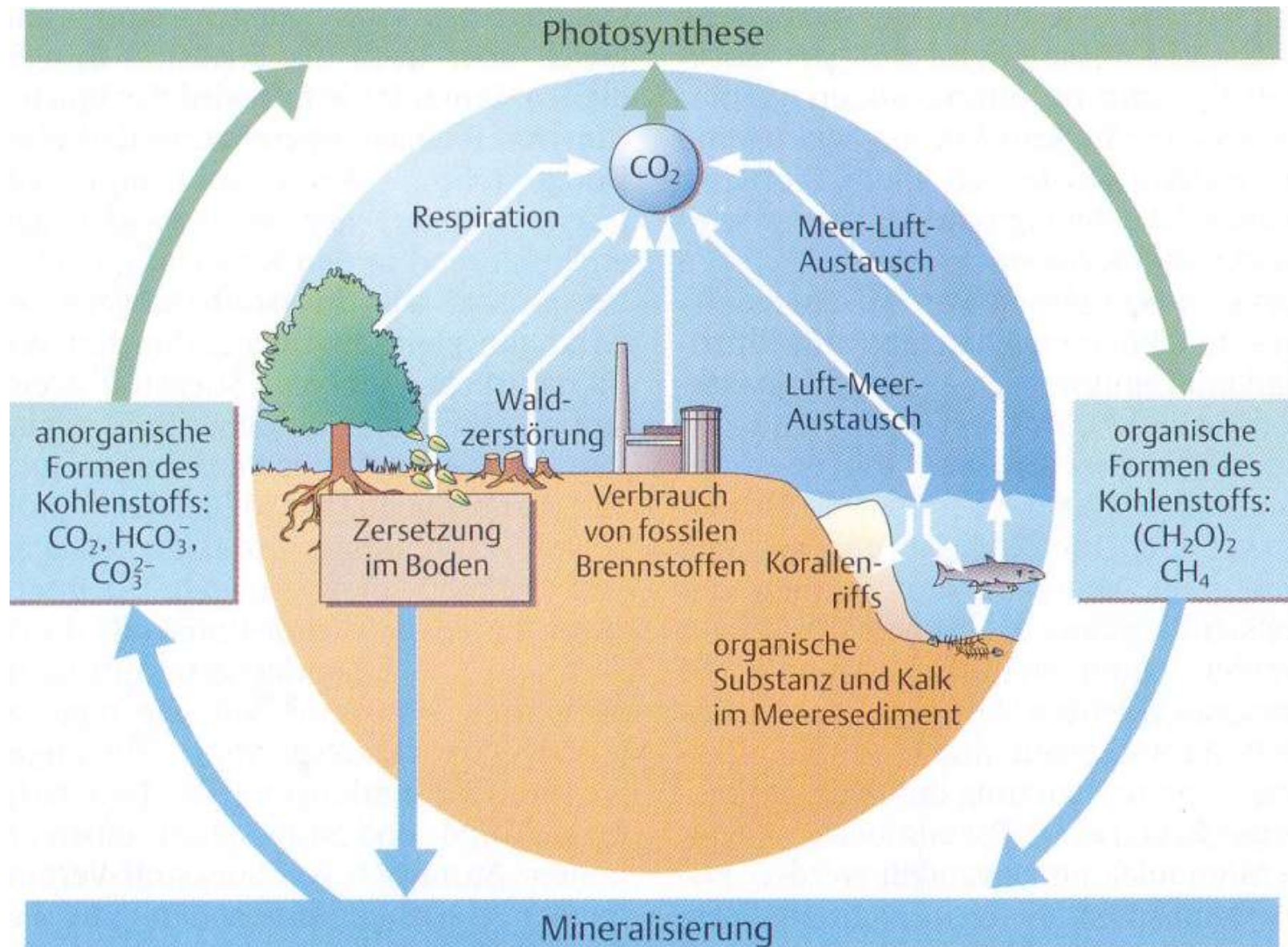


UC-03

## **1.3.2 Photosynthese, Atmung, Gärung**

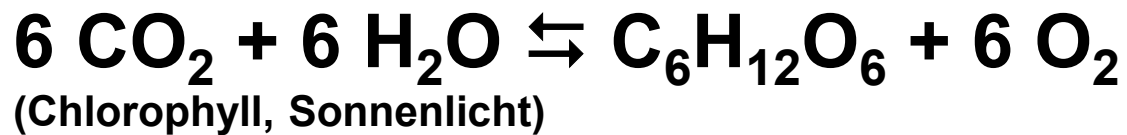
# Zusammenhang Photosynthese - Mineralisierung



# Photosynthese

- biologisch-photochemischer Prozess

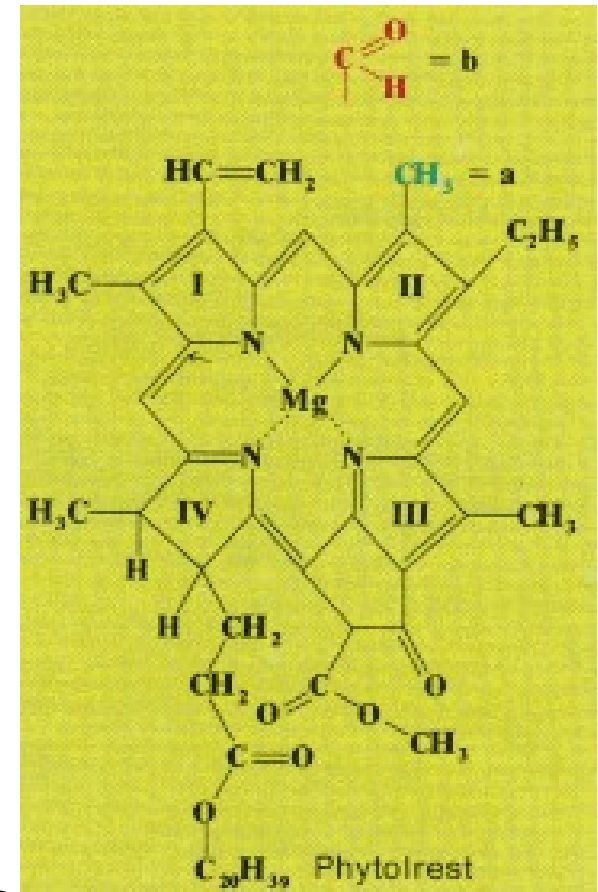
**Reaktionsgleichung** (vereinfacht):



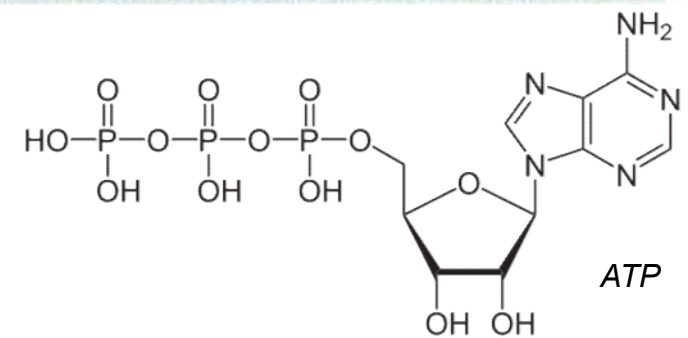
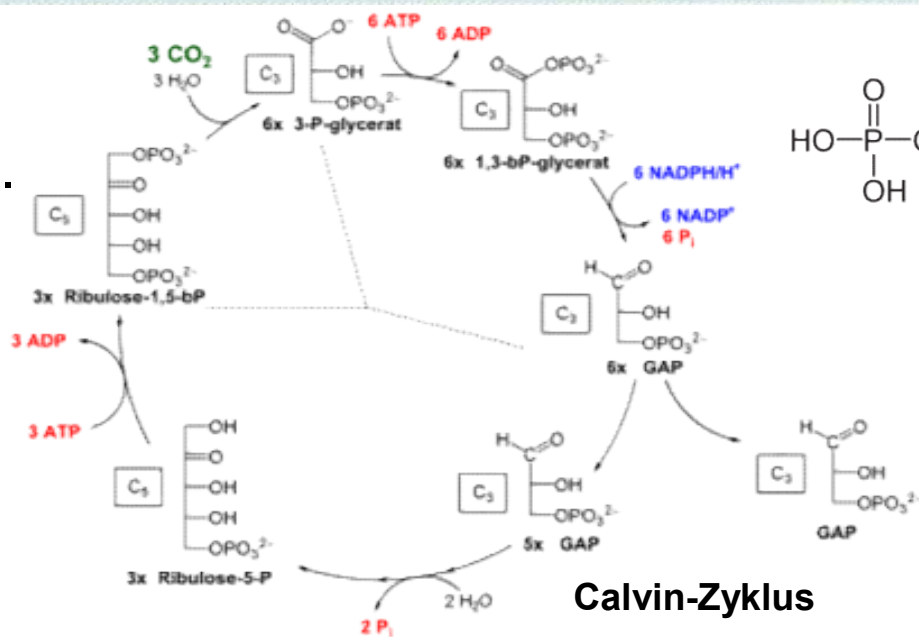
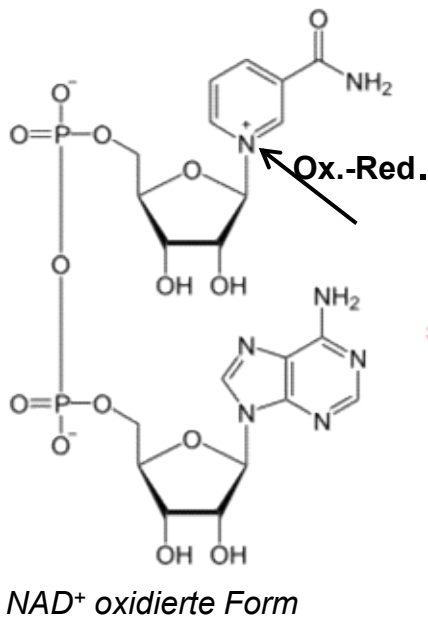
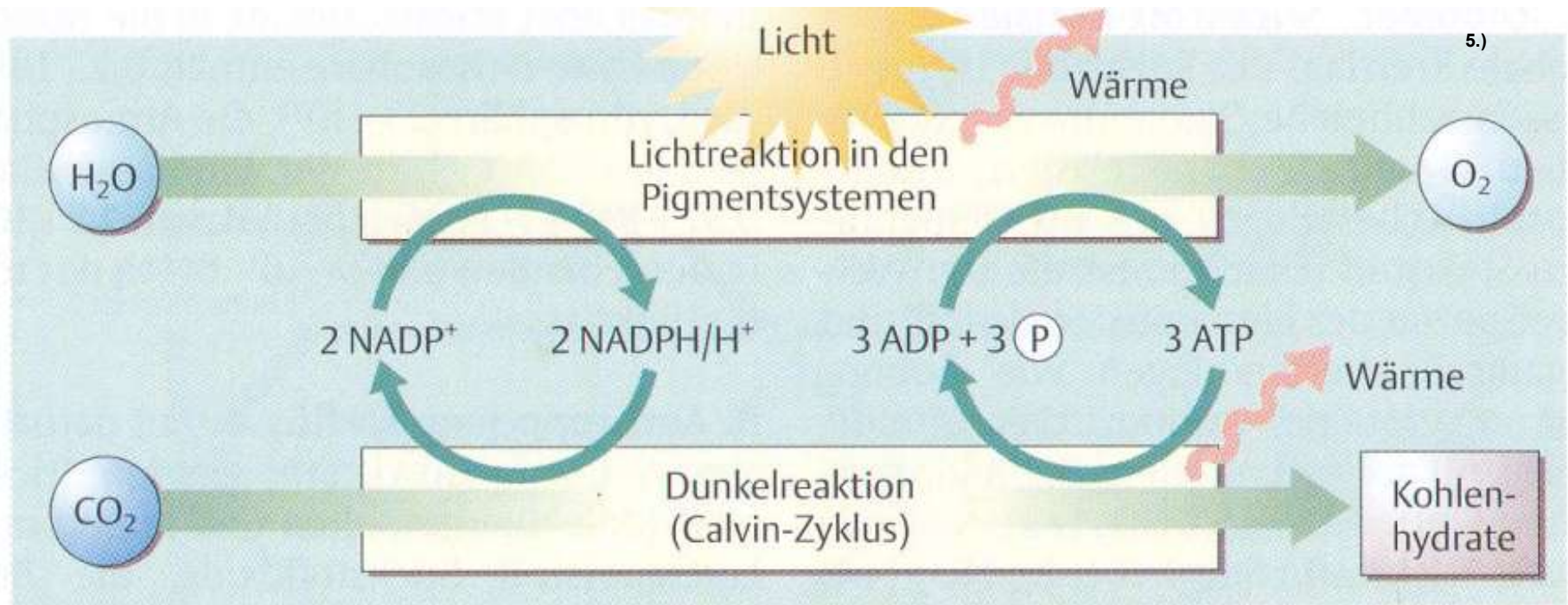
**Resultat:**

1. Bildung von reduziertem Kohlenstoff
2. Bildung von freiem Sauerstoff

Chlorophyll -Struktur



# Photosynthese, Schema

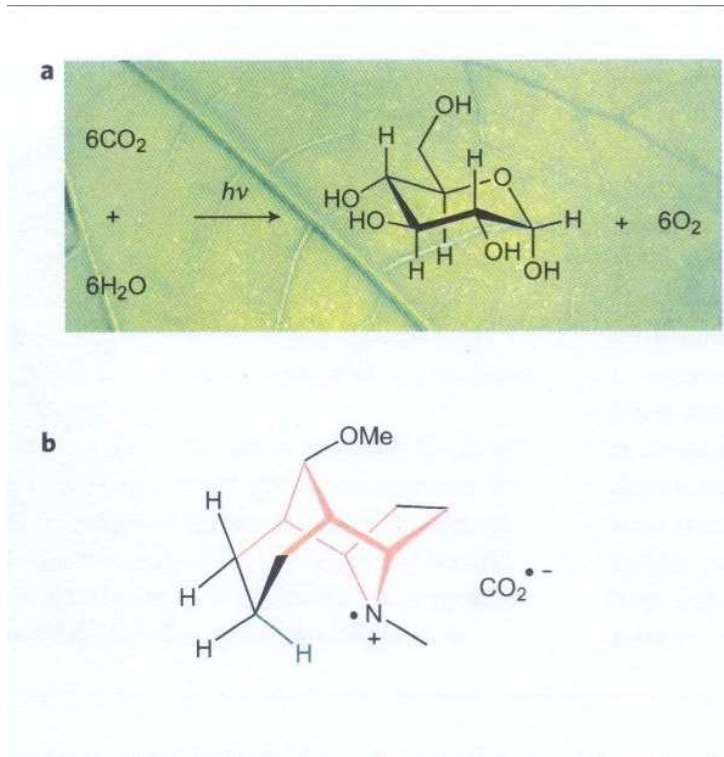


NAD Nicotinamid-Adenin-Dinukleotid  
 ADP Adenosindiphosphat  
 ATP Adenosintri-phosphat



# Photosynthese - Möglichkeiten

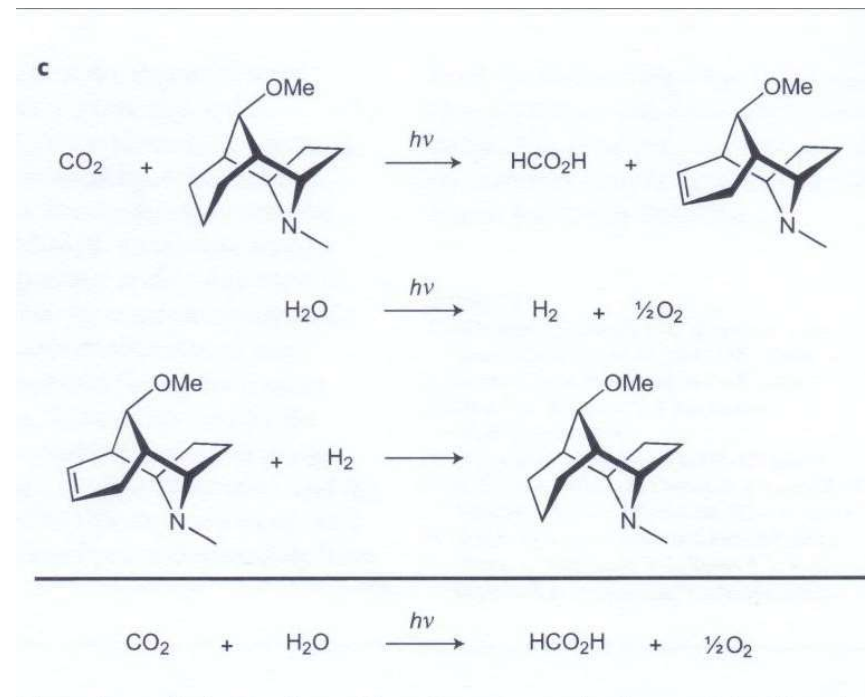
## a: Photosynthese in Pflanzen



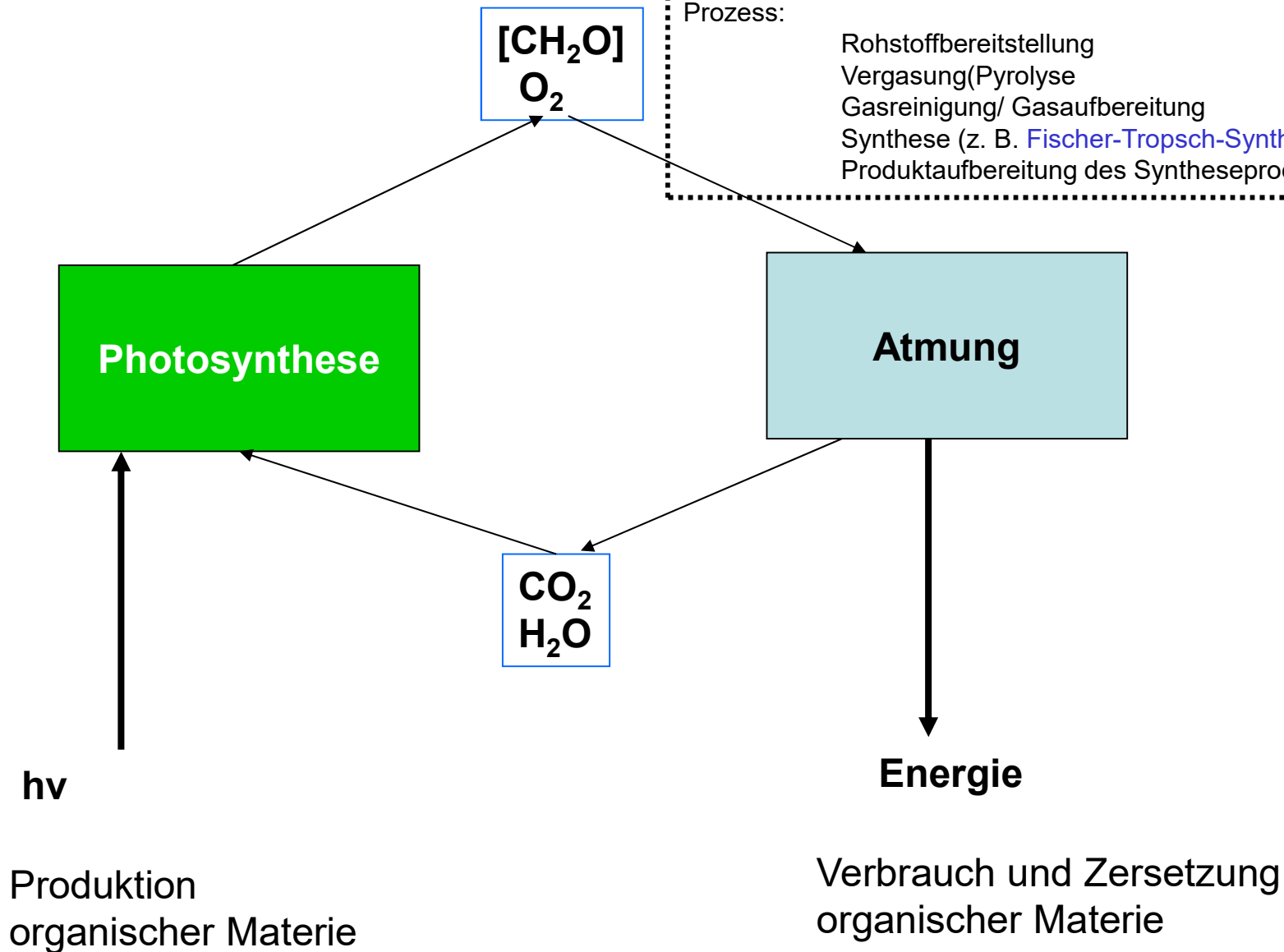
## b: Bildung Aminradikal während photochemischer $\text{CO}_2$ -Reduktion (Bildung von Doppelbindungen (rot) verboten)

## c: Tricyclisches Amin als Reduktionsmittel für $\text{CO}_2$

(Amin kann durch Wasserstoff regeneriert werden)



# Photosynthese/Atmung



## „Bioenergie“

Bilanz:

- Sonnenenergie ca. 12% zu Bioenergie (H-Produktion)
- aufgrund der Dunkelreaktion nur 1% der Lichtenergie gespeichert
- In Biokraftstoff ist dann ca. 0,1 % der Lichtenergie

Prozess:

Rohstoffbereitstellung  
Vergasung(Pyrolyse)  
Gasreinigung/ Gasaufbereitung  
Synthese (z. B. Fischer-Tropsch-Synthese)  
Produktaufbereitung des Syntheseprodukts

# Fischer-Tropsch-Verfahren

**Fischer-Tropsch-Synthese** (1925) ist ein großtechnisches Verfahren zur Umwandlung von Synthesegas (CO/H<sub>2</sub>) in flüssige Kohlenwasserstoffe.

Es ist eine Aufbaureaktion von CO/H<sub>2</sub>-Gemischen an Eisen- oder Kobalt -Katalysatoren zu Paraffinen, Alkenen und Alkoholen

Die Reaktion findet nur unter hohem Druck (20 - 40 bar) und bei einer Temperatur von 200°C - 350°C statt und verläuft nach folgenden allgemeinen Formeln:



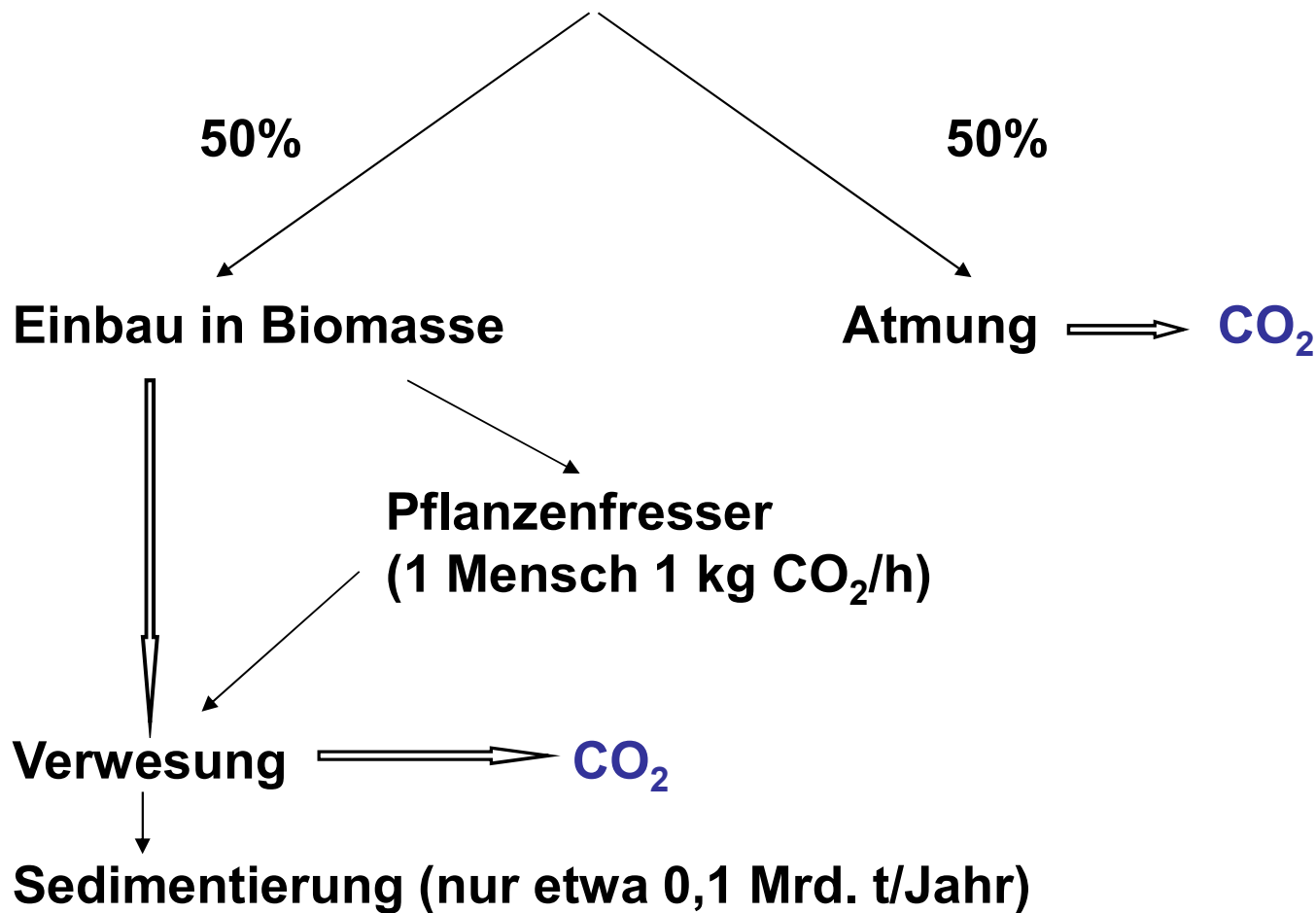
Das Verfahren ist für die großtechnische Produktion von Benzin und Ölen von Bedeutung.





# Photosynthese / Kohlenstoffumsatz

- jährlicher Umsatz bei Photosynthese: ca. 120 Mrd. t



# Atmung und Gärung

**Man unterscheidet zwischen Atmung (aerob und anaerob) und Gärung.**

Bei der **Atmung** werden Stoffe („Substrate“) oxidiert  
Die bei der Oxidation werden freigesetzte Elektronen über die Atmungskette auf Elektronenakzeptoren übertragen

***Prinzip der Dissimilation (Photosynthese auch Assimilation bezeichnet)***

*Bei der **aeroben Atmung** dient Sauerstoff ( $O_2$ ) als Elektronenakzeptor.*

*Sie tritt bei allen aeroben Lebewesen auf und liefert die meiste Energie (Freie Enthalpie).*

*Das Substrat wird dabei vollständig zu Kohlenstoffdioxid ( $CO_2$ ) und Wasser ( $H_2O$ ) abgebaut.*

*Bei der **anaeroben Atmung** dienen Nitrat ( $NO_3^-$ ), Fumarat, dreiwertige Eisen-Ionen ( $Fe^{3+}$ ) oder Sulfat ( $SO_4^{2-}$ ) als Elektronenakzeptoren*

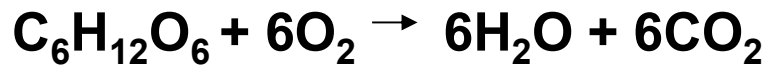
## **Gärung**

verlaufen ohne Atmungskette und ohne Verbrauch externer Elektronenakzeptoren.  
Der Abbau des Substrats ist meist unvollständig, die Abbauprodukte werden ausgeschieden.

# Atmung

## - aerobe Atmung:

abgespaltener Wasserstoff aus Organika auf molekularen Sauerstoff unter Bildung von Wasser übertragen:

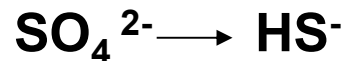


bei Mikroorganismen auch z.B.



## - anaerobe Atmung:

der Wasserstoff wird auf „Sauerstoff in gebundener Form“ übertragen (verläuft unter Sauerstoffausschluss) z.B. auf Nitrat oder Sulfatsauerstoff als H- Akzeptor:

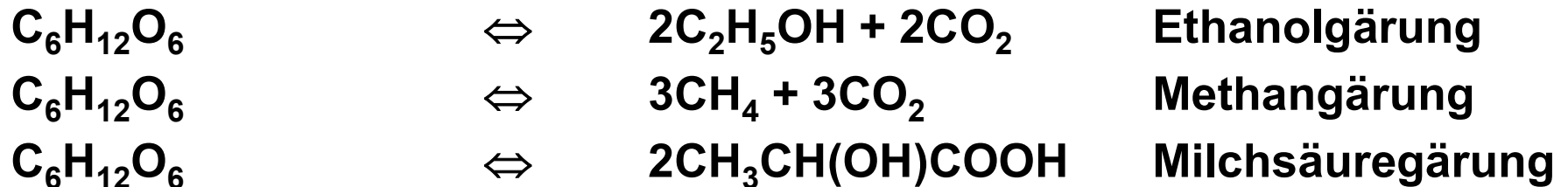


# Gärung

- Stoffwechselprozesse (anaerob) der Energiegewinnung, bei denen gebundener Wasserstoff auf organische Akzeptoren oder  $\text{CO}_2$  übertragen wird, die dabei reduziert werden

*Mikrobieller Abbau organischer Stoffe zum Zweck der Energiegewinnung ohne Einbeziehung externer Elektronenakzeptoren wie beispielsweise Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ) oder Nitrat ( $\text{NO}_2^-$ )*

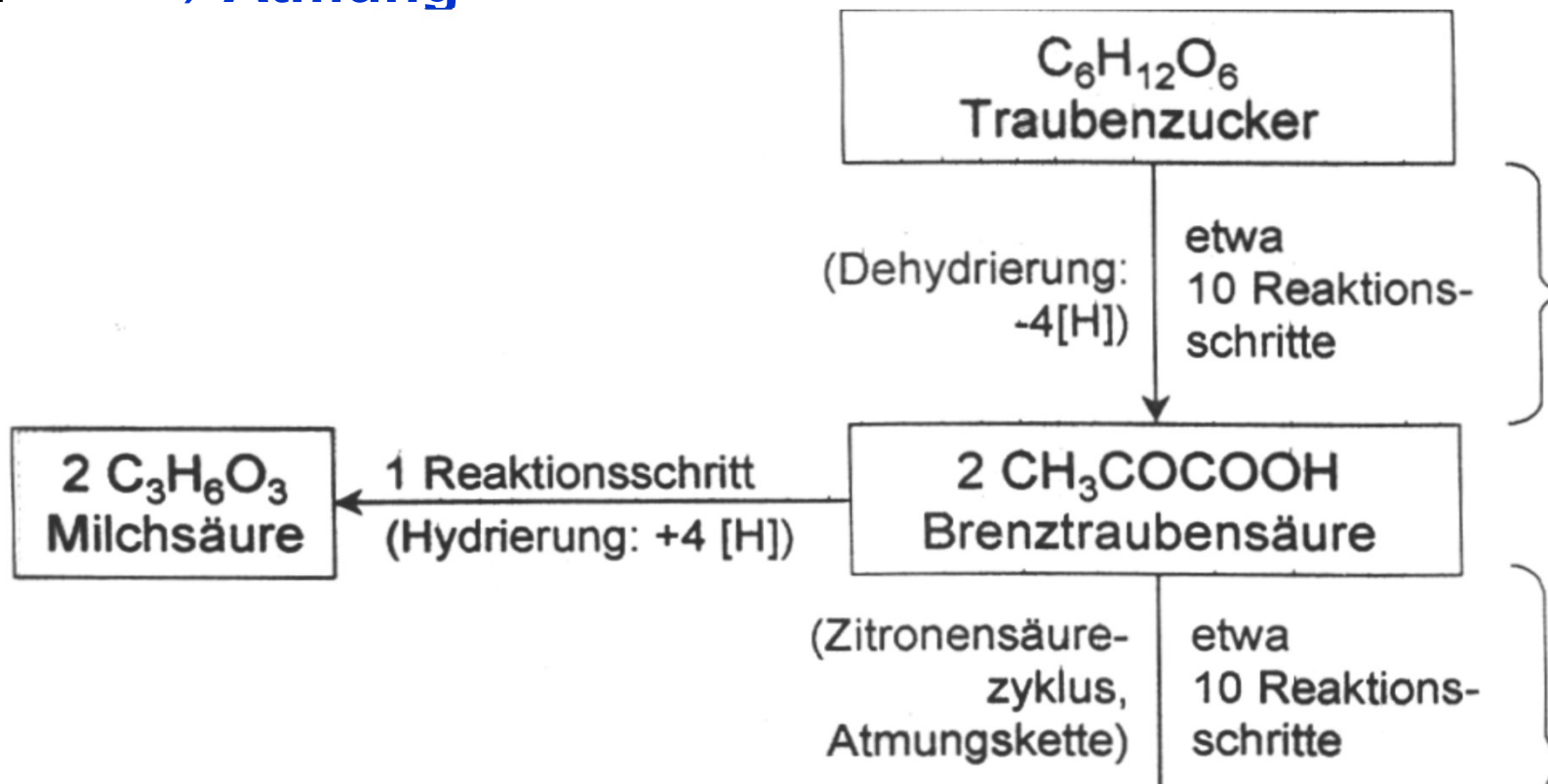
- Unterscheidung nach Hauptstoffwechselprodukten:



- dadurch werden z.B. die in den Gewässersedimenten abgestorbenen Organismen und Pflanzenteile abgebaut
- Gärung führt zum unvollständigen Abbau, es erfolgt keine Mineralisierung

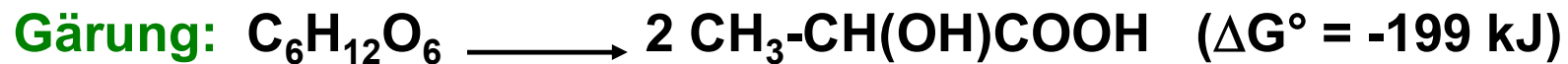
## Atmung (aerob)

- vor ca. 1,5 Mrd. Jahren: durch biologische Evolution werden Eukaryonten herausgebildet
- Einzeller, die abgestorbenes organisches Material aus photosynthese-treibenden Lebewesen effektiver, d.h. zu  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$  metabolisieren können  $\Rightarrow$  **Atmung**





## Vergleich:



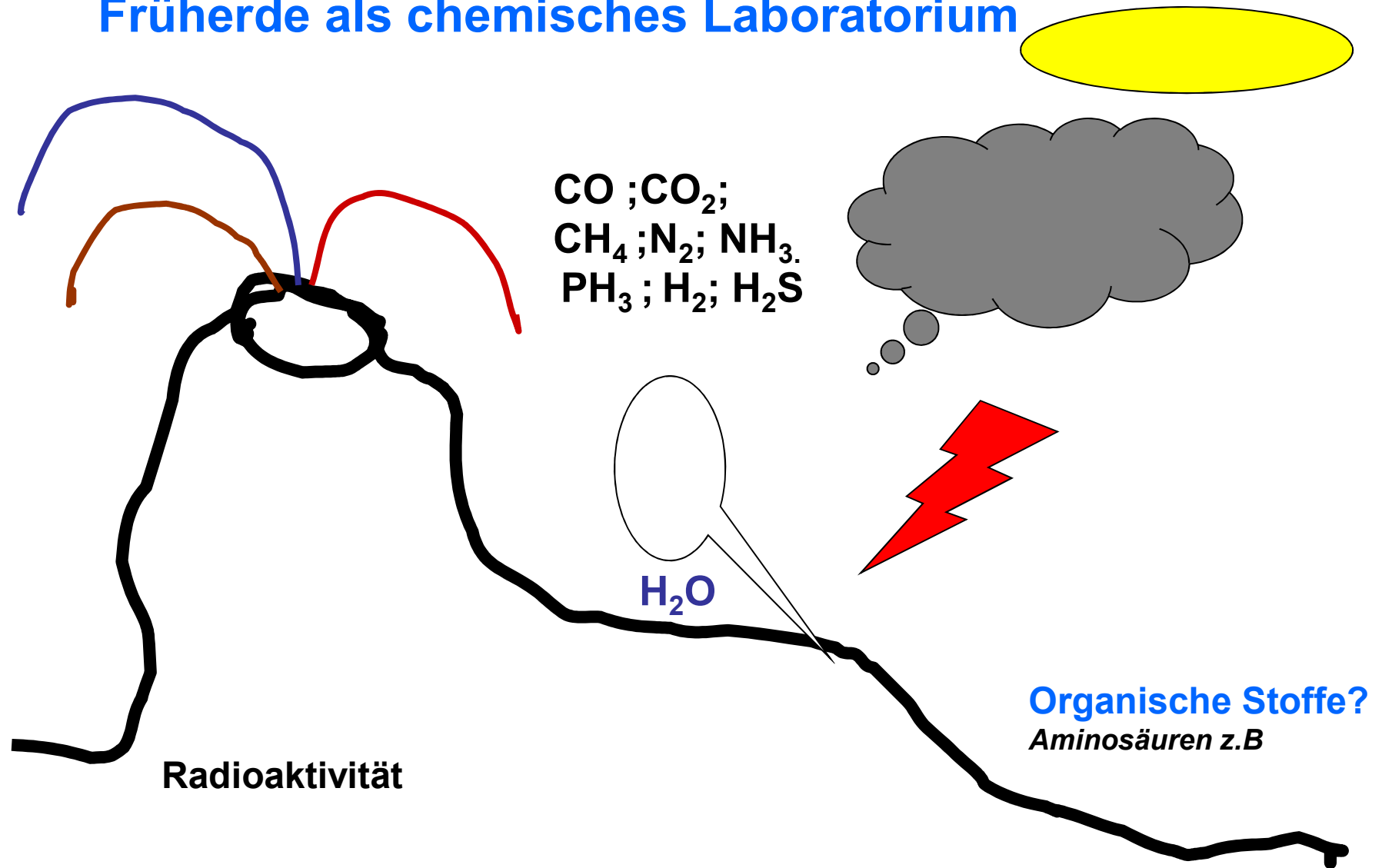
- Atmung ist summenmässig die Umkehrung der Photosynthese
- Atmung ist 14 mal effektiver als die Milchsäuregärung (siehe freie Enthalpie  $\Delta G^\circ$ )
- Atmung bedeutet für die Lebewesen einen enormen evolutionären Vorteil

## **1.4 Natursynthese von Stoffen (Miller'sches Experiment)**

## **Bedingungen für „menschliches Leben“?**

- ambiente Temperatur- und Druckbedingungen**
- Strahlungsfiler (Luftschicht)**
- Sauerstoffgehalt der Atmosphäre**
- Energie- Nahrungszufuhr (Entropie??)**
- Effektive Stoffwechselvorgänge**

# Früherde als chemisches Laboratorium



*Uratmosphäre war ein reduzierendes System*

# Die Entstehung von Biomolekülen

**Zeitraum:** von etwa 2,5 Mrd. Jahren

**Energiequelle:** Sonnenlicht (UV-Strahlung)

**Strahlenschutzschild:** 0,1% O<sub>3</sub> in der Atmosphäre, H<sub>2</sub>O  
(Maximum zwischen 260 und 280 nm;  
ist der Bereich, in dem "biologische Moleküle"  
am strahlungsempfindlichsten sind.)

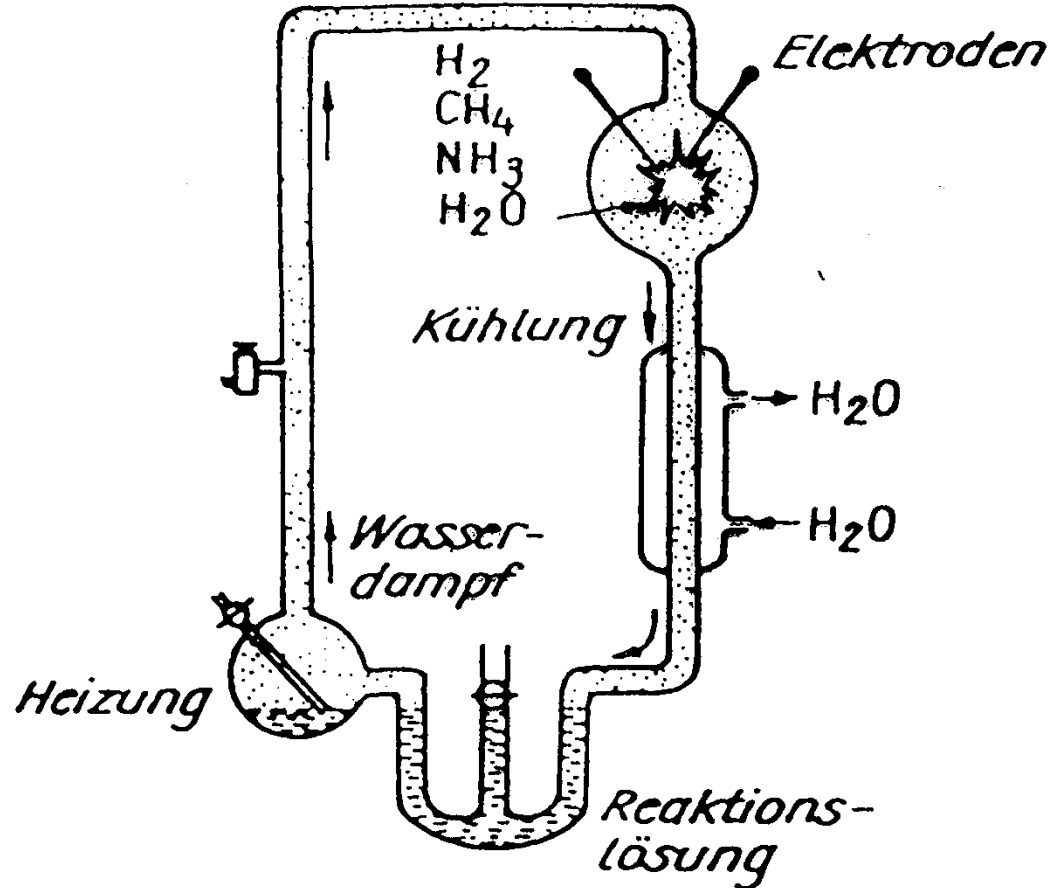


Stanley L. Miller, Chemiestudent Anfang der 50er Jahre in Chicago, hatte die Früherde als chemisches Laboratorium betrachtet und daraus ein Laborexperiment abgeleitet.

Zielstellung:

Sind mögliche Reaktionen bei der Herausbildung von Organika im Kolben, im chemischen Labor nachzuvollziehen, Uratmosphäre war reduzierendes System,

## Millersche Apparatur zur Synthese von Biomonomeren



# Die Entstehung des Lebens

## - Zeitraum von etwa 2,5 Mrd. Jahren

Energiequelle: Sonnenlicht (UV-Strahlung)

Strahlenschutzschild: 0,1 % O<sub>2</sub> , H<sub>2</sub>O u.a. in der Atmosphäre

*(UV-Strahlung mit Maximum zwischen 260 und 280 nm ist der Bereich, in dem „biologische Moleküle“ am strahlungsempfindlichsten sind.)*

## - Millersches Experiment zur Synthese von bio-organischen Stoffen

### Bedingungen:

\*elektrische Ladung oder UV-Licht

\* anorganische Moleküle, Wasser (-dampf)

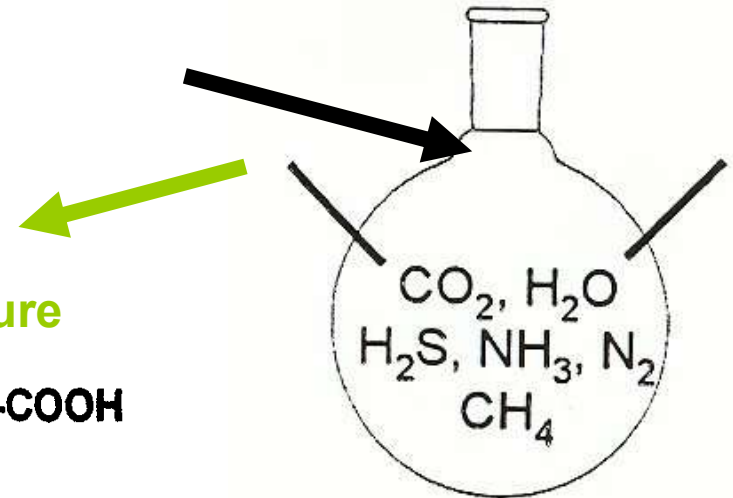
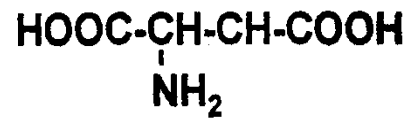
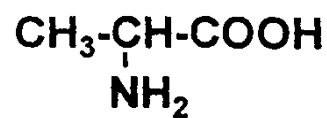
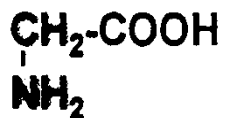
### Produkte:

\* HCHO, HCOOH, CH<sub>3</sub>-HCOOH

\* Glycin

Alanin

Asparginsäure



- aber auch Adenin, andere Purine, Zucker, Porphyrine und andere essentielle Bausteine des Lebens

# „Miller'sches Experiment“

## Produkte:



elektrische  
Entladung  
oder  $\Rightarrow$   
UV-Licht

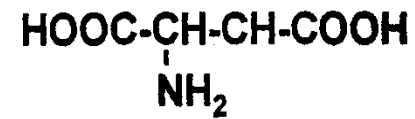
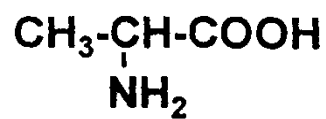
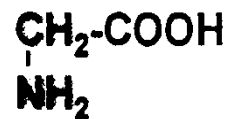
$\Rightarrow$

Asparaginsäure, Alanin

Adenin z.B.

Purine, Zucker, Porphyrine,

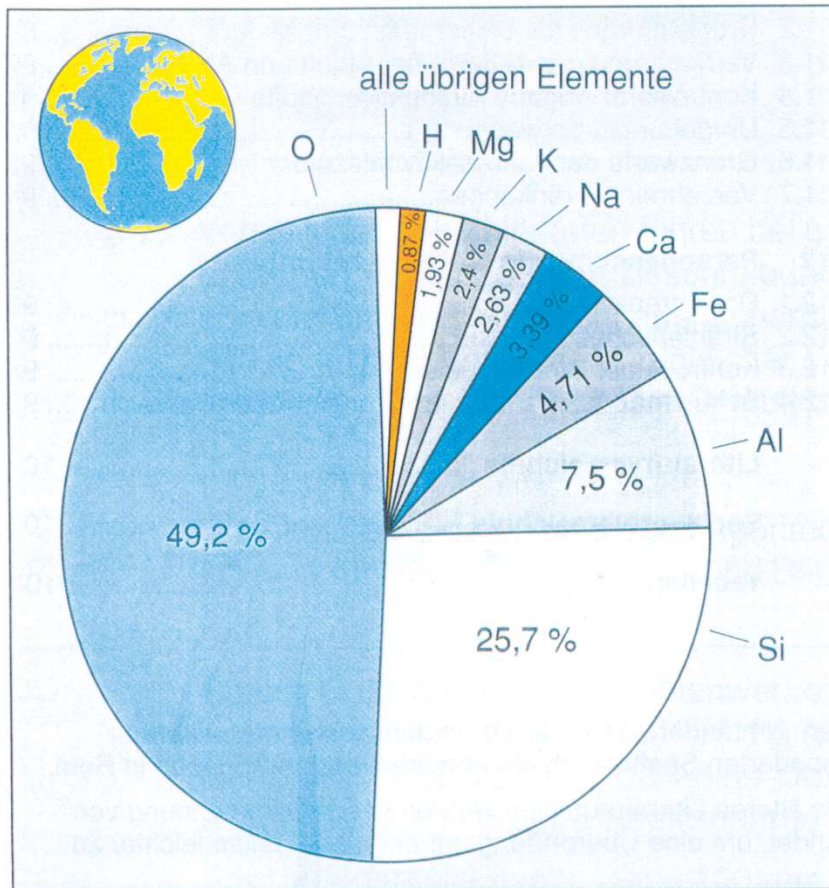
Glycin und andere essentielle Bausteine des Lebens



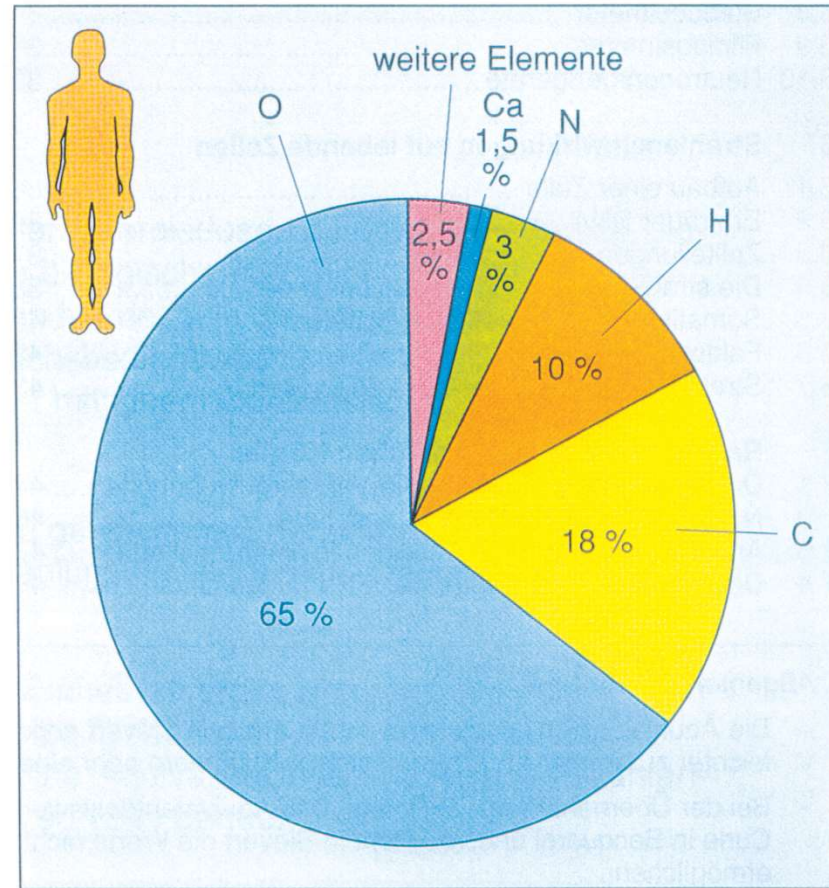
## Nachweis:

Bildung organischer Grundmoleküle aus anorganischen  
Verbindungen unter (angenommenen) Umweltbedingungen

# Vergleich der Elementhäufigkeit Erdkruste - Mensch



Häufigkeit der Elemente in der Erdkruste (einschließlich Luft und Wasser)



Zusammensetzung des menschlichen Körpers (Standardmensch)

## Durchschnittliche elementare Zusammensetzung des menschlichen Körpers (70 kg)

Element	Elementsymbol	Masse	Entdeckung als essentielles Element
Sauerstoff	O	45,5 kg	
Kohlenstoff	C	12,6 kg	
Wasserstoff	H	7,0 kg	
Stickstoff	N	2,1 kg	
Calcium	Ca	1,05 kg	
Phosphor	P	700 g	
Schwefel	S	175 g	
Kalium	K	140 g	
Chlor	Cl	105 g	
Natrium	Na	105 g	
Magnesium	Mg	35 g	
Eisen	Fe	4,2 g	17. Jh.
Zink	Zn	2,3 g	1896
Silicium	Si	1,4 g	1972
Rubidium <sup>a</sup>	Rb	1,1 g	
Fluor	F	0,8 g	1972
Zirkonium <sup>a</sup>	Zr	0,3 g	
Brom <sup>b</sup>	Br	0,2 g	
Strontium <sup>a</sup>	Sr	0,14 g	
Kupfer	Cu	0,11 g	1925
Aluminium <sup>a</sup>	Al	0,10 g	
Blei <sup>b</sup>	Pb	0,08 g	1977
Antimon <sup>a</sup>	Sb	0,07 g	
<b>Cadmium<sup>b</sup></b>	<b>Cd</b>	<b>0,03 g</b>	<b>1977</b>
Zinn	Sn	0,03 g	1970
Jod	J	0,03 g	1820
Mangan	Mn	0,02 g	1931
Vanadium	V	0,02 g	1971
Selen	Se	0,02 g	1957
Barium <sup>a</sup>	Ba	0,02 g	
Arsen <sup>b</sup>	As	0,01 g	1975
Bor	B	0,01 g	
<b>Nickel</b>	<b>Ni</b>	<b>0,01 g</b>	<b>1971</b>
Chrom	Cr	0,005 g	1959
Cobalt	Co	0,003 g	1935
Molybdän	Mo	< 0,005 g	1953
Lithium <sup>b,c</sup>	Li	0,002 g	

nach Merian, Elmadfa, Leitzmann

<sup>a</sup> Nicht als essentiell bewertet <sup>b</sup> Essentieller Charakter nicht eindeutig

<sup>c</sup> Nach Pfannhauser



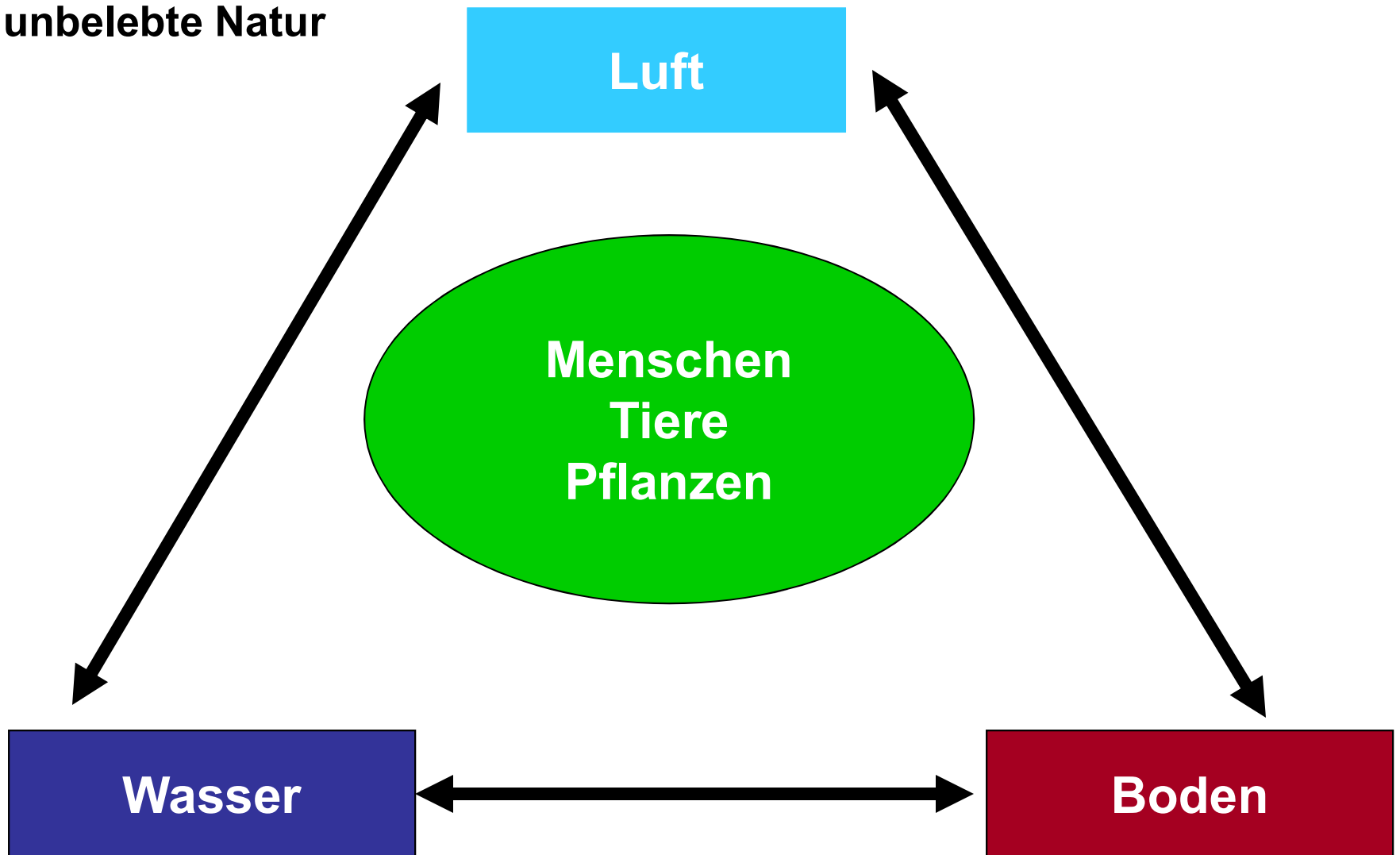
## Schlussfolgerungen:

- **thermodynamisch ist das Leben sehr unwahrscheinlich (Verringerung der Entropie gegenüber der unbelebten Umwelt)**
  - Leben kann nur durch **ständigen Energiefluss** in das lebende System aufrechterhalten werden (Energiefluss der Sonne)
  - Bedingung sind **effektive Stoffwechselvorgänge** (**Atmung**)
- die natürliche Umwelt ist eine permanent fließendes Gleichgewicht, geringe Änderungen können weitreichende Konsequenzen haben

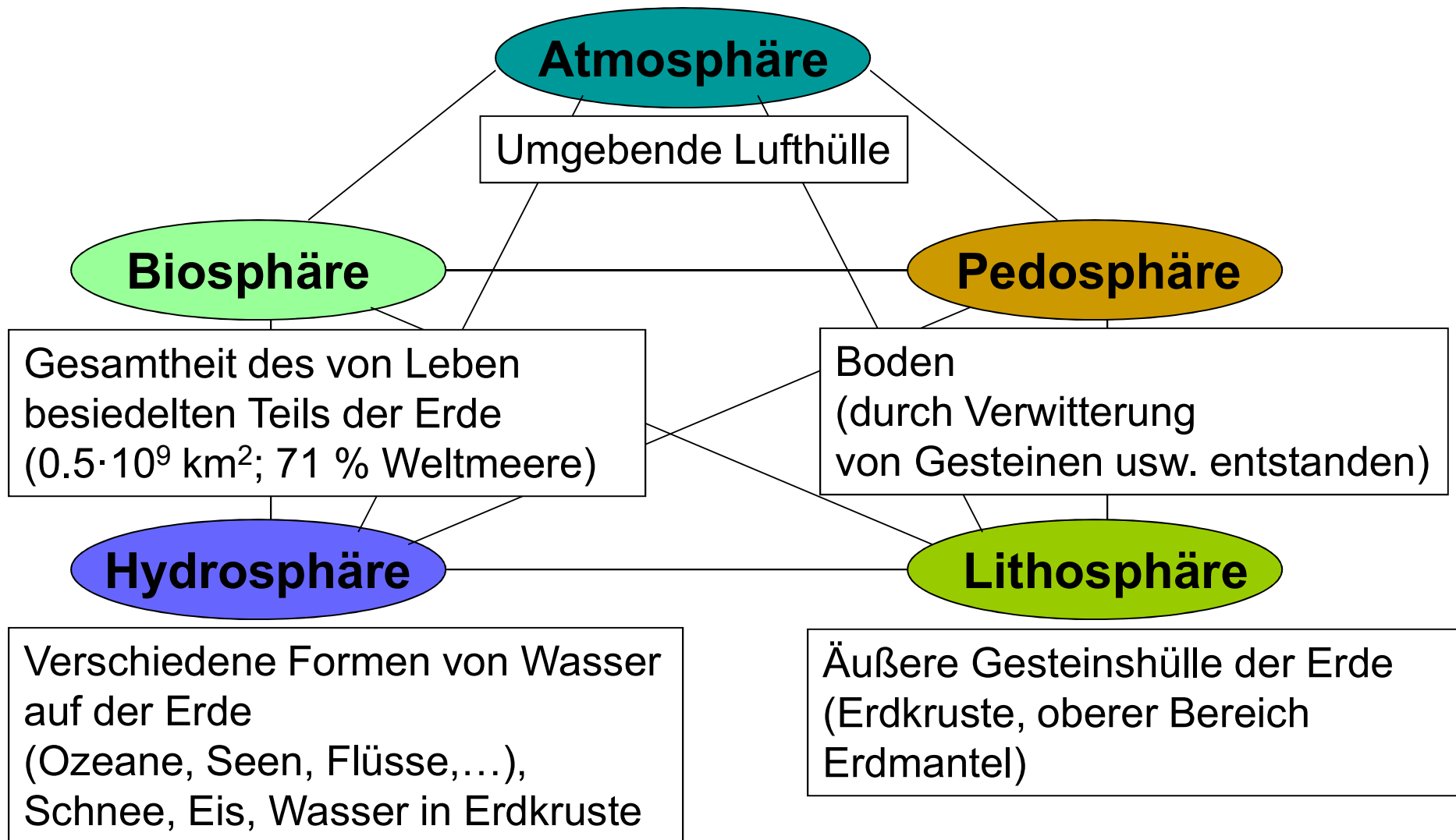
## **2.0 Umweltkompartiment Luft**

# Hauptkomponenten der Umwelt

- belebte Natur
- unbelebte Natur



## Verschiedene Sphären der Erde



## **2.1 Funktion der Atmosphäre**

# Vorgänge bei der Herausbildung der Atmosphäre

- Basis:  
*Entfernung Erde-Sonne*
- Austausch der Luftbestandteile mit dem Weltall
- Freisetzung von Gasen aus dem Erdinneren
- Chemische und biologische Bildung von Atmosphärenbestandteilen:
  - im Erdinneren
  - im Wasser
  - an Land
  - in der Atmosphäre selbst
- Zusammensetzung

# Funktionen der Atmosphäre

- **Schutz vor Strahlung aus dem Weltall**

Absorption von energiereicher Partikelstrahlung (Kernreaktionen), Röntgen- und UV-Strahlung (Strahlung im Bereich von 400 - 40 nm Wellenlänge)

UV-A  $\lambda = 400 - 320 \text{ nm}$

UV-B  $\lambda = 320 - 280 \text{ nm}$

UV-C  $\lambda = 280 - 40 \text{ nm}$

- **Wärmepuffer** (Durchlässigkeit für Sonnenlicht, Rückhaltung von Wärmestrahlung)

- Ausgleich zwischen Tag und Nacht

- "hebt" durchschnittliche Temperatur von  $-18^{\circ}\text{C}$  auf  $+15^{\circ}\text{C}$

- **Wärmetransport** (aus Äquatorgegenden in gemäßigte Breiten)

- **Wassertransport**

- **"Stickstoff-,  $\text{CO}_2$ - und Sauerstoffspeicher"**

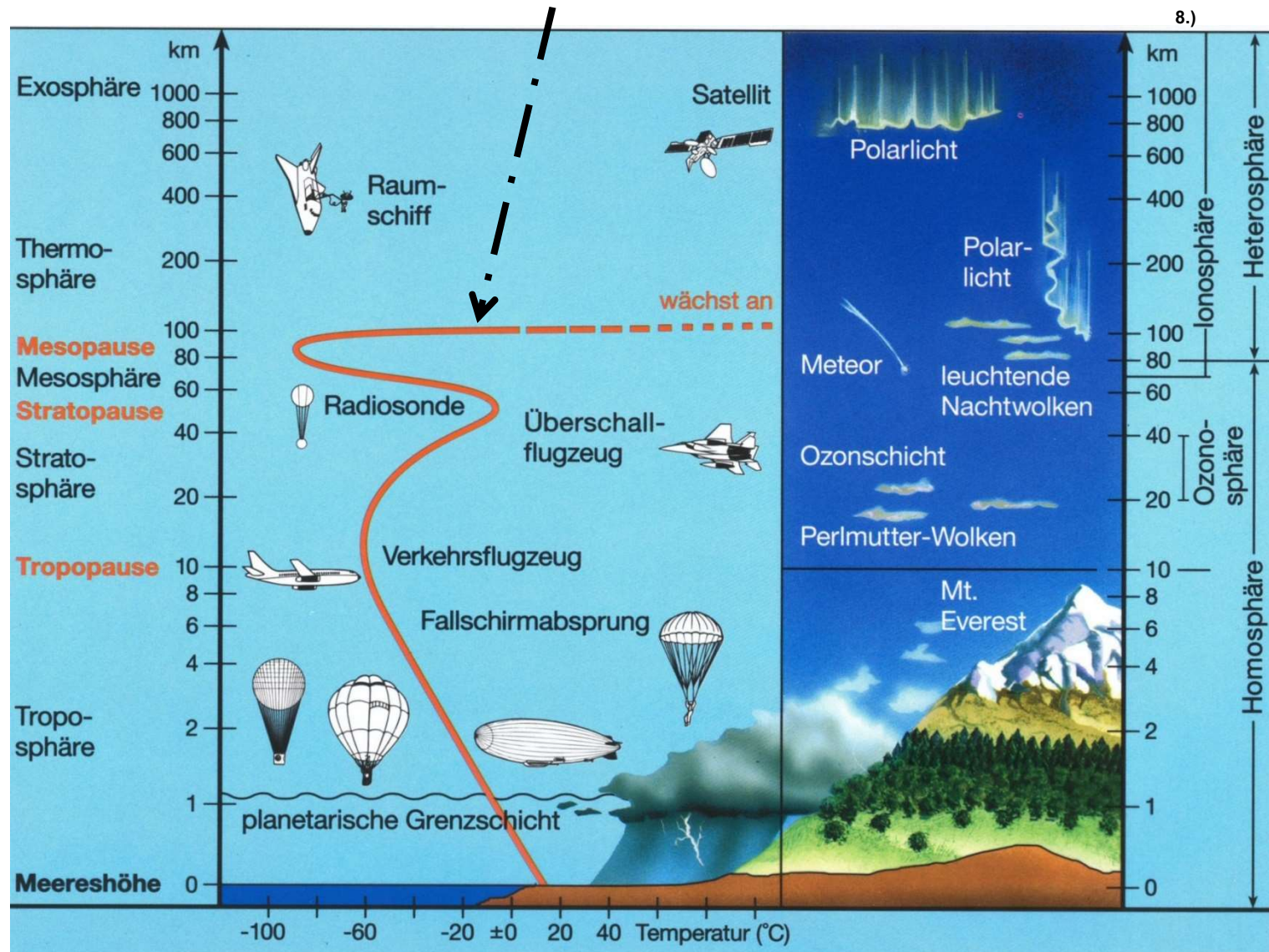
- **Schutz vor kleinen bis mittleren Meteoriten**

- **"Atmosphärenchemie"** (Photolyse, Radikalreaktionen, Oxidation)

- **Verteilung und Abbau von Schadstoffe**

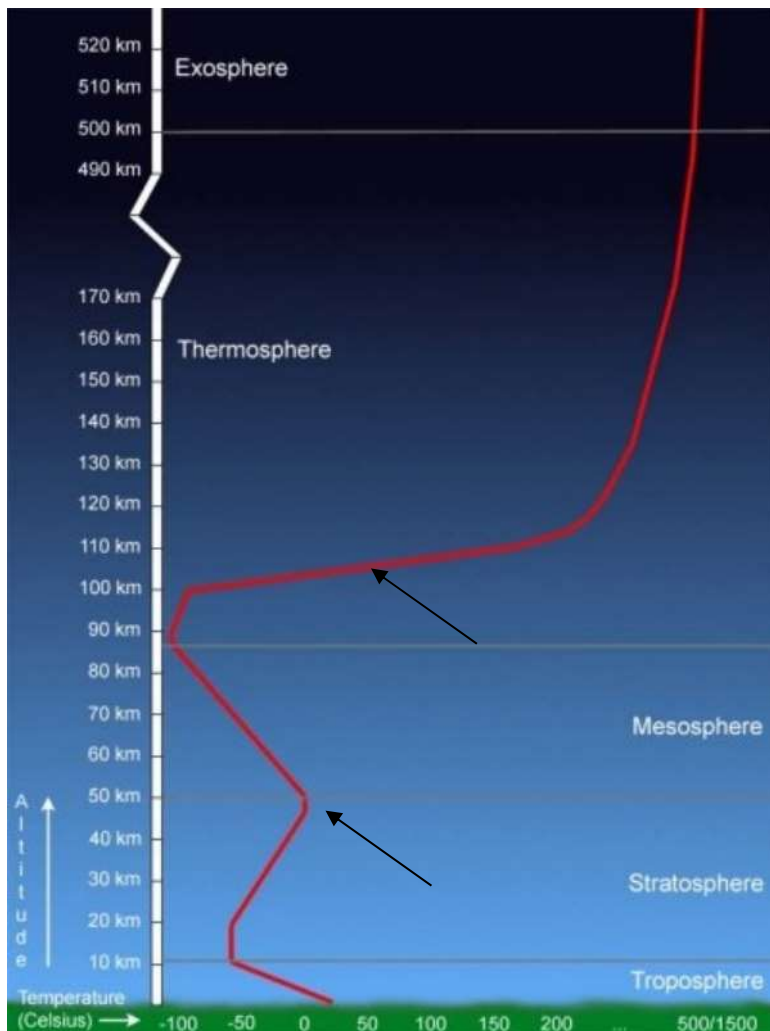
# Schichtung der Atmosphäre mit Temperaturprofil

*Wieso steigt Temperatur in dieser Höhe wieder an?*





# Temperaturprofil



Die Erdatmosphäre wird entsprechend ihres Temperaturverlaufs in mehrere Schichten eingeteilt:

Die Troposphäre von 0 km bis zwischen 7 km (Polargebiete) und 17 km (Tropen), begrenzt durch die Tropopause  
die Stratosphäre bis 50 km, begrenzt durch die Stratopause,  
die Mesosphäre bis zur Mesopause (zwischen 80 und 85 km),  
die Thermosphäre bis über 500 km und  
die Exosphäre bis etwa 10 000 km.

**Wieso Anstieg der Temperatur ?**

- ↗ - Vorgänge in Ozonschicht
- „ungehinderte“ Einstrahlung der Sonne

## **2.2 Zusammensetzung der Luft**

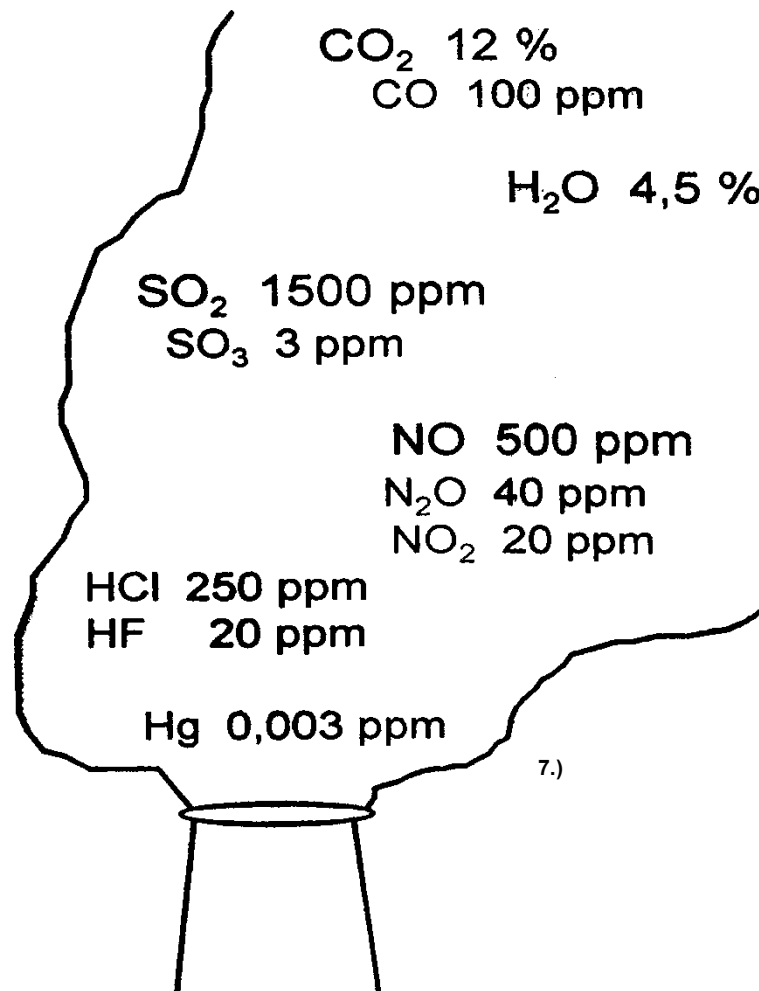
# Mittlere Zusammensetzung von trockener Luft in der Troposphäre

*Stets Druck und Temperaturangabe notwendig, Luftfeuchte beachten!*

Bestandteil	Volumenanteil [%]
Stickstoff	78,08
Sauerstoff	20,95
Argon	0,934
Neon	0,001 8
Helium	0,000 5
Krypton	0,000 1
Xenon	0,000 009
Kohlenstoffdioxid	0,035
Methan	0,000 17
Distickstoffmonoxid	0,000 03
Kohlenstoffmonoxid	0,000 02
Wasserstoff	0,000 05
Ozon *	0,000 001

\* zeigen starke zeitliche Fluktuationen

## Auswurf Kohlekraftwerk



# Schwebstoffe

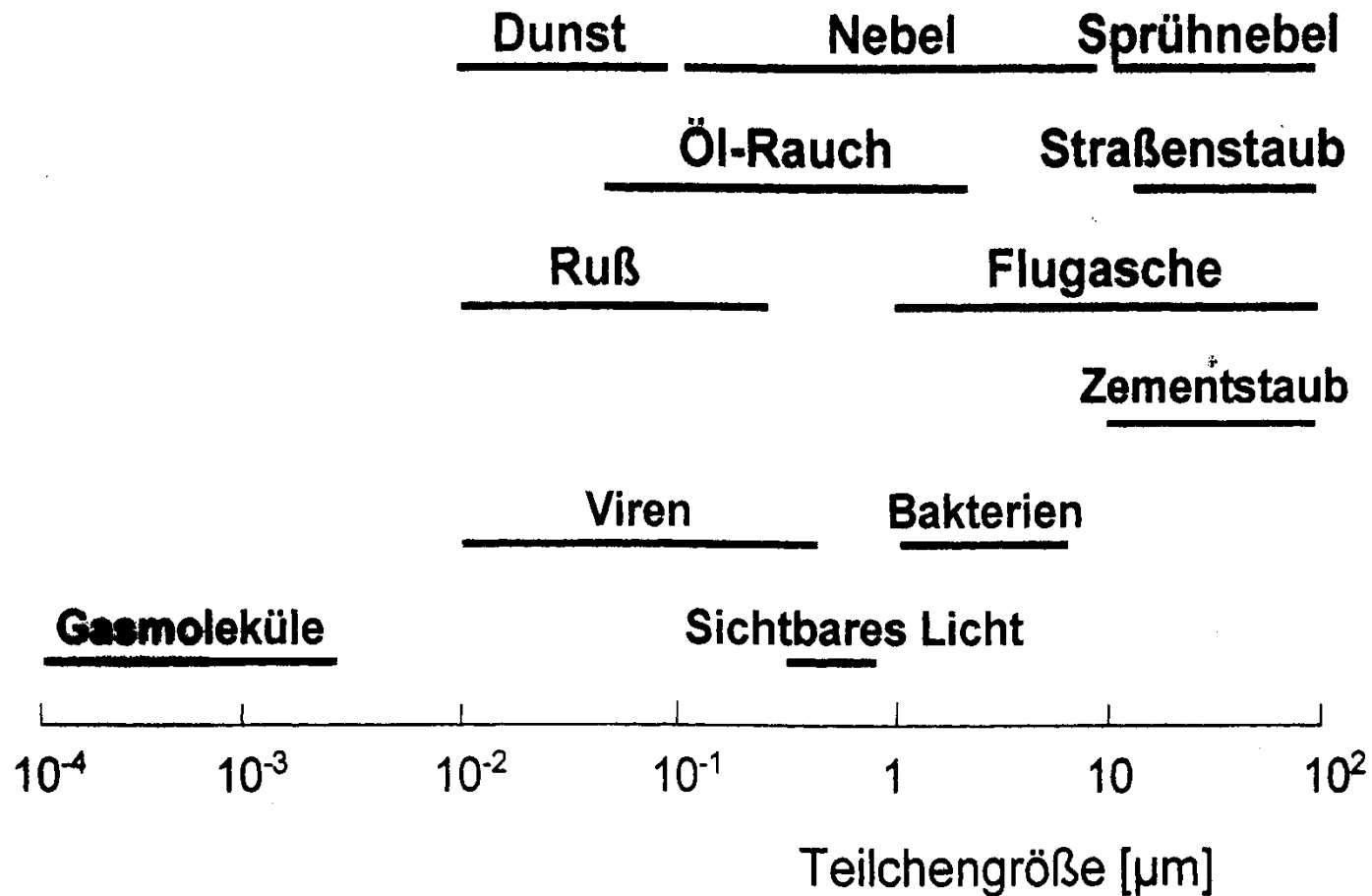
feste

flüssige

Seesalzkerne  
Sand  
Ruß (in Rauch)

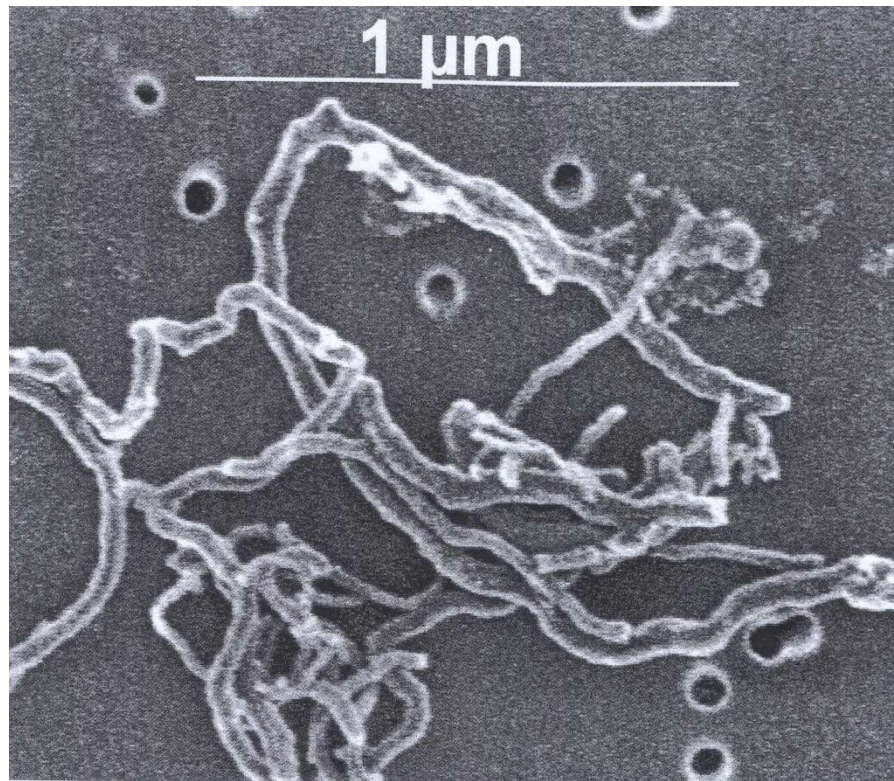
Wasser  
(in Nebel, Wolken)

## Teilchendurchmesser einiger Partikel



# Nanopartikel

*Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von **Kohlenstoff-Nanoröhrchen** auf einem Kernspurfilter.  
(Deutlich zu sehen sind außer den Röhrchen auch die 50 nm großen Filterporen)*



HZDR

## Bleigehalt in der Atmosphäre

(gasgelöst oder als Aerosol)

---

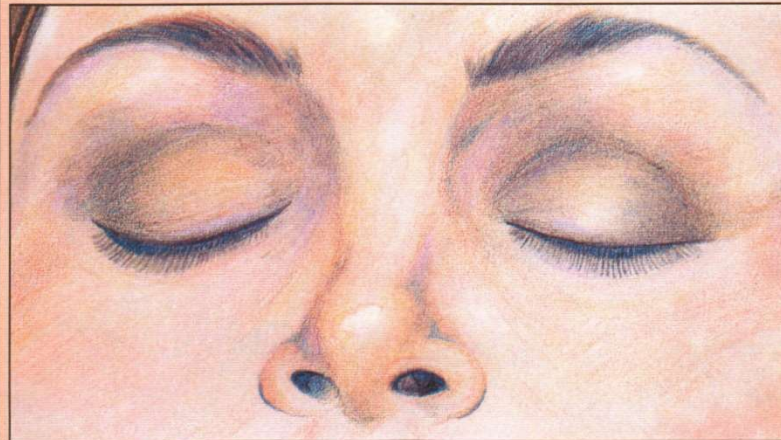
Bereich	Gehalt (mg/m <sup>3</sup> )
Reinluftgebiete	< 0,01
Ländliche Gebiete	< 0,2
Ballungsgebiete	0,2... 2,0
Nähe Verhüttungsbetrieb	1...20

**Blutbleikonzentration (Erwachsener derzeit):**

**10µg/100 mL**



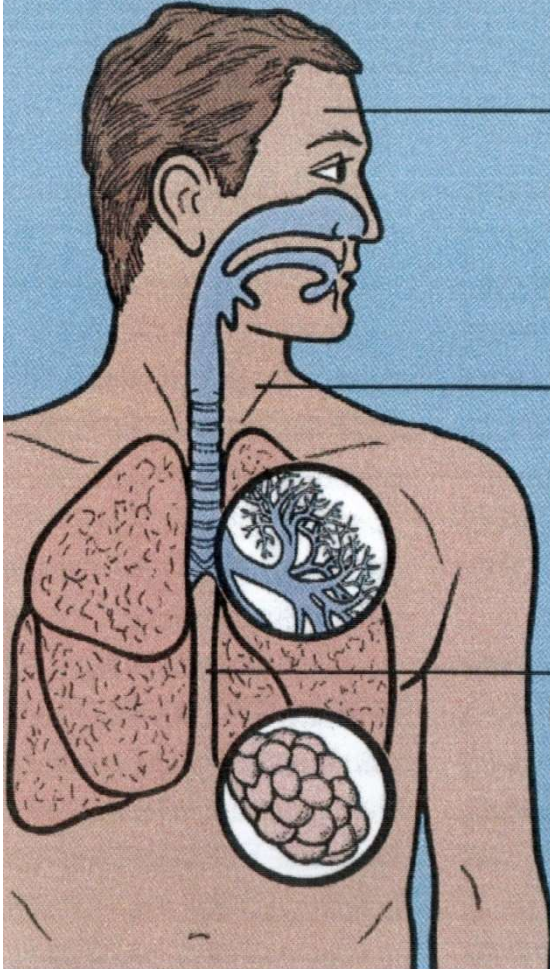
# Geruchsschwellen



Stoff	Konzentration in $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$
Trimethylamin	0,0005
Buttersäure	0,004
Schwefelwasserstoff	0,007
Blausäure	0,65
Stickstoffdioxid	0,75
Chlor	0,88
Essigsäure	2,5
Phosgen	3,7
Benzol	16,0
Ammoniak	33,0
Methanol	133,0
Aceton	278,0

# Angriffsorte verschiedener Stoffe im Atemtrakt in Abhängigkeit von der Wasserlöslichkeit

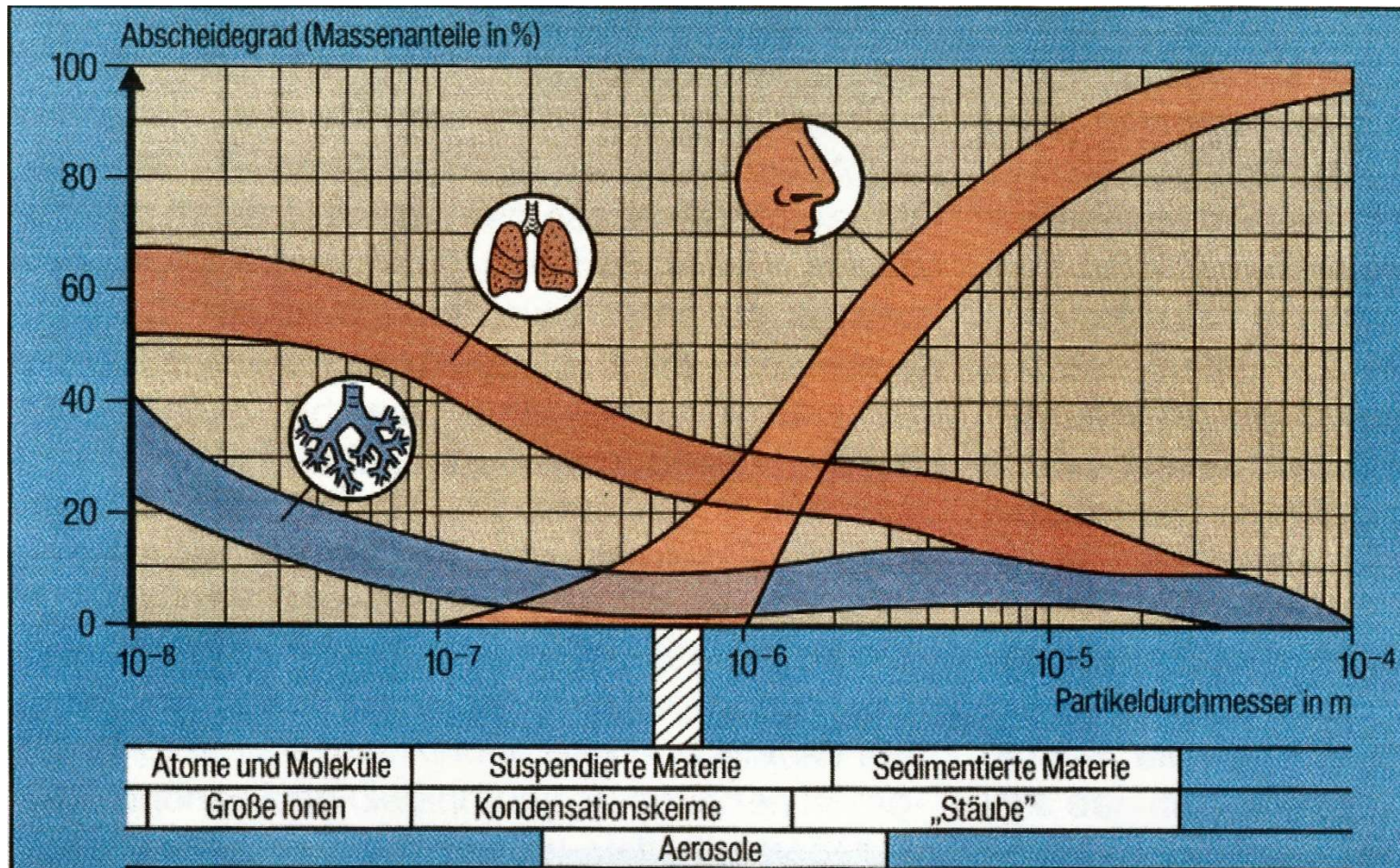
Aerosole?



Angriffs- orte	Wasser- löslichkeit	Stoffe
Auge Kehlkopf Luft- röhre	hoch	$\text{NH}_3$ $\text{HCl}$ $\text{HCHO}$ $\text{S}_2\text{Cl}_2$ $\text{CH}_2 = \text{CH}-\text{CHO}$
Bronchien Bronchiolen	mittel	$\text{SO}_2$ $\text{Cl}_2$ $\text{Br}_2$ $\text{RCOCl}$ $\text{R}(\text{NCO})_2$
Bronchiolen Lungen- bläschen Kapillaren	gering	$\text{O}_3, \text{O}_2$ $\text{NO}_2$ $\text{COCl}_2$ $\text{CdO}$



# Abscheidung von Feinstäuben im menschlichen Atemtrakt



## **2.3 Chemie der Atmosphäre**

## Einfluss von Gasen

- **Treibhauseffekt:**

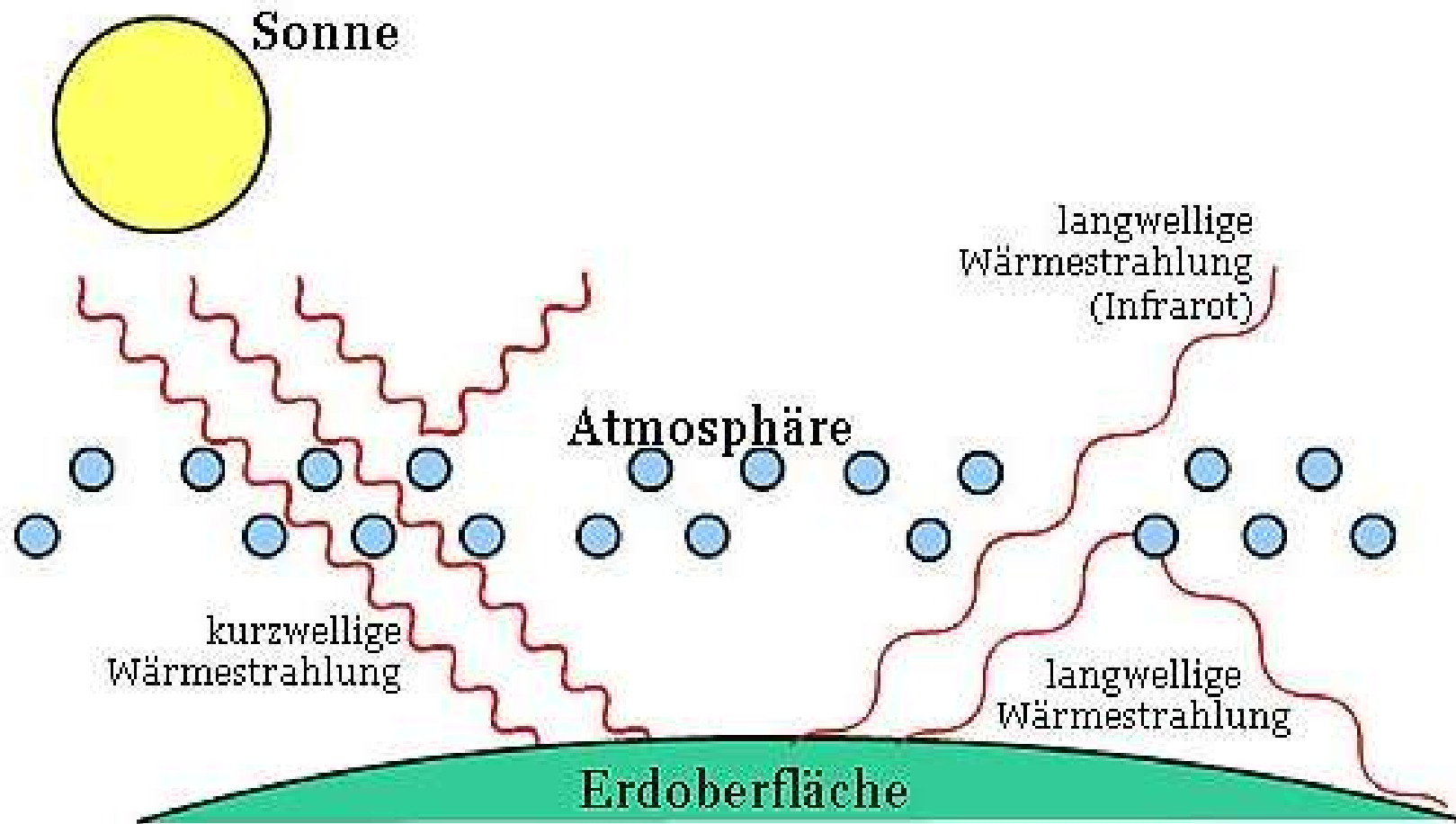
- \* natürlicher Treibhauseffekt:
- \* anthropogener Treibhauseffekt:

- **Ozonloch/Ozonverschmutzung**

- \* „positives“ Ozon
- \* „negatives“ Ozon

### **2.3.1 Treibhauseffekt**

## Entstehung des Treibhauseffekts



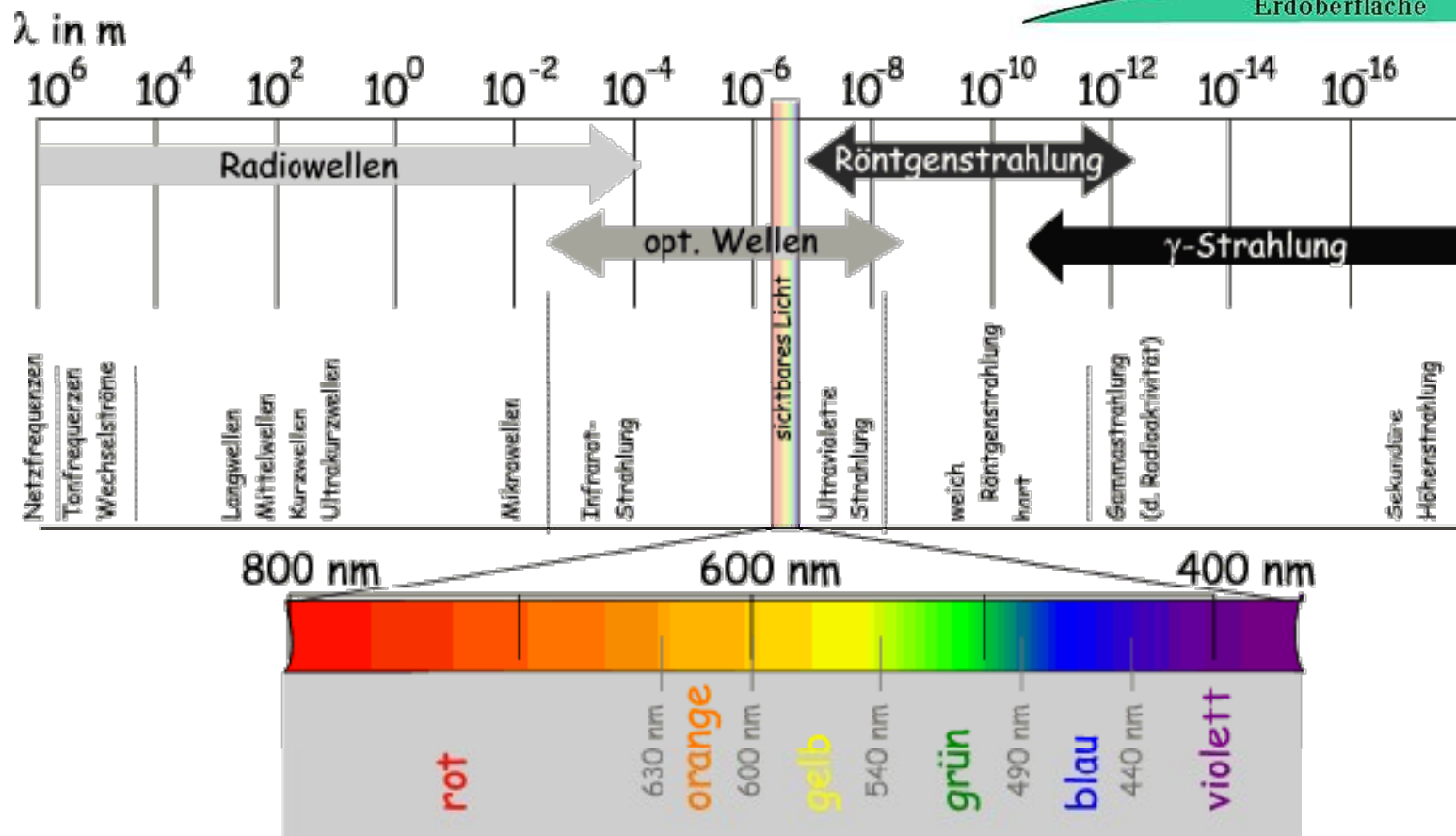
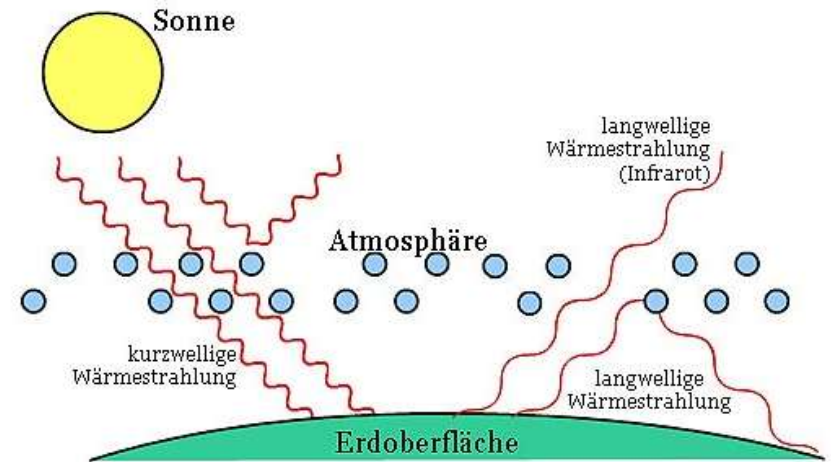


# Entstehung des Treibhauseffekts

## Strahlungsvergleich:

Heißer Körper (Sonne) sendet kurzwellige Strahlung aus

Kalter Körper (Erde) gibt langwellige Strahlung ab





# Treibhauseffekt:

durch atmosphärisches CO<sub>2</sub>, Methan, Ozon, Stickoxiden, Wasserdampf u.a. wird die Abstrahlung langwelliger Strahlung verhindert.

- natürlicher Treibhauseffekt
- anthropogener Treibhauseffekt

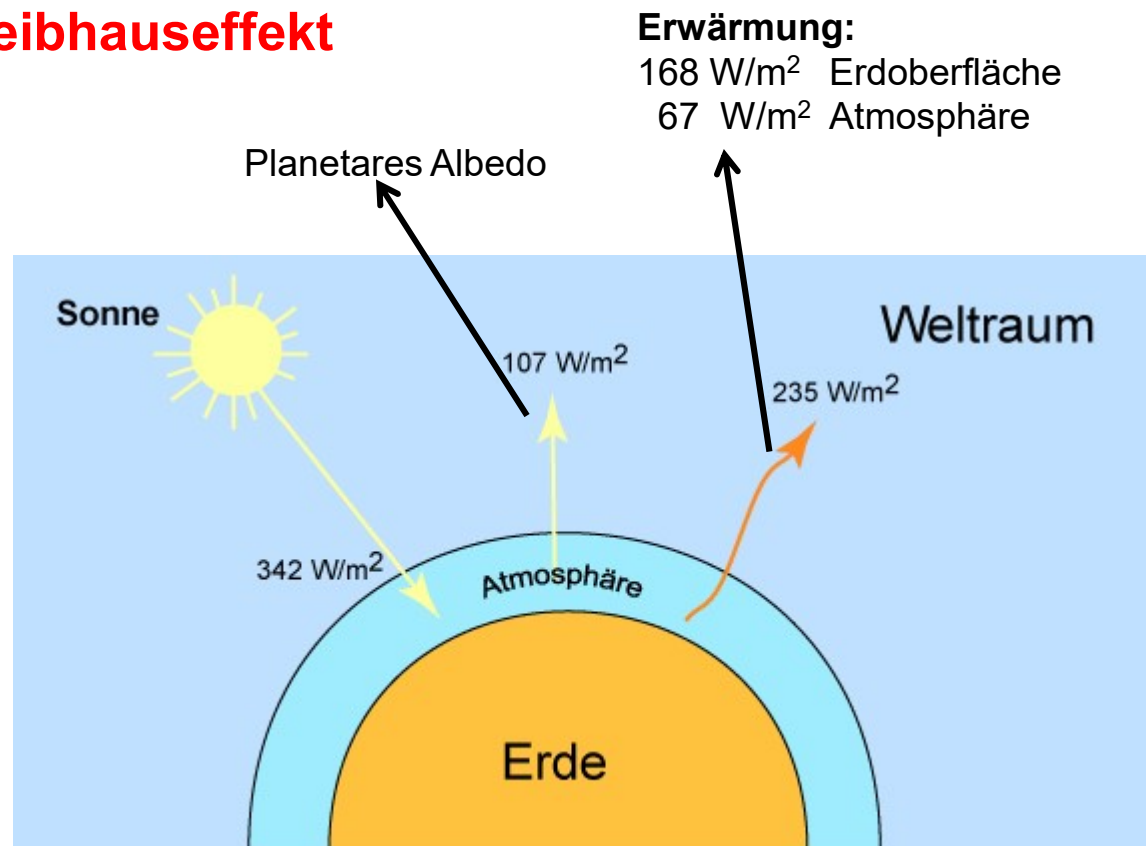
**Solarkonstante:**

1366 W/m<sup>2</sup>

**Sonneneinstrahlung:**

- Tag/Nacht
  - Kugelgestalt
- 342 W/m<sup>2</sup>

**Albedo:** Rückstrahlvermögen  
Reflexionsgrad



*Wie kann das Ziel der verschiedenen „Weltklima-Konferenzen“, die Erderwärmung unter 2 Grad zu halten, erreicht werden?  
Ist damit das „Weltklima-Problem“ gelöst?  
Gibt es also keine „Eiszeiten“ auf unserer Erde mehr?*

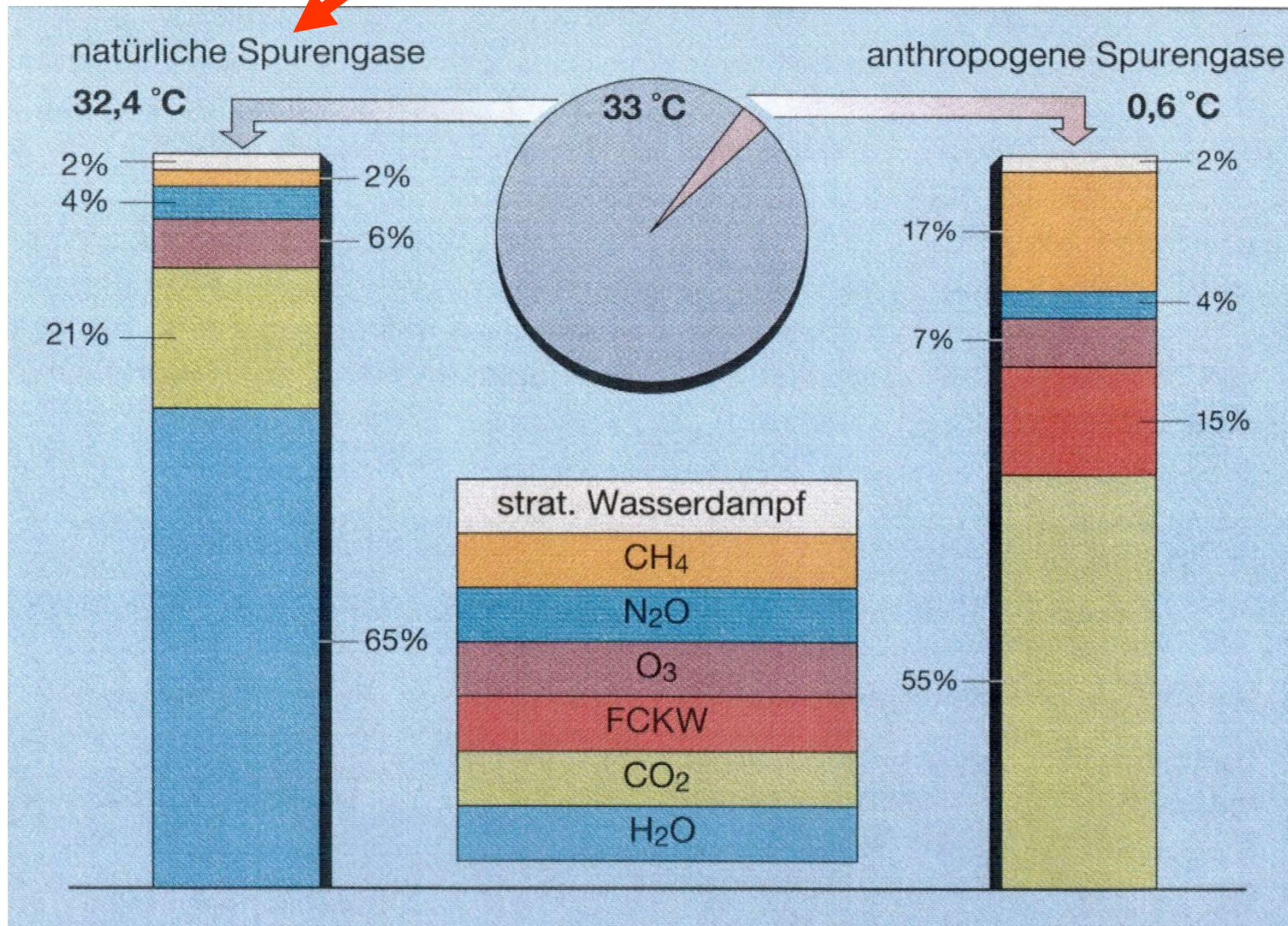
## **Treibhauseffekt:**

**durch atmosphärisches CO<sub>2</sub>, Methan, Ozon, Stickoxiden, Wasserdampf u.a. wird die Abstrahlung langwelliger Strahlung verhindert.**

- **natürlicher Treibhauseffekt**
- **anthropogener Treibhauseffekt**

# Natürlicher Treibhauseffekt:

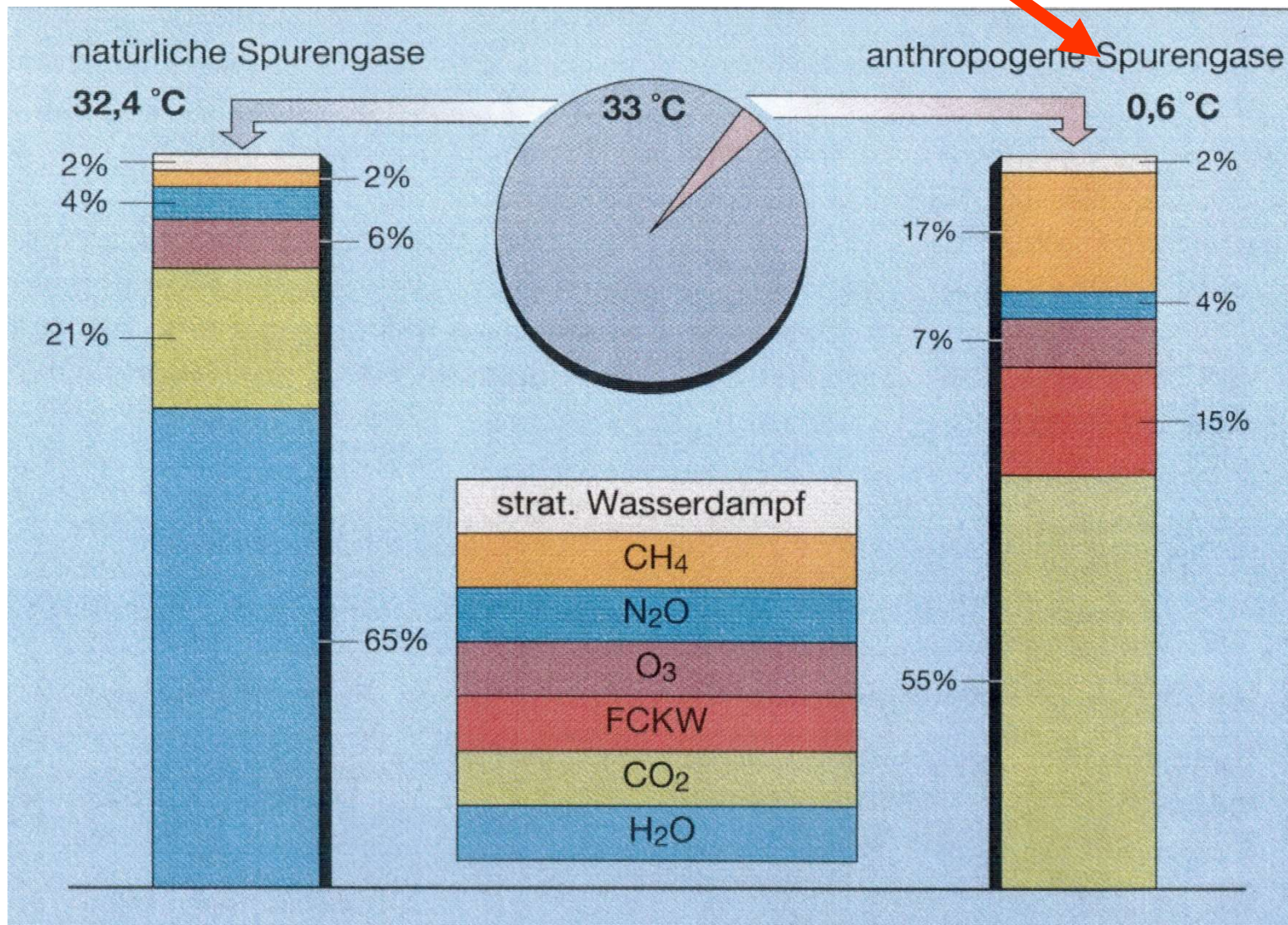
**\*eine Bedingung für irdisches Leben**





## Anthropogener Treibhauseffekt:

\* Klimaveränderung, Veränderung des Lebens



## **Anthropogener Treibhauseffekt - I**

### **Ursachen:**

- Rodung der Wälder (Photosynthese, aber auch veränderte Rückstreuung)**
- mineralische Düngung**
- Verbrennung fossiler Brennstoffe**
- Produktion halogenierter Verbindungen**

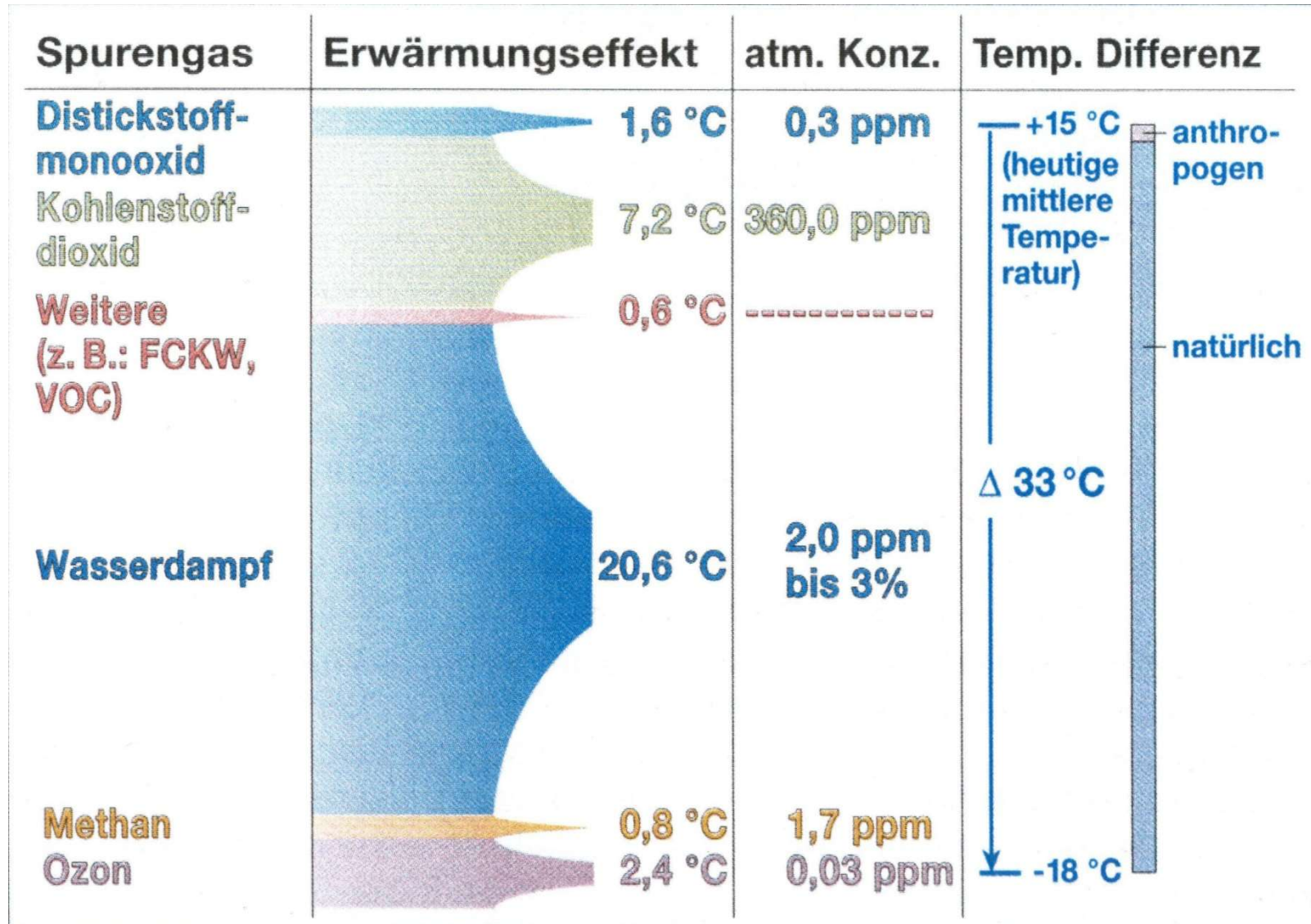
# Die wichtigsten „Treibhausgase“ und ihr Beitrag zum anthropogenen Treibhauseffekt\*

Gas	Anteil am Treibhauseffekt in %		Emissionsmenge in Millionen Tonnen/Jahr	Emissions-Quellen
	I	II		
Kohlendioxid	50	60	850.000	Fossile Brennstoffe, Waldrodung, biologischer Abbau, Atmung
Methan CH <sub>4</sub>	19	27	500	Reisanbau, Großviehhaltung, Sümpfe, Termiten
FCKW	17	9	0,8	FCKW-Anwendung
Ozon O <sub>3</sub>	8	0 – 10	wechselnde Mengen, insbesondere auf der Nordhalbkugel	Eintrag aus der Stratosphäre, photochemische Reaktionen von NO <sub>x</sub> und Kohlenwasserstoffen
Distickstoffoxid N <sub>2</sub> O	4	3	50	Mikrobieller N-Stoffwechsel, Stickstoffdüngung, Brandrodung, Verbrennungsvorgänge
Wasser (stratosphär.)	4		wechselnde Mengen	Verdunstung

\*bis in die 80er Jahre I Bericht der Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ vom 2. November 1988  
II Dickinson and Cicerone, Nature **319**, 109 (1988)



# Temperatur-Treibhauseffekt der wichtigsten klimawirksamen Spurengase



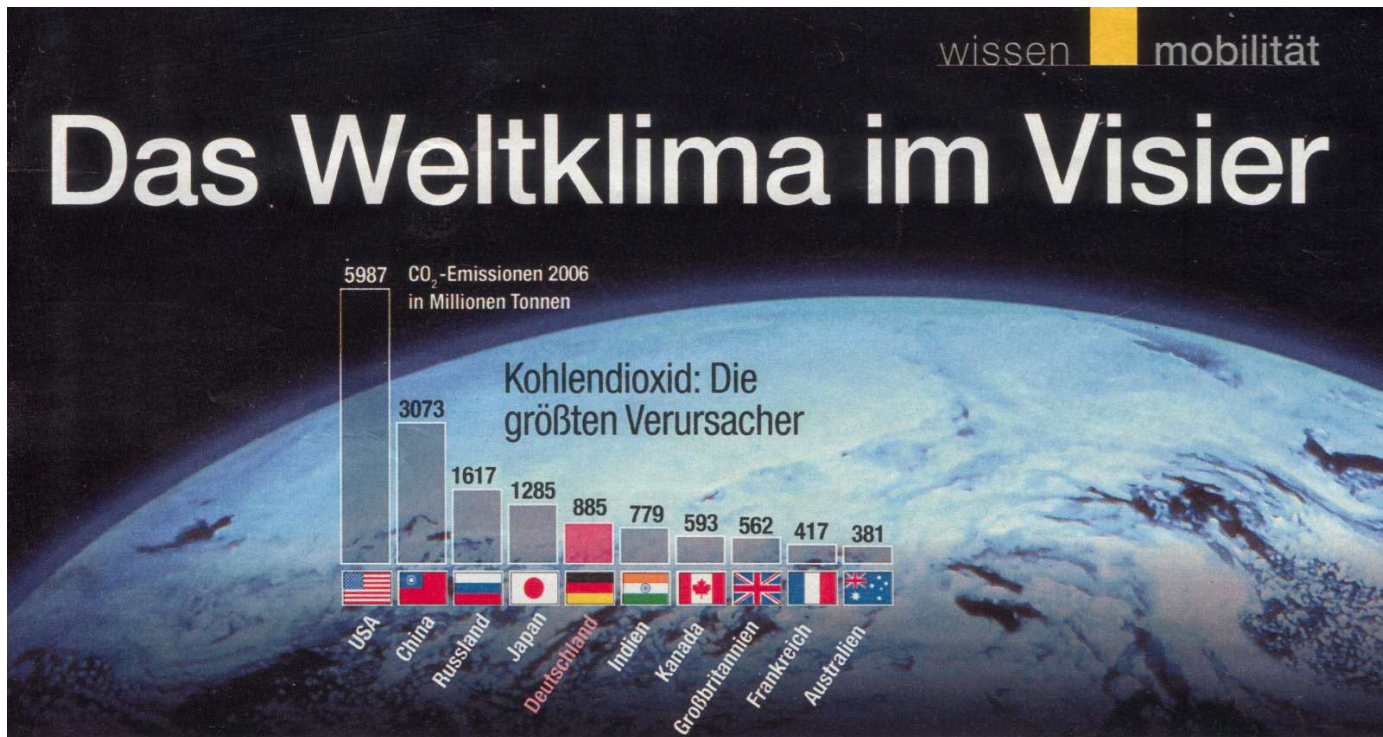
## Anthropogener Treibhauseffekt – II

### *Konsequenzen:*

- Luftverschmutzung, Eintrag klimarelevanter Gase;  
entspricht einer zusätzlichen Energiezufuhr von ca.  $2,5 \text{ W/m}^2$
- > **Folge:** Erwärmung der Oberflächentemperatur in den letzten 100 Jahren  
um  $0,5\text{-}0,6^\circ$
- > **Gegenmaßnahmen:**
  - Reduktion der Luftverschmutzung durch Aerosole und Stäube  
(Energiereduktion auf ca.  $2,0 \text{ W/m}^2$ )
  - sofortige Verringerung des Eintrages klimarelevanter Treibhausgase
- aber:**
  - starke zeitliche Verzögerung der Wirkung macht sofortiges Handeln  
erforderlich (neues GGW bei  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ : mehrere hundert Jahre;  
 $\text{CH}_4$ : etwa 30 Jahre)
  - Stabilisierung des Gehalts an klimarelevanten Spurengasen  
auf heutigem Niveau erfordert:
    - \* Senkung der  $\text{CH}_4$ -Emission um 10-15%
    - \* Senkung der  $\text{N}_2\text{O}$ -Emission um 85%
    - \* Senkung der anthropogenen  $\text{CO}_2$ -Emission um 55%

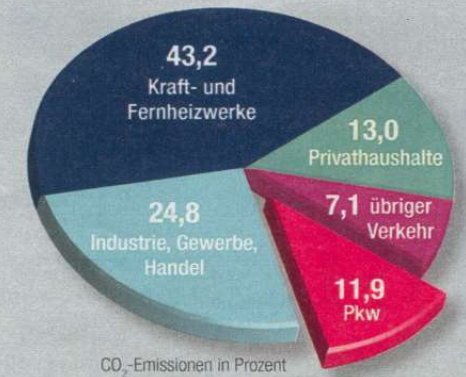


# CO<sub>2</sub> als „Klimaproblem“ - Verursacher

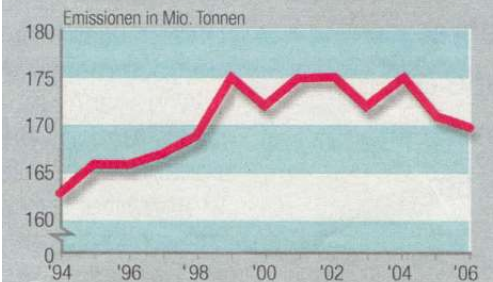


ADACmotorwelt 4/2007, S. 69

## Emittenten in Deutschland



## CO<sub>2</sub>-Ausstoß des Verkehrs



## Was stößt Ihr Auto aus?

**CO<sub>2</sub>-RECHNER.** Je mehr Sprit Ihr Auto schluckt, desto mehr Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) entlässt es in die Atmosphäre. So berechnen Sie den CO<sub>2</sub>-Ausstoß Ihres Wagens:

**1 Liter Benzin/100 km = 23,8 g CO<sub>2</sub>/km**

**1 Liter Diesel/100 km = 26,6 g CO<sub>2</sub>/km**

Diese Formel und weitere Informationen zum Thema CO<sub>2</sub> und Abgase finden Sie im Internet unter [www.adac.de/umwelt](http://www.adac.de/umwelt).

# CO<sub>2</sub> als „Klimaproblem“

- Verbunden mit Energieerzeugung, Biomasseproduktion, Mobilität u.a.

## Lösung?

**CCS:** Carbondioxide Capture and Storage  
Kohlendioxid Abscheidung und Speicherung (Sequestrierung)

