

Strategien zur Erhöhung der Nährstoff-Aufnahme

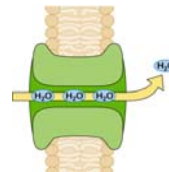
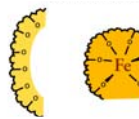
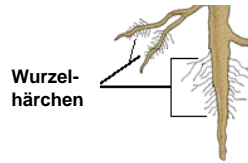


- **Aufnahme**
 - Erweiterte Wurzeloberflächen
 - mehr Wurzeln und Wurzelhärchen,
 - Längere Wurzeln

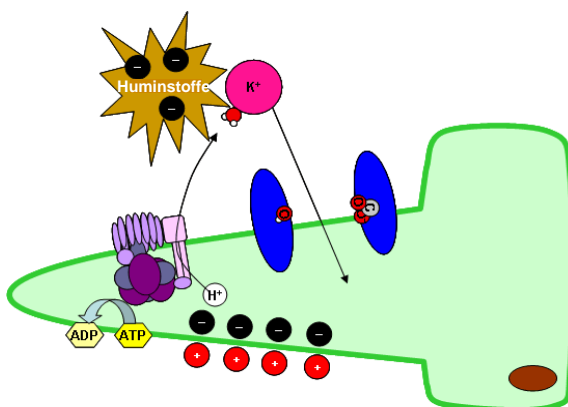
- **Erhöhte Synthese von**
 - organischen Säuren
 - Exudaten
 - Siderophoren

- **Förderung der Symbiosen**
 - Mycorrhiza
 - Rhizobien

- **Erhöhte Expression**
 - NO_3^- , PO_4 , NH_4^+ Carrier (Transporter)
 - Aquaporine
 - Phosphatasen
 - ATPasen



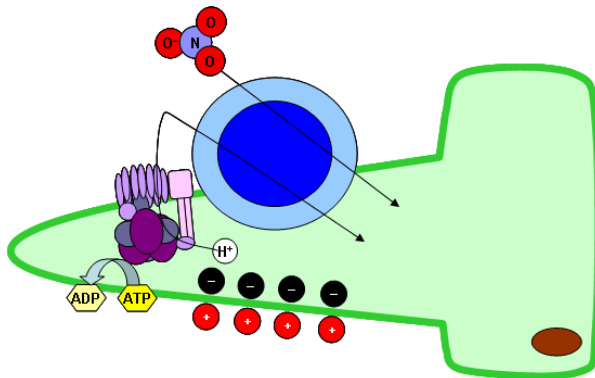
Kationen-Aufnahme am Wurzelhärchen



- H^+ lösen Kationen aus Bodenpartikel
- → H^+ müssen exportiert werden:
 - ATPase arbeitet 'rückwärts'
 - → Energieverbrauch
- → Rhizosphäre
- → K^+ Aufnahme *via* Ionenkanal



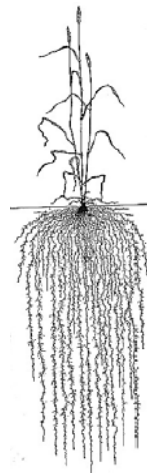
Anionen-Aufnahme am Wurzelhärchen



- NO_3^- Anionen gehen nicht mit dem electrochem. Gradient
- sondern im Symport mit H^+
- $\rightarrow \text{H}^+$ müssen exportiert werden,
 - ATPase arbeitet 'rückwärts'
 - \rightarrow Energieverbrauch



Bewurzelungssysteme



- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ heterogener Bewurzelungstyp ■ Hauptwurzel verzweigt sich <ul style="list-style-type: none"> □ Primärwurzel wächst vertikal, □ Seitenwurzeln horizontal bis schräg □ Vorkommen bei Gymnospermen und Dicotyle | <ul style="list-style-type: none"> ■ homogenes Wurzelsystem ■ alle Wurzeln gleichrangig und gleichgestaltig <ul style="list-style-type: none"> □ sproßbürtig kaum verzweigt □ V.a. bei Monocotylen z.B. bei <i>Zea mays</i> (Mais) |
|--|--|



Primärer Bau der Wurzel

■ Calyptra (Wurzelhaube):

- kurzlebige, undiffer. Zellen
- Schutz des **Vegetationspunktes**
- Erleichtertes Vordringen
- Orientierung der Pfl.

■ Epidermis= Abschlußgewebe =Rhizodermis

- Nur *eine* Zellreihe
- Von hier: → Wurzelhaarbildung
- keine Cuticula! → H₂O Durchgang
 - **Nachteil:**
 - kein Schutz gegen mikrobiellen Befall
 - → Zelltod nach einiger Zeit

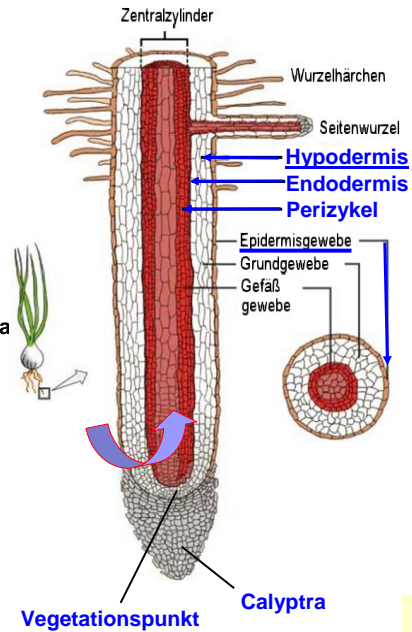
■ Hypodermis = Exodermis

■ Endodermis = innere Begrenzung

- Suberin (hydrophob)
- = Casparischer Streifen

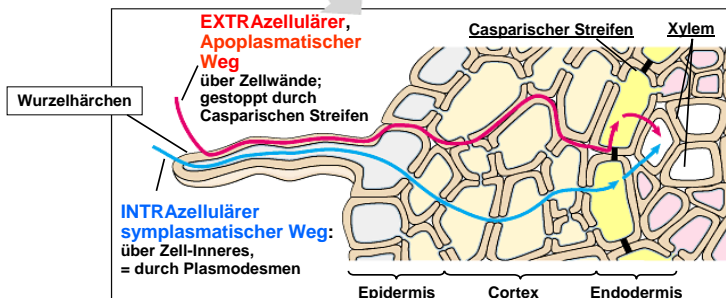
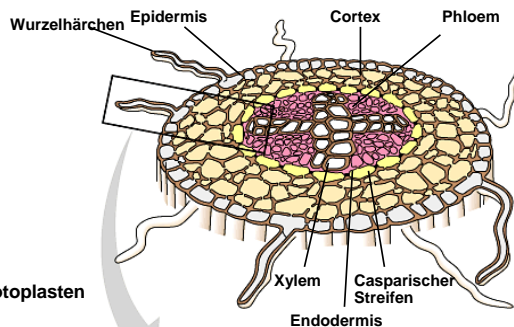
■ Perizykel = meristematische Zellschicht

- Ausgangspunkt der Seitenwurzeln
- umgibt den Zentralzylinder

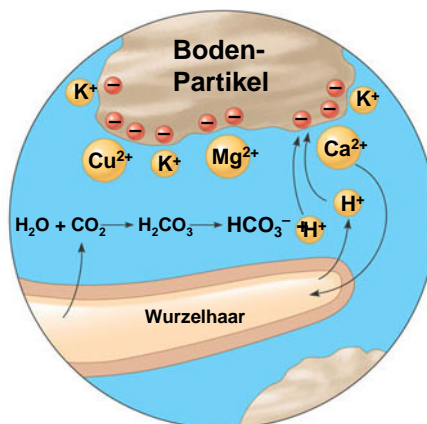


Xylemtransport

Apoplast:
Raum außerhalb der Protoplasten



Stoffaufnahme an der Wurzel



- Kationen-Versorgung: Austausch durch H⁺
 - Wurzelatmung (benötigt O₂)
 - H⁺ dissoziieren vom DihydrogenCarbonat, H₂CO₃
 - Ausscheidung von organ. Säuren



Stoff-Aufnahme durch die Wurzel



■ Antrieb der Aufnahme durch :

- Massenfluß / Diffusion / (+ direkter Wurzelkontakt)
- Carrier – Aufnahme-Kinetik

■ Schritte der Stoffaufnahme:

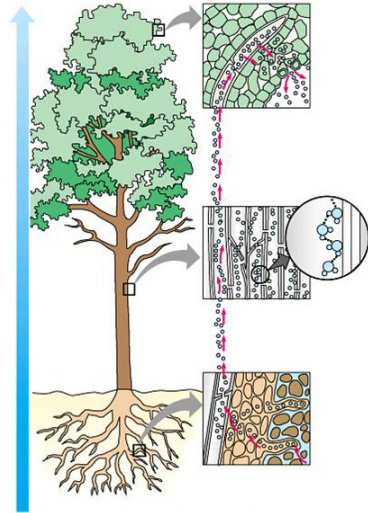
- Vorbedingung: Große Oberfläche
 - → Abweidung des Bodens
 - Starke Bevorzugung des Kaliums auch bei geringer K⁺-Konz. im Boden
- 1. Bewegung der gelösten Teilchen zur Wurzeloberfläche
- 2. Eintritt in den 'apparently free space' (AFS)
- 3. AFS → Plasmalemma → Rindenzellen
- 4. Rindenzellen → Xylem → Weitertransport



Ad 1 Bewegung der gelösten Teilchen zur Wurzeloberfläche



- **A: Massenfluß**
 - durch Transpiration
- **B: Diffusion als Antrieb,**
 - durch Ausdünnung der gelösten Stoffe rücken die weiteren Teilchen nach,
 - Diffusionsstrom
 - → Konzentrationsausgleich
- **Diffusion: abhängig von:**
 - Porenvolumen und
 - Porenverteilung
- **Sorptionseffekte, Kationenaustauschkapazität (CEC)**
 - Aufnahme von **K** und **P** auf der gesamten Länge der Wurzel
 - Aufnahme von **Mg⁺⁺** und **Ca⁺⁺** an 1-2 cm hinter der Wurzelspitze



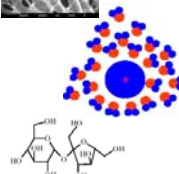
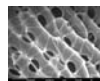
Ad 2: Eintritt in den AFS



- **Passiver Transport in den AFS**
 - (v.a. Interzellularen, Zellwände des Rindengebes, + Endodermis)
 - AFS = ca. 10-15% des Gewebevolumens

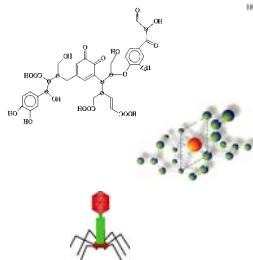
Auch hier: Massenfluß und Diffusion

- **Normale Zellwandporen:** ca. 5 nm
- **Poren der Wurzelhaarzellen:** ca. 3,6 nm
- **Hydratisierte K⁺ Ionen:** 0,33 nm
- **Hydratisierte Ca⁺⁺ Ionen:** 0,82 nm
- **Saccharosemoleküle:** 1,0 nm



Leichte Passage

- **Fulvosäuren**
- **Große Metallchelate**
- **Toxine**
- **Viren**



Schwere Passage

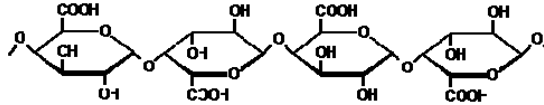
Ad 2: Eintritt in den AFS



- Passage auch von Ionen generell erschwert durch:

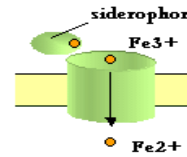
- Negative Ladungen:

COO⁻ Gruppen der Poly-Galacturonsäuren wirken als Kationen-Austauscher:



- Haftung:

- Sehr stark: Cu⁺⁺, Fe⁺⁺⁺, Zink
- stark: Mg⁺⁺
- → Phyto-Siderophore als Mobilisierer = "Eisenträger"-Moleküle



- → Apoplast der Rinde = Reserve-Behälter der Wurzel für Schwermetalle

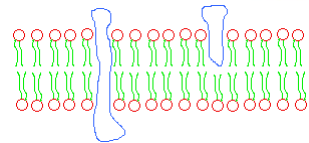


Ad 3: Absorption in das Protoplasma

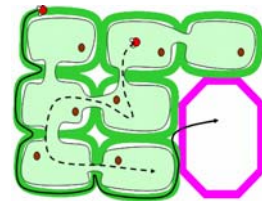


- Passage des Plasmalemmas

- Teilweise bereits in der Rhizodermis
- Endodermis mit Caspary'schen Streifen: = Barriere
- → Übertritt in das **Cytoplasma** und Weitertransport über **Plasmodesmen**



- Ausnahme der Barriere:
 - **Wurzelspitzen**
 - **Stellen der Seitenwurzelsbildung** dort ist der Casparysche Streifen noch nicht voll ausgebildet



Ad 4: Übernahme der Substanzen ins Xylem

- Ionenkanäle der Xylem-Parenchymzellen
- Antrieb durch Ionen-Pumpen



Stoffdurchtritt durch Membranen

- Membranen = Lipidschicht:
 - Permeabilität abh. von Membran-Beschaffenheit:

- **Negative Ladungen:**

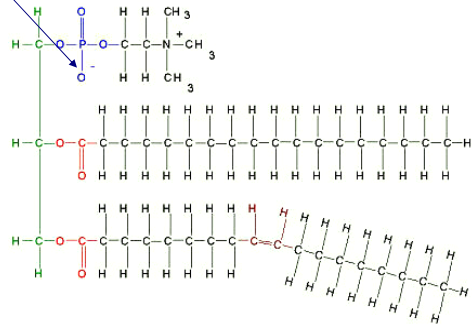
- Phosphatide + Glycosyl-R od.
- Sulfogruppen
- Z.B.: bei Soja-Lecithin:

- **Fluidabilität**

- abhängig von Doppelbindungen in den Fettsäure-Resten

- **Schichtstärke**

- abhängig von Sterol-Gehalten ..



Beeinträchtigung der Membranen

- durch Zn-Mangel:
 - Zn benötigt für SOD (SuperOxidDismutase)
 - → Freie Radikale: $\bullet\text{OH}$ ↑
 - Zerstörung von Zellmembranen
 - → Permeabilität (unspezifische P.) ↑

- Atmungshemmung, z.B. durch Staunässe:

- ATPasen, Phosphatasen ↓
(denn sie sind abh. von $[\text{O}_2]$)
- Permeabilität ↓
- Wurzelndruck ↓
- → Symptom: → Welke



- Permeabilität des Stoffes abh. von seiner Lipid-Löslichkeit

- → Hydrophobizität "*Similia similibus solvuntur*"

weitere Einflußgrößen für die Permeabilität ?? →

- die Teilchen-Größe:

- Li^+ (0,38 nm) > Na^+ (0,36 nm) > K^+ (0,33 nm)

→ umgekehrt proportional zur Aufnahme rate



Beeinträchtigung



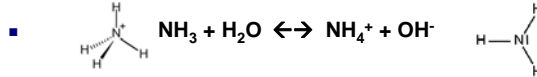
■ Ladung der Teilchen:

→ Proportionalität zur Aufnahme rate

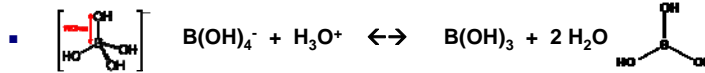
Ungeladene Mol. > Kation¹⁺ > Anion¹⁻ > Kation²⁺ > Anion²⁻ > Kation³⁺ > Anion³⁻

■ pH des Aussenmediums:

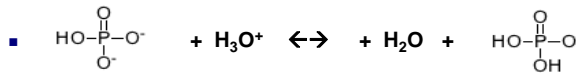
- NH₄⁺ im Sauren: Aufnahme im Alkalischen besser, da NH₃ ungeladen



- B(OH)₄⁻ im Alkalischen: H₃BO₃ Aufnahme im Sauren besser, da ungeladen:



- HPO₄²⁻ im Alkalischen: H₂PO₄⁻ Aufnahme im Sauren besser, da weniger geladen



■ Anhand der Ladung kann man die Stärke der Aufnahme-Rate errechnen

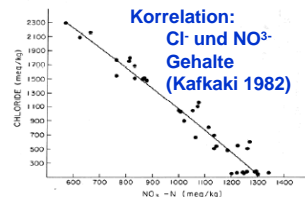


Probleme & Lösungen der Ionenkonkurrenz



■ Hohe NO₃⁻ Gehalte im Erntegut:

- vermeidbar durch:
KCl Düngung → Cl⁻ Ionen



■ Mn-Vergiftung

- vermeidbar durch Mg²⁺



Mn Toxizität

■ Bei Mo-Toxizität [> 40 ppm Mo]: Auf sauren Böden:

- Molybdänosegefahr bei Tieren (=sek. Cu-Mangel)
- → SO₄²⁻ Düngung (ggf. Kalkung)

■ ..und vice versa: MoO₄⁻ -Mangel

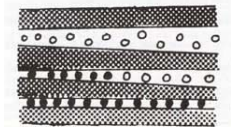
- Ursache: Zu hohe SO₄²⁻ Gehalte

■ Ausgleich der Konkurrenz:

- K⁺: Mg⁺⁺: Ca⁺⁺

Kali-Fixierung:

(K- Überschuss: → Weidetetanie, Milchfieber)



- nicht austauschbare K-I
- austauschbare Kationen