EFFIZIENTE WASSERNUTZUNG

durch gezielten Einsatz von Kalium, Magnesium und Schwefel

Risikominimierung – für eine effiziente Wassernutzung

Das Klima verändert sich

In den vergangenen Jahren waren immer wieder Wetterextreme zu beobachten. Trockene und heiße Perioden im Frühjahr und Frühsommer haben in Deutschland und anderen europäischen Ländern zugenommen. Das gilt auch für Winterperioden mit extrem niedrigen Temperaturen. In Zukunft wird sich der Klimawandel fortsetzen, Witterungsextreme werden häufiger auftreten.

Dies hat dramatische Auswirkungen auf den Anbau landwirtschaftlicher Kulturen und damit auch auf die Lebensmittel-, Energie- und Rohstofferzeugung. Die Landwirtschaft ist wie kein zweiter Wirtschaftszweig von den klimatischen Verhältnissen abhängig. Wetterextreme setzen die Pflanzen hohem Stress aus, erhöhen das Risiko von Ertragseinbußen und beeinträchtigen damit unmittelbar den wirtschaftlichen Erfolg des landwirtschaftlichen Betriebes.

Global betrachtet verknappen ungünstige Wetterbedingungen wie Trockenheit oder extremer Frost die Agrarproduktion, die zur Ernährungssicherung einer wachsenden Weltbevölkerung dringend benötigt wird. Wissenschaftler arbeiten mit Hochdruck an der Frage, wie sich die Folgen des Klimawandels global, aber auch regional auswirken werden. Zugleich suchen sie nach Lösungsansätzen, wie die Landwirtschaft diesen Herausforderungen begegnen kann.

Risikominimierung gewinnt für die Landwirtschaft an Bedeutung

Wetterextreme stellen für die Landwirtschaft ein ernst zu nehmendes Risiko dar, das den wirtschaftlichen Erfolg gefährden kann. Während Versicherungen gegen Hagelschäden zum Standard gehören, ist ein Versicherungsschutz vor Frost oder Trockenheit in Deutschland noch recht neu und hat sich bisher nicht etabliert. Dennoch gibt es gute Möglichkeiten, die Risiken zu minimieren.

Neben der standortgerechten Wahl von Kulturen und Sorten sowie passenden Anbauverfahren hat die Pflanzenernährung einen maßgeblichen Einfluss auf die Stressresistenz der Pflanzen. Eine ausgewogene Düngung ermöglicht daher auch unter ungünstigen Bedingungen gute Erträge. Mit einer optimalen Nährstoffversorgung können Landwirte die Risiken von Wetterextremen minimieren. Im weltweiten Maßstab leistet die Düngung damit einen entscheidenden Beitrag zur Ernährungssicherung.

Infolge des Klimawandels wird Wasser immer knapper

Wasser ist in vielen Regionen der Welt so knapp, dass es häufig die meist limitierende Ressource der landwirtschaftlichen Produktion ist. Diese Situation wird sich in den nächsten Jahren durch den Klimawandel noch verschärfen. Regionen, in denen heute noch ausreichend Niederschläge fallen, werden in Zukunft zu Risikogebieten für Grundwassermangel (Abb. 1). Wetterereignisse wie z. B. Dürren führen uns immer wieder vor Augen, welche Folgen Trockenheit für die Landwirtschaft und die Menschen haben kann.

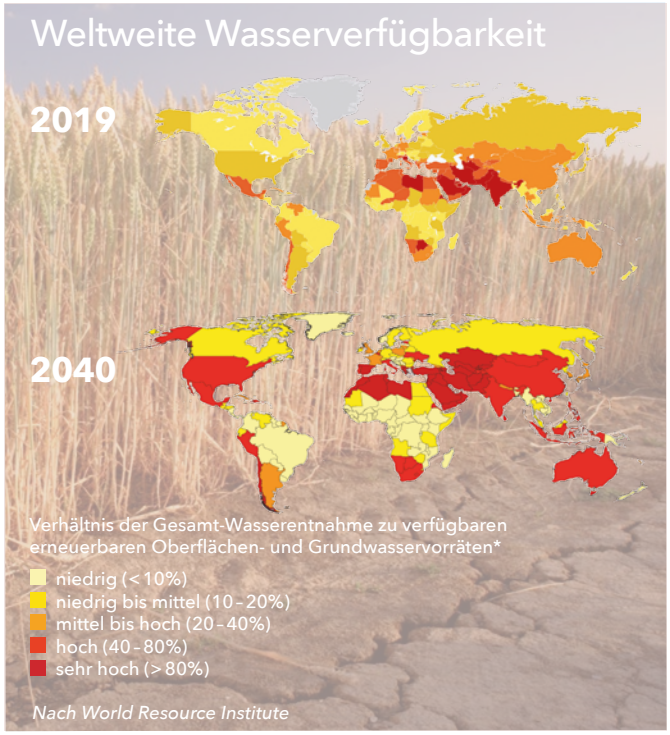


Abb. 1: In den nächsten Jahren wird Grundwasser in vielen Regionen der Welt knapp.

** Wasserentnahme umfasst häusliche Verwendung sowie Industrie, Bewässerung, Viehzucht u.a.*

Veränderung der klimatischen Wasserbilanz in der Zukunft
(Klimatische Wasserbilanz = Niederschlag - Evapotranspiration)

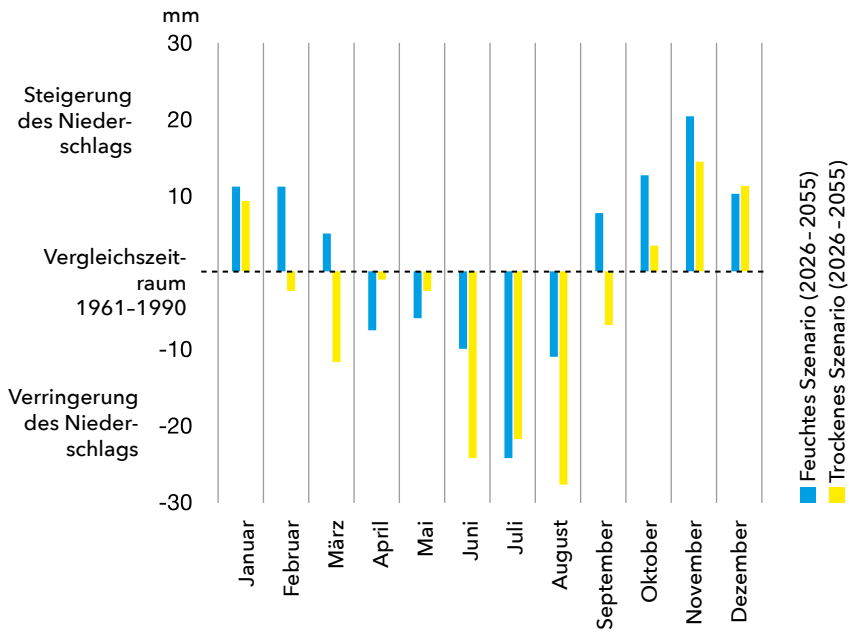


Abb. 2: Selbst bei optimistischen Schätzungen ist davon auszugehen, dass die Wintermonate feuchter und Frühjahr und Sommer trockener werden. Die Grafik zeigt die Veränderung der klimatischen Wasserbilanz (verfügbares Wasser) für den Zeitraum 2026 – 2055 im Vergleich zum Zeitraum 1961–1990 für den Raum Kassel. Die klimatische Wasserbilanz ist die Differenz von Niederschlag und Evapotranspiration (Gesamtverdunstung).

Quelle: Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, 2009

Das IAPN – Forschung für die Praxis

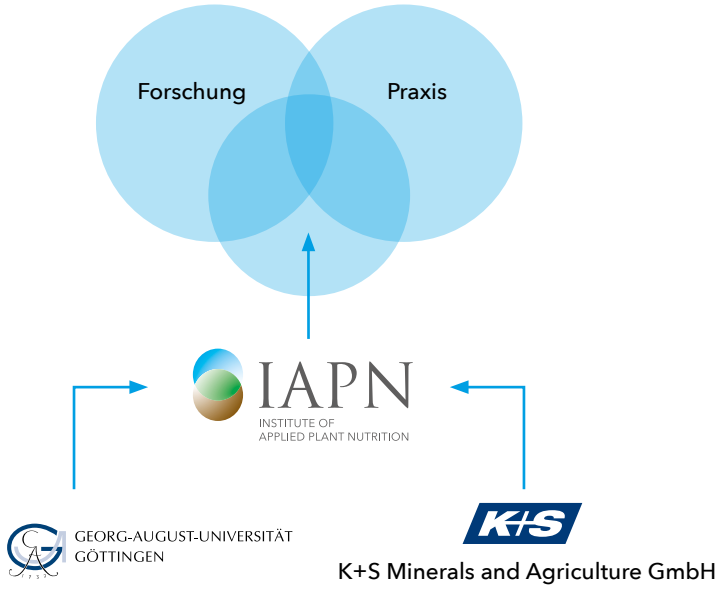


Abb. 3: Das IAPN ist ein Forschungsinstitut an der Georg-August-Universität Göttingen und wird von der K+S Minerals and Agriculture GmbH getragen. Durch das IAPN entsteht ein Dialog zwischen Forschung und Praxis, indem neue Fragestellungen aufgegriffen und neue Erkenntnisse an die Landwirte weitergegeben werden.

Auch in Deutschland ist Wasser eine limitierende Ressource

Prognosen zufolge wird sich die Wasserverfügbarkeit auch in Deutschland verändern. Grundsätzlich steht hier durch das gemäßigte Klima ausreichend Wasser zur Verfügung. Auch in Zukunft werden sich die Niederschlagsmengen im Jahresdurchschnitt voraussichtlich auf einem guten Niveau halten. Jedoch wird sich die Verteilung über das Jahr verändern: Es wird mehr Niederschlag im Winter, aber weniger in den Sommermonaten fallen. Der Deutsche Wetterdienst geht aufgrund von Klimamodellrechnungen davon aus, dass in Deutschland bis zum Jahr 2050 die Niederschläge im Sommer bis zu 40 Prozent geringer ausfallen könnten als im Referenzjahr 1990. Trockenphasen werden damit verstärkt in der Zeit der höchsten Wachstumsraten unserer Kulturpflanzen auftreten, also genau dann, wenn deren Wasserbedarf und die Biomasseproduktion besonders hoch ist (Abb. 2).

Erste Auswirkungen dieser Klimaveränderung mussten viele Lanadwirte in Deutschland bereits in den vergangenen Jahren erfahren. Der Sommer 2018 war extrem trocken. Doch auch in den Jahren zuvor trat mehrmals eine ausgeprägte Vorsommertrockenheit auf, deren Schäden auf vielen Standorten im weiteren Vegetationsverlauf nicht kompensiert werden konnten. Die Folge sind teils drastische Ertragseinbußen.

Forschung der K+S Minerals and Agriculture GmbH und der Universität Göttingen zur Wassernutzungseffizienz

Die zunehmenden Trockenphasen hat die K+S zum Anlass genommen, die Zusammenhänge zwischen der Pflanzenernährung und dem Wasserbedarf der Kulturen näher zu betrachten. In einem umfangreichen Forschungsprojekt in Kooperation mit den Universitäten Gießen, Halle, Kiel und Istanbul wurde nachgewiesen, dass eine Düngung mit Kalium und Magnesium die Wassernutzungseffizienz erhöht.

Im Jahr 2012 hat die K+S ihr Forschungsengagement zur Wassernutzungseffizienz verstärkt. Gemeinsam mit der Georg-August-Universität Göttingen hat das Unternehmen das Institute of Applied Plant Nutrition, IAPN,

gegründet (Abb. 3). Das IAPN erforscht die effiziente Nutzung von Ackerland, Wasser und Pflanzennährstoffen und hat es sich zur Aufgabe gemacht, neue wissenschaftliche Erkenntnisse an die Landwirtschaft weiterzugeben.

Der derzeitige Forschungsschwerpunkt am IAPN liegt auf dem Zusammenhang zwischen Pflanzenernährung und Wassernutzungseffizienz. Aktuelle Forschungsergebnisse helfen, die Wirkung der Nährstoffe noch besser zu verstehen. Die Ergebnisse stellen wir in dieser Broschüre vor. Auf deren Basis werden Düngungsempfehlungen entwickelt, mit denen Landwirte das Risiko von Ertragsausfällen minimieren können.

Was bedeutet Wassernutzungseffizienz?

Die Wassernutzungseffizienz misst die Fähigkeit einer Pflanze, die Ressource Wasser in Biomasse umzusetzen. Sie lässt sich als Menge produzierter Biomasse pro Einheit Wasserverbrauch messen (z. B. Gramm Trockenmasse/Liter Wasser). Das Ziel ist, den Ertrag pro Liter verbrauchtem Wasser zu maximieren.

Trockenstress – was passiert in Boden und Pflanze?

Die Landwirtschaft steht vor der Herausforderung, den Kulturpflanzen im Vegetationsverlauf über trockene Perioden hinwegzuhelfen und dabei das begrenzte Wasser möglichst effizient zu nutzen.

Aber welche Faktoren beeinflussen die Wassernutzungseffizienz? Wie nimmt Trockenheit Einfluss auf die Ertragsbildung? Und wie lässt sich die Wassernutzungseffizienz gezielt durch die Pflanzenernährung beeinflussen?

Um diese Fragen beantworten zu können, müssen zunächst die Auswirkungen von Trockenstress auf Boden und Pflanze betrachtet werden. Sowohl in der Pflanze als auch im Boden verändert Trockenheit eine Reihe von Prozessen.

Der Boden: Wasser- und Nährstofflieferant

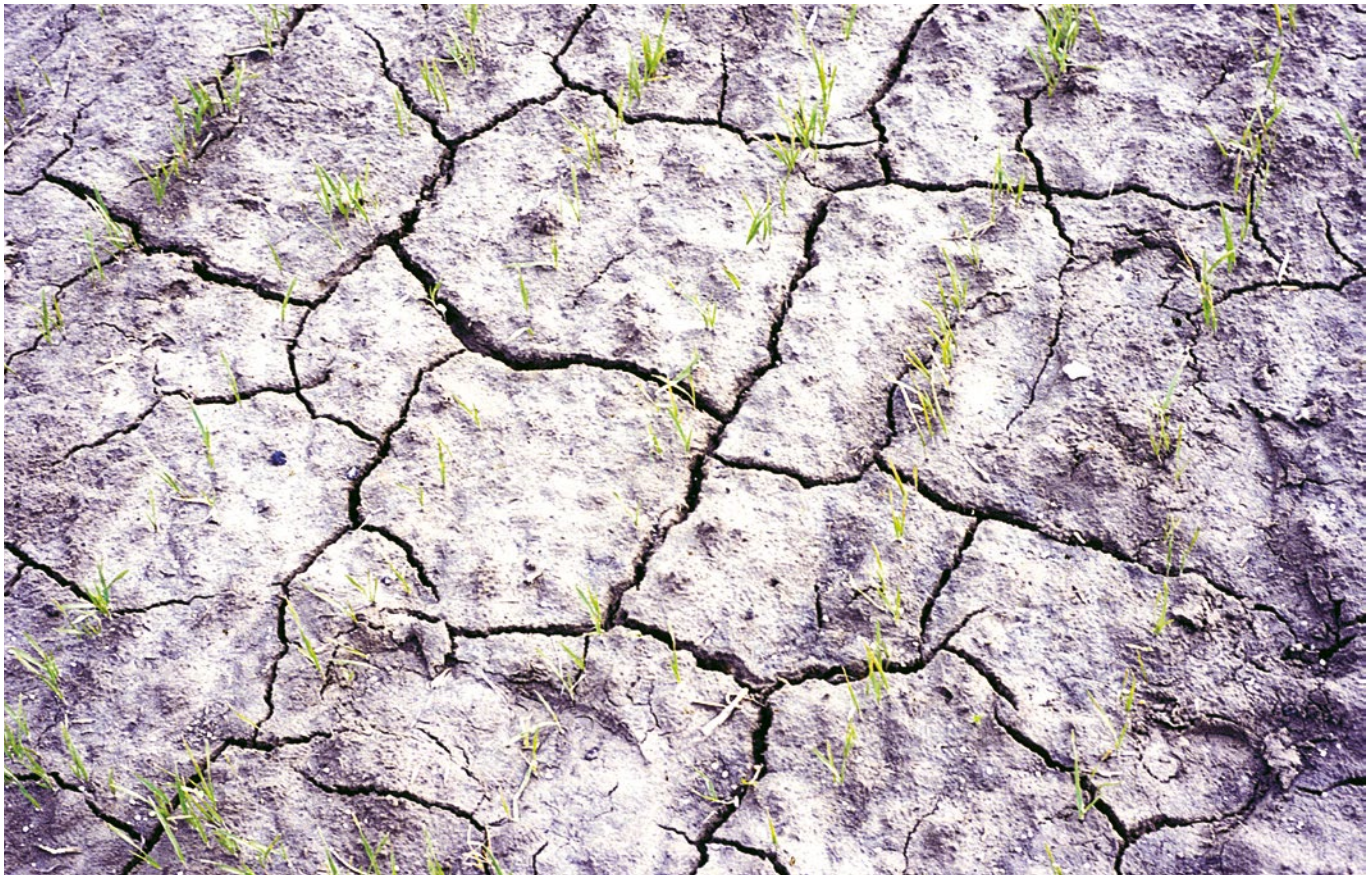
Dem Boden kommt in der landwirtschaftlichen Produktion eine übergeordnete Rolle zu. Neben der Verankerung der Pflanze versorgt er diese mit Wasser und mit Nährstoffen. Bei Trockenheit steht der Pflanze nicht nur weniger Wasser zur Verfügung, sondern auch die Nährstoffaufnahme wird beeinträchtigt. Denn damit eine Pflanze Nährstoffe aufnehmen kann, müssen diese an die Wurzel herantransportiert werden. Dafür ist ein ausreichender Wassergehalt im Boden erforderlich.

Die Pflanze: optimierte Wassernutzung

Pflanzen können auf Trockenstress in einem gewissen Rahmen reagieren. Tatsächlich reguliert eine Pflanze ihren Wasserhaushalt sehr sorgfältig, um das vorhandene Wasser möglichst optimal zu nutzen. Gut an Trockenheit angepasste Pflanzen bilden z. B. eine Wachsschicht (Kutikula) auf den Blättern, um die Wasserverluste über die gesamte Blattfläche zu reduzieren.

Die Aufnahme von CO_2 und die Abgabe von Wasserdampf über das Blatt sind jedoch notwendig, damit die Pflanze effektiv Photosynthese betreiben kann. Die Photosynthese stellt den entscheidenden biologischen Prozess dar, der Lichtenergie mit Hilfe von CO_2 aus der Luft in energiereiche Verbindungen, wie Zucker, überführt. Die Abgabe von Wasserdampf erfolgt durch die Spaltöffnungen (Stomata) an der Unterseite des Blattes. Eine ungestörte Regulation dieser Stomata ist somit für eine hohe Wassernutzungseffizienz besonders wichtig.

Ein weiterer wichtiger Faktor gerade unter Trockenstressbedingungen ist ein gut ausgebildetes Wurzelsystem, das auch bei längeren Perioden ohne Niederschläge eine kontinuierliche Wasseraufnahme aus tieferen Bodenschichten ermöglicht, in denen noch Wasser gespeichert ist.



Trockenstress begegnen – wie Nährstoffe die Pflanze unterstützen

Landwirte haben die Möglichkeit, den Boden und die Pflanze auf ein vermindertes Wasserangebot vorzubereiten und so dem Trockenstress zu begegnen. Neben einer angepassten Sortenwahl und Bodenbearbeitung hat vor allem die Pflanzenernährung einen maßgeblichen Einfluss auf die Nutzung des verfügbaren Wassers. Aktuelle Forschungsergebnisse belegen, dass Kalium und Magnesium der Pflanze dabei helfen, bei Trockenperioden und auch sonst ungünstigen Bedingungen (z. B. bei ausgeprägten Hitzeperioden) noch gute Erträge zu erzielen (Abb. 4).

Kalium und Magnesium verbessern die Trockenstresstoleranz

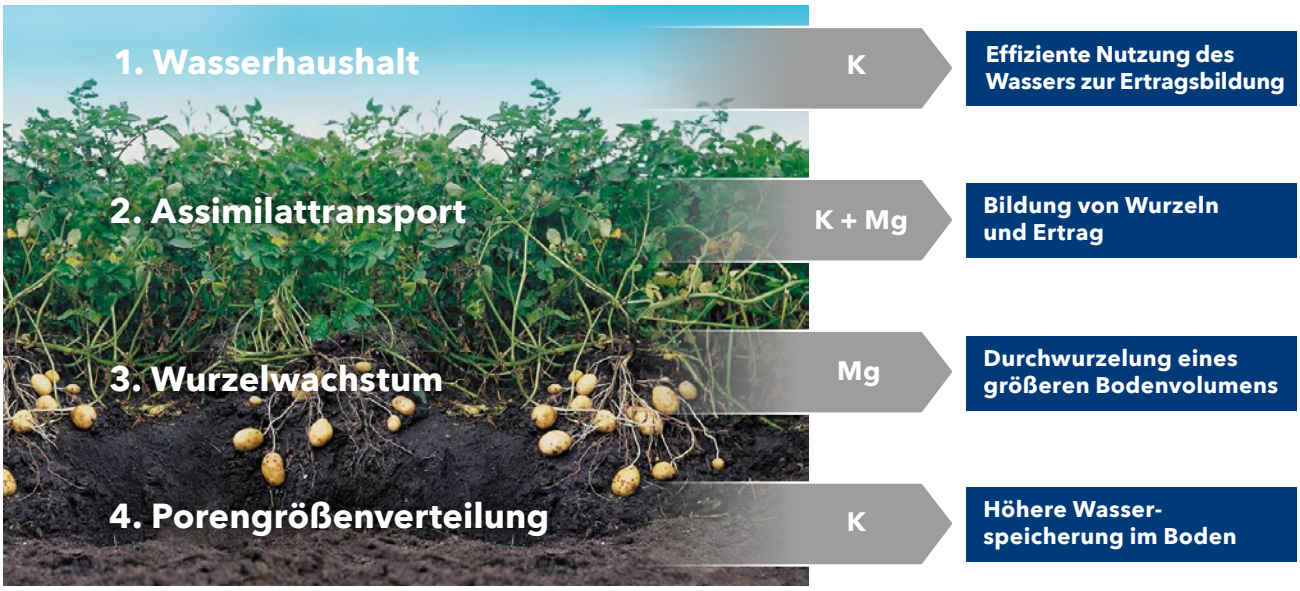


Abb. 4: Kalium und Magnesium verbessern die Trockentoleranz von Kulturpflanzen sowohl über die Pflanze als auch über den Boden.

1. Wasserhaushalt: Effiziente Nutzung des Wassers zur Ertragsbildung

Kalium hat im Stoffwechsel der Pflanzen viele wesentliche Funktionen. Unter anderem wirkt Kalium als ein wichtiges Osmotikum. Es steuert den Wasserhaushalt der Pflanze von der Wasseraufnahme durch die Wurzel bis zur Abgabe durch die Stomata der Blätter (Abb. 5).

Neue Forschungsergebnisse des Institute of Applied Plant Nutrition (IAPN) zeigen, dass Pflanzen die lebenswichtige Funktion ihrer Stomata selbst in Stresssituationen – wie zum Beispiel bei Wasser- und auch Nährstoffmangel – so lang wie möglich aufrecht erhalten*.

Bei einer guten Nährstoffversorgung entfaltet Kalium sein volles osmotisches Potenzial, das weit über die Funktion der Stomata hinaus geht: Der osmotische Druck wird durch Kalium in allen Zellen aufrecht erhalten und die Pflanzen können über den Sog von den Blättern zu den Wurzeln auch bei beginnender Trockenheit noch deutlich mehr und länger Wasser aufnehmen. Das Wasser gelangt in die Stomata und ermöglicht dort, dass die Photosynthese optimal abläuft: Unter Einwirkung von Licht wird Kohlendioxid aufgenommen und Wasserdampf abgegeben, sodass Kohlenhydrate gebildet werden können. Wie die neuen Forschungsergebnisse zeigen, ist die Transpiration deshalb bei guter Kaliumversorgung höher als

Die Rolle von Kalium in der Funktion der Stomata

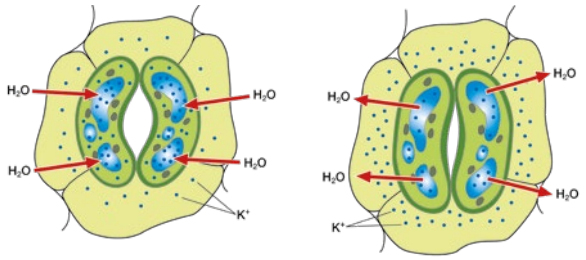


Abb. 5: Kalium hält Transpiration und Photosynthese aufrecht: Das Wasser folgt dem Kalium und führt somit zu hohem Turgor und einer Öffnung der Stomata (links) bzw. zu verringertem Turgor und einem Schließen der Stomata (rechts).

* *Quelle: Tavakol et al. 2018, Plant & Soil/Jákli et al. 2017, Journal of Plant Physiology/Jákli et al. 2016, Journal of Plant Nutrition and Soil Science.*

Abb. 6: Die Kaliumdüngung macht den Unterschied: Während im Vordergrund die Zuckerrüben ohne Kaliumdüngung starke und irreversible Welkesymptome zeigen, stehen die mit Kalium gedüngten Zuckerrüben noch immer gut da.

bei Kaliummangel. Die Pflanze nutzt das wenige vorhandene Wasser effizient zur Biomasse- und Ertragsbildung. So ermöglicht Kalium, dass die Pflanze trotz mäßiger Trockenheit weiter nahezu optimal wachsen kann.

Bei Kaliummangel hingegen hält die Pflanze dem Trockenstress nicht stand und reduziert die Transpiration und damit auch die Photosynthese. Die Folge ist ein verringertes Wachstum, das zu deutlichen Ertragseinbußen führt.

Ebenso ist jetzt bekannt, dass Kalium die Synthese des Reifehormons Abscisinsäure hemmt. Damit verliert der häufig beobachtete Notreifeprozess, wie er unter Stresssituationen auftritt, an Intensität und die Pflanzen bleiben länger grün und vital.

Ein typisches Symptom für Kaliummangel bei gleichzeitiger Trockenheit ist die sogenannte Welketracht (Abb. 6 und 7), die durch den gestörten Wasserhaushalt entsteht.

2. Assimilattransport: Bildung von Wurzeln und Ertrag

Eine effiziente Photosynthese in Verbindung mit einem ungestörten Transport der Photosyntheseprodukte hält auch unter weniger günstigen Wachstumsbedingungen die Bildung von Wurzeln und Ertrag aufrecht.

Die Photosynthese und der anschließende Transport der gebildeten Kohlenhydrate ist eine Abfolge komplexer Prozesse. Deshalb führen Störungen dieser Prozesse schnell zu vermindertem Wachstum und nicht selten auch zu reduzierten Erträgen.

Magnesium hat sowohl in der Photosynthese als auch für den Assimilattransport zentrale Funktionen. Die bekannteste Rolle spielt Magnesium als Zentralatom des Chlorophylls. Damit ist Magnesium essenziell für eine optimale Lichtausbeute durch die Pflanze – eine Voraussetzung für eine hohe Biomasseproduktion. Starker Magnesiummangel führt zu einer Reduktion des Chlorophylls, was durch Blattaufhellungen, sogenannte Chlorosen, sichtbar wird.

Während die Blätter dazu in der Lage sind, Photosynthese zu betreiben und sich so mit Energie zu versorgen, kann die Wurzel dies nicht. Die Wurzel, aber auch andere Pflanzenorgane, die selbst keine Photosynthese betreiben, sind also auf die Belieferung mit Kohlenhydraten aus den Blättern angewiesen. Auch beim Transport von Kohlenhydraten aus der Photosynthese von den Blättern zu den Wachstumsorganen wie Wurzeln oder Ernteorganen spielen die beiden Nährstoffe Kalium und Magnesium wichtige Rollen.

Abb. 7: Welketracht bei Zuckerrüben: Durch Kaliummangel ist der Wasserhaushalt beeinträchtigt und die Zuckerrüben lassen bereits bei mäßiger Trockenheit ihre Blätter hängen.

Die Verteilung der Kohlenhydrate innerhalb der Pflanze erfordert die Beladung der Leitbahnen (Phloem) in den Blättern und den anschließenden zielgerichteten Transport zum Ort des Bedarfs. Bei Magnesiummangel ist zu beobachten, dass sich die Kohlenhydrate in den Blättern anreichern, während die Leitbahnen an Kohlenhydraten verarmen. Die Beladung der Leitbahnen erfolgt mit Hilfe des Enzyms ATPase, das wiederum durch Magnesium aktiviert wird. Dasselbe Phänomen kann auch bei Kaliummangel beobachtet werden, da Kalium ebenfalls am Transport von Kohlenhydraten innerhalb der Pflanze beteiligt ist (Abb. 8).

Reichern sich Kohlenhydrate in den Zellen der Blätter an, so bilden sich dort Sauerstoffradikale. Diese aggressiven Sauerstoffverbindungen schädigen viele Zellbestandteile, wie zum Beispiel die für das Chlorophyll wichtigen Chloroplasten und können schließlich zum Zelltod führen. An den Blättern werden dann Nekrosen als Folge von „Sonnenbrand" sichtbar. Um die negativen Effekte der hohen Konzentration an Sauerstoffradikalen zu mildern, produzieren Pflanzen eine Reihe antioxidativer Enzyme. Diese machen die Radikale unschädlich. Inwiefern dies gelingt, hängt vom Nährstoffstatus der Pflanzen ab. Bei guter Kalium- und Magnesiumversorgung werden nicht nur weniger Sauerstoffradikale gebildet, sondern zugleich die antioxidativen Prozesse angestoßen. So können die negativen Wirkungen gebildeter Sauerstoffradikale abgewendet werden.

3. Wurzelwachstum: Durchwurzelung eines größeren Bodenvolumens

Mit einem gut entwickelten Wurzelnetz kann sich die Pflanze den Boden intensiv erschließen. Sie erhält dadurch verbesserten Zugang zu Wasser und Nährstoffen.

Welche Konsequenzen hat eine gehemmte Verteilung von Kohlenhydraten in der Pflanze? Chlorosen sind ein wichtiges Symptom für Magnesiummangel, das allerdings erst spät und bei fortgeschrittenem Mangel auftritt. Liegt es vor, muss man bereits von irreversiblen Ertragsdepressionen ausgehen. Bevor das Sprosswachstum beeinträchtigt wird, ist schon bei latentem (nicht sichtbarem) Mg-Mangel das Wurzelwachstum gehemmt (Abb. 9).

Zuckerkonzentration bei Pflanzen

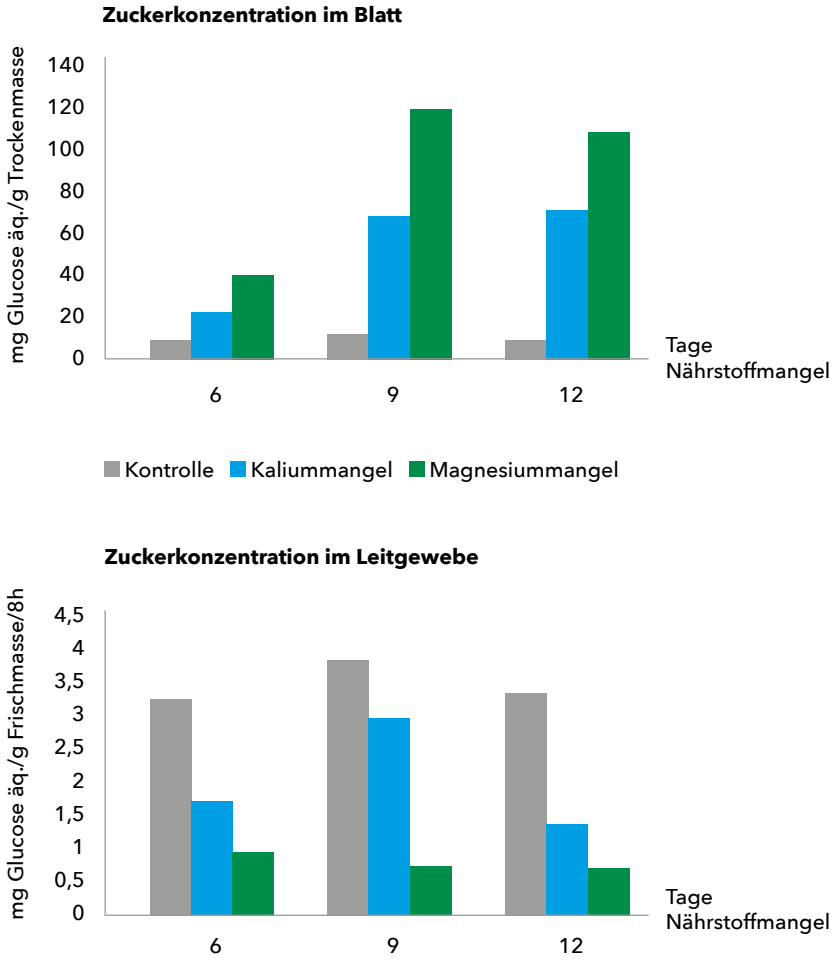


Abb. 8: Kalium und Magnesium sind wichtig für eine effiziente Verteilung von Kohlenhydraten in der Pflanze. Ist einer der beiden Nährstoffe im Mangel, ist die Verteilung gestört. Die Zuckerkonzentration in den Blättern steigt an, im Leitgewebe ist nicht mehr genug Zucker vorhanden. Das hat Konsequenzen für das Pflanzenwachstum und die Ertragsbildung. (Verändert nach Cakmak et al., 1994)

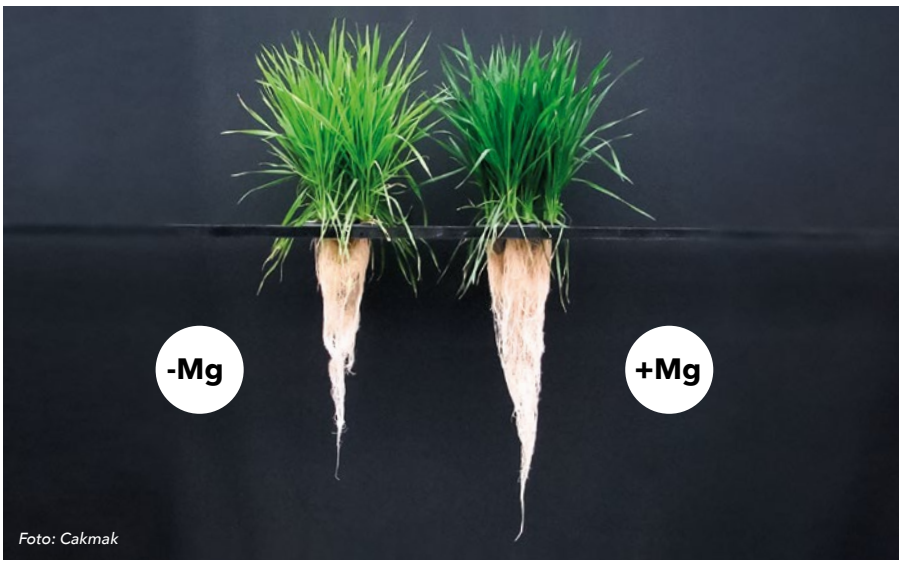


Abb. 9: Das Wurzelwachstum ist noch deutlich vor dem Sprosswachstum durch Magnesiummangel betroffen. Reduziertes Wurzelwachstum lässt sich auf dem Feld jedoch nur schwer diagnostizieren.

Dies erklärt sich durch die schlechtere Versorgung der Wurzeln mit Kohlenhydraten aus den Blättern. Ein gesundes Wurzelwachstum ist jedoch wichtig für den Zugang zu Wasser und Nährstoffen – insbesondere in Phasen ungünstiger Wachstumsbedingungen.

4. Porengrößenverteilung: Höhere Wasserspeicherung im Boden

Die Wasserspeicherfähigkeit eines Bodens wird im Wesentlichen durch die Poren im Boden bestimmt. Für das Pflanzenwachstum entscheidend ist die Porengrößenverteilung des Bodens: Zu kleine Bodenporen binden das Bodenwasser so fest, dass es von den Pflanzen nicht aufgenommen werden kann. Sind die Poren jedoch zu groß, versickert das Wasser in tiefere Bodenschichten, wo es das Wurzelnetz der Pflanzen nicht mehr erreichen kann. Wichtig für den pflanzenverfügbaren Anteil des Bodenwassers sind die Mittelporen. Eine sehr wichtige Kenngröße eines Standortes bezüglich der Wasserverfügbarkeit ist die nutzbare Feldkapazität (nFK), die vor allem durch den Anteil an Mittelporen bestimmt wird. Neuere Forschungsergebnisse belegen, dass eine gute Kali-

Was bedeutet nutzbare Feldkapazität?

Die nutzbare Feldkapazität gibt die Wassermenge an, die der Boden pflanzenverfügbar speichern kann.

Nutzbare Feldkapazität auf verschiedenen Versuchsstandorten

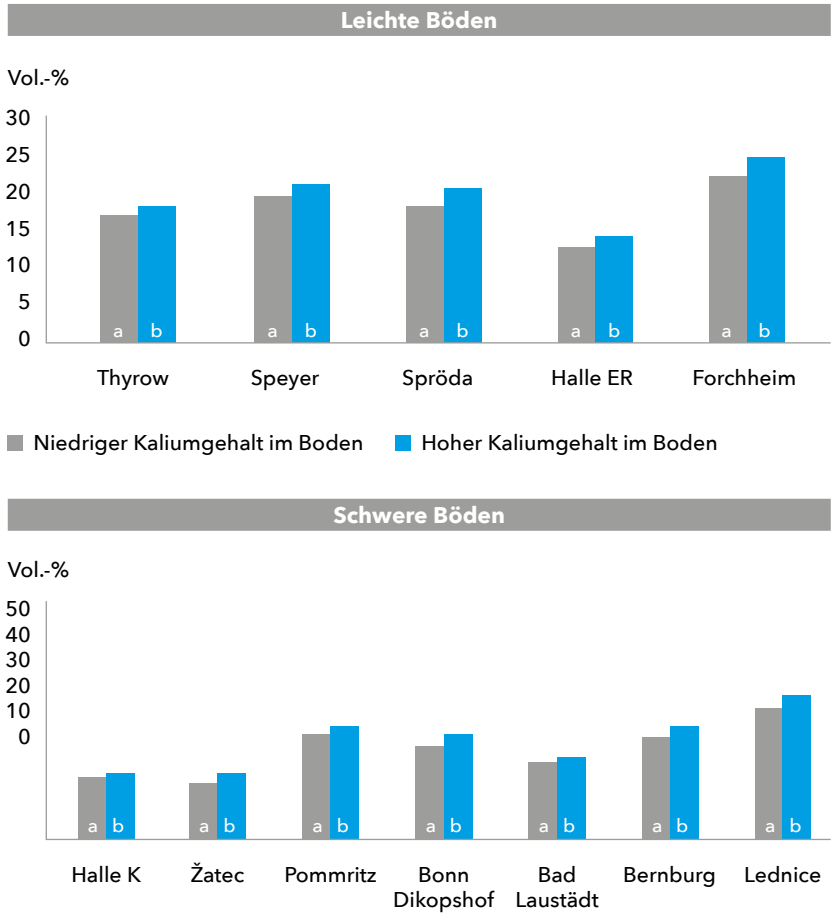


Abb. 10: Kalium steigert die Wasserverfügbarkeit im Boden für die Pflanze. Dies trifft sowohl auf Standorte mit leichten Böden (obere Grafik) als auch auf Standorten mit schweren Böden (untere Grafik) zu. Unterschiedliche Buchstaben beschreiben statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Kaliumgehaltsklassen des jeweiligen Versuchsstandortes.

Quelle: Forschungsprojekt der K+S Minerals and Agriculture GmbH und der Universität Halle, veröffentlicht in Damm et al., 2012.

umversorgung von Böden die nutzbare Feldkapazität erhöht. Dieser Effekt ist auf leichten Standorten mit grundsätzlich eingeschränktem Wasserspeichervermögen sogar noch ausgeprägter als auf schwereren Standorten (Abb. 10).

Die Versuchsergebnisse weisen darauf hin, dass die Veränderungen in der Wasserspeicherung mit veränderten Stabilitätseigenschaften der Böden einhergehen. In gut mit Kalium versorgten und austrocknenden Böden fallen Feintonminerale aus und verkitten die Bodenaggregate, sie bilden „Tonmineralbrücken" (Abb. 11).

Vier Wege – eine Wirkung: mit Kalium und Magnesium Trockenstress begegnen

Da Kalium und Magnesium den Wasserhaushalt, den Assimilattransport, das Wurzelwachstum und das Wasserpeichervermögen des Bodens verbessern, wirkt eine gute Versorgung mit diesen beiden Nährstoffen wie eine Versicherung gegen Ertragsausfälle bei Trockenstress.

Mittelporenbildung durch „Tonmineralbrücken"

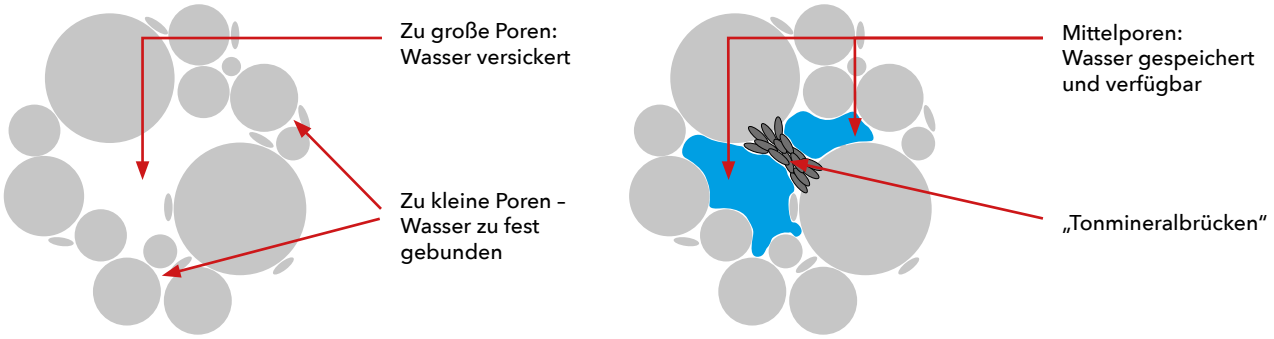


Abb. 11: Eine ausreichende Kaliumversorgung erhöht das Wasserspeichervermögen des Bodens durch die Bildung von Mittelporen. Dies geschieht über „Tonmineralbrücken".

Schwefel – das Plus bei Trockenstress

Neben Kalium und Magnesium spielt auch Schwefel eine wichtige Rolle in der Wassernutzungseffizienz. Schwefel ist an der Biosynthese von Aminosäuren und sekundären Pflanzenstoffen beteiligt und verbessert so die Qualität der Ernteprodukte.

Darüber hinaus ist Schwefel Bestandteil des Stoffwechselproduktes Glutathion. Dieses wirkt als Antioxidant und macht bei Trockenstress entstehende Sauerstoffradikale unschädlich, um Folgen für die Zellen zu verhindern. Dies hilft den Pflanzen, bei Trockenstress Nekrosen an den Blättern zu verhindern und zugleich in Alarmstellung zu bleiben, um auf weitere Stresssignale zu reagieren.

Eine bedarfsgerechte Versorgung mit Schwefel ermöglicht es also der Pflanze, ihre physiologischen Prozesse auch bei Trockenstress optimal aufrecht zu erhalten und Ertragsverluste zu vermeiden oder zumindest zu minimieren.

Mehr Ertrag pro Liter Wasser – Kalium, Magnesium und Schwefel steigern die Wassernutzungseffizienz

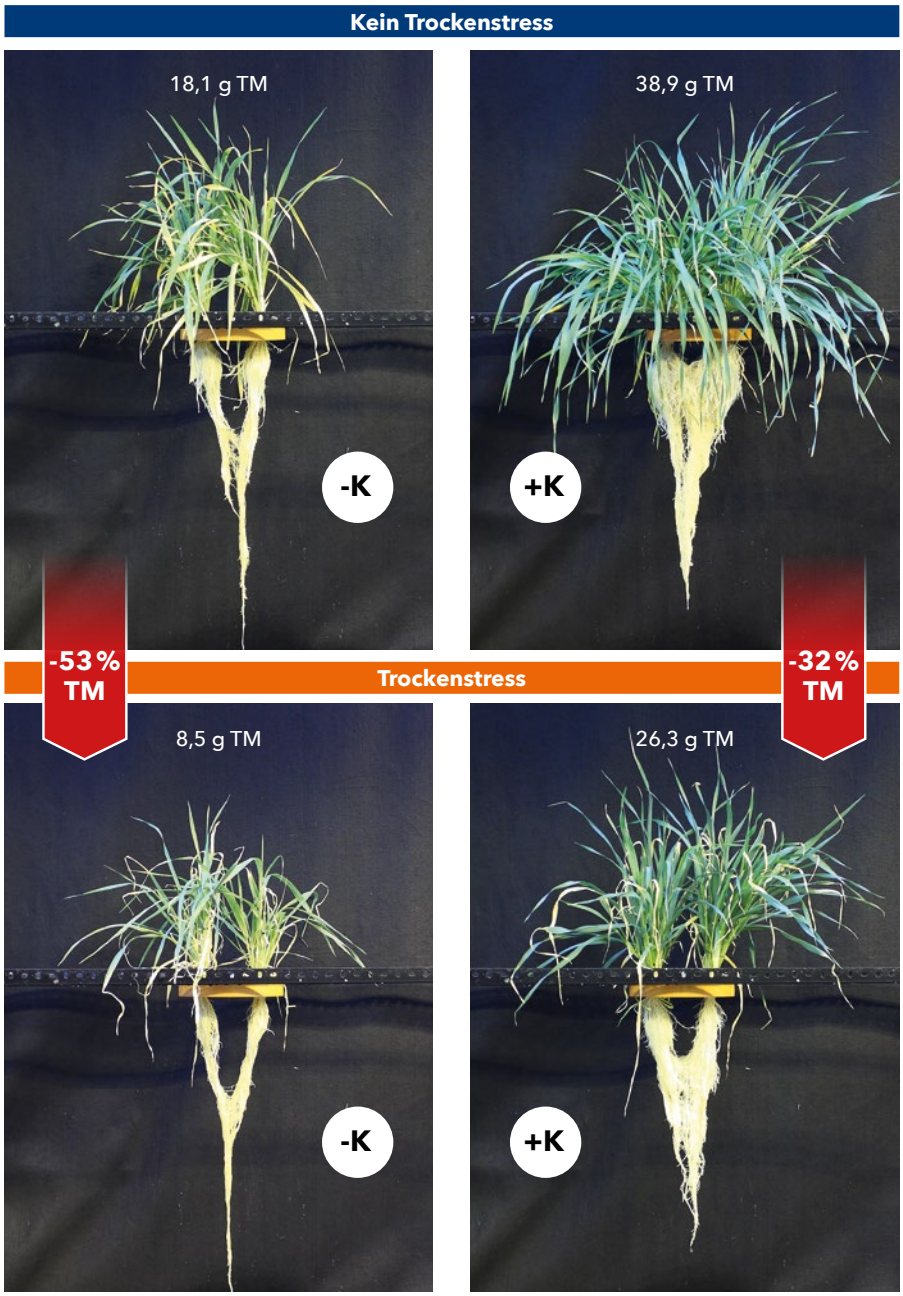


Abb. 12: Stresstest mit Gerste: Die Pflanzen wurden im Topfversuch Trockenstress ausgesetzt, um die Auswirkungen genau messen zu können.
Quelle: Tavakol, IAPN

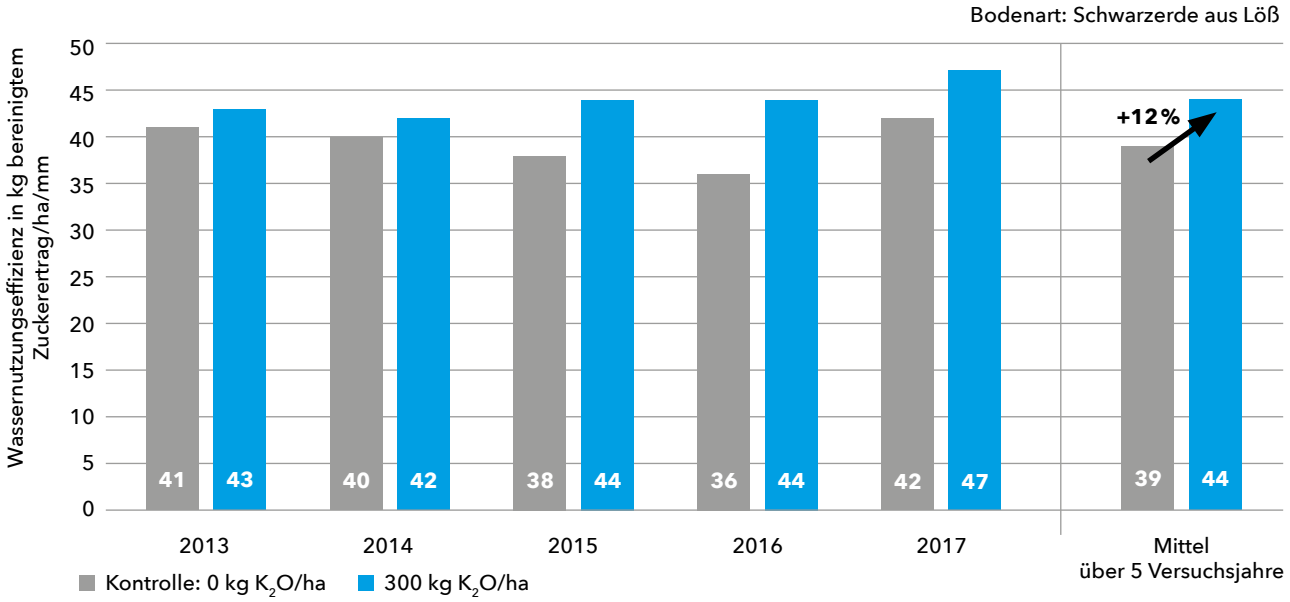
Durch die positive Wirkung von Kalium und Magnesium gegen Trockenstress können auch bei reduziertem Wasserangebot gute Erträge erzielt werden.

Am Institute of Applied Plant Nutrition (IAPN) wurde in Gefäßversuchen im Gewächshaus die Wassernutzungseffizienz bei unterschiedlicher Nährstoffversorgung ermittelt.

Abb. 12 zeigt einen solchen Stresstest mit Gerste. Dabei ergab Kaliummangel auch bei Normalbedingungen (ohne Trockenstress) schon deutliche Einbußen in der Trockenmasse-Produktion (TM). Werden diese Pflanzen zusätzlich Trockenstress ausgesetzt, reduziert sich die TM-Produktion um weitere 53 %. Gut mit Kalium versorgte Pflanzen zeigen dagegen nur einen Rückgang um 32 %. Die gesamte Trockenmasse-Produktion der mit Kalium gedüngten Varianten war unter Trockenstress zum Zeitpunkt der Probennahme im Jugendstadium dreimal so hoch wie in der ungedüngten. Dies wirkt sich in der Folge auch auf den Kornertrag aus, da weniger Blattfläche zur Photosynthese zur Verfügung steht.

Ähnliche Beobachtungen wurden auch mit Zuckerrüben in einem Feldversuch der Hochschule Anhalt gemacht (Abb. 13). Verglichen wurde eine Kontrolle ohne Kalium-Gabe und eine Düngungsvariante mit 300 kg K_2O/ha. Dabei zeigte sich, dass der bereinigte Zuckerertrag je verbrauchter Wassermenge (dt/ha/mm) in der mit Kalium gedüngten Variante in allen Versuchsjahren am höchsten war. Einen besonders großen Effekt hatte die Kaliumgabe im Jahr 2016, das von starker Trockenheit geprägt war. Im Mittel der fünf Versuchsjahre steigerte die Kaliumdüngung die Wassernutzungseffizienz um 12 %.

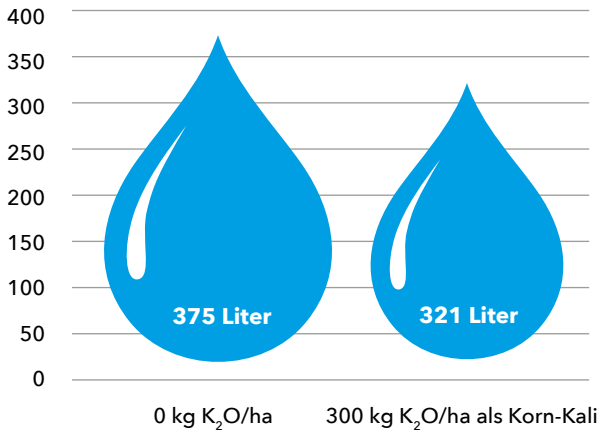
Kalium steigert die Wassernutzungseffizienz von Zuckerrüben (Abb. 13)
Feldversuch in Bernburg, Sachsen-Anhalt



Quelle: Hochschule Anhalt

Besonders anschaulich wird der Effekt der Nährstoffversorgung bezogen auf das Ernteprodukt, in diesem Fall den Rübenzucker. Im Feldversuch Bernburg (Sachsen-Anhalt) sinkt die Menge an benötigtem Wasser für die Produktion von 1 kg Zucker durch die Düngung mit Korn-Kali (Kalium- und Magnesiumdünger) im Vergleich zur Versuchsvariante ohne Kaliumdüngung um 14 % auf 321 Liter (Abb. 14). Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass dank Kalium und Magnesium auch unter trockenen Bedingungen noch gute Erträge erzielt werden können.

Wasserverbrauch (l) für die Produktion von 1 kg Rüben-Weißzucker ohne und mit Düngung von Korn-Kali® (Abb. 14)



Quelle: K+S Minerals and Agriculture GmbH, Bernburg 2009

Risikominimierung – für stabile Erträge

Auswirkungen von Trockenstress auf die Ertragssicherheit

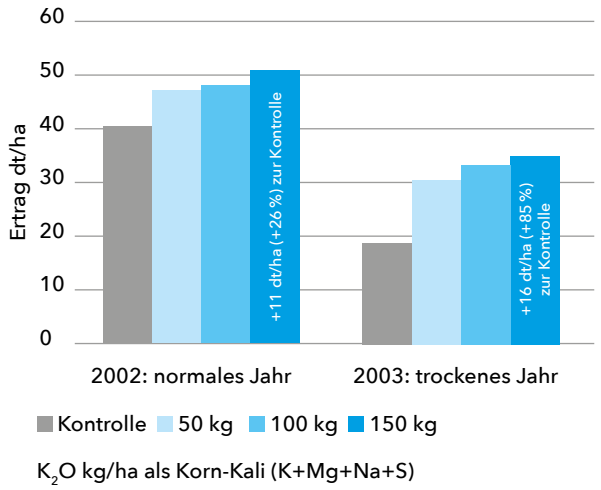
Kalium und Magnesium sind essenziell für Wachstum und Ertragsbildung – zu jeder Zeit und auch bei Trockenheit. Auch unter optimalen Wachstumsbedingungen zahlt sich die Kalium- und Magnesiumdüngung aus. In Jahren mit Trockenereignissen ist die Düngung aber besonders wirksam: Die Pflanze steht unter Stress und profitiert daher umso mehr von den Eigenschaften der Nährstoffe.

Feldversuche belegen, dass der Ertragszuwachs einer Kalium- und Magnesiumdüngung gegenüber der ungedüngten Kontrolle in trockenen Jahren besonders hoch ist (Abb. 15).

Auch in Langzeitversuchen wird deutlich, wie groß die Wirkung der Kalium- und Magnesiumdüngung insbesondere in trockenen Jahren ist. Frühjahrs- oder Sommertrockenheit führen im Feldversuch der Kontrollvariante ohne Kalium- und Magnesiumdüngung in vielen Versuchsjahren zu Ertragseinbußen. Wird dieser Ertrag = 100 gesetzt, zeigt sich das Ertragsplus der Düngungsvariante (Abb. 16).

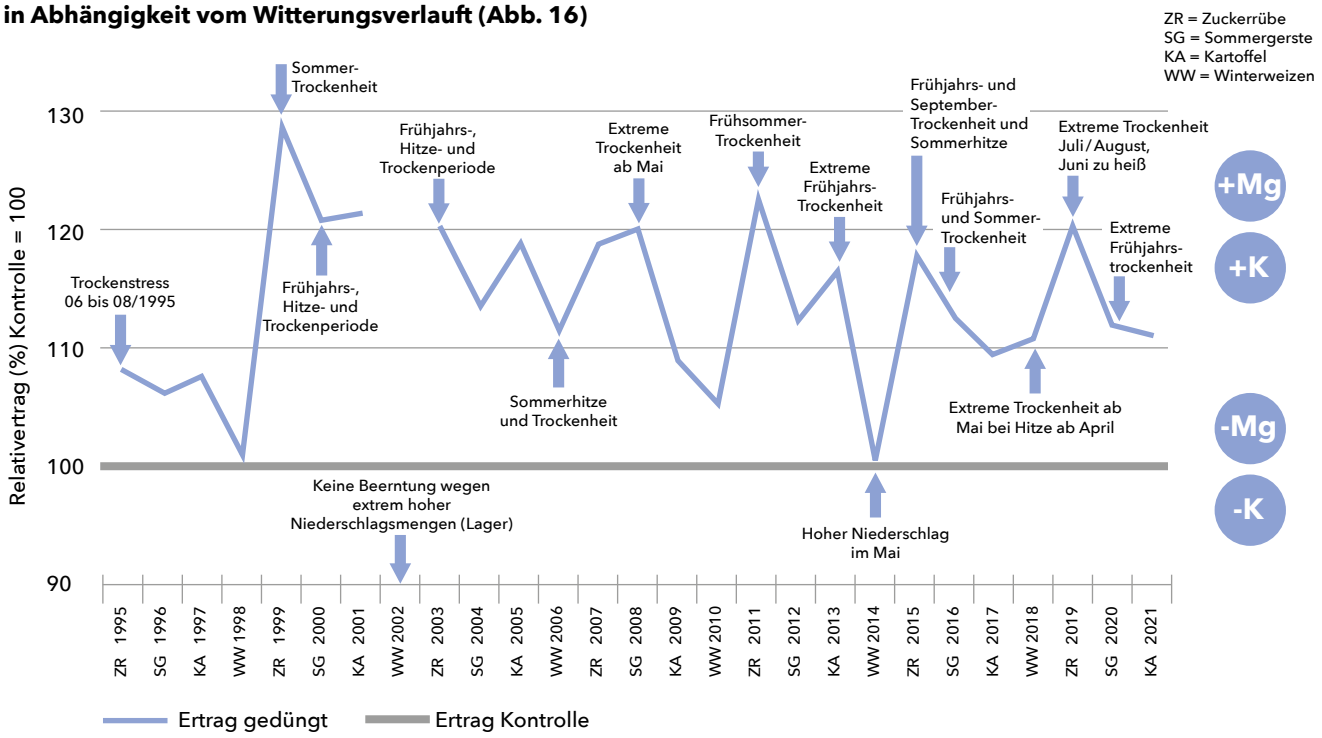
Durch die regelmäßige, bedarfsgerechte Düngung sinkt das Risiko, dass ungünstige Wetterverhältnisse vermeidbare Ertragseinbußen verursachen. Eine ausgewogene Kalium- und Magnesiumdüngung minimiert also das Risiko von Ertragsausfällen.

Ertragszuwachs bei Sommergerste durch Kalium- und Magnesiumdüngung in Form von Korn-Kali®. In trockenen Jahren ist die Düngung besonders wirksam. (Abb. 15)



Quelle: Feldversuch der K+S Minerals and Agriculture GmbH, Langwedel, Niedersachsen

Relativerträge durch K- und Mg-Düngung im Versuch Cunnersdorf in Abhängigkeit vom Witterungsverlauft (Abb. 16)



In Jahren mit längeren Trockenphasen ist der durch die Kalium- und Magnesiumdüngung erzielte Mehrertrag besonders hoch.

Quelle: Feldversuch der K+S Minerals and Agriculture GmbH, Cunnersdorf, Sachsen

Wassernutzungseffizienz im Feldversuch messen – wie geht das?

Die Forschung zur Wassernutzungseffizienz stellt hohe Anforderungen an den Versuchsaufbau – insbesondere bei Feldversuchen. Gesucht ist der Ertrag pro mm Wasserverbrauch durch die Pflanzen pro Hektar, jeweils in Versuchsparzellen mit unterschiedlicher Düngung.

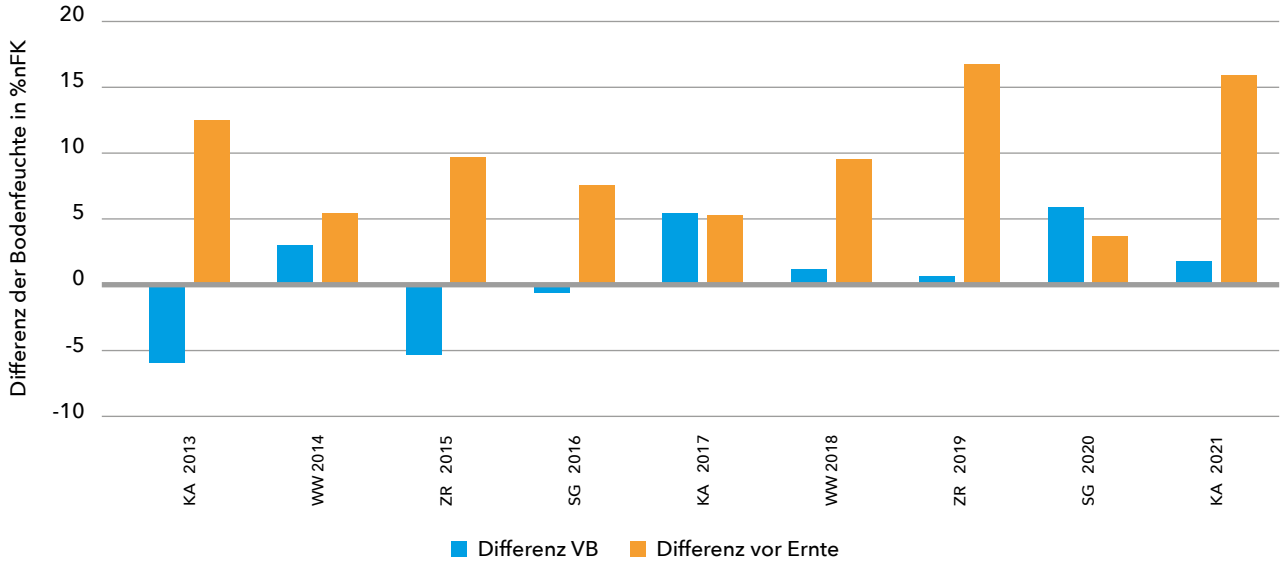
Die Hochschule Anhalt ermittelt auf dem Versuchsfeld in Bernburg den Wasserverbrauch pro Hektar mit folgender Methode: Bodenfeuchtesonden werden in der Tiefe von 10, 20, 40 und 70 cm im Boden platziert. In regelmäßigen Messungen wird der Wassergehalt des Bodens ermittelt. Der Wasserverbrauch wird aus den Veränderungen des Bodenwassergehaltes und den im jeweiligen Zeitraum gefallenen Niederschlägen berechnet. Die Wassernutzungseffizienz ergibt sich schließlich aus den Erträgen (Mittel aus vier Wiederholungen) sowie dem Wasserverbrauch über die Vegetationszeit.

Noch exakter als eine Messung der Bodenfeuchte mittels Sonden ist eine Bestimmung der Bodenfeuchte mittels Bohrstockbeprobung. Im Langzeitversuch Cunnersdorf (vgl. Abb. 16) erfolgt durch den Deutschen Wetterdienst seit 2013 eine wöchentliche Beprobung während der gesamten Wachstumsperiode bis kurz nach der Ernte, alle 10 cm bis 60 cm Bodentiefe. Es zeigt sich, dass bei einer Kaliumdüngung durch die Aufrechterhaltung der Photosynthese und der Umwandlung in Biomasse und Ertrag dem Boden mehr Wasser entzogen wird als in der ungedüngten Kontrolle (Abb. 17). Die Bodenfeuchtemessung zeigt aber auch, dass der Bodenwasservorrat über Winter aufgefüllt wird und wieder das annähernd gleiche Wasserniveau aufweist, so dass kein Nachteil für die Folgefrucht besteht.

Versuchsaufbau zur Ermittlung der Wassernutzungseffizienz: Bodenfeuchtesensoren werden in verschiedenen Bodentiefen platziert.

Differenz der Bodenfeuchte zu Vegetationsbeginn (VB) und vor der Ernte zwischen der nicht mit Kalium gedüngten Variante und der gedüngten Variante in % nFK* (Abb. 17)

ZR = Zuckerrübe
SG = Sommergerste
KA = Kartoffel
WW = Winterweizen



Feldversuch am Standort Cunnersdorf, Sachsen von 2013 bis 2021

Quelle: Falk Böttcher, Deutscher Wetterdienst

**Die nutzbare Feldkapazität gibt die Wassermenge an, die der Boden pflanzenverfügbar speichern kann.*

Weitere Stressfaktoren:
Hitze und hohe Sonneneinstrahlung

Im Frühjahr und Sommer ist Trockenheit ein wesentlicher Stressfaktor, dem die landwirtschaftlichen Kulturen ausgesetzt sind. Häufig geht Trockenstress einher mit hohen Temperaturen und einer starken Sonneneinstrahlung. Auch dies sind Stressfaktoren, die eine Herausforderung für den optimalen Ablauf physiologischer Prozesse in der Pflanze darstellen.

Die Auswirkungen von Hitzestress und hoher Sonneneinstrahlung auf das Pflanzenwachstum und den Ertrag hängen vom Nährstoffstatus der Kulturen ab. Bei optimaler Nährstoffversorgung können Pflanzen auch diese Stressfaktoren bestmöglich abfedern und Ertragseinbußen minimieren.

Magnesium schützt Pflanzen vor Sonnenbrand

Auch Pflanzen bekommen Sonnenbrand, wenn sie einer sehr hohen Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind. Hier hat Magnesium eine schützende Wirkung.

Im Feld zeigt sich bereits latenter Magnesiummangel unter diesen Bedingungen sehr deutlich. Blätter, die zum Beispiel am Feldrand zur Sonne exponiert sind, prägen die typischen Mangelsymptome stark aus, während vom Bestand beschattete Blätter noch keine Symptome zeigen.

Wissenschaftliche Experimente, bei denen einzelne Pflanzenteile beschattet und andere einer hohen Strahlung ausgesetzt wurden, belegen diesen Effekt. Hier reagierten Magnesiummangelpflanzen empfindlicher auf die Sonneneinstrahlung als gut mit Magnesium versorgte Pflanzen (Abb. 18 und 19).

Was ist der Grund für dieses Phänomen? Pflanzen sind den ganzen Tag über dem Licht ausgesetzt und benötigen dieses als Grundlage der Photosynthese. In gut mit Magnesium versorgten Blättern wird diese Strahlung effizient in Biomasse umgesetzt. Doch bei Magnesiummangel ist dieser komplexe biochemische Ablauf gestört. Nicht „verbrauchte" Elektronen der Photosynthese verbleiben in den Zellen und in Folge entstehen Sauerstoffradikale. Diese aggressiven Sauerstoffverbindungen schädigen die Zellen und führen schließlich zu Nekrosen. Solche Radikale werden in Mangelpflanzen bereits bei geringer Sonneneinstrahlung gebildet, entfalten ihre Wirkung jedoch erst unter starker Sonneneinstrahlung. Daher gilt auch, dass starke Sonneneinstrahlung latenten Mangel sichtbar macht.

Doch bevor dies eintritt, ist bei Magnesiummangel auch der Abtransport gebildeter Kohlenhydrate aus der Photsynthese gehemmt. Diese reichern sich in den Blättern an, was auch die Bildung freier Radikale begünstigt. Dies hat verheerende Folgen für das Pflanzenwachstum. Typische Symptome von Lichtstress bei Magnesiummangelpflanzen sind Chlorosen bis hin zu Nekrosen und dem Abwerfen von Blättern.

Die Lichtschäden sind umso größer, je intensiver die Sonneneinstrahlung und je geringer der Magnesiumgehalt in den Blättern ist. Eine bedarfsgerechte Magnesiumversorgung beugt diesen Schäden vor.

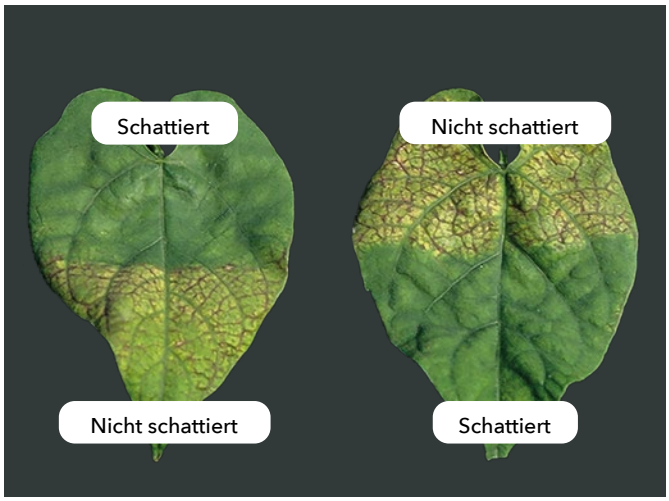


Abb. 18: Magnesiummangel macht Blätter lichtempfindlich. Im schattierten Bereich werden noch keine Mg-Mangelsymptome sichtbar. Die dem Licht ausgesetzten Blattbereiche sind bereits stark betroffen.

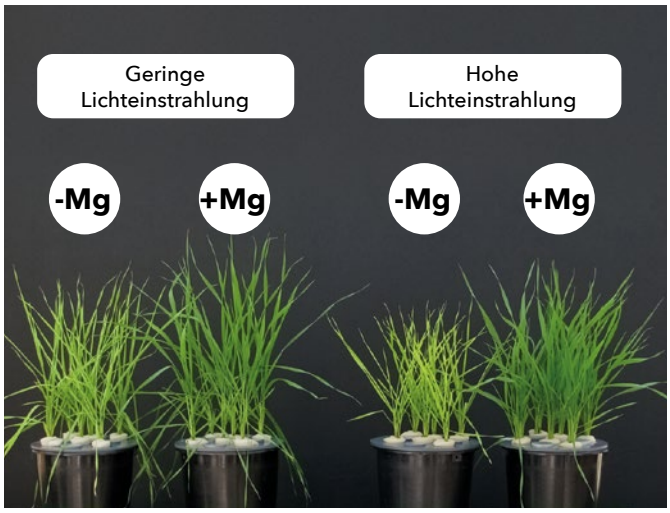


Abb. 19: Bei geringem Lichtstress (links) wird der Magnesiummangel durch eine Aufhellung der Weizenpflanze und ein leicht verzögertes Wachstum gerade so sichtbar. Bei der hohen Lichteinstrahlung bleibt die Mangelpflanze deutlich in ihrer Entwicklung zurück.
Quelle: Mengutay et al. 2014

Magnesium schützt Pflanzen vor Hitzestress

Pflanzen, die unter Magnesiummangel leiden, reagieren deutlich empfindlicher auf hohe Temperaturen als gut mit Magnesium versorgte Pflanzen. Im Mangelzustand kommt es unter hohen Temperaturen zu einer Beeinträchtigung des Wachstums der gesamten Pflanze. Dabei verringert sich zum einen das Sprosswachstum, zum anderen wird das Wurzelwachstum stark gehemmt. Auch werden schneller Mangelsymptome wie Nekrosen zwischen den Blattadern sichtbar. Folglich sinkt die Photosyntheseleistung der betroffenen Blätter und aufgrund des verringerten Wurzelwachstums ist die Nährstoff- und Wasseraufnahme eingeschränkt. Die Folge sind letztlich Einbußen beim Ertrag.

Durch die höheren Temperaturen wird das Wachstum der Pflanzen grundsätzlich gefördert und so steigt der Magnesiumbedarf, sodass schnell eine Mangelsituation eintritt. Wissenschaftler gehen davon aus, dass die hohe Empfindlichkeit von Magnesiummangelpflanzen gegenüber Hitzestress auch auf eine höhere Konzentration an Sauerstoffradikalen in den Blattzellen zurückzuführen ist. Unter Einwirkung hoher Temperaturen und bei unzureichendem Angebot an Magnesium ist der Prozess der Photosynthese gestört und die überschüssige Lichtenergie führt zur Bildung dieser aggressiven Sauerstoffverbindungen. Sie schädigen die Zellen und bewirken schließlich deren Absterben.

Bei einer Temperatur von 25 °C wird der Magnesiummangel bei der Maispflanze in Abb. 20 links bereits sichtbar. Liegt die Temperatur bei 35 °C, kommt die Mangelsituation besonders stark zum Tragen und die Pflanze wird in ihrer Entwicklung deutlich gehemmt. Der positive Effekt einer bedarfsgerechten Magnesiumversorgung wird nun besonders deutlich. Ist genug Magnesium vorhanden, wird das Wachstum von Mais als C4-Pflanze durch die höheren Temperaturen sogar beschleunigt – wie sich am Vergleich der jeweils rechts stehenden Pflanze (+Mg) erkennen lässt.

Eine bedarfsgerechte Magnesiumversorgung stärkt also die Pflanze gegenüber Hitzestress und mindert das Risiko von Ertragseinbußen.

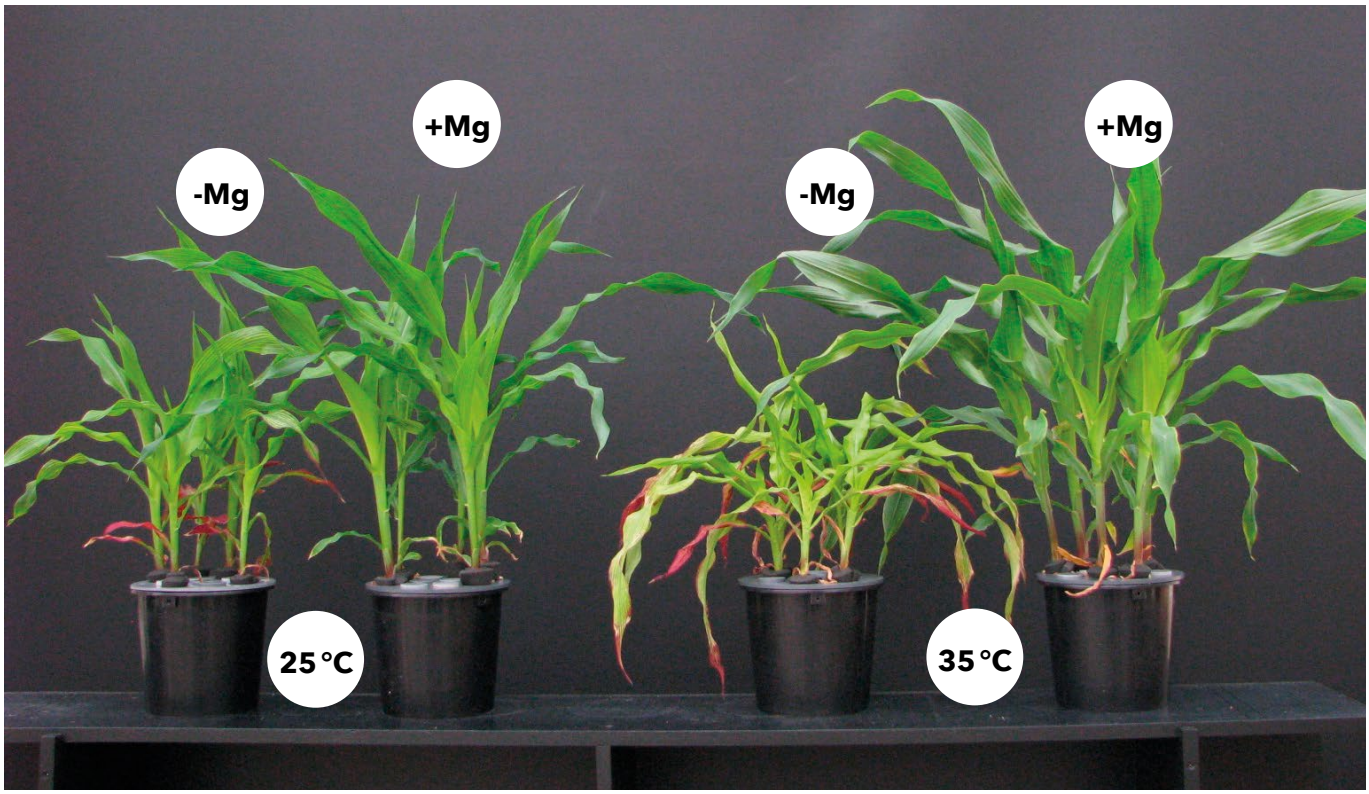


Abb. 20: Magnesium steigert die Toleranz der Maispflanzen gegenüber hohen Temperaturen.
Quelle: Mengutay et al., 2013, Plant and Soil

Die Produkte der K+S – ein wichtiger Beitrag zur Wassernutzungseffizienz

Die K+S-Produkte sind optimal auf die Bedürfnisse der verschiedenen Kulturpflanzen abgestimmt. Die bedarfsgerechte Versorgung der Pflanzen mit Kalium, Magnesium und Schwefel ermöglicht eine optimale Entwicklung und minimiert bei Trockenstress oder anderen ungünstigen Bedingungen das Risiko von Ertragsausfällen. Gerade mit Blick auf zunehmend ungünstige Wachstumsbedingungen wie Wasserknappheit ist ein Nährstoffgehalt mindestens in der Bodengehaltsklasse C sicherzustellen.

Die Ausbringungsmenge von Korn-Kali, ESTA Kieserit und Patentkali sollte auf Basis einer Bodenuntersuchung in Verbindung mit der jeweiligen Ertragserwartung ermittelt werden. EPSO Top kann vorsorglich in Bedarfsspitzen ausgebracht werden. Um einen bereits entstandenen Mangel zu beheben, können Mangelsymptome identifiziert oder Blattproben analysiert werden.

Die auszubringende Menge richtet sich nach:

- dem jeweiligen Nährstoffbedarf der Kulturarten bzw. der Fruchtfolge,
- der Nährstoffversorgung und -dynamik des Bodens (Standortverhältnisse),
- den unterschiedlichen Ansprüchen verschiedener Kulturen an die Nährstoffe z. B. Magnesiumbedarf bei Kartoffeln, Schwefelbedarf bei Kohlarten inkl. Raps, Natrium als nützliches Element speziell in Zuckerrübe und auf Grünland und
- den mit der organischen Düngung zugeführten Nährstoffmengen.

Korn-Kali®

Unser Multitalent – für Ihre unterschiedlichsten Anwendungen

Die Düngung mit Korn-Kali® (kg/ha) für verschiedene Kulturen

Kultur	Korn-Kali®
Getreide	250 – 450
Grünland/Weide	450 – 850
Mais	500 – 700
Raps	500 – 700
Sonnenblume	400 – 600
Zuckerrübe	300 – 1200

Innerhalb einer Fruchtfolge sollte Korn-Kali regelmäßig zu den Kulturarten verabreicht werden, die viel Kalium benötigen (z. B. Zuckerrüben, Raps, Mais) und besondere Bedürfnisse an bestimmte Makronährstoffe haben (z. B. Schwefel bei Raps, Magnesium bei Zuckerrüben).

Korn-Kali wird auf mittleren und schweren Standorten im Herbst (Stoppeldüngung) ausgebracht und in die oberen Bodenschichten eingearbeitet.

Auf leichten Böden wird es im zeitigen Frühjahr gestreut, um Nährstoffverluste zu vermeiden.

Korn-Kali®

EU DÜNGEMITTELPRODUKT
MINERALISCHES DÜNGEMITTEL
K_2O (MgO, SO_3), 40 (+6+13)

Deklarierter Nährstoffgehalt nach Massenanteil:

40 % K_2O wasserlösliches Kaliumoxid (= 33,2 % K)
6 % MgO wasserlösliches Magnesiumoxid (= 3,6 % Mg)
13 % SO_3 wasserlösliches Schwefeltrioxid (= 5,2 % S)

4 % Na_2O wasserlösliches Natriumoxid (= 3 % Na)

- für die Kalium- und Magnesiumgrundversorgung schwefelbedürftiger Kulturen
- maximale Nährstoffkonzentration für Vorteile bei der Logistik, im Lager und bei der Ausbringung
- für viele chloridverträgliche Kulturen geeignet
- enthält ausschließlich sulfatischen Schwefel aus natürlichem Ursprung (Kieserit)
- schnell wasserlöslich und sofort pflanzenverfügbar
- wirkt unabhängig vom pH-Wert des Bodens
- bei optimalen Magnesiumgehalten im Boden als Erhaltungsdünger besonders geeignet
- verteilgenaue Ausbringung durch enges Kornspektrum
- idealer Kaliumdünger für die Stoppel- und Herbstdüngung
- zur Einzelapplikation oder zur Weiterverarbeitung in Bulk Blends

ESTA® Kieserit

Unser Hochkonzentrierter – Magnesium-Schwefel-Power für Pflanzen

Die Düngung mit ESTA® Kieserit (kg/ha) für verschiedene Kulturen

Kultur	ESTA® Kieserit
Gemüse	40 – 250
Körnerleguminosen	80 – 160
Obst	80 – 250
Raps	120 – 160
Soja	130 – 170

Bei Aufdüngung magnesiumarmer Standorte empfiehlt sich die Anwendung im Herbst auf die Stoppeln mit anschließender Einarbeitung. Auf leichten Standorten ist ESTA Kieserit im Frühjahr auszubringen (300 – 500 kg/ha). Bei akutem Magnesium- bzw. Schwefelmangel im Frühjahr ist eine Kopfdüngung mit ESTA Kieserit in den Kulturen durchzuführen (200 – 300 kg/ha). Im Forst sollte die ESTA Kieserit-Düngung im Spätherbst erfolgen.

ESTA® Kieserit

EU DÜNGEMITTELPRODUKT
MINERALISCHES DÜNGEMITTEL
(MgO, SO_3) (25+52)

Deklarierter Nährstoffgehalt nach Massenanteil:

25 % MgO wasserlösliches Magnesiumoxid (= 15,1 % Mg)
52 % SO_3 wasserlösliches Schwefeltrioxid (= 20,8 % S)

- zur gezielten Versorgung besonders magnesium- und schwefelbedürftiger Kulturen oder bei unterversorgten Böden
- zur Einzelapplikation oder zur Weiterverarbeitung in Mehrnährstoffdüngern
- für Landwirtschaft, Gartenbau, Forst und Sonderkulturen
- enthält ausschließlich sulfatischen Schwefel und Magnesium aus natürlichem Ursprung (Kieserit)
- schnell wasserlöslich und sofort pflanzenverfügbar
- wirkt unabhängig vom pH-Wert des Bodens
- keine Gefahr der Bodenversalzung bei Trockenheit
- ermöglicht eine Schwefeldüngung unabhängig von der Stickstoffgabe
- verbessert die Stickstoffaufnahme durch gute Schwefelversorgung
- ist gemäß den Verordnungen (EU) 2018/848 und (EU) 2021/1165 und weiteren Standards zum Einsatz im ökologischen Landbau zugelassen

Patentkali®

Unsere Erfolgsformel –
für die höchste Qualität Ihrer Kulturen

FOR ORGANIC FARMING
acc. to
(EU) 2018/848
(EU) 2021/1165

Die Düngung mit Patentkali® (kg/ha)
für verschiedene Kulturen

Kultur	Patentkali®
Gemüse	600 – 1200
Kartoffel	600 – 1200
Nadelbaumkulturen	200 – 500
Obst	600 – 800
Wein	300 – 400

Patentkali kann bei allen Kulturen bis kurz vor der Aussaat oder Pflanzung angewendet werden. Auch eine Kopfdüngung ist problemlos möglich. Auf leichten Böden sollte Patentkali im Frühjahr ausgebracht werden.

Patentkali®

EU DÜNGEMITTELPRODUKT
MINERALISCHES DÜNGEMITTEL
K_2O (MgO, SO_3), 30 (+10+44)

Deklarierter Nährstoffgehalt nach Massenanteil:

30 % K_2O wasserlösliches Kaliumoxid (= 24,9 % K)
10 % MgO wasserlösliches Magnesiumoxid (= 6 % Mg)
44 % SO_3 wasserlösliches Schwefeltrioxid (= 17,6 % S)

- praktisch chloridfrei (max. 3 % Cl) und damit besonders für anspruchsvolle Spezialkulturen geeignet
- Rundgranulat mit besonders guten Streueigenschaften auch bei großen Streubreiten
- enthält alle Nährstoffe in schnell wasserlöslicher und voll pflanzenverfügbarer sulfatischer Form aus natürlichem Ursprung (Kieserit)
- ist durch das ideale K-Mg-Verhältnis besonders gut geeignet für Kartoffeln, Obst und Gemüse
- wirkt unabhängig vom pH-Wert des Bodens und ändert diesen nicht
- keine Gefahr der Bodenversalzung bei Trockenheit durch einen niedrigen Salzindex
- als Einzeldünger oder zur Weiterverarbeitung in chloridarmen Premium Bulk Blends
- ist gemäß den Verordnungen (EU) 2018/848 und (EU) 2021/1165 und weiteren Standards zum Einsatz im ökologischen Landbau zugelassen

EPSOTop®

Der Grundbaustein – für Ihre Blattdüngung

EPSOTop®

EU DÜNGEMITTELPRODUKT
MINERALISCHES DÜNGEMITTEL
(MgO, SO_3) (16+32,5)

Deklarierter Nährstoffgehalt nach Massenanteil:

16 % MgO wasserlösliches Magnesiumoxid (= 9,6 % Mg)
32,5 % SO_3 wasserlösliches Schwefeltrioxid (= 13 % S)

- voll wasserlöslicher Blattdünger
- deckt den Spitzenbedarf in allen Wachstumsphasen für verschiedene Kulturen wie Getreide, Raps, Zuckerrüben oder Kartoffeln
- sehr hoher Wirkungsgrad durch verlustfreie Aufnahme über das Blatt
- mischbar mit den meisten Pflanzenschutzmitteln und Flüssigdüngern und auch in Fertigationsanlagen einsetzbar
- wirkt unabhängig vom pH-Wert des Bodens, da die Nährstoffe über das Blatt direkt aufgenommen werden
- enthält ausschließlich sulfatischen Schwefel und Magnesium aus natürlichem Ursprung (Kieserit)
- Magnesium steigert das Wurzelwachstum
- Schwefel ist essenziell für die Eiweißsynthese und steigert die Stickstoffeffizienz
- ist gemäß den Verordnungen (EU) 2018/848 und (EU) 2021/1165 und weiteren Standards zum Einsatz im ökologischen Landbau zugelassen

Der vielfältige Blattdünger

Die Anwendung von EPSO Top fördert Getreide, Raps, Kartoffeln, Zuckerrüben, Obst, Gemüse, Nadelgehölze und Leguminosen in unterschiedlichen Wachstumsphasen. Mehrfache EPSO Top-Anwendungen sind der beste Weg für eine optimale Versorgung der Kulturen mit Magnesium und Schwefel, um höchste Erträge bei besten Erntequalitäten zu erzielen. So auch bei Sojabohnen, deren Bedarf an diesen beiden Nährstoffen oft unterschätzt wird.

Die richtige Anwendung
und unsere Düngeempfehlungen

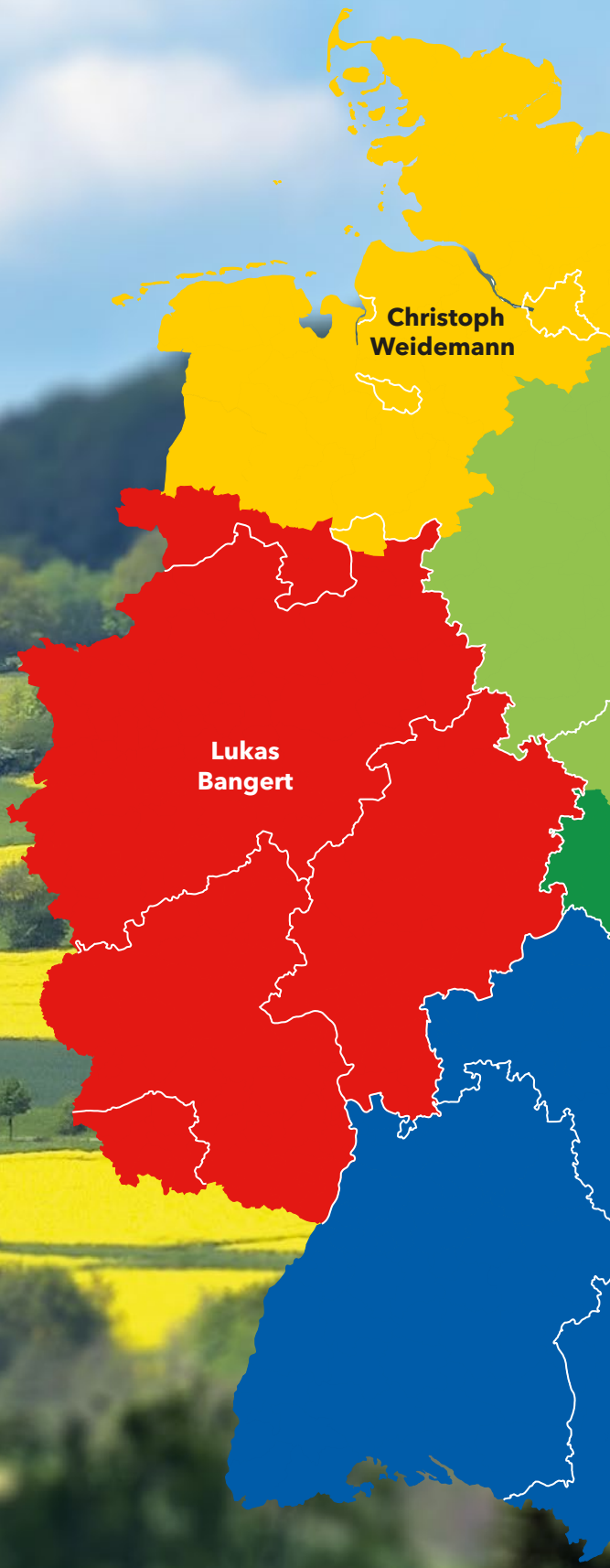
Kultur	Gesamtmenge (kg/ha)	Dosierung	Anwendungszeitraum und -empfehlungen
Wintergetreide	15–40	3–4 × 5–10 kg/ha in 200 l H_2O	Herbst (ab EC 15); Bestockung bis Schossbeginn; Schossen bis Ährenschieben
Sommergetreide	20	2 × 10 kg/ha in 200 l H_2O	Mehrfache Anwendung von Bestockung bis Ährenschieben
Raps	15–30	3 × 5–10 kg/ha in 200 l H_2O	Herbst bis Blüte; 3 Anwendungen mit Fungizid- und Insektizid-Behandlungen
Zuckerrübe	15–30	2 × 10 kg/ha in 200 l H_2O	Zum Reihenschluss; 3 Anwendungen mit Fungizid- und Insektizid-Behandlungen
Mais	20	3 × 5–10 kg/ha in 200 l H_2O	Zeitfenster für die Applikation: 30 bis 100 cm Wuchshöhe
Kartoffeln	25–50	5 × 5–10 kg/ha in 200 l H_2O	Mehrere Gaben von Reihenschluss bis Ende Blüte zusammen mit Pflanzenschutz
Bohnen und Erbsen	15–40	3–4 × 5–10 kg/ha in 200 l H_2O	Viertes Laubblatt bis Vollblüte
Soja	15–40	3–4 × 5–10 kg/ha in 200 l H_2O	Je nach Bedarf mehrere Gaben bis Blühbeginn
Weinreben	15–40	3–4 × 5–10 kg/ha in 200 l H_2O	Mehrere Anwendungen bis Abschlussspritzung; nicht in voller Blüte spritzen!
Spargel	15–40	2–4 × 5–10 kg/ha in 200 l H_2O	Mehrere Gaben mit Fungiziden
Feldgemüse	10–40	2–4 × 5–15 kg/ha in 300–500 l H_2O	Ab 6-Blatt-Stadium; mehrfache Anwendung mit Pflanzenschutzmitteln
Obst	10–45	2–3 × 5–15 kg/ha in 300–500 l H_2O	Zur verbesserten Fruchtbildung; mehrfach applizieren
Kernobst	10–45	2–3 × 5–15 kg/ha in 300–500 l H_2O	Vor der Blüte, zur Roten Knospe oder nach der Ernte; mehrfache Anwendung mit Schorfbehandlung
Nadelgehölze	10–40	2–4 × 5–10 kg/ha in 300–500 l H_2O	Mehrfache Anwendung bei Gelb- und Braunfärbung
Unterglasanbau	Unterschiedlich je nach Kultur und Fertigations-system	30–70 kg/1000 l Stammlösung; Verdünnung 1:100, entsprechend ca. 30–70 mg Mg/l	Nicht mit calciumhaltigen Düngemitteln mischen!

Kompetente Ansprechpartner deutschlandweit –
Ihre K+S Regionalberater

Christoph Weidemann
Mobil +49 176 12348345
christoph.weidemann@k-plus-s.com

Bernd Frey
Telefon +49 3925 320783
Mobil +49 176 12348353
bernd.frey@k-plus-s.com

Lukas Bangert
Mobil +49 152 5673 8037
lukas.bangert@k-plus-s.com



Dr. Steffen Leidel
Telefon +49 38853 33843
Mobil +49 176 12348357
steffen.leidel@k-plus-s.com

Frank Hertwig
Telefon +49 30 40056643
Mobil +49 176 12349332
frank.hertwig@k-plus-s.com

Dr. Ludwig Lichtenegger
Telefon +49 9471 9503714
Mobil +49 176 12347930
ludwig.lichtenegger@k-plus-s.com

KALI AKADEMIE®

WISSEN SCHAFFT WERTE

Von Profis für Profis - entdecken Sie das WISSEN der KALI Akademie®

Mit der KALI Akademie bieten wir Landwirten, Händlern, Beratern und Nachwuchskräften wertvolle Informationen aus dem Bereich der Pflanzenernährung gebündelt auf einer Wissensplattform.

Ob online zum Nachlesen, zum Sammeln und Abheften im WISSENS SPEICHER oder interaktiv in unseren Webinaren – nutzen Sie unser gesammeltes Wissen gezielt für Ihren Erfolg!

Podcast

In der KALI Akademie zum Hören gibt es Nährstoff für die Ohren. Werfen Sie den Schlepper an und bleiben Sie ganz nebenbei auf dem neuesten Stand:

podcast.kali-akademie.de

Webinare

Informationen zu relevanten Themen – kompakt, effektiv und aus erster Hand direkt vom Experten bekommen Sie in unseren interaktiven Webinaren:

webinare.kali-akdemie.de

Wissen zum Sammeln

Nützliches Wissen und Praxis-Tipps als Infoblätter zum Abheften oder als Digitalversion bietet der WISSENS SPEICHER. Jetzt kostenlos bestellen:

wissen.kali-akademie.de

Videos

Anschauliche Erklärfilme rund um Themen der Pflanzenernährung sehen Sie in unserer KALI Akademie-Playlist auf YouTube:

video.kali-akademie.de

Mehr Wissen von uns für Sie unter: www.kali-akademie.de

Starkes Know-how:

die Forschung & Beratung der K+S

Mit Informationen rund um die Düngung unterstützt K+S weltweit die landwirtschaftliche Praxis darin, hohe Erträge und beste Qualitäten zu erzielen und auch unter ungünstigen Wetterbedingungen zu sichern. Basis dieser Beratungsaktivitäten ist ein umfangreiches Forschungswesen.

Seit mehr als 100 Jahren ist K+S in der landwirtschaftlichen Forschung aktiv und sucht nach Lösungen für agronomische Herausforderungen wie etwa die Steigerung der Produktivität, die Förderung der Bodenfruchtbarkeit und eine effiziente Nutzung der Ressourcen. Gemeinsam mit der Georg-August-Universität Göttingen betreibt K+S heute das Institute of Applied Plant Nutrition (IAPN). Als Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Praxis greift das IAPN in seiner Forschung aktuelle Fragen zur Pflanzenernährung auf und bündelt vorhandenes Wissen mit neuen Erkenntnissen.

Die K+S-Beratung verfolgt das Ziel, diese und weitere Erkenntnisse aus der Pflanzenernährungsforschung an die landwirtschaftliche Praxis weiterzugeben. Landwirte auf der ganzen Welt werden mit diesem Know-how dabei unterstützt, den neuesten Stand der Wissenschaft in ihre Düngepraxis umzusetzen und so Ertrag und Qualität ihrer Ernteprodukte zu sichern. Mit unserem Einsatz und unserer Kompetenz leisten wir einen bedeutenden Beitrag zur Welternährung und festigen die Lebensgrundlage der Landwirte.

Für einen direkten Kontakt stehen Ihnen die K+S Agronomen und Regionalberater zur Verfügung. Profitieren Sie von unseren Fachinformationen, Broschüren sowie unserer App, der KALI-TOOLBOX. In der KALI Akademie, unserer Wissensplattform zur Pflanzenernährung, bündeln wir wertvolle Informationen und Praxis-Tipps. Ob online zum Nachlesen, zum Sammeln und Abheften im WISSENS SPEICHER oder interaktiv in unseren Webinaren – nutzen Sie unser gesammeltes Wissen gezielt für Ihren Erfolg!

Ihr Kontakt zu uns:

Ausführliche Informationen und detaillierte Angaben zu allen Bereichen der K+S erhalten Sie unter www.kpluss.com

K+S Minerals and Agriculture GmbH
Marketing Agriculture
Bertha-von-Suttner-Str. 7
34131 Kassel
Deutschland

Telefon +49 561 9301-0
agriculture@k-plus-s.com

Fan von **K+S Agrar** werden

Videos auf dem **K+S Kanal** schauen

Folge **K+S Agrar**

KALI Akademie®
www.kali-akademie.de

Herausgeber:

K+S Minerals and Agriculture GmbH
34131 Kassel, Deutschland
www.kpluss.com · agriculture@kpluss.com

Bearbeitung und Redaktion:

Customer Segment Agriculture

Alle Angaben und Aussagen in dieser Broschüre sind unverbindlich. Änderungen behalten wir uns vor. Alle Rechte beim Herausgeber. Abdruck und Vervielfälti-gungen nur mit Genehmigung des Herausgebers.

® = registriertes Warenzeichen der K+S

Fotos: Archiv K+S, Adobe Stock, Getty Images, iStockphoto

K+S Minerals and Agriculture GmbH
Bertha-von-Suttner-Str. 7
34131 Kassel, Deutschland

+49 561 9301-0
agriculture@k-plus-s.com
www.kpluss.com

Ein Unternehmen der K+S

® = Registriertes Markenzeichen der K+S Minerals and Agriculture GmbH

7953/09.22/K/de/NH