BODEN
ökologie analytik landschaft
TB UNTERFRAUNER GMBH

Rochuspark I Erdbergstraße 10/33 I 1030 Wien
T (+43 1) 236 10 30 33 I M (+43 0) 676 364 10 30
E office@bodenoekologie.com I www.bodenoekologie.com

Präsentation

Bodenfruchtbarkeit
Nährstoffdynamik

Univ. Lek. DI Hans Unterfrauner

Biogespräche Schlägl, April 2018

www.bodenoekologie.com

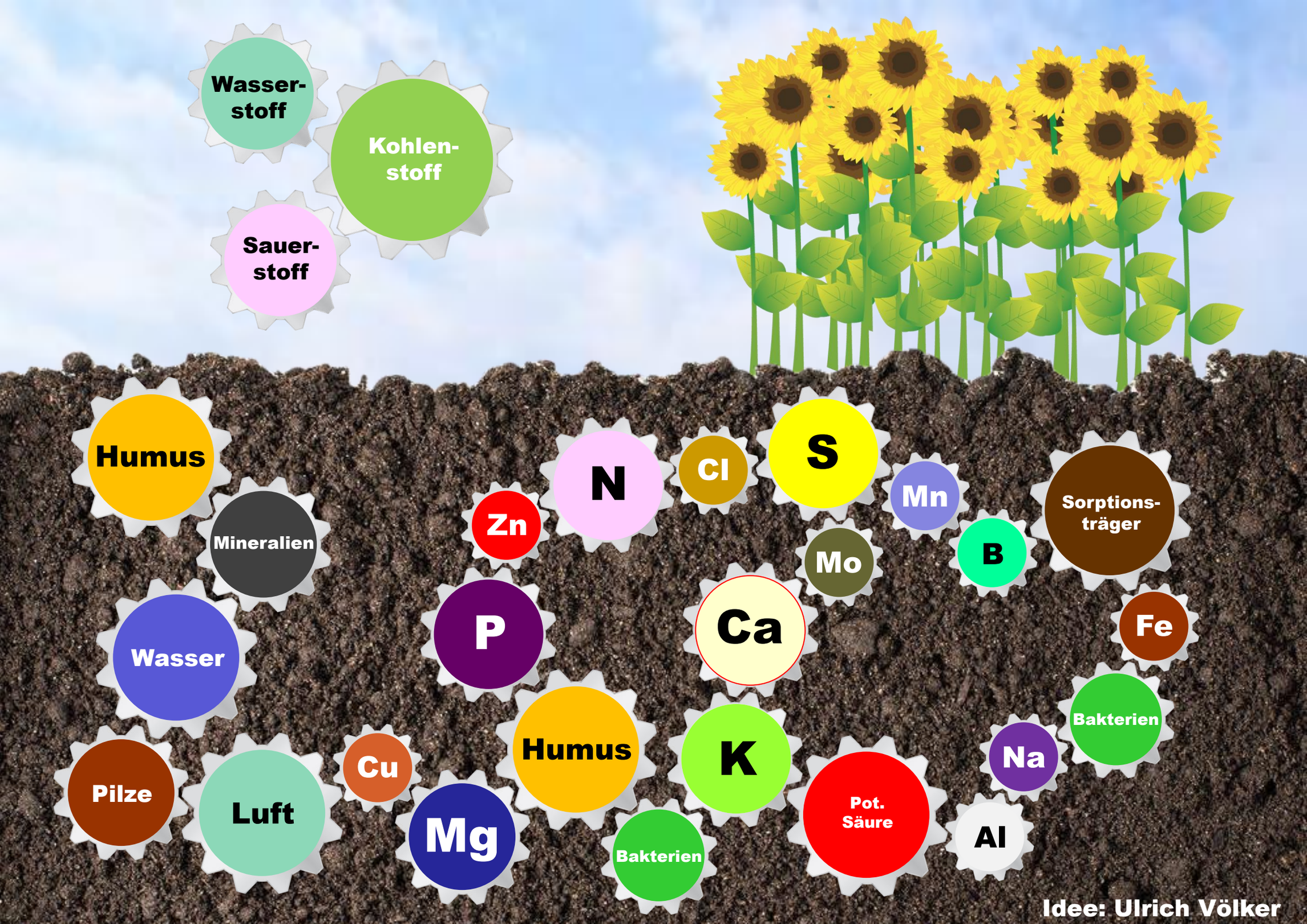
Bodenfruchtbarkeit
(Definition)

Bodenfruchtbarkeit ist Ausdruck des komplexen Zusammenwirkens mineralogischer, physikalischer, chemischer und biologischer Wachstumsfaktoren, z. B.

- **pflanzenverfügbarer Nährstoffgehalt und Bodenreaktion,**
- **Wegsamkeit für Wasser und Luft,**
- **Humusgehalt und biologische Aktivität,**
- **Bodenstruktur, Durchwurzelungstiefe und -intensität.**

Diese bilden die Grundlage, um in Verbindung mit Witterung und Bewirtschaftung den Ertrag dauerhaft und umweltverträglich zu optimieren.

G. Breitschuh, H. Eckert, T. Breitschuh und M. Körschens, 2015

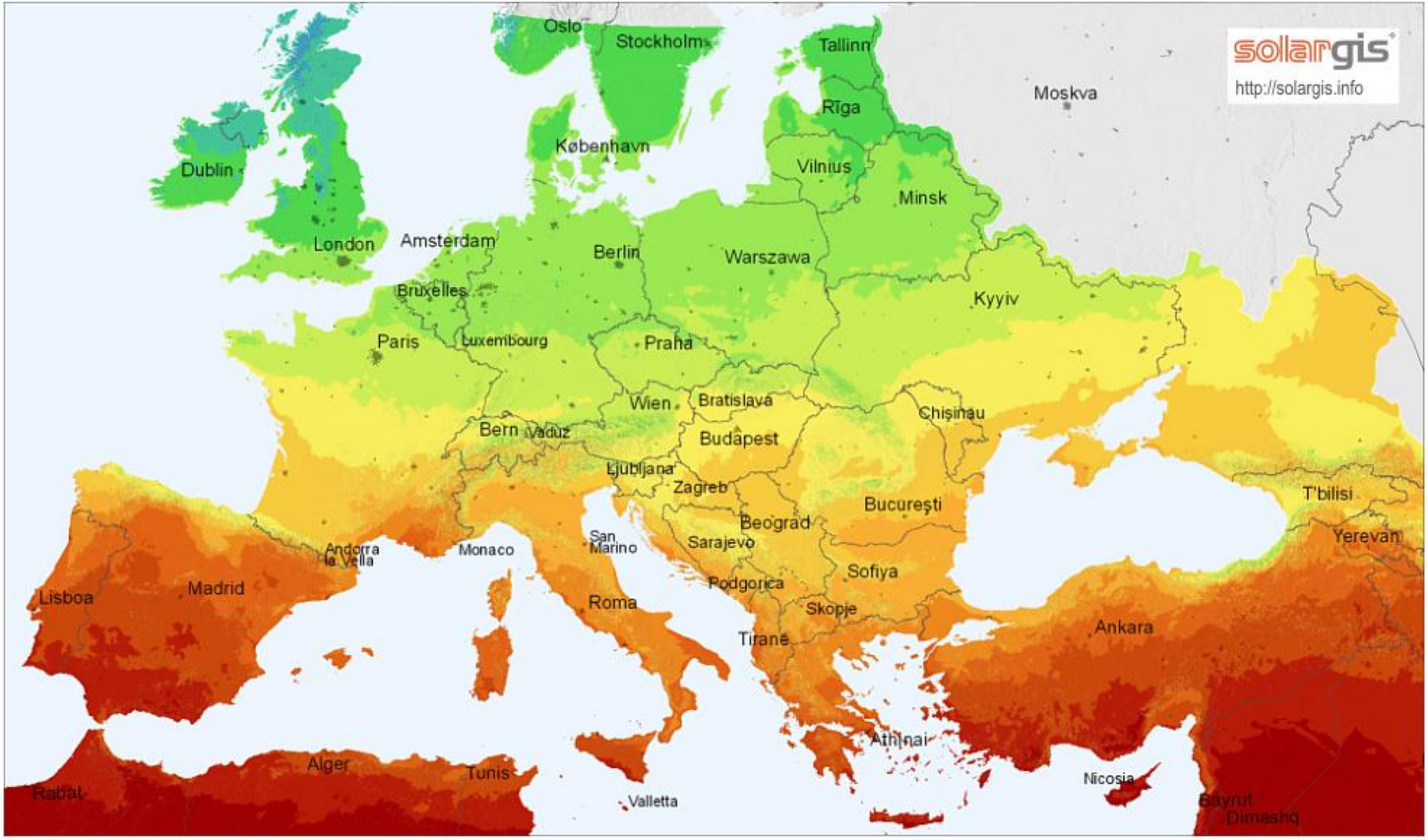

Wasser-
stoff
Kohlen-
stoff
Sauer-
stoff
Humus
Mineralien
Wasser
Pilze
Luft
Cu
Zn
N
Cl
S
Mn
Sorptions-
träger
B
Mo
P
Ca
Fe
Humus
K
Bakterien
Na
Mg
Bakterien
Pot.
Säure
Al
Idee: Ulrich Völker

Bodenfruchtbarkeit

Pflanzen anspruch	Boden eigenschaften
• Wurzelraum	• Gründigkeit
• Wasser	• Wasserhaushalt
• Luft	• Lufthaushalt
• Energie (Licht, Wärme)	• Energiehaushalt
• Nährstoffe	• Nährstoffhaushalt
• Säurezustand	• Pufferkapazität
• Stabilität	• Dynamik

Globalstrahlung

Europa



Durchschnittliche jährliche Summe (4/2004 - 3/2010)

< 700 900 1100 1300 1500 1700 1900 > kWh/m^2

0 250 500 km

© 2011 GeoModel Solar s.r.o.

Photosynthese

Aufbau energiereicher Verbindungen aus CO_2 und H_2O mittels Lichtenergie.

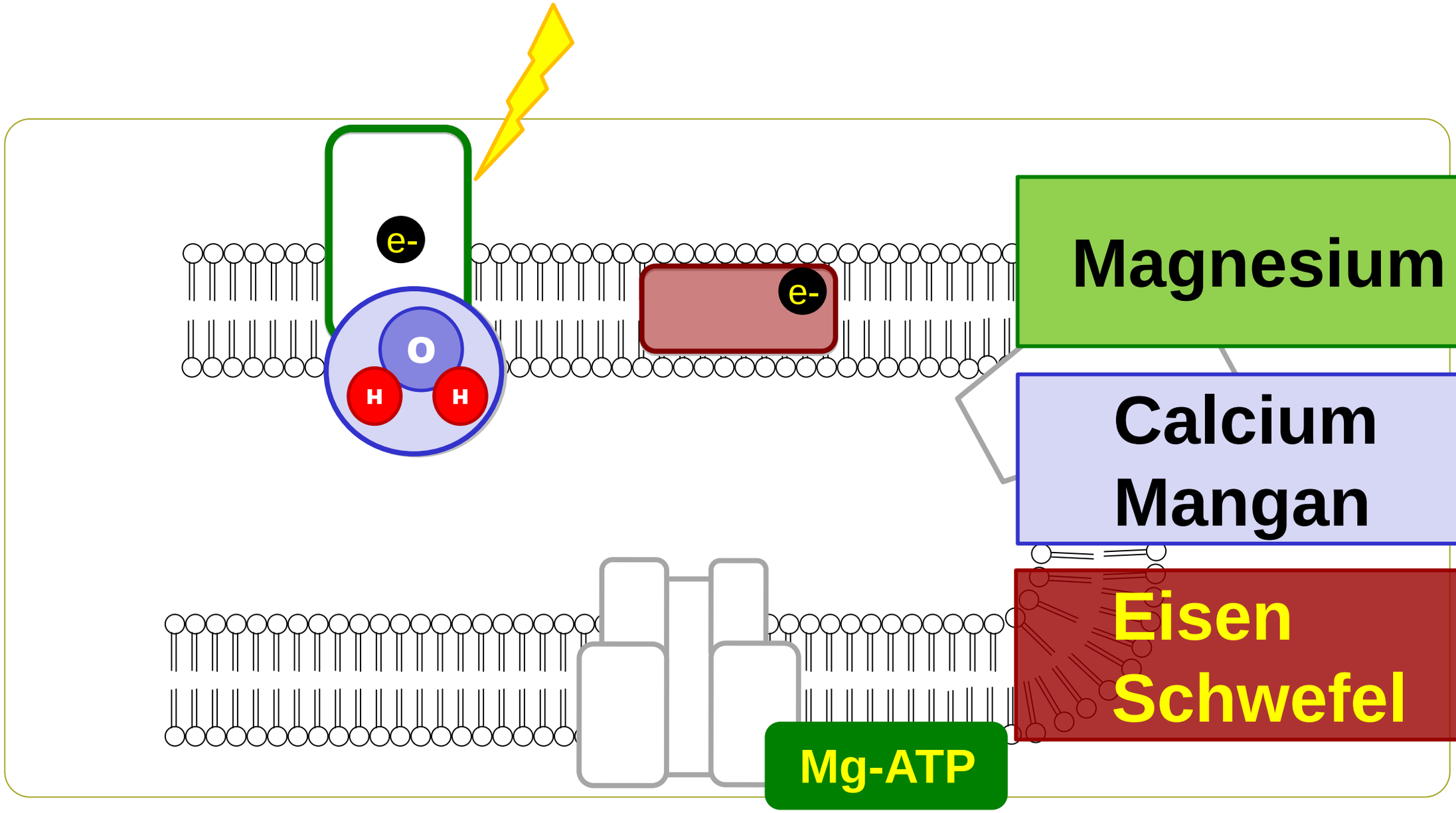
$$6\ CO_2 + 6\ H_2O + 674\ \text{kcal} = C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2$$

2.822 kJ

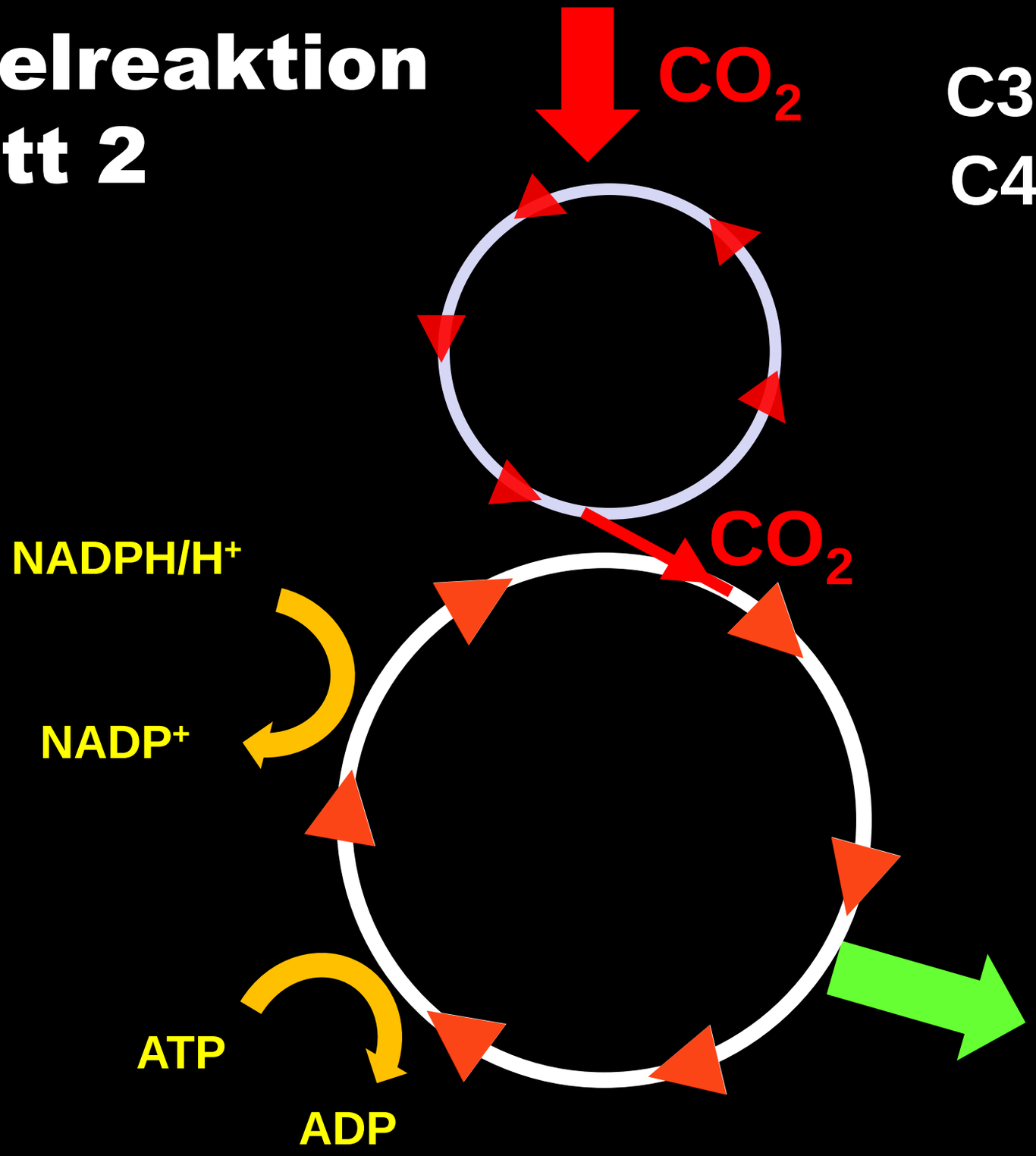
Bindung der Strahlungsenergie

Foto: Hans Unterfrauner

Photosynthese



Dunkelreaktion
Schritt 2



C3 Pflanzen
C4 Pflanzen

Kupfer
Zink

Glukose
$C_6H_{12}O_6$

Mais

Foto: Hans Unterfrauner

Getreide

Foto: Hans Unterfrauner

Atmung

Abbau von energiereichen Verbindungen zu CO_2 und H_2O und Energie.

$$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 = 6\ CO_2 + 6\ H_2O + 674\ kcal$$

Energie wird verwendet für verschiedene Lebensvorgänge:

- **Nährstoffaufnahme** (Großteil Atmung in Wurzeln!)
- **Reduktionsprozesse** im Stoffwechsel (z.B. Reduktion von Nitrat NO_3)
- **mechanische Arbeit** beim Wurzelwachstum (Verdichtung = Energieverschwendung)
- **Aufbau** von verschiedenen Verbindungen (vegetativ, generativ)

Energieabgabe an den Boden

Exsudate - Wurzelausscheidung

Foto: Felgentreu, DSV

Merke:

- **In der Landwirtschaft wird (fast immer) mehr Energie gebunden als verbraucht!**
- **Geschick (Erfolg) des Landwirtes besteht in der Optimierung der Energiebilanz der Pflanzen!**
- **Ernterückstände liefern Energie für Bodenleben!**
- **Wurzelexsudate sind für Humusbildung wichtig!**

Nährelemente/Nährstoffe

Nährelement: **Element ohne dem Pflanzenwachstum unmöglich ist**

Nährstoff: **Für Wurzeln aufnehmbare Form der Nährelemente**

Grundnährelemente:	**C, H, O** } > 95%!
Makronährelemente:	**Ca, Mg, S, N, P, K**
Mikronährelemente:	**Cl, Fe, Mn, Zn, B, Cu, Mo, Ni**
	Al
Nützlichen Elemente:	**Si, Na, Co, V, andere**

Calcium (Ca) - Mangel

Nährstoffe Raps
bei Ernte (3,7t/ha):
K: 136kg/ha
Ca: 175kg/ha

Abgeknickte Blütenstängel

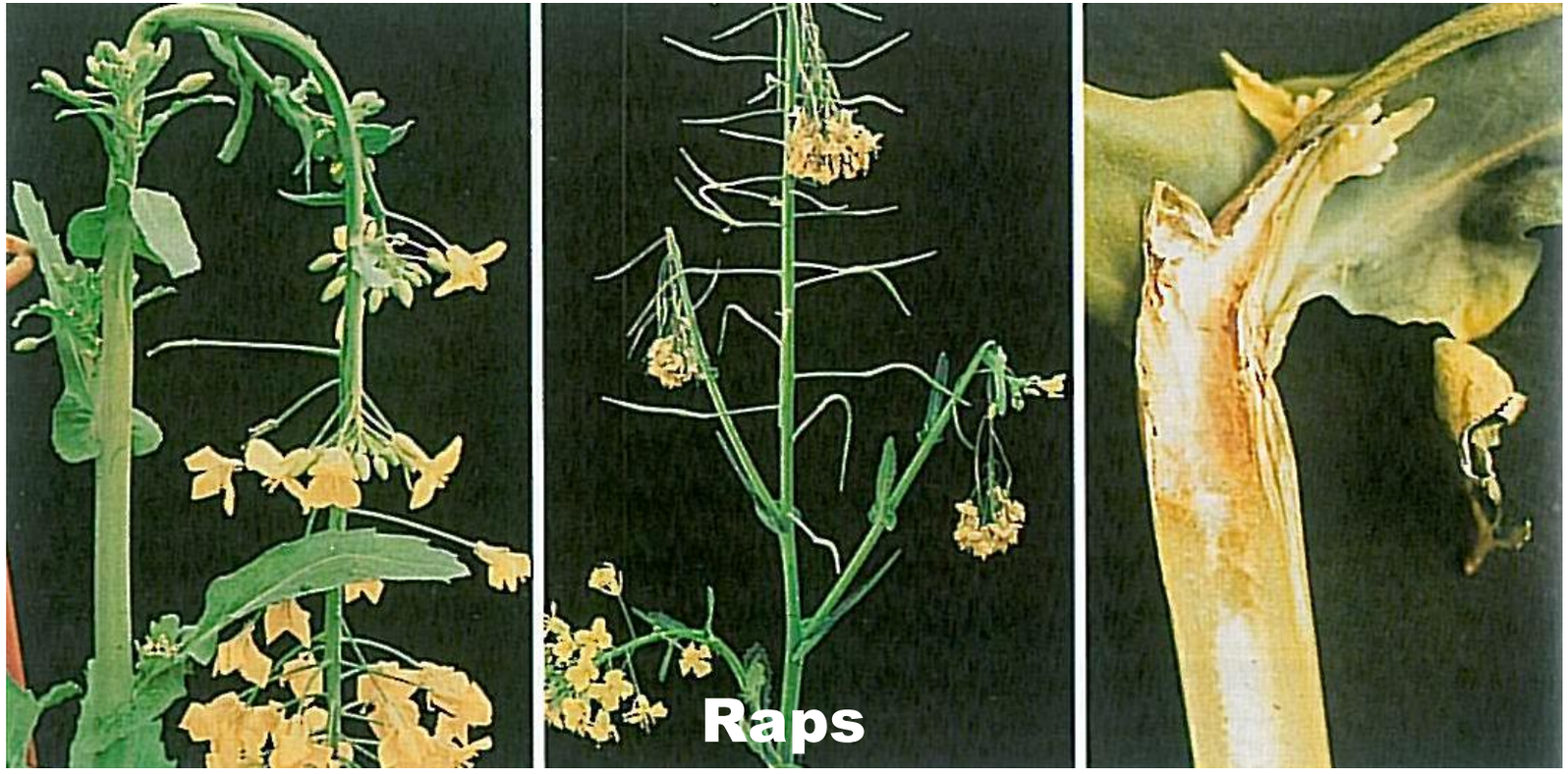
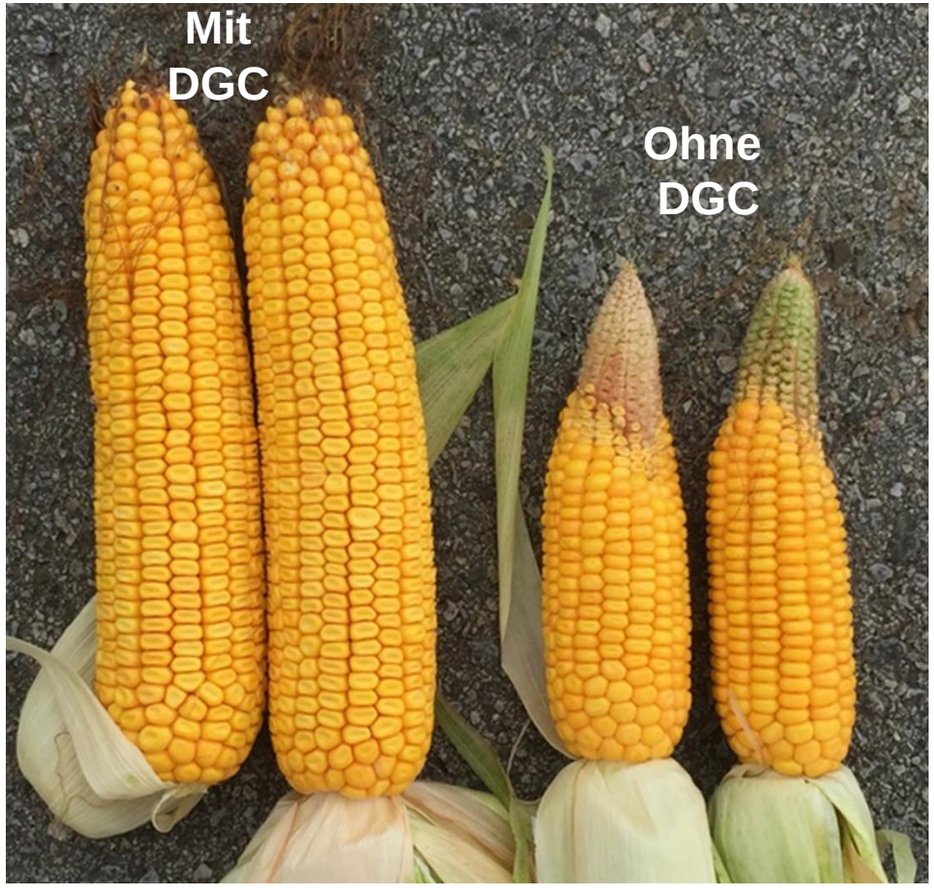


Abb. 202 bis 204: Bergmann, Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen

Calcium (Ca) - Mangel

Kalkhaltiger Boden: DGC bringt Erfolg bei Trockenheit



DGC:
Dolomit
Gips
Calk

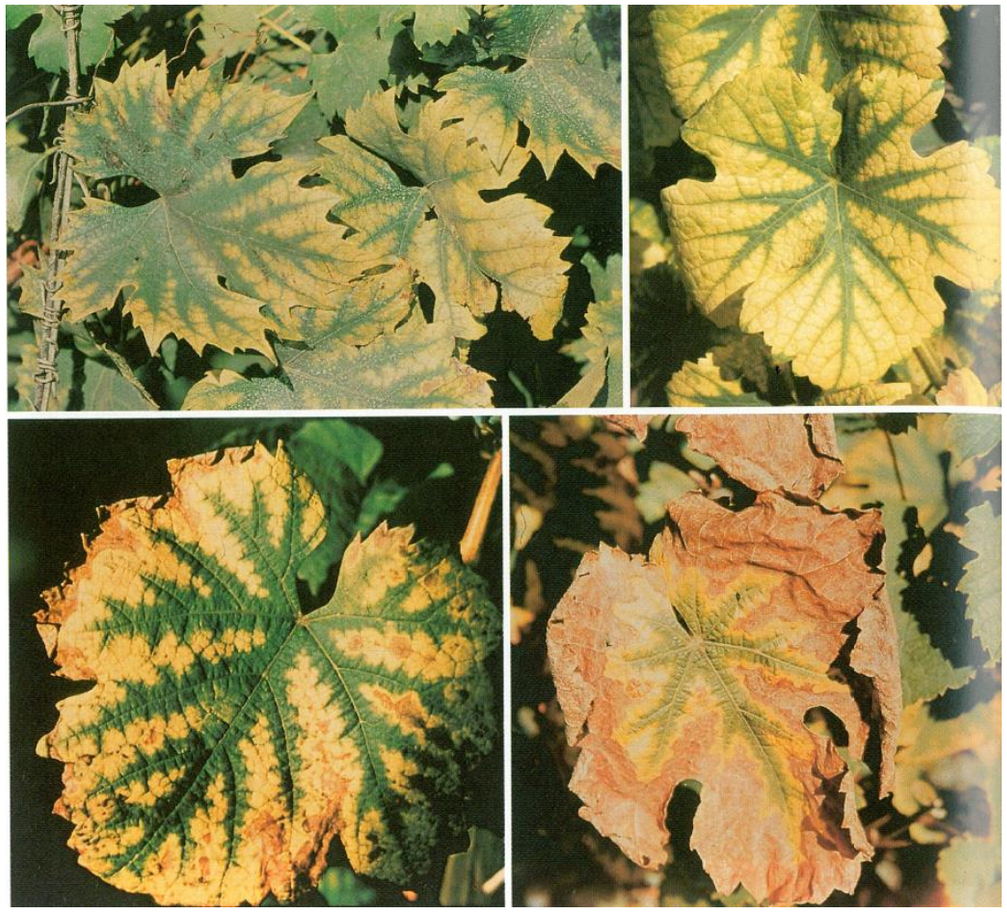
Magnesium (Mg) - Mangel

Tigerung, Marmorierung

Abb. 238, 245, 256: Bergmann, Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen

Magnesium (Mg) - Mangel

Wein

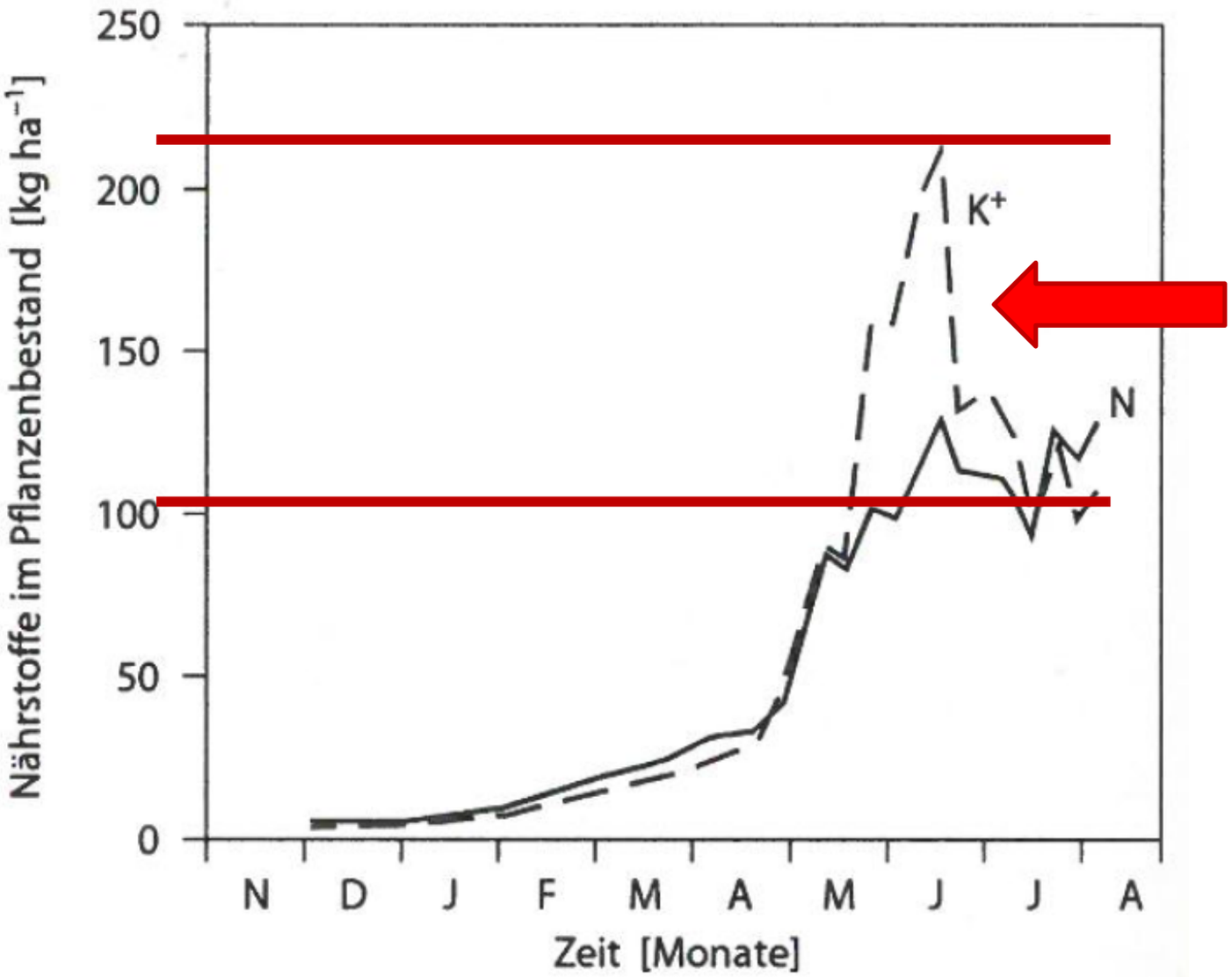


Apfel (fischgrätenartige Nekrosen)

Abb.: Bergmann, Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen

Nährstoffe von Winter Weizen 8t/ha

(Gesamtpflanze, inkl. Wurzel)



Quelle: David L. Rowell, Bodenkunde, 1994

Kalium im Winterweizen, eine Bilanz

(Gesamtpflanze) für 8t Ertrag/ha

Blüte	220kg/ha
Ernte	110kg/ha
Korn	20kg/ha
Stroh	70kg/ha
Wurzeln	20kg/ha
Boden: 110kg/ha	

„Verlust“ 20kg/ha

Bor (B) - Mangel

Herz-Trockenfäule, Verrieselung, abgestorbener Vegetationspunkt

Abb. 394, 348, 413, 442: Bergmann, Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen

Ackerbohne

Foto: Dieter Lange

Aluminiumgehalt von Pflanzen

> 1000 Pflanzenuntersuchungen (eigene Messungen)

Werte zwischen 0,3 und > 17000 ppm

Keine Analysenwerte OHNE Aluminium?! Al Schad- oder Nährstoff?

Weizenkörner

*< 0,3 bis 31,9 ppm TS

** 0,3 bis 430 ppm TS

Grassilage

Konv: 940 +- 529 ppm TS

ÖKO: 1105 +- 871 ppm TS

Kartoffeln

*< 0,3 bis 210 ppm TS

** 0,3 bis 560 ppm TS

Maissilage

Konv: 121 +- 114 ppm TS

ÖKO: 121 +- 17 ppm TS

* Quelle: Kolbe 1997, Spiegel 2008

**: eigene Messungen

Quelle: TLL, 2008

Aluminium und Pflanzenernährung

Landwirtschaftliche Kulturpflanzen

- ab **0,1** bis **0,5 mg Al/l** deutliche Schäden
- Wurzelschäden, Wachstumsminderungen

Verhältnis zu anderen Nährstoffen in Bodenlösung (P, Ca, Mg)

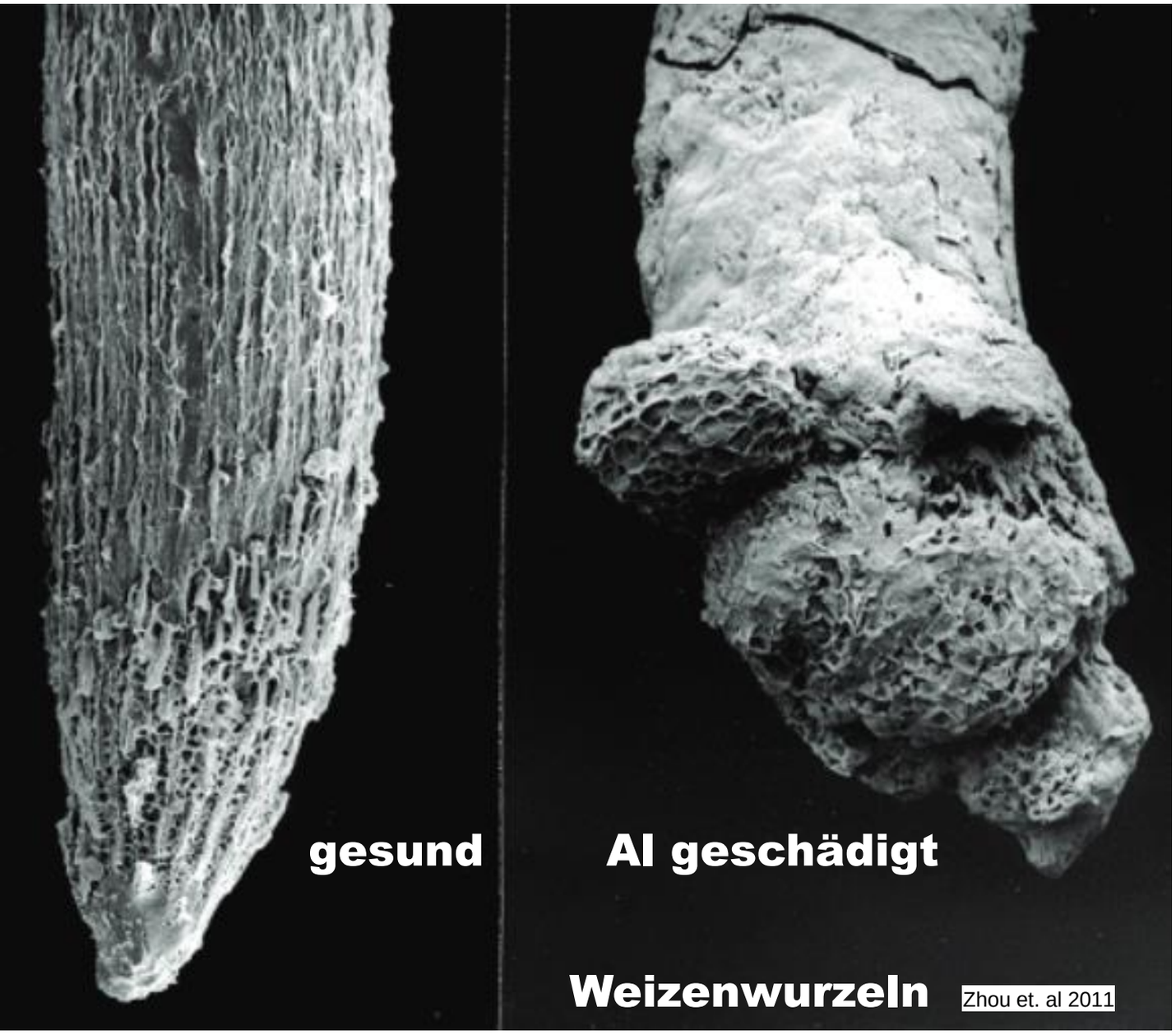
- **Al** reduziert **P** Aufnahme, „induzierter“ P Mangel → **P Mangel**
- Bodenlösung **Ca zu Al** [mol] < 1 Schäden an Wurzeln → **Ca Mangel**
- Bodenlösung **Mg zu Al** < 2 Schäden durch Mg Mangel → **Mg Mangel**

Verhältnis zu anderen Nährstoffen am Austauscher

- Austauscher **Mg zu Al** < 0,05 Schäden durch Mg Mangel → **Mg Mangel**

ACHTUNG: **K** Dünger (KCl oder K_2SO_4) können über die Freisetzung von **Al** aus dem **Sorptionskomplex** ebenfalls zu **Mg** Mangel und Mindererträgen führen! **„induzierte“ Al Toxizität**

Al-Schadsymptome



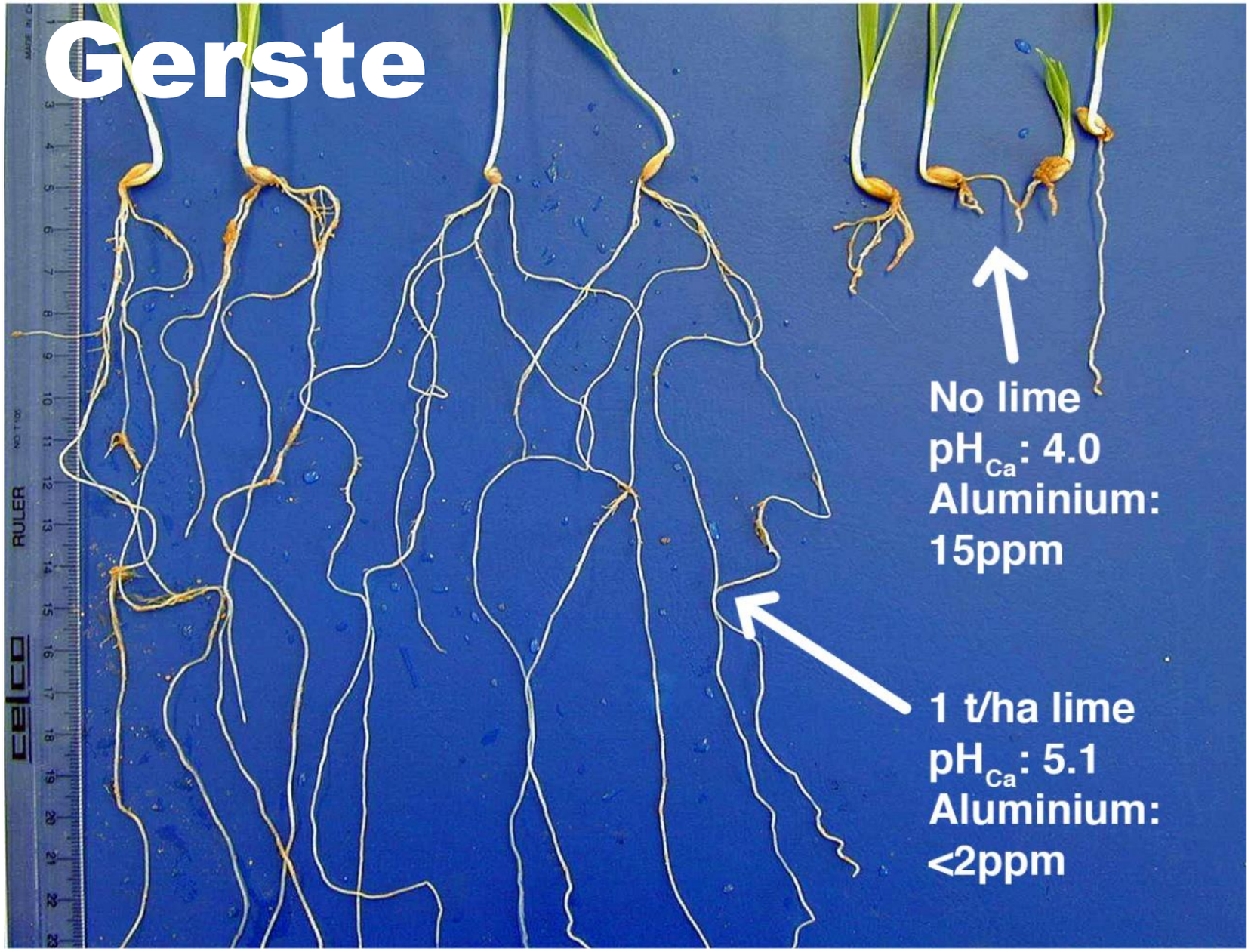
Zhou et. al 2011

Boden pH 4,1. 1547ppm Fe, 2630ppm Al

Al-Schadsymptome

agric.wa.gov.au

Al-Schadsymptome



agric.wa.gov.au

Aluminium und Toleranz

Empfindlichkeit von Pflanzen gegenüber hohen Al Konzentrationen

Sehr empfindlich	Mäßig empfindlich	Gering empfindlich
Gerste	Hafer	Mais
Weizen	Roggen	Gelbe Lupine
Rüben	Buchweizen	Tee
Bohnen	Sorghum	Azaleen
Lieschgras	Soja	
Klee		

Quelle: Foy ans Brown1964 in Bergmann, 1992

Aluminium und Ertrag

Prozentuelle Ertragsminderung durch verschiedene Al Konzentrationen bei pH 4,5

Al^{3+} in Lösung [mg/l]	Prozentuelle [%] Ertragsminderung		
	Gerste	Mais	Sorghum
0	0	0	0
1	60	22	13
2	73	39	80
5	72	58	85
10	85	55	90

Quelle: Platt 1966 in Bergmann, 1992

Aluminium und menschliche Ernährung

Aluminium und Trinkwasser

- WHO: **0,1-0,2** mg/l
- EU-Richtlinie 98/83: **0,2** mg/l
- Deutschland, Österreich, Schweiz.: TWV 2001: **0,2** mg/l
- ➢ **Risikowert für Alzheimer: 0,1mg/l**

Aluminium in Nahrungsmitteln

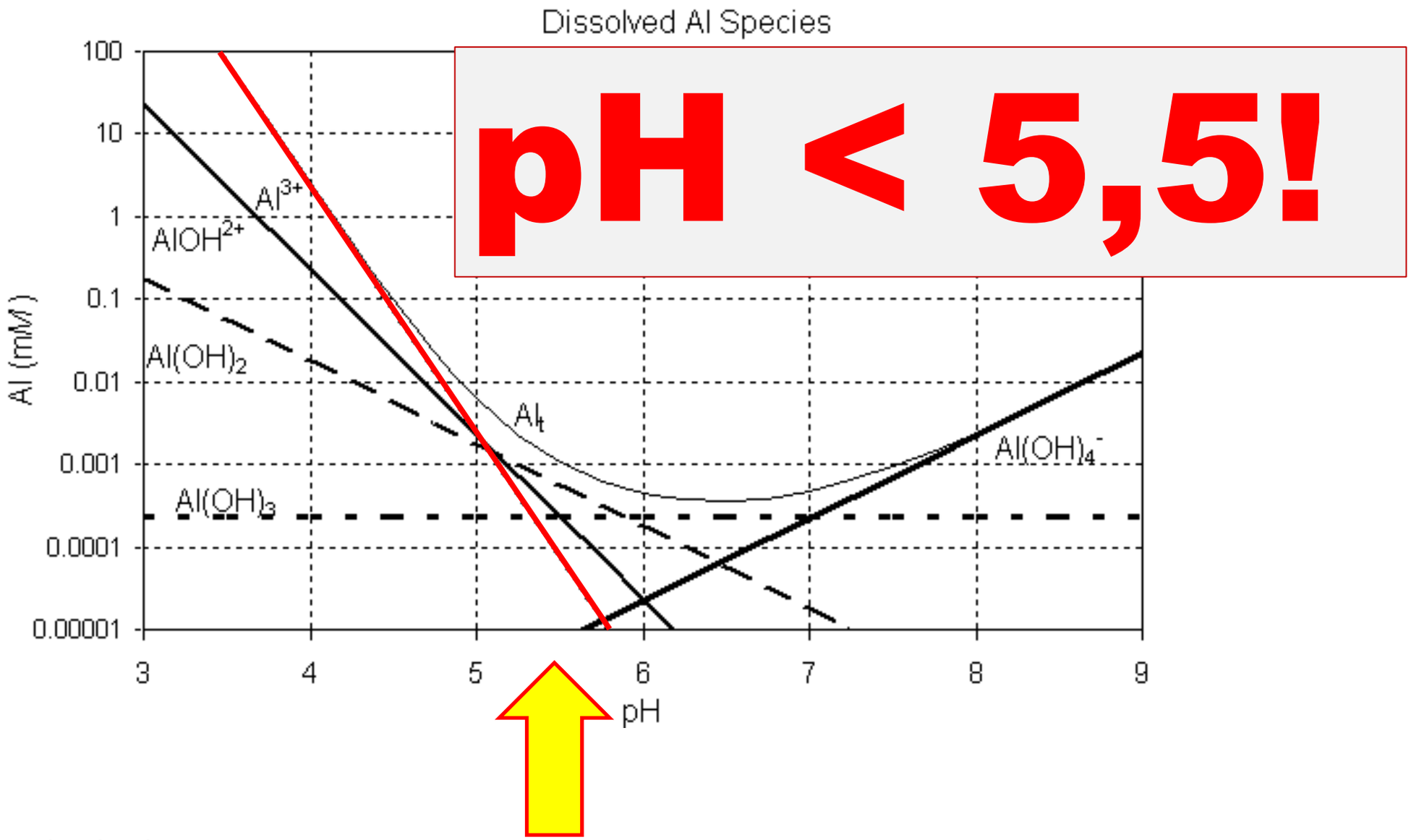
- Al Aufnahme pro Tag
  Erwachsene: D: **11** mg; USA: **8,2** mg
  Kleinkinder: D: **0,8** mg; USA: **6,5** mg

- FAO/WHO 2007:
  wöchentlich tolerierbare Aufnahme: **1**mg/kg Körpergewicht

WHO 1997, FAO/WHO 2007, Forbes & McLachlan 1997, eur-lex.europa.eu, ris.bka.gv.at, dvgw.de, upi-institut.de

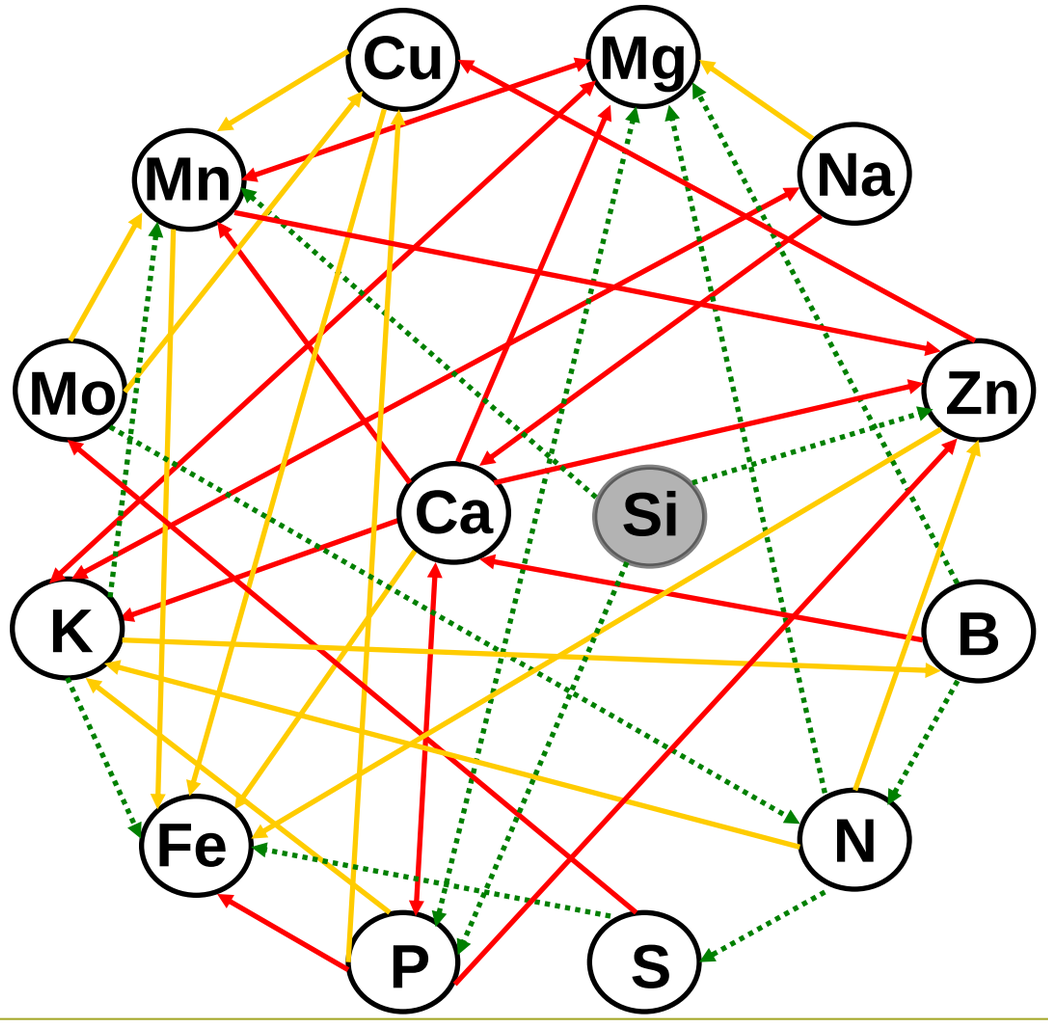
Al - Spezies im Boden

- Abhängigkeit vom pH-Wert



Quelle: Driscoll and Schecher 1990

Wechselwirkung zwischen Nährstoffen



Wirkungsweise

Antagonismus stark

Antagonismus schwach

Synergismus

Quelle: SGD Weinbau, 2003 mod. Unterfrauner 2015

Übertritt der Nährstoffe in die Wurzel

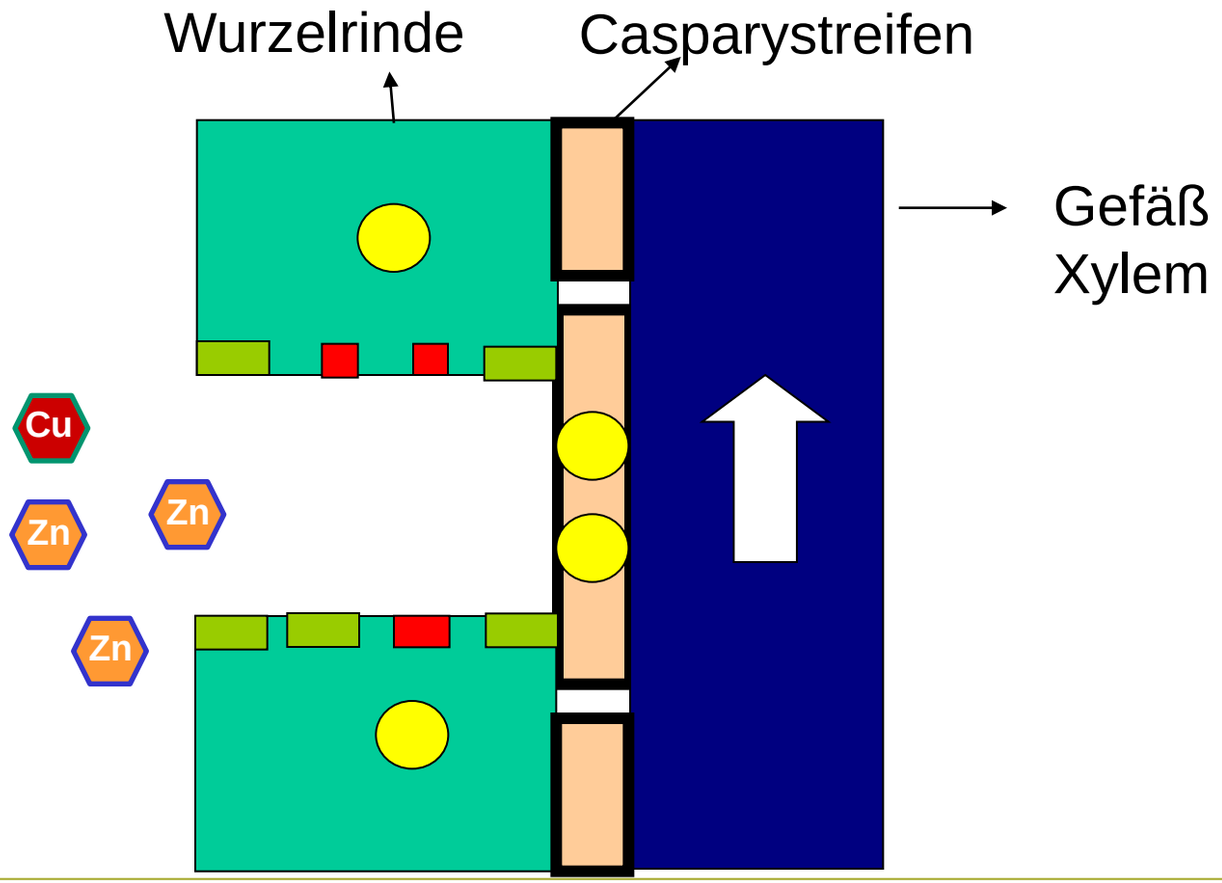
Über die Wurzel werden nur im Wasser gelöste Nährstoffe aufgenommen

Situation Wurzelhaare

Kompetitive Sorptionsstellen

unspezifische Sorptionsstellen

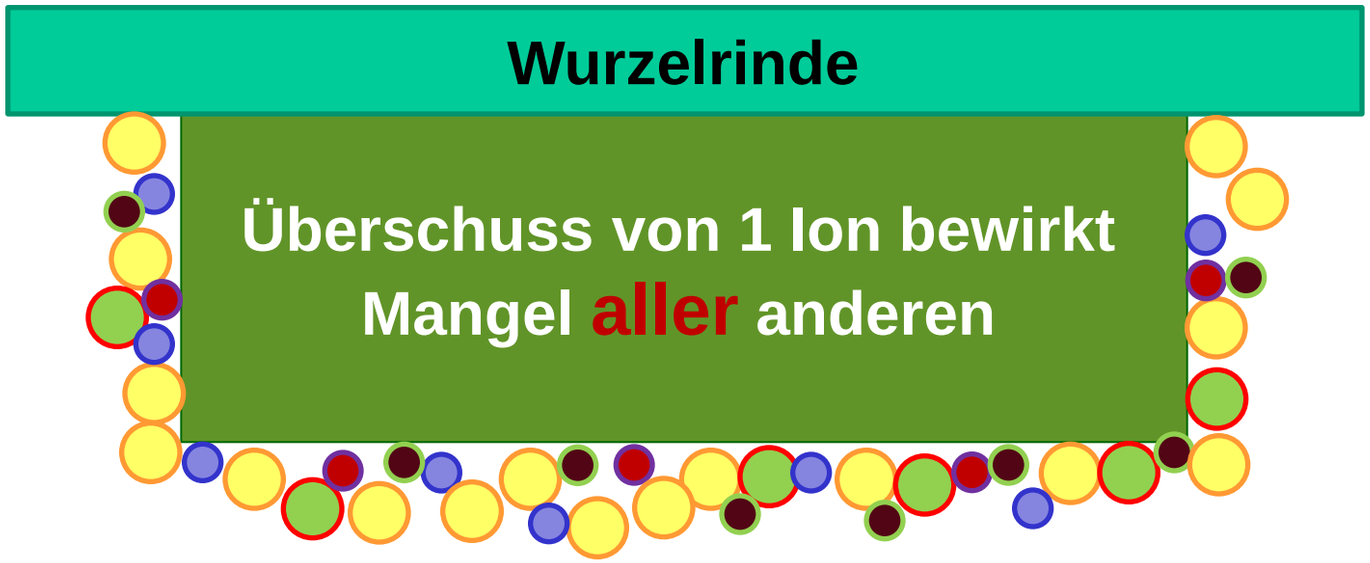
Träger



Konkurrenz von Ionenpaaren

Ca Mg K andere

unspezifische Sorptionsstellen

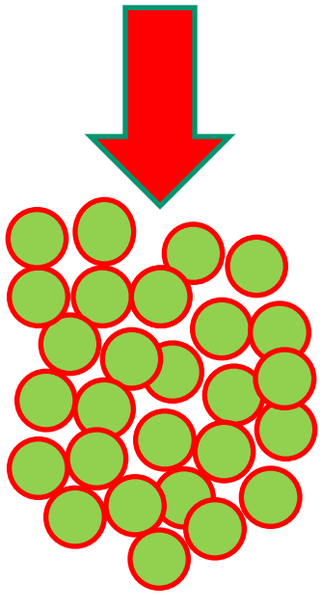


K^+ – Ca^{++} – Mg^{++} – Na^+ – NH_4^+ – Mn^{++} – Cu^{++} – Zn^{++} – Fe^{++} – Al^{+++} - ……

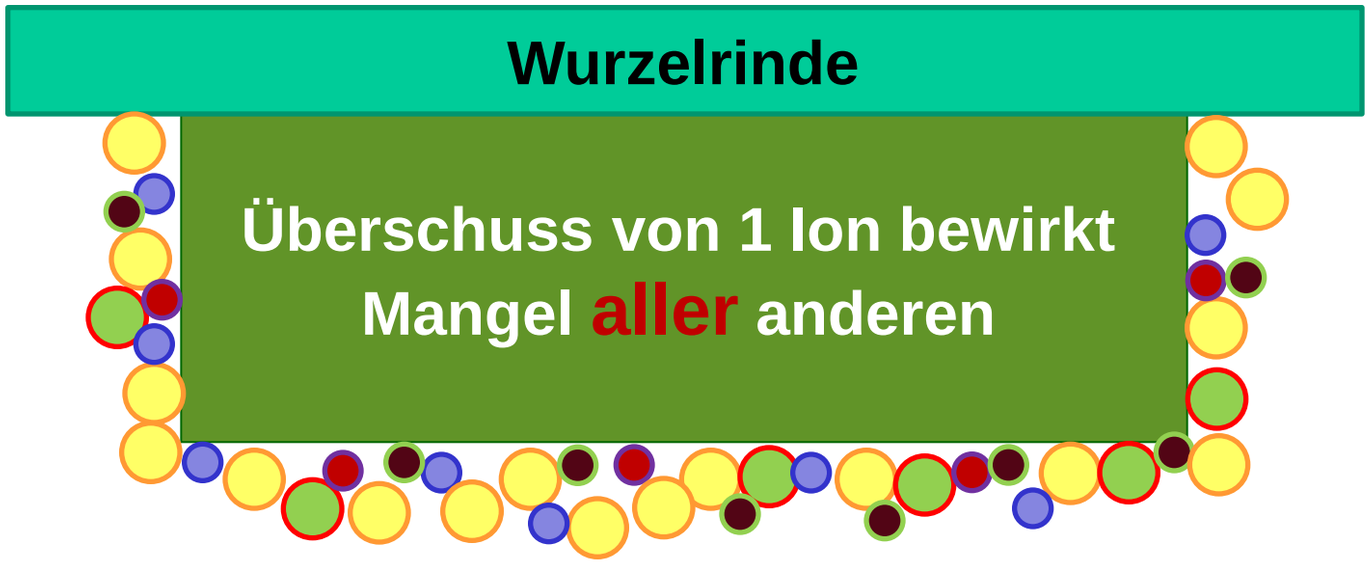
Konkurrenz von Ionenpaaren

Ca Mg K andere

K
(Gülle, Mineraldünger)



unspezifische Sorptionsstellen



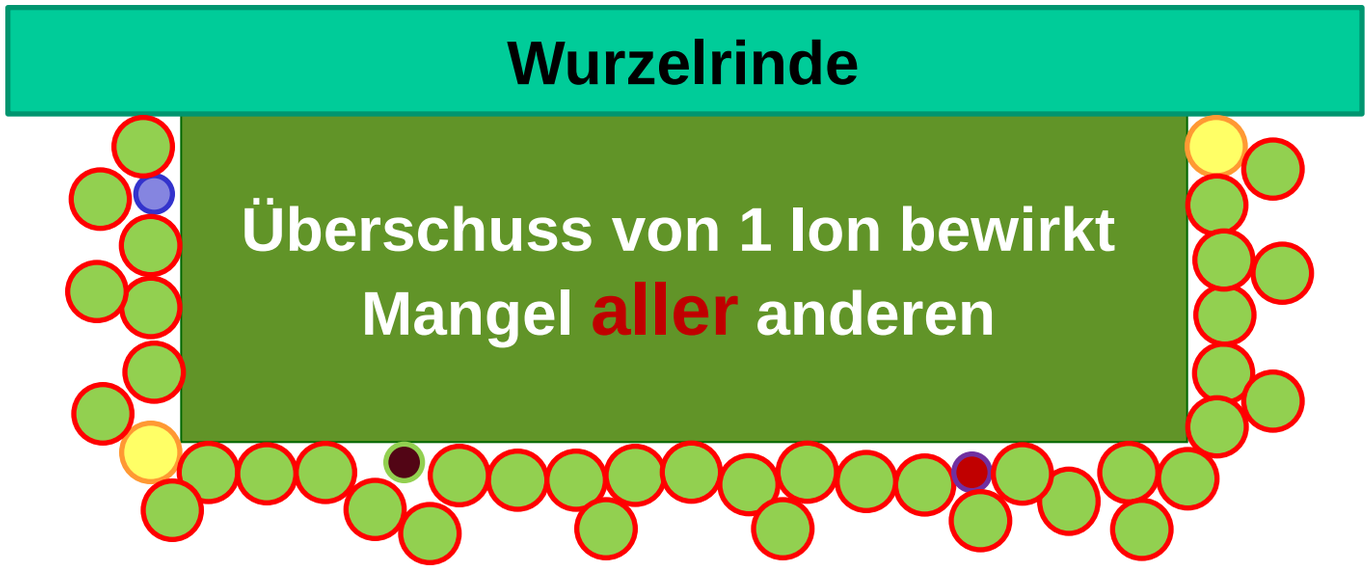
K^+ – Ca^{++} – Mg^{++} – Na^+ – NH_4^+ – Mn^{++} – Cu^{++} – Zn^{++} – Fe^{++} – Al^{+++} - ……

Konkurrenz von Ionenpaaren

Ca Mg K andere

K
(Gülle, Mineraldünger)

unspezifische Sorptionsstellen



Sichtbare „Auswirkungen“

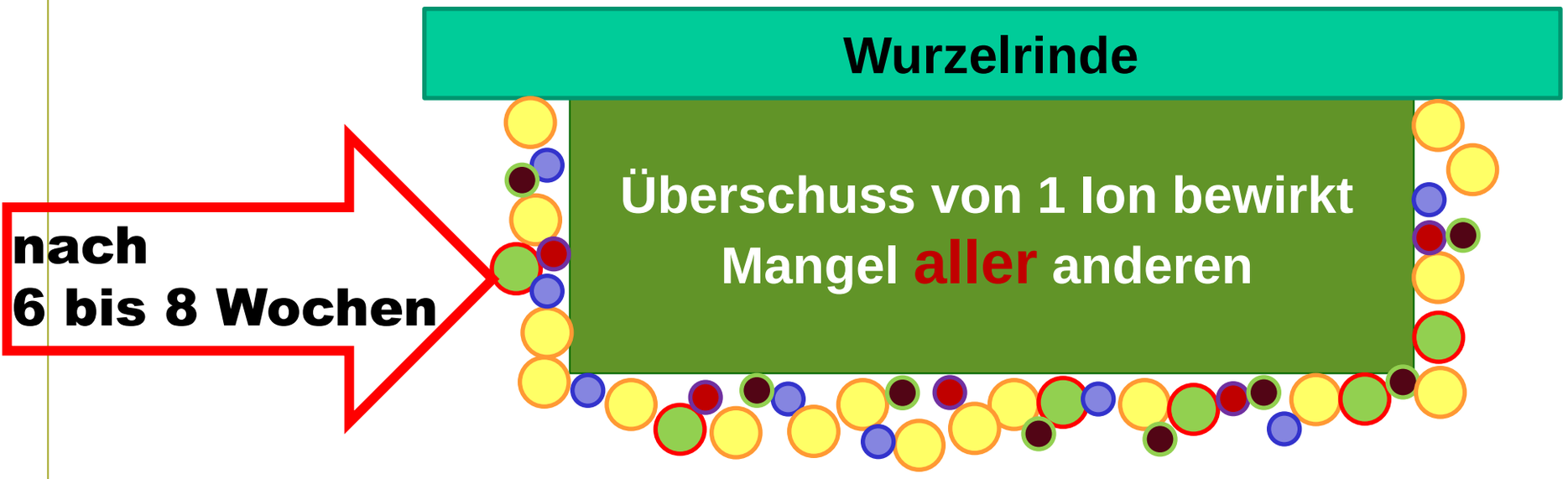
Ca:K Blütenendfäule

Mg:K Weidetetanie

Konkurrenz von Ionenpaaren

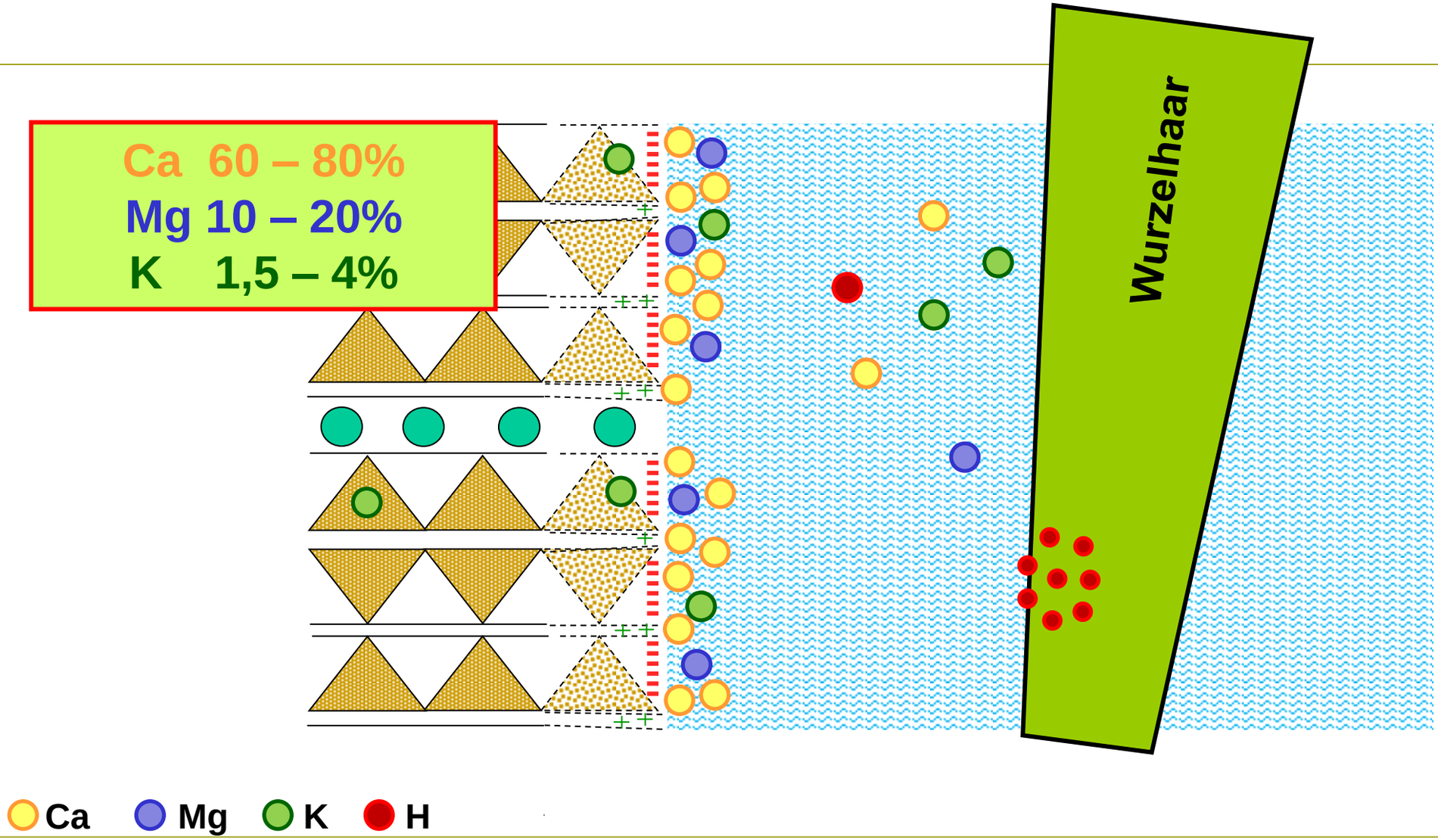
Ca Mg K andere

unspezifische Sorptionsstellen

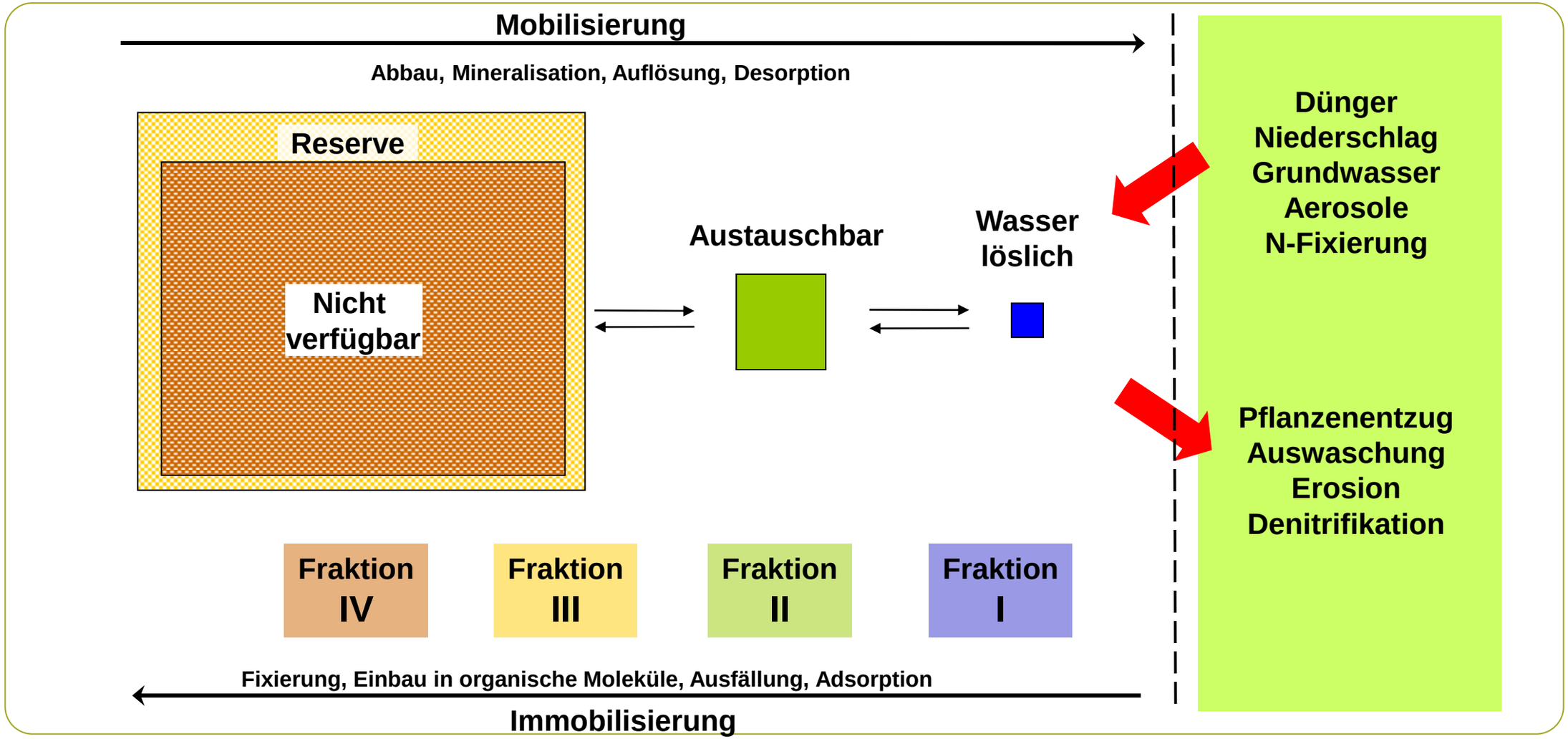


K^+ – Ca^{++} – Mg^{++} – Na^+ – NH_4^+ – Mn^{++} – Cu^{++} – Zn^{++} – Fe^{++} – Al^{+++} - ……

Austauscherreaktion



Dynamik im Boden



Bodenfruchtbarkeit ermitteln

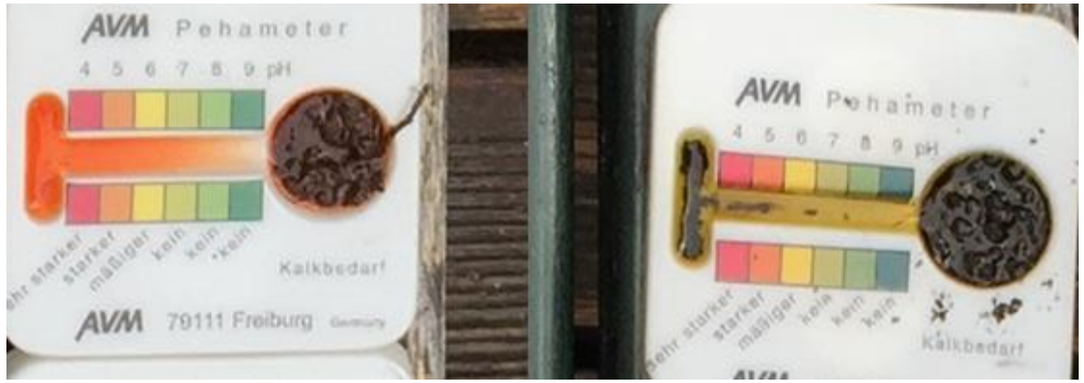
Laboranalysen

Richtige Entnahme der Bodenproben

Ökologische Bodenuntersuchungsmethoden wählen

Bodenfruchtbarkeit ermitteln

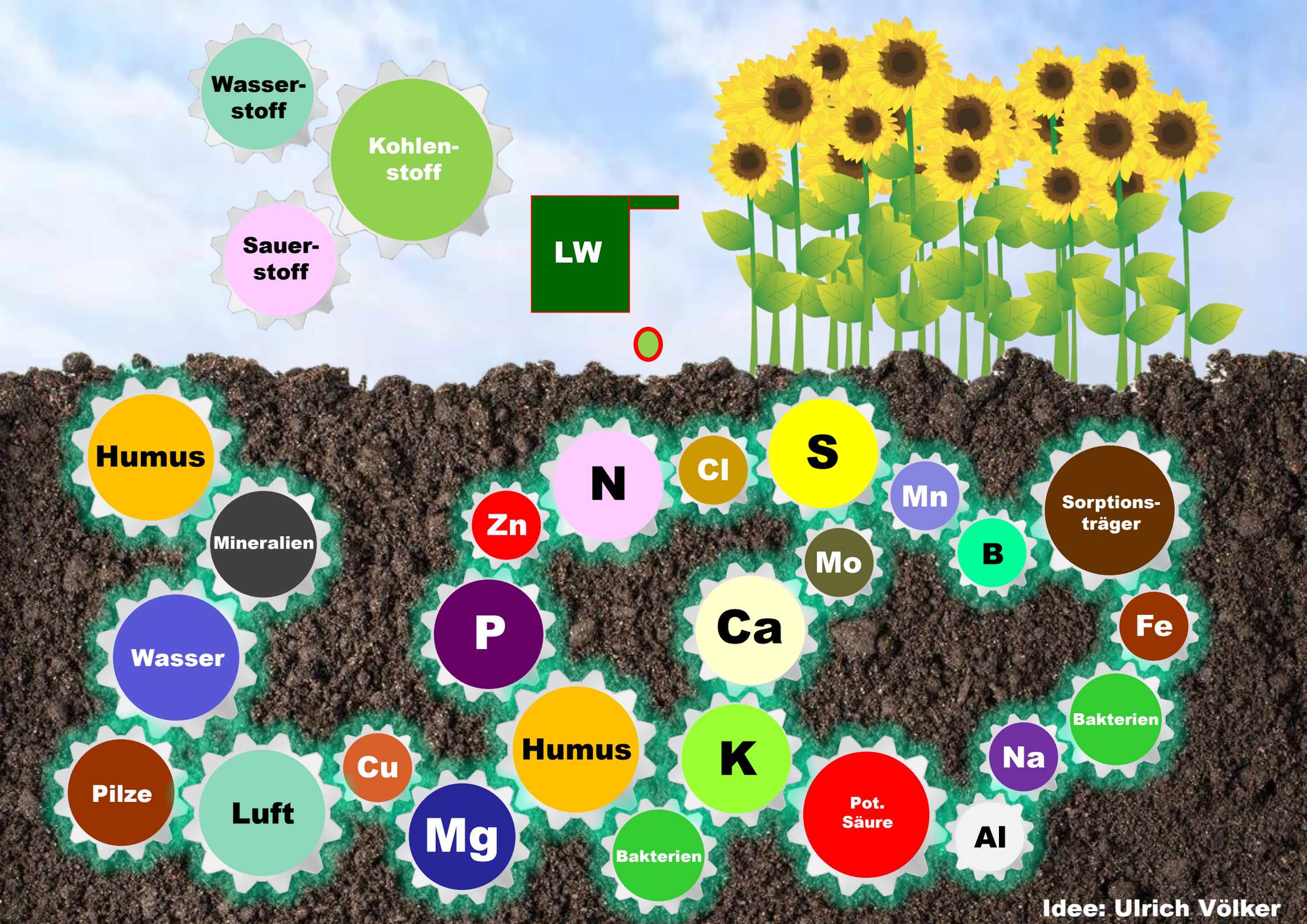
Feldmethoden



Bestimmen von pH Werten
pH Wasser; pH Neutralsalz

Bestimmen von Trübung / Färbung
Erosion; Verschlämmung

Spatenprobe,.....


Wasser-
stoff
Kohlen-
stoff
Sauer-
stoff
LW
Humus
Mineralien
Wasser
Pilze
Luft
Cu
Mg
Humus
Bakterien
Zn
N
Cl
S
Mn
Mo
B
Sorptions-
träger
P
Ca
K
Pot.
Säure
Al
Na
Bakterien
Fe
Idee: Ulrich Völker

Quelle: Thinkstock by Getty-Images)