonismus

Wie ist dieses Phänomen aber zu erklären? Soweit heute verstanden sind Nährstoffantagonismen eine Folge fehlender Spezifität der unterschiedlichen Transportsysteme in den Pflanzen. Als Beispiel soll hier der Kalium-Magnesium-Antagonismus dienen. Typischerweise liegt Kalium in der Bodenlösung in deutlich niedrigeren Konzentrationen vor als Magnesium. Deshalb hat die Pflanze sehr spezifische Transportsysteme entwickelt, die dem Boden selbst bei sehr niedrigen Konzentrationen von Kalium in der Bodenlösung dennoch Kalium entziehen können. Diese Aufnahmesysteme oder Transporter sind so spezifisch, dass sie nicht durch andere Nährstoffe wie Magnesium blockiert werden (Abb. 1).

Auf der anderen Seite liegt Magnesium in der Regel in höheren Konzentrationen in der Bodenlösung vor. Offensichtlich führte dieser Sachverhalt dazu, dass die Aufnahmesysteme weniger spezifisch sind als beispielsweise für Kalium. Das bedeutet, dass die Mg-Transportsysteme auch andere Kationen wie z. B. Kalium aufnehmen können und daher bei übermäßigem Kaliumangebot in ihrer Magnesium-Aufnahmeaktivität gehemmt sind.

Eine weitere Erklärung für dieses Phänomen liegt in der Tatsache begründet, dass sich die Radien der hydratisierten Kalium- bzw. Magnesium-Ionen (wie sie im Boden vorliegen) in ihrer Größe stark unterscheiden (Abb. 2). Das einwertige Kalium hat einen deutlich kleineren Radi-

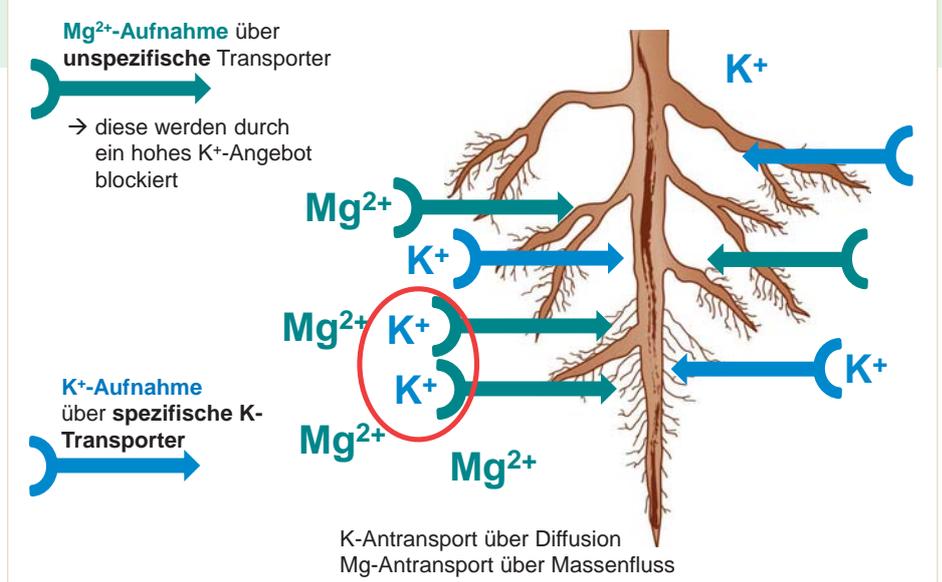


Abb. 1: Unspezifische Aufnahmesysteme für Mg können auch Kalium aufnehmen und daher bei hohem K-Angebot die Mg-Aufnahme reduzieren. Umgekehrt sind die K-Aufnahmesysteme jedoch sehr spezifisch, werden also kaum durch Mg beeinflusst.

Tab. 1: Die Kalium-Aufnahme der Rapspflanze ist unabhängig von der Magnesium-Verfügbarkeit (verändert nach Seggewiss, 1986).

Mg-Konzentration in der Nährlösung (mg Mg/l)	Sprossertrag (g TM)	Gehalt in der Pflanze	
		Mg	K
		% in der Pflanzen-TM	
1,5	5,39	0,09	3,50
3	6,25	0,12	3,38
6	5,35	0,16	3,41
12	5,37	0,21	3,42
60	6,11	0,47	3,24
120	7,87	0,63	3,44
240	4,42	0,77	3,44

us als das zweiwertige Magnesium. Somit können die Transportsysteme in Pflanzen, die für Magnesium durchlässig sind, theoretisch auch kleinere Ionen wie z. B. Kalium transportieren. Umgekehrt geht dies entsprechend nicht.

Pflanzen sind anpassungsfähig

Zusammenfassend kann man sagen, dass diese offensichtlich recht spezifischen Interaktionen noch nicht vollständig verstanden werden. Jedoch wurden gerade in den letzten Jahren wichtige Erkenntnisse

	Ionen-Radius	Hydrat-Radius
Mg^{2+}		
Ca^{2+}		
K^{+}		

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

bezüglich der Aufnahme- und Mobilisierungsmechanismen für die verschiedenen Nährstoffe gewonnen, aus denen sich drei wichtige prinzipielle Schlussfolgerungen ziehen lassen:

1. Pflanzen können jeden einzelnen Nährstoff über einen gewissen Konzentrationsbereich aus der Bodenlösung aufnehmen.
2. Dafür haben die Pflanzen nährstoffspezifische Aufnahmesysteme entwickelt, die durch die Pflanze aktiv an das gegebene und sich stetig verändernde Nährstoffangebot (z. B. durch Düngung, Trockenheit, Staunässe etc.) angepasst werden.
3. Neben den Aufnahmemechanismen zur Nährstoffaufnahme haben die Pflanzen auch Mechanismen entwickelt, um den Zugang zu schwer zugänglichen Nährstoffen zu verbessern. Dies geschieht, wie z. B. bei Eisen und Phosphat, durch Abgabe von mobilisierenden Substanzen (organische Säuren, phenolische Verbindungen, Komplexoren) in die Rhizosphäre (den Wurzelraum).

Aus diesen Beobachtungen können nun folgende Punkte für Düngungsempfehlungen geschlossen werden:

1. Die Pflanze kann sich über recht weite Konzentrationsbereiche der Nährstoffe in der Bodenlösung dem Bedarf entsprechend selbst optimal mit Nährstoffen versorgen.
2. Eine zu einseitige Düngung jedoch kann die Konzentrationsbereiche einzelner Nährstoffe in der Bodenlösung derart verschieben, dass die Aufnahme interagierender Nährstoffe zu-



Bei häufigen Güllegaben können hohe Kalifrachten entstehen, die zu einem induzierten Magnesiummangel führen.



Düngerdosierer, hier aufgebaut auf einem Schwergrubber, bei der tiefen Einarbeitung von Grundnährstoffen.

mindest temporär beeinträchtigt sein kann.

—Düngerempfehlungen kritisch prüfen

Was bedeutet dies jedoch für eine Bodenanalyse, insbesondere im Hinblick auf eine Düngungsempfehlung? Die in Deutschland angewendeten Untersuchungsmethoden zur Erstellung einer Düngerempfehlung tragen exakt den erläuterten Sachverhalten Rechnung, da sie für jeden Nährstoff und jede Bodengehaltsstufe einen Konzentrationsbereich

angeben. Gleichzeitig zielen sie darauf ab, durch die Düngung langfristig für jeden Nährstoff einen pflanzenverfügbaren Konzentrationsbereich zu erhalten, der gleichzeitig im adäquaten Verhältnis zu den anderen Nährstoffen steht (Bodengehaltsklasse C).

Diese Methode bezieht somit im Prinzip Boden und Pflanze mit ein und ist durch eine Vielzahl von Versuchen für die unterschiedlichen Klimaräume in Deutschland kalibriert. Im Gegensatz hierzu bezieht das Konzept der „Base Cation Saturation Ratio (BCSR)“, wie es z. B.

bei der Methode Kinsey erfolgt, nur den Boden ein und negiert somit gleichsam die Fähigkeit einer Pflanze, sich an veränderte Nährstoffverfügbarkeiten anzupassen. Die BCSR-Methode kann prinzipiell zur Charakterisierung eines Bodens herangezogen werden. Zur Erarbeitung einer Düngeempfehlung muss jedoch anhand des Bodengehaltsklassenkonzeptes eine Überprüfung erfolgen, um in drastischen Fällen eine zu einseitige Düngung zu vermeiden.

—Nährstoffschichtung bei Pflugverzicht

Für eine ausgewogene Pflanzenernährung spielen neben der Berechnung des Düngedarfs und der Düngungsausbringung auch die Verfügbarkeit der Nährstoffe eine Rolle, d. h. Nährstoffform, Wassergehalt im Boden und vertikale Nährstoffverteilung. Bezüglich Wassergehalt und vertikale Verteilung kommt die Bodenbearbeitung ins Spiel, zumal sich konservie-

Tab. 2: Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Erträge einzelner Fruchtarten (relativ), LFA Gülzow 1995–2007 (Lehmann und Leidel, 2009).

Fruchtart	Bodenbearbeitung			
	konventionell	konservierend		
	Pflug	Grubber		Grubber/Pflug
	tief	tief	flach	flach*
Winterraps nach Weizen	100	105	102	101
Winterweizen nach Raps	100	102	100	100
Stoppelweizen	100	94	95	92
Wintergerste nach Weizen	100	98	100	100
Mais (TM)	100	94	97	92

* ab 2000 Grubber flach, aber Pflug flach vor Raps und Gerste

rende Bodenbearbeitungsverfahren einer zunehmenden Beliebtheit erfreuen.

Unter konservierender Bodenbearbeitung versteht man eine Vielzahl von Verfahren, die eines gemeinsam haben, nämlich den konsequenten Verzicht auf eine tief wendende Bodenbearbeitung mit dem Pflug. Bezüglich des Pflanzenertrages gibt es nur marginale Unterschiede zwischen

den Bodenbearbeitungsverfahren. Im Mittel der Jahre gleichen sich die Jahreseffekte (Mehrerträge oder Ertragsminderungen) ungefähr aus (vgl. Tab. 2). Leichte Unterschiede gibt es jedoch bei den angebauten Kulturen. Stoppelweizen und Mais fallen in der Ertragsleistung gegenüber dem Anbau nach Pflugfurche leicht ab. Auch die Kombination aus Grubber



Neue Möglichkeiten bei der Düngung: Der Düngertank Amazone VarioTrail lässt sich mit einer Einzelkornsämaschine EDX kombinieren, zukünftig auch mit einem Streifenbearbeitungsgerät.

und Pflug konnte diesen Ertragsverlust im Versuch der Landesforschungsanstalt Gülzow nicht kompensieren.

Für den Praktiker hat der Pflugverzicht viele Vorteile: Geringerer Zugkraftbedarf, optimale Bodenstruktur, bessere Wasserführung, geringere Wasserverluste durch die Bodenbearbeitung selbst, intensiveres Bodenleben etc. Dagegen kann es auch zu unerwünschten Effekten wie beispielsweise zu verstärktem Durchwuchs und Besatz mit Ungräsern kommen.

Ein in vielen Publikationen beschriebener Effekt konservierender Bodenbearbei-

tungsverfahren ist die Anreicherung von Nährstoffen in der obersten Bodenschicht. Dieser Effekt ist umso ausgeprägter, je flacher die Bodenbearbeitung durchgeführt wird. Durch das regelmäßige Pflügen werden dagegen Ernterückstände sowie Grunddüngung in die Krume eingearbeitet und die darin enthaltenen Nährstoffe über die Krumentiefe gleichmäßig verteilt (homogenisiert).

Durch die reduzierte Arbeitstiefe bei konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren und die weniger starke Durchmischung reichern sich die Ernterückstände

und Nährstoffe aufgrund der sehr geringen Verlagerbarkeit durch Niederschläge an der Bodenoberfläche an. Aufgrund der geringen Verlagerbarkeit auf mittleren und schweren Standorten werden sie auch nicht eingewaschen. Es kommt folglich zu einer Nährstoffverarmung in der Krumbasis (vgl. Tab. 3). Eine Anreicherung von organischer Substanz an der Bodenoberfläche ist ebenso messbar wie ein Rückgang des pH-Wertes in tieferen Schichten der Krume.

Schlussfolgerung für die Düngung

Aus dieser ausgeprägten Nährstoffschichtung ergeben sich zwei grundsätzliche Fragen:

1. Hat die Nährstoffschichtung Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum und die Ertragsbildung?
2. Wie hat die Bodenprobenahme für eine Düngebedarfsermittlung zu erfolgen?

Die Nährstoffschichtung hat zunächst für die Pflanze keine negativen Auswirkungen, solange alle für das Pflanzenwachs-

Tab. 3: Bodenreaktion organische Substanz und Grundnährstoffgehalt im Fruchtfolgeversuch Bodenbearbeitung, LFA Gülzow 2004–2008 (gekürzt nach Lehmann und Leidel, 2009).

Schichttiefe	Pflug	Grubber tief	Grubber flach	Gr./Pf. flach
pH-Wert				
0-5	6,4	6,3	6,2	6,2
5-15	6,3	6,1	6,1	6,2
15-30	6,4	6,0	6,0	6,1
GD $\alpha=5\%$	0,15			
Organische Substanz (%)				
0-5	1,5	1,9	1,8	1,6
5-15	1,5	1,6	1,6	1,6
15-30	1,5	1,3	1,3	1,4
GD $\alpha=5\%$	0,07			
K₂O (mg/100 g)				
0-5	11,7	21,5	20,0	15,8
5-15	11,0	15,1	13,9	13,4
15-30	13,2	9,6	8,8	11,1
GD $\alpha=5\%$	1,6			
MgO (mg/100 g)				
0-5	14,1	18,2	18,2	15,1
5-15	14,3	14,7	15,3	16,0
15-30	14,2	10,7	11,5	13,2
GD $\alpha=5\%$	2,0			



Bodenproben müssen bei Pflugverzicht mit einer Beprobungstiefe von 25-30 cm entnommen werden.

tum notwendigen Faktoren (Nährstoffe, Wasser, Licht etc.) in ausreichendem Maße zur Verfügung stehen. Kommt es jedoch zu Trockenperioden, wie sie in den vergangenen Jahren wiederholt und ausgeprägt aufgetreten sind, trocknet der Boden von oben her aus. Die in der obersten Bodenschicht enthaltenen Nährstoffe stehen dann den Pflanzen nicht mehr zur Verfügung.

Systembedingt ist für Pflanzen in konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren eigentlich mehr Wasser verfügbar als bei Pflugeinsatz, dieses kann aber als Folge des durch Trockenheit induzierten Nährstoffmangels nicht effizient genutzt werden. Letztendlich macht sich dies dann in der Ertragsleistung bemerkbar. Damit lassen sich die in Systemvergleichen beobachteten Jahreseffekte zumindest teilweise erklären (vgl. Tab. 2). Andere Ursachen liegen beispielsweise im Erfolg der Aussaat bzw. Bestands-etablierung.

Für die Düngung ergeben sich hieraus einige Konsequenzen. Die Grunddüngung sollte vor oder während der Bodenbearbeitung erfolgen, um eine möglichst tiefe und gleichmäßige Einmischung zu erreichen. Eine Frühjahrsapplikation in den stehenden Bestand sollte vermieden werden, ausgenommen bei sandigen Standorten mit weniger als 40 Bodenknoten.

Durch die Weiterentwicklung der Gerätetechnik stehen heute moderne Bodenbearbeitungs- und Säegeräte mit integrierter Düngungstechnik zur Verfügung, die eine exakte Ausbringung auch von Dün-

germischungen ermöglichen. Der Vorteil dieser Geräte besteht darin, dass der auf dem unbearbeiteten Boden abgelegte Dünger Anschluss an das Kapillarwasser hat. Auch wenn der darüber liegende Boden austrocknet, kann der Dünger dennoch in Lösung gehen und steht den Pflanzen zur Verfügung. Während bei Mais bereits umfangreiche Erfahrungen mit der NP- und Mg-Unterfußdüngung vorliegen, ist die Technik von Unterfuß- bzw. Band-Applikationen bei Raps und Getreide noch in der Erprobung.

Im Lichte der oben beschriebenen Antagonismen ist es bei der Ausbringung großer Ammoniummengen sinnvoll, Magnesium in die Unterfußdüngung zu integrieren. Bezüglich Kalium ist allerdings Vorsicht geboten. Es ist nicht auszuschließen, dass Raps oder Getreide Schaden nehmen, wenn mit dem Kalium größere Chlorid-Mengen unter den Keimlingen im Boden liegen. Versuche zu diesen Fragestellungen sind angelegt. Die nächsten Jahre werden zeigen, ob pfluglose Bodenbearbeitungsverfahren mit dieser Technik optimiert werden können.

—Bodenproben auf volle Krumentiefe nehmen!

Für die Düngebedarfsermittlung und eine effiziente Düngung ist die Entnahme von Bodenproben eine Grundvoraussetzung. So muss die Beprobung nicht nur bezogen auf die Anzahl der Einstiche je zu beprobender Einheit repräsentativ sein, sondern auch bezüglich der Einstichtiefe.

In Anbetracht der Nährstoffschichtung bei konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren ist die vollständige Beprobung der Ackerkrume (25 bis 30 cm) unabdingbar. Wird diese Beprobungstiefe nicht eingehalten bzw. verringert, erfolgt eine Überbewertung der obersten Bodenschicht mit den darin akkumulierten Nährstoffen. Die in den Analyseergebnissen angegebenen Nährstoffgehalte täuschen dann mehr pflanzenverfügbare Nährstoffe vor als tatsächlich vorhanden sind. Schlussendlich fällt damit die Düngerausbringung zu gering aus. ■