

Kalium - Magnesium

Aufnahme und Funktionen in der Pflanze

K und Mg im Boden

K- und Mg-Ernährung/Düngung der Kulturpflanzen

Dr. Friedhelm Fritsch, DLR R-N-H, Bad Kreuznach

1

1

Nährelemente und ihre chemischen Verbindungen						
Element	N	P	K	Mg	Ca	S
	Stickstoff	Phosphor	Kalium	Magnesium	Calcium	Schwefel
Oxid (sofern bei Düngern angegeben)	-	P_2O_5 „Phosphat“	K_2O „Kali“	MgO Mg-Oxid	CaO "Kalk"	SO_3
Multiplikation		$P \cdot 2,29 = P_2O_5$	$K \cdot 1,2 = K_2O$	$Mg \cdot 1,66 = MgO$		$S \cdot 2,5 = SO_3$
Säure Basen Salze	HNO_3 NH_4OH Nitrate	H_3PO_4 Phosphate	KOH Kalisalze	$Mg(OH)_2$ Mg-Salze	$Ca(OH)_2$ Ca-Salze	H_2SO_4 Sulfate
von Pflanzen aufgenommen als Ion	NO_3^- NH_4^+	HPO_4^{--} $H_2PO_4^-$	K^+	Mg^{++}	Ca^{++}	SO_4^{--}
Verbindungen in Düngemitteln (Beispiele)	NH_4NO_3 $Ca(NO_3)_2$ $CO(NH_2)_2$ $CaCN_2$ $NH_4H_2PO_4$ $(NH_4)_2HPO_4$ $(NH_4)_2SO_4$	$Ca(H_2PO_4)_2$ $(NH_4)_2HPO_4$ $Ca_5(PO_4)_3OH$	KCl K_2SO_4	$MgSO_4$ MgO $Mg(OH)_2$ $MgCO_3$	CaO $Ca(OH)_2$ $CaCO_3$	$CaSO_4$ $MgSO_4$ K_2SO_4 $(NH_4)_2SO_4$

2

Kalium in der Pflanze

25-50 % der Pflanzenasche

Antransport über **Diffusion** (Bodenstruktur, Wurzelsystem)

K ist gut xylem- und phloemmobil, bei Mangel Transport aus alten in junge Organe (**Mangelsymptome** zuerst an **älteren Blättern**)

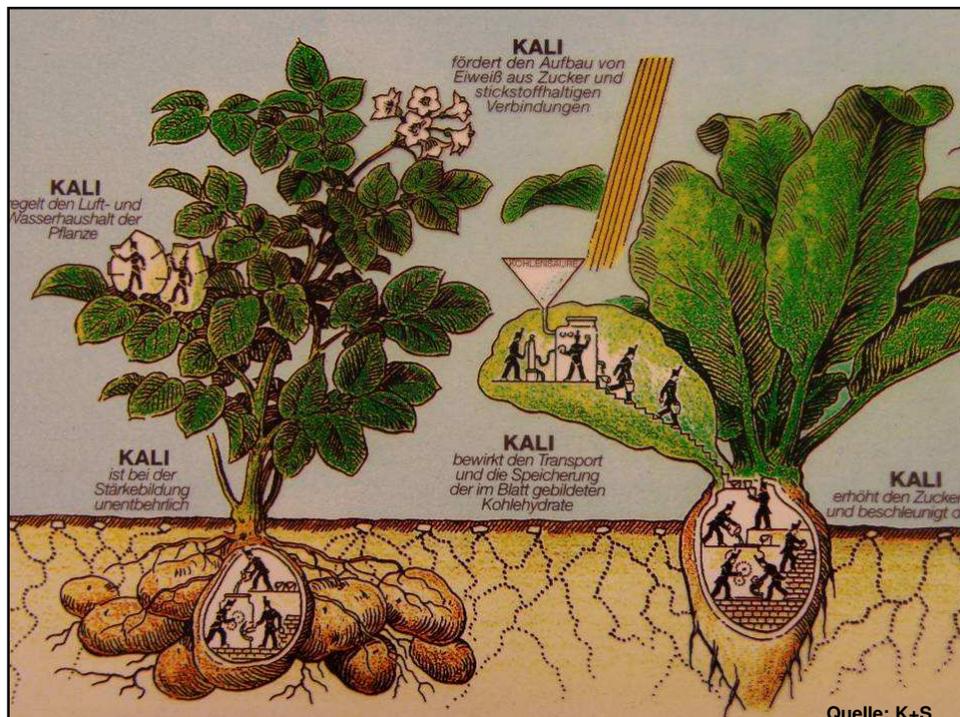
Vorkommen: in hoher Konzentration im Cytoplasma

Funktionen:

- K⁺-Ion kann Membranen leicht durchdringen
- Stomataregulation (**Wasserhaushalt**)
- Osmotikum: Wassereinstrom → Turgordruck → Zellwandlockerung
→ **Zellwachstum**
- **Photosynthese** und **Assimilattransport**
Bildung von RubisCO, Photophosphorylierung, Phloembeladung
- **Enzymaktivierung** (bes. Aufbau von Proteinen u. Reservekohlehydraten)
Polypeptid-Synthese (Bindung der tRNA an Ribosomen);
Stärkesynthese u.v.a.
K-Mangel: verstärkte Aktivität kohlenhydrat-abbauender Enzyme

3

3



4

K-Einfluss auf den Wasserhaushalt

Table 10.4 Effect of K⁺ nutrition on water retention of young wheat seedlings (Scherer *et al.* 1982)

Date	18. 11.	21. 11.	24. 11.	27. 11.	30. 11.	3. 12.	7. 12.	10. 12.
	g H ₂ O/g dry weight							
K ₀	7.89	7.42	6.76	6.50	6.18	5.55	5.20	4.75
K ₁	8.67	7.65	7.31	7.36	7.10	6.66	6.35	5.76

K₀ → nutrient solution without K⁺.

K₁ → nutrient solution with K⁺

aus: Mengel und Kirkby 2001

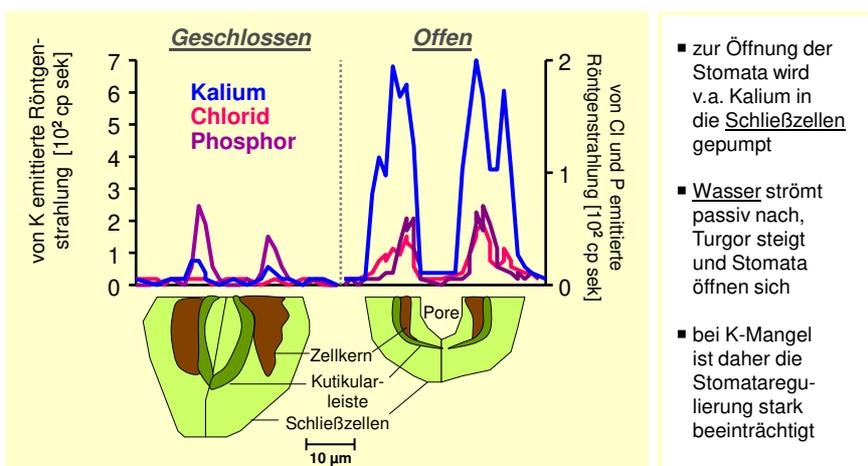
All data of the K₁ treatment are significantly different (p < 0.001) from K₀.

Ausreichend mit Kalium ernährte Pflanzen sind besser in der Lage, Wasserverluste zu vermeiden. Das beruht auf der Wirkung des Kaliums als Osmotikum und auf seiner Bedeutung für die Stomataregulation.

5

5

Vergleich der Gehalte an K, Cl und P bei offener und geschlossener Spaltöffnung



nach Mengel und Kirkby (2001): Principles of Plant Nutrition

- zur Öffnung der Stomata wird v.a. Kalium in die Schließzellen gepumpt
- Wasser strömt passiv nach, Turgor steigt und Stomata öffnen sich
- bei K-Mangel ist daher die Stomataregulation stark beeinträchtigt

Pflanzenernährung und Düngung

Olfs



6

6

DLG Login Mitglieder
Kontakt
Impressum

Impulse für den Fortschritt

Landwirtschaft ▾ Lebensmittel ▾ Über uns ▾ Mitgliedschaft ▾ Suchbegriff... 🔍 Deutsch ▾

Sie befinden sich hier: / Deutsch / Mitgliedschaft / Newsletter 35/2016 / Immer der Sonne nach 🐦 📘 🌐 📧

Landwirtschaft ▾
Lebensmittel ▾
Über uns ▾
Mitgliedschaft

Immer der Sonne nach

Die Blütenstände der jungen Sonnenblumen folgen tagsüber der Sonne von Ost nach West und drehen sich nachts wieder von West nach Ost zurück, um den Sonnenaufgang zu erwarten.

Andere Pflanzenarten haben ebenfalls die Fähigkeit, Organe wie Blätter oder Blüten der Sonne zuzuwenden und ihren Weg über den Himmel zu verfolgen. Für ihre aufwändigen Bewegungen besitzen sie spezielle Zellen, die sogenannten Motorzellen.

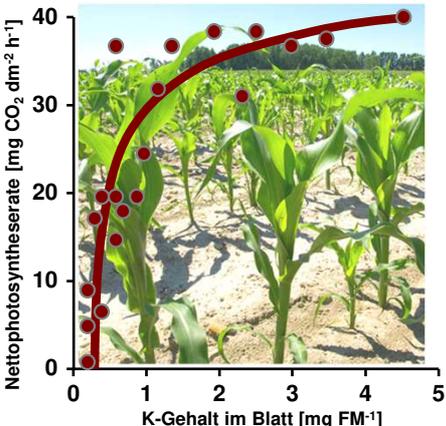
Sie befinden sich in verdickten Bereichen (Pulvini) des Stiels oder am Ansatz von Blättern. Durch das aktive Einschleusen von Kaliumionen wird bei Bedarf der Wanddruck der Zelle (Turgor) erhöht und dadurch die Zelle verlängert, was letztlich eine Bewegung bewirkt. Die Pflanze richtet sich dabei nach dem Licht: Dort wo wenig Licht hinkommt, steigt der Wanddruck, so dass sich das Blatt oder die Blüte aus dem Schatten heraus und zur Sonne hinbewegt.



*Ausgewachsene Sonnenblumen richten ihren Blick dauerhaft gen Osten. Für Bestäuber, wie Bienen, werden sie dadurch interessanter, da sie sich morgens schneller erwärmen.
Bild: agrar press*

7

Einfluss des K-Gehaltes auf die Netto-Photosyntheserate von Maisblättern



K-Gehalt im Blatt [mg FM ⁻¹]	Nettophotosyntheserate [mg CO ₂ dm ⁻² h ⁻¹]
0.1	5
0.2	10
0.3	15
0.4	18
0.5	20
0.6	22
0.8	25
1.0	32
1.5	35
2.0	38
2.5	38
3.0	37
3.5	38
4.0	39
4.5	40

Nettophotosyntheserate bei K-Mangel vermindert, da

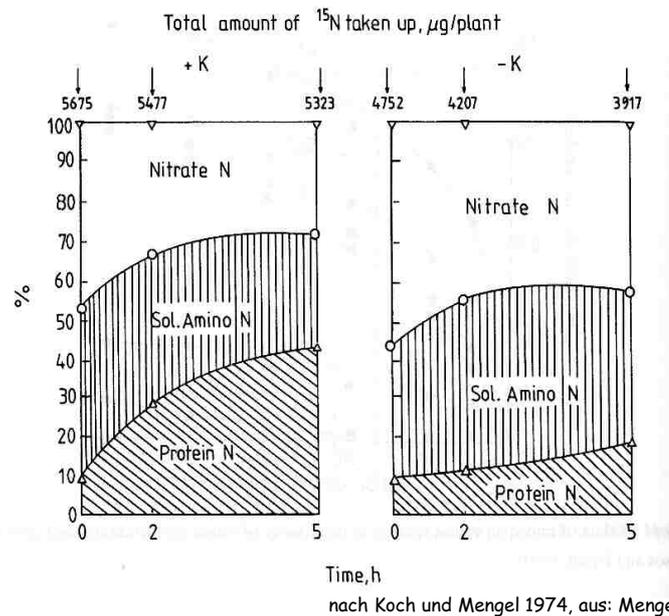
- erhöhter stomatärer Widerstand für CO₂-Aufnahme
- Blattfläche vermindert
- geringere Aktivität der Ribulose-Bisphosphat-Carboxylase (-> CO₂-Bindung)

nach Steingrobe (2005) Universität Göttingen

Pflanzenernährung und Düngung Olfs 

8

K-Einfluss auf die Proteinsynthese



9

Beispiele für Veränderungen im Stoffwechsel und in der Stoffgruppenszusammensetzung bei K-Mangel

- Beeinträchtigung des Wasserhaushaltes
- Absinken der Photosyntheserate
- Anstieg der Atmungsrate
- Zunahme der löslichen Kohlenhydrate
 - insbesondere reduzierende Zucker
- Zunahme der löslichen N-Verbindungen
 - Aminosäuren, Amide
- Abnahme der Gehalte an Polysacchariden
 - Stärke, Zellulose und Lignin
- Abnahme der Gehalte an Proteinen
- Abnahme der Gehalte an organischen Säuren

10

10

Kalium-Mangel

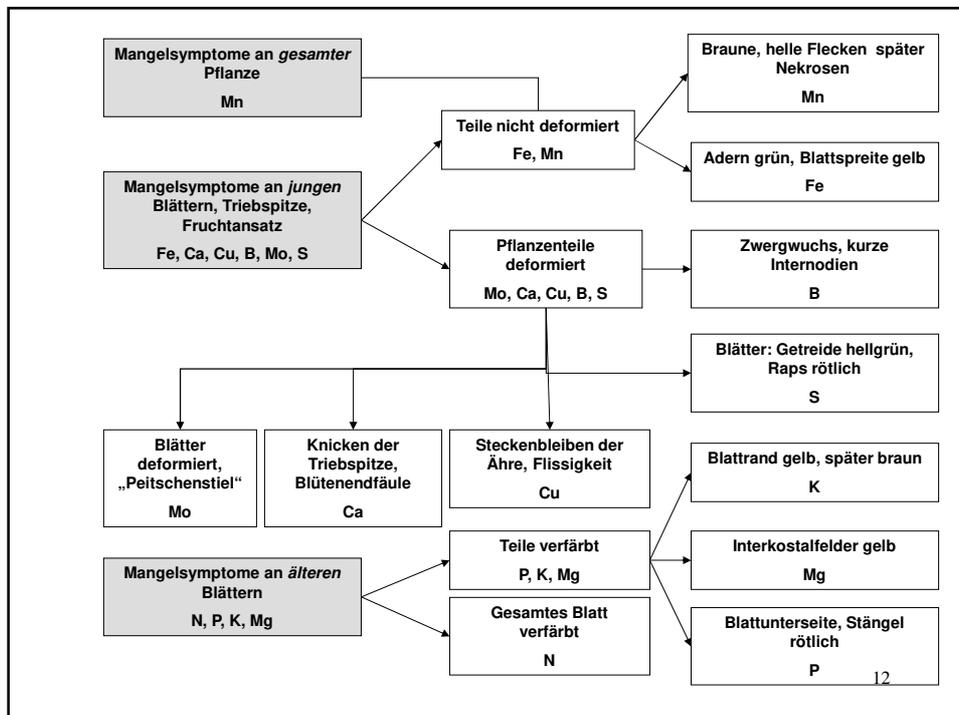


Mäßiger K-Mangel führt zur "Welketracht".

Starker Mangel führt zur Vergilbung und zur Nekrose vor allem an den Blatträndern (zuerst an älteren Blättern)

11

11



12

Einfluss der K-Versorgung auf die K-Verteilung in Haferpflanzen

=> K-Gehalt in Körnern recht stabil (genetisch/physiologisch kontrolliert)

=> starke K-Anreicherung in Stängel und Blättern (Futterpflanzen!) bei sehr hohem Angebot

K-Versorgung	K-Menge (mg Gefäß ⁻¹)				% in Körner
	Blätter	Stängel	Körner	Gesamt	
mittel	59	61	40	160	25
sehr gut	105	163	45	314	14
Luxuskonsum	145	292	44	481	9



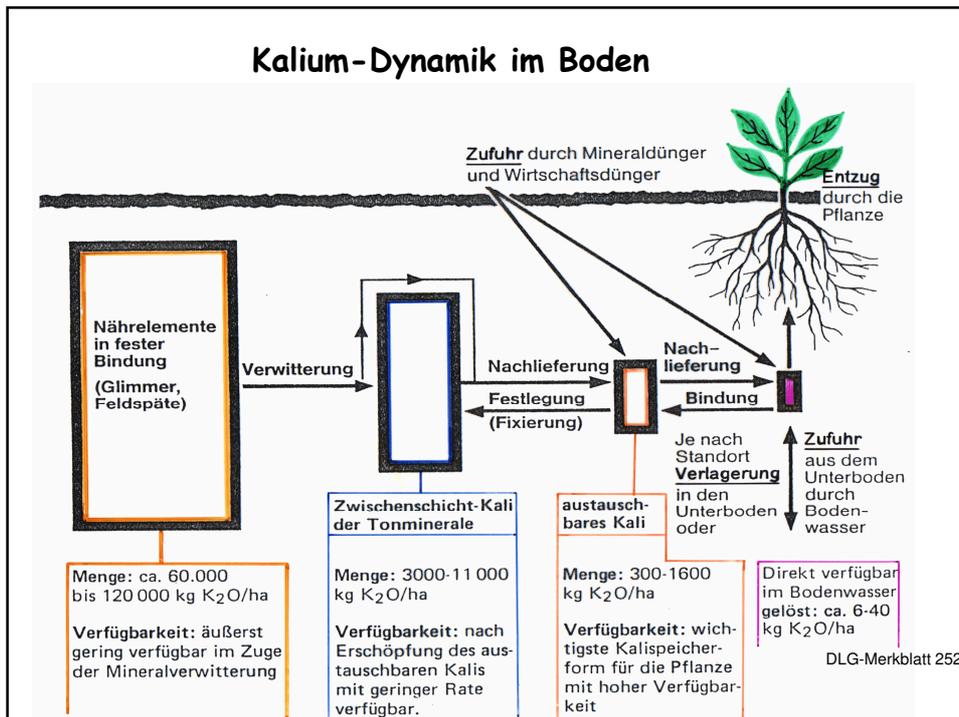
13

Einfluss von N- und K-Düngung

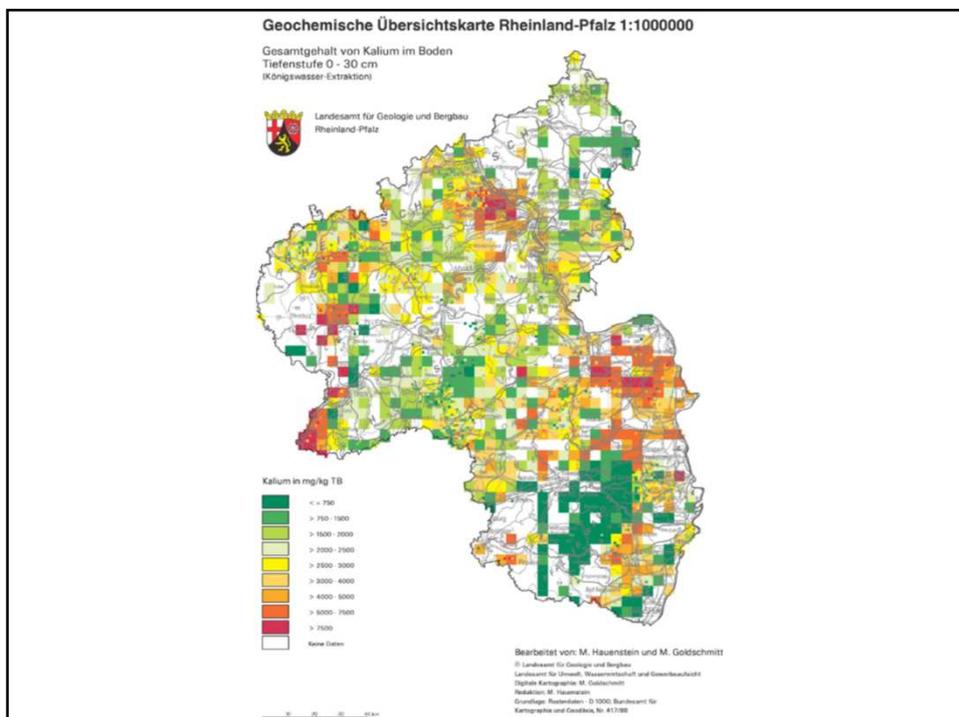
Tab. 3.18. Einfluß einer steigenden N- und K-Düngung auf den Ertrag von Zuckerrüben und Weizen; Mittelwerte langjähriger Versuche. Die Indices geben die Düngermenge in kg N bzw. K₂O ha⁻¹ an. Nach LOUÉ 1987.

Zuckerrüben, t ha ⁻¹			
	K ₀	K ₁₀₀	K ₂₀₀
N ₅₀	38,5	39,9	40,6
N ₁₀₀	39,4	42,0	44,8
N ₁₅₀	39,5	43,7	45,1
Winterweizen, Korn t ha ⁻¹			
	K ₀	K ₈₀	K ₁₆₀
N ₆₅	4,25	4,25	4,28
N ₉₅	4,65	4,82	4,83
N ₁₂₅	4,68	4,81	4,86

14



15



16

Bindungsstärke für Kationen

Bindungsstärke steigt mit:

→ **zunehmender Ladung** der Kationen
z.B. $\text{Al}^{3+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$



→ **abnehmender Hydrathülle**

der Kationen; daher Kationen mit großem Ionendurchmesser besser sorbiert, z.B. $\text{K}^+ > \text{Na}^+$

Radius (10^{-10} m)

ohne Hydrathülle	0,98	1,33
mit Hydrathülle	2,76	2,32

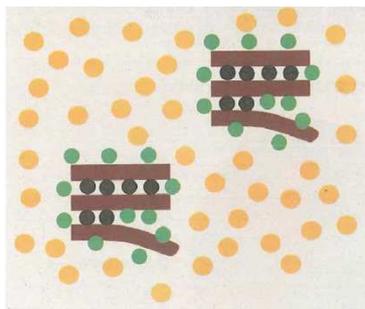
Unter Einbeziehung dieser Faktoren ergibt sich für die wichtigsten Kationen im Boden folgende **Selektivitätsreihe**:



17

Bindungsformen von Kalium

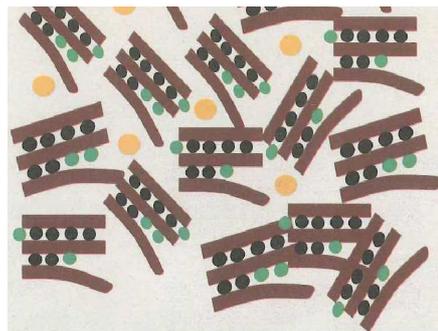
im leichten Boden



Sandige Böden enthalten wenig Tonminerale, d.h. es kann nur relativ wenig K^+ gebunden oder nachgeliefert werden. Ein relativ großer Anteil des K^+ befindet sich in der Bodenlösung.

Die K-Düngung sollte wegen Verlagerungsgefahr vorzugsweise im Frühjahr erfolgen.

im schweren Boden



Schwere Böden enthalten viel Tonminerale, d.h. es kann viel K^+ gebunden oder nachgeliefert werden. Nur ein relativ geringer Anteil des K^+ befindet sich in der Bodenlösung. Bei langjährig unterlassener Düngung ist kaum noch K^+ in der Bodenlösung oder in austauschbarer Form vorhanden. Die Tonminerale können so stark an K^+ verarmen, dass sie gedüngtes K^+ festlegen („Kalifizierung“, erfordert Düngung zur Vegetation).

● K^+ in der Bodenlösung

● „austauschbares“ (nachlieferbares) K^+ an den Außenflächen der Tonminerale

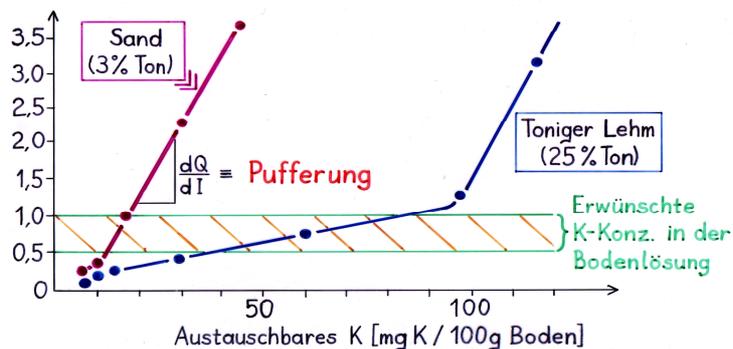
● in den Zwischenschichten der Tonminerale fest gebundenes K^+

18

Beziehung zwischen dem austauschbarem K (Quantität) und der K-Konzentration in der Bodenlösung (Intensität) in Abhängigkeit vom Tongehalt des Bodens

K-Konzentration in der Bodenlösung [mmol/L]

Intensität



Tonböden können die erwünschte K-Konzentration länger aufrechterhalten als Sandböden

Int. Potash Inst. (IPI), 1977)

19

Kalium-Auswaschung aus dem Wurzelraum eines Lößbodens (Parabraunerde) und von Sandböden (Podsole)

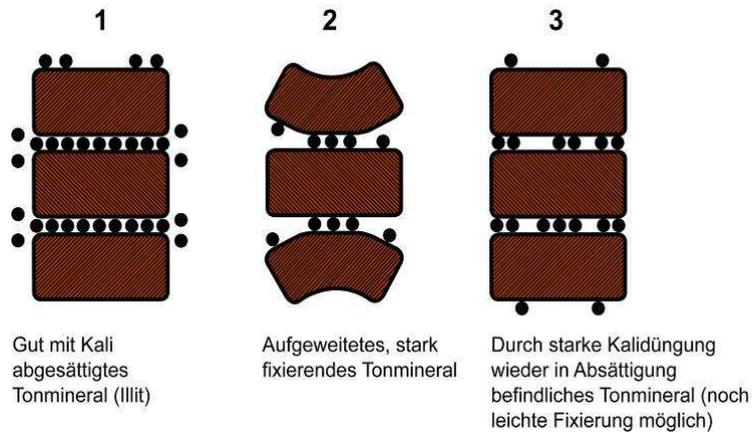
Boden	Nutzung	Sickerwasser [mm]	K-Auswaschung [kg ha ⁻¹ a ⁻¹ K]
Löß	Acker	94	<1
Sand 1	Acker	252	36
Sand 2	Wiese	255	30
Sand 3	Kiefernwald	215	20

Raum Hannover im Mittel von 3 Jahren (Messtiefe 170 cm)

STREBEL und RENGER, in SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1982

20

Kali-Fixierung in den Zwischenschichten der Tonminerale



Typisch: Auenböden mit langjähriger Wiesennutzung,
ohne K-Düngung

21
Quelle: BAD

21

Tab. 3.19. Einfluß der Kalidüngung auf den Kornertrag und das TKG von Sommerweizen auf einem K-fixierenden Standort.
SCHÄFER u. SIEBOLD 1972

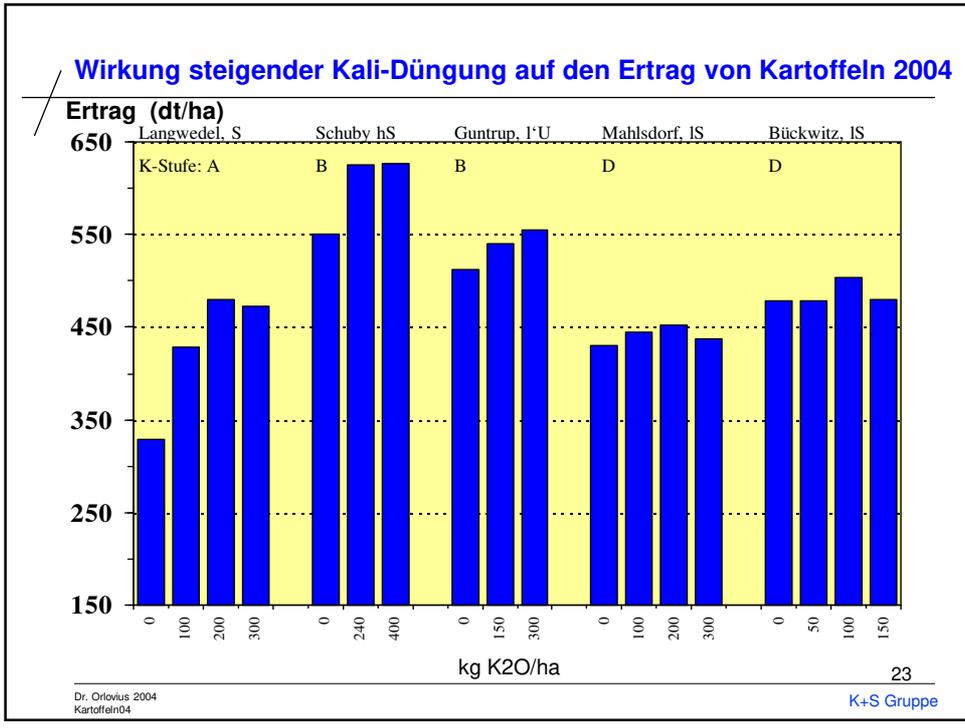
K-Düngung kg K ₂ O/ha	Ertrag dt/ha	TKG
0	22,4	31,8
300	25,1	32,4
600	38,4	37,9
900	43,6	38,3

aus: Mengel 1991

↑ das sind riesige Mengen!
In Marktfrucht-Fruchtfolgen mit Verbleib der Erntereste werden etwa 50 kg K₂O/ha und Jahr abgefahren
= neben den Nährstoffgehalten im Boden die Basis der Düngebedarfsermittlung der Grundnährstoffe

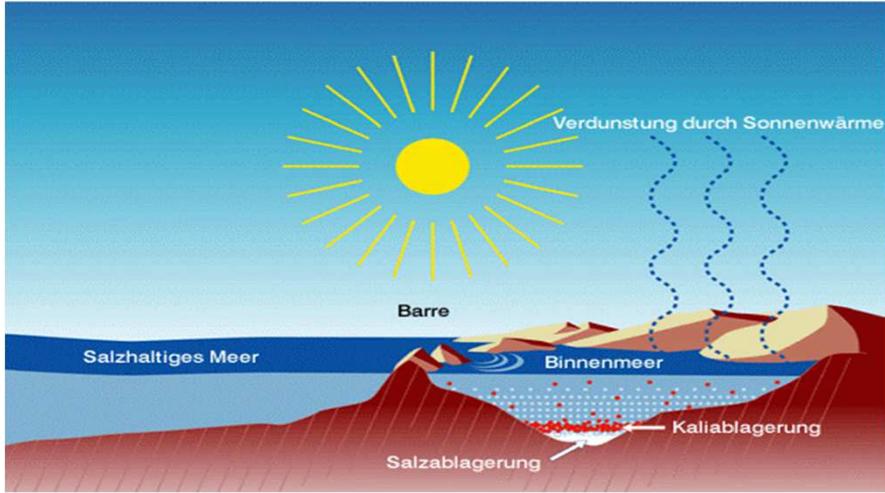
22

Wirkung steigender Kali-Düngung auf den Ertrag von Kartoffeln 2004



23

Entstehung von Kali-Lagerstätten



24

24

Minerale bzw. -gesteine in Kali-Lagern

Bezeichnung	Formel	Löslichkeit
Steinsalz	NaCl	
Sylvin	KCl (Sylvinit = KCl + NaCl)	
Carnallit	$\text{KCl} \times \text{MgCl}_2 \times 6 \text{H}_2\text{O}$	
Kainit	$\text{KCl} \times \text{MgSO}_4 \times 3 \text{H}_2\text{O}$	
Anhydrit	CaSO_4	
Gips	$\text{CaSO}_4 \times 2 \text{H}_2\text{O}$	
Kieserit	$\text{MgSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$	
Kalk	CaCO_3	

25

0

25

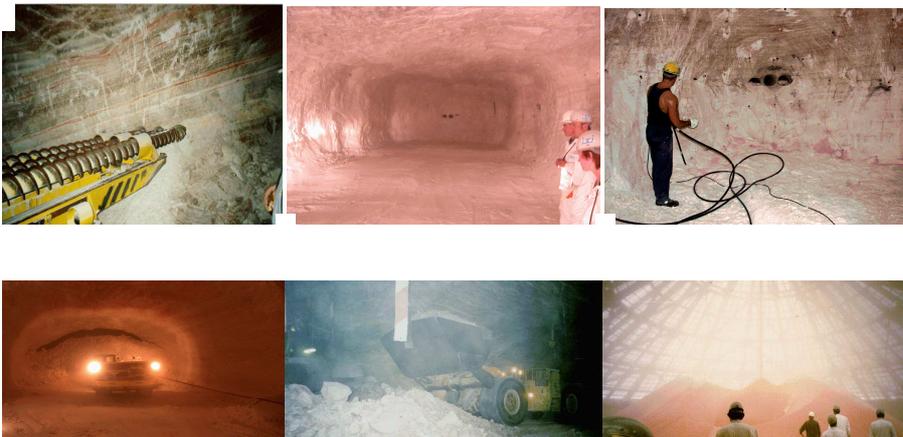


26



27

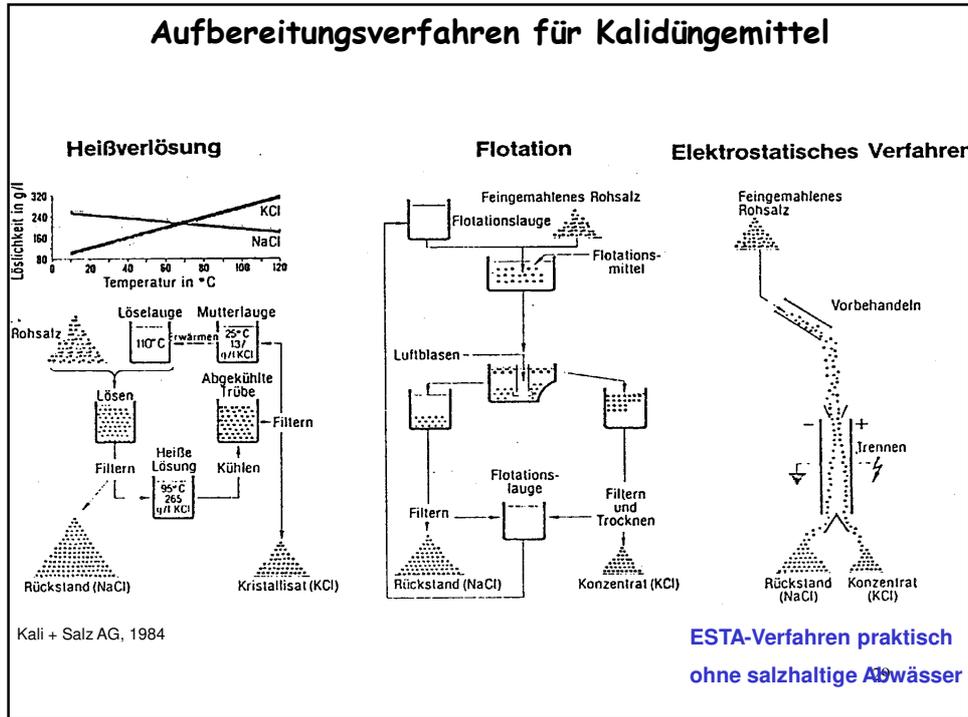
Abbau von Kalirohsalzen



0

28

Aufbereitungsverfahren für Kalidüngemittel



29

Düngemittel (handelsübliche Namen)	Nährstoffgehalte in % bzw. kg/dt (handelsüblich)					Hauptbestandteile
	P ₂ O ₅ gesamt	P ₂ O ₅ wasserlös.	K ₂ O	MgO	andere	
P-, K-, und Mg-Dünger¹						
Superphosphat	18	16,7			11 S	Monocalciumphosphat Ca(H ₂ PO ₄) ₂ , Calciumsulfat CaSO ₄
Triple-Superphosphat	46	43				Monocalciumphosphat Ca(H ₂ PO ₄) ₂
Teilaufgeschlossenes Rohphosphat Novaphos	23	10			8 S	Apatit Ca ₅ (PO ₄) ₃ OH,F, Monocalciumphosphat Ca(H ₂ PO ₄) ₂ , Calciumsulfat CaSO ₄
Kalirosalz Magnesia-Kainit			11	5	4 S, 20 Na	K-, Mg- und Na-Chloride und -Sulfate
Kaliumchlorid 60er Kali			60			Kaliumchlorid KCl
Kaliumchlorid mit Magnesium Kornkali			40	6	4 S, 3 Na	Kaliumchlorid KCl, Magnesiumsalze
Kaliumsulfat			50		18 S	Kaliumsulfat K ₂ SO ₄
Kaliumsulfat mit Mg Kalimagnesia, Patentkali			30	10	17 S	Kaliumsulfat K ₂ SO ₄ , Magnesiumsulfat MgSO ₄
Kieserit granuliert				25	20 S	Magnesiumsulfat MgSO ₄ · H ₂ O
Magnesiumsulfat Bittersalz	Epso top			16	13 S	Magnesiumsulfat MgSO ₄ · 7 H ₂ O, auch mit Spuren-nährstoffen
	Epso microtop			15	12 S 1 B, 1 Mn	
	Epso combitop			13	13 S 4 Mn, 1 Zn	

In der Regel kommt den hier aufgeführten Düngemitteln kein bedeutsamer Einfluss auf die Bodenreaktion zu. Ein rechnerischer CaO-Gehalt, der z. B. auf dem Ca-Anteil in Rohphosphaten - mit oder ohne Aufschluss durch Säuren - beruht, wird nicht als basisch wirksam betrachtet.

30

Magnesium: Aufnahme und Verteilung in der Pflanze

Magnesium wird **passiv aufgenommen**, und zwar in der Regel in geringeren Mengen als Ca^{2+} und K^+ .

Ionenkonkurrenz bei der Aufnahme (H^+ , K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+})

⇒ Mg-Mangel

Nitratangebot kann Mg-Aufnahme fördern (pH-Effekt, z.B. bei Kalksalpeter-Düngung)

Magnesium ist **in der Pflanze gut beweglich** ⇒ Mangel zuerst an älteren Blättern

Vorkommen in der Pflanze: Mg-Oxalat, Phytin, freies oder sorbiertes Mg-Ion, chelatartig gebunden (Chlorophyll).

31

31

Funktionen

- Bestandteil des **Chlorophylls** (ca. 15 - 20% des Gesamt-Mg)
- stabilisiert Membrane (ähnlich wie Ca^{2+})
- Mg^{2+} bindet ATP an Enzyme und Substrate
- aktiviert Enzyme (z.T. durch Mn ersetzbar), z.B. RubisCO
- Proteinsynthese (bei Mg-Mangel reduziert)

32

32

Mg-Mangel

Dikotyle:

Mangel zuerst an älteren Blättern, beginnt in der Mitte der Blatthälfte zwischen den Blattadern (Blattaufhellungen, Nekrotisierung). Schließlich nur noch an den Blattadern grün. Bei starker Sonneneinstrahlung Welketracht.

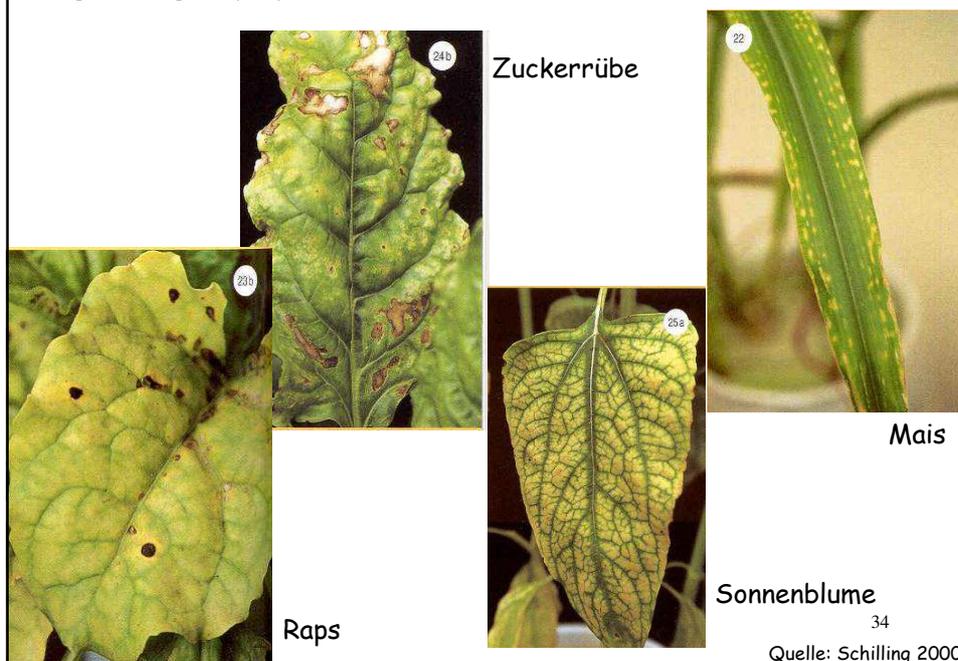
Monokotyle:

Aufhellungen an den älteren Blättern, kleine dunkelgrüne Flecke (= Chlorophyllanhäufungen), die wie eine Perlschnur aussehen. Bei Mais gestreifte oder getigerte Blätter.

33

33

Mg-Mangelsymptome an Blättern



34

Mg-Mangel bei Getreide



Hafer (Blätter leicht marmoriert, im fortgeschrittenen Stadium gelb)



Sommerweizen
(links voll ernährt, rechts mit Marmorierung)

Quelle: Schilling 2000

35

Mg-Angebot im Boden

Mg-haltige Minerale im **Gestein/Boden**: Basalt, Silikate, Biotit, Olivin ...
als Carbonat im Dolomit $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$

Bodenart: höchste Gehalte in Tonbestandteilen (unspezifische Sorption)

Basensättigung $\text{Ca}^{2+} : \text{Mg}^{2+} : \text{K}^+$ fruchtbare Böden ca. 75 : 15 : 5 % der KAK

Bodenreaktion (pH-Wert)

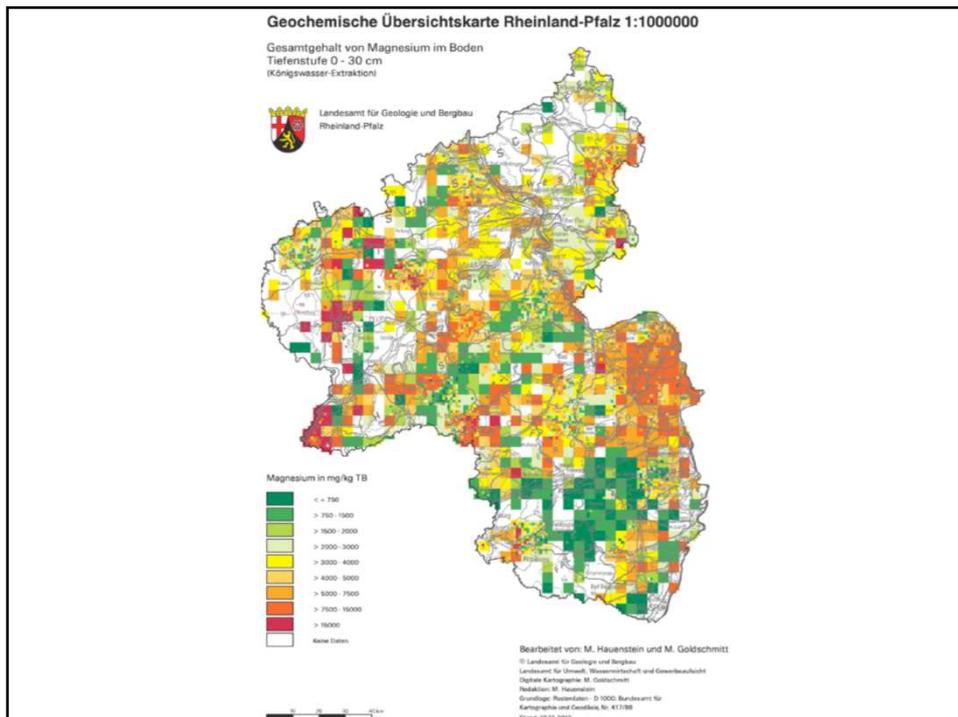
- Mg bei niedrigem pH leicht von Austauschern verdrängbar
→ Auswaschung → Abnahme des pflanzenverfügbaren Mg
- H^+ sowie Al^{+++} behindern die Mg-Aufnahme der Pflanze

$\text{K}_2\text{O} : \text{Mg}$ -Verhältnis bei Standard-Bodenuntersuchung

CAL-lösliches K (in mg $\text{K}_2\text{O}/100$ g Boden) sollte nicht mehr als dreimal so hoch sein wie CaCl_2 -lösl. Mg (in mg Mg/100 g Boden) (?)

36

36



37

Basensättigung verschiedener Böden

	Sättigung %					
	Ca	Mg	K	Na	H	Al
Böden unter Acker						
Schwarzerde (LÖB, Hildesheim)	90	9	0,5	0,4	0,1	0
Kleimarsch (Wesermarsch)	34	29	1,9	3,3	22,8	0
Pelosol (Franken)	64	6	7	0	23	0
Podsol (Sand, Celle)	23	1,6	1,9	0,3	63,2	0
Böden unter Wald						
Podsol (Granit, Bayr. Wald)	22	6	4,6	2,6	0	65

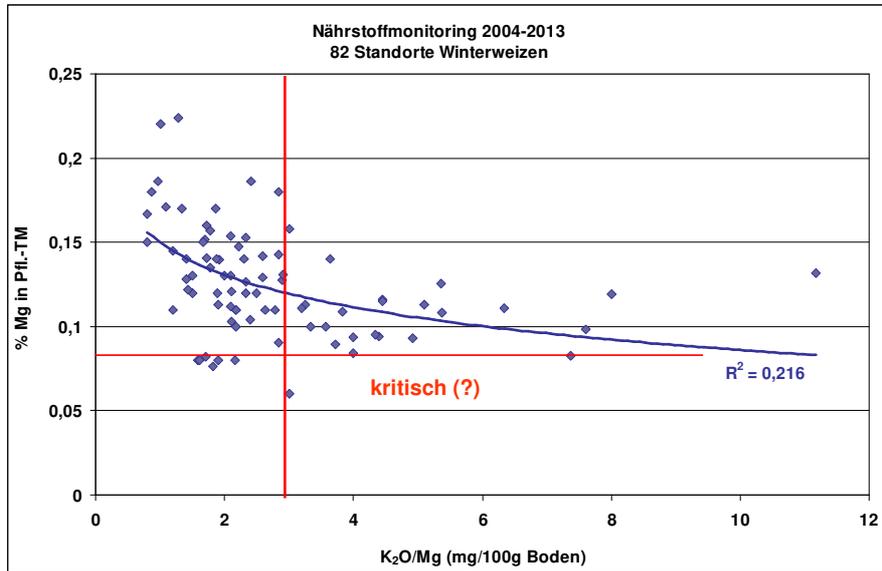
SCHAEFFER und SCHACHTSCHABEL 1982

Die Basensättigung ist **keine** Grundlage zur Ermittlung des Düngebedarfs!
... wird zwar teuer angeboten (Kinsey, USA; Unterfrauner Österreich),
jedoch gibt es **keine Kalibrierung anhand von Düngungsversuchen!**

38

38

K : Mg-Verh. bei Bodenunters. und Mg-Verfügbarkeit bei Winterweizen



39

Jährlicher Basenverlust durch Auswaschung

	Sandboden	Lößboden	Lehmboden
Mg	33	77	76
CaO	392	380	385

SAALBACH et al., 1970

Gefahr von *Mg-Unterversorgung* in Sandböden besonders groß:

- geringe Tongehalte
- locker sorbiertes Mg (vor allem bei niedrigen pH)
- geringe Reserven (geringe Nachlieferung)

40

40

Düngemittel (handelsübliche Namen)	Nährstoffgehalte in % bzw. kg/dt (handelsüblich)					Hauptbestandteile
	P ₂ O ₅ gesamt	P ₂ O ₅ wasserlöslich	K ₂ O	MgO	andere	
P-, K-, und Mg-Dünger¹						
Superphosphat	18	16,7			11 S	Monocalciumphosphat Ca(H ₂ PO ₄) ₂ , Calciumsulfat CaSO ₄
Triple-Superphosphat	46	43				Monocalciumphosphat Ca(H ₂ PO ₄) ₂
Teilaufgeschlossenes Rohphosphat Novaphos	23	10			8 S	Apatit Ca ₅ (PO ₄) ₃ OH,F, Monocalciumphosphat Ca(H ₂ PO ₄) ₂ , Calciumsulfat CaSO ₄
Kalirohsalz Magnesia-Kainit			11	5	4 S, 20 Na	K-, Mg- und Na-Chloride und -Sulfate
Kaliumchlorid 60er Kali			60			Kaliumchlorid KCl
Kaliumchlorid mit Magnesium Kornkali			40	6	4 S, 3 Na	Kaliumchlorid KCl, Magnesiumsalze
Kaliumsulfat			50		18 S	Kaliumsulfat K ₂ SO ₄
Kaliumsulfat mit Mg Kalimagnesia, Patentkali			30	10	17 S	Kaliumsulfat K ₂ SO ₄ , Magnesiumsulfat MgSO ₄
Kieserit granuliert				25	20 S	Magnesiumsulfat MgSO ₄ * H ₂ O
Magnesiumsulfat Bittersalz	Epsom top			16	13 S	Magnesiumsulfat MgSO ₄ * 7 H ₂ O, auch mit Spurenährstoffen
	Epsom microtop			15	12 S 1 B, 1 Mn	
	Epsom combitop			13	13 S 4 Mn, 1 Zn	

In der Regel kommt den hier aufgeführten Düngemitteln kein bedeutsamer Einfluss auf die Bodenreaktion zu. Ein rechnerischer CaO-Gehalt, der z.B. auf dem Ca-Anteil in Rohphosphaten - mit oder ohne Aufschluss durch Säuren - beruht, wird nicht als basisch wirksam betrachtet.

41

Mg-haltige Kalke ...

Produkt	Bindungsform	Sonstige
Magnesium-Brannkalk	MgO	CaO
Magnesium-Löschkalk	Mg(OH) ₂	Ca(OH) ₂
Kohlensaurer Magnesium-Kalk	MgCO ₃	CaCO ₃

... sind in der Regel die preiswerteste Form der Mg-Düngung.

Ab Gehalten von 15 % MgCO₃ bzw. 7 % MgO darf „Magnesium“ in der Typenbezeichnung genannt werden. Niedrigere Mg-Gehalte dürfen angegeben (aber nicht im Namen geführt) werden.

42

42

Vorkommen und Aufnahme von Natrium

Na-Gehalt in der Lithosphäre: ca. 3 %.

Na im Boden: in **Feldspäten** und adsorbiert an **Tonmineralen**

Saline Böden/aride Gebiete: **adsorbierte** Menge an Na^+ < oder > K^+
(Verschlämmung)

Natrium wird wie Kalium **als** Kation Na^+ entlang des elektrochemischen Gradienten **aufgenommen**. Die Aufnahme rate ist bei den meisten Pflanzen jedoch wesentlich geringer als die des Kaliums.

43

43

Essentialität von Natrium

1. Natrium ist **für** viele (aber nicht alle) **C_4 -Pflanzen** **essentiell**.

Funktion:

a) Pyruvat gelangt im Co-Transport mit Na^+ in den Mesophyll-Chloroplasten

b) Bildung von Phosphoenolpyruvat (PEP) aus Pyruvat mit Hilfe von Na^+

Bereits geringe Na-Mengen reichen für die C_4 -Pflanzen aus.

2. Natrium ist für **C_3 -Pflanzen** nicht essentiell (für z.B. Zuckerrüben aber nützlich)

3. **Viele Halophyten** (C_3 und C_4) werden **durch Natrium gefördert**

Osmotische Funktion

44

44

Erfordernis von Na-Dünger

Natrium ist in Kali-, Kalimagnesia- und Nitrat-Düngern enthalten:

zum Beispiel:

40er Kali: aus KCl und ca. 20-30 % NaCl **werden nicht mehr hergestellt**

50er Kali: aus KCl und ca. 10-15 % NaCl

60er Kali: fast reines KCl, kaum noch NaCl

Magnesia-Kainit („Weidekainit“): 11 % K_2O , 5% MgO , **20% Na**, 4 % S

Chilesalpeter ($NaNO_3$): enthält 25 % Na

NPK-Dünger: bis ca. 3 % Na

Gründe für Na-haltige Dünger:

a) Verbessert den Wasserhaushalt bei natrophilen Pflanzen und ergänzt dadurch die Wirkung des Kaliums. Ertragssteigerung vor allem bei unzureichender Kaliumversorgung.

b) Mineralstoff-Versorgung von Weidetieren (Düngung 20-30 kg Na/ha)

45

beispielhafte Fragen zum Teil 6:

- N, P, K, Mg: aufgeführten Stoffwechselfunktionen zuordnen
- N, P, K, Mg: aufgeführten Mangelsymptomen zuordnen
- Erklären Sie das Phänomen der „K-Fixierung“
- Erläutern Sie mögliche Folgen eines K-Überangebots?
- Unter welchen Bedingungen ist jeweils Mg-haltiger Kalk, Kornkali oder Mg-Sulfat (Kieserit oder Bittersalz) das Düngemittel der Wahl?
- Wie kann man mit der N-Düngerform die Mg-Aufnahme fördern?

46