

Landesarbeitskreis
Düngung
Bayern/Südwest



Essenzielle Nährstoffe für die Pflanzenernährung

Stand Januar 2024



Hinweis

Der Foliensatz darf ausschließlich zu Präsentationszwecken genutzt werden. Eine Weitergabe ist nur mit schriftlicher Genehmigung des Industrieverband Agrar e.V. erlaubt. Zudem darf der Foliensatz nicht online für Dritte verfügbar gemacht werden.

Warum sollte man düngen?



- Nur wenige Böden dieser Erde sind so gut mit Nährstoffen versorgt, dass man über längere Zeit hohe Erträge ohne Düngung erzielen kann
- Ergänzung der natürlichen Nährstoffversorgung des Bodens
- Ersatz der mit der Ernte entzogenen Nährstoffe und sonstiger Verluste
- Die Bevölkerung wächst, mehr landwirtschaftliche Nutzfläche wird nötig



Was brauchen Pflanzen?



1. Energie

- Licht zur Fotosynthese (Aufbau von Zucker usw.), Wärme zum zügigen Ablauf des Stoffwechsels

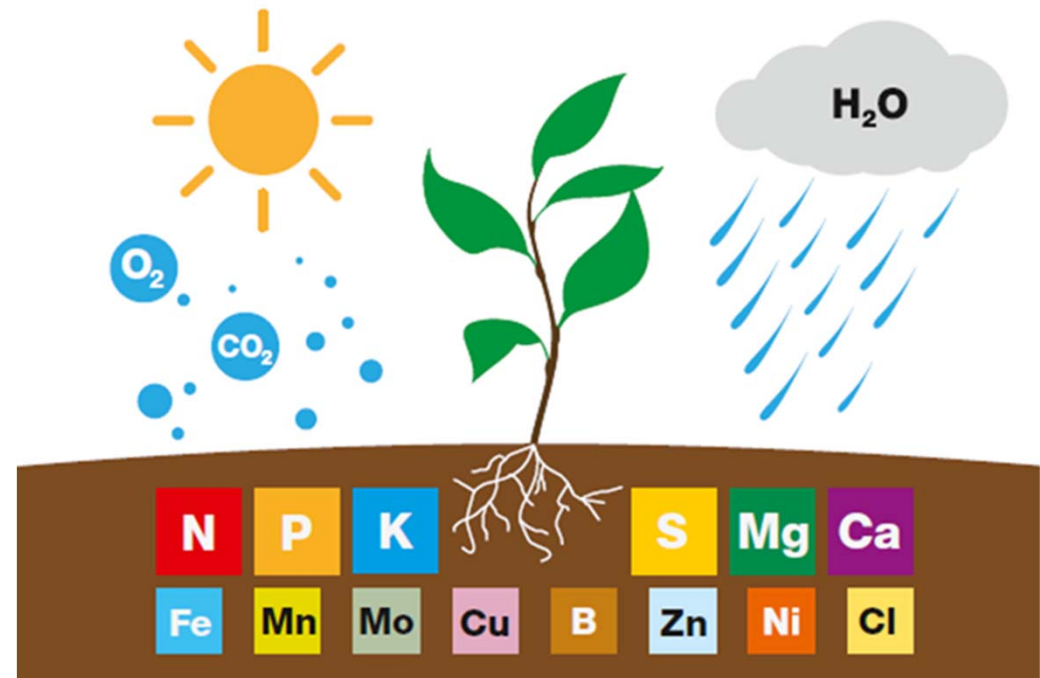
2. Gase

- Kohlendioxid (Kohlensäure, CO_2) als Baustein der Pflanzensubstanz
- Sauerstoff (O_2) als Baustein zur Atmung (zum Abbau)

3. Wasser

- Als Baustein, Lösungsmittel, usw.

4. Mineralische Nährstoffe (Salze)



Quelle: K+S

Das Gesetz vom Minimum der Liebigtonne



- Ziel: Alle Nährstoffe sollen im Optimum angeboten werden, d.h. ausbalancierte Ernährung der Pflanzen
- Wenn ein Nährstoff unter seinem Optimum liegt, so könnte dieser der limitierende sein - Minimumfaktor



Quelle: K+S

Pflanzenverfügbarkeit der Nährstoffe



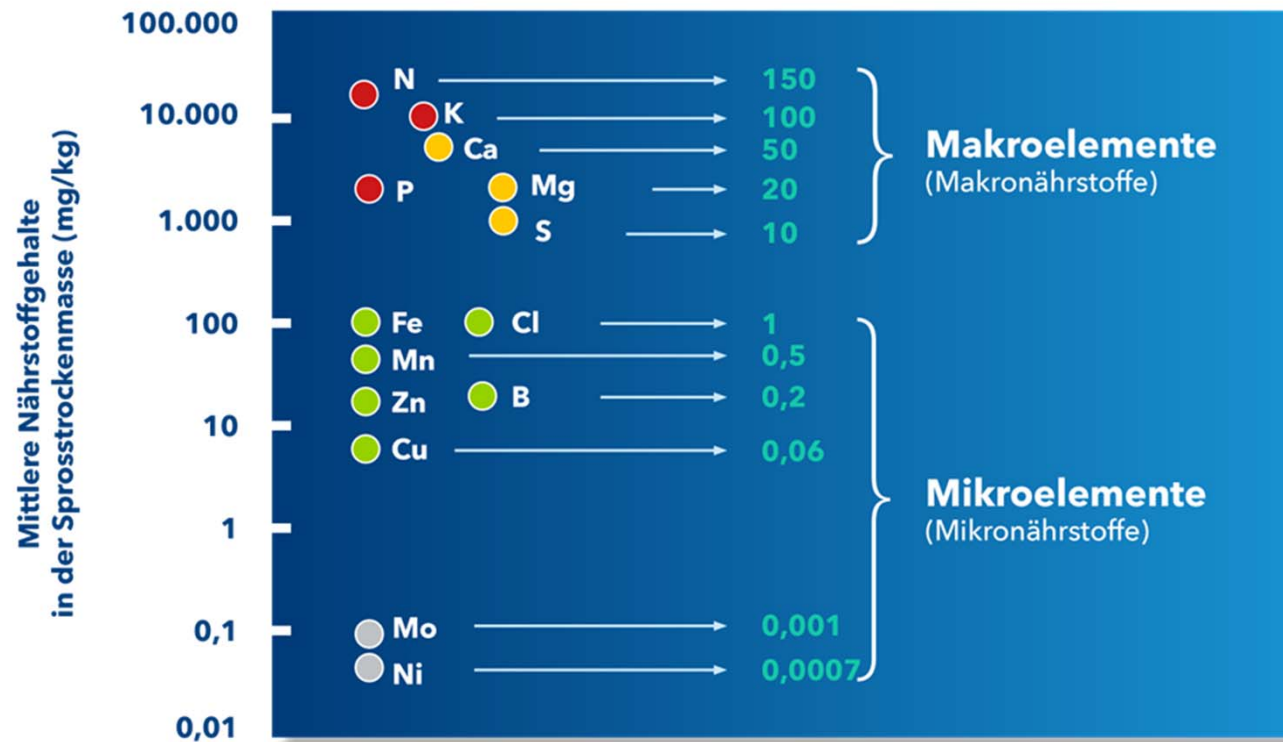
- Pflanzen können Nährstoffe nur in gelöster Form (Ionen) aufnehmen – entweder über die Wurzel oder über die Blätter
- Die Nährstoffe aus organischen Düngemitteln müssen erst im Boden in die pflanzenverfügbare Form umgesetzt werden (Mineralisation) und sind daher nicht direkt für die Pflanze verfügbar



Makro- und Mikronährstoffe



Nährelementmengen in **kg/ha** im Spross bei einer
Bildung an Biomasse von 10t Trockenmasse/ha



Mittlere Gehalte und Mengen der 14 Nährelemente im Spross von Kulturpflanzen
Quelle: verändert nach Wissemeier/Olfs (2019)

Nährstoffmangel und Lokalisierung innerhalb der Pflanze

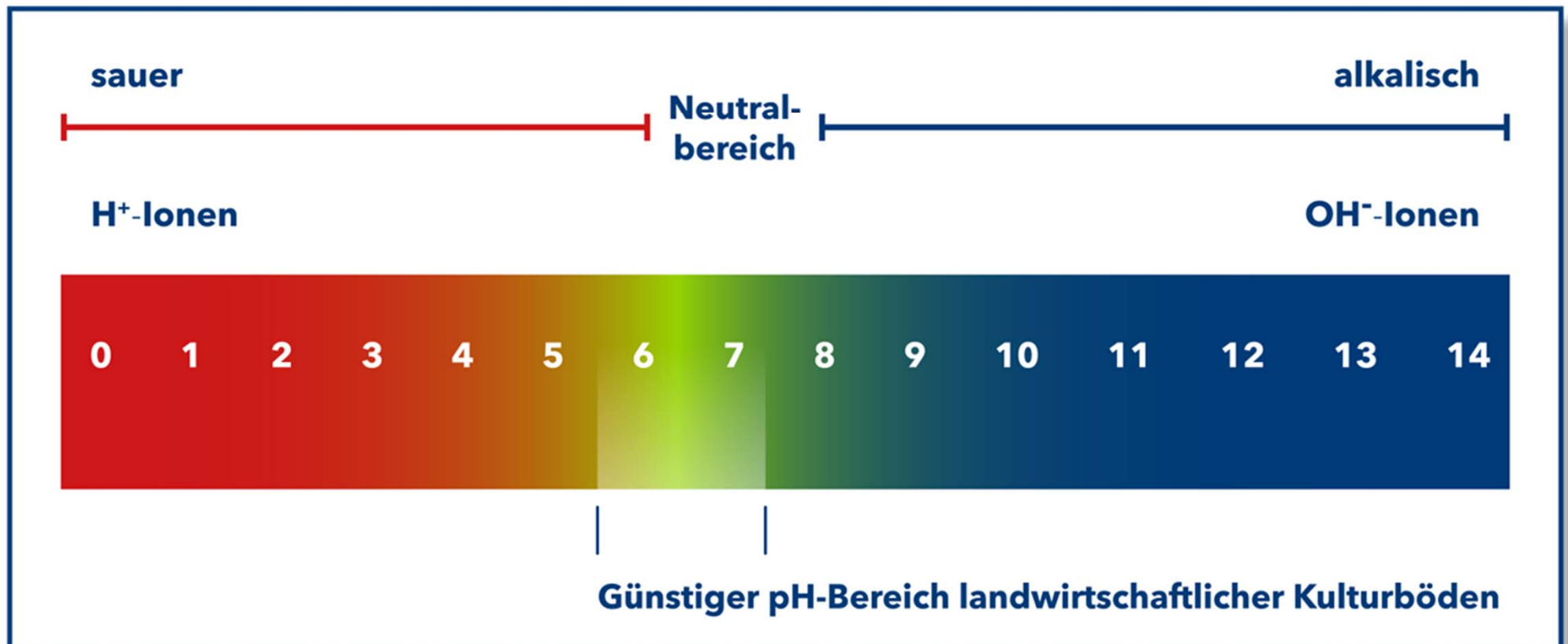


- Nährstoffmangel an jungen Blättern
 - S, B, Mn sind in der Pflanze relativ schwer mobilisierbar
 - Daher sind bei Mangel zuerst jüngere Blätter betroffen
- Nährstoffmangel an alten Blättern
 - K, Mg, N und P sind in der Pflanze relativ gut mobilisierbar
 - Nährstoffe werden zu den jüngeren Pflanzenteilen transportiert, der Mangel wird an älteren Blättern zuerst sichtbar



Quelle: K+S

pH-Wert-Bereich

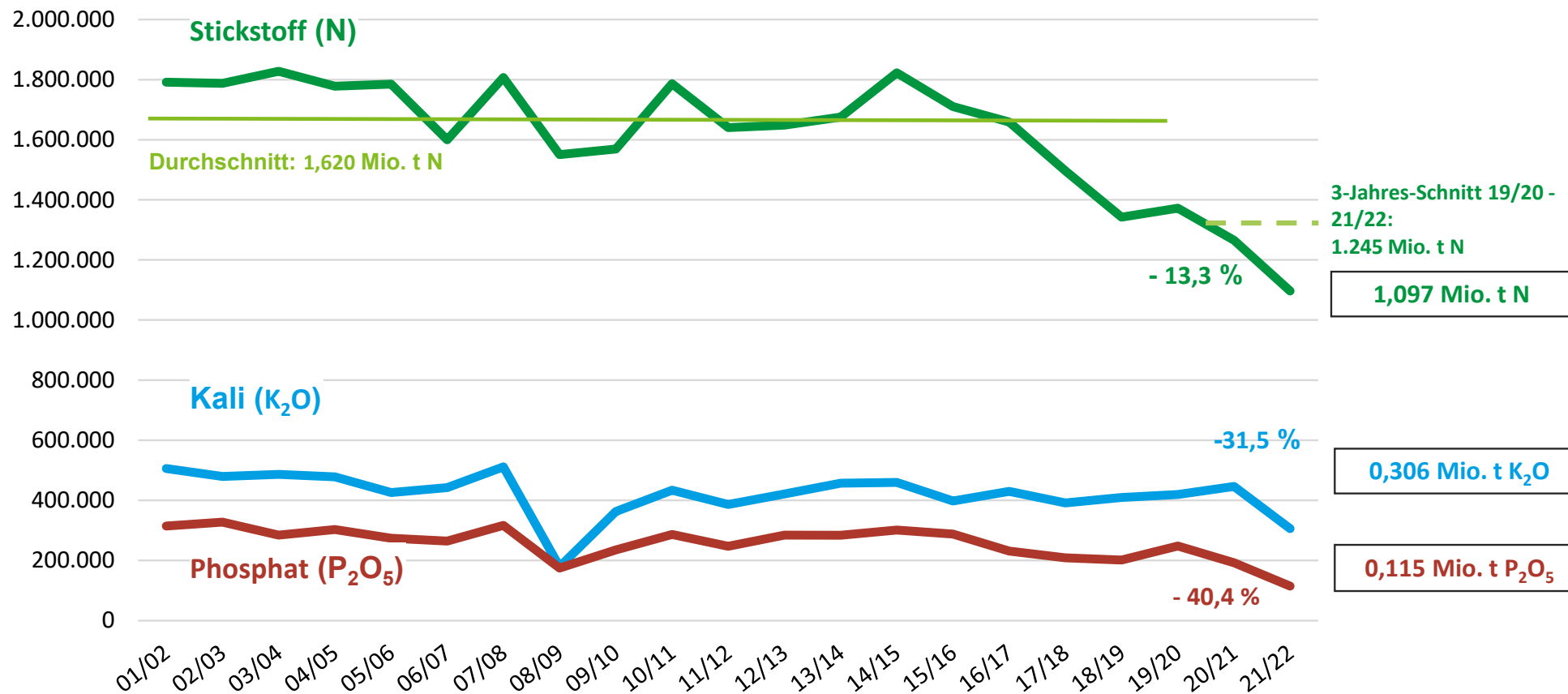


Quelle: K+S

Absatz von Mineraldüngern in Deutschland



Tonnen Nährstoffe



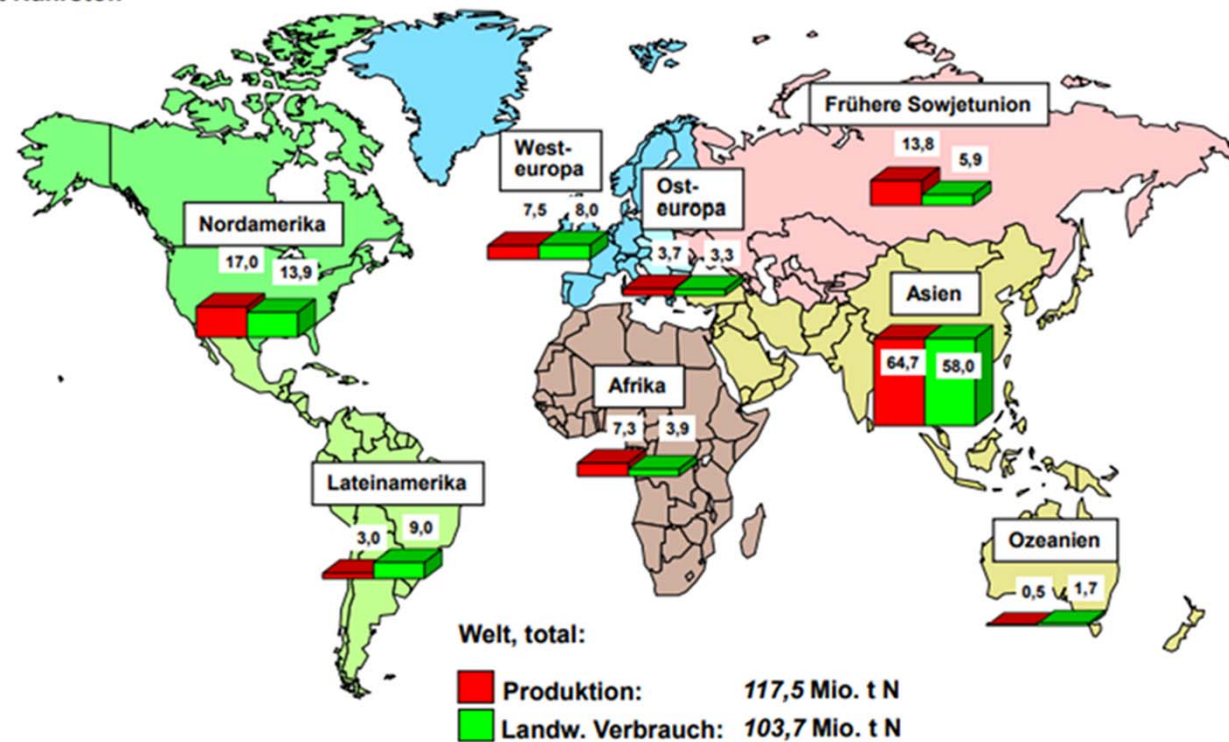
Quelle: IVA mit Daten des Statistischen Bundesamts

Globale Stickstoff-Produktion und landwirtschaftlicher Verbrauch

WELT

Stickstoff-Produktion und landwirtschaftlicher Verbrauch 2018/19 *

Mio. t Nährstoff



Quelle: Fertilizers Europe/IFA

* vorläufig

7

N

Stickstoff
14,01



Stickstoff-Formen



- Organisch gebunden:
 - Erst nach Mineralisierung pflanzenverfügbar
 - Mineralisierung abhängig von Temperatur, Bodenfeuchte und pH-Wert
 - Nachhaltige N-Quelle

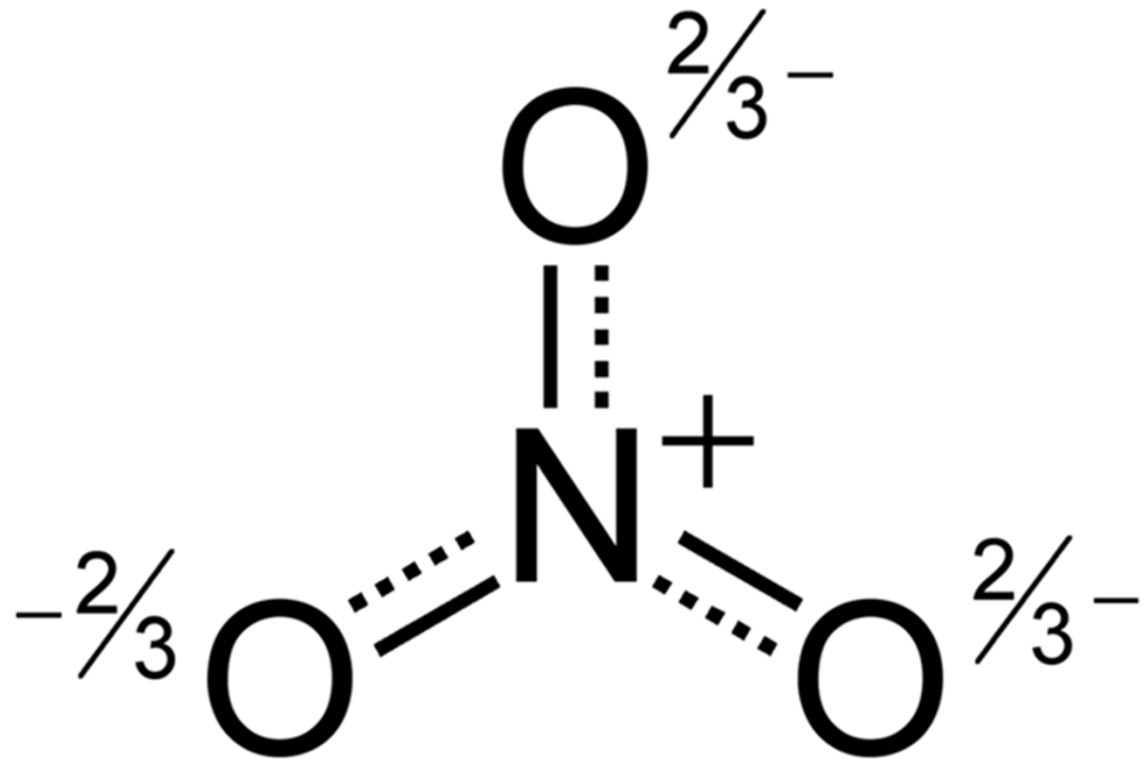
- Mineralisch gebunden:
 - Als Nitrat (NO_3^-)
 - Oder Ammonium (NH_4^+)



Eigenschaften von Nitratstickstoff



- Im Boden sehr mobil
- Sehr gut pflanzenverfügbar
- Schnell wirkend
- Wird nur in geringen Mengen im Boden gebunden
- Gefahr von Stickstoffverlusten durch Verlagerung

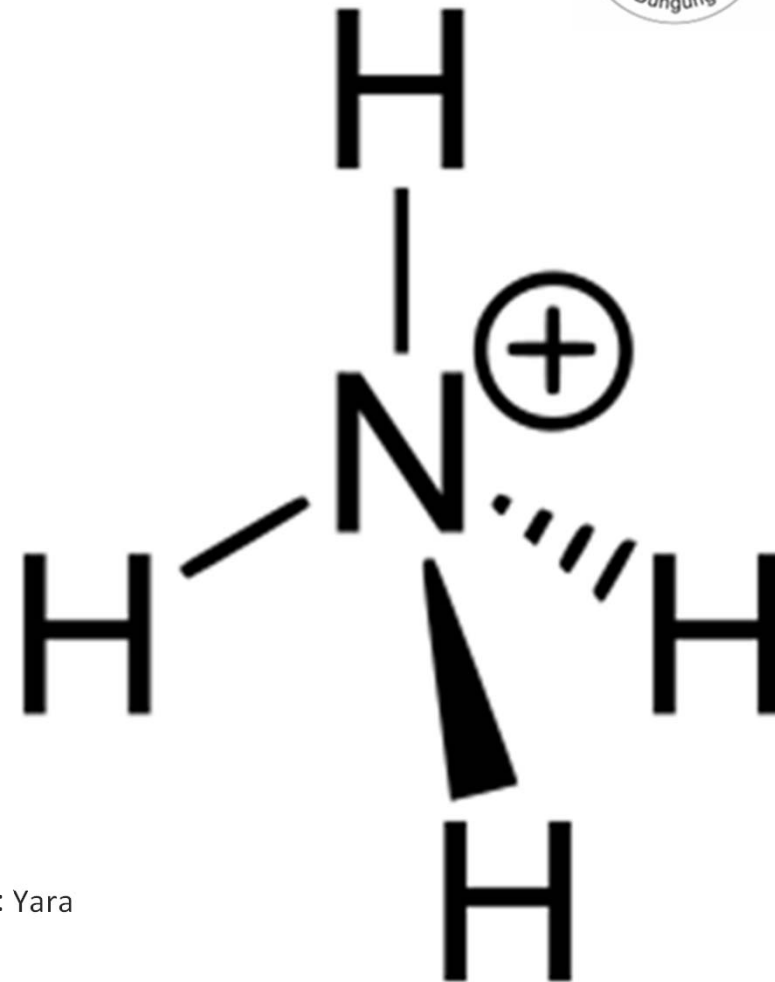


Quelle: Yara

Eigenschaften von Ammoniumstickstoff



- Pflanzenverfügbar
- Wird im Boden gebunden und ist weniger mobil als Nitrat
- Wird bei entsprechender Temperatur und Feuchtigkeit in Nitrat umgewandelt (Nitrifikation)

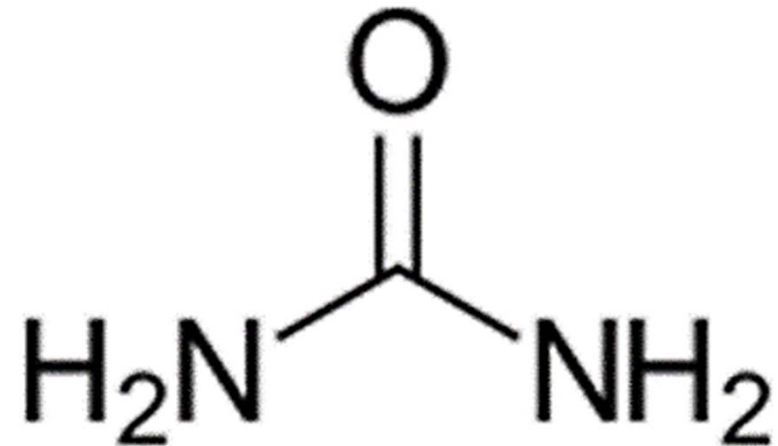


Quelle: Yara

Eigenschaften von Carbamidstickstoff (Harnstoff)



- Bei Anwendung über den Boden nicht direkt pflanzenverfügbar
- Wird im Boden durch das Enzym Urease schnell zu Ammonium umgewandelt
- Global der meistverwendete Stickstoffdünger



Quelle: Yara

Eigenschaften von Calciumcyanamid-N (Kalkstickstoff)

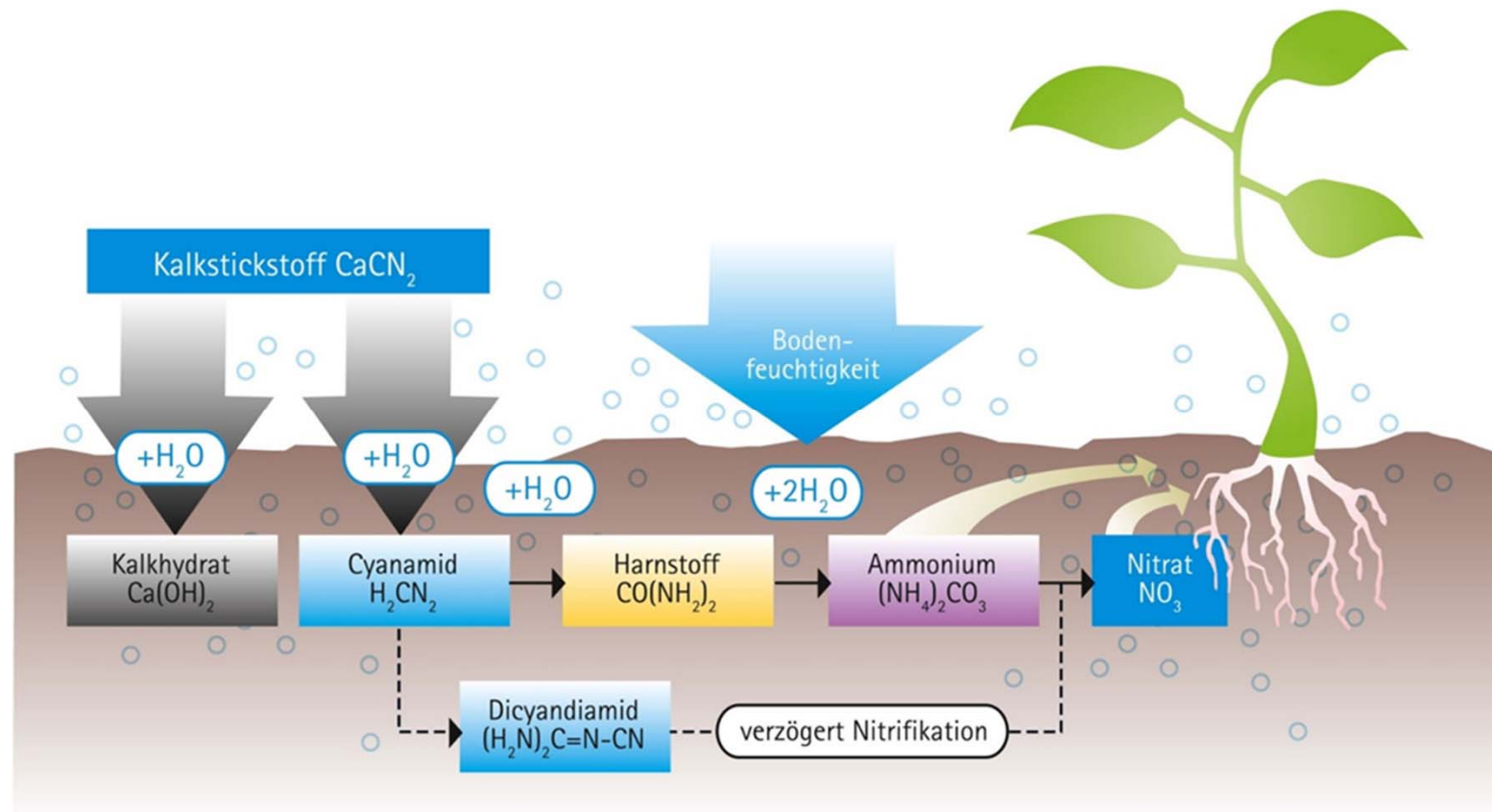


- Umwandlung über Cyanamid und Harnstoff zu Ammonium-N
- Gleichmäßige Stickstoffversorgung
- Vorbeugung von bodenbürtigen Schaderregern durch Förderung des natürlichen Antagonismus und der Rottebeschleunigung
- Wirkt basisch



Quelle: AlzChem Trostberg GmbH

Umwandlung von Kalkstickstoff im Boden



Quelle: AlzChem Trostberg GmbH

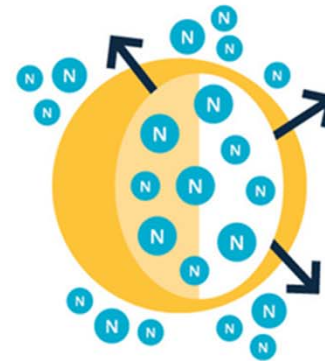
Vermeidung von Stickstoffverlusten – Kontrollierte Nährstofffreisetzung durch Umhüllung



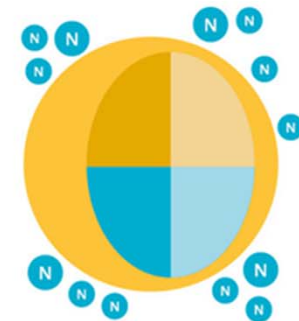
Feuchtigkeit dringt temperaturgesteuert in die halbdurchlässige Hülle ein und löst den Nährstoffkern



Die gelösten Nährstoffe erhöhen den osmotischen Druck innerhalb der Hülle



Es erfolgt eine gleichmäßige Freisetzung der Nährstoffe über die gesamte Wirkungsdauer



Die Nährstoffe sind vollständig freigegeben. Die Hülle löst sich im Boden auf

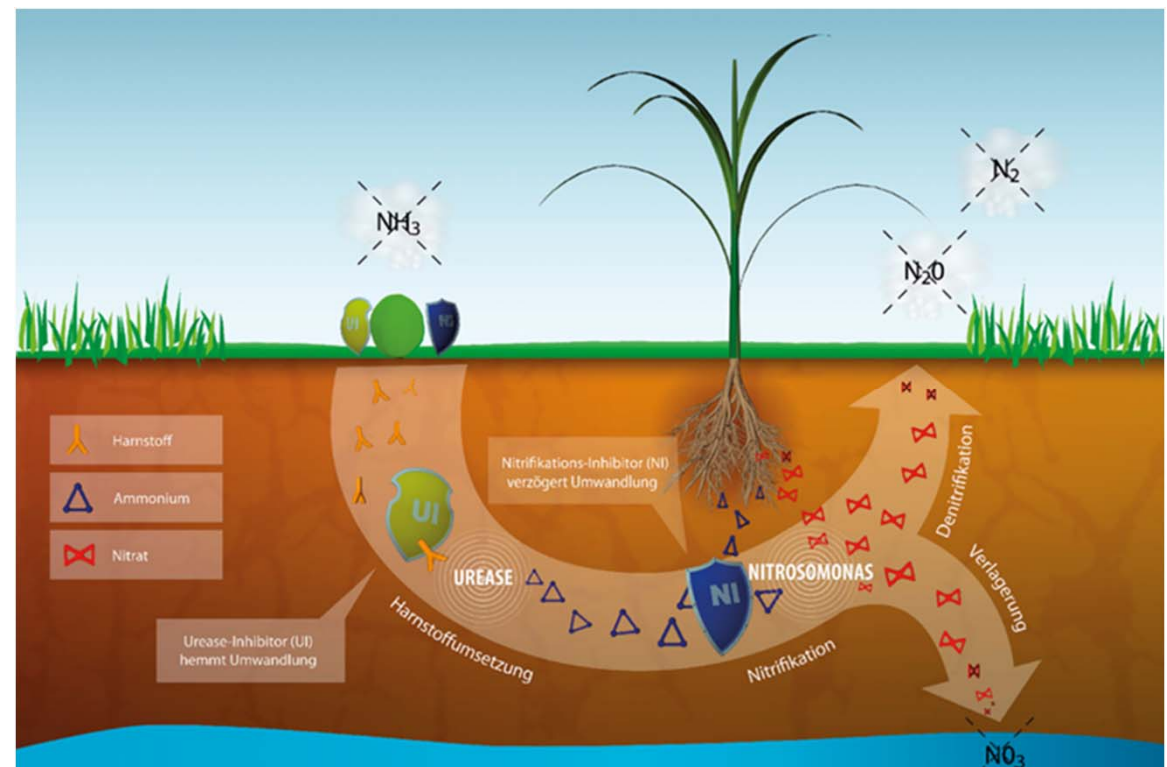
Quelle: ICL

Die Wirkungsdauer ist abhängig vom Hüllmaterial und der Bodentemperatur des Standorts

Vermeidung von Stickstoffverlusten – Inhibitoren



- **Urease-Inhibitor:** verzögert die Umwandlung von Harnstoff zu Ammonium und reduziert dadurch mögliche Ammoniakverluste
- **Nitrifikations-Inhibitor:** verzögert die Umwandlung von Ammonium zu Nitrat und reduziert dadurch mögliche Nitrat und Lachgasverluste



Quelle: SKW Piesteritz

Stickstoff in der Pflanze



- Stickstoff ist ein wesentlicher Bestandteil aller Eiweißverbindungen und beeinflusst daher den Proteingehalt des Erntegutes maßgeblich
- Ist Bestandteil von Nukleinsäuren (DNA und RNA) und Chlorophyll
- Stickstoff fördert das vegetative Wachstum der Pflanzen. Er wird daher auch als „Motor des Wachstums bezeichnet“
- N-Mangel an Pflanzen erkennt man an der gelblichen Verfärbung insbesondere der älteren Blätter



Quelle: Yara

Übersorgung

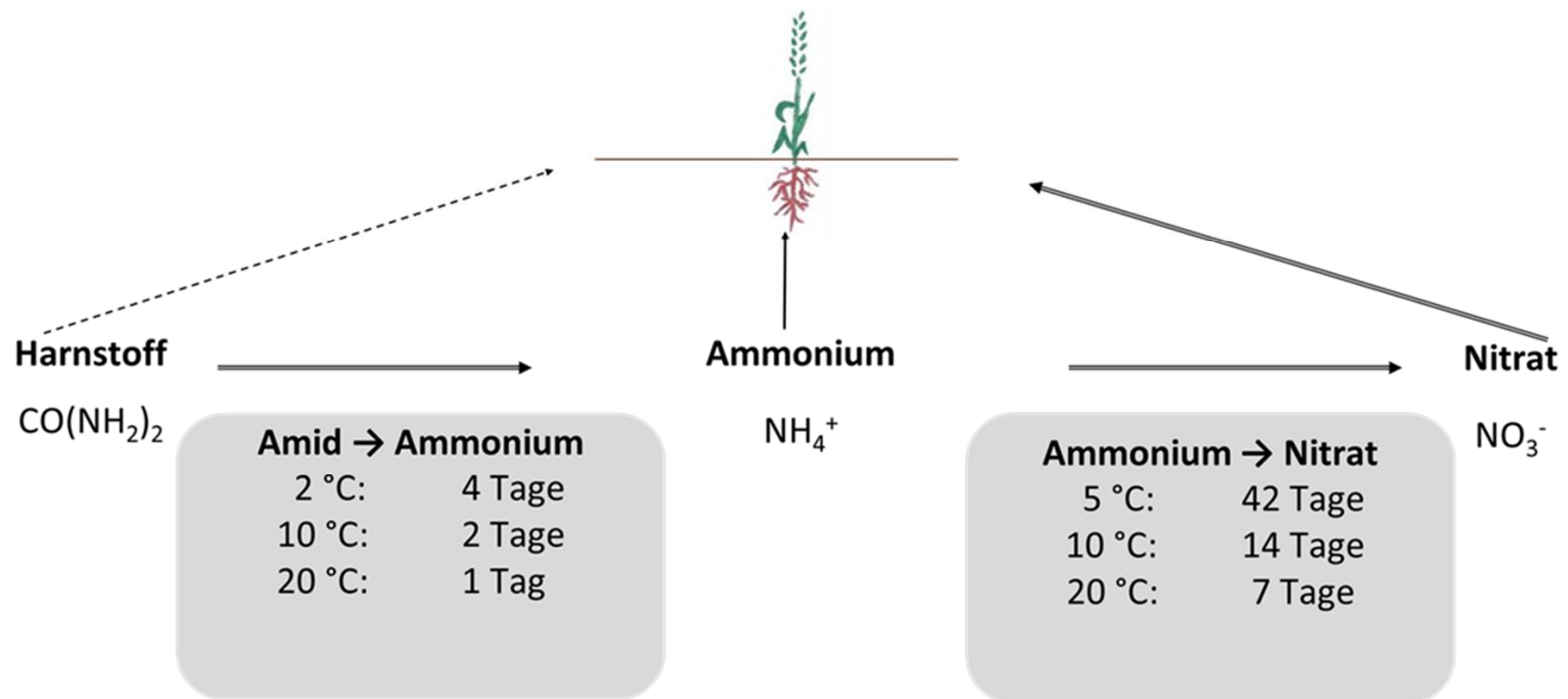


- N-Überschuss äußert sich in der dunkelgrünen, fast bläulichen Farbe der Blätter
- Pflanzen, die mit Stickstoff übersorgt sind, sind anfälliger für Pilzkrankheiten, Schädlingsbefall und besitzen eine geringere Standfestigkeit (Lagergetreide)



Quelle: C. Koch

Umwandlungsgeschwindigkeit verschiedener N-Formen



Quelle: nach Amberger (1996)



15

P

Phosphor
30,973



Phosphor in der Pflanze

- Phosphorverbindungen kommen in allen Pflanzenteilen vor, gehäuft vor allem dort, wo sich Stoffwechselvorgänge abspielen. Hier besonders in den lebenswichtigen und für die Fortpflanzung notwendigen Organen, wie Knospen, Blüten, Früchten, Samen und Knollen
- So enthält z.B. die Asche von Getreide-, Hülsen- und Ölfuchtkörnern rund 40% , von Stroh dagegen nur 5 – 9% des in der Pflanze eingelagerten Phosphats

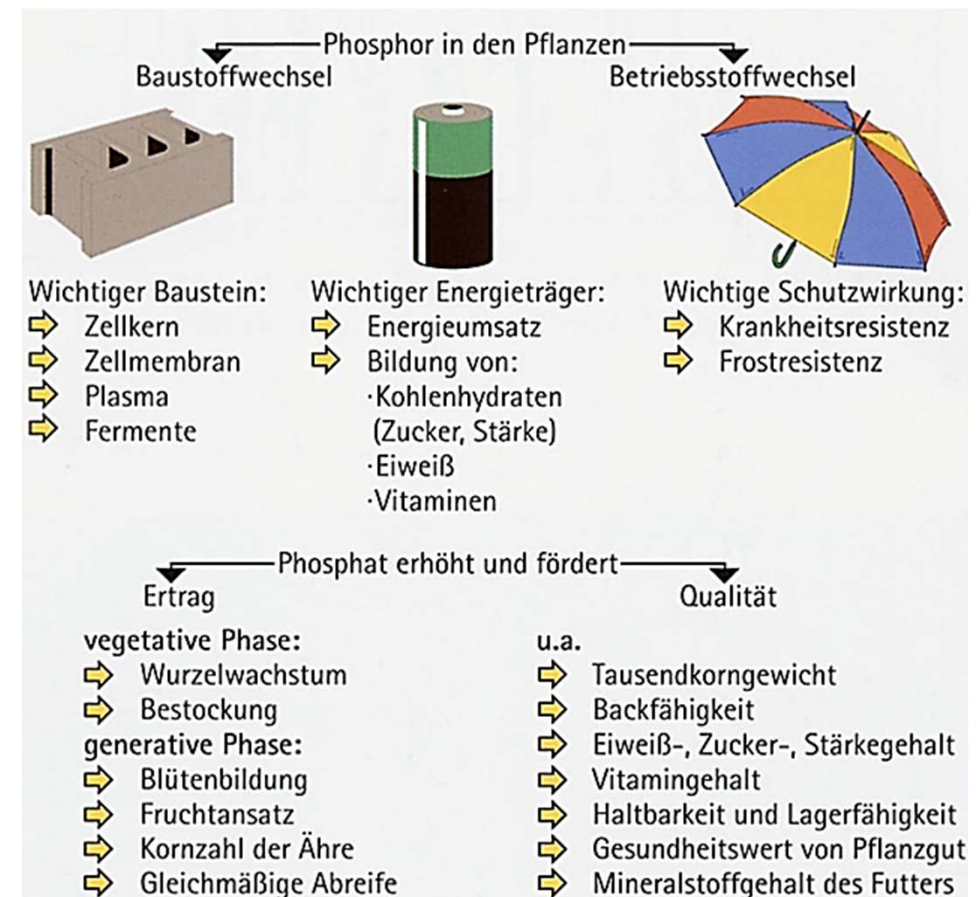


Quelle: ICL

Phosphor in der Pflanze



- Wichtiger Baustein
- Zentrale Funktion im Stoffwechsel
- Schutzwirkung
- Phosphor erhöht und fördert Ertrag und Qualität des Ernteguts



Quelle: Industrieverband Agrar – Phosphat und Kali Broschüre (2003) 26

Beispiele für Phosphat-Mangelsymptome



Quellen: ICL

- Ältere Blätter haben eine dunkelgrüne Farbe mit violetter Pigmentierung (z.B. Maisblatt rechtes Bild)
- Eine Kultur, der es an Phosphor mangelt, wächst langsamer, sieht verkümmert aus und ist allgemein schwach (z.B. Schwarzhafer linkes Bild)
- Da Phosphor in der Pflanze mobil ist, sind es immer die unteren Blätter, die zuerst betroffen sind und die frühesten Zeichen eines Phosphormangels zeigen
- Vermindertes Wurzelwachstum und schlechtere Bestockung im Getreide
- Gehemmte Stickstoffaufnahme

Phosphat in der Pflanze



Mangelsymptome bei Mais



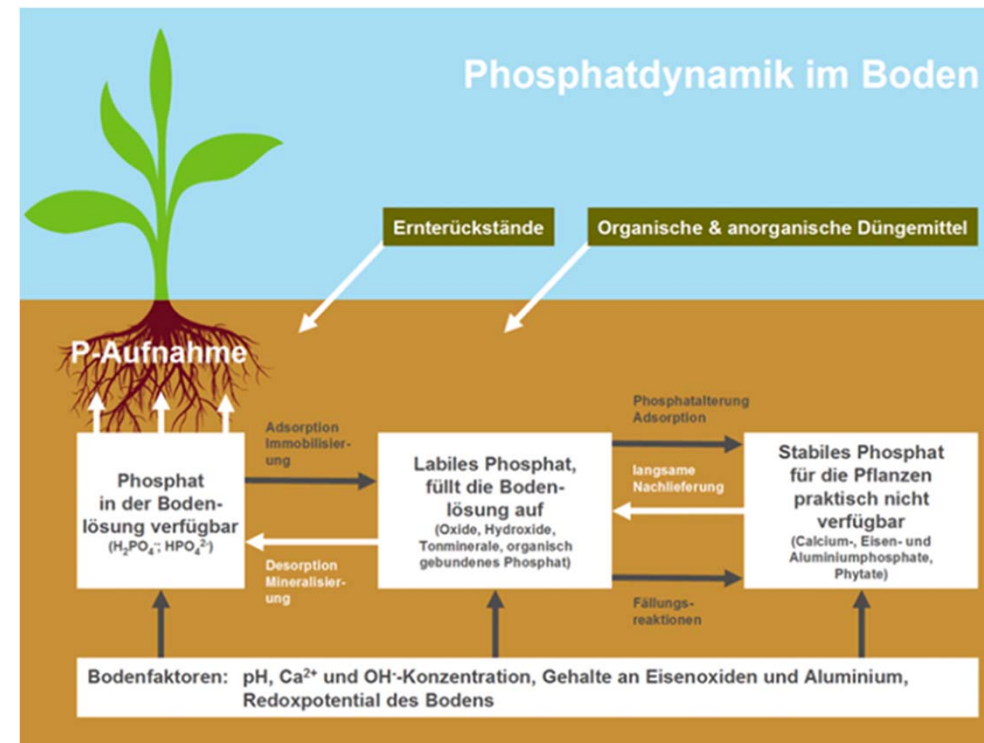
Mangelsymptome bei Raps

Quellen: K+S

Phosphat im Boden



- Phosphor ist im Boden überwiegend als mineralischer Phosphor vorhanden – ein kleiner Teil ist in der organischen Substanz enthalten
- Pflanzen nehmen Phosphor als Phosphat-Ion (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-}) auf
- Pflanzen nehmen Phosphor als Phosphat-Ion (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-}) auf
- An Pflanzenwurzeln lebende Bodenpilze (Mykorrhiza) bilden Enzyme, die die Löslichkeit von Phosphat verbessern
- Nur 1-2 kg P_2O_5 kommen im Bodenwasser gelöst vor, die übrige Masse muss erst aus dem Bodenvorrat in die Bodenlösung nachgeliefert werden.
- Düngephosphat sollte nach Möglichkeit in den Wurzelhorizont gebracht werden



Quelle: K+S

Phosphor im Boden



- Wird im Boden kaum verlagert
- Pflanze muss sich das Phosphat „erwachsen“
- Hauptsächlich in der Bodenlösung vorhandenes Phosphat wird aufgenommen
- An den Wurzeln ausgeschiedene Säuren mobilisieren labiles Phosphat



Phosphor im Boden



Neben der Nährstoffwirkung für die Pflanze hat Phosphat auch noch mehrfache direkte und indirekte Wirkung auf den Boden und seine Struktur:

Vermehrtes Bodenleben durch eine P-Düngung

Düngung	P ₂ O ₅ -Zustand	Bakterien/1g Boden	relativ
NK	am	3,7 Mrd.	100%
NPK	reich	5,5 Mrd.	150%

Höherer Krümelgehalt bei langjähriger P-Düngung mit verschiedenen Düngungsstufen:

kg/ha P ₂ O ₅	Krümelgehalt	relativ
0	45 %	100 %
40	50 %	111 %
80	62 %	138 %
120	64 %	142 %
200	66 %	147 %

Quelle: Phosphorsäure und Phosphatdüngung (nach Walter Schacht)



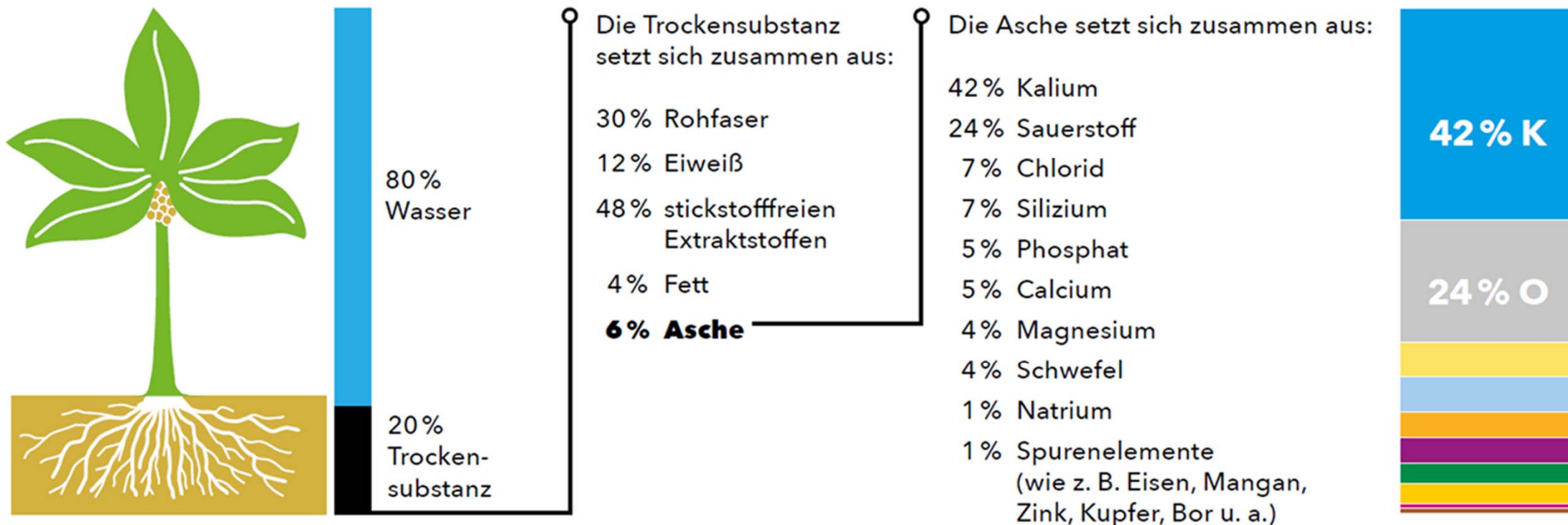
19

K

Kalium
39,098

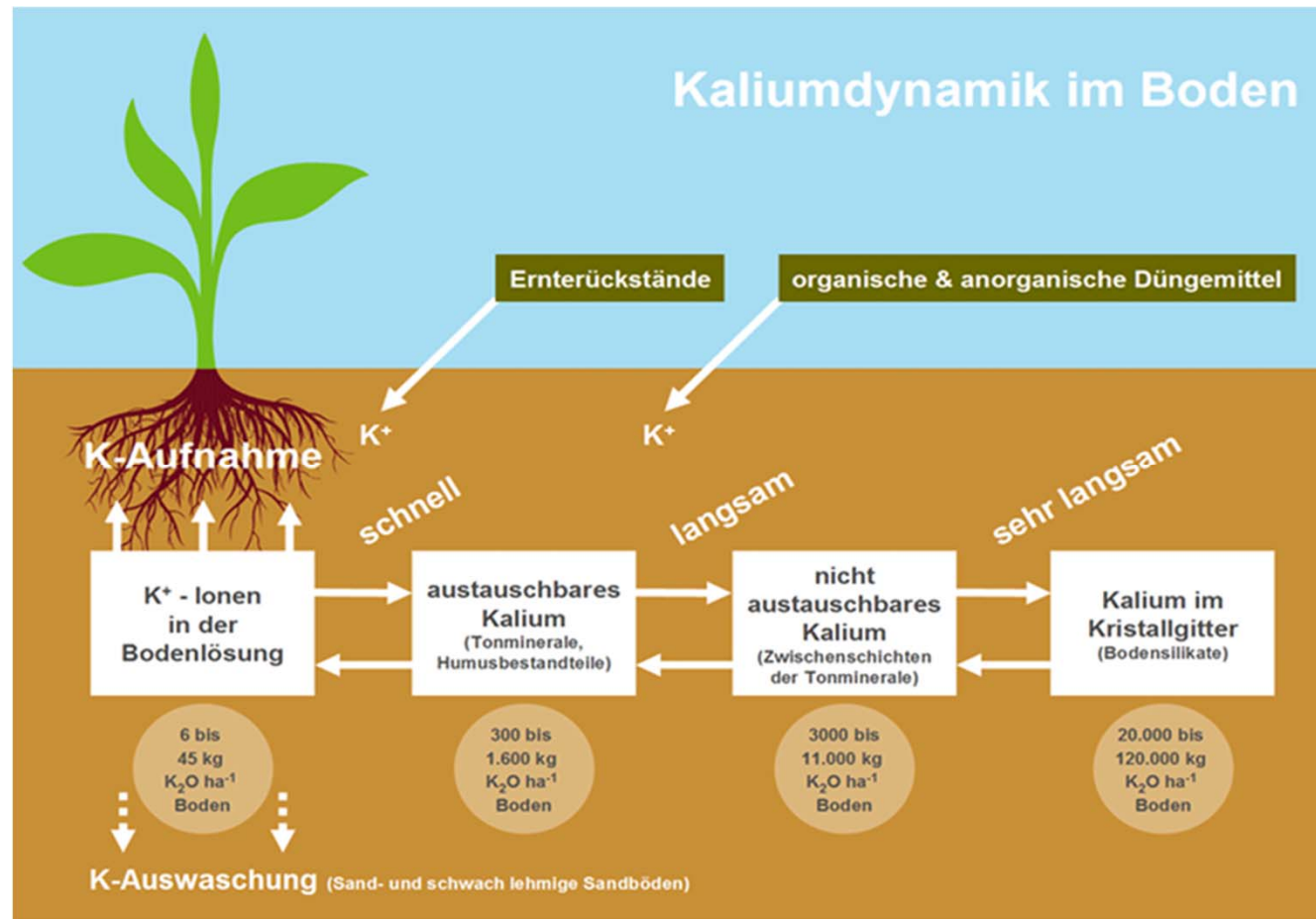


Die durchschnittliche Zusammensetzung der Pflanze



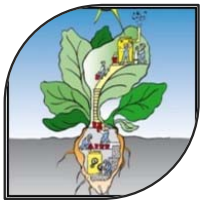
Quelle: K+S

Kaliumdynamik im Boden



Quelle: K+S

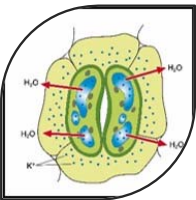
Kalium ist wichtig für...



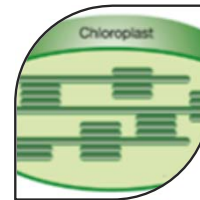
... die Bildung von **Kohlenhydraten** und deren Transport vom Blatt zu den Ähren, Knollen, Kolben oder zum Rübenkörper.



... die **Qualität**, z.B. höherer Eiweiß- und Vitamingehalt, verringerte Schwarzfleckigkeit bei Kartoffeln.



... die Regulation der Stomata und damit für die **Photosynthese-Leistung**.



... die Funktion der Chloroplasten und damit für die **Photosyntheseleistung**.



... eine produktive **Wasserausnutzung** und die Minderung von Trockenstress.



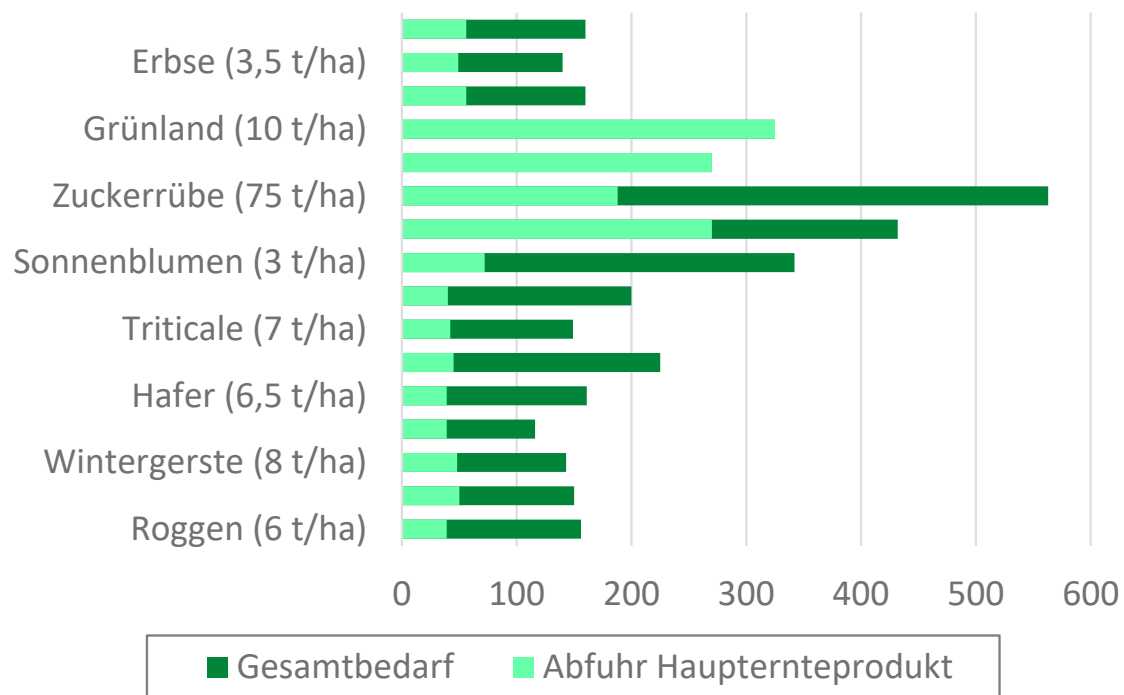
... die natürliche **Widerstandskraft** gegen Krankheiten, Schädlinge und Frost und für die Standfestigkeit der Pflanzen.

Quellen: K+S

Kalium für Ertrag und Qualität



**K₂O-Bedarf verschiedener Kulturen
(kg K₂O/ha)**



Quelle: nach LfL, gelbes Heft (2022)



Quelle: IVA, Kalium - Baustein für eine nachhaltige Ertragsbildung (2019)

Sulfatische und chloridische Kalidünger



Die Chlorid-Empfindlichkeit ist ein wichtiges Kriterium für die richtige Produktwahl



Quellen: K+S

Sulfatische Produkte können für alle Kulturen verwendet werden, da sie kaum Chlorid enthalten

Sulfatische und chloridische Kalidünger



Anspruch/Neigung	Kulturen
Chlorid liebend: (chloridische Düngemittel werden bevorzugt)	Zuckerrübe, Futterrübe, Sellerie, Mangold, Kokosnuss
Chlorid verträglich: (chloridische Düngemittel sind einsetzbar; die meisten Gemüsearten bevorzugen aber wegen des Schwefelbedarfs sulfatische Dünger)	Getreide, Mais, Raps, Spargel, Grobkohlarten, Rote Beete, Rhabarber, Grünland Kleegras, Ölpalme, Kautschuk, Reis, Erdnuss, Cassava, Soja, Zuckerrohr, Banane, Baumwolle
bedingt Chlorid verträglich: (chloridische Düngemittel können eingesetzt werden, wenn dies rechtzeitig vor Vegetationsbeginn erfolgt)	Sonnenblume, Weinrebe, Kernobst, Schwarze Johannisbeere, Pflanz- und Speisekartoffel, Tomate, Rettich, Radieschen, Kohlrabi, Feinkohlarten, Erbse, Spinat, Karotte, Lauch, Meerrettich, Chicorée, Ananas, Gurke, Kiwi, Kaffee, Tee
Chlorid empfindlich: (es sollten nur Düngemittel angewendet werden, in denen Kalium in sulfatischer Form vorliegt)	Stärke- und Veredelungskartoffel, Tabak, Rote Johannisbeere, Stachelbeere, Himbeere, Hopfen, Erdbeere, Brombeere, Heidelbeere, Mango, Zitrusfrüchte, Pfeffer, Chili, Avocado, Cashew, Mandel, Kakao, Hopfen, Pfirsich, Kern- und Steinobst (speziell Süßkirsche), Buschbohne, Dicke Bohne, Gurke, Melone, Zwiebel, Salat, Frühgemüse, alle Unterglaskulturen, Koniferen, Blumen und Zierpflanzen sowie Keimlinge und Setzlinge der meisten Pflanzen

Quelle: K+S

Beispiele für Kalium-Mangelsymptome



Quellen: K+S

- beginnend von Blattspitze und Blattrand mit Chlorosen, zuerst fleckenartig
- später flächenartig braune, graue-, rötliche-, bis dunkelbraune Nekrosen
- Interkostalfelder der Blätter oft nach oben gewölbt
- die älteren Blätter vertrocknen mit gelbbrauner bis brauner Verfärbung

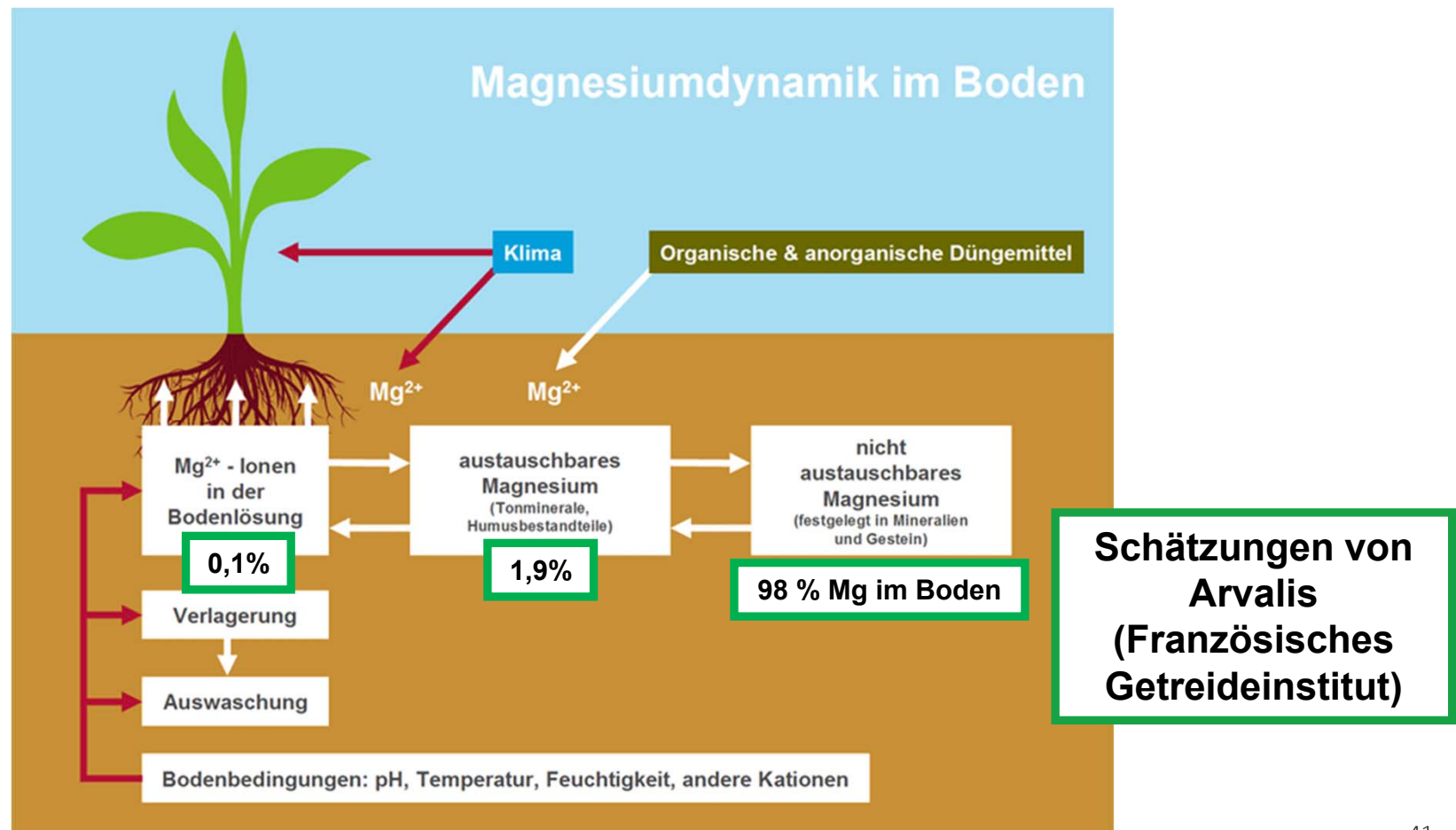


¹²**Mg**

Magnesium
24,31

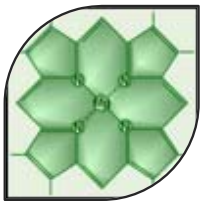


Magnesiumfraktionen im Boden – vorrangig an Mineralien und Gestein gebunden



Quelle: K+S

Magnesium ist wichtig für...



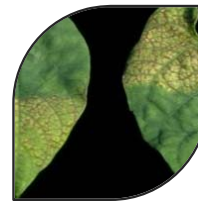
... die **Photosynthese** und damit für die Umwandlung von Lichtenergie in Ertrag. Mg ist das Zentralatom des Chlorophylls.



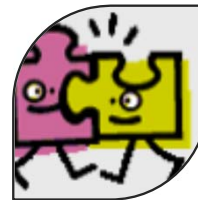
... die Synthese von **Kohlenhydraten, Fetten und Proteinen** und deren Transport vom Blatt zu den Ähren, Knollen oder Kolben.



... das **Wurzelwachstum** und erhöht damit die Wasser- und Nährstoffaufnahme.



... die **Stresstoleranz** der Pflanze – zum Beispiel gegenüber Sonneneinstrahlung.



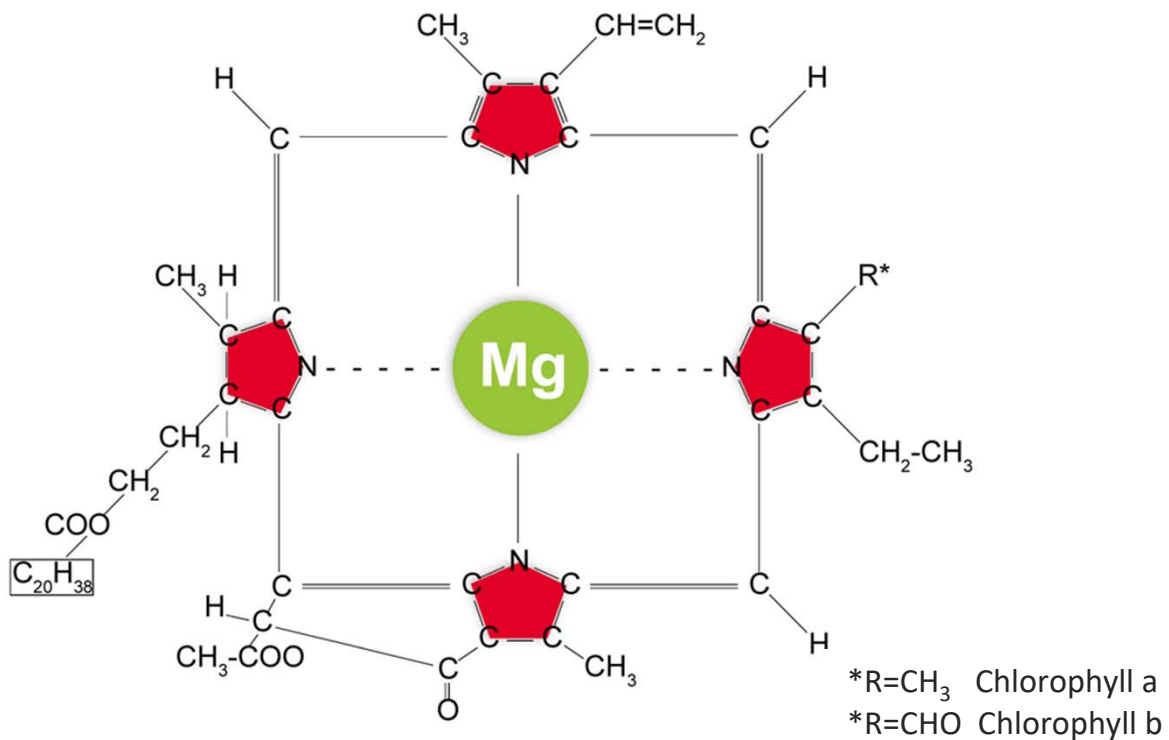
... die Funktion von zahlreichen **Enzymen** und damit für viele **Stoffwechselprozesse**.



... die **RNA-Bildung** und somit für die Umsetzung der genetischen Informationen in Proteine.

Quellen: K+S

Magnesium: Zentralatom des Chlorophylls



Quelle: K+S

Mg-Mangel im Mais:



Quelle: K+S

Magnesium – wichtig für den Assimilattransport



Anteil der Kohlenhydrate
im Spross in Prozent



Anteil der Kohlenhydrate in
den Wurzeln in Prozent

Kalium und **v.a. Magnesium**
ermöglichen die Verlagerung
der Kohlenhydrate in die
Wurzel

Bessere Durchwurzelung
des Bodenvolumens

Quelle: Cakmak, Sabanci Universität Istanbul

Löslichkeit verschiedener Magnesiumverbindungen



Mineral	Chemische Formel	Löslichkeit (g/l im finalen Volumen)	Quelle
Absteigende Löslichkeit			
Kieserit	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	342	1
Struvit	$\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0,169	3
Dolomit	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	0,01	4
Magnesit	MgCO_3	0,0017	5
Magnesiumhydroxid	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	0,0009	2
Magnesiumoxid	MgO	0,0006	1



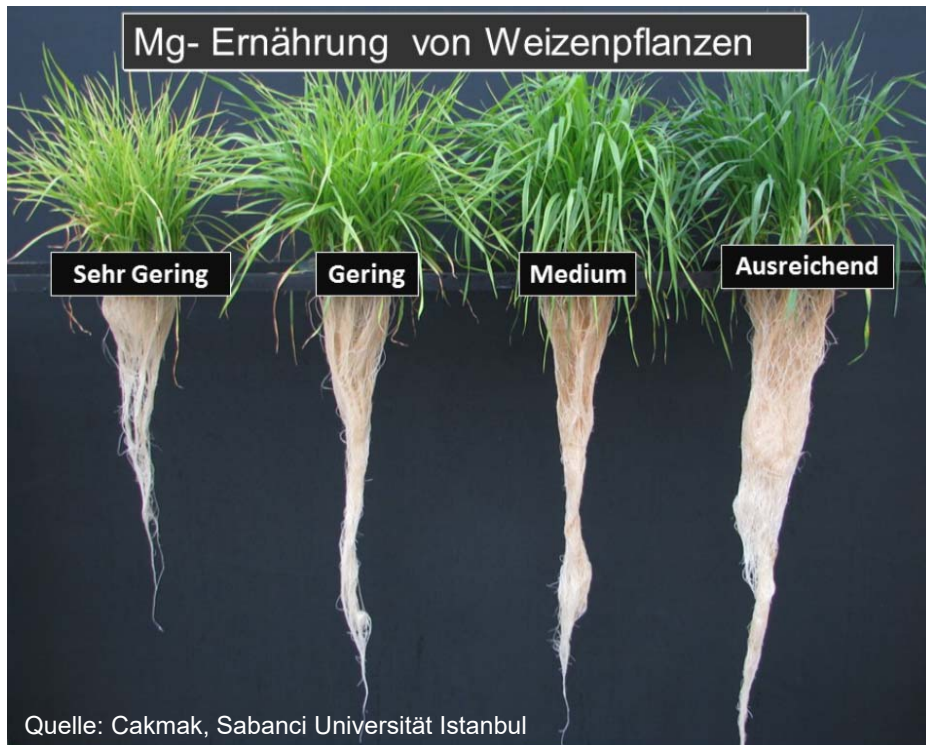
Löslichkeit von Magnesium Mineralien in Wasser bei 20° C

Struvit, Dolomit und Magnesit kalkuliert auf Basis der Löslichkeitsprodukte der jeweiligen Quellen.

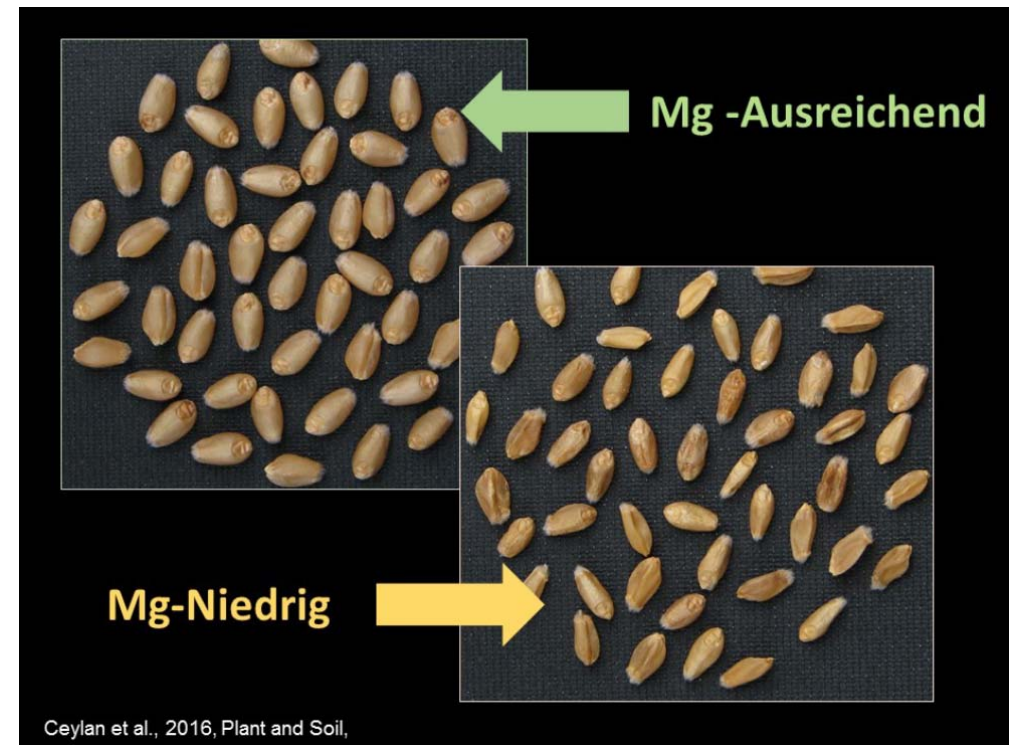
Quellen: 1, D'Ans und Lax (1949); 2, Seeger et al. (2011); 3, Bhuiyan et al. (2007); 4, Helgeson (1969); 5, Bénézeth et al. (2011)

Quelle: K+S

Magnesium Mangel



→ Chlorophyll- und Wurzelausbildung sind gestört



→ Kohlenhydrate können nicht richtig verlagert werden

16

S

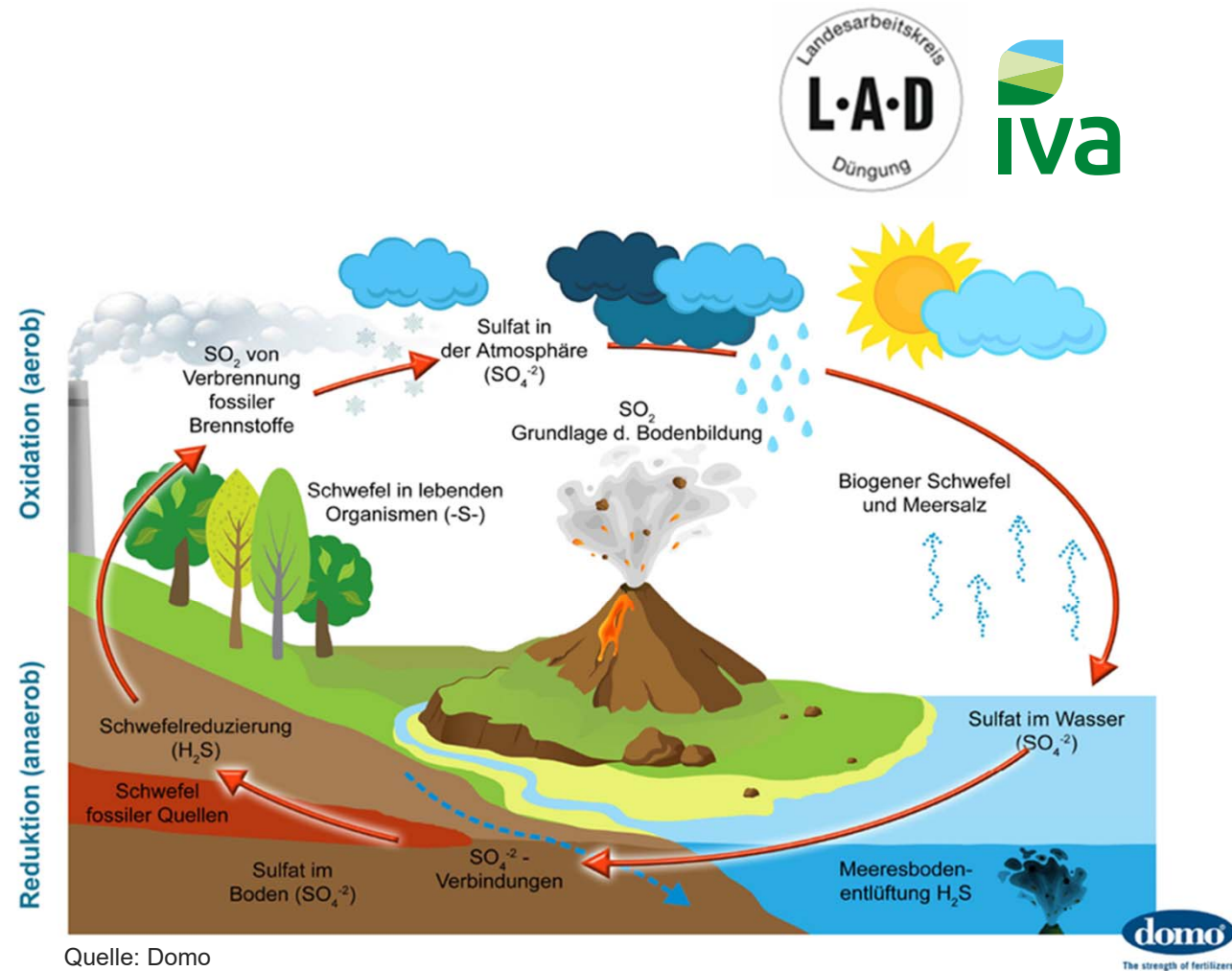
Schwefel
32,065



Schwefelkreislauf im Boden

Einflüsse auf mikrobielle S-Mobilisierung:

- Bodentemperatur
- Feuchte und Sauerstoffgehalt des Bodens
- pH-Wert, Bodenart
- Aktivität des Bodenlebens
- C:N-Verhältnis



Quelle: Domo

Schwefelformen und Eigenschaften



S-Form	Eigenschaften
Sulfat SO_4^{2-}	direkt pflanzenverfügbar & mobil
Elementar S	erst nach 4-facher Oxidation pflanzenverfügbar, stark bodenversauernd, langsam wirkend, weniger Auswaschungsgefährdet, schwer kalkulierbar
Sulfit SO_3^{2-}	Erst nach Oxidation pflanzenverfügbar
Thiosulfat $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	Zwischenprodukt der Oxidation von elementaren S, weitere Oxidation nötig zur Pflanzenverfügbarkeit

Schwefel in der Pflanze



- Aufnahme von Sulfationen (SO_4^{2-}) durch Wurzeln aus der Bodenlösung
- Geringe Beweglichkeit im Phloem → Mangelsymptome treten an **jüngeren Blättern** auf
- S-Aufnahme verläuft zeitnah zum Stickstoff (enge Wechselwirkung mit N in der Pflanze)
- Bestandteil essenzieller Aminosäuren (Methionin, Cystein) → Proteingehalt/-qualität von Brotweizen oder Braugerste
- Bestandteil von S-haltigen Co-Enzymen und Vitaminen
- Bestandteil sekundärer Inhaltsstoffe (z.B. Glucosinolate im Kohlgemüse)



Ermittlung des Schwefelbedarfs durch S_{min}-Bodenuntersuchung



- Bestimmung des löslichen Sulfat-S im Boden
- Durchführung parallel zur N_{min}-Untersuchung (0-60 cm oder 0-90 cm Tiefe; Orientierung bieten Beprobungstiefen nach DüV)
- Momentaufnahme des verfügbaren Sulfat-S, da im Boden hoch mobil wie Nitrat (Verlagerungs-/Auswaschungsrisiko)
- Zukünftige S-Nachlieferung wird nicht erfasst
- Über 60 kg S/ha (0-60 cm) gilt S-Versorgung von Raps als sicher



Schwefelbedarf der Kulturen



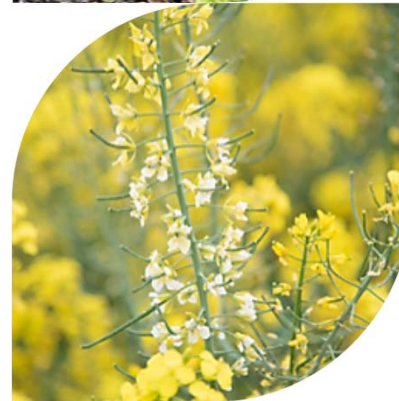
Kultur	S-Bedarf (kg S/ha)	Düngetermin
Kohlarten	Bis 80	Zur Pflanzung
Winterraps	40-50	Vegetations- bis Schossbeginn
Wintergetreide	20-40	Vegetations- bis Schossbeginn
Luzerne-, Klee gras	30-40	Vegetationsbeginn
Erbsen, Ackerbohnen	20-30	Zur Aussaat
Grünland	20-30	Vegetationsbeginn
Sonnenblumen	20-30	Zur Aussaat
Mais	20	Zur Aussaat
Sommergerste, Hafer	20	Zur Aussaat
Zuckerrüben, Kartoffeln	20	Zur Saat/Pflanzung

Quellen: verändert nach: MLU MV (2021): Richtwerte z. Umsetzung der DüV 2020 und Olfs et al. (2012): S-Düngung effizient gestalten. DLG-Merkblatt 373.

Beispiele für Schwefel-Mangelsymptome



- beim Raps vergilben der jüngeren Blätter mit Interkostalchlorosen und das Blatt verformt sich löffelartig
- Im Knospenstadium verfärben sich Stiele und Blätter rötlich violett
- Hellgelbe/weiße Blütenblätter bei S-Mangel im Raps
- Beim Getreide ganzflächige Chlorosen vor allem an den jüngsten Blättern



Quellen: K+S



20

Ca

Calcium
40,08



Kalkformen und Kalkwirkung



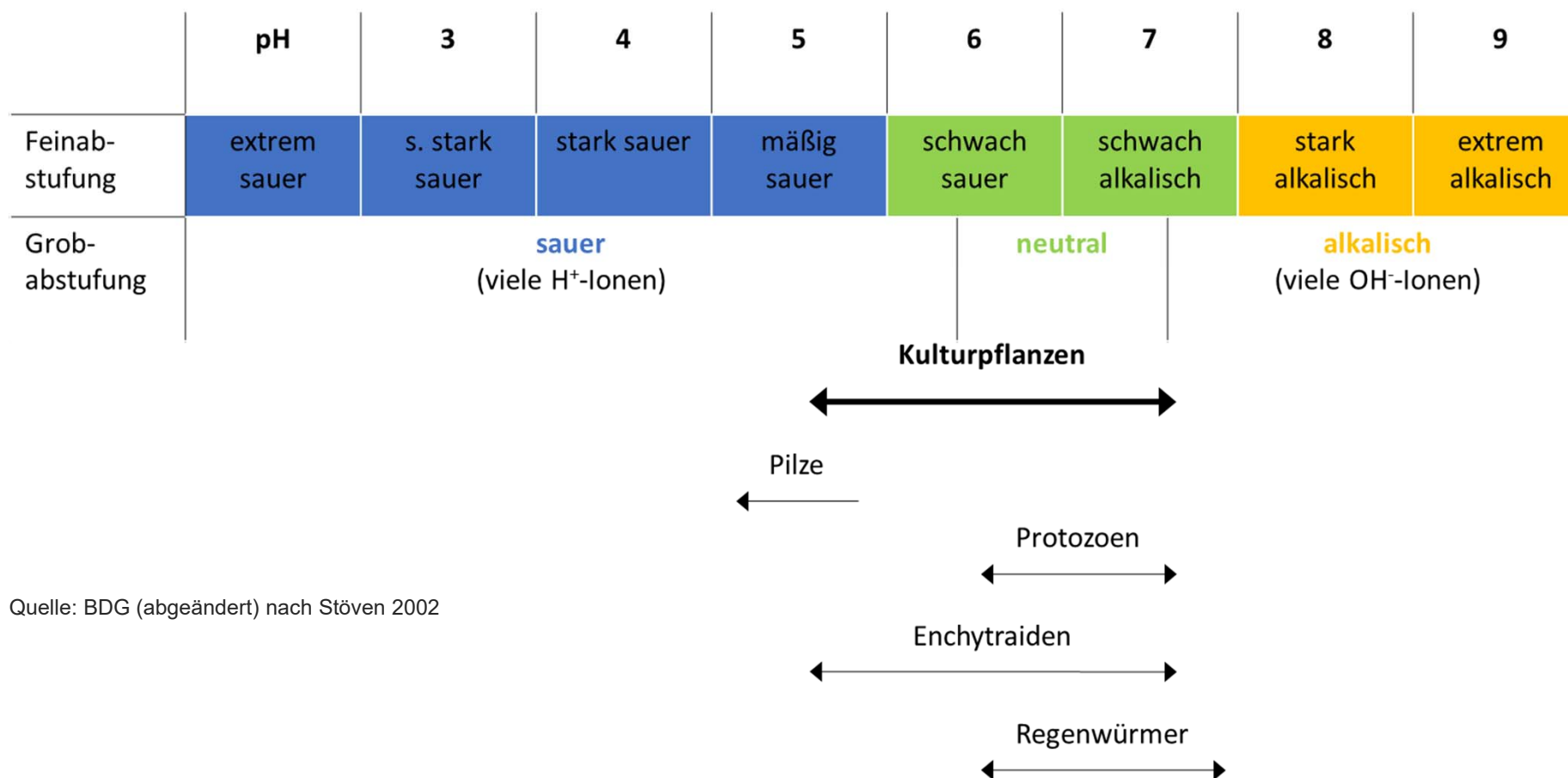
Branntkalk (Calciumoxid, CaO) Magnesiumbranntkalk (CaO , MgO) Mischkalke (CaO , Ca(OH)_2 , CaCO_3)	Kohlensaurer Kalk (CaCO_3) Kohlensaurer Magnesiumkalk (CaCO_3 , MgCO_3)	Kieselsaure Kalke Hütten- und Konverterkalke (CaSiO_3 , MgSiO_3)
---	---	--

hoch

niedrig

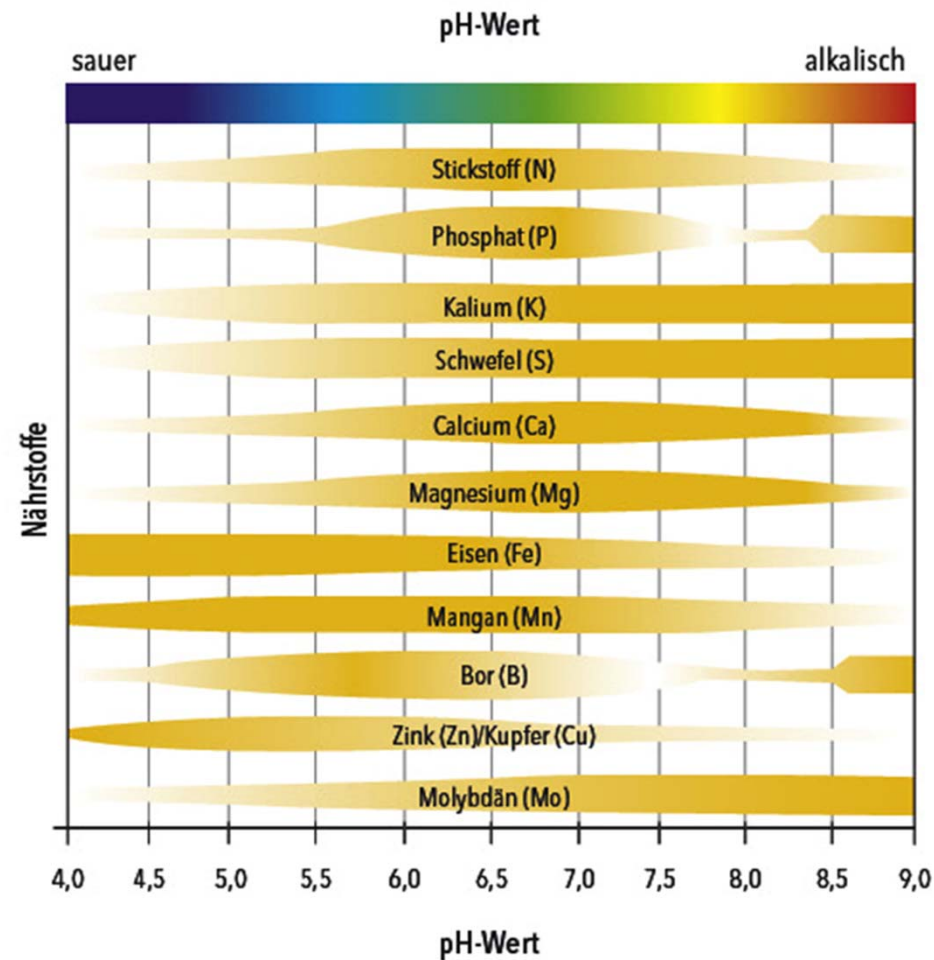
Abnehmende Wirkungsgeschwindigkeit

Günstige pH-Bereiche für Kulturpflanzen und Bodenlebewesen



Quelle: BDG (abgeändert) nach Stöven 2002

pH-Wert des Bodens und der Verfügbarkeit von Nährstoffen



Quelle: IVA, Informationsserie Pflanzenernährung, 2013

Kalkwirkung auf Boden und Pflanze



Direkte Wirkung

Indirekte Wirkung

chemisch	physikalisch	biologisch
Günstiger pH-Bereich	Flockung der Tonteilchen- Krümelbildung	Förderung des Bodenlebens
Nährstoffe Ca Mg		
Verfügbarkeit der Haupt- und Spurennährstoffe verbessert	Größeres, stabileres Porenvolumen; mehr Luft im Boden, gute Wasserführung	Bioturbation, Ton-Humus-Verbindungen Höherwertiger Humus
Tieferes Wurzelwachstum	Infiltration Regenverdaulichkeit Befahrbarkeit Durchlüftung Erwärmung	Bessere Nährstoff-Sorption und -Desorption
Verbessert Dünger- und Nährstoffausnutzung		Verringert Erosion und Verdichtung

Quelle: Düngekalk-Hauptgemeinschaft (DHG)

Definition der pH-Klassen für die Kalkversorgung des Bodens



pH-Klasse	Kalkversorgung	Zustand/Maßnahme	Kalkdüngungsbedarf
A	sehr niedrig	- Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit ist erheblich beeinträchtigt - Signifikante Ertragsverluste – Ertragsausfall - Pflanzenverfügbarkeit von Schwermetallen → Sehr hoher Kalkbedarf → Kalkung hat 1. Priorität	Gesundungskalkung
B	niedrig	- Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit ist nicht optimal - Signifikante Ertragsverluste bei anspruchsvollen Kulturen - Erhöhte Verfügbarkeit von Schwermetallen → Hoher Kalkbedarf → Kalkung in Fruchtfolge	Aufkalkung
C	anzustreben / optimal	- Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit ist optimal → Geringer Kalkbedarf → Kalkung zu anspruchsvollen Kulturen im Rahmen der Fruchtfolge	Erhaltungskalkung
D	hoch	- Bodenreaktion ist höher als anzustreben → Unterlassung der Kalkung	keine Kalkung
E	Sehr hoch	- Bodenreaktion ist wesentlich höher als anzustreben - Nährstoffverfügbarkeit von Spurennährstoffen ist eingeschränkt → Unterlassung der Kalkung → Anwendung physiologisch bzw. chemisch sauer wirkender Düngemittel	keine Kalkung, saure Düngung

Quelle: verändert nach VDLUFA-Standpunkt: Bestimmung des Kalkbedarfs von Acker- und Grünland (2000)

Kalkdüngung zu den Kulturen im Jahresverlauf



Fruchtarten	Monate	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni
zu Stoppelfrüchten		Vorsaat											
zu Raps		Vorsaat											
zu Wintergerste		Vorsaat					Kopfalkung						
zu Roggen			Vorsaat				Kopfalkung						
zu Weizen			Vorsaat					Kopfalkung					
zu Sommergerste und Hafer			Stoppel			Winter		Vorsaat					
zu Zucker- und Futterrüben			Stoppel			Winter		Vorsaat					
zu Mais			Stoppel						Vorsaat				
zu Körnerhülsenfrüchten			Stoppel			Winter		Vorsaat					
zu Feldgemüse									Vorsaat				
zu Kartoffeln												Kopfalkung	
zu Luzerne				Vorsaat			Bestandsalkung						
zu Klee-Einsaaten									Vorsaat				
auf Wiesen							in der Vegetationsruhe					nach 1. Schnitt	
auf Weiden		nach dem Umtrieb					in der Vegetationsruhe					Kopfalkung	
im Garten					Beete	Kompost	Baumstämme	Rasen					
auf Fischteiche		Teichwasser					Teichboden						
im Wein- und Hopfenanbau							beim Rigolen und ihr Ertragsalter						
im Forstbetrieb							das ganze Jahr						

Quelle: Düngekalk-Hauptgemeinschaft (DHG)

Mikronährstoffe



Kulturanprüche an Versorgung mit Mikronährstoffen



Kultur	Bor	Kupfer	Mangan	Molybdän	Zink
Weizen, Hafer	+	+++	+++	+	++
Roggen, Triticale	+	++	++	+	++
Gerste	+	+++	++	+	++
Grünland, Gras	+	++	++	+	+
Mais	++	++	++	+	+++
Raps	+++	+	++	++	+
Kartoffeln	++	+	++	+	++
Zuckerrüben	+++	+	+++	++	++
Erbsen	++	+	+++	++	+
Luzerne	+++	+++	++	+++	++
Sonnenblumen	+++	+++	++	+	+

Quelle: verändert nach MLU MV (2021); Richtwerte z. Umsetzung der DüV 2020.

Einfluss des Standorts auf die Verfügbarkeit von Mikronährstoffen



Eigenschaft	Bor	Kupfer	Mangan	Zink	Molybdän
Staunässe	---	--	--	---	++
Trockenheit	---	---	---	--	
Hoher Humusgehalt	++	--	---	++	--
Verdichtung/O ₂ -Mangel			++		
Hoher P-Gehalt				--	

Quelle: veränd.. n. Lehrke U.: Blattdüngung in Getreide und Raps. Vortrag, 5.06.13.

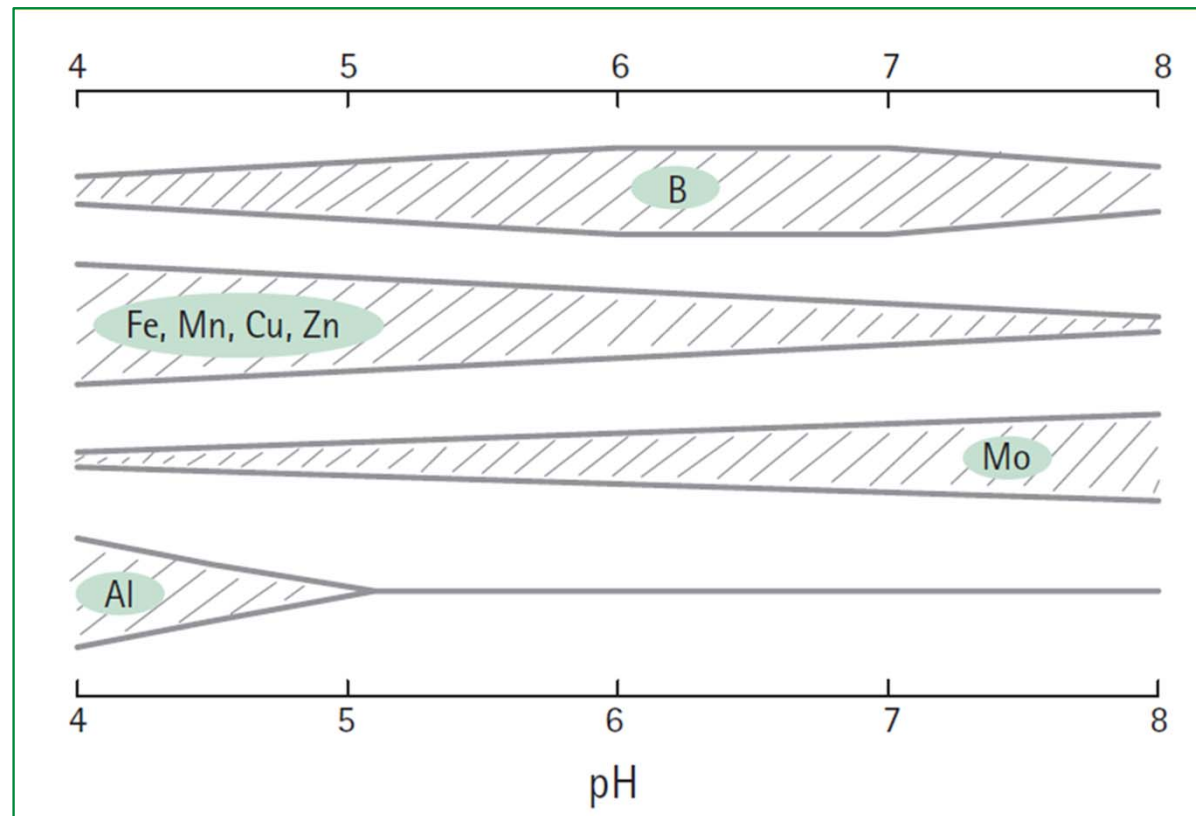


Bessere Mn-Verfügbarkeit in verdichteten Fahrspuren



Quelle: K+S.

Einfluss des pH-Werts auf die Verfügbarkeit von Mikronährstoffen



Quelle: BAD (2013): Mikronährstoffe. Broschüre

Ermittlung des Mikronährstoffbedarfs durch Pflanzenanalysen



Kultur	Pflanzenorgan	Zeitspanne	Definierte Richtwerte für				
			B	Cu	Mn	Mo	Zn
Getreide	Ges. oberird. Pflanze	BBCH 29-45		x	x		x
Mais	Mittlere Bl./Kolbenblätter	BBCH 21-75	x	x	x		x
Winterraps	Vollentwickelte Blätter	BBCH 53-65	x		x	x	
Grünland, Gras	Ges. oberird. Aufwuchs	vor 1. Schnitt		x	x		
Zuckerrüben	Vollentwickelte Blätter	BBCH 34-46	x	x	x	x	x
Kartoffeln	Vollentwickelte Blätter	BBCH 51-79	x		x	x	
Luzerne, Rotklee	Ges. oberird. Aufwuchs	BBCH 51-65	x	x	x	x	x
Bohnen, Erbsen	Vollentwickelte Blätter	BBCH 61	x	x	x		x
Sonnenblumen	Vollentwickelte Blätter	BBCH 61	x	x	x		x

Quelle: verändert nach Eurofins 2022.

Pro und Contra: Pflanzenanalyse und Blattdüngung



Pro

- gibt präzise Information über den aktuellen Ernährungszustand der angebauten Kultur
- Sie berücksichtigt die Auswirkung aller Faktoren, die die Mikronährstoffaufnahme durch Pflanzen beeinflussen (Witterung, Wasserversorgung, Bodenzustand,...)
- Höchste Treffsicherheit aller Methoden

Contra

- Kosten (hoch ca. 40 € je Probe)
- Bei akutem und frühzeitigem Mangel: Düngungszeitpunkt unter Umständen zu spät
- Akute Mängel sind mengenmäßig kaum über Blattdüngung zu beheben

Quelle: Nach Zorn W. (2011): Mikronährstoffdüngung zu Getreide und Raps. Vortrag bei LFA MV Güstrow am 24.02.11.

Optimale Termine zur Blattdüngung mit Mikronährstoffen



Kultur	Nährstoff	Optimaler Zeitraum	Keinesfalls nach
Wintergetreide	Cu	29-31	45
Wintergetreide	Mn	31-37	45
Kartoffel	B, Mn, Zn	Knospe bis Blühbeginn	Blühende
Zuckerrübe	B, Cu, Mn, Mo, Zn	37-41	44
Winterraps	B, Mn	Knospenstadium	

Quelle: verändert nach Lehrke U.: Blattdüngung in Getreide und Raps. Vortrag, 5.06.13.

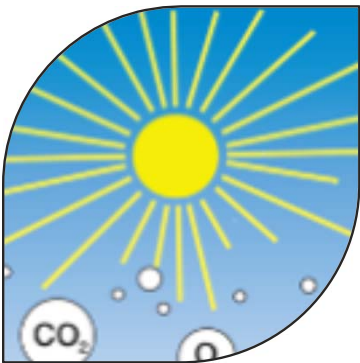


²⁵
Mn

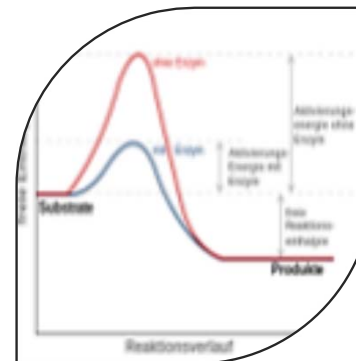
Mangan
54,938



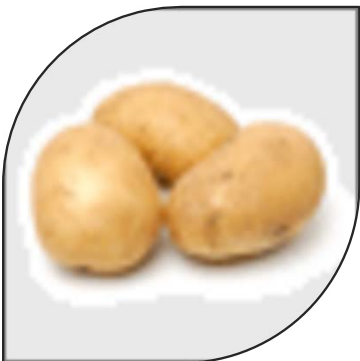
Mangan ist wichtig für...



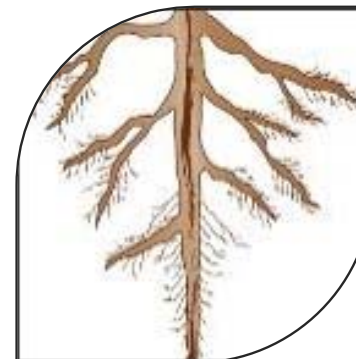
... die **Photosynthese** bei der Oxidation von Wasser zu Sauerstoff.



... **Enzyme** zur Aktivierung verschiedener Stoffwechselprozesse.



... die **Produktqualität**. Mn erhöht die Konzentration von Inhaltsstoffen wie Zitronensäure oder Vitamin C und vermindert die Verfärbung von Verarbeitungskartoffeln.



... das Wachstum **sekundärer Wurzeln**.

Beispiele für Mangan-Mangelsymptome



- Interkostalchlorosen bis hin zu Nekrosen
- beim Raps vergilben jüngere bis mittlere Blätter; Pflanzen bleiben kümmerlich
- Beim Getreide „Dörrfleckenkrankheit“ - stark betroffene Blattflächen knicken ab
- Tritt oft in durchlüfteten (O_2) neben verdichteten Flächenbereichen (z.B. Fahrspuren) auf





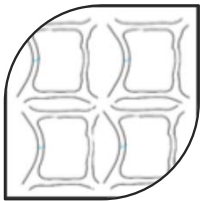
5

B

Bor
10,81



Bor ist wichtig für...



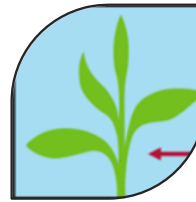
... die Synthese strukturbildender Kohlenhydrate in **Zellwänden**.



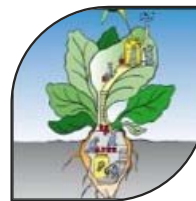
... die Synthese von Nukleinsäuren und **Proteinen**.



... die Bildung und Entwicklung **generativer Pflanzenorgane**.



...die Anregung der **Zellteilung**.



...die **Zuckersynthese** und den Transport von Assimilaten zu den Speicherorganen.

Beispiele für Bor-Mangelsymptome



Quellen: K+S

- Generell gestauchter Wuchs
- Korkbildung an den Blattstielen und Absterben des Vegetationskegels bei der Rübe (Herz- und Trockenfäule)
- Hohlraumbildung in den Wurzeln und der Stängelbasis beim Raps
- Verkürztes Wachstum der Seitenwurzel, sowie schlechter Schotenansatz
- Kurze Stiele und buschiges Aussehen bei der Kartoffel, Blätter können sich vom Blattrand her einrollen



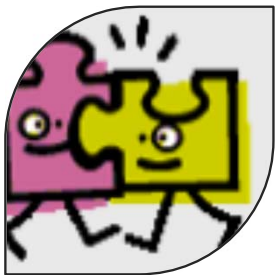
30

Zn

Zink
65,38



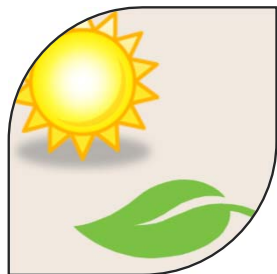
Zink ist wichtig für...



... die Enzymaktivierung in der **Eiweißsynthese**.



... die Bildung **sekundärer Wurzeln**.



... die Aktivität verschiedener Enzyme im **Kohlenhydratstoffwechsel**.



... das **Pflanzenwachstum**.

Quellen: K+S

Beispiele für Zink-Mangelsymptome



Quellen: K+S

- Mais ist typische Zeigerpflanze
- Weißgelbe Streifen links und rechts der Mittelrippe bis zum oberen Blattdrittel
- Gestauchter Wuchs
- Interkostalchlorosen und tlw. Einbuchtungen an den Blättern
- Buschbohnen mit kleineren Blättern und Aufhellung der Interkostalflächen



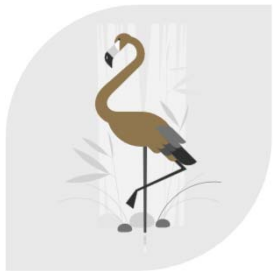
29

Cu

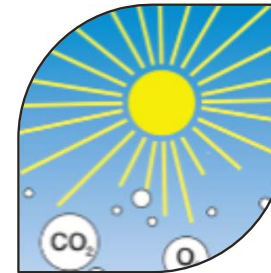
Kupfer
63,546



Kupfer ist wichtig für...



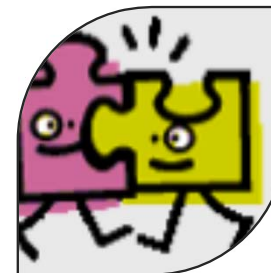
... die Bildung von **Lignin** bzw. die Standfestigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen Pilzerkrankungen.



... den **Kohlenhydratstoffwechsel**.



... die **Pollenbildung** und **Fruchtbarkeit**.



... die **Aktivität von Proteinen**.

Quellen: K+S

Beispiele für Kupfer-Mangelsymptome



Quellen: K+S

- „Heidemoorkrankheit“ (z.B. bei Hafer)
- „Wegweiserstellung“ durch Verdrehen und Abknicken junger Blätter
- Stärkeres Auftreten von Schwärzepilzen durch schwache Lignifizierung beim Getreide
- Kupfertoizität im Getreide (Bild unten) durch überhöhtes Kupferangebot aus der Vorkultur (ehemaliger Hopfengarten)



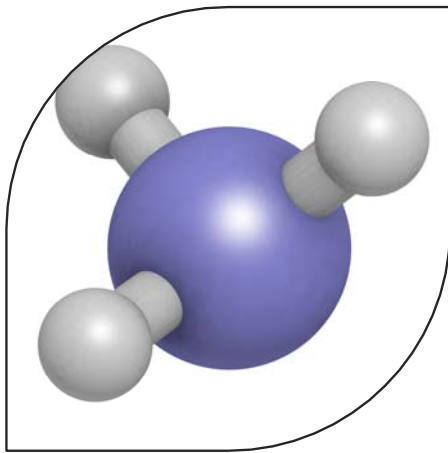
26

Fe

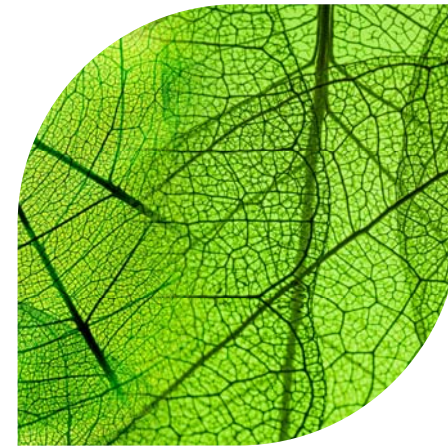
Eisen
55,845



Eisen ist wichtig für...



...den **Elektronentransport**.



...die **Chlorophyllsynthese**

Beispiele für Eisen-Mangelsymptome



- Eisenchlorose durch Kupferüberschuss im Getreide mit streifenförmigen Chlorosen
- Eisenmangel eher bei zweikeimblättrigen Pflanzen Problem (einkeimblättrige mobilisieren Eisen über Phytosiderophore)
- Kalkchlorose bedingt durch Eisenmangel und hohem Calciumangebot im Weinbau
- Eisenmangel beim Trompetenbaum - gelbe/zitronengelbe Blättern auf Grund von Trockenheit



⁴²**Mo**

Molybdän
95,95



Molybdän ist wichtig als...



... Metallkomponente wichtiger Enzyme
(z.B. Nitratreduktase oder Nitrogenase)

Nitratgehalt in Melonenblättern		
NO ₃ mg/kg TS		
Versuch	Kein Mo-Mangel	Mo-Mangel
a	900	5880
b	743	3965

Quelle: verändert nach Amberger, 4. Auflage 1996



Mo-Mangel-Blätter zeigen eine starke Nitratakkumulation

Beispiele für Molybdän-Mangelsymptome



- Dikotyle Pflanzen sind anfälliger als monokotyle
- Vor allem an den jüngeren Blättern
- Jüngste Blätter sind verdreht und der Vegetationspunkt kann absterben
- Blätter können „schöpfkellenartig/löffelartig“ aussehen
- Auftretende Schäden sind irreversibel



Quelle: K+S

Industrieverband Agrar e.V.
LAD Südwest/ LAD Bayern
Mainzer Landstraße 55
60329 Frankfurt am Main
Telefon: +49 69 2556 1296
E-Mail: monath.iva@vci.de

