A) Theorie

1. Aufbau einer Pfanzenzelle

Eine Pflanzenzelle ist im groben aus dem Zellkern (Nukleus), den Mitochondrien, dem Golgi-Apparat, dem Endoplasmatisches Retikulum (ER), den Ribosomen, den Lysosomen, den Peroxisomen, einer Zellmembran, dem Cytoplasma und den Mikrotubuli aufgebaut. Diese Einheiten finden wir auch in tierischen Zellen. Im Unterschied zu diesen hat die Pflanzenzelle noch zusätzlich eine Vakuole, eine Zellwand und die Plastiden.

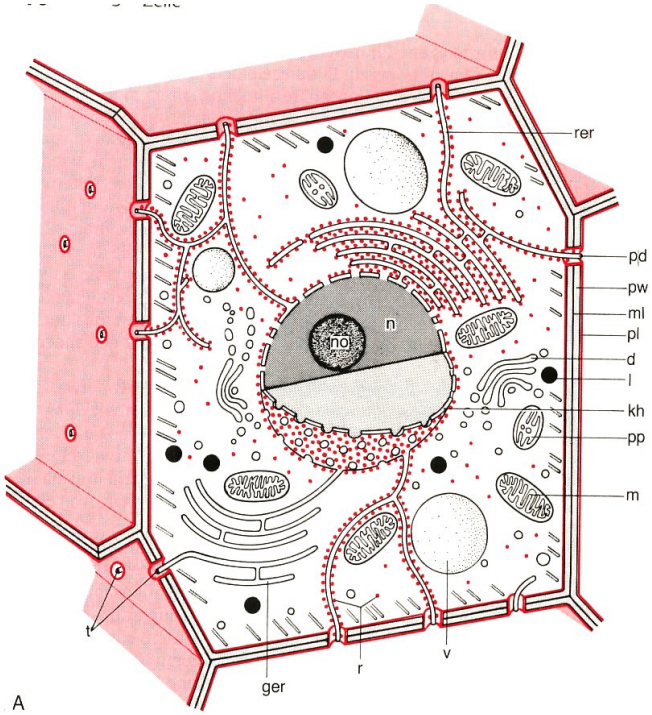


Abb.: 1 Pflanzenzelle (Nultsch, Allgemeine Botanik, 10. Auflage, 1996, Thieme Verlag)

n = Nucleus	l = Lipidtröpfchen
no = Nucleolus	kh = Kernhülle
rer = rauhes Endoplasmatisches Reticulum	pp = Proplastid
pd = Plasmodesmos	m = Mitochondrium
pw = Primärwand	v = Vakuole
ml = Mittellamelle	r = Ribosom
pl = Plamalemma	ger = glattes Endoplasmatisches Reticulum
d = Dityosomen	t = Tüpfel

Auf diese Besonderheiten soll nun näher eingegangen werden.

Die Vakuole stellt einen großen, flüssigkeitsgefüllten Hohlraum dar, der den größten Teil (80%) des Pflanzenzellvolumens einnimmt. Das Cytoplasma, welches die Zellorganellen beinhaltet wird dabei völlig an die Zellwand gedrückt. Die Vakuole wird von einer Membran, dem Tonoplast umgeben. Die Vakuole dient zur Speicherung von Ionen, Zuckern, Vitaminen usw. Oft findet man auch Kristalle oder Stärkekörner in der Vakuole. Diese hohen Konzentrationen an Stoffen befähigen die Pflanzenzelle Wasser aus der Umgebung

aufzunehmen (Osmose). Durch die pralle Füllung der Vakuole (Turgeszenz) mit Flüssigkeit erhält die Pflanzenzelle ihre Form.

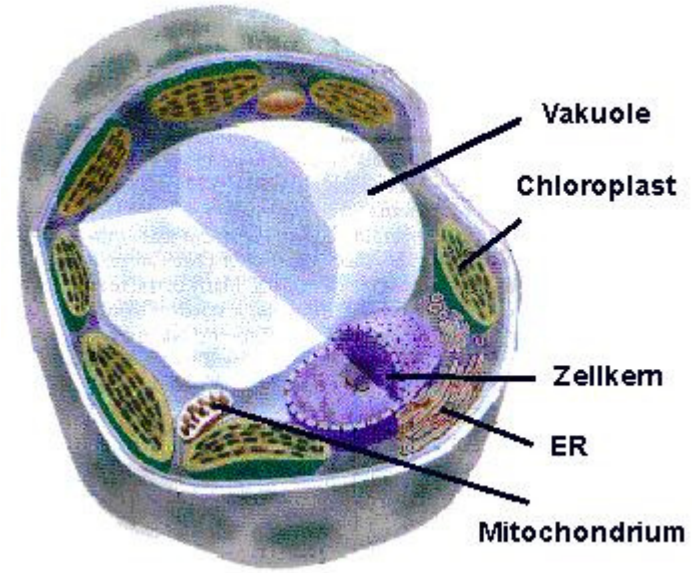


Abb.: 2 Lage der Vakuole in der Zelle (Biokurs 2001, Ernst Georg Beck)

Die Pflanzenzelle besteht aus dem so genannten Protoplasten, welcher von der Zellwand umgeben ist. Diese wird vom Cytoplasma aufgebaut und besteht bei jungen Zellen (primäre Zellwand) bis zu 90% aus Kohlenhydraten (Cellulose, Hemicellulosen und Pektin) und zu 10% aus Protein. Dabei ist die Streuungstextur typisch für den Aufbau. Während der Differenzierung wird eine zweite, sekundäre Wand aufgelegt, die hauptsächlich aus Cellulose und Lignin (Holz) besteht. Hier findet man die Paralleltextur als charakteristische Anordnung. Die Mittellamelle stellt die erste trennende Schicht zwischen zwei Zellen da. Die Zellwand ist wasserdurchlässig. Allgemein gibt die Zellwand der Zelle ihre Form und schützt den Inhalt.

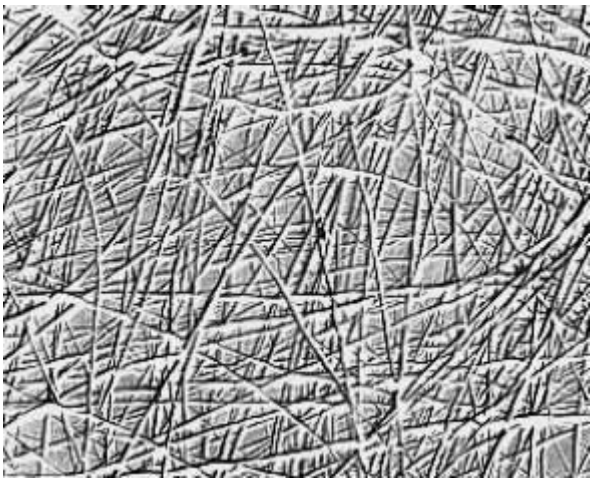


Abb.: 3 Streuungstextur einer Primärwand mit Cellulosefasern (Biokurs 2001, Ernst Georg Beck)

Im Cytoplasma der meisten Pflanzenzellen befinden sich eiförmige, gut sichtbare Organellen die man Plastiden nennt. Man unterscheidet 5 wichtige Typen:

Chromoplasten, Leucoplasten, Chloroplasten, Etioplasten und Gerontoplasten

Chromoplasten sind rot, gelb oder orange gefärbt und befinden sich in Blütenblätter und Früchten. Ihre Farben verdanken sie den **Carotinoiden** und **Xanthophyllen,** welche die Pigmente bilden. Durch die leuchtenden Farben wird die Verbreitung der Früchte und die Befruchtung über Insekten angeregt.

Leukoplasten haben keine Pigmente (farblos) und dienen meist als Speicherorgane. Man unterscheidet **Amyloplasten,** welche zur Speicherung von Resevestärke in Form von Stärkekörnern dienen, **Proteinoplasten,** die Proteine meist in kristalliner Form speichern und die **Elaioplasten**, die Fette und Öle in Tröpfchenform speichern.

Chloroplasten besitzen als Ort der Photosynthese eine lebenswichtige Bedeutung für Pflanzen. Sie sind intensiv grün gefärbt und sind Träger der photosynthetischen Pigmente (Chlorophyll, Carotinoide) und finden sich meist in Blatt- und Sproßzellen.

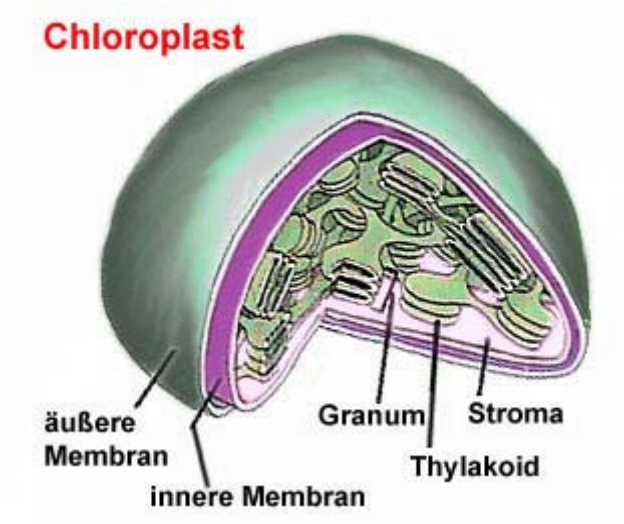


Abb.: 4 Aufbau eines Chloroplasten (Biokurs 2001, Ernst Georg Beck)

Etioplasten sind gelbliche Vorläufer von Chloroplasten. Sie entstehen in z.B. im Dunkeln gewachsenen Keimlingen (etioliertes Gewebe). Sie enthalten anstatt Thylakoide so genannte Prolamellarkörper. Diese werden im Licht abgebaut und dann für den Thylakoidaufbau genutzt.

Gerontoplasten entstehen durch Alterung aus Chloroplasten in den Laubblättern. Sie sind gelb, orange gefärbt. Generell ist keine Rückbildung zu Chloroplasten mehr möglich. Man sieht sie in den gefärbten Blättern im Herbst.

2. Physikalische Prozesse zur Regulation des Wasserhaushaltes

2.1 Osmose

Osmose ist die Diffusion eines Lösungsmittels (im Normalfall Wasser) durch eine semipermeable Membran. Dabei werden eventuelle Konzentrationsunterschiede auf beiden Seiten ausgeglichen indem das Lösungsmittel entlang des Konzentrationsgradienten durch die Membran diffundiert. Dadurch kommt es auf einer der Seiten zu einer Volumenzunahme und damit zu einem Ausdehnungsdruck, der in diesem Fall **Osmotischer Druck** genannt wird.

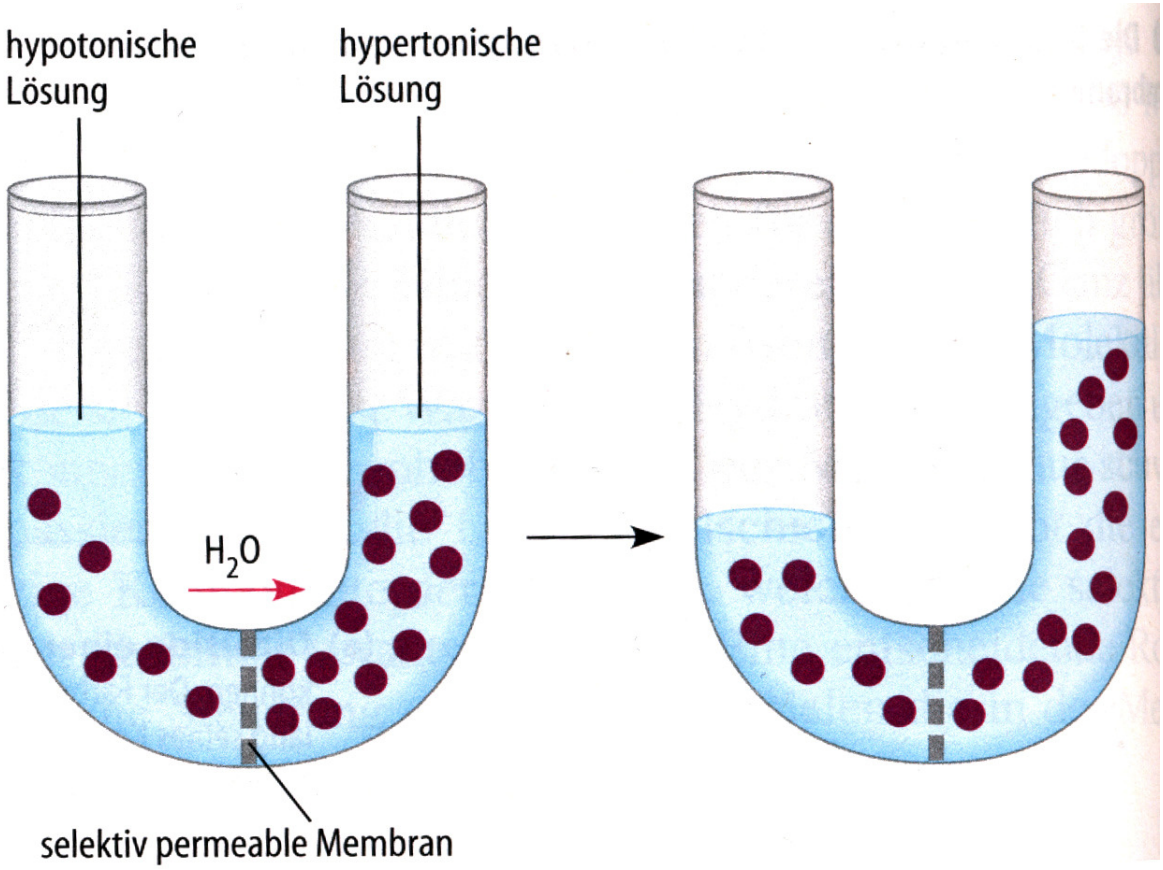


Abb. 1: Osmose (Biologie von Neil A. Campbell / Jane B. Reece, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg/Berlin; 6. Auflage 2003, S. 172)

2.2 Quellung

Unter Quellung versteht man die Diffusion von Wasser in einen Quellkörper unter dessen Volumenvergrößerung. Viele Makromoleküle können Wasser kapillar oder durch Hydratation

von geladenen Gruppen (Anionen) aufnehmen. Sie haben als Quellkörper eine Saugkraft. Trockene Quellkörper haben einen potentiellen Quellungsdruck. Durch Wasseraufnahme wird das Volumen vergrößert, wobei ein aktueller Quellungsdruck entsteht.
Dieser kann sehr hoch sein, da im trockenen Quellkörper die Wasserkonzentration gleich Null ist, also eine hohe Potentialdifferenz besteht.

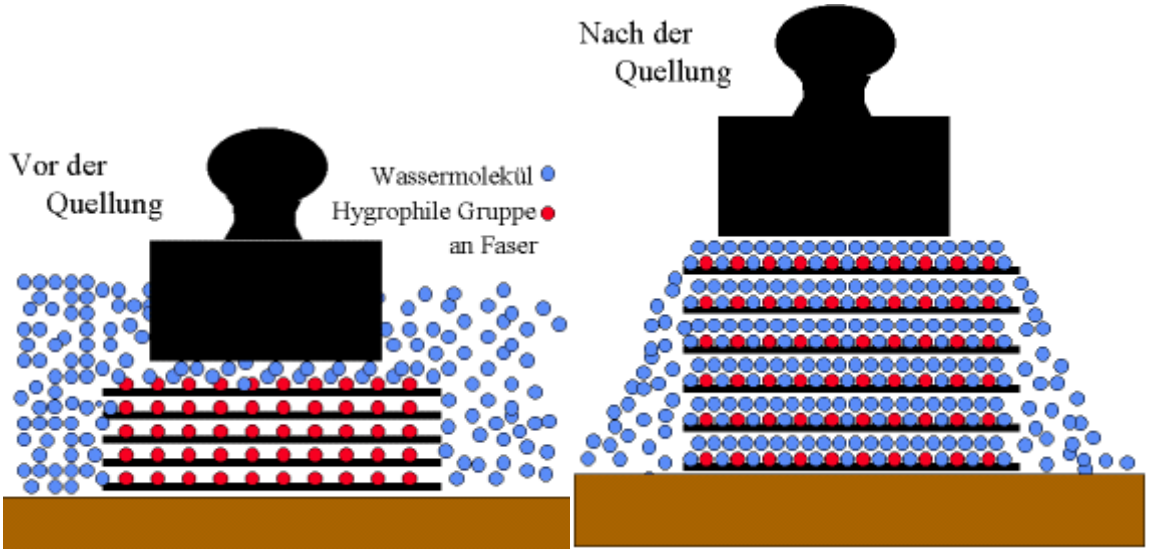


Abb.: 5 Quellung am Beispiel eines Models
(http://www.unihohenheim.de/lehre370/weinbau/bild_htm/physiol/quellug.htm)

Das Wasser dringt auf Grund seiner hohen Affinität zu den hydrophilen Gruppen in einen Quellkörper ein und schiebt die Moleküle auseinander.
Solche Quellkörper sind auch Pflanzensamen in der Natur. Sie rufend die Quellung durch Hydratation von Anionen hervor. Bei ihnen kann die Quellung allerdings rückgängig gemacht werden. Diesen Vorgang nennt man Entquellung. Hier werden Kationen freigesetzt, die sich an die Anionen binden und somit die Ausbildung der Hydrathülle verhindern. Somit kann die Wassereinlagerung nicht aufrechterhalten werden.

2.3 Das Wasserpotential Ψ_w

Das Wasserpotential Ψ (psi) ist eine Messgröße der Wasserverfügbarkeit eines wasserhaltigen Systems oder ein Maß für das Bestreben eines Systems, Wasser abzugeben. Je höher Ψ, desto größer ist die Tendenz des Systems, Wasser an ein Bezugssystem abzugeben.

Das Wasserpotential kann mittels folgender Formel berechnet werden.

$$\Psi_w = \frac{\mu_w - \mu_w^0}{V_w}$$

μ_w: chemisches Potential von Wasser [J/mol]

μ_w^0: chemische Potential von reinem Wasser unter Standartbedingungen [J/mol]

V_w: partielles Molvolumen des Wassers [m^3/mol]

Hier einige Beispiele für verschiedene Wasserpotentiale.

Ψ in biologischen Systemen ist fast immer negativ

Ψ reines Wasser = 0 (bei Standardbedingungen)

Ψ Blätter in Pflanzen mit guter Wasserversorgung = -0,2 bis -0,6 MPa

Ψ Blätter Xerophyten = -2 bis -5 MPa

Das Wasserpotential einer Zelle setzt sich aus drei verschiedenen Potentialen zusammen.

$\Psi_\omega = P + \pi + \tau$

P ist das Druckpotential. Durch Wassereinstrom auf Grund von osmotisch wirksamen Substanzen entsteht ein hydrostatischer Überdruck (Turgordruck). Dieser steigt so lange bis er gleich dem Wanddruck W der Zellwand ist. Im Zellverband hat der so genannte Gewebedruck G Einfluss auf das Druckpotential. Je nachdem ob er ziehend oder schiebend ist beeinflusst er das Druckpotential.

$P = W \pm G$

$P_{\text{Wasser offen zur Luft}} = 0$ MPa

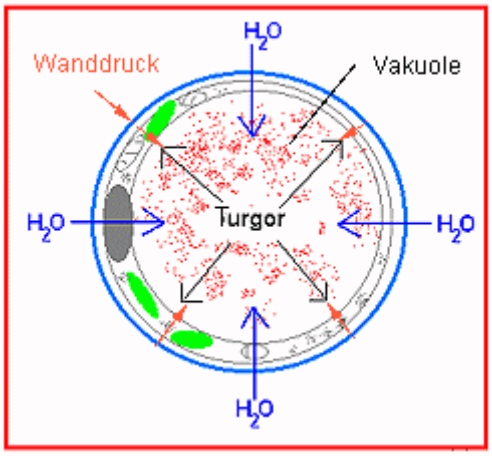


Abb.: 6 Turgeszenz einer Zelle (Biokurs 2001, Ernst Georg Beck)

Das osmotische Potential π entsteht aus der Differenz der Potentiale außerhalb der Zelle und dem des Zellinneren.

$\pi = \pi_i - \pi_a$

Er stellt den Antagonisten des Turgordrucks da.

$\pi_{\text{reines Wasser}} = 0$ MPa

Das Matixpotential τ (Tau) ist ein Maß für die Fähigkeit eines Körper zu Quellen. Dabei diffundiert Wasser in den Quellkörper und verursacht damit eine Volumenvergrößerung.

$\tau_{\text{Vakuole}} = 0$; $\tau_{\text{Wasser in Kapillaren}} < 0$

3. Regulation des Wasserhaushaltes in Pflanzen

Pflanzenzellen können im Prinzip über ihre gesamte Oberfläche Wasser aufnehmen. Nach diesem Prinzip funktioniert auch die Wasseraufnahme von Wasserpflanzen. Terrestrische Pflanzen zeigen auf Grund des Wassermangels an Land spezielle Anpassungen.

3.1 Aufnahme des Wassers an den Wurzeln

Auf Grund von osmotischen Druck, welcher durch eine hohe Salzkonzentration in den Vakuolen der Wurzelrindenzellen erzeugt wird, dringt Wasser in die Wurzelhaare ein und wird entweder über den symplastischen Weg oder den apoplastischen Weg zum Zentralzylinder geleitet.

Auf diese Weise gelangen Wasser und die darin gelösten Salze bis zur Endodermis. Die Endodermiszellen sind durch den Casparyschen Streifen (Holz und Suberin = Wachs) radial imprägniert, d.h. alles eingedrungene Wasser muß durch den Protoplasten der Endodermiszellen um in den Zentralzylinder zu gelangen.

Die Endodermis der Wurzel kontrolliert somit die Wasseraufnahme die Pflanze.

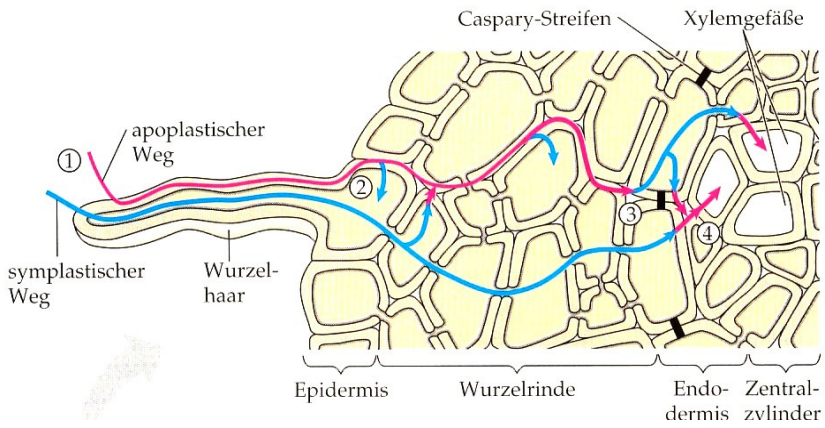


Abb.: 7 Lateraler Wasser- und Salztransport in Wurzeln (Campbell, Biologie, 2. korrigierter Nachdruck 2000, Spektrum-Verlag)

3.2 Wassertransport auf Grund des Wurzeldrucks

Auf Grund des, durch den osmotischen Druck verursachten Wassereinstroms entsteht im Zentralzylinder der so genannte Wurzeldruck. Das Wasser liegt in einer hohen Konzentration vor und muss sich ausdehnen. Da die Caspary – Streifen einen Rückfluss in den Apoplasten verhindern, kann das Wasser nur im Xylem nach oben steigen. Schneidet man eine Pflanze direkt über der Wurzel ab, so entsteht an der Querschnittsfläche ein Wassertropfen. Dies ist ein Hinweis auf den Wurzeldruck. So kann das Wasser bis auf einige Meter in die Höhe gepumpt werden.

3.3 Wassertransport auf Grund von Transpiration

Der Wurzeldruck allein reicht nicht aus um das Wasser bis in die Blätter hinauf zu transportieren. Um dies zu bewerkstelligen betreibt die Pflanze Transpiration.

Zwischen dem wasserreichen Boden und der wasserarmen Luft besteht ein großes Wasserpotentialgefälle. Die Pflanzen nutzen dies aus und bauen ein stufenförmiges Wasserpotenialgefälle auf. Hierbei gilt:

$\Psi_{Luft} < \Psi_{Blatt} < \Psi_{Xylem} < \Psi_{Wurzel} < \Psi_{Erdboden.}$

Diesem Gefälle folgt der Wasserstrom (Transpirationsstrom). Es entsteht eine Art Saugkraft, die das Wasser nach oben saugt. Diese entsteht an den Blättern durch Wasserabgabe. Dies kann entweder durch Guttation, in Form von Wassertröpfen oder durch Transpiration, in Form von Wasserdampf erfolgen. Die Transpiration kann auf zwei Arten erfolgen:

Bei der stomatären Tranpiration erfolgt die Wasserabgabe an der Blattunterseite über die Stomata. Ein Blatt mit der Fläche von ca. 50 cm^2 wie z. B. von Kirschlorbeer (**Prunus laurocerasus**) besitzt ca. 195 000 Stomata (1% der Blattfläche).

Unten ist die Blattunterseite von **Tradescantia spec.** zu sehen. Die Stomata sind regelmäßig über die Blattunterseite verteilt. Gut zu sehen ist der Spaltöffnungsapparat bestehend aus bohnenförmigen Schließzellen und 2 Nebenzellen.

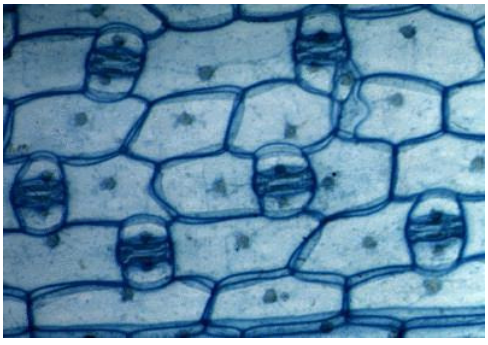


Abb.: 8 Blattunterseite von *Tradescantia spec*. (Biokurs 2001, Ernst Georg Beck)

Durch die Stomata wird der Transpirationsstrom reguliert. In den Interzellularräumen herrscht ein höheres Wasserpotential als in der Luft. Durch die geöffneten Spaltöffnungen kann ein Austausch des Wassers erfolgen. Wird der Pflanze der Wasserverlust durch die Transpiration zu groß so schließt sie die Spaltöffnungen wieder.

Die zweite Form ist die cuticuläre Form. Hierbei kann die Pflanze nicht regulierend eingreifen. Das Wasser diffundiert auf Grund des Konzentrationsgefälles zwischen Blattinnenraum und Luft durch die Epidermis und Cuticula nach außen. Um diesen Wasserverlust zu minimieren haben manche Pflanzen eine Wachsauflagerung auf die Epidermis oder eine Verkorkung entwickelt.

4. Der Abstiegstransport

Der Transport der nun im Phloem vorhandenen Zucker erfolgt gemäß der **Druckstromhypothese.**

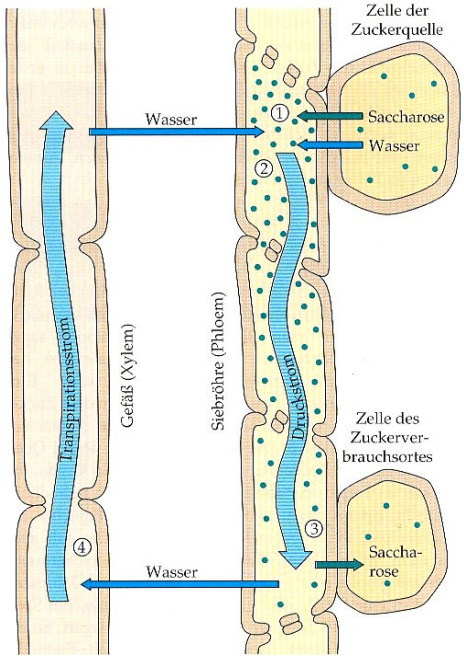


Abb.: 9 Druckstrom und Transpirationsstrom (Campbell, Biologie, 2. korrigierter Nachdruck 2000, Spektrum-Verlag)

Durch die Beladung des Phloems mit Zuckern an den Produzentengeweben (**source**) sind dort viele osmotisch aktive Metabolite vorhanden, so dass Wasser aus dem Xylem in die Zellen einströmt und der Turgor steigt. An den Verbrauchsgeweben (**sink**) hingegen erfolgt die Entnahme der Zucker (apoplasmatisch oder symplasmatisch). Die Folge davon ist, dass Wasser zurück ins Xylem strömt und der Turgor sinkt. Diese Unterschiede im Turgor führen zu einer Massenströmung des Siebröhreninhalts von **source-to-sink.**

5. Die Pfeffersche Zelle

Die Pfeffersche Zelle ist wie folgt aufgebaut:

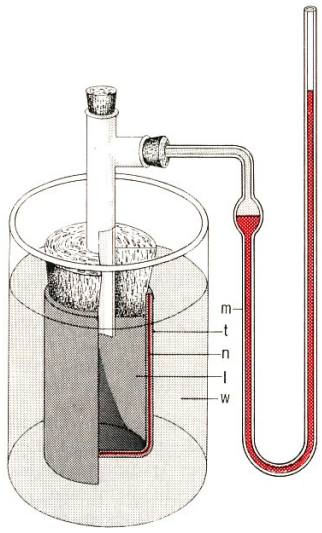


Abb.: 10 Pfeffersche Zelle (Nultsch, Allgemeine Botanik, 10. Auflage, 1996, Thieme Verlag)

m = Quecksilbermanometer

t = Tonzylinder

n = Niederschlagsmembran

l = zu messende Lösung

w = Wasser

Mit Hilfe der Pfefferschen Zelle kann der osmotische Druck in einer Pflanzenzelle simuliert und gemessen werden. Der Glaszylinder ist mit Wasser oder einem anderen Lösungsmittel gefüllt. In den Tonzylinder wird eine osmotisch aktive Substanz z.B. Zucker gefüllt. In dem Zylinder ist die Lösung nun hyperosmotisch im Vergleich zum Außenraum. Auf Grund des niedrigeren Wasserpotentials innen strömt durch die semipermeable Niederschlagsmembran Wasser in den Tonzylinder. Dadurch steigt die Wassersäule im Steigrohr an bis ihr Druck im Steigrohr gleich dem osmotischen Druck ist. Überträgt man nun den Versuchsaufbau auf eine Pflanzenzelle so ist die Flüssigkeit im Glaszylinder gleich der Flüssigkeit im Apoplasten. Die Niederschlagsmembran entspricht dem Plasmalemma des Protoplasten (Tonzylinder). Der Zucker stellt die osmotisch aktiven Substanzen in der Vakuole da und der Anstieg der Wassersäule im Steigrohr entspricht dem Turgordruck auf die Zellwand.

B) Material und Methoden

2.1 Bestimmung des Wasserpotentials durch Grenzplasmolyse

Zunächst wurde eine 1M Saccharose-Stammlösung hergestellt. Dazu wurden auf 51,3 g Saccharose, 150 ml demineralisiertes Wasser gegeben. Im folgenden wurden Petrischalen vorbereitet, in die unterschiedliche Mengen dieser Stammlösung gegeben wurden. Nachdem das Volumen in allen Petrischalen mit Wasser auf 30 ml normiert wurde, wurde eine Kartoffel (*Solanum tuberosum*) in Scheiben von etwa 3 g geschnitten. Diese Scheiben wurden, nachdem sie genau abgewogen wurden, in die unterschiedlich konzentrierten Saccharose-Lösungen gelegt und für 2 h inkubiert. Nach dieser Inkubation wurde das Gewicht nochmals ermittelt. Anhand der Änderung des Gewichtes kann nun näherungsweise das Wasserpotential der Kartoffelknolle bestimmt werden.

2.2 Bestimmung des osmotischen Potentials durch Grenzplasmolyse

Es wurden von der Blattunterseite von der Bootsblume *Rhoeo spataceae* dünne Schnitte angefertigt, so dass möglichst nur eine Zellschicht abgetrennt wurde. Diese Blattschnitte wurden 20 min in unterschiedlich konzentrierten Salzlösungen (KNO_3) auf einem Objektträger inkubiert. Die unterschiedlichen Kaliumnitratlösungen wurden zuvor aus einer 0,5 M Stammlösung hergestellt. Nach der Inkubation wurden die Proben mikroskopiert und mittels einer Okularskala auf ihre Länge und Breite untersucht. Es wurden exemplarisch bei jeder Verdünnung 3 Zellen vermessen, sowie bei vorhandener Plasmolyse die Größe des Protoplasten bestimmt. Aus dem Verhältnis der Volumina von Zellwand zu Protoplast kann nun das osmotische Potential der Zelle ermittelt werden.

C) Ergebnisse

3.1 Bestimmung des Wasserpotentials durch Grenzplasmolyse

In der folgenden Tabelle 1 ist das Gewicht der Kartoffelscheiben vor und nach der Inkubation festgehalten, sowie die Konzentrationen der Saccharoselösung, in der die Scheiben inkubiert wurden.

Tab.1: Gewicht der Kartoffelscheiben

Saccharosekonzentration [mol/l]	Gewicht vor Inkubation [g]	Gewicht nach Inkubation [g]	prozentuale Gewichtsänderung
0	2,9996	3,9199	30,68
0,05	2,9404	3,6869	25,39
0,1	2,9575	3,4702	17,34
0,15	3,0391	3,4515	13,57
0,2	2,977	3,2498	9,16
0,25	3,0385	3,2646	7,44
0,3	2,9113	3,0285	4,03
0,35	3,0675	3,1645	3,16
0,4	3,058	2,955	-3,37
0,45	2,9302	2,2564	-23,00
0,5	3,1154	2,9819	-4,29
0,55	2,9681	2,5259	-14,90
0,6	3,0818	2,5035	-18,77

Im folgenden Diagramm wurde die prozentuale Gewichtsänderung gegen die Saccharosekonzentration aufgetragen.

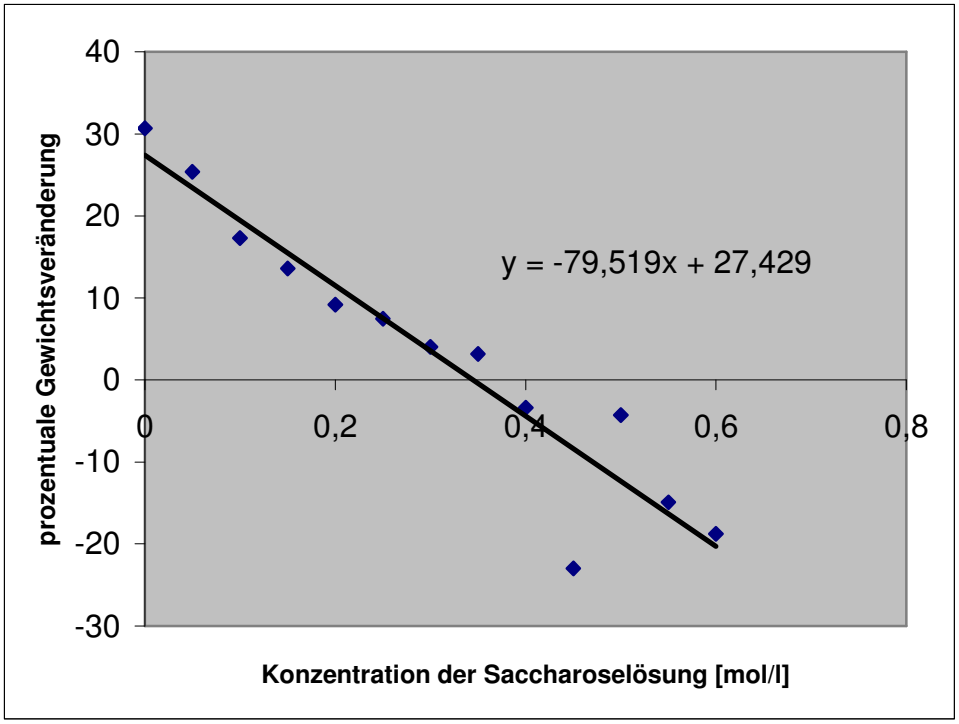


Abb.: Konzentration und prozentuale Gewichtsänderung

Setzt man nun die Gleichung der Regressionsgeraden gleich null, so lässt sich das Wasserpotential berechnen:

$$-79{,}519x + 27{,}429 = 0 \rightarrow x = 0{,}345$$

Dieser Wert entspricht nun der Konzentration, bei der kein Nettostrom mehr stattfindet.

Das Wasserpotential berechnet sich dann wie folgt:

$$\Psi_W = -c * R * T = -0{,}345 \frac{mol}{l} * 8{,}314 \frac{J}{molK} * 295K = -750{,}5 \frac{J}{l} = -750500 \frac{J}{m^3} =$$
$$-750500Pa = -0{,}7505MPa = -7{,}505bar$$

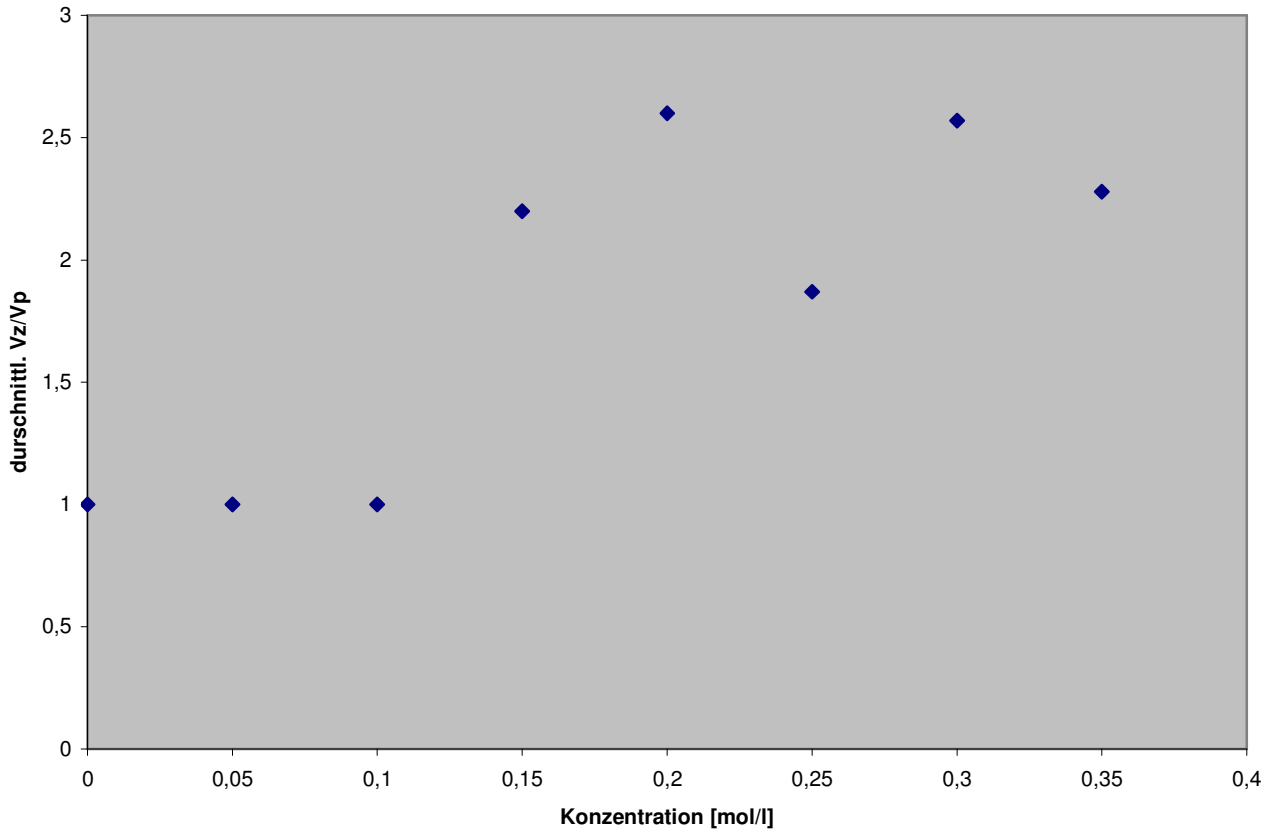
3.2 Bestimmung des osmotischen Potentials durch Grenzplasmolyse

In der folgenden Tabelle 2 sind die Ergebnisse der Rhoeo-Schnitte dargestellt. Aus der Länge und der Breite der Zellen und der Protoplasten wurde das Zell- bzw. Protoplastenvolumen berechnet, gemäß der Formel: $V = \pi*(b/2)^2*l$.

Tab. 2: Ergebnisse der Plasmometrie

c(KNO3) in [mol/l]	%-Anteil plasmolysierter Zellen	Zellbreite	Zelllänge	Protoplasten-länge	Protoplasten-breite	Zellvolumen Vz	Protoplasten-volumen Vp	Vz/Vp	Ø Vz/Vp
0,00		1,00	1,10	1,10	1,00	0,86	0,86	1,00	
	0,00	1,00	1,50	1,50	1,00	1,18	1,18	1,00	1,00
		1,10	1,50	1,50	1,10	1,43	1,43	1,00	
0,05		1,00	1,10	1,10	1,00	0,86	0,86	1,00	
	0,00	1,00	1,60	1,60	1,00	1,26	1,26	1,00	1,00
		1,20	1,50	1,50	1,20	1,70	1,70	1,00	
0,10		1,00	1,10	1,10	1,00	0,86	0,86	1,00	
	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,79	0,79	1,00	1,00
		1,00	1,20	1,20	1,00	0,94	0,94	1,00	
0,15		1,70	1,50	1,40	1,00	3,40	1,10	3,10	
	10,00	1,00	1,50	1,20	0,90	1,18	0,76	1,54	2,20
		1,50	1,50	1,20	1,20	2,65	1,36	1,95	
0,20		1,00	1,20	1,00	0,80	0,94	0,50	1,88	
	30,00	1,00	1,70	0,70	0,80	1,34	0,35	3,79	2,60
		0,80	1,50	0,70	0,80	0,75	0,35	2,14	
0,25		1,00	1,10	0,50	1,00	0,86	0,39	2,20	
	60,00	1,00	2,10	1,70	1,00	1,65	1,34	1,24	1,87
		1,00	1,30	0,60	1,00	1,02	0,47	2,17	
0,30		1,00	1,10	0,30	1,00	0,86	0,24	3,67	
	80,00	1,00	1,40	0,60	1,00	1,10	0,47	2,33	2,57
		1,00	1,20	0,70	1,00	0,94	0,55	1,71	
0,35		1,00	1,30	1,30	0,60	1,02	0,37	2,78	
	90,00	1,30	1,10	0,90	1,00	1,46	0,71	2,07	2,28
		1,00	1,40	0,70	1,00	1,10	0,55	2,00	

Die Konzentration der KNO_3-Lösung wurde in folgender Graphik 2 gegen das durchschnittliche Verhältnis von Zellvolumen zu Protoplastenvolumen aufgetragen.



Graphik 2: Auftragung von V_Z/V_P gegen die KNO_3-Konzentration

Überschreitet das Verhältnis von V_Z/V_P den Wert 1, so ist die Grenzplasmolyse erreicht und die Konzentration der KNO_3-Lösung entspricht in etwa der Konzentration des Zellsaftes. Aus der Graphik abgelesen ergibt sich hierfür ein Wert zwischen 0,1 und 0,15mol/l.

D) Diskussion

4.1 Bestimmung des Wasserpotentials durch Grenzplasmolyse

In Tabelle 1, sowie in Graphik 1 ist zu erkennen, dass das Gewicht der Kartoffelscheiben bis zu einer Saccharosekonzentration von 0,35 mol/l zunahm. Die prozentuale Gewichtszunahme wurde jedoch mit zunehmender Konzentration geringer. Ab einer Konzentration von 0,4 mol/l verloren die Kartoffelscheiben während der Inkubation an Gewicht. Je höher die Konzentration wurde, desto mehr Gewicht verloren sie.

Diese Ergebnisse sind dadurch zu erklären, dass die Kartoffelscheiben sich bis zu einer Konzentration von 0,35 mol/l in einer hypotonischen Lösung befanden, d.h. die Anzahl osmotisch wirksamer Teilchen war in der Außenlösung geringer. Dadurch kommt es zu einem Wassereinstrom in die Zellen und sie nehmen an Gewicht zu. Die Regressionsgerade zeigte, dass der Wert bei 0,35 mol/l etwas zu hoch liegt. Daher ergibt die Berechnung des Wertes, bei dem kein Nettostrom stattfindet 0,345 mol/l. An diesem Punkt ist die Konzentration an osmotisch aktiven Teilchen innen gleich außen. Das heißt, dass auch keine Gewichtsveränderung zu beobachten ist. Daher kann die Gleichung der Regressionsgeraden aus Graphik 1 gleich null gesetzt werden. Der erhaltene Wert kann dann als Konzentration, bei der kein Nettostrom stattfindet, in die allgemeine Gasgleichung eingesetzt werden, wodurch man das Wasserpotential erhält.

Dass die prozentuale Gewichtszunahme bis 0,35 mol/l abnimmt ist dadurch zu erklären, dass das Wasserpotential der Außenlösungen kontinuierlich abnimmt. In reinem Wasser ist der Konzentrationsunterschied zwischen Kartoffel und Inkubationslösung am größten, das bedeutet, dass bis zum Gleichgewicht am meisten Wasser in die Kartoffel einströmen muss und somit die Gewichtszunahme am größten ist.

Ab 0,4 mol/l befindet sich die Kartoffel in einem hypertonischen Medium, was zur Folge hat, dass Wasser aus der Knolle in das Außenmedium strömt, was zu einem Gewichtsverlust führt. Mit steigender Konzentration nimmt die Plasmolyse kontinuierlich zu. Das bedeutet, dass der Zellschlauch sich mehr und mehr von der Zellwand löst, da Wasser aus der Vakuole ausströmt, wodurch der Turgor sinkt.

4.2 Bestimmung des osmotischen Potentials durch Grenzplasmolyse

In diesem Versuchsteil ergab sich ein osmotischer Wert zwischen 0,1 und 0,15 mol/l. Dies bedeutet, dass bei dieser Konzentration zwischen Außenmedium und Innenmedium kein Nettostrom stattfindet.
Ermittelt wurde dieser Wert dadurch, dass unter dem Mikroskop Blattschnitte betrachtet wurden und die das Verhältnis von Zellvolumen zu Protoplastenvolumen bestimmt wurde. Bis zu einer KNO_3-Konzentration von 0,1 mol/l war keine Ablösung des Protoplasten von der Zellwand zu erkennen, was bedeutet, dass die Zelle hypertonisch gegen dem Außenmedium war. Das Volumen des Protoplasten stimmt bis zu dieser Konzentration mit dem Zellvolumen überein. Überschritt die Konzentration diesen Wert jedoch, so konnte eine Ablösung des Protoplasten erkannt werden. Das bedeutet, dass ab dieser Konzentration das Wasserpotential der Zellen größer war, als das der Außenlösung, was einen Wasserausstrom zur Folge hat.
Die schwankenden Werte in der Graphik 2 sind dadurch zu erklären, dass bei jeder Konzentration nur 3 Zellen exemplarisch ausgemessen wurden, wodurch statistische Schwankungen auftreten können.

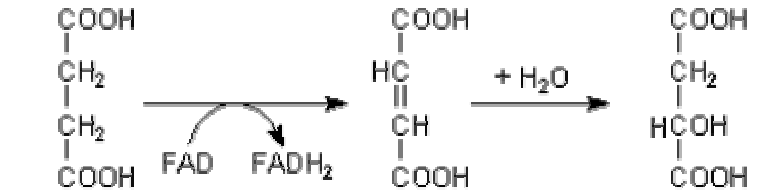
E) Fragen

1. Welche osmotisch wirksamen Moleküle kommen in der Vakuole vor?

anorganische Ionen (Cl^-, K^+), organische Säuren (Oxalsäure), Zucker (Saccharose), Aminosäuren,

2. An welchen großen Gruppen von biochemischen Reaktionen ist Wasser als Substrat beteiligt?

Wasser dient bei der bei der Photosynthese als Substrat.
Die Reaktionsgleichung lautet: $6CO_2 + 12\ H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$
Wichtig sind auch noch die Hydrolyse-Reaktionen bei der Verdauung, bei denen Moleküle wie Lipide, Kohlenhydrate und Proteine hydrolytisch gespalten werden.
Ein anders Beispiel kommt aus dem Citronensäurecyclus. Eine organische Verbindung (Bernsteinsäure) wird biochemisch oxidiert, indem durch Oxidationsmittel wie NAD^+ sowie FAD oder FMN zwei Wasserstoffatome abgespalten werden. An die resultierende Doppelbindung (Fumarsäure) wird im nächsten Schritt Wasser addiert. Daraus resultiert die Äpfelsäure.



3. In welchen Punkten kann die Pfeffersche Zelle mit einer Pflanzenzelle verglichen werden?

Überträgt man die Pfeffersche Zelle auf eine Pflanzenzelle so entspricht die Flüssigkeit im Glaszylinder der Flüssigkeit im Apoplasten. Die Niederschlagsmembran und der Tonzylinder entsprechen dem Plasmalemma und dem Protoplasten. Der Zucker stellt die osmotisch aktiven Substanzen in der Vakuole da und der Anstieg der Wassersäule im Steigrohr entspricht dem Turgordruck auf die Zellwand.

4. Warum können Bäume nicht höher als ungefähr 140 m werden?

Wasser und wässrige Lösungen besitzen eine Kohäsion (Zerreißfestigkeit) von ca. 3,5 MPa (35 bar). Außerdem haften wässrige Lösungen an Cellulose- und Holzgefäßwänden (Adhäsion). Beide Eigenschaften sind durch die Wasserstoffbrücken im Wasser bzw. durch die polaren Eigenschaften des Wassers zu erklären. Die *Kohäsion* wirkt sich um so mehr aus, je höher die Wassersäule ist, also um so größer der Gewichtsdruck ist. Der durch die Gravitation verursachte Gewichtsdruck wirkt der Kohäsion entgegen. *Kohäsion* und *Adhäsion zusammen* bewirken die Kapillarkraft, die dafür sorgt, daß sich Wasser in Kapillaren hochsaugt. Beide sind auch für den relativ starken Reibungswiderstand verantwortlich, der beim ständigen Durchfluß von Wasser in den Gefäßen entsteht. Er beträgt ca. 0,02 MPa/m. Der Gewichtsdruck ist ca. 0,01 MPa/m. Mit den drei genannten Werten kann man eine maximale Wachstumsgrenze berechnen. 3,5 MPa Kohäsion könnten eine Wassersäule auf 350 m heben (0, 1 MPa = 10 m). Jedoch muß davon ein beträchtlicher Teil für die Überwindung der Reibung aufgewendet werden. Nimmt man einen Reibungswiderstand von ca. 0,02 an, sind dies bei 120 m ca. 2,3 MPa. Die Differenz zu 3,5 MPa beträgt 1,2 MPa zur Überwindung der Gravitation.

F) Literaturangaben

- Campbell, Biologie; Auflage 2002, Spektrum Verlag
- Hess, D.; Pflanzenphysiologie, 8. Auflage 1998; UTB Ulmer
- Knippers, Rolf; Moelkulare Genetik, 8. Auflage 2001; Thieme Verlag
- Lewin, Benjamin; Genes VIII; 8.Auflage 2004; Pearson Prentice Hall,
- Strassburger; Lehrbuch der Botanik, 35. Auflage 2002 ; Spektrum Verlag
- Skript zum Grundpraktikum Pflanzenphysiologie und Molekulare Botanik; Sommersemester 2005