

WS 2005/06: Pflanzenökologie

Teil: Mineralstoffhaushalt

- (1) Der Boden als Substrat für Pflanzen
- (2) Vorkommen und Verfügbarkeit von Nährstoffen (NS) im Boden
- (3) Aufnahme von NS durch die Pflanze: Makro- und Mikro-Nährelemente
- (4) NS-Transport in der Wurzel und der Ferntransport der NS
- (5) Aufnahme und Assimilation von N, S und P
- (6) Besonderheiten des Mineralstoffwechsels (NS-Mangel, pH, Salinität, Schwermetalle)

Makro- und Mikronährelemente

Nährelemente

C H O

kommen aus
CO₂, O₂, H₂O
(z. T. aus HCO₃⁻)

N P S

kommen aus
anorganischen
Ionen

K⁺ Ca²⁺ Mg²⁺

liegen in Form
freier Ionen oder
gebunden an organi-
sche Moleküle vor

Elemente organisch chemischer Verbindungen

Spurenelemente

B, Cl, Cu, Mn, Fe, Zn, Mo. Bestimmte Pflanzen benötigen auch Si, Co, Se. Im Gegensatz zu Tieren brauchen die Pflanzen in der Regel kein Na⁺.

Funktionen von essentiellen Elementen in der Pflanze -1

- B: Wichtig für das Wachstum von Meristemen. Eventuell dient es der Orientierung von Proteinen in Membranen.
- N: Bestandteil aller Aminosäuren und damit von Proteinen und von Purin- und Pyrimidinbasen in Nucleinsäuren und Coenzymen.
- Mg: Bestandteil von Chlorophyll. Wichtig für ATP-abhängige Reaktionen, da ATP nur in Form des Mg-ATP-Komplexes reagiert. Gegenion von $-\text{COO}^-$ -Gruppen der Zellwandpectine.
- P: Als PO_4 -Gruppe für eine Unzahl phosphorylierter Verbindungen im Stoffwechsel wichtig. Bestandteil der Nucleinsäuren und Phospholipide.
- S: Bestandteil bestimmter Aminosäuren und damit von Proteinen und von Coenzymen (Coenzym A, Biotin, Liponsäure, Ferredoxin) und Sulfolipiden.
- K: Hohe K^+ -Konzentrationen im Cytoplasma (mindestens 50 mM) sind Voraussetzung für Enzymfunktionen; wichtig für die Osmoregulation (u. a. beim Streckungswachstum) und als Osmotikum bei nastischen Turgorbewegungen.

Funktionen von essentiellen Elementen in der Pflanze -2

- Ca: Gegenion von $-\text{COO}^-$ -Gruppen der Zellwandpectine; wichtig für die Integrität von Lipoproteinmembranen und damit für die Zellorganisation. Regulation zellphysiologischer Vorgänge.
- Mn: Cofaktor von Enzymen des Zitronensäure-Zyklus und bei der photosynthetischen O_2 -Entwicklung.
- Fe: Bestandteil von Porphyrinen, den prosthetischen Gruppen verschiedener Enzyme (Häm-Eisen: Cytochrome, Katalase, Peroxidase, Leghämoglobin) und anderer Enzymproteine (Nicht-Häm-Eisen: Ferredoxin, Nitrogenase). Wichtig für die Chlorophyllsynthese.
- Cu: Bestandteil von Enzymen, besonders der Cytochromoxidase und des Plastocyanins als Redoxsystem der Thylakoide.
- Zn: Bestandteil einer großen Zahl von Enzymen.
- Mo: Bestandteil von Enzymen des N-Stoffwechsels: NO_3 -Reduktase, Nitrogenase.

Der Kationenhaushalt

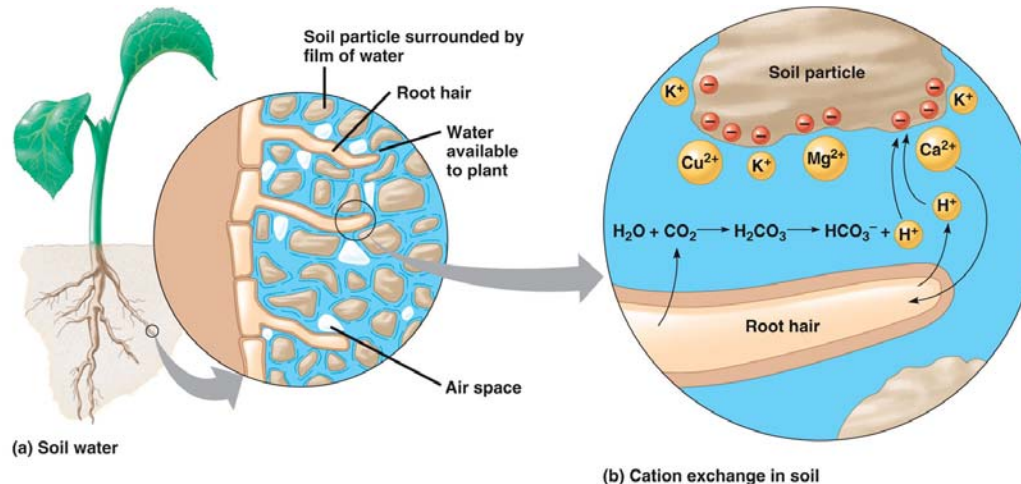
Verfügbarkeit von Nährstoffen

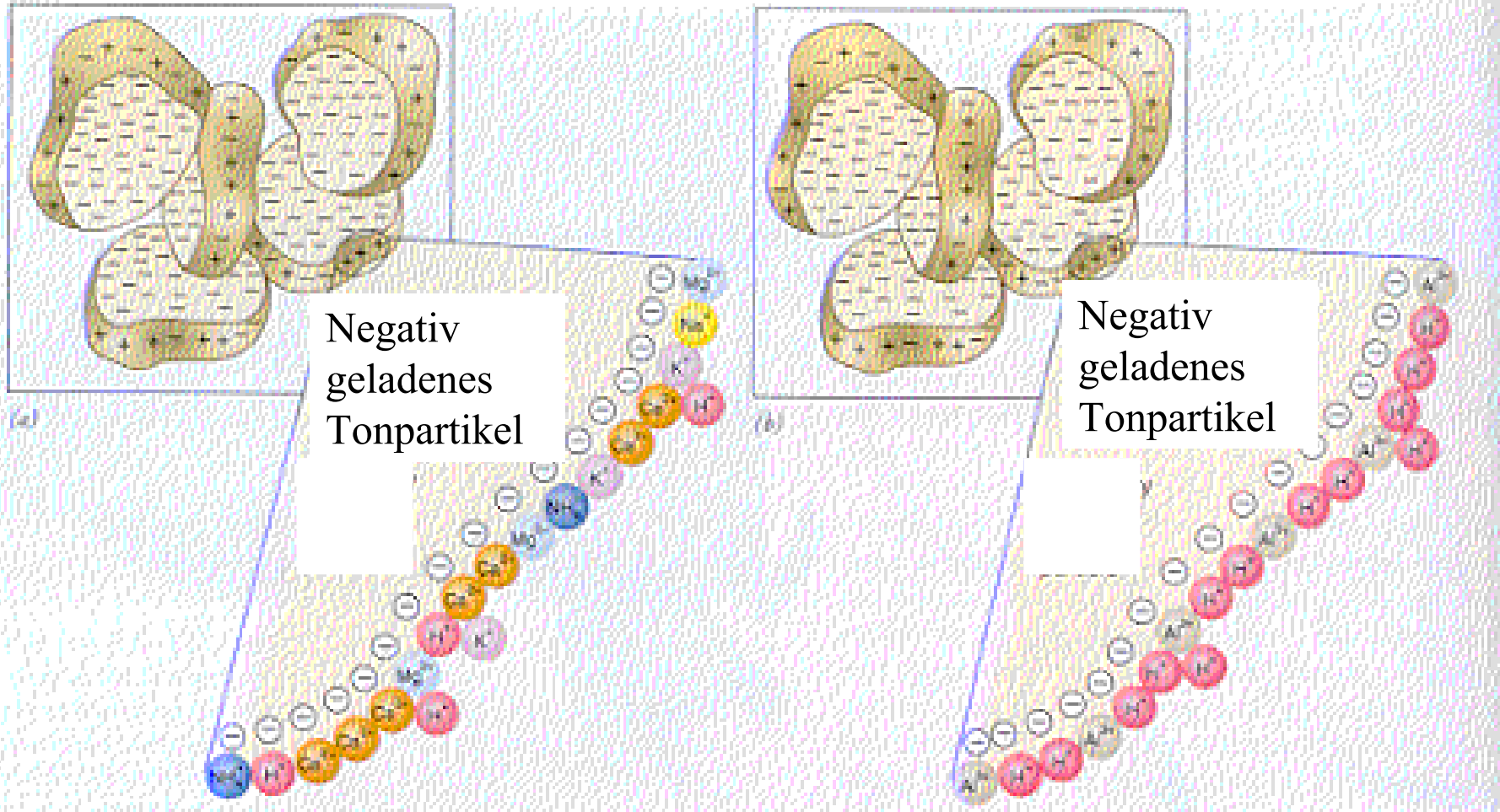
Die meisten NS sind als Ionen im Boden verfügbar, sind zum in der Bodenlösung gelöst oder aber an Bodenpartikel gebunden.

Kationen – z.B. K^+ , Ca^{2+}

Anionen – z.B. NO_3^- oder SO_4^{2-} .

Mobilität: Neben ihrem Vorkommen ist die Mobilität der Nährionen wichtig. Die Ionen in der Bodenlösung sind sehr mobil. $H_2PO_4^-$ bildet oft unlösliche Niederschläge und ist daher relativ immobil.





In **normal soil**, positively charged nutrient mineral ions are attracted to the negatively charged soil particles

In **acidified soils**, hydrogen ions displace the cations. Aluminum ions released when the soil becomes acidified also adhere to soil

Die Bodenazidität ändert die Bodenchemie.

Rolle des Boden-pH bei der Bodenbildung und bei der Verfügbarkeit von Ionen für die Pflanze

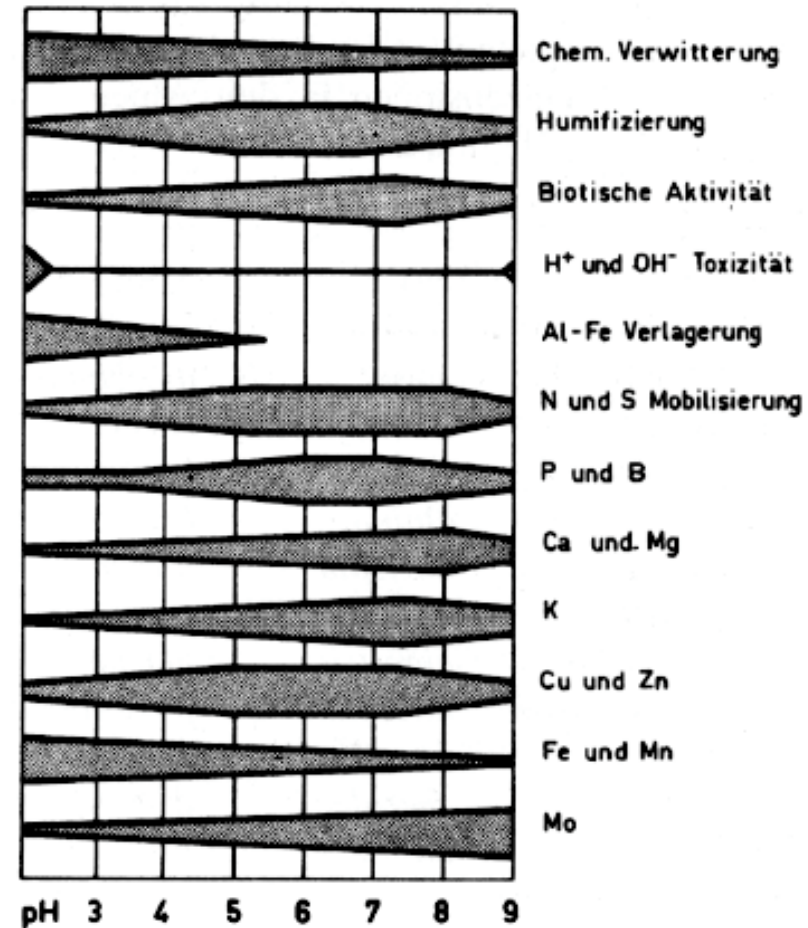
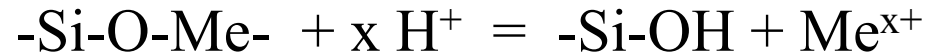


Abb. 3.20. Einfluß der Bodenreaktion auf die Bodenbildung, die Freisetzung und Verfügbarkeit von mineralischen Nährstoffen und auf die Lebensbedingungen im Boden. Die Breite der Bänder gibt die Intensität der Vorgänge bzw. die Verfügbarkeit der Nährstoffe an. Nach TRUOG aus SCHROEDER (1969), verändert.

Bei der **Hydrolyse der Tonminerale** (Alumosilikate) werden Si-O-Me - Bindungen gesprengt, und es entstehen Me^{x+} -Kationen:

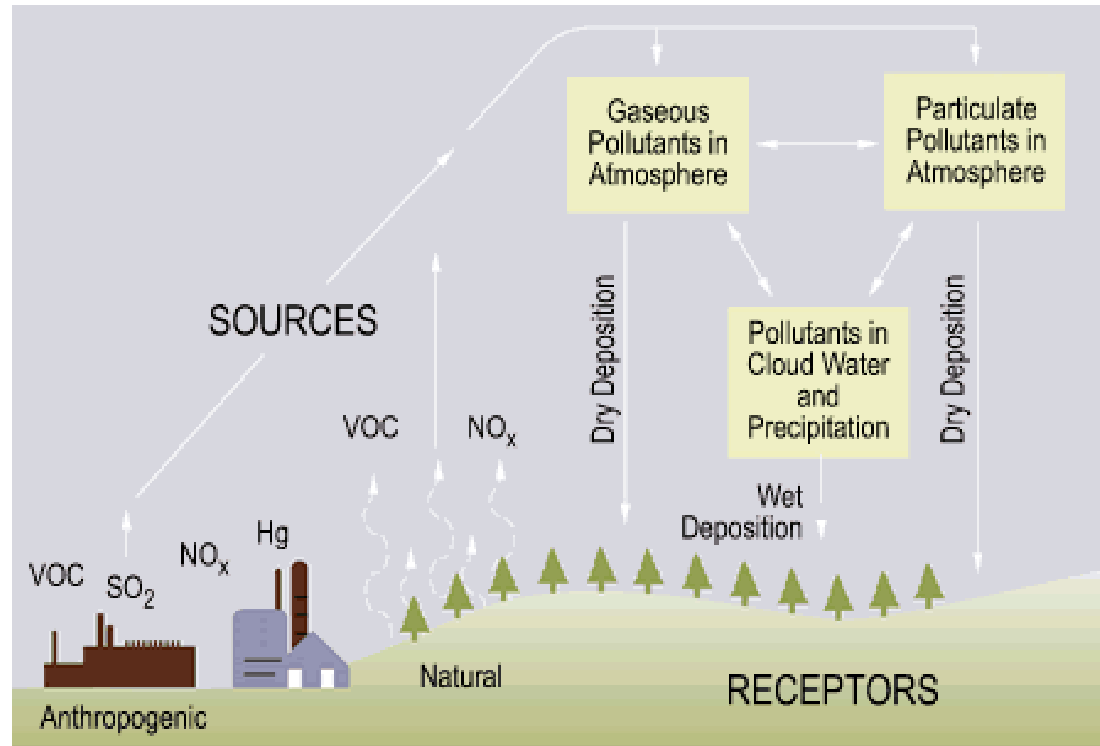


Hierbei ist $\text{Me}^{x+} = \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Al}^{3+}, \text{Ca}^{2+}, \text{Mn}^{x+}, \text{Mg}^{2+}$ usw.

Die Hydrolyse (Protolyse) wird durch **niedrigen pH** gefördert. Es entstehen z.T. toxische Spezies, wie das Al^{3+} und seine weniger stark hydratisierten Komponenten:

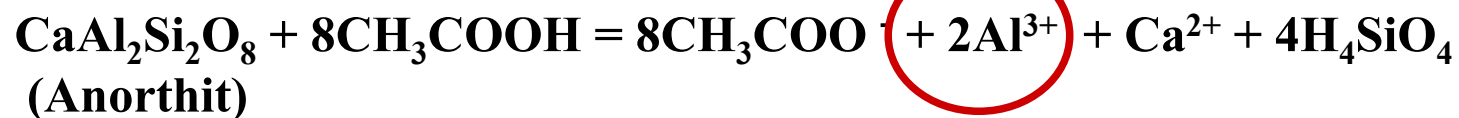
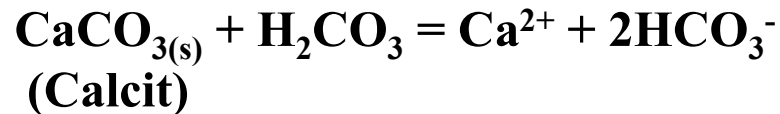
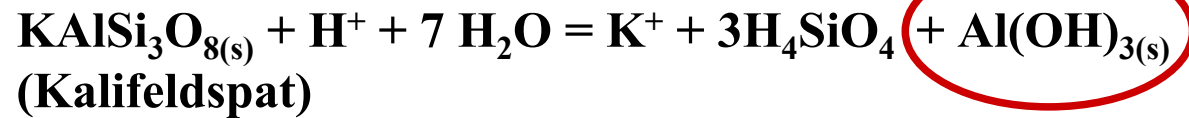
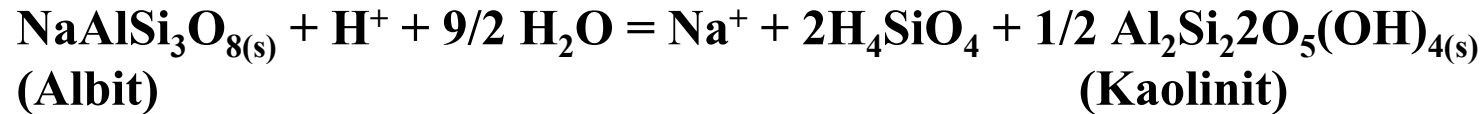
→ Aluminiumtoxizität durch sauren Regen

Origin of Acid Rain



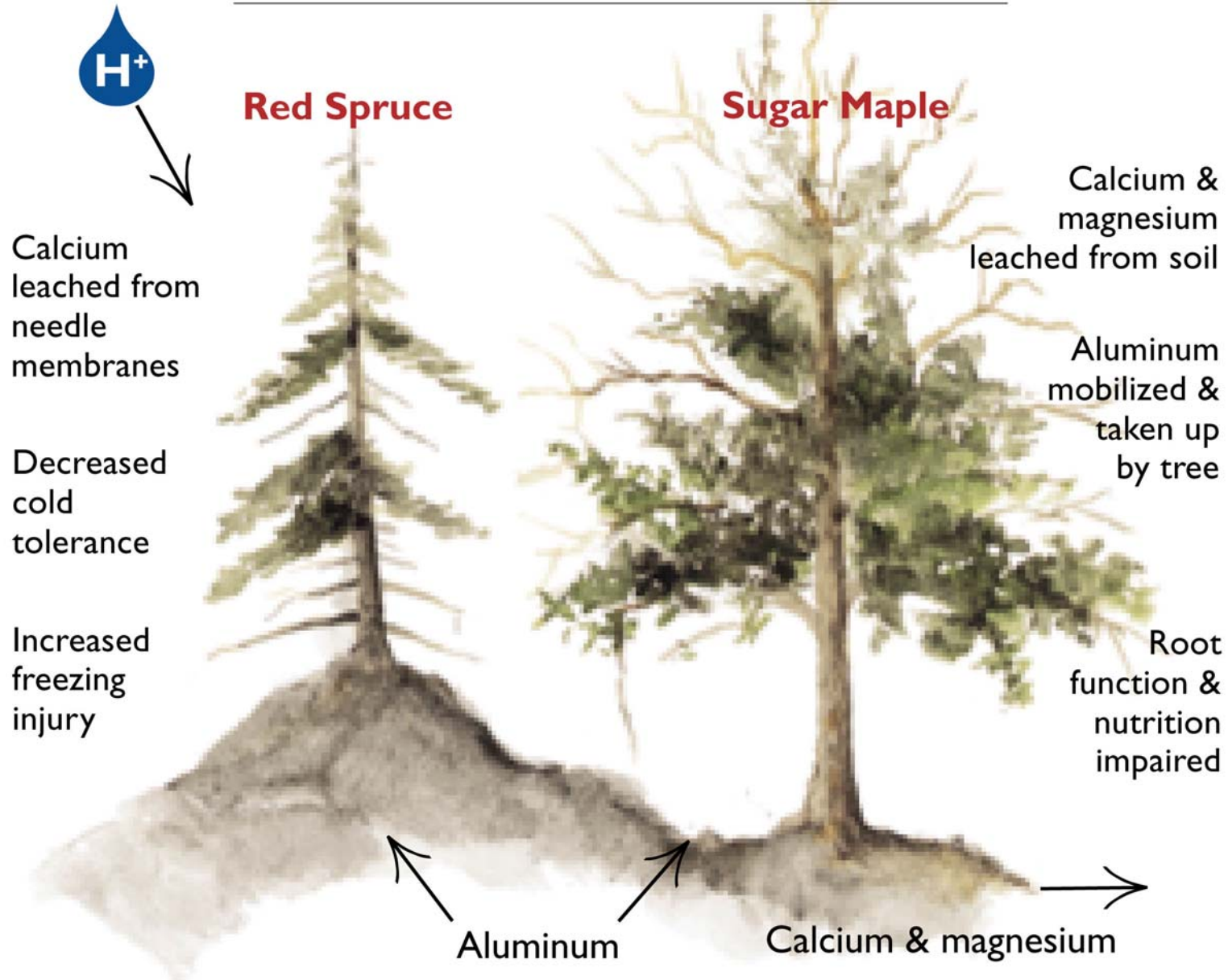
- Both natural and anthropogenic sources exist
- VOC = volatile organic carbon
- Hg = mercury
- SO₂ = sulfur dioxide
- NO_x = Nitrogen oxid gases

Beispiele für Mineralverwitterungen:



Die Verwitterung erfolgt durch Hydrolyse und Protolyse z.B. in Gegenwart eines sauren Milieus (organischer Säuren oder saurer Niederschläge).

ACID DEPOSITION EFFECTS ON TREES



Warum ist Al^{3+} toxisch?

- (1) Weil Al^{3+} das Ca^{2+} auf der Membranoberfläche ersetzt und
- (2) weil es Ca^{2+} und Mg^{2+} in der Zellwand ersetzt! Im letzteren Fall wird die Extensibilität der Zellwände (Wachstum) stark eingeschränkt.
- (3) Weil Al^{3+} im Cytosol (Eindringen über Mg^{2+} -Kanäle?) vor allem Mg^{2+} und Fe^{2+} ersetzt und die Regulation des cytosolischen Ca^{2+} -Spiegels stört.
- (4) **Al-Resistenz durch Vermeidung oder Toleranz:**
Exkretion von Chelatoren (Malat). Vermehrte Bildung von Pektin. Fällung in der Rhizosphäre etc.

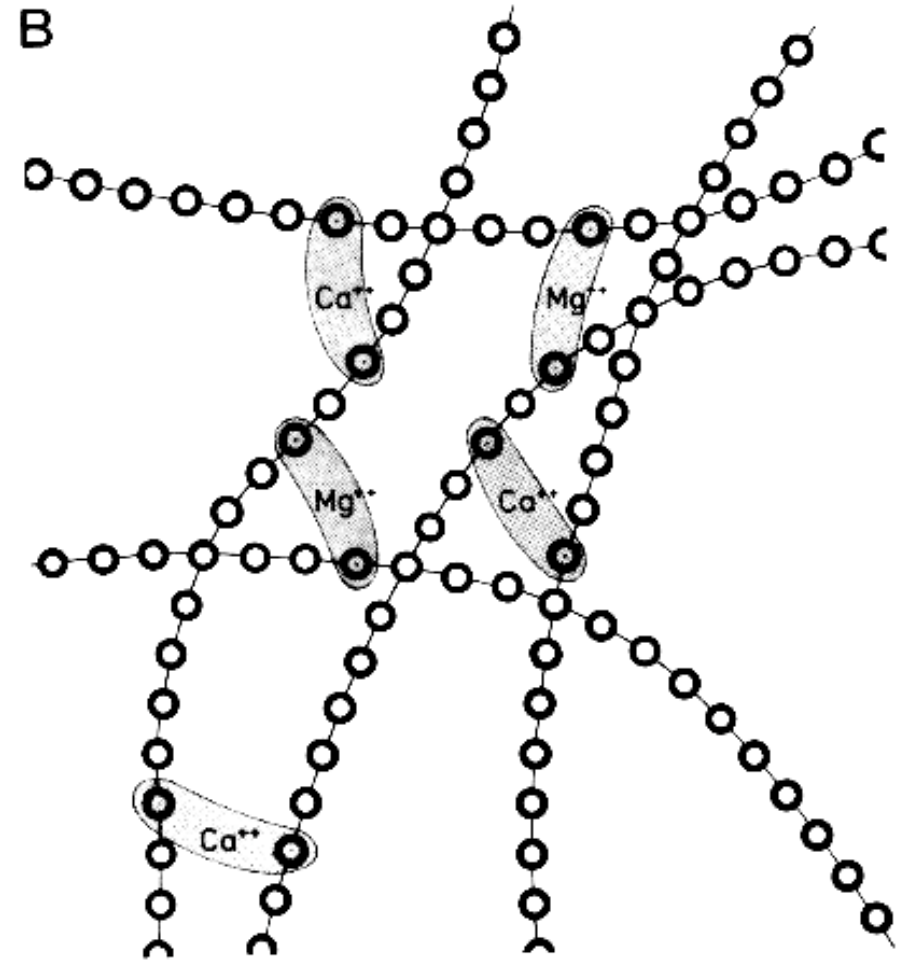
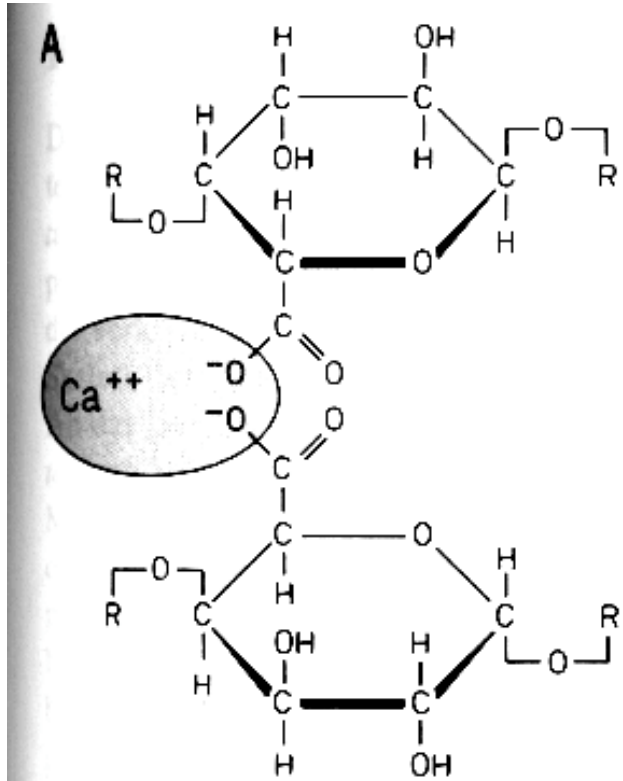
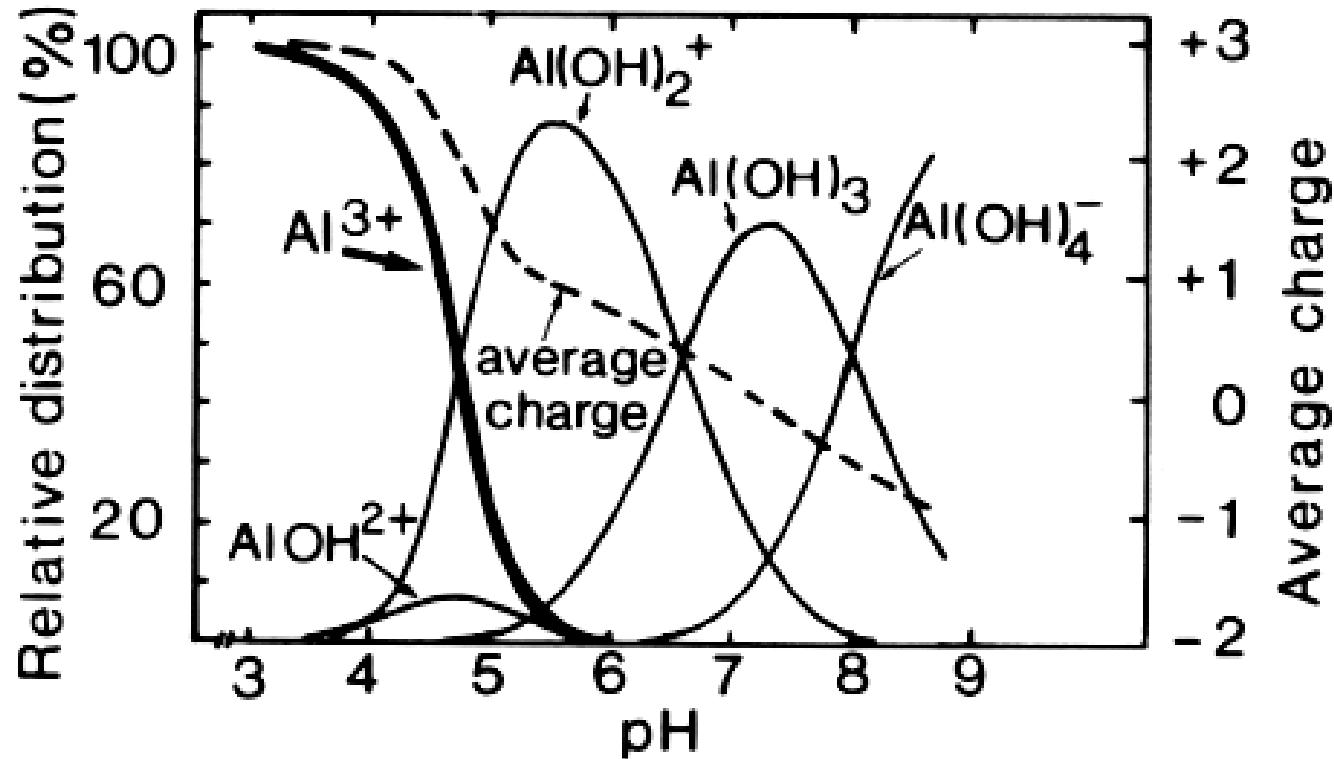


Abb. 10-2. (A) Ionenbindung (dunkles Feld) zwischen zwei Galacturonsäure-Molekülen unter Beteiligung eines Calcium-Ions. Der Rest R bedeutet eine Polygalacturonsäure-Kette. (B) Vernetzung von Polygalacturonsäure-Ketten durch Ionenbindungen im Pectin.

Verteilung verschiedener Al-Ionen-Spezies in Abhängigkeit vom pH

Marschner, 1995



Relative distribution and average charge of soluble aluminum as a function of pH. (Modified from Marion *et al.*, 1976.)

Auch polynukleare Formen wie etwa $[\text{AlO}_4\text{Al}_{12}(\text{OH})_{24}(\text{H}_2\text{O})_7]^{7+}$

Kationenaustauschkapazität in Abhängigkeit vom pH

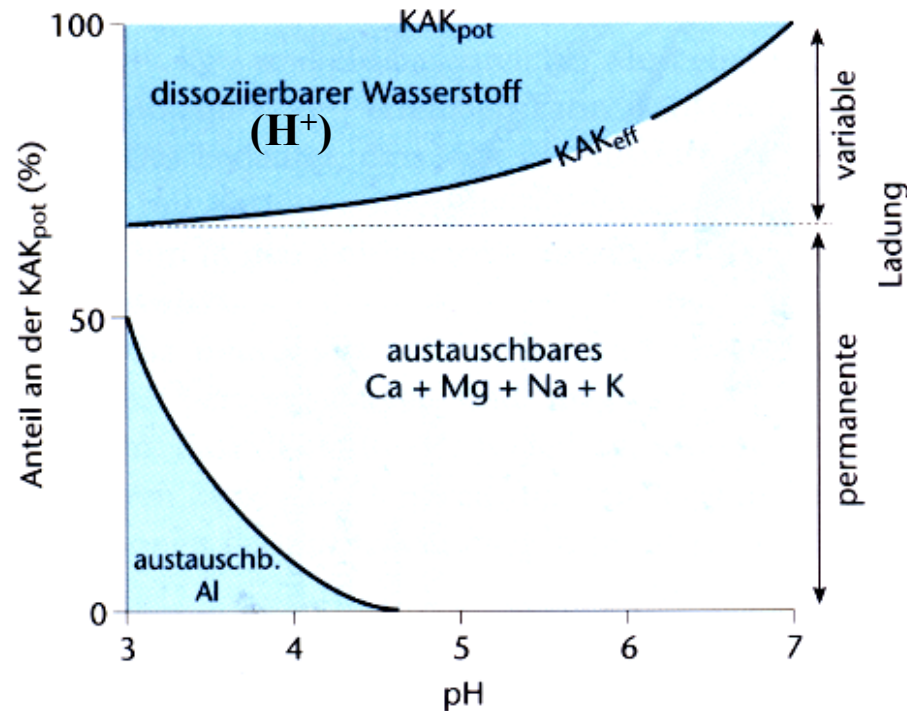


Abb. 2.3.2: Schematische Abhängigkeit der effektiven Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff}) vom pH-Wert in einem Boden mit 20–30 % Tonanteil und 2–3 % Humus. Die potentielle Kationenaustauschkapazität (KAK_{pot}) enthält zusätzlich zu den basischen Kationen die dissoziierbaren Protonen (aus Scheffer/Schachtschabel 1998).

Aluminium- toxizität und Ca^{2+} - Auswaschung

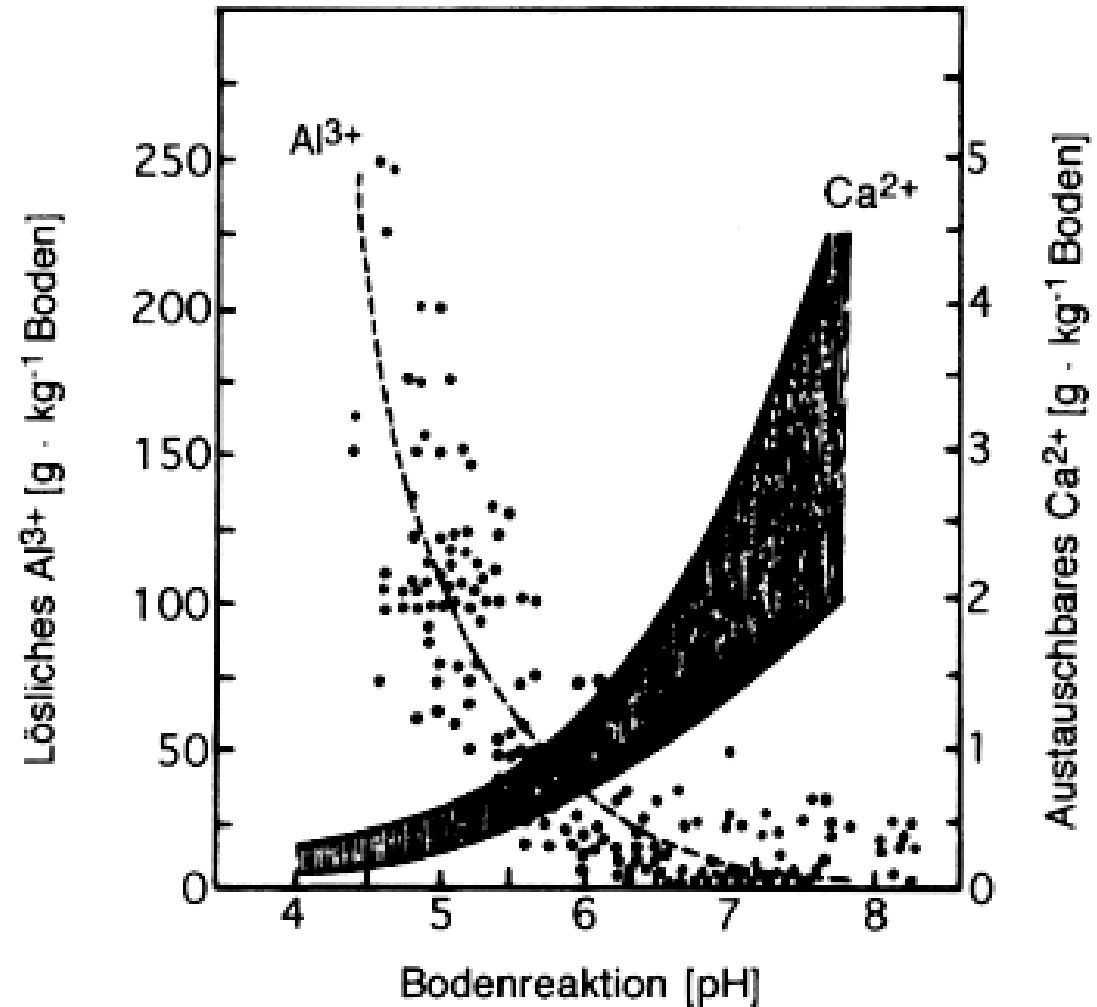


Abb. 3.21. Löslichkeit von Al^{3+} in Tonböden und Ca^{2+} in Heideböden in Abhängigkeit vom pH. Nach BANNISTER (1976) und nach LATHWELL und PEECH aus MENGEL und KIRKBY (1982).

Calcium (Ca^{2+}):

calcicole (“kalkholde“) und calcifuge (kalkmeidende) Pflanzen:

Kalkholde Pflanzen kommen auf **Kalkböden** mit hohem pH und Carbonatgehalt zurecht. Diese Standorte sind **wärmer und wasserdurchlässiger** als Silikatstandorte und besitzen eine relativ hohe Mineralisationsrate.

P, Fe, Mn und die meisten Schwermetalle sind schlecht verfügbar. Die calcicolen Arten sind hieran angepasst.

Silikatböden sind hingegen **basenarm (sauer) und relativ dicht und kühl**. Schwermetalle sind besser verfügbar (z.B. Fe)

Schwermetalle

Schwermetalle

(1) Etwa ein Viertel der Schwermetalle gehört zu den **Mikronährstoffen** (Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, Co; s. oben). Die übrigen kommen in Pflanzen natürlicherweise nicht vor (stark toxisch oder nicht sehr reaktiv: Cd, Cr, Hg, Pb, Ag, Au, Pt). Die meisten dieser **Xenobiotika** treten in mehreren Oxidationsstufen auf. In der reduzierten Form sind Fe^{2+} , Cu^+ und Mn^{2+} sogenannte Fenton-Reagenzien (\rightarrow ROS).

(2) **Schwermetallmangel** führt zu einer Erhöhung der Aufnahmekapazität (Oberfläche, Chelatoren, Transporter).

(3) Bei **Schwermetallstress** zeigen sich Symptome Ausbleichung (Chlorosen), z.B. durch ROS. Schwermetalle binden vor allem an SH-Gruppen der Proteine (Cystein).

(4) Abwehrmechanismen: Metallothioneine oder Phytochelatine.

Schwermetalle in Enzymen

- Fe im Häm (z. B. in den Cytochromen) und in S-Fe-Proteinen (z. B. in der Aconitase),
- Mn in der photosynthetischen Wasseroxidase, in vielen Dehydrogenasen und in der Superoxiddismutase (SOD),
- Cu in der Cytochromoxidase, im Plastocyanin, in der Katalase und in anderen Oxidasen.
- Zn ist vielfach Bestandteil von Dehydrogenasen, von bestimmten Spezies der SOD, der Carboanhydrase und von nucleinsäurebindenden Proteinen (Zinkfinger).
- Mo kommt in Enzymen des N-Metabolismus (z. B. in der Nitrogenase und der Nitratreduktase) vor,
- Co im Cobalamin (Co-Enzym B₁₂, das sich vom Vitamin B₁₂ ableitet).

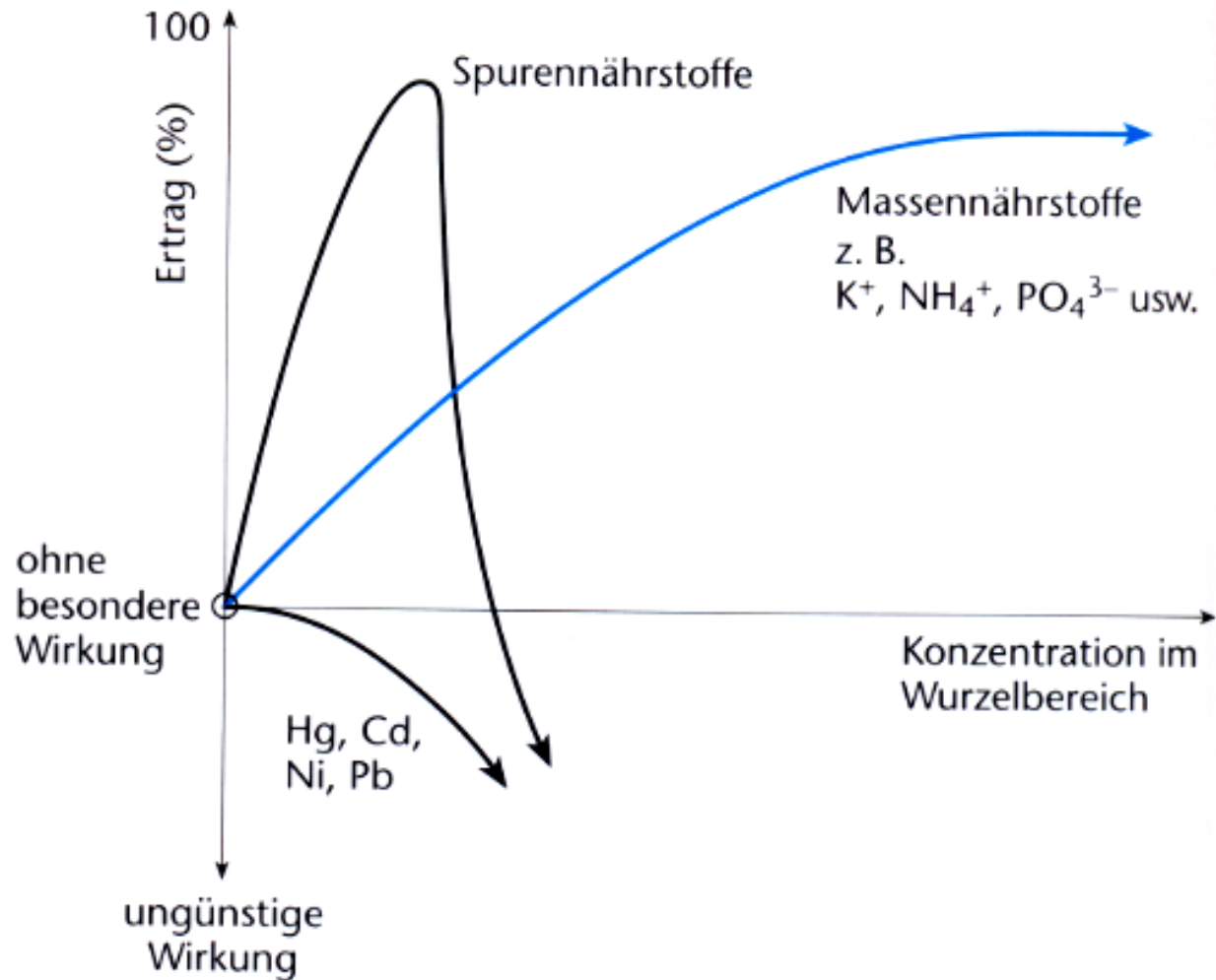


Abb. 1.7.1: Der Einfluss des Ionenangebots im Wurzelraum auf die Ertragsbildung (nach Wallnöfer und Engelhardt 1984).

Metallophyten besitzen die Fähigkeit zur Anreicherung von bestimmten Schwermetallen (Zn, Pb, Cu, Ni, Cd usw.). Sie vertragen in ihren Geweben bis zum **1000fachen** der Schadstoffkonzentration normaler Pflanzen. Standorte mit hoher Schwermetallbelastung sind solche, wo bestimmte Minerale zutage treten (Galmei) und Böden in Bergbaugebieten (z.B. Abraumhalden). Diese Habitate stellen **ökologische Nischen für Metallophyten**. Circa **400 Pflanzenarten** sind als **Hyperakkumulatoren** für Schwermetalle bekannt wie z.B. das:

- * Galmeiveilchen (*Viola lutea*)
- * Wald-Hellerkraut (*Thlaspi caerulescens*)
- * Frühlings-Miere (*Minuartia verna*):
- * Grasnelke (*Armeria elongata*)
- * Frühlingsmiere (*Alsine verna*)
- * Galmeitäschel (*Thlaspi alpestre*)
- * Taubenkropf (*Silene inflata*)
- * Schafschwingel (*Festuca ovina*)

Hyperakkumulatoren werden zur Entfernung von Schwermetallionen aus Böden eingesetzt (Phytomining; **Phytoremediation**).

Galmeiveilchen-Gesellschaft

Gefährdete Pflanzengesellschaft:

Violetum calaminariae



Galmeiveilchen-Gesellschaft in Stolberg bei Aachen



Wahrzeichen der Galmeirasen ist das **Galmei-
Veilchen** (*Viola lutea* ssp. *calaminaria*), ein
naher Verwandter des Gelben Stiefmütterchens
der Vogesen und des Sudeten-Stiefmütterchens.
Es kommt **ausschließlich** in den Galmeirasen
des Aachener Dreiländerecks vor.



Nicht minder auffällig sind die roten Köpfe der **Galmei-Grasnelke**. Die systematische Einordnung der Aachener Pflanzen ist umstritten, mal wurden sie als *Armeria maritima* ssp. *elongata*, mal als *A. m.* ssp. *halleri* bezeichnet. Wahrscheinlich handelt es sich um eine eigenständige Sippe. Eine gültige Beschreibung, etwa als *A. m.* ssp. "*calaminaria*" ist aber bisher nicht erfolgt. Die Grasnelke ist übrigens keine Nelke sondern ein Bleiwurzwegwächs (Fam. Plumbaginaceae). Wie der Name schon andeutet, gehören zu dieser Familie noch weitere schwermetall- und salztolerante Arten.

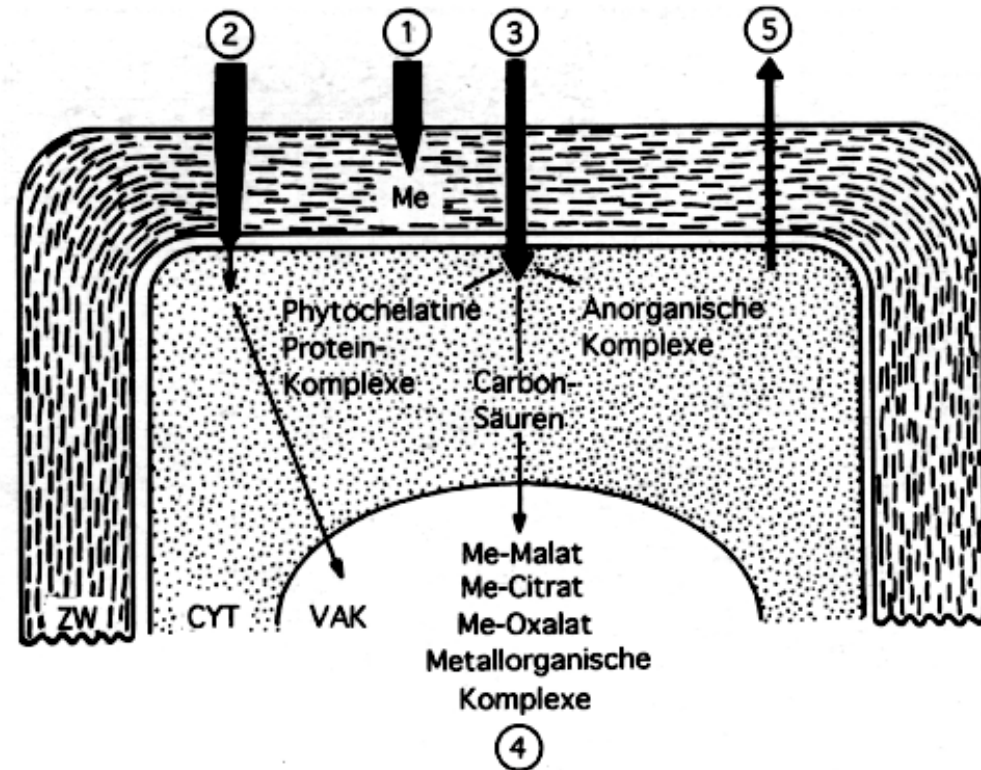


Ein echtes Nelkengewächs ist die Harzer **Frühlingsmiere** (*Minuartia verna* ssp. *hercynica*). Die konkurrenzschwache, lichtliebende Art bevorzugt steinige, offene Böden. Sie vertritt in den Mittelgebirgen die Typusform *M. v.* ssp. *verna*, die in den Alpen vorkommt.



Das **Galmei-Täschelkraut** (*Thlaspi calaminare*) ist (abgesehen von einem isolierten Fundort bei Osnabrück) ebenfalls ein rheinischer Endemit. Es ist nicht ganz so streng an Galmeirasen gebunden. Man findet es auch auf den Trassen alter Lorenbahnen oder sonstwie im Bereich ehemaliger Erzstollen (z.B. im Ahrtal).

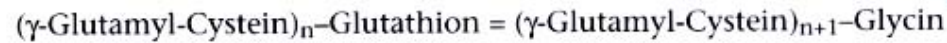
Abb. 6.91. Mögliche Mechanismen der Metallresistenz. (1) Immobilisierung von Metallionen in der Zellwand, vor allem durch Pektine; (2) Erschwerte Permeation durch Plasmagrenzschichten; (3) Chelatbildung durch metallbindende Proteine und Polypeptide (Phytochelatine) im Cytoplasma; (4) Kompartimentierung in der Vakuole; (5) Aktiver Rücktransport. ZW = Zellwand, CYT = Cytoplasma, VAK = Zellvakuole. Nach ERNST (1976), TOMSETT und THURMAN(1988), E. GRILL (1989), CUMMING und TAYLOR (1990).



Tab. 6.18 Verteilung von Zink in Organen, Geweben und Zellbestandteilen von Metallophyten auf zinkreichem Boden. Nach ERNST (1976).

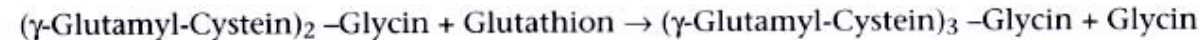
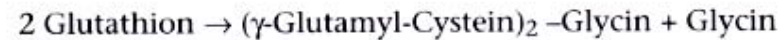
Pflanze, Organ	Vakuole, Cytoplasma [%]	Zellorganellen [%]	Zellwand [%]
<i>Cardaminopsis halleri</i>			
Blätter	82	6	12
Wurzeln	38	5	57
<i>Silene vulgaris</i>			
Blätter	64	10	26
Wurzeln	18	10	72
<i>Agrostis tenuis</i>			
Blätter	48	11	41
Wurzeln	38	10	52
<i>Minuartia verna</i>			
Blätter	46	8	46
Wurzeln	20	8	72

Phytochelatine sind Derivate des Tripeptids γ -Glu-Cys-Gly. Dieses Tripeptid ist kein Baustein eines Proteins, da die „Peptidbindung“ nicht über die der α -Aminogruppe benachbarte Carboxylgruppe erfolgt, sondern über die γ -Carboxylgruppe von Glu, sozusagen am „falschen Ende“. Phytochelatine sind also nach dem Prinzip:



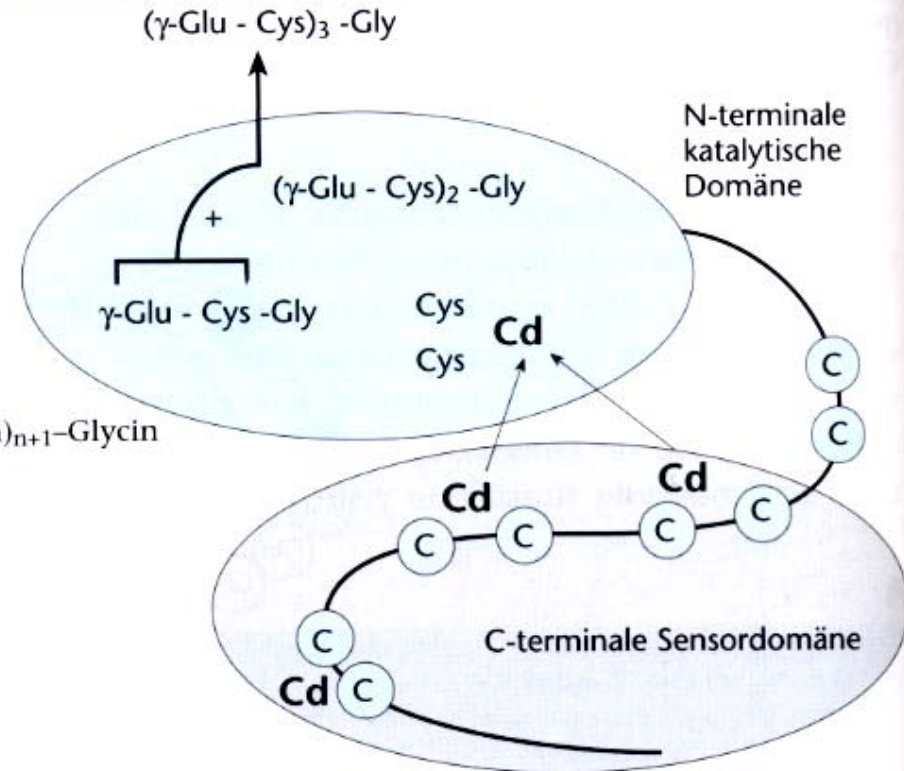
aufgebaut.

Ihre Biosynthese erfolgt dementsprechend vom Glutathion aus und nicht auf dem Wege einer Polypeptidsynthese. Das entsprechende Enzym ist die Phytochelatin-Synthase (γ -Glutamyl-Cystein-dipeptidyl-Transpeptidase), ein Protein vom $M_r 4 \times 25 \text{ kDa} = \sim 96 \text{ kDa}$:



usw.

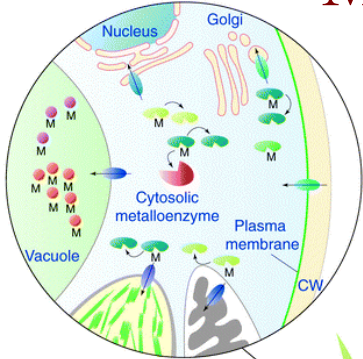
Nach einer neueren Vorstellung wirkt die Cys-reiche C-terminale Domäne als



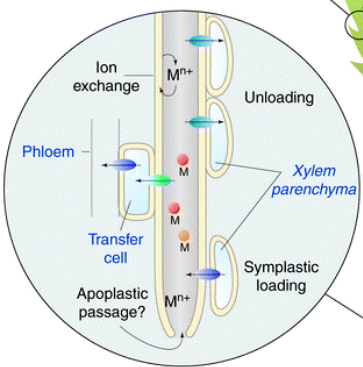
Sensor für Schwermetallionen, indem die Cysteine die Metallionen binden, sie dadurch räumlich konzentrieren, sie an Cysteine der katalytischen N-terminalen Aktivitätsdomäne heranführen und diese dadurch aktivieren (siehe [Abb.](#), nach Cobett 1999).

Molecular mechanisms involved in transition metal accumulation

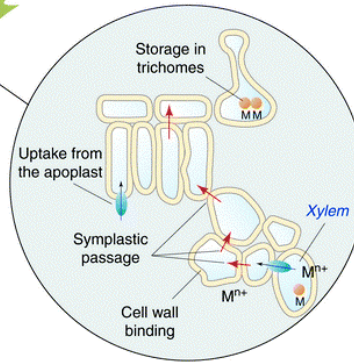
(e) Trafficking and sequestration



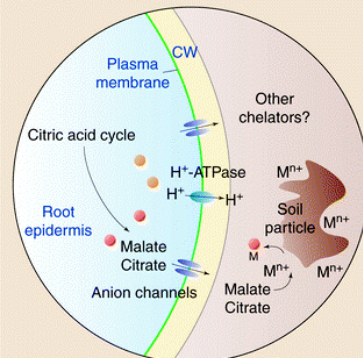
(c) Xylem transport



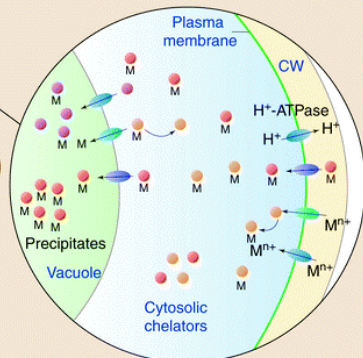
(d) Unloading and tissue distribution



(a) Mobilization



(b) Uptake and sequestration



from Trends Plant Sci. 2002 7: 309-315

(A) Metal ions are mobilized (chelators & acidification of rhizosphere). (B) Ion up-take by various uptake systems of the PM. Inside the cell, metals are chelated and excess metal is sequestered by transport into the vacuole. (C) Transition move to shoot *via* xylem. Presumably, the larger portion reaches the xylem via the root symplast. Apoplastic passage might occur at the root tip. In the xylem, metals are present as hydrated ions or as chelates. (D) In the leaf apoplast, metals are differentially captured by different leaf cell types and move cell-to-cell through plasmodesmata. Storage occurs preferentially in trichomes. (E) Uptake by leaf cells in is catalyzed by various transporters [not shown in (e)]. Intracellular trafficking of essential transition metals is mediated by specific metallochaperones and transporters localized in endomembranes (in every cell). CW: cell wall; M: metal; filled circles, chelators; filled ovals: transporters; bean-shaped structures: metallochaperones.

Stickstoffhaushalt

Stickstoffernährung

Abgesehen von den Kohlenhydraten (C, H, O) ist Stickstoff **mengenmäßig das vierthäufigste Nährelement**. Global ist die größte Menge an Stickstoff als **N₂ in der Atmosphäre** festgelegt und ist damit nicht unmittelbar verfügbar.

Pflanzen benötigen Stickstoff für die Bildung von:

- (i) Aminosäuren und Proteinen,**
- (ii) Nukleinsäuren (DNA, RNA) und**
- (iii) heterozyklischen organischen Verbindungen (Pyrrol-, Pyridin- und Pyrimidinverbindungen etc.).**

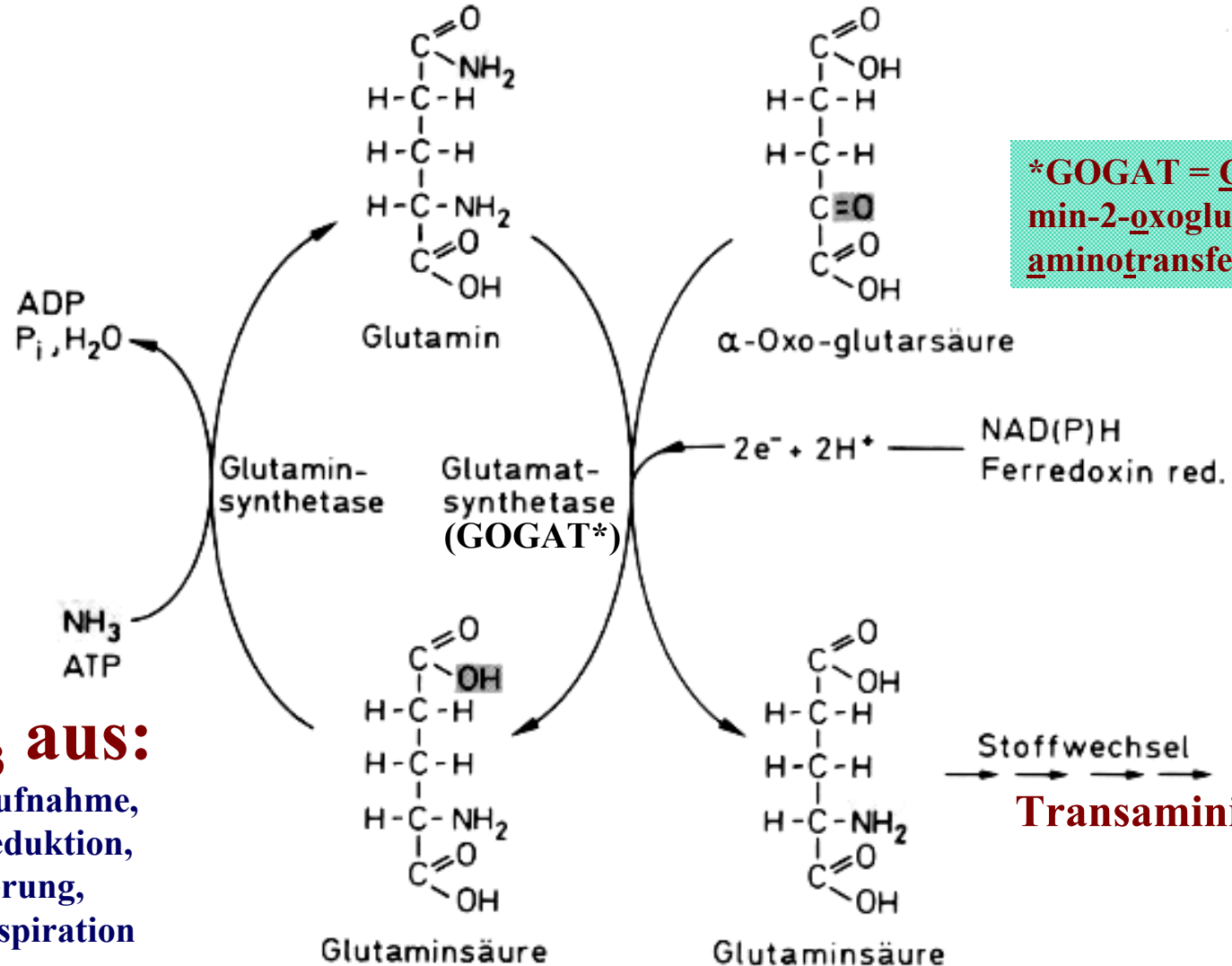
Aufnahme von N-Verbindungen aus der Bodenlösung:

Stickstoff wird vor allem in Form von **Ammonium-Stickstoff (Redox-Stufe: -3)** und **Nitrat (Redox-Stufe: +5)** im Bereich der Wurzelhaare aus der Bodenlösung aufgenommen. Daneben spielt die Ernährung über in der Bodenlösung vorhandene Aminosäuren eine eher untergeordnete Rolle.

Das **Ammoniumion** ähnelt in seinem **Ionenradius dem des K^+** . Deshalb und auch wegen seiner **Säurefunktion ($NH_4^+ = NH_3 + H^+$)** kann NH_4^+ in hohen Konzentrationen für die Pflanze toxisch sein. Die Aufnahme in die Wurzel (Zelle) erfolgt im Antiport zu Protonen (s. früher). NH_4^+ wird nicht gespeichert (Toxizität!), sondern wird direkt als Amin-Stickstoff in Kohlenstoffgerüste eingebaut (GOGAT-Enzymsystem):

Glutamatsynthetase-Zyklus:

Assimilation von NH_3 -Stickstoff



*GOGAT = Gluta-
min-2-oxoglutarat-
aminotransferase

NH_3 aus:

NH_4^+ -Aufnahme,
 NO_3^- -Reduktion,
 N_2 -Fixierung,
Photorespiration

Die **Ammonium-Ernährung** spielt eine gewisse Rolle auf **sauren Böden**, wo die Nitrifikation des Amin-Stickstoff zu Nitrat-Stickstoff gehemmt ist.

Nitrataufnahme und -verwertung

Nitrat wird im gleichen Bereich der Wurzel aufgenommen wie NH_4^+ , und zwar als Kotransport mit Kationen oder im Austausch gegen OH^- bzw HCO_3^- . Nitrat ist nicht toxisch und kann gespeichert werden (Blatt, Wurzel). Hohe NO_3^- -Konzentrationen stimulieren das Wachstum.

In der Regel wird das Nitrat über das Xylem in den Spross verfrachtet und dort im Cytosol der Zellen weiterverarbeitet:

Kooperation zwischen Spross und Wurzel bei der Aufnahme und Reduktion von NO_3^-

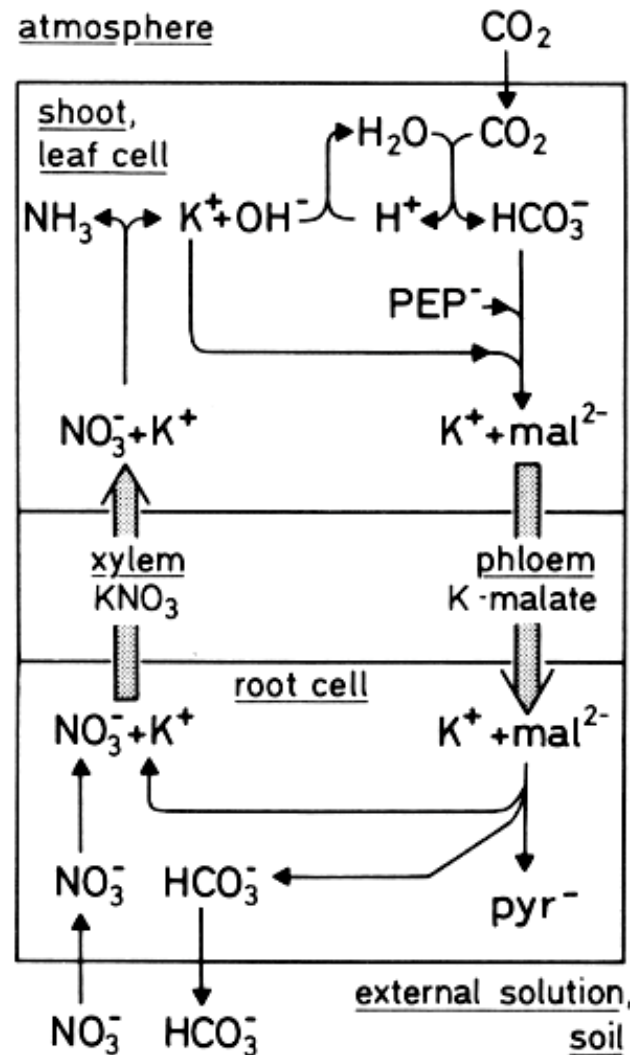
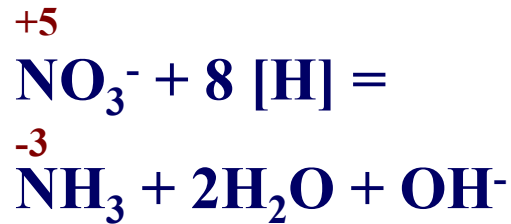
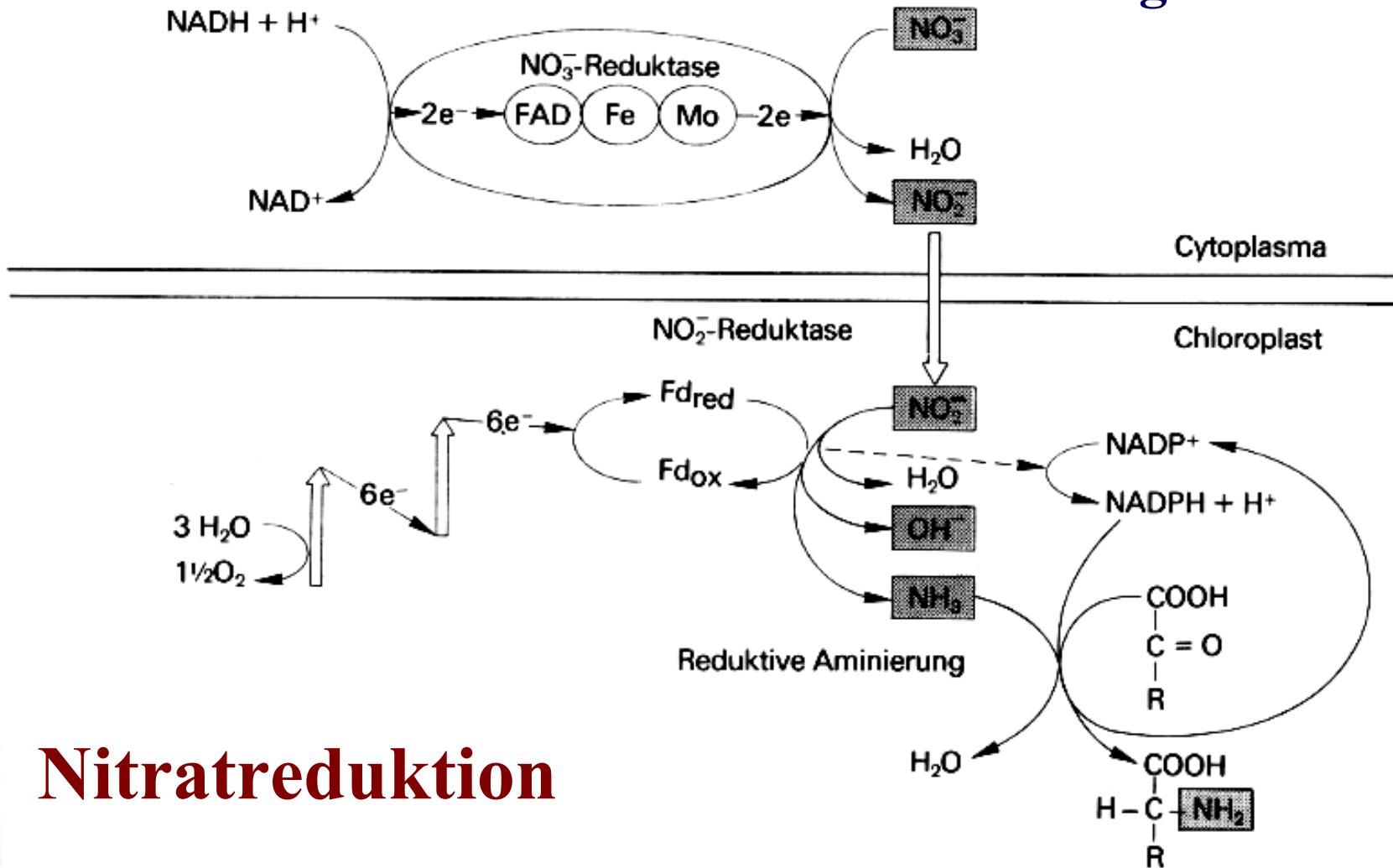


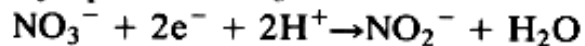
Fig. 13.6. Integrated operation of roots and shoots in whole plants during NO_3^- uptake and reduction by a KNO_3 -K-malate shuttle system in the xylem and phloem. (Drawn according to the ideas of Ben-Zioni et al., 1971.) For abbreviations see usage in Chapter 7.



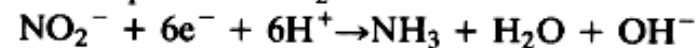
Nitratreduktion

Abb. 24-5. Nitratreduktion in grünen Zellen.

- Cytoplasma: NO_3^- -Reduktion



- Chloroplasten: NO_2^- -Reduktion



Ammonium vs. Nitrat-Ernährung

Eine ausgewogene $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ -Ernährung ist günstig (Anionen/Kationen-Gleichgewicht), da sie die Aufnahme von Stickstoff von der anderer Ionen abkoppelt. Sie ist auch günstig für das C/N-Verhältnis im Blatt.

Stickstoffeintrag aus der Atmosphäre

Die N-Schadstoffe, die als NH_3 , NO , oder NO_2 über die Spaltöffnungen oder mit dem Regenwasser eingetragen werden, führen zu einer deutlichen N-Deposition, d.h. zu einem Düngereffekt.

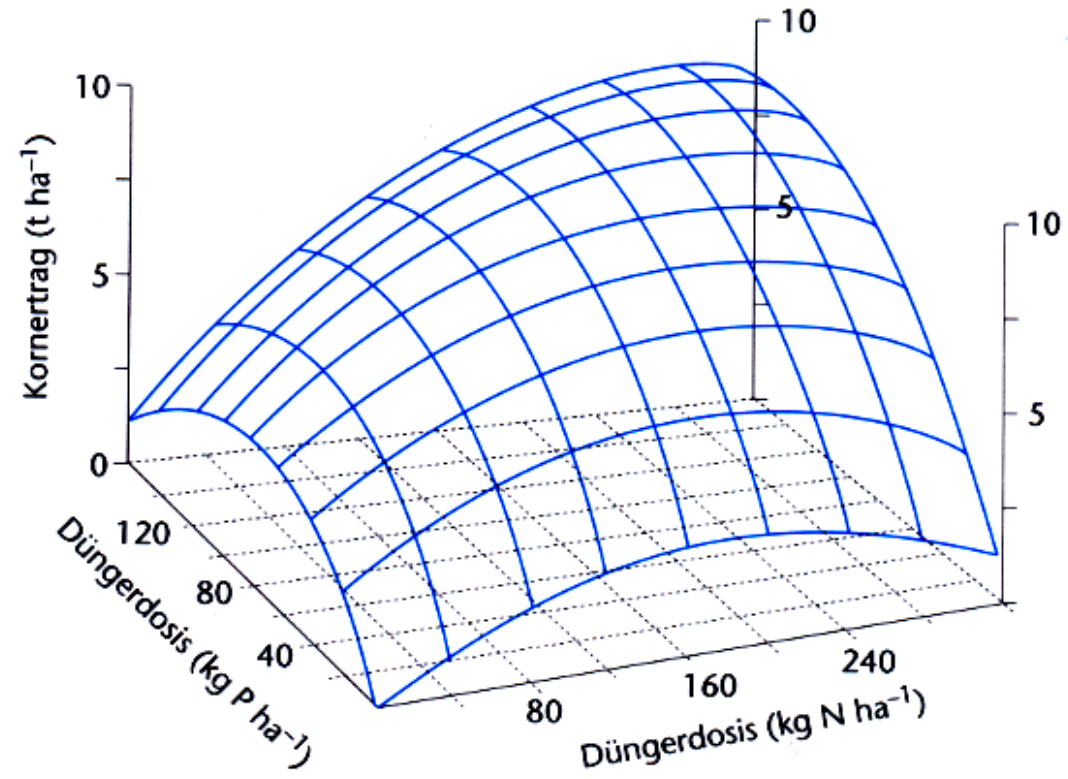
Diese Aufnahme kann **20-40% des N-Bedarfs** ausmachen.

Die Aufnahme über den Spross führt zu einem Kationenverlust durch Auswaschung (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}).

Stickstoffbedarf für das Wachstum

Das Wachstum ist oft linear abhängig vom N-Angebot, d.h., Stickstoff ist oft der begrenzende Faktor. Wenn dies der Fall ist, erhält man eine Sättigung bei ca. 200 kg N ha⁻¹ a⁻¹ für Kulturpflanzen und bei 100 kg N ha⁻¹ a⁻¹ bei Bäumen. Der Eintrag von zusätzlichem Stickstoff kann also zu einem erhöhten Wachstum führen, was die NS-Bilanz stört.

Abb. 2.3.12: Die Veränderung des Korn-
ertrags von Mais bei unterschiedlicher N- und
P-Düngung. Bei hoher P-Verfügbarkeit (140
kg P ha⁻¹) können 300 kg N ha⁻¹ zu höch-
stem Ertrag führen. Sind aber nur 40 kg
P ha⁻¹ verfügbar, dann führen N-Düngung
von mehr als 160 kg N ha⁻¹ sogar zu einer
Ertragsminderung. (Schopfer und Brennicke,
1999).



Unterschiede in der Nutzung von NH_4^+ und NO_3^- bei krautigen und holzigen Gewächsen.

Krautige Pflanzen können Nitrat besser nutzen als holzige. Dies liegt an der höheren Speicherkapazität der Pflanzen im Spross für Nitrat bei den krautigen und bei der z.T., anderen Mykorrhizierung.

Die **Speicherung** von Stickstoff erfolgt in anorganischer Form als NO_3^- in den Vakuolen (s.o.) und als organischer Stickstoff in Form von AS, Lipiden & Proteinen.

N-Mangel und N-Überschuss

N-Mangel bewirkt Vergilbungen (wenig spezifisch) und eine Reduktion des Wachstums sowie vorzeitiges Altern und Blattabwurf.

N-Überschuss: hohe Chlorophyll- und Wassergehalte; niedriges Blattflächengewicht.

N-Zeigerwerte:

Die sogenannten **N-Zeigerpflanzen** geben Hinweise auf die N-Versorgung eines Standortes.

Zeigerwerte existieren auch für andere **Standortparameter** wie **Licht, Temperatur, Boden-pH, Boden-N, Boden-feuchte, Salz, Kontinentalität (s. gleich).**

Rund 2000 Gefäßpflanzen Mitteleuropas wurden hinsichtlich ihres Vorkommens an bestimmten Standorten in Klassen eingeteilt (Ellenberg-Schema).

ihres Vorkommens an bestimmten Standorten in Klassen eingeteilt (Ellenberg).

Die Zeigerwerte reichen von 1 (wenig) bis 9 (hoch).

Zeigerwerte sind keine Messwerte sondern Indikatoren.

Sie beziehen sich nicht auf die physiologischen Ansprüche sondern auf die Konkurrenzsituation am Standort.

Typische Stickstoffzeigerpflanzen sind (oder sind eben nicht):

N1 (N-arme Standorte): *Calluna vulgaris, Trifolium arvense.*

N2 & N3 (mäßig arm): *Medicago sativa, Equisetum arvense.*

N4 & N5 (mäßig N-reich): *Primula vulgaris, Ribes nigrum.*

N6 & N7 (N-reiche Standorte): *Chenopodium album*

N8 (ausgeprägte N-Zeiger): *Urtica urens, Mercurialis annua*

N9 (übermäßig N-reich): *Chenopodium bonus-henricus, Lamium album*

Zeigerwerte nach Ellenberg



Allgemeine Grundlagen

Zeigerwerte =
ökologisches Verhalten der Pflanzensippen,
NICHT deren Ansprüche



- Hinweise auf die Größenordnung direkt wirksamer Umweltfaktoren
Ungefähre Maßstäbe für zeitliche Veränderungen
orientierender Wert
Gefahr: **Zeigerwerte keine Messwerte**
- Ableitung aus verallgemeinertem, typisiertem Erfahrungswissen
Trendaussagen aus „normalem“ Verhalten abgeleitet
- Kritische Distanz, Sorgfalt bei der Interpretation
- **Relative Abstufung nach Schwergewicht des Auftretens im Gelände**
„ertragen extreme Bedingungen besser als andere Arten“
- **Potenzbereich** (physiologisches Verhalten)
breiter als **Existenzbereich** (ökologisches Verhalten)

Klima

● Lichtzahl L

Vorkommen im Gefälle der relativen Beleuchtungsstärke (über dem Bestand 100%, über der Pflanze x%)
Eigentliche Volllichtpflanzen (L9) ertragen geringe Minderung der Beleuchtungsstärke (50%) maßgebend ist dabei die relative Beleuchtung zur Zeit der vollen Belaubung der sommergrünen Pflanzen (also etwa von Juli bis September) bei diffuser Beleuchtung (z.B. bei Wolkenbedeckung oder gleichmäßig bedecktem Himmel) herrscht.



● Temperaturzahl T

Keine Temperaturmessungen sondern arealgeographische Grundlagen im Wärmebereich der polaren Zone bzw. der alpinen Höhenstufe bis ins mediterran geprägte Tiefland.
z.B. T1 = nival (Kältezeiger) , T9 = mediterrane Arten (extremer Wärmezeiger)



● Kontinentalitätszahl K

max ⇔ min Temperatur weiter auseinander bei großer Entfernung vom Meer
Sie bewertet das Verbreitungsschwergewicht von der europäischen Atlantikküste (euozeanisch K1) bis ins innere Asien (eukontinental K9).
Kontinental= winterliche Starkfröste

Bodenfaktoren

● Stickstoffzahl/ Nährstoffzahl N

bezeichnet das Vorkommen auf Böden mit sehr geringer bis übermäßiger Mineralstickstoffversorgung NO_3^{2-} und NH_4^+ 20 kg N/Jahr über Luftimmissionen
(Magerkeitszeiger N1, übermäßiger Stickstoffzeiger N9)

● Salzzahl/ Hinweise auf Schwermetallresistenz S

bezeichnet das Vorkommen im Gefälle der Salzkonzentration (insbesondere Cl^- -Konzentration) im Wurzelbereich des Bodens von S0 (nicht salzertragend) bis S9 (extrem salzertragend, meist Konkurrenzausweichler).
Ertragen von schwacher Bodenversalzung/ hoher Chloridgehalt
Salzgehalt kaum existenznotwendig, Stressfaktor

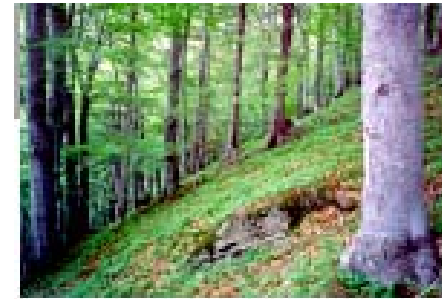
● Feuchtezahl F

bewertet Vorkommen von flachgründigen, trockenen Felshängen bis zu Sumpfböden und zu submersen Standorten
(F1 = Starktrockniszeiger, F12 = Unterwasserpflanze)
Trockenheitsliebend sind nicht mal Sukkulente sie ertragen sie nur besser

● Reaktionszahl R

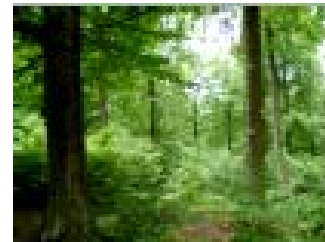
große ökologische Amplitude bei Bodenreaktion bewertet das Vorkommen in Abhängigkeit von extrem sauren bis zu alkalischen (kalkreichen) Böden
Bei hohem pH (guter Basenversorgung) sind Ca^{2+} und Mg^{2+} besser verfügbar
(R1 = Starksäurezeiger, R9 = Basen- Kalkzeiger)

Anwenden von Zeigerwerten



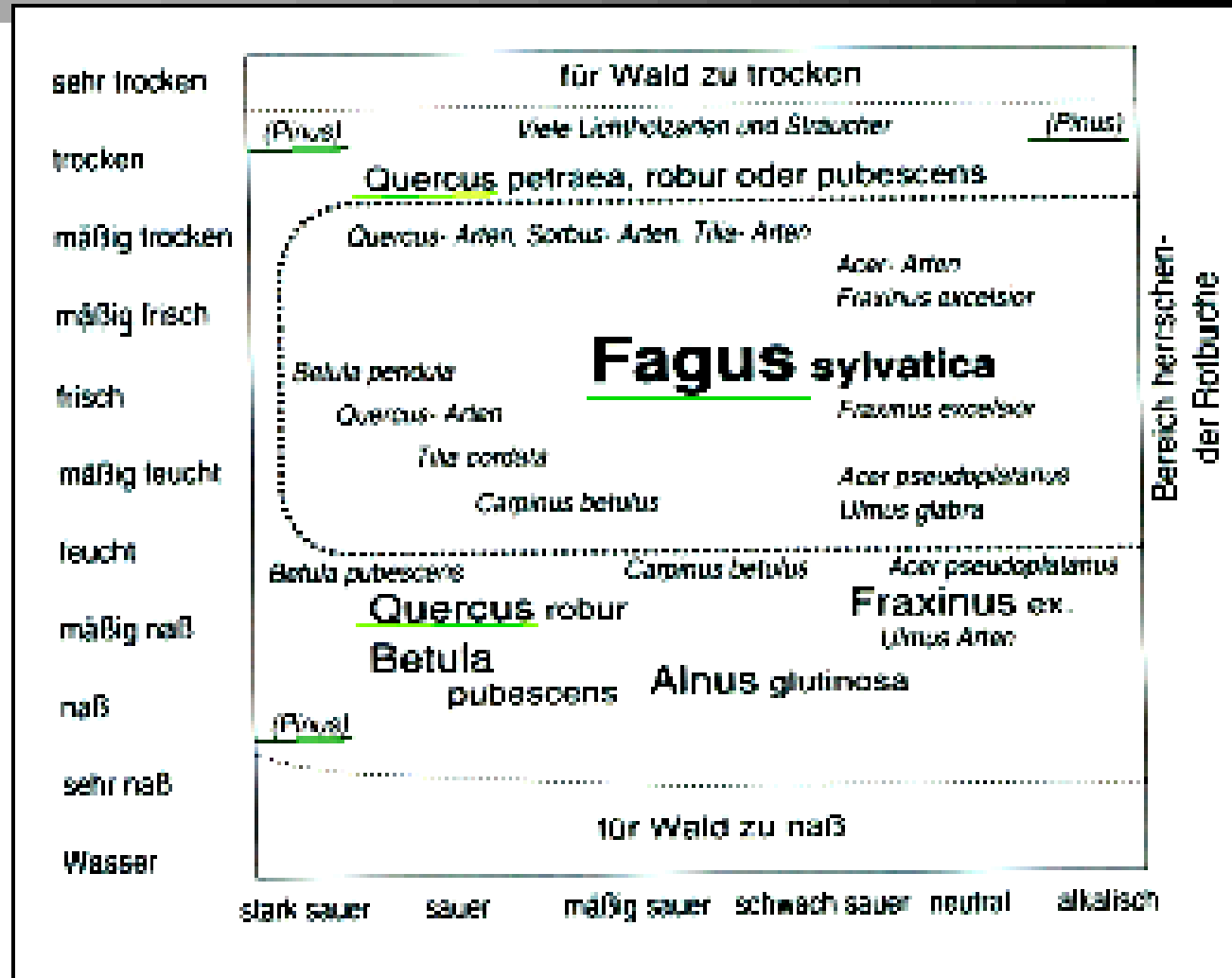
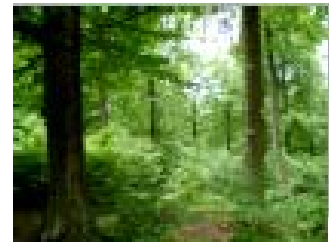
- Hilfe bei der Standortsansprache
- kein Ersatz für Ökologische Messungen zur Orientierung und Veranschaulichung
- kein Ersatz für vegetationskundliche Messungen oder floristische Analysen
- **BASIEREN** auf vollständigen Vegetationsaufnahmen in denen schon **Konkurrenz** gewirkt hat, also **spontan wachsende Vegetation** ohne Bewirtschaftung.
Baumschicht forstwirtschaftlich beeinflusst,
deshalb nicht so aussagekräftig wie **Krautschicht**

Ökogramme



- Konkurrenz = Wettbewerb um Nahrung, Raum oder andere ökologische Erfordernisse zwischen zwei Organismen, die sich in ihren Lebensansprüchen ähnlich sind, ohne dass sich diese in ausreichendem Maß erfüllen lassen
- Konkurrenz in der Pflanzendecke ist ein wechselnd starker, aber immerwährender Wettbewerb um zahlreiche Standortbedingungen, von denen eine vorherrschen kann

Ökogramme



Anwendung der Zeigerwerte

Wichtige Hintergründe des
Zeigerwertsystems

- Bezug: ökologisches Optimum
- Standortansprüche unter Konkurrenzbedingungen
- Wiedergabe: Komplex von Parametern
- schnelle Einschätzung der Standortansprüche
verschiedener Vegetationseinheiten
- Abgrenzung zwischen verschiedenen Einheiten
aufgrund der ökologischen Ansprüche
- Indikation bzw. Dokumentation von Landschafts-
veränderungen oder einzelnen Ökofaktoren



Ende Teil B