



STRATEGIEN GEGEN STRESS

**Nährstoffe gezielt einsetzen -
Kulturen stärken**





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 Rohstoffherzeugung. 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.

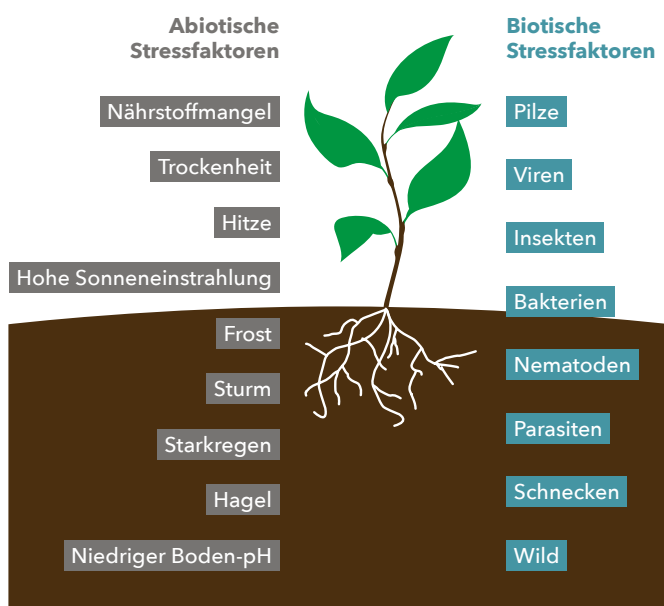


Stressfaktoren für Pflanzen

Was bedeutet Stress für die Pflanzen?

Nicht nur wir Menschen kennen Stress. Auch bei Pflanzen können bestimmte äußere Einflüsse Stress verursachen. Dadurch werden pflanzenphysiologische Prozesse gestört, Wachstum und Entwicklung gehemmt.

Dies sind die wichtigsten Stressfaktoren, denen unsere landwirtschaftlichen Kulturen ausgesetzt sind. Sie werden zwischen abiotischen und biotischen Stressfaktoren unterschieden:



ABIOTISCHE STRESSFAKTOREN

sind nicht auf den Einfluss von Lebewesen zurückzuführen, sondern auf „unbelebte“ Umgebungsfaktoren. Beispiele sind Nährstoffmangel, Trockenheit oder Hagel.

BIOTISCHE STRESSFAKTOREN

entstehen durch den Einfluss von Lebewesen auf die Pflanzen. Beispiele sind Schäden durch Pilze, Insekten oder Schnecken.

Die abiotischen und biotischen Stressfaktoren haben gemeinsam, dass sie den pflanzlichen Stoffwechsel beeinträchtigen. Laufen die Photosynthese, der Transport von Kohlenhydraten, die Eiweißsynthese oder weitere Prozesse nicht optimal ab, macht sich dies in Wachstum und Entwicklung der Kulturen bemerkbar. Dies führt zu Ertragseinbußen und beeinträchtigt die Rentabilität.

Auch die Ressourceneffizienz ist betroffen, da zum Beispiel auf dem zur Verfügung stehenden Ackerboden nicht die optimale Erntemenge erzeugt werden kann oder das zur Verfügung stehende Wasser nicht effizient genutzt werden kann.

Nährstoffe schützen vor Stress

Es gibt eine ganze Reihe wirksamer Methoden, wie wir die landwirtschaftlichen Kulturen vor abiotischen und biotischen Stressfaktoren schützen können. In den meisten Fällen lassen sich Schäden nicht ganz vermeiden, wohl aber die Auswirkungen auf die Pflanzenentwicklung und den Ertrag minimieren.

Bodenbearbeitung, Sortenwahl oder Pflanzenschutz sind mögliche Ansatzpunkte dafür. Eine ganz zentrale Rolle spielt darüber hinaus die Nährstoffversorgung der Pflanzen. Nur wenn alle 6 Makronährstoffe sowie alle 8 Mikronährstoffe zur Verfügung stehen, können sich die landwirtschaftlichen Kulturen optimal entwickeln.

Dabei sollten die Nährstoffe:

- in bedarfsgerechter Menge,
- zum richtigen Zeitpunkt,
- in pflanzenverfügbarer Nährstoffform,
- und in einer für die Pflanzen gut erreichbaren Platzierung bereitgestellt werden.

Nährstoffmangel ist für sich genommen ein abiotischer Stressfaktor. In einigen Fällen, zum Beispiel bei Mangan, Eisen oder Bor, kann auch ein Überschuss zum Stressfaktor werden. Darüber hinaus nehmen Nährstoffe bei zahlreichen anderen Stressfaktoren eine zentrale Rolle ein - sie können deren Auswirkungen auf die Pflanzen minimieren.

In Stresssituationen sorgen Nährstoffe dafür, die schädigenden Effekte abzuwehren und die physiologischen Prozesse bestmöglich aufrecht zu erhalten.

Oft ist der allgemeine Nährstoffstatus entscheidend. Vor allem bei **Trockenheit**, **Hitze**, **hoher Sonneneinstrahlung**, aber auch bei **Frost** nehmen die Nährstoffe Kalium und Magnesium eine bedeutende Rolle ein.

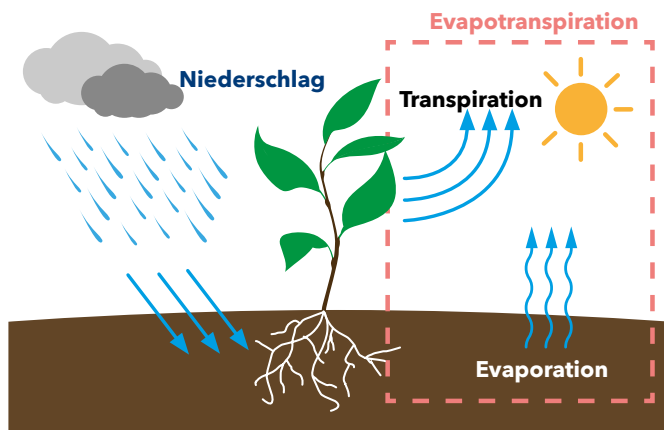
Stressfaktor Trockenheit

Was ist Trockenstress?

Wenn Pflanzen nicht genug Wasser zur Verfügung steht, ist dies für sie ein Stressfaktor, der Wachstum und Entwicklung limitiert. Trockenheit entsteht in erster Linie durch zu geringe Niederschläge, aber auch durch eine hohe Evaporation und Transpiration infolge hoher Temperaturen.

Die Wassernutzungseffizienz beschreibt, wie viel Wasser für die Produktion einer bestimmten Erntemenge verbraucht wird. Sie lässt sich als Menge produzierter Biomasse pro Einheit Wasserverbrauch messen (z. B. Gramm Trockenmasse pro Liter Wasser). Die Wassernutzungseffizienz misst also die Fähigkeit einer Pflanze, die Ressource Wasser in Biomasse umzusetzen. Das Ziel ist, den Ertrag pro Liter verbrauchtem Wasser zu maximieren.

Entscheidend ist, dass die Pflanzen unter trockenen Bedingungen ihre physiologischen Prozesse noch optimal steuern können und so möglichst gutes Wachstum sowie einen möglichst hohen Ertrag erzielen.



EVAPORATION ist die Verdunstung von allen Oberflächen, wie zum Beispiel vom Boden oder von Gewässern. In der Landwirtschaft meint Evaporation vor allem die Verdunstung von Bodenwasser. Sie ist bei hohen Temperaturen und niedriger Luftfeuchte besonders hoch. Geschlossene Bestände beschatten den Boden und reduzieren damit auch die Evaporation. Zudem ist die Verdunstung von Bodenwasser abhängig von der Beschaffenheit der Kapillaren (feine Poren im Boden) - diese werden durch die Bodenbearbeitung nach der Ernte unterbrochen. So wird der Wasserverlust über Verdunstung reduziert.

TRANSPIRATION bezeichnet die Verdunstung von Wasser durch Lebewesen und Pflanzen. In der Landwirtschaft versteht man unter Transpiration vor allem die Abgabe von Wasser über die Stomata (Spaltöffnungen an den Blättern der Pflanzen). Über die Stomata wird CO_2 für die Photosynthese aufgenommen und Wasser abgegeben. Die Transpiration hat einen großen Einfluss auf den Wasserhaushalt der Pflanzen und bedingt über einen Sog auch die Aufnahme weiteren Wassers und darin enthaltener Nährstoffe aus dem Boden. Beeinflusst wird die Transpiration von der Temperatur, der Luftfeuchtigkeit, dem Nährstoffstatus der Pflanze und der Wasseraufnahme durch die Wurzeln bzw. der Verfügbarkeit von Wasser im Boden.

EVAPOTRANSPIRATION ist die Summe aus Evaporation und Transpiration und bezeichnet die Verdunstung von Wasser von allen Oberflächen, Tieren und Pflanzen.

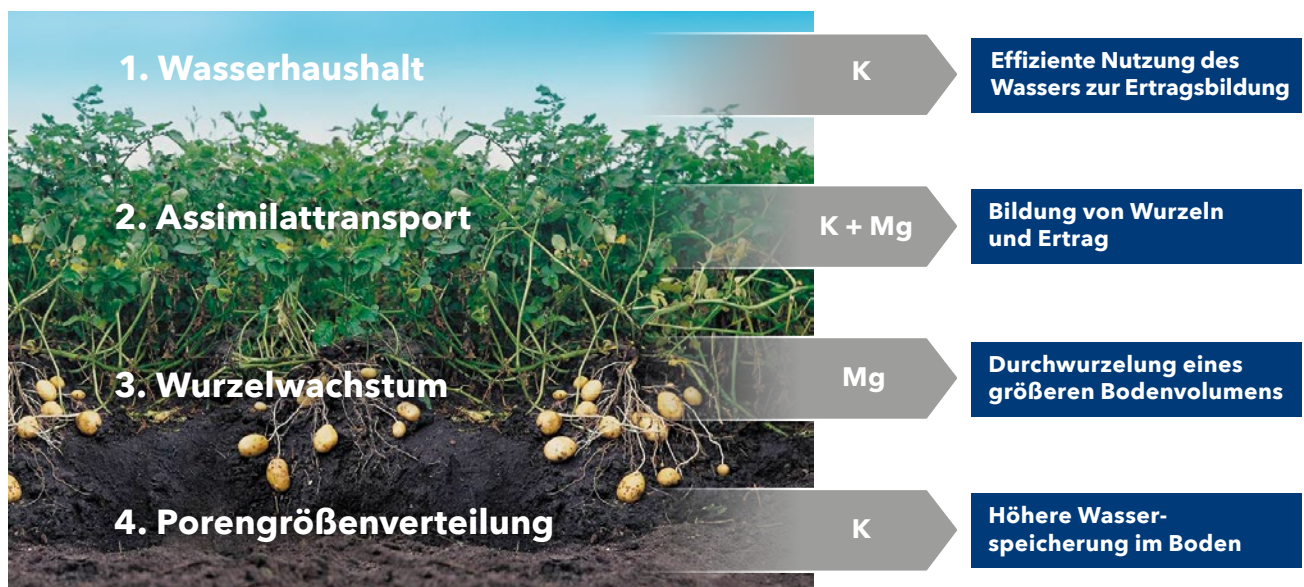


Trockenstress begegnen - wie Nährstoffe die Pflanze unterstützen

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.

Kalium und Magnesium verbessern die Trockenstresstoleranz sowohl über die Pflanze als auch über den Boden



1. Wasserhaushalt: Effiziente Nutzung des Wassers zur Ertragsbildung

Kalium nimmt im Stoffwechsel der Pflanzen viele wesentliche Funktionen ein. 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. 1).

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 auf-

nehmen. 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

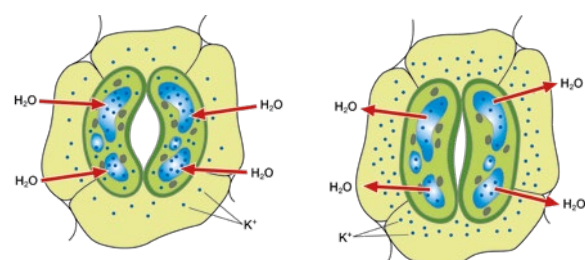


Abb. 1: Kalium hält Transpiration und Photosynthese aufrecht: Das Wasser folgt dem Kalium und führt somit zu hohem Turgor und einer Öffnung der Stomata (links) bzw. zu verringertem Turgor und einem Schließen der Stomata (rechts).

* 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.

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 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. 2 und 3), 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 erfüllt sowohl in der Photosynthese als auch für den Assimilattransport zentrale Funktionen. Die bekannteste



Abb. 2: 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.

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. 3: 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. 4).

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. 5).

Zuckerkonzentration bei Pflanzen

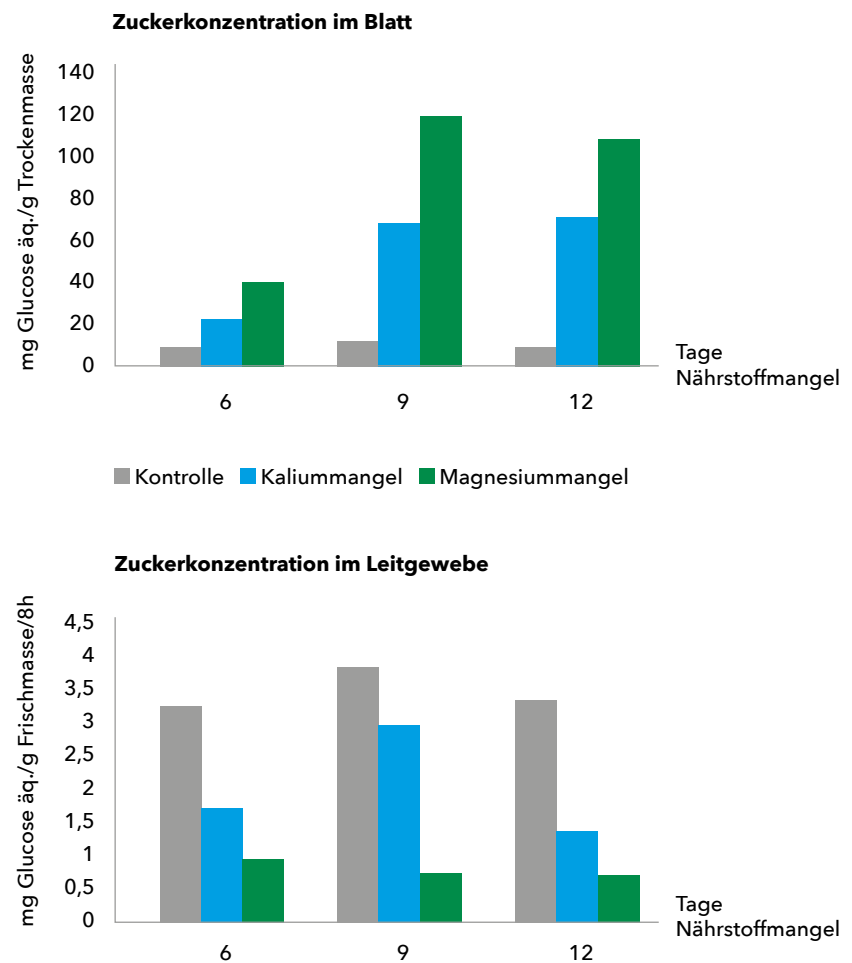


Abb. 4: Kalium und Magnesium sind wichtig für eine effiziente Verteilung von Kohlenhydraten in der Pflanze. Ist einer der beiden Nährstoffe im Mangel, ist die Verteilung gestört. Die Zuckerkonzentration in den Blättern steigt an, im Leitgewebe ist nicht mehr genug Zucker vorhanden. Das hat Konsequenzen für das Pflanzenwachstum und die Ertragsbildung. (Verändert nach Cakmak et al., 1994)

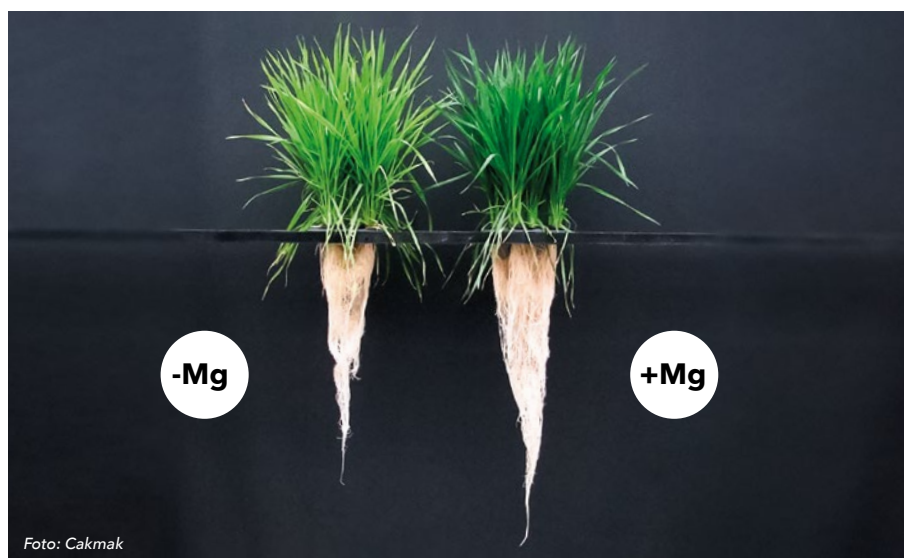


Foto: Cakmak

Abb. 5: 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

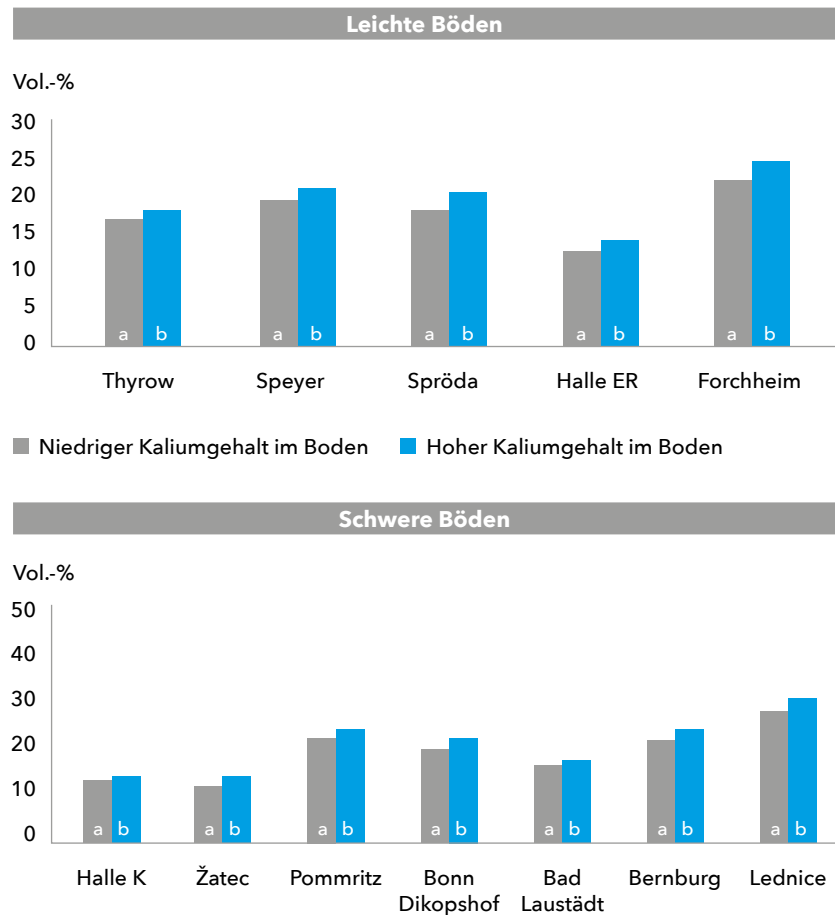


Abb. 6: Kalium steigert die Wasserverfügbarkeit im Boden für die Pflanze. Dies trifft sowohl auf Standorte mit leichten Böden (obere Grafik) als auch auf Standorte mit schweren Böden (untere Grafik) zu. Unterschiedliche Buchstaben beschreiben statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Kaliumgehaltsklassen 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. 6).

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. 7).

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

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

Mittelporenbildung durch „Tonmineralbrücken“

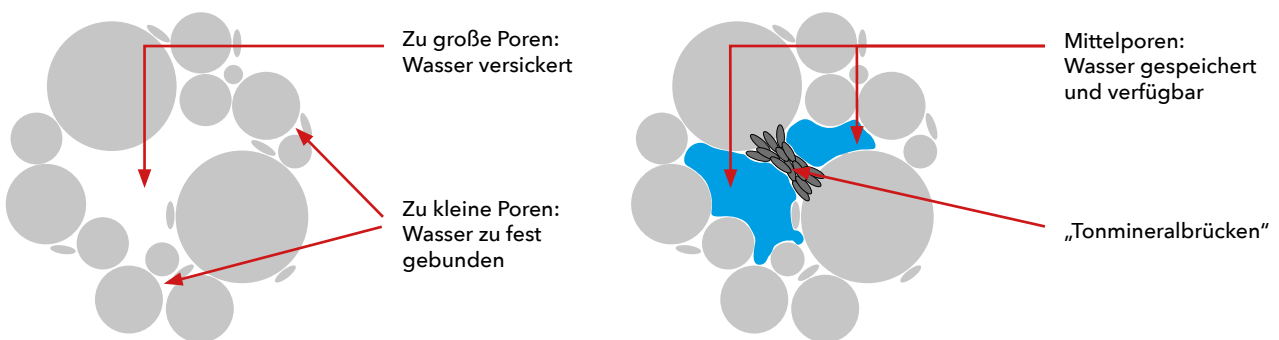


Abb. 7: Eine ausreichende Kaliumversorgung erhöht das Wasserspeichervermögen des Bodens durch die Bildung von Mittelporen. Dies geschieht über „Tonmineralbrücken“.

S

Die Rolle von Schwefel bei Trockenstress

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

Neuere wissenschaftliche Ergebnisse belegen: Eine gute Versorgung mit Schwefel in der Pflanze ist auch bei Trockenstress wichtig. Einerseits spielt bei Trockenstress das im Xylem (Leitgewebe) von der Wurzel zum Spross transportierte Sulfat als ein chemisches Signal an die Stomata eine wichtige Rolle. Auf der anderen Seite trägt unter diesen Bedingungen eine bessere Sulfat-Versorgung der Wurzeln dazu bei, dass dort die Biomasseproduktion weiterläuft, während sie im Spross schon zum Stillstand gekommen ist. Pflanzen adaptieren sich mit Hilfe von Sulfat an den Trockenstress, indem sie dem Wurzelwachstum für die Exploration des Bodens nach Wasser eine höhere Priorität einräumen.

Zudem ist Schwefel Bestandteil des Stoffwechselproduktes Glutathion. Dieses wirkt als Antioxidant und macht bei Trockenstress entstehende Sauerstoff-Radikale unschädlich und verhindert so die zerstörenden Folgen für die Zellen. Blätter bilden damit bei Trockenstress weniger Nekrosen und die Pflanzen bleiben zugleich in Alarmstellung, um auf weitere Stresssignale zu reagieren.

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

Risikominimierung - für stabile Erträge

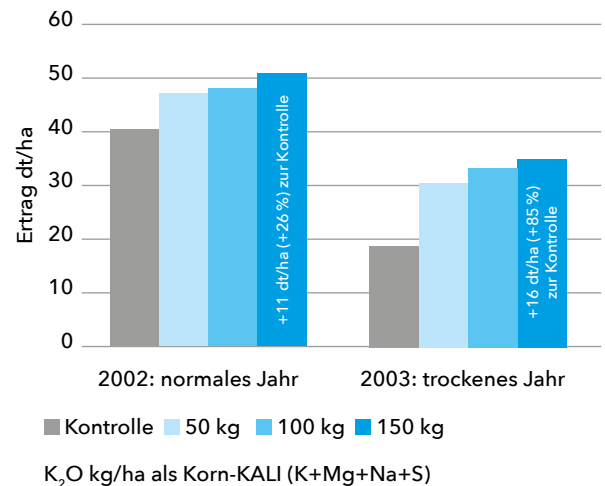
Auswirkungen von Trockenstress auf die Ertragssicherheit

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. (Abb.8)

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. 9).

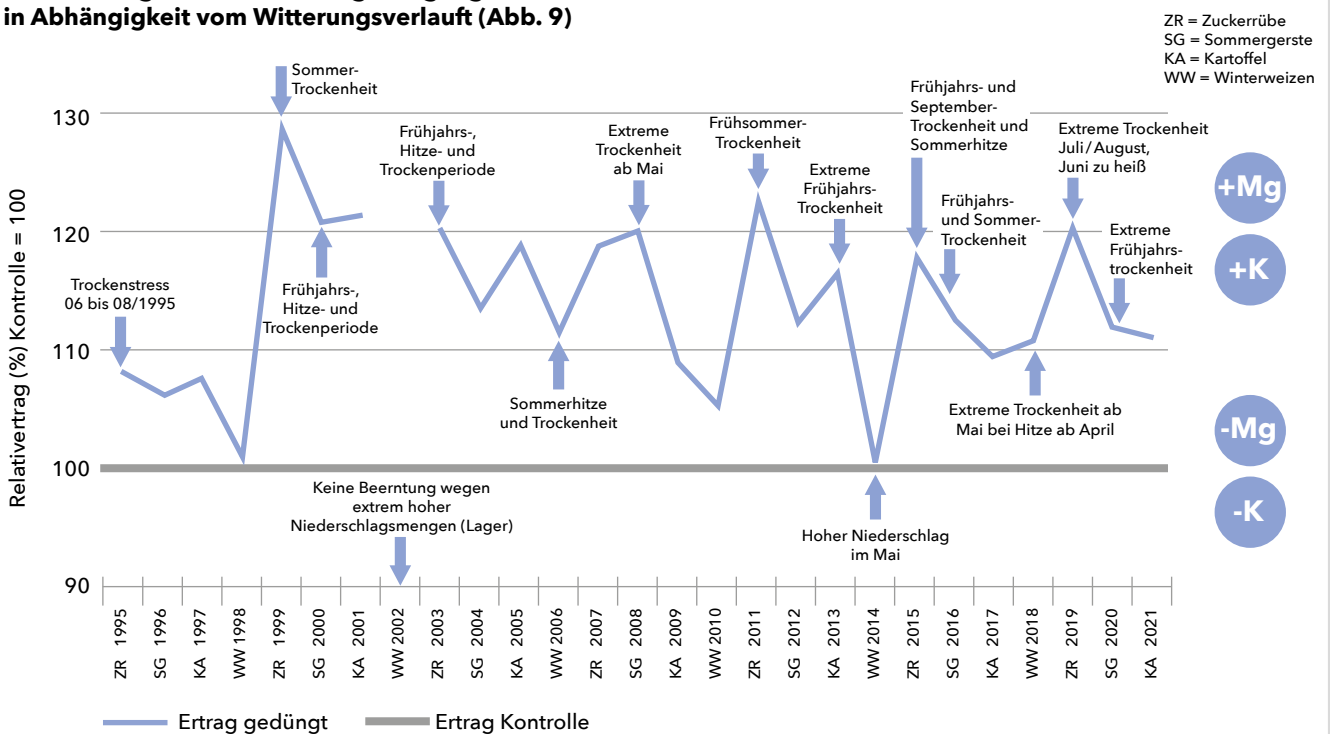
Durch die regelmäßige, bedarfsgerechte Düngung sinkt das Risiko, dass ungünstige Wetterverhältnisse vermeidbare Ertragseinbußen verursachen. Eine ausgewogene Kalium- und Magnesiumdüngung minimiert also das Risiko von Ertragsausfällen.

Ertragszuwachs bei Sommergerste durch Kalium- und Magnesiumdüngung in Form von Korn-KALI. In trockenen Jahren ist die Düngung besonders wirksam. (Abb. 8)



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

Relativverträge durch K- und Mg-Düngung im Versuch Cunnersdorf in Abhängigkeit vom Witterungsverlauf (Abb. 9)



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

Kalium, Magnesium und Schwefel steigern die Wassernutzungseffizienz

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. 10 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 Probenahme 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. 11). 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 %.

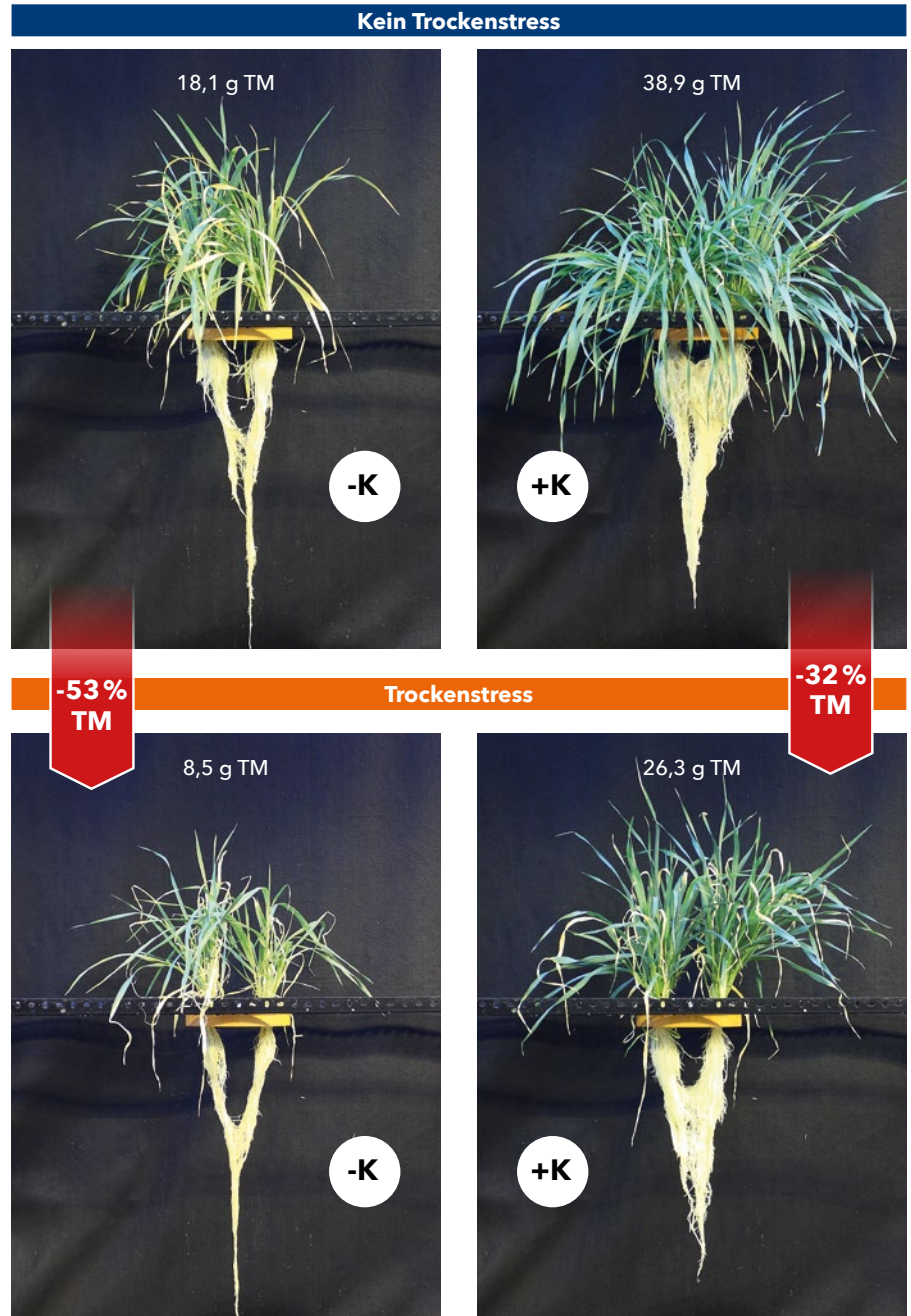
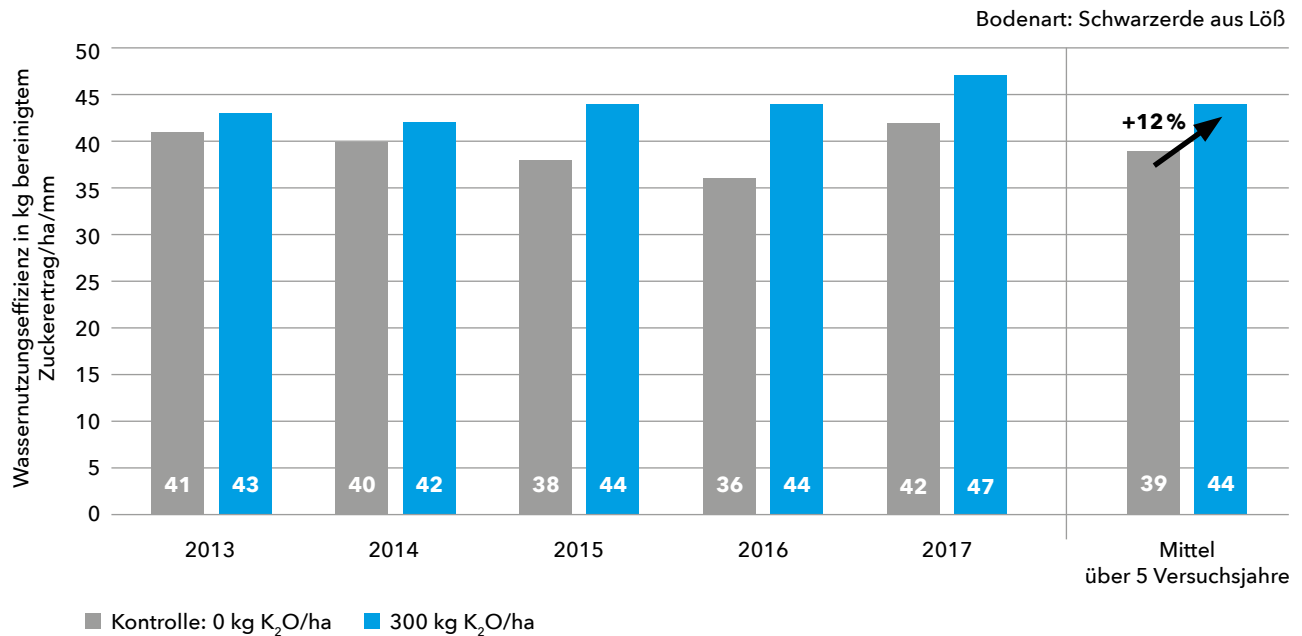


Abb. 10: Stresstest mit Gerste: Die Pflanzen wurden im Topfversuch Trockenstress ausgesetzt, um die Auswirkungen genau messen zu können.

Quelle: Tavakol, IAPN

Kalium steigert die Wassernutzungseffizienz von Zuckerrüben (Abb. 11)

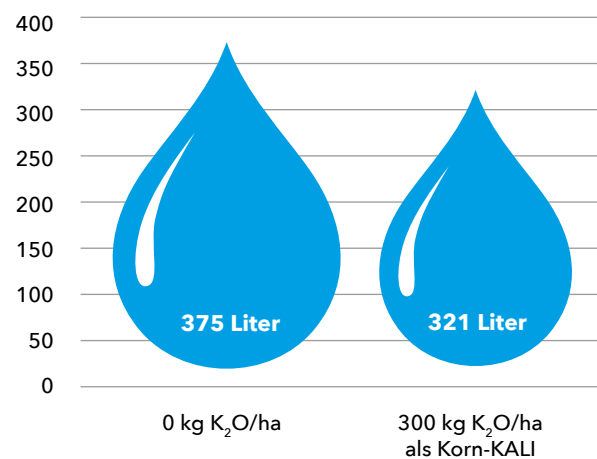
Feldversuch in Bernburg, Sachsen-Anhalt



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. 12). 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. 12)



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

Stressfaktor Hitze

Trockenstress führt zu einer deutlichen Ertragsreduktion. Jedoch zeigen neuere Studien, dass auch die oftmals mit Trockenperioden einhergehende Hitze zu Ertragsdepressionen in ähnlicher Größenordnung führen kann. Die Pflanzen leiden also neben Trockenstress auch unter Hitzestress.

Die meisten in Westeuropa angebauten Ackerbaukulturen haben ihr Temperaturoptimum im Bereich von 15 bis 25° C. In diesem Temperaturbereich ist eine hohe Photosyntheserate und damit ein starkes Wachstum sowie eine optimale Ertragsbildung möglich. Oberhalb von 30° C kommt es hingegen zu einer beginnenden Degeneration des Blattgewebes. Bei höheren Temperaturen und übermäßiger Sonneneinstrahlung kann Stress in manchen Fällen mit bloßem Auge beobachtet werden. Zum Beispiel falten sich die Blätter zusammen, um übermäßige direkte Sonneneinstrahlung zu vermeiden.

Hitzestress sowie Schäden durch hohe Sonneneinstrahlung können sich im Bestand entweder als physikalische Verbrennung oder als Stoffwechselstörung zeigen. Grundsätzlich treffen diese Kalamitäten gut ernährte und vitale Pflanzen weniger stark als Pflanzen mit unzureichender Nährstoffversorgung.



Hitzestress bei Kartoffeln. Foto: Reinhard Elfrich

Analog zum Trockenstress kommt es bei beginnender Hitzeeinwirkung zu Welkeerscheinungen mit eingerollten oder deformierten Blattorganen sowie früh beginnender Blattseneszenz. Dies hat Auswirkungen auf das weitere Wachstum und den Ertrag.

Schutz vor Stressfaktoren für die Pflanzen durch Kalium und Magnesium

Die Sortenwahl sowie eine ausgewogene Pflanzenernährung sind ein wirksamer Schutz vor Schäden durch Hitze und hohe Sonneneinstrahlung. Insbesondere Magnesium und Kalium schützen die Pflanzen.

Der Makronährstoff Stickstoff hingegen steigert zwar das Wachstum, doch im Überschuss stellt sich ein labiles und auch für die genannten Stresssymptome anfälliges Gewebe ein – insbesondere, wenn die Versorgung mit Kalium als stabilisierender Faktor mangelhaft ist und folglich das N/K-Verhältnis in der Pflanzensubstanz zu weit ist. Bei der Wahl der Kaliumform bietet sich daher an, auf Kaliumsulfat statt z. B. auf Kaliumnitrat zu setzen. Sulfatische Kalium-Dünger bewirken in besonderem Maße eine Gewebestabilität und damit einhergehend eine aufrechte Blattstellung an Pflanzen, sodass die Blätter weniger stark der extremen Strahlung ausgesetzt sind.

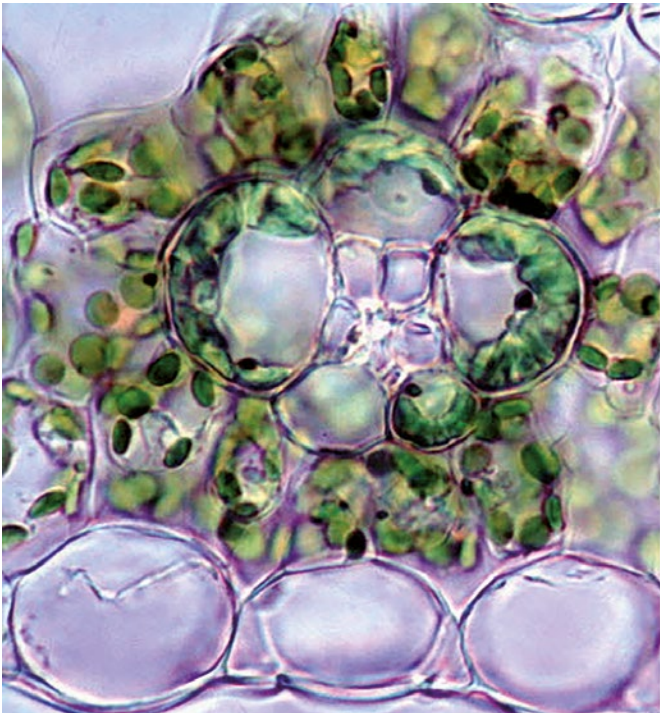
Für die Toleranz gegen Hitze ist der Wasserhaushalt der Pflanze wichtig. Die gesteuerte Verdunstung (Transpiration) von Wasser durch die Spaltöffnungen (Stomata) an den Blättern der Pflanze ermöglicht eine Abkühlung – ähnlich wie das Schwitzen beim Menschen. Die Regulierung der Stomata wird maßgeblich durch die Konzentration an Kalium bestimmt. Auch die Wasseraufnahme aus dem Boden in die Wurzeln wird nach ausreichender Versorgung mit Kalium verbessert. Denn in diesem Fall ist die Feldkapazität erhöht, das Wurzelwachstum verbessert und es gibt ein optimiertes Potenzialgefälle von Wurzeln zum Boden. Das heißt, dass die Nährstoffe sich von einem Bereich mit einer höheren Konzentration zum Bereich der niedrigeren Konzentration bewegen (durch die hohe Konzentration an Kalium in den Pflanzenwurzeln wird mehr Bodenwasser in die Pflanze hinein diffundiert).

Magnesium nimmt durch seine Funktion beim Wurzelwachstum maßgeblichen Einfluss auf die Menge an Wasser, die für die Transpiration zur Verfügung steht. Ein gutes Wurzelwachstum erfordert viel Energie und organische Verbindungen in Form von Kohlenhydraten. Das bedeutet, dass die Kohlenhydrate nach der Produktion im Photosyntheseprozess im Blatt effizient zu den Wurzeln transportiert werden müssen. Dieses ist von besonderer Bedeutung in der generativen Wachstumsphase, wenn die Verteilung in der Pflanze vom Ort der Produktion – also dem Blatt – zum Ort des Verbrauchs – also der Wurzel und der Frucht (z. B. Getreidekorn, Kartoffelknolle, Rübenkörper) – stattfindet.

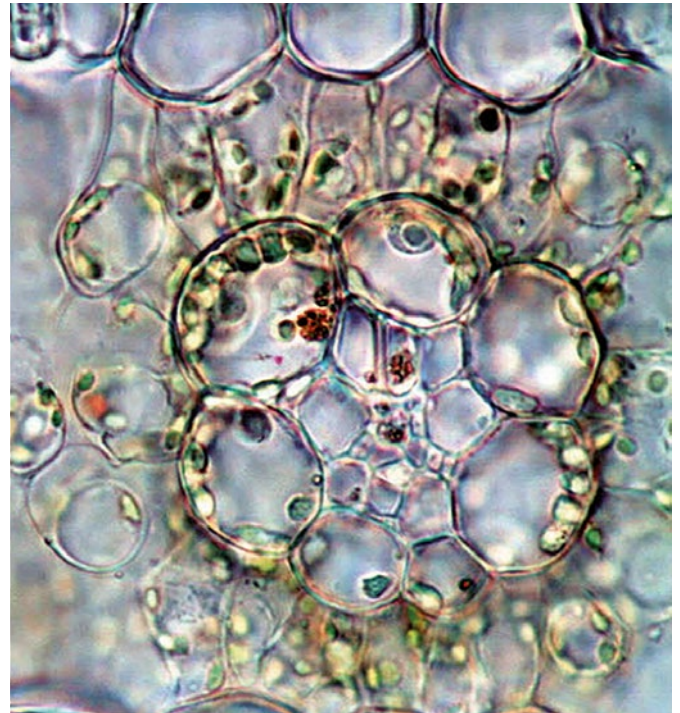
Bei diesen Transportprozessen spielen sowohl Magnesium als auch Kalium eine große Rolle. Gerade unter Magnesiummangel ist die Beladung des Leitgewebes mit Kohlenhydraten eingeschränkt. Die Kohlenhydrate in Form von Saccharose reichern sich in den Blättern an, während die Kohlenhydratkonzentrationen in den für die Umverteilung benötigten Leitbahnen (Phloem) und nachfolgend auch in Frucht und Wurzel abnehmen (siehe Abb. 13 und 14).

Zusätzlich minimiert Magnesium die insbesondere bei hoher Sonneneinstrahlung drohende Entstehung von blattschädigenden Sauerstoffradikalen während der Photosynthese.

Blattquerschnitt einer Maispflanze im Lichtmikroskop (Abb. 13)



Bei ausreichender Magnesiumversorgung ist das Phloem intakt und kann Kohlenhydrate als Produkt der Photosynthese innerhalb der Pflanze transportieren.



Phloemkollabierung durch unzureichende Magnesiumversorgung. Der Transport ist gestört.

Fotos: Prof. Pissarek, Hochschule Osnabrück

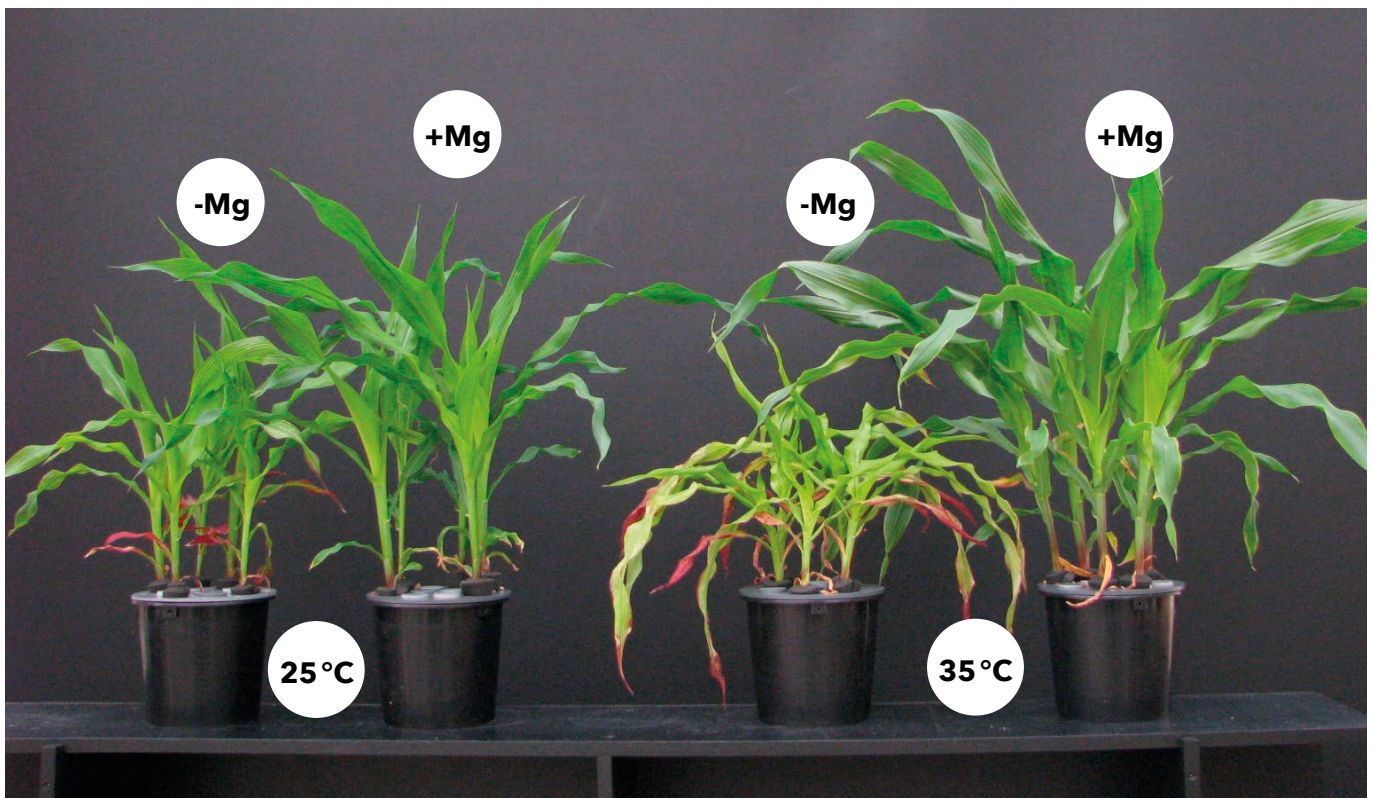


Abb. 14: Magnesium steigert die Toleranz der Maispflanzen gegenüber hohen Temperaturen.

Quelle: Mengutay et al., 2013, Plant and Soil

Stressfaktor hohe Sonneneinstrahlung

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. 15 und 16).

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 Photosynthese 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.

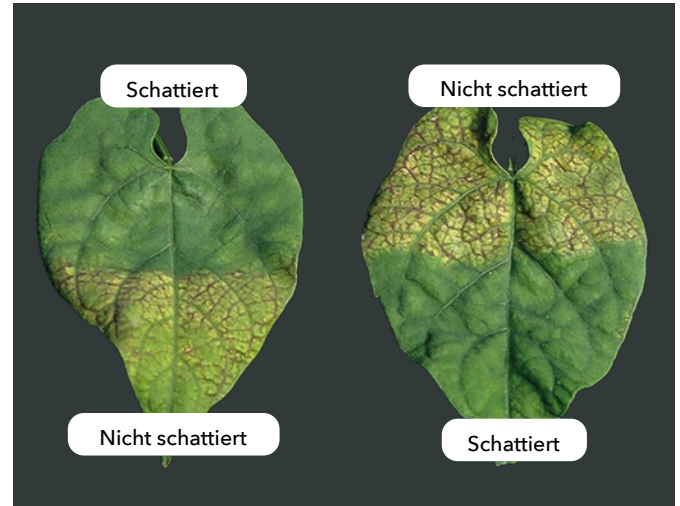


Abb. 15: Magnesiummangel macht Blätter lichtempfindlich. Im schattierten Bereich werden noch keine Mg-Mangelsymptome sichtbar. Die dem Licht ausgesetzten Blattbereiche sind bereits stark betroffen.

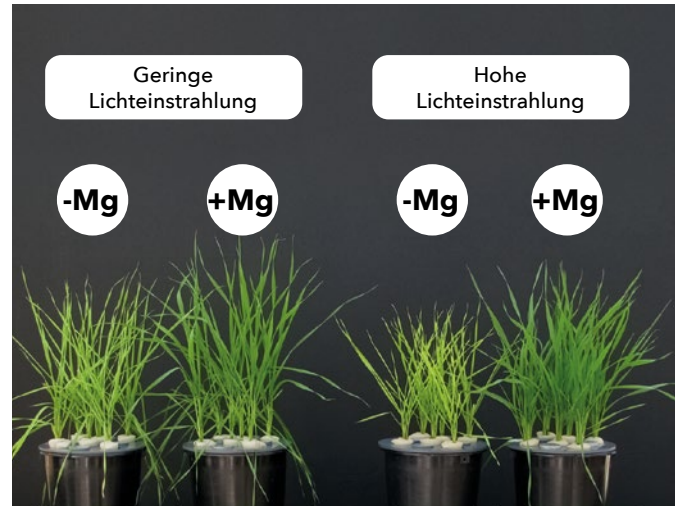


Abb. 16: Bei geringem Lichtstress (links) wird der Magnesiummangel durch eine Aufhellung der Weizenpflanze und ein leicht verzögertes Wachstum gerade so sichtbar. Bei der hohen Lichteinstrahlung bleibt die Mangelpflanze deutlich in ihrer Entwicklung zurück.

Quelle: Mengutay et al. 2014

Stressfaktor Frost

Winterkulturen haben in Deutschland eine große Bedeutung. Mehr als 85 Prozent des Getreides wird bereits im Herbst ausgesät, beim Raps kommen fast ausschließlich Wintersorten zum Einsatz. Auf einem großen Teil der deutschen Ackerflächen überwintern Jahr für Jahr Weizen, Roggen, Gerste, Triticale und Raps. Auch Grünlandflächen sind das ganze Jahr über der Witterung ausgesetzt. Nicht immer sind die Bedingungen hierfür ideal.

In Deutschland sinken die Temperaturen an etwa 83 Tagen im Jahr unter den Gefrierpunkt. Grundsätzlich sind landwirtschaftliche Kulturen darauf eingestellt, und einige Pflanzen benötigen den Kältereiz sogar, um im Frühjahr in die generative Phase überzugehen – ein Prozess, der als Vernalisation bekannt ist. Problematisch wird es jedoch, wenn nach einer milden Witterungsperiode plötzlich Frost einsetzt oder extreme Kahlfröste bzw. häufige Wechsel zwischen Frost und Tauwetter auftreten.

Auch Sommerungen bleiben von Frostschäden nicht immer verschont. Besonders Spätfröste haben bereits mehrfach Kulturen wie Zuckerrüben, Mais oder Kartoffeln getroffen und dabei die empfindlichen Vegetationskegel beschädigt.

Wie entstehen Frostschäden? Und wie erhöhen Kalium und Magnesium die Winterhärte?

Eine gesunde, optimal ernährte Pflanze kann moderate Minusgrade gut überstehen. Trotzdem bedeutet Frost immer auch Stress für die Kulturen. Besonders starker Stress entsteht durch plötzlich auftretende Kälte, extrem niedrige Temperaturen und Wechselfröste. Im Wesentlichen gibt es drei verschiedene Mechanismen, welche die Pflanzen in diesen Situationen schädigen können (Abb. 17): Der Eistod, der Frosttrockentod und das Auffrieren.

Die Pflanzenernährung hat bei diesen Mechanismen einen maßgeblichen Einfluss auf die Stressresistenz der Pflanzen. Eine ausgewogene Nährstoffversorgung mit Kalium und Magnesium sorgt für einen optimalen Frostschutz und erhöht die Winterhärte.

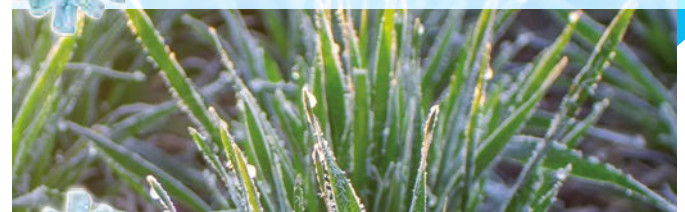
Praxisbeispiele zeigen immer wieder, dass eine verbesserte Kaliumversorgung die Frostresistenz von Pflanzen erhöht. Entscheidend ist dabei, dass das durch gezielte Düngungsmaßnahmen bereitgestellte Kalium zum Zeitpunkt des Frostes bereits vollständig von der Pflanze aufgenommen wurde. Deshalb empfiehlt sich insbesondere bei Wintergetreide auf Böden mit einem Tongehalt von über 8 % eine Kaliumdüngung im Herbst. Voraussetzung dafür ist ein gut entwickeltes Wurzelsystem, das nicht nur die Frosttoleranz verbessert, sondern auch die Trockenheitsresistenz erhöht. Damit Wurzeln in tiefere Bodenschichten wachsen und sich dort besser verankern sowie aus tieferliegenden Wasserreserven schöpfen können, benötigen sie entsprechende Anreize. Eine Grunddüngung im Herbst, gefolgt von einer sorgfältigen Einarbeitung,

unterstützt die jungen Pflanzen dabei, Nährstoffe aus dem erreichbaren Wurzelraum effizient aufzunehmen. Besonders auf leichteren Böden empfiehlt es sich, Kalium möglichst früh auszubringen, um die Pflanzen frühzeitig vor Frost zu schützen. Dabei sollte bei der Wahl des Düngemittels auf eine rasche Löslichkeit geachtet werden, damit die Nährstoffe sofort verfügbar sind.



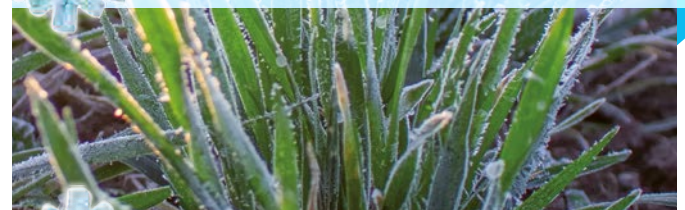
Eistod

Die Zellen frieren ein und werden zerstört



Frosttrockentod

Die Pflanze verdurstet



Auffrieren

Die Wurzeln reißen ab

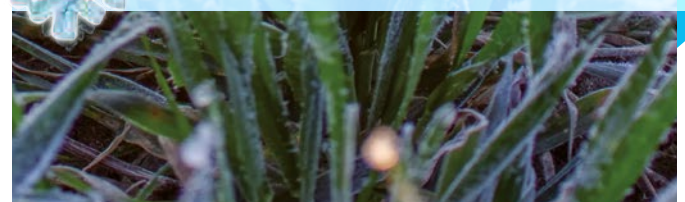


Abb. 17: Diese drei Mechanismen können Frostschäden bei Pflanzen verursachen.

Kalium und Magnesium schützen vor Eistod

Beim Eistod frieren die Zellen ein und werden zerstört

Sind Pflanzenzellen Temperaturen unter dem Gefrierpunkt ausgesetzt, bilden sich in den Zellzwischenräumen (Interzellularen) Eiskristalle. Beim Gefrieren dehnt sich Wasser um etwa 10 % aus. Gleichzeitig entstehen nadelförmige Kristalle, die beim Gefriervorgang die feinen Zellstrukturen beschädigen oder sogar zerstören. Diese Schädigung des Zellgewebes unterbricht lebenswichtige Stoffwechselprozesse, was schließlich zum Absterben der Pflanze führt. Im Inneren der Zellen (Cytoplasma) setzt die hohe Konzentration von gelösten Stoffen den Gefrierpunkt deutlich herab, sodass hier nur bei sehr niedrigen Temperaturen eine Eisbildung stattfindet.

Während der Akklimatisierungsphase passen sich die Pflanzen physiologisch aktiv an die sich verändernden Bedingungen an durch eine Erhöhung der Osmolarität im Zellsaft. In die Zellen werden dann verstärkt wasserlösliche Zucker und Stickstoffverbindungen eingelagert. Diese Stoffe können die Enzyme und die Zellmembranen stabilisieren und so vor den Folgen des Gefrierens schützen (Abb. 18). Die Zellfunktionalität bleibt so auch bei niedrigen Temperaturen erhalten. Eine ausreichende Kaliumversorgung fördert die Bildung dieser Substanzen in der Pflanze. Auf diese Weise hemmt Kalium die Eisbildung im Pflanzengewebe - vergleichbar mit der Wirkung von Frostschutzmitteln im Kühlkreislauf von Fahrzeugmotoren.

Der Akklimatisierungsprozess benötigt im Prinzip nur wenige Stunden bis Tage und erlaubt es den Pflanzen so, sich an rasch absinkende Temperaturen, wie sie zu Beginn des Winters des Öfteren auftreten, anzupassen. Darüber hinaus finden in Pflanzen über den gesamten Verlauf des Herbstes noch weitere Anpassungen statt. Sie beginnen, wenn die Pflanzen die kontinuierlich fallenden Temperaturen und Tageslichtlängen wahrnehmen. Diese Prozesse nehmen mehrere Wochen in Anspruch und sind genetisch gesteuert.

Kalium und Magnesium für idealen Frostschutz der Zellen

Voraussetzung für eine effiziente Akklimatisierung ist eine gute Nährstoffversorgung des Bestandes. Um genügend Kohlenhydrate und Stickstoffverbindungen in den Zellen einlagern zu können, müssen diese auch entsprechend zur Verfügung stehen. Die Basis für die Bildung von organischen Verbindungen jeglicher Art legt die Photosynthese. Bei der Photosynthese wird Kohlenstoffdioxid aus der Luft mit Hilfe von Sonnenlicht in Zucker und andere Stoffwechselprodukte überführt. Kalium und Magnesium spielen bei diesem Prozess eine zentrale Rolle. Abbildung 19 zeigt, dass sowohl bei Kaliummangel als auch bei Magnesiummangel die Photosyntheserate beeinträchtigt ist.

Je besser der Bestand also in der Vorwinterphase mit Kalium und Magnesium versorgt ist, desto effizienter kann er über die Photosynthese die Basis für die Akklimatisierung legen. Ideal ist ein Zusammenspiel mit sonnigem Wetter vor Frostbeginn

für eine hohe Photosyntheserate. Außerdem kann eine Akkumulation von Kalium im Zellsaft ebenfalls zu einer Abnahme des Gefrierpunktes führen.

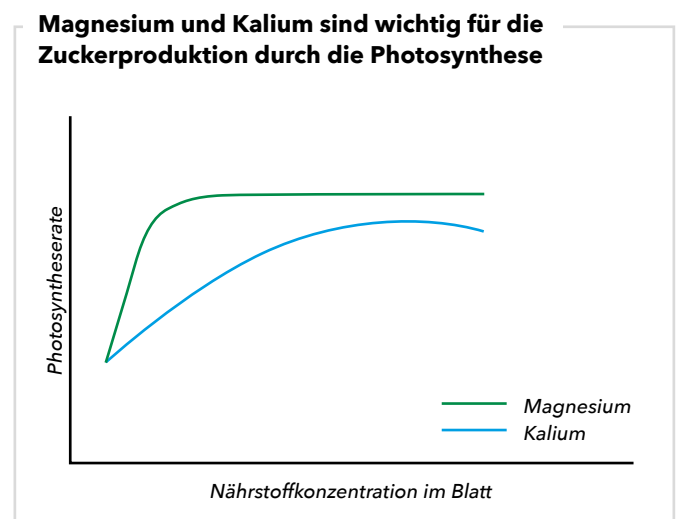
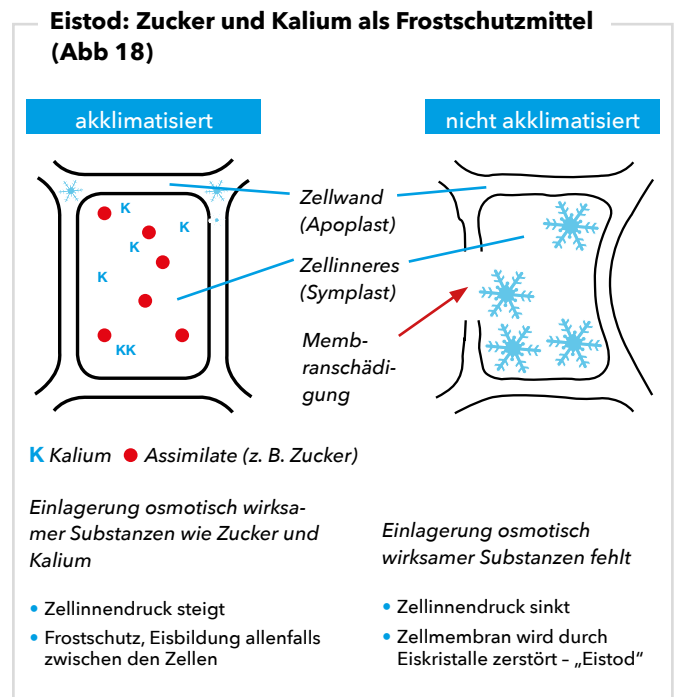


Abb. 19: Liegen Kalium oder Magnesium - oder im schlimmsten Fall sogar beide Nährstoffe - im Mangel vor, hat dies dramatische Konsequenzen für die Photosynthese. Eine ausreichende Versorgung der Pflanzen mit Kalium und Magnesium ist für Winterungen auch deshalb wichtig, weil die Pflanzen nur so ausreichend Biomasse und Kohlenstoffverbindungen bilden können, um sich mit Hilfe der Akklimatisierung gut auf den Winter vorzubereiten. (Schematisch nach Terry und Ulrich, 1974 sowie nach Jin et al., 2011)

Kalium und Magnesium schützen vor Frosttrockentod

Beim Frosttrockentod „verdurstet“ die Pflanze

Während anhaltender Frostperioden droht den landwirtschaftlichen Kulturen eine zusätzliche Gefahr: Da die Pflanzen aus dem gefrorenen Boden kein Wasser mehr aufnehmen können, besteht das Risiko, dass sie austrocknen. Ähnlich wie in Trockenphasen im Sommer geraten die Pflanzen dadurch unter Trockenstress.

Besonders kritisch ist die Situation im Winter, wenn durch Sonneneinstrahlung tagsüber die Temperaturen steigen, der Boden jedoch weiterhin gefroren bleibt und zudem eine isolierende Schneedecke fehlt. In solchen Fällen verlieren die Pflanzen über die Spaltöffnungen (Stomata) ihrer Blätter Wasser, können diesen Verlust jedoch nicht durch Wasseraufnahme über die Wurzeln ausgleichen.

Kalium und Magnesium für einen gesunden Wasserhaushalt

Kalium und Magnesium vermindern das Risiko des Frosttrockentodes. Kalium übernimmt wichtige Funktionen im Wasserhaushalt der Pflanze und steuert das Öffnen und Schließen der Stomata. Nur bei ausreichender Kaliumversorgung sind Pflanzen in der Lage, die Stomata dem Bedarf entsprechend zu regulieren und so unproduktive Wasserverluste zu vermeiden.

Magnesium fördert das Wurzelwachstum



Abb. 20: Das erste Symptom von Magnesiummangel ist ein reduziertes Wurzelwachstum. (Foto: Cakmak)

Kalium und Magnesium spielen zudem neben den Funktionen bei der Photosynthese auch eine entscheidende Rolle bei dem anschließenden Transport der bei der Photosynthese gebildeten Kohlenhydrate in Gewebe, die nicht selbst Photosynthese betreiben können. Das trifft zum Beispiel auf die Wurzeln zu. Bei Kaliummangel und noch deutlicher bei Magnesiummangel ist zu beobachten, dass die gebildeten Kohlenhydrate in den Blättern akkumulieren. Hingegen nimmt die Konzentration in den Leitbahnen der Pflanze, die für die Verteilung der Photosyntheseprodukte innerhalb der Pflanze verantwortlich sind, ab. Vermutlich hängt dies eng mit den Funktionen der beiden Nährstoffe bei der Beladung der Leitbahnen in den Blättern zusammen. Oft treten diese mit dem bloßen Auge nicht erkennbaren Nährstoffmangelsymptome auf, bevor die typischen mit Kalium- und Magnesiummangel einhergehenden Chlorosen oder sogar Nekrosen an den Blättern zu beobachten sind.

Deshalb ermöglicht eine gute Versorgung der Pflanzen mit Magnesium und Kalium ein schon vor Wintereintritt gut ausgebildetes Wurzelsystem (Abb. 20). Dieses kann entsprechend Wasser auch aus tieferen Bodenschichten aufnehmen, die nicht gefroren sind, so dass die Pflanze ihren Wasserhaushalt auch bei Frost aufrecht erhalten kann (Abb. 21).

Kalium und Magnesium schützen vor Frosttrockentod

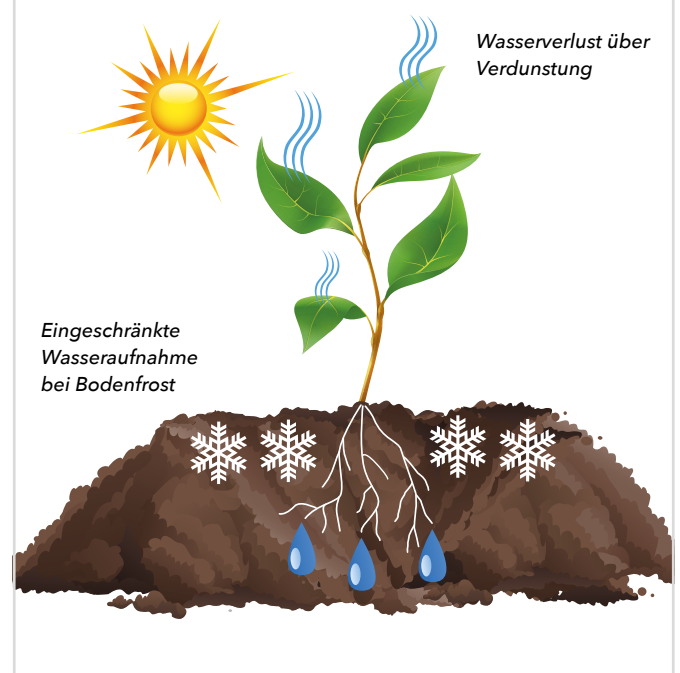


Abb. 21: Magnesium fördert die Bildung eines starken Wurzelsnetzes, das bei nur oberflächlich gefrorenem Boden noch die Wasseraufnahme aus etwas tieferen Schichten ermöglicht. Kalium steuert die Funktion der Stomata und kann so unproduktiven Wasserverlust verhindern.

Kalium und Magnesium schützen vor dem Auffrieren

Beim Auffrieren reißen die Wurzeln ab

Zu Beginn des Frühlings kommt es häufig zu einem Wechsel zwischen milden Tagestemperaturen und frostigen Nächten. Bei diesen Wechselfrösten taut die oberste Bodenschicht tagsüber auf, wodurch sich die Bodenporen mit Wasser füllen. In den kalten Nächten gefriert dieses Wasser wieder, dehnt sich aus und verursacht dadurch Bewegungen im Boden. Diese mechanischen Belastungen können die Pflanzenwurzeln beschädigen oder sogar zerreißen – insbesondere dann, wenn der Boden nach der Aussaat nicht ausreichend rückverfestigt wurde. Je länger solche Wechselfrostphasen andauern, desto größer sind die Schäden an den Pflanzen (Abb.22).

Kalium und Magnesium für starke Wurzeln

Kalium und besonders Magnesium sorgen für ein gutes Wurzelwachstum. Dies wird deutlich, wenn die Folgen einer schwachen Kalium- bzw. Magnesiumversorgung betrachtet werden. Die während der Photosynthese gebildeten Kohlenhydrate sammeln sich in den Blättern an, da ihr Abtransport in die Wurzeln vor allem bei Magnesiummangel stark gehemmt ist. Dadurch ist das Wurzelwachstum vermindert. Letztlich zeigt sich dies dann an einem stark in Richtung Spross verschobenen Spross-/Wurzel-Verhältnis. Ein gutes Wurzelwachstum hilft dabei, die Folgen von leichteren Wechselfrösten zu kompensieren. Dank Kalium und Magnesium können die Wurzeln nach entstandenen Schäden schnellstmöglich wieder nachwachsen.

Wechselfröste werden für Wurzeln zur Zerreißprobe

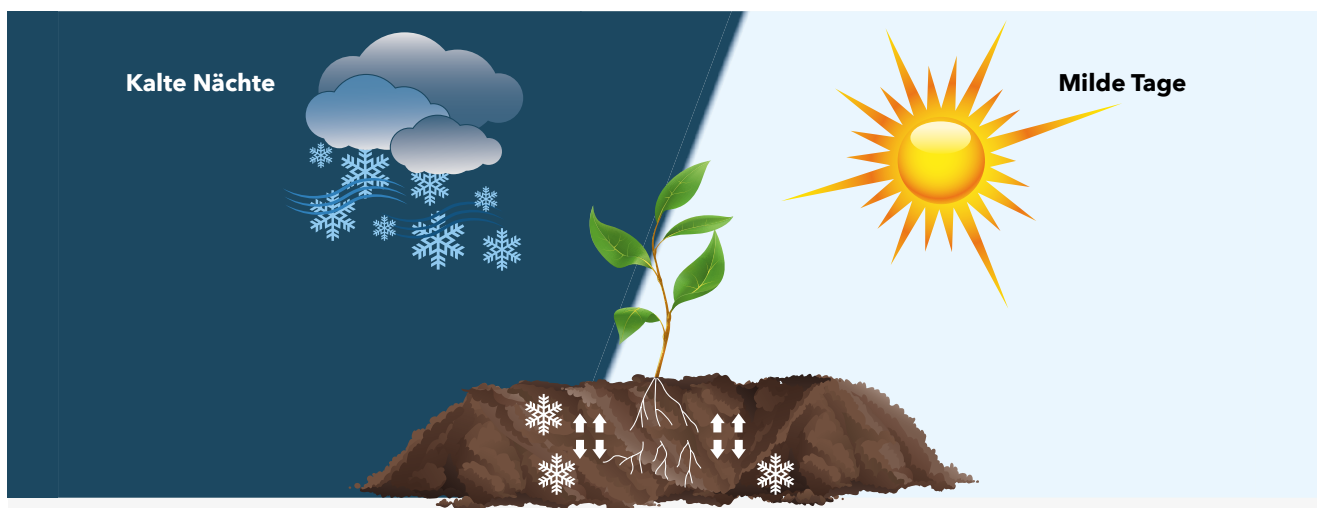


Abb. 22: Bei Wechselfrösten gefriert der Boden nachts, tagsüber tauen die ersten Zentimeter auf. Durch die dabei entstehenden Bodenbewegungen reißen die Wurzeln.

Lösungsansätze:

Die Pflanzenernährung spielt eine entscheidende Rolle für die Widerstandsfähigkeit der Pflanzen gegenüber Stressfaktoren. Eine ausgewogene Nährstoffversorgung mit Kalium und Magnesium sorgt für einen optimalen Frostschutz und erhöht die Winterhärte.

Je besser der Pflanzenbestand bereits in der Vorwinterphase mit diesen Nährstoffen versorgt ist, desto effektiver kann er mithilfe der Photosynthese die Grundlagen für die Akklimatisierung schaffen. Darüber hinaus trägt die Anreicherung von Kalium im Zellsaft dazu bei, den Gefrierpunkt zu senken.

Eine gute Versorgung mit Kalium und Magnesium fördert zudem die Entwicklung eines kräftigen Wurzelsystems noch

vor Winterbeginn. So sind die Pflanzen in der Lage, auch bei Frost Wasser aus tieferen, nicht gefrorenen Bodenschichten aufzunehmen und ihren Wasserhaushalt aufrechtzuerhalten. Ein gut entwickeltes Wurzelsystem hilft, die Auswirkungen leichter Wechselfröste abzufedern. Nach Frostschäden können die Wurzeln dank der Unterstützung durch diese Nährstoffe rasch wieder regenerieren.

Insgesamt verringert eine optimale Nährstoffversorgung mit Kalium und Magnesium deutlich das Risiko von Ertragsseinbußen durch Frostschäden.

Stressfaktor Krankheiten

Die Abwehrkräfte der Kulturen gegen biotische Schadfaktoren stärken - Kalium erhöht die Widerstandsfähigkeit

Gesunde und ungestresste Kulturen sind das Ziel eines jeden Landwirts, um mit fitten Beständen hohe Erlöse zu erzielen. Bereits durch die Sortenwahl, die Fruchtfolge, die Düngung und weitere Anbaumaßnahmen können Kulturen vorbeugend geschützt werden. Kommt es doch zu einem Befall durch biotische Schaderreger wird dieser sicherlich durch die genannten Möglichkeiten nicht verhindert, aber die Infektionsstärke kann mutmaßlich verringert werden.

Ein Nährstoffmangel führt in der Regel zu (stress-) anfälligeren Pflanzen, die leichter von Schadfaktoren, wie zum Beispiel den Pilzen, beeinflusst werden. Unterstützend helfen kann hier eine bedarfsgerechte Düngung mit Korn-KALI. Diese Maßnahme stärkt die natürlichen Abwehrkräfte der Kulturen, da vor allem durch Kalium das Zellgewebe die beste Stabilität erhält und so bei beginnendem Befall ein längerer Widerstand geleistet werden kann.

Pflanzengesundheit: Stresstoleranz durch Vitalität

Gut versorgte Pflanzen sind insgesamt widerstandsfähiger gegenüber klimabedingtem Stress wie Trockenheit und Kälte, aber auch gegenüber pilzlichen Krankheitserregern. Besonders die zellstabilisierende Wirkung von Kalium bringt in der Praxis mehrere Vorteile mit sich:

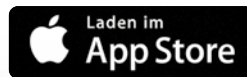
- Verbesserte Resistenz gegenüber Pilzkrankheiten
- Verringerte Lageranfälligkeit durch stabilere Halme.

Kalium ist an der Aktivierung von über 50 Enzymen beteiligt und spielt damit eine zentrale Rolle im Stoffwechsel der Pflanze, insbesondere bei der Bildung von Kohlenhydraten und strukturellen Zellbausteinen. Dadurch entstehen stabilere Halme, die weniger zu Lager neigen und besser gegen Umwelteinflüsse wie Sturm, Hagel und Starkregen gewappnet sind. Kalium reduziert auch aufgrund eines günstigeren Verhältnisses von Kalium zu Stickstoff den Anteil an schwammigem Gewebe und somit steigert es zudem die Widerstandsfähigkeit der Pflanzen gegen pilzliche Krankheitserreger. Pilzliche wie auch tierische Schaderreger, etwa Blattläuse, bevorzugen den Verzehr niedermolekularer Verbindungen im Pflanzensaft.

Bei Kaliumunterversorgung hingegen sammeln sich in den Pflanzen große Mengen stickstoffhaltiger Verbindungen wie Aminosäuren und Amine an, die nicht weiter zu Eiweißen aufgebaut werden. Bei ausreichender Versorgung mit Kalium werden diese im Stoffwechsel des Getreides zu höherwertigem Protein umgewandelt und den biotischen Vektoren somit ein Teil der Futtergrundlage entzogen. Diese Zusammenhänge lassen sich durch Feldversuche nachvollziehen, beispielsweise durch Bonituren auf Mehltau oder nichtparasitäre Blattflecken wie Teerflecken oder Sonnenbrand.



Starkes Lager in einer Versuchspazelle ohne Kaliumdüngung



Die neue KALI-TOOLBOX APP

Nährstoffmangel diagnostizieren -
Düngebedarf kalkulieren

Kostenlos - Einfach im Store nach „KALI-TOOLBOX“ suchen.



Jetzt für den **KALI Akademie® Newsletter**
einschreiben: newsletter.kali-akademie.de



Fan von **K+S Agrar** werden



Folge **kplussagr**





Von Profis für Profis - Entdecken Sie das Wissen der KALI Akademie®!

Die KALI Akademie ist die Wissensplattform von K+S rund um die Pflanzenernährung. Seit mehr als 100 Jahren forschen wir aktiv nach Lösungen für agronomische Herausforderungen.

Dazu gehören die Steigerung der Produktivität, die Förderung der Bodenfruchtbarkeit und eine effiziente, umweltschonende Nutzung der Ressourcen durch eine ausgewogene Düngung.

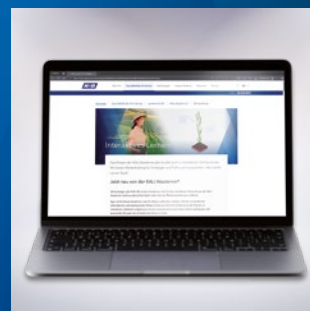
Unser Wissen geben wir in der KALI Akademie über Online-Kurse, Webinare, Fachbeiträge und Podcasts weiter an die landwirtschaftliche Praxis.

Alles zur KALI Akademie®
unter www.kali-akademie.de

Online-Kurse

Ob Einsteiger oder Profi. Wir lernen niemals aus. Und mit den interaktiven Online-Kursen der KALI Akademie macht es jetzt einfach Spaß, mehr über die Pflanzenernährung zu erfahren.

kurse.kali-akademie.de



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. Das bekommen Sie in unseren interaktiven Webinaren:

webinare.kali-akademie.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 die Pflanzenernährung sehen Sie in unserer KALI Akademie-Playlist auf YouTube:

video.kali-akademie.de




Vielseitig und hochwertig - unsere Produkte auf einen Blick

Wir gewinnen Pflanzennährstoffe im Bergbau und veredeln sie zu Boden-, Blatt- und Fertigungsdüngern. Aufgrund ihrer mineralischen Herkunft sind unsere vielseitigen Produkte gemäß den Verordnungen (EU) 2018/848 und (EU) 2021/1165 zum Einsatz im ökologischen Landbau zugelassen und in den Betriebsmittellisten von FiBL (D) und EASY CERT (A) gelistet.

Weitere Informationen zu den Produkten finden Sie hier:
www.kpluss.com/duengemittel

✓
 for organic farming



 BODENDÜNGUNG		Öko	K ₂ O	MgO	S *	Weitere Nährstoffe
	Korn-KALI®	✓	38	6	4,8	-
	Korn-KALI®^{+B}	✓	38	6	4,8	0,25 B
	Roll-KALI®	✓	48	4	4	-
	KALIMOP®	✓	60	-	-	-
	Magnesia-Kainit®	✓	9	4	3,2	26,7 Na
	KALISOP®	✓	50	-	17,6	-
	PatentKALI®	✓	30	10	17,6	-
	ESTA® Kieserit	✓	-	25	20,8	-

2026 | Die Spezifikation entnehmen Sie bitte dem technischen Merkblatt.

Angaben in Prozent



BLATT- UND
FLÜSSIGDÜNGUNG

	Öko	K ₂ O	MgO	S *	Weitere Nährstoffe
epso TOP ®	✓	-	16	13	-
epso MICROTOP ®	✓	-	15	12,4	1 Mn · 0,9 B
epso COMBITOP ®	✓	-	14	13,8	4 Mn · 1 Zn
epso BORTOP ®	✓	-	12,6	10	4 B
epso PROFITOP ®	✓	-	12	14	5 Mn · 2 Zn · 1 Cu
epso MULTITOP ®	✓	-	11	12,4	4 Mn · 3 Zn · 2 B
solu SOP ® ⁵² ORGANIC	✓	52,5	-	18	-
solu MOP ®	✓	60	-	-	-

* Umrechnungsbeispiel Schwefel (S) in Schwefeltrioxid (SO₃): 4 % S x 2,5 = 10 % SO₃

Angaben in Prozent

Korn-KALI®

MINERALISCHES DÜNGEMITTEL K₂O (MgO, SO₃) 38 (6+12)

38% K₂O wasserlösliches Kaliumoxid (= 31,5% K)
6% MgO wasserlösliches Magnesiumoxid (= 3,6% Mg)
12% SO₃ wasserlösliches Schwefeltrioxid (= 4,8% S)

Korn-KALI ist der ideale Kaliumdünger mit Magnesium und Schwefel und liefert alle enthaltenen Nährstoffe im richtigen Verhältnis für landwirtschaftliche Kulturen. Alle Nährstoffe sind voll wasserlöslich und liegen in sofort pflanzenverfügbarer Form vor. Korn-KALI ist auf allen Böden einsetzbar und ist ideal für alle chloridverträglichen Kulturen.



ESTA® Kieserit

MINERALISCHES DÜNGEMITTEL (MgO, SO₃) (25+52)

25% MgO wasserlösliches Magnesiumoxid (= 15,1% Mg)
52% SO₃ wasserlösliches Schwefeltrioxid (= 20,8% S)

ESTA Kieserit ist ein mineralischer, hochprozentiger Magnesium- und Schwefeldünger, der direkt pflanzenverfügbares Magnesium in sulfatischer Form enthält und unter allen Bodenbedingungen unabhängig vom pH-Wert schnell und nachhaltig wirksam ist. ESTA Kieserit ermöglicht eine Schwefeldüngung unabhängig von der Stickstoffgabe, kann sowohl als Einzelapplikation oder zur Weiterverarbeitung in Bulk Blends angewandt werden.



PatentKALI®

MINERALISCHES DÜNGEMITTEL K₂O (MgO, SO₃), 30 (10+44)

30% K₂O wasserlösliches Kaliumoxid (= 24,9% K)
10% MgO wasserlösliches Magnesiumoxid (= 6% Mg)
44% SO₃ wasserlösliches Schwefeltrioxid (= 17,6% S)

PatentKALI ist ein Kalium-Spezialdünger, bei dem Kalium, Magnesium und Schwefel in sulfatischer Form vorliegen. Er eignet sich besonders für chloridempfindliche Kulturen wie Kartoffeln, Obst, Gemüse, Reben, Hopfen und Sonnenblumen. Als Rundgranulat weist PatentKALI besonders gute Streueigenschaften auch auf großen Streubreiten aus.



epsoTOP®

MINERALISCHES DÜNGEMITTEL (MgO, SO₃) (16+32,5)

16% MgO wasserlösliches Magnesiumoxid (= 9,6% Mg)
32,5% SO₃ wasserlösliches Schwefeltrioxid (= 13% S)

epsoTOP ist ein schnell wirksamer Magnesium- und Schwefeldünger. Es deckt den Spitzenbedarf in allen Wachstumsphasen für verschiedene Kulturen wie Getreide, Raps, Zuckerrüben oder Kartoffeln. epsoTOP ist mit den meisten Pflanzenschutzmitteln und Flüssigdüngern mischbar und auch in Fertigungsanlagen einsetzbar. Es enthält ausschließlich sulfatischen Schwefel und Magnesium aus dem Mineral Kieserit



Kompetente Ansprechpartner - Ihre K+S-Regionalberater

Unsere Beratungsaktivitäten verfolgen das Ziel, bestehende und neue Erkenntnisse aus der Pflanzenernährungsforschung an die landwirtschaftliche Praxis weiterzugeben.

Der optimale Einsatz von Düngemitteln ist entscheidend für den Ertrag und die Qualität landwirtschaftlicher Produkte. Je nach Standort, Kultur und Anbausystem gibt es unterschiedliche Anforderungen an eine bedarfsgerechte Düngung. Die Auswahl der richtigen Nährstoffmenge und -form, der passenden Applikation und des Düngezeitpunkts sind wichtige Aspekte für den Erfolg der Düngestrategie.

Deshalb steht ein Netzwerk an K+S-Agronomen bereit, um Landwirte mit maßgeschneiderten Düngungsempfehlungen für die Kulturen und Böden vor Ort zu unterstützen. Unsere Fachberater verfügen über eine langjährige Erfahrung in der Pflanzenernährung und unterstützen Landwirte mit wichtigen Informationen rund um die Nährstoffe Kalium, Magnesium, Schwefel und Natrium sowie zu den Mikronährstoffen Bor, Mangan und Zink.



Profitieren Sie von der Kompetenz unserer Regionalberater.
Finden Sie den direkten Kontakt für Ihre Region ►



Ihr Kontakt zu uns

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
www.kpluss.com



Fan von **K+S Agrar** werden



Videos auf dem **K+S Minerals and Agriculture**-Kanal schauen



Folge **kplussagr**



KALI Akademie®
www.kali-akademie.de

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

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

Fotos: K+S Minerals and Agriculture GmbH, Getty Images, AdobeStock, iStockphoto.com



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

