

UC-05

2.4.2 Abgasreinigung durch Katalysator

- Umweltsünder Auto

* Pro...und ...Cons



Emissionsminderung bei Kraftfahrzeugen

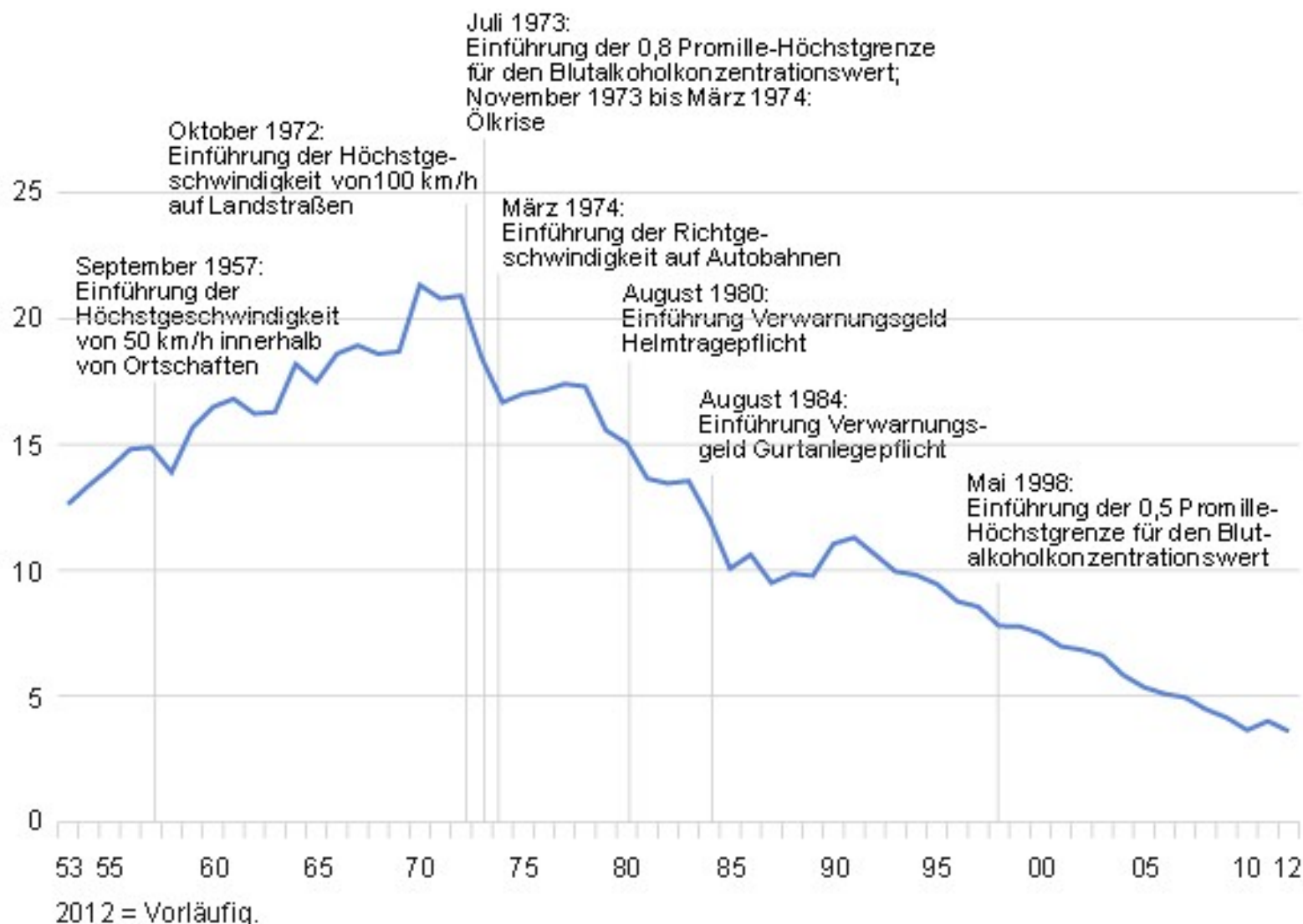
- **Kfz Anzahl D:**

2,0 Mio. Kfz 1950,
48,4 Mio. Kfz 2006,
50,2 Mio. Kfz 2010,
51,7 Mio. Kfz 2012,
53,7 Mio. Kfz 2015.

- **Notwendige Maßnahmen:**

- * **Verringerung des Kraftstoffbedarfs**
- * **Verminderung von Schadstoffemissionen**
- * **Verminderung von Verkehrslärm**
- * **Einführung der Elektromobilität**

Zahl der im Straßenverkehr getöteten Personen (in Tausend)



© Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2013

Einführung technischer Verbesserungen!

Abgase bei Ottomotoren

- Typische Abgaszusammensetzung

N ₂	71	Vol.%	
CO ₂	18,1	Vol.%	
H ₂ O	9,2	Vol.%	
O ₂	0,7	Vol.%	(incl. Edelgase)
aromat. KW	1,0	Vol.%	
CO	0,85	Vol.%	
NO _x	0,08	Vol.%	
aliphat. KW	0,05	Vol.%	

- Abgasgrenzwerte für PKW (seit 1992)

CO	2,7	g/km
NO _x	0,97	g/km
KW	0,97	g/km

Methoden der Entfernung der Hauptschadstoffe (NO_x , CO , C_mH_n)

- vollständige Verbrennung (Oxidation) der Kohlenwasserstoffe und CO

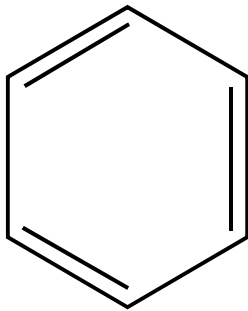
⇒ CO_2 , H_2O

- vollständige Reduktion der nitrosen Gase zu Stickstoff

⇒ N_2

⇒ deshalb unter Betriebsbedingungen sowohl Oxidations- als auch Reduktionsreaktionen durchführen

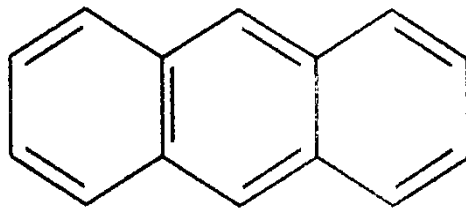
Benzol



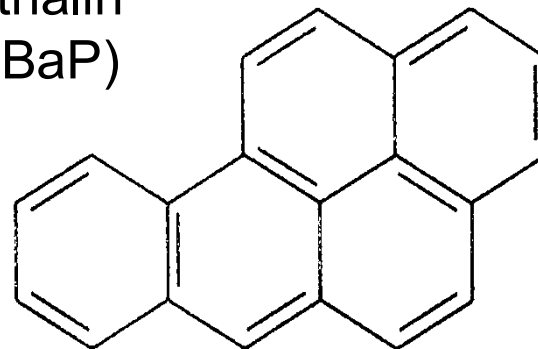
- krebserregender Stoff
- Hauptquelle: Straßenverkehr
Deutschland 1992: 41000 t Emission
- Konzentration in Großstädten: 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Polycyclische Aromaten (PAK, PAH)

- einfachste Verbindung: Naphthalin
- Leitsubstanz Benzo[a]pyren (BaP)



Anthrazen



3,4-Benzpyren

Krebserreger

- Hauptemittenten: Kokereien, Gasereien, Hausbrand, **Straßenverkehr**
- gemessene Immissionen in Deutschland: 0,2 - 7 ng/m³
(früher fast 10facher Wert)

Problemlösung: Abgasreinigung

- Kein Zusatz von Blei
- Hochreiner Kraftstoff
- Entschwefelung
- Katalysator

- Katalysator

Es geht nicht darum, neueste Katalysatortechnologie zu diskutieren, sondern auch in dem Fall Prinzipien zu erkennen, wie Technik und Umwelt in bessere Übereinstimmung gebracht werden können.

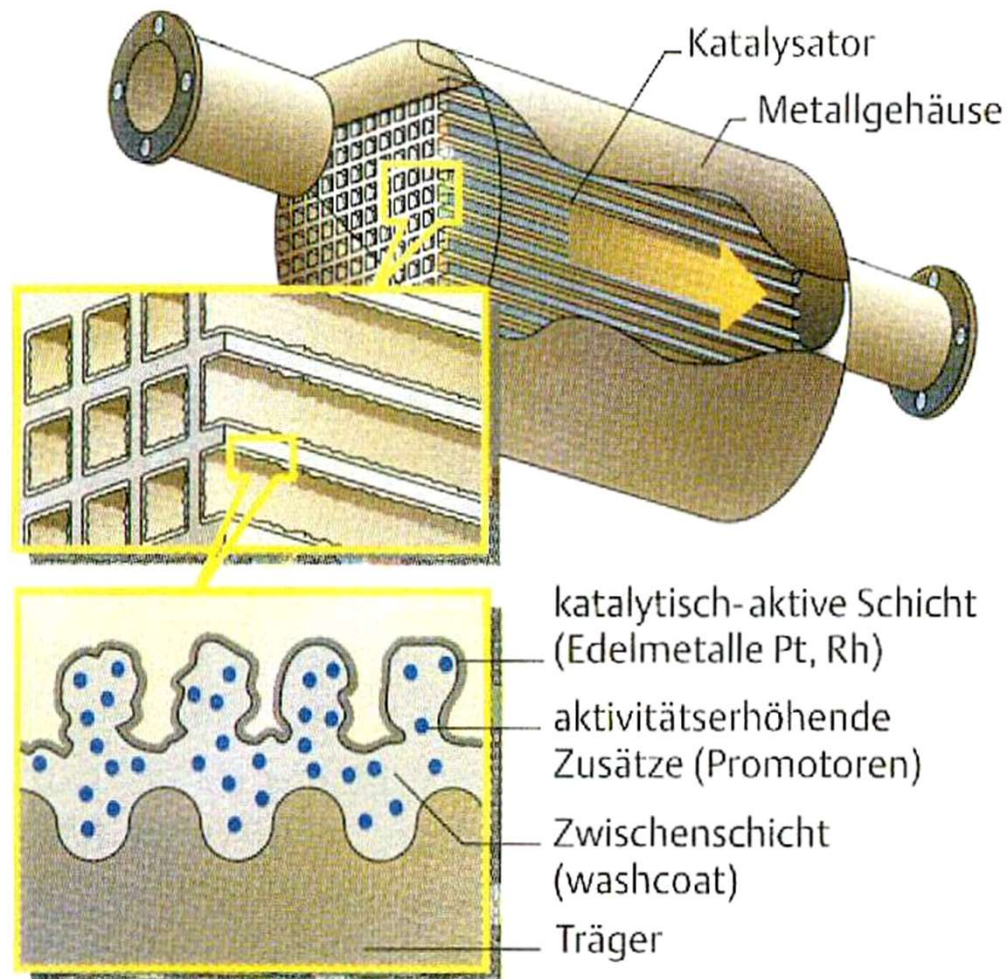
Abgasreinigung hinter Ottomotoren

„Der Katalysator“

Zu lösende Probleme:

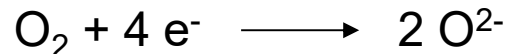
- **Entwicklung/Bau Katalysator**
keramischer Röhrenkörper mit Al_2O_3 -Überzug
und Edelmetallverbindungen (Rh, Pd, Pt, etc.)
- **Analytik und Regelung**
- **Optimierung**
Verbrennung organischer Verbindungen und CO
und Spaltung von Stickoxiden
- **Technische Lösung**
geregelter Katalysator!

Katalysator



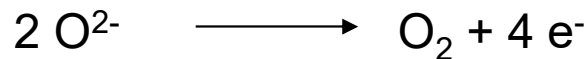
Potentiometrischer Sauerstoff-Sensor (Lambda-Sonde)

- Yttrium-dotiertes ZrO_2 als Sauerstoff-Ionenleiter ($\text{Y}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$)
- zu analysierendes Gas gelangt durch poröse Pt-Elektroden an die Festkörperelektrolytoberfläche
- **Kathodenreaktion:**



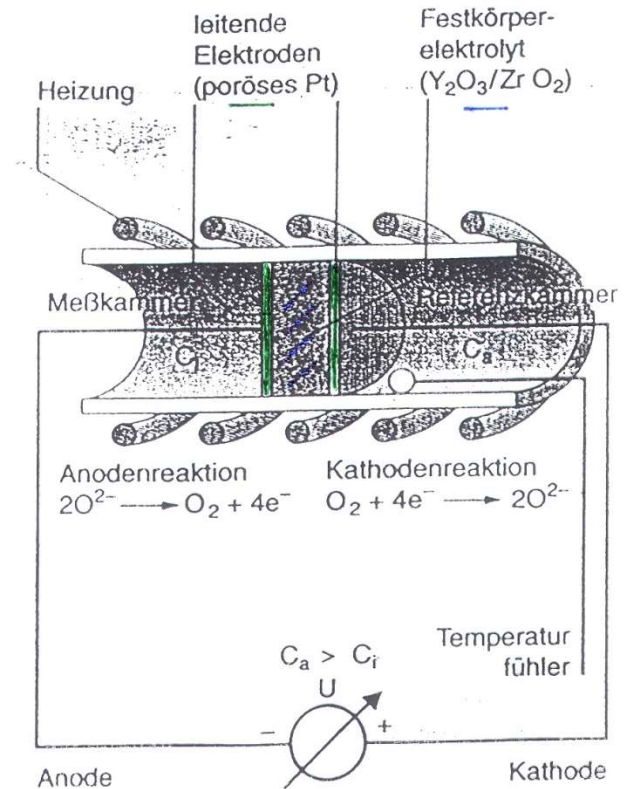
Kathodenreaktion (in Meß- wie in Referenzkammer) führt zu einem Gleichgewicht zwischen den Sauerstoffmolekülen und dem Gittersauerstoff (O^{2-}) sowie den Elektroden im Platin

- **Anodenreaktion:**



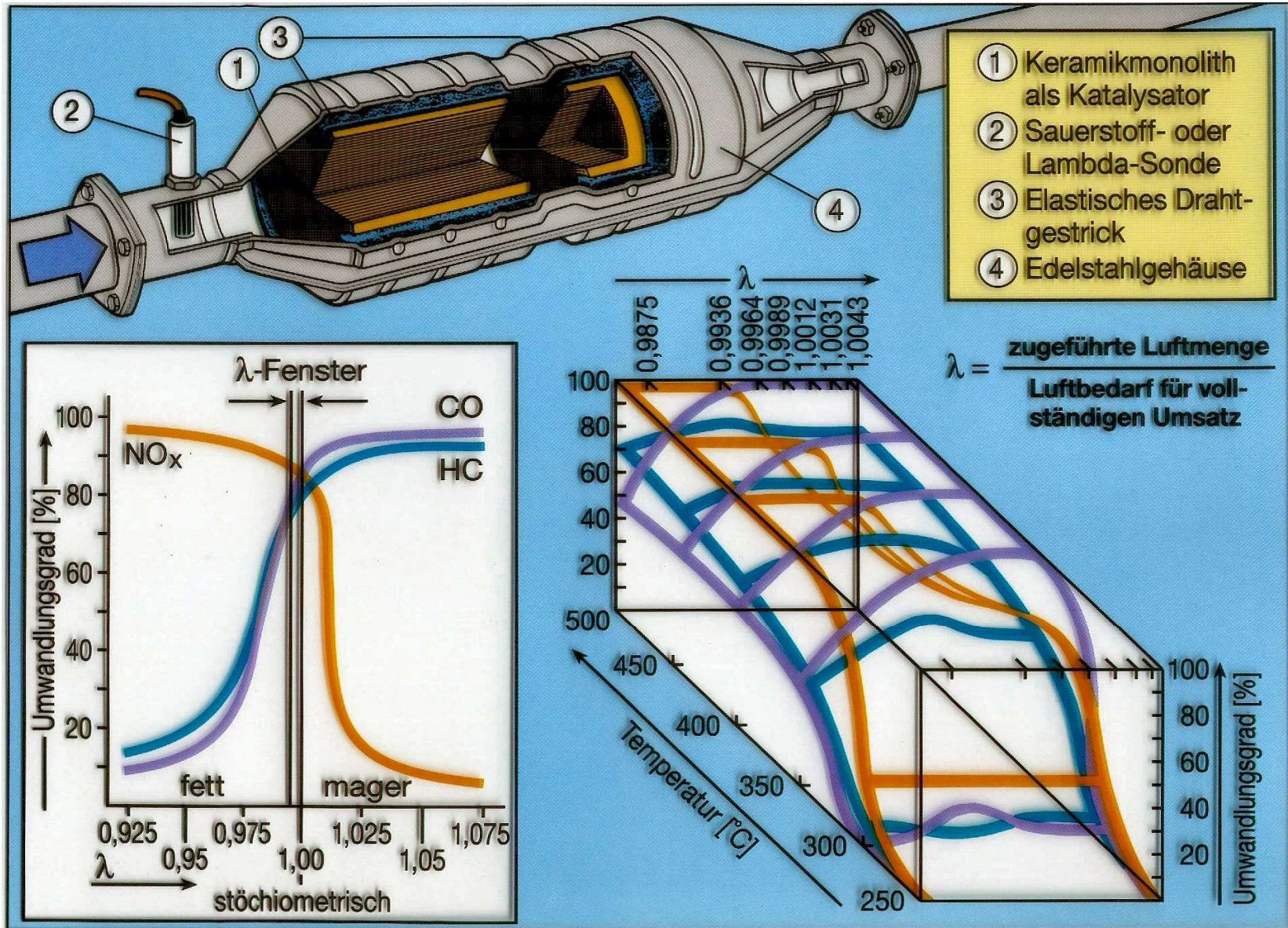
- Konstanter Sauerstoffpartialdruck in der Referenzkammer

- **Steuerung durch O_2 -Gehalt im Abgas (λ -Bereich) durch λ -Sonde**



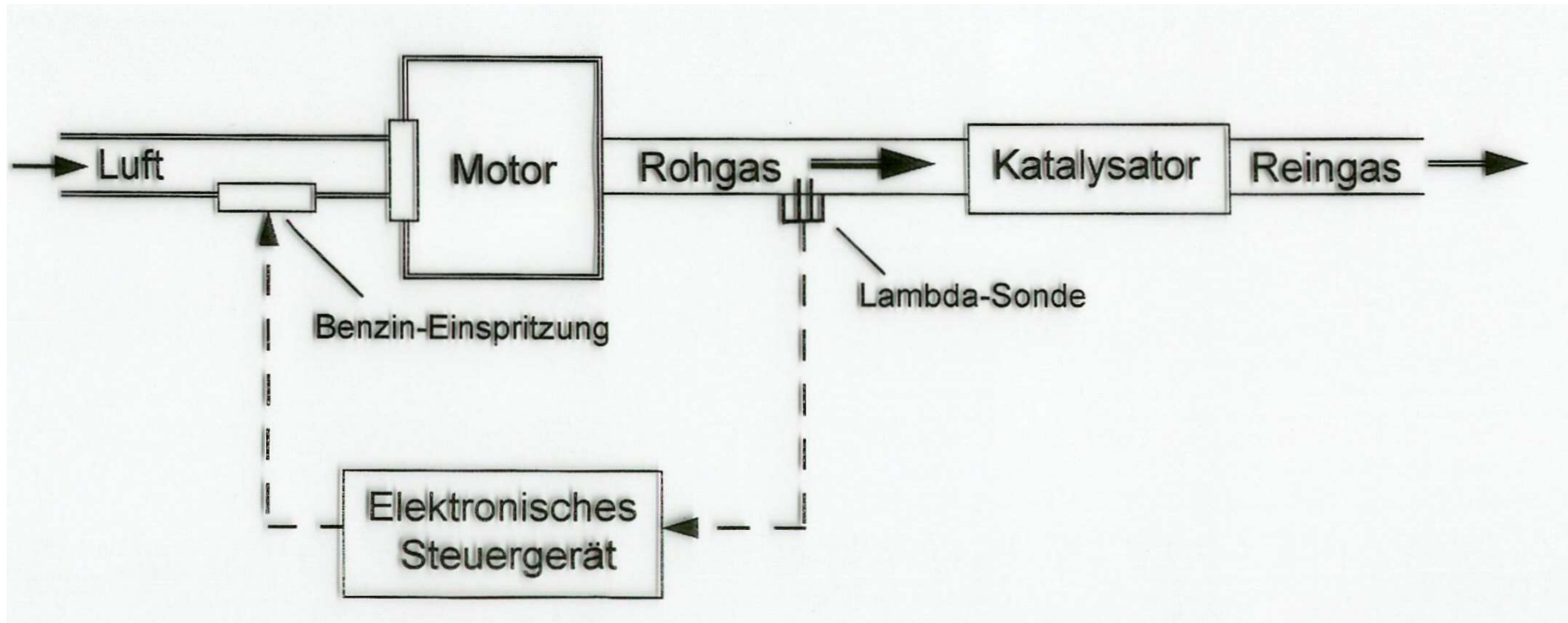
Optimierung

Katalysator (Otto-Motor)



Technische Lösung

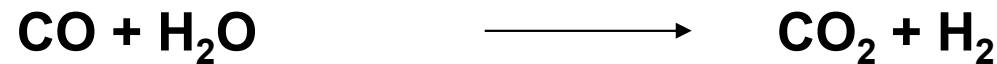
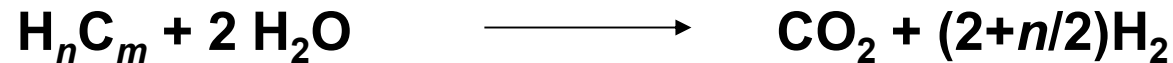
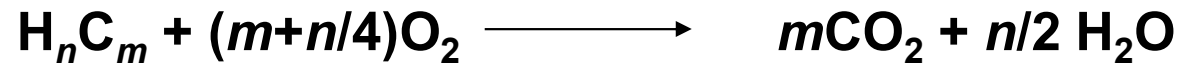
Abgasreinigung mit 3-Wege-Katalysator



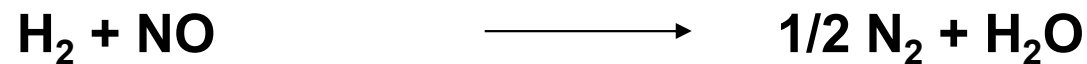
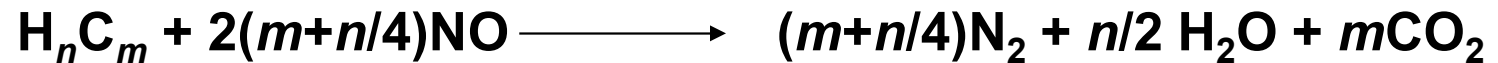
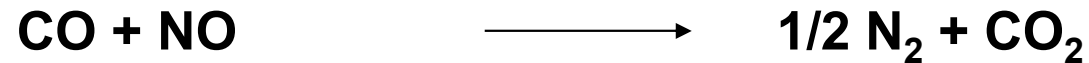
Chemische Reaktionen

Reaktionen im Katalysator

HC- und CO-Konvertierung:



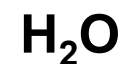
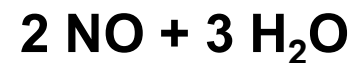
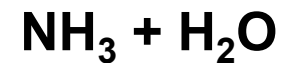
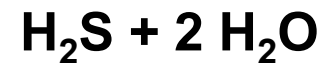
NO_x-Konvertierung:



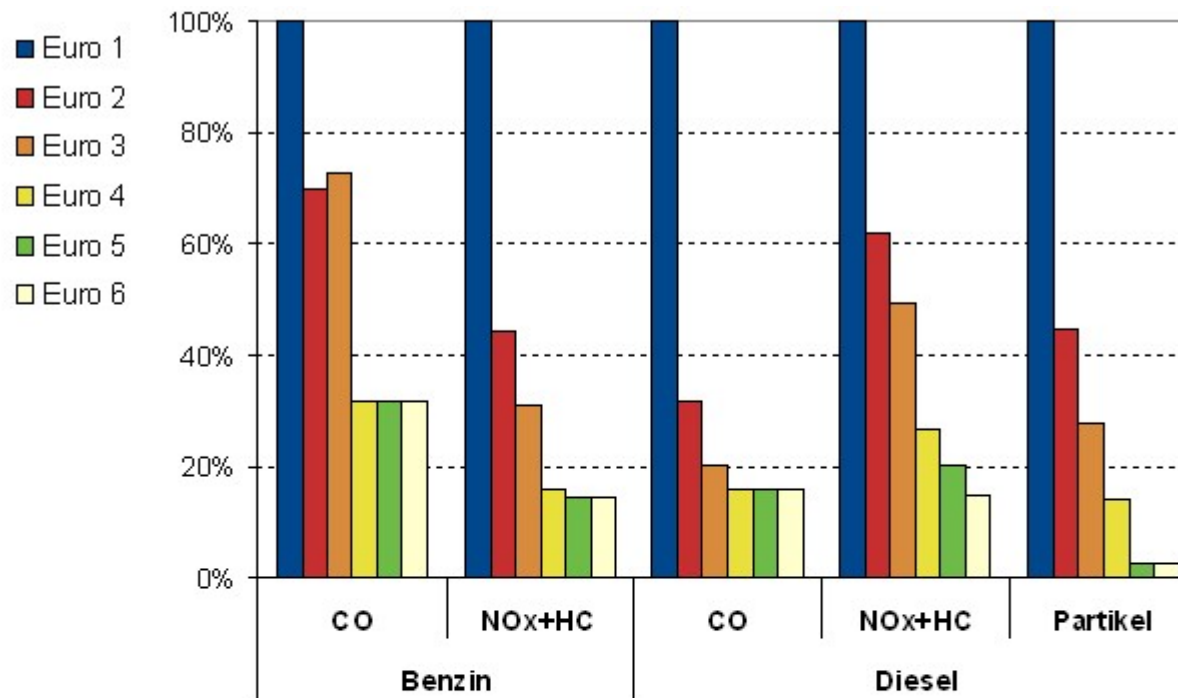
Chemische Reaktionen

Reaktionen im Katalysator

Restliche Reaktionen:




Abgasgrenzwerte PKW



	gültig ab	Benzin			Diesel			
		CO	NOx	HC	CO	NOx	HC+NOx	Partikel
		in g/km						
Euro 1	1.7.1992	3,16	HC+NOx 1,13		3,16		1,13	0,18
Euro 2	1.1.1996	2,2	HC+NOx 0,5		1,0		0,7	0,08
Euro 3	1.1.2000	2,3	0,15	0,2	0,64	0,5	0,56	0,05
Euro 4	1.1.2005	1,0	0,08	0,1	0,5	0,25	0,3	0,025
Euro 5	1.9.2009	1,0	0,06	0,1	0,5	0,18	0,23	0,005
Euro 6	1.9.2014	1,0	0,06	0,1	0,5	0,08	0,17	0,005

Katalysatortechnologie

Problem  **Abwägung**

- Produktion der Katalysatoren (Schwermetallverbindungen)
- Entsorgung der Katalysatoren (kaum regenerierbar)
- permanente Abgabe von diffusen Schwermetallmengen (Edelmetallen) während des Betriebes

2.5 Klimawandel

Vergleich Zusammensetzung Uratmosphäre / Atmosphäre heute

Uratmosphäre

ca. 80% Wasserdampf
ca. 10% Kohlendioxid
ca. 5-7% Schwefelwasserstoff
ca. 0,5-1% Stickstoff
ca. 0,5-1% Kohlenmonoxid
- Sauerstoff

heutige Atmosphäre

5% Wasserdampf
0,033% Kohlendioxid
0,026% vorindustriell*
- Schwefelwasserstoff
78,1% Stickstoff*
2·10⁻⁵% Kohlenmonoxid
20,9% Sauerstoff

* trockene Luft

CO₂-Gehalt

+ vorindustriell: 280 ppm
2008: 387 ppm [*Nature Materials* (2009) 8, 83]

Alle Treibhausgase



Temperaturerhöhung von 1900 bis jetzt 0,75 °C

Vergleich:

Gasfreisetzung und Änderung der Atmosphäre

natürlich:

Zunahme O₂ ca. 2,0 Mill. Jahre ca. 21%:

200.000-300.000 Jahre 0.1% pro Jahr

anthropogen:

Zunahme CO₂ ca. 21%: 200-300 Jahre 0,1 % pro Jahr

**rein quantitativ N>A, bei erdgeschichtlicher Betrachtung;
bei menschheitsgeschichtlicher N<A**

Globale Erwärmung...Klimawandel

Begriff **globale Erwärmung**

durch den Menschen ausgelöste Klimaveränderung, beinhaltet alle Veränderungen am Klima, egal ob diese positiv oder negativ sind.

Klimawandel wird oft mit Begriff globale Erwärmung gleichgesetzt.

Klimawandel ist nicht nur die globale Erwärmung, sondern zusätzlich die Erwärmung der Erde durch natürliche Klimaschwankungen.

Zyklus von Eiszeit und Wärmeperiode.

Diese beiden Faktoren werden zusammen als „Klimawandel“ bezeichnet.

Klimamodelle?

Kontroverse Diskussionen...

Klima

Als Klima wird der mittlere Zustand der Atmosphäre an einem Ort bezeichnet, charakterisiert durch entsprechende physikalische Daten

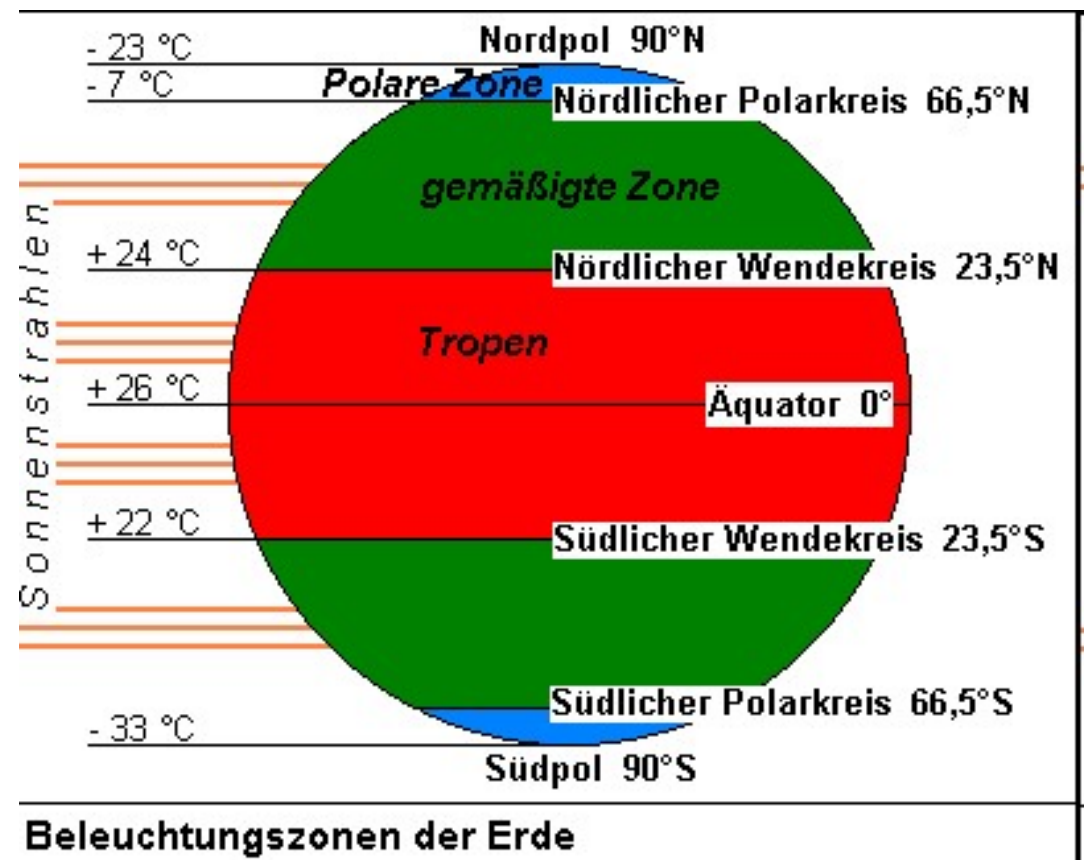
Das Klima ist charakterisiert durch Lufttemperatur, Windrichtung und -stärke, Niederschlag usw.

- Mittelwerte, Summenwerte...

Probleme:

- *in welcher Zeitskala wird erfasst?*
- *Interpretation der Abweichungen?*

...worauf werden die Aussagen bezogen?!



Klimazonen

Verschiedene Einteilungen bekannt:

- Polare Klimazone
- Subpolare Klimazone
- Gemäßigte Klimazone
- Subtropische Klimazone
- Passatklimazone
- Tropische Wechselklimazone
- Äquatoriale Klimazone
- *(auch weitere Unterteilungen der Klimazonen)*

Klimafaktoren

- Geographische Breite**
- Lage zum Meer**
- Höhenlage/Lage zu Gebirgen (Relief)**
- Bodenbedeckung**

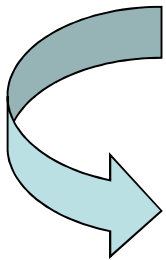
Klimatrends

Probleme bei der Vorhersage:

- **Messfehler bei Temperaturmessungen**
- **kaum Standardisierung für Messungen in verschiedenen Regionen**
- **kaum klimarelevante Daten aus der Vergangenheit (kein Bezug zu Bewölkung, Bodenbesetzung...)**
- **fehlende Messpunkte in Meeresgebieten (Strömungen...)**
- **fehlende Kenntnisse zu Wechselwirkungen zwischen Chemie und Biologie**
- **Rückkopplungsmechanismen nicht vollständig erfassbar**

Ursachen für Klimaschwankungen

- veränderte Strahlungsverhältnisse der Sonne
- Änderung der Erdoberfläche
- Änderung der Erdlaufbahn
- Änderung der Erdachse
- Zusammensetzung der Atmosphäre



Folge:

- Warm- und Kaltzeiten
bodennahe Temperaturen zwischen 9°C und 16°C
- Auswirkungen auf Ökosysteme
z.B. Meeresspiegel während der letzten Eiszeit vor
ca. 15.000 Jahren etwa 170 m unter dem heutigen Niveau

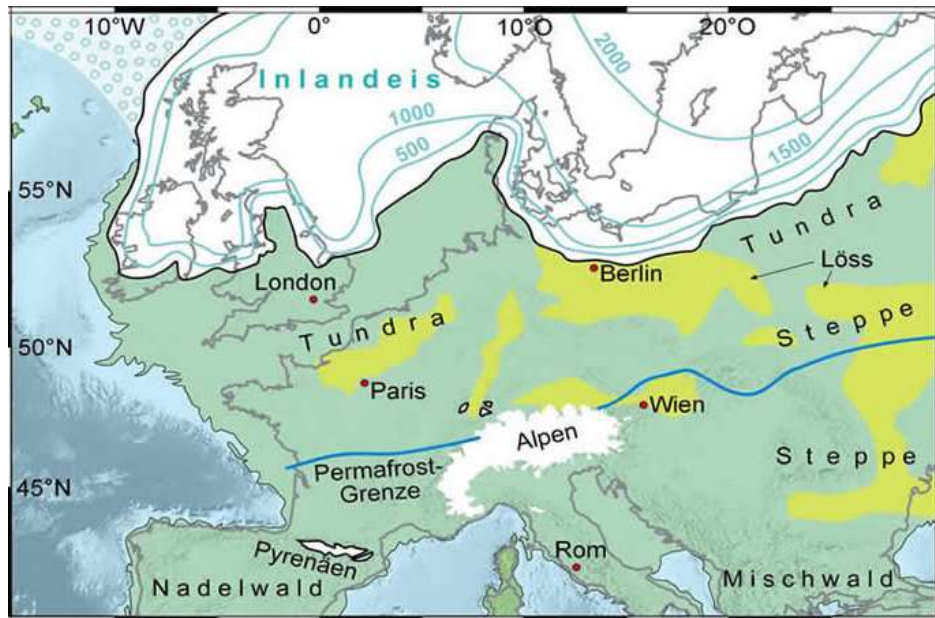
Eiszeit / Kaltzeit

Eiszeiten sind kalte Ausnahmen in der sonst wesentlich wärmeren Klimageschichte.

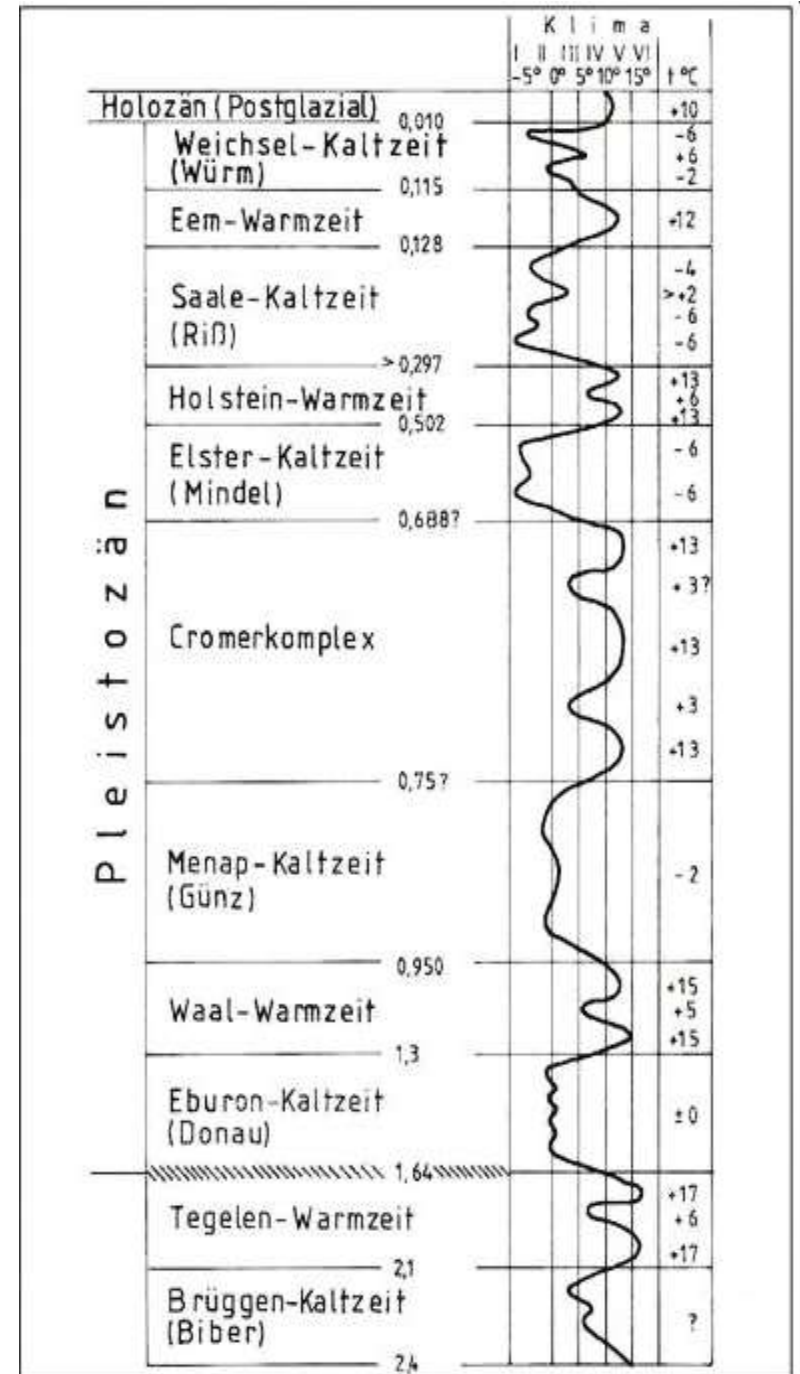
...Bildung riesiger Gletscher

Ursachen für Abkühlung

- ändernde Verteilung von Land und Wasser
- weltweite Vereisungen wenn große Landmassen im Bereich der Polgebiete lagen.
- sich ändernde Meeresströmungen
- Wechsel in der Intensität der Sonneneinstrahlung.



uni-greifswald



In Mio Jahren

Klimaperioden der letzten 5000 Jahre in Europa I

nach Roedel 1992

- | | |
|-------------------------------|--|
| Bis ca. 2500 v. Chr. | Warmzeit, ca. 1,5-2⁰ C wärmer, niederschlagsreich, Meerespiegel 1-2 m höher, Hochkulturen in Ägypten und Mesopotamien, ab 2500 v. Chr. kühler, wahrscheinlich auch trockener |
| 2200 - 2000 v. Chr. | Ausgeprägt kalte Epoche, Einwanderungen von Norden in den Mittelmeerraum |
| 1850 - 1200 v. Chr. | Sehr warme aber unbeständige Epoche, Blütezeit Ägyptens |
| 1200 - 450 v. Chr. | Niederschlagsreiche Zeit, 1-2⁰ C kälter, Vorstoß indogermanischer Völker nach Süden, Dorische Einwanderung nach Griechenland, Gründung Roms |
| 200 v. bis 350 n. Chr. | Niederschlagsreich, 1⁰C wärmer, Weinbau bis zur Nord- und Ostsee, Alpenpässe teilweise im Winter passierbar, Blütezeit des römischen Reiches |

Klimaperioden...



400 - 700	Kalte, regnerische Epoche, Gletschervorstöße, Germanische Völkerwanderung in den Mittelmeerraum
900 - 1250	Mittelalterliche Warmzeit, 1-1,5°C wärmer, Meeresspiegel 80 cm höher. Vermutlich sehr ausgeglichene Witterung mit wenigen Stürmen, Besiedlung von Island und Grönland und Entdeckung Amerikas durch die Wikinger mit Drachenbooten, Weinbau in Südengland
Ab 1250	Abrupte Klimawende mit Abkühlung, heftigen Regenfällen und starken Stürmen
1300 - 1850	Kühle, regenreiche, stürmische, unbeständige Witterung. Kleine Eiszeit von 1550-1700, 1,5-2°C kälter, Meeresspiegel 2m tiefer. Gletschervorstöße um 200 Höhenmeter
Ab 1850	Warme, klimagünstige Zeit

CO₂-Emission ein Szenario

Ausgangsposition:

- CO₂-Emission wie bisher
unter Berücksichtigung anderer Treibhausgase
- Verdoppelung des CO₂-Gehaltes bis 2025
- globale Temperaturzunahme von 1,5 - 4,5 Grad
wahrscheinlich 2-3 Grad durch Wärmeaufnahmefähigkeit
der Ozeane und Luftverschmutzung durch Aerosolteilchen

Konsequenzen:

- Anstieg des Meeresspiegels um 30 - 50 cm
- Abtauen der Inlandgletscher
- starke Veränderungen in der Niederschlagsverteilung mit
Konsequenzen für die Landwirtschaft und das Trinkwasser
- Verschiebung der Vegetationszonen
- Veränderung der globalen Zirkulation
als Folge neue Verteilung der Starkwindfelder, Nieder-
schlagsregionen, Unwettererscheinungen

Rückkopplungsmechanismen

(positive und negative Rückkopplung)

- durch Wechselwirkung von Temperatur und Wasserdampfgehalt in der Atmosphäre

Erhöhung H_2O -Gehalt \Rightarrow Erwärmung

- durch Wechselwirkung von Temperatur und Wasserdampfgehalt in der Atmosphäre

Wolkenbildung \Rightarrow Abkühlung

- durch Wechselwirkung von Temperatur und Länge der Schneebedeckung in gemäßigten Breiten

Erwärmung

- durch Abschmelzen von Eis wird Wasservolumen größer

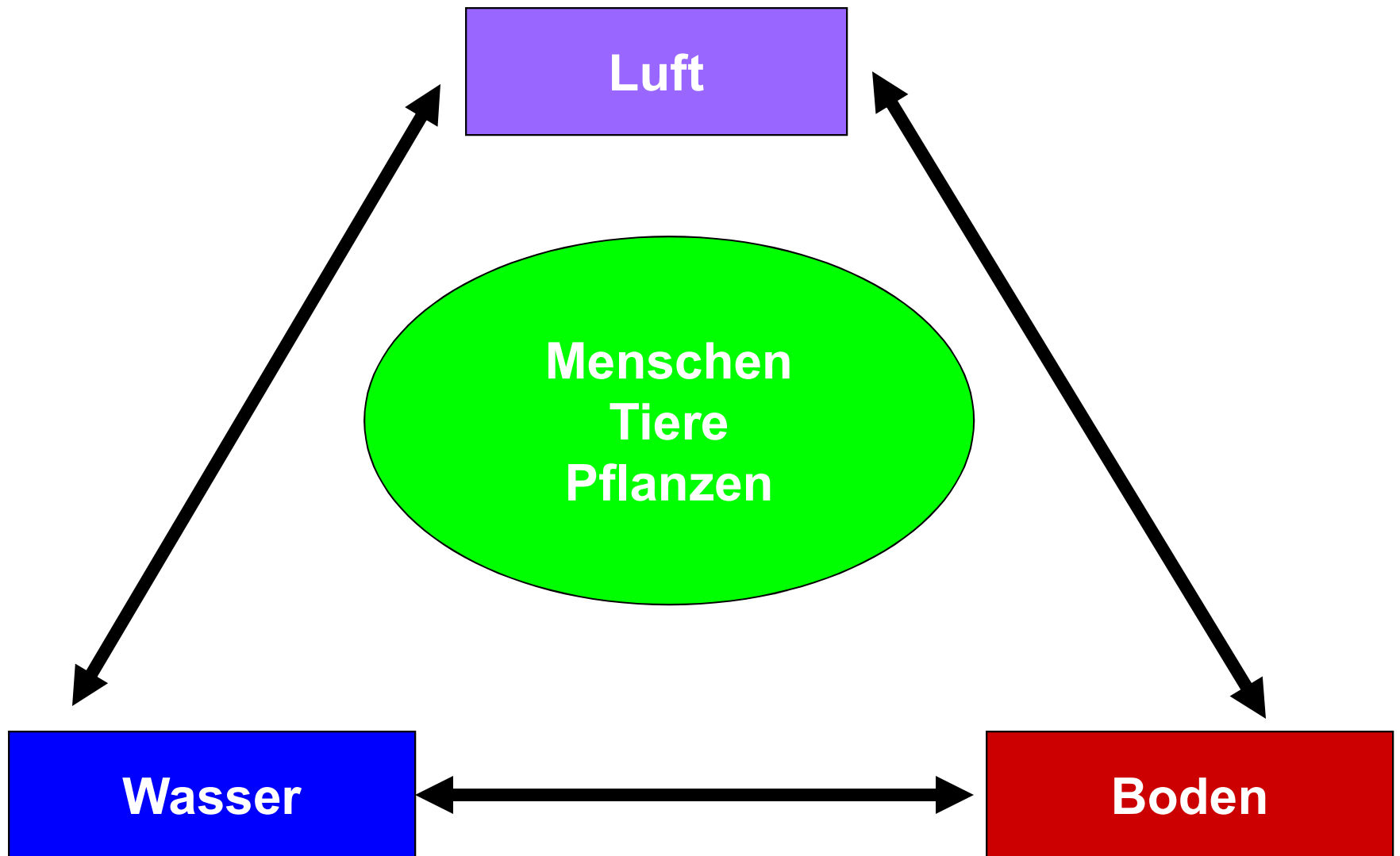
\Rightarrow Lösung von CO_2 (Abkühlung)

- verstärkte Verdunstung

\Rightarrow starke Niederschläge \Rightarrow Einfluss auf Biogeochemie

Hauptkomponenten der Umwelt

- belebte Natur
- unbelebte Natur

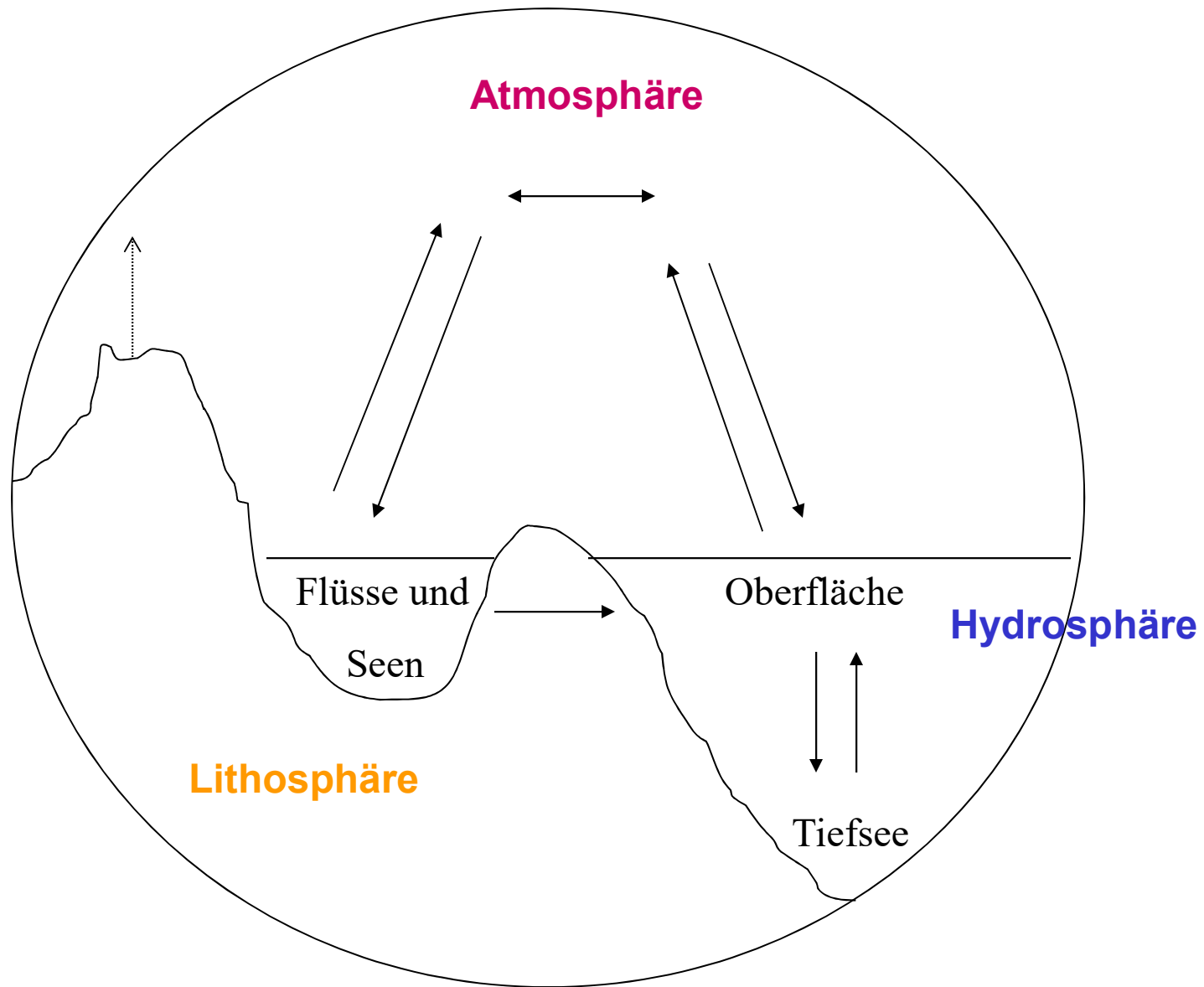


3.0 Umweltkompartiment Wasser

Wasserarten und Verteilung

- Oberflächenwasser (Wasser in Bächen, Flüssen, Seen, Meeren, Ozeanen)
- Wasserverteilung auf der Erde:
 - 97,4% **Salzwasser**
 - 2,6% **Süßwasser**, davon
 - 77,2% Eis
 - 22,2% Grundwasser (bis 800 m Tiefe 9,9%, bis 4000 m Tiefe 12,3%)
 - 0,35% Seenwasser
 - 0,003% Flusswasser
- nur noch selten hat das in der Natur vorkommende Wasser Trinkwasserqualität
- Qualität von Höhe des Schadstoffeintrags abhängig

Der globale Wasserkreislauf



3.1 Wasserressourcen

Wasserressourcen I

- Wasserverbrauch in der Neuzeit stark gestiegen
Industrie, Hygiene

(pro Kopf-Verbrauch/Tag: vorindustriell: 10...30 L

1950: 85 L

(Einführungsjahr der derzeit gültigen Statistik 1963)

1990: 147 L

2010: 121 L

- Gesamtwasservorräte der Erde sind konstant
 - 1,38 Mrd. km³, davon 97,4 % Meerwasser
 - nur 2,6 % Süßwasser
 - nur **0,3 % zur Trinkwassergewinnung geeignet**
- ca. 1/7 der Gesamtwassermenge befindet sich im Wasserkreislauf aus Verdunstung und Niederschlag
 - Wasserkreislauf wird durch Sonneneinstrahlung in Gang gehalten
 - Verdunstung auf Landgebieten wird durch Pflanzen bestimmt

durchschnittlicher Niederschlag (D): 800 L/m³ /a Regen, Schnee

Wasserressourcen II

- **Wasserbilanz des Festlandes wird durch Klimazonen bestimmt**

humid ⇒ Niederschlagsmengen sind größer als die Verdunstung (z.B. Tropen)

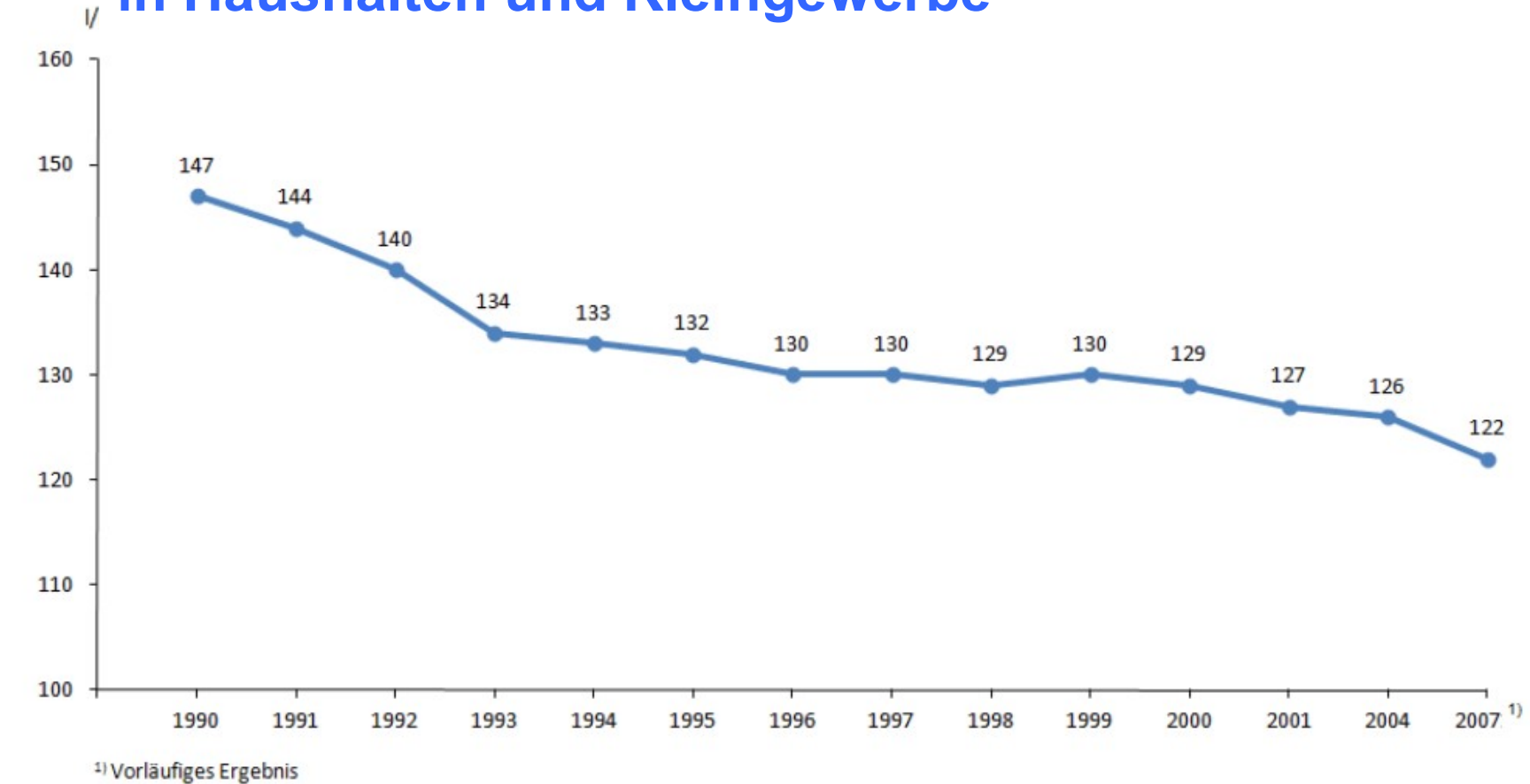
arid ⇒ es verdunstet mehr Wasser als durch Niederschläge abgerechnet wird (Wüsten)

niveal ⇒ Dauerfrostregion

- **Niederschlagsmenge wird durch Luftströmungen und Temperatur gesteuert**

Bundesrepublik: jährlich ca. 300 Mrd. m³ Niederschlag

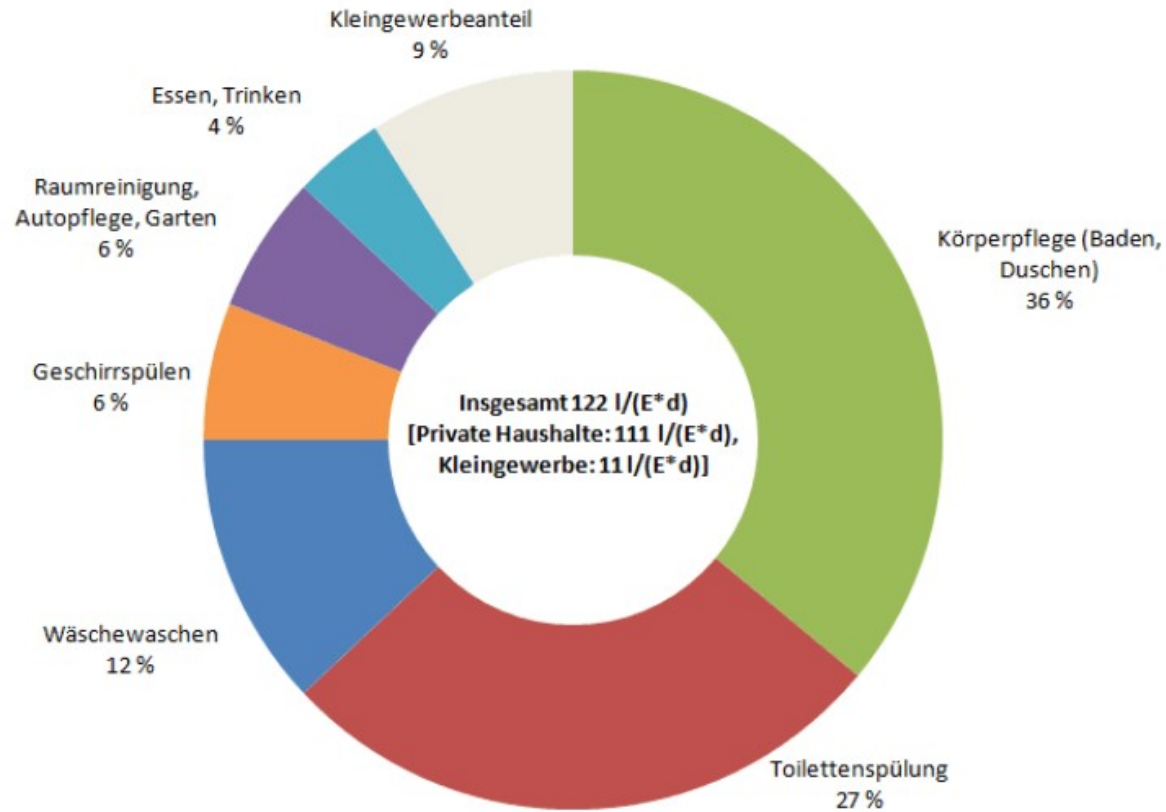
Spezifischer Wasserverbrauch in Haushalten und Kleingewerbe



Quelle: Statistisches Bundesamt, Fachserie 19 Umwelt, R. 2.1 Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung, verschiedene Jahrgänge und Mitteilung vom 27.05.2009

Wasserverbrauch pro Kopf/D

Wasserverwendung im Haushalt 2007 (Durchschnittswerte, bezogen auf die Wasserabgabe an Haushalte und Kleingewerbe)



Quelle: Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft e. V., persönliche Mitteilung

ca. 120 L pro Person und Tag

3.2. Bedeutung und Funktion

Wasser

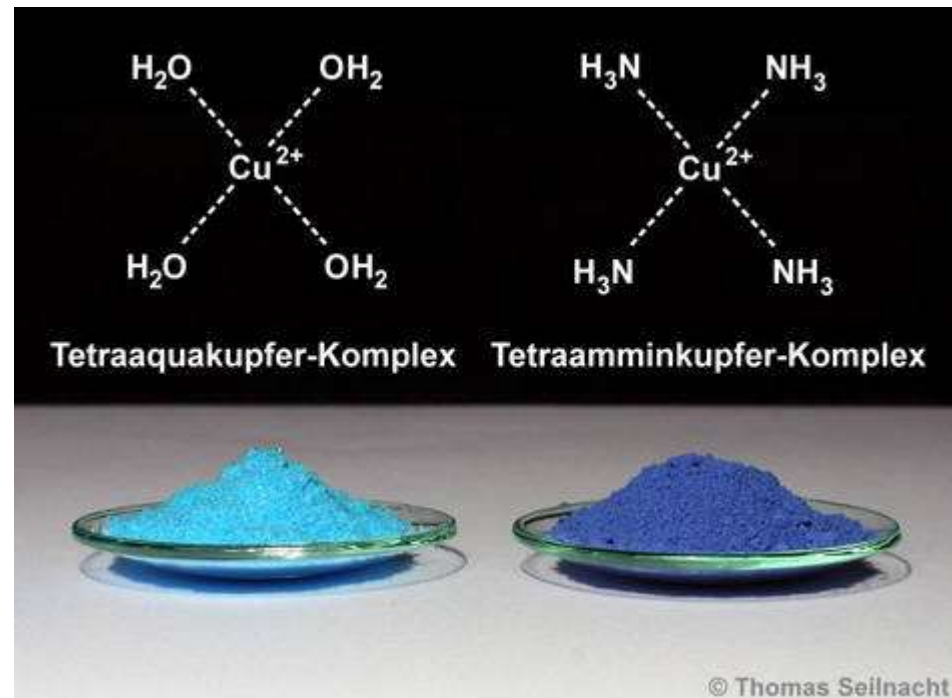
- **Bedingung für menschliches Leben**
- **Vorkommen in Hydrosphäre, Atmosphäre, Lithosphäre**
- **fest, flüssig, gasförmig**
- **Wasserkreislauf (Treibhauseffekt)**
- **Transportmittel, Lösungsmittel**
- **Spezifische Stoffeigenschaften:**
 - z.B. * **hohe Oberflächenspannung**
 - * **Dielektrizitätskonstante**
 - * **Verdampfungs- Schmelzwärme**
 - * **Dichteverhalten**
 - * **Stoff mit niedrigster Molmasse**
der bei Normaltemperatur flüssig ist

Funktionen des Wassers

- **wichtige Rolle bei der Entstehung des Lebens**
- **Funktionen im Ökosystem**
Stofftransport, Wärmepuffer, Wärmetransport, „Gaswäsche“ etc.
- **Bedeutung für Lebewesen: Transportmittel, Energieerzeugung (Photosynthese !!)**

„Formen“ des Wassers in der Natur

- gasförmig, flüssig, fest,
- Formen:
Regen, Schnee, Nebel, Dampf, Eis, Reif, Hagel
- Hydratisierung und Komplexierung von Ionen (Verbindungen)



Wassergehalt verschiedener Organismen

Mensch **60%** (Proteine 17%, Kohlehydrate 1%, Fette 17%, Mineralsalze 5%)

Qualle **98%**

Gurke **95%**

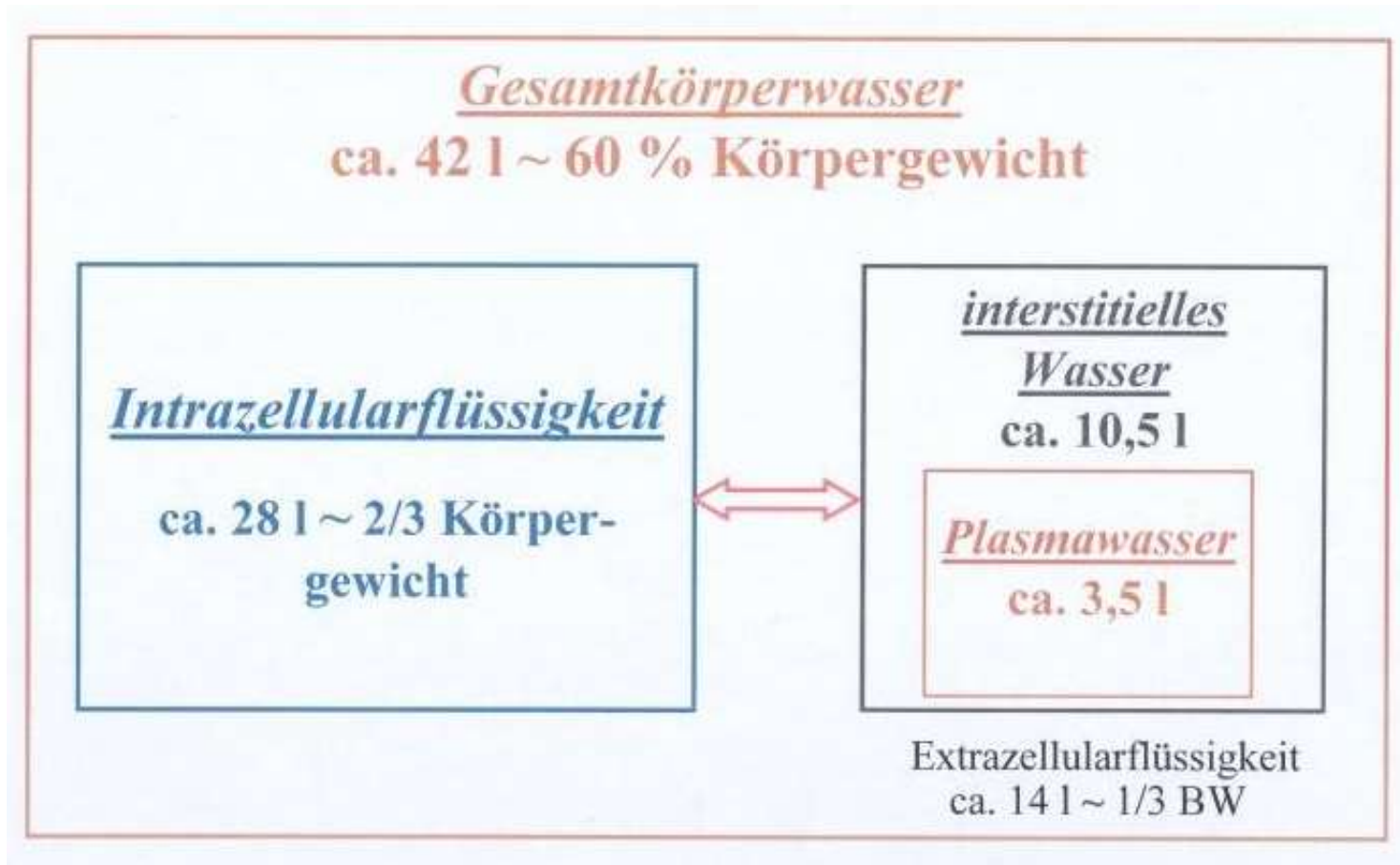
Kartoffelkraut **85%**

Getreidesamen **10-13%**

Wasserhaushalt / Flüssigkeitsräume des Körpers

Wasser, das zirkuliert;

Wasser, das sich in Kompartimenten befindet



Extrazelluläre Flüssigkeit: (im Raum außerhalb der Zellen, z.B. Blutplasma)

Intrazelluläre Flüssigkeit: (innerhalb der Zelle)

Interstitielle Flüssigkeit: (Gewebsflüssigkeit...Transport)

pH – Werte verschiedener Flüssigkeiten

Flüssigkeit

pH – Wert

Magensaft

0,9 ... 2,3

Darmsaft

8,3

Harn

4,8 ... 7,4

Blut

7,4

Oberflächenwasser

7,5 ... 8,2

Regenwasser (Durchschnitt)

4,1

Zitronensaft

2,0

Tomatensaft

4,0

Seifenlauge

8,2 ... 8,7

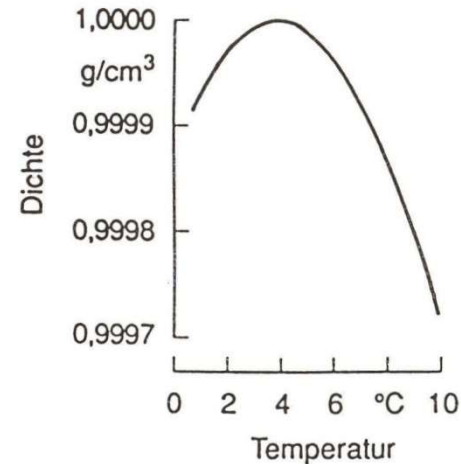
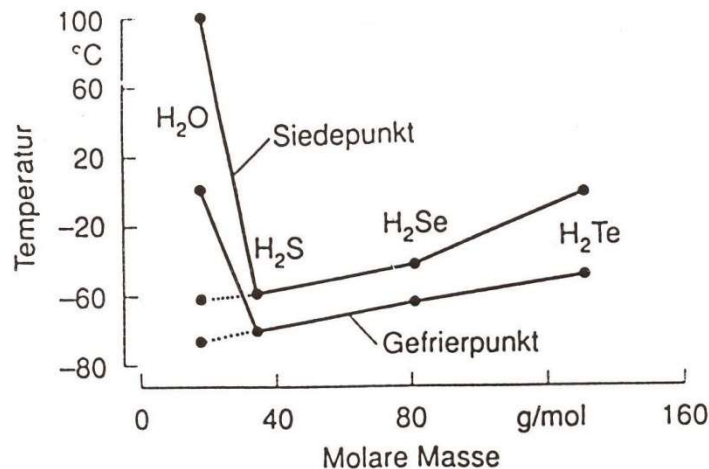
Anomalien des Wassers

starke Unterschiede in den chemisch-physikalischen Eigenschaften analog aufgebauter Verbindungen in gleicher PSE-Gruppe

H_2O / H_2S / H_2Se / H_2Te

* Wasser flüssig

* aus Extrapolation Fp. – 100°C , Sdp.: -80°C



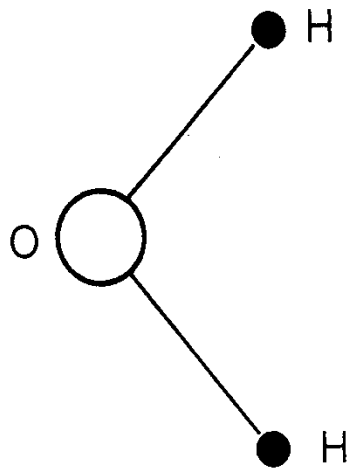
Siede/Schmelzpunkte

Dichteanomalie

Dichteigenschaften und thermische Eigenschaften werden auf Bildung von **Wasserstoffbrückenbindungen** zurückgeführt

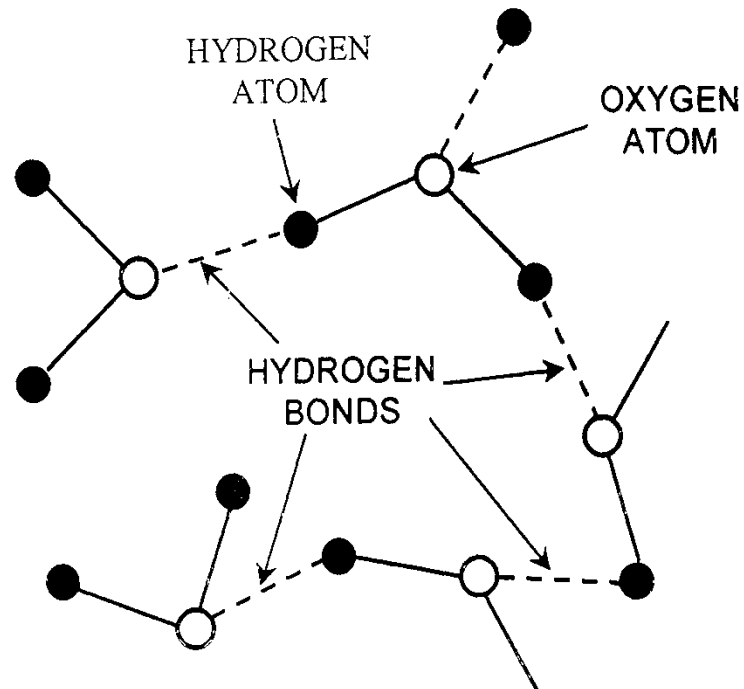
Wasser

Molekül



Dipolmoment

Bindung



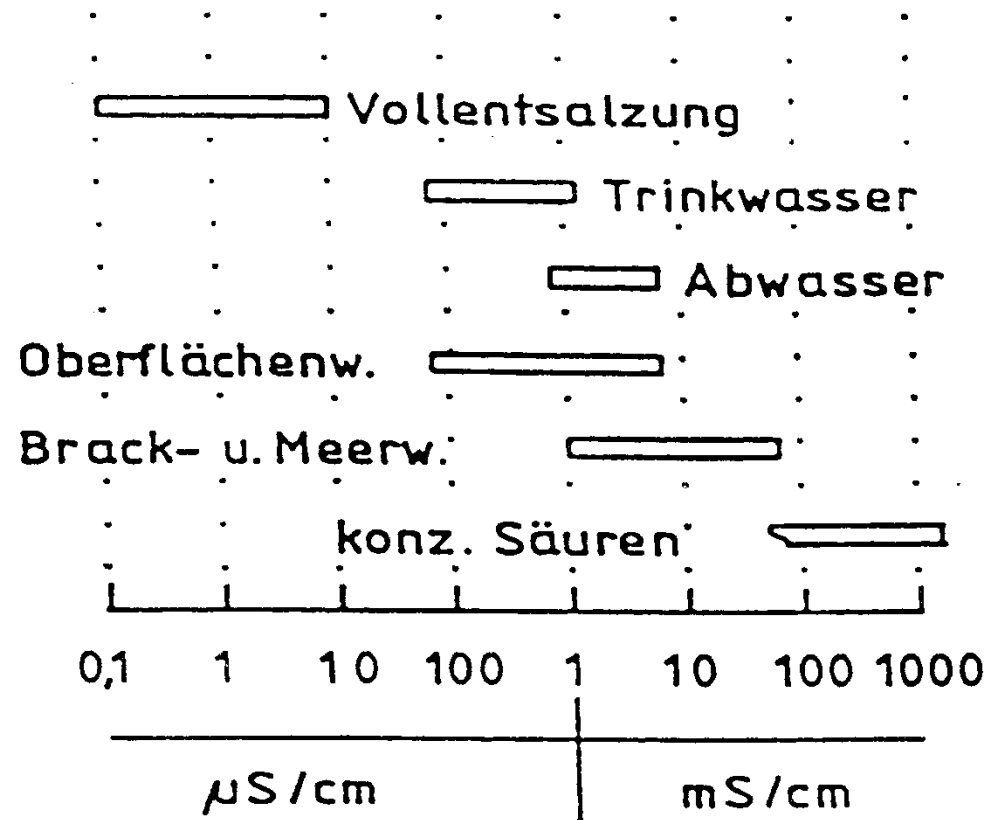
Wasserstoffbrückenbindungen

*Winkel 105°, Zentrum von positiver und negativer Ladung verschieden,
Nahordnung tetraedisch, durch zwei Elektronenpaare am Sauerstoff und die zwei
Wasserstoffatome kann Molekül an vier Wasserstoffbrückenbindungen beteiligt sein*

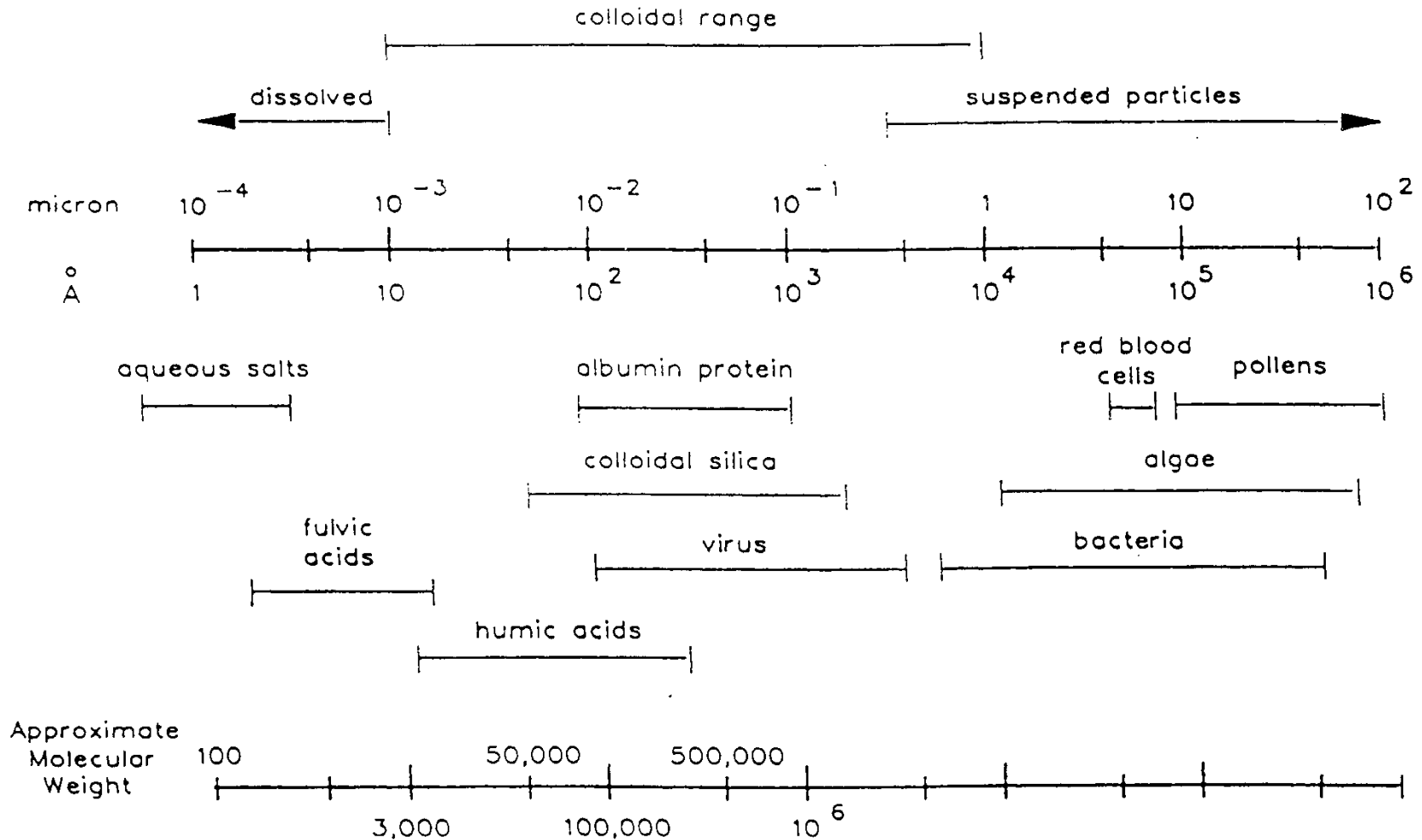
Gewässereinteilung nach Mineralsalzgehalt

Gewässer	Mineralsalzgehalt
Süßwasser	bis 1 g/kg
Salzhaltiges Wasser	1 - 25 g/kg
Meerwasser	25 - 50 g/kg
Salzwasser	> 50 g/kg

Leitfähigkeit umweltrelevanter Wässer und Wassertypen



Größe von wässrigen Partikeln (log. Skala)



Physikalische Eigenschaften von Wasser und deren Bedeutung für die Umwelt

Eigenschaft	Erläuterung	Umweltrelevanz
Dichte	größte Dichte 4°C, Volumenausdehnung bei Gefrieren	Seen frieren von der Oberfläche zu, Sprengrung von Gesteinen (Verwitterung)
Schmelz- und Siedepunkt	relativ hoch	Existenz von flüssigem Wasser auf Erde
Wärmekapazität	größte WK aller Flüssigkeiten	Pufferung extremer Temperaturschwankungen, Speicherung großer Wärmemengen
Wärmeleitfähigkeit	gering vergl. mit Metallen	erschwert vollständiges Zufrieren von Gewässern
Verdampfungsenthalpie	größte VE aller Flüssigkeiten	kühlender Effekt der Transpiration bei Pflanzen, Tieren, Menschen
Schmelzenthalpie	6,01 kJ/mol	geringe Gefrierpunktserniedrigung bei salzhaltigem Wasser
Oberflächenspannung	größte OS aller Flüssigkeiten ,außer Hg	Tropfenbildung in Wolken und Regen
Dipolmoment/ Dielektrizitätskonstante	hohes Dipolmoment, hohe Dielektrizitätskonstante	Lösungsmittel, Adsorption, Transport
Lichtabsorption	hoch in Bereichen des IR, gering im Sichtbaren 180-780 nm	Photosynthese, natürlicher Treibhauseffekt