

# Dünger effizient einsetzen

## Inhalt

### Nährstoffeffizienz

Stickstoff und Phosphor optimal nutzen

### Die Stickstoffbilanz entlasten

Kalium sichert hohe Erträge und Proteingehalte

### Magnesium steigert das Wurzelwachstum

Für eine effiziente Aufnahme von Stickstoff und Phosphor

### Der Schlüssel zur optimalen Stickstoffnutzung

Schwefel hat vielfältige Funktionen im Eiweißstoffwechsel

### Kleine Schrauben mit großer Wirkung

Die Verwertung von Stickstoff und Phosphor durch Spurennährstoffe verbessern

### Optimale Düngerwirkung durch hohe Löslichkeit

### Nährstoffmangelsymptome erkennen

Für eine effiziente Düngung

Mit freundlicher Unterstützung von



## Vorwort

Die seit Jahren diskutierte Neufassung des Düngerechts tritt in ihre entscheidende Phase. Die Bundesregierung hat kürzlich ihren zwischen den Ressorts abgestimmten Entwurf einer Verordnung zur Neuordnung der guten fachlichen Praxis beim Düngen der EU-Kommission zur Notifizierung übermittelt. Vorschriften zum Umgang mit Nährstoffen im Betrieb sowie die Schaffung von Verordnungsermächtigungen sollen gewährleisten, dass in der Düngerverordnung Regelungen zu Nährstoffvergleichen für den Gesamtbetrieb erlassen werden können. Damit soll die Voraussetzung für die Einführung einer Hoftorbilanz geschaffen werden.

Vorgesehen sind u. a. längere Sperrfristen. So sollen künftig auf Ackerland ab der Ernte der letzten Halmfrucht bis zum 31. Jan. grundsätzlich keine stickstoffhaltigen Düngemittel mehr aufgebracht werden. Allerdings soll es Ausnahmen geben. So soll zu Zwischenfrüchten, Wintererbsen und Feldfutter sowie zu Wintergerste bei Getreidevorfucht in begrenztem Umfang bis zum 1. Okt. gedüngt werden dürfen. Erstmals soll für Festmist und Kompost eine Sperrfrist eingeführt werden, und zwar vom 15. Nov. bis zum 31. Jan.

In die Obergrenze von 170 kg Stickstoff pro ha sollen künftig alle organischen und organisch-mineralischen Düngemittel einbezogen werden, einschließlich pflanzlicher Gärrückstände. Konkretisiert werden sollen die Vorschriften für die Düngedarfsermittlung. Verringert werden sollen die Kontrollwerte für die Differenz von Zu- und Abfuhr im Nährstoffvergleich. Ab 2018 soll der Kontrollwert für den Stickstoffüberschuss von bislang 60 kg/ha auf 50 kg/ha abgesenkt werden. Erstmals sollen in die Düngerverordnung bundeseinheitliche Vorgaben für das Fassungsvermögen von Güllelagern und Dungstätten aufgenommen werden. Die zu erwartende neue Düngerverordnung stellt für die Landwirtschaft eine gewaltige Herausforderung dar. Sie sind sowohl aus ökonomischen als auch ökologischen Gründen gehalten, ihre Düngung künftig noch effizienter und umweltgerechter zu gestalten. Sie sind letztlich gefordert, mit weniger Dünger mindestens dieselben, besser noch höhere Erträge und Qualitäten zu erzeugen. Die folgenden Beiträge zeigen, wie man die Düngung optimieren kann.

# Nährstoffeffizienz

## Stickstoff und Phosphor optimal nutzen

**Die effiziente Nutzung von Stickstoff in der Landwirtschaft ist eine globale Herausforderung. Die Stickstoffeffizienz hat einen großen Einfluss auf die Produktionskosten und die Reduktion von negativen Umwelteffekten. Der weltweite Einsatz von Stickstoff im Ackerbau wird auf über 100 Mio. t geschätzt. Jedoch werden nur 40 Prozent davon von den Pflanzen genutzt, der Rest wird ins Grundwasser ausgewaschen, mit Oberflächenwasser abgetragen oder geht als gasförmige Emission in die Atmosphäre verloren. Diese Verluste führen zu Umweltproblemen, unter anderem tragen sie zum Klimawandel bei und belasten für den Landwirt die Wirtschaftlichkeit des Stickstoffeinsatzes.**



**Um den Stickstoff effizient zu nutzen, ist eine optimale Aufnahme in die Pflanze und eine optimale Nutzung in der Pflanze erforderlich.**

Eine gesteigerte Stickstoff- und auch Phosphoreffizienz landwirtschaftlicher Kulturen ist daher von hoher Bedeutung, um die Umwelt zu schützen und auch den Gewinn des Landwirts zu steigern. Die Nährstoffeffizienz beschreibt, wie viel Ertrag pro kg eingesetztem Nährstoff erzielt werden kann. Wird der Nährstoff ideal genutzt und sind die Verluste gering, wird die Düngung effizient in Ertrag umgesetzt.

Zu einer hohen Nährstoffeffizienz können genetische Strategien (z. B. die Züchtung von Sorten mit einer hohen Stickstoffeffizienz) und die Anbaupraxis (z. B. optimale N-Düngemenge, ausgewogene Düngung) beitragen.

Bei der effizienten Nutzung des gedüngten Stickstoffs durch die Pflanzen gibt es zwei kritische Schritte:

1. Optimale N-Aufnahme durch die Wurzel.
2. Optimale N-Nutzung in der Pflanze (u. a. Bildung von Proteinen).

Wird der aufgenommene Stickstoff nicht effektiv in Protein-Stickstoff umgesetzt, sinkt auch die Kapazität der Wurzeln, weiteren Stickstoff aus dem Boden aufzunehmen.

Kalium (K) und Schwefel (S) sind zwei Schlüssel-Nährstoffe, die sowohl auf die Stickstoffaufnahme über die Wurzel als auch auf die Nutzung des aufgenommenen Stickstoffs in der Pflanze einen hohen Einfluss haben.

In der Landwirtschaft wird eine hohe Stickstoffdüngung oft eingesetzt, um einen maximalen Ertrag zu erreichen. Unter diesen Umständen sollte der Kalium- und Schwefelernährung eine besondere Aufmerksamkeit gelten, um eine höhere Produktivität zu erreichen und zugleich den Stickstoffverlust an die Umwelt zu minimieren.

*Prof. Dr. Ismail Cakmak,  
Sabanci-Universität Istanbul, Türkei.*

# Die Stickstoffbilanz entlasten

## Kalium sichert hohe Erträge und Proteingehalte

Die Kalium-Düngung wirkt sich positiv auf die N-Aufnahme, die Proteinbildung und so auch auf die N-Abfuhr vom Feld aus. Bei den zukünftig zu erwartenden Restriktionen in der N-Düngung wird dieser Fakt im Qualitätsweizenbau hinsichtlich der Absicherung hoher Proteingehalte noch bedeutsamer werden.

Den mengenmäßig höchsten Bedarf am Nährstoff Kalium (K) haben bekanntlich Kulturen wie Hackfrüchte, Mais, Raps oder Futterpflanzen. Die beachtlichen und gestiegenen K-Entzüge und auch K-Abfuhr dieser Kulturen werden in der Praxis häufig unterschätzt. Umgekehrt wird die Zufuhr von Kalium über organische Dünger oft überschätzt, weil die tatsächlichen K-Gehalte der Wirtschaftsdünger in Realität oft niedriger sind als manche Tabellenwerte ausweisen.

Die Gefahr einer unzureichenden K-Zufuhr ist in Fruchtfolgen mit diesen stark kalizehrenden Kulturen besonders hoch und belastet damit auch die Kaliumversorgung des in der Fruchtfolge angebauten Getreides.

Bei den meisten Getreidearten übersteigt die K-Aufnahme die N-Aufnahme. Wenngleich bei Getreide ein größerer Teil des Kaliums im Stroh akkumuliert wird und somit im Falle einer Strohdüngung auf dem Feld verbleibt, müssen diese hohen Bedarfe für das Wachstum zunächst aber erst einmal gedeckt werden – zum einen aus dem Bodengehalt, zum anderen über die Düngung.

Je niedriger der K-Bodengehalt, desto höher fällt in der Regel die Ertragsleistung einer K-Düngung aus. So ergaben umfangreiche langjährige Exaktversuche von Kerschberger bei Getreide bei einem anzustrebenden K-Bodengehalt (Gehaltsklasse „GK“ C) einen mittleren Mehrertrag von 6 %, der sich bei niedrigem Bodengehalt (GK B) auf 13 % und bei sehr niedrigem Gehalt (GK A) auf so-

gar 23 % erhöht. Diese durchschnittlichen Mehrerträge können in Einzeljahren deutlich höher ausfallen, nämlich dann, wenn Frühjahrs- oder Vorsommertrockenheit auftritt, was immer häufiger der Fall ist. Hierbei kommt eine wesentliche Funktion des Kaliums voll zum Tragen: die Steuerung des Wasserhaushalts durch Veränderung des Turgordrucks in den Pflanzenzellen sowie die Regulierung der Spaltöffnungen, was die Wassernutzungseffizienz verbessert und Trockenstress mindert. Zudem steigert Kalium die Frostresistenz durch die Verringerung des Gefrierpunktes im Zellsaft.

Aber auch andere, im Getreidebau nicht weniger wichtige Funktionen des Kaliums werden direkt oder indirekt ertrags- und qualitätswirksam:

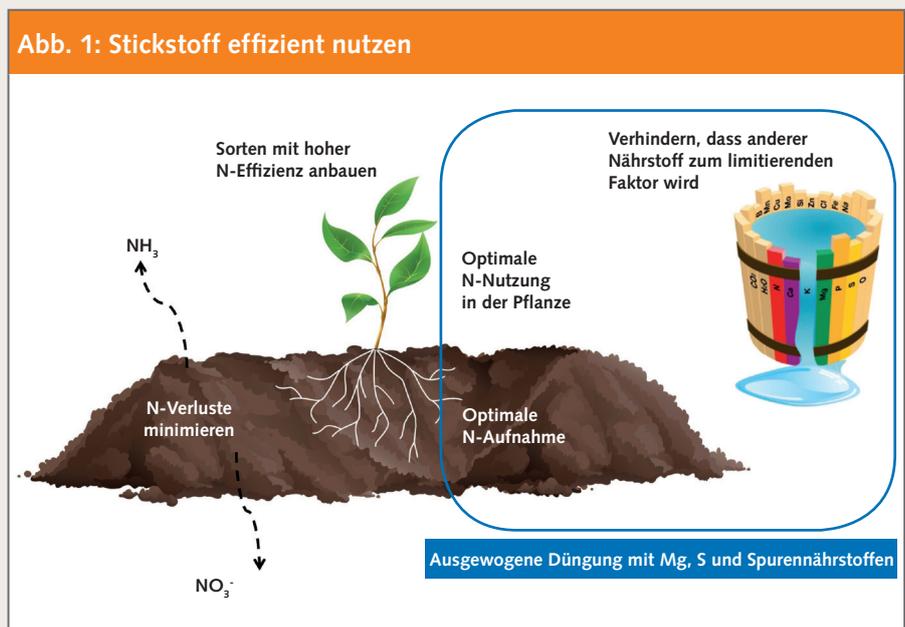
## Wie kann die N-Effizienz erhöht werden?

Grundsätzlich gilt es, Stickstoffverluste durch Emissionen oder Auswaschung zu minimieren. Auch der Anbau von Sorten mit einer hohen Stickstoffeffizienz kann sich positiv auswirken.

Einen wesentlichen Beitrag zur Steigerung der Stickstoffeffizienz leistet auch die ausgewogene Düngung. Nach dem „Gesetz vom Minimum“ kann Stickstoff nur dann optimal in Ertrag umgesetzt werden, wenn seine Nutzung nicht durch eine Unterversorgung mit einem anderen Nährstoff limitiert wird.

Um den Stickstoff effizient zu nutzen, ist eine optimale Aufnahme in die Pflanze und eine optimale Nutzung in der Pflanze erforderlich. Kalium, Magnesium und Schwefel sind an verschiedenen pflanzenphysiologischen Prozessen beteiligt, die diese beiden Schritte beeinflussen. Mehr dazu in den folgenden Artikeln.

Abb. 1: Stickstoff effizient nutzen



**Kalium**

- beeinflusst die Fotosyntheseleistung direkt über eine Wirkung auf die Chloroplasten und indirekt über die Beeinflussung des Schließmechanismus der Stomata.
- ist im Stoffwechsel der Pflanze an der Aktivierung von mehr als 50 Enzymen beteiligt.

- verbessert die Bildung von Kohlenhydraten wie Zucker und Stärke.
- ermöglicht den Transport und die Einlagerung von Kohlenhydraten aus den Blättern in die Speicherorgane (Körner).
- fördert die interne Produktqualität durch höhere Eiweißgehalte.
- fördert die Ausbildung des Stützgewebes,

wodurch Lagergefahr und Anfälligkeit gegenüber Krankheiten (z. B. Pilze) verringert werden.

Steht Kalium nicht in optimaler Menge zur Verfügung, wird gemäß dem Gesetz vom Minimum zwangsläufig auch weniger Stickstoff verwertet: Die N-Effizienz des eingesetzten N-Düngers sinkt. Dies

### Pflanzenphysiologie: Kalium fördert die N-Aufnahme und die Bildung von Proteinen

Kalium wird für die Aufnahme von Stickstoff durch die Wurzeln und für den Transport von den Wurzeln zum Spross benötigt. Da Kalium- und Nitrat-Ionen unterschiedliche Ladungen haben ( $K^+$  und  $NO_3^-$ ), erleichtert Kalium die Wurzelaufnahme von Nitrat (Synergismus). Zudem stimuliert Kalium die Aktivität des in den Membranen gebundenen Enzyms ATPase, das für den Transport von Nitrat durch die Wurzelzell-Membranen benötigt wird. In wissenschaftlichen Studien wurde zudem gezeigt, dass Kalium für den Transport von Nitrat von den Wurzeln in den Spross benötigt wird, da es im Xylem als Gegenion fungiert.

Darüber hinaus ist Kalium essenziell für die Bildung von Proteinen und hierbei an verschiedenen Prozessschritten beteiligt. In Kaliummangelpflanzen sammeln sich große Mengen an stickstoffhaltigen Protein-Bausteinen wie Aminosäuren und Aminen an, die nicht weiter zu Eiweißen aufgebaut werden. Die Akkumulation dieser löslichen Stickstoffbestandteile führt nicht nur zu einer ineffizienten Nutzung des bereits aufgenommenen Stickstoffs, sondern reduziert zudem die weitere Nitrataufnahme durch die Wurzeln.

Als Konsequenz aus diesen physiologischen Effekten und Interaktionen benötigen Pflanzen eine bedarfsgerechte Versorgung mit Kalium, um Stickstoffdünger möglichst effizient nutzen zu können.

*Prof. Dr. Ismail Cakmak, Sabanci-Universität Istanbul, Türkei*

Abb. 1: Erträge von Wintergerste im K-Düngungsversuch Ostenfeld 2015

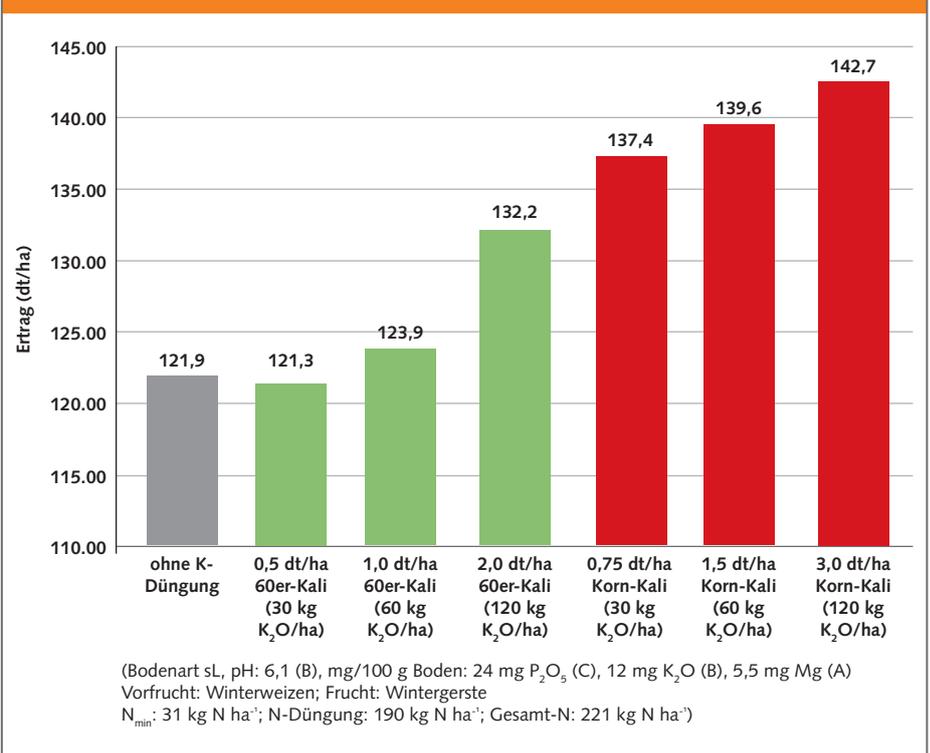


Abb. 2: N-Bilanz des K-Düngungsversuchs Ostenfeld 2015

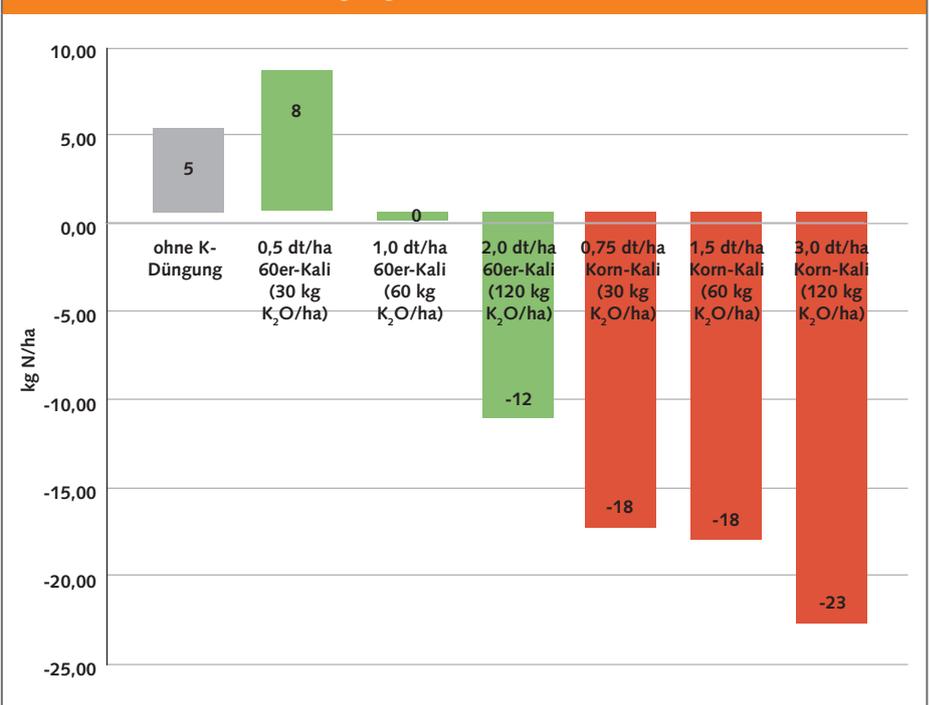


Tabelle: Einfluss der K-Düngung auf Proteingehalt und Sedimentationswert

Einfluss der Kalidüngung auf Proteingehalt und Sedimentationswert in Feldversuchen	Winterweizen – 37 Versuche		Wintergerste – 32 Versuche
	Proteingehalt (%)	Sediwert	Proteingehalt (%)
Kalidüngung niedrig	14,8	61	12,9
Kalidüngung optimal	15,6	68	13,4
Zunahme relativ	+ 5,4 %	+ 11,5 %	+ 3,9 %

ist nicht nur unökonomisch und unökologisch, sondern wird mit den zu erwartenden Restriktionen der neuen Düngerverordnung (DüV) auch zunehmend problematischer werden.

Wie positiv sich eine K-Düngung auf die N-Aufnahme, den Stickstoffeinbau in organisches Material und so auch auf die N-Abfuhr vom Feld – also letztendlich auf die N-Effizienz – auswirkt, kann nur in Exaktversuchen quantifiziert werden. Ein Feldversuch an der Versuchsstation „Lindenhof“ der Fachhochschule Kiel aus dem vergangenen Jahr zeigt diese Zusammenhänge beispielhaft auf.

Durch reine K-Düngung in Höhe von 120 kg K<sub>2</sub>O/ha konnte der Ertrag der Wintergerste um 10,3 dt/ha gesteigert

werden (Abb. 1). Wurde anstelle von 60er Kali über Korn-Kali gedüngt, verdoppelte sich der Mehrertrag auf 20,8 dt/ha, wohlgermerkt bei gleicher N- und K-Düngungshöhe. Ein Paradebeispiel für das Gesetz vom Minimum: Bei niedrigem K-Gehalt im Boden (12 mg K<sub>2</sub>O/100 g Boden, GK B) ist allein durch K-Düngung ein deutlicher Mehrertrag erzielt worden, aber noch nicht der Optimalertrag, weil andere Minimumfaktoren diesen verhinderten. Durch gleichzeitige Düngung von 18 kg MgO/ha (bei 5,5 mg Mg/100 g Boden, GK A) und 45 kg S/ha über den Einsatz von Korn-Kali wurde ein zusätzlicher Mehrertrag von 10,5 dt/ha gegenüber der „reinen“ 60er-Variante erzielt – bei einheitlicher Düngung von 190 kg N/ha und 120 kg K<sub>2</sub>O/ha. Die K-Düngung erhöhte die N-Effizienz deut-

lich, allerdings brachte erst die Kombination der K-Düngung mit einer Magnesium- und Schwefeldüngung die volle Ertragsleistung und damit die höchste N-Effizienz.

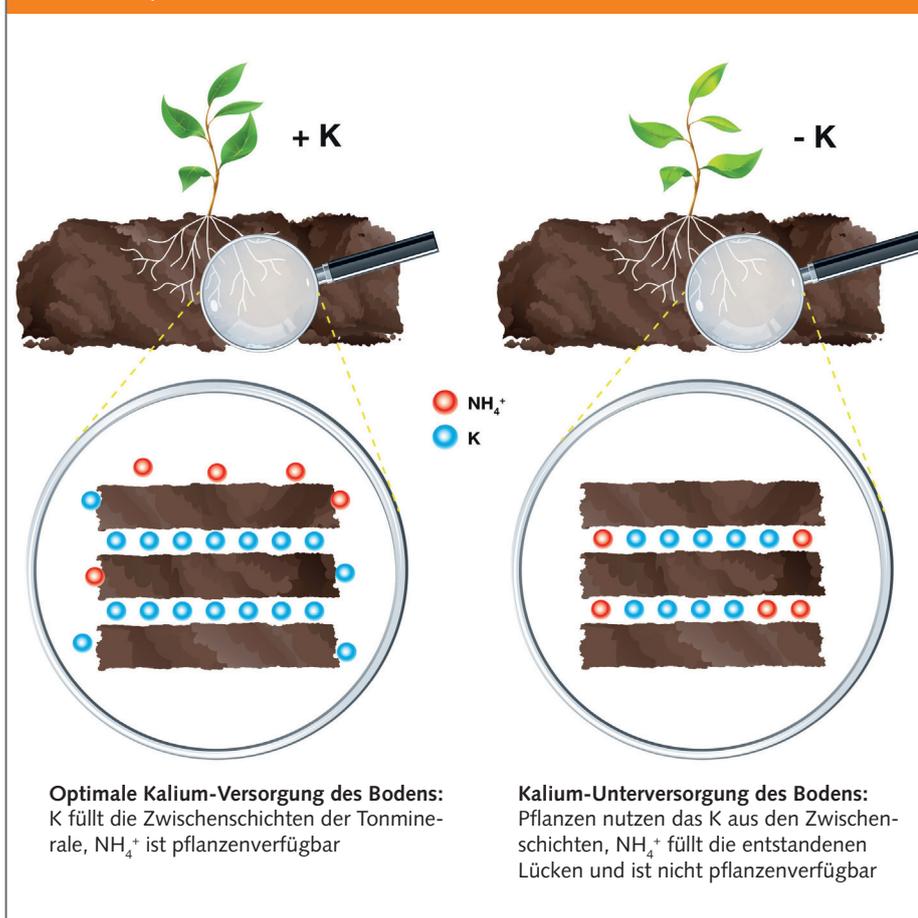
Das schlägt sich natürlich auch in der N-Bilanz nieder, die im Hinblick auf die neue DüV immer wichtiger wird: Aus einer leicht positiven Bilanz beim Prüfglied „ohne K-Düngung“ wurde eine negative bei K-Düngung mit 60er-Kali und eine deutlich negative bei kombinierter KMgS-Düngung über Korn-Kali (Abb. 2).

Eine K-Unterversorgung des Bodens ist bezüglich der N-Aufnahme generell insofern problematisch, als dass entstandene Lücken in den Zwischenschichten der Tonminerale durch NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Ionen ersetzt werden, die dann wiederum für die N-Ernährung fehlen (Abb. 3). Die sogenannte NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Fixierung erfolgt dabei bereits kurz nach der N-Düngung. Die Effizienz der N-Düngung wird in diesen Fällen von vornherein schon eingeschränkt.

Eine bessere N-Verwertung durch K-Düngung kann man nicht nur am Ertrag festmachen, sondern auch im positiven Einfluss auf Proteingehalte erkennen (siehe Tabelle): Bei optimaler K-Düngung sind die Proteingehalte häufig höher als bei suboptimaler K-Düngung (bei gleicher Höhe der N-Düngung). Bei zukünftig zu erwartenden Restriktionen in der N-Düngung wird dieser Fakt im Qualitätsweizenbau hinsichtlich Absicherung der Proteingehalte noch bedeutsamer werden.

Auch die Frage der P-Effizienz wird durch die neue DüV einen höheren Stellenwert erhalten, besonders in P-Überschussregionen. Analog zur N-Effizienz gilt auch hier das Gesetz vom Minimum – und verbessert eine angepasste K-Düngung auch die P-Effizienz. K-Düngung fördert grundsätzlich die Durchwurzelung und erhöht so das P-Aneignungsvermögen.

Frank Hertwig, K+S KALI GmbH

Abb. 3: NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Fixierung bei K-Unterversorgung im Boden

# Magnesium steigert das Wurzelwachstum

Für eine effiziente Aufnahme von Stickstoff und Phosphor

Nur bei bedarfsgerechter Magnesium-Versorgung kann eine intensive Durchwurzelung des Bodens erreicht werden, mit der sich die Pflanzen deutlich mehr Stickstoff und besonders Phosphor erschließen können. Zudem ist Magnesium als „Transportmedium“ an der Phosphoraufnahme beteiligt.

Unter den Hauptnährstoffen spielt Magnesium in der Düngeplanung oft nur eine untergeordnete Rolle, weil die Pflanzenentzüge nicht an das Niveau z. B. vom in dieser Hinsicht dominierenden Kalium heranreichen. Dabei hat es zentrale Bedeutung zur Ertragsbildung und wird für wesentlich mehr Funktionen in der Pflanze als nur für die Bildung von Blattgrün benötigt. In der Praxis kommt es nicht nur zu einer ertragswirksamen Unterversorgung an Magnesium, wenn dessen Gehalt im Boden niedrig ist, sondern auch durch Trockenperioden, einseitige Düngung und Aufnahmeantagonismen.

Mithilfe des Blattgrüns zum Einfangen der Lichtenergie stellen die Pflanzen aus Wasser und Kohlendioxid zuerst Zucker als Grundbaustein her. Dieser ist nicht nur Energieträger, sondern wird zu weiteren Kohlenhydraten wie Stärke oder Cellulose verarbeitet. Zum Transport dieser Stoffe innerhalb der Pflanzen – im Wesentlichen zum Wurzel- und Wurzelhaarwachstum – ist wiederum zwingend ausreichend Magnesium als Enzymaktivator erforderlich. Die enorme Bedeutung dieses Nährstoffes für innere Funktionsabläufe in der Pflanze ist auch daran zu erkennen, dass nur etwa 10 % des Gesamtgehaltes im Blattgrün gebunden sind.

## Mangel geht an die Wurzeln

Im Bestand selbst ist eine Unterversorgung über längere Zeit nicht zu erkennen. Als Erstes reichern sich Zucker und andere Kohlenhydrate wegen des mangelhaften Abtransportes in den Blättern an. In wachsenden Pflanzen werden diese aber als Bausteine zur Ausbildung von Wurzelgewebe dringend benötigt. Folglich wird bei zu geringer Magnesiumver-

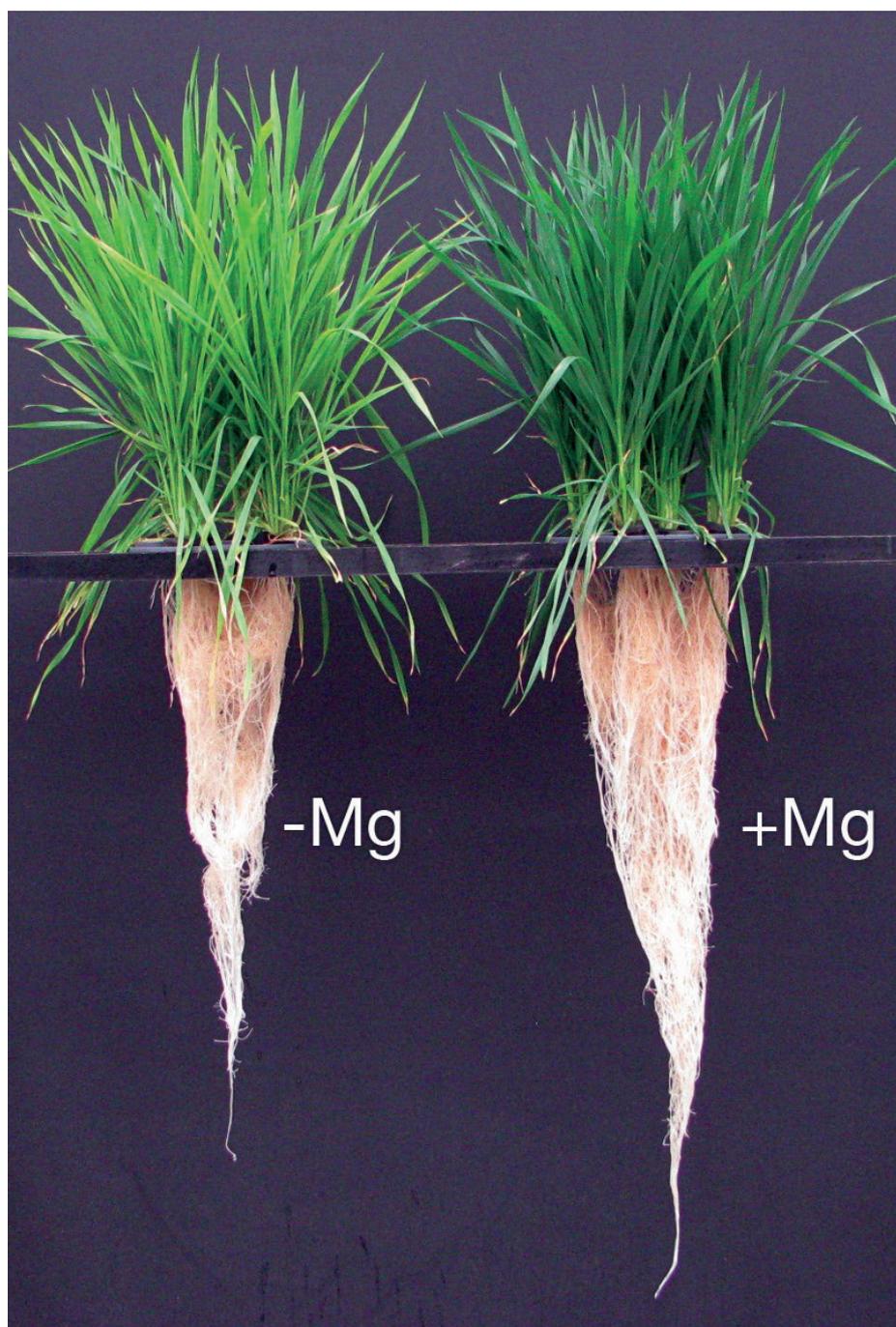


Abb. 1: Bei Magnesiummangel ist das Wurzelwachstum gehemmt. Damit kann auch weniger Stickstoff und Phosphor aus dem Boden aufgenommen werden. Foto: Cakmak



Magnesiumunterversorgung.



Magnesiumunterversorgung, aber späte Mg-Blattdüngung mit EPSO Top.



Optimale Magnesiumversorgung mit ESTA-Kieserit-Düngung.

Abb. 2: Kornausbildung bei Weizen mit unterschiedlicher Magnesiumversorgung.

Fotos: Ceylan et al., 2014, 2<sup>nd</sup> International Magnesium Symposium, São Paulo, pp. 53

fügarkeit das Wurzelwachstum stark beeinträchtigt, das Nährstoffaufnahmevermögen sinkt und das in Trockenperioden so wichtige Wasseraufnahmevermögen aus tieferen Bodenschichten ist durch mangelhafte Wurzelbildung ebenfalls eingeschränkt.

In einer Magnesiummangelsituation reagiert das Wurzelwachstum schon nach drei Tagen, das oberirdische Blattwachstum wird nach zehn Tagen erkennbar reduziert. Typische Magnesiummangelsymptome werden aber erst nach etwa fünfzehn Tagen optisch sichtbar! Da Pflanzen Magnesium gut verlagern können, tritt sichtbarer Magnesiummangel (Abb. 3, siehe S. 46) immer zuerst an den unteren, älteren Blättern auf.

Mehr Wurzelwachstum bedeutet aber auch eine gesteigerte Aufnahme von Stickstoff und Phosphor aus dem Boden. Gerade in Veredlungsbetrieben mit hohen Mineralisationsraten beim Stickstoff, tendenziell hohen Bodenwerten beim Phosphor und den damit verbundenen Problemen, die Vorgaben der Düngerverordnung zu erfüllen, spielt dieser Gesichtspunkt eine herausragende Rolle. Eine intensive Durchwurzelung des Bodens mit stoffwechselaktiven und somit Wurzelausscheidungen produzierenden Haarwurzeln wird deutlich mehr Stickstoff und besonders Phosphor aus dem Boden erschließen als eine Pflanze mit schwachem Wurzelnetz. Zudem wirkt Magnesium für die Phosphoraufnahme als „Transportmedium“, sodass allein deshalb schon die Phosphataufnahmerate mit einer zusätzlichen Magnesiumversorgung gesteigert werden kann.

In den Gehaltsstufen der Bodenuntersuchung für Magnesium wird nach Bodenarten unterschieden. Für schwere Böden sollte stets eine höhere Magnesiumversorgung angestrebt werden. Im Unterschied zu anderen Nährstoffen wird Magnesium von den Pflanzenwurzeln nicht aktiv aufgeschlossen. Verdunstet die Pflanze Wasser, so wird aus dem im Wurzelraum nachströmenden Wasser das Magnesium aufgenommen. Je schwererer oder verdichteter ein Boden ist, oder je trockener es wird, desto langsamer ist die Fließgeschwindigkeit des Bodenwassers und somit leidet auch die Magnesiumnachlieferung. Daher stellen sich nach einer mineralischen Magnesiumdüngung – wenn sie denn direkt pflanzenverfügbar ist – oftmals auch in oberen Gehaltsklassen Ertragseffekte ein. Ein Beispiel hierfür ist Mais, bei dem reines, wasserlösliches Magnesiumsulfat in Form von ESTA Kieserit als Zusatz in der Unterfußdüngung gerade auf schweren Böden eine besonders hohe Wirkung zeigt.

### Ohne Blattgrün keine Leistung

Nicht sichtbarer, latenter Magnesiummangel führt zu einem geringeren Gehalt an Blattgrün. Ohne Anlage von Düngewerkstoffen ist das im normalen Feldbestand wegen fehlender Vergleichsmöglichkeit nicht zu bemerken. Dennoch sollte die Wirkung nicht unterschätzt werden. Das Blattgrün (Chlorophyll) mit Magnesium als Zentralbaustein ist absolut entscheidend für die Leistung der Pflanzen. Der Zusammenhang zwischen dem Magnesium- und dem Chlorophyllgehalt in

Pflanzen ist schon lange bekannt. Für Zuckerrüben zeigte jetzt eine langjährige Auswertung des Institutes für Zuckerrübenforschung eine statistisch hoch gesicherte, positive Beziehung zwischen dem Chlorophyllgehalt und dem bereinigten Zuckerertrag. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass selbst bei guten Bodenvorräten an Magnesium der Chlorophyllgehalt in den Pflanzen durch eine Blattdüngung nochmals erhöht werden kann.

Bei Getreidepflanzen nimmt durch das schnelle Streckungswachstum während der Schossphase der Magnesiumgehalt in der Gesamtpflanze ab. Das geschieht unabhängig von der jeweiligen Bodenversorgung. Da Magnesium fast ausschließlich aus dem an die Wurzel heranströmenden Bodenwasser aufgenommen wird, beeinträchtigt eine Trockenheit zu Beginn der Hauptwachstumsphase besonders die Wurzelbildung und den Ertragsaufbau. Hier schafft nur eine Blattdüngung mit Magnesium, z. B. in Form von EPSO Top, schnelle Abhilfe. Ähnliches gilt auch ab dem Zeitpunkt des Ährenschiebens, damit die Umlagerung der Kohlenhydrate in die Körner, also die Kornfüllungsphase, optimal erfolgen kann.

Ein ganz anderer, wenig beachteter Aspekt ist die deutlich höhere Lichtempfindlichkeit von Pflanzen mit zu niedrigem Magnesiumgehalt. Es bilden sich dann als Folge von nicht „verbrauchten“ Elektronen bei der Fotosynthese sogenannte Radikale, die zellzerstörend wirken. Die Lichtschäden sind dann umso größer, je intensiver die Sonneneinstrahlung

lung ist. Damit gepaart steigt die Empfindlichkeit gegenüber Hitze. Magnesium hilft somit den Pflanzen, Stresssituationen besser zu überstehen.

## Magnesium- und Kaliumaufnahme differieren

Bekanntlich sollten Düngungsmaßnahmen mit Kalium so gestaltet sein, dass im Boden das Kalium-Magnesium-Verhältnis nicht weiter als 3 : 1, in schwereren Böden besser 2 : 1 wird. Fälschlicherweise wird oft auch der Umkehrschluss gezogen, nämlich dass hohe Magnesiumgehalte im Boden die Kaliumaufnahme negativ beeinflussen könnten. Das ist aber schon alleine wegen der selektiven Aneignung von Kalium durch spezifische Aufnahmekanäle in den Pflanzenwurzeln nicht der Fall. So wäre es falsch, in der Düngemittelwahl bewusst magnesiumfreie Kalidünger zu bevorzugen. Im Gegenteil: Düngung einer hochreinen Kaliumform, wie sie als 60er-Kali oder in einigen Mehrnährstoffdüngern vorliegt, erhöht zwar momentan den Kaliumgehalt in der Bodenlösung sehr stark, der vorhandene

Magnesiumgehalt bleibt jedoch unverändert. Dadurch kann, auch bei laut Bodenuntersuchung optimaler Magnesiumversorgung, das Kalium-Magnesium-Verhältnis so weit auseinandergehen, dass es zu latentem Magnesiummangel kommt. In der Praxis hat sich deshalb Korn-Kali mit 40 %  $K_2O$  etabliert, da es zusätzlich 6 %  $MgO$  als rein wasserlösliches Magnesium in Form von ESTA Kieserit enthält. Bei dessen Lösung im Boden steigt neben dem Kalium- zugleich der Magnesiumgehalt an, wodurch ein unerwünschter Nährstoffantagonismus verhindert wird.

## Besonderheit: Magnesium zur Energiepflanzendüngung

In der Energiepflanzenproduktion muss möglichst viel Lichtenergie in Biomasse umgesetzt werden. Hierzu darf Magnesium als Zentralatom des Chlorophylls und den vielen Funktionen bei Umsatz und Einspeicherung der gebildeten Assimilate nie ins Minimum geraten. Nur mit ausreichend schnell verfügbarem Magnesium kann eine maximale Menge Energie in den Pflan-

zen als Kohlenhydrate (Zucker, Stärke, Zellulose) oder Öl erzeugt und gespeichert werden. Mit den hohen Masseerträgen steigen die Anforderungen an den Versorgungsstatus der Böden, da nicht nur die Entzüge erheblich höher sind als bei „normalen“ Fruchtfolgen, sondern auch die Verfügbarkeit während des Hauptwachstums gewährleistet sein muss. So entzieht zum Beispiel Energiemais bei einem Ertrag von 22 t/ha Trockenmasse in nur vier Wochen etwa zwei Drittel des Gesamtbedarfs an Magnesium. Bei der Düngplanung ist daher Magnesium mit einzubeziehen. Dies ist auch bei der Einschätzung der Düngewirkung von Gärresten wichtig, da diese stets ein sehr weites K-Mg-Verhältnis von zumeist deutlich über 5 : 1 besitzen und zudem Magnesium in Gärresten nur eingeschränkt in pflanzenverfügbarer Form vorliegt. Hier ist in der Regel ein Magnesiumausgleich mit unmittelbar pflanzenverfügbarem ESTA Kieserit erforderlich, um eine optimale Nährstoffverwertung zu erzielen.

## Energie für Bodenleben und Humusaufbau

Alle mit der Energie des Sonnenlichtes gebildeten pflanzlichen Substanzen und Wurzel Ausscheidungen sind letztlich chemisch gebundene Energie, von der die Mikroorganismen im Boden leben. Magnesiumdüngung erhöht über die Zunahme des Chlorophyllgehaltes die Biomasseproduktion und somit sowohl die Menge an Wurzel Ausscheidungen als auch das quantitative Wurzelwachstum. Letztlich sichert es so die Lebensgrundlage der Bodenorganismen und dient dem Humusaufbau. Hohe Erträge durch eine ausgewogene Magnesiumdüngung bedeuten nicht nur mehr Wurzelrückstände im Boden, sondern entlasten auch die Düngebilanz, da Nährstoffe effizienter ausgenutzt werden können.

Für eine optimale und sichere Versorgung der Kulturpflanzen mit Magnesium ist es erforderlich, alle Eigenschaften dieses Nährstoffes, inklusive der Löslichkeit in Düngemitteln zu kennen und in die Düngplanung zielgerichtet mit aufzunehmen. Immerhin geht es auch darum, die Fruchtbarkeit unserer Böden langfristig aufrechtzuerhalten.

*Dr. Gudwin Rühlicke,  
K+S KALI GmbH*



**Magnesiummangel bei Getreide: An den älteren Blättern bilden sich perlschnurartige Marmorierungen bei sonst noch grünen Blattspreiten. Bei anhaltendem Magnesiummangel verlieren die Blätter ihre grüne Farbe, an den Blatträndern machen sich streifig-fleckige Vergilbungen bemerkbar.**



Schwefelmangel im Feldversuch: Auf den ersten Blick schwer von N-Mangel zu unterscheiden.

# Schlüssel zur optimalen Stickstoffnutzung

## Schwefel hat vielfältige Funktionen im Eiweißstoffwechsel

Eine verbesserte Luftreinigung in den letzten Jahren hat dazu geführt, dass der Schwefel-(S-)Eintrag aus der Atmosphäre stark abgenommen hat und somit die Schwefelgehalte im Boden sinken, während die Nährstoffentzüge durch die

steigende landwirtschaftliche Produktion zunehmen. Somit hat die Notwendigkeit der S-Gabe in der Praxis zugenommen, da Schwefelmangel Einfluss auf Ertrag und Qualität landwirtschaftlicher Produkte und zur verringerten Ausnut-

zung anderer gedüngter Nährstoffe (im Speziellen Stickstoff) führen kann. Des Weiteren sind die Ansprüche an die Produktqualität (z. B. Eiweiß- und Ölgehalte) kontinuierlich gestiegen und durch veränderte Züchtungsziele hat eine Reihe von Sorten einen höheren S-Bedarf (z. B. Raps und Leguminosen). Auch haben sich die Düngemittelzusammensetzungen bzw. ihre Anwendung in den letzten Jahren verändert. Teilweise kommen Düngemittel mit einem hohen Stickstoff- oder Kaliumgehalt zum Einsatz, bei denen kein Schwefel enthalten ist und somit kommt es zu einer verringerten Schwefeldüngung.

### Pflanzenphysiologie: Schwefel ist essenziell für die Proteinbildung

Verschiedene wissenschaftliche Studien belegen, dass eine bedarfsgerechte Schwefelversorgung ein Schlüsselfaktor zur Verbesserung der Stickstoffnutzungseffizienz ist. Wie bei Kaliummangel ist auch bei Schwefelmangel die Proteinbiosynthese stark gehemmt. Zum Beispiel haben schwefelhaltige Aminosäuren wie Methionin oder Cystein eine tragende Rolle bei der Bildung von Proteinen. In Schwefelmangelpflanzen ist eine starke Akkumulation von Nitrat, Aminosäuren und Amininen vor-

zufinden weil die Umwandlung dieser Bausteine zu Proteinen reduziert ist.

Es ist in der Forschung gut belegt, dass diese löslichen stickstoffhaltigen Bausteine im Pflanzengewebe ein negatives Feedback geben und folglich die Aufnahme weiteren Stickstoffs über die Wurzeln gehemmt wird.

*Prof. Dr. Ismail Cakmak,  
Sabanci-Universität Istanbul, Türkei*

### Wofür brauchen Pflanzen Schwefel?

Schwefel ist mit einer der wichtigsten Pflanzennährstoffe, der für vielfältige Funktionen besonders im Eiweiß-, Fett- und Kohlenhydratstoffwechsel von



**Abb. 1:** Typische Schwefel-Mangelsymptome sind: oben: Weizen – geringe Wuchsfreudigkeit, Gelbfärbung, Starrheit der Pflanzen (mit Stickstoffmangel leicht verwechselbar!); Mitte: Raps – marmorierte Blattflächen zwischen den Blattadern, löffelartige Verformung der Blätter; unten: Mais – junge Blätter werden hellgrün bis gelb, geringer Kornansatz am Kolben.

Pflanzen benötigt wird. Neben Ertragszuwachs sind vor allem Qualitätsparameter durch eine S-Ernährung beeinflussbar. Bei der Produktion von Getreide, besonders bei Qualitätsweizen, sollte die Schwefelversorgung beachtet werden, da Schwefel neben dem Einfluss auf den Ertragszuwachs auch Auswirkungen auf den Proteingehalt und die Proteinzusammensetzung, den Sedimentationswert und somit das Klebereiweiß hat. Die Qualität des Klebers beeinflusst die Gärungs- und Backeigenschaften von Mehl in verarbeiteten Teigen. Die darin enthaltenen Eiweißfraktionen bestehen dabei hauptsächlich aus S-haltigen Aminosäuren (Cystein und Methionin), die das Klebereiweiß beeinflussen und somit die Verarbeitbarkeit des Mehls bzw. die Konsistenz des daraus gebackenen Endproduktes verändern. Auch sind hohe Proteingehalte für Futtergetreide ein wichtiges Qualitätskriterium.

Schwefel wird von höheren Pflanzen als Sulfat-Ion ( $\text{SO}_4$ ) aufgenommen. Besonders Öl- und Eiweißpflanzen wie Raps und Getreide haben einen höheren S-Bedarf und benötigen leicht verfügbaren sulfatischen Schwefel. Dieser wird in schwefelhaltige sekundäre Pflanzenstoffe, z. B. Lauch- und Senföle wie Glucosinolate, eingebaut, welche Geschmack und Geruch von Ernteprodukten und somit ihre Qualität wesentlich beeinflussen können.

Der Schwefelanteil in organischen Düngern liegt weitestgehend in gebundener Form vor und wird erst nach der Mineralisierung zu Sulfat-Schwefel verfügbar. Güllegaben im Frühjahr zu Vegetationsbeginn stellen kaum S zur Verfügung, da die Mineralisierung aufgrund der kühlen Bodentemperaturen nicht ausreichend umgesetzt werden kann. Anteilig gesehen, liegt der pflanzenverfügbare  $\text{SO}_4$ -Anteil bei unter 20 % des gesamten Schwefelbedarfs. Als Ausnahme kann dabei die Biogasgülle gesehen werden, da Schwefel im Fermentationsprozess gasförmig als Schwefelwasserstoff zusammen mit dem Biogas entweichen kann. Deshalb ist es notwendig, die organische Düngegabe durch mineralische sulfathaltige Düngemittel zu ergänzen.

### Wenn Schwefelmangel erkennbar wird

Ein Schwefelmangel ist nicht immer eindeutig zu erkennen und wird vermehrt mit Stickstoffmangel verwechselt. In Mangelsituationen wird allerdings das mobile N aus den älteren Blättern in die

jungen Blätter und z. B. im Getreide in die Ährenansätze verlagert. Demgegenüber ist die Verlagerung des Schwefels in die jüngeren Blätter kaum zu beobachten, da der größere Teil von S dort verbleibt, woanfangs eingebaut wurde. Es ist im Vergleich zu N wesentlich immobil. Daraufhin bleiben die jüngeren Blätter deutlich heller (Abb. 1). Zur Sicherstellung der S-Versorgung während der gesamten Kulturperiode ist eine S-Gabe kontinuierlich auch zu späteren Zeitpunkten notwendig. Bei Getreide ist die Düngegabe zur Ährenbildung empfehlenswert, um gute Protein-Gehalte und Qualitäten zu erhalten. Sind Mangelsymptome nicht eindeutig zuzuordnen, hilft die Pflanzenanalyse. Diese kann größeren Schaden vermeiden, da man so die Chance bekommt, z. B. mithilfe einer Blattdüngung, zu reagieren. Wenn die Aufnahme aus dem Boden fehlt oder nicht ausreichend ist, kann diese über Blatt ergänzt werden, denn Schwefel als Sulfat (z. B. Magnesiumsulfat in EPSO Top) können die Pflanzen auch problemlos über die Blätter aufnehmen.

### Schwefel steigert die Stickstoffeffizienz

Wie im ersten Teil des Artikels beschrieben, ist Schwefel ein entscheidender Bestandteil wichtiger Enzyme, Aminosäuren usw. und damit an der Proteinbiosynthese beteiligt. Liegt nun ein Schwefelmangel vor, so erhöht sich die Menge der löslichen Stickstoffverbindungen, zu denen auch das Nitrat zählt. Des Weiteren ist Schwefel bei der Reduktion des Nitrates entscheidend. Denn die Enzyme Nitrat- und Nitritreduktase werden benötigt, um das in die Pflanze aufgenommene Nitrat umzuwandeln und somit an die Stellen zu leiten, an denen es benötigt wird. Fehlt die Nitrat-Umwandlung in der Pflanze, kommt es zum sogenannten Nitratstau, der bereits bei latentem Schwefelmangel auftritt. Der Pflanze ist diese Nitratansammlung nicht anzusehen, führt aber zur höheren Anfälligkeit gegenüber Pathogenen sowie zu einer höheren Frostempfindlichkeit.

Eine optimale Ausnutzung des Stickstoffs ist nur realisierbar, wenn alle Nährstoffe, im Speziellen aber Schwefel, optimal aufgenommen werden. In naher Zukunft wird die angepasste Düngeverordnung (DüV) mit strengeren Regularien im Besonderen für Stickstoff und Phosphor in Kraft treten. Damit sollte jeder Landwirt sein Düngemanagement über-

**Tabelle: Schwefel- und Stickstoffkonzentration in Baumwollblättern bei verschiedenen Schwefelmengen in Nährlösung**

Quelle: Marschner, 2012

		Konzentration (g kg <sup>-1</sup> Trockenmasse (TM))				
		Schwefel (S)		Stickstoff		
S-Angebot (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> l <sup>-1</sup> )	Blatt-TM (g TM Pflanze <sup>-1</sup> )	Sulfat	Organisch	Nitrat	Löslich organisch	Protein
0,1	1,1	0,03	1,1	13,9	22,3	9,6
1,0	2,4	0,03	1,2	13,7	22,1	12,8
10,0	3,4	0,09	1,7	0,6	11,9	25,6
50,0	4,7	1,0	2,6	0,0	5,1	32,5
200,0	4,7	3,6	2,5	1,0	4,5	3,2

denken bzw. anpassen. Um die Änderungen der DüV erfüllen zu können und zugleich hohe Erträge und Qualitäten zu sichern, muss eine bessere Nährstoffausnutzung erwirkt werden.

Die Wechselwirkung von Stickstoff und Schwefel wird durch ein optimales N-S-Verhältnis beschrieben. Diese Beziehung zueinander kann durch Daten der Pflanzenanalyse überprüft werden. Dieses sollte in der Regel zwischen 10:1 und 15:1 liegen, um den gedüngten Stickstoff optimal auszunutzen und somit die Stickstoffdüngungen ggf. zu reduzieren.

### Richtig Schwefel düngen

Der Bedarf an Schwefel unterscheidet sich zwischen den verschiedenen Kulturarten und steht auch in Abhängigkeit des erwarteten Ertrages (z. B. 40–60 kg S/ha bei einem erwarteten Rapsertag mit Stroh von 40–50 dt/ha – und 30–40 kg S/ha bei einem erwarteten Weizenertag mit Stroh von 80–100 dt/ha). Grundsätzlich erhöht sich der Bedarf mit dem Streckungswachstum. Die Mineralisation von S verläuft deutlich langsamer im Vergleich zur N-Mineralisation. Somit ist eine frühe und kontinuierliche Schwefelgabe wichtig und sollte in der Grunddüngung zu Vegetationsbeginn mitgegeben werden. Auch im Herbst ist eine Schwefeldüngung nicht zu vernachlässigen, da die Winterungen dort zu Beginn erste Biomasse entwickeln. Dabei sollten besonders Raps und früh gesäte Wintergetreide mit Schwefel versorgt werden, um eine Erkrankung der Bestände sowie einen Nitratstau in der kühlen Jahreszeit zu verhindern.

In vielen Düngemitteln wird Schwefel als wasserlösliches Sulfat angeboten. S bindet dabei an verschiedenste Kationen, wie z. B. Kalium als Kaliumsulfat [K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>] in Korn-Kali, Magnesium als Magnesiumsulfat [MgSO<sub>4</sub>] in ESTA Kieserit oder EPSO Top, Stickstoff als Ammonsulfat

[(NH<sub>4</sub>)SO<sub>4</sub>] usw. Damit werden Kombinationen von Nährstoffen ausgebracht, die bei der Düngedarfsermittlung mitangerechnet werden sollten.

### Fazit

Um trotz Restriktionen beim N- und P-Einsatz im Ackerbau erfolgreich zu bleiben, ist eine Anpassung des Düngemanagements wichtig. Schwefel ist an vielen qualitativen Faktoren beteiligt und unterstützt vor allem die Verwertung und Weiterleitung von Stickstoff in der Pflanze. Um akuten Mangel zu identifizieren, ist eine Pflanzenanalyse sinnvoll, um gegebenenfalls eine Blattdüngung durchzuführen und so Ertragsausfälle zu vermeiden. Es werden verschiedene schwefelhaltige Düngemittel angeboten, dabei bleibt aber zu beachten, dass Sulfat-Schwefel wasserlöslich ist und somit von den Pflanzen sowohl aus dem Boden wie auch im Blatt unter verschiedenen (Stress-)Bedingungen sofort aufgenommen werden kann.

Dr. Heike Thiel, K+S KALI GmbH

### IMPRESSUM

GetreideMagazin EXTRA zu  
GetreideMagazin 1/2016  
Herausgeber und Verlag:

**DLG** ■ **AgroFood**  
medien gmbh

Max-Eyth-Weg 1, 64823 Groß-Umstadt  
Telefon: 069 247 88 488  
Telefax: 069 247 88 8488  
E-Mail: info@dlg-agrofoodmedien.de

Fotos: K+S KALI GmbH



Abb. 1: Mangan-Mangel im Winterweizen auf schwerem Boden.

Foto: Hermann Hanhart, Landwirtschaftskammer NRW

# Kleine Schrauben mit großer Wirkung

## Die Verwertung von Stickstoff und Phosphor durch Spurennährstoffe verbessern

**Wenn man die Dauben der Minimumtonne nach Justus von Liebig betrachtet, so stehen als ertragsbegrenzende Faktoren in der Praxis oftmals Wasser, Kalium und Magnesium im Vordergrund. Doch bei hohem Ertragsniveau und unter bestimmten Standortbedingungen geraten auch Spurennährstoffe in das Minimum – dieses hat zur Folge, dass hier die Nährelemente Stickstoff und Phosphor nicht effizient genutzt werden.**

Unter den Spurennährstoffen wird unter unseren vorherrschenden Klima- und Bodenbedingungen ein Mangel an Mangan am häufigsten festgestellt. Allerdings gibt es auch Standorte, wo andere Mikronährstoffe für Hochertragsarten fehlen. Auf humusreichen Standorten und bei niedrigen Bodengehaltsklassen, z. B. spielt Kupfer eine bedeutende Rolle hinsichtlich der Ertragsbildung und Stickstoffausnutzung. Liegen pH-Wert und Phosphorgehalt im oberen Versorgungsbereich, so kann auch eine defizitäre Zinkaufnahme Wuchsdepressionen beim Getreide hervorrufen, wie ge-

rade in 2015 bei Gerste im Münsterland festzustellen war. Nicht zuletzt tritt Bor als Mangelfaktor gehäuft auf, zumal sich hier die Bodenwerte selbst nach CAT-Analyse oft nur im Gehaltsklassenbereich A–C befinden. Unter diesen Bedingungen kann nicht nur zu Blattfrüchten, sondern auch zu Getreide eine Blattdüngung mit Bor hilfreich sein.

### Visuelle Diagnose

Ähnlich wie beim Mangel an Stickstoff kommt es auch im Falle defizitärer Ver-

sorgung mit Mangan, Zink und Bor zuerst zu Blattchlorosen und Wuchsdepressionen. Effizient düngen heißt daher, exakt die Ernährungsstörung anzusprechen und daraufhin die notwendigen Maßnahmen zu fahren. Mehr dazu ist an anderer Stelle dieses Heftes gesagt. Abb. 1 zeigt z. B. einen Mangan-Mangel zu Winterweizen im Münsterland. Angesichts dieses wenig bestockten, teils auch schon mit reduzierten Nebentrieben behafteten und aufgehellten Bestandes ist man schnell geneigt, eine zusätzliche Stickstoff-Gabe zu fahren. Doch in dem Fall ist auf der tonigen Fläche ein Mangel an Mangan zu

konstatieren. Hier gibt es auch in späteren Entwicklungsstadien (EC 32 – EC 51) des Getreides noch deutliche Mehrerträge nach Anwendung manganhaltiger Blattdünger wie EPSO Combitop.

Auch Abb. 2 zeigt „vermeintlichen“ Stickstoffmangel, in diesem Fall zu Zuckerrüben. Wie ein Feldversuch des Rheinischen Rübenbauer-Verbandes in vierfacher Wiederholung aufzeigt, liegt hier jedoch eine Unterversorgung mit Bor vor. Die in Rüben typische Herz- und Trockenfäule stellt sich erst später ein. Auf diesem Löss-Standort mit 80 Bodenpunkten war die Blattbehandlung mit Bor zum Reihenschluss der Rüben mit einem hohen Wirkungsgrad versehen.

Nicht zuletzt zeigt eine ungenügende Nachlieferung von Zink aus dem Boden, z. B. aufgrund hoher pH-Werte, Phosphorgehalte, oder nach Aufkalkungen bei niedrigen Zinkgehalten im Boden, Blattaufhellungen und Kleinwüchsigkeit von Getreide wie auch helle Streifen in den jüngeren Blättern von Mais. Hier gibt es ebenso die Möglichkeit, über eine Blattapplikation mit EPSO Combitop mit wenig monetärem Aufwand Abhilfe zu schaffen.

### Entzüge steigern

Stickstoff ist weiterhin der Motor des Wachstums. Wenn dieser Nährstoff den Pflanzen, z. B. auf schwachen Standorten zugeführt wird, kann es bekanntlich spektakuläre Mehrerträge geben. Ähnliches gilt für Phosphor auf unterversorgten Flächen. Unter solchen Bedingungen können die Mikroelemente keinen Ersatz darstellen. Aber sie können helfen, die Ausnutzung der in Summe aus Bodennachlieferung und aktueller Düngung verfügbaren Nährstoffe zu verbessern. In Veredlungsregionen gibt es neben den ökonomischen auch rechtliche Zwänge und natürlich Umweltaspekte, exakt den Aufwand an Stickstoff und Phosphor zu fahren, der noch das wirtschaftliche Ertragsoptimum verspricht – möglichst aber nicht mehr, um die vorgegebenen Nährstoffsalden einzuhalten. Spurennährstoffe können ebenso wie andere nach Bedarf eingesetzte Betriebsmittel ein gesteigertes Ertragsniveau generieren und somit die Abfuhr von Stickstoff und Phosphor vom Feld erhöhen. Somit bilden sie einen wichtigen Baustein im integrierten Pflanzenbau ab.

Um nun Nährstoffe aus dem Bodenvorrat zu nutzen, ist ein tief reichendes



Abb. 2: Auch Bor-Mangel beginnt bei Zuckerrüben mit einer Blattaufhellung. Feldversuch

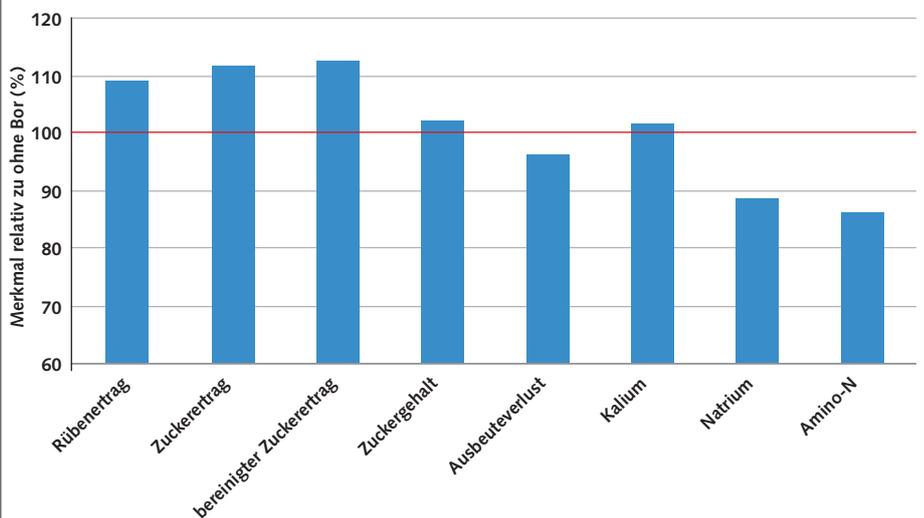
Gangelt des RRV.

Foto: Reinhard Elfrich

Wurzelnetz von Vorteil. Das Wurzelwachstum der Pflanze wird durch Kalium und besonders Magnesium gefördert. Doch auch Mangan wie in Ansätzen auch Bor scheinen hier eine Rolle zu spielen.

Nach Erfahrungen der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen geht Mangan-Mangel besonders im Herbst mit einer schwachen Wurzelbildung einher. Diese weitet sich im Frühjahr auch

Abb. 3: Blattdüngung mit Bor reduziert besonders den Amino-N-Wert der Rübe



Quelle: Steuerwald, Rheinischer Rübenbauer-Verband – Versuche 2000–2004 mit stärkerem Bor-Mangel

Tabelle: Mangan-Mangel hemmt Proteinsynthese der Pflanze

Pflanzenorgan	Variante	Hafer Nitrit [g (kg TM) <sup>-1</sup> ]	Mais Nitrit [g (kg TM) <sup>-1</sup> ]	Bohnen lösl. N [g (kg TM) <sup>-1</sup> ]	Bohnen Protein-N [g (kg TM) <sup>-1</sup> ]
Blätter	+ Mn	1,5	1,9	6,8	52,7
	- Mn	1,8	2,7	11,9	51,2
Wurzeln	+ Mn	8,7	7,8	17,2	27,0
	- Mn	20,6	14,5	21,7	25,6

Quellen: Amberger, Vielemeyer et al., verändert



Abb. 4: EPSO Combitop verbessert N-Effizienz zu Roggen in Lippe am 13.04.2014.

Foto: Reinhard Elfrich

bei wüchsiger Witterung noch aus. Eine Blattdüngung mit Mangan schafft kräftige Wurzeln, die folglich den Boden besser erschließen und somit mehr Stickstoff und Phosphor aufnehmen können.

### Umsatz in der Pflanze fördern

Spurennährstoffe nehmen wichtige Funktionen in der Pflanze bei der Aufnahme und dem Einbau von Stickstoff in Aminosäuren und Proteinen ein. In

Exaktversuchen des Rheinischen Rübenbauer-Verbandes wurde der unerwünschte Alpha-Amino-N-Gehalt der Rüben nach Bor-Blattdüngung auf Mangelflächen um mehr als 10 % reduziert (Abb. 3). Nicht nur für die Qualitätsbezahlung, sondern auch mit Blick auf die Stickstoffverwertung der Kultur ist dieses eine beachtenswerte Größe. Daher wird vermehrt zum Reihenschluss der Rübe und auch in Kombination mit Fungizid-Behandlungen EPSO Microtop als Bor-haltiger Blattdünger eingesetzt, der

aber zusätzlich noch Magnesium, Schwefel und Mangan enthält und auf diese Weise die Stickstoff-Ausnutzung an verschiedenen Stellen im Stoffwechsel der Pflanze verbessern hilft.

Am Beispiel Mangan ist in Abb. 4 für drei Früchte die Auswirkung einer Unterversorgung auf den Stoffwechsel der Pflanze aufgezeigt. Manganmangel führt demnach zu einer Beeinträchtigung der Nitratreduktase und somit zur Hemmung der Nitrat-Reduktion, was eine Anreicherung von Nitrat zur Folge hat. Ähnlich wird auch die Nitritreduktase in ihrer Aktivität behindert, so dass sich in den Pflanzen vermehrt Nitrit anhäuft und nicht zu Aminosäuren verbaut werden kann. Folglich sind bei Manganmangel in Blättern und Wurzeln der Pflanze mehr lösliche N-Verbindungen zu messen, welche jedoch nicht zu Proteinen umgebaut werden können. Entsprechend stellen sich erst nach einer Zufuhr von Mangan höhere Proteinwerte ein. Zu Weizen ist an anderer Stelle z. B. nach Mangan-Zufuhr eine um 0,9 % gesteigerte Konzentration ermittelt worden – eine Zink-Düngung brachte in dem Versuch 1,4 % mehr Protein. Bei über die Varianten konstanten Erträgen bewirkt 1 % mehr Protein einen um 17,5 kg höheren Stickstoff-Entzug je ha, um den folglich die N-Bilanz des Betriebes entlastet würde. Beispielgebend für die Stickstoff-Effizienz mittlerer Böden mag ein Tastversuch zu Grünroggen in einem Biogas-Betrieb im Lipperland sein (Abb. 4). Hier wird deutlich, dass bereits 10 kg ha<sup>-1</sup> EPSO Combitop vitale und dichtere Bestände hervorruft. Die Ausnutzung von Stickstoff wird maßgeblich gesteigert. Ökonomisch wie auch ökologisch hat der Betrieb somit klare Vorteile generiert.

### Fazit

Effizientes Düngen ist als System zu begreifen, in dem neben der Düngerform und der Applikationstechnik eine ausreichende Grunddüngung sowie auch die Versorgung mit Spurennährstoffen integriert sein sollte. Hier sind oftmals schon einige 100 g ha<sup>-1</sup> an Mangan, Bor oder Zink – übers Blatt appliziert – ausreichend, um einen hohen Wirkungsgrad im Hinblick auf eine optimale Nutzung von Stickstoff und Phosphor zu generieren.

Reinhard Elfrich, K+S KALI GmbH

# Optimale Düngewirkung durch hohe Löslichkeit

Die Düngewirkung ist abhängig von der Löslichkeit. Eine hohe Nährstoffverfügbarkeit wird nur bei gut wasserlöslichen Düngern erreicht. Für die effiziente Nutzung von Boden- und Blattdüngern sind daher immer auch die unterschiedlichen Löslichkeiten zu berücksichtigen.

Die Wirksamkeit von Düngemitteln hängt im Wesentlichen von ihrer Wasserlöslichkeit ab. Nur wasserlösliche Nährstoffe sind pflanzenverfügbar. Für eine Blattdüngung sind grundsätzlich schnell und gut lösliche Dünger geeignet. Zu ihnen gehören z. B. Bittersalz, Kaliumchlorid und Kaliumsulfat (EPSO Top, SOLUMOP, HORTISUL). Die darin enthaltenen Nährstoffe sind sofort verfügbar. Bodendünger dagegen sind langsamer löslich und eignen sich daher gut für eine effektive längerfristige Versorgung der Pflanzen.

Bei der Düngerdeklaration von magnesiumhaltigen Düngemitteln sollte man auf die Angabe „wasserlösliches“ Magnesiumoxid (MgO) achten. Diese Bezeichnung fehlt zum Beispiel bei Magnesiumdüngern mit praktisch wasserunlöslichen Magnesiumformen wie Magnesiumcarbonat oder Magnesiumhydroxid.

Kommerzielle Magnesiumdünger wie Kalk, Magnesiumoxid, Magnesiumsulfat etc. sowie synthetisch hergestellte Formen zeigen nicht das gleiche chemische Verhalten und die Aufnahme durch die Pflanze ist sehr unterschiedlich. Hierfür ist das Löseverhalten und damit die Beweglichkeit der Magnesiumionen in der Bodenlösung entscheidend. Kalk als Magnesiumquelle beispielsweise hat eine geringe Löslichkeit und ist im Boden nur langsam verfügbar. Im Falle von gut wasserlöslichen Magnesiumquellen ist allerdings zu berücksichtigen, wie mobil der Nährstoff ist und wie lange er für die Pflanze zugänglich bleibt. Durch Regen oder Bewässerung können frei bewegliche Magnesiumionen in tiefere Bodenschichten wandern. Unter dem Wurzelbereich ausgewaschene Magnesiumionen sind für die Pflanze nicht mehr erreichbar.

Magnesiumsulfat ist wegen seiner hohen Wasserlöslichkeit im Vergleich zu anderen Magnesiumformen höchst effizient (siehe Tabelle). Eine hohe Pflanzen-



Magnesiumsulfat ist wegen seiner hohen Wasserlöslichkeit höchst effizient. Foto: agrarfoto

verfügbarkeit von Magnesium erreicht man zum Beispiel durch den Einsatz von ESTA Kieserit oder Kieserit-haltigen Düngern. ESTA® Kieserit (25 % MgO, 50 % SO<sub>3</sub> = 20 % S) ist voll wasserlöslich. In einem Endvolumen von einem Liter lösen sich bei 20 °C 342 g ESTA Kieserit. Andere Magnesiumformen zeigen eine deutlich geringere Löslichkeit von deutlich unter einem Gramm pro Liter Endvolumen. Die Nährstoffe werden bei einer Kieseritdüngung den Pflanzen vollständig zur Verfügung gestellt. Durch die langsame Lösegeschwindigkeit ist ESTA Kieserit dem Aufnahmebedarf der Pflanzen hervorragend angepasst.

Bei Kaliumdüngern muss der Nährstoff Kalium als „wasserlösliches“ Kaliumoxid (K<sub>2</sub>O) deklariert sein. Allerdings

gibt es auch hier Unterschiede im Löseverhalten. Kaliumchlorid und Kaliumsulfat sind schnell und gut wasserlöslich. Langbeinit, ein Mineral, in dem Kalium- und Magnesiumsulfat enthalten sind, löst sich vergleichsweise deutlich langsamer, hat aber noch eine hohe Löslichkeit. Das Mineral Polyhalit dagegen enthält sowohl gut lösliche (Kalium-, Magnesiumsulfat) als auch schwer lösliche Komponenten (Calciumsulfat = Gips) und weist deshalb ein komplexes Löseverhalten auf. Bei geringem Niederschlag löst sich Polyhalit „inkongruent“ unter Abscheidung von Gips. Dieser bildet eine Hülle, die den weiteren Lösevorgang behindert. Unter diesen Bedingungen ist die Nährstoffabgabe stark eingeschränkt.

Dr. Daphne Jost, K+S KALI GmbH

Tabelle: Löslichkeit magnesiumhaltiger Mineralien in Wasser bei 20 °C

Mineral	Chemische Formel	Löslichkeit g/l Endvolumen	Quelle
ESTA Kieserit	MgSO <sub>4</sub> x H <sub>2</sub> O	342	1)
Dolomit*	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,01	3)
Magnesit*	MgCO <sub>3</sub>	0,017	4)
Magnesiumhydroxid	Mg(OH) <sub>2</sub>	0,009	2)
Magnesiumoxid	MgO	0,006	1)

Quellen: 1. Taschenbuch für Chemiker und Physiker 1949  
2. UEIC 2012 \* berechnet über Löslichkeitsprodukte aus:  
3. Helgeson et al. 1969  
4. Bénézeth et al. 2011

Eine der höchsten Löslichkeiten unter den verschiedenen Magnesiumformen weist Magnesiumsulfat auf. Deshalb ist Kieserit gut pflanzenverfügbar.

# Nährstoffmangelsymptome erkennen

Für eine effiziente Düngung

Aus ökonomischen, ökologischen und auch aus gesetzlichen Gründen sollten die Nährstoffe aus Düngemitteln von den landwirtschaftlichen Kulturen effizient genutzt werden. Um dies zu ermöglichen, gilt das Augenmerk auf den Erhalt der Bodenfruchtbarkeit und eine ausgewogene, bedarfsgerechte Grunddüngung. Um Bedarfsspitzen und den Bedarf an Spurenelementen zu decken, müssen Nährstoffmangelsymptome richtig erkannt werden.



Dem Nährstoffmangel auf der Spur – worauf Sie achten sollten

Ein wichtiger Anhaltspunkt bei der Identifikation von Mangelsymptomen ist, ob eher die jüngeren oder vorwiegend ältere Blätter einer Pflanze betroffen sind (Abb. 1). Denn manche Nährstoffe, wie Kalium oder Magnesium, sind innerhalb der Pflanze besonders mobil. Sie werden bei Bedarf leicht in jüngere Pflanzenteile transportiert, sodass Mangelerscheinungen vor allem an den älteren Blättern zu beobachten sind.

Hingegen macht sich eine Unterversorgung mit Schwefel, Mangan oder Bor zuerst an jungen Blättern bemerkbar. Diese Nährstoffe sind in der Pflanze relativ unbeweglich. Neu gebildete Pflanzenteile müssen ohne sie auskommen und es bilden sich helle Flecken auf den Blättern (Chlorosen) oder das Blattgewebe stirbt ab (Nekrosen).

Wie bereits in den vorangegangenen Beiträgen zu Schwefel und Spurenelementen beschrieben, gibt es Mangelsymptome, die nur schwer voneinander zu unterscheiden sind. Bei der Identifikation von Nährstoffmangelsymptomen leistet das 1 x 1 der Mangelsymptome der K+S KALI GmbH mit zahlreichen Fotos eine wichtige Hilfestellung ([www.kali-gmbh.com/mangelsymptome](http://www.kali-gmbh.com/mangelsymptome)).

Mit der App KALI-TOOLBOX können Sie die Mangelsymptome jetzt auch direkt vor Ort auf dem Feld über Ihr Smartphone oder Tablet identifizieren. Neben vielen aussagekräftigen Bildern liefert die kostenlose App die passenden Nährstoffempfehlungen.

Jede Kultur stellt individuelle Anforderungen an die Versorgung mit Stickstoff, Phosphor, Kalium, Magnesium, Schwefel und Spurenelementen. Sind Getreide, Kartoffel oder Zuckerrübe nicht ausreichend versorgt, treten Mangelerscheinungen auf. Die Folgen sind ein sin-

kendes Ertragsniveau und in vielen Fällen auch eine schlechtere Qualität der Ernteprodukte. Damit wird auch die Effizienz der weiteren Nährstoffe beeinträchtigt, die nicht mehr optimal umgesetzt werden können.

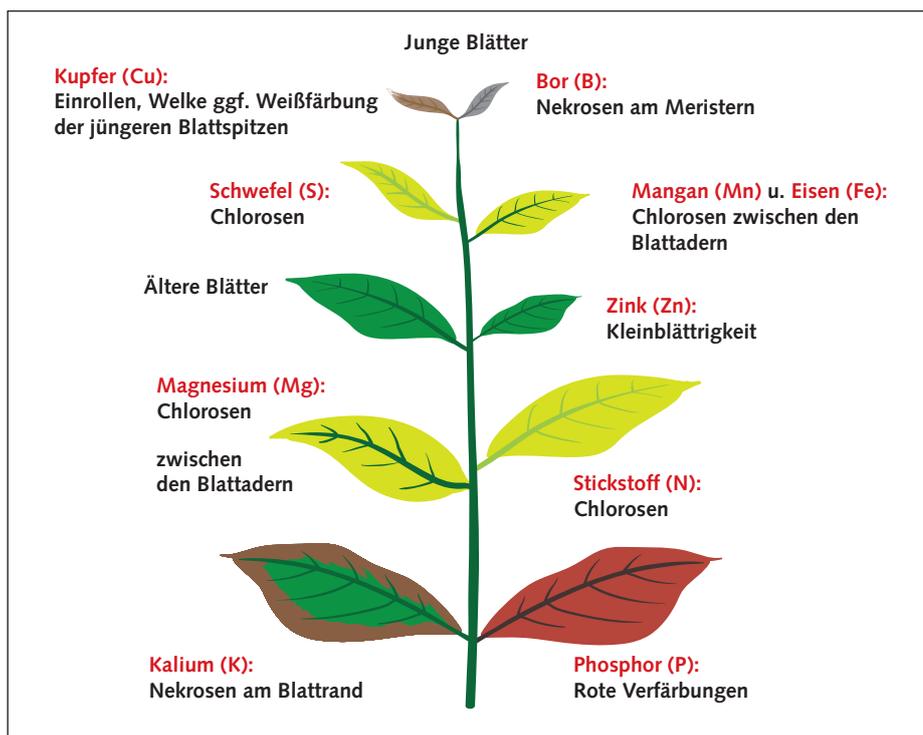


Abb. 1: Charakteristische Nährstoffmangelsymptome und ihr Auftreten innerhalb der Pflanze.

Elisabeth Morgen, K+S KALI GmbH