

Themen

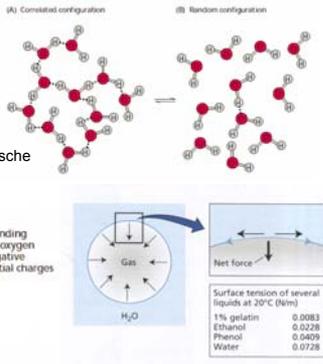
- Wasser & Lösungen
- Membrantransport
- Ferntransport
 - Xylem & Transpiration
 - Phloem

Wasserhaushalt & Transport

Die Lehrbücher "Plant Physiology" (4. Edition) von Taiz & Zeiger (2006) sowie "Botanik" (6. Auflage) von Raven *et al.* (2006) werden empfohlen

Wasser & Wasserstoffbrücken

- hohe Oberflächenspannung
- hohe spezifische Wärme
- hohe Verdampfungswärme
- hohe Kohäsion (Zugfestigkeit)
- hohe Adhäsion (Kapillarkraft)
- exzellente Lösungsmittel für ionische Verbindungen



Wasserpotential

Ψ wird "psi" ausgesprochen

- chemisches Potential von Wasser
 - freie Energie (ΔG)
 - je höher die Konzentration an gelöster Substanz (S), je niedriger das Potential
 - osmotisches Potential = osmotischer Druck = Ψ_S
 - Ψ_S von purem Wasser = 0
 - Ψ_S von Lösungen < 0

van't Hoff'sche Gleichung:

$$\Psi_S = -RTK_S$$

K_S = Konzentration (mol ltr⁻¹)
 $R = 8,3 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
 $T = \text{Kelvin Temperature}$

oder, bei 25 °C
 1M = ca. -2.44 MPa

Wasserpotential

osmotisches Potential = osmotischer Druck = Ψ_S
 Ψ_S von purem Wasser = 0
 Ψ_S von Lösungen < 0
 hydraulischer Druck (pressure) = Ψ_P

Wasserpotential = $\Psi_W = \Psi_S + \Psi_P$
 "die Tendenz einer Lösung, Wasser aufzunehmen"

Diffusion

Adolf Fick, ~1880

Diffusionsgeschwindigkeit ist proportional zum Konzentrationsgradienten

Wie lang braucht ein Glukose-Molekül von A nach B zu diffundieren?

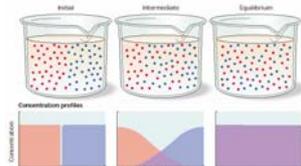
$$t = \frac{L^2}{D_s} D_s$$

t = Zeit (s); L = Diffusionsweg (m)
 D_s = Diffusionskoeffizient (m² s⁻¹)

D_s (Glukose in H₂O, 25 °C) = 10⁻⁹ m² s⁻¹

50 μm : 2.5 s

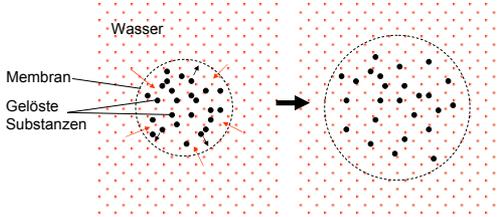
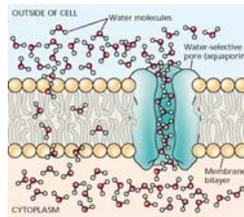
1 m: 32 Jahre!



Gradient: sehr steil mäßig →0
 Vermischung: sehr schnell langsam →0

Osmose

- Biomembrane
 - Phospholipid-Doppelschicht (Wasser undurchlässig)
 - Aquaporine (Wasserkanäle)
 - Pumpen etc.



typische Verhältnisse



- osmotisches Potential (Ψ_s) der Zelle = $-0,7 \text{ MPa}$ ($0,3 \text{ M}$)
- Turgordruck (Druck gegen die Zellwand, Ψ_p) = $0,2 \text{ MPa}$
- daher Wasserpotential (Ψ_w) der Zelle = $-0,5 \text{ MPa}$
- entspricht das osmotische Potential von $0,2 \text{ M}$ Saccharose

Das heißt, wenn man diese Zelle in eine $0,2 \text{ M}$ Saccharose Lösung legt, findet kein Wasseraustausch statt, da $\Psi_{S, \text{Lösung}} = \Psi_{w, \text{Zelle}}$.

Legt man diese Zelle nun in eine $0,3 \text{ M}$ Zuckerlösung (osmotisches Potential der Lösung, $\Psi_{S, \text{Lösung}} = -0,7 \text{ MPa}$), strömt Wasser aus der Zelle aus. Das erniedrigt den Turgordruck (Ψ_p) auf 0 , da $\Psi_{S, \text{Lösung}} = \Psi_{S, \text{Zelle}}$, $\Psi_p = 0 =$ Welkpunkt.

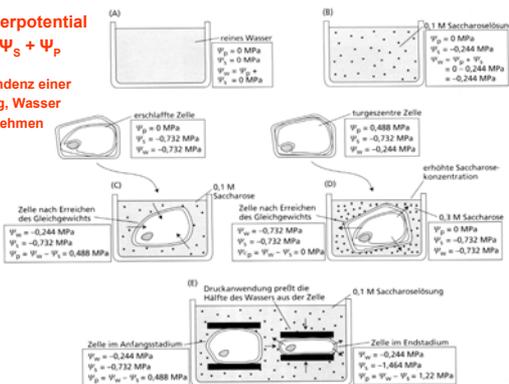
Bei noch höheren Zuckerkonzentrationen findet Plasmolyse statt, das Volumen des Cytoplasma wird kleiner, die Konzentration der gelösten Stoffe höher, bis $\Psi_{S, \text{Zelle}} = \Psi_{S, \text{Lösung}}$ – aber Ψ_p bleibt bei 0 .

Bei Verdunstung jedoch ist Plasmolyse nicht möglich - Ψ_p negativ.

Osmose & Turgor

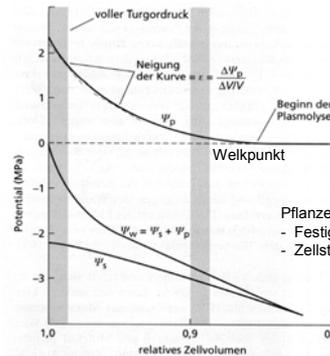
Wasserpotential
 $\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p$

die Tendenz einer Lösung, Wasser aufzunehmen



T&Z, 2000

Das Höfler Diagramm



Pflanzen brauchen Turgordruck:
 - Festigkeit
 - Zellstreckung

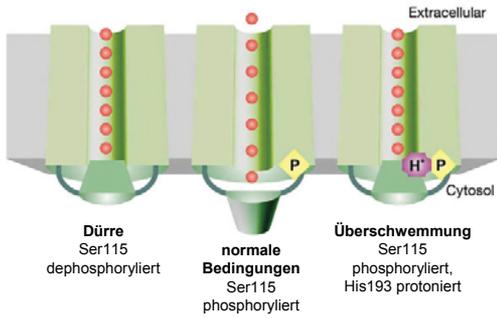
Wie entsteht Turgor?

- Wasser Durchlässigkeit
 - Aquaporine
- Pumpen
 - Konzentrationsdifferenzen
 - Energie
- Kanäle
- Transporter
 - Symporter
 - Antiporter

Aquaporine

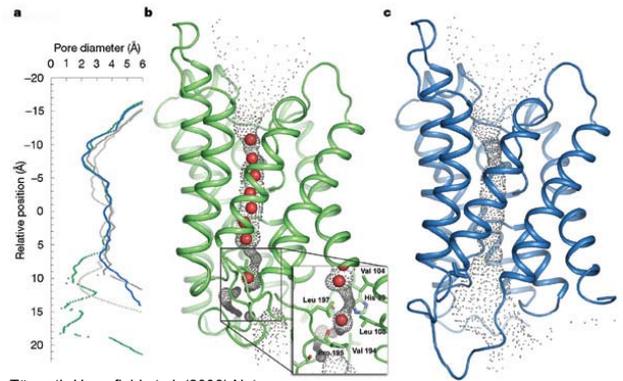
- PIP (plasmamembrane intrinsic proteins)
- selektive Wasserkanäle
- extrem konserviert
- 13 PIPs in Arabidopsis
- gesteuerte Durchlässigkeit
 - Wassermangel
 - Überschwemmung

Aquaporine



Törnroth-Horsefield et al. (2006) Nature

Aquaporine

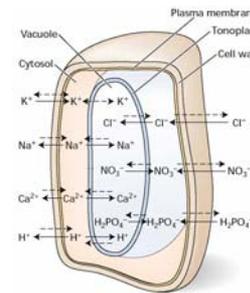


Törnroth-Horsefield et al. (2006) Nature

Aquaporine

- viele Aquaporine haben eine geringe Wasserdurchlässigkeit
- Weitere mögliche Rollen für Aquaporine
 - CO₂ Kanäle?
 - Turgor-Sensor?

Pumpen, Kanäle und Transporter



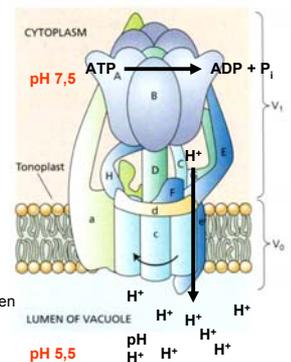
→ Aktivtransport
 Passivtransport

Pumpen

- *primary active transport*
- energetischer Aufwand: ATP
- elektrogenisch bzw. elektroneutral
- Na⁺ / K⁺ ATPasen
 - tierische Zellen
 - nicht bei Pflanzen
- H⁺ / ATPasen
 - wie ATP Synthase, aber rückwärts
 - elektrogenisch
 - pH-Effekt

Pumpen: H⁺ / ATPasen

- P-ATPase (Plasmamembran)
 - wichtig bei Kationentransport...
 - wichtig bei Streckungswachstum...
 - Cytoplasma: -100 mV
 - Fusicoccin-stimuliert
 - Vanadat-gehemmt
- V-ATPasen (Tonoplast)
 - Cl⁻ / Malat⁻¹ als Gegenionen
 - deshalb kleine elektrische Wirkung
 - große pH-Effekt
 - *hyperacidification*: pH 1,7 bei Limetten



Pumpen

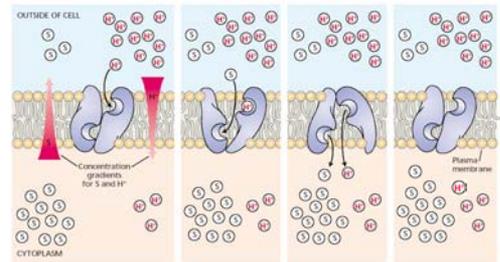
diese haben eigentlich nichts mit Wasserhaushalt und Osmose zu tun - um so interessanter...

- *primary active transport*
- energetischer Aufwand: ATP
- Ca^{+2} -Pumpen
 - sehr niedrige cytosolische $[\text{Ca}^{+2}]$
 - intrazelluläre Signale (z.B. Schließzellen)
- ABC-Transporter (*ATP-binding cassette*)
 - Oligopeptid-Transport
 - Flavonoid-Transport (Anthocyan → Vakuole)

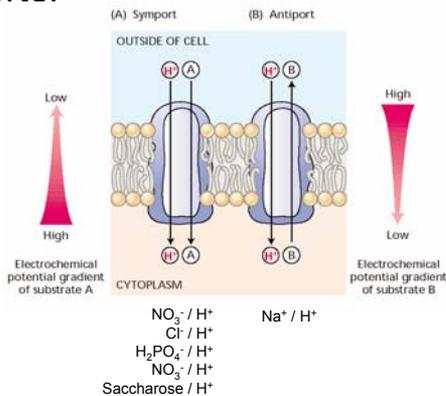
Transporter

- *secondary active transport*
- Nutzung von Ionengradienten
 - H^+ (Protonengradienten)
 - Ladung und Osmose: Chemiosmose
 - *proton motive force*
 - Peter Mitchel, Nobelpreis für Chemie 1978

Transporter



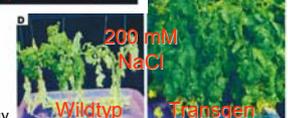
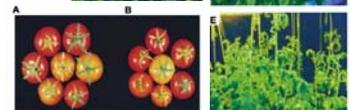
Transporter



Transgener Antiporter

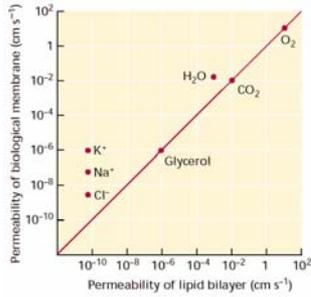
- Überexprimierte *AtNHX1* in transgenen Tomaten
- normale Früchte bei 200 mM NaCl

"Worldwide, more than 60 million hectares of irrigated land (representing 25% of the total irrigated acreage in the world) have been damaged by salt. Our findings suggests the feasibility of producing salt-tolerant transgenic plants that will produce edible crops."

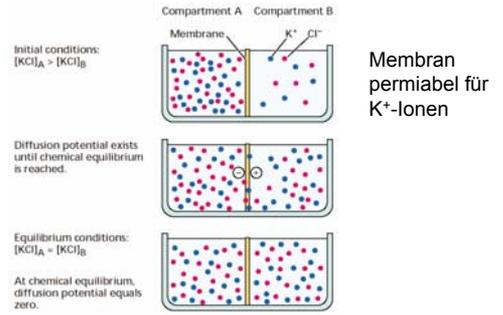


Kanäle

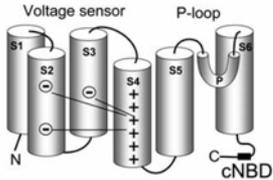
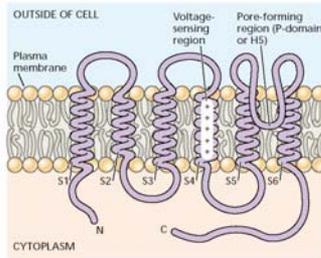
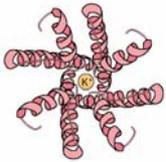
- erhöhte Durchlässigkeit
- Selektivität
 - H₂O
 - K⁺



selektive Durchlässigkeit

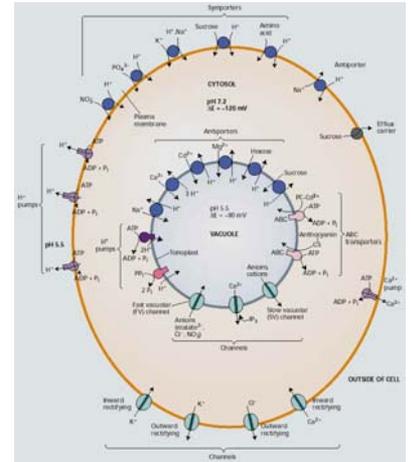


K⁺ Kanäle



- **Spannungsabhängig**
- Hyperpolarisierung
 - nach innen gerichtet
 - K⁺ Aufnahme (Schließzellenöffnung)
- Depolarisierung
 - nach außen gerichtet
 - K⁺ Verlust (Schließung)

Pumpen, Kanäle und Transporter



Langstrecken-Transport:
Xylem, Transpiration, Phloem

Transpiration & Xylem

Transpiration



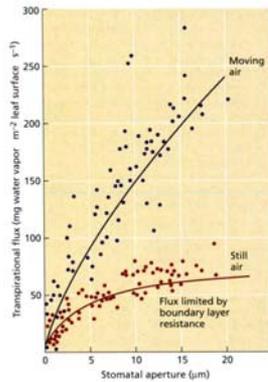
Wasserverlust vs. Photosynthese

- Wasserverlust
- niedriger Zellvolumen
- niedriger Turgordruck (Ψ_P)
- Welkung:
 - Festigkeit
 - Streckungswachstum
- niedriger Ψ_W , Zelle: "Zaugdruck"

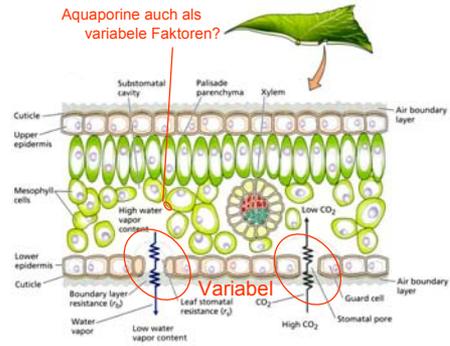
Wasserpotential $\Psi_W = \Psi_S + \Psi_P$
 "die Tendenz einer Lösung, Wasser aufzunehmen"

Widerstände

- Grenzfläche
 - Wind
 - Konvektion



Widerstände

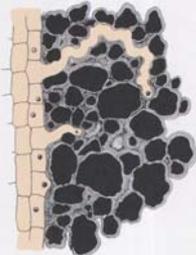


Wurzelhaare & Bodenpartikel



große Aufnahme-Oberfläche für

- Wasser
- Mineralien



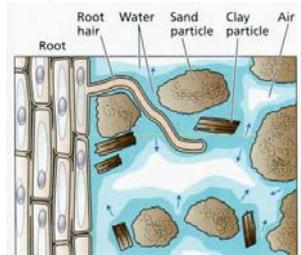
Wurzelhaare & Bodenpartikel

- Oberflächenspannung
- hydraulische Durchlässigkeit
- Wasserpotential

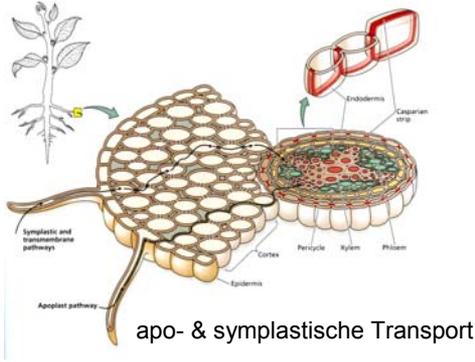
Poiseuille'sche Gleichung

$$\text{Volume flow rate} = \left(\frac{\pi r^4}{8\eta} \right) \left(\frac{\Delta \Psi_p}{\Delta x} \right)$$

...oder: bei doppeltem Radius wird die Flußrate 16-fach Schneller

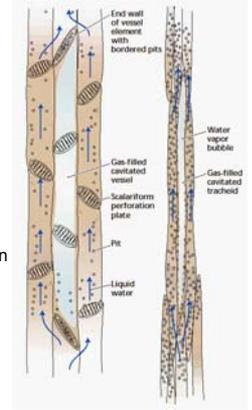


Widerstände



Struktur/Funktion des Xylems

- "Saugdruck" 1 – 100 MPa!
- 0,1 MPa Luftdruck
- Warum bricht die Säule nicht?
 - Kohäsion (Zugstärke)
 - Kapillarkräfte
 - Cavitation
 - Embolismen eingengt / umfahren



Ist Transpiration notwendig?

Wilhelm Pfeffer 1820:
Mineralien werden mit dem Wasserstrom zu den Blättern transportiert

- Mineralienaufnahme nicht von Transpiration beeinflusst!
- Wachstumswasser
- Saftzirkulation (Münch 1930)...



Tanner & Beevers (2001) PNAS

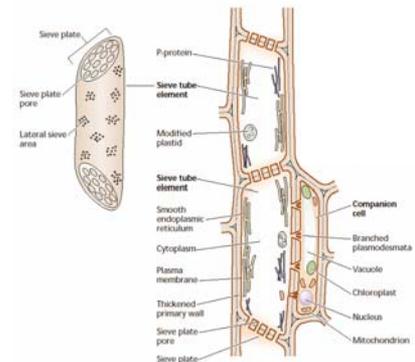
Phloem

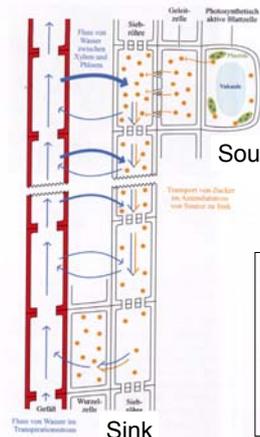
Funktionen des Phloems

- Wassertransport!
- Saccharose ~100 mg/ml
- Aminosäuren ~5 mg/ml
 - Glutamat/in, Aspartat/Asparagin
- Ionen (K⁺, PO₄⁻, Cl⁻) ~5 mg/ml
- Oligopeptide, Proteine ~1 mg/ml
- Phytohormone, mRNA....

Signale
- Cytokinin
- Systemin
- FLT (Florigen)

Struktur des Phloems

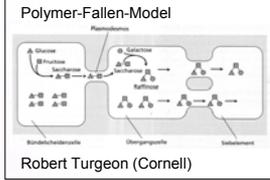




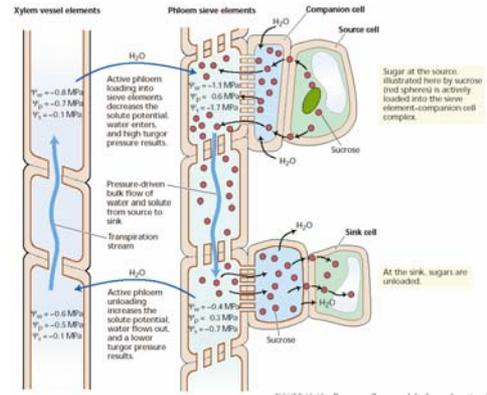
Druckstrom-Theorie (Münch, 1930)

Source

Saccharose-Pumpen: SUC, SUP
 Wolf Fromme (FU Berlin, Stanford)
 Norbert Sauer (Erlangen)



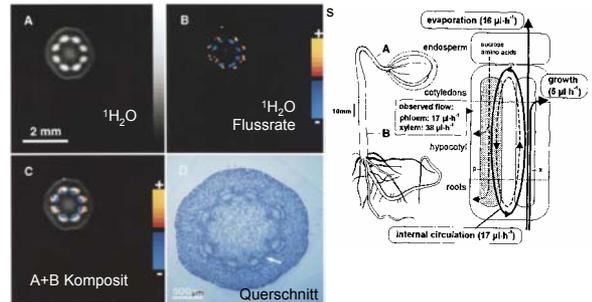
Druckstrom-Theorie quantitativ



Druckstrom-Theorie

- Bidirektionaler Transport nicht möglich in einer Siebrohre
- Solute müssen beladen und entladen werden (source und sink)
- Mineralien
 - aktiv von Symportern der Wurzelhaaren aufgenommen (vergl. Pfeffer)
 - mit Gegenstrom im Xylem transportierbar

Kernspin-Resonanz Studien



Köckenberger et al. 1996

Phloem....

- weitere Fragen? → Aart van Bel

thank you for your attention
 – bis Montag!