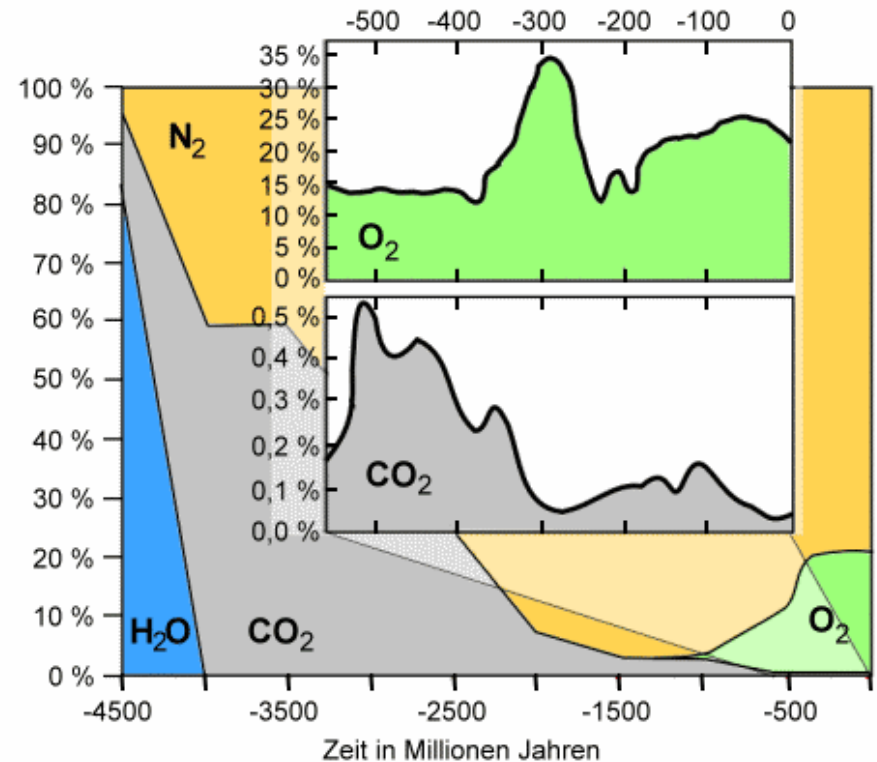


Atmosphäre

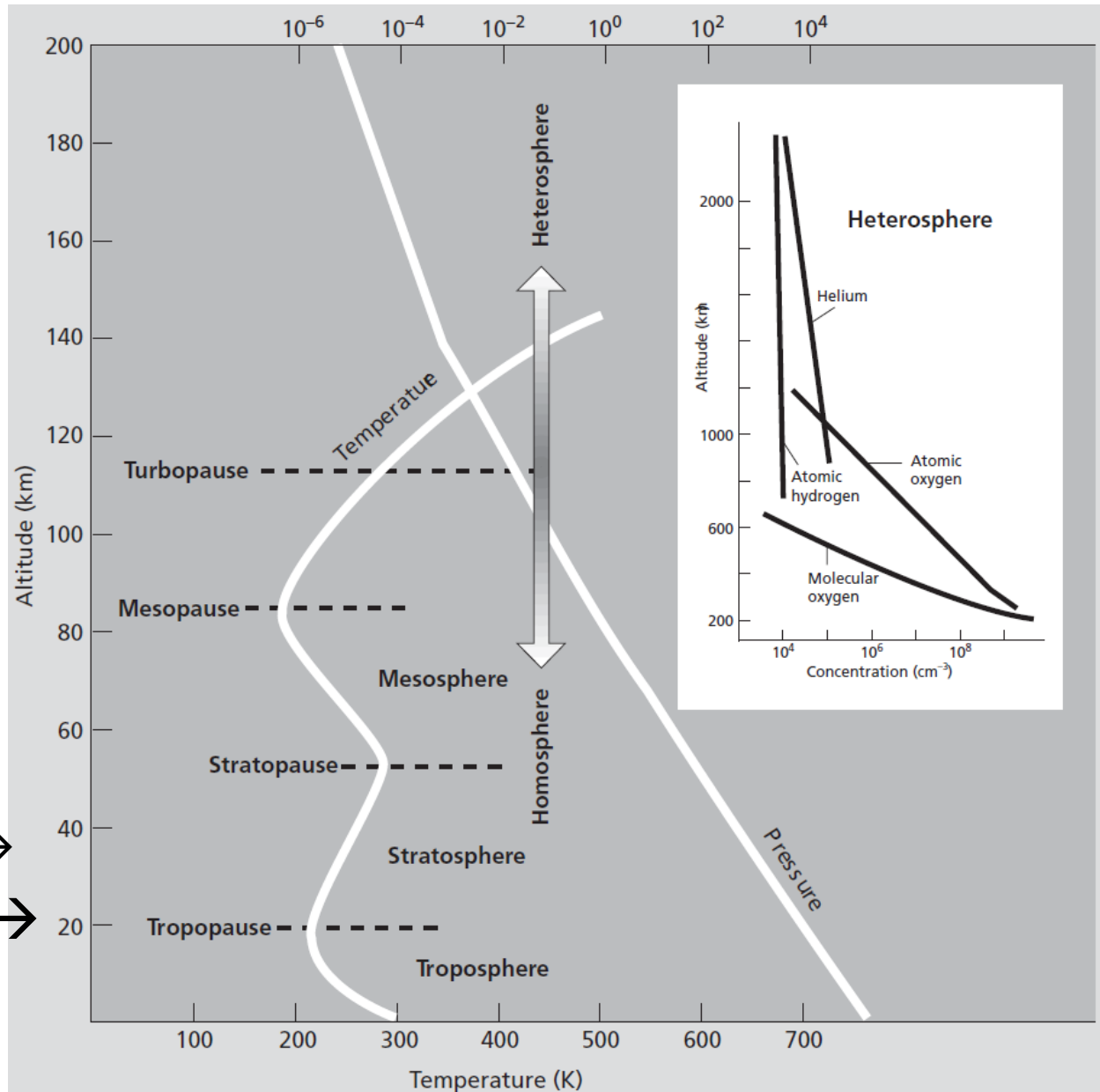
# Die Atmosphäre

## Zusammensetzung

Gas	Concentration
Nitrogen	78.084%
Oxygen	20.946%
Argon	0.934%
Water	0.5–4%
Carbon dioxide	360 ppm
Neon	18.18 ppm
Helium	5.24 ppm
Methane	1.7 ppm
Krypton	1.14 ppm
Hydrogen	0.5 ppm
Xenon	0.087 ppm



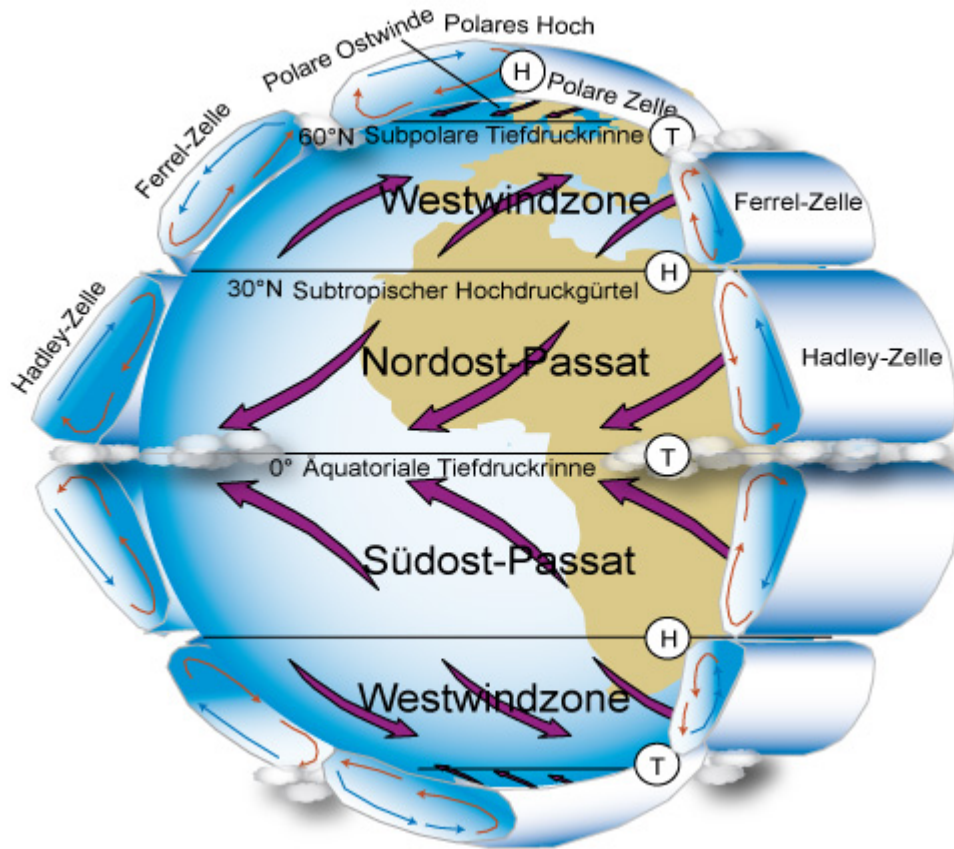
# Vertikale Unterteilung der Atmosphäre



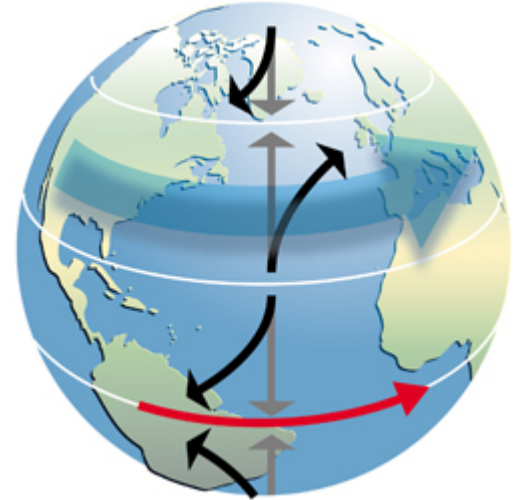
F. Baumgartner Red BlueStratos →

Ozonschicht →

# Luftzirkulation



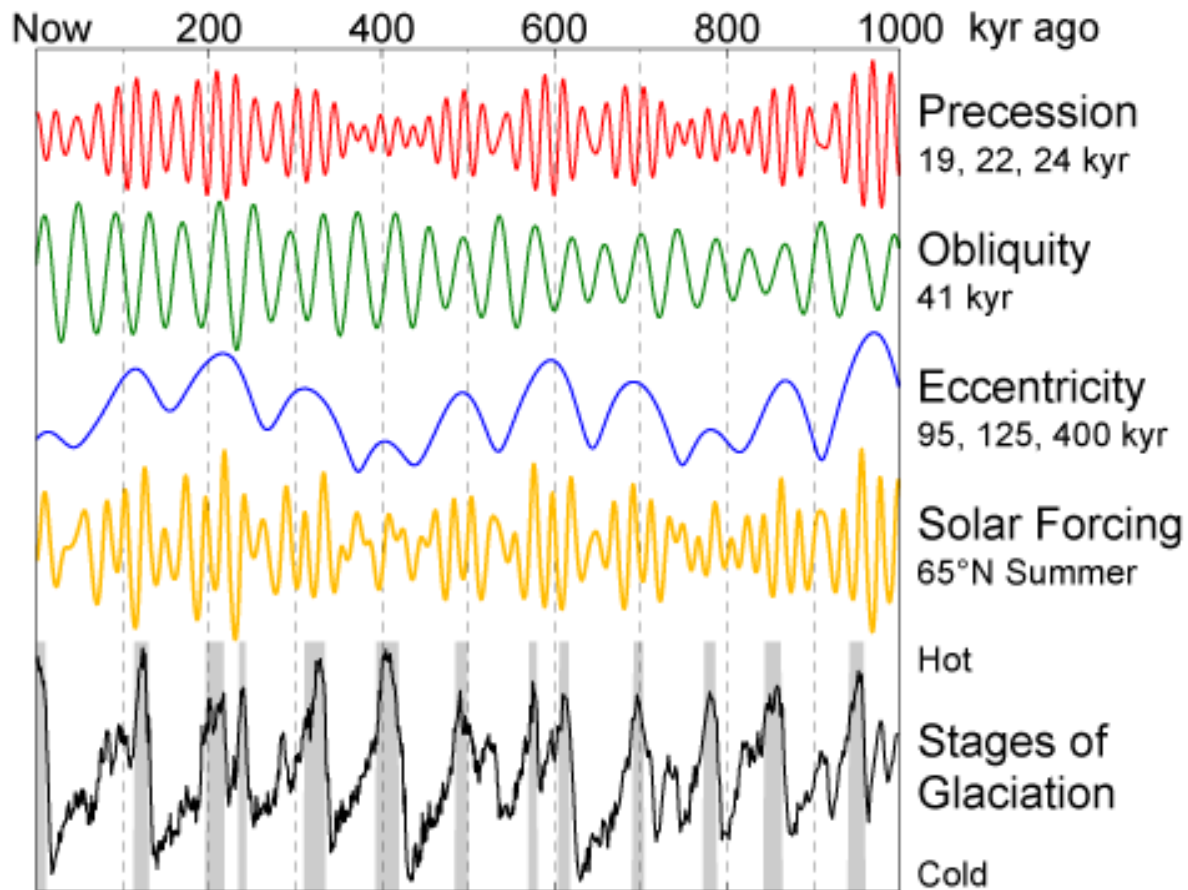
## Windrichtungen

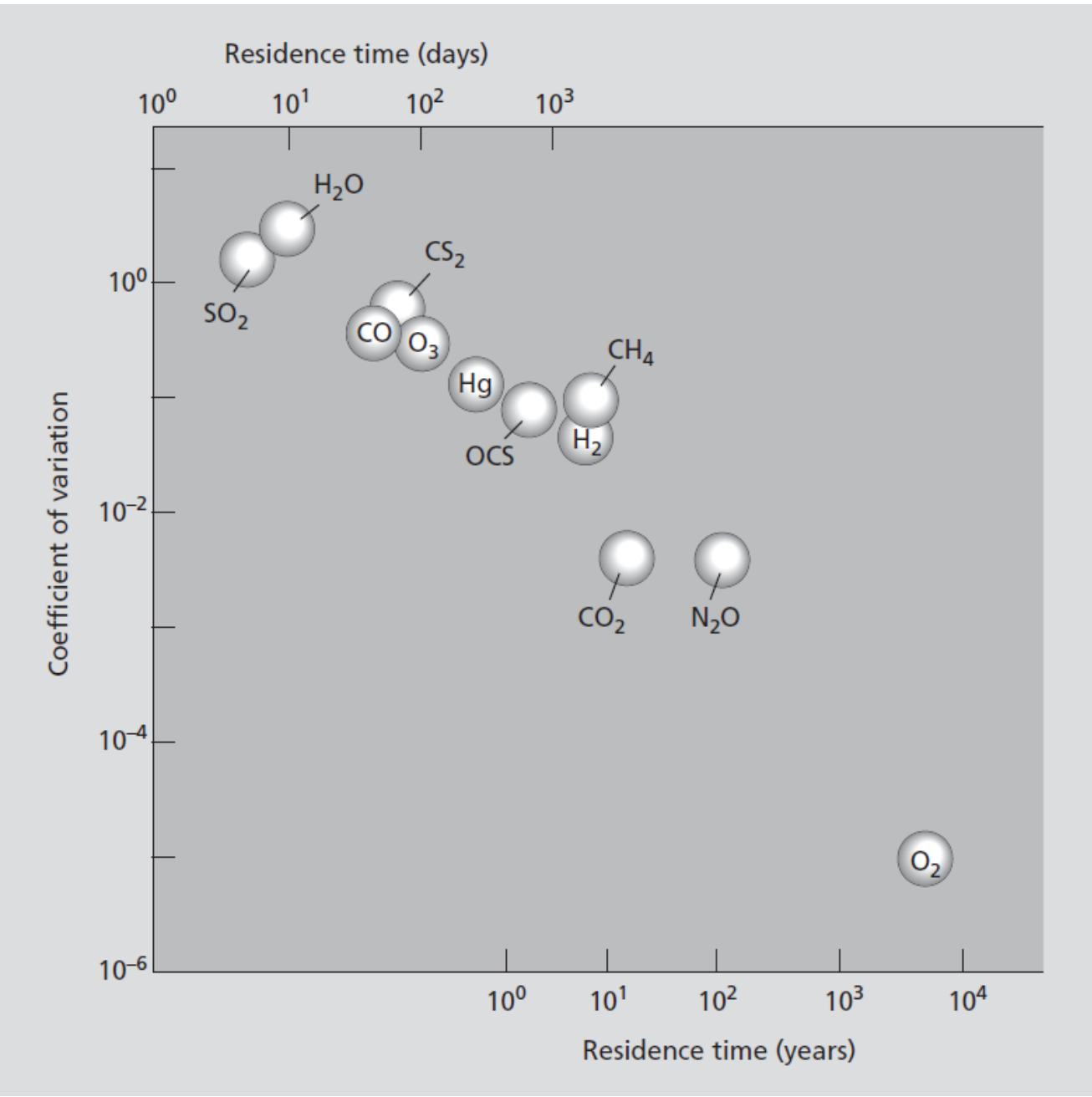


Erdrotation bewirkt Kraft, die den Wind auf der nördlichen Halbkugel nach rechts ablenkt, auf der südlichen Halbkugel nach links → **Coriolis-Kraft**. Es entstehen Passatwinde

# Natürliche Klimaschwankungen

## Milanković-Zyklen





# Natürliche Klimaschwankungen

## Faktoren/Auslöser:

- *Milanković-Zyklen*
- *Meeresströmungen (thermohaline Zirkulation)*
- *Verteilung der Landmassen*
- *Vulkanausbrüche (Treibhauseffekte durch Klimagase, Abschattung)*
- *Meteoriteneinschläge (Abschattung)*
- *Gashydrate (Treibhauseffekte)*

# Anthropogene Klimaschwankungen

## Faktoren/Auslöser:

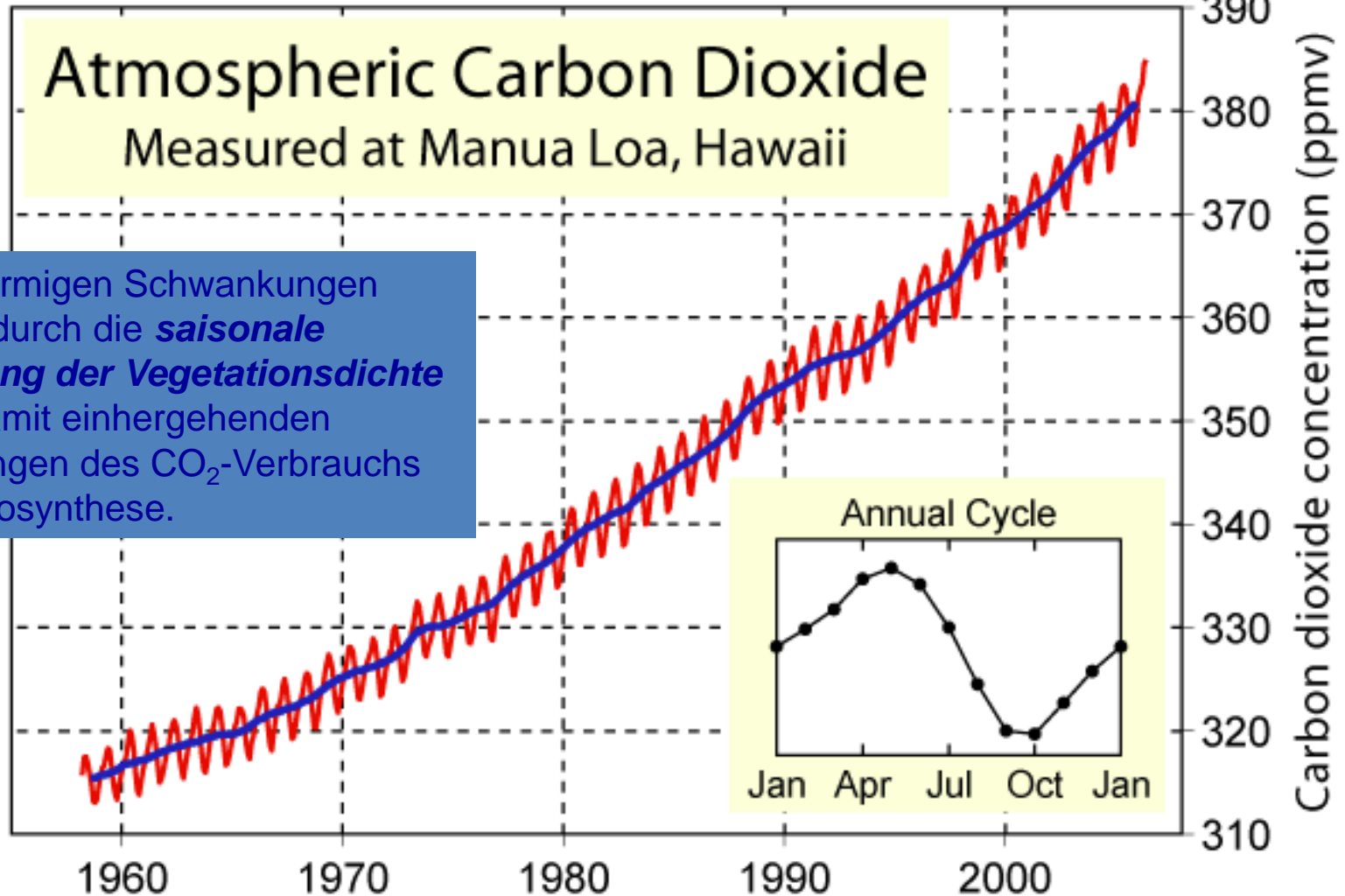
- *Nutzung fossiler Energiequellen*
- *Reduktion von CO<sub>2</sub>-Verbrauchern*



# Antropogen verursachte Klimaschwankungen

ca. 800 Gt C; bzw.  $\sim 0,001$  % des globalen Kohlenstoffes

$\rightarrow$  =ml/m<sup>3</sup>



Die sinusförmigen Schwankungen entstehen durch die **saisonale Veränderung der Vegetationsdichte** und den damit einhergehenden Schwankungen des CO<sub>2</sub>-Verbrauchs durch Photosynthese.

# Die Weltklimakonferenz



- 1988 IPCC Gründung (Intergovernmental Panel of Climate Change)
- 1992 Rio (erste schriftliche Ausarbeitung)
- 1995 Berliner Mandat (Arbeitsgruppe implementiert)
- 1996 Genfer Deklaration (wissenschaftliche Beurteilungsgrundlagen)
- 1997 Kyotoprotokoll (Reduktion der Treibhausgase in individuell fixiertem Ausmaß)
- 2001 Ausstieg der USA
- 2004 Beitritt Rußlands
- 2005 Ratifizierung (128 Staaten)
- 2006, 2007 Diskussion über Nachfolgeprotokolle – keine Einigung
- 2012 Doha: Verlängerung des Kyotoabkommens von 2013-2020

# Einladung zum Botschaftergespräch

Philippe Etienne  
Botschafter Frankreichs in Deutschland

Donnerstag, 12. November 2015, 14:45 Uhr  
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
Rektoratsgebäude am Fahnenbergplatz, 6. OG,  
79098 Freiburg

Liebe Kolleginnen und Kollegen,  
meine sehr verehrten Damen und Herren,

das Thema Nachhaltigkeit ist an der Universität Freiburg seit langem fest etabliert und wird unter anderem im Rahmen des European Campus systematisch zu einem regionalen und grenzüberschreitenden Schwerpunkt mit internationaler Strahlkraft in Forschung und Lehre ausgebaut.

Ich freue mich daher sehr, dass der Botschafter Frankreichs in Deutschland seine Exzellenz Philippe Etienne im Vorfeld der UN-Klimakonferenz in Paris an der Universität Freiburg über die Herausforderungen, denen sich Frankreich, Deutschland und Europa gegenübersehen, sprechen wird.

Im Anschluss an den Vortrag haben Sie die Möglichkeit, Ihre Fragen an den Botschafter zu richten.

Über Ihre Teilnahme würde ich mich sehr freuen.

Mit den besten Grüßen

Ihr



Prof. Dr. Dr. h.c. Hans-Jochen Schiewer  
Rektor

## Delegation des Botschafters

Philippe Etienne, Botschafter Frankreichs in Deutschland  
Nicolas Eybalin, Generalkonsul Frankreichs in Stuttgart  
Paul Alibert, Attaché für Wissenschafts- und  
Hochschulkooperation

## Programm

Beginn 14:45 Uhr

**Begrüßung durch den Rektor**  
Prof. Dr. Dr. h.c. Hans-Jochen Schiewer

**Vortrag**  
**Philippe Etienne**  
*„Zwei Wochen vor Beginn der Klimakonferenz in Paris: Eine Herausforderung für Frankreich, Deutschland und Europa?“*

**Diskussion**  
Fragen an den Botschafter

## Umtrunk

Ende um 16:30 Uhr

Die Veranstaltung wird in deutscher Sprache durchgeführt.

Wir bitten um Anmeldung bis zum 09.11.2015 per E-Mail an  
events@zv.uni-freiburg.de

# Bergsturz Köfels, Ötztal

Radonanomalie Umhausen



# Partikuläre Luftkomponenten/Aerosole

## Partikelgrößen:

- *Aerosole, allgemein 5 nm - 100  $\mu\text{m}$*
- *Aerosole Erdatmosphäre 1 - 10  $\mu\text{m}$*
- *Grobstaub: 10 - 200  $\mu\text{m}$*
- *Feinstaub: <10  $\mu\text{m}$*

# Partikuläre Luftkomponenten/Aerosole

## Geogene Stäube:

- *Saharastaub*
- *Meersalz*
- *Vulkanismus*
- *Vegetationsbrände*

Table 3.2 Sources for particulate material in the atmosphere. From Brimblecombe (1986).

Source	Global flux (Tg yr <sup>-1</sup> )
Forest fires	35
Dust	750
Sea salt	1500
Volcanic dust	50
Meteoritic dust	1

# Saharastaub



Nasa image  
19/08/2004



<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/SeaWiFS/>

# Meersalz - Tafoniverwitterung





# Partikuläre Luftkomponenten/Aerosole

## Anthropogene Aerosole:

- *Verbrennungsprodukte*
  - *Verkehr*
  - *Industrie*
  - *Hausbrand*

Zusammen: 0.2 Gt pro Jahr

# Veränderungen durch anthropogene Aktivitäten

1. Eintrag neuer  
„Umweltchemikalien“
2. Veränderung natürlicher  
Kreisläufe

# Rauchgase

Größte Schadstoffquellen  
Kohlekraftwerke  
Müllverbrennungsanlagen

## Bestandteile Rauchgas

Restsauerstoff, Wasserdampf,  
Stickstoff, Kohlendioxid und  
Kohlenmonoxid  
Schwefeldioxid  
Stickoxide  
Kohlenwasserstoffe  
Salzsäure, Flußsäure  
Schwermetalle  
Dioxine und Furane  
Flugasche  
Ruß

# Schadstoffausstoß bei Müllverbrennung früher (1990) und heute

## vor 1990

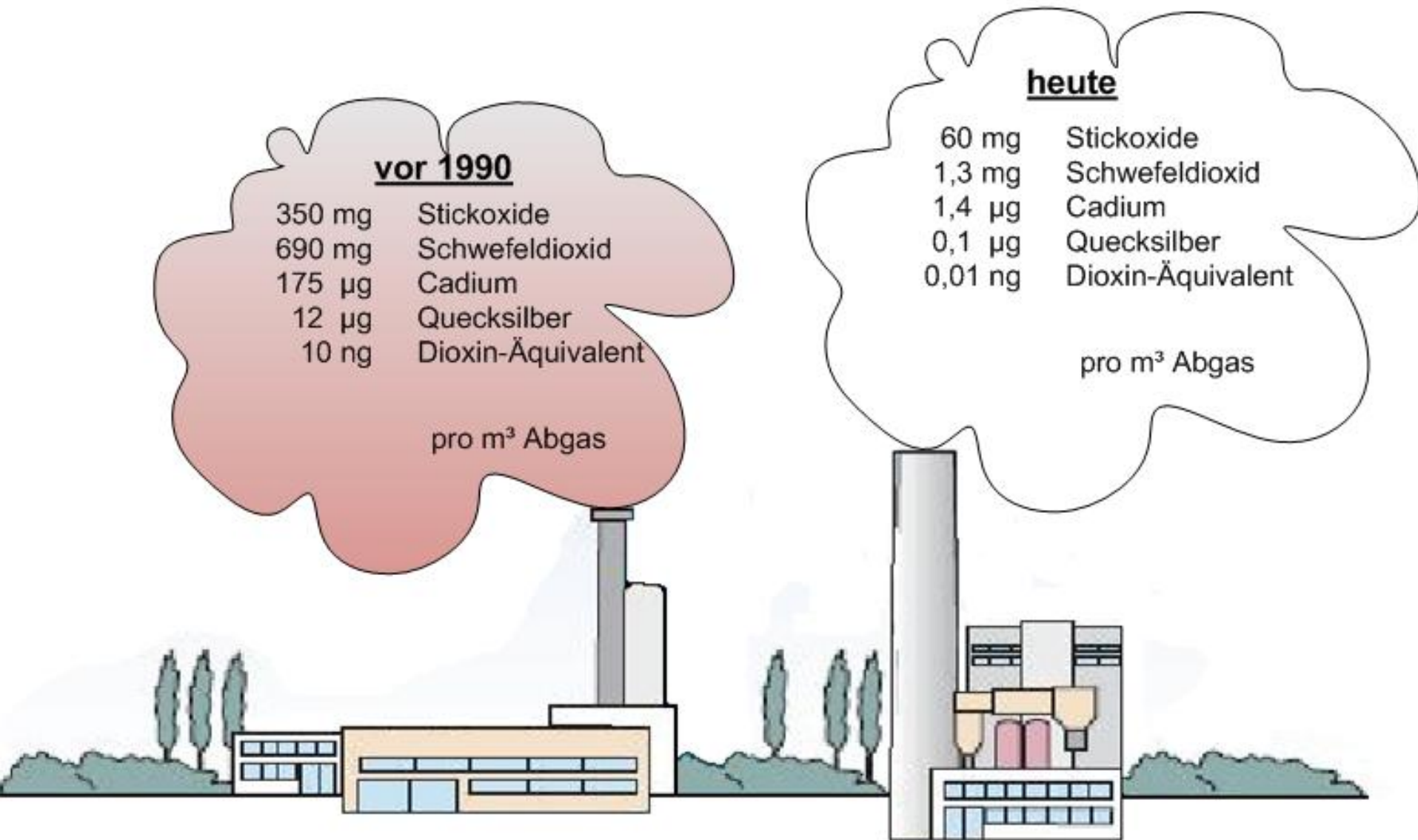
350 mg	Stickoxide
690 mg	Schwefeldioxid
175 µg	Cadium
12 µg	Quecksilber
10 ng	Dioxin-Äquivalent

pro m<sup>3</sup> Abgas

## heute

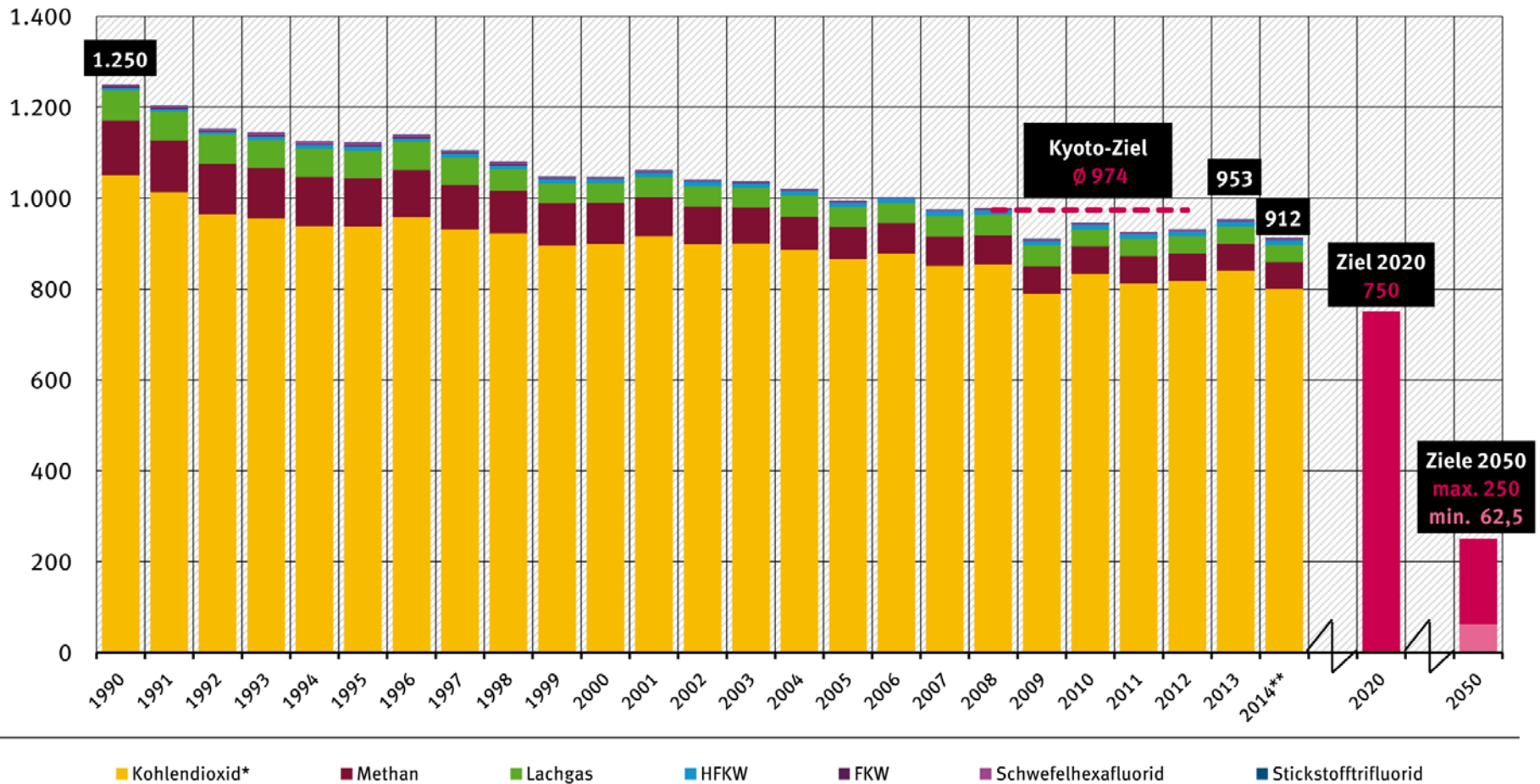
60 mg	Stickoxide
1,3 mg	Schwefeldioxid
1,4 µg	Cadium
0,1 µg	Quecksilber
0,01 ng	Dioxin-Äquivalent

pro m<sup>3</sup> Abgas



# Treibhausgas-Emissionen in Deutschland seit 1990 nach Gasen sowie Ziele für 2008-2012 (Kyoto-Protokoll), 2020 und 2050 (Bundesregierung)

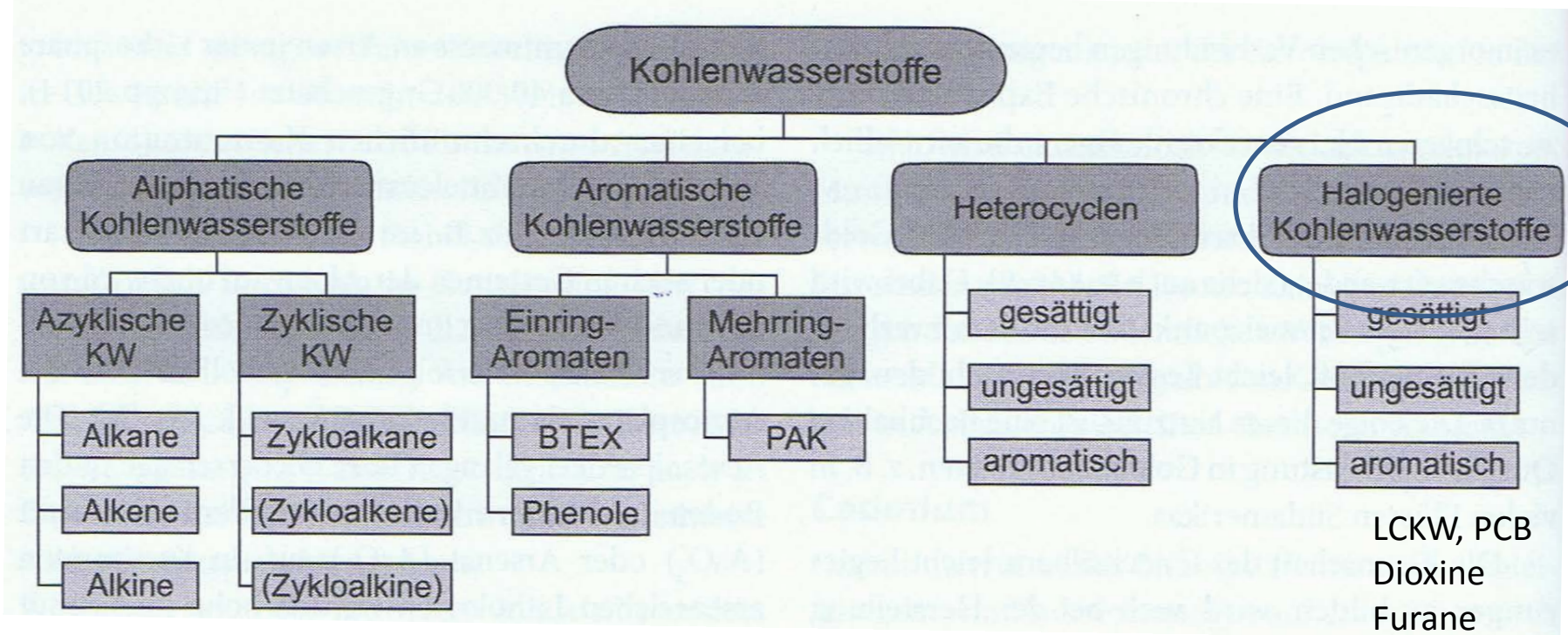
Millionen Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente



\* ohne Kohlendioxid aus LULUCF

\*\* Zeitnahprognose für 2014

Quelle: Umweltbundesamt 2015, Nationale Treibhausgas-Inventare 1990 bis 2013 und Zeitnahprognose für 2014 (Stand: 03/2015)



**Aliphatische KW:** Moleküle mit einem oder mehreren offenen, kettenförmigen Kohlenwasserstoffresten. Bestehen ausschließlich aus Kohlenstoff und Wasserstoffatomen

**Azyklische KW:** in geraden oder verzweigten Ketten miteinander verbunden.

**Zyklische KW:** enthalten ringartige Bindungen.

**Aromatische KW:** Kohlenwasserstoffe mit Ringsystemen

**Heterozyklen:** enthalten im Ring andere Elemente neben C-Atomen

BTEX = **B**enzol, **T**oluol, **E**tlybenzol, **X**ylol

PAK = polyzyklische aromatische KW

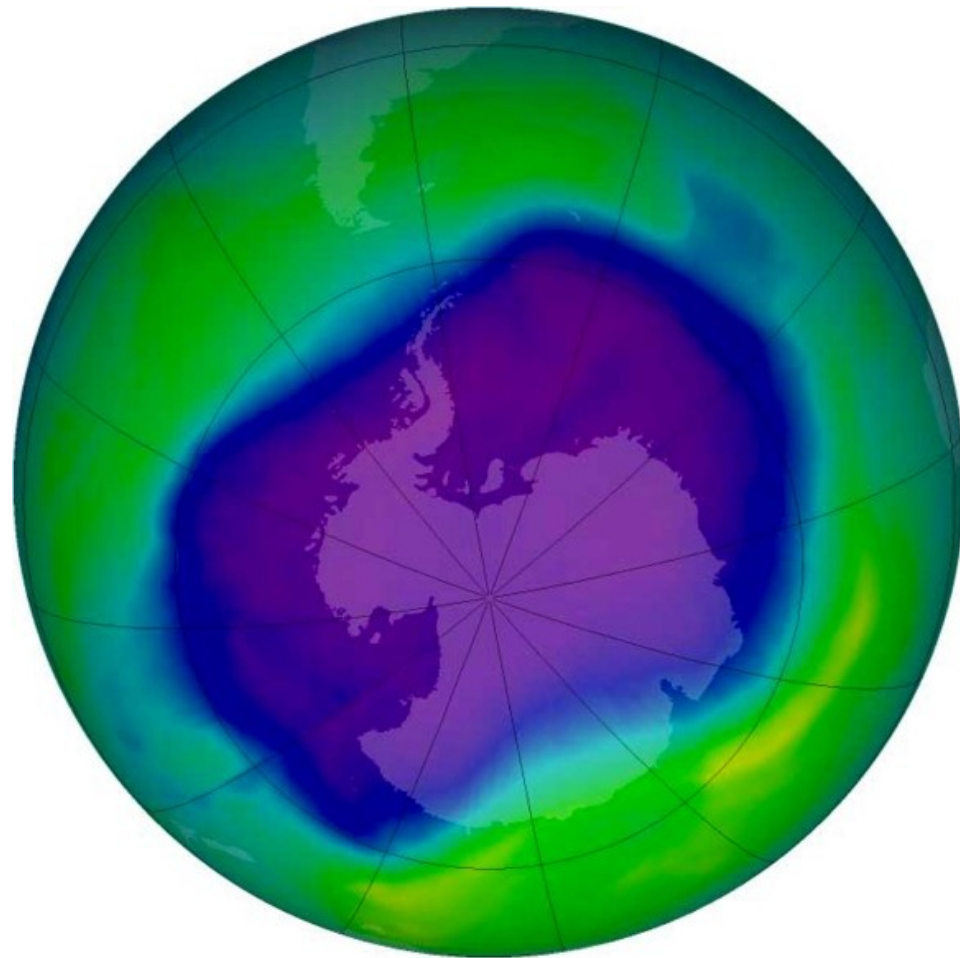
LCKW = leichtflüchtige chlorierte KW, PCB = polychlorierte Biphenyle

# Natürliche Spurengase in der Atmosphäre

**Table 3.3** Naturally occurring trace gases of the atmosphere. From Brimblecombe (1986).

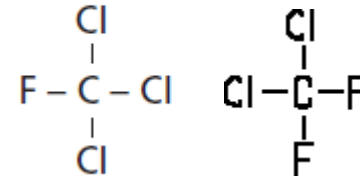
	Residence time	Concentration (ppb)
Carbon dioxide	4 years	360 000
Carbon monoxide	0.1 year	100
Methane	3.6 years	1600
Formic acid	10 days	1
Nitrous oxide	20–30 years	300
Nitric oxide	4 days	0.1
Nitrogen dioxide	4 days	0.3
Ammonia	2 days	1
Sulphur dioxide	3–7 days	0.01–0.1
Hydrogen sulphide	1 day	0.05
Carbon disulphide	40 days	0.02
Carbonyl sulphide	1 year	0.5
Dimethyl sulphide	1 day	0.001
Methyl chloride	30 days	0.7
Methyl iodide	5 days	0.002
Hydrogen chloride	4 days	0.001

# Chemischer Ozonabbau

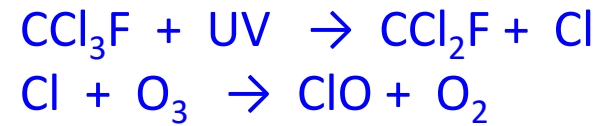


## Flourchlorkohlenwasserstoffe (FCKW)

(b) Trichlorofluoromethane  
(Freon-II) (Frigen 12)



Reaktion mit Ozon-Molekül in der Stratosphäre:

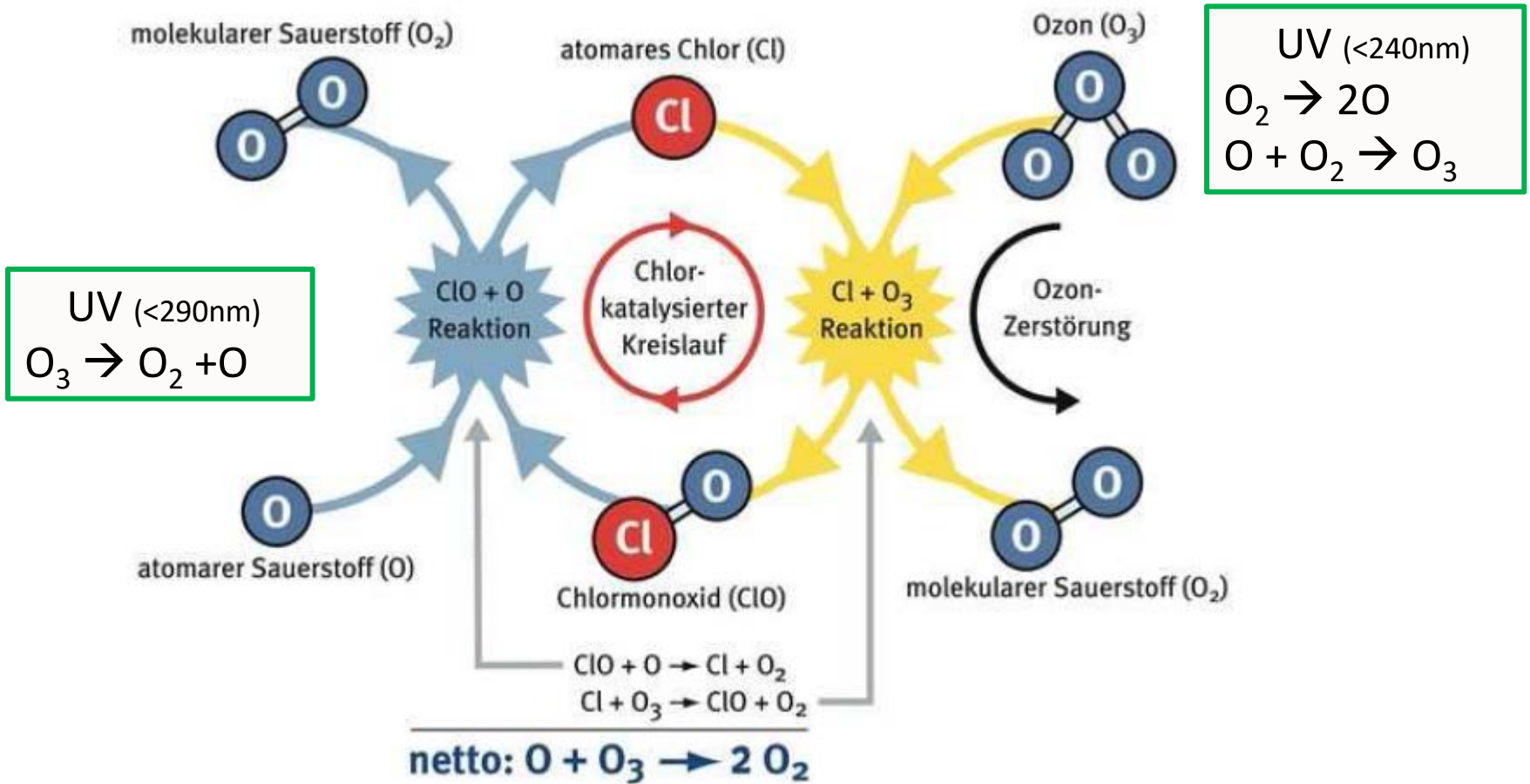


Chloroxid kann erneut ein Ozon-Molekül angreifen. Auf diese Weise kann ein einziges Chlor-Atom bis zu 100 000 Ozon-Moleküle zerstören!

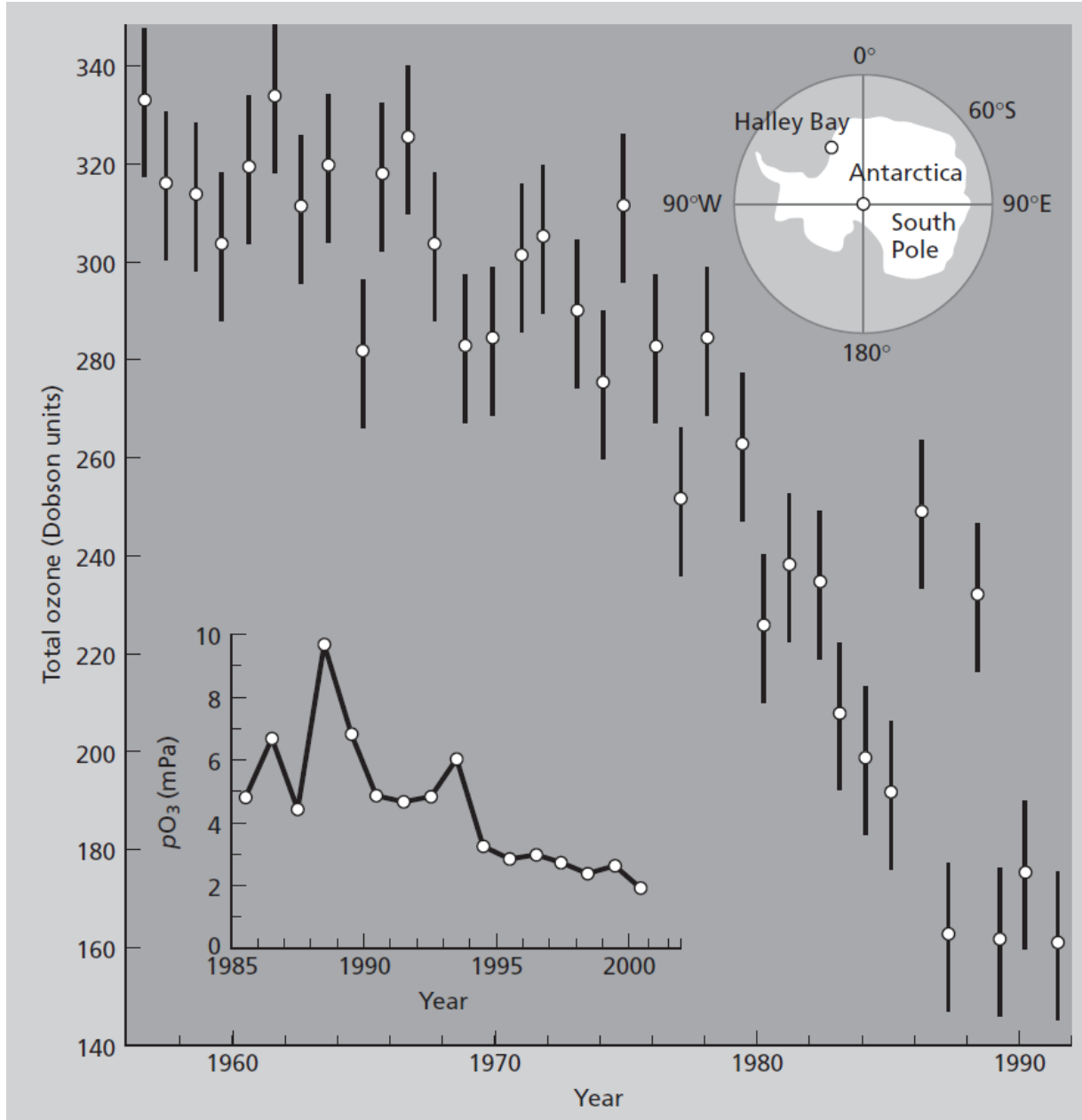
Ozonloch über der Antarktis im September 2006



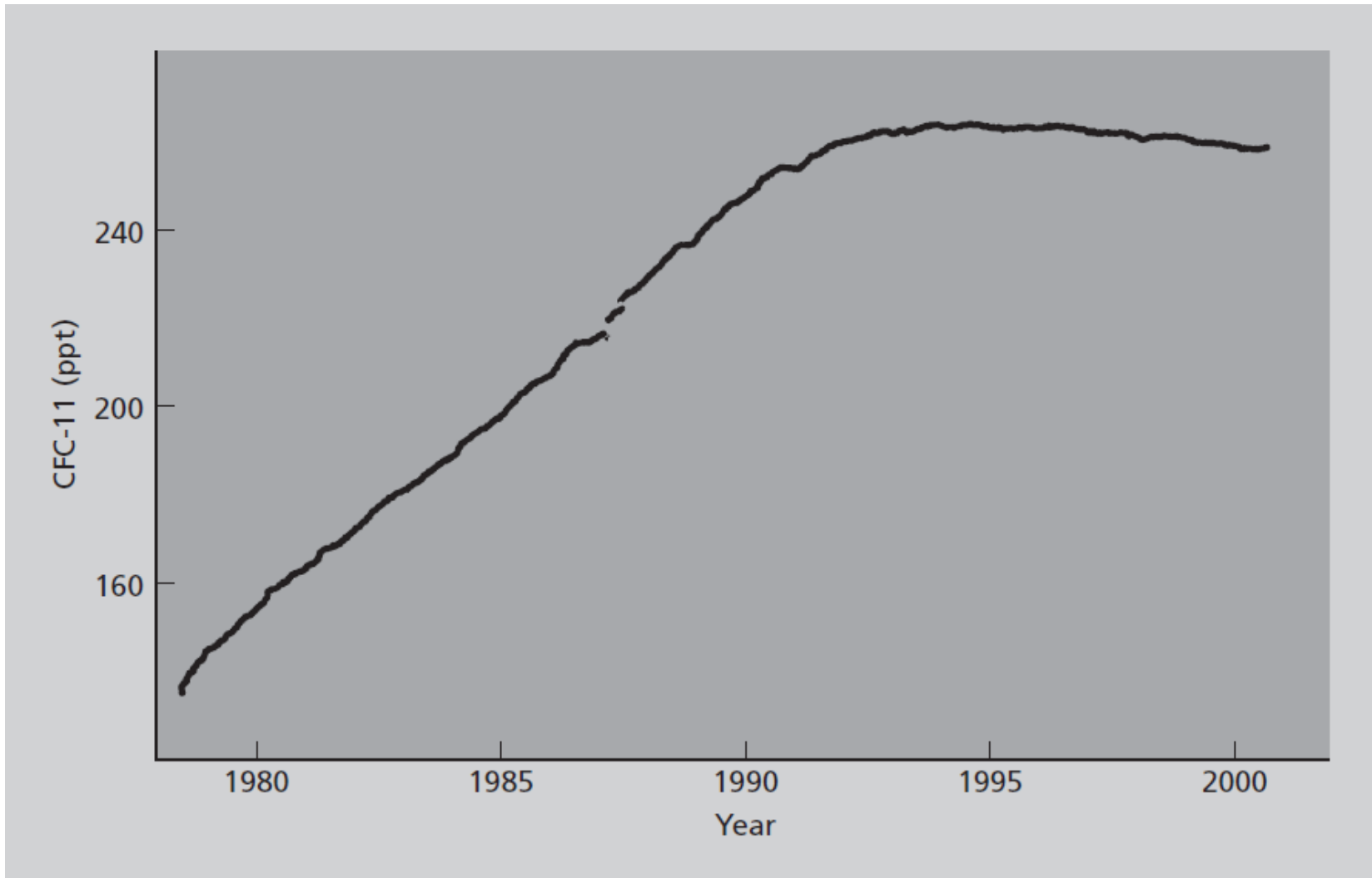
# Chemischer Ozonabbau



# Das Ozonloch über der Antarktis

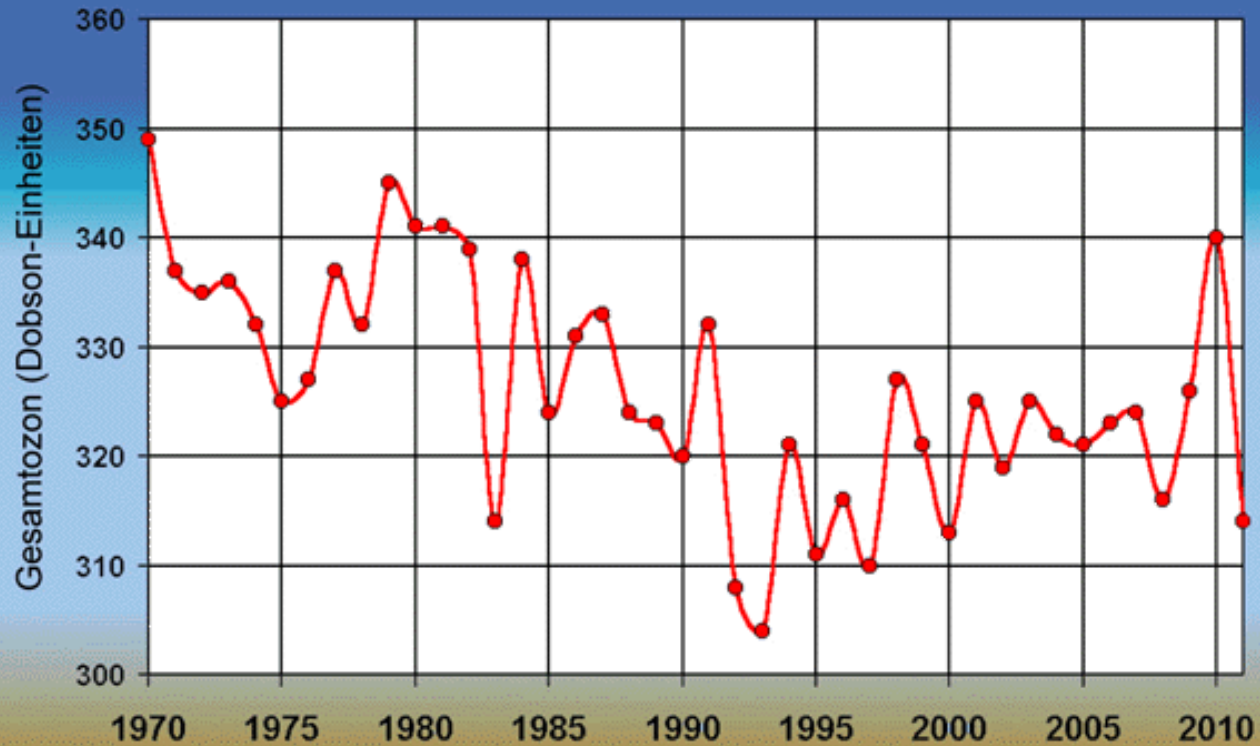


# Abschied vom Ozonloch??



**Fig. 3.7** Concentrations of CFC-11 measured at ground level, Cape Grim, Tasmania. Note that concentrations of CFC-11 have been falling in the 1990s following the rapid increase during the 1980s. Copyright CSIRO Australia, May 2002.

# Ozon-Jahresmittelwerte am Observatorium Hohenpeißenberg



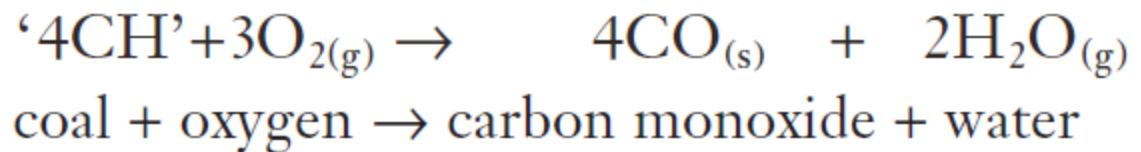
Der Knick im Jahre 1991 durch Ausbruch des Vulkans Pinatubo (Philippinen). Abnahme im Jahre 1982 durch Ausbruch des Vulkans El Chichón (Mexiko).

# London smog (sm[o]ke and f[o]g)

*Jack the Ripper in the London Fog*



# London smog (sm[o]ke and f[o]g)

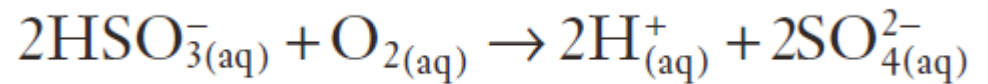
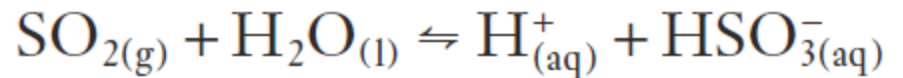
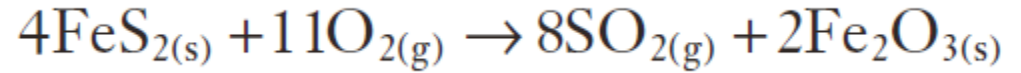


---

Fuel	S (% by weight)
Coal	7.0–0.2
Fuel oils	4.0–0.5
Coke	2.5–1.5
Diesel fuel	0.9–0.3
Petrol	0.1
Kerosene	0.1
Wood	Very small
Natural gas	Very small

---

# London smog (sm[o]ke and f[og])



# Auswirkungen der Luftverschmutzung

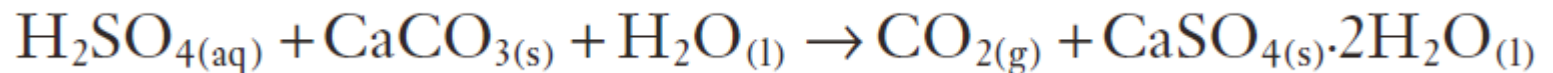
## Portalfigur (Schloß Herten)



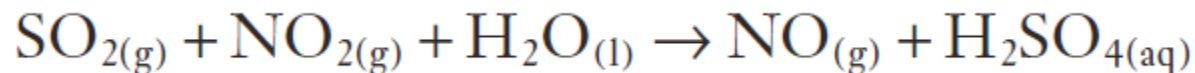
1908



1969



Anwesenheit von Stickoxiden kann  $\text{H}_2\text{SO}_4$ -Bildung beschleunigen:





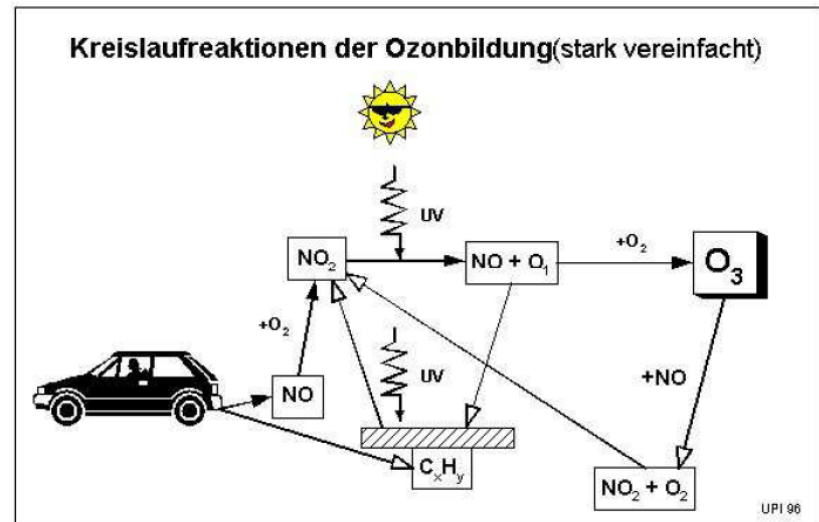
# Reaktivität von Spurensstoffen

## Ozon – nützlich und gefährlich

an der Luft wird NO zu braunem NO<sub>2</sub> oxidiert:

NO<sub>2</sub> dissoziiert bei Bestrahlung mit Sonnenlicht:

Ozonbildung in Bodennähe durch Reaktionen von Stickstoffoxiden (NO, NO<sub>2</sub>) aus Abgasen unter dem Einfluß von UV-Licht:



# Los Angeles smog – secondary pollution



Ozon - sekundärer Schadstoff

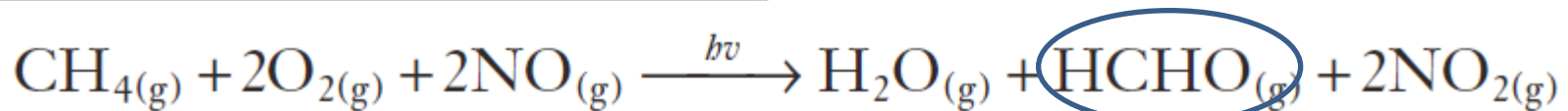
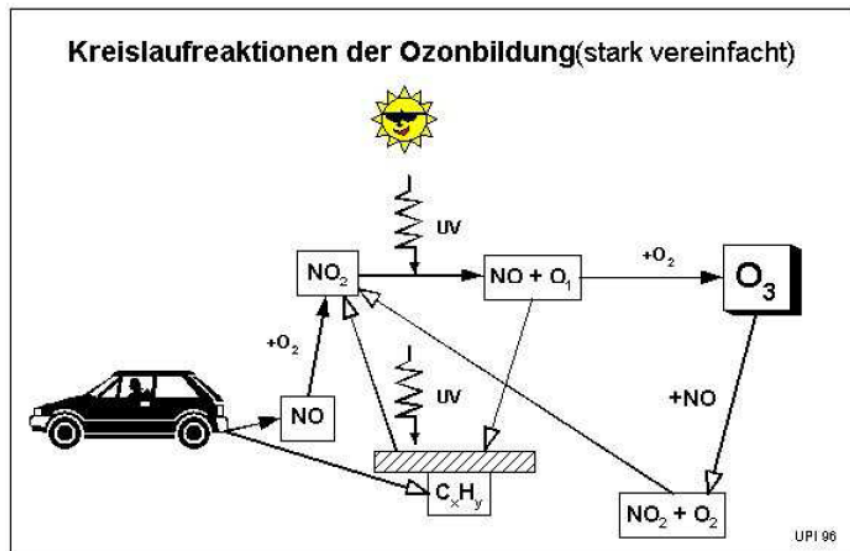
Was passiert mit dem Ozon?

Abbau über:



Diese Reaktion findet nicht statt wenn NO mit sog. VOCs\* reagiert

\* VOC = volatile organic components bzw. flüchtige organische Verbindungen



# Wichtigste Bestandteile des photochemischen Smogs

Ozon ( $O_3$ )

Peroxidradikale ( $R-CH_2O_2$ )

Peroxyacetylnitrat (PAN)  $C_2H_3NO_5$

**Table 3.5** Comparison of Los Angeles and London smog. From Raiswell *et al.* (1980).

Characteristic	Los Angeles	London
Air temperature	24 to 32°C	-1 to 4°C
Relative humidity	<70%	85% (+ fog)
Wind speed	<3 ms <sup>-1</sup>	Calm
Visibility	<0.8–1.6 km	<30 m
Months of most frequent occurrence	Aug. to Sept.	Dec. to Jan.
Major fuels	Petroleum	Coal and petroleum products
Principal constituents	O <sub>3</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , CO, organic matter	Particulate matter, CO, S compounds
Time of maximum occurrence	Midday	Early morning
Principal health effects	Temporary eye irritation (PAN)	Bronchial irritation, coughing (SO <sub>2</sub> /smoke)
Materials damaged	Rubber cracked (O <sub>3</sub> )	Iron, concrete

## Air Pollution in Beijing

In winter when coal-fired heating is used and there is no wind or rain to remove the pollution, the levels of pollution measured by the US embassy (the most reliable source) is off the charts and at least 30 to 45 times the recommended safety levels.

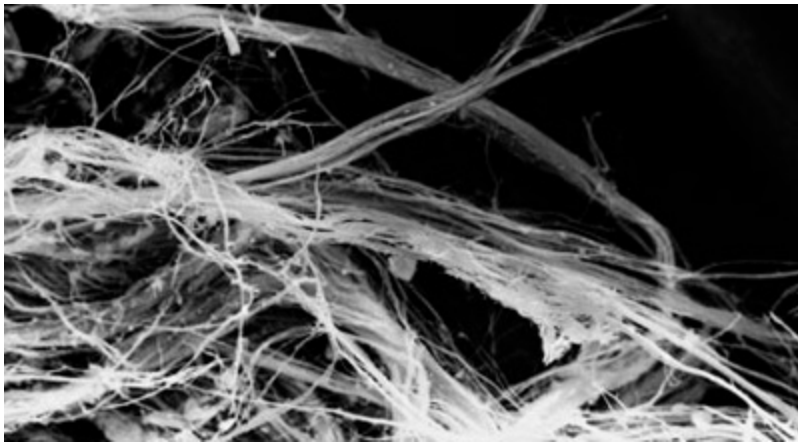


# Asbest

häufige *Asbestminerale*: Aktinolith, Tremolith und Chrysotil



Asbestbergwerk auf Zypern (Trodos-Gebirge, von 1904 – 1988). Jahresproduktion zwischen 20.000 t und 40.000 t pro Jahr.



Chrysotilasbest-Fasern (Serpentinasbest)

Eternit (Baustoff): Asbest+ Zement + Wasser

# Asbest im Tunnelbau

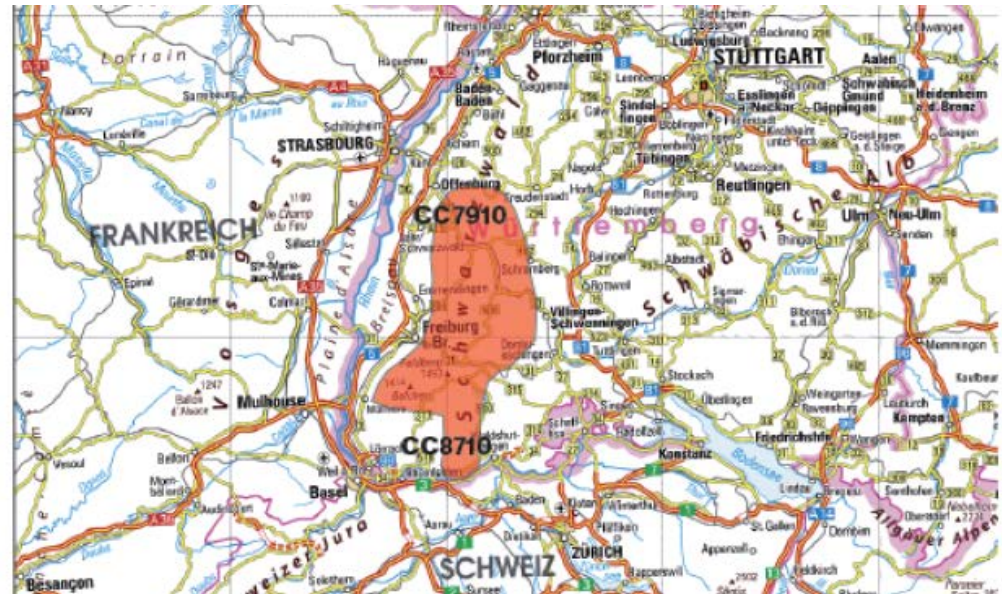


Empfehlungen zu Schutzmaßnahmen  
bei Tunnelvortrieben in asbestbelastetem Gestein

## Empfehlungen zu Schutzmaßnahmen bei Tunnel in asbestbelastetem Gestein

Empfehlungen der Arbeitsgruppe

„Schutzmaßnahmen bei Tunnelvortrieben in asbestbelastetem Gestein“  
des Deutscher Ausschusses für unterirdisches Bauen e.V. (DAUB).



Schutzmaßnahmen beim Abbau des Gesteins erforderlich wenn:  
Gehalt an faserförmigen Asbestmineralien im anstehenden Gestein größer  
als 0,008 Massen-% oder Konzentration von 15.000 Fasern /m<sup>3</sup> oder mehr.

# Hydrosphere



# Wasser

- bedeckt 71% der Erde
- 97% davon in den Ozeanen (Salzwasser)
- Salinität (variiert um 35g Salz pro kg Meerwasser)
- 2% gefroren (Eis)
- 4% Grundwasser
- 0.013% Süßwasser



# Eigenschaften von Wasser

- Wassermolekül – Dipoleigenschaften  
Wasserstoffbrückenbindung
- Große Oberflächenspannung
- Hoher Schmelz- und Siedepunkt
- Dichteanomalie
- Lösungsmittel – hohe Löslichkeit Lösung anderer Moleküle durch Hydrolyse (Ausnahme: Öl!)
- Hohe Wärmekapazität
- Hohe Verdunstungswärme
- Transportmedium





Wie schwer ist so ein Wassertropfen?

# Eigenschaften von Wasser

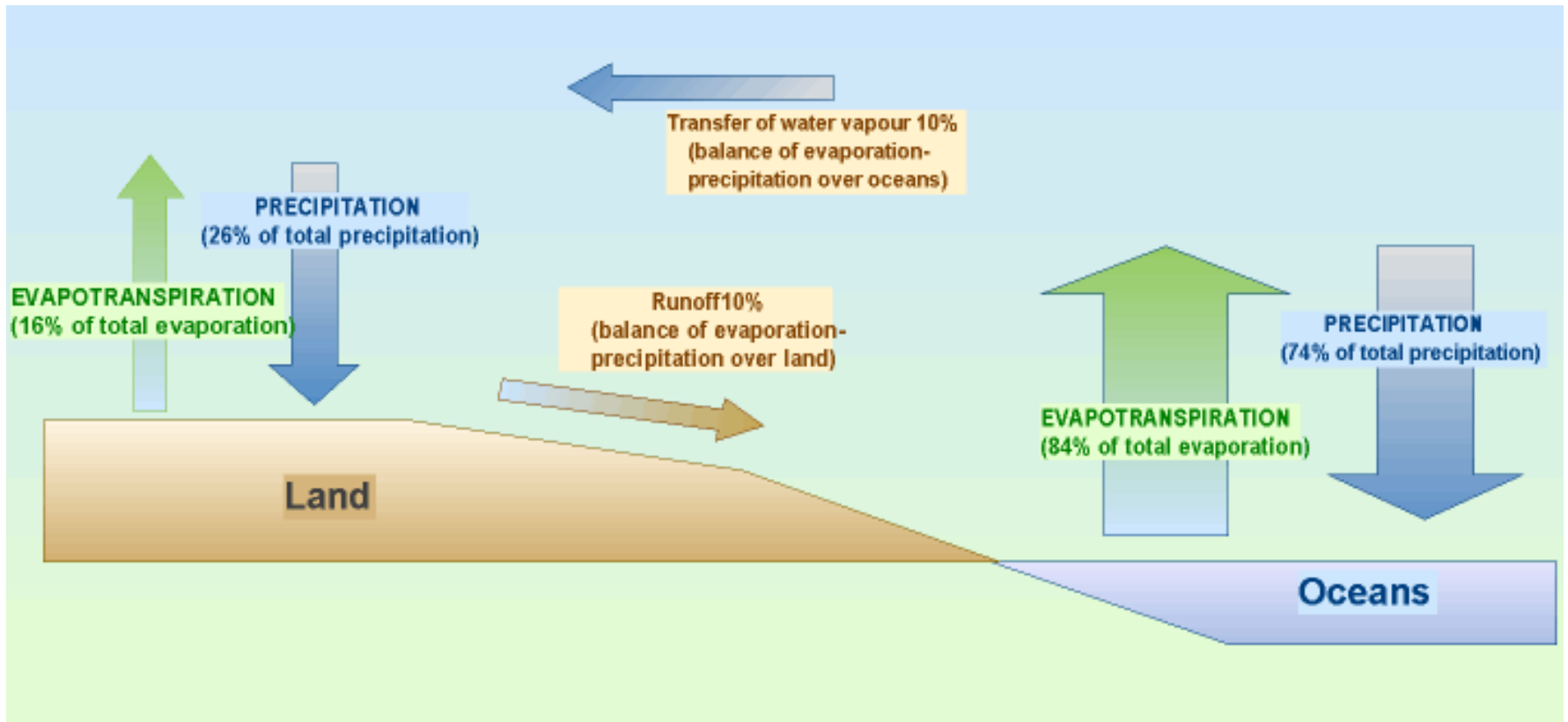
- Wassermolekül – Dipoleigenschaften  
Wasserstoffbrückenbindung
- Große Oberflächenspannung
- Hoher Schmelz- und Siedepunkt
- Dichteanomalie
- Lösungsmittel – hohe Löslichkeit Lösung anderer Moleküle durch Hydrolyse (Ausnahme: Öl!)
- Hohe Wärmekapazität
- Hohe Verdunstungswärme
- Transportmedium



Wasser kann sich selbst in Wasser lösen

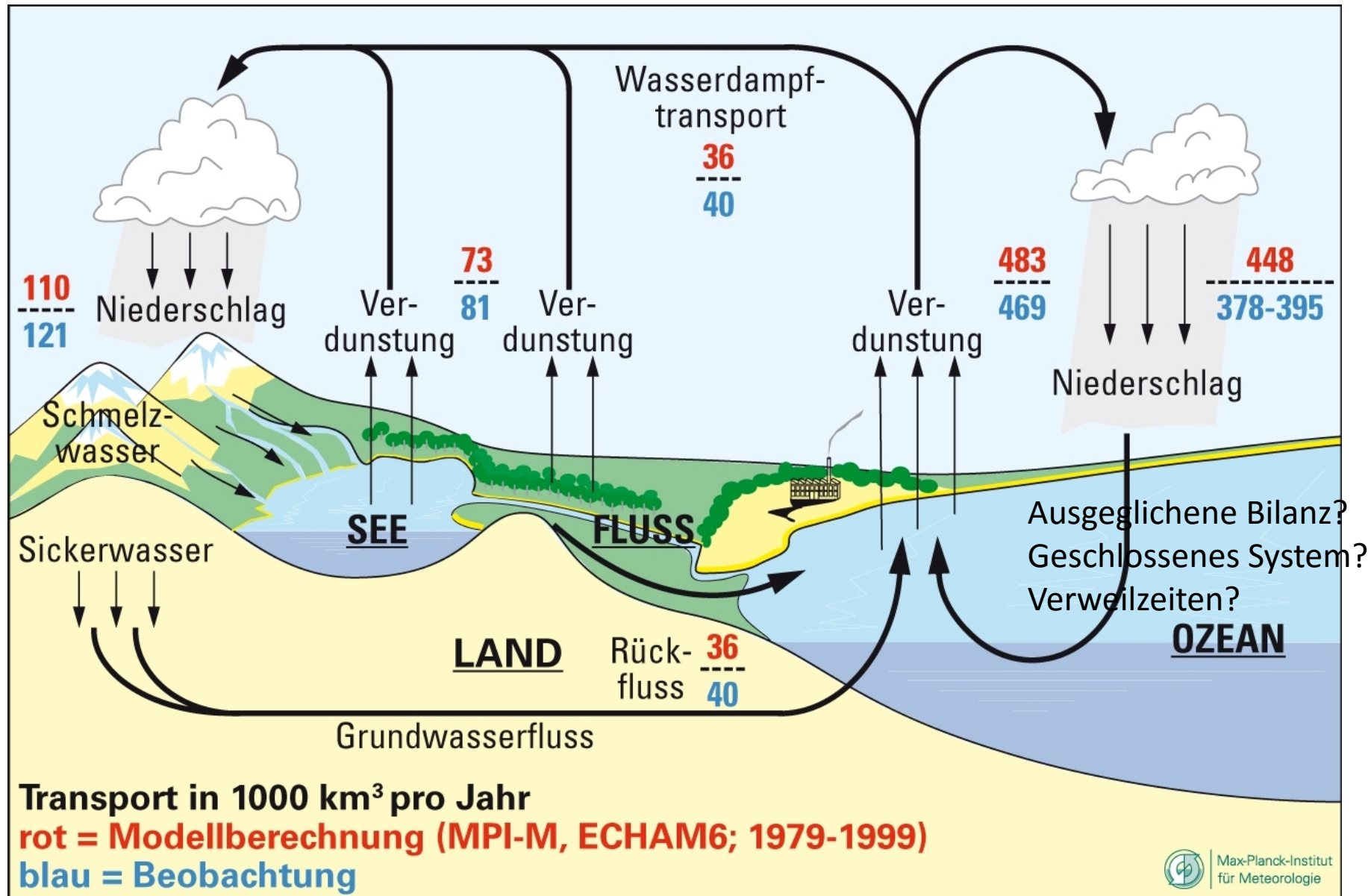
**Eigendissoziation**

# Der globale Wasserkreislauf



Waugh 1990

# Der globale Wasserkreislauf



# Niederschlag

Regen, Tau, Reif, Hagel, Schnee

*Nasse Deposition*: Austrag von gelösten und ungelösten Substanzen

## Einfluss der Topographie

### Alpenraum

1500 mm,  $\frac{2}{3}$  Abfluss,  $\frac{1}{3}$  Evaporation

### Europäisches Flachland

600-800 mm,  $\frac{1}{3}$  Abfluss,  $\frac{2}{3}$  Evaporation

# Verdunstung

Evapotranspiration - physiologisch regulierte Verdunstung über die Spaltöffnungen der Pflanzen

Evaporation - Verdunstung von Wasseroberflächen und unbewachsenem Boden



# Abfluss

a) Oberflächenabfluss (auf der Geländeoberfläche)

b\*) Zwischenabfluss (im Boden oberhalb einer stauenden Grenzschrift); ungesättigte Zone – Sickerwasser, Haftwasser

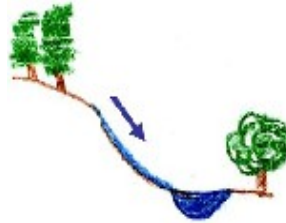
c\*) Grundwasserabfluss (im Grundwasserbereich)  
bzw. Basisabfluss

d) Quellaustritte und erneute Versickerungen

\* Infiltration

# Hydrogeologische Grundgleichung

$$N = A + V$$

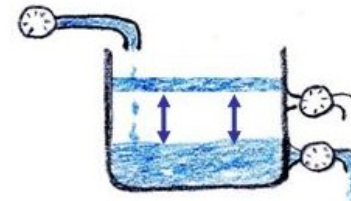


N = Niederschlag

A = Abfluss

V = Verdunstung

$$N = A + V + \Delta S$$



$\Delta S$  = Wasservorratsänderung

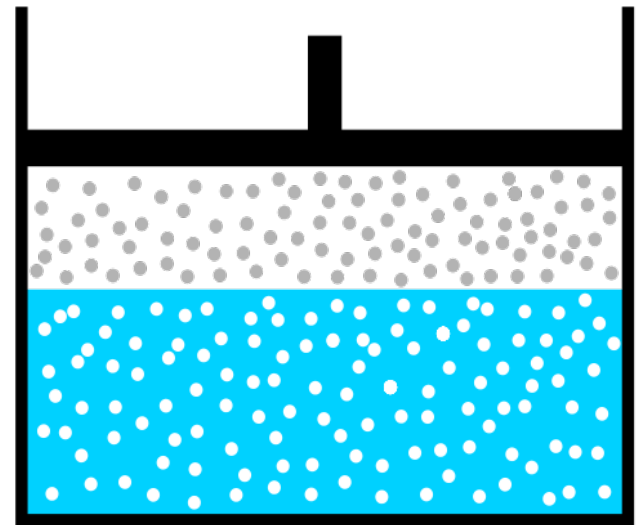
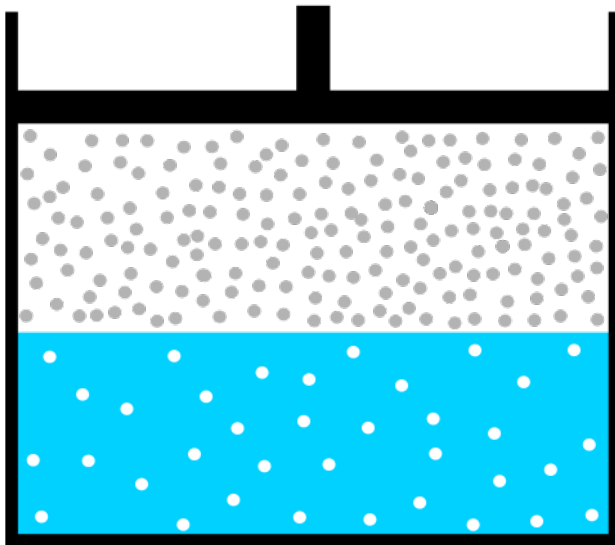
# Löslichkeit von Gasen in Flüssigkeiten

**Henry-Gesetz:**  $H = c_l/p$

H = Henry Löslichkeitskonstante

$c_l$  = Menge des Gases in der Lösung

p = Partialdruck des Gases



# Löslichkeit von Gasen in Flüssigkeiten



Quelltuffe (Scheibum, Ammer) und Kalkausscheidungen in einer Tropfsteinhöhle also Folge der  $\text{CO}_2$ -Entgasung



*China-Exkursion 2006*

# Hydrosphäre

## Rekapitulation

Die chemischen & physikalischen Prozesse innerhalb des Wasserkreislaufs basieren auf den speziellen Eigenschaften des Wassermoleküls

Wasserkreislauf: Verdunstung, Kondensation, Niederschlag, Versickerung, Wiederaustritt; hydrogeologische Grundgleichung

Niederschlagswässer: angereichert; Stoffen aus der Luft, einschl. Gase ( $\text{CO}_2$ ) → sauer  
Bei Verdunstung an Erdoberfläche gehen diese gelösten Stoffe ins **Bodenwasser** über

# Bodenwasser

ungesättigte Bodenzone: kein zusammenhängender Wasserkörper

Sickerwasser, Haftwasser (c. 50% in Ton, <5% in Sand)

Verringerung des Sauerstoffgehaltes und Anstieg des CO<sub>2</sub> Gehaltes durch Wurzelatmung und Bioaktivität

$$\text{CO}_2 \text{ Bodenluft} = 10-100 \times \text{CO}_2 \text{ Atmosphäre}$$

Wasser (Bodenlösung) erhält „hydrochemische Prägung“

# Löslichkeit von Gasen in Wasser

Wasser kann Gase ebenso lösen wie Feststoffe

Löslichkeit abhängig vom Partialdruck und der Temperatur

## **Partialdruck:**

Gase lösen sich bei hohem Druck besser in Flüssigkeiten. Gasfreisetzung bei Druckentlastung

## **Temperatur:**

Gase lösen sich bei niedrigen Temperaturen besser in Flüssigkeiten. Gasfreisetzung beim Erwärmen

# Löslichkeit von CO<sub>2</sub> in Wasser



**Berechnung der Gleichgewichtskonstante:**

$$K_{\text{CO}_2} = \frac{a_{\text{H}_2\text{CO}_3}}{P_{\text{CO}_2} x_{\text{H}_2\text{O}}}$$

da die Molfraktion von Wasser ~1 ist gilt

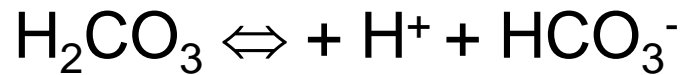
$$K_{\text{CO}_2} = \frac{a_{\text{H}_2\text{CO}_3}}{P_{\text{CO}_2}}$$



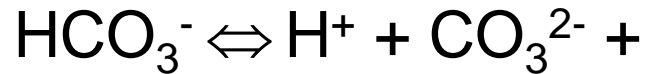
# Löslichkeit von Gasen in Wasser

## Dissoziation von Kohlensäure

Dissoziationschritte:



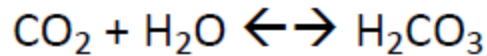
$$K_1 = \frac{a_{\text{H}^+} \cdot a_{\text{HCO}_3^-}}{a_{\text{H}_2\text{CO}_3}} = 10^{-6,4}$$



$$K_2 = \frac{a_{\text{H}^+} \cdot a_{\text{CO}_3^{2-}}}{a_{\text{HCO}_3^-}} = 10^{-10,3}$$

für mehrbasige Säuren gilt:  $K_1 > K_2$

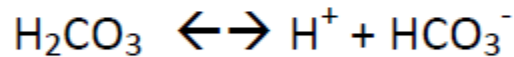
# Beziehung zwischen CO<sub>2</sub>-Gehalt und pH-Wert



Gleichgewichtskonstante  $K_{\text{CO}_2} = \frac{a_{\text{H}_2\text{CO}_3}}{P_{\text{CO}_2}} = 0.031 \text{ mol/kg Atmosphären}^{-1}$  bei 25°C

$P_{\text{CO}_2}$  Luft = 0.0003 Atmosphären

$$a_{\text{H}_2\text{CO}_3} = 0.031 \times 0.0003 = 0.0000093 = 10^{-5,03}$$



$$K = \frac{a_{\text{H}^+} \times a_{\text{HCO}_3^-}}{a_{\text{H}_2\text{CO}_3}} = 10^{-6,4}$$

$$\text{Daher ist } a_{\text{H}^+} \times a_{(\text{HCO}_3)^-} = a_{\text{H}_2\text{CO}_3} \times K = 10^{-6,4} \times 10^{-5,03} = 10^{-11,43}$$

$$a_{\text{H}^+} = a_{(\text{HCO}_3)^-} = 10^{-5,7} \rightarrow \text{pH} = 5,7$$

# Löslichkeit von Sauerstoff in Wasser

gering, aber ökologisch wichtig

Für das Leben in Gewässern ist der Sauerstoffgehalt entscheidend

Eine starke Erwärmung von Gewässern führt zu einer Reduktion des Sauerstoffgehaltes. Daher kommt es in heißen Sommern auch ohne Fremdeinfluss oft zu Fischsterben

# Löslichkeit von Salzen

## Ionenstärke

*Lewis & Randall 1921*

$$I = \frac{1}{2} \sum m_i z_i^2$$

M = Molalität,  
z = relative Ladung

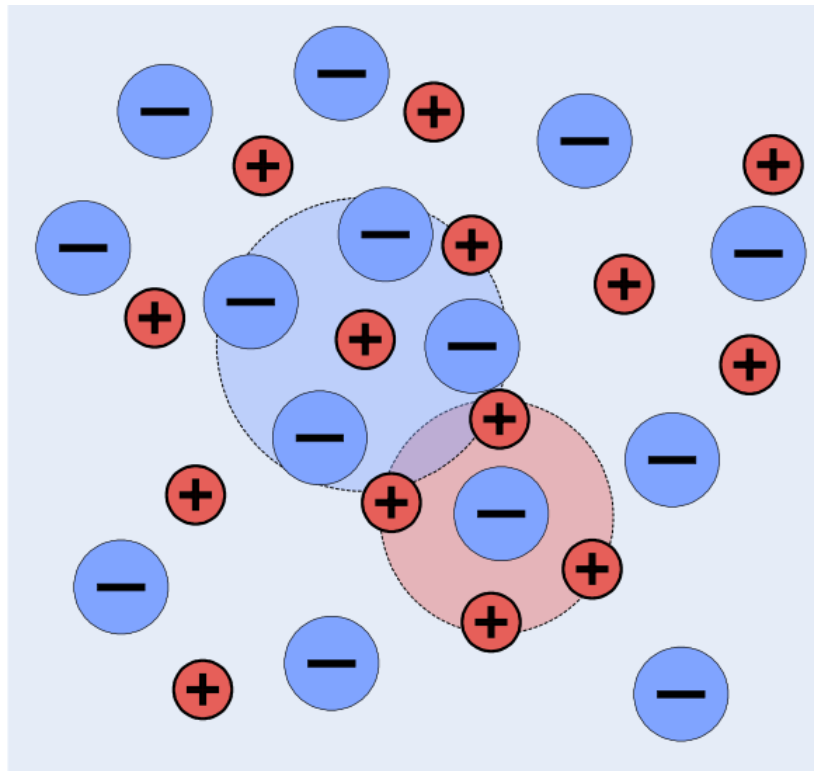
	I/mol kg <sup>-1</sup>
<b>Flußwasser:</b>	<b>&lt; 0.01</b>
<b>Meerwasser:</b>	<b>0,7</b>
<b>Lagerstättenwässer:</b>	<b>1 - 10</b>

# Ionenstärke und Aktivität

*Debye & Hückel Gleichung (beschreibt die Wechselwirkung von Ionen bzw. die Ionenverteilung in einer Lösung)*

$$\log_{10} a = -A z_i^2 I^{1/2}$$

A = Konstante,  
z = relative Ladung  
a = Aktivität / wirksame Konz.



**Nahordnung** von Ionen in einer Flüssigkeit  
**Ionenwolken** schirmen die Ladung des Zentralions ab

# Reale Lösungen: Aktivitätskoeffizient

Der Aktivitätskoeffizient  $f_i$  ist ein Maß für den wirksamen Stoffmengenanteil  $a_i$  eines Stoffes  $i$  in einer Mischung und wird als Quotient von wirksamen und tatsächlichen Stoffmengenanteil (Molfraktion)  $x_i$  angegeben:

$$f_i = a_i/x_i$$

Beispiel:

Löslichkeitsprodukt von  $\text{BaSO}_4$

a) in reinem Wasser:  $1 \times 10^{-10}$

b) in 0.1 molaler NaCl Lösung:  $7.5 \times 10^{-10}$

Fremdioniger Zusatz  
erhöht die Löslichkeit

# Ionische Leitfähigkeit des Wassers

Maß für die Summe aller im Wasser gelösten Ionen, bzw. der gelösten Salze

Hinweise auf Mineralisationsgehalt und Härtegrad

1 °dH entspricht etwa 33 µS/cm

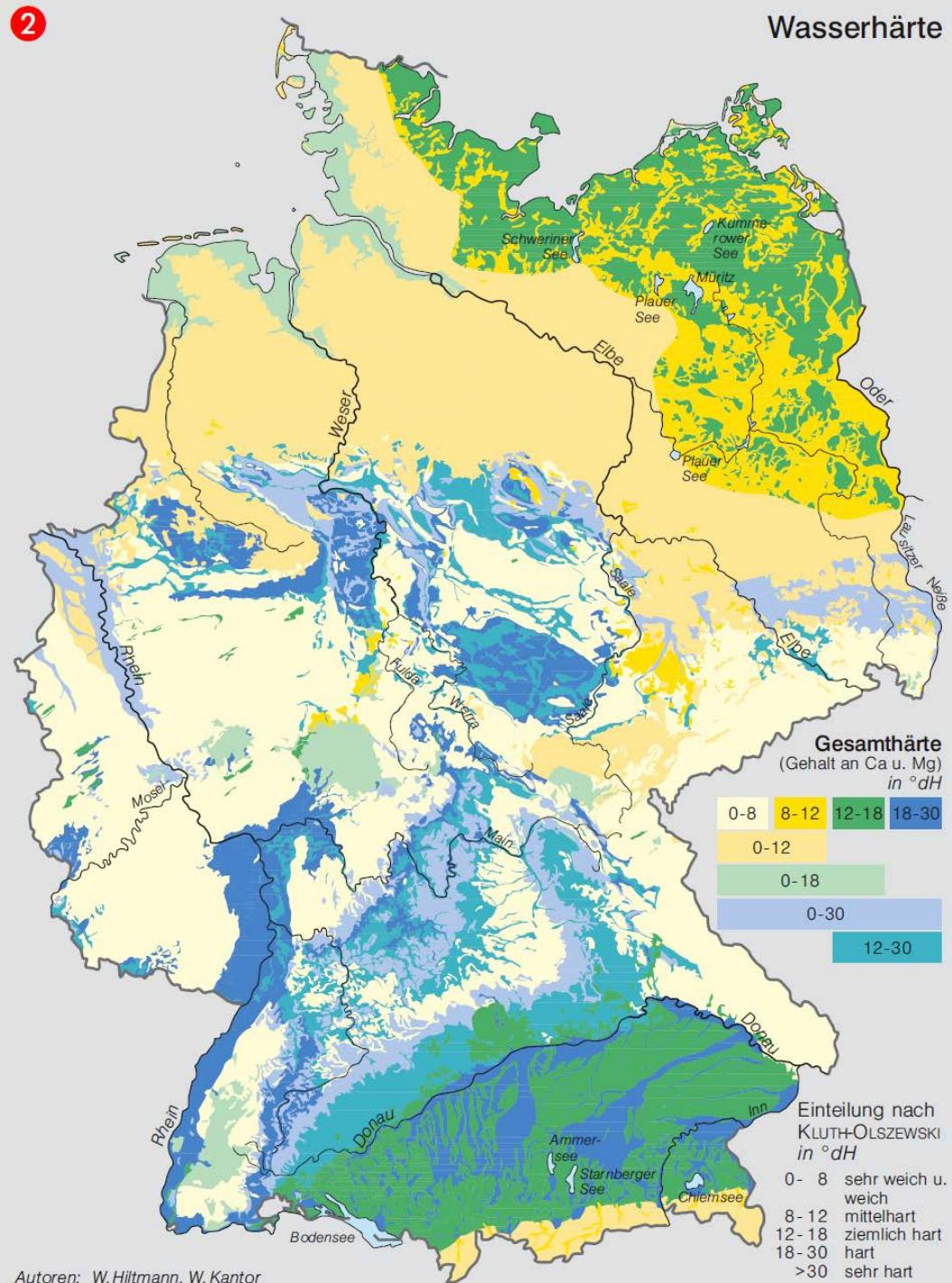
Typische Leitfähigkeiten von Wasser:

<u>Reinstwasser</u>	0.054 µS/cm
<u>Regenwasser ländl. Gebiete</u>	30 µS/cm
<u>Regenwasser Industriegebiete</u>	60 µS/cm
<u>Grundwasser Silikate</u>	130 µS/cm
<u>Grundwasser Karbonate</u>	260 µS/cm
<u>Trinkwasser Grenzwert</u>	2000 µS/cm
<u>Meerwasser</u>	48000 µS/cm

# Wasserhärte

Maß für die im Wasser gelösten Erdalkalien (Ca, Mg)

$1^\circ\text{dH} = 10 \text{ mg/l CaO}$   
oder  $7,19 \text{ mg/l MgO}$





# Grundwasser

Begriffsklärung

See im Boden? Wasseradern?

Poren und Klüfte mit Wasser gefüllt

Keine freie Bodenluft mehr

gesättigte Zone  $\leftrightarrow$  vadose Zone  
*Wasser* *Wasser & Luft*

Aquifer  $\leftrightarrow$  Aquitard  
*Grundwasserleiter* *Grundwasserhämmer*

Durchlässigkeit

# Grundwasser

## Schwebender Grundwasserleiter

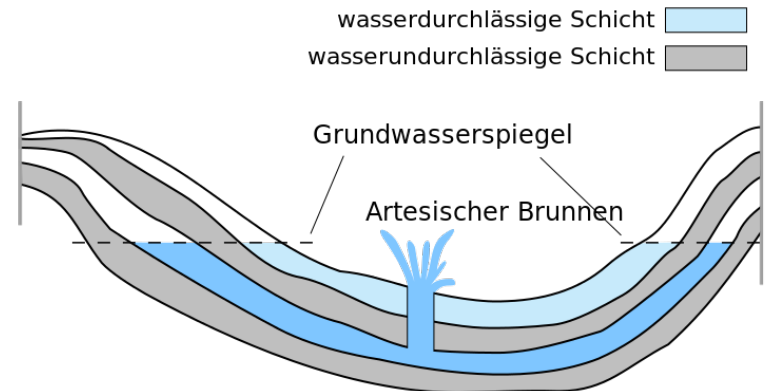
*Örtlich begrenzter Grundwasserkörper auf eine örtlich schlecht durchlässigen Schicht innerhalb der ungesättigten Zone*

## Gespannter Grundwasserleiter

*Grundwasserkörper, der von einer nahezu undurchlässigen Deckschicht überlagert ist*

## Artesischer Grundwasserleiter

*Grundwasserkörper, der unter Überdruck steht*



# Gesetz von Darcy

Zusammenhang zwischen porösem Medium (z.B. Sand), Fließgefälle und Wassermenge (Durchflußrate)

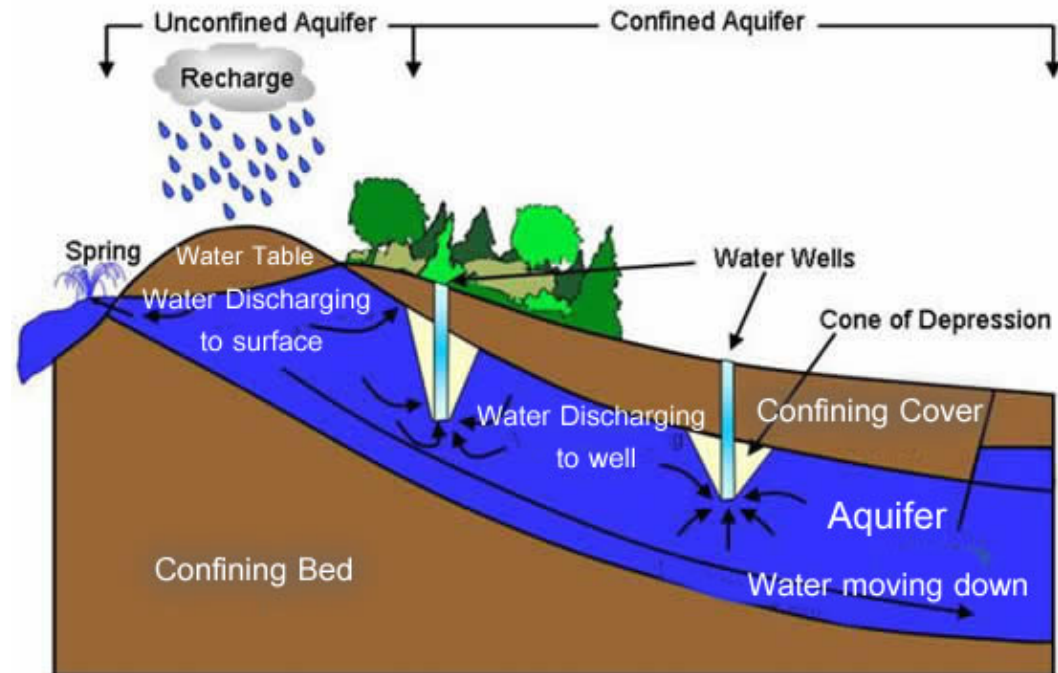
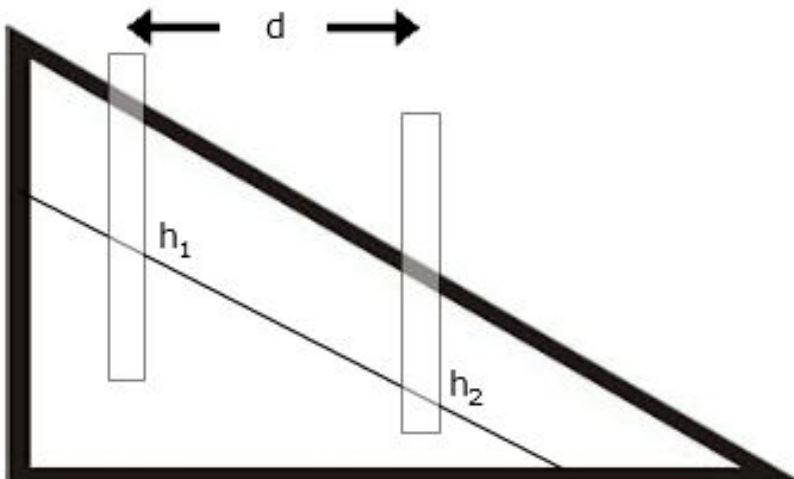
$$Q = [ K \times (h_1 - h_2) ] / d$$

Q = Wassermenge

K = Durchlässigkeit des porösen Mediums (hydraulische Leitfähigkeit)

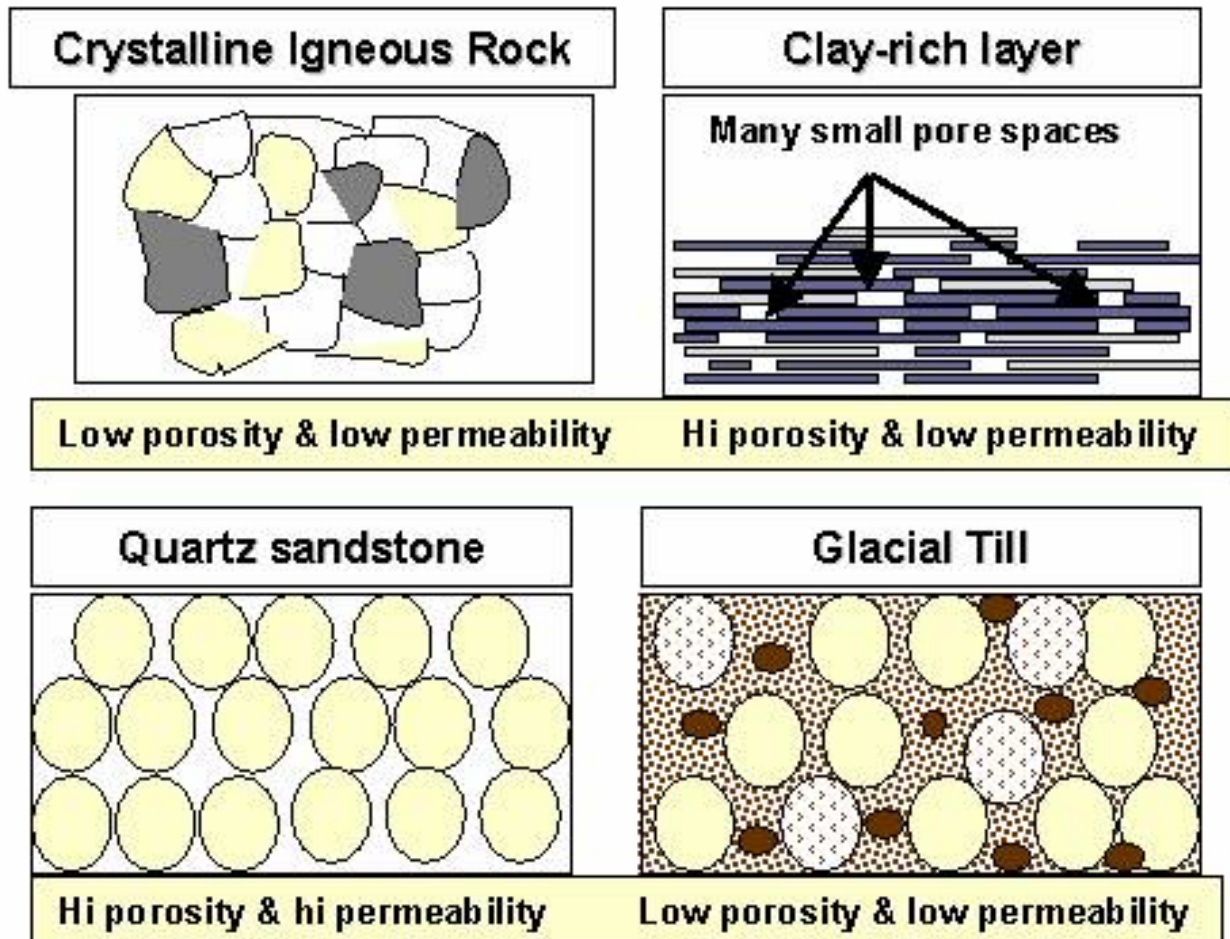
d = Fließstrecke

h1-h2 = Höhendifferenz



# Gesetz von Darcy

K (hydraulische Leitfähigkeit) hoch in permeablen Material wie Sand and Kies, niedrig in Ton oder Schluff



# Gesetz von Darcy

## Durchlässigkeitsbeiwerte für Lockergesteine (Wasser)

Lockergestein	Durchlässigkeitsbeiwert (Wasser)
reiner Kies	$10^{-1}$ bis $10^{-2}$ m/s
grobkörniger Sand	um $10^{-3}$ m/s
mittelkörniger Sand	$10^{-3}$ bis $10^{-4}$ m/s
feinkörniger Sand	$10^{-4}$ bis $10^{-5}$ m/s
schluffiger Sand	$10^{-5}$ bis $10^{-7}$ m/s
toniger Schluff	$10^{-6}$ bis $10^{-9}$ m/s
Ton	$10^{-7}$ bis $10^{-12}$ m/s

# Wichtige Parameter der Wasseranalyse

**Elektrische Leitfähigkeit** (Summenparameter – Gesamtkonzentration)

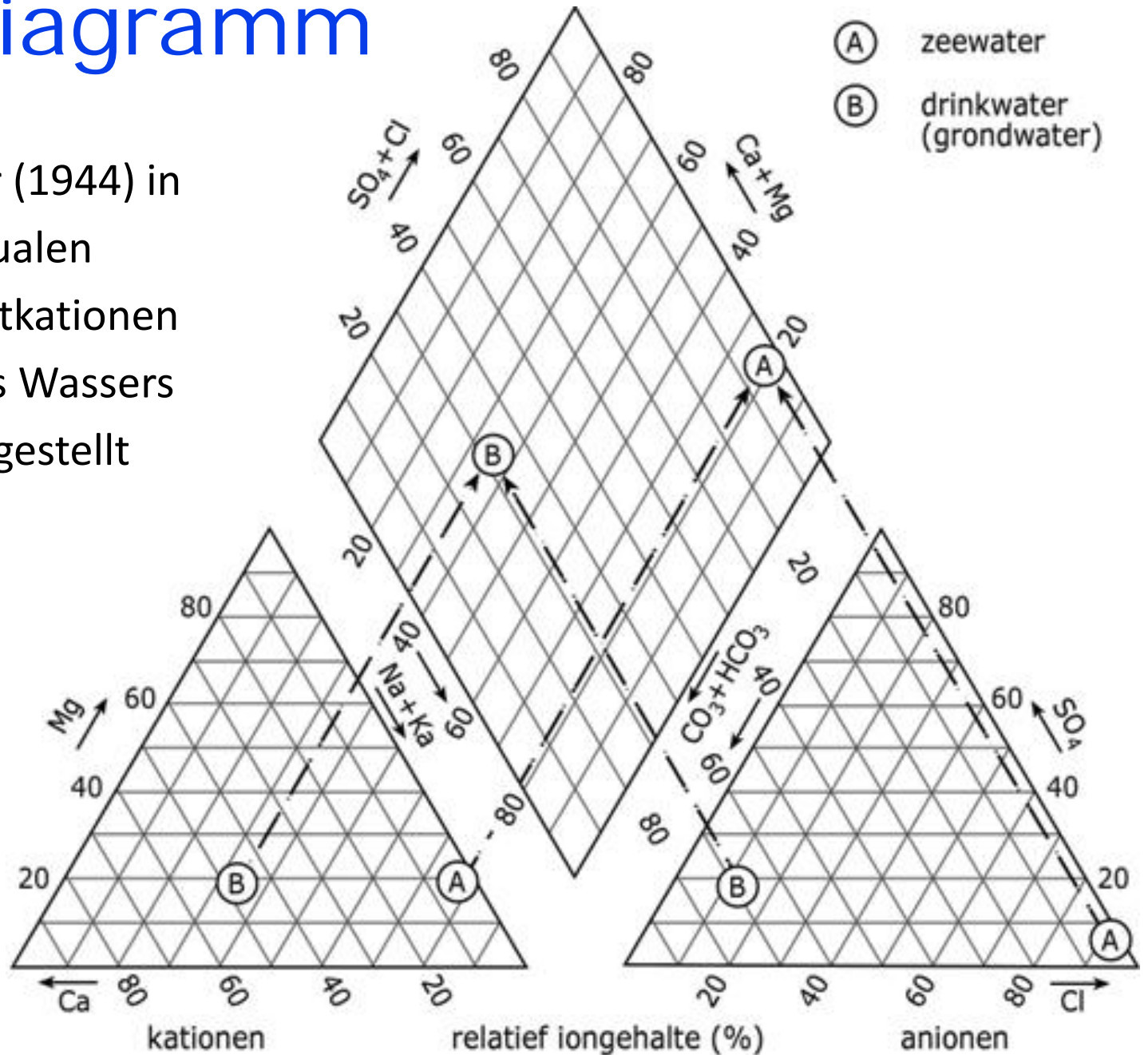
**Temperatur** (oberflächennahe Grundwassertemperaturen in Mitteleuropa: 5-15 °C)

**pH-Wert** (Lösungsverhalten)

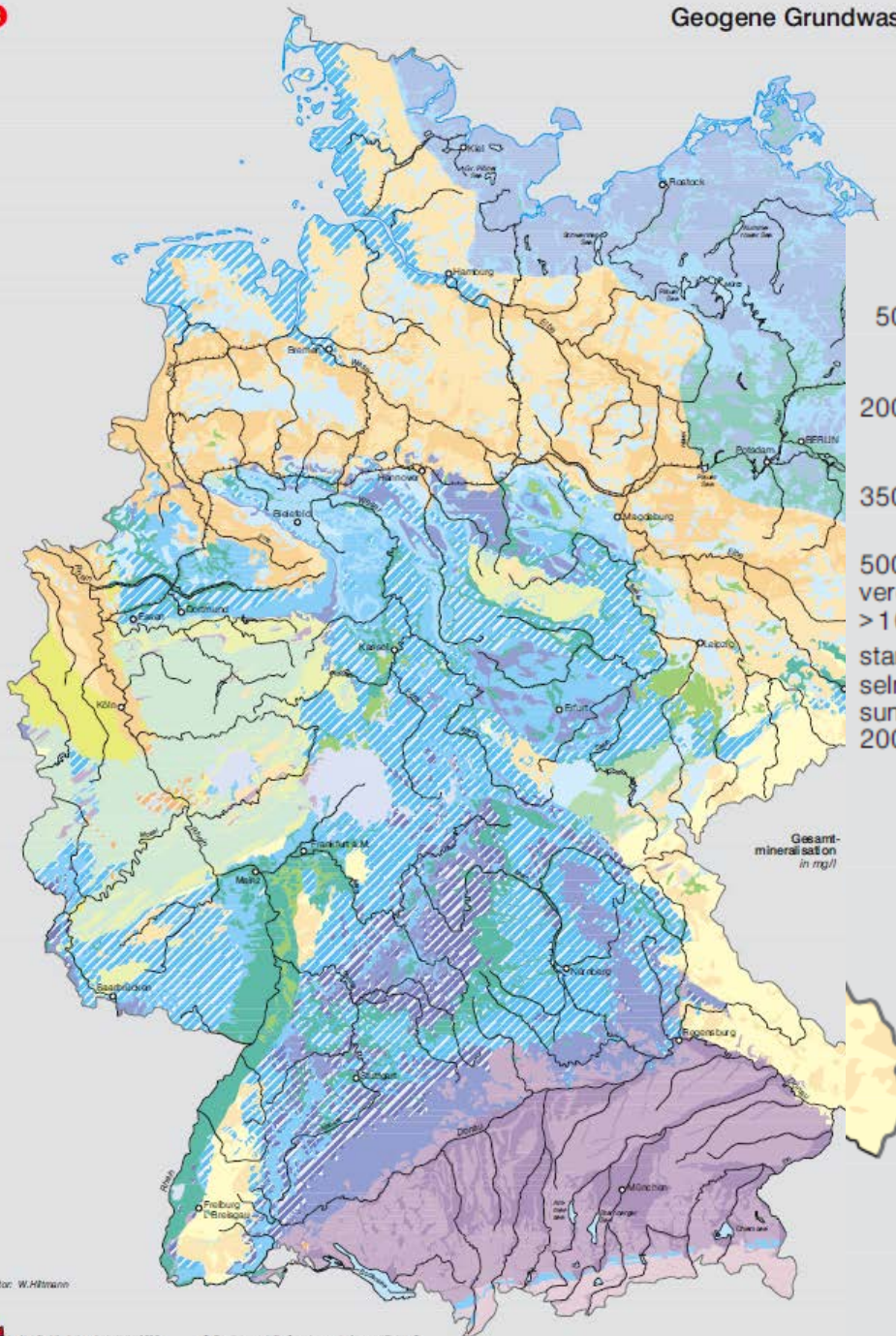
**Chemische Zusammensetzung**  
(Klassifizierung von Grundwässern)

# Piper-Diagramm

Grafik nach Piper (1944) in dem die prozentualen Anteile der Hauptkationen und -anionen des Wassers als ein Punkt dargestellt werden



## Geogene Grundwasserbeschaffenheit

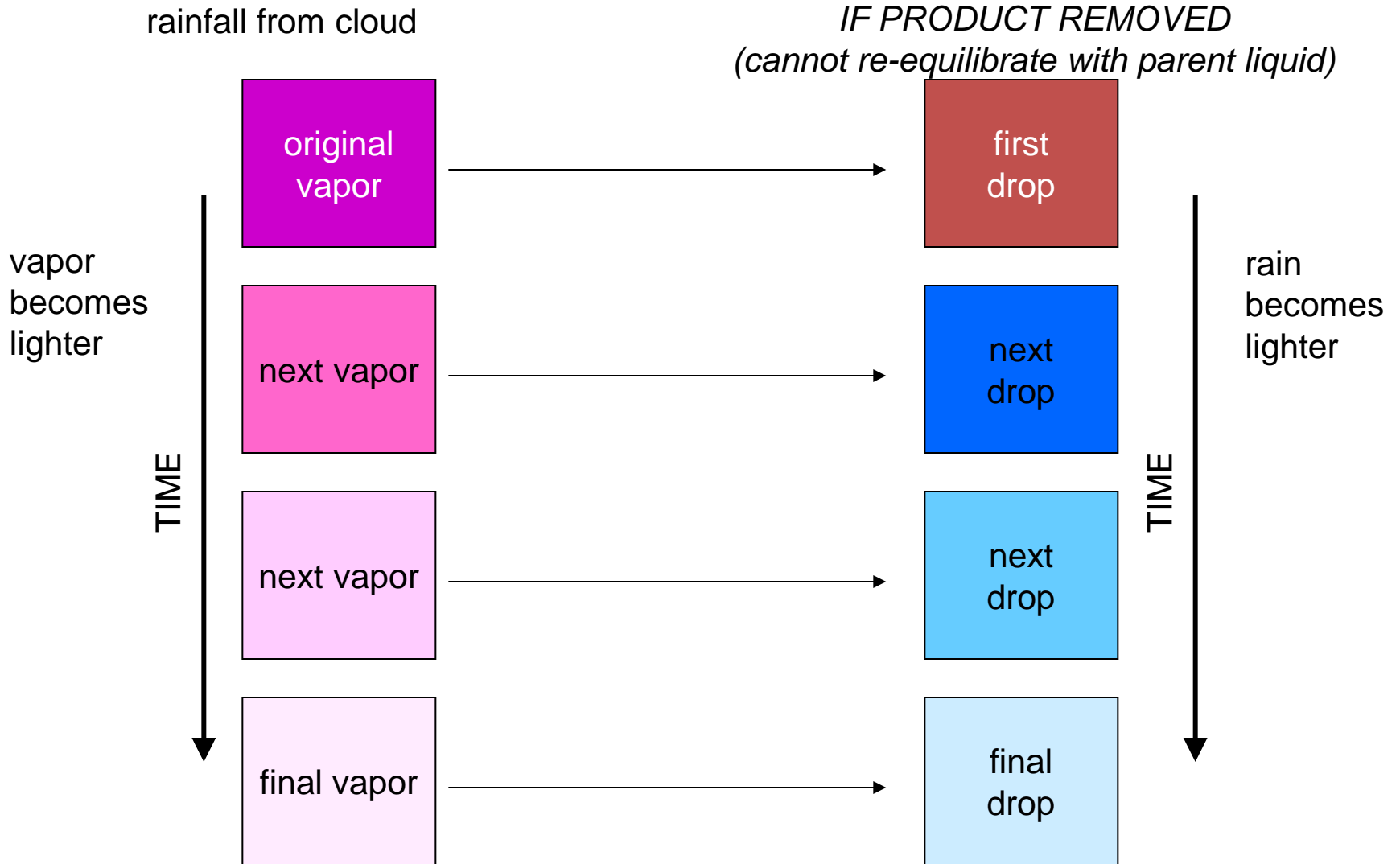


	A	B	C	D	E	F	G	H
50 - 200								
200 - 350								
350 - 500								
500 - 700, vereinzelt bis > 1000								
stark wech- selnder Lö- sungsinhalt 200 - 700								

- A** erdalkalisch-carbonatische Wässer (1)
- B** erdalkalisch-carbonatische und carbonatische, schwach sulfatische Wässer (1-2)
- C** erdalkalisch-carbonatische, schwach sulfatische Wässer (2)
- D** erdalkalische carbonatisch-schwach sulfatische und carbonatisch-sulfatische Wässer (2-3)
- E** erdalkalische carbonatisch-sulfatische Wässer (3)
- F** erdalkalisch-sulfatische, auch sulfatisch-carbonatische Wässer, z. T. stärker alkalisch (5+4, 9, 10)
- G** erdalkalische Wässer mit stark wechselndem Anionengehalt (1-5)
- H** erdalkalische leicht alkalische carbonatisch bis carbonatisch-sulfatische Wässer (6-8)



# Rayleigh-Destillation

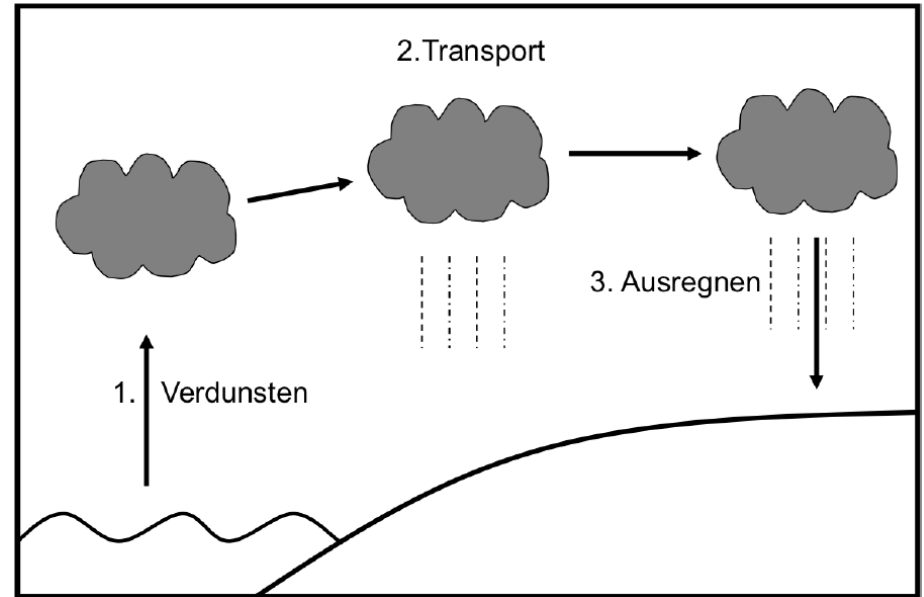


keine *Fraktionierung* bei vollständigem Umsatz!

# Isotopenvariationen

**Kontinentaleffekt:** Luftmassen, die vom Meer kommend über einen Kontinent ziehen, werden zum Abregnen gezwungen.

Dabei verändert sich die isotopische Zusammensetzung des Wasserdampfes in der Luftmasse und damit auch die daraus entstehenden Niederschläge.



Veränderungen der isotopischen

- Zusammensetzung des Wassers auch in Abhängigkeit der Höhe (**Höheneffekt**) und der geographischen Breite (**Breiteneffekt**); zudem noch **Kontinentaleffekt** (Dansgaard, 1953-1964)

# Wasser unterschiedlicher Isotopie

Property	H <sub>2</sub> O	D <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> <sup>18</sup> O
Density at 20°C [g cm <sup>-3</sup> ]	0.9982	1.1051	1.1106
Melting point [°C]	0	3.81	0.28
Boiling point [°C]	100	101.42	100.14

Schwerere Isotope benötigen eine höhere Temperatur (= Energie) um zu verdampfen. Daher reichern sich diese typischerweise in der kondensierten Phase an

# $\delta$ -Werte

Isotopenverhältnisse werden gegen einen Standard gemessen und auch auf diesen bezogen angegeben:

$$\delta \equiv \frac{R_{\text{sample}} - R_{\text{standard}}}{R_{\text{standard}}} = \frac{R_{\text{sample}}}{R_{\text{standard}}} - 1 \quad (\times 1000 \text{‰})$$

$\delta$ -Werte sind kleine, dimensionslose Zahlen, die typischerweise in Promille angegeben werden (ohne explizite Angabe des Faktors  $10^{-3}$ )

Beispiel:

$$\delta^{18}\text{O} = \frac{\left( \frac{{}^{18}\text{O}}{{}^{16}\text{O}} \right)_{\text{sample}}}{\left( \frac{{}^{18}\text{O}}{{}^{16}\text{O}} \right)_{\text{standard}}} - 1$$

# Isotopenfraktionierung

Fraktionierungseffekte treten auf bei chemischen physikalischen und biologischen Prozessen:

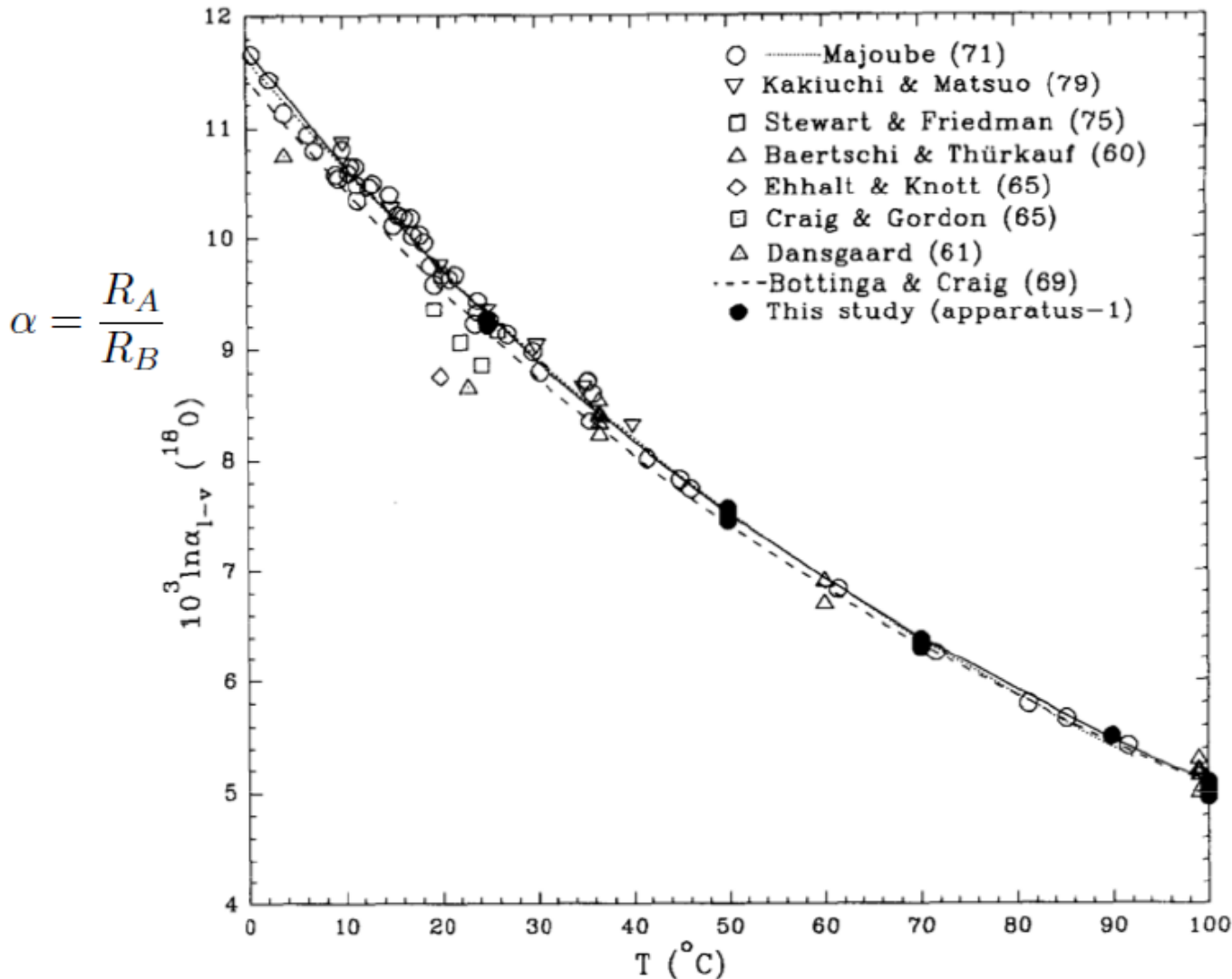
reversible chemische Reaktionen im Gleichgewichtszustand,  $A \leftrightarrow B$

physikalische Zustandsänderungen  
Phasenübergänge, Wasser – Wasserdampf

biologische Stoffumwandlung  
 $\text{CO}_2$  zu organischem Kohlenstoff

# Temperaturabhängige Isotopenfraktionierung von Wasser

Anwendung der Isotopenfraktionierung als Paleothermometer



# Arten der Fraktionierung

## **Gleichgewichtsfraktionierung:**

- reversible Reaktion im Gleichgewicht:  $A \rightleftharpoons B$
- Hin- und Rückrate gleich im Gleichgewicht
- Beispiele: chemisches Gleichgewicht, Phasengleichgewicht

## **Kinetische Fraktionierung:**

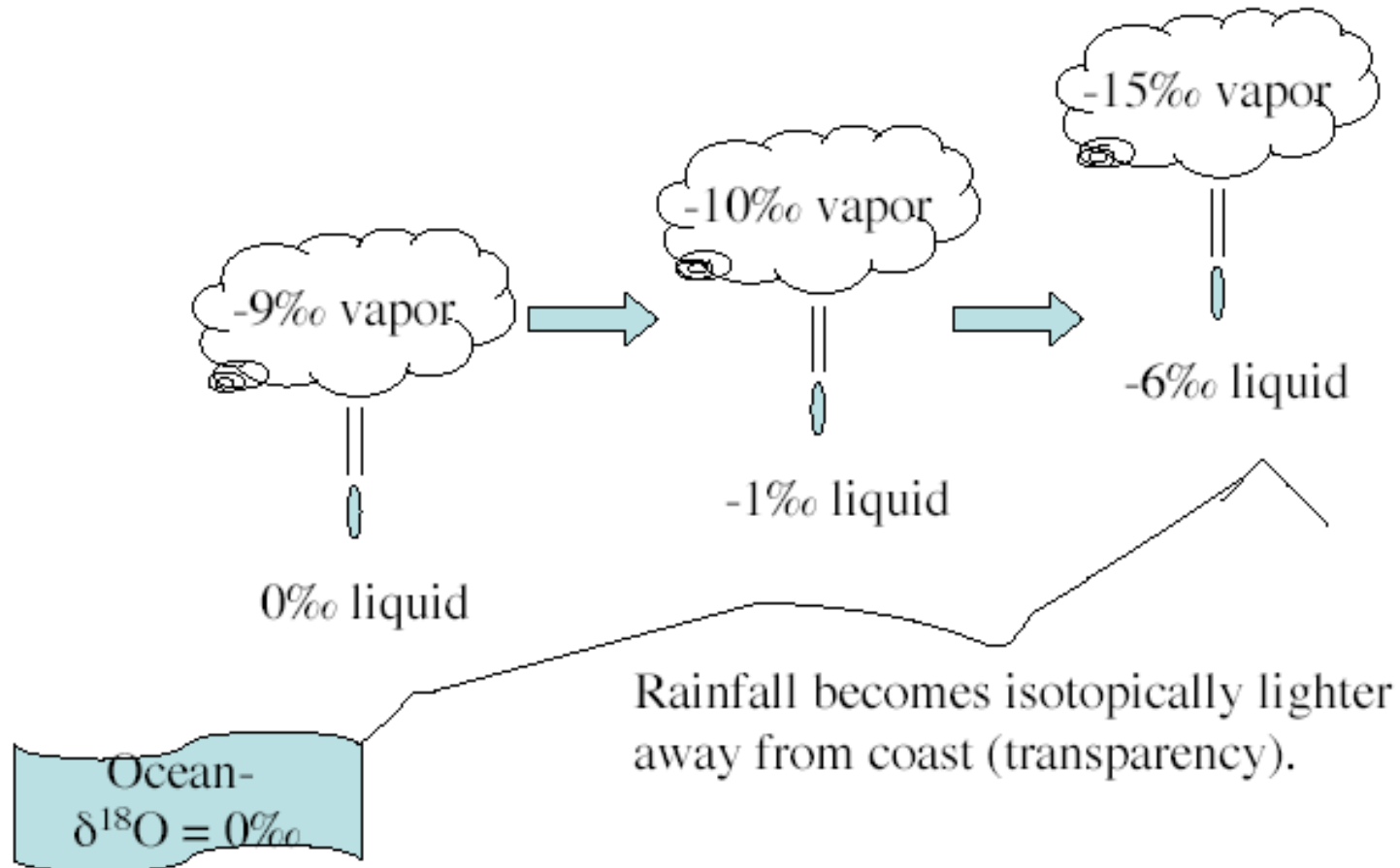
- irreversible Reaktion  $A \Rightarrow B$
- Beispiele: Reaktionsprodukte, Diffusion

Isotopensignatur von Wasserdampf über einer Wasseroberfläche deutlich leichter, als eine Gleichgewichtsfraktionierung vorhersagen würde  $\rightarrow$  Rayleigh-Prozess

# Rayleigh-Destillation

Änderung der Isotopie in einem veränderlichen Reservoir

Wasser, das über dem Ozean verdunstet ist isotopisch leichter. Bei der Kondensation dieses Wasserdampfes erfolgt genau das Gegenteil





# Isotopenvariationen

## Kontinentaleffekt

Abreicherung der Niederschläge an schwereren Isotopen über Landmassen

Craig und Gordon (1965)

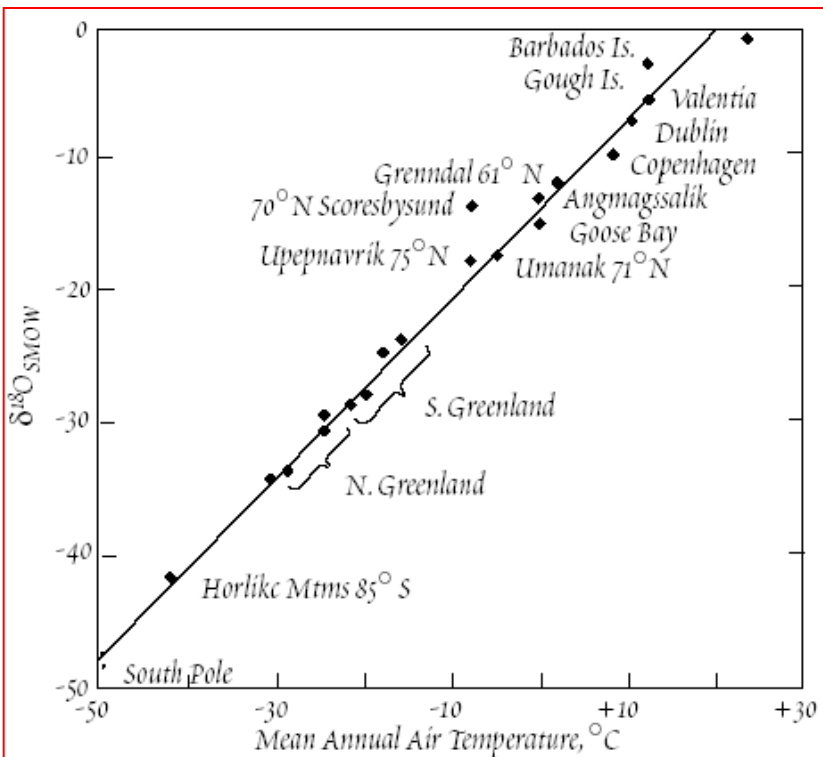
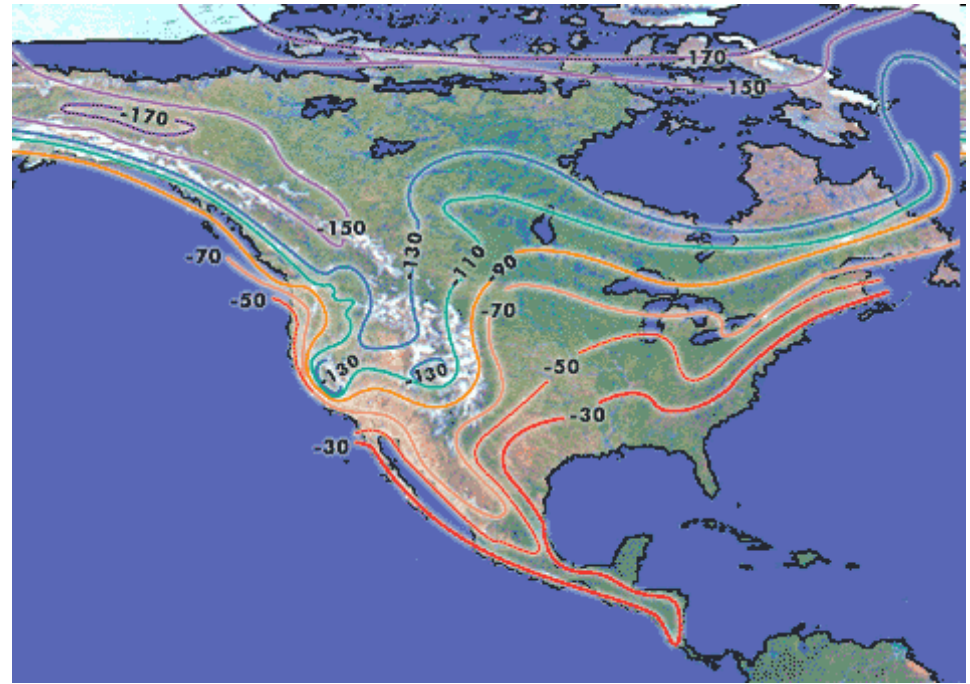
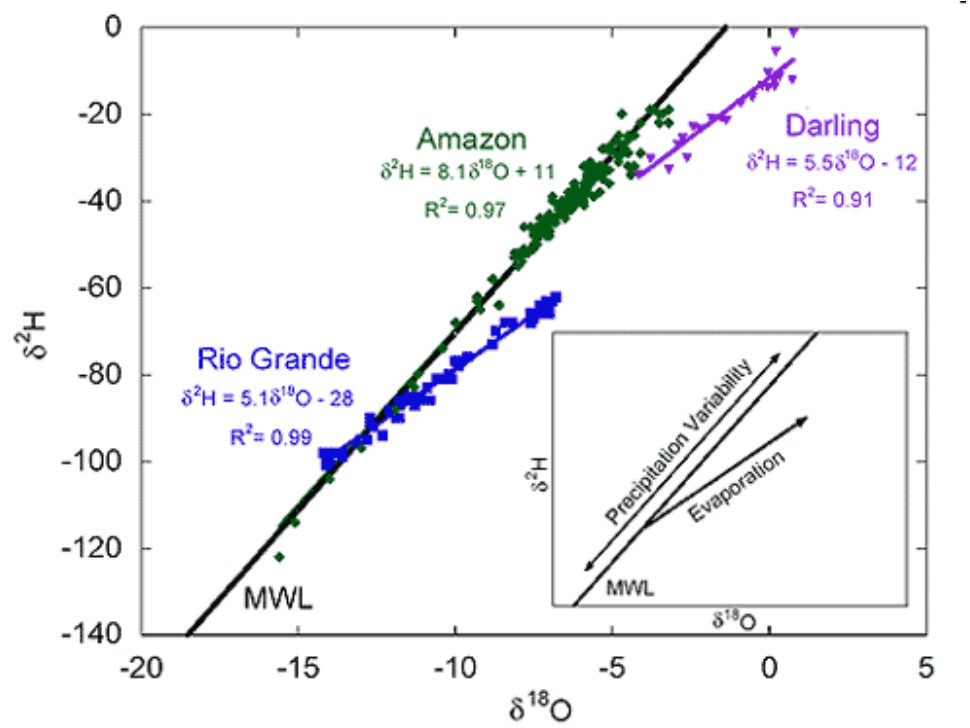


Figure 9.8. Variation of  $\delta^{18}\text{O}$  in precipitation as a function of mean annual temperature.



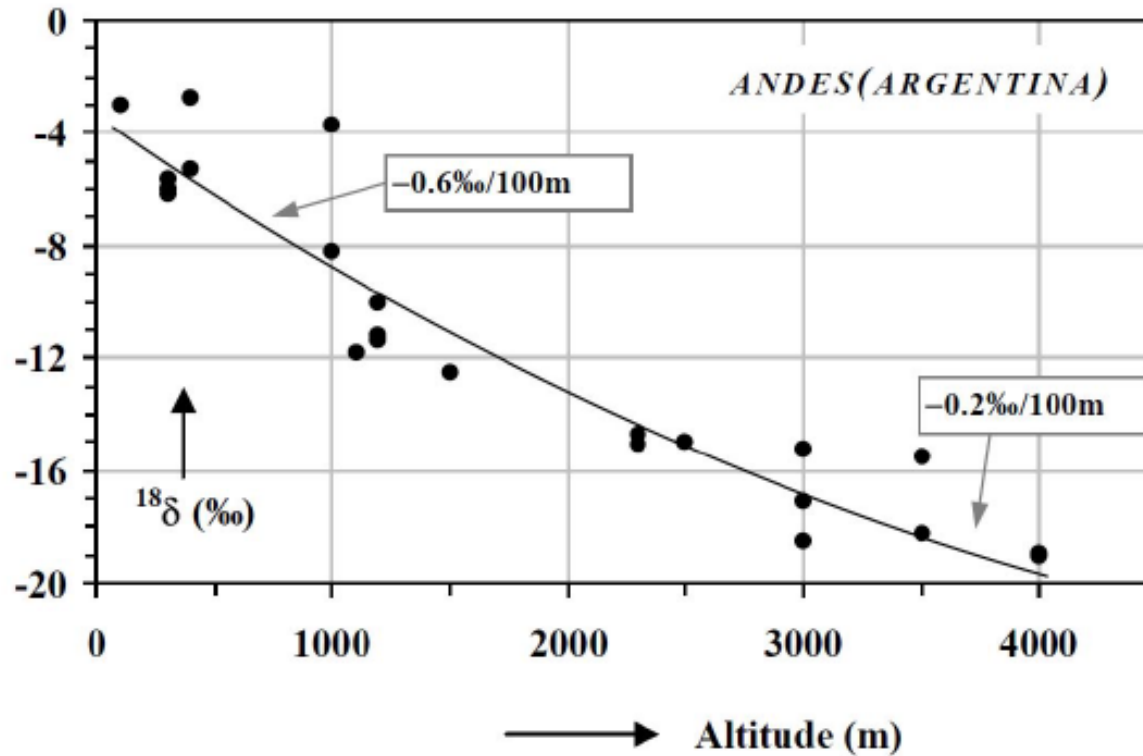
# Kontinentaleffekt Europa

$\delta^2\text{H}$  Isolinien



# Höheneffekt

Abnahme von  $\delta^{18}\text{O}$  mit der Höhe



$$dT/dz = -0.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$$

$$\delta^{18}\text{O}/dT = 0.5\text{‰}/^{\circ}\text{C}$$

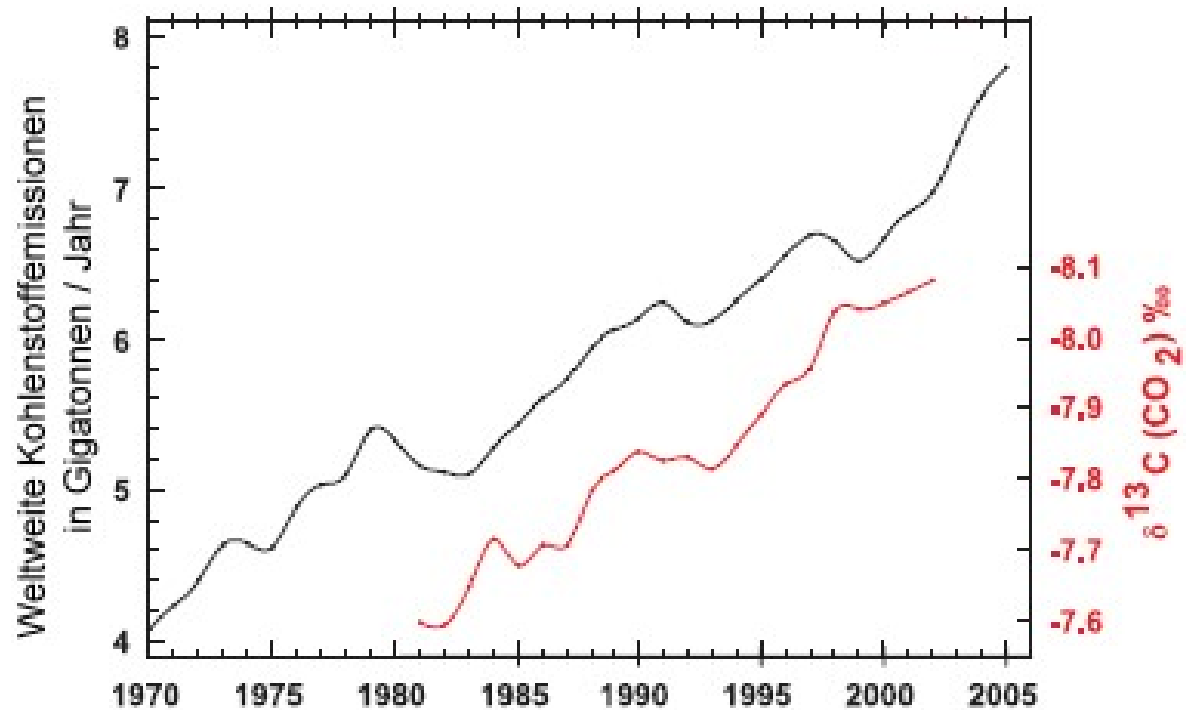
$$\delta^{18}\text{O}/dz = -0.25\text{‰}/100\text{m}$$

# Kohlenstoffisotopie im CO<sub>2</sub> der Atmosphäre

Fossile Brennstoffe haben ein niedrigeres <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C Verhältnis als Kohlendioxid in der Atmosphäre

Im Kohlendioxid der Atmosphäre ist die "Signatur" des Kohlenstoffs aus fossilen Brennstoffen zu erkennen

das sinkende <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C-Verhältnis zeigt den Anteil an fossilen Brennstoffen am steigenden Gesamt-CO<sub>2</sub>-Gehalt



# Ausblick: weitere Themen

## Binnengewässer

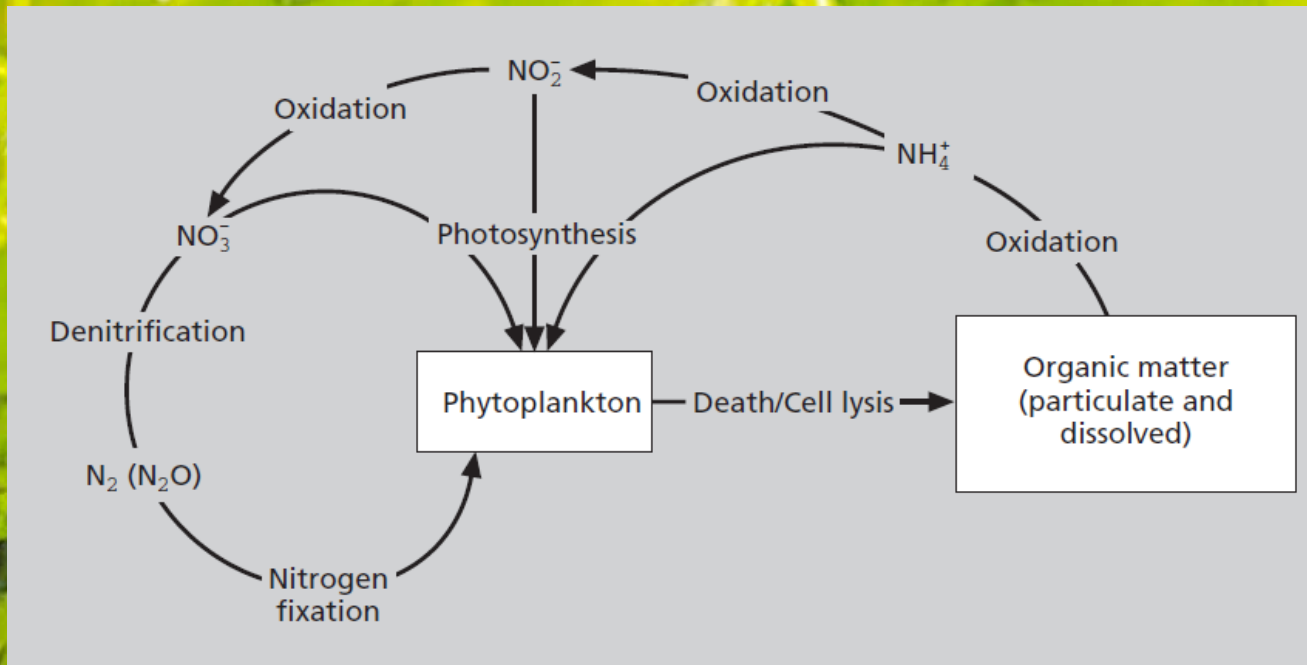
Alatsee: meromiktischer See  
keine Wasserzirkulation  
ab 15 m Tiefe fast sauerstofffrei  
Schwefelhaltiges Tiefenwasser  
Herkunft des Schwefels?



# Ausblick: weitere Themen

## Nährstoffe und Eutropisierung

Stickstoffkreislauf, Nitratbelastung im Wasser



# Die Pedosphäre



# Boden

Boden im Visier mehrerer Wissenschaftsdisziplinen

**Bodenkunde** → allgemeine und umfassendste Betrachtungsweise. Bodengenetik, -systematik etc. (Raum-Zeitstruktur)

**Biologie** → Edaphon

**Ingenieurgeologie** → Kornform & Wassergehalt nach ISO xyz

**Hydrogeologie** → Aquifer

**Umweltgeologie** → Bodeneigenschaften unter dem Aspekt des Schadstofftransports bzw. der Fähigkeit des Bodens Schadstoffe zu binden



# Boden

## Definition aus dem Blickwinkel der Umweltgeologie

Oberster Bereich des Untergrundes, der durch Verwitterung, Um- und Neubildung (natürlich oder anthropogen verändert) entstanden ist und aufgrund der jeweiligen aktuellen Nutzung weiter verändert wird

Boden besteht aus festen anorganischen (Mineralanteil) und organischen Teilen (Humus und Lebewesen) sowie aus mit Wasser und darin gelösten Stoffen oder mit Luft gefüllten Hohlräumen

Er steht in Wechselwirkung mit der belebten Umwelt

# Bodenbildung

$$S = f(G, E, B) dt$$

Faktoren:

G = Geologie

E = Umwelt

B = Biologie

$$S = f(a, k, r, v, o) dt$$

Schlüsselfaktoren:

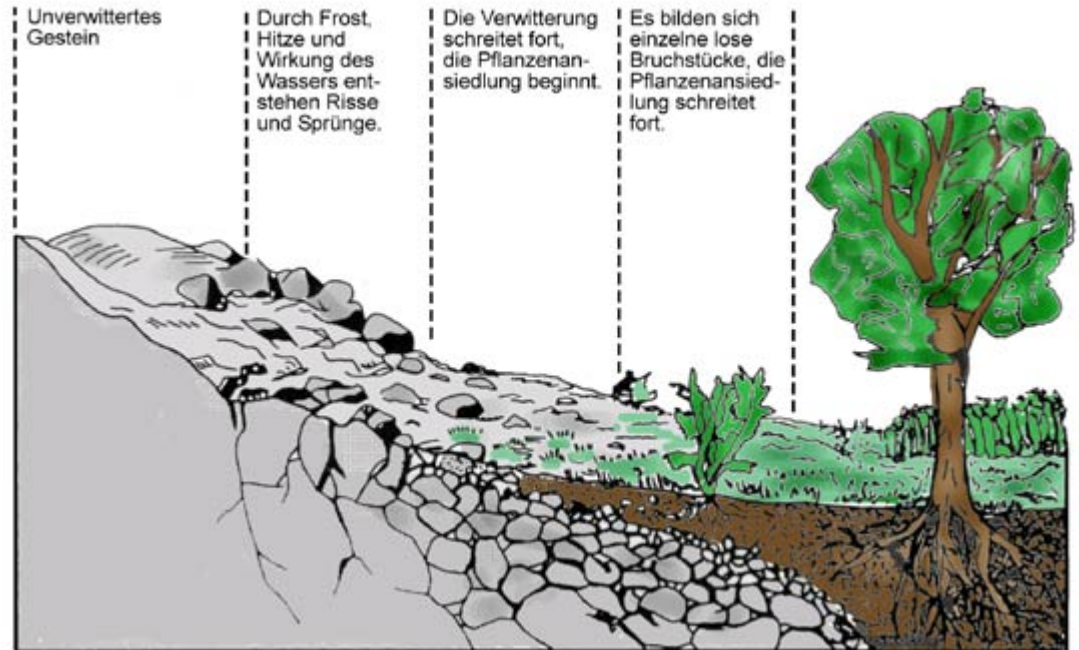
a = Ausgangsgestein

k = Klima

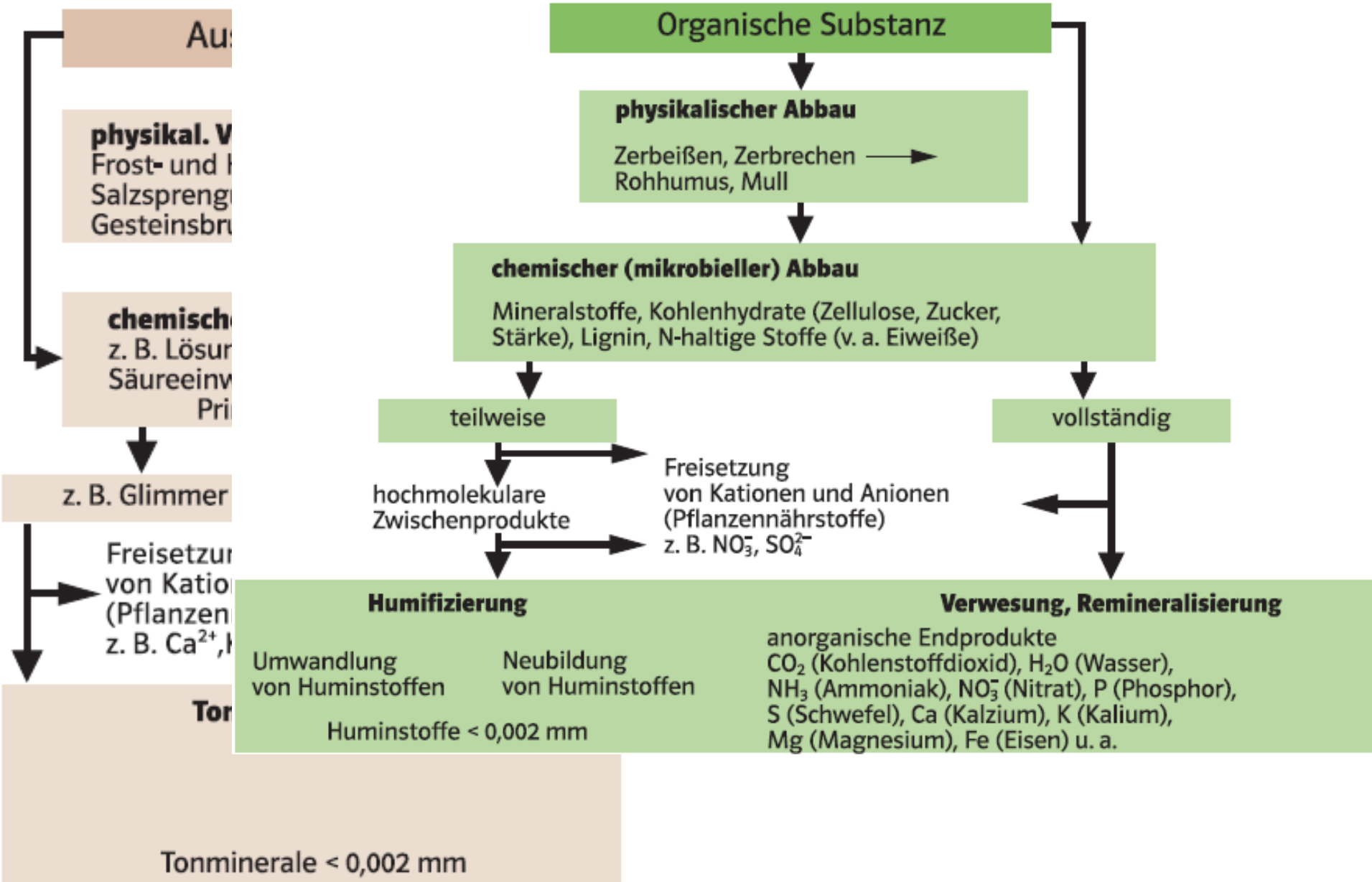
r = Relief

v = Vegetation

o = Organismen



# Verwitterung



# Bodengefüge – A) Grundgefüge

**Einzelkorngefüge** / Elementargefüge

Komponenten lagern lose aneinander

in sand- oder kiesdominierten Böden



# Bodengefüge – A) Grundgefüge

## Kohärentgefüge

Partikel werden durch Kohäsionskräfte zusammengehalten

Schluff- und Tonböden (Gleye)



# Bodengefüge – B) Aggregatgefüge

## Rissgefüge

entsteht durch Trocknungs- und Schrumpfungsvorgänge in tonig-lehmigen Böden mit vorherigem Kohärentgefüge



# Bodenhorizonte

## O-Horizont

Organische Auflagen (>35%)

## A-Horizont

Oberboden

(bis 35% organische Substanz)

## B-Horizont

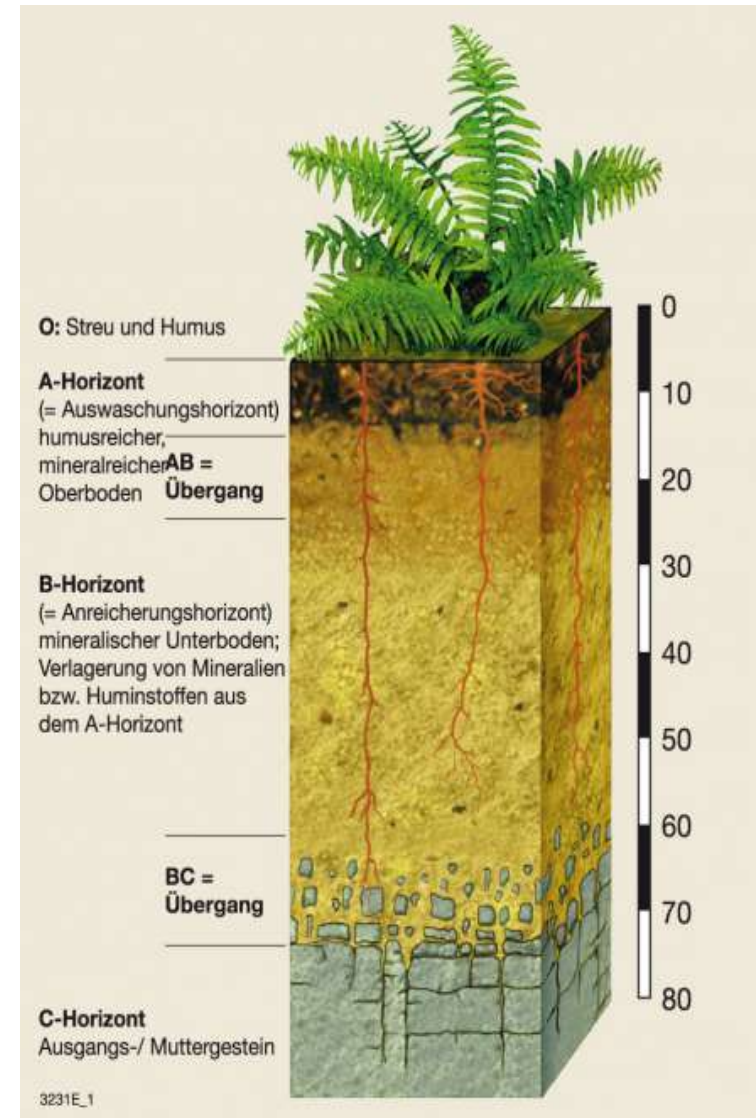
Unterboden - Mineralischer Horizont

wenig organischen Komponenten

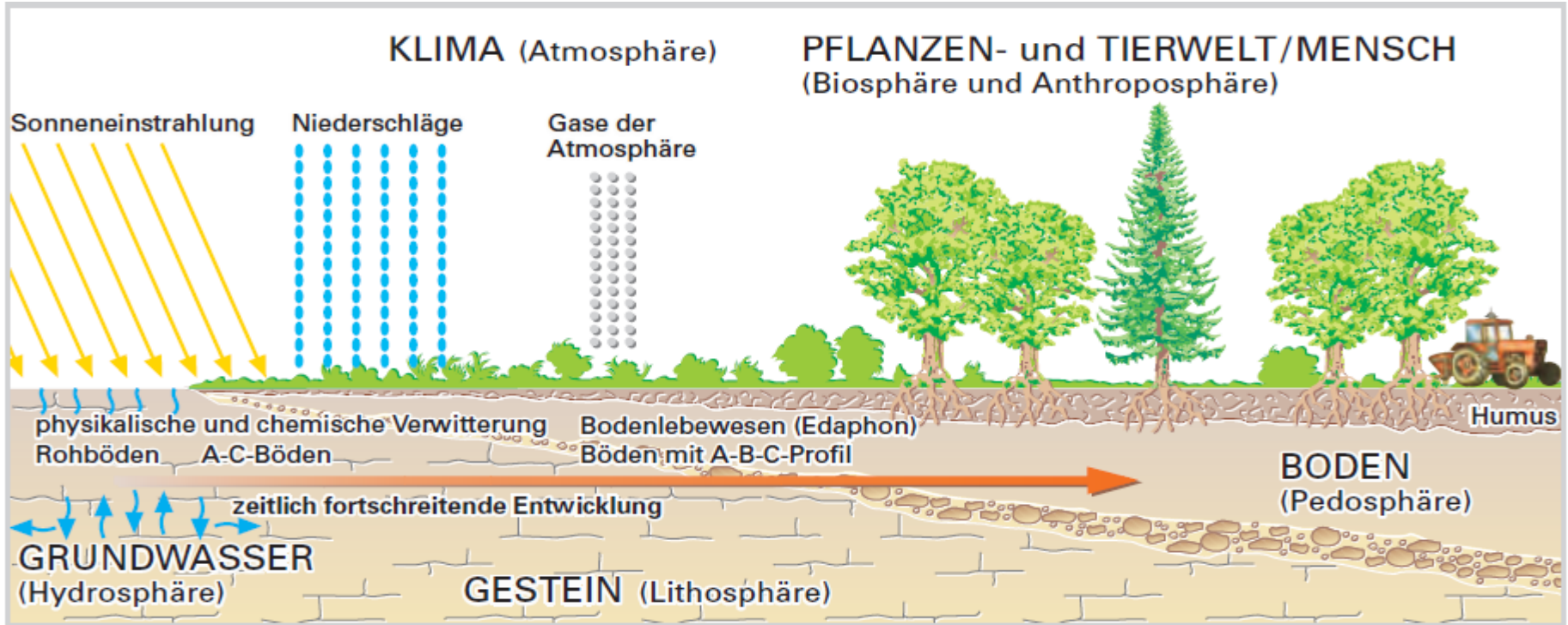
## C-Horizont

Ausgangsgestein, z.T. stark

aufgelockert



# Klima und Bodenbildung



## Klimazoneneinfluß

gemäßigt-feucht: mächtiger dkl.-brauner A-Horizont, tonmineralreicher B-Horizont  
(**Podsol, Braunerde**)

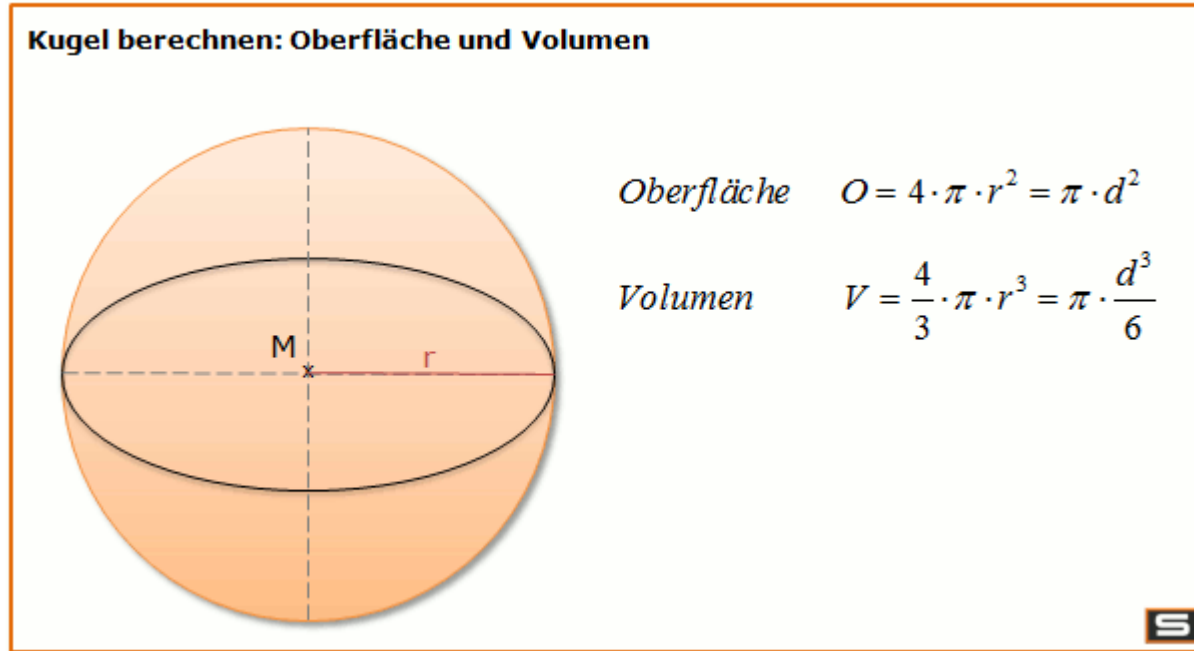
Semiarid: mächtiger A-Horizont, bei Löss oder kalkhaltigem Gestein: **Schwarzerde**

arid: geringmächtiger A-Horizont, evaporitische Bildungen im B-Horizont

tropisch-feucht: kein A-Horizont, mächtiger Fe-Al-reicher B-Horizont  
(**ferralitische Boden**)



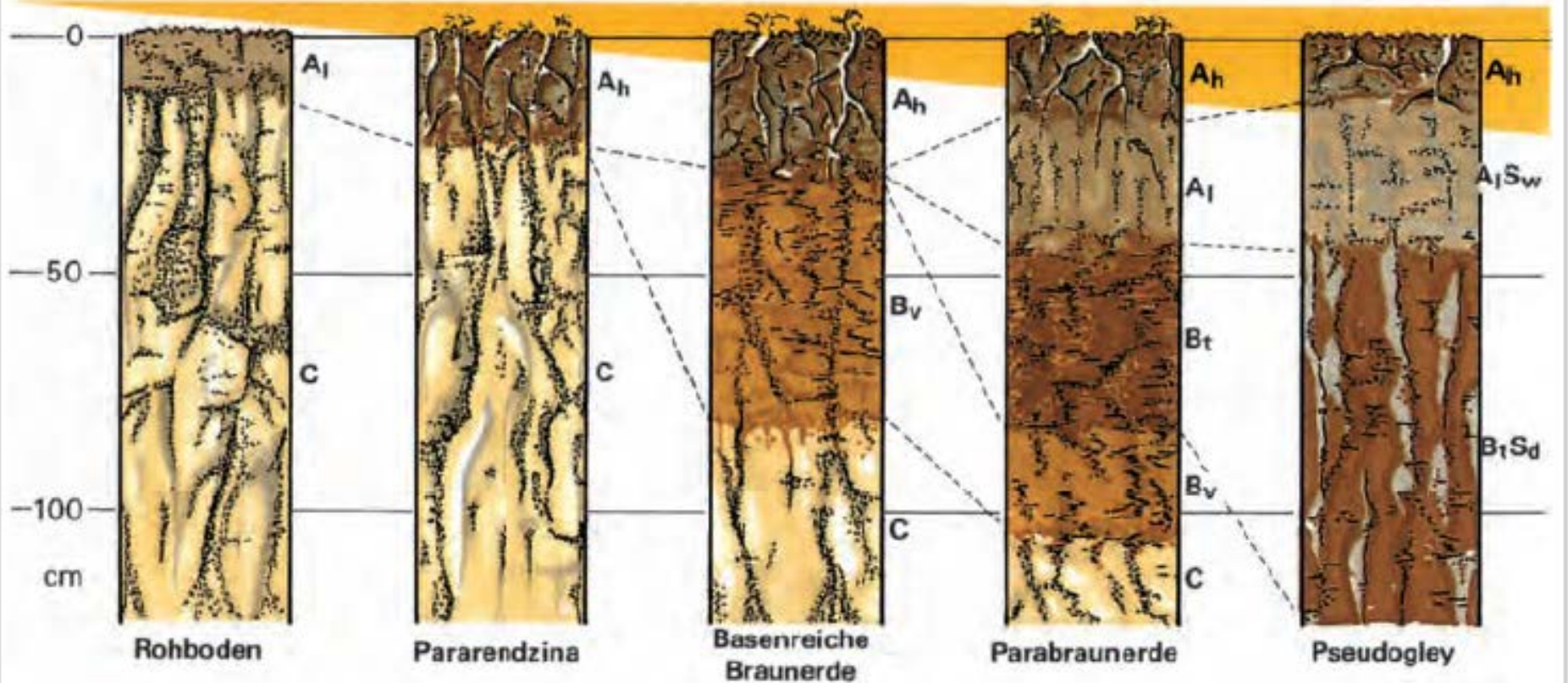
# Zusammenhang zwischen spezifischer Oberfläche und Korndurchmesser



Hausaufgabe: Berechnen Sie die spezifische Oberfläche (in  $\text{cm}^2\text{g}^{-1}$ ) in einem sandigen Boden ( $\varnothing$  1mm) und einem tonigen Boden ( $\varnothing$  1  $\mu\text{m}$ ).

# Klima und Bodenbildung

M 14 Bodenentwicklung aus Löss im gemäßigt warmen, humiden Klima

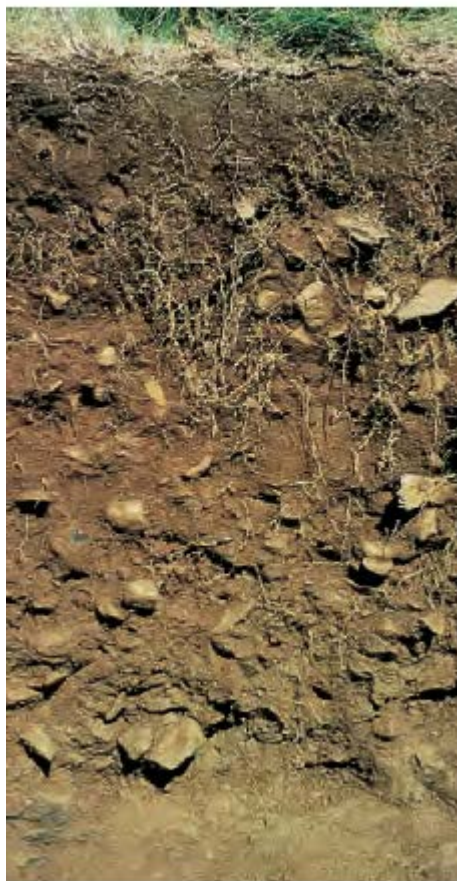


# Klima und Bodenbildung

M 10 Podsol



M 11 Braunerde



M 12 Schwarzerde



M 13 Ferralitischer Boden

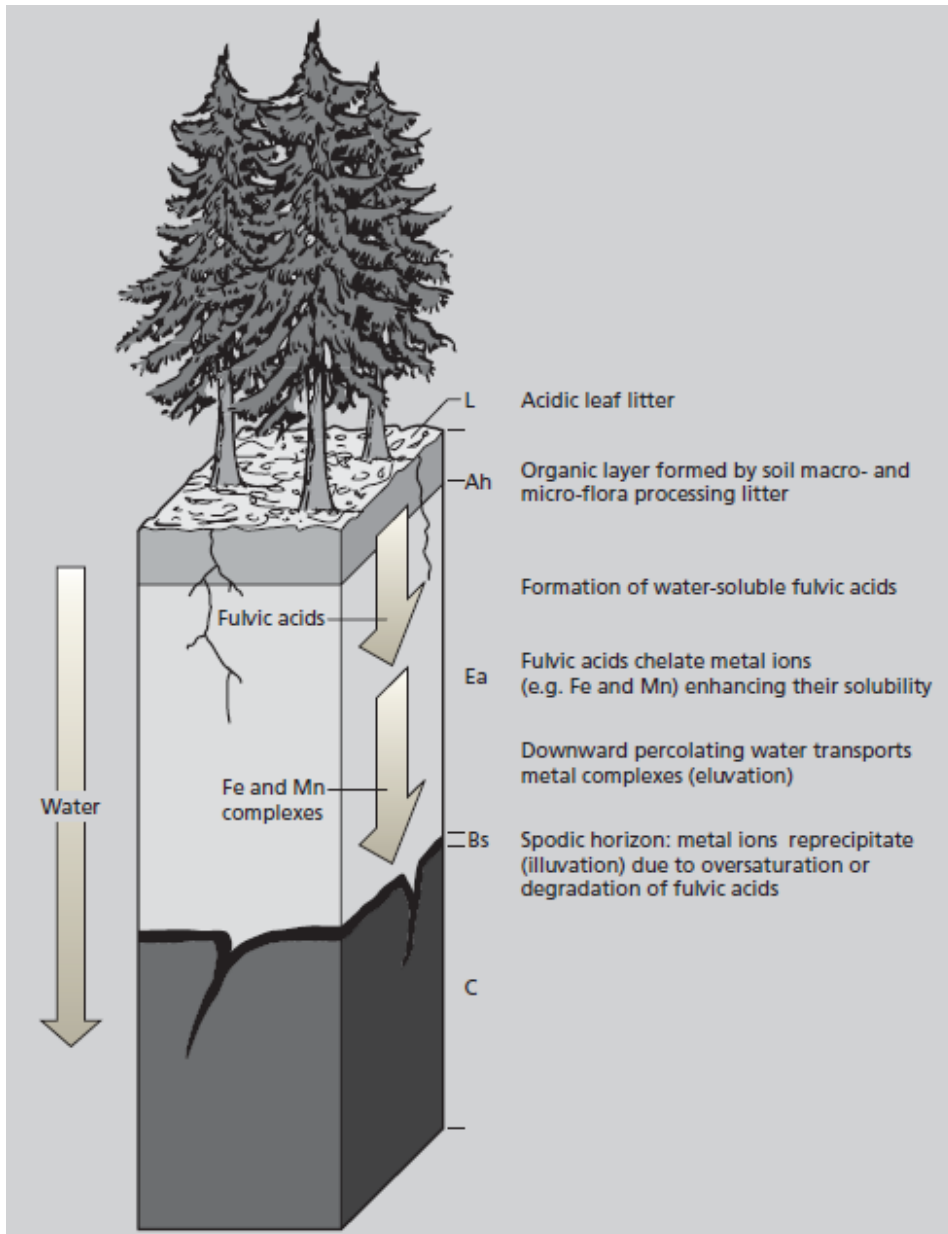


**Podsol:** Infolge der Zersetzung der sauren Streu sinkt der pH-Wert des Bodens, dieser versauert. Als Folge stockt die Zersetzung der organischen Substanz und es bildet sich eine mächtige Rohhumusaufgabe, in der starke Säuren entstehen. Diese Säuren zerstören die Tonminerale im Oberboden. Ortsteinbildung im Unterboden.

**Braunerde:** 500 und 800 mm Niederschlag, gemäßigt humides Klima sowie einer mittleren Jahrestemperatur von 8 – 10 °C. Natürliche Vegetation ist der Laubwald, der die nötigen Humusstoffe liefert und den Boden gut durchwurzelt. Braunerden entstehen auf unterschiedlichen Ausgangsgesteinen; besonders günstig Silikatgesteine.

# Podzolböden

entstehen auf sauren Ausgangsgesteinen wie Buntsandstein, Granit oder Flugsanden (Heideböden).



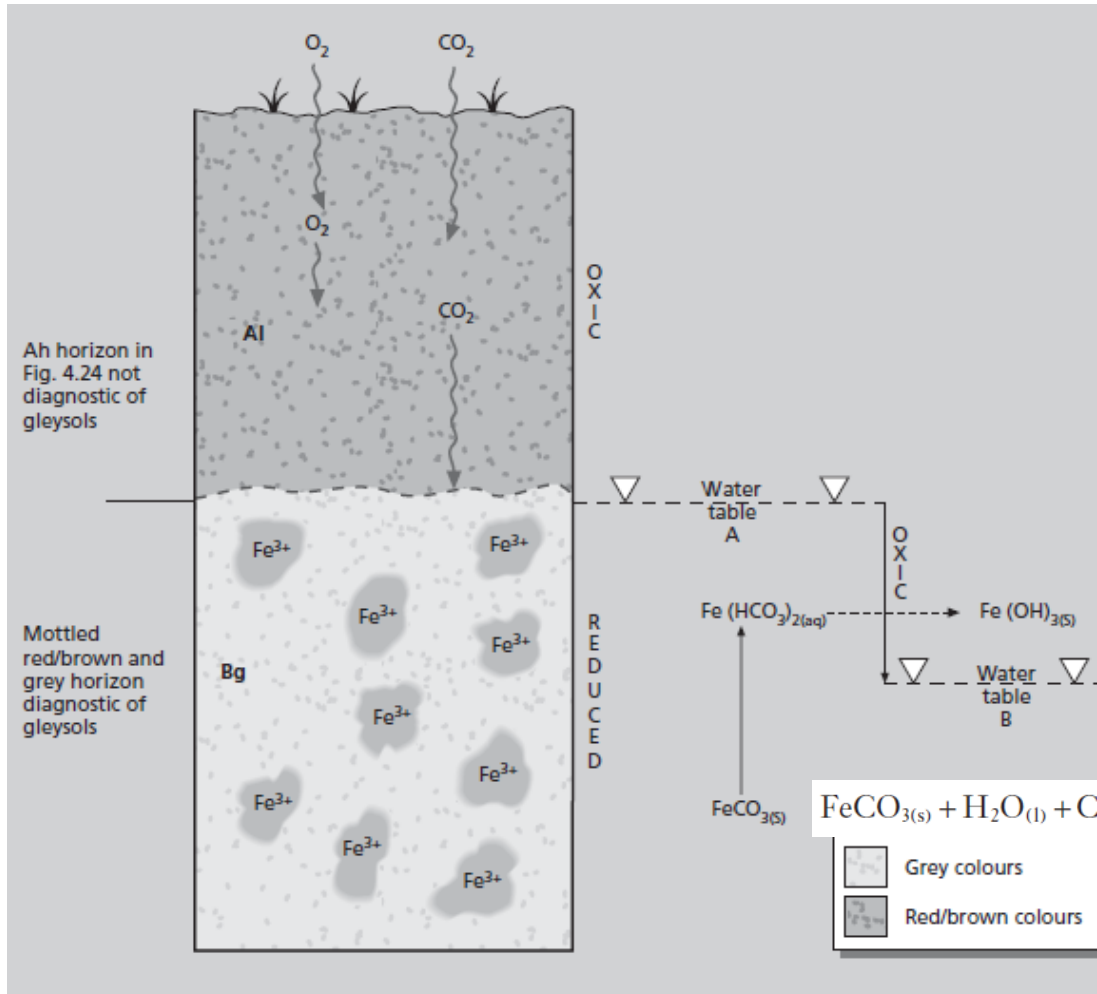
ausgebleichter,  
aschgrauer Horizont,  
(Nährstoffe ausge-  
waschen)

Ortstein (schwarz)

Anreicherungshorizont  
(ockerbraun)

# Grundwasserböden (Gley)

Grundwasserböden sind in der Tiefe ständig mit Wasser gesättigt. Der Sauerstoff im Niederschlagswasser ist relativ bald von den Bodenmikroorganismen verbraucht und es entstehen reduzierende Bedingungen.  $\text{Fe}^{2+}$  bzw.  $\text{Mn}^{2+}$  sind in der Bodenlösung mobil.



Es entstehen rostfleckige, Oxidations-Horizonte (Go)

Im Unterboden Sauerstoffmangel  
 → Reduktion des Eisens  
 charakteristische, bläulich-graue "Reduktionsfarben" (Gr)

# Bodensystematik

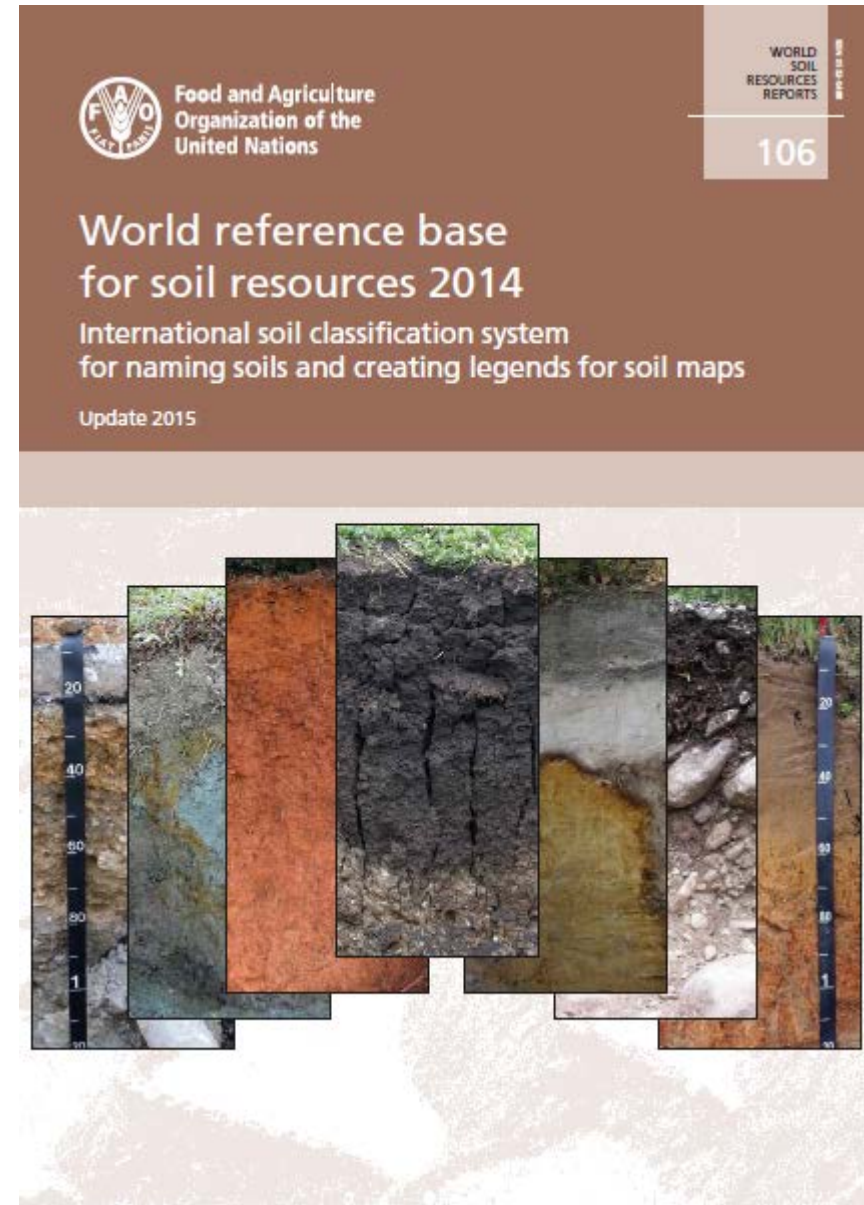
World Reference Base for Soil  
Resources, WRB

Aktuelle Fassung IUSS 2015

<http://www.fao.org/3/a-i3794e.pdf>

Bodenklassifikation, die als  
internationales Kommunikations-  
mittel für die Bodenkunde  
geschaffen wurde

Weltweit gültig, um  
Informationen über Böden und  
deren Eigenschaften über  
nationale Grenzen hinweg  
auszutauschen



# Bodensystematik

Morphogenetische Klassifizierung

Funktionale Klassifizierung

Gliederung nach Wirkung & Funktion →

Bio- und Geowissenschaften

Regionale Klassifizierung

# Morphogenetische Klassifizierung

Vier Gruppen  
(nach Schröder 1992):

Lithomorphe Böden

Klimatomorphe Böden

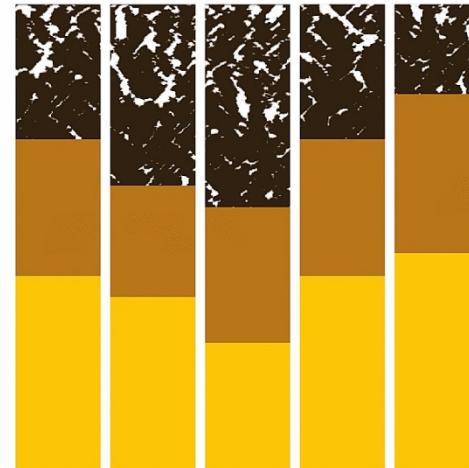
Hydromorphe Böden

Anthropomorphe Böden

## Bodenkunde in Stichworten

Winfried E. H. Blum

7., neu bearbeitete und ergänzte Auflage



HIRT'S STICHWORTBÜCHER



# Morphogenetische Klassifizierung

häufig verwendete Klassifizierung im deutschsprachigen Raum, bzw. typische mitteleuropäische Bodentypen (Nestroy et al. 2011, Blume et al. 2013).  
Gliederung richtet sich in erster Linie nach der Bedeutung des Wassers

## terrestrische Böden

(Bodenabteilung)

### Rohböden (Bodenklasse)

- *Rendzina* (Bodentyp)
- *Ranker*

### Podsole

- *Humuspodsol*
- *Braunerdepodsol*

## hydromorphe Böden

### Gleye

### Aueböden

### Moore

- *Niedermoor*
- *Hochmoor*

### Unterwasserböden

- *Gyttja*
- *Sapropel*

# Funktionale Klassifizierung

## Lebensraumfunktion

- *Bodenchemie, Körnung, Durchlüftung (O<sub>2</sub>-Gehalt)*

## Nutzungsfunktion

- *Wald (Forstwirtschaft), Ackerland*
- *Boden als Massenrohstoff (Ton, Sand, Kies)*
- *Siedlung, Produktion, Verkehr*

## Regelungsfunktion

- *Durchlässigkeit (z.B. für Schadstoffe)*
- *Speicherkapazität*
- *Puffer und Filterfunktion (Schadstoffbindungsvermögen)*

# Regionale Klassifizierung

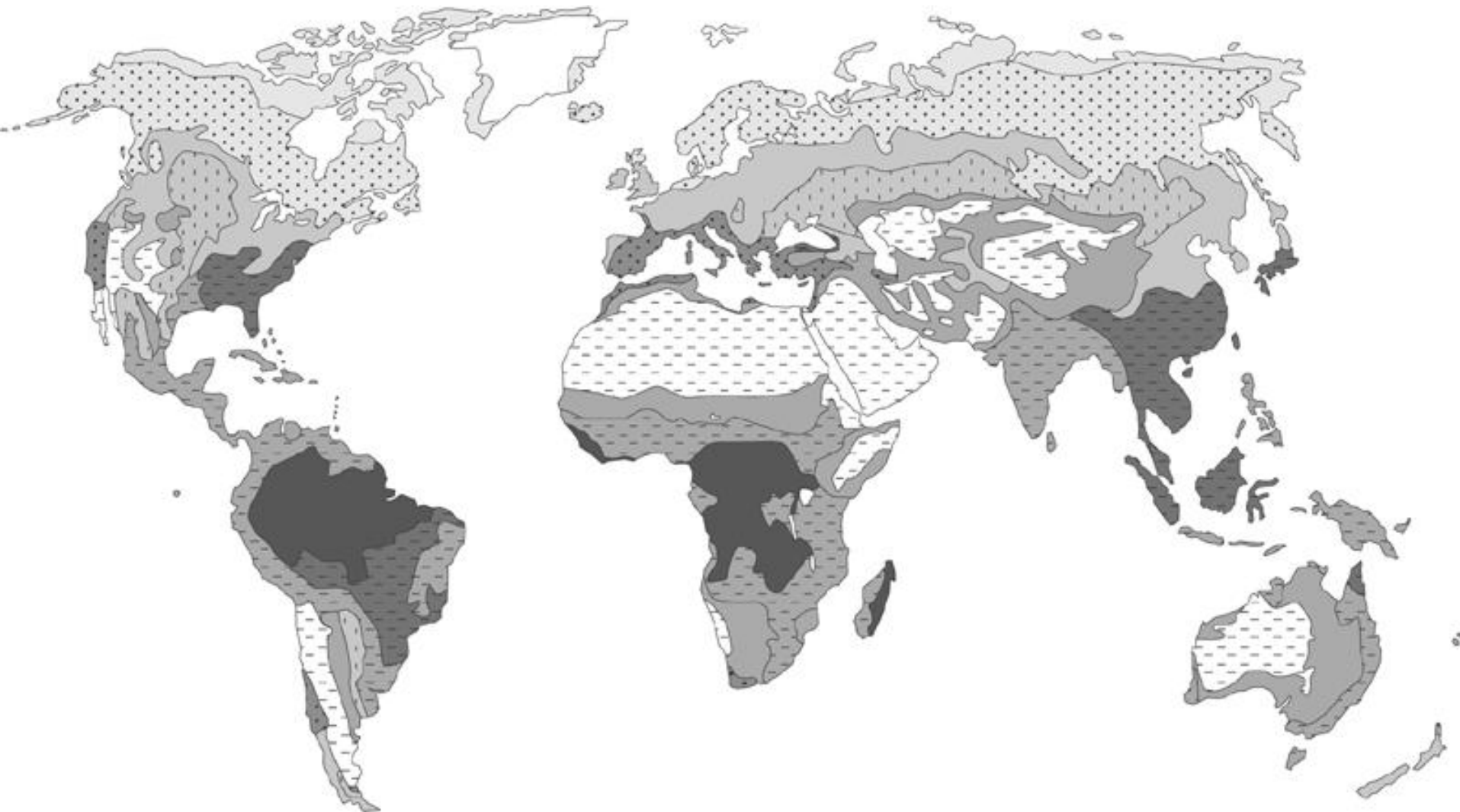
Bestimmte Böden in bestimmten Gebieten der Erde

Weltbodenkarte der FAO (Food and Agricultural Organization) - UNESCO (1994) stellt diese Bodengesellschaften dar (nächste Abb.)

Karte untergliedert in **Bodenzonen**

Bodenzone = mehrerer Bodenregionen, die wiederum aus komplexeren und großflächigen Bodenlandschaften bestehen

# Bodenzonen der Erde (auf der Grundlage der FAO/UNESCO-Weltbodenkarte)



Gelic Gleysols, Gelic Cambisols, Gelic Regosols, Gelic und Lithic Leptosols  
 (Gelic Gleysol - Gelic Leptosol - Zone)

Podzols, Dystric und Gleyic Podzoluvisols, Gelic Cambisols, Fibric Histosols  
 (Podzol - Cambisol - Histosol - Zone)

Haplic Luvisols, Dystric und Humic Cambisols, Eutric Podzoluvisols, Luvic  
 Phaeozems, Luvic Chernozems, Greyzems (Luvisol - Cambisol - Zone)

Kastanozems, Haplic Phaeozems, Chernozems (ohne Luvic Chernozems)  
 (Kastanozem - Haplic Phaeozem - Chernozem - Zone)

Calcisols, Cambic Arenosols, Vertisols, Calcic Luvisols, Solonetz  
 (Calcisol - Cambic Arenosol - Solonetz - Zone)

Leptosols, Regosols, Arenosols, Solonchaks, Gypsisols  
 (Leptosol - Arenosol - Solonchak - Zone)

Chromic Luvisols, Chromic, Eutric und Calcic Cambisols, Calcisols, Rendzic Leptosols  
 (Chromic Luvisol - Calcic Cambisol - Zone)

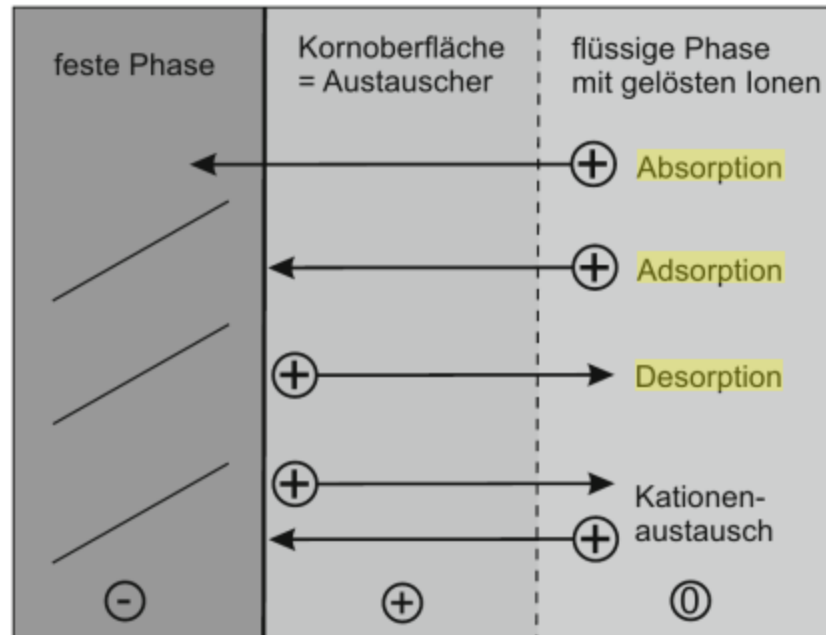
Acrisols, Lixisols, Nitisols, Vertisols, Ferralic Arenosols  
 (Acrisol - Lixisol - Nitisol - Zone)

Acrisols, Alisols  
 (Acrisol - Zone)

Ferralsols, Plinthosols, Acrisols  
 (Ferralsol - Zone)

# Bodenchemie

## Sorption & Ionenaustausch



# Tonminerale

Verwitterungsprodukte der primären Silikate

Große spezifische Oberfläche

Rückhalt für Haftwasser

verleihen dem Boden Plastizität und Quellfähigkeit

Absorptionsvermögen → Schadstoffbindung

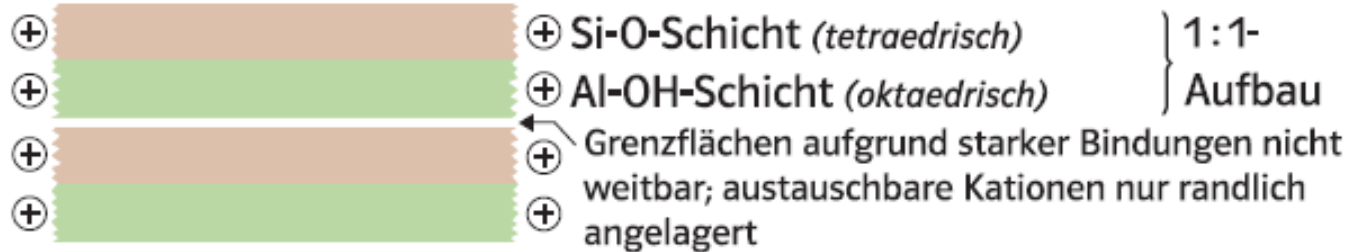
Zweischicht- und Dreischicht Strukturen mit

unterschiedlichen Ionenaustauschkapazitäten

# Tonmineralogie

## Zweischicht- tonmineral *Kaolinit*

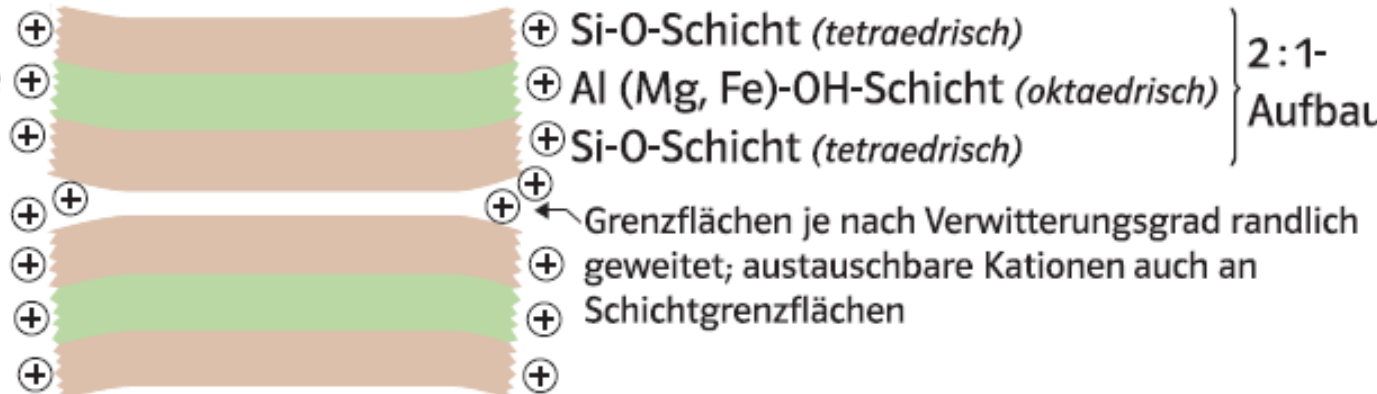
Kationenaustausch-  
kapazität  
5 – 15 mval / 100g



} 1:1-  
Aufbau

## Dreischichttonminerale *Randlich aufgeweite- ter Illit*

Kationenaustausch-  
kapazität  
20 – 50 mval / 100g

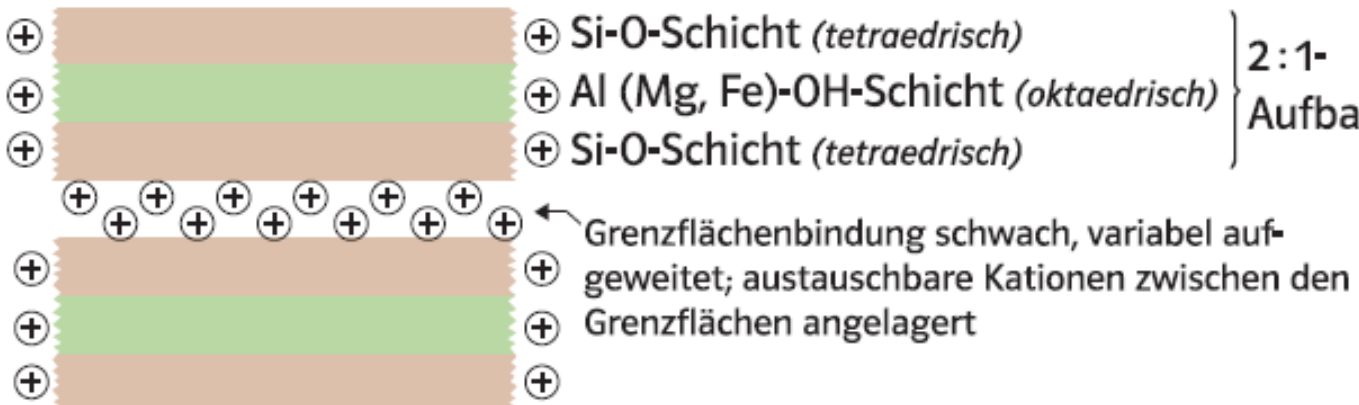


} 2:1-  
Aufbau

⊕ austauschbare Ionen

## *Montmorillonit (Smectit)*

Kationenaustausch-  
kapazität  
80 – 120 mval / 100g



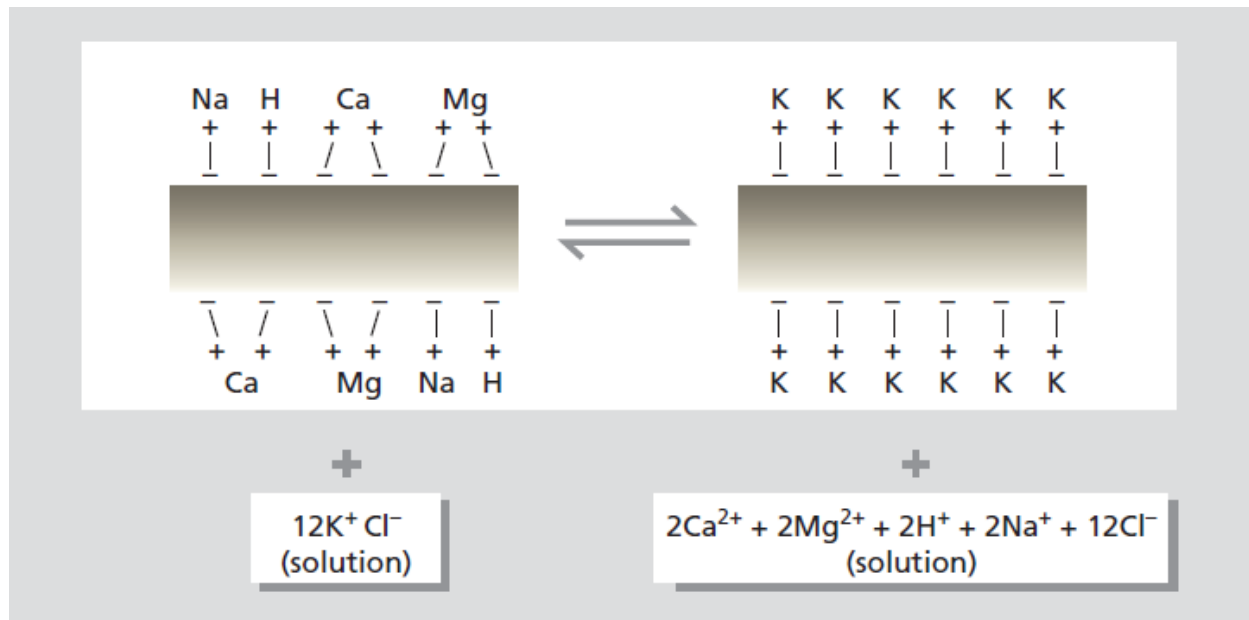
} 2:1-  
Aufbau

# Sorption & Ionenaustauschkapazität

Tonminerale und organischen Bodensubstanz sind an ihren Oberflächen elektrisch geladen

Sie sind wesentliche Ladungsträger und Ionenaustauscher

Negative Ladungen überwiegen



Non-clay materials	CEC
Quartz, feldspars	1-2
Hydrous oxides of Al and Fe	4
Organic matter	150-500

**CEC = cation exchange capacity (microäquivalente pro g)**

Clay minerals	CEC	Cation exchange site
Kaolinite	3-15	Edge effects
Illite	10-40	Mainly edge effects, plus some interlayer
Chlorite	10-10	
Smectite	80-150	Mainly interlayer plus some edge effects



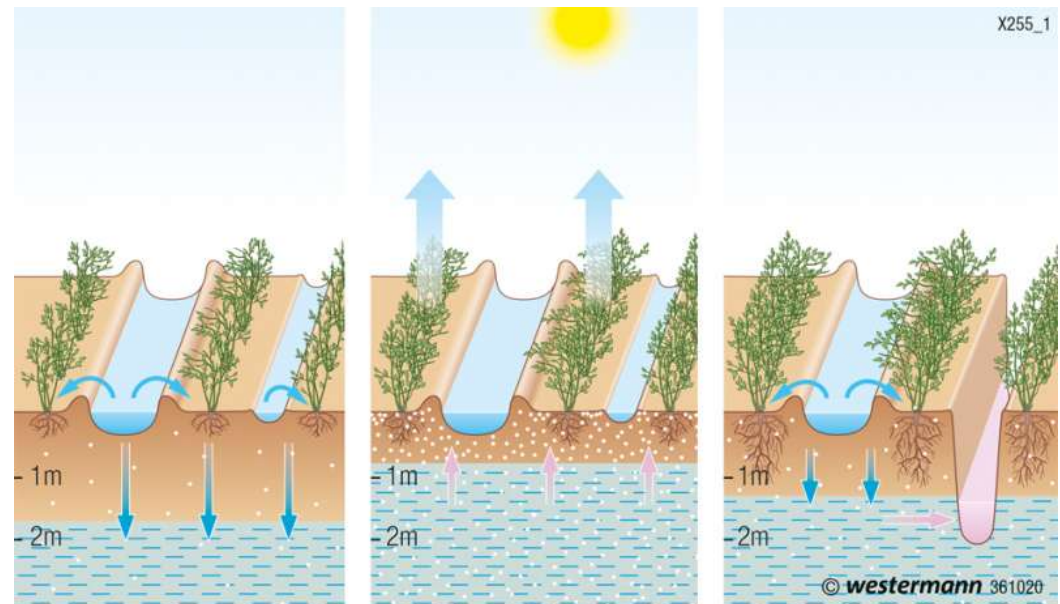
# Ionenaustauschprozesse

Ionenaustausch ist ein reversibler Prozesse  
Neue Konzentration → Neueinstellung des  
Gleichgewichts

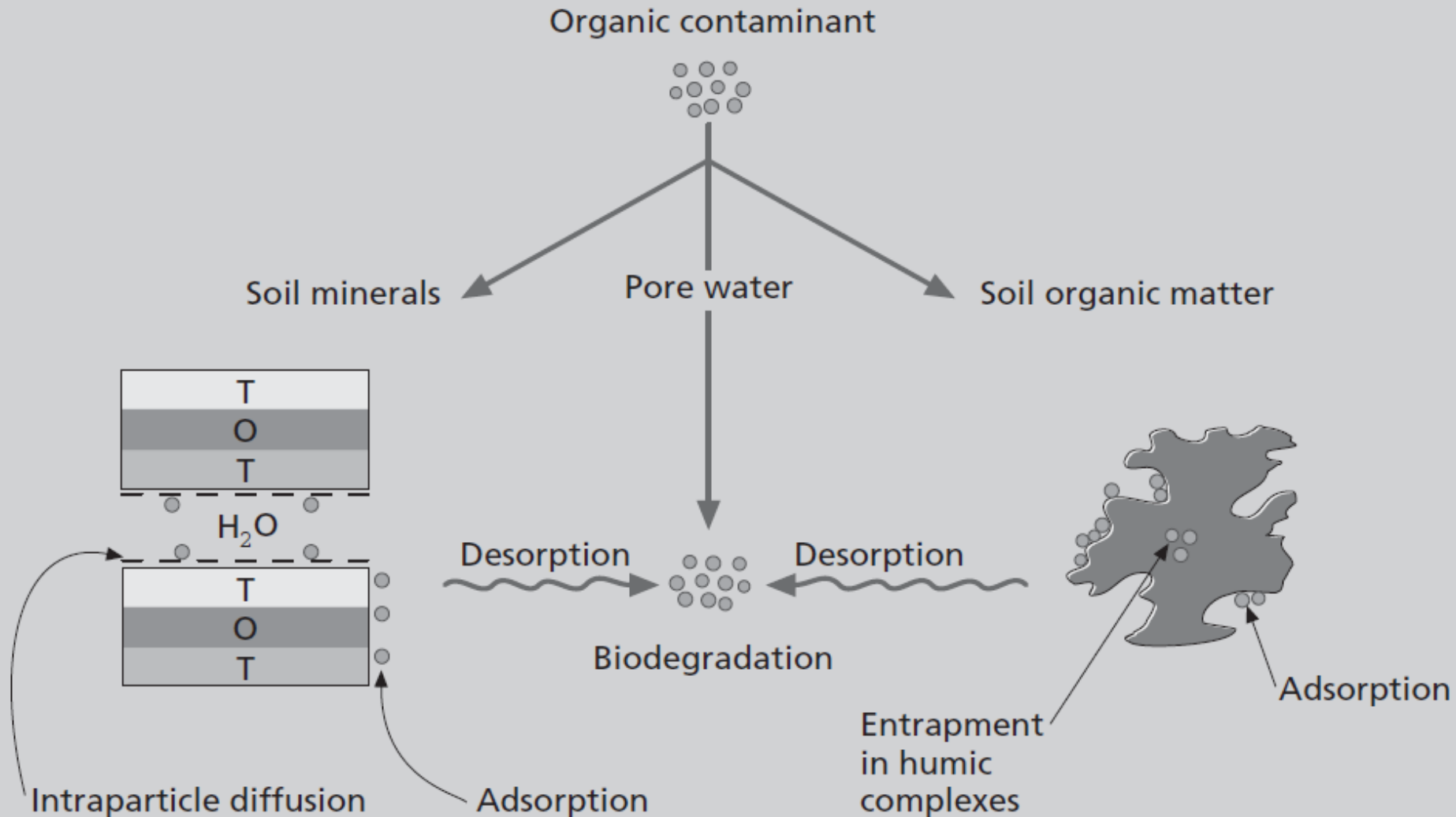
Problem der Bodenversalzung durch künstliche  
Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen in  
(semi)ariden Gebieten.

# Ursachen der Bodenversalzung

intensive Bewässerung ohne Drainage führen zu einer Vernässung des Bodens und zu einem Anstieg des Grundwasserspiegels → Wasser kann über Kapillarkräfte zur Bodenoberfläche aufsteigen und verdunsten. Die im Wasser gelösten Salze reichern sich an der Bodenoberfläche an



# IAK - Schadstoffabbau & -fixierung



# Bodenazidität

Gehalt an gelösten Säuren im Boden von denen  $H^+$ -Ionen dissoziieren

Maß für die pH-Pufferung eines Bodens bei Zugabe von Basen

# Bodenazidität

## Versauerung von Böden

Silikatisches Ausgangsgestein und ein  $\text{Al}^{3+}$  dominiertes Substrat (pH = 4-5)

Humifizierung – Abbau von organischem Material und Bildung von Humin- und Fulvosäuren

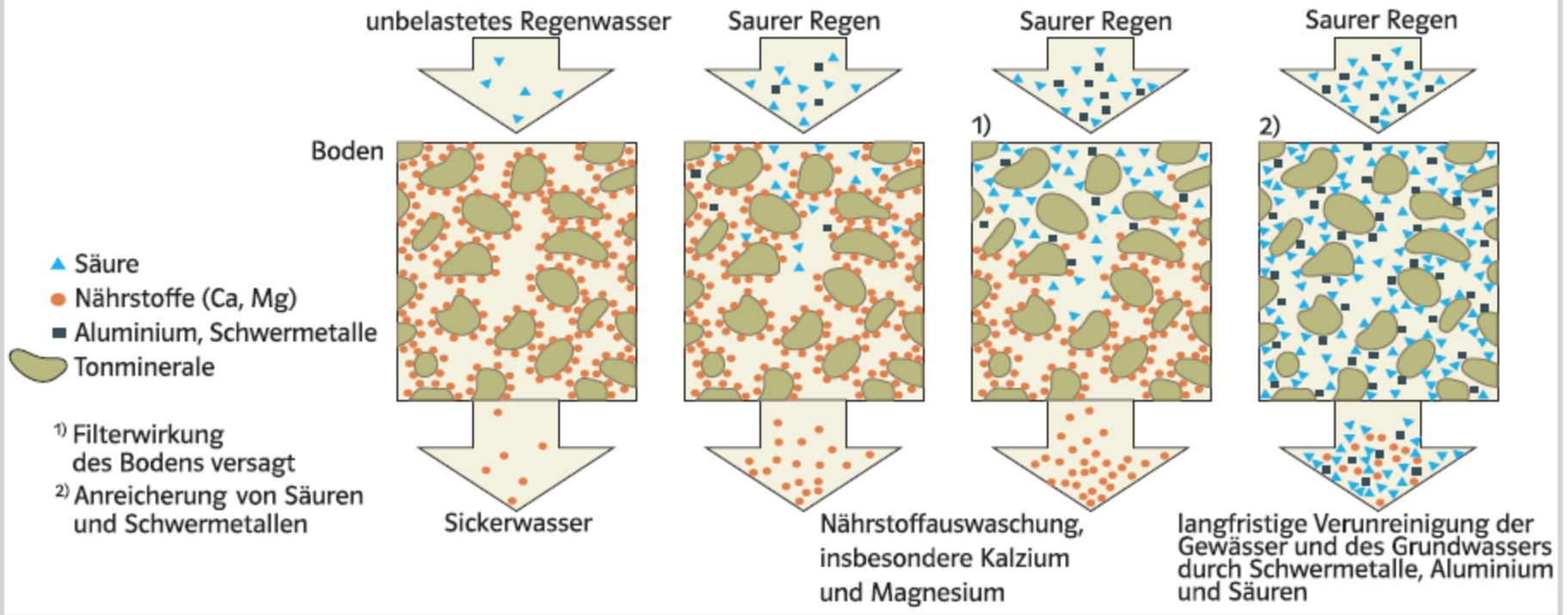
Wurzelatmung; Pflanzen, die sich durch Kationenaufnahme ernähren geben  $\text{H}^+$ -Ionen ab

Saure Niederschläge

Bodenauswaschung (hydromorphe Böden)

# Bodenazidität

## M7 Folgen des Säureeintrags in den Boden



# Bodenazidität

## Säureneutralisationskapazität (SNK)

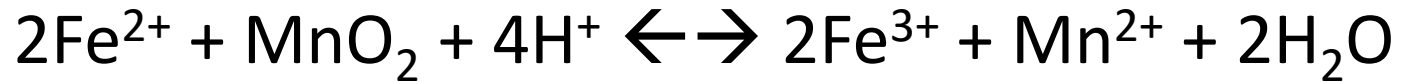
Puffersubstanzen verhindern Versauerung

Kalk-Kohlensäuregleichgewicht:



# Redoxprozesse im Boden

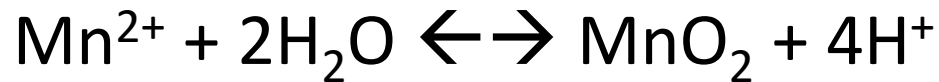
Reaktion zwischen  $\text{Fe}^{2+}$  und  $\text{Mn}^{4+}$  in saurer Lösung:



Teilreaktion Oxidation



Teilreaktion Reduktion



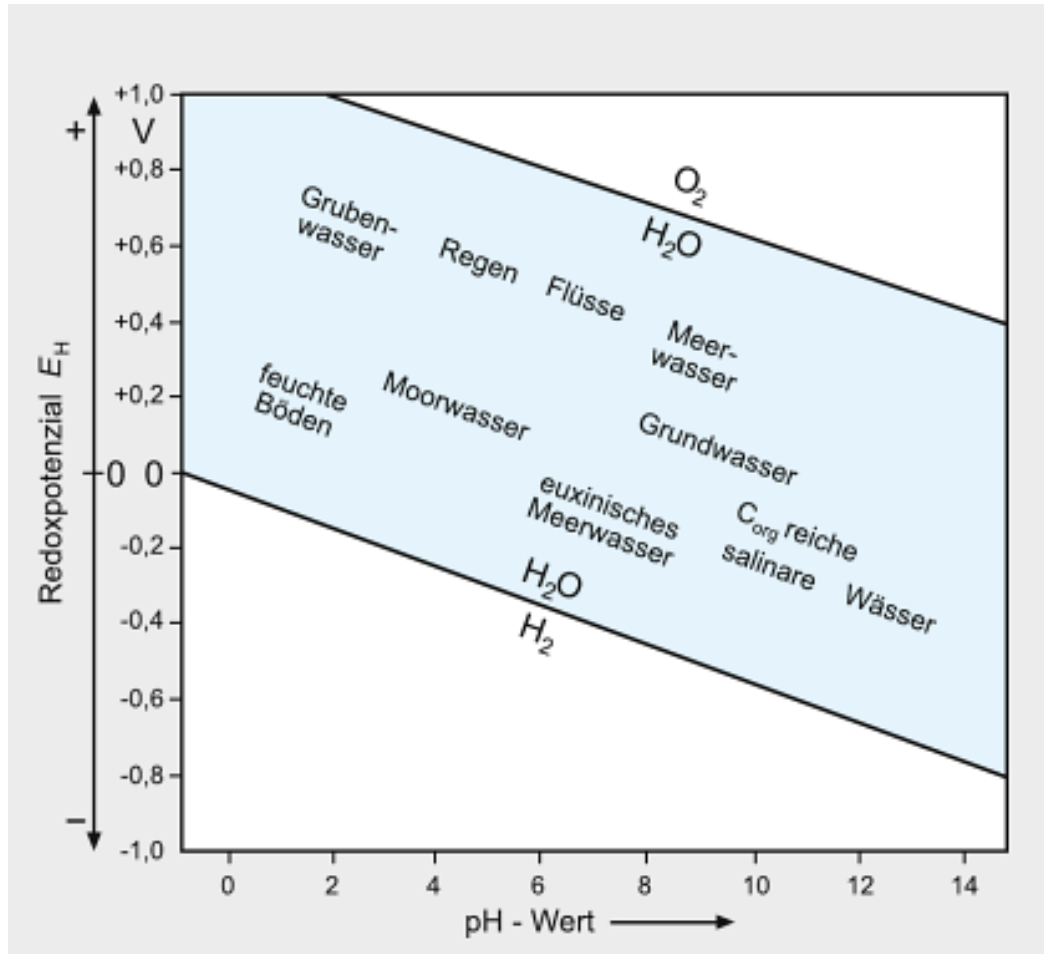
pH-Wert steigt an durch Hinreaktion → direkter Zusammenhang zwischen Redoxpotential und pH-Wert

Redoxpotential: hoch in gut durchlüfteten Böden,  
gering in wasserhaltigen Böden



# Eh-pH-Diagramme

Beziehung zwischen Oxidationskraft und Säuregehalt



Stabilitätsbereich von Wasser und Eh-pH-Bedingungen einiger natürlicher Wässer

oxidierende Bedingungen

reduzierende Bedingungen

# Bodenwasser

flüssige Komponente der Bodenbestandteile

Wässrige Lösung, die Bestandteile aus Niederschlägen und Bestandteile aus der Bodenmatrix enthält

Wasser das **nicht** sofort wieder verdampft oder die Grundwasseroberfläche erreicht

# Bodenwasser

*Adsorptionswasser, Porenwinkelwasser  
Haft- und Kapillarwasser (wegen Dipol-  
eigenschaften)*

Transportmittel für andere Bodenbestandteile

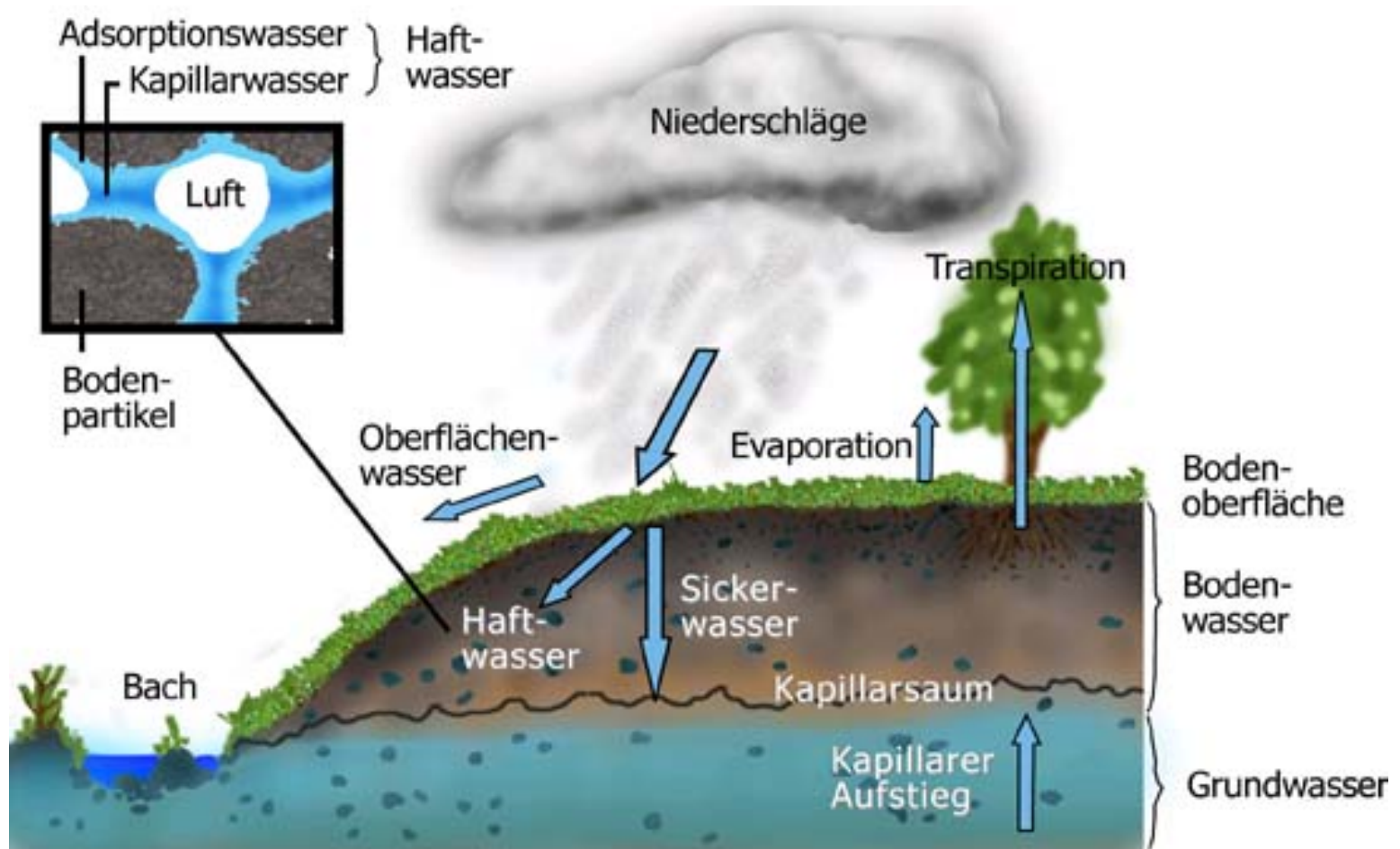
Die **Wasserkapazität** kann quantitativ beschrieben werden durch die:

## **Feldkapazität**

Wassermenge, die ein zunächst wassergesättigter Boden gegen die Schwerkraft nach 2 bis 3 Tagen noch halten kann.

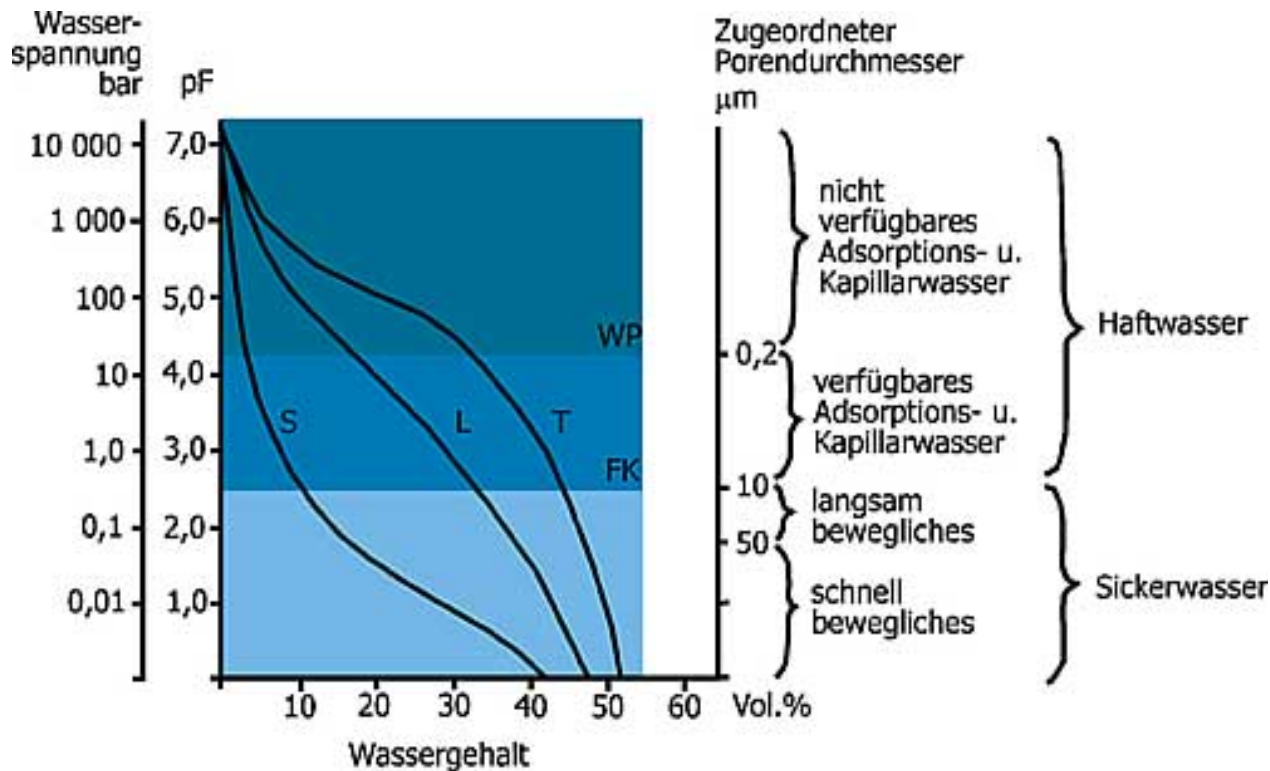
Hoch in tonigen Böden, niedrig in sandigen Böden

# Bodenwasser



<http://hypersoil.uni-muenster.de/index.html>

# Wasserspannung



FK = Feldkapazität

WP = **Welkepunkt:**  
Wassergehalt des Bodens, bei dem die meisten Pflanzen permanent welken. Tritt ein bei Wasserspannung von ca. 15 bar.

Wasserspannungskurven für Sandboden (S), Leimboden (L) und Tonboden (T) nach SCHROEDER (1992)

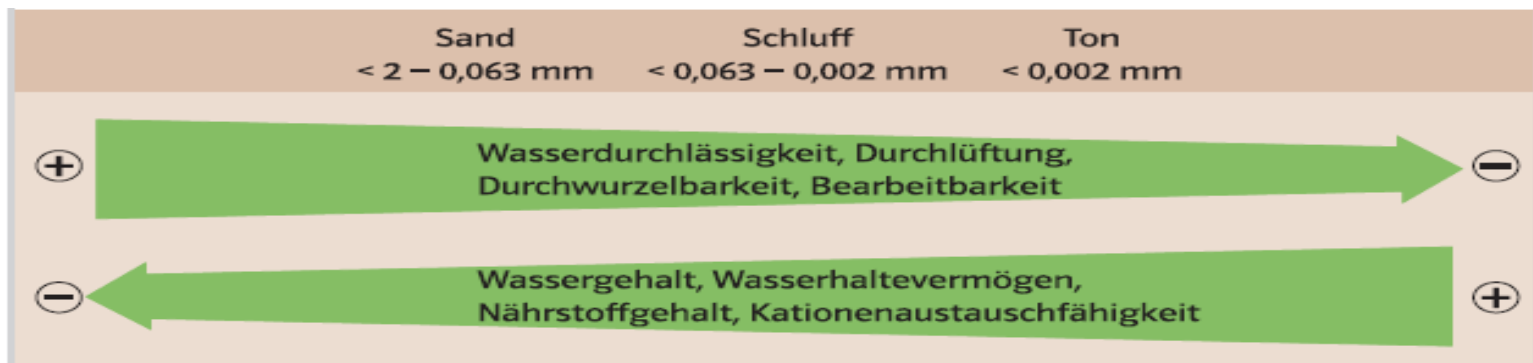
<http://hypersoil.uni-muenster.de/index.html>

Oberhalb des WP (>15 bar) Wasser für Pflanzen zu fest gebunden, unterhalb der FK (< 2,5 bzw. < 0,3 bar) so locker, dass das Wasser versickert. Bei pF 0 alle Hohlräume im Boden mit Wasser gefüllt.

# Bodenfeuchtegrad

kennzeichnet den jeweiligen Wasserzustand des Bodens

Auf Grund der Tatsache, dass gleiche Wassergehalte bei verschiedenen Bodenarten unter unterschiedlichen Spannungen stehen, ist **nicht der absolute Wassergehalt, sondern der jeweilige pF-Wert** für die Pflanzenverfügbarkeit des Wassers **entscheidend**



# Bodenluft

gasförmige Komponente des Bodens;  
Gegenspieler des Bodenwassers

Geringer Bodenluftanteil bei Feldkapazität

Andere Zusammensetzung als atmosphärische Luft:

	Sauerstoff (O <sub>2</sub> )	Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )	Stickstoff (N <sub>2</sub> )
Atmosphärische Luft (Mittelwerte)	20,95	0,03	79,0
Bodenluft	< 20,60	> 0,2	um 79,0

# Bodenluft

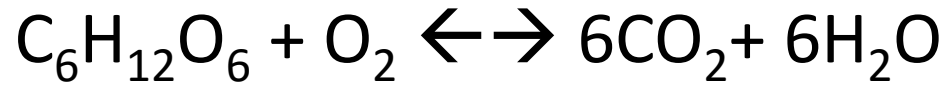
**Bodenatmung:** Gasaustausch zwischen Bodenluft und Atmosphäre infolge von Druckunterschieden.  $O_2$ -Partialdruck in Atmosphäre höher und  $CO_2$ -Partialdruck niedriger als in der Bodenluft  $\rightarrow O_2$  diffundiert aus der Atmosphäre in den Boden und  $CO_2$  aus dem Boden in die Atmosphäre.

Hohe  $CO_2$ -Gehalte in tieferen Bodenhorizonten  
**Wurzelatmung**, dort geringer Austausch mit Atmosphäre



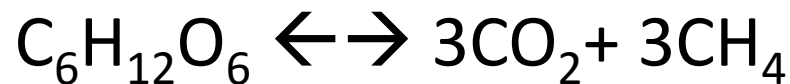
# Bodenluft

Aerobe Bedingungen



Gasdruck bleibt unverändert

Anaerobe Bedingungen



Gasdruck steigt an

Exotherme Reaktion!

Deponiegase

Bewegung der Bodenluft durch *Konvektion* und *Diffusion*

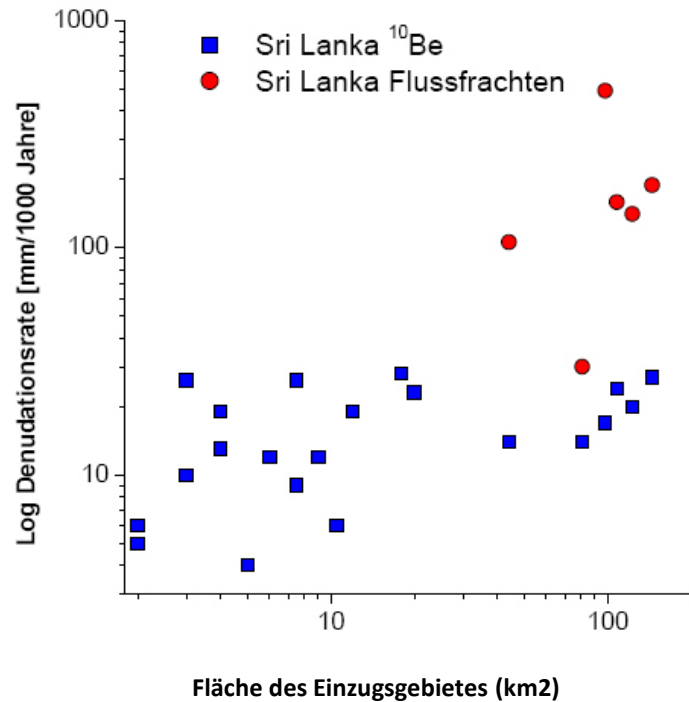
# Anthropogene Bodenbeeinflussung

## A) Bodenverdichtung



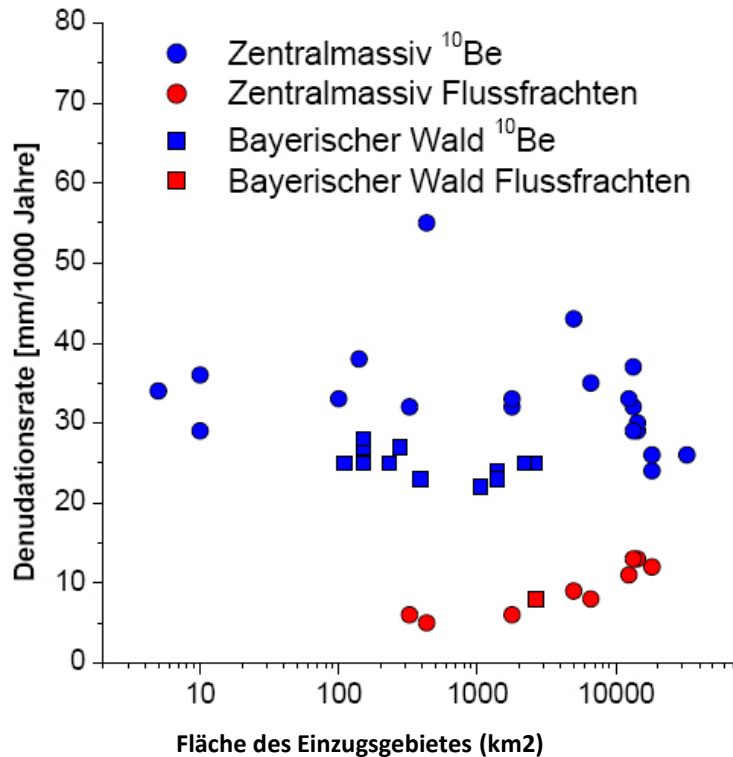
Geringeres Porenvolumen  
Geringere Wasser- und Luftdurchlässigkeit  
Verringerte Feldkapazität  
geringere Grundwasserneubildungsraten

## B) Bodenerosion



Sri Lanka:  
antropogen  
bedingter Anstieg  
der Erosion

# Anthropogene Bodenbeeinflussung



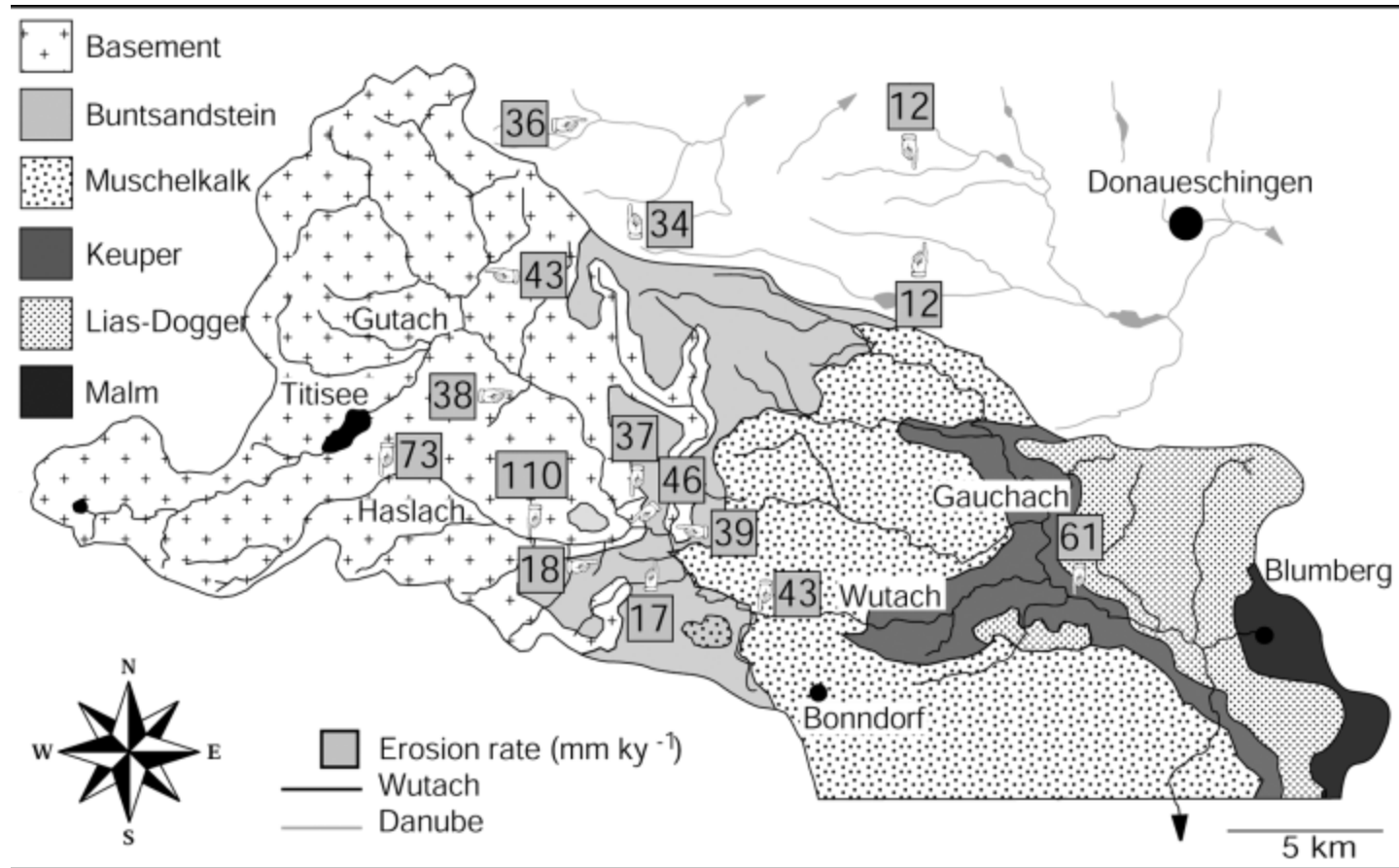
## Mittelgebirge/Europa:

kosmoge Denudationsrate höher als in Sri Lanka!

Grund: quartäre tektonische Aktivität (Hebung, Grabenbildung)

Raten aus Schwebstoffen unterschätzen die wahre Abtragung

# Erosionsraten SE Schwarzwald



Morel et al. 2003 Terra Nova

Geological map of the Wutach basin, with erosion rates from cosmogenic nuclides ( $\text{mm kyr}^{-1}$ ).

# Sedimente

Erosion & Sedimentation

# Sedimente

## KLASTISCHE SEDIMENTE

- **Verwitterung – Transport - Ablagerung**  
durch Wind, Wasser, Eis, Sonneneinstrahlung = physikalische Verwitterung

## CHEMISCHE SEDIMENTE

- **Chemische Ausfällung**  
Ausfällung von Ionen aus einer Lösung

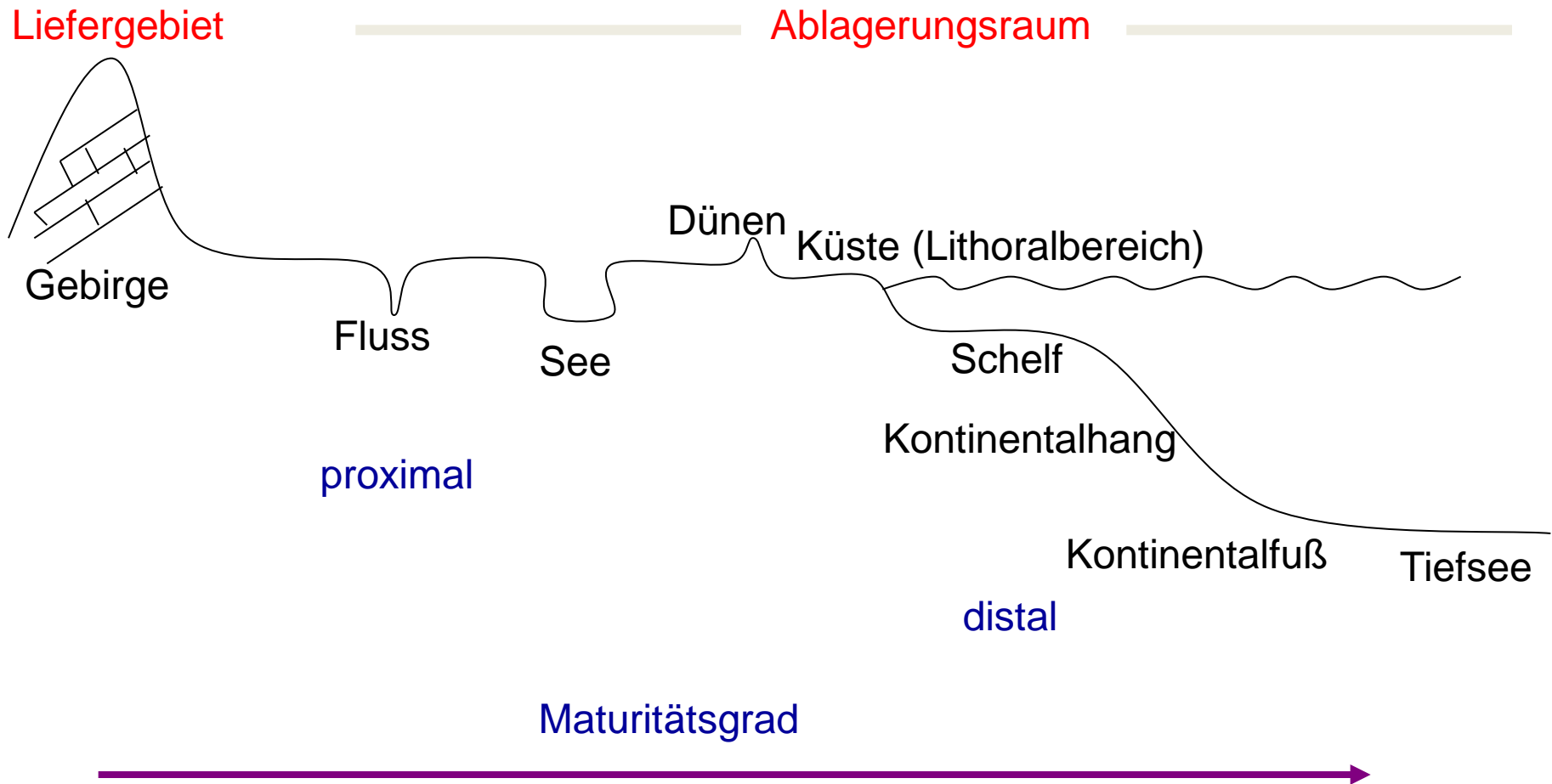
## ORGANOGENE / BIOGENE SEDIMENTE

- **Anhäufung von biogenem Material**  
z.B. Schnecken, Muscheln, Knochen

Sandsteine/Tonsteine Südaustralien



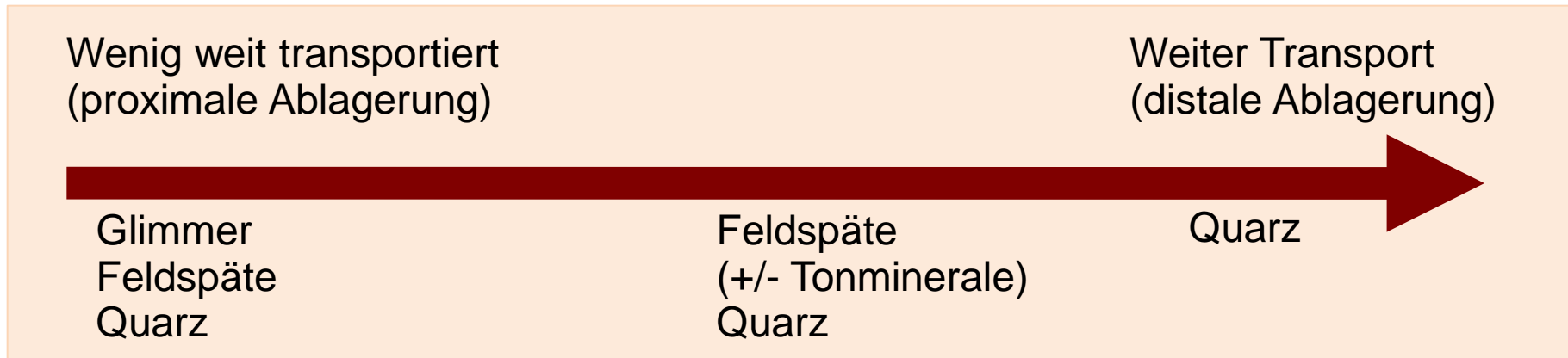
# Klastische Sedimente





# Klastische Sedimentgesteine

- Bestehen aus
  - **Verwitterungsresten** (Quarz, Feldspat und Muskovit; Schwerminerale)



- **Verwitterungsneubildungen** (Tonminerale)

Verwitterungsneubildung:



# Klastische Sedimente

## GRAVITATIVE SEDIMENTE

- **in Gebieten mit großem Relief**  
Berg- und Felssturzmassen

## FLUVIATILE SEDIMENTE

- **Transport durch Flüsse**  
Korngröße abhängig von Fließgeschwindigkeit

## LIMNISCHE SEDIMENTE

- **Transport über Fließgewässer in stehende Gewässer**  
Schwemmfächer im Deltabereich von Seen

## ÄOLISCHE SEDIMENTE

- **Transport durch Wind, feinkörnig**  
Dünen, Löss

## GLAZIALE SEDIMENTE

- **Transport durch Gletscher und Eis**  
Polymikte Ablagerungen

# Gravitative Sedimente

## Bergsturz zu Köfels



# Fluviatile Sedimente

Akkumulationsbereich fluvialer Sedimente  
(Einsiedl, Walchensee)



# Glaziale Sedimente (polymikt)



*Tillit (dropstone)  
Port Askaig, Islay,  
Schottland*

# Glaziale Sedimente

Gletschermilch, Lake Peyto, BC

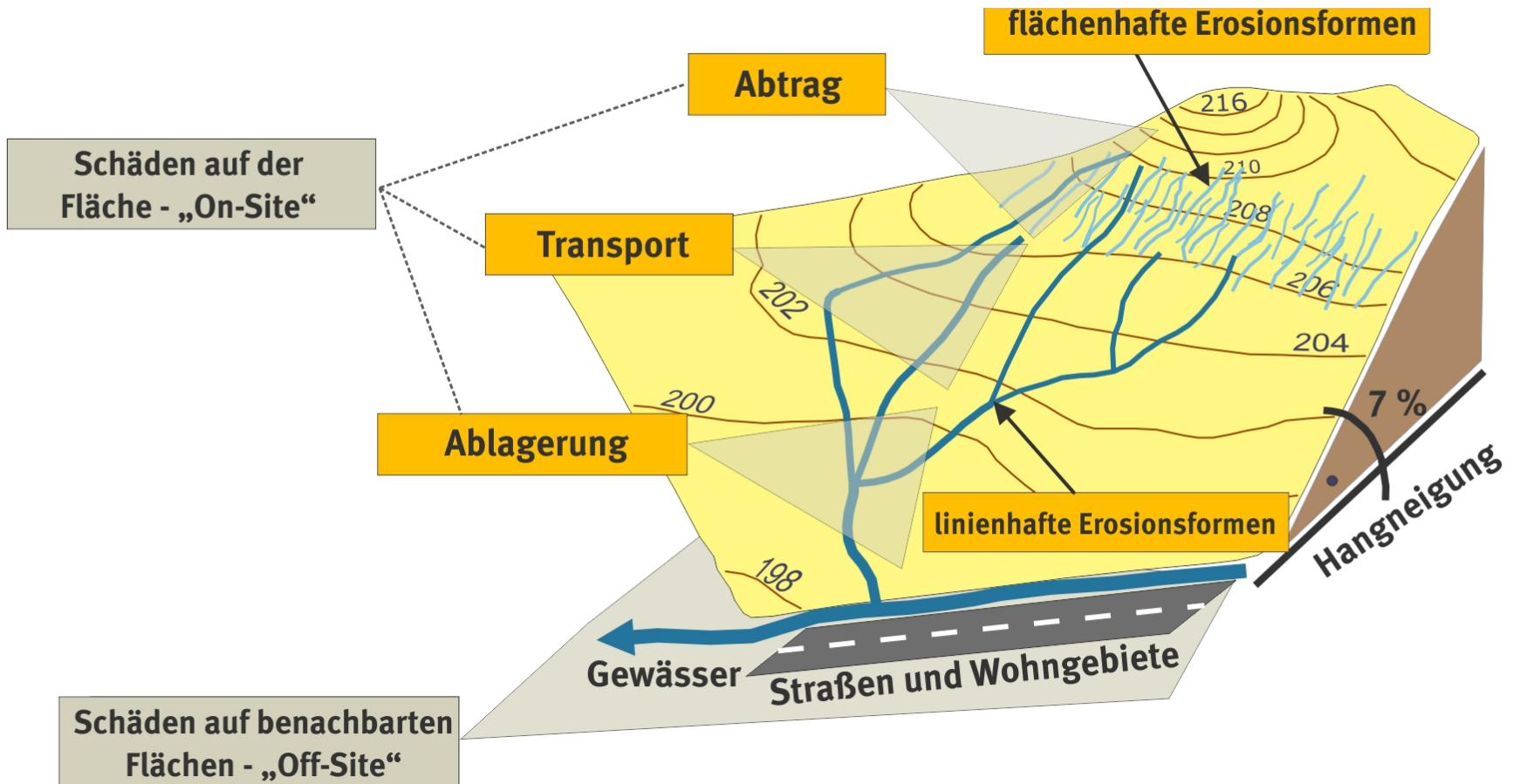




# Erosions- und Ablagerungsgebiete

anthropogene Einflussfaktoren auf die Beschaffenheit von Sedimenten:

- Bergbau
- Industrie
- Siedlungsraum





# Anthropogen bedingte Erosion

„Harvester“



# Flußbegradigung

## Rheinbegradigungen (1817 – 1876)



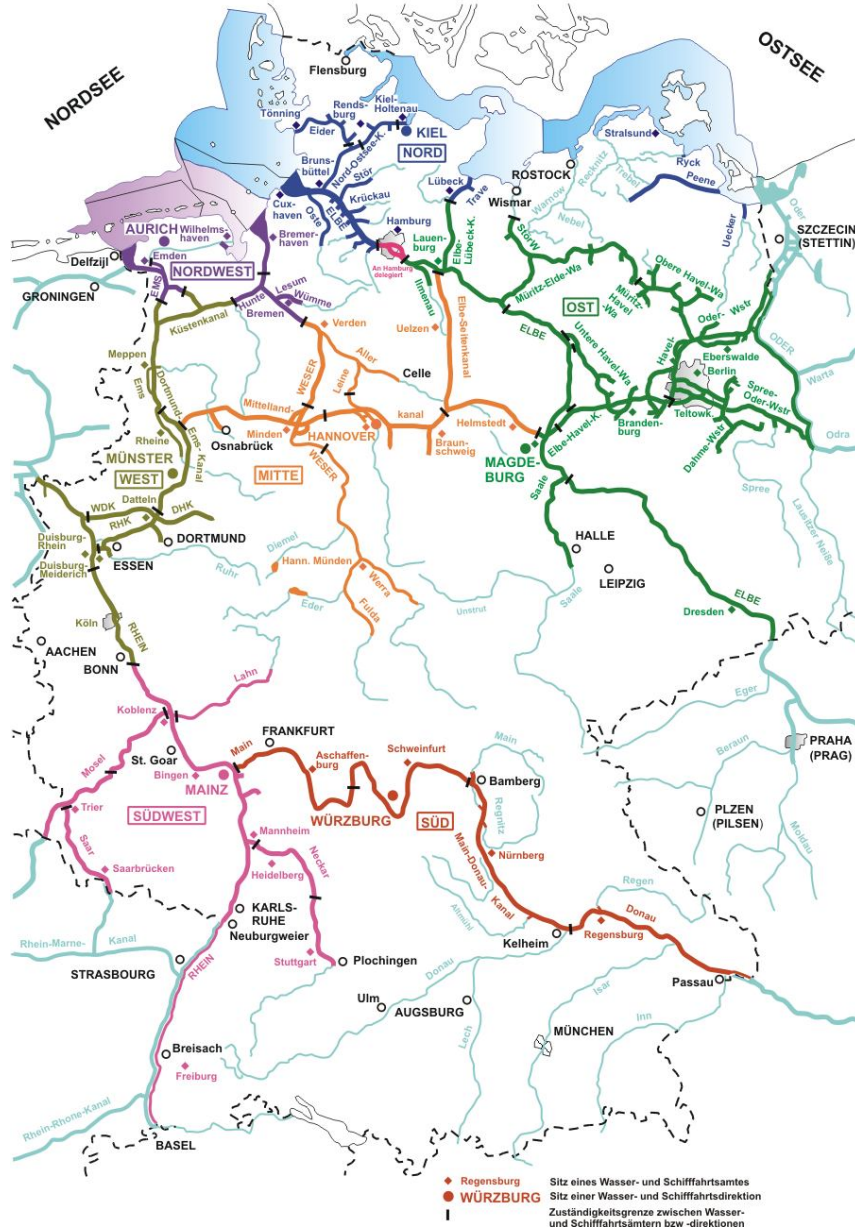
# Flußverlagerung

**Huáng Hé** – durchschnittliche Sedimentfracht  $35 \text{ kg/m}^3$

Flußbett liegt über dem Niveau der Ebene – Dammuferfluss häufige Verlagerung des Flussbettes (bis 1000 km, 9x seit 602 v. Chr.)



# Wasser- und Schifffahrtsstraßen



- 17800 km<sup>2</sup> Seewasserstraßen,
- 7300 km Binnenwasserstraßen,
- 35% frei fließende Flussstrecken,
- 41% staugeregelte Flussstrecken,
- 24% künstliche Wasserstraßen,

[http://www.wsv.de/wasserstrassen/gliederung\\_bundeswasserstrassen/karte/](http://www.wsv.de/wasserstrassen/gliederung_bundeswasserstrassen/karte/)

# Sedimentkataster

der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) der BRD

Ermittlung der Schadstoffbelastungen der Sedimente im Bereich  
der Schifffahrtsrouten

Das Sedimentkataster ist ein [in Entwicklung befindliches]  
**gewässerkundliches Fachinformationssystem** zur  
Dokumentation, Interpretation und Bewertung der  
morphologischen (physikalischen), chemischen,  
ökotoxikologischen und biologischen  
(Lebensgemeinschaften) Eigenschaften der Sedimente in  
den großen deutschen Flüssen, Kanälen und  
Küstengewässern (Bundeswasserstraßen).

Grundlage für den Umgang mit Baggergut und  
Sedimentbewirtschaftung

# Schwermetalle in Flußsedimenten

Der **Geoakkumulations-Index** nach German Müller

$$I_{geo} = \log \frac{C_i}{1,5 \cdot B_n}$$

$C_i$ : gemessene Konzentration des Elementes  $i$

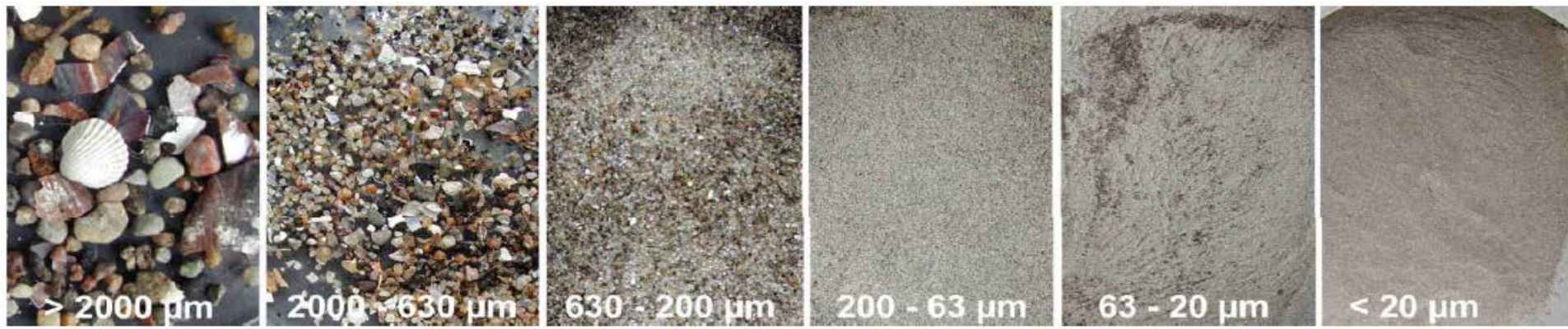
$B_n$ : geochemischer Background des Elementes  $i$



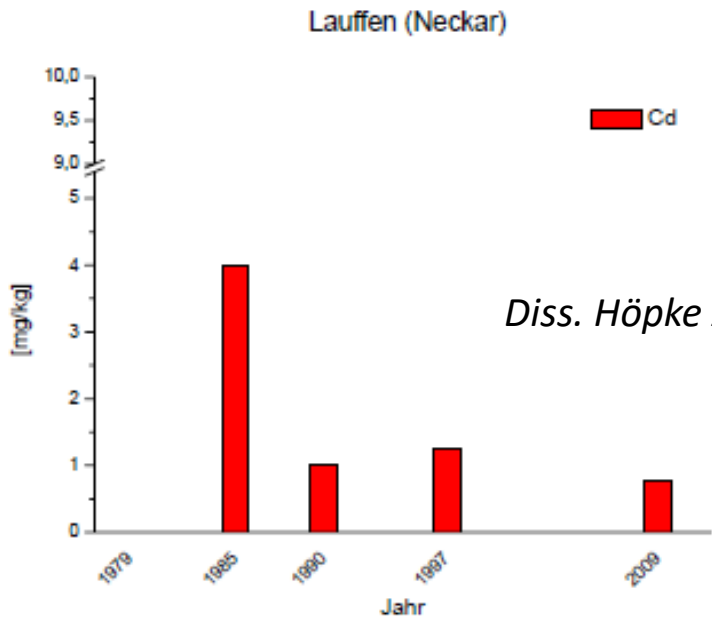
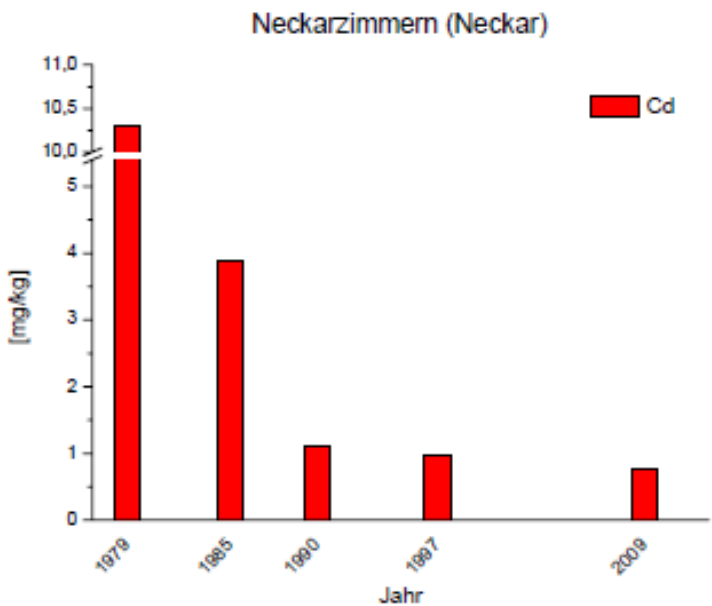
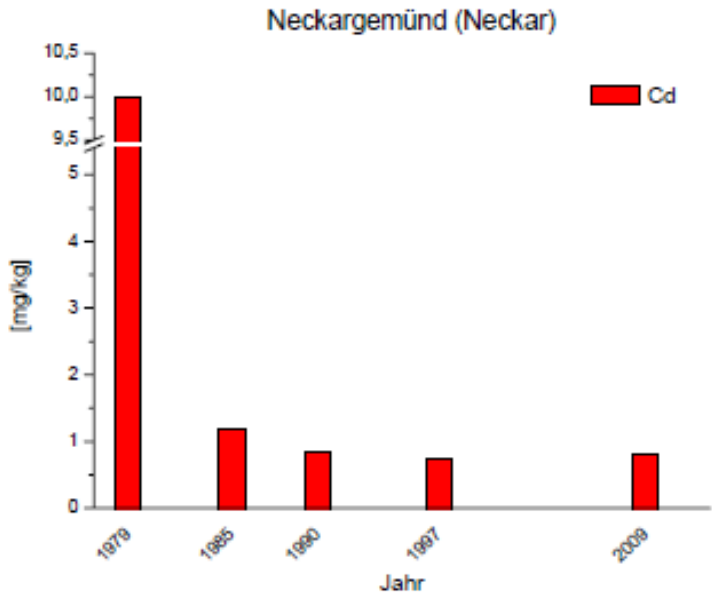
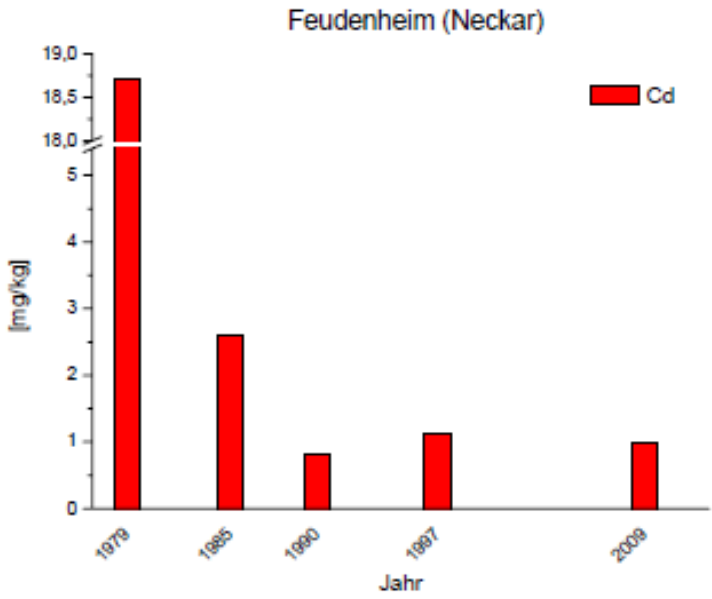
# Zuordnung der Schwermetallgehalte von Sedimenten gemäß Geoakkumulations-Index nach Müller (1979)

	Bezeichnung	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	P [g/kg]
I <sub>geo</sub> -Klasse	Background	13	0,3	19	90	45	68	20	95	0,7
0	Nicht belastet*	19,5	0,45	28,5	135	67,5	102	30	142,5	1,05
1	Nicht bis mäßig belastet	39	0,9	57	270	135	204	60	285	2,09
2	Mäßig belastet	78	1,8	114	540	270	408	120	570	4,19
3	Mäßig bis stark belastet	156	3,6	228	1080	540	816	240	1140	8,38
4	Stark belastet	312	7,2	456	2160	1080	1632	480	2280	16,8
5	Stark bis übermäßig belastet	624	14,4	912	4320	2160	3264	960	4560	33,5
6	Übermäßig belastet	1248	28,8	1824	8640	4320	6528	1920	9120	67

Backgroundwerte nach TUREKIAN & WEDEPOHL (1961) Tongesteinstandard



# Cadmium in den <20µm Fraktionen der Sedimente des Neckars (1979-2009)

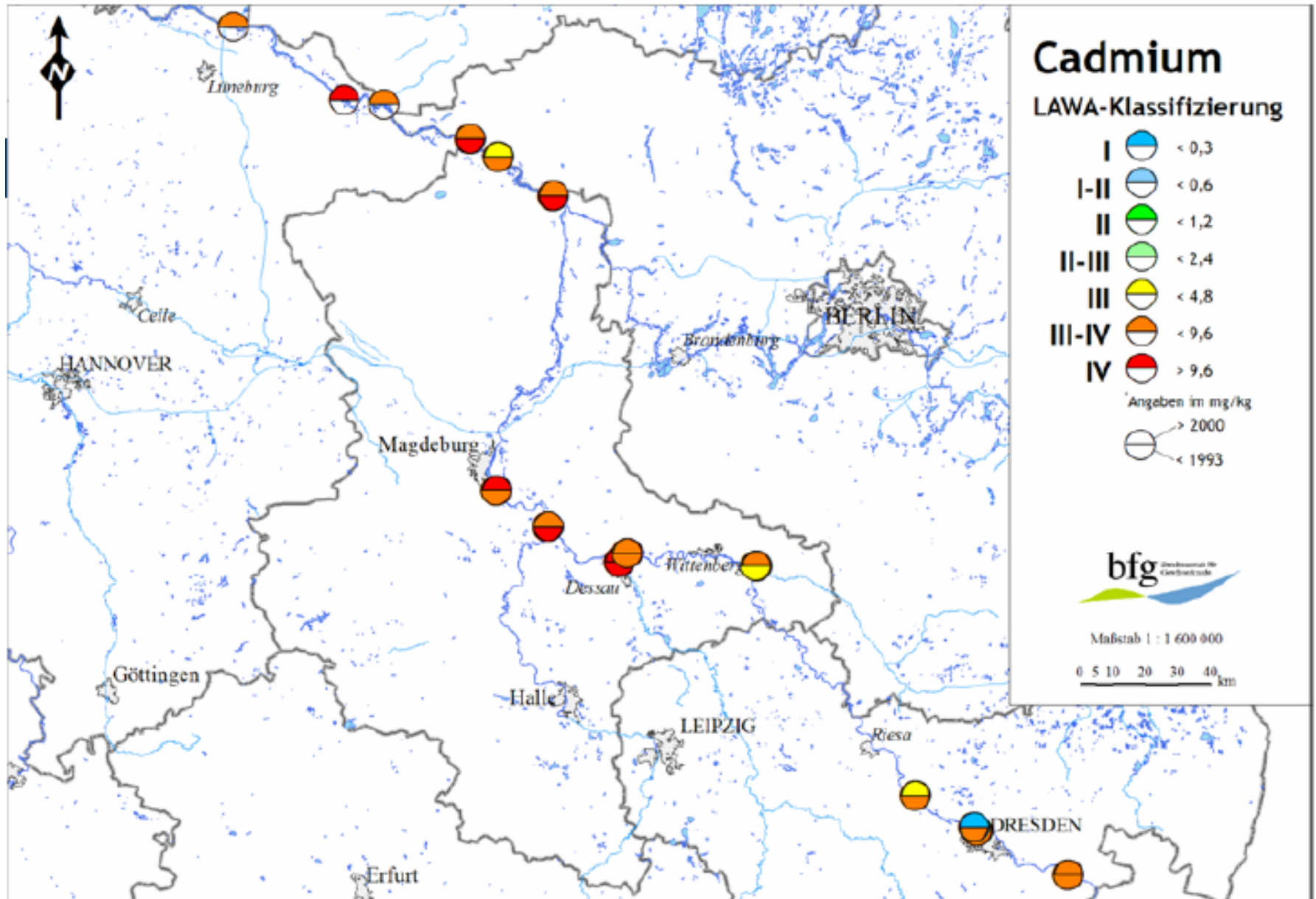


Neckar war 1972 der am stärksten mit Cd, Cr & Ni belastete Fluss Deutschlands

*Diss. Höpke Andresen (2011)*



# Cadmium in Sedimenten der Elbe (Fraktion < 20 µm)



# Entwicklung der Schwermetallbelastung in Elbsedimenten

Fraktion < 20 µm

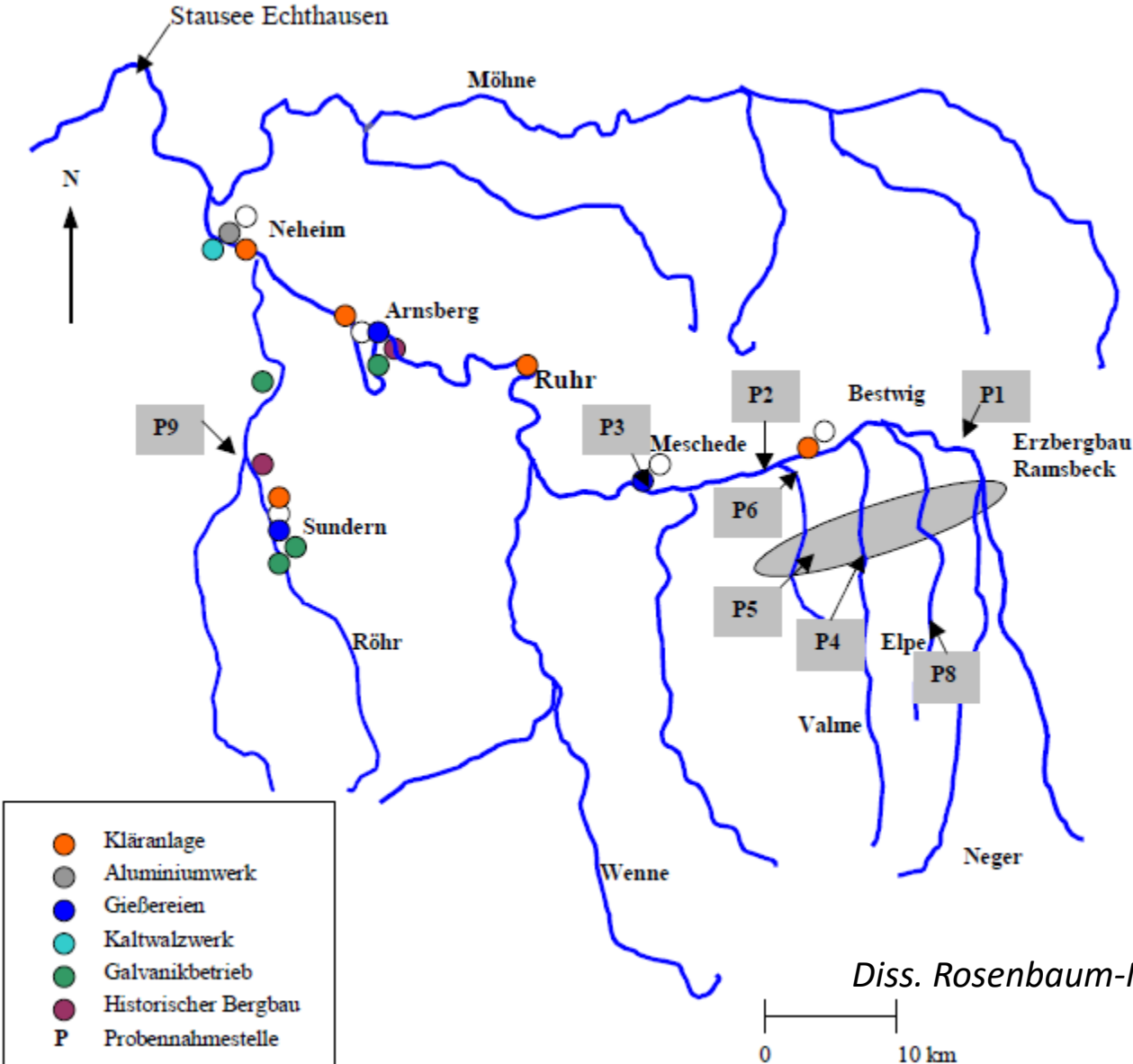
Element	Ort	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Cadmium	Prossen	4	4	4	4	4	4	4		3	3	3	3		3	3	3
	Dessau	6	6	6	6	6	6	5		5	5	5	5	5	6	6	5
	Magdeburg	5	5	5	5	5	5	4		5	5		4	3			
	Wittenberge		4	5	5	5	5	5	4	4	4		5	4	4	4	3

Quecksilber	Prossen	3	3	4	3	2	2	2		2	2	2	3		2	1	2
	Dessau	6	6	6	5	4	4	4		5	3	4	4	5	5	4	4
	Magdeburg	5	5	4	4	3	3	3		3	4		3	2			
	Wittenberge		5	4	4	3	4	4	3	3	3		4	3	3	2	2

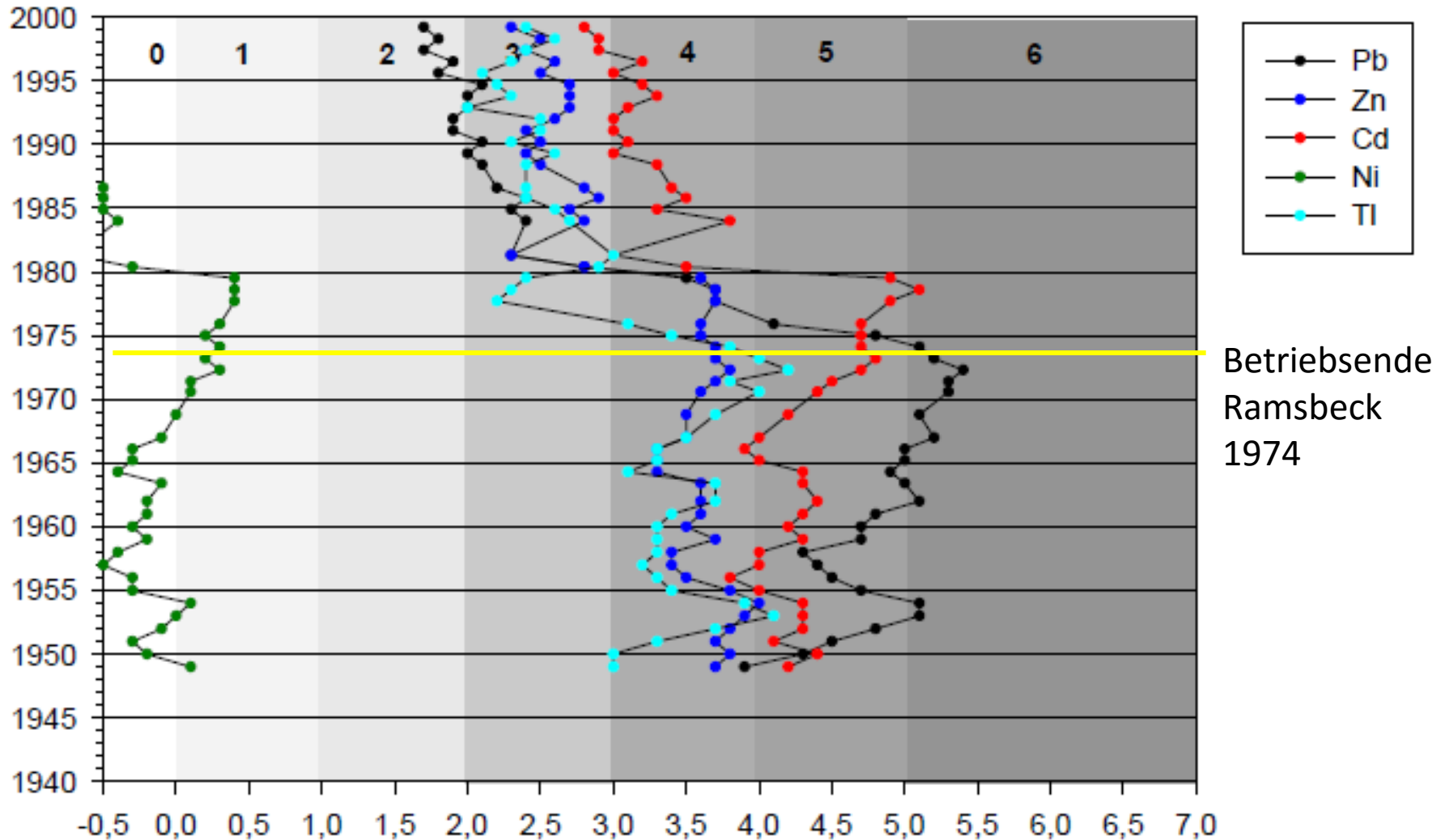
Zink	Prossen	4	4	4	3	3	3	3		3	3	3	2		3	3	3
	Dessau	5	4	5	4	4	4	4		4	4	4	3	3	4	4	4
	Magdeburg	4	4	4	4	4	3	4		4	4		3	3			
	Wittenberge		6	4	4	4	4	4	4	3	3		3	3	3	3	3

Index	Konzentration (mg/kg)		
	Cd	Hg	Zn
0	<0,45	<0,6	<143
1	<0,9	<1,2	<285
2	<1,8	<2,4	<570
3	<3,6	<4,8	<1140
4	<7,2	<9,6	<2280
5	<14,4	<19,2	<4560
6	>14,4	>19,2	>4560

# Einzugsbereich Stausee Echthausen mit potenzielle Belastungsquellen



# Veränderungen des Geoakkumulationsindexes der Schwermetalle , Stausee Echthausen



Geoakkumulations-Index nach Müller (1979)

Diss. Rosenbaum-Mertens (2003)

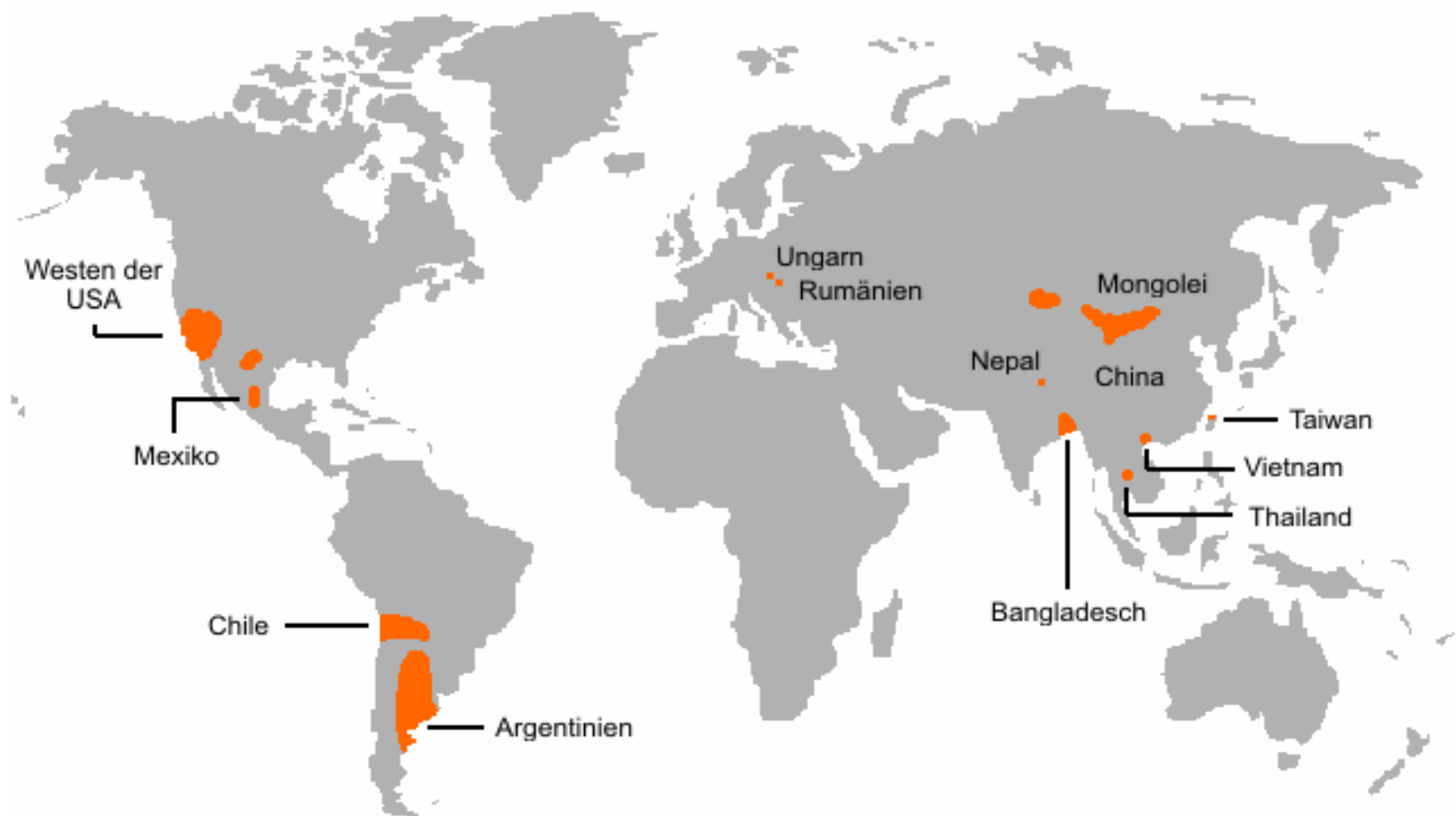
# Überblick zu Schwermetallkonzentrationen in Flüssen

	Jahr der Probenahme	As	Cd	Cr	Co	Cu	Ni	Pb	Zn	
<b>Background</b>		13	0,3	90	19	45	68	20	95	Turekian & Wedepohl 1961
Blackstone River, USA	2001	-	5,63	21,2	-	110	-	116	47,8	Ozidilek et al. 2007
Ngada River, Nigeria	2009	33,2	25,2	69,3	36,2	48,3	52,2	81,8	185	Akan et al. 2010
Sambesi, Sambia	2008	3	0,04 7	7	0,9	6	13	1	6	Ikenaka et al. 2010
Yangste River, China	2005	15,4	0,98	108	-	61,4	41,6	49,2	230	Wang et al. 2010
Haraz River, Iran	2007	33,6	3,45	28,1	9,55	32,1	43,6	26,4	73,8	Nasrabadi et al. 2010
Esino River, Italien	2008	-	-	10,1	-	14	17,6	2,36	23,2	Ruello et al. 2011
Second Songhua River, China	2005	-	-	49,4	9,97	23,6	18,8	23,8	90,3	Lin et al. 2007
Gomti River, Indien	1994-1998	-	-	20,9	-	43,5	23,5	32,9	63,7	Singh et al. 2005
Ganga River, Indien	1993-1995	-	-	240	19,9	157	84,8	73,7	308	Singh et al. 2002
Sava River, Serbien	2009	-	4,6	-	-	41,7	-	18,2	52,7	Vukovic et al. 2011
Wolga, Russland	2001	14	0,66	71	-	44	52	24	165	Müller et al. 2007
Rhein, Deutschland	1995	16	0,53	67	-	56	45	41	171	Müller et al. 2007
mittlere Elbe, Deutschland	2001	-	8,7	96,3	-	121	53	128	1300	Heiniger et al. 2003
Weisse Elster, Deutschland	1998-2002	-	6,9	186	43	144	114	146	1434	Zerling et al. 2006
Neckar, Deutschland	2009	-	0,93	55,3	13,0	69,9	36,8	38,0	245	
Moskva/Oka, Russland	2007	-	1,83	87,5	15,3	79,9	43,8	104	261	

*Diss. Höpke Andresen (2011)*

\*Die hier angegebenen Werte sind Mittelwerte aus den in den Veröffentlichungen angegebenen Werten.

# Arsen in Schwemmlandebenen



## Beispiel Bangladesch

primäre Arsenquellen: Sedimente, As-führende Kohle, Sulfiderze aus Himalaya

# Arsen im Grundwasser

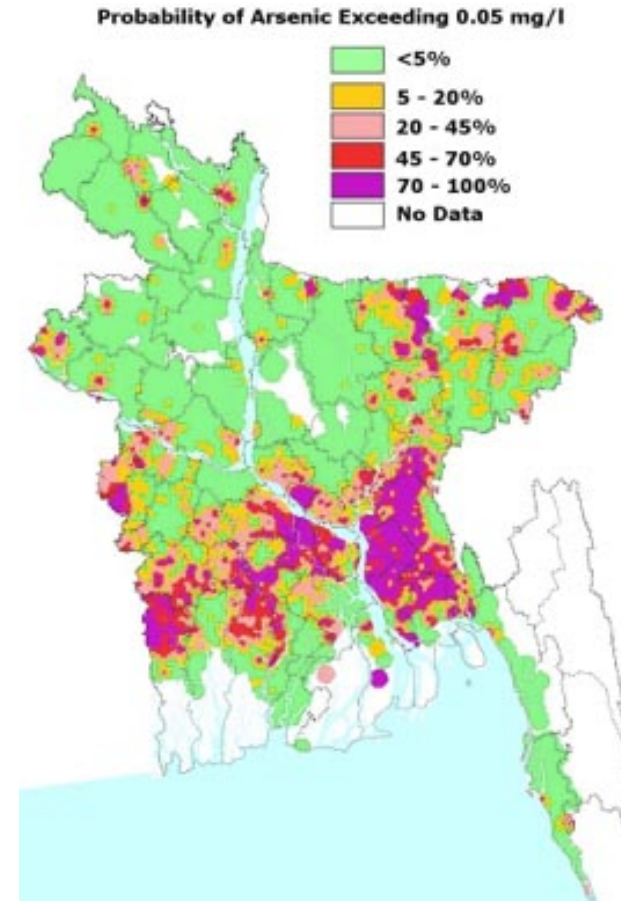
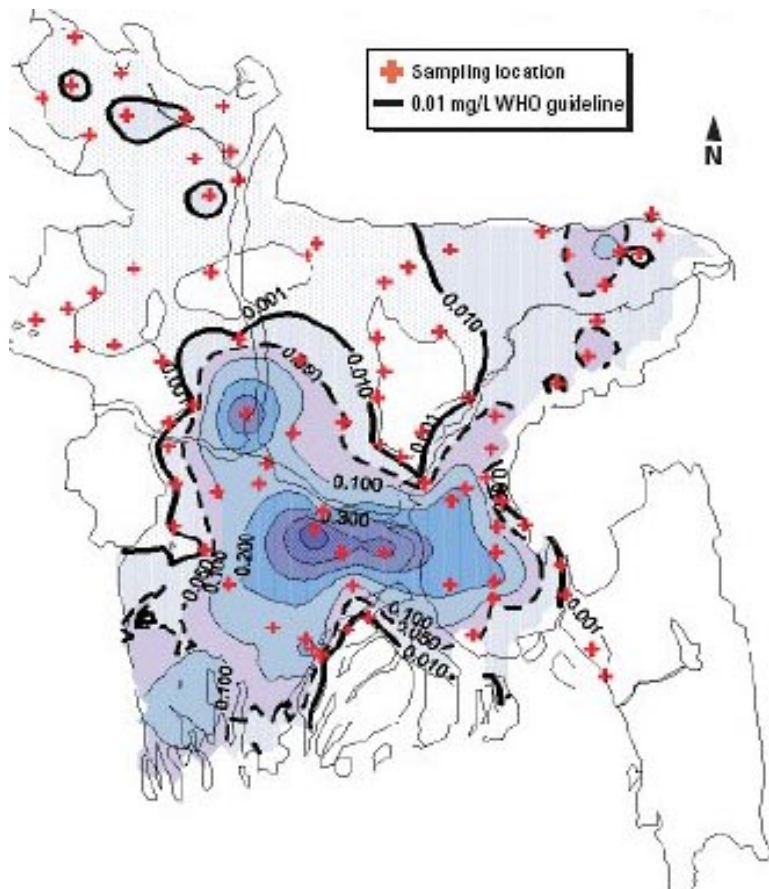
Oberflächenwasser mit  
Krankheitserregern  
kontaminiert

Bau von Röhrenbrunnen

Steigende Arsenbelastung



# Arsen im Grundwasser, Bangladesh



Röhrenbrunnen in Bangladesh  
Ganges, Brahmaputra und Meghna Delta



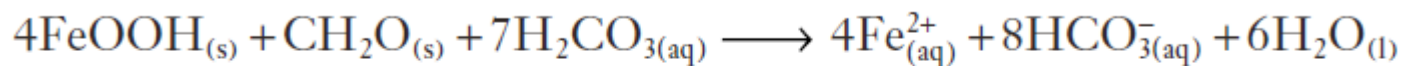
# Freisetzung von Arsen

## Änderungen der Redox-Bedingungen

Übermäßige Grundwassernutzung (Bewässerung), senkt den Grundwasserspiegel ab und gestattet dem Luftsauerstoff, das im Ton befindliche Arsen freizusetzen.

Starkes Redox-Gefälle zwischen belüftetem (Oxidationszone) und wassergesättigtem Sediment führt zur Bildung von Eisen(III)-oxidhydrat, das bis zu 800 ppm Arsenat enthalten kann

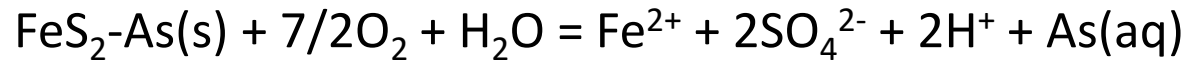
mikrobielle Reduktion As-führender Eisenoxide setzt As frei:



eqn. 5.26

# Freisetzung von Arsen

## Pyritoxidation



## Mikroorganismen

Unter anaeroben Bedingungen (also im Bereich des Grundwasserspiegels) kann Arsen, As(III), von metallreduzierenden Bakterien in den Sedimenten des Gangesdeltas mobilisiert werden