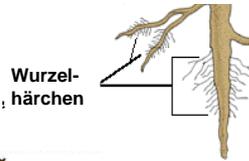


Strategien zur Erhöhung der Nährstoff-Aufnahme

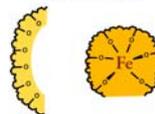
- Erhöhter Durchsatz:

- Erweiterte Wurzel-Oberflächen
- mehr Wurzeln und Wurzelhärchen, härchen
- Längere Wurzeln



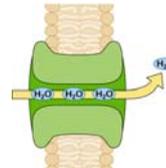
- Erhöhte Synthese von

- organischen Säuren
- Exudaten
- Siderophoren



- Förderung der Symbiosen

- Mycorrhiza
- Rhizobien



- Erhöhte Expression

- NO₃⁻, PO₄³⁻, NH₄⁺ + Carrier (Transporter)

Nährstoff-Aufnahme und Stoff-Transport

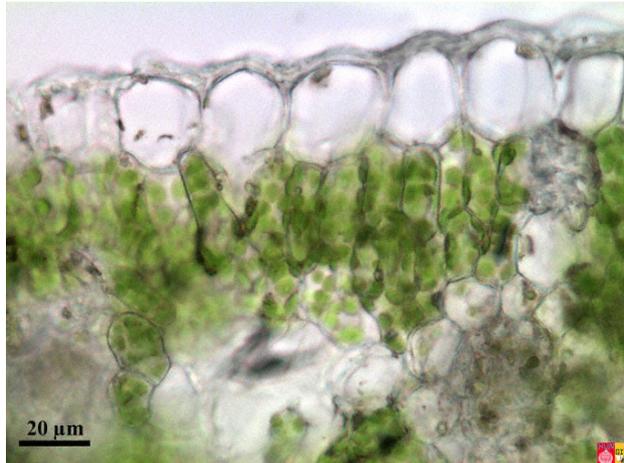
- I. Mikroporen
- II. Spaltöffnungen (Stomata)
- III. WURZELN

- wichtigste 3 Funktionen:

- 1. Verankerung
- 2. Wasser- u. Nährstoff-Aufnahme
- 3. Phytohormon-Synthese:
 - Auxine → Gravitropismus
 - Cytokinine → Versorgung des Sprosses

ad I. MIKROPOREN: Wasser und Nährstoff-Aufnahme

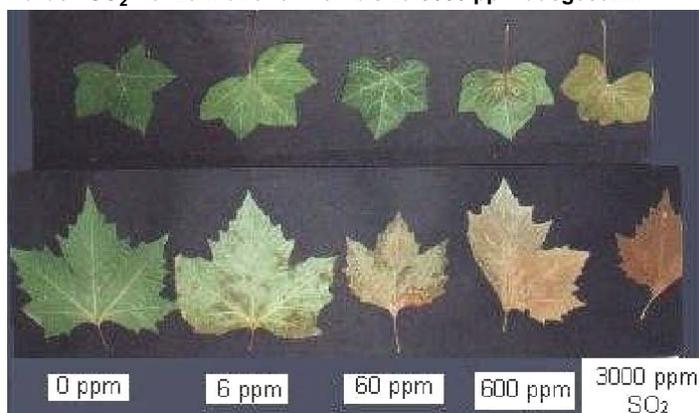
- auf *beiden* Blattseiten
- im gequollenen Zustand ist die Wachsplättchen-Schicht der Cuticula porös,
 - → kleinste Durchlässe für Wasser und gelöste Nährstoffe



<http://www.vcbio.science.ru.nl/>

ad II. STOMATÄRE Wasser und Nährstoff-Aufnahme

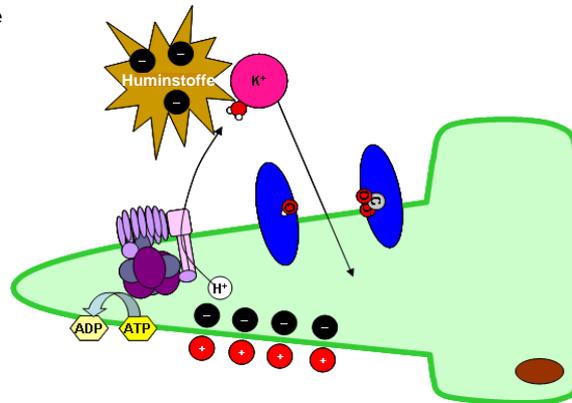
- Z.B.: Aufnahme von SO₂ über die Spaltöffnungen aus der Atmosphäre:
 - niedriges SO₂-Angebot: 1,5 mg m⁻³ positiv für S-Ernährung
 - hohes SO₂-Angebot: 50 mg m⁻³ beeinträchtigt Photosynthese.
 - Blätter von Efeu und Platane wurden SO₂ Konzentrationen von bis zu 3000 ppm ausgesetzt:..



ad III. WURZEL

Kationen-Aufnahme

am Wurzelhärchen:

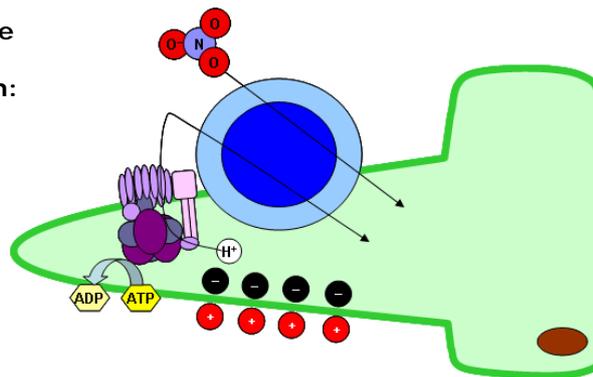


- H^+ lösen Kationen aus Bodenpartikel heraus
- → H^+ müssen exportiert werden:
 - ATPase arbeitet 'rückwärts'
 - → Energieverbrauch
- → Rhizosphäre
- → K^+ Aufnahme via Ionenkanal

ad III. WURZEL

Anionen-Aufnahme

am Wurzelhärchen:



- NO_3^- Anionen gehen nicht mit dem elektrochem. Gradient
- sondern im Symport mit H^+
- → H^+ müssen exportiert werden,
 - ATPase arbeitet 'rückwärts'
 - → Energieverbrauch

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 kurzer Zeit

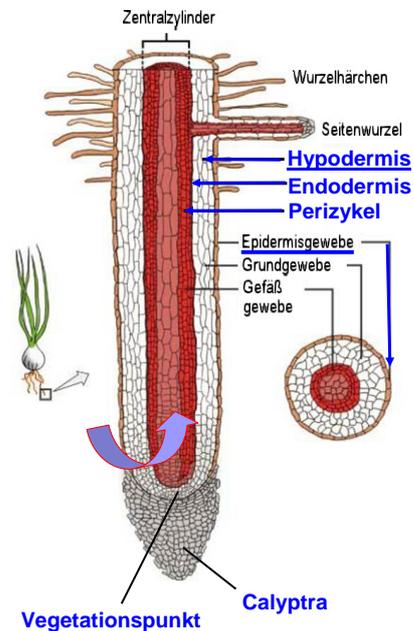
■ Hypodermis = Exodermis

■ Endodermis = innere Begrenzung

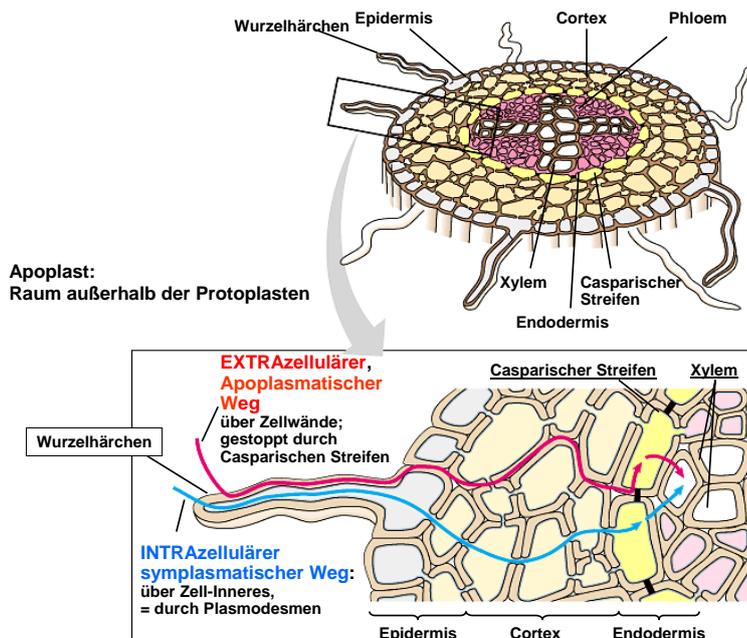
- Suberin (hydrophob)
= Caspary'scher Streifen

■ Perizykel = meristematische Zellschicht

- Ausgangspunkt der Seitenwurzeln
- umgibt den Zentralzylinder

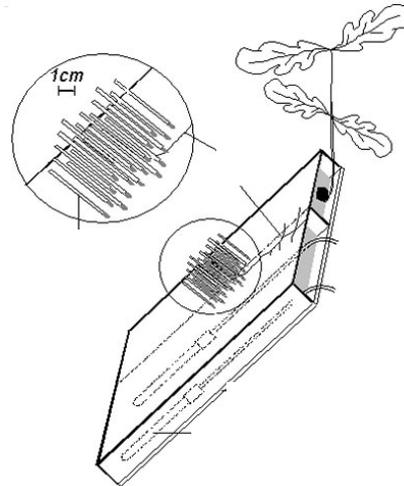


Xylemtransport



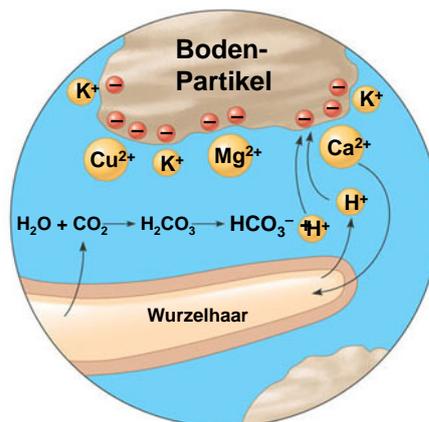
Erfassung der Nährstoffaufnahme an der Wurzel: Rhizotrone

- **Rhizotrone:**
 - Wurzeln im Glasrohr
- **Auswaschung der Wurzeln**
 - → Gefäßversuche m. festem Substrat
 - Sieb, Wasserstrahl
 - Näherungsweise Oberflächenschätzung:
 - Safranin-T-Anfärbung
- **Mit Mikro-Saugkerzen**
 - → Ermittlung der Feuchtigkeit
- **Tracer Methodik: z.B.: ³²P**
- **Röntgenstrahlen :**
 - CT (= zerstörungsfreier Nachweis in der Pflanze)



<http://www.fz-juelich.de/icg/icg-iii/datapool/general/microsaugkerzen.jpg>

Stoffaufnahme an der Wurzel



- **Kationen-Versorgung: Austausch durch H⁺**
 - Wurzelatmung (benötigt O₂)
 - H⁺ dissoziieren vom DiHydrogenCarbonat: $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$
 - 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

Antriebe:

■ A: Massenfluß

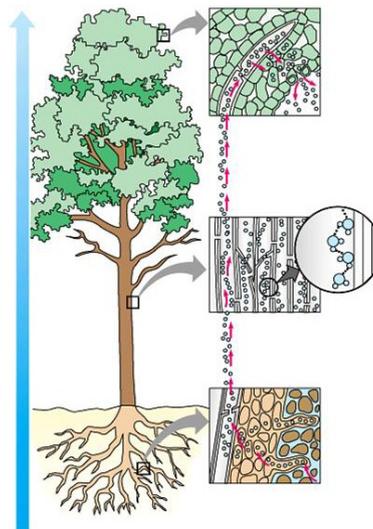
- durch Transpiration

■ B: Diffusion

- durch Ausdünnung der gelösten Stoffe rücken die weiteren Teilchen nach,
- Diffusionsstrom
- Konzentrationsausgleich

Die Diffusion ist abhängig von:

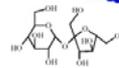
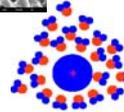
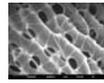
- Porenvolumen und
- Porenverteilung
- Sorptionseffekte, Kationenaustauschkapazität (CEC)



Ad 2: Eintritt in den AFS

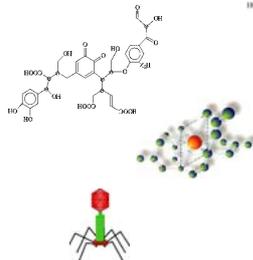
- Passiver Transport in den AFS
 - (v.a. Interzellularen, Zellwände des Rindengebes, + Endodermis)
 - AFS = ca. 10-15% des Gewebevolumens
- Auch hier: Massenfluß und Diffusion

- 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

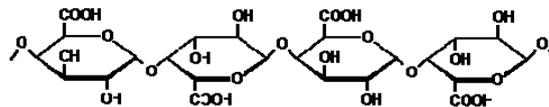
- Fulvosäuren
- Große Metallchelate
- Toxine
- Viren



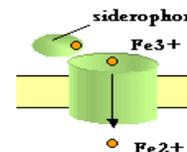
Schwere Passage

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

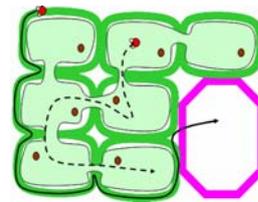
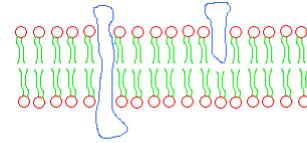


- → Apoplast der Rinde = Reserve-Behälter der Wurzel für Schwermetalle

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 Seitenwurzelbildung dort ist der Casparysche Streifen noch nicht voll ausgebildet

Ad 4: Übernahme der Substanzen ins Xylem

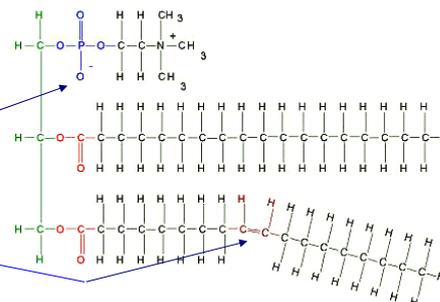
- Ionenkanäle der Xylem-Parenchymzellen
- Antrieb durch Ionen-Pumpen

Stoffdurchtritt durch Membranen

- Membranen bestehen aus Lipiden Proteine, Poren, Lipidschicht.
Permeabilität ist abh. von Membran-Beschaffenheit:

■ Negative Ladungen:

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

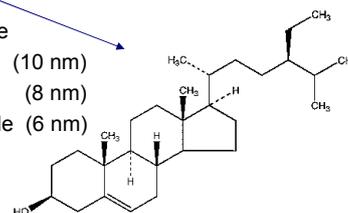


■ Fluidabilität

- abhängig von Doppelbindungen in den Fettsäure-Resten

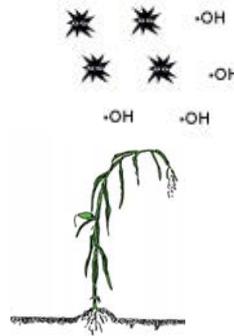
■ Schichtstärke

- abhängig von Sterol-Gehalten:
 - Cholesterol, **Sitosterol**
 - Gehalt hat Einfluß auf die Membranstärke
 - Sitosterol: v.a. im Plasmalemma (10 nm)
 - KAUM Sitosterol : im ER (8 nm)
 - KAUM Sitosterol : im Tonoplasten d. Vakuole (6 nm)



Einflussfaktoren auf die Membranen

- **durch Zn -Mangel:**
 - Zn benötigt für SOD (SuperOxidDismutase)
 - → Freie Radikale: $\bullet\text{OH}$ ↑
 - Zerstörung von Zellmembranen
 - → unspezif. Permeabilität ↑
- **Atmungshemmung, z.B. durch Staunässe:**
 - ATPasen, Phosphatasen ↓
(denn sie sind abh. von $[\text{O}_2]$)
 - Permeabilität ↓
 - Wurzeldruck ↓
 - → 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



Einfluss von Ladung und pH-Wert

- **Ladung der Teilchen:**
 - Proportionalität zur Aufnahme-rate
 - Ungeladene Mol. > Kation¹⁺ > Anion¹⁻ > Kation²⁺ > Anion²⁻ > Kation³⁺ > Anion³⁻
- **pH des Aussenmediums:**
 - NH_4^+ im Sauren: Aufnahme im Alkalischen besser, da NH_3 ungeladen
 - $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \leftrightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$
 - B(OH)_4^- im Alkalischen: H_3BO_3 Aufnahme im Sauren besser, da ungeladen:
 - $\text{B(OH)}_4^- + \text{H}_3\text{O}^+ \leftrightarrow \text{B(OH)}_3 + 2 \text{H}_2\text{O}$
 - HPO_4^{2-} im Alkalischen: H_2PO_4^- Aufnahme im Sauren besser, da weniger geladen
 - $\text{HPO}_4^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+ \leftrightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{PO}_4^-$
- **Anhand der Ladung kann man die Stärke der Aufnahme-Rate errechnen**

Nernst'sches Potentialgleichgewicht

- $$dE = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[Ca]}{[Ci]}$$
- dE = Differenz der elektr. Potentiale zw. Innen- und Außenseite
- $[Ca]$, $[Ci]$: Conc. der Ionen innen bzw außen
- R = Gas-Konst.: 8.314 Joule/Ko/mol
- T = Temperatur in Kelvin (K)
- z = Valenzzahl der Ionen
- F = Faraday-Konstante = 96.500 Coulomb/_{mol}

- Bei einem bestimmten **Potential (Nernst-Potential)** befindet sich der Konzentrationsgradient und der elektrostatische Gradient im **Gleichgewicht**.

Konkurrenz der Ionen

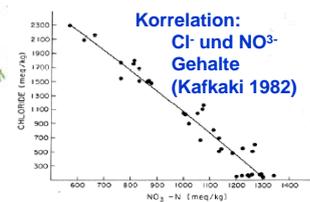
- Hohe NO_3^- Gehalte im Erntegut:
 - vermeidbar durch:
 - KCl Düngung → Cl^- Ionen

- Mn-Vergiftung
 - vermeidbar durch Mg^{2+}

- Bei Mo-Toxizität [> 40 ppm Mo]: Auf sauren Böden:
 - Molybdänosegefahr bei Tieren (= → sek. Cu-Mangel)
 - → SO_4^{2-} Düngung (ggf. Kalkung)

- ..und *vice versa*: MoO_4^- -Mangel
 - Ursache: Zu hohe SO_4^{2-} Gehalte

- Ausgleich der Konkurrenz:
 - K^+ : Mg^{++} : Ca^{++}



Mn Toxizität



Ionentransport - Prinzipien

1. Salzanreicherung in der Pflanze:

Akkumulation gegen Konzentrationsgefälle

2. Wahlvermögen

hauptsächlich benötigte Ionen werden bevorzugt aufgenommen (Selektion)

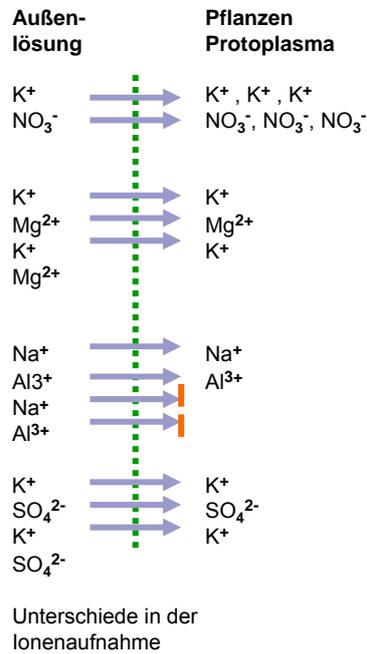
3. Mangelhaftes Ausschließungsvermögen

entbehrliche oder schädliche Ionen teilweise aber nicht vollständig ausgeschlossen

4. Verstärkte Aufnahme

von Kationen gegenüber Anionen

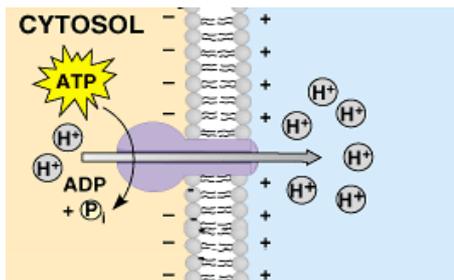
5. Sorteneigenschaften (Genotyp)



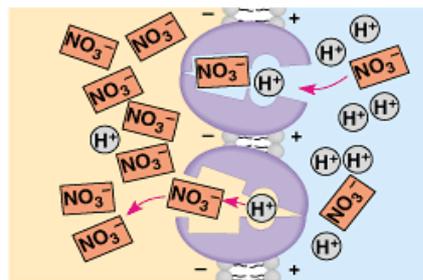
Mineralstoff-Absorption

Z.B. Zucker

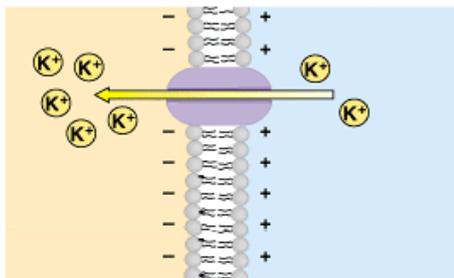
A) Protonenpumpe → H⁺ Gradient



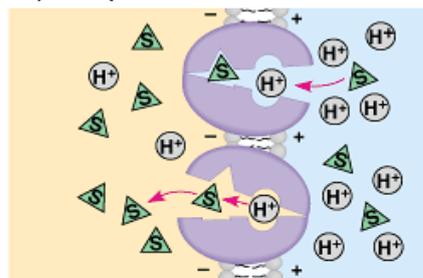
C) Anionen-Aufnahme per Co-Transporter



B) Kationen-Aufnahme per Membranpotential

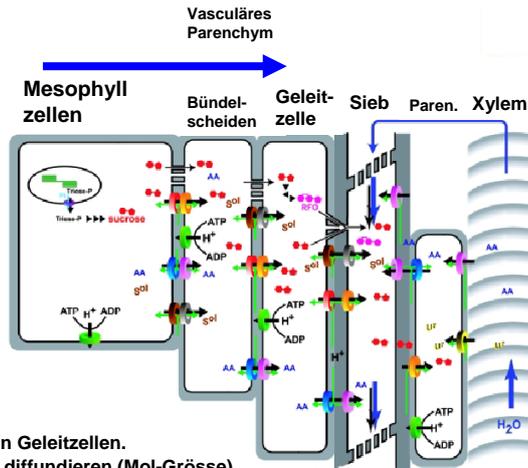


D) Transport eines neutralen Moleküls



Phloem-Beladung

- **Saccharose (rot)**, aus den Blättern
 - Mesophyllzellen → Siebzellen
 - Symplasm. Transport
 - Apoplast. Transport
 - **Saccharosetransport (orange)**
 - Influx: = Cotransport von Saccharose mit H^+
 - Efflux: = **rote Transporter**: = Antiport + Diffusion
 - **Zuckeralkohole ('Sol' braun)**
 - aktive Beladung in Siebelemente
 - direkt vom Syntheseort (Mesophyll).
 - **Species m. vielen Plasmodesmen:**
 - Synthese von **Raffinose (RFO= pink)** in Geleitzellen.
 - **RFO** kann nicht zurück ins Mesophyll diffundieren (Mol-Grösse).
 - **RFO** → Symplasma → Siebelemente.
 - **Aminosäure-Synthese (AA; blau)** in Mesophyllzellen od. Import durch Xylem.
 - **Aminosäuren = wie Saccharose,**
 - Beladung via Symplast od.
 - Apoplast
 - Ureide: Cotransporter (gelb)
- Alle Transporter benötigen die PMF: $H^+ -ATPase$ (grün).



Phloem - Entladung

- Invertase: hydrolysiert **Saccharose**
 - → Hexosen (Gluc + Fruc)
- Hexose-Transporter (**blau/purpur**)
- Aminosäuren u. Zucker
 - akkumulieren in Vakuolen
 - oder polymerisieren in
 - Amyloplasten oder
 - Speicherprotein

