

## Das Programm

1. Einführung

### BODENBESTANDTEILE

2. Mineralische Bestandteile der Böden
3. Organische Bestandteile der Böden

### BODENBILDUNG

4. Faktoren und Prozesse der Bodenbildung
5. Bodenbildung auf verschiedenen Gesteinen
6. Klassifikation und Kartierung von Böden

### BODENFUNKTIONEN

7. Wasser, Luft und Wärme
8. **Bodenreaktion und Nährstoffe**
9. Erhaltung und Gefährdung der Bodenfruchtbarkeit

### BÖDEN UND KLIMA

10. Böden und Klima

---

---

---

---

---

---

---

---

S 101

## Essentielle und nützliche Pflanzennährstoffe

6 Makronährelemente: N, P, K, Mg, Ca, S

8 Mikronährelemente: Cl, B, Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Mo

Nützliche Elemente: Si, Na, Co, u.a.

- Essentielle Nährelemente sind für ein normales Wachstum absolut notwendig.
- Nährelemente müssen aus dem Boden aufgenommen werden, und zwar in den richtigen Mengen und Mengenverhältnissen.
- Einige Nährelemente können phytotoxisch wirken, wenn sie in zu hohen Konzentrationen angeboten werden (Bsp. Mn, Zn, Cu, B).

---

---

---

---

---

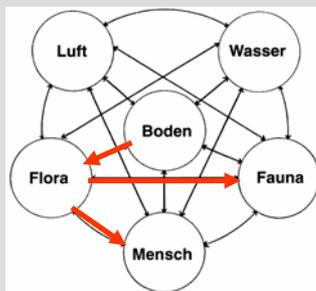
---

---

---

S 102

## Stofftransfer zwischen Umweltkompartimenten



- Pflanzenernährung
- Tierernährung
- Menschliche Ernährung

---

---

---

---

---

---

---

---

S 101

## 14 Essentielle Nährelemente für Pflanzen

Element	Durchschnittliche Gehalte in Pflanzen		
	( $\mu\text{mol g}^{-1}$ dry wt)	( $\text{mg kg}^{-1}$ dry wt)	Relative Anzahl Atome
Mo	0.001	0.1	1
Ni	0.001	0.1	1
Cu	0.1	6	100
Zn	0.3	20	300
Mn	1.0	50	1000
Fe	2.0	100	2000
B	2.0	20	2000
Cl	3.0	100	3000
S	30	1000	30000
P	60	2000	60000
Mg	80	2000	80000
Ca	125	5000	125000
K	250	10000	250000
N	1000	15000	1000000

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Elementgehalte in Böden und Pflanzen

Element	Gehalt in Böden (%)	Gehalt Pflanzenaschen / Gehalt in Böden	Vorrat in Böden / jährliche Pflanzenaufnahme (Jahre)
Si	33	0.3	21000
Al	7	0.03	180000
Fe	4	0.1	100000
Ca	1	25	260
K	1	15	430
Na	0.7	1	4600
Mg	0.6	3	2000
Ti	0.5	0.08	62000
N	0.1	15	40
P	0.08	4	150
Mn	0.08	0.6	3000
S	0.05	70	320

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Elementgehalte in Böden und Pflanzen (Fortsetzung)

Element	Gehalt in Böden (%)	Gehalt Pflanzenaschen / Gehalt in Böden	Vorrat in Böden / jährliche Pflanzenaufnahme (Jahre)
F	0.02	1	26000
Cl	0.01	10	200
Zn	0.005	5	2000
Cu	0.002	5	1000
B	0.001	50	400
Sn	0.001	2	10000
Co	0.0008	1	17000
I	0.0005	0.1	22000
Mo	0.0003	2	1000
Se	0.000001	500	40

---

---

---

---

---

---

---

---

---

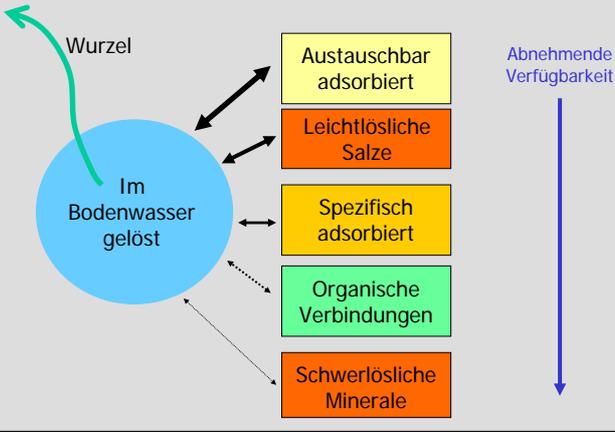
---

---

---

S 102

### Vorrat und Verfügbarkeit




---

---

---

---

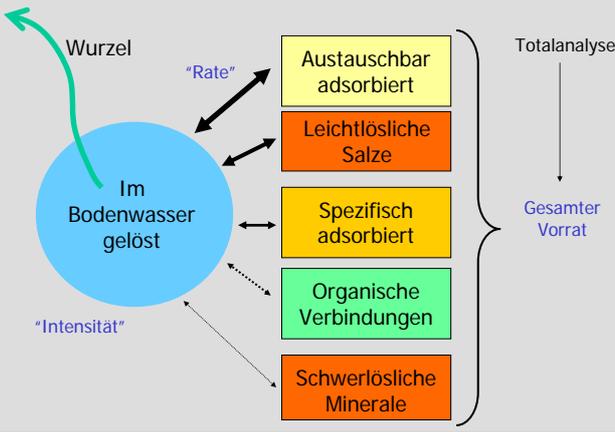
---

---

---

---

### Vorrat und Verfügbarkeit




---

---

---

---

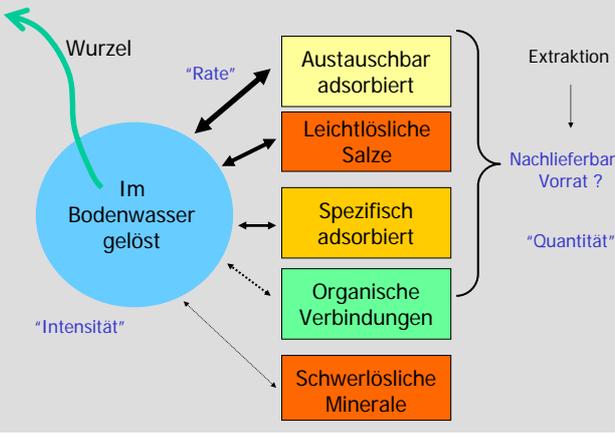
---

---

---

---

### Vorrat und Verfügbarkeit




---

---

---

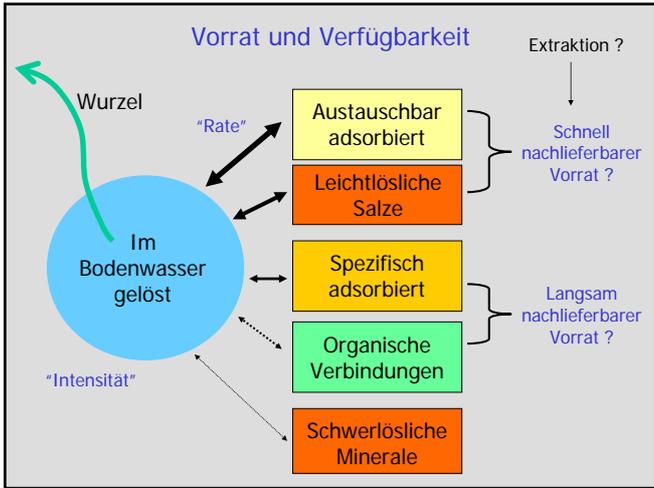
---

---

---

---

---




---

---

---

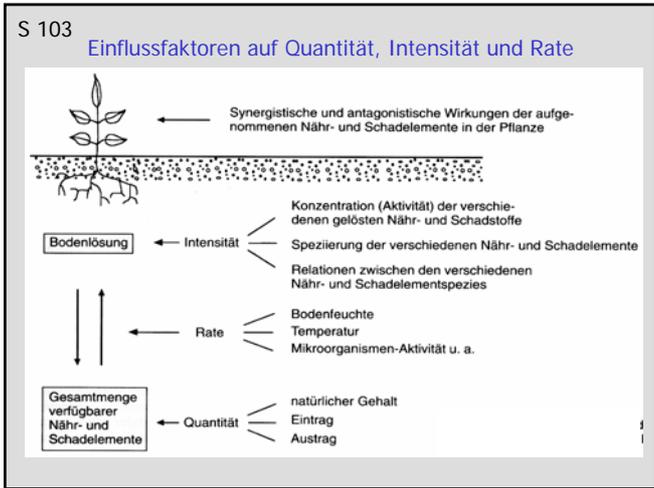
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

### S 120 Transport von Nährstoffen zur Wurzel

Nährstoff	Bedarf* (kg/ha)	Bodenlösung (mg/L)	Mengen angeliefert durch**			Rhizosphäre
			Massenfluss	Interzeption	Diffusion	
N	190	60	150	2	38	+/-
Ca	40	60	150	60	0	Anreicherung
K	195	14	35	4	156	Verarmung
P	40	0.8	2	1	37	Verarmung

\* für 9.5 to/ha Korntrag Mais  
\*\* Schätzung

---

---

---

---

---

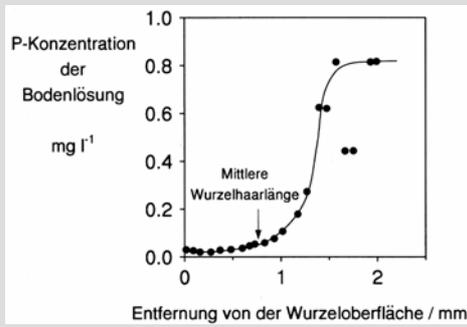
---

---

---

S 121

P-Verarmung in der Rhizosphäre von Mais




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Aufnahme und Bindungsformen von Nährelementen im Boden

Nährelemente	Pflanzenaufnahme	Wichtigste Bindungsformen im Boden
Ca, Mg, K	Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , K <sup>+</sup>	Austauschbar an Tonmineralen und Huminstoffen, in Carbonaten und Silikaten
P	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Organische Bindungsformen, sorbiert an Oxide, Fe/Al Phosphate, Ca Phosphate
N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Organische Bindungsformen, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> auch austauschbar an Tonmineralen
S	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Sulfate, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> adsorbiert an Oxiden, organische Bindungsformen
Cu, Zn, Ni	Cu <sup>2+</sup> , Zn <sup>2+</sup> , Ni <sup>2+</sup>	Adsorbiert an Oxide und organische Substanz, in mineralischen Festphasen gebunden (Hydroxide, Sulfide)
Fe, Mn	Fe <sup>2+</sup> /Fe <sup>3+</sup> , Mn <sup>2+</sup> /Mn <sup>3+</sup>	als Oxide und Hydroxide, reduzierte Formen sind sehr gut löslich

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

S 104

Bodenreaktion (pH-Wert des Bodens)

Bestimmung: 10 g Boden wird mit 25 mL 0.01 M CaCl<sub>2</sub> Lösung (oder dest-H<sub>2</sub>O) gemischt und 30 Minuten equilibriert. Anschliessend wird der pH Wert in der Suspension gemessen.

Boden pH	Einstufung	Vorkommen
9.1 – 10.0	stark alkalisch	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> haltige Böden, aride Gebiete
8.1 – 9.0	mässig alkalisch	
7.1 – 8.0	schwach alkalisch	CaCO <sub>3</sub> haltige Böden
7.0	neutral	
6.0 – 6.9	schwach sauer	kalkfreie Böden mit hoher Basensättigung
5.0 – 5.9	mässig sauer	kalkfreie, leicht bis mässig versauerte Böden
4.0 – 4.9	stark sauer	kalkfreie, stark versauerte Mineralböden
3.0 – 3.9	extrem sauer	saure organische Auflagen (Rohhumus)

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

S 103

### Ursachen der Bodenversauerung

#### Natürliche Faktoren:

- CO<sub>2</sub> Gleichgewicht: 
$$\begin{array}{l} \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 \\ \text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \end{array}$$
- Entstehung von organischen Säuren beim Abbau von organischen Substanzen
- Direkte Abgabe von H<sup>+</sup> durch Pflanzenwurzeln
- Nitrifikation:  $\text{NH}_4^+ + 1.5 \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{NO}_3^- + 4\text{H}^+$
- Auswaschung von "basischen" Kationen (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>) und Anreicherung von sauren Kationen (Al<sup>3+</sup>, H<sup>+</sup>)

#### Anthropogene Faktoren:

- Saurer Regen, Nebel, oder trockene Deposition (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>)
- Aufforstung mit Nadelwald (saure Streu, Filter für Schadstoffe)
- Düngung (z.B. NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Dünger)
- Drainage von Böden

---

---

---

---

---

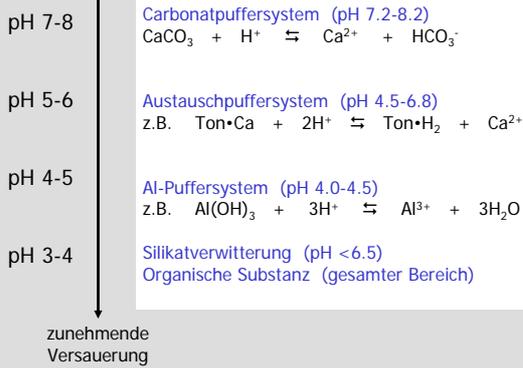
---

---

---

S 104

### pH-Puffersysteme im Boden



---

---

---

---

---

---

---

---

S 106

### Boden pH und Kationenaustausch

KAK = Kationenaustauschkapazität (mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)

Die effektive KAK entspricht der Menge an negativer Oberflächenladung pro Gewichtseinheit Boden, die durch *unspezifische Adsorption* von *austauschbaren Kationen* ausgeglichen wird.

*Unspezifische Adsorption*: Adsorption durch elektrostatische Anziehung, keine chemische Bindung, leicht und schnell durch andere Kationen aus der Bodenlösung austauschbar.

Austauschbare Kationen\*:  $\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{K}^+, \text{Na}^+, \text{Al}^{3+}, \text{H}^+$

"basische" Kationen      "saure" Kationen

*Basensättigung*: Prozentualer Anteil der effektiven KAK, der mit basischen Kationen belegt ist.

(\*manchmal auch Mn<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, o.a. wichtig)

---

---

---

---

---

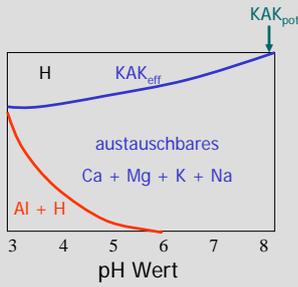
---

---

---

S 107

pH Wert, KAK und Basensättigung



$KAK_{pot}$  = KAK bei pH 8.2  
(wird in Bodenklassifikation  
gebraucht)

$KAK_{eff}$  = KAK beim aktuellen pH  
des Bodens

Basensättigung = % Anteil der  
 $KAK_{eff}$ , der mit basischen Kationen  
belegt ist.

→ Die Basensättigung ist in neutralen Böden ~100 % und sinkt mit abnehmendem pH Wert, oft bis auf wenige % bei pH 4. Die Al-Sättigung steigt entsprechend.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

S 106

Austauschbare Kationen in verschiedenen Oberböden

Boden	pH	$C_{org}$ (%)	$KAK_{pot}$ --- $mmol_c kg^{-1}$ ---	$KAK_{eff}$ ---	Sättigung in % der $KAK_{eff}$				
					Ca	Mg	K	Na	Al+H
Parabraunerde (Löss) Ackernutzung	6.3	1.4	170	140	80	15	5	<1	0
Pseudogley (Löss) Wald	3.8	5.7	184	54	13	<2	6	11	69
Podsol Granit Wald	2.6	11.7	n.b.	68	22	6	5	2	65
Ferralsol (Brasilien)	3.5	2.8	130	26	2.7	3.5	3.1	1.2	89
Solonetz (USA)	9.9	0.4	364	n.b.	45	5.5	2.5	47	0

---

---

---

---

---

---

---

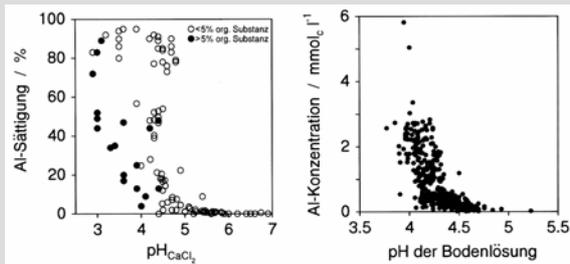
---

---

---

S 105

Einfluss des Boden pH Wertes  
auf die Al-Sättigung der Kationenaustauscher (links)  
und die Al Konzentration in der Bodenlösung (rechts)




---

---

---

---

---

---

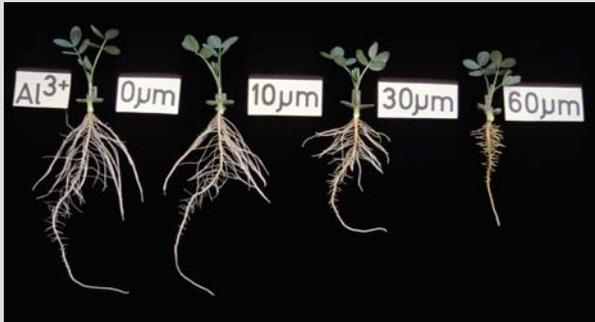
---

---

---

---

**Einfluss der Al Konzentration auf das Wurzelwachstum  
(Erdnuss, in Nährlösung bei pH 4.2)**



(Bild: R. Kretzschmar, 1989)

---

---

---

---

---

---

---

---

S 108

**Calcium (Ca), Magnesium (Mg)**

- Struktureller Bestandteil von primären und sekundären Silikaten (Olivine, Amphibole, Biotite, Plagioklase).
- Hauptbestandteil von Carbonaten (Calcit, Dolomit).
- Ca und Mg werden durch Verwitterung freigesetzt und ausgewaschen, und z.T. austauschbar an Tonminerale und Huminstoffe adsorbiert (pflanzenverfügbar).
- Neutrale bis basische Böden: Ca-Sättigung >80%, Mg-Sättigung 5-20%. Mangel tritt nur in sehr stark versauerten Böden auf (Ca-Sättigung 1-5%, Mg-Sättigung 0.01-1%).
- Düngung als Kalk ( $\text{CaCO}_3$ ), Gips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), Ca-Phosphate, Dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), Kieserit ( $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), u.a.

---

---

---

---

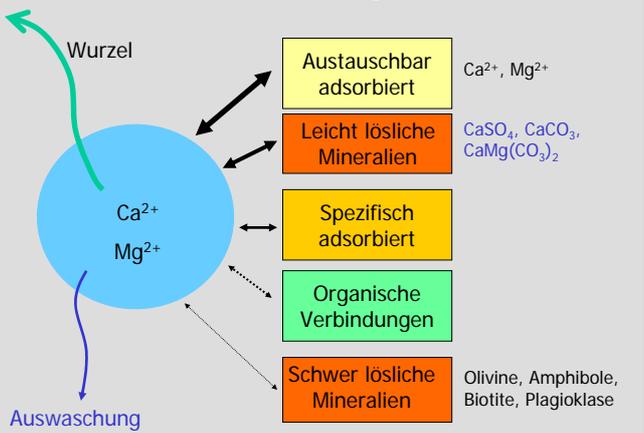
---

---

---

---

**Vorrat und Verfügbarkeit**




---

---

---

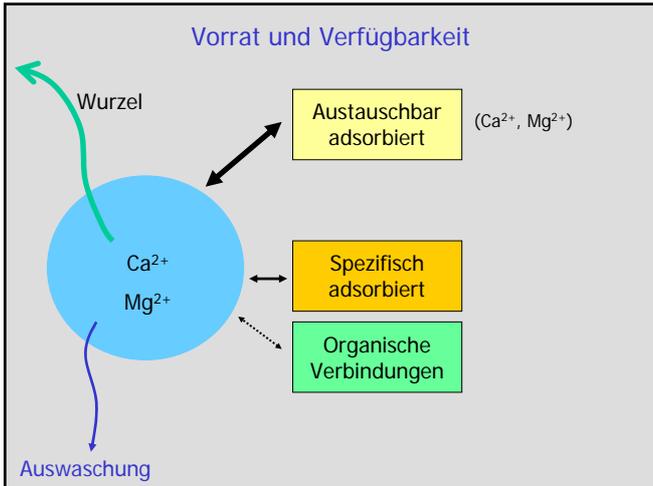
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

S 109

### Kalium (K)

- Struktureller Bestandteil von primären und sekundären Silikaten (Alkalifeldspäte, Muskovite, Biotite, Illite, u.a.).
- K wird durch Verwitterung freigesetzt und ausgewaschen, und z.T. austauschbar an Tonminerale und Huminstoffe adsorbiert (pflanzenverfügbar).
- K-Sättigung beträgt oft 1-5% der KAK.
- Vermikulite und rändlich aufgeweitete Illite können K stark fixieren (nicht pflanzenverfügbar).
- Düngung als Kalisalz (KCl), Kainit ( $KNO_3$ ), Kalisulfat ( $K_2SO_4$ ), verschiedene NPK-Dünger, u.a.

---

---

---

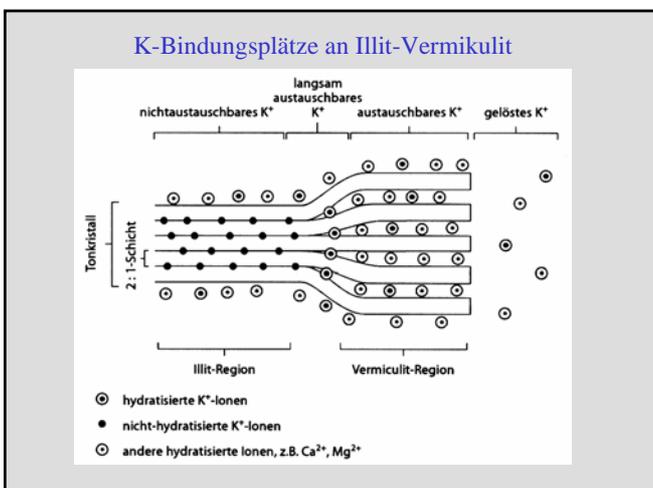
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

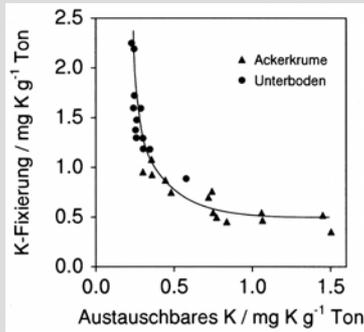
---

---

---

S 110

### K-Fixierung in Vermikulit-reichen Böden: Einfluss der K-Sättigung



→ je stärker der Boden an K verarmt, desto stärker wird K<sup>+</sup> durch Adsorption an Vermikulit fixiert

---

---

---

---

---

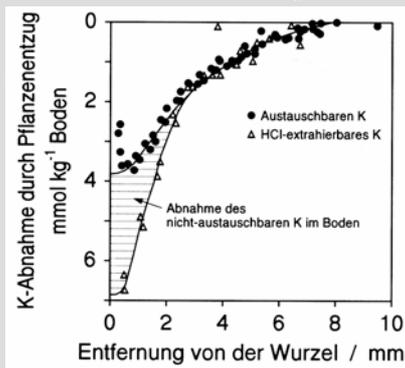
---

---

---

S 121

K-Verarmung um eine Rapswurzel: Die K-Aufnahme der Wurzel hat zu einer verstärkten K-Nachlieferung aus dem nicht-austauschbaren Pool geführt.



---

---

---

---

---

---

---

---

S 110

### Phosphor (P)

- Die meisten Gesteine enthalten 0.05 bis 0.3 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, vorwiegend als **Apatite** (Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>(OH,F,CO<sub>3</sub>)).
- P kommt in Böden nur in der Oxidationsstufe +5 vor (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>).
- Bei der Verwitterung wird PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> freigesetzt, das in Wasser als HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup> oder H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> vorliegt (je nach pH Wert).
- PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> hat grosse Affinität zu Fe<sup>3+</sup>, Al<sup>3+</sup>, und Ca<sup>2+</sup>. Deshalb bilden sich in kalkhaltigen Böden **Ca-Phosphate**, und in sauren Böden **Fe- und Al-Phosphate**.
- In Oberböden liegen 25-65% des gesamten P in organischen Bindungsformen vor, ca. 50% davon als **Phytate** (Salze des Phytins, kann durch das Enzym Phytase gespalten werden).

---

---

---

---

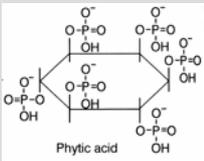
---

---

---

---

### Organische P-Bindungsformen



10-50% des organisch gebundenen P liegt als **Phytin (Inositol-Phosphate)** vor. Diese bilden Komplexe mit  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$  und  $Ca^{2+}$  und sind schlecht wasserlöslich. Mikroorganismen mit dem Enzym Phytase können das  $PO_4$  wieder abspalten.

Andere organische P-Bindungsformen: Nucleinsäuren, Phosphorproteine, Zuckerphosphate, freie Nucleotide, u.a. Diese sind leichter abbaubar.

---

---

---

---

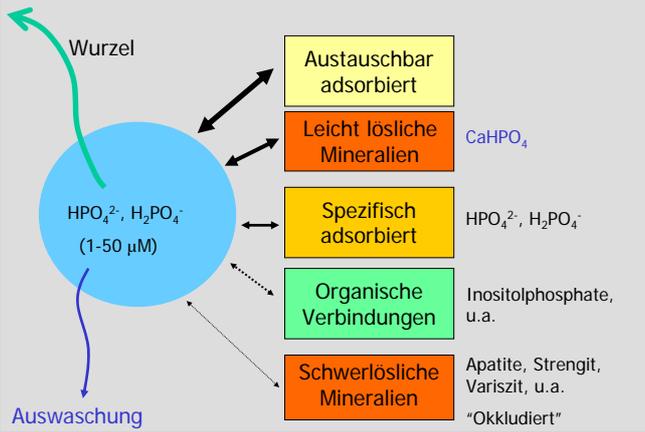
---

---

---

---

### Vorrat und Verfügbarkeit




---

---

---

---

---

---

---

---

### Phosphor (P)

- Aufnahme Weizenbestand: ca. 50 kg/ha P
  - Konzentration in der Bodenlösung: < 50 µmol/L P, oder < 1 kg/ha P
- >98 % des P-Bedarfes müssen aus anderen Pools nachgeliefert werden!

---

---

---

---

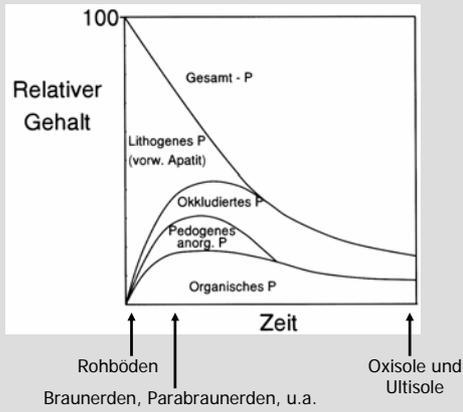
---

---

---

---

S 111 P-Verteilung im Laufe der Bodenentwicklung




---

---

---

---

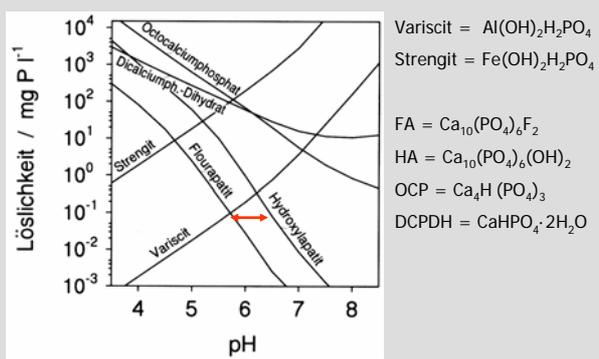
---

---

---

---

S 111 Phosphat-Festphasen im Boden



optimale P-Verfügbarkeit bei pH 5.5 – 6.5

---

---

---

---

---

---

---

---

Mykorrhiza: Symbiose zwischen Pilz und Pflanze

- Pflanze liefert dem Pilz Kohlenhydrate aus der Photosynthese
- Pilz liefert der Pflanze Nährstoffe (P, Zn, u.a.) und Wasser
- Pflanze kann über die Pilzhypen ein viel größeres Bodenvolumen für die Nährstoffaufnahme erschliessen, als ohne Mykorrhiza.

Ektomykorrhiza

Endomykorrhiza




---

---

---

---

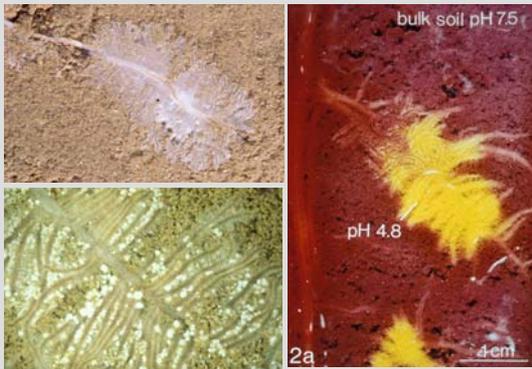
---

---

---

---

Wurzelcluster (Proteoid Roots) von Lupinen zur Mobilisierung von Phosphat: Ausscheidung von Citronensäure und Protonen



Bilder: Marschner et al., Univ. Hohenheim

---

---

---

---

---

---

---

---

Ausbildung von Wurzelclustern (Proteoidroots) bei Lupine

bei PO<sub>4</sub> Mangel

bei guter PO<sub>4</sub> Versorgung




---

---

---

---

---

---

---

---

S 112

Stickstoff (N)

- Nicht in magmatischen Gesteinen vorhanden!
- Luft der Atmosphäre: 78 % N<sub>2</sub>
- Natürliche N-Quellen sind die biologische N<sub>2</sub>-Fixierung und Einträge von NO<sub>3</sub><sup>-</sup> aus der Atmosphäre.
- N ist oft der wichtigste ertragsbestimmende Nährstoff in der Landwirtschaft!
- Überhöhte N-Düngung kann negative Auswirkungen auf Umwelt (Wasser, Gase) und Qualität der Erzeugnisse haben.

→ N-Management ist besonders wichtig!

---

---

---

---

---

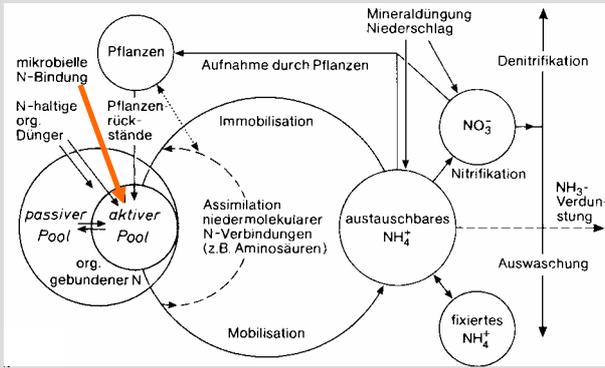
---

---

---

S 113

### Umsetzungsprozesse im N-Kreislauf



Ackerböden: 1-3 g/kg N, davon >90% in organischen Bindungsformen

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

S 113

### Biologische $N_2$ -Fixierung

System of $N_2$ fixation ( $N_2 \rightarrow NH_3$ ) and microorganisms involved	Symbiosis (e.g., <i>Rhizobium</i> , <i>Actinomycetes</i> )	Associations (e.g., <i>Azospirillum</i> , <i>Azotobacter</i> )	Free living (e.g., <i>Azotobacter</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>Rhodospirillum</i> )
Energy source (organic carbon)	Sucrose and its metabolites (from the host plant)	Root exudates from the host plant	Heterotroph: Plant residues Autotroph: Photosynthesis
Estimates of amounts fixed (kg N ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	Legumes: 50-400 Nodulated non-legumes: 20-300	10-200	1-2 10-80

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Knöllchenbildung, ausgelöst durch Rhizobium bei Leguminosen




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

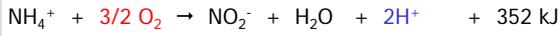
---

S 114

### Nitrifikation

= Oxidation von  $\text{NH}_4^+$  zu  $\text{NO}_3^-$

*Nitrosomonas:*



*Nitrobacter:*



- Freisetzung von Protonen
- Gehemmt bei Sauerstoffmangel
- Gehemmt unter sauren Bedingungen
- In sauren Böden gibt es einen höheren Anteil an  $\text{NH}_4^+$

---

---

---

---

---

---

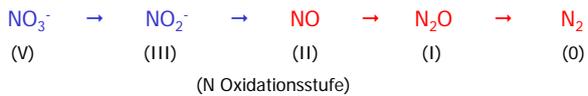
---

---

S 114

### Denitrifikation

= Reduktion von  $\text{NO}_3^-$  zu gasförmigem  $\text{N}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  und  $\text{NO}$



- Unter anaeroben Bedingungen
- Führt zu gasförmigen N-Verlusten ( $\text{N}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ )

---

---

---

---

---

---

---

---

### N-Düngung

- Mist, Gülle, etc.
- Guano (Peru),  $\text{NaNO}_3$  (Chile) (seit 1830)
- Ammoniumsulfat ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) (aus Kokereien, 19 Jhd.)
- Ammonium  $\text{NH}_3$  (seit Haber und Bosch, 1913)
- Harnstoff ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ )
- Ammoniumnitrat ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ )
- u.a. NPK Dünger

---

---

---

---

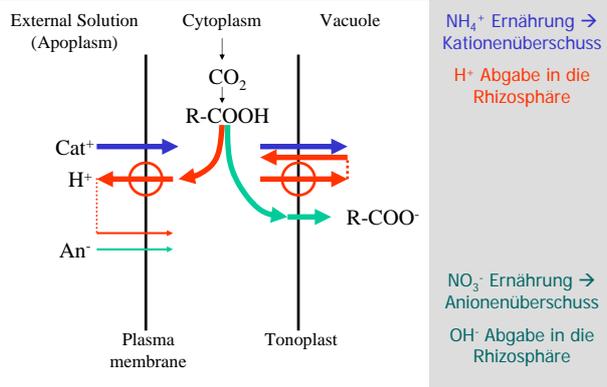
---

---

---

---

### Einfluss der Kationen/Anionen Aufnahme




---

---

---

---

---

---

---

---

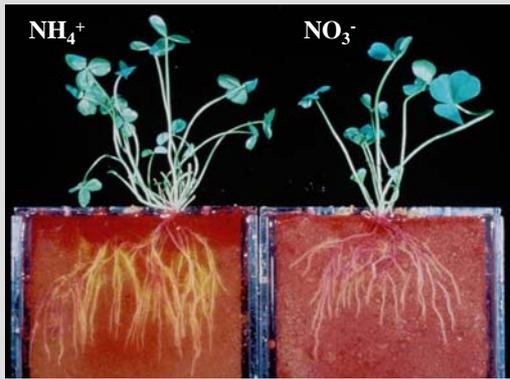
---

---

---

---

### Einfluss der N-Ernährung auf den pH Wert in der Rhizosphäre



*Bilder: Marschner et al., Univ. Hohenheim*

---

---

---

---

---

---

---

---

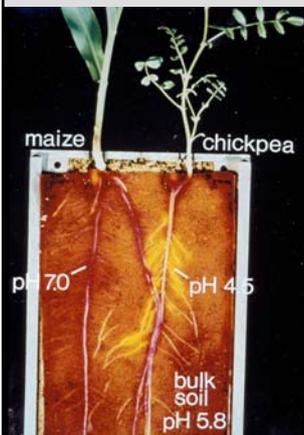
---

---

---

---

### pH-Wert in der Rhizosphäre von Mais und Kichererbse



- $\text{NO}_3^-$  Ernährung
- Mais erhöht den pH Wert, da er viel  $\text{NO}_3^-$  aufnimmt
- Kichererbse erniedrigt den pH Wert, da sie nur wenig  $\text{NO}_3^-$  aufnimmt, aber  $\text{N}_2$ -Fixierung betreibt.

---

---

---

---

---

---

---

---

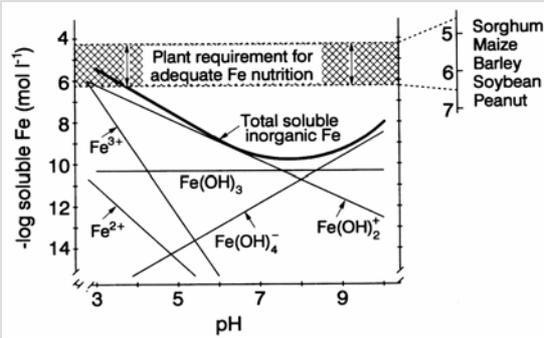
---

---

---

---

### Mikronährelemente: Fe




---

---

---

---

---

---

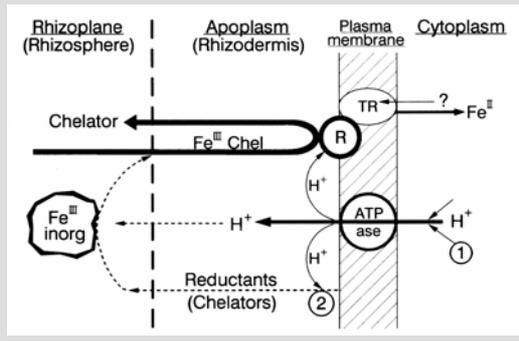
---

---

---

---

### "Strategie I"



Boden      Wurzel

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Spezifische Reaktion von Sonnenblume auf Fe-Mangel

Abgabe von H<sup>+</sup>

Abgabe von Fe<sup>III</sup>-Reduktase



Bild: Marschner et al., Univ. Hohenheim

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



S 116

### Wie kann man optimale Düngermengen ermitteln?

Ziel der Düngung:

- Gute Erträge
- Gute Qualität der Erzeugnisse
- Gesunde Nahrungsmittel / Futtermittel
- Vermeidung von Umweltschäden

- betriebswirtschaftliche Optimierung
- nachhaltige Nutzung der Ressourcen

---

---

---

---

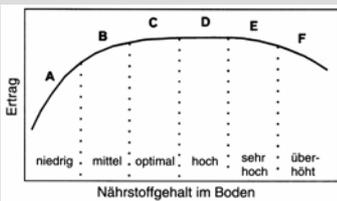
---

---

---

---

S 119



Nährstoff –  
Ertragsbeziehung:  
Mangel bis Toxizität



Beispiel: Zn, Ni und Cu können phytotoxisch wirken, wenn sie in zu hohen Konzentrationen im Boden vorkommen und verfügbar sind.

---

---

---

---

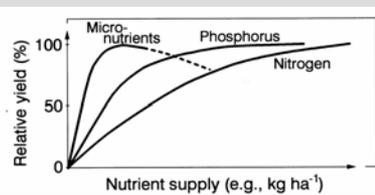
---

---

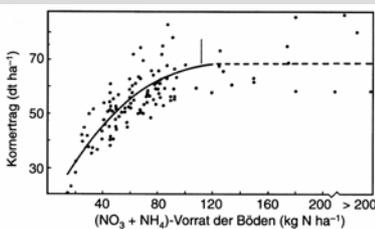
---

---

S 119



Nährstoff –  
Ertragsbeziehungen sind unterschiedlich je nach Nährstoff, Pflanzenart und Sorte, Boden, Wasser, Klima, Anbautechnik, etc.



Beispiel: Ertragskurve für Winterweizen als Funktion von  $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$  im Boden.

→ langjährige Feldversuche oder Erhebungen notwendig!

---

---

---

---

---

---

---

---

Probleme bei der Erfassung des Nährstoffangebotes im Boden

Gesamtgehalte von Nährstoffen kann man leicht messen, aber welcher Anteil davon ist pflanzenverfügbar oder wird im Laufe der Vegetationsperiode nachgeliefert?

- Extraktionen mit geeigneten Lösungen, die nur die leichter verfügbaren Bindungsformen erfassen.
- Empirische Ertragsbeziehungen, aus Feldversuchen oder Erhebungen.
- Düngungsempfehlungen je nach Kultur, Boden, etc.

---

---

---

---

---

---

---

---

Probleme bei der Erfassung des Nährstoffabgebotes im Boden

Heterogenität des Feldes → wie mache ich eine optimale Probennahme für Bodenanalysen?

Übliche Praxis:

- 0-40 cm Tiefe (Acker) oder 0-10 cm Tiefe (Grünland)
- mindestens 20 Proben pro ha, davon eine Mischprobe

---

---

---

---

---

---

---

---

Wurzelraum von Pflanzen

Grünland-Gräser	bis 30-50 cm
Getreide	bis 100-150 cm
Luzerne	bis 300 cm
Bäume	bis > 5 m

Probennahmetiefe bis 10 oder 40 cm eignet sich für Nährstoffe, die im Oberboden angereichert sind (N, P, S), für viele andere (Ca, Mg, K, Fe, Zn, Cu, Mn, B, etc.) aber nicht.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Nährstoffbilanz → Erhaltungsdüngung

### Entzüge

- **Pflanzenaufnahme und Abfuhr mit der Ernte**
- Auswaschung (N, Ca, Mg, u.a.)
- Bodenerosion (P, N)
- Immobilisierung im Boden (K, P)
- Gasförmige Verluste (N)

### Quellen

- Nachlieferung aus dem Gestein (Ca, Mg, K, u.a.)
- Atmosphärische Depositionen (S, N)
- Anlieferung mit Grundwasser (Ca, Mg, u.a.)
- **Biologische N<sub>2</sub>-Fixierung (N)**
- **Düngung**

---

---

---

---

---

---

---

---

## Übungsaufgabe

- Beschreiben Sie, wie und durch welche Prozesse sich eine Vernässung des Bodens während einer Niederschlagsreichen Periode auf den N-Kreislauf und die N-Aufnahme der Pflanzen auswirken kann. Zeichnen Sie zuerst den N-Kreislauf im Boden und diskutieren Sie dann die einzelnen Prozesse.

Mineralisierung →

Nitrifizierung →

Denitrifizierung →

N-Auswaschung →

N-Aufnahme →

---

---

---

---

---

---

---

---