

# **ASTROBIOLOGIE**

**Mittwochsakademie  
Wintersemester 2018/19**

**Claus Gruppen**



# Einige einführende Bemerkungen

Allgemeines, Grundlagen

Bausteine, die vom Himmel fallen

Elixiere aus der Ursuppe

Was braucht eine Zelle?

Extremophile

Leben auf solaren und Exoplaneten

Ist Altern eine Krankheit?

Diagnostik von Krankheiten

# Bedingungen für Leben

**Man nimmt an, dass man Folgendes braucht:**

**flüssiges Wasser**

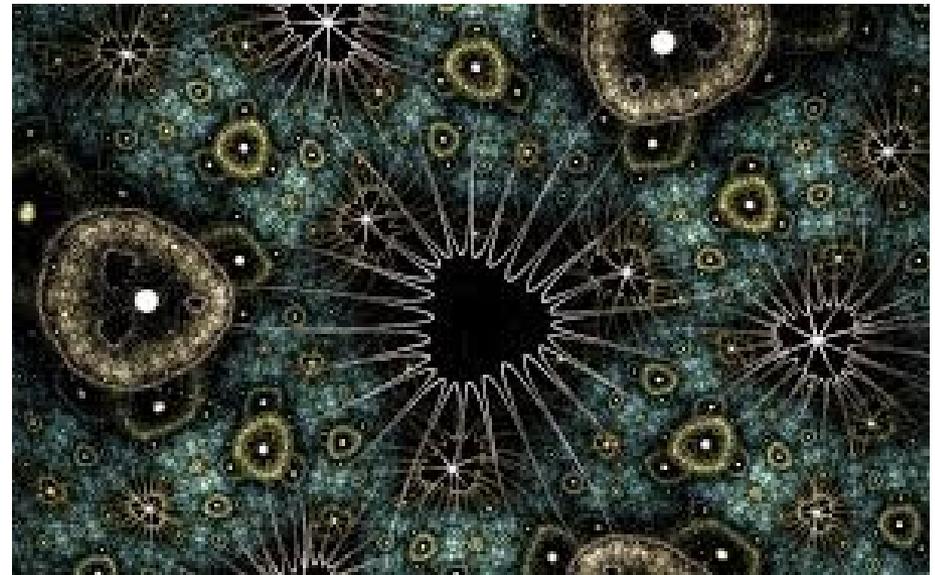
**organische Chemie (mindestens Kohlenstoff)**

**eine Energiequelle (ein passender Stern)**

**stabile Umgebung**

**aber auch ein**

**Energieungleichgewicht**



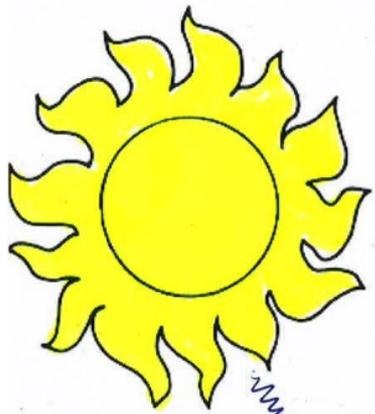
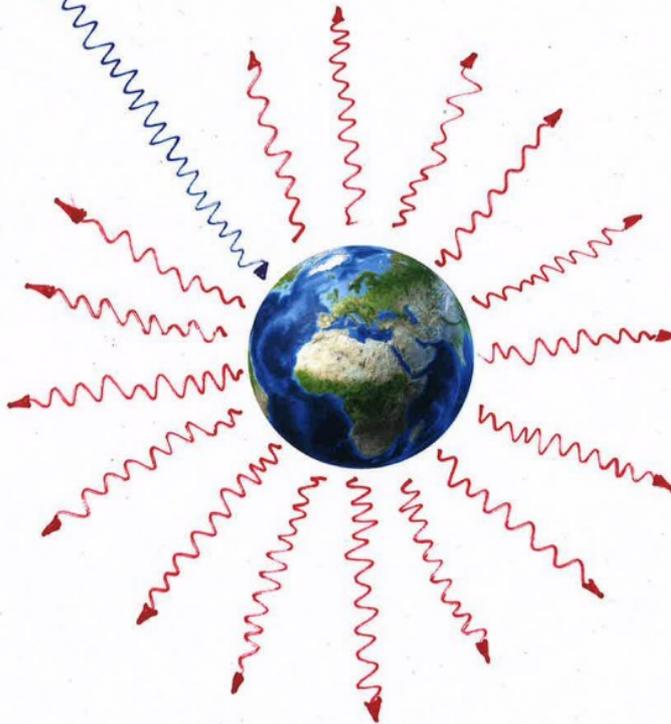


Illustration zur  
Ermöglichung  
von Leben auf der  
Erde wegen des  
Entropiesatzes



In einem System nimmt das Maß der Unordnung immer zu oder es bleibt gleich. Wenn man etwas Ordnung erzielen möchte, muss man Arbeit aufwenden oder man kann in einem Subsystem lokal etwas Ordnung schaffen auf Kosten der Vergrößerung der Unordnung anderswo im System, damit die Entropie insgesamt zunimmt oder gleich bleibt.

# Bindungen

3 4 3 2 1 0  
VIII

I																	VIII
1,01 H 1											4,00 He 2						
6,94 Li 3	9,01 Be 4											10,81 B 5	12,01 C 6	14,01 N 7	16,00 O 8	19,00 F 9	20,18 Ne 10
22,99 Na 11	24,31 Mg 12	III a	IV a	V a	VI a	VII a	VIII a		I a	II a	26,98 Al 13	28,09 Si 14	30,97 P 15	32,06 S 16	35,45 Cl 17	39,95 Ar 18	
39,10 K 19	40,08 Ca 20	44,96 Sc 21	47,87 Ti 22	50,94 V 23	52,00 Cr 24	54,94 Mn 25	55,85 Fe 26	58,93 Co 27	58,69 Ni 28	63,55 Cu 29	65,39 Zn 30	69,72 Ga 31	72,61 Ge 32	74,92 As 33	78,96 Se 34	79,90 Br 35	83,8 Kr 36
85,47 Rb 37	87,62 Sr 38	88,91 Y 39	91,22 Zr 40	92,91 Nb 41	95,94 Mo 42	97,91 Tc 43	101,0 Ru 44	102,9 Rh 45	106,4 Pd 46	107,9 Ag 47	112,4 Cd 48	114,8 In 49	118,7 Sn 50	121,8 Sb 51	127,6 Te 52	126,9 I 53	131,3 Xe 54
132,9 Cs 55	137,3 Ba 56	175,0 Lu 71	178,5 Hf 72	180,9 Ta 73	183,8 W 74	186,2 Re 75	190,2 Os 76	192,2 Ir 77	195,1 Pt 78	197,0 Au 79	200,6 Hg 80	204,4 Tl 81	207,2 Pb 82	209,0 Bi 83	209,0 Po 84	210,0 At 85	222,0 Rn 86
223,0 Fr 87	226,0 Ra 88	262,0 Lr 103	261,1 Rf 104	262,1 Db 105	266,1 Sg 106	264,1 Bh 107	269,1 Hs 108	268,1 Mt 109	273,1 Ds 110	272,1 Rg 111							

- Wasserstoff
- radioaktiv
- Erdalkalimetalle
- Metalle
- Halbmetalle
- Edelgase
- Nichtmetalle
- Alkalimetalle

Atommasse in u (molare Masse)

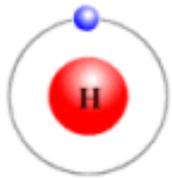
26,98

Al — Elementsymbol

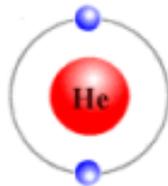
13

Ordnungszahl

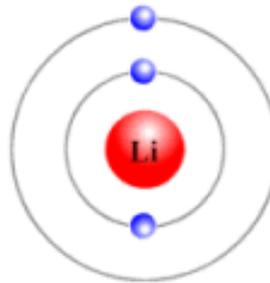
# Elektronenkonfigurationen und Bindungsverhältnisse



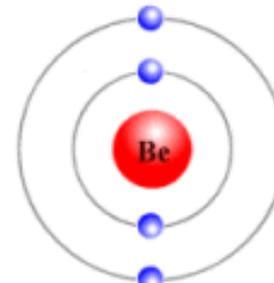
Hydrogen



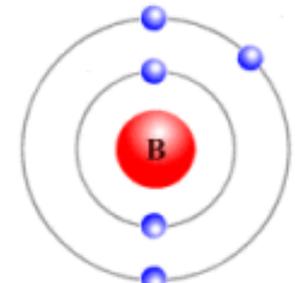
Helium



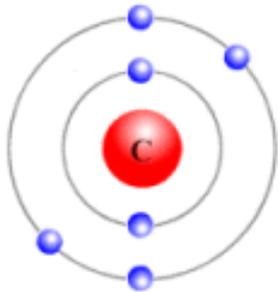
Lithium



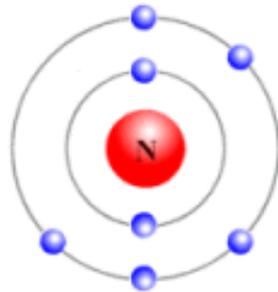
Beryllium



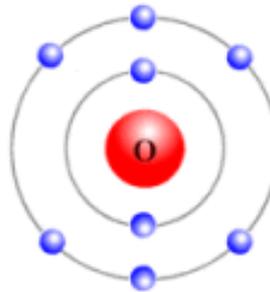
Boron



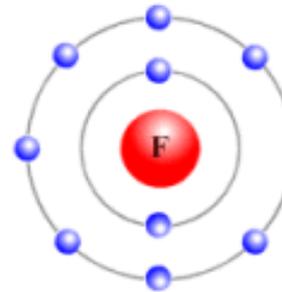
Carbon



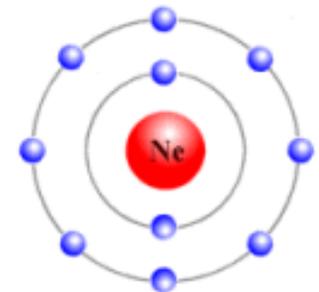
Nitrogen



Oxygen



Fluorine



Neon

# Bohrsches Atommodell

Es gibt vier Quantenzahlen, die die  
Elektronenkonfiguration festlegen:

Hauptquantenzahl  $n$ : K, L, M, ... oder  $n = 1, 2, 3, \dots$

Bahndrehimpuls  $l$ : s, p, d, ...; von 0 bis  $n-1$

Magnetquantenzahl  $m_l$ :  $-l \dots +l$ ; entspricht der  
Orientierung des Bahndrehimpulses

Spinquantenzahl  $m_s$ :  $+1/2$  und  $-1/2$  (Pauli's Idee)

Beispiel Sauerstoff: K-Schale: zwei Elektronen

L-Schale: zwei s-Elektronen mit  $l = 0$

vier p-Elektronen mit  $l = 1$

# Weitere Beispiele

Edelgaskonfiguration:



2 s-Elektronen in der K-Schale

2 s-Elektronen in der L-Schale

6 p-Elektronen in der L-Schale

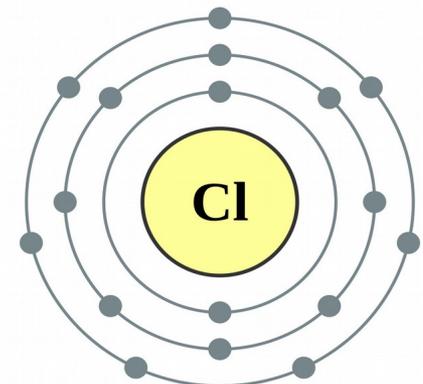
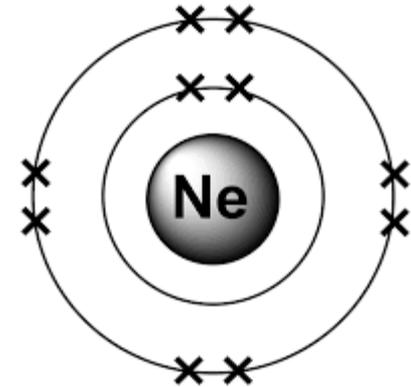
(drei Elektronen mit  $l = 1, 0, -1$ ;

Jedes davon mit Spin  $+1/2$  und  $-1/2$ )

Für Fortgeschrittene, Chlor :



Ein Elektron mehr und es wäre Argon!

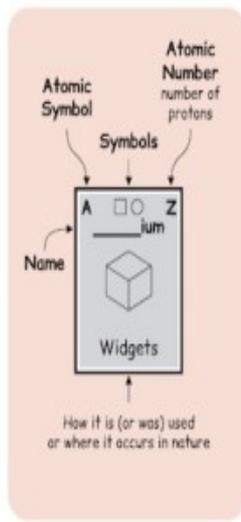


# The Periodic Table of the Elements, in Pictures

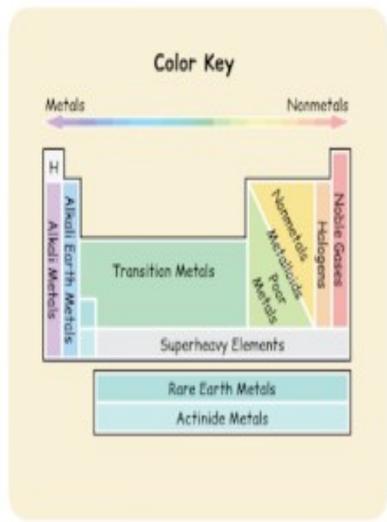
Periods  
↓

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7

Alkali Metals Group 1	H 1 Hydrogen Sun and Stars	He 2 Helium Balloons
Alkali Earth Metals Group 2	Li 3 Lithium Batteries	Be 4 Beryllium Emeralds
	Na 11 Sodium Salt	Mg 12 Magnesium Chlorophyll
	K 19 Potassium Fruits and Vegetables	Ca 20 Calcium Shells and Bones
	Rb 37 Rubidium Global Navigation	Sr 38 Strontium Fireworks
	Cs 55 Cesium Atomic Clocks	Ba 56 Barium X-Ray Diagnosis
	Fr 87 Francium Laser	Ra 88 Radium Luminous



- Solid
- Liquid
- Gas at room temperature
- Human Body: top ten elements by weight
- Earth's Crust: top eight elements by weight
- Magnetic: ferromagnetic at room temperature
- Noble Metals: corrosion-resistant
- Radioactive: all isotopes are radioactive
- Only Traces Found in Nature: less than a millionth percent of earth's crust
- Never Found in Nature: only made by people



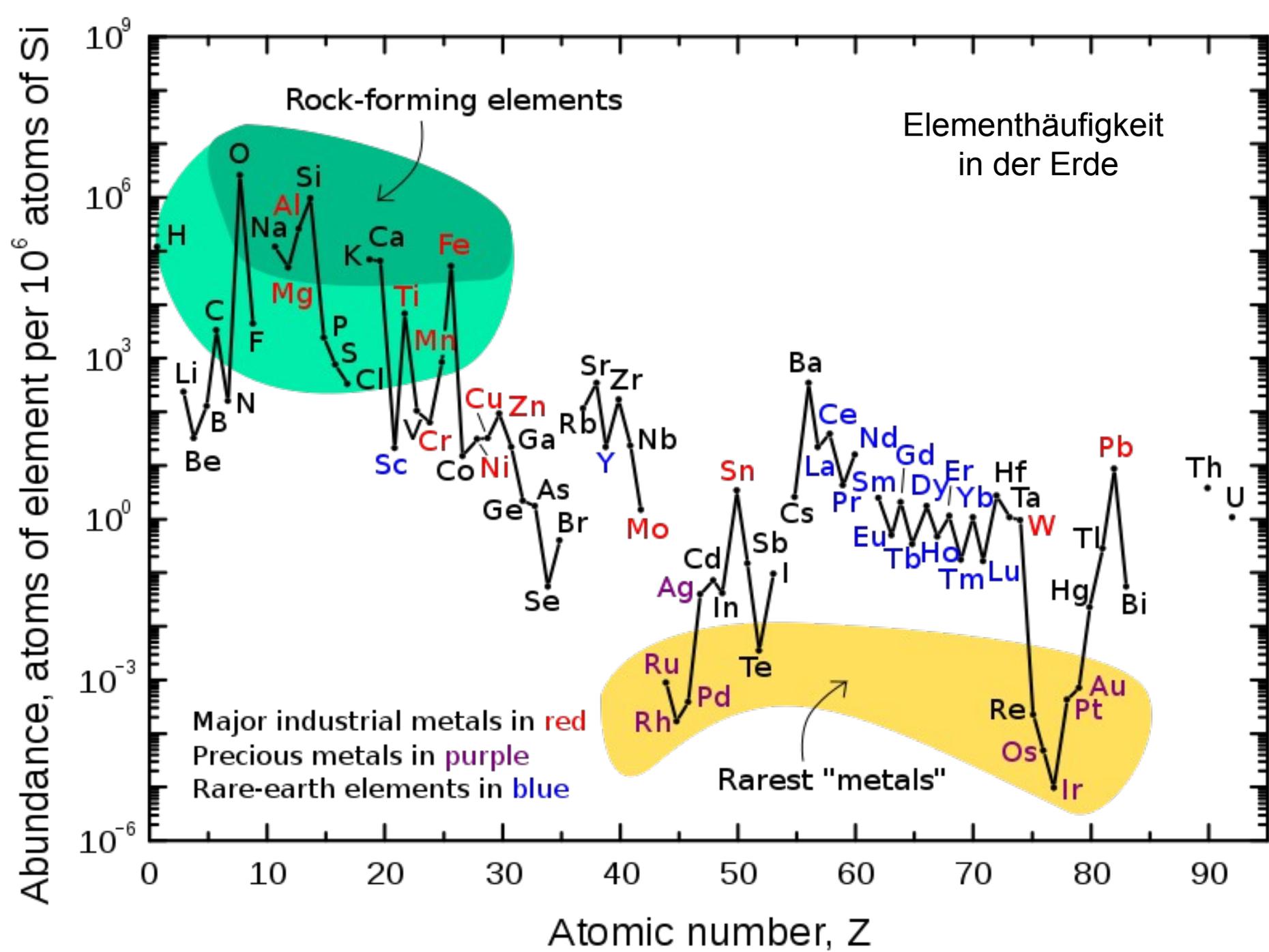
Transition Metals

3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

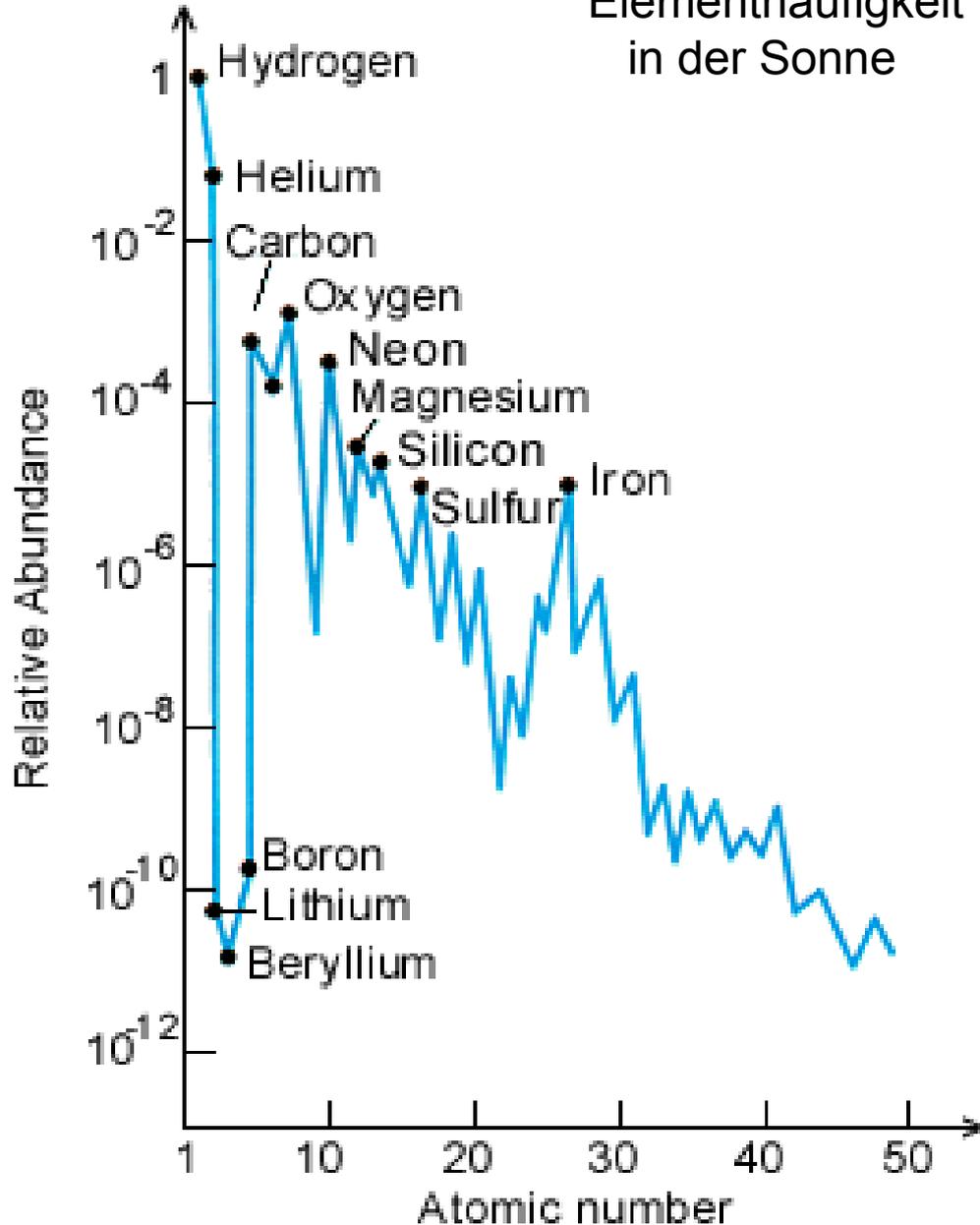
Boron Group 13	Carbon Group 14	Nitrogen Group 15	Oxygen Group 16	Halogens 17	Noble Gases 18
B 13 Boron Sports Equipment	C 14 Carbon Basis of Life's Molecules	N 15 Nitrogen Protein	O 16 Oxygen Air	F 17 Fluorine Toothpaste	Ne 18 Neon Advertising Signs
Al 13 Aluminum Airplanes	Si 14 Silicon Stone, Sand, and Soil	P 15 Phosphorus Bones	S 16 Sulfur Eggs	Cl 17 Chlorine Swimming Pools	Ar 18 Argon Light Bulbs
K 19 Potassium Fruits and Vegetables	Ca 20 Calcium Shells and Bones	Sc 21 Scandium Bicycles	Ti 22 Titanium Aerospace	V 23 Vanadium Springs	Cr 24 Chromium Stainless Steel
Mn 25 Manganese Earthmovers	Fe 26 Iron Steel Structures	Co 27 Cobalt Magnets	Ni 28 Nickel Coins	Cu 29 Copper Electric Wires	Zn 30 Zinc Brass Instruments
Ga 31 Gallium Light-Emitting Diodes (LEDs)	Ge 32 Germanium Semiconductor Electronics	As 33 Arsenic Poison	Se 34 Selenium Copiers	Br 35 Bromine Photography Film	Kr 36 Krypton Flashlights
Rb 37 Rubidium Global Navigation	Sr 38 Strontium Fireworks	Y 39 Yttrium Lasers	Zr 40 Zirconium Chemical Pipelines	Nb 41 Niobium Mag Lev Trains	Mo 42 Molybdenum Cutting Tools
Tc 43 Technetium Radioactive Diagnosis	Ru 44 Ruthenium Electric Switches	Rh 45 Rhodium Searchlight Reflectors	Pd 46 Palladium Pollution Control	Ag 47 Silver Jewelry	Cd 48 Cadmium Paint
In 49 Indium Liquid Crystal Displays (LCDs)	Sn 50 Tin Plated Food Cans	Sb 51 Antimony Car Batteries	Te 52 Tellurium Thermoelectric Coolers	I 53 Iodine Disinfectant	Xe 54 Xenon High-Intensity Lamps
Cs 55 Cesium Atomic Clocks	Ba 56 Barium X-Ray Diagnosis	57 - 71 Rare Earth Metals	Hf 72 Hafnium Nuclear Submarines	Ta 73 Tantalum Mobile Phones	W 74 Tungsten Lamp Filaments
Re 75 Rhenium Rocket Engines	Os 76 Osmium Pen Points	Ir 77 Iridium Spark Plugs	Pt 78 Platinum Labware	Au 79 Gold Jewelry	Hg 80 Mercury Thermometers
Tl 81 Thallium Low-Temperature Thermometers	Pb 82 Lead Weights	82 Bi Bismuth Fire Sprinklers	83 Po Polonium Anti-Static Brushes	84 At Astatine Radioactive Medicine	85 Rn Radon Surgical Implants
Fr 87 Francium Laser	Ra 88 Radium Luminous	89 - 103 Actinide Metals	Rf 104 Rutherfordium	Db 105 Dubnium	Sg 106 Seaborgium
Bh 107 Bohrium	Hs 108 Hassium	Mt 109 Meitnerium	Ds 110 Darmstadtium	Rg 111 Roentgenium	Cn 112 Copernicium
Nh 113 Nihonium	Fl 114 Flerovium	Mc 115 Moscovium	Lv 116 Livermorium	Ts 117 Tennessine	Og 118 Oganesson

Superheavy Elements

radioactive, never found in nature, no uses except atomic research



# Elementhäufigkeit in der Sonne



Bioelemente

Wasserstoff

Kohlenstoff

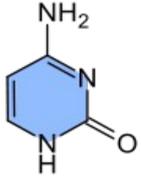
Stickstoff

Sauerstoff

+ ein paar

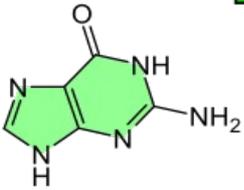
Mineralien

Cytosine



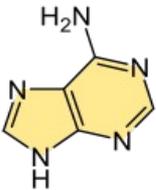
**C**

Guanine



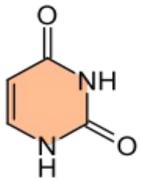
**G**

Adenine



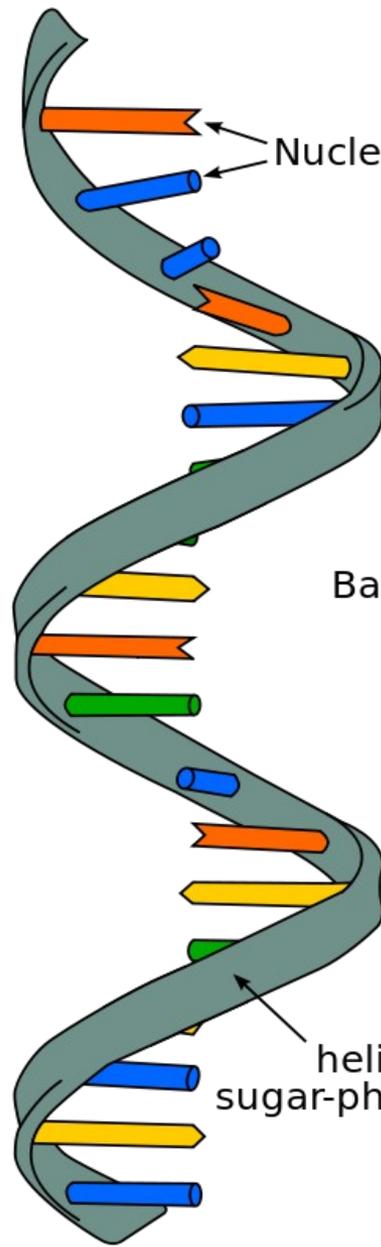
**A**

Uracil



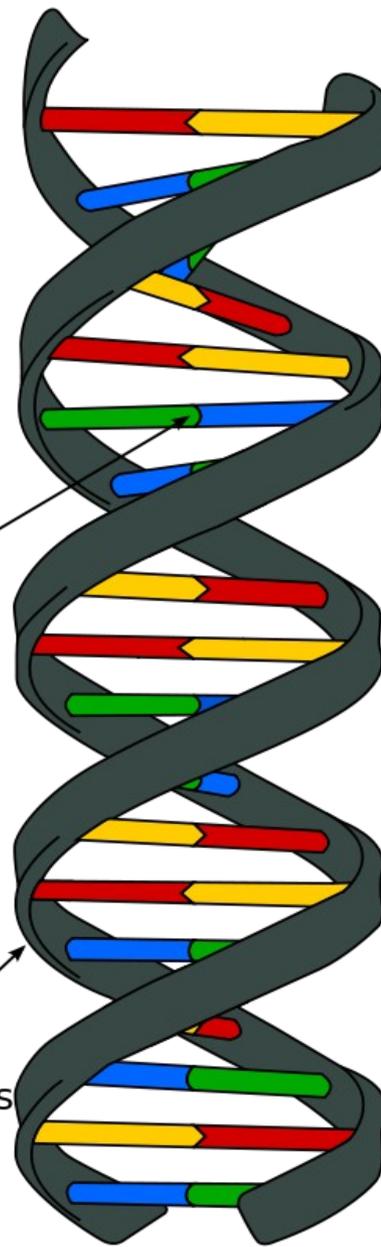
**U**

Nucleobases  
of RNA



**RNA**

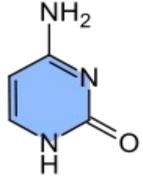
Ribonucleic acid



**DNA**

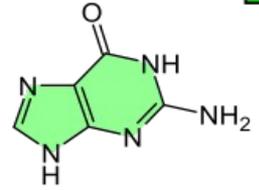
Deoxyribonucleic acid

Cytosine



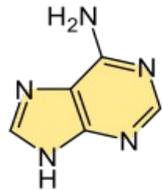
**C**

Guanine



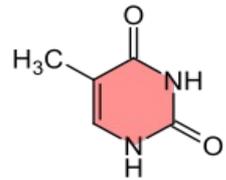
**G**

Adenine



**A**

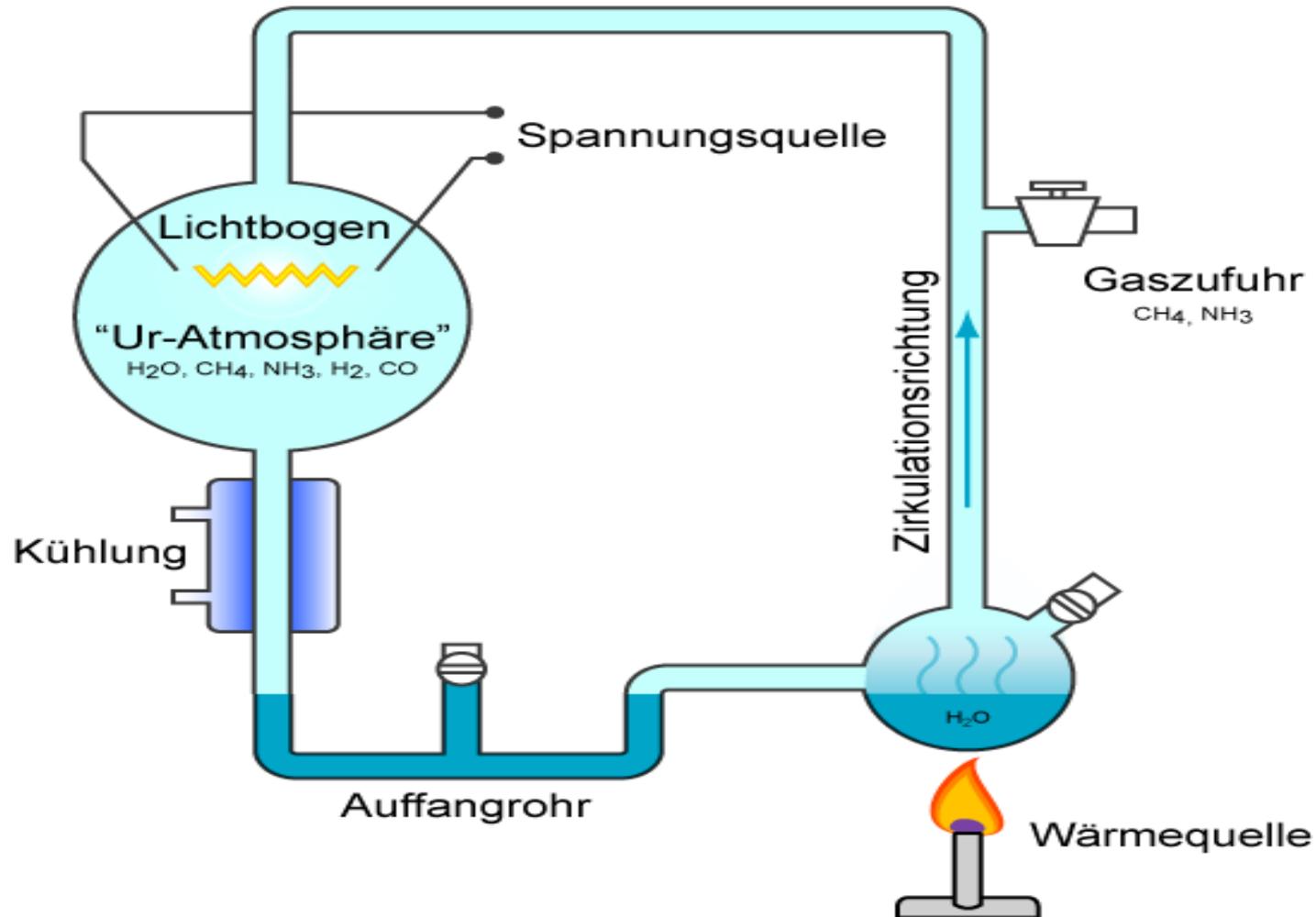
Thymine



**T**

Nucleobases  
of DNA

# Experiment von Miller und Urey 1953



# Ergebnisse des Miller-Urey Experiments

Versuchsdauer mehrere Tage: Köcheln und  
Blitzeinschläge

Teerablagerungen, Farbänderungen des Wassers

Kohlenmonoxid

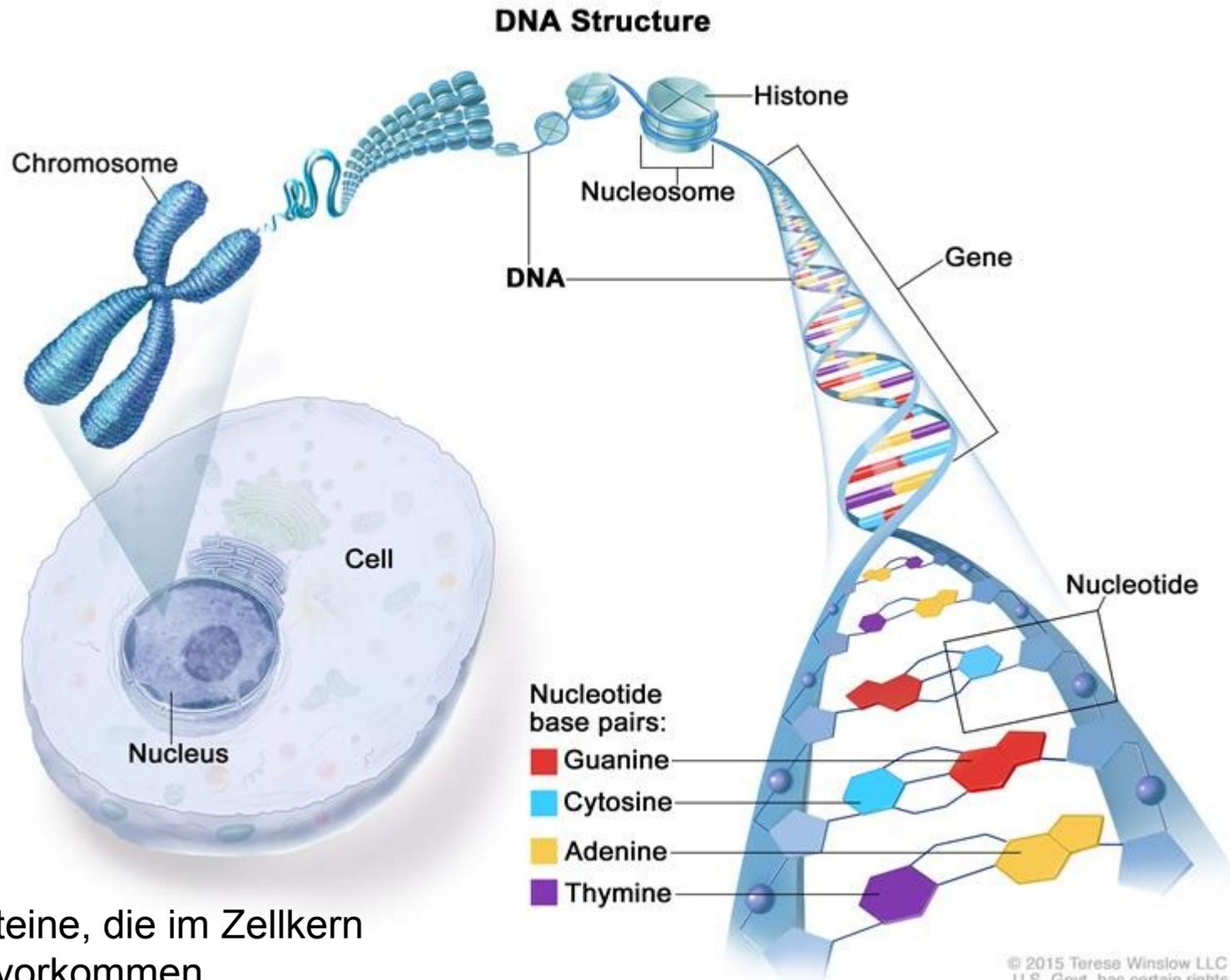
Molekularer Stickstoff

Organische Moleküle

Aminosäuren (Glycin und Alanin)

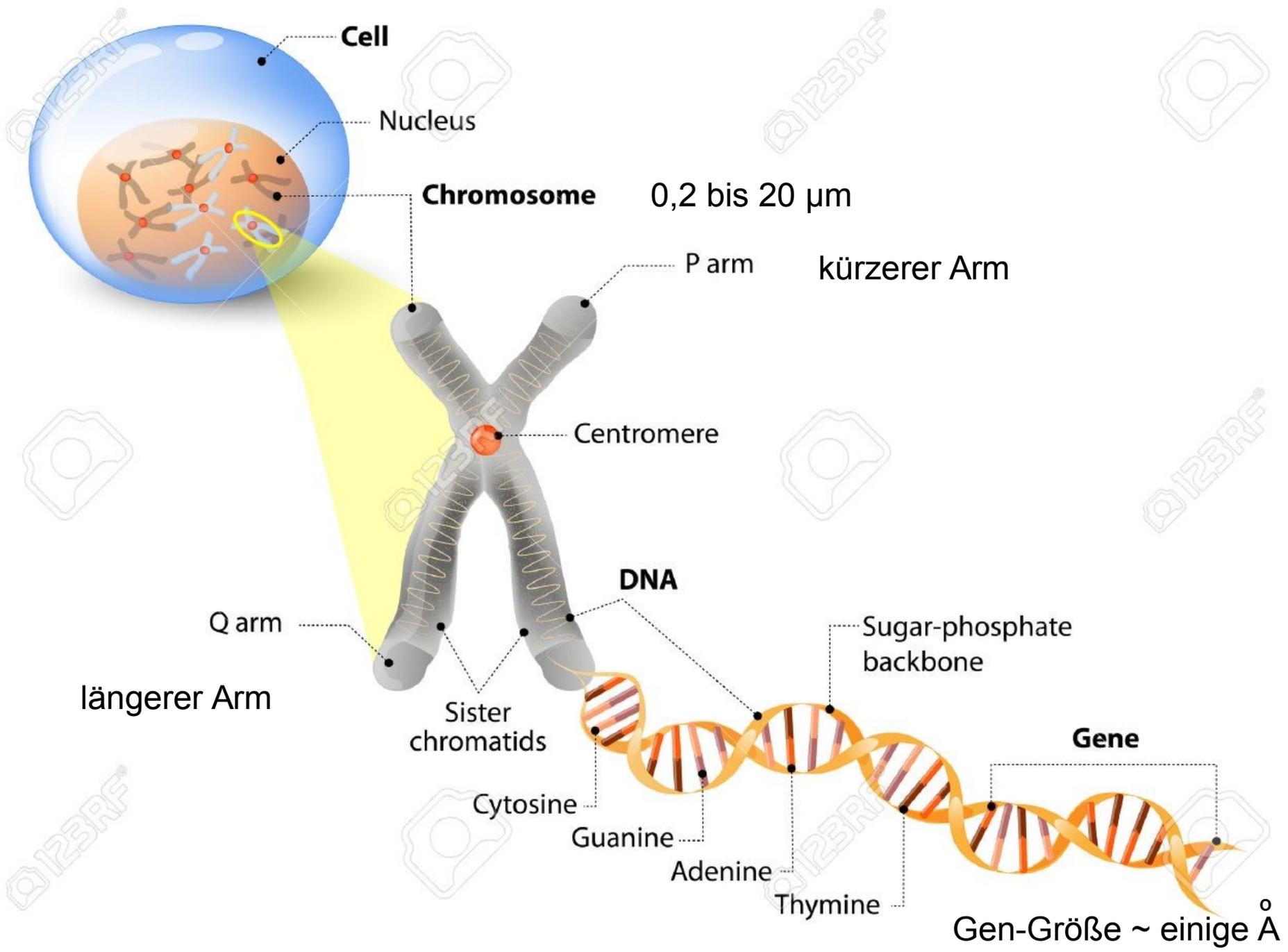
2 % feste Rückstände

# Was fehlt?



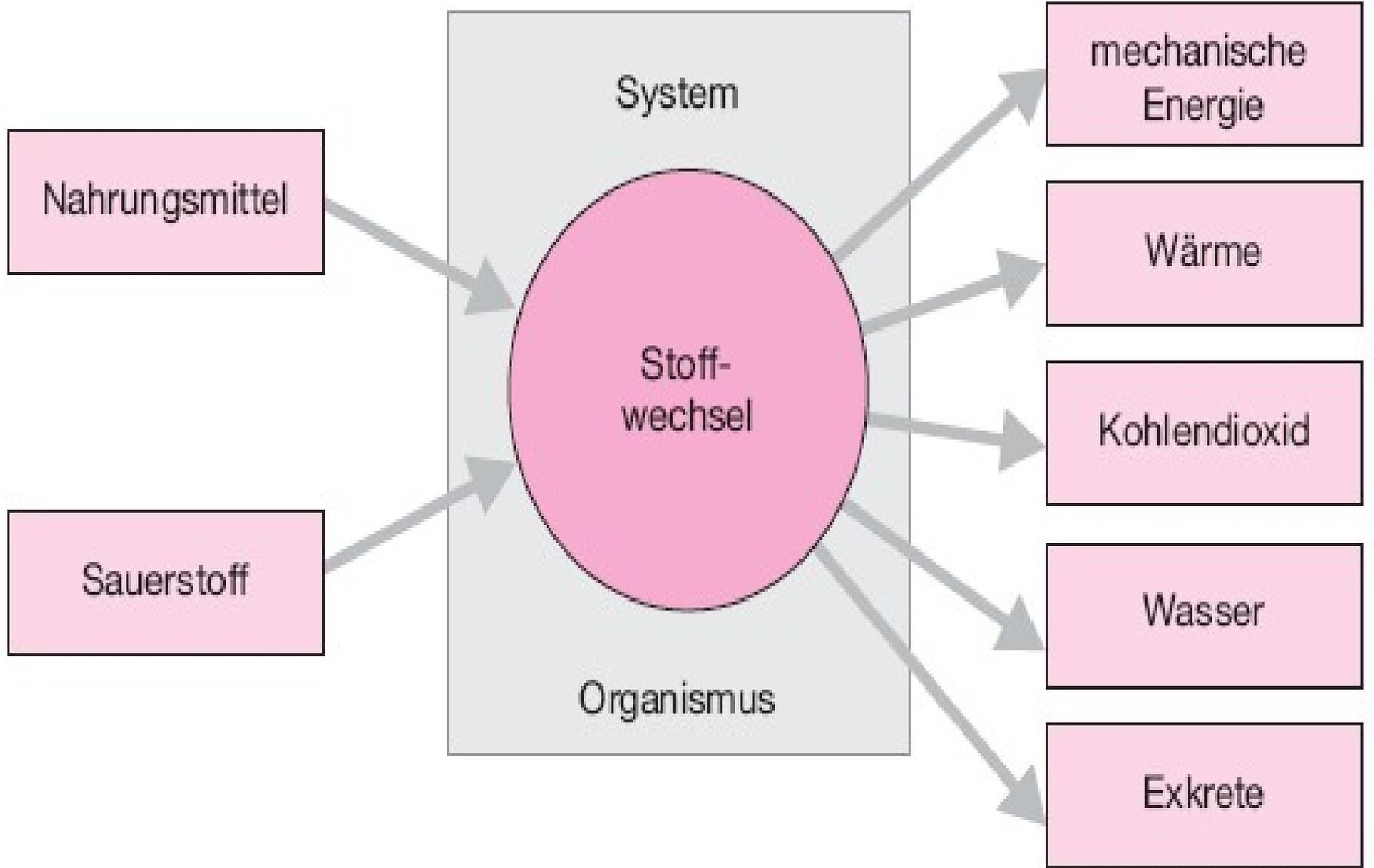
Gene  
Stoffwechsel  
Replikation  
Mutationen  
Evolution

Histone sind Proteine, die im Zellkern  
Von Eukaryoten vorkommen

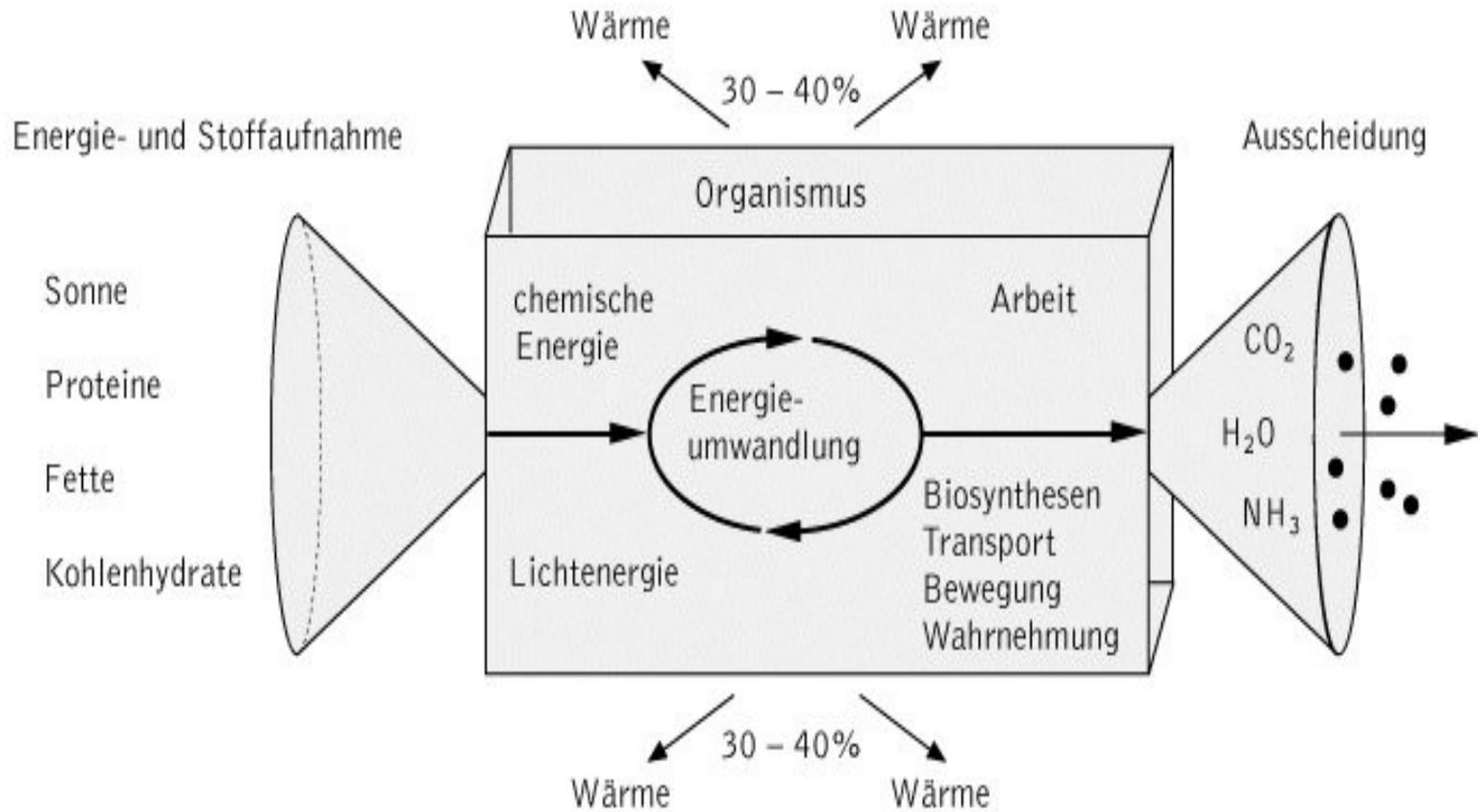


# Input

# Output



# Stoffwechsel



# Bausteine vom Himmel



# Bombardement in der Frühphase der Erde



# Meteoriteneinschläge



# Was bringen die Meteoriten?

Nukleinbasen: Adenin, Guanin und Uracil

Aminosäuren im Innern der Meteoriten

Sie entstehen aus den einfachen Molekülen

Cyanwasserstoff (Blausäure HCN), Kohlendioxid  
und Ammoniak in Anwesenheit von Wasser

Alle diese Stoffe sind in Staubscheiben

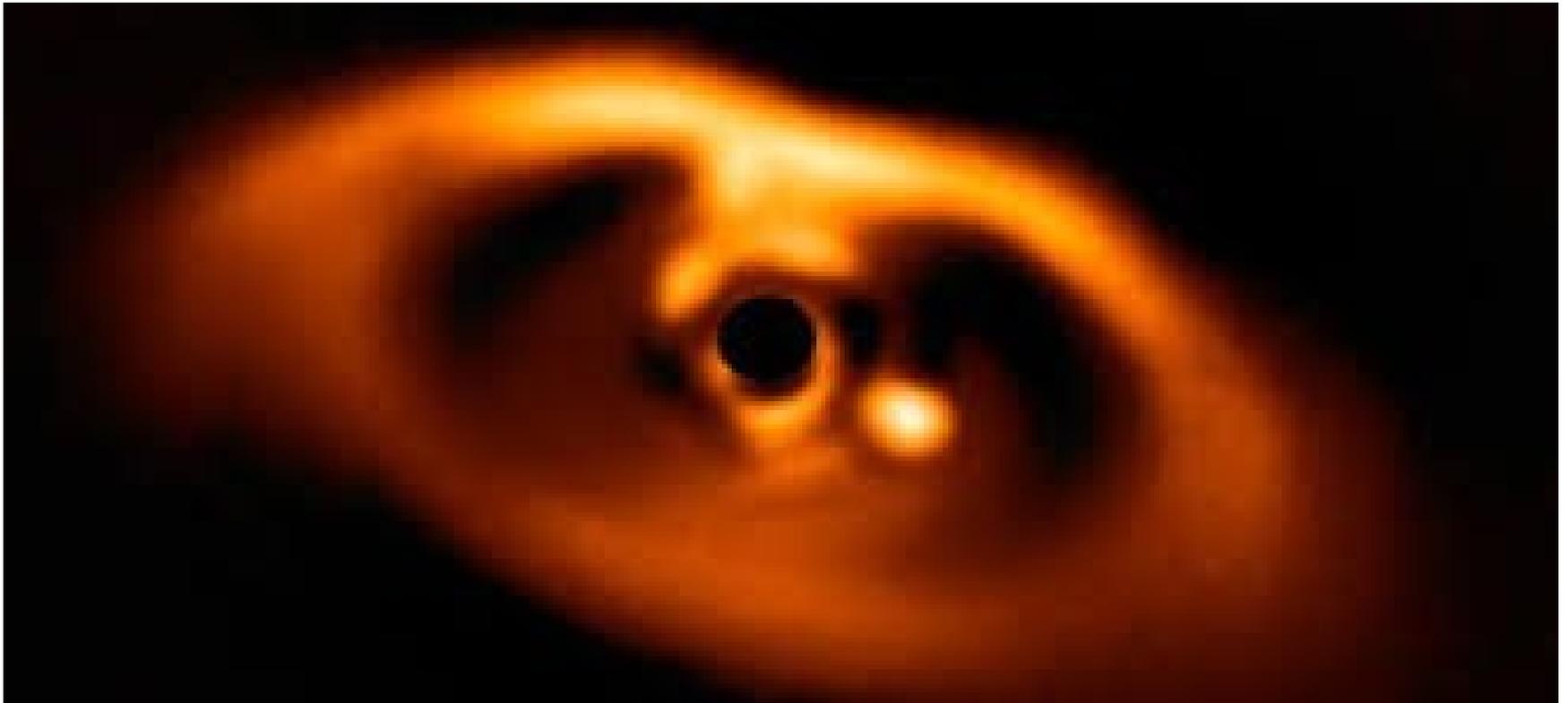
vorhanden, in denen Planeten entstehen.

Sie waren also auch in der protoplanetaren

Wolke bei der Bildung des Sonnensystems dabei.

# Planetengeburt

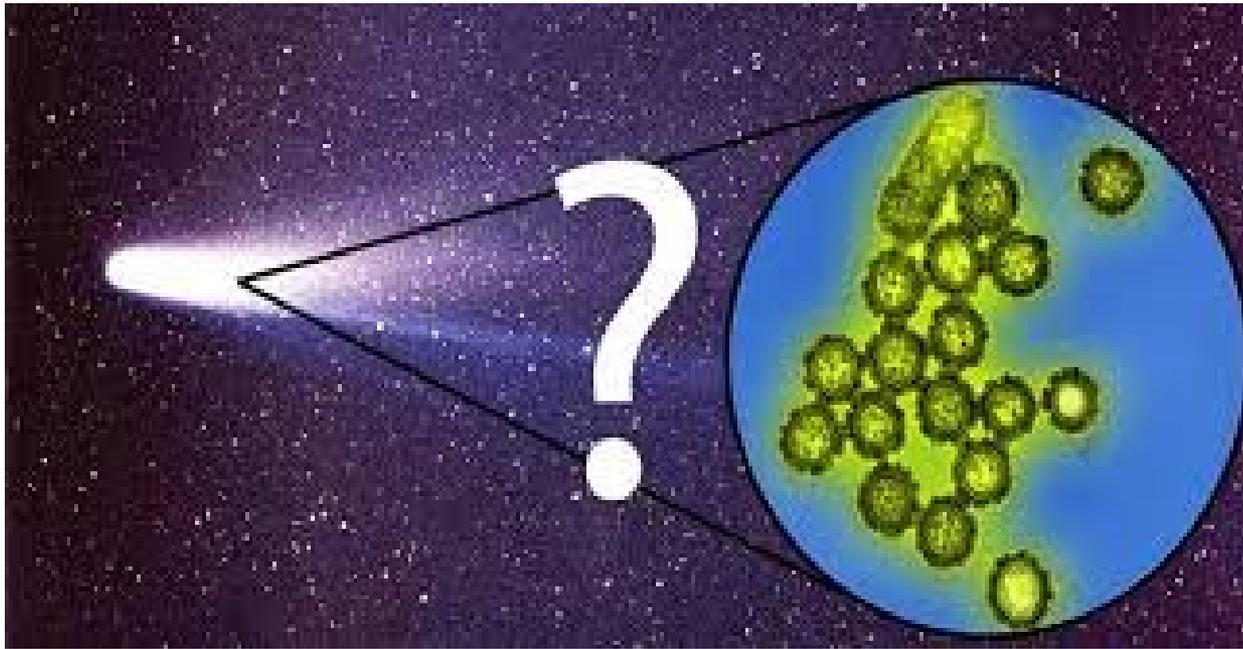
Ein neugeborener Planet PDS 70 b in 370 LJ Entfernung.  
Entstehung in der protoplanetaren Scheibe um einen Stern, der mit einer koronaren Maske ausgeblendet ist (Juli 2018 entdeckt).



# Planetenentstehung

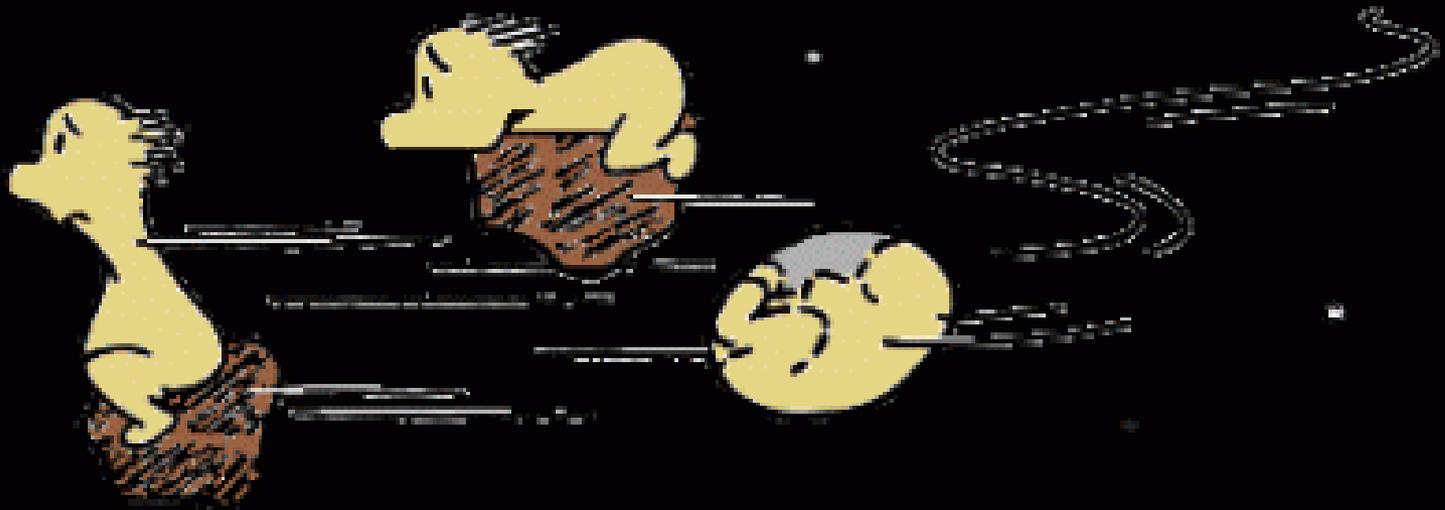
In der Frühphase der Erde war sie einem starken Bombardement von Meteoriten ausgesetzt. Diese kosmischen Geschosse brachten sowohl Wasser als auch organische Moleküle auf die Erde.

# Kam auch Leben mit den Meteoriten?



Einige Lebensformen (Extremophile) können extreme Umweltbedingungen (Druck, Temperatur, UV-Strahlung, ionisierende Strahlung, ohne Sauerstoff, ...) lange Zeiten überstehen! e.g. Tardigraden

Planet voraus! - Landeklappen ausfahren! - - -  
Verdammt noch mal, wo sind die Landeklappen?!!



Nach der Panspermie-Hypothese verbreiten Mikroben das Leben im All, indem sie mit Meteoriten durch den Weltraum reisen. Vorerst ist es nur eine Hypothese.

# Wechselwirkung der organischen Moleküle

Die Biomoleküle waren zahlreichen

Angriffen ausgesetzt:

Elektrolyse

intensive UV Strahlung

in Tümpeln mit Regen und Austrocknung

große Temperaturunterschiede

Blitze, Druckwellen

Nun mussten sich daraus RNA-Moleküle

synthetisieren. (Dichte ist dabei entscheidend)

# Killifische

## Seltene Fortpflanzungs-Weltmeister

Killifische sind in Pfützen in der afrikanischen Savanne beheimatet – nicht gerade ideal für ein langes Leben. Daran haben sie sich aber angepasst. Sie führen ein eigenartiges Leben. Den größten Teil ihres Daseins verbringen sie in ausgetrockneten Mulden der afrikanischen Savanne. Dort warten sie in Eiern als Embryonen auf den nächsten Regen, umgeben von einer Schutzhülle, um die lange Trockenheit auszuhalten. Füllen sich die Mulden mit Regenwasser, schlüpfen die Fische und wachsen innerhalb kürzester Zeit heran, um selbst Nachkommen zu produzieren. Die wieder als Embryonen auf den nächsten Regen warten.



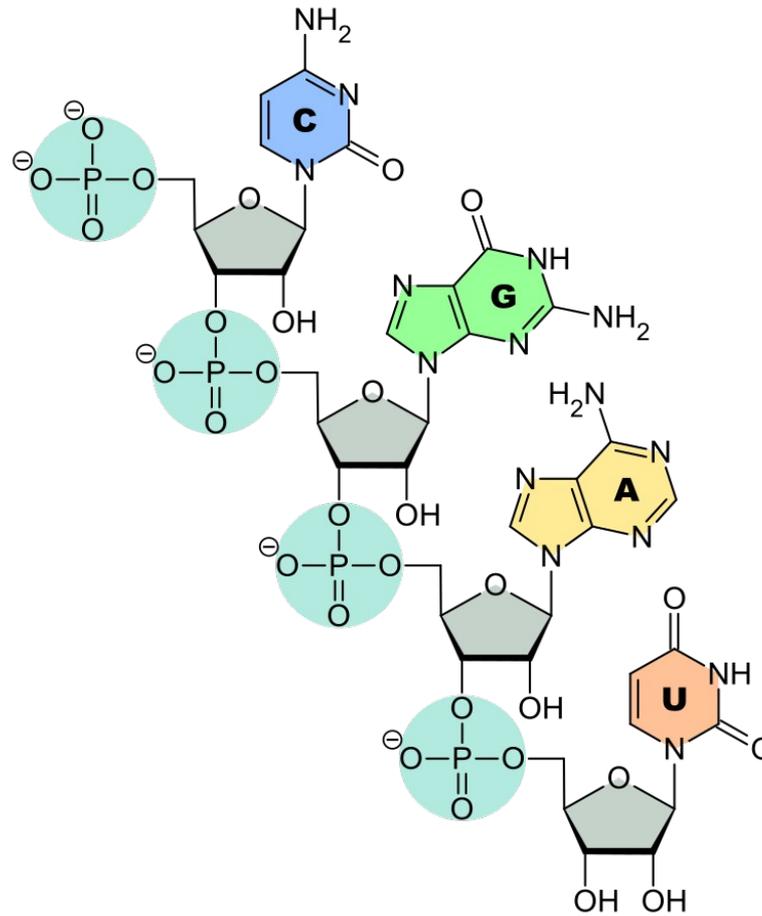
3 – 6 cm; Lebensdauer: ~ 14 Tage

# RNA-Welt

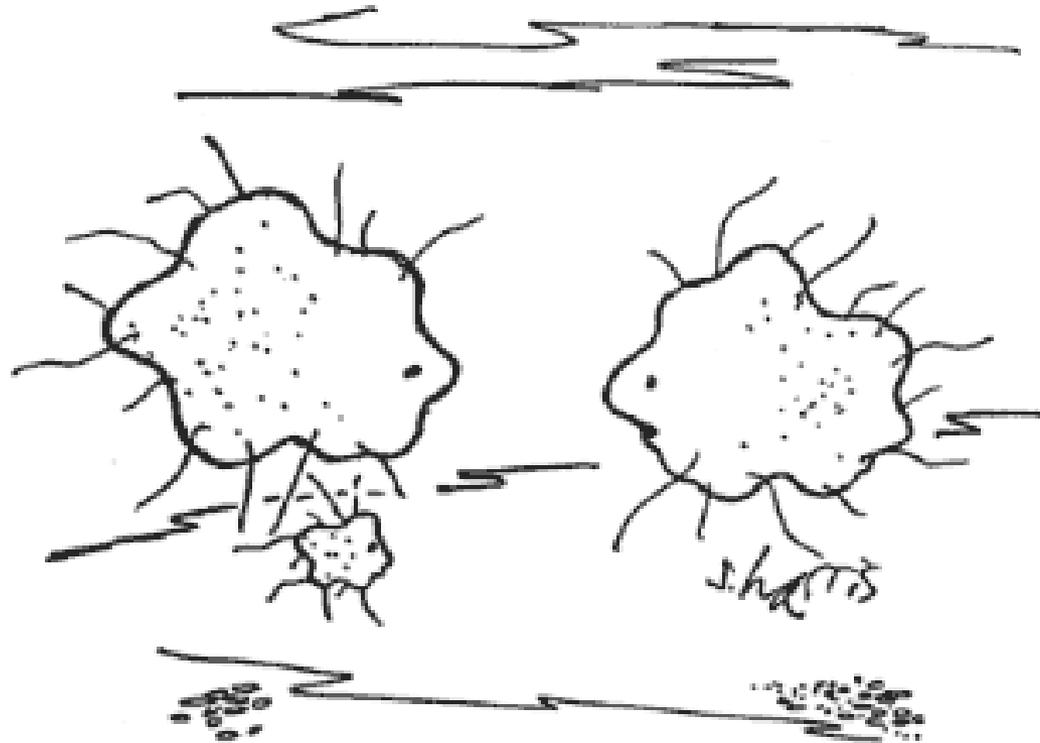
Die Nukleotide hatten 200 bis 300 Millionen Jahre Zeit, sich zu RNA-Molekülen zu synthetisieren.

Aber die Nukleobasen sind nur ein erster Schritt. Die Meteoritenpartikel im Nanometerbereich könnten als Katalysator für die RNA-Synthese gewirkt haben.

# RNA-Synthese



# Hauptproblem: Replikation



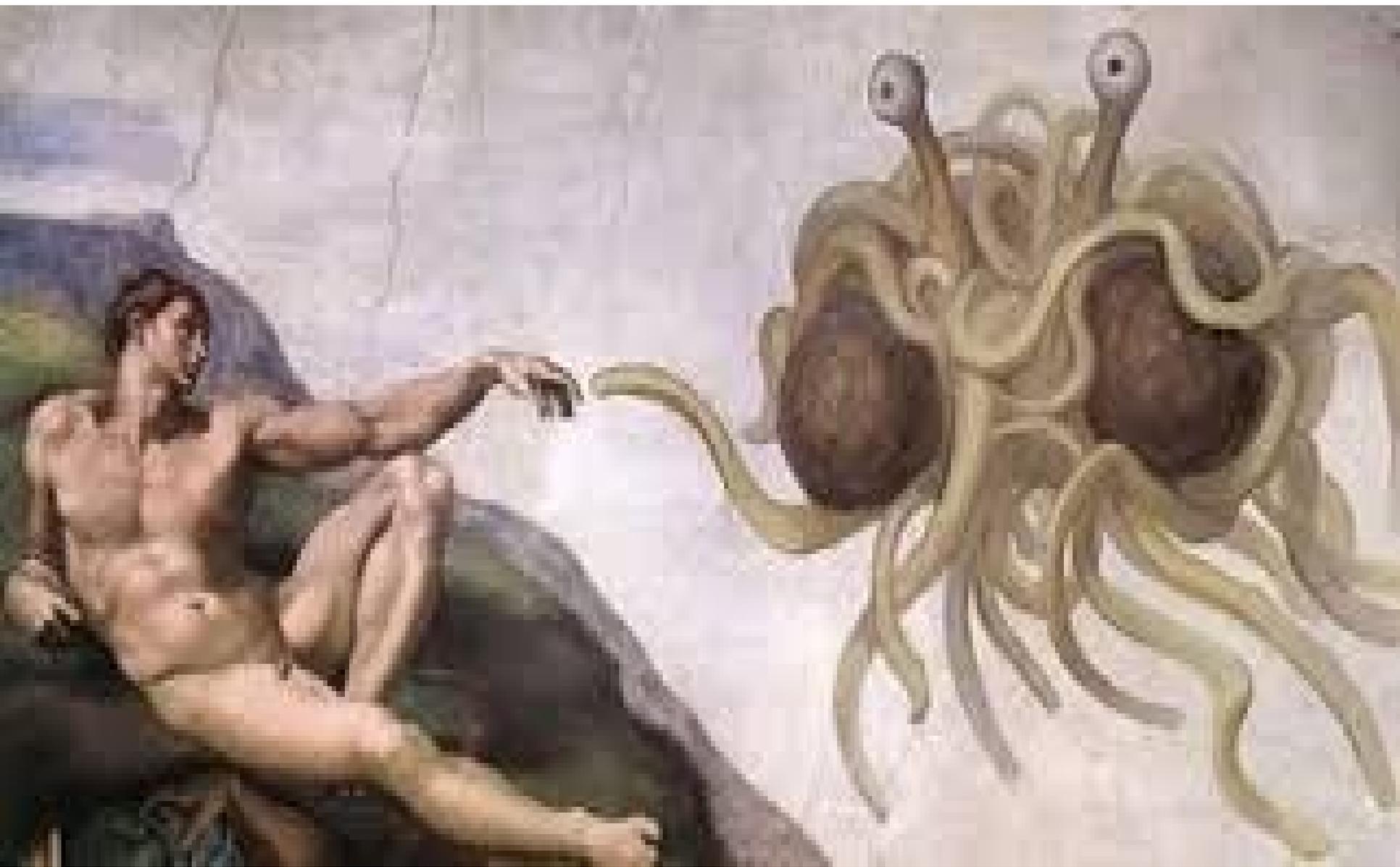
Er sieht Dir ähnlich, aber er sieht auch mir ähnlich!

# Zusammenfassung Panspermie

Frage: wird das Leben zwangsläufig entstehen, wenn die Bedingungen stimmen?

Wird die chemische Struktur von möglichem extraterrestrischen Leben unserem Leben stark ähneln?

Falls Panspermie für das Leben verantwortlich ist, dann wird es im Universum vor Leben nur so wimmeln.



# Elixiere aus der Ursuppe

Vor 4,5 Milliarden Jahren war die Erde ein sehr unwirtlicher Ort:

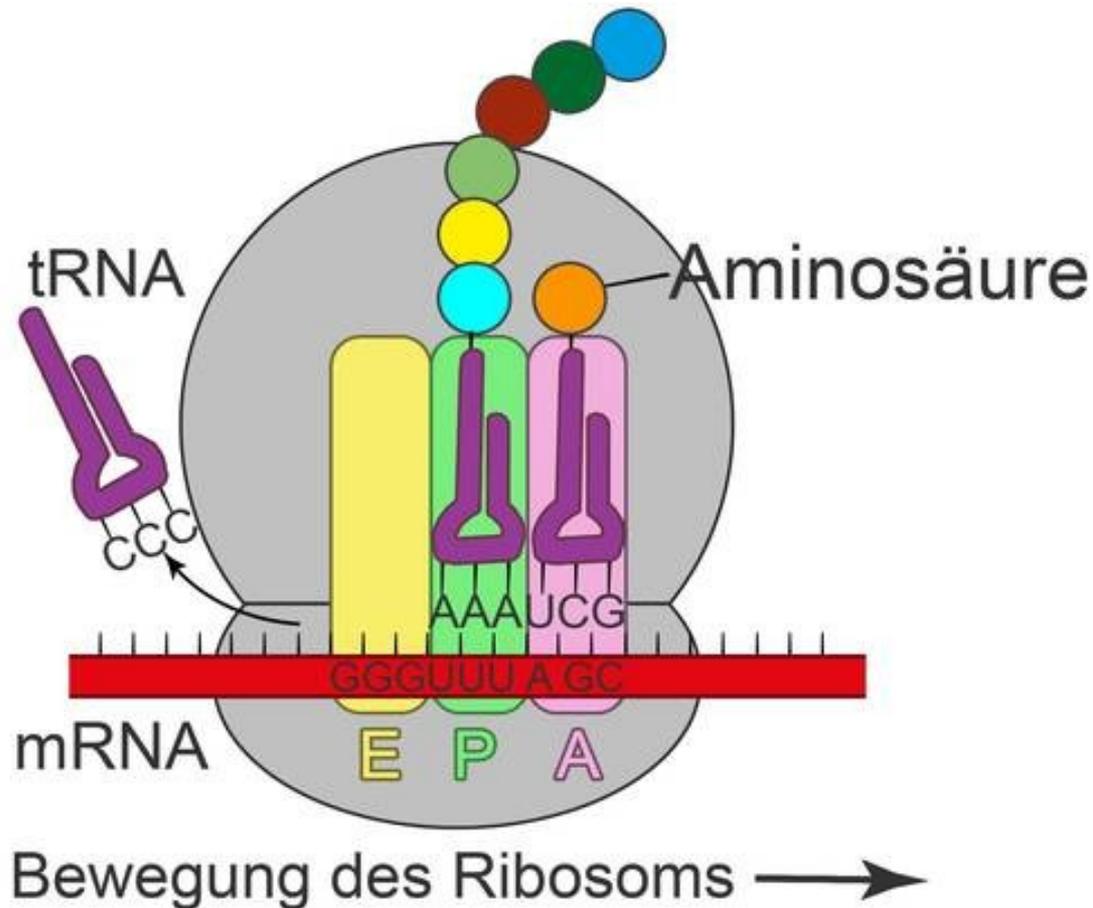
Oberfläche: ein glühendes Lavameer

Atmosphäre: Kohlendioxid, Ammoniak,  
Methan

Welche Bestandteile benötigt man?

z. B. Ribosome

# Ribosome



tRNA – Transfer RNA  
Kurze Ribonukleinsäuren-  
Kette

mRNA – Boten RNA  
(Messenger RNA)

Basiselemente:  
Adenin, Uracil, Guanin,  
Cystenin

EPA – Stellen nach der  
Alpha-Epsilon Theorie

Elektronenpaar-  
Abstoßungsmodell

# Ribosome

Ribosome nutzen als molekulare Maschine die Erbinformation der Zelle als Vorlage und setzen Aminosäuren in der richtigen Reihenfolge zu Proteinen zusammen.

Man braucht einen einfachen Stoffwechsel, Energie zu seinem Erhalt und seiner Vermehrung. Man braucht auch eine Zellhülle; ev. Fettmoleküle als Zellmembranen.

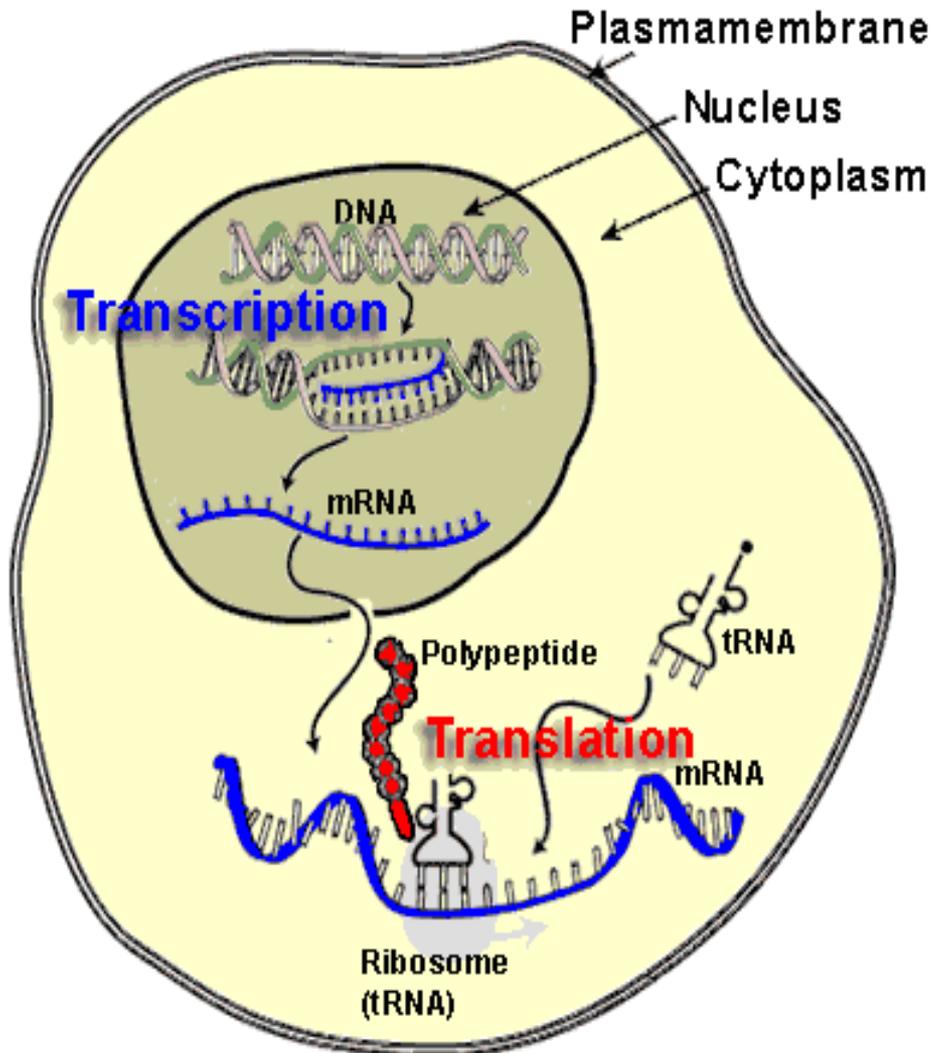
# Bio-Elixier

RNA hat am Anfang des Lebens eine zentrale Aufgabe als Informationsspeicher und Biokatalysator übernommen, aber wahrscheinlich war sie nie allein, sondern wurde von anderen Biomolekülen unterstützt.

Wichtig waren auch die Umweltbedingungen. Man traut den Ribosomen auch die Fähigkeit zur Selbstreplikation zu\*.

\*Highly Efficient Self-Replicating RNA – Enzymes M.P. Robertson et al.  
Cell Chemical Biology 2014

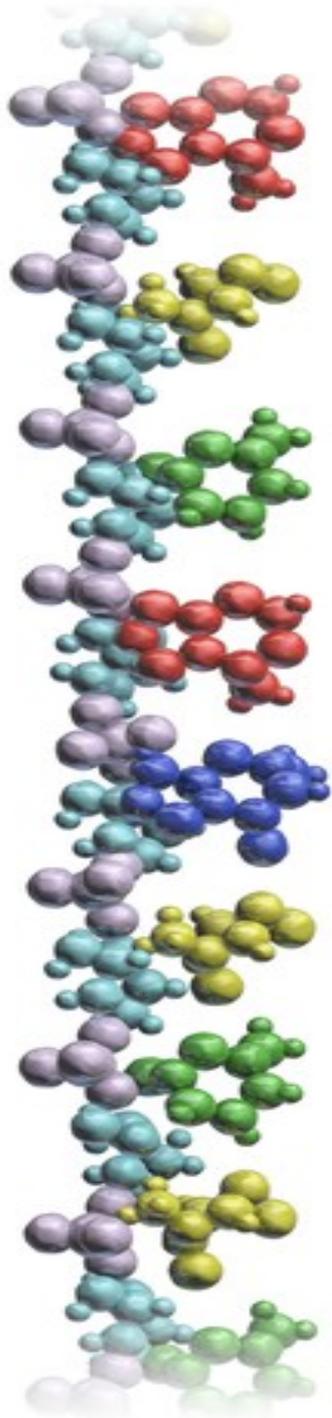
# Was braucht eine Zelle?



einen Zellkern, RNA und DNA  
eine Zellhülle  
(meist aus Fettmolekülen)

Hoffnung auf  
Selbstorganisation

Die RNA enthält den  
genetischen Code und  
katalysiert die Translation  
dieses Codes in Proteine.



Adenin

Cytosin

Uracil

Adenin

Guanin

Cytosin

Uracil

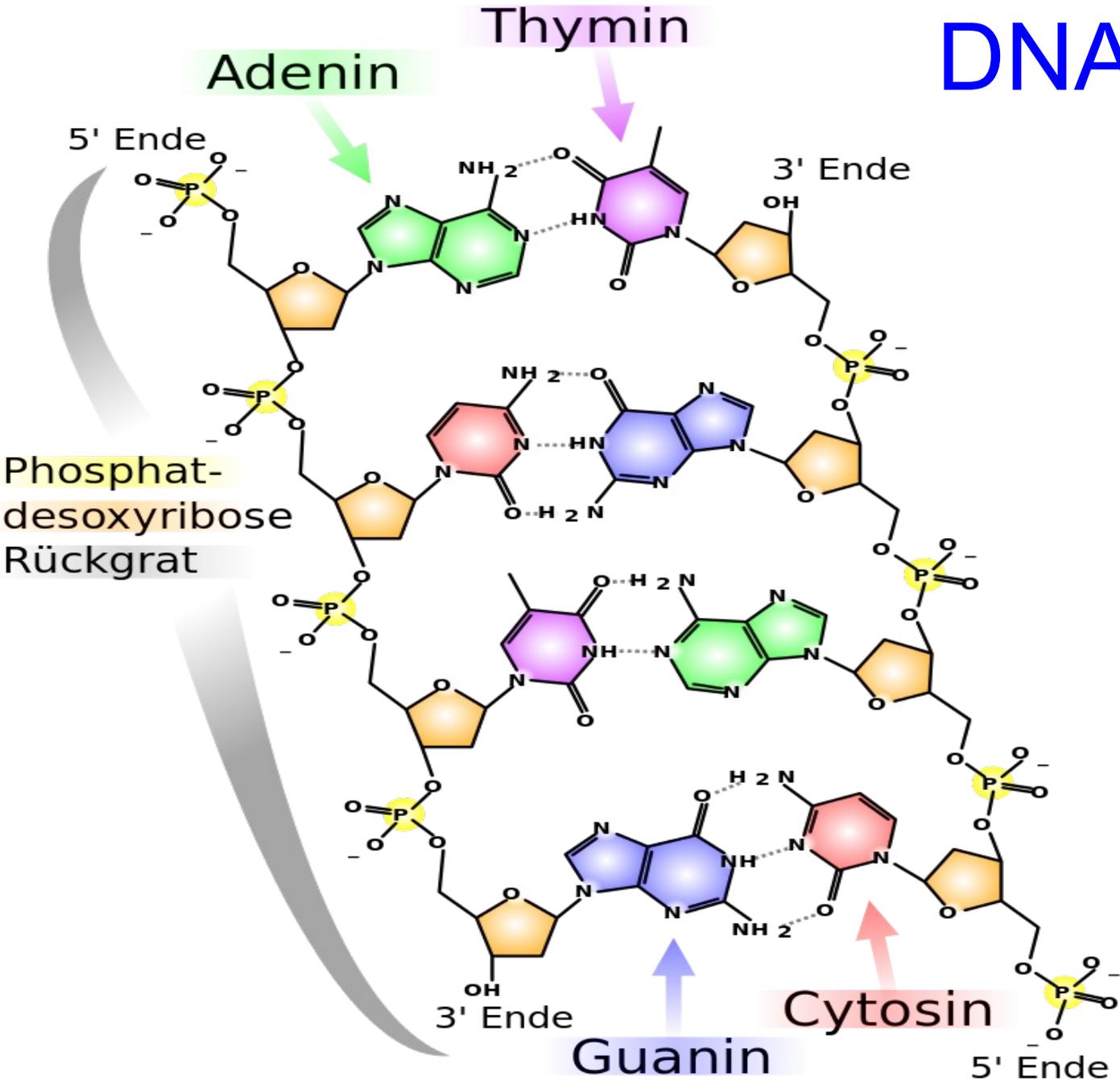
Cytosin

# RNA Struktur

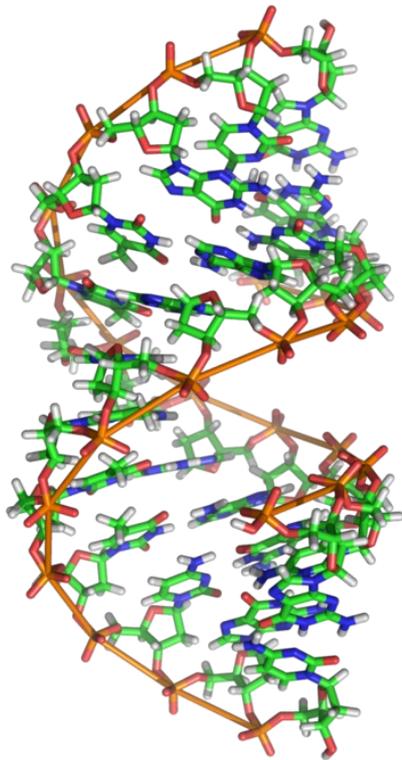
Ausschnitt aus einer RNA-Kette  
Die RNA ist ein einzelsträngiges Makromolekül bestehend aus vier verschiedenen Stickstoffbasen, einem Zucker und einem Phosphatrest.

Die RNA ist dafür zuständig, die Bauanleitung für die Proteine von der DNA im Zellkern an die Ribosomen zu übermitteln. Ribosomen sind makromolekulare Komplexe aus RNA.

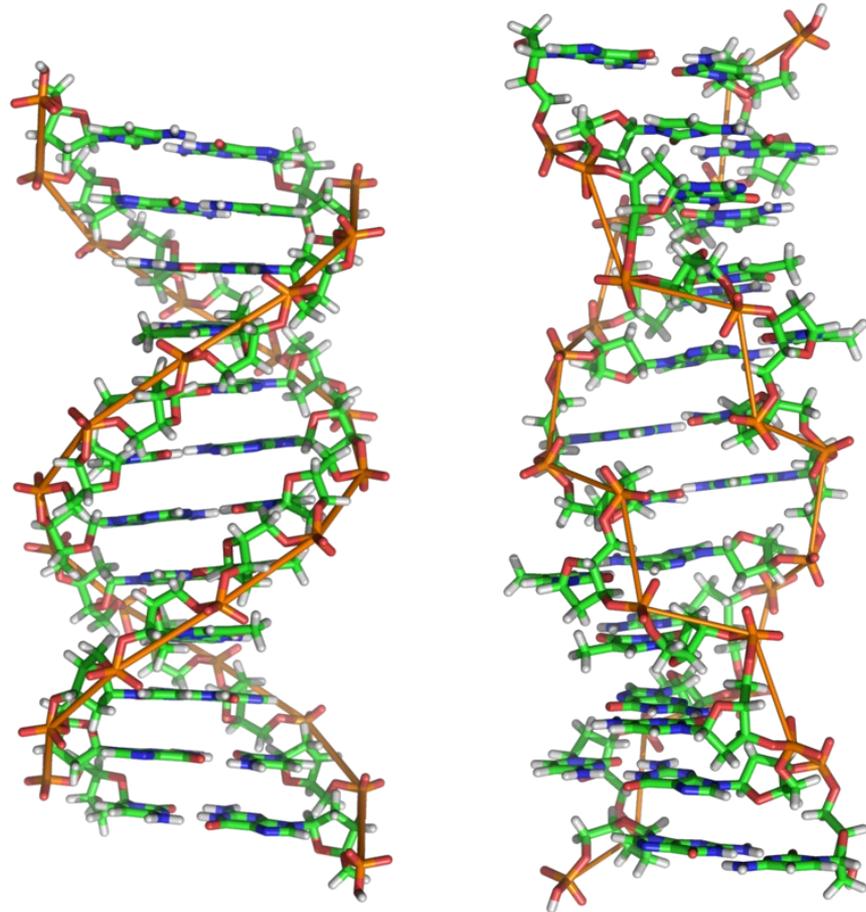
# DNA Struktur



# DNA Struktur

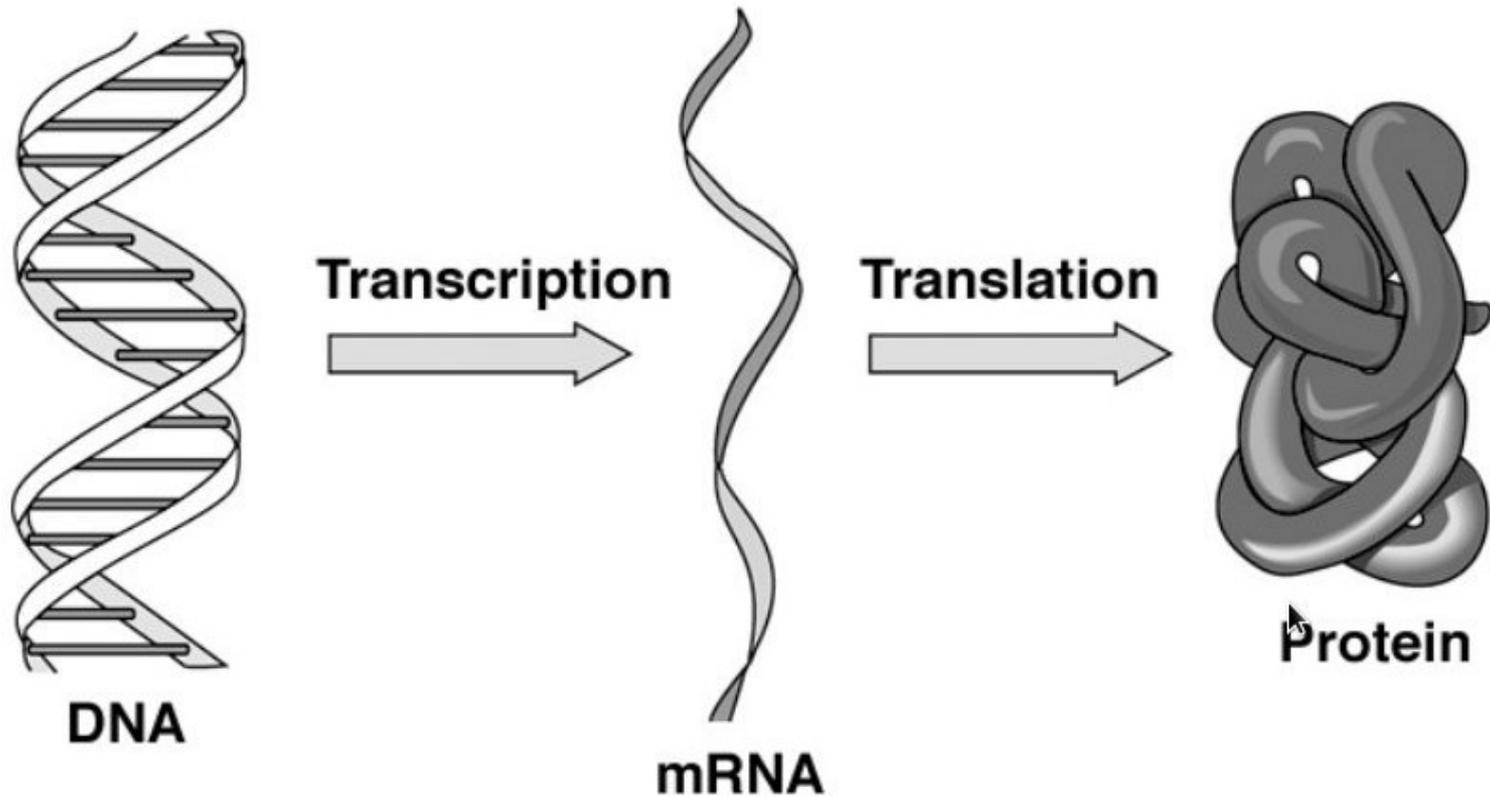


→ ~ 0,5 nm ←



**Entstehung der DNA?  
Selbstreplikation?**

# DNA → RNA → Proteine



Die kompliziert gefalteten Proteine sind zu komplex um durch abiotische Vorgänge entstanden zu sein.

# Extremophile

Kryophile

Thermophile/Hyperthermophile

Halophile      salzliebend

Acidophile    säureliebend

Alkaliphile    laugenliebend

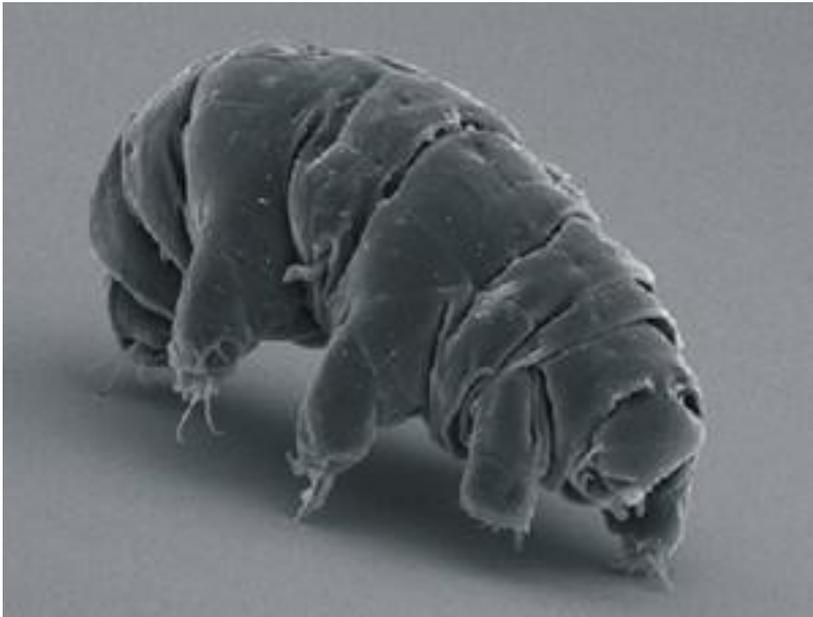
Piezophile    druckliebend

Radiophile    strahlungsliebend

Polyextremophile    können alles ab

# Beispiele

## Kryophile



Bärtierchen, Tardigraden

Alleskönner: Sind praktisch nicht totzukriegen.

Wenn keine Nahrung vorliegt, verwandeln sie sich in ein Tönnchen:

Kryptobiose:

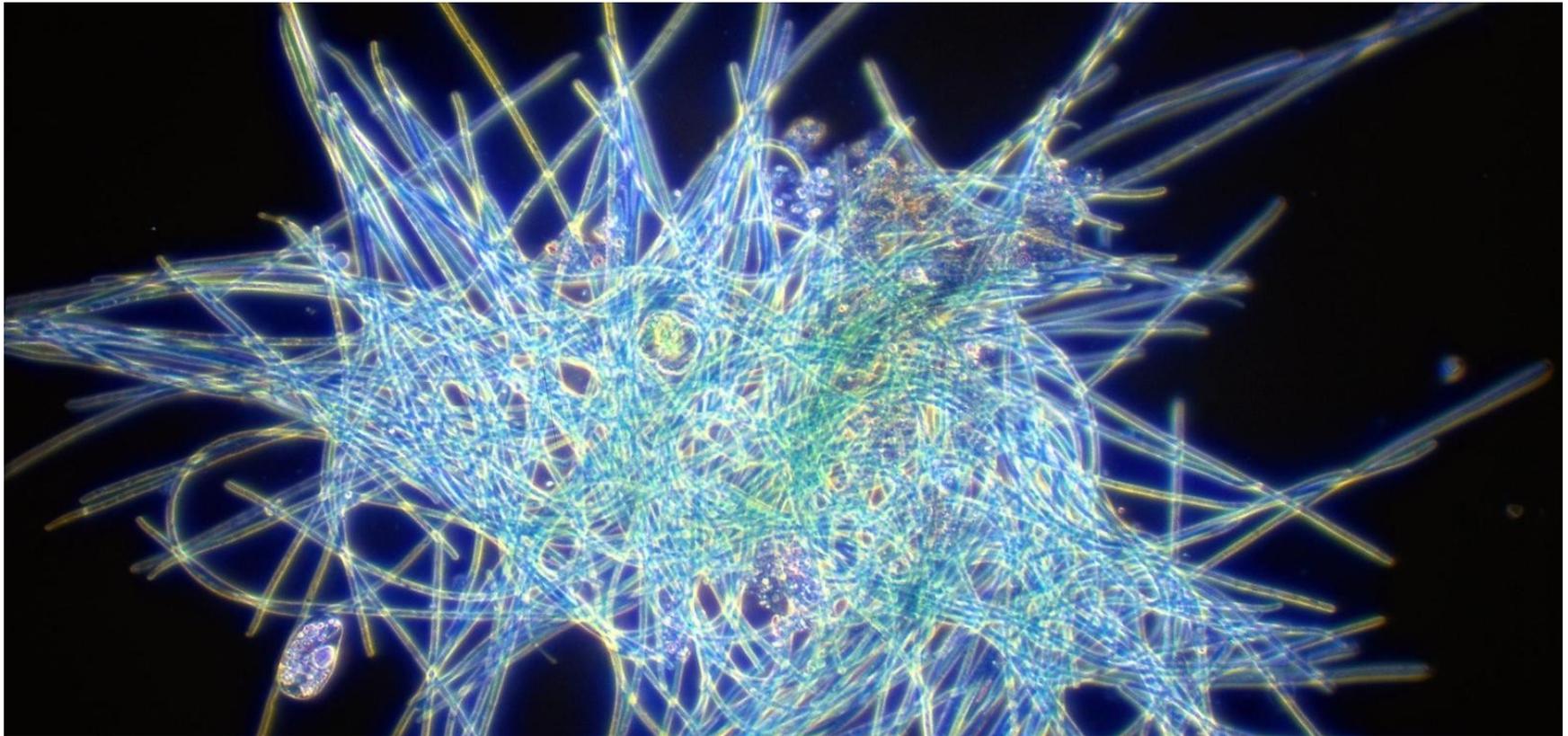
Gefriertruhe bei  $-100^{\circ}$

Ohne Nahrung.

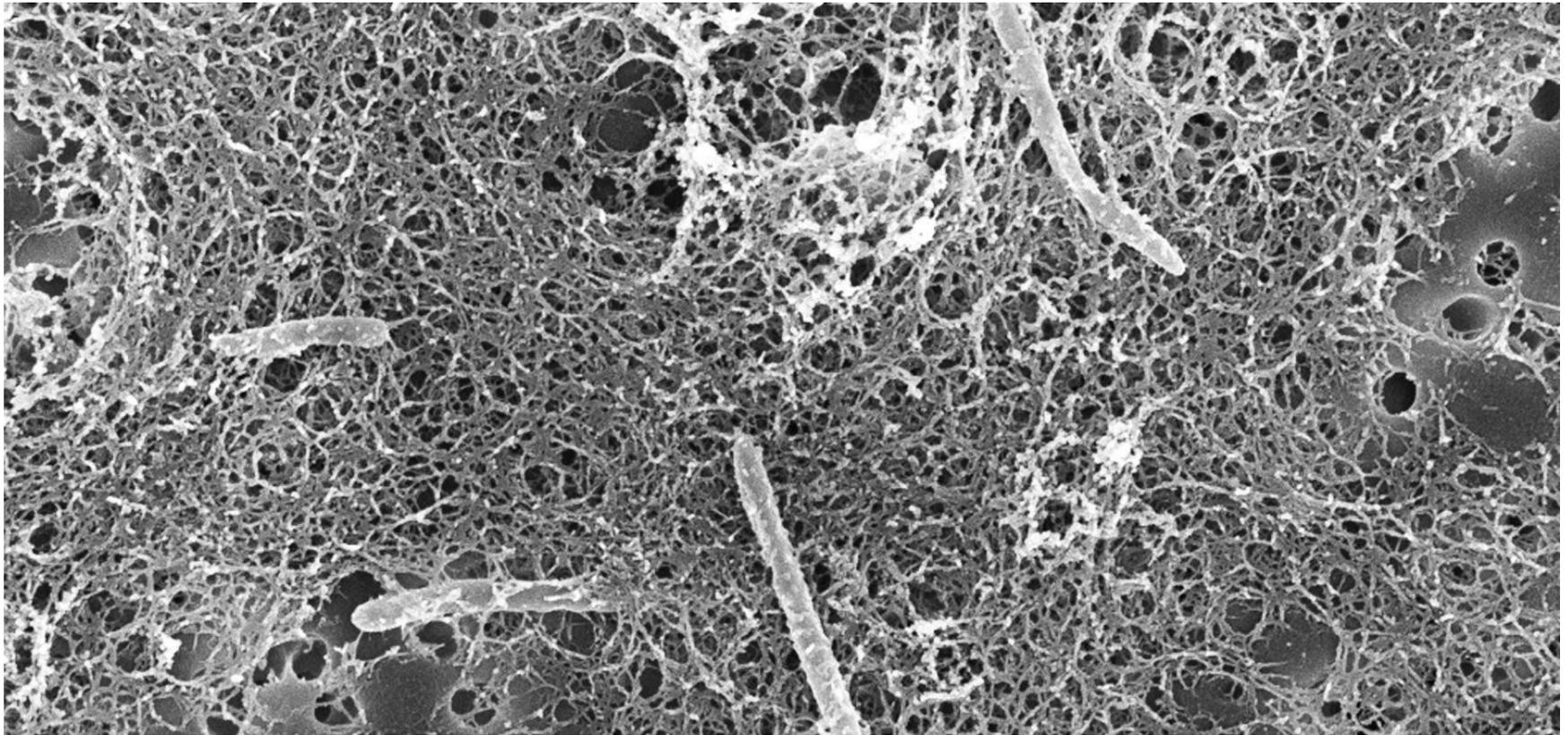
Nach einem Jahr

ist es nicht einmal gealtert

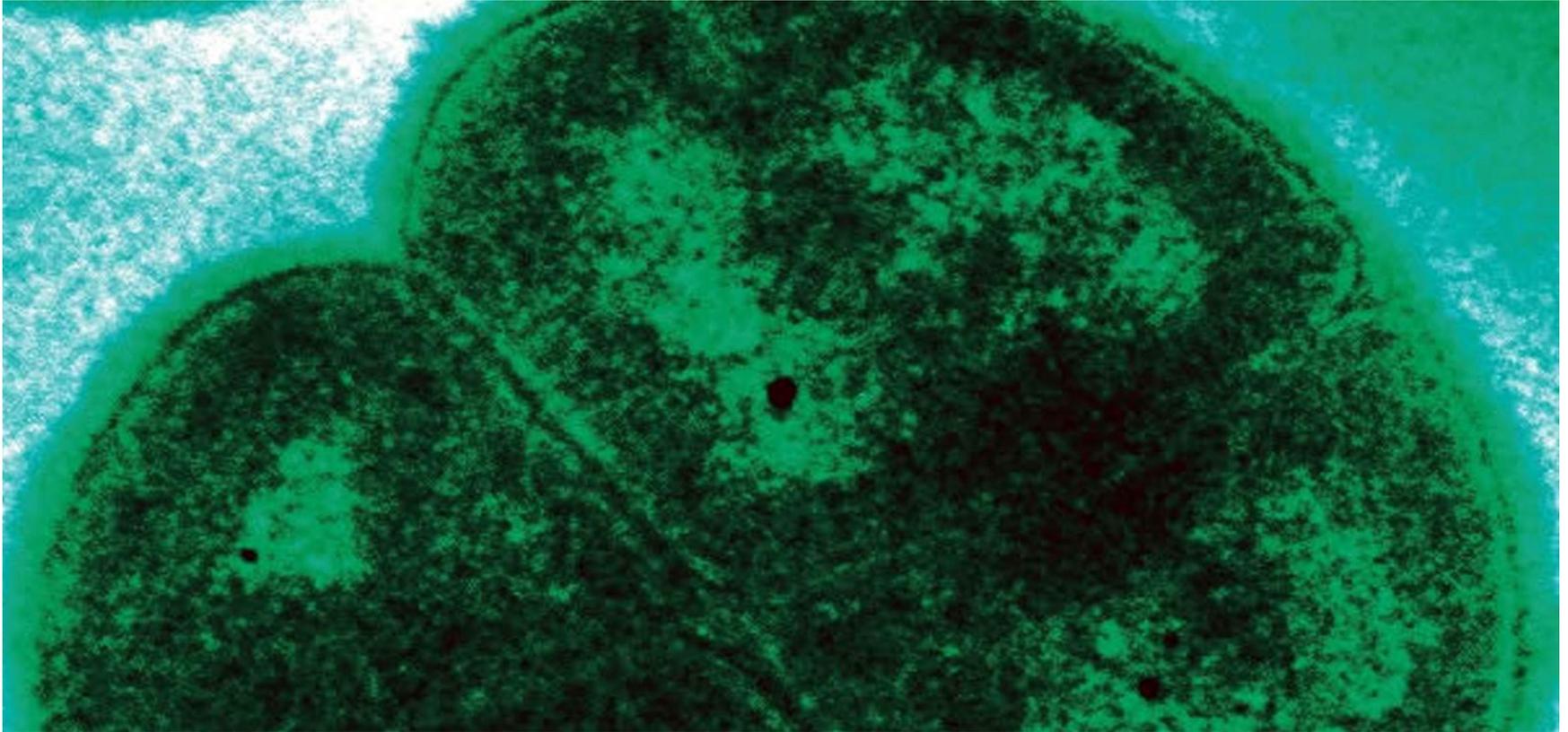
Kann im All sehr lange 'überleben'



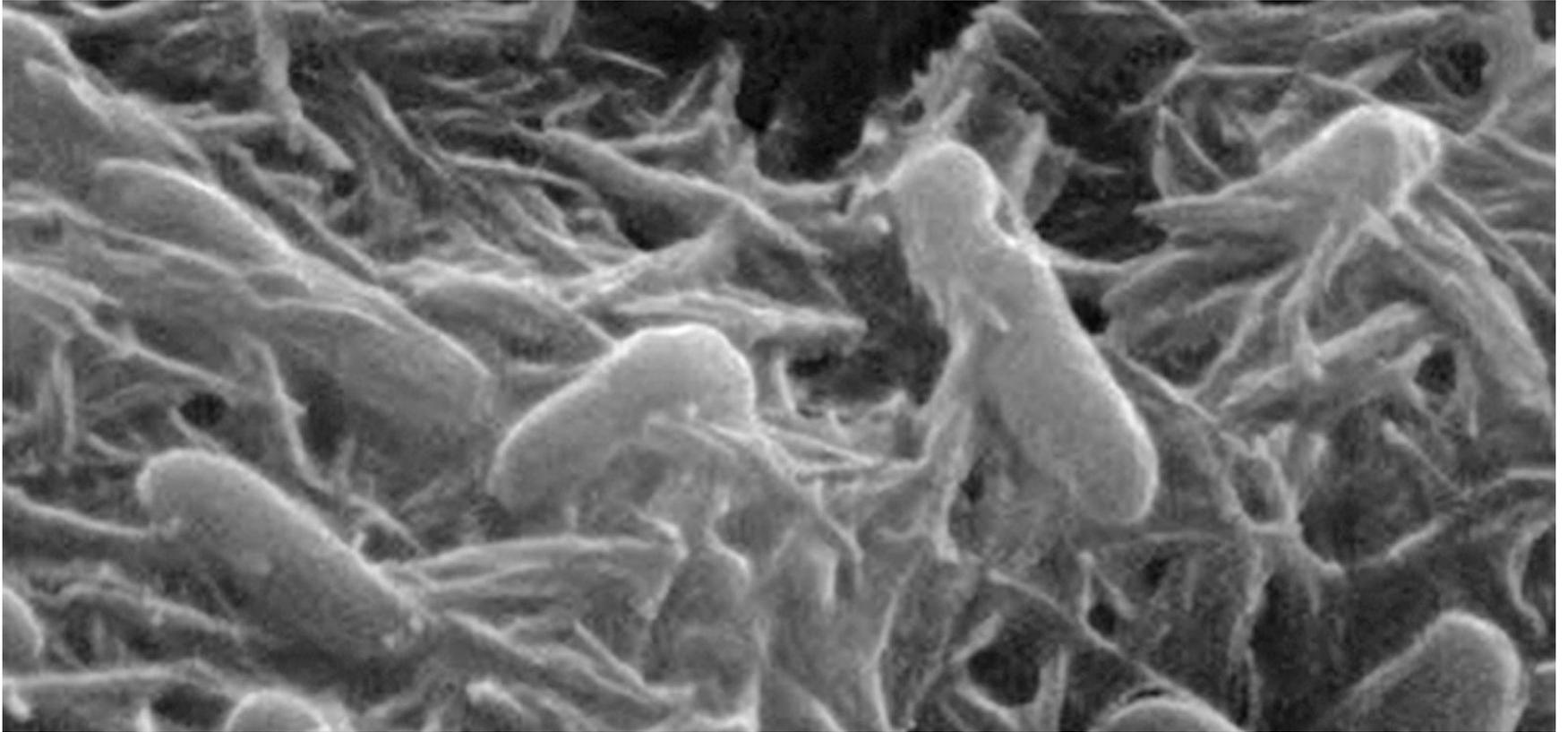
2,5 Milliarden Jahre ist es her, dass vermutlich wegen des Stoffwechsels von Cyanobakterien die Erde eine Atmosphäre bekam, in der viel Sauerstoff enthalten ist. Die Organismen können einerseits Fotosynthese betreiben, wobei Sauerstoff als Abfallprodukt entsteht. Zudem können sie Stickstoff aus der Luft fixieren, der in zu hohen Konzentrationen für höhere Organismen tödlich ist.



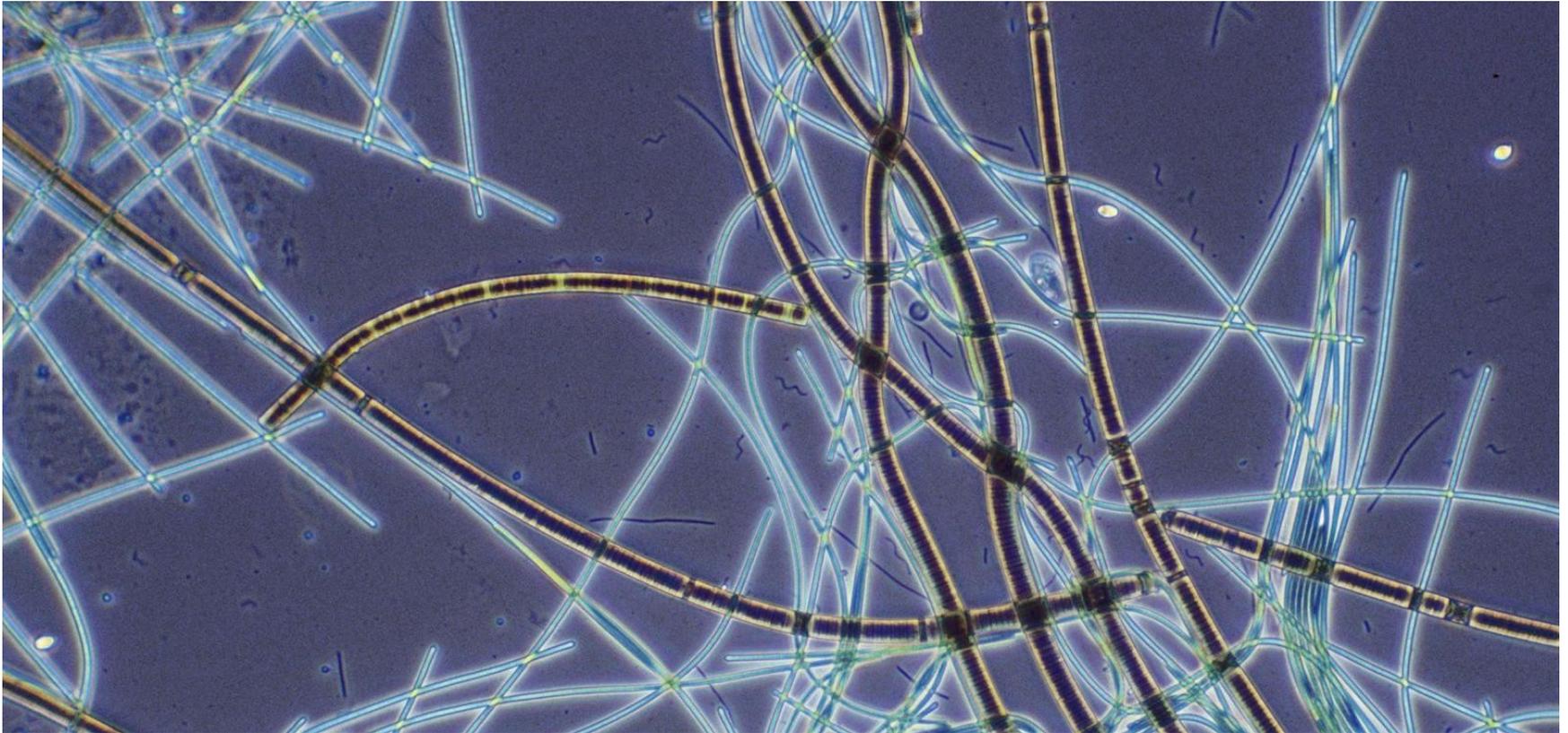
2,8 Kilometer tief, im Gestein einer Goldmine in Südafrika, haben Forscher bereits Bakterien gefunden. *Desulforudis audaxviator* lebt bei völliger Dunkelheit, 60 Grad Celsius und bei hoher Radioaktivität. Der Keim ernährt sich von Schwefelverbindungen.



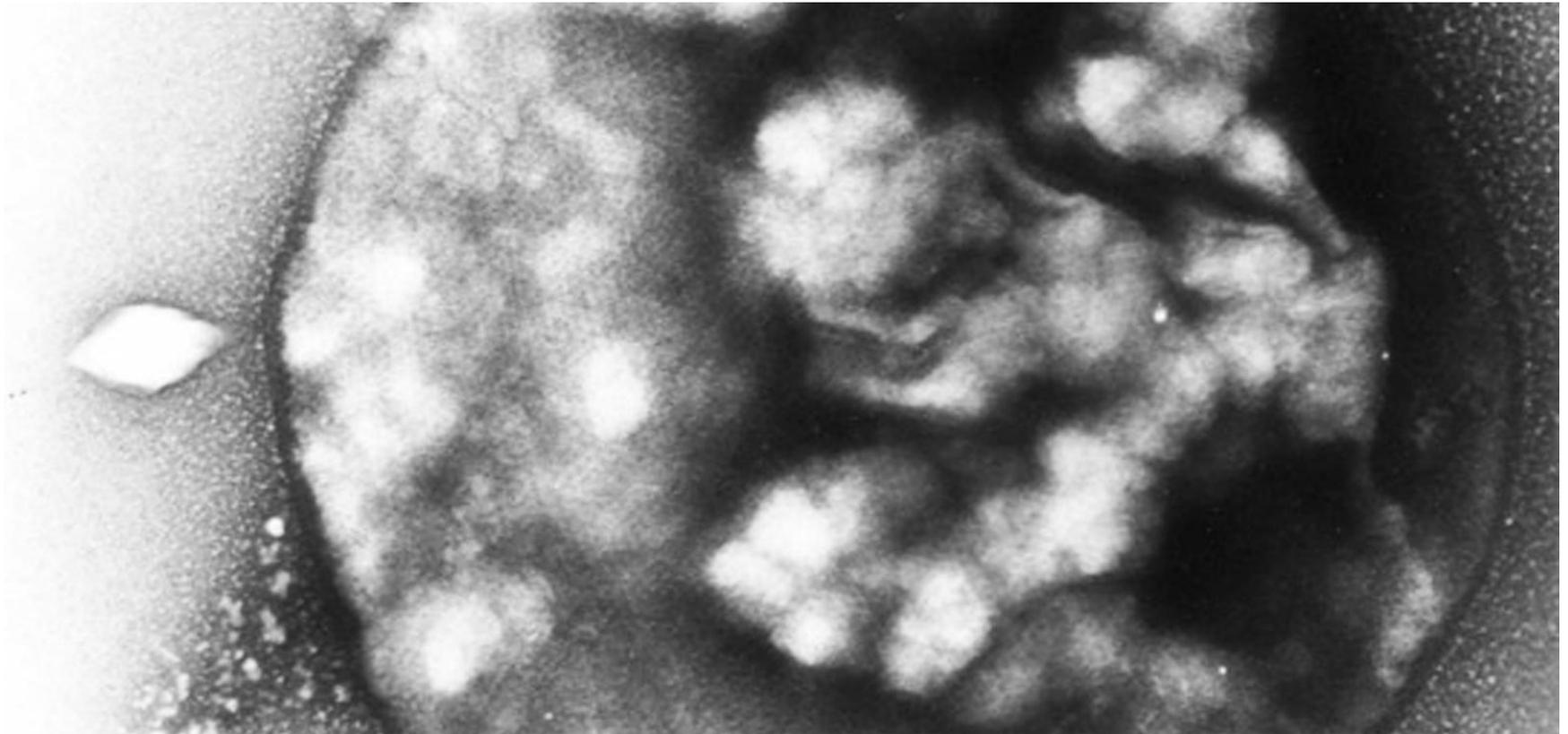
10.000 Gray Strahlendosis verträgt das Bakterium *Deinococcus radiodurans*. Zum Vergleich: Der Mensch stirbt bei 5 Gray. Wegen seiner Widerstandsfähigkeit wird *Deinococcus* auch „Conan das Bakterium“ genannt – nach dem Filmhelden „Conan der Barbar“, der mehrfach dem unausweichlich erscheinenden Tod entkommt. *Deinococcus radiodurans* wurde in der Antarktis gefunden – aber auch im Darm von Menschen und in Kühlwasser von Kernkraftwerken.



1988 wurde bei *Shewanella*-Bakterien entdeckt wie anspruchslos sie sind. Sie „fressen“ Elektronen, die sie mit feinen Fortsätzen beispielsweise aus Gestein herauslösen. Mittlerweile ist diese Art der Energiegewinnung auch bei anderen Bakterien, etwa *Geobacter*, nachgewiesen worden.



70 Jahre lang können Cyanobakterien der Gattung *Nostoc* leicht in einem Trockenzustand überstehen. Gibt man nach dieser Zeit Flüssigkeit auf die Organismen, so fangen sie an zu wachsen und vermehren sich wieder. *Nostoc* und andere Lebewesen machen es schwer, die Frage „Wann ist ein Lebewesen eigentlich tot?“ einfach zu beantworten.

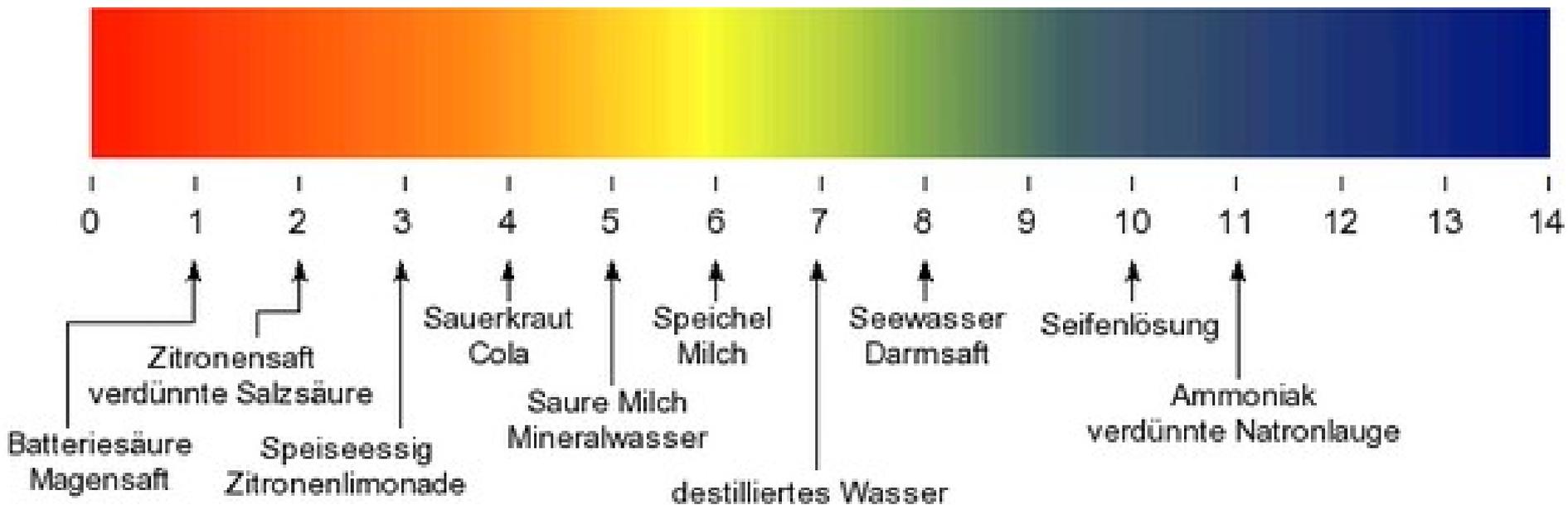


90 Grad Celsius können Archaeen der Gattung Sulfolobus gut ertragen. Sie kommen an heißen Quellen in der Nähe von Vulkanen vor – häufig dort, wo man gelbe Schwefelkristalle findet, denn Schwefel dient diesen Urbakterien als Energiequelle. Sie kommen auch mit extrem niedrigen pH-Werten aus.

# pH-Wert

$$\text{pH} = -\lg a(\text{H}^+)$$

$\text{H}^+$  - Wasserstoffionenaktivität



aus: <https://www.hochsauerlandwasser.de/wasser-wissen/swimming-pool/ph-werte/> (2015)

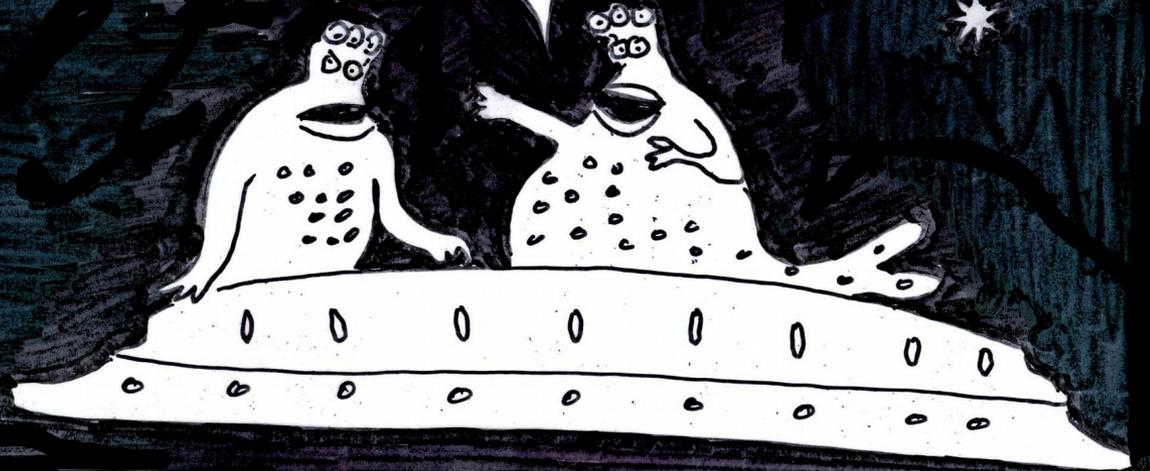
# Extremophile

Extremophile besetzen jede Nische auf der Erde. Man braucht allerdings etwas Wasser und etwas Energie.

Extremophile geben uns eine Idee, an welcher Stelle im Universum vielleicht sonst noch Leben entstehen und gedeihen könnte.



**Dieser blauer Planet hat auch einen Ring. Vom dem Raummüll, aus dem er besteht, schließe ich, dass die Bewohner nicht sehr intelligent sein können.**



**"Ich sehe vielleicht etwas  
ungewöhnlich aus, aber ich  
bin aus Kohlenstoff gemacht,  
genauso wie Du!"**

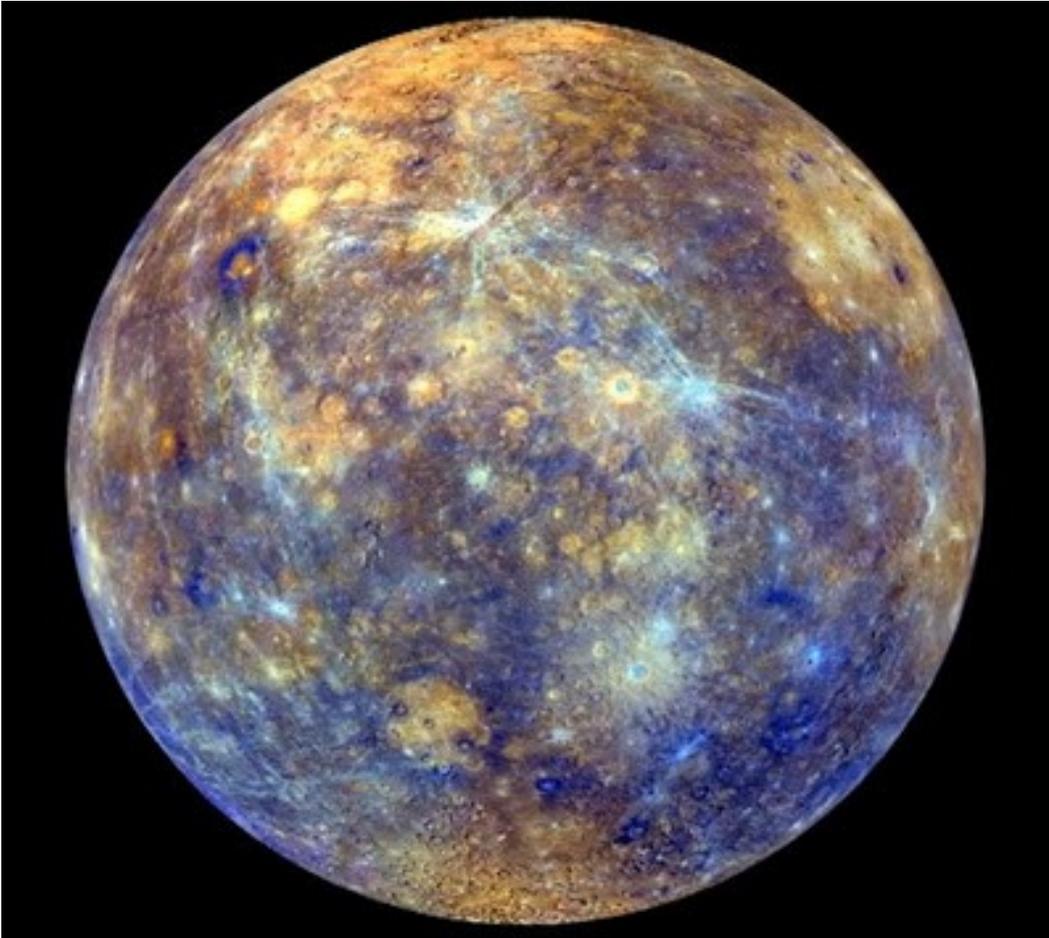


# Leben auf anderen solaren oder Exoplaneten?



kein Planet: unser  
Mond  
Die Mondoberfläche  
Ist ein perfekter  
Sterilisator: vorne  
heiß, hinten kalt.  
Mit Sicherheit kein  
Leben

# Merkur



Merkur ist ähnlich wie die Erde aufgebaut. Er besteht aus festem Gestein und hat aber

aufgrund seiner geringen Größe wie unser Mond, keine Atmosphäre. Zahlreiche Hinweise auf vulkanische Eruptionen. Am Tage  $430^{\circ}$ , nachts  $-130^{\circ}$ . Kein Leben. Nur morgens und abends gut zu sehen.

Die Griechen gingen in der Antike gar von zwei Planeten aus und nannten den Morgenplaneten Apollo und den am Abendhimmel Hermes.

# Venus



Die Wolken der Venus bestehen aus reiner Schwefelsäure. Treibhauseffekt  
→ 470° Oberflächentemperatur.  
Wahrscheinlichkeit für Leben sehr gering.

Arrhenius (1911) glaubte fest daran, dass es Leben auf der Venus gibt:  
Die reichlich vorhandene Nahrung erzeugt Riesenformen.  
Das Leben ist über den gesamten Planeten ausgebreitet.



Landung auf der Venus

# Mars



Wolken, Eiskappen und Mars'kanäle'

Percival Lowell (1855 – 1916) glaubte an intelligente Marsbewohner.

Er übersetzte die von Giovanni Schiaparelli gesehenen 'canali' mit 'canals' und hielt sie für 'menschengemachte' Wasserstraßen.

Keine nachweisbaren Mengen von Sauerstoff.

'Luftdruck' 6 mbar. Kein flüssiges Wasser.

Mars ist eingefrorener und sehr trockener Planet. Terraforming??

# Jupiter und seine Monde



Jupiter ist ein Gasplanet: kein Leben auf Gasplaneten.

Io hat vulkanische Aktivität

Europa besitzt eine dicke Eisschicht über einem Wasseresee.

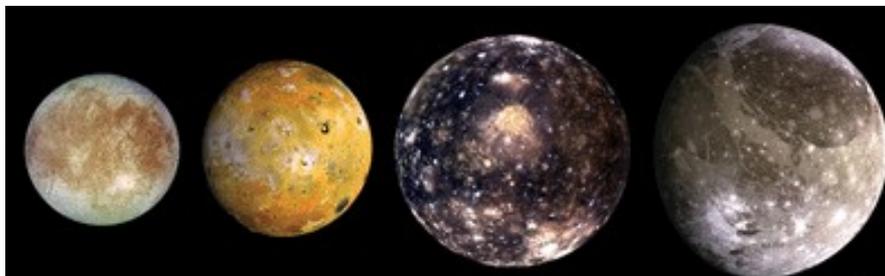
Bedingungen wie in der Antarktis, Mit Leben im Wasser? Brauchte aber eine Energiequelle.

Sonne ist weit weg;

Geothermale Quellen?

Radioaktivität als Energielieferant?

Europa liegt tief im energiereichen Strahlungsgürtel von Jupiter



Europa

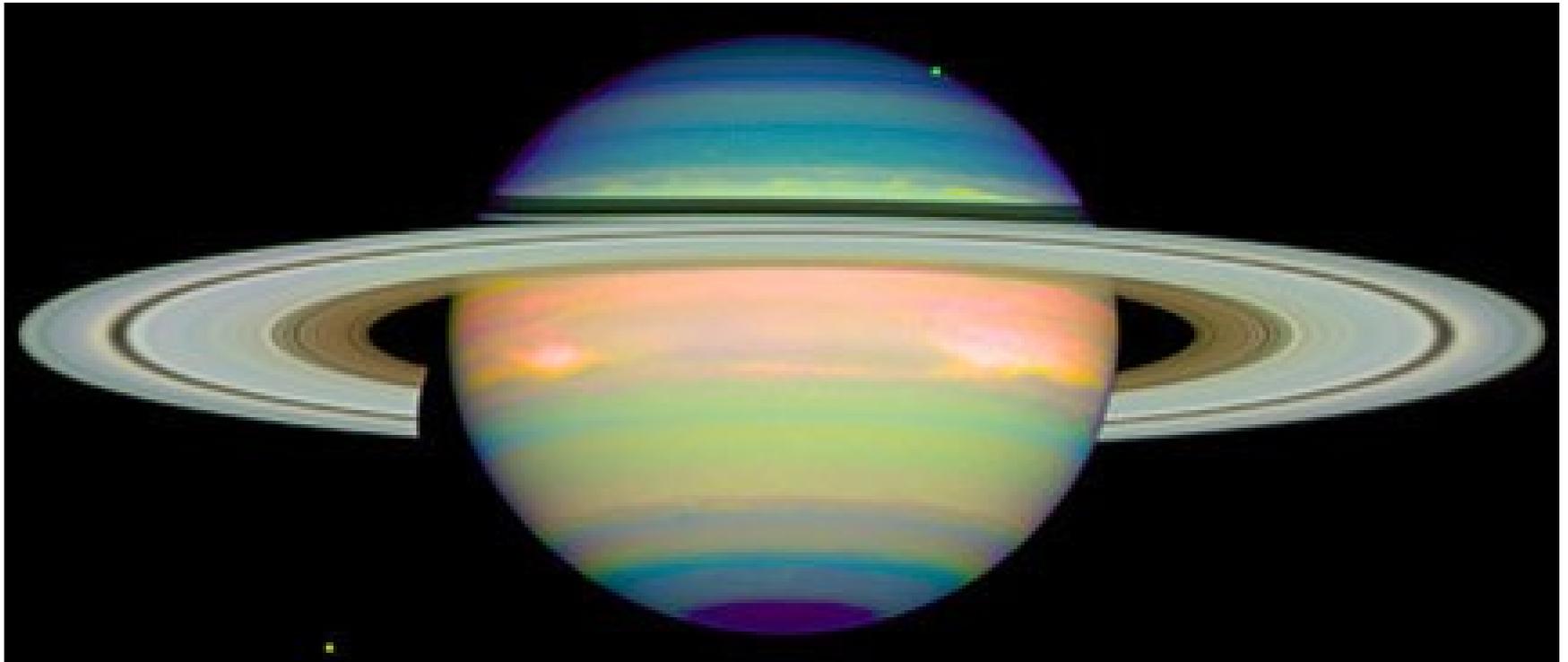
Io

Callisto

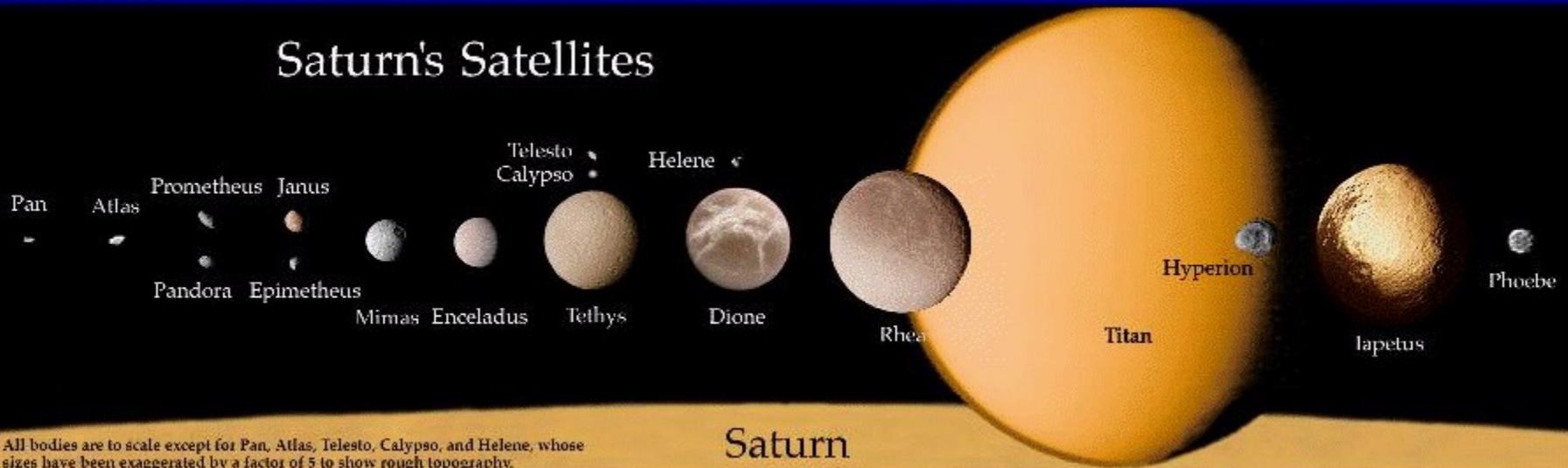
Ganymed

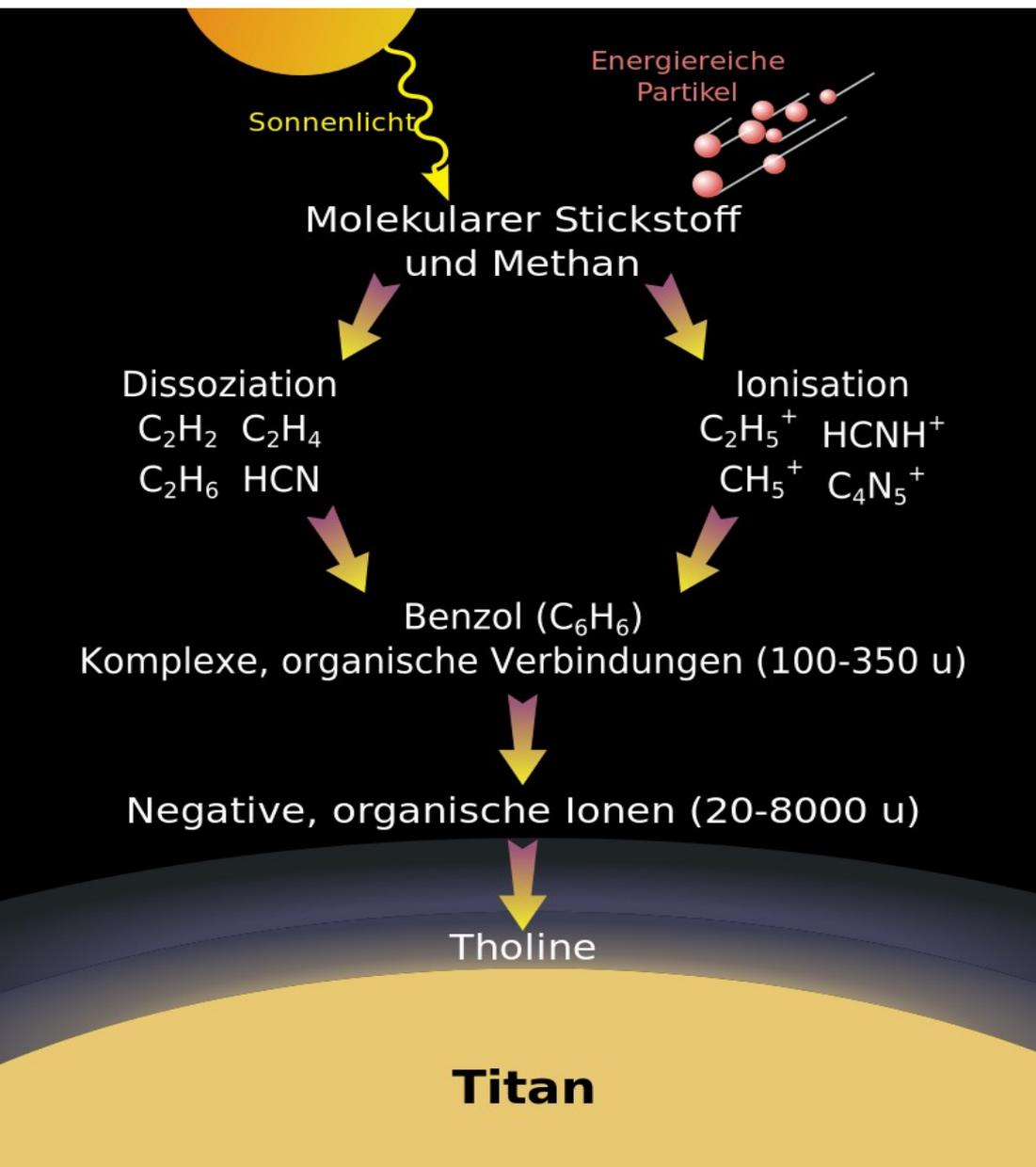
Callisto: Wasseresee unter einem dicken Eispanzer? Ebenso für Ganymed?

# Saturn



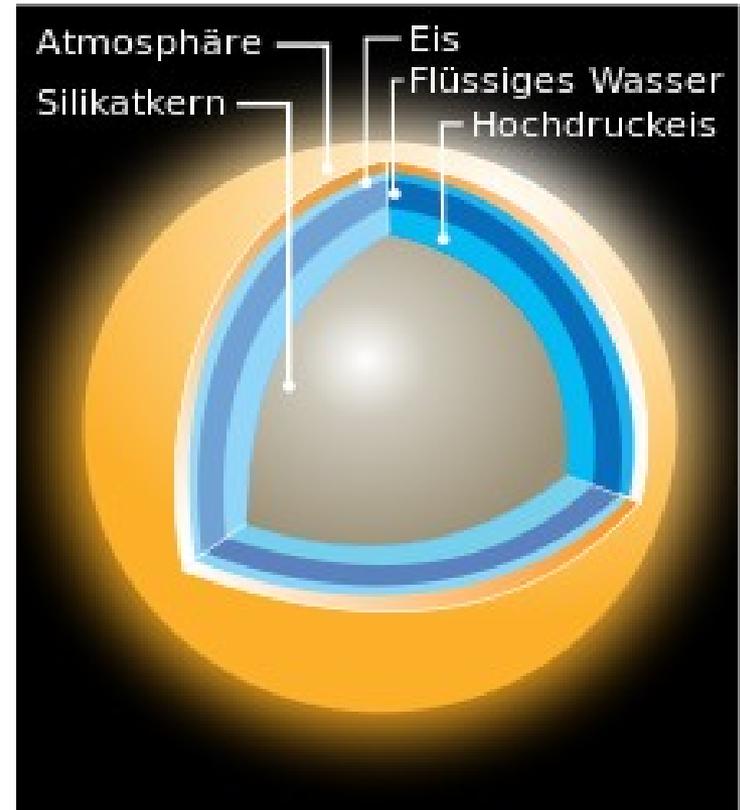
## Saturn's Satellites





Tholine sind eine rötlich braune Mischung komplexer organischer Moleküle aus C, N und H

# Titan



Interessant aus astrobiologischer Sicht,  $-180^\circ$ ; Methanregen  
 Interessante Atmosphärenchemie  
 100 % Albedo, Keine Krater  
 Sonde Cassini, Lander Huygens

# Uranus



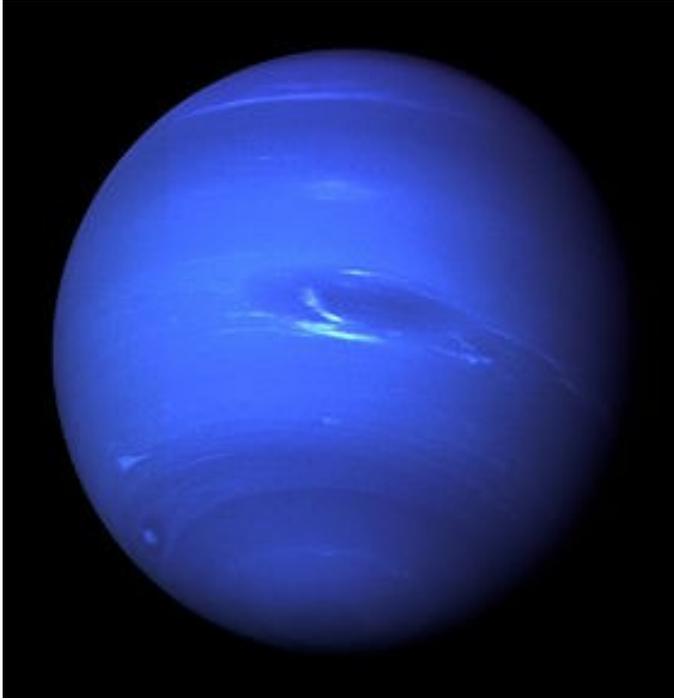
Uranus – Erde Vergleich

**Gasplanet:**  
**Wasserstoff 83 %**  
**Helium 15 %**  
**Methan 2 %**

**27 Monde**  
**ausgedehntes Ringsystem**  
**- 200° C**

**Keine Spur von Leben**

# Neptun



**Gasplanet**

**Wasserstoff 90 %**

**Helium 19 %**

**Methan 1 %**

**Wassereis**

**Ammoniak-Eis**

**Methan-Eis**

**Ammoniumsulfid-Eis**

**-200° C**

**14 Monde**

**ausgedehntes Ringsystem**

**keine Spur von Leben**

# Leben auf Exoplaneten?

Was braucht man

Energie (naher Stern, Geothermie, Radioaktivität)

Licht ? (für Photosynthese, entsprechend 1 bis 50 AE)

chemische Energie e.g.  $\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$

Kohlenstoff z.B. als  $\text{CO}_2$  oder  $\text{CH}_4$

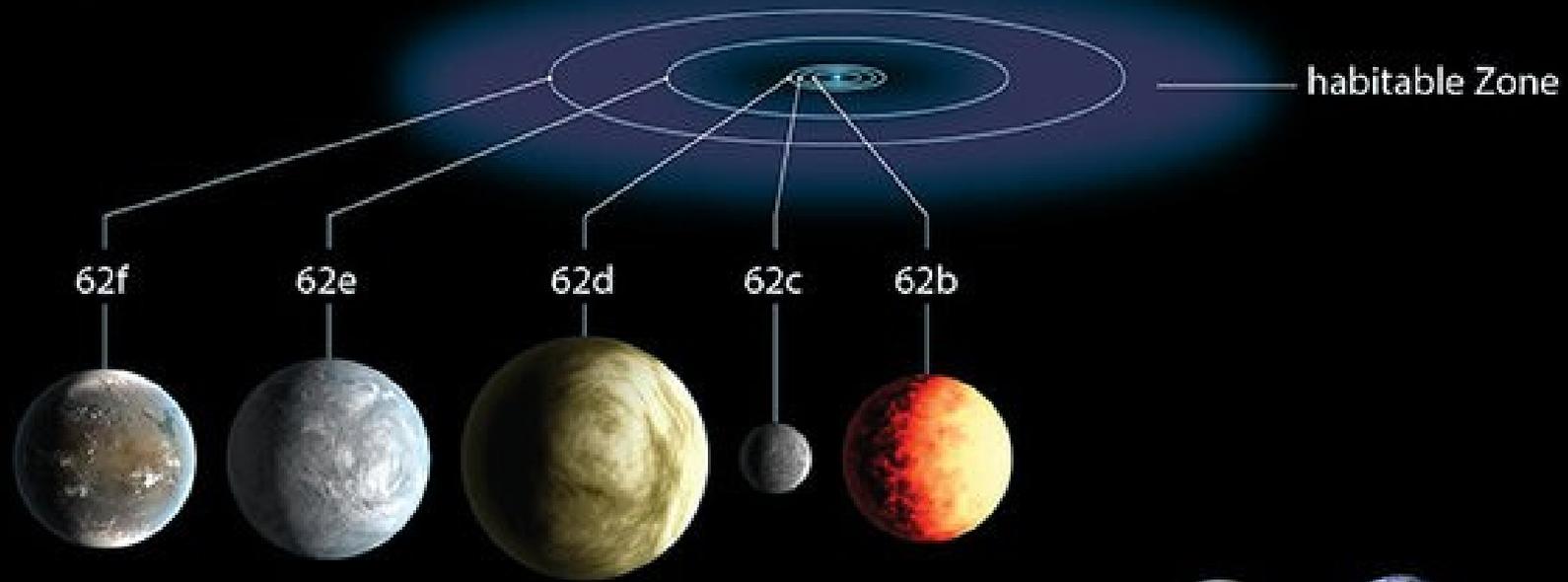
flüssiges Wasser einige Gase und Mineralien

wie N, P, S, Na, ...

Sauerstoff in einer Atmosphäre

Sonne 1%, Erde ~20%, andere Planeten ~ 0,1 bis 1 %

# Kepler-62-System



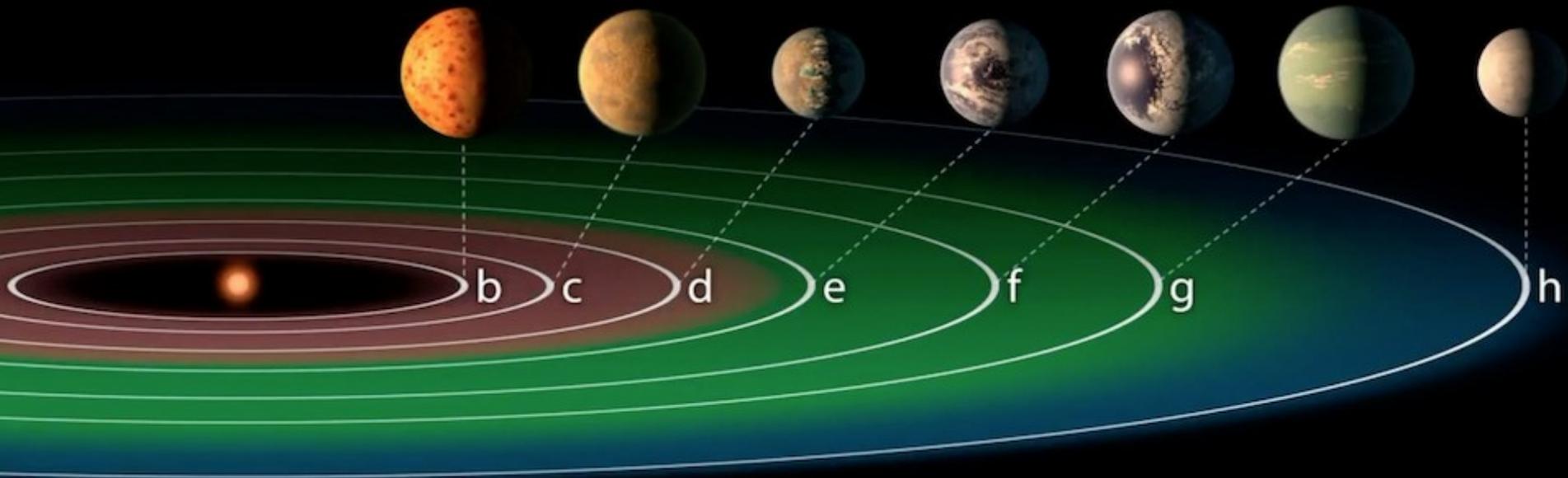
# Sonnensystem



habitable Zone

# Habitable Zone

## TRAPPIST-1 System



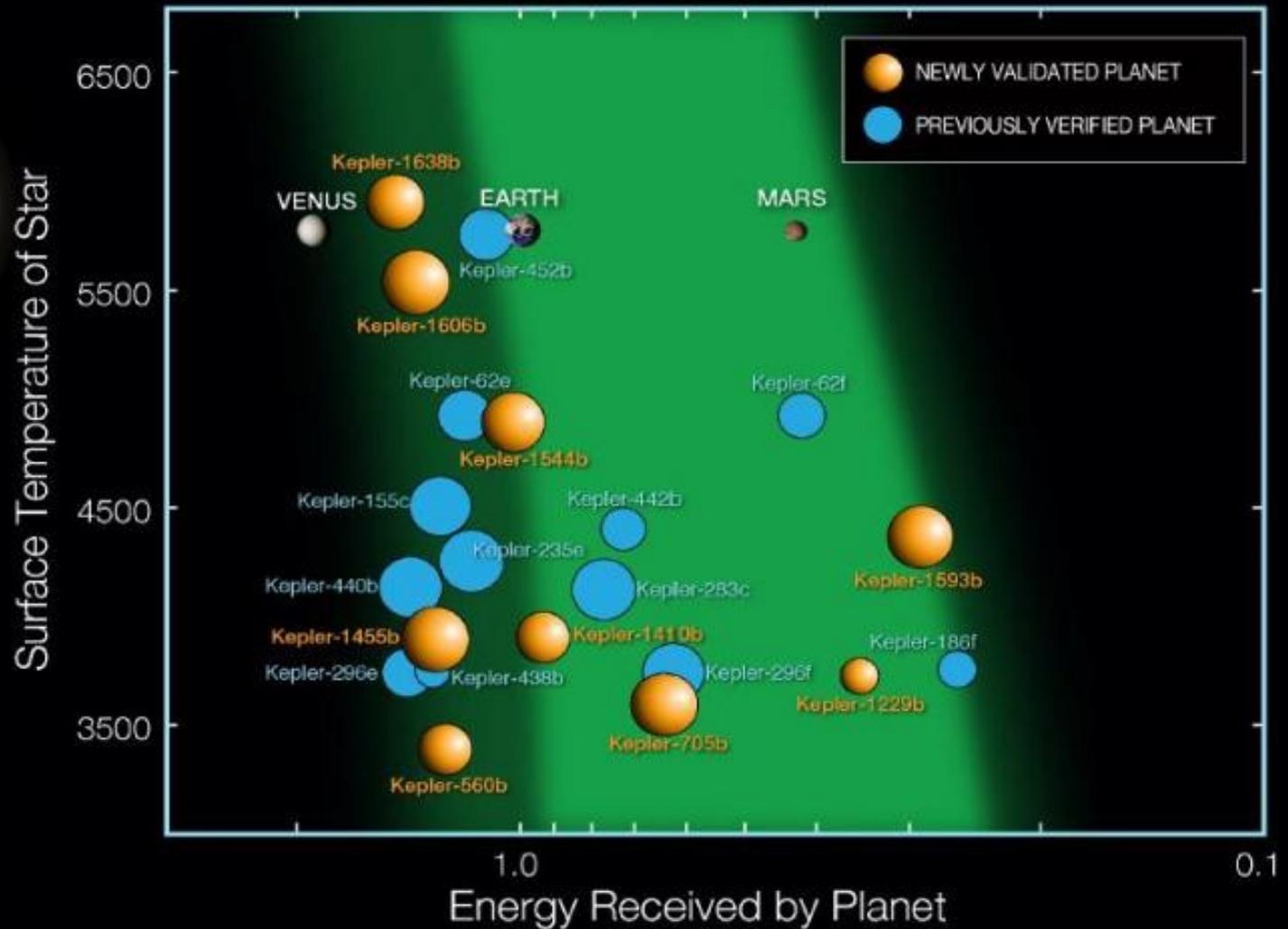
Relative scale  
of Earth



Star and orbits shown in scale  
Planets enlarged approximately 7,600x

# Kepler's Small Habitable Zone Planets

As of May 10, 2016



# Leben im All?

## Drake Gleichung

$$N = R_* \times f_p \times n_e \times f_e \times f_i \times f_c \times L$$

Anzahl der  
Zivilisationen

Sternent-  
stehungsrate

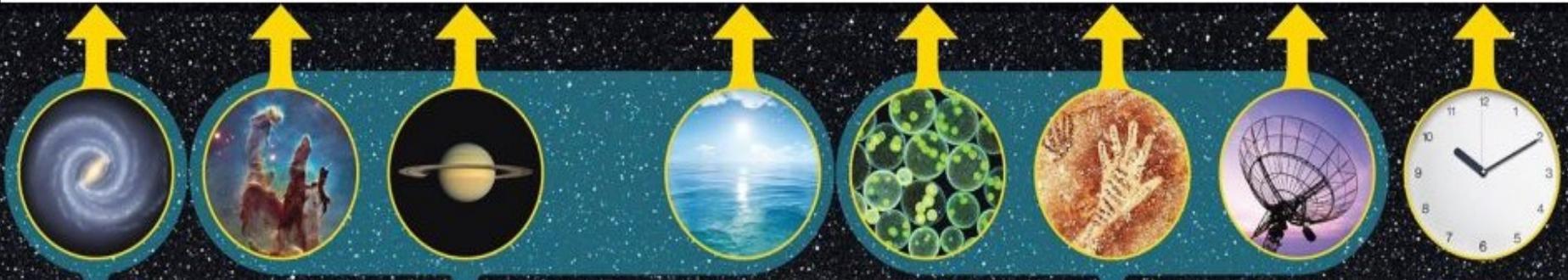
Sterne mit  
Planeten

Leben kann  
entstehen

Leben  
entsteht

intelligentes  
Leben

technisch  
in der Lage  
dauer Zivil.



$$N \geq 1$$

# Intelligentes Leben im All?



Mir würde  
schon intelligentes Leben  
auf der Erde reichen!

# Fermis Paradoxon



**Wo sind die Aliens?**

# Mögliche Antworten zum Paradoxon von E. Fermi

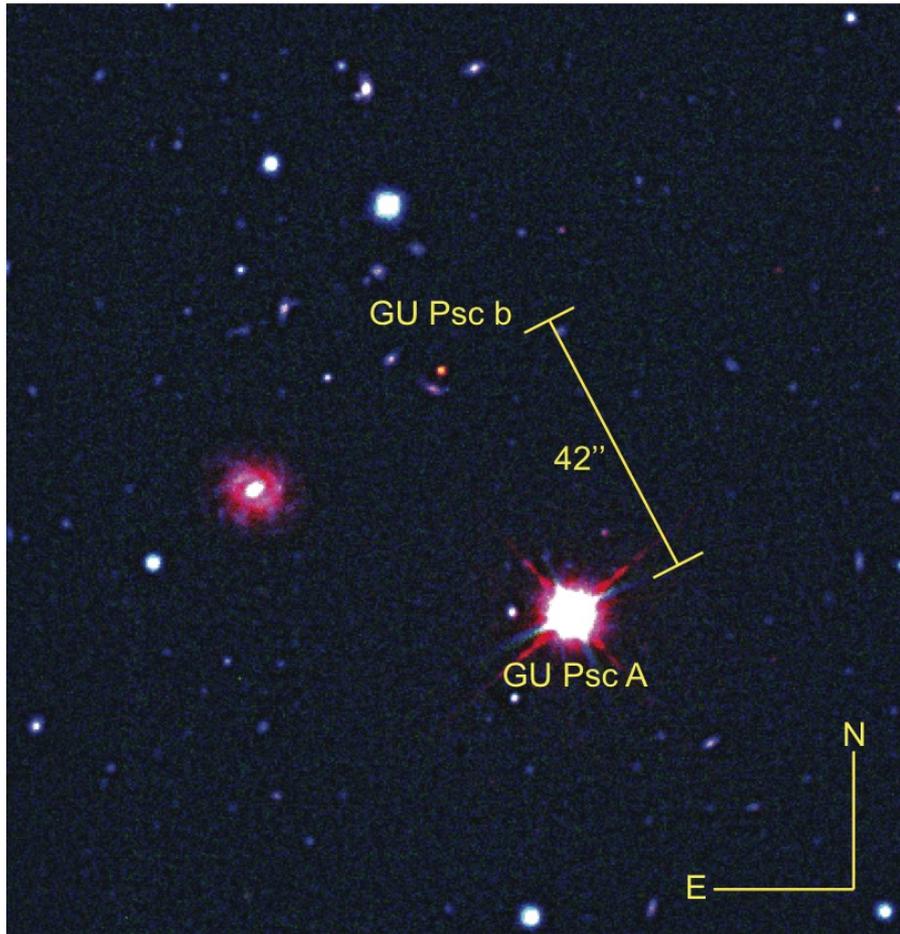
Möglicherweise waren sie schon da! Ihr technologischer Fortschritt ist vermutlich viel größer im Vergleich zu unserem. Sie haben bereits mit selbstreplikativen Nanorobotern die Milchstraße kolonisiert. Wir haben sie aber nicht erkannt, weil sie so klein waren/sind.



# **Mögliche Antworten zum Paradoxon von E. Fermi**

**Sie sind so fortgeschritten, dass sie schon die gesamte Energie ihrer Sonne eingefangen haben. Der hohe Energieverbrauch führt nach dem Entropiesatz zu viel Wärme, und sie sind schon am Wäremetod gestorben.**

# Wärmemetod einer Zivilisation

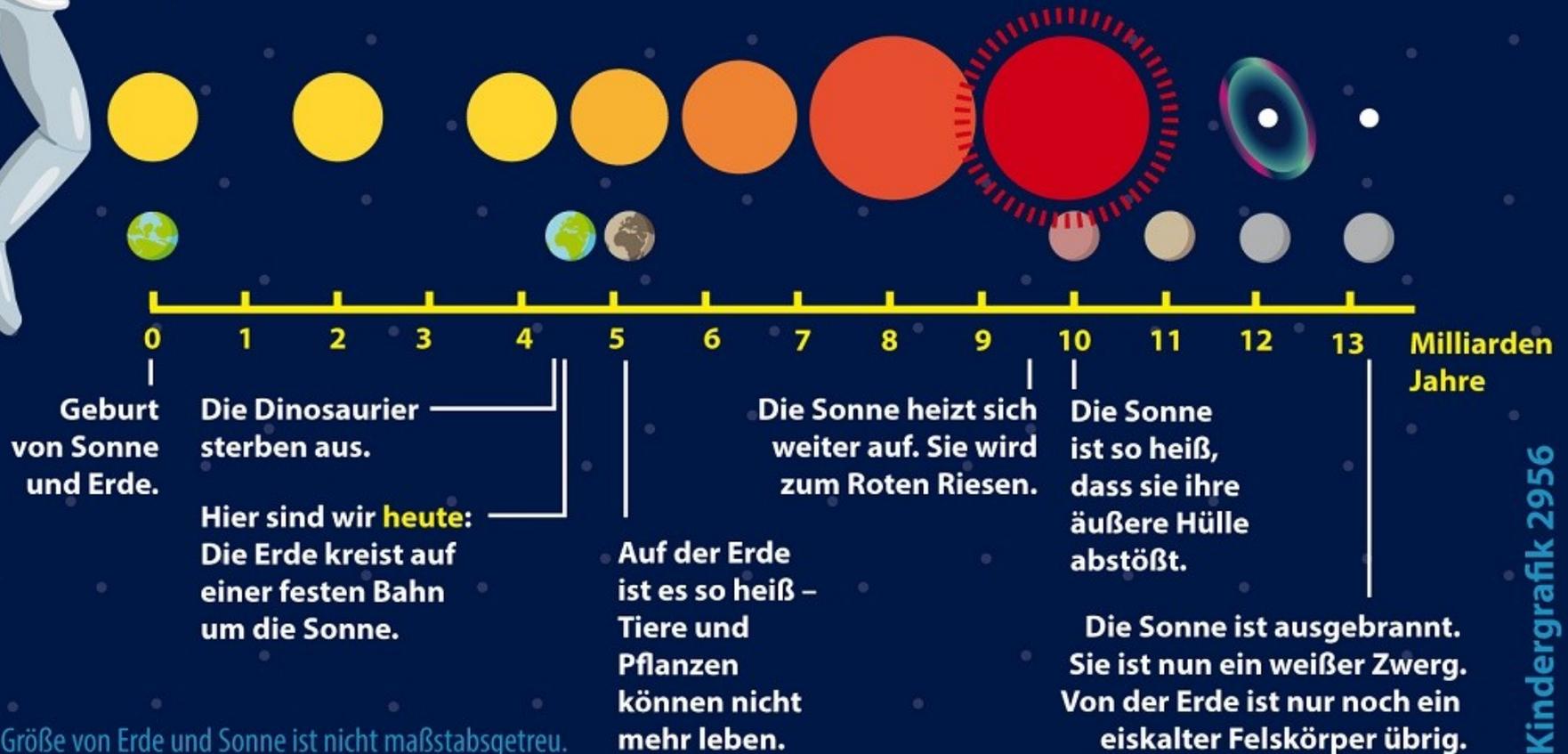


Die Zivilisation des im Infraroten direkt gesehenen Planeten GU Piscum b hat vielleicht den Entropiesatz nicht überlebt (Entfernung 155 LJ).

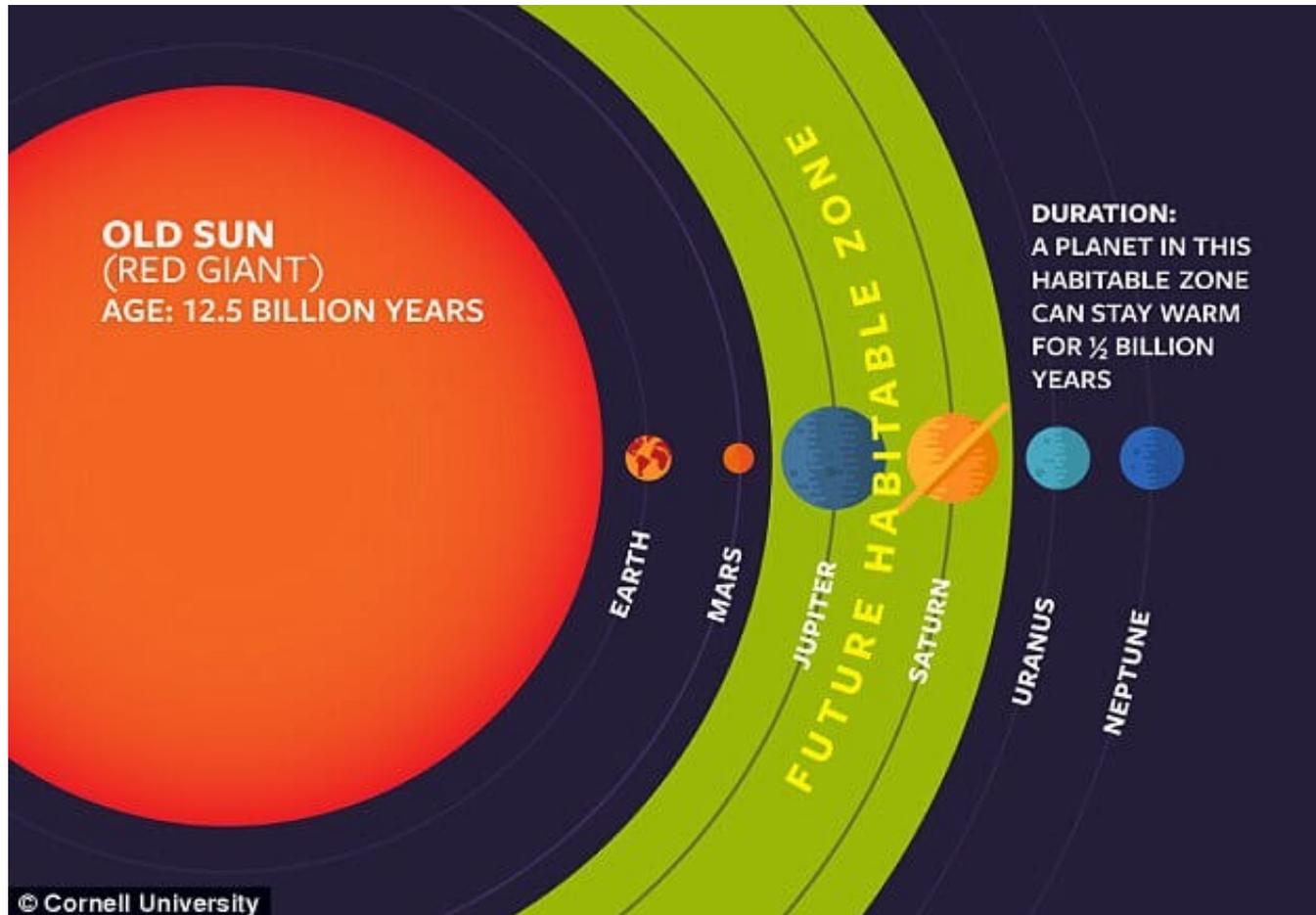
# Ende einer Zivilisation?



## DIE ZUKUNFT DER ERDE



# Ende einer Zivilisation



Neben der Entwicklung zum Roten Riesen kann auch eine Nova- oder Supernova-Explosion eine Zivilisation beenden

# Entropiesatz

## 2. Hauptsatz der Thermodynamik:

**In einem geschlossenen System kann die Entropie nicht geringer werden.**

**Ein Spiegelei aus der Pfanne wird nicht von alleine in die Eierschale zurückhüpfen.**

# Zahlenbeispiel Entropiesatz

Die Abstrahlung der Erde folgt dem Gesetz von Stefan-Boltzmann

$$P = \sigma \cdot A \cdot T^4$$

Wann werden die Ozeane anfangen zu kochen?

$T = 373$  Kelvin (entspricht 100 Grad Celsius)

$$P/A = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4} \cdot 373^4 \cdot \text{K}^4 = 1100 \text{Wm}^{-2}$$

$$\text{Erdfläche } A = 4\pi R^2 = 5,1 \cdot 10^{14} \text{m}^2$$

$$\text{Also } P = 5,6 \cdot 10^{17} \text{W}$$

# Zahlenbeispiel Entropiesatz

Mittlere Leistungsverbrauch pro Mensch zur Zeit 1 kW

$$P_{\text{jetzt}} = 6,7 \cdot 10^9 \cdot 1\text{kW} = 6,7 \cdot 10^{12}\text{W}$$

Wann wird er der Leistung von  $P = 5,6 \cdot 10^{17}\text{W}$  entsprechen?

Nehmen wir ein Wachstum von 3 Prozent pro Jahr an.

$$6,7 \cdot 10^{12}\text{W} \cdot 1,03^x = 5,6 \cdot 10^{17}\text{W}$$

Auflösen nach  $x \rightarrow x = 383$  Jahre

**entspricht 70°  
Temperaturzunahme**

# Entropie

**Ein permanentes Wachstum und Leben auf der Erde ist mit der Thermodynamik nicht vereinbar.**

**Eine Erniedrigung der lokalen Entropie ist immer mit einer Erhöhung der Gesamtentropie verbunden.**

**Es muss Ziel einer höheren Zivilisation sein, die Energieeffizienz zu erhöhen, um dem Wärmetod zu entgehen.**

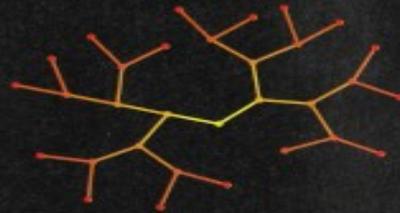
**Glückwunsch!  
Sie haben maximale  
Entropie erreicht!**



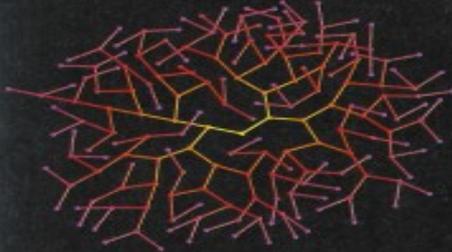
1. Schritt: 500 Jahre



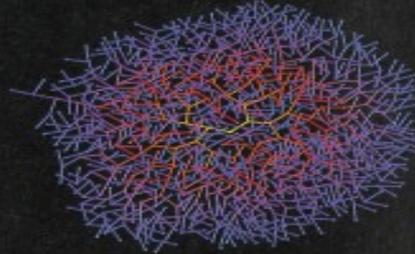
4. Schritt: 2000 Jahre



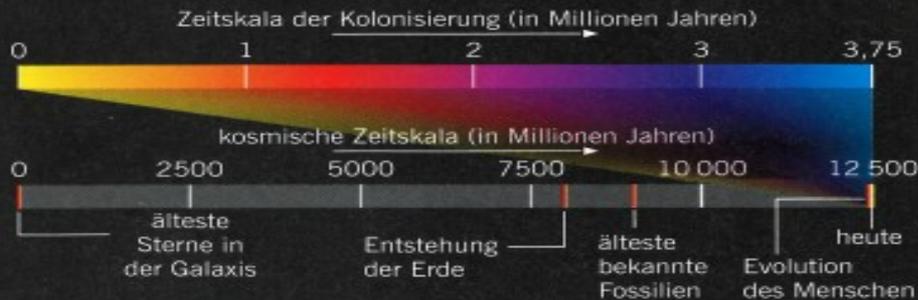
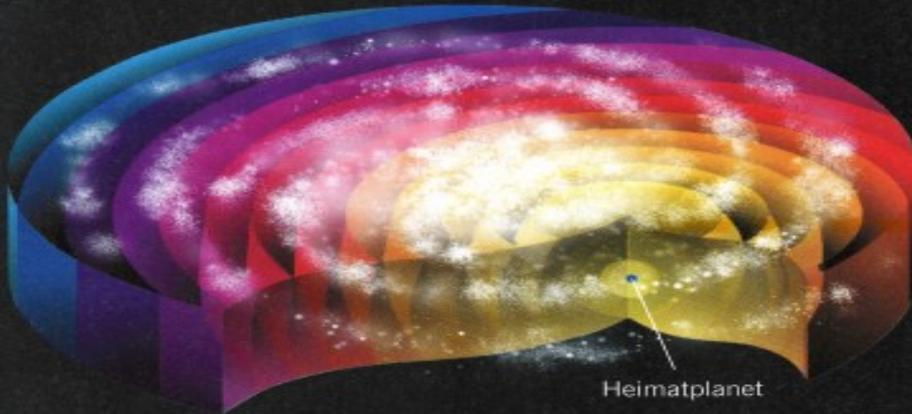
7. Schritt: 3500 Jahre



10. Schritt: 5000 Jahre



7500. Schritt: 3,75 Millionen Jahre (die Galaxis ist vollständig kolonisiert)



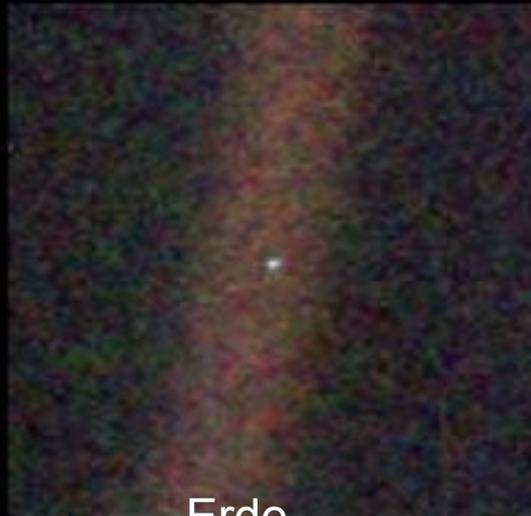
Die Zahl der bewohnbaren Planeten, die wirklich von intelligenten Lebewesen besiedelt sind, ist

$$N \geq 1,$$

Aber die Entfernungen sind so groß, dass eine Kontaktaufnahme mit heutiger Technik schwierig, wenn nicht unmöglich ist.



Venus



Erde



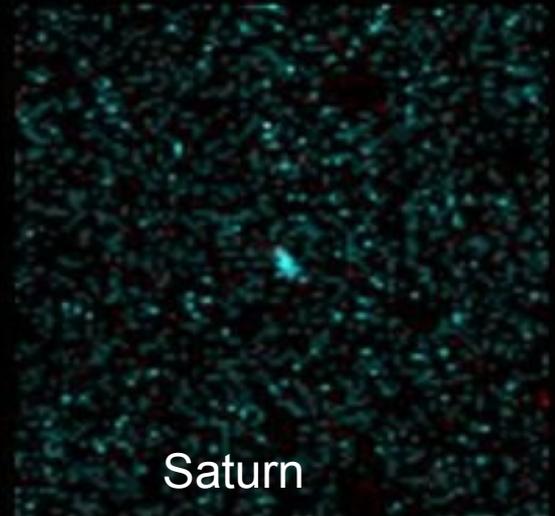
Jupiter



Uranus



Neptun



Saturn

Solare Planeten gesehen von Voyager 1 von der PLUTO Bahn aus (40 AE)  
Mars und Pluto waren zu dunkel, Merkur zu dicht an der Sonne

# Kryobiologie

Im tiefgefrorenen Permafrostboden in Sibirien hat man beim Auftauen kryobiotisch konservierte Nematoden gefunden, die sich seit der letzten Eiszeit nicht mehr gerührt haben. Nach 40 000 Jahren haben sie zum ersten mal wieder eine Mahlzeit eingenommen!



# Überleben in Salzlake

In einem Salzkristall aus alten Gesteinsschichten bei Carlsbad in New Mexico fand man in einer mit Salzlake gefüllten Blase einen Bazillus, der wieder anfang zu leben, nachdem man ihn in eine Nährlösung gelegt hatte. Der Bazillus war 250 Millionen Jahre inaktiv. Dieser Bazillus könnte ohne weiteres eine Reise aus der Andromeda-Galaxie überleben.

Überall, wo Leben möglich ist, entsteht es auch!



# Salibacillus marismortui

Dieser uralte Bazillus unterscheidet sich genetisch nur unwesentlich von modernen halophilen Bakterien!

gefunden in New Mexico in einer Anlage für nuklearen Abfall in der Blase eines Salzkristalls



# Lebensverlängerung?

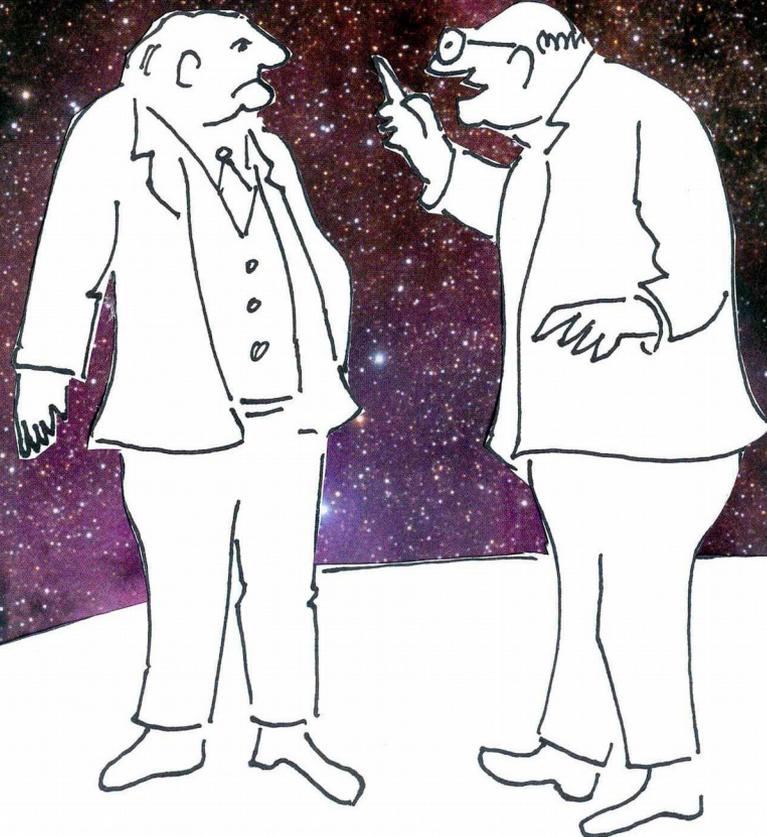
Auch an anderen Orten sind rekordverdächtige Bakterien gefunden worden. Der russische Wissenschaftler Dr. Anatoli Brouchkov hat sich sogar ein 3,5 Millionen Jahre altes Bakterium injiziert, in der Hoffnung, dass das 'Ewige-Leben-Bakterium' ihm auch seine eigene Lebenszeit magisch verlängern wird.



„Meine Frau ist überzeugt, dass ich  
eine Freundin in einem  
Paralleluniversum habe!“



**Die beste Evidenz für die Existenz von Extraterrestriern ist, dass sie noch nicht versucht haben, uns zu kontaktieren!**



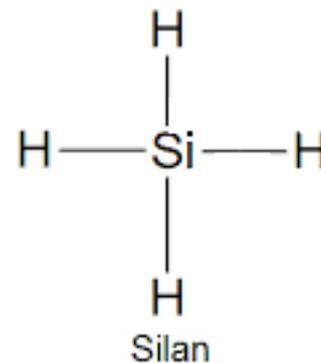
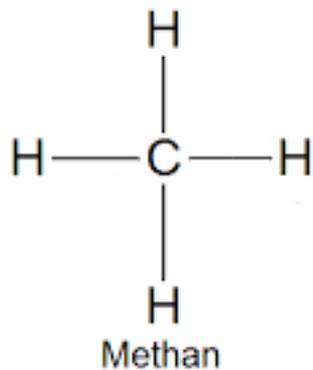
*Claus Gumpert 2013*



**Die intelligente Lebensform  
auf der Erde wird nicht  
kohlenstoff-basiert sein.  
Sie wird silizium-basiert sein!**

*Paul MacCready*

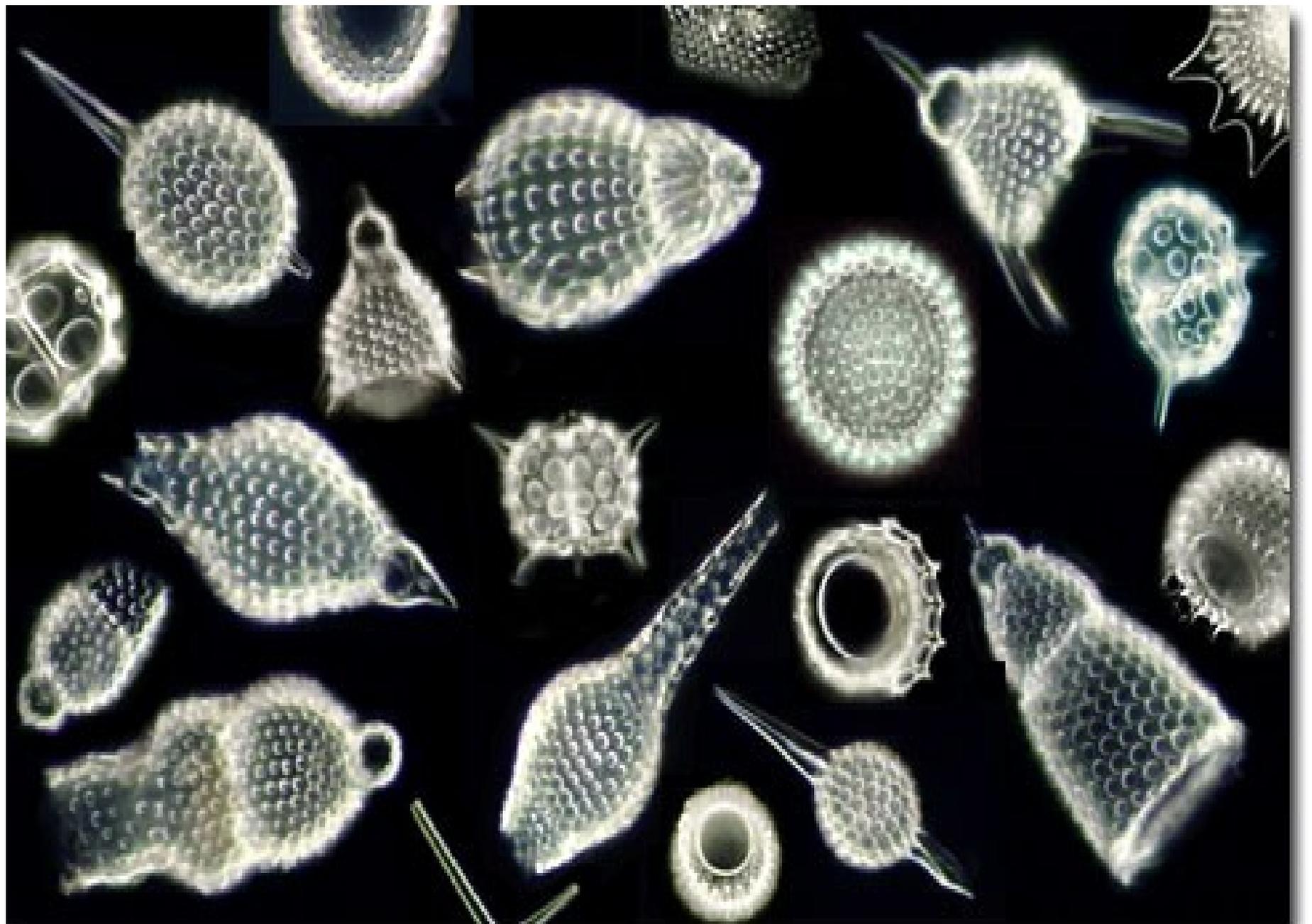
~ 2000



# Andere Lebensformen?

**Silizium  
basiertes  
Leben?**





# Kupfer



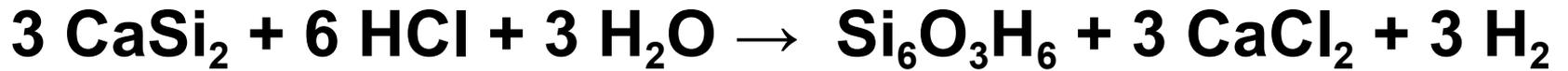
Kupfer und Silizium, zwei nur schwer zu verbindenden Materialien, lassen sich schon mit einer hauchdünnen organischen Silanverbindung aneinanderfügen, an deren Enden spezielle chemische Gruppen sitzen.

# Andere Chemie?

Schon seit der Zeit um 1900 gibt es Überlegungen, ob Lebewesen anstelle von Kohlenstoff auch andere Elemente als Gerüst nutzen könnten. Als Alternativen wurden Lebensformen auf der Basis von Silizium, Bor, Stickstoff oder Schwefel vorgeschlagen, die unter gewissen Rahmenbedingungen ebenfalls stabile Makromoleküle bilden können. Insbesondere Leben auf Siliziumbasis wird immer wieder ernsthaft diskutiert und auch gerne in der Science Fiction aufgegriffen. Silizium ist unter den möglichen Alternativen dem Kohlenstoff noch am ähnlichsten.

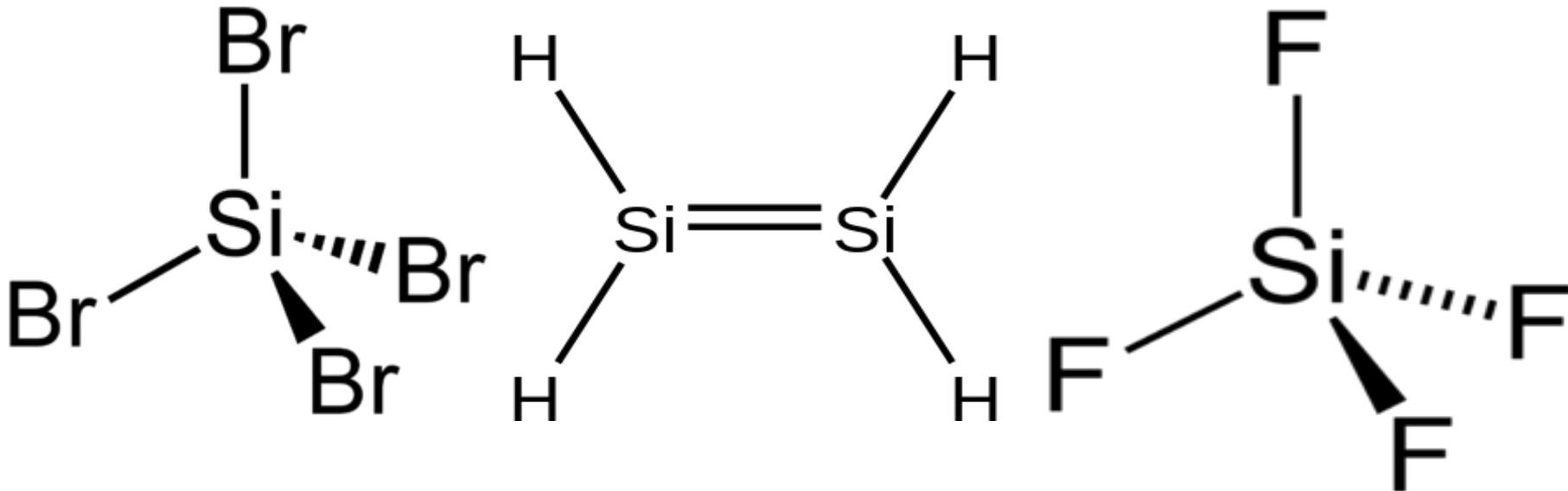
Beispiel: das Gerüst von Kieselalgen besteht aus Silizium.

# Siliziumchemie



Siloxene

Siloxene werden in der Nanoelektronik, Brennstoffherzeugung und nachhaltiger Energieversorgung benötigt.



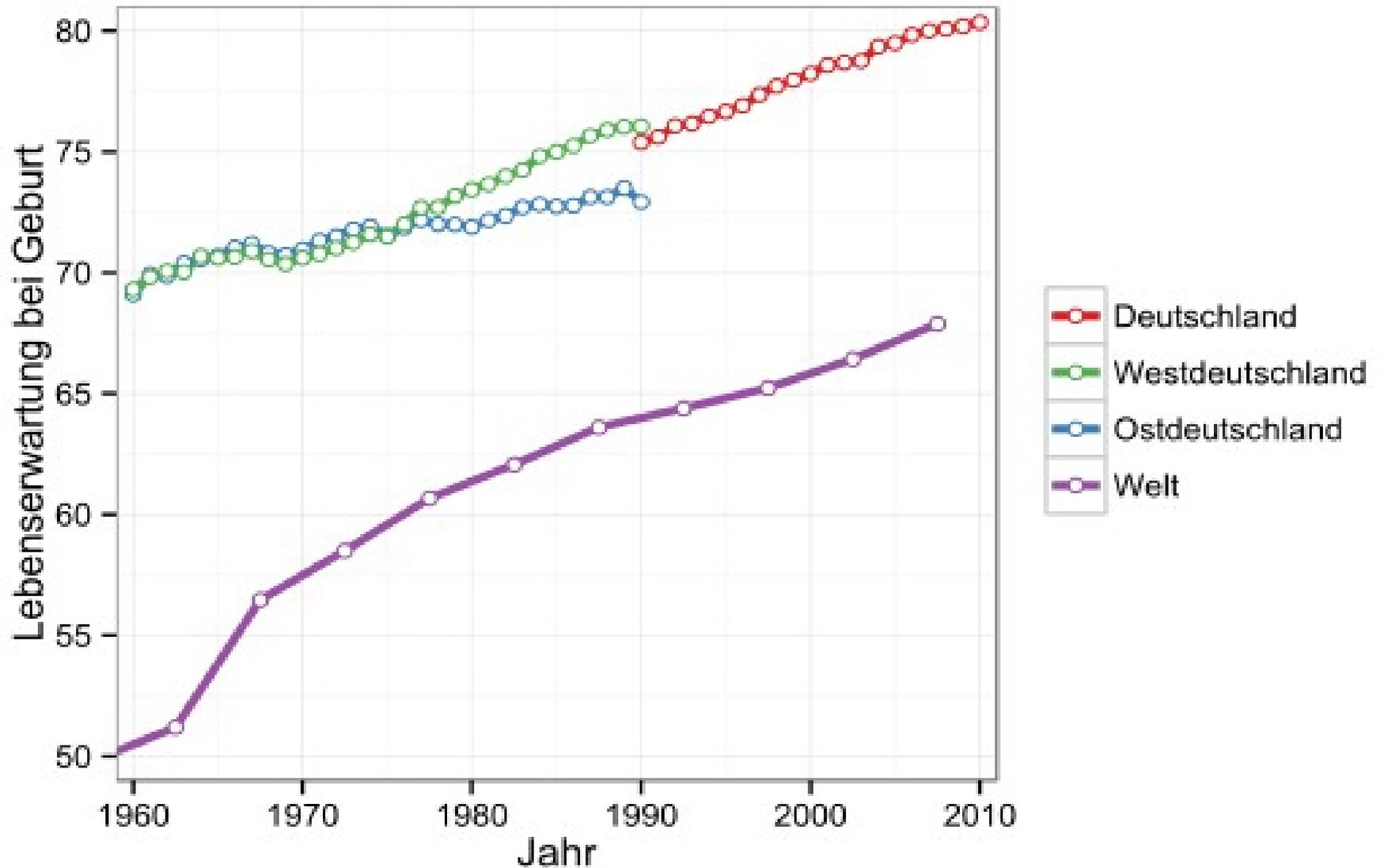
# 'Verbesserungen' des Lebens

Fortschritte in der Medizin  
Erkennung von Krankheiten  
Gentechnologie  
Gentherapie  
Verlängerung  
des Lebens  
Reversion  
des Alterns  
.....



Oscar Wilde: Dorian Gray

# Medizin



# Medizin

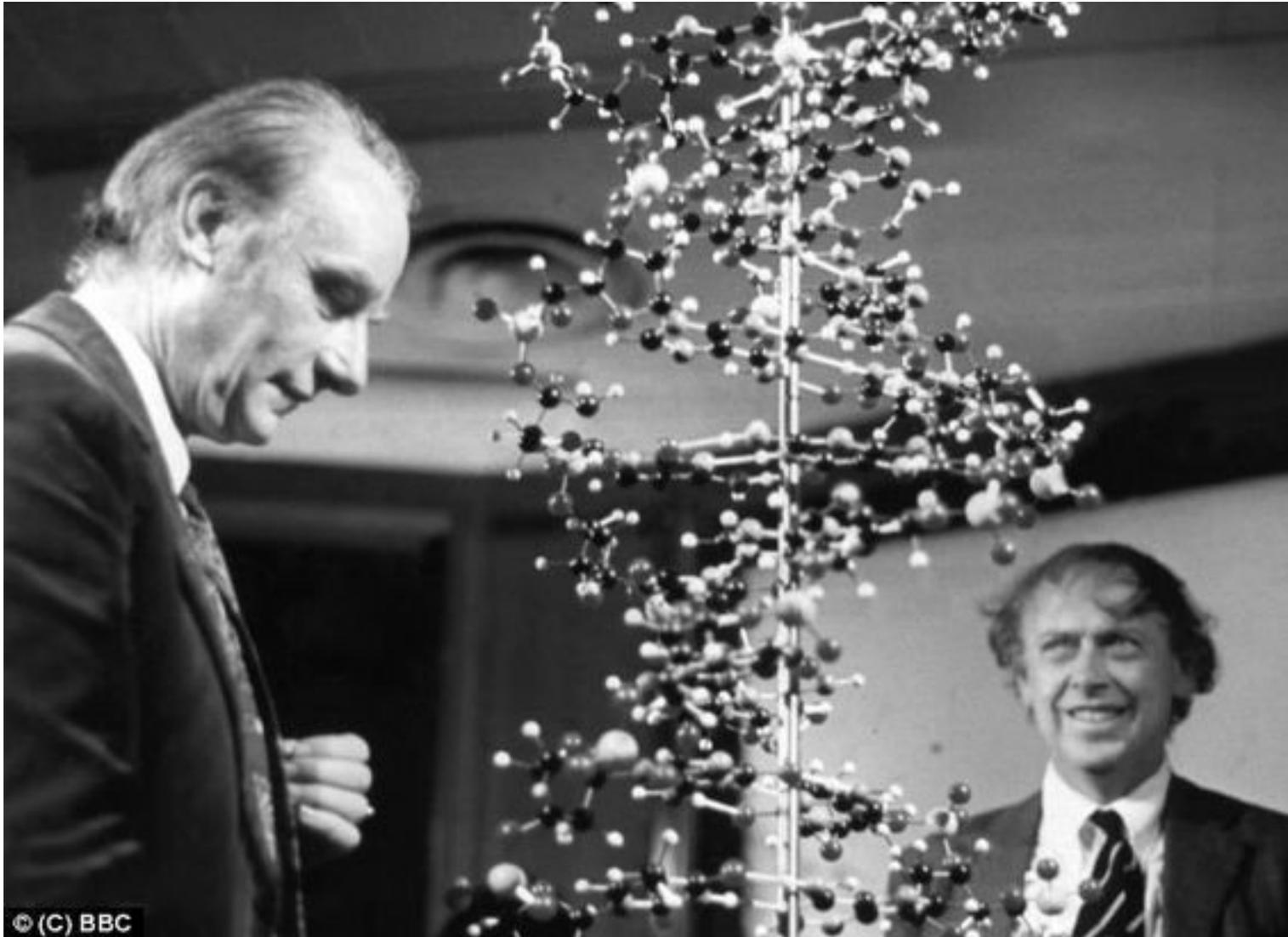
**1850: Eine Arzt kommt zum Hausbesuch mit seiner schwarzen Tasche. Inhalt: eine Bügelsäge und Morphium, alles andere sind wirkungslose Quacksalberprodukte**



**1940: Erwin Schrödinger: Was ist leben? Leben beruht auf einem Code, der in Molekülen verschlüsselt ist.**

**1953: Francis Crick und James Watson entschlüsseln die Struktur der DNA**

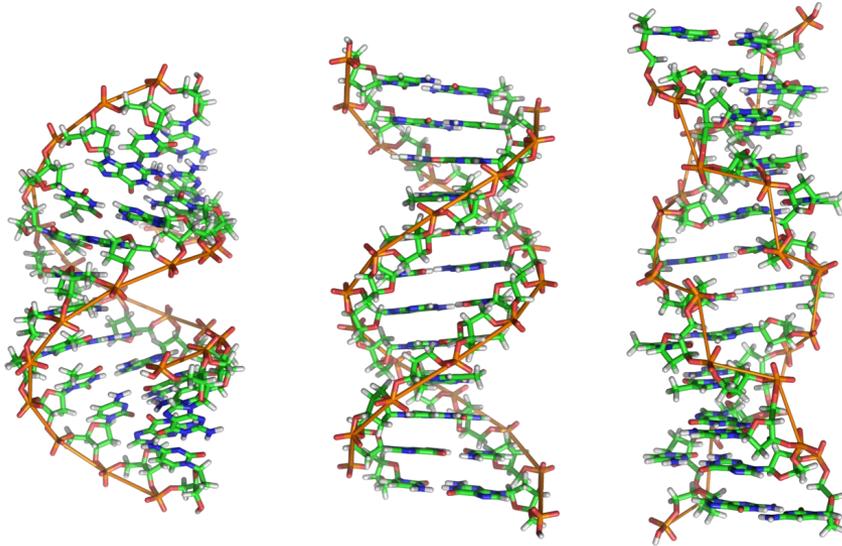
# Medizin



Francis Crick

James Watson

# Medizin



**DNA: 1,8 m lang; 3 Milliarden Nukleinsäuren (A,T, C, G)**

**2003: Kosten der Sequenzierung des menschlichen  
Genoms: 3 Milliarden Dollar**

**2018: 1000 Euro!**

**2030: jeder wird seine Sequenzierung in der Tasche  
haben**

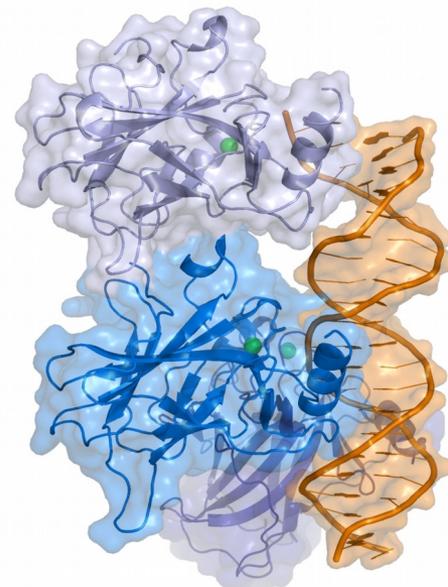
**Die Biologie ist heute eine Informationswissenschaft.**

# Medizin

Gensequenzierungen werden heutzutage von Robotern gemacht (man muss einen starken Magen haben, wenn sein eigenes Genom betrachtet).

Der Besuch beim Arzt wird sich in Zukunft radikal ändern. Das persönlich Badezimmer wird mehr Sensoren haben als ein modernes Hospital.

Die Hälfte der Krebsarten liegt an einer Mutation im Gen p53. Mit Nanopartikeln, die in den Blutstrom injiziert werden, kann man solche Mutation im Gen p53 feststellen. Wenn ein Organ sonstwie betroffen ist, lassen Sie sich ein neues nachwachsen. Das wird direkt aus Ihren eigenen Zellen nachgezüchtet.



# Neue Organe

**Es wird ein Laden für menschliche Körperteile geben:  
Im Moment kann man schon Haut, Blut, Blutgefäße,  
Herzklappen, Knorpel, Nasen und Ohrmuscheln  
direkt aus den eigenen Körperzellen wachsen lassen.**



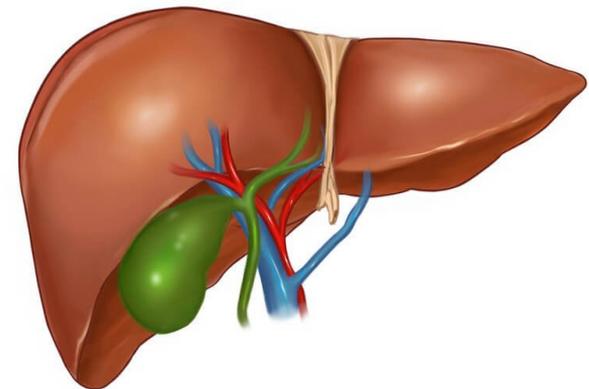
# Neue Organe

Das Problem von **Abstoßungsmechanismen** nach Transplantationen entfält so.

Achtung Alkoholiker:

menschliche Lebern

Kann man auch schon züchten.



[https://www.focus.de/gesundheit/ratgeber/zukunftsmedizin/news/ersatzorgan-leber-im-labor-gezuechtet\\_aid\\_567062.html](https://www.focus.de/gesundheit/ratgeber/zukunftsmedizin/news/ersatzorgan-leber-im-labor-gezuechtet_aid_567062.html)

# Neue Organe



# Stammzellen

Am besten sind embryonale Stammzellen. Sie können sich in jeden Zelltyp verwandeln. (Ethische Probleme)  
Adulte Stammzellen lassen sich jedoch in embryonale Stammzellen zurückverwandeln.

Stammzellen haben das Potential, Diabetes, Herzkrankheiten, Alzheimer, Parkinson und sogar Krebs zu heilen. Auch gib es Fortschritte bei Rückenmarksverletzungen.

**Problem: wie kann man Stammzellen beibringen, mit dem Wachsen aufzuhören, bzw. sich ungezügelt zu vermehren.**

# Verlorene Gliedmaßen

**Salamander: Teile von Gliedmaßen kann man schon beim Menschen nachwachsen lassen: Fingerspitzen**

<https://www.welt.de/gesundheit/article2021956/Forscher-lassen-Fingerkuppe-nachwachsen.html>

Axolotl kann seine Gliedmaßen (Hände, Arme, Beine, ...) nachwachsen lassen.



... auch bald beim Menschen?

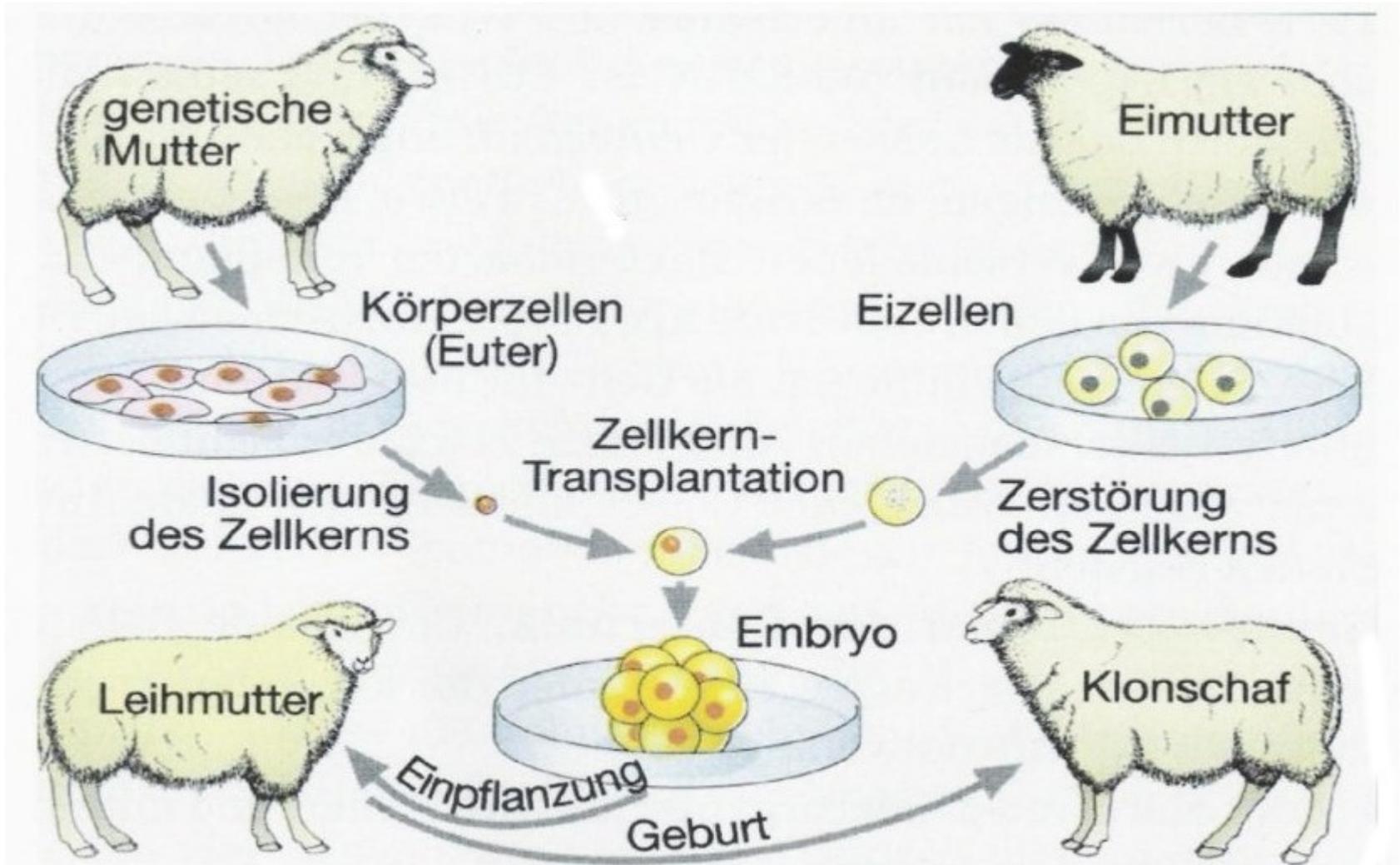
# Künstliche Gliedmaßen

Die Zukunft des Lebens



... intelligente Prothesen

# Klonen



# Was wurde bisher alles geklont?

## Klontiere

Schaf (1996), Maus (1998), Rind (1998), Ziege (1999)

Schwein (2000), Kaninchen(2002), Katze (2002),

Maultier (2003), Pferd (2003), Ratte (2003),

Hund (2005), Wolf (2007)

Rinder in vielen Generationen (Rinder-Klonfarm)

**Kloneffizienz ?, Spätfolgen ?**

**Menschen klonen als Ersatzteillager?**

**Ethische Probleme**

# Gentherapie

**Jeder von uns trägt ein paar Gene, die ziemlich verkorkst sind.**

**In Zukunft könnte die Gentherapie in der Lage sein, viele der rund 5000 bekannten Erbkrankheiten zu heilen.**

**Somatische Gentherapie: defekte Gene eines Individuums reparieren**

**Keimbahntherapie: die reparierten Gene werden auch an die folgenden Generationen weitergegeben**

# Gentherapie Experimente

Es laufen weltweit solche Experimente

<https://www.spektrum.de/news/forscher-manipulieren-genom-menschlicher-embryonen/1343400>

**Ein wichtiges Ziel: die Bekämpfung von Krebs**

**Viele Krebsarten sind mit einem Defekt des Gens p53 korreliert. Ziel ist es, das defekte Gen p53 durch ein gesundes zu ersetzen.**

**Zigarettenrauch führt zu drei charakteristischen Mutationen an wohlbekannten Orten auf dem Gen p53**

**Erkennung bereits befruchteter Embryonen auf genetische Erkrankungen: Auswahl des Embryos ohne Gendefekte**



.... sollen wir es wegschmeißen?

# Krebstherapie-Techniken

**Antiangiogenese:**

Unterbindung der Tumordurchblutung

**Nanopartikel:** intelligente Bomben gegen Krebszellen

**Gentherapie** bzgl. Gen p53

**Impfungen** gegen krebsauslösenden Viren

Mitte des laufenden Jahrhunderts wird die Gentherapie zur Bekämpfung von Krebs Standard sein.

# Designerkinder ?

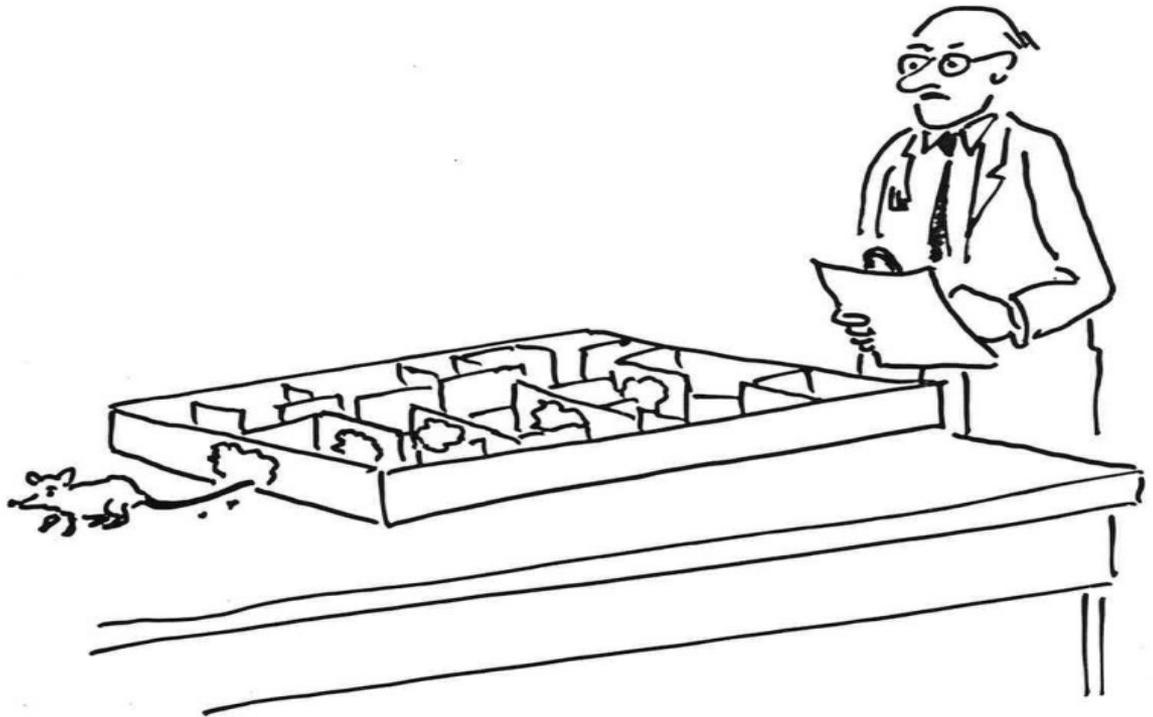
**Smart-Mouse Gen (1999):** verbessert das

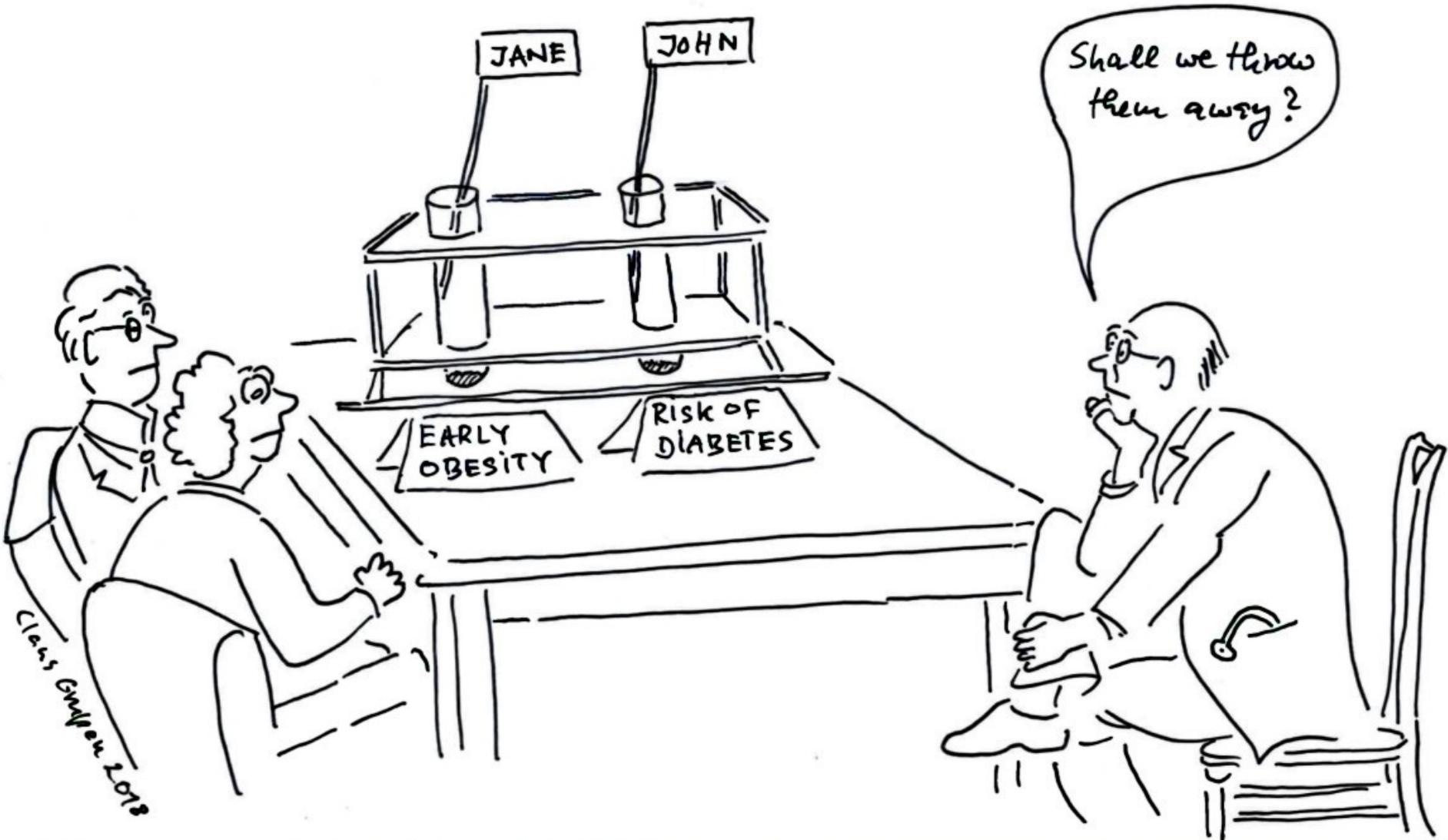
Gedächtnis und Lernfähigkeit von Mäusen

(Idee: Verstärkung

der Synapsen mit

Neurotransmittern)





JANE

JOHN

EARLY OBESITY

Risk of DIABETES

Shall we throw them away?

Clare's Cartoon 2018

# Designerkinder ?

**Mighty-Mouse Gen (1997)** Erhöhung der Muskelmasse; erreicht man durch Abschaltung des Myostatin-Gens



# Nebenwirkungen

Es wird Jahrzehnte dauern, bis es gelingt, unerwünschte Nebenwirkungen und Konsequenzen zuverlässig abzuschalten. Die Feststellung von Nebenwirkungen muss darüber entscheiden, was ein Staat an gentherapeutischen Maßnahmen erlaubt.

Great power brings great responsibility



Congratulations – it's a Versace!

# Umkehrung des Alterungsprozesses

Was ist Altern? Anhäufung von Fehlern auf genetischem und zellulären Niveau. ---> Erzeugung von Radikalen, Oxidationen und molekularem Müll.

Woran liegt das: 2. Hauptsatz der Thermodynamik  
Entropiesatz: Rosten, Verrotten und Verfaulen sind Folgen des Entropiesatzes.

Aber es gibt Hoffnung:  
nur die Gesamtentropie nimmt zu  
(siehe Oscar Wilde: Das Bildnis des Dorian Gray)

# Langlebigkeit

**Antioxidativ wirkende Stoffe: Superoxid-Dismutase  
Kalorienreduktion um 30% (belegt an einem 20 Jahre  
dauernden Experiment an Rhesusaffen)**

**Das Gen SIR2 ist für die Überwachung der zelleigenen  
Energiereserven verantwortlich. Sirtine sorgen dafür,  
die Gene 'in Schuss' zu halten. Sie können den  
Alterungsprozess verzögern und sogar umkehren!**

**Die Sirtine werden von Resveratrol aktiviert.**

**(Resveratrol ist im Rotwein enthalten. Französisches  
Paradox!)**

# Resveratrol

Der Mitentdecker Sinclair des Resveratrol sagt:  
Mein Kollege nimmt jeden Tag große Mengen von  
Resveratro ein!

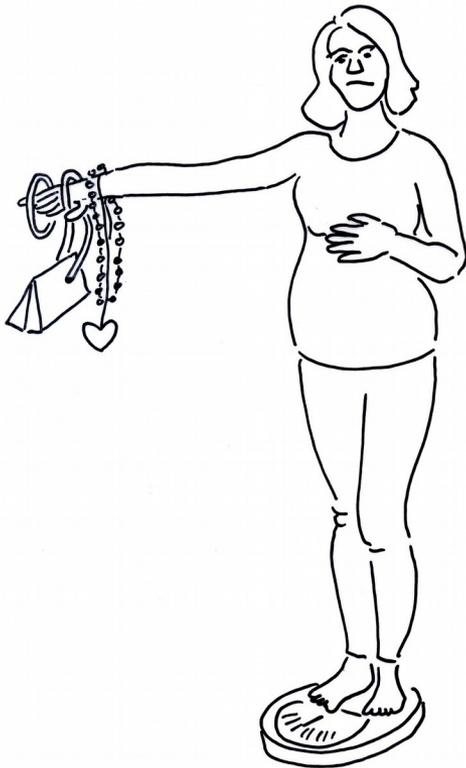


Frische Rote Trauben	100mg/100g
Rotwein (Polyphenole)	1.5 mg/100ml
Erdnüsse	~ 0.1 mg/100g
Kakaohaltige Schokolade	~ 0.62 mg/100g
Weißwein	~ 0.1 mg/100ml
Grüner Tee	
Jede Menge pharmazeutische Produkte	



Allerdings: was den Alterungsprozess angeht, ist die  
Geschichte der Medizin durchzogen von Tricks,  
Täuschungen und Betrug.

# Abnehmen



weight watcher

Clans Gimpfen 2017



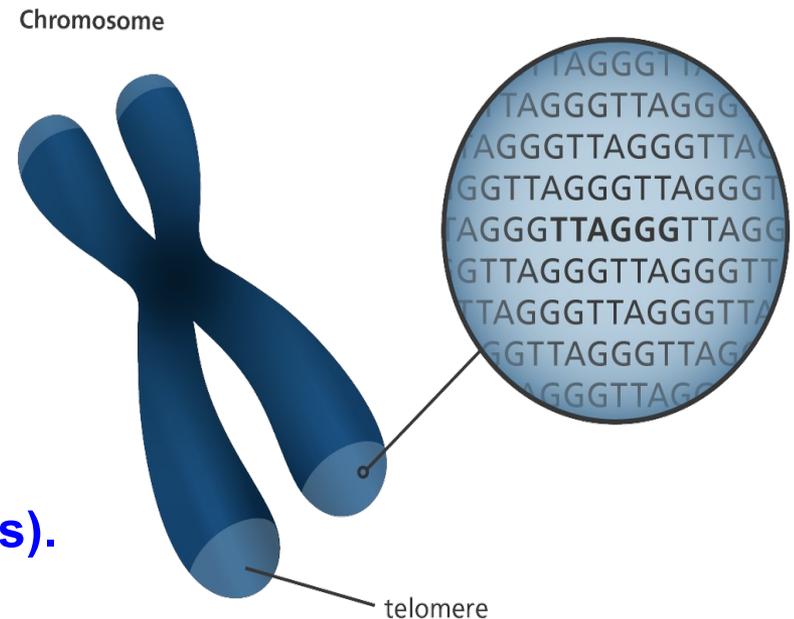
# Müssen Menschen sterben?

DNA ist ein unsterbliches Molekül. Man lebt länger, wenn die Stoffwechselrate geringer ist.



# Die Biologische Uhr

Telomere einer Zelle wirken als biologische Uhr. Die Telomere sitzen am Ende eines Chromosoms. Nach jedem Teilungszyklus werden sie kürzer. Nach etwa 60 Teilungen sind die Telomere aufgebraucht (Seneszenzphase) und funktionieren nicht mehr korrekt; d.h. die Zelle stellt die Teilung ein. Eine Therapie, die Telomere einsetzt, kann die biologische Uhr zurückdrehen, mit der Gefahr, dass die Zelle sich (andauernd) weiter teilt (Krebs).



# Wie bewahrt man die Jugend?

Züchtung neuer Organe

Schlucken eines Cocktails aus Enzymen, die den Zellreparaturmechanismus anregen

Aktivierung von Genen, die den Alterungsprozess verlangsamen;

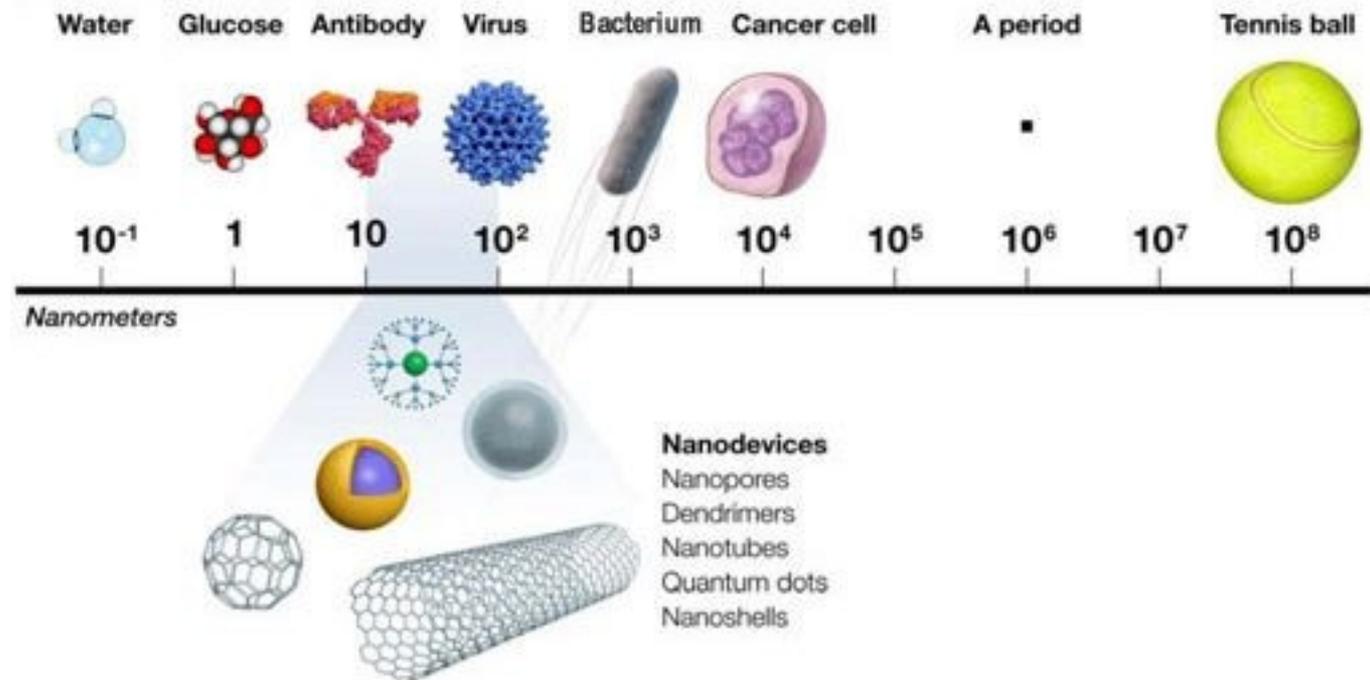
Sport treiben

Krankheiten

mit Nano-

sensoren

aufspüren



# **Wiederauferstehung ausgestorbener Lebensformen**

**Die Rückkehr des Neandertalers?**

**Neue Lebensformen schaffen?**

**Biologische Kriegsführung?**

**Natürliche biologische Waffen?**

**Ratten, Mäuse, Heuschrecken, Zecken, Läuse,  
Flöhe, Mücken, Wespen, Bandwürmer,  
Borken- und Kartoffelkäfer.**

**Chemisch/biologische Waffen**

# Gen-Editing

**Gentechnologie nach hergebrachten Verfahren verwendet chemisch oder radiologisch motivierte**

**Methoden: das ist wie Schießen mit Schrot:**

**Die meisten erzeugten Mutationen sind unbrauchbar, und die wenigen guten müssen isoliert werden.**

**Gen-Editing erzeugt gezielt gewünschte Mutationen durch Verwendung sog. CRISPR/CAS9 Genscheren.**

"clustered regularly interspaced short palindromic repeats"

Cas – CRISPR associated

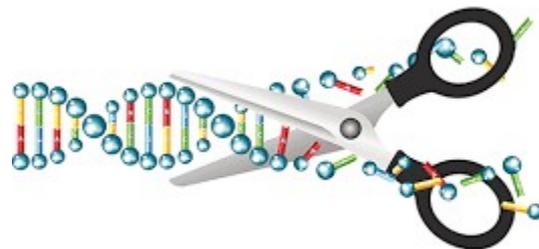
# Gen-Editing

**Gen-Editing nimmt Anleihen bei einem ausgeklügelten bakteriellen Immunsystem, das vor Viren schützt. Es basiert auf einer adaptiven Immunabwehr, die sich DNA-Sequenzen der Erreger "merkt" und bei einer erneuten Infektion deren DNA zerschneidet.**



# Gen-Editing

Man injiziert RNA in die Zelle, die ein Protein namens Cas9 mit einer beliebigen Erkennungssequenz kodiert. Die Zelle stellt anhand der RNA das Protein her, dieses findet die beigefügte Erkennungs-RNA und geht an die Arbeit: Cas9 schneidet doppelsträngige DNA – und zwar genau an der Stelle, die ihm das assoziierte RNA-Stück vorgibt. Da man RNA mit einer beliebigen Sequenz künstlich herstellen kann, schneidet eine solche Kombination jedes beliebige Genom an jeder beliebigen Stelle.

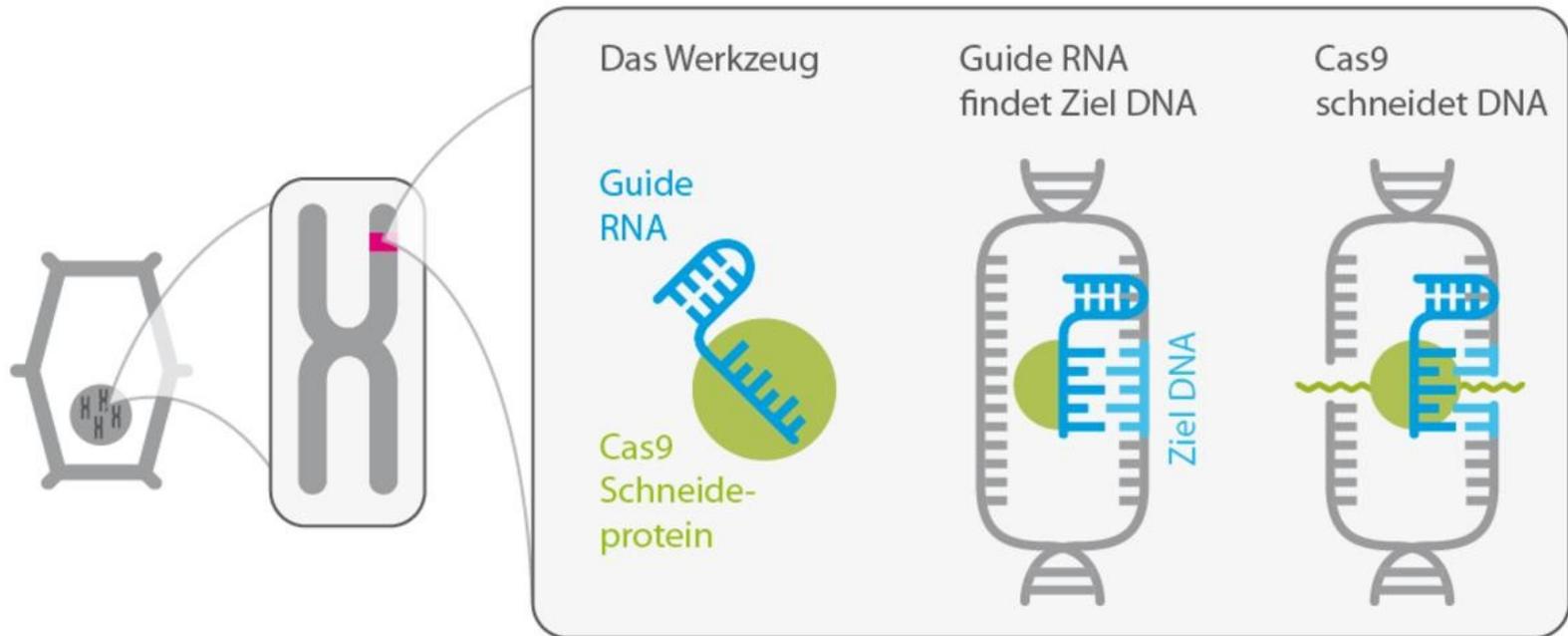


# Gen-Editing

Zum Einführen zielgerichteter Veränderungen im Erbgut von komplexen Organismen werden sogenannte Designer-Endonukleasen eingesetzt. Diese Enzyme schneiden doppelsträngige DNA an einer vorbestimmten Zielsequenz, wodurch Doppelstrangbrüche entstehen. Die Doppelstrangbrüche wiederum aktivieren DNA-Reparaturprozesse in der Zelle. Man kann in die Schnittstellen auch neue Gensequenzen einbauen!



# Elementares Gen-Editing



# Risiken

**Unkontrollierte Spätfolgen  
wandernde Gensequenzen  
(Bruchstücke)**

**Off-Target Mutationen (falsch  
eingefügte Mutationen)**

**Unerwünschte Indels  
(Inserts/Deletions)**

**Nobelpreis für  
Emmanuelle Charpentier  
und Jennifer Doudna**



# Medizintechniken

**Computertomographie**

**Positronen-Emissions-Tomographie**

**Kernspin-Tomographie (MRT)**

**Szintigraphie**

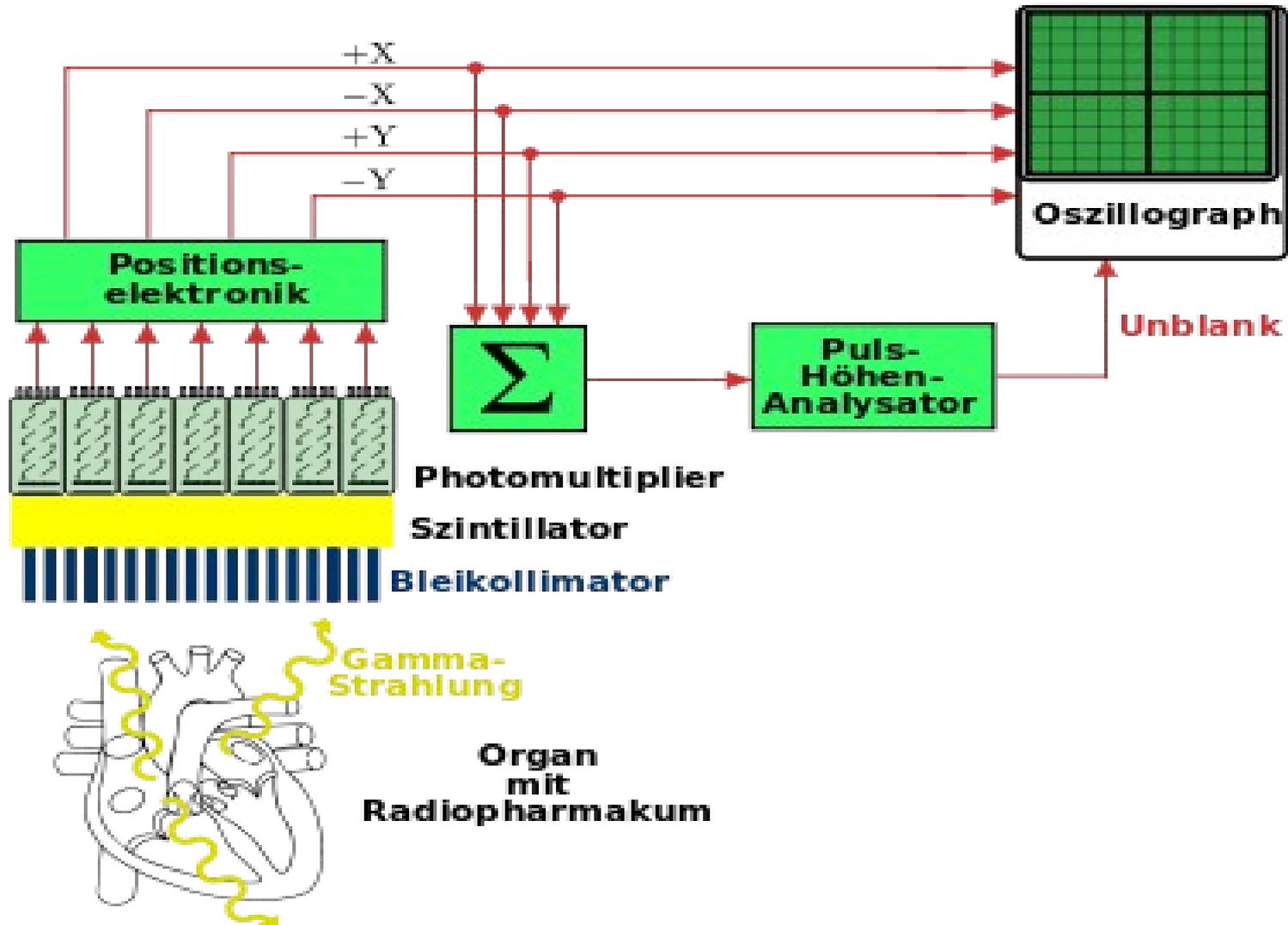
**Zwei-Energie-Technik (subtraktive nicht-invasive  
Koronar-Angiographie)**

**Sonographie**

**Compton-Kamera**

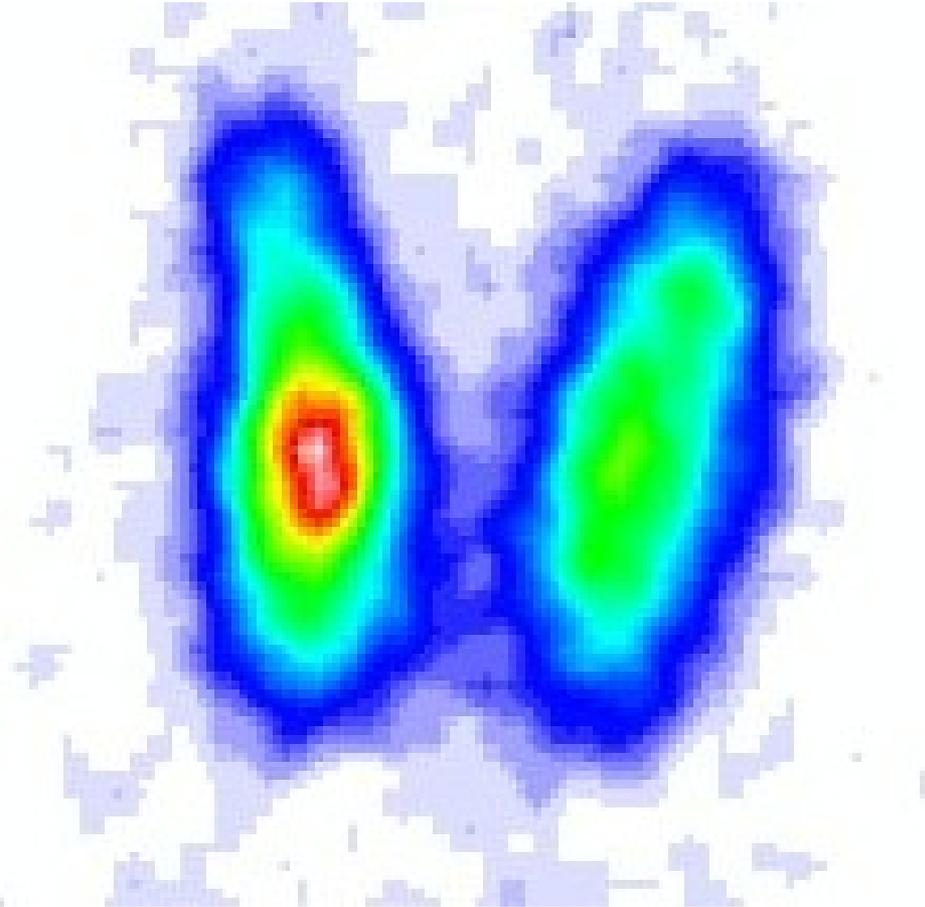
.....

# Szintigraphie/Anger Kamera

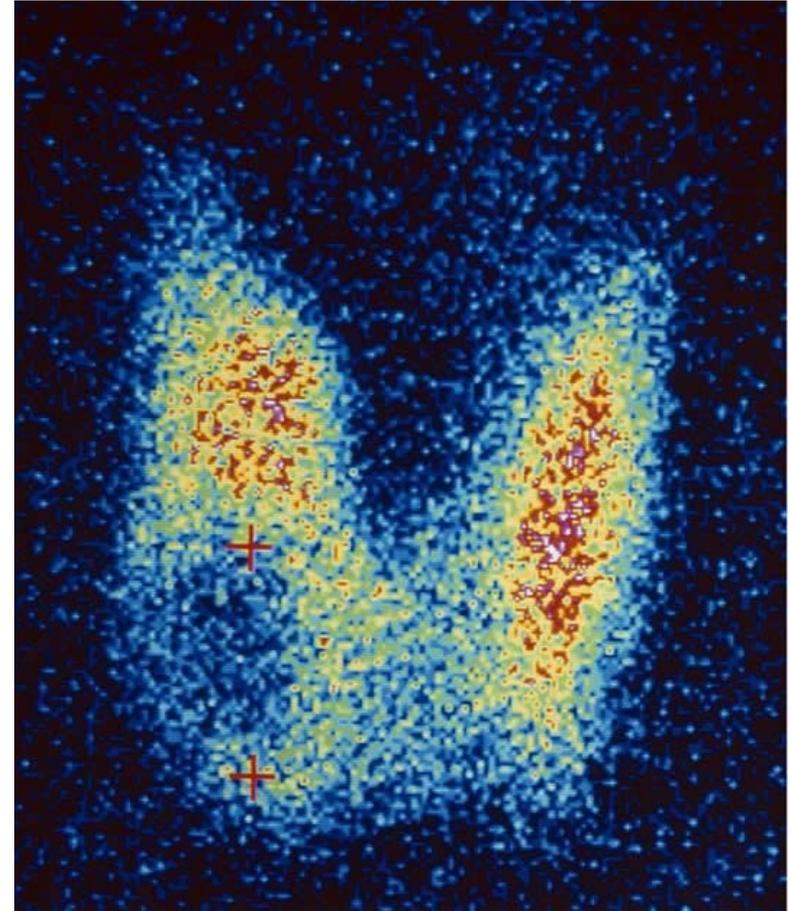




# Schilddrüse

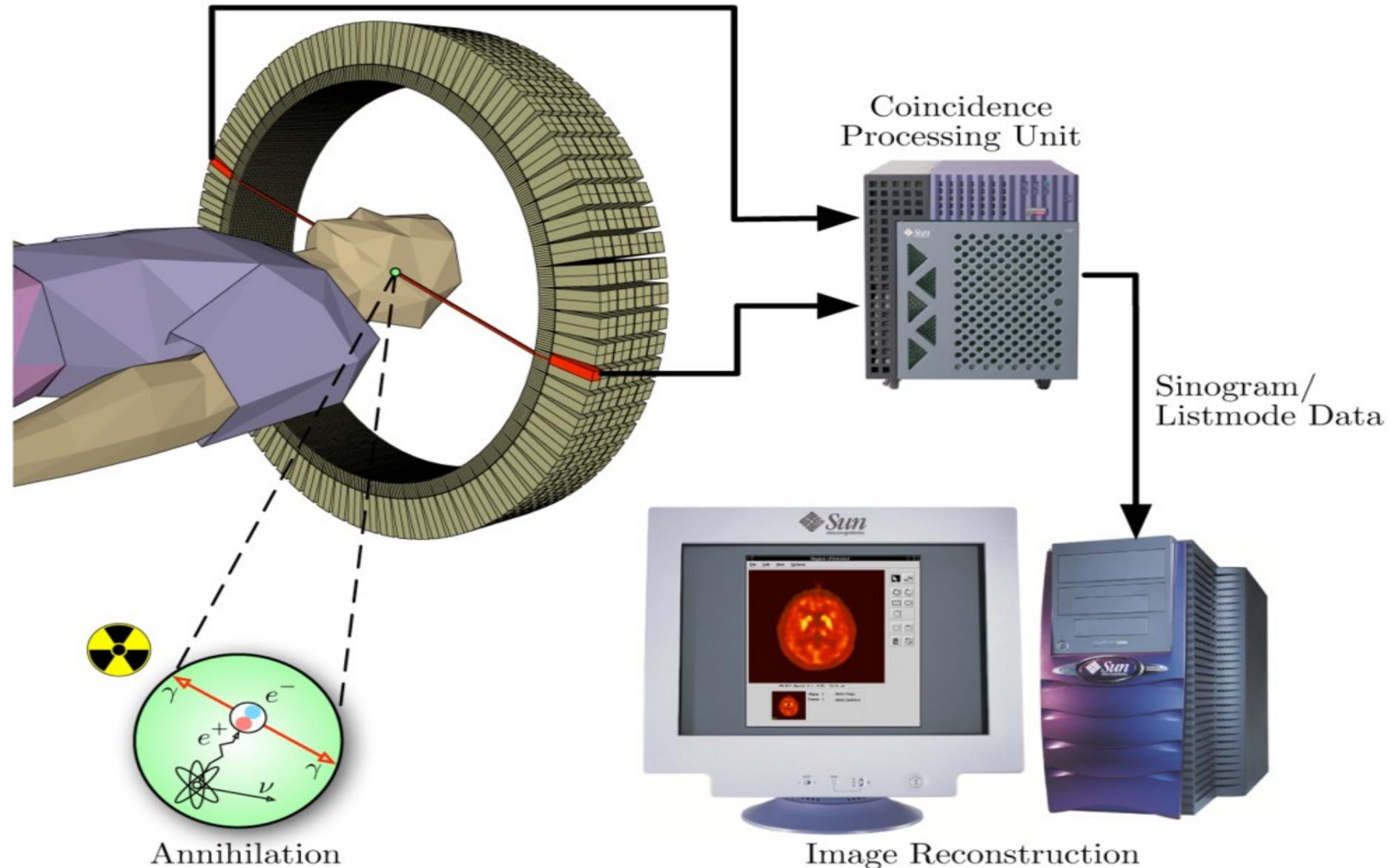


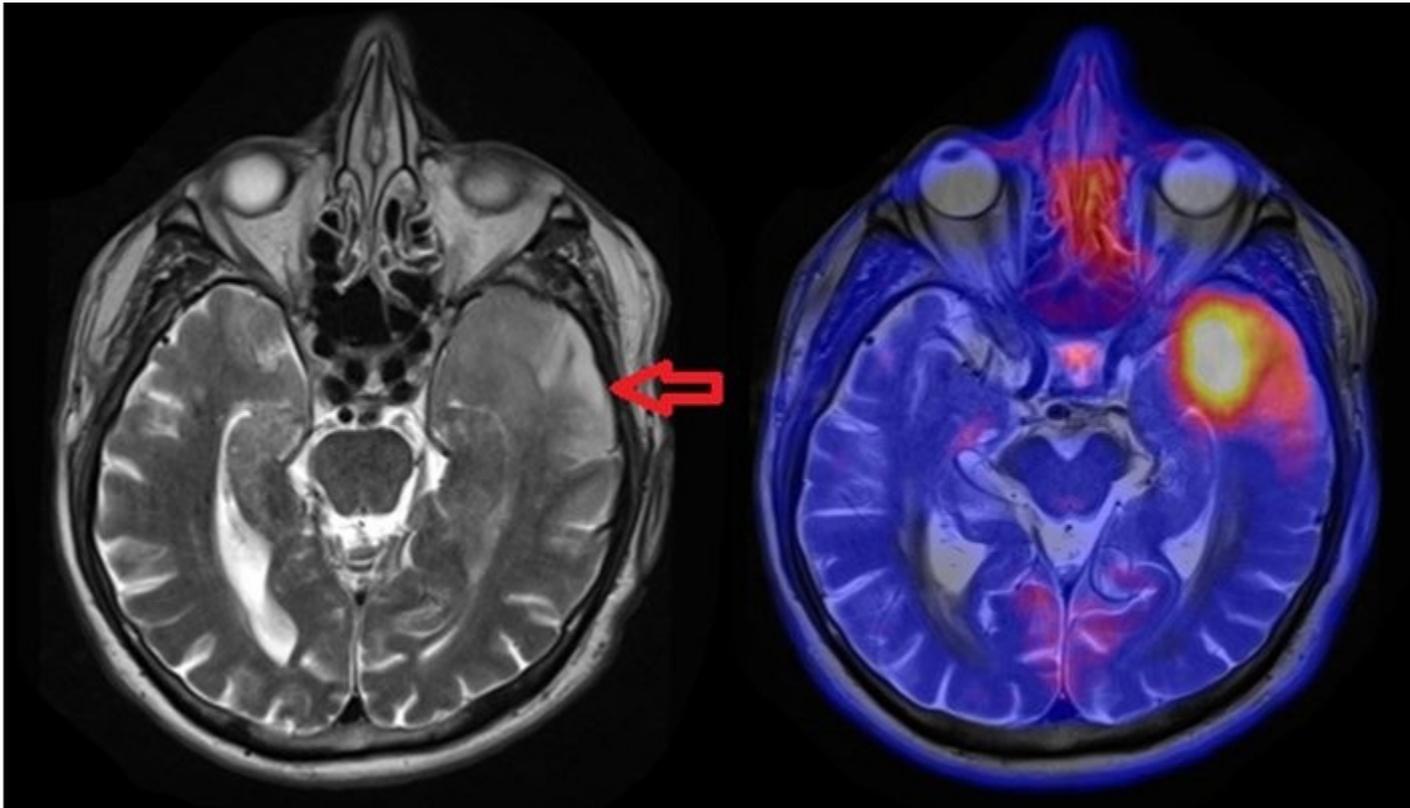
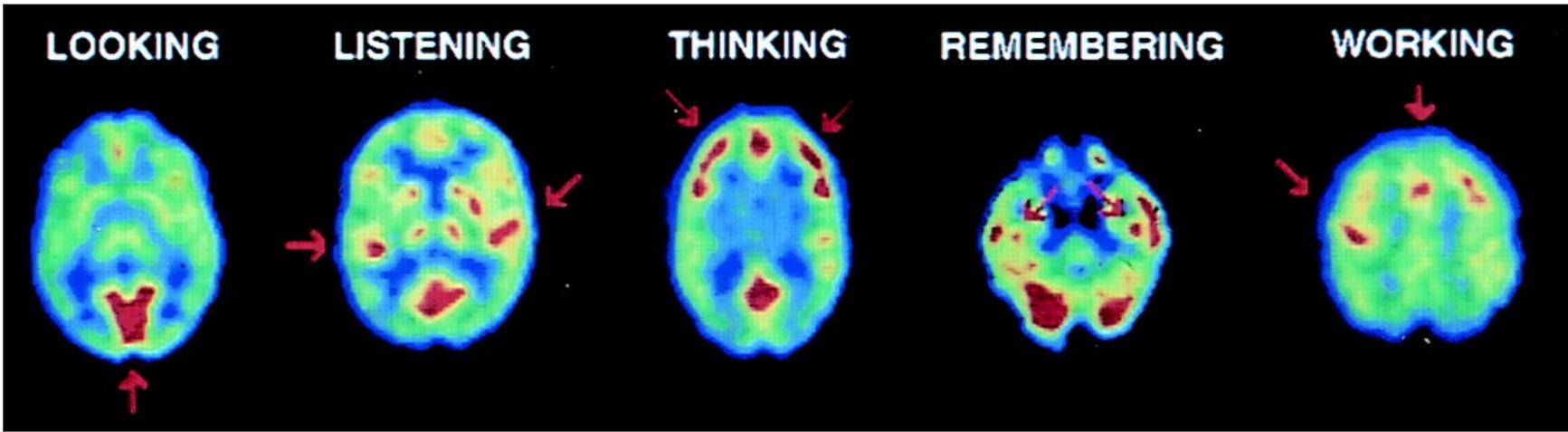
**heißer Knoten  
Überfunktion**



**kalter Knoten  
Unterfunktion**

# Positronen-Emissions-Tomographie

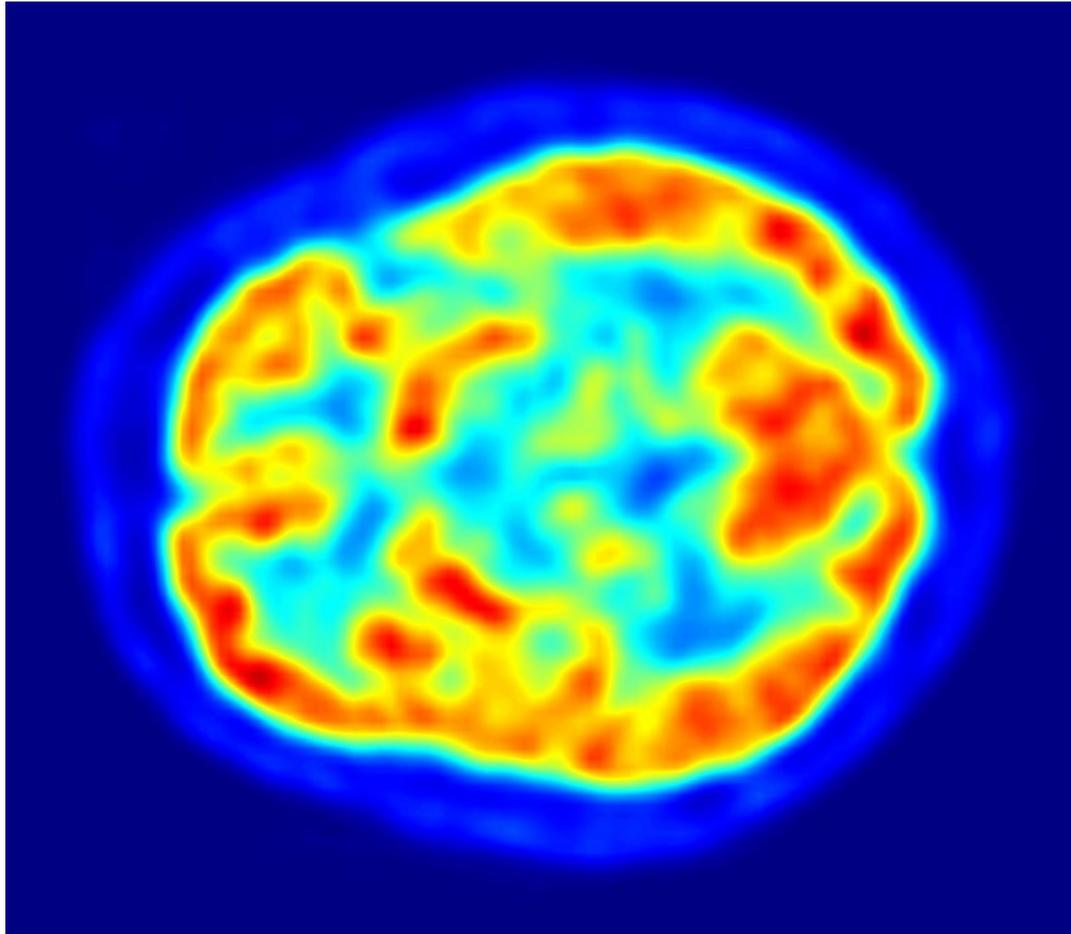




**MRT**

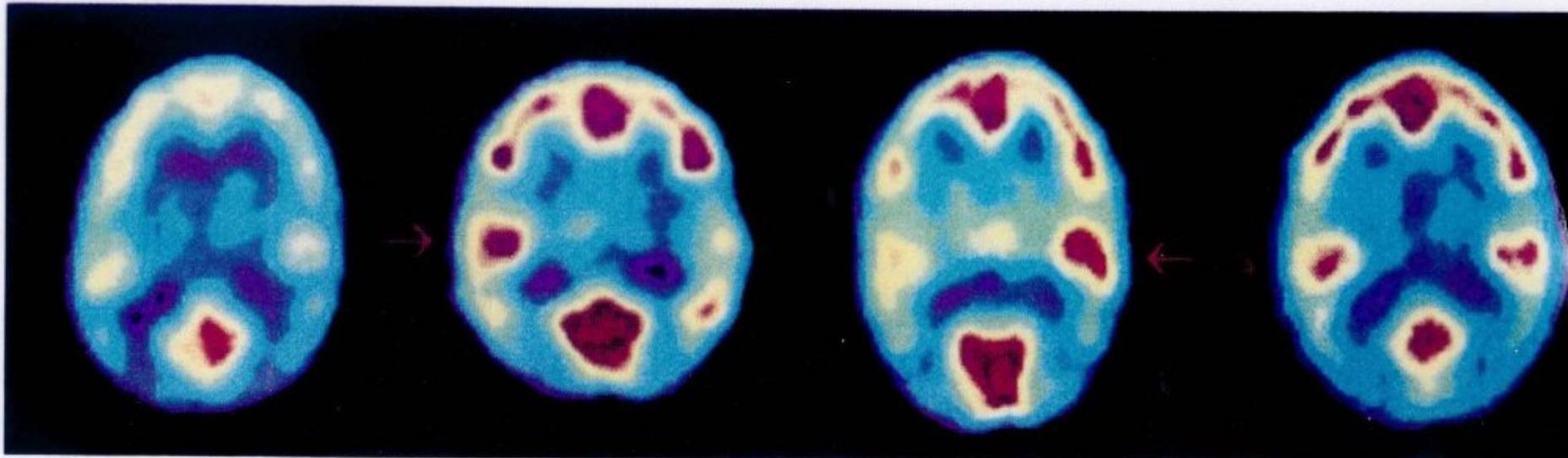
**PET**

# Fluordesoxyglucose



PET-Bild eines gesunden Probanden

# Lokalisierung der Gehirnfunktionen

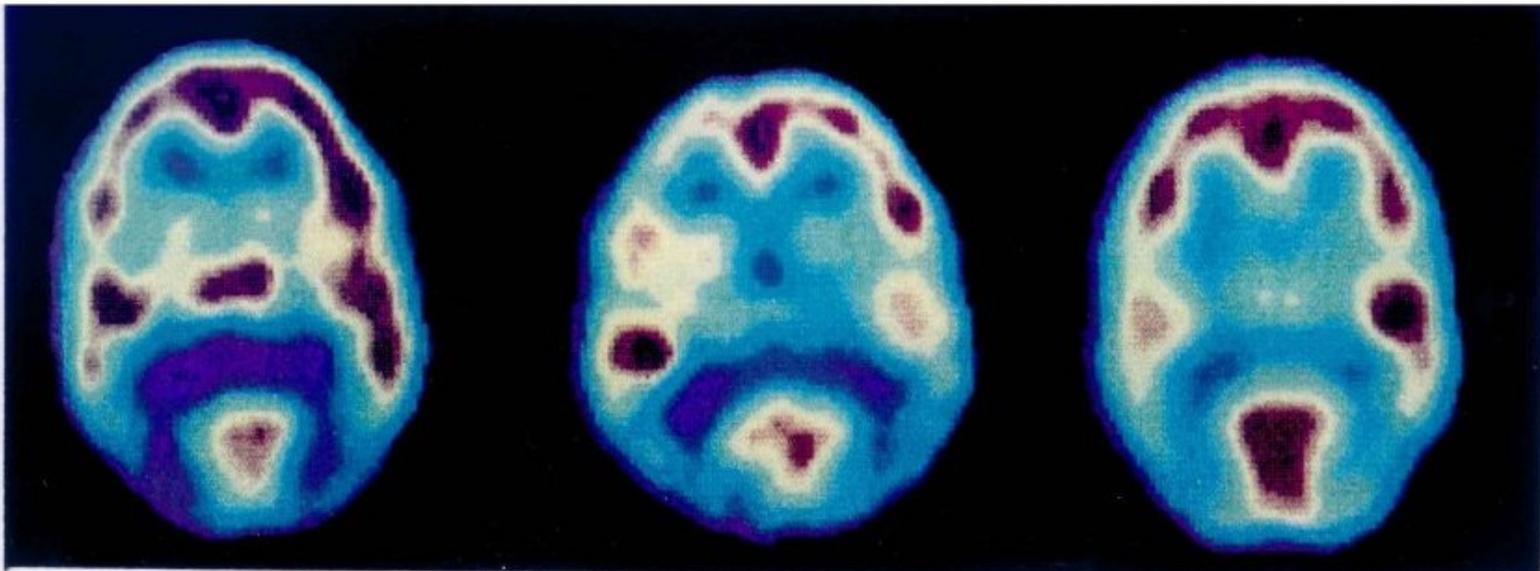


1: RESTING STATE (EYES OPEN)

2: LANGUAGE

3: MUSIC

4: LANGUAGE AND MUSIC

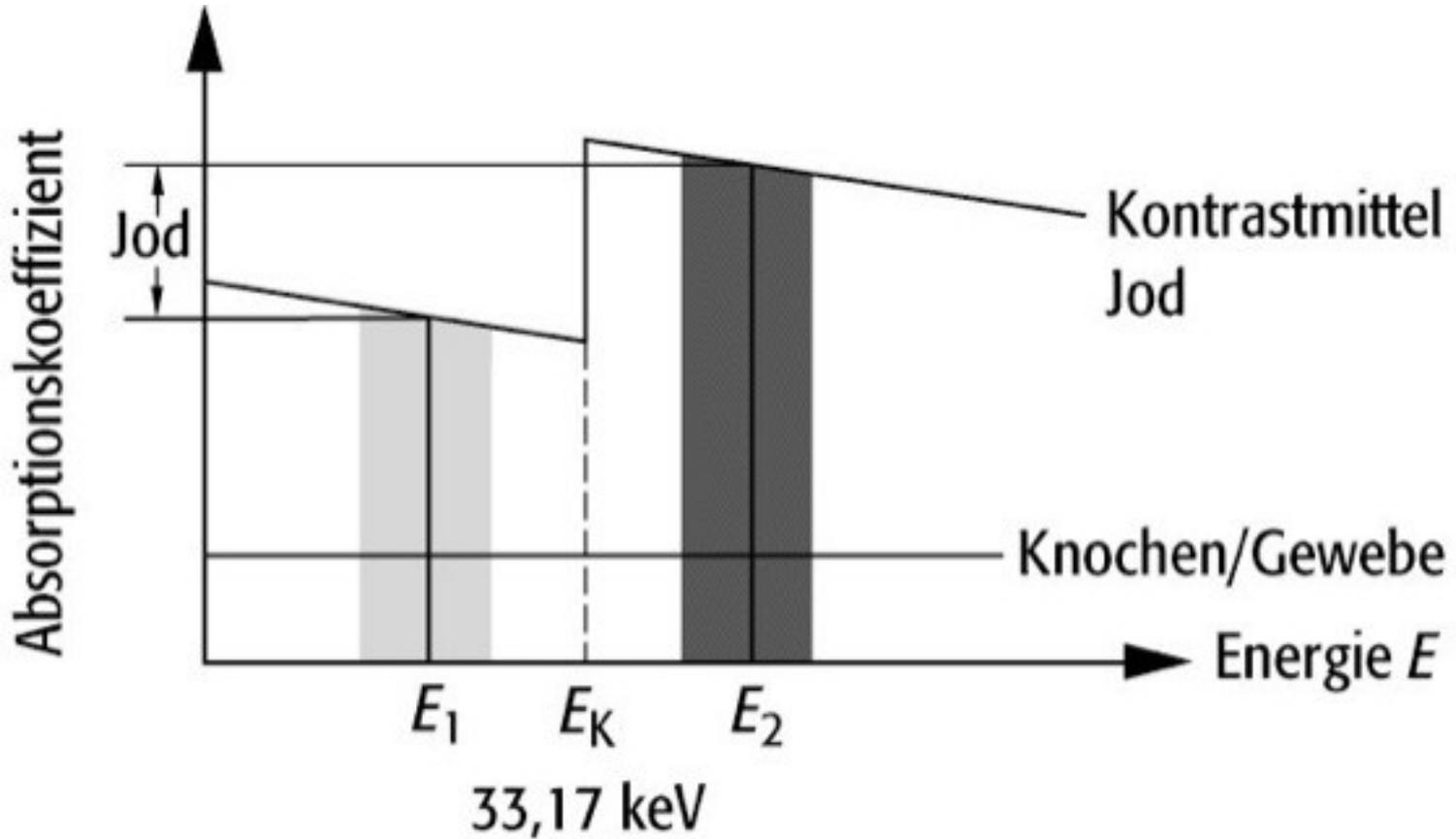


5: TONAL SEQUENCE, UNTRAINED LISTENER

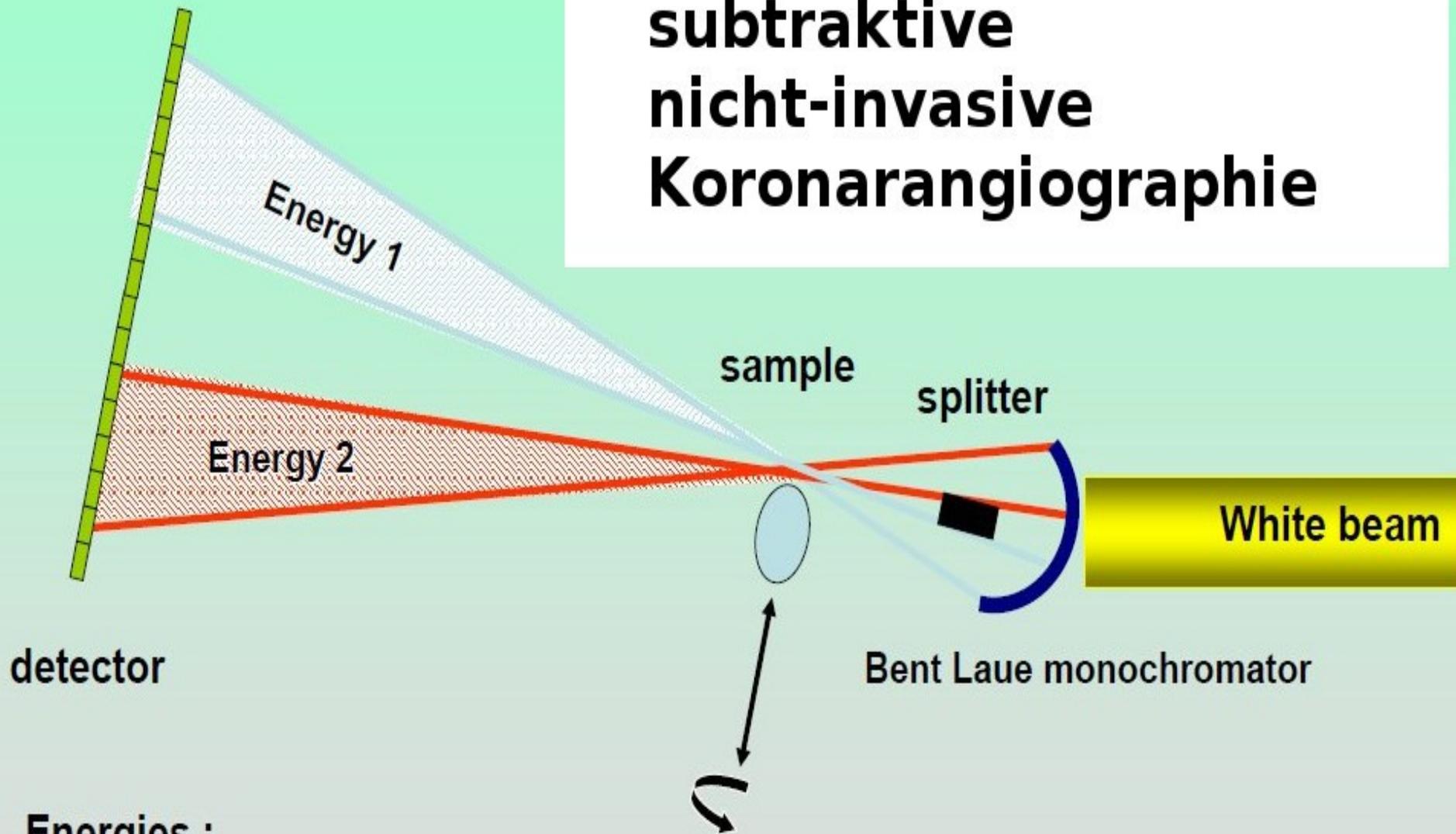
6: TONAL SEQUENCE, TRAINED LISTENER

7: TONAL QUALITY (CHORDS)

# Subtraktions Angiographie

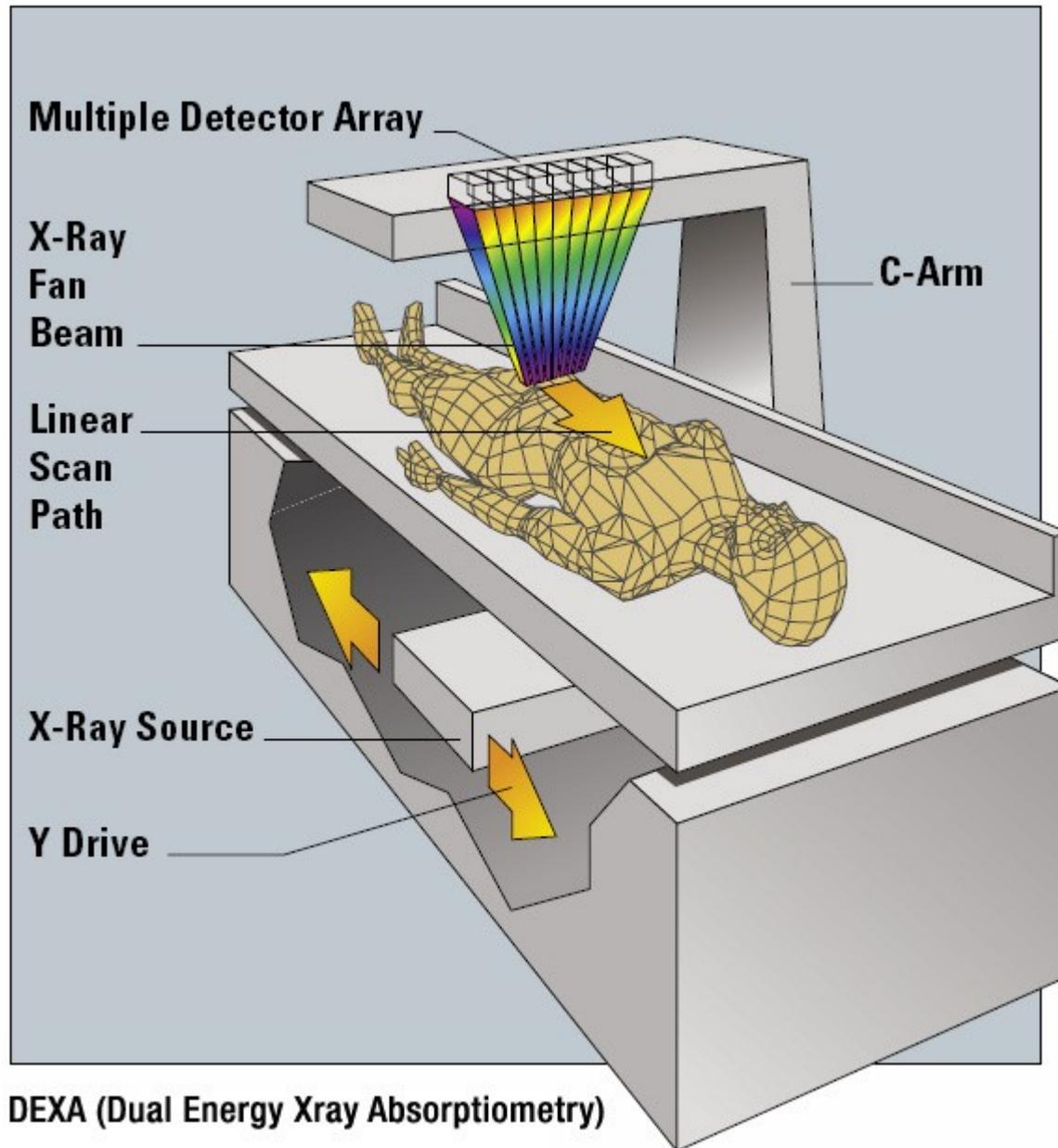


# Halblogarithmisch subtraktive nicht-invasive Koronarangiographie

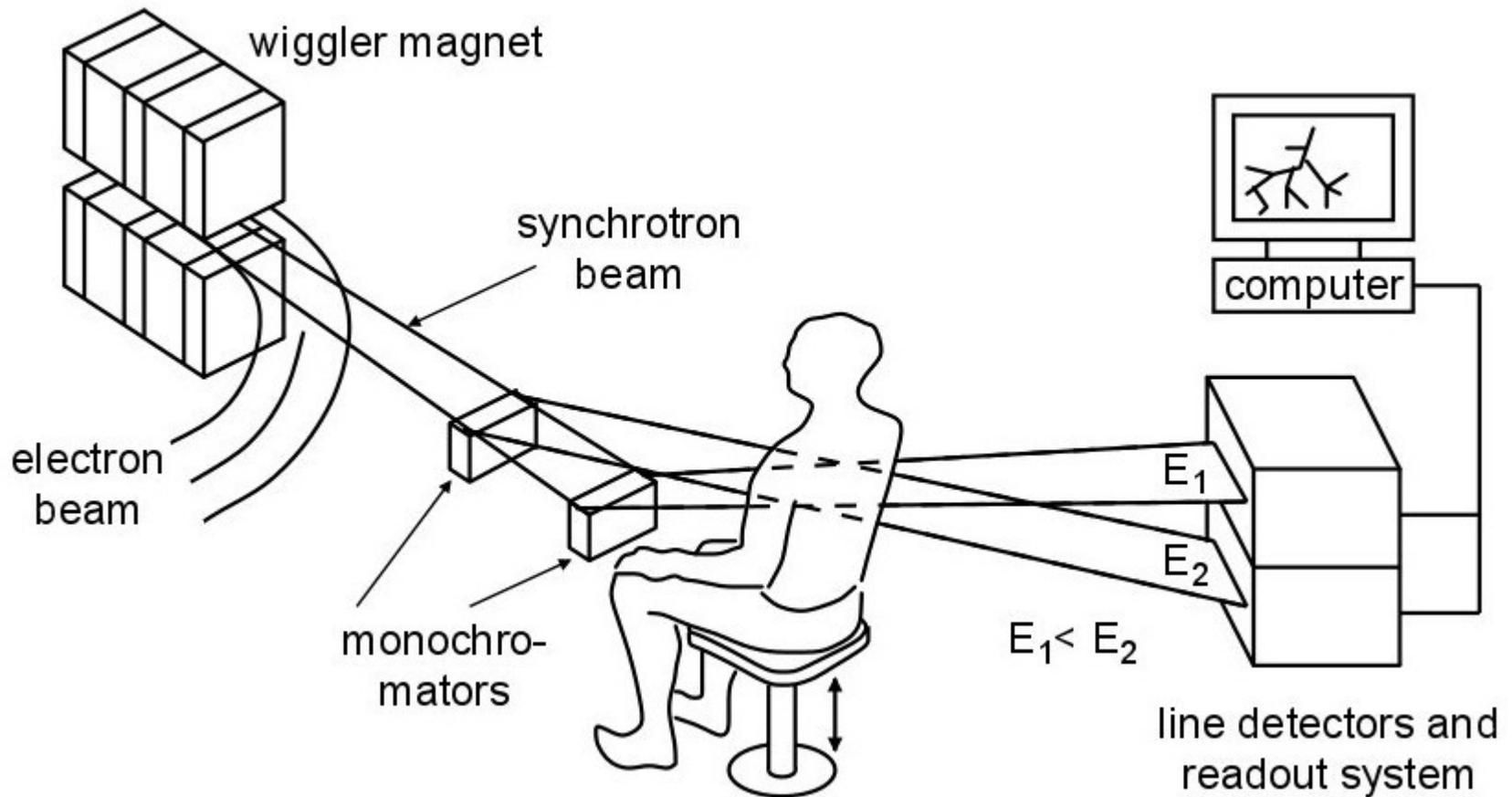


Energies :

iodine K-edge 33.17 keV +/- 250 eV



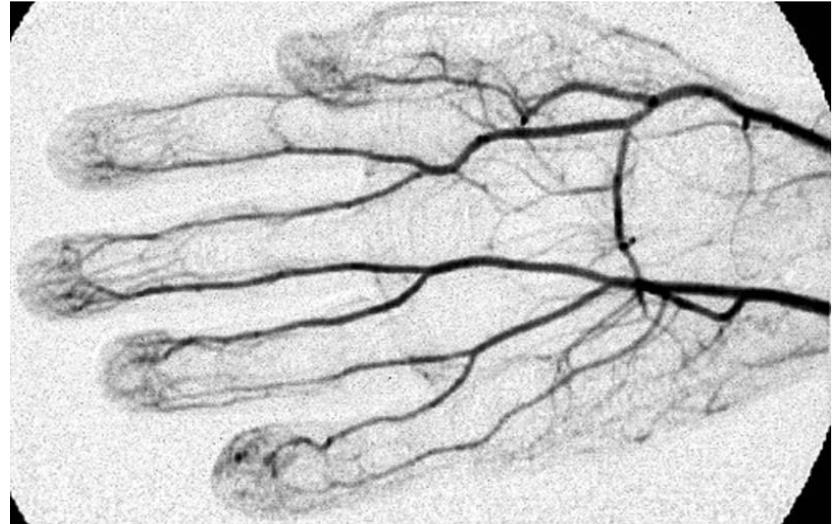
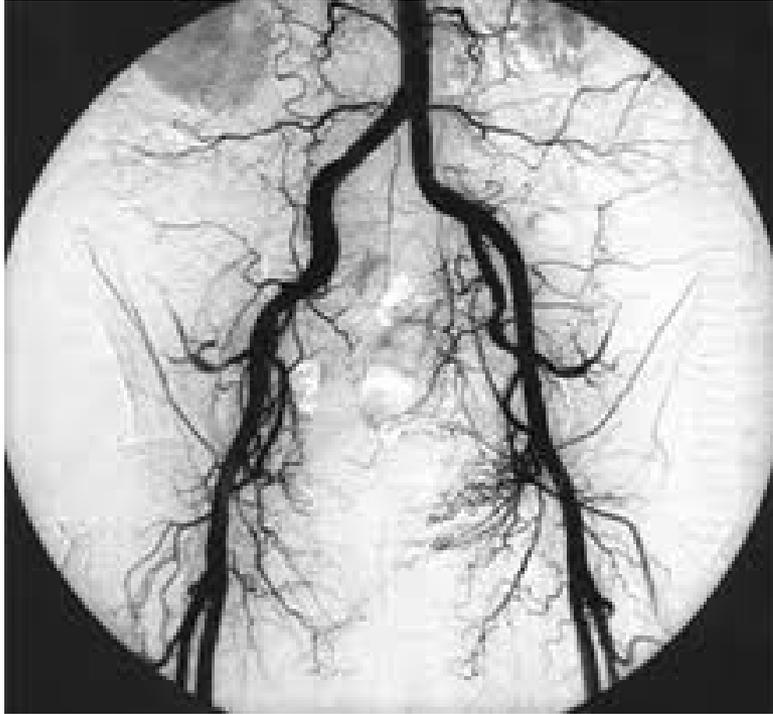
# Bestrahlungstechnik





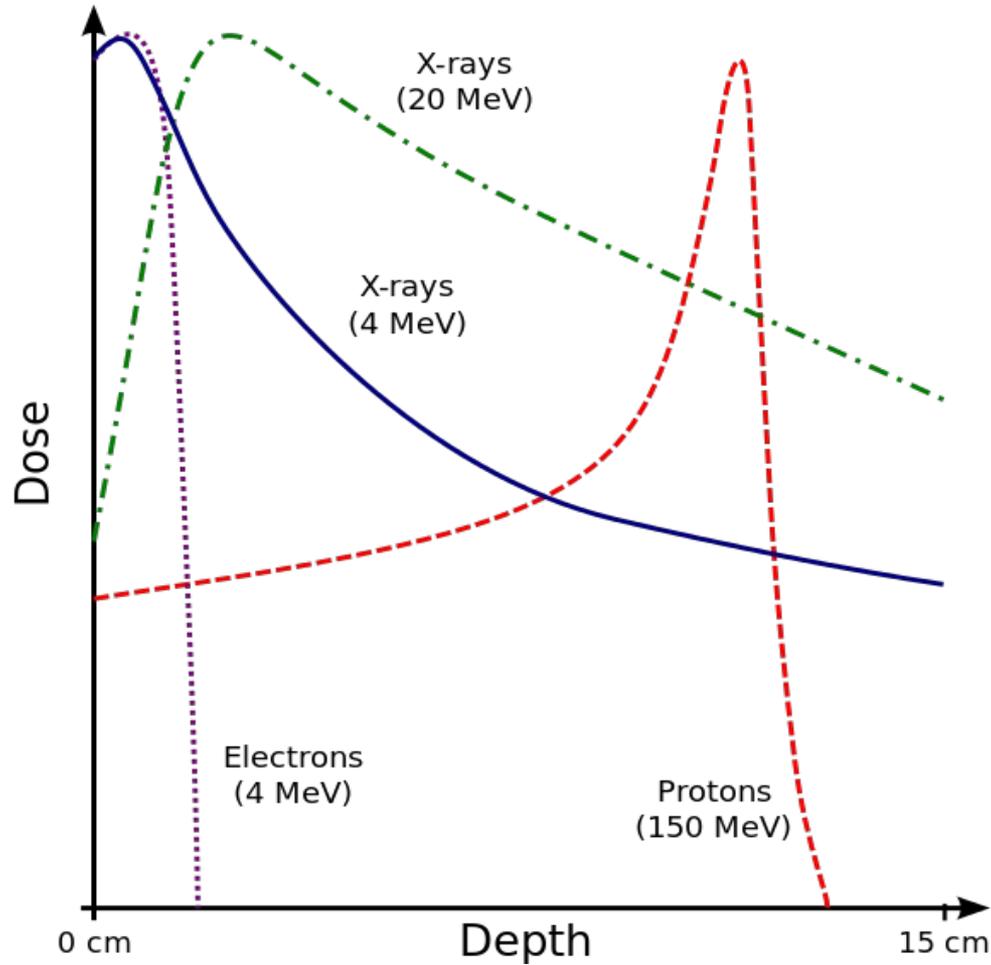
**Differenztaufnahmen am Herzen**

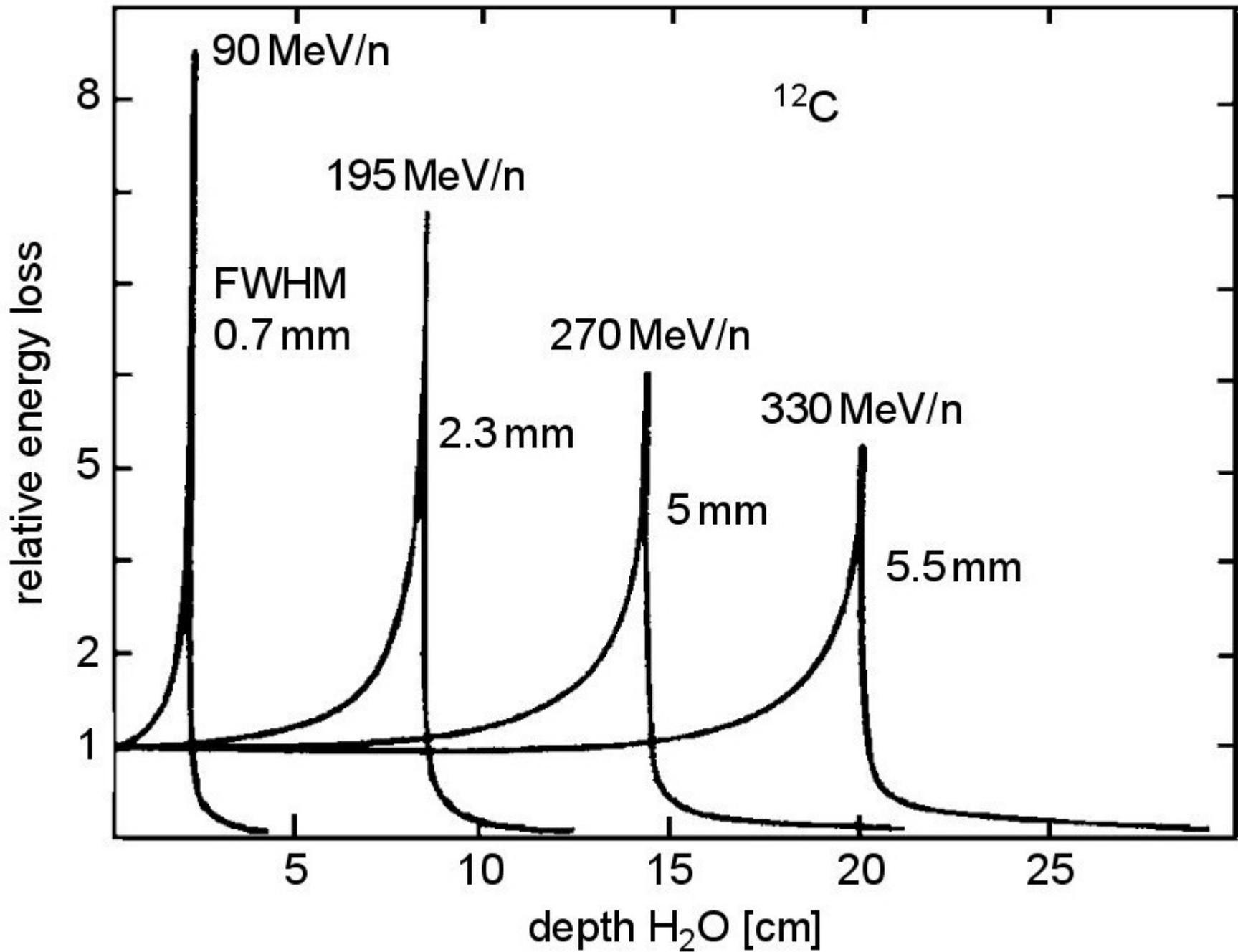
# Blutgefäße

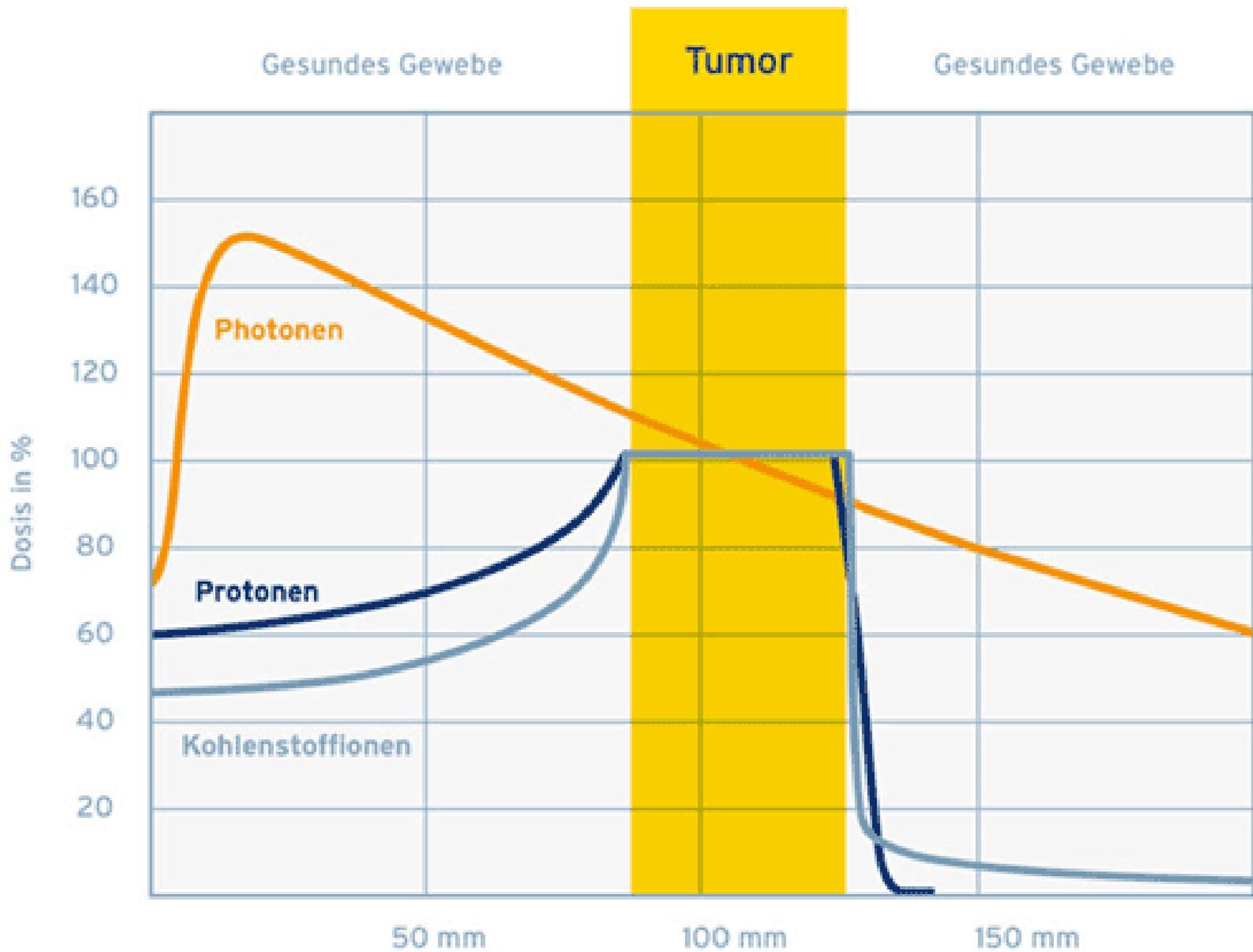


**Durchblutete Hand**

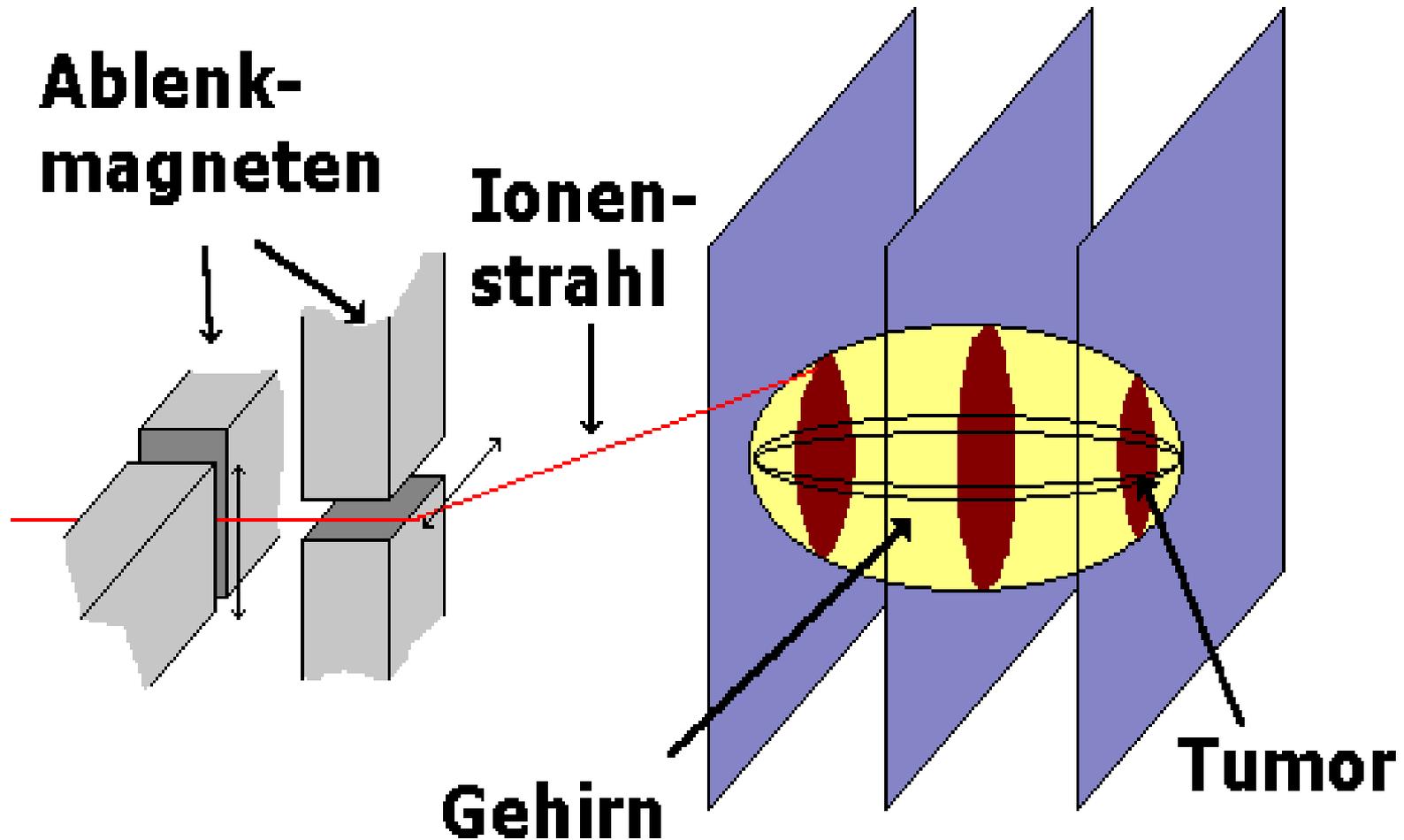
# Tumortherapie mit Teilchen







# Raster-Scan-Verfahren



# Bestrahlungsraum (mit PET)



Bei der gelegentlichen Fragmentation werden auch Positronemitter erzeugt (z. B.  $^{11}\text{C}$ ), die zur PET-Kontrolle dienen.

# Kernspintomographie

## **Achtung: hochkompliziert!**

Der menschliche Körper besteht zu 70% aus Wasser.

Wasser enthält Wasserstoff, also Protonen.

Protonen haben einen Eigendrehimpuls (Spin)

und stellen kleine Magnete dar, haben also ein

magnetisches Moment  $m$ . Im einfachsten Fall einer

Stromschleife ist

$$m = I \cdot A \quad (I - \text{Strom, } A - \text{Fläche})$$

Im Magnetfeld richten sich die Spins parallel oder

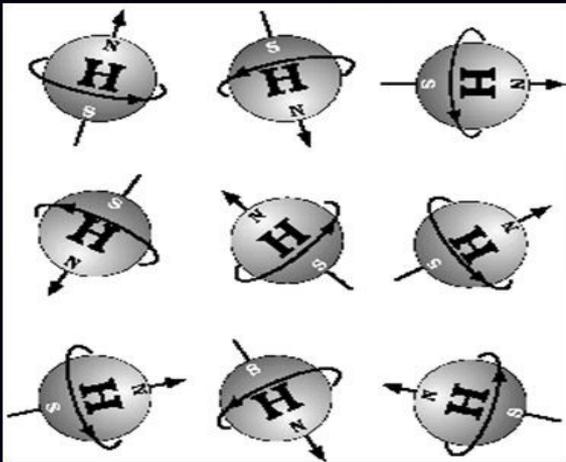
antiparallel zum Magnetfeld aus (mehr parallel, da es

energetisch günstiger ist).

Das starke externe Magnetfeld einer zylindrischen Spule orientiert die kleinen magnetischen Momente in Längsrichtung. Dabei präzedieren die Spins um die Magnetfeldrichtung, wie kleine Kreisel.

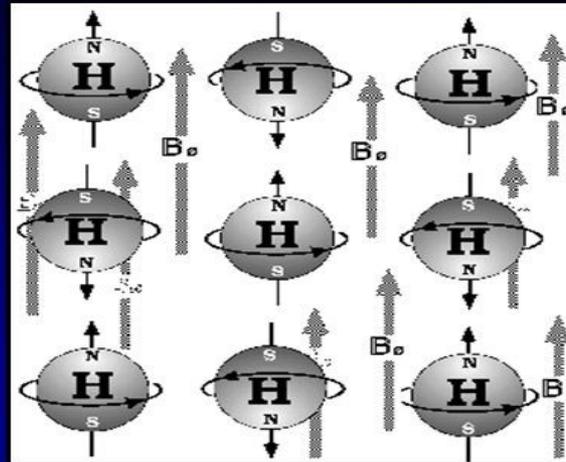
## Proton (Spin) im Magnetfeld

ohne Magnetfeld



Rotationsachsen (Spin) zufällig orientiert:  
kein effektives magnetisches Moment

im Magnetfeld ( $B_0$ )



Rotationsachsen entlang der Feldlinien des  
äußeren Magnetfeldes  $B_0$   
orientiert: (Polarisation):  
→ magnetisches Moment

**Rotierende, d.h. präzedierende Spins stellen ein variables Magnetfeld dar und induzieren einen Strom in einer Aufnahmespule.**

**Da wir aber ein kleines magnetisches Moment durch die Spins im Vergleich zu dem starken äußeren Magnetfeld haben, können wir die kleinen erzeugten Induktionsströme nicht auslesen.**

**Das ist vergleichbar mit der Astronomie am Tag. Die Sterne sind da, aber sie werden von der Sonne überstrahlt.**

**Durch ein resonantes Hochfrequenzsignal werden die Spins in eine Richtung senkrecht zum äußeren Magnetfeld gedreht.**

**Wenn der HF-Impuls abgeschaltet wird, relaxiert die Querpolarisation (T2) gegen Null, und die Längspolarisation (T1) baut sich langsam wieder auf.**

**T1 und T2 hängen vom Gewebe ab!**

# Lamorpräzession:

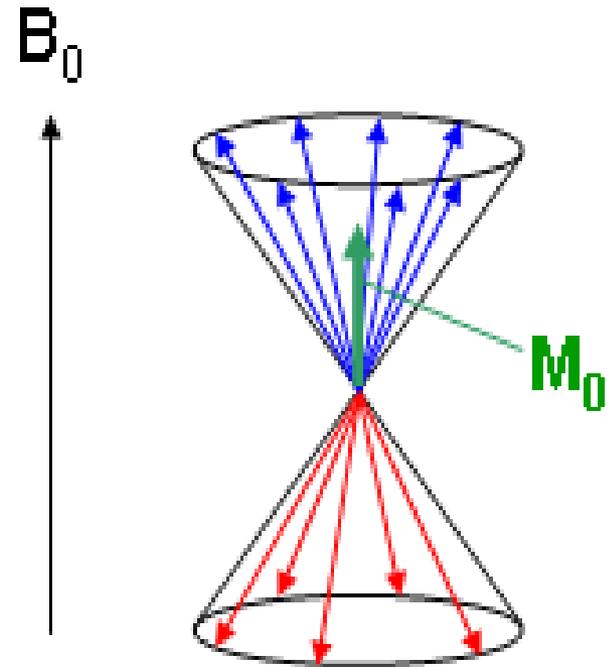
Spins haben einen mechnischen Drehimpuls  $I$  und ein magnetisches Moment  $m$

$$m = \gamma \cdot I \quad (\gamma \text{ ist das gyromagnetische Verhältnis})$$
$$\gamma = e/2m_e$$

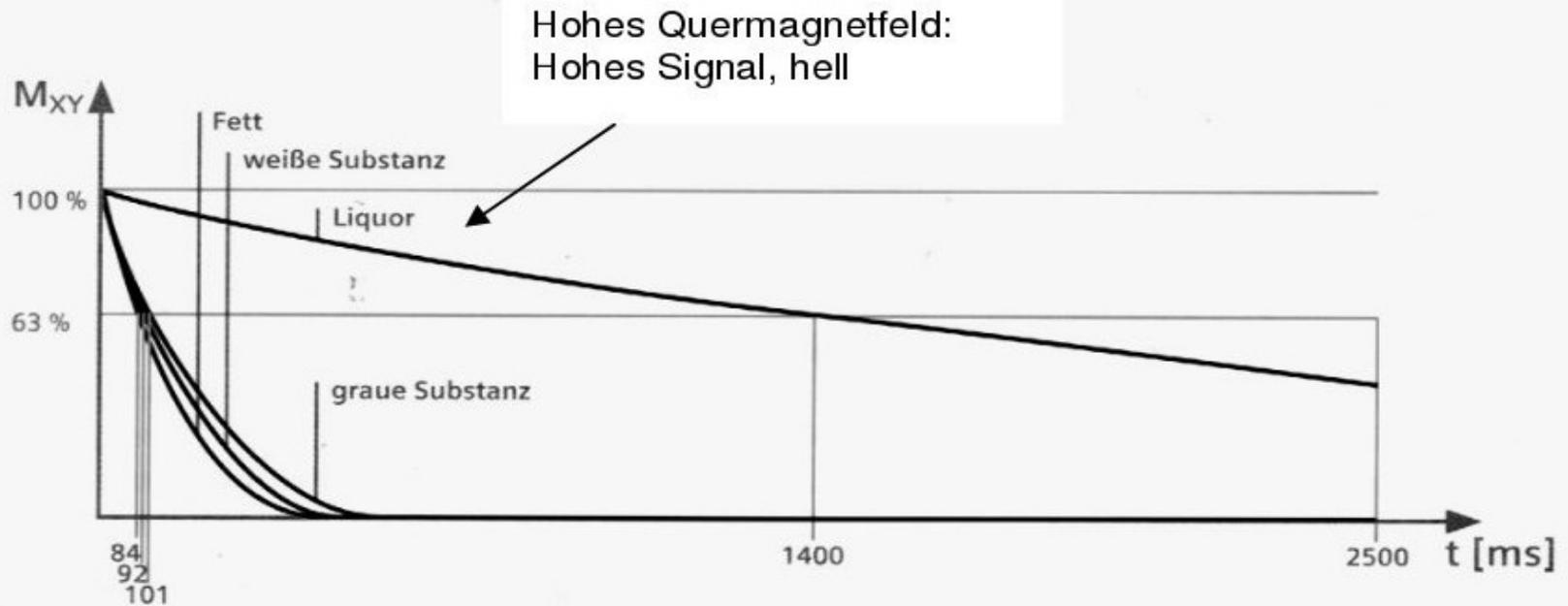
Mit einer Frequenz, die mit der Lamorfrequenz übereinstimmt (deswegen magnetische Resonanzthomographie) werden die Spins gedreht.

$$\text{Larmorfrequenz: } m_e v^2/r = e v B$$

$$v/r = \omega = e/m_e B$$



# Querrelaxation



Die  $T_2$ -Konstanten sind weitgehend *unabhängig* von der Feldstärke.

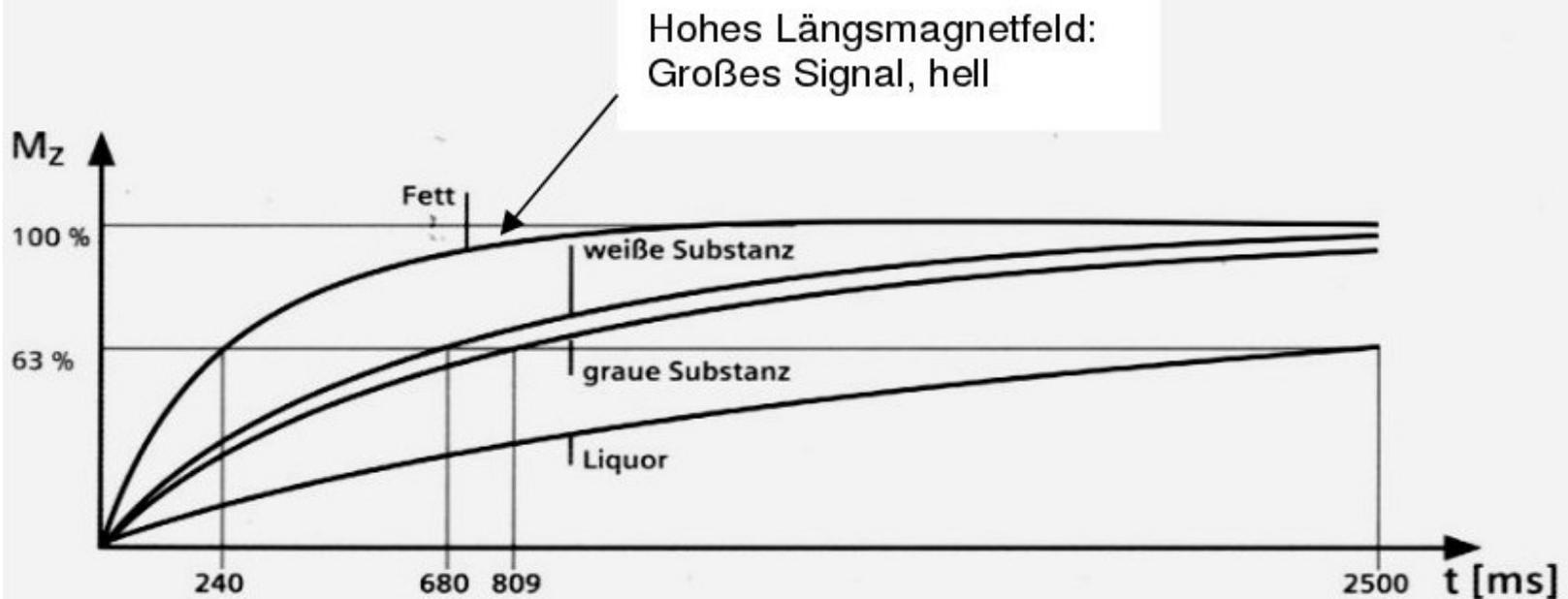
Es gilt das gleiche wie bei der  $T_1$ -Konstante:

## $T_2$ -Konstanten (in ms)

Fett	84
Muskel	47
Weiße Substanz	92
Graue Substanz	101
Liquor	1400

Fett hat kurzes  $T_2$ ,  
Wasser hat langes  $T_2$ .

# Längsrelaxation



Wie die Tabelle zeigt, ist die  $T_1$ -Konstante auch feldstärkeabhängig.

$T_1$ -Konstanten (in ms)

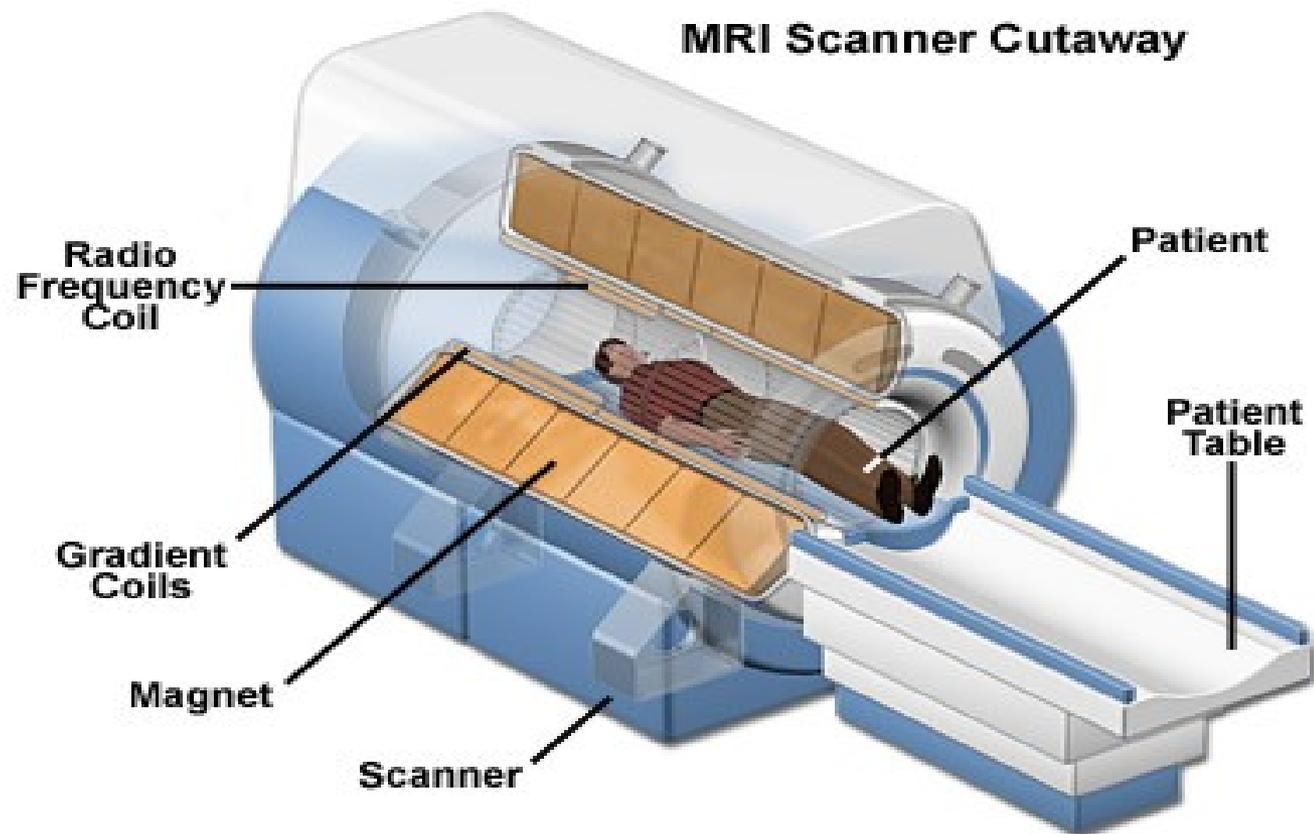
	0,2 Tesla	1,0 Tesla	1,5 Tesla
<b>Fett</b>		240	
<b>Muskel</b>	370	730	863
<b>Weißer Substanz</b>	388	680	783
<b>Graue Substanz</b>	492	809	917
<b>Liquor</b>	1400	2500	3000

Einfache Merkmregel:  
Fett hat kurzes  $T_1$ ,  
Wasser hat langes  $T_1$ .

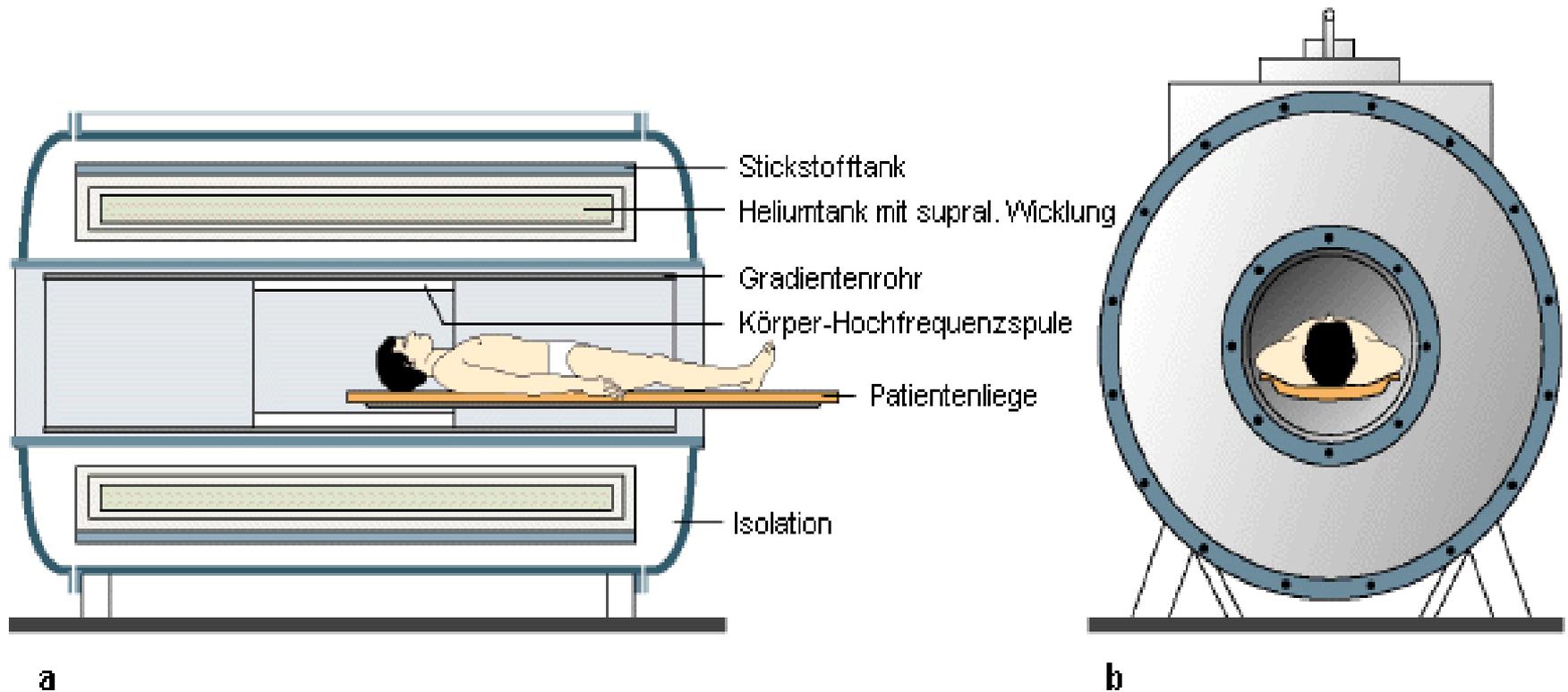
# Gradientenfeld

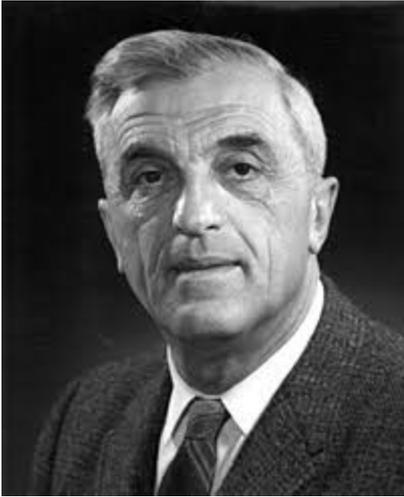
Um bei einer Untersuchung verschiedene Schichten anwählen zu können, d.h. um eine Ortsauflösung zu erhalten, muss das äußere Magnetfeld gezielt verändert werden können. Dies wird durch die Gradientenspulen erreicht.

Das Ein-  
und Aus-  
schalten  
macht  
den Krach!

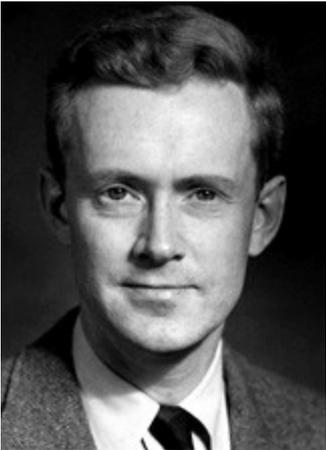


# MRT-Aufbau



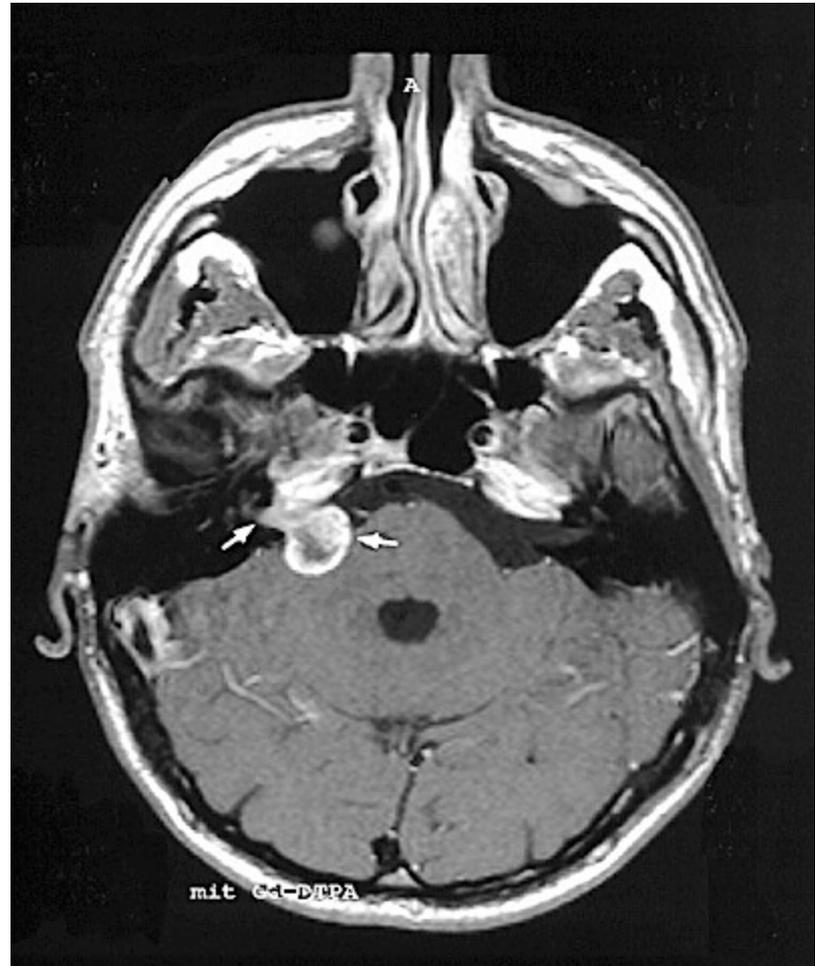


Felix Bloch

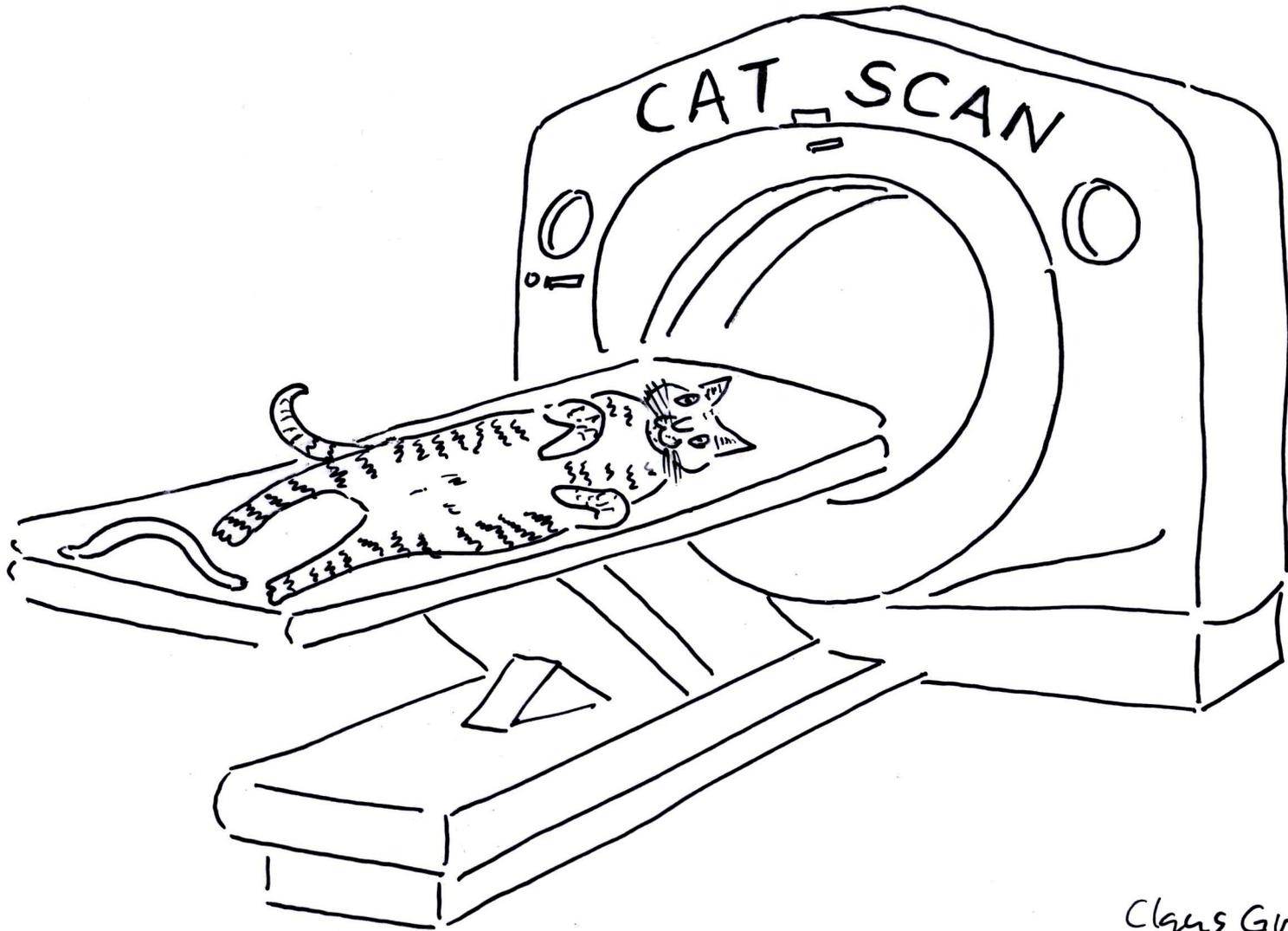


Edward Purcell

**Nobelpreis 1952**



**MRT eines Kopfes mit Tumor (Pfeil)**



Claus Grupen 2015

CAT – computed axial tomography

X-Ray of  
the brain



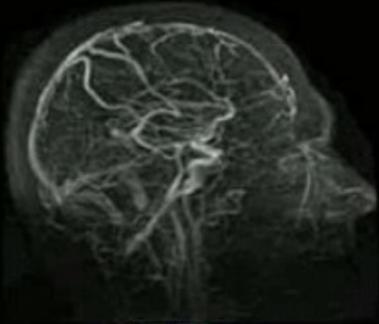
**Normales Röntgenbild**

MRI of the  
brain



**Magnet-Resonanz-  
Imaging**

MRA of  
the brain



**Magnet-Resonanz  
Angiographie**

PET Scan of  
the brain



**Positronen-Emmissions  
Tomographie**

# In fünfzig Jahren

wird man die Medizin nicht wiedererkennen





# Aufstieg und Fall des Sonnensystems

Claus Grupen  
Universität Siegen

*Warum drehen sich die Planeten um die Sonne?*

*Zur Zeit von Kepler glaubten noch einige Leute, dass Engel hinter den Planeten herflogen, die mit ihrem Flügelschlag die Planeten um die Erde trieben.*

*Heute ist planetare und solare Physik eine Präzisionswissenschaft.*



## Überblick:

Einleitung

- ☀ Ein paar Fakten zur Sonne
- ☀ Ein paar Informationen zum Sonnensystem, speziell zur Erde
- ☀ Wie wurde die Sonne geboren?
- ☀ Wie funktioniert die Sonne? Kernfusion!
- ☀ Klassifikation von Sternen: unsere Sonne ist ein Dutzendstern
- ☀ Ruhige Jugendzeit
- ☀ Mid-life Krise
- ☀ Ereignisloses Rentnerdasein der Sonne
- ☀ Roter Riese
- ☀ Helium-Brennen
- ☀ Planetarer Nebel
- ☀ Weißer Zwerg
- ☀ Schwarzer Zwerg aus Kohlenstoff und Sauerstoff



Der ägyptische  
Sonnengott Amun-Ra

# Einleitung

Wie ist es möglich, die sich über viele Milliarden von Jahren erstreckende Geschichte der Sonne im Detail zu verstehen und vorhersagen zu können?

Was braucht man dazu?

- Gravitation
- Hydrodynamik
- Kernphysik
- Elementarteilchenphysik (schwache Wechselwirkung)

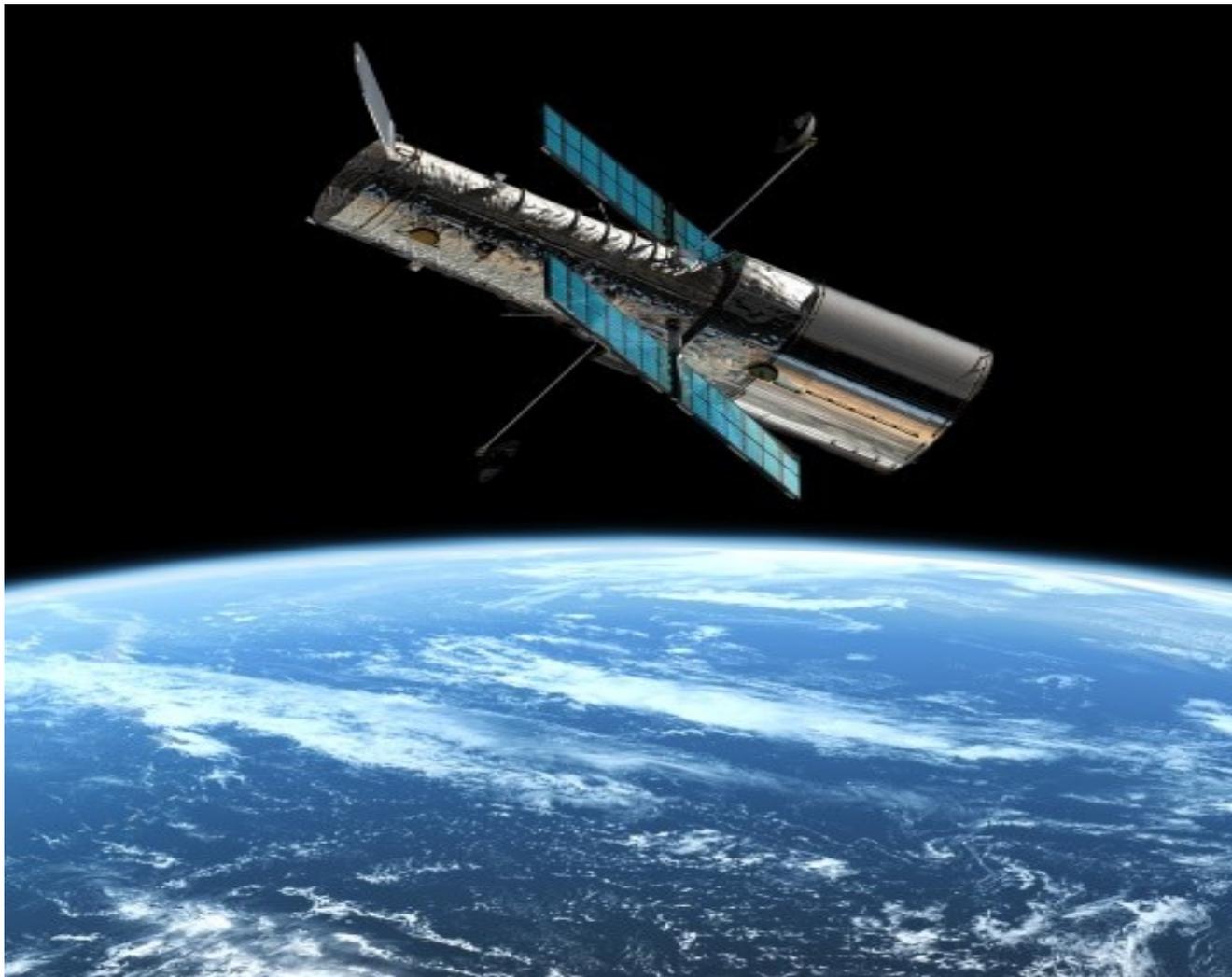
alles Standardphysik, und weiter

- Blick in die Vergangenheit: am Himmel gibt es Sterne in allen Entwicklungsstufen

Die Stellare Evolution ist bis ins kleinste Detail verstanden. Noch bestehende Schwierigkeiten wurden in der letzten Dekade ausgeräumt.



## Hubble-Teleskop



## Die Sonne ist ein Dutzendstern

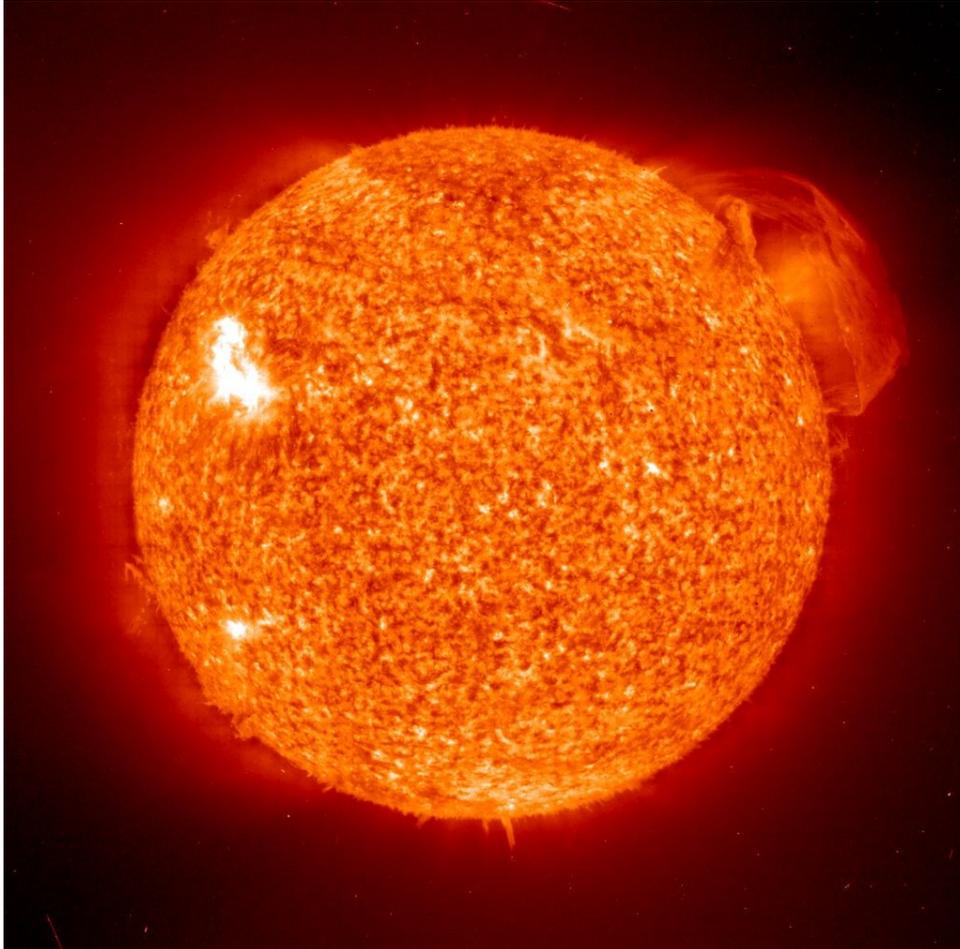
- ❖ einer unter hundert Milliarden in unserer Milchstraße,
- ❖ die wiederum eine unter hundert Milliarden anderen Galaxien darstellt.

Es gibt also  $10^{22}$  Sonnen  
(Sterne); davon können  
wir mit bloßem Auge  
etwa 6000 sehen.

Andromeda-Galaxie



## Ein paar Fakten zur Sonne



### Masse der Sonne:

$2 \cdot 10^{30}$  kg = 333 000 mal Erdmasse  
(entspricht 99,9 % der Masse des  
gesamten Sonnensystems)

### Radius:

700 000 km

### mittlere Dichte:

1,4 g/cm<sup>3</sup>

### Rotationsdauer:

25 (Äquator) bis 36 Tage (Pole)  
(differentielle Rotation)

### Fluchtgeschwindigkeit:

618 km/s

### Oberflächentemperatur:

5800 Kelvin

(0 Kelvin = -273,15 Grad Celsius)

**Strahlungsleistung:**

$3,8 \cdot 10^{26}$  Watt

an der Erde kommen an:  $3 \cdot 10^{17}$  Watt

Weltleistungsbedarf:  $2 \cdot 10^{12}$  Watt

**gegenwärtiges Alter:**

etwa 4,5 Milliarden Jahre

**Bestandteile:**

92,1 % Wasserstoff

7,8 % Helium

0,1 % "Metalle"

**Abstand zur Erde:**

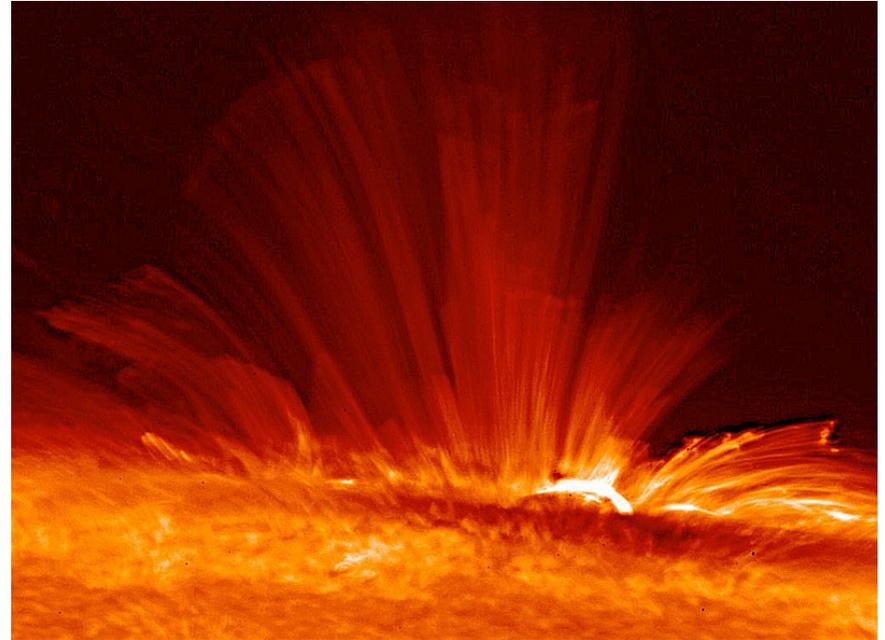
150 000 000 km (1 Astronomische Einheit = 1 AE)

**Abstand zum Zentrum unserer Milchstraße:**

28 000 Lichtjahre

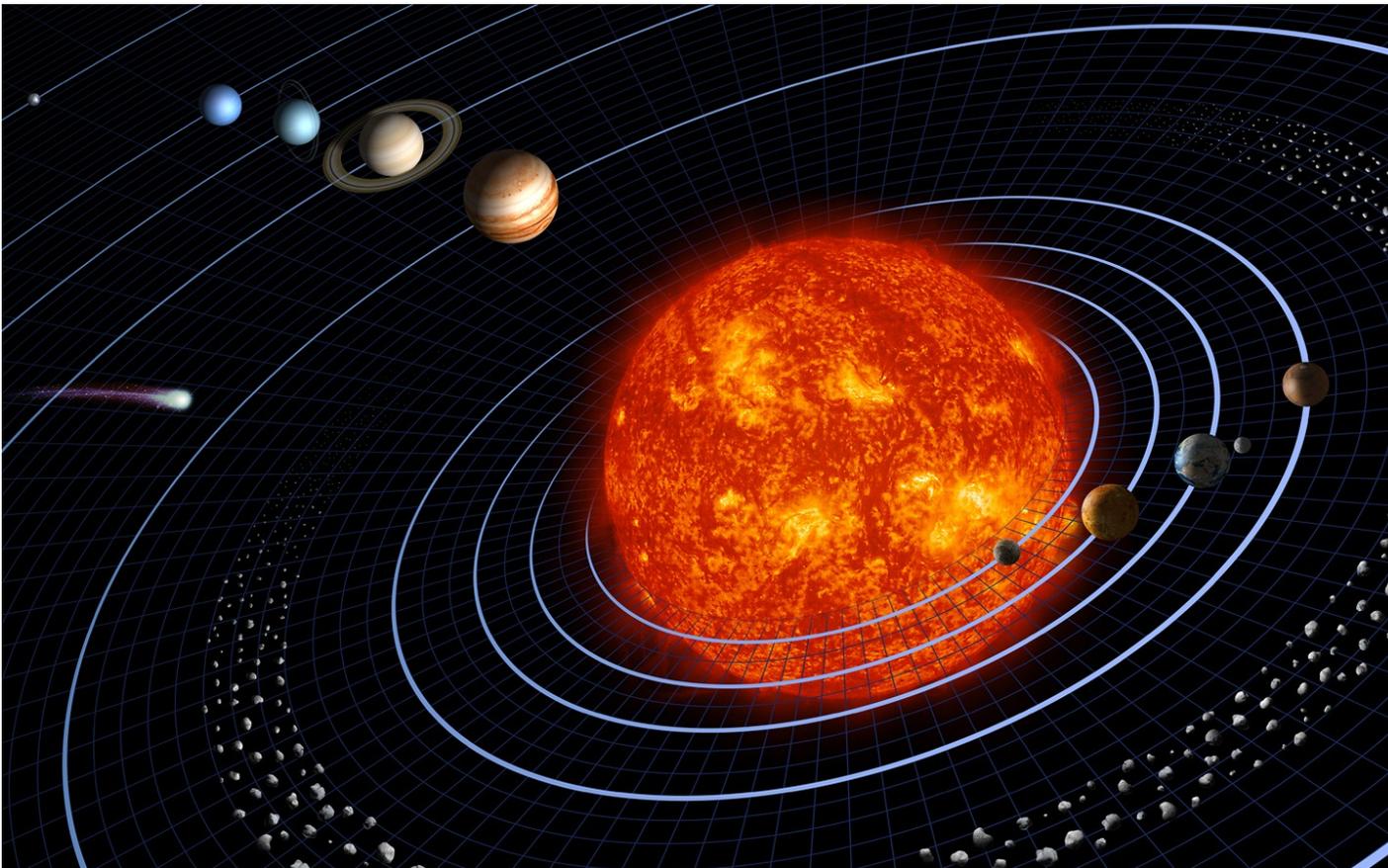
**Umlaufgeschwindigkeit um das Zentrum unserer Milchstraße:**

250 km/s





# Ein paar Informationen zum Sonnensystem, speziell zur Erde



Unser  
Sonnensystem

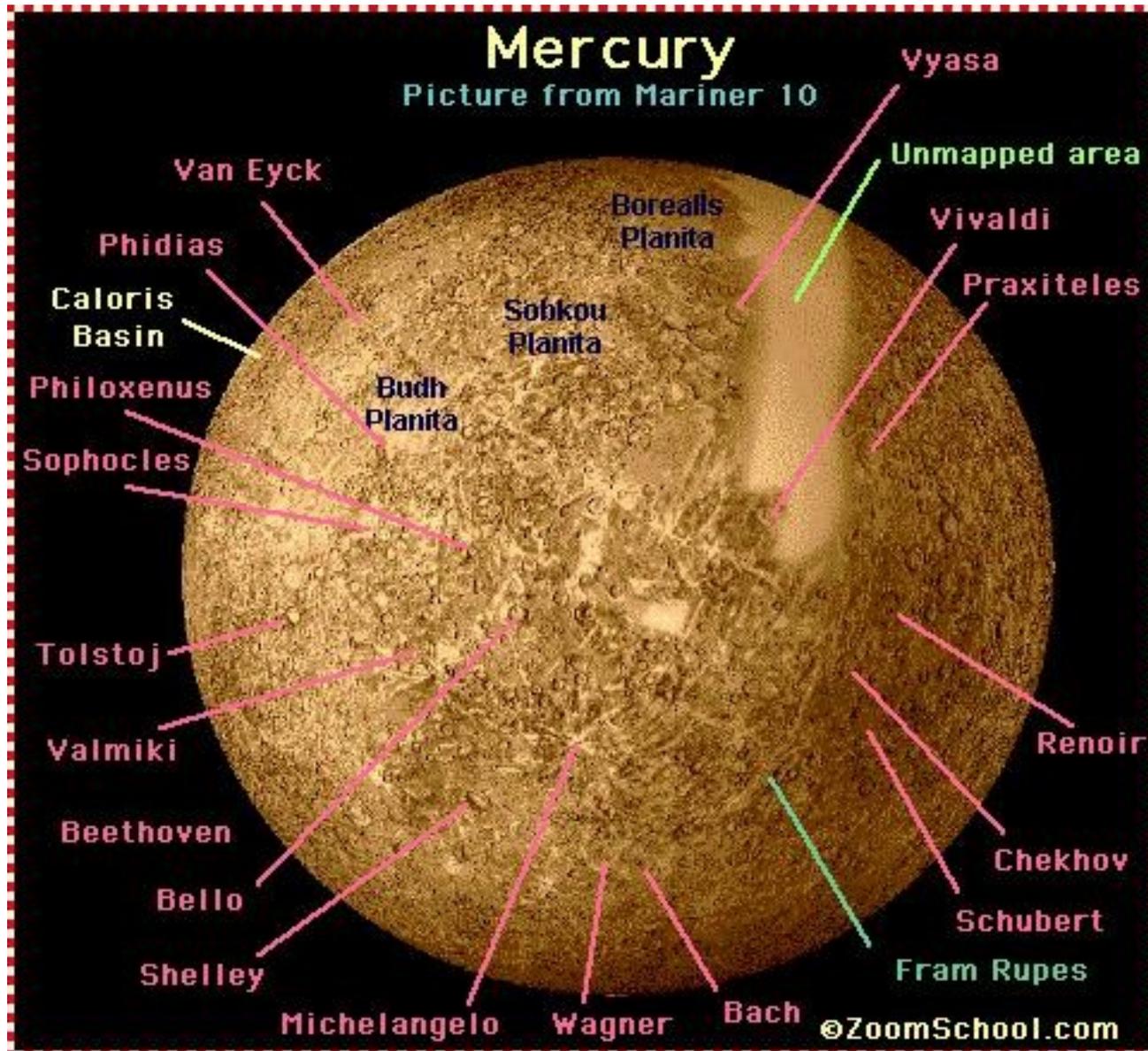






Bild der Erde

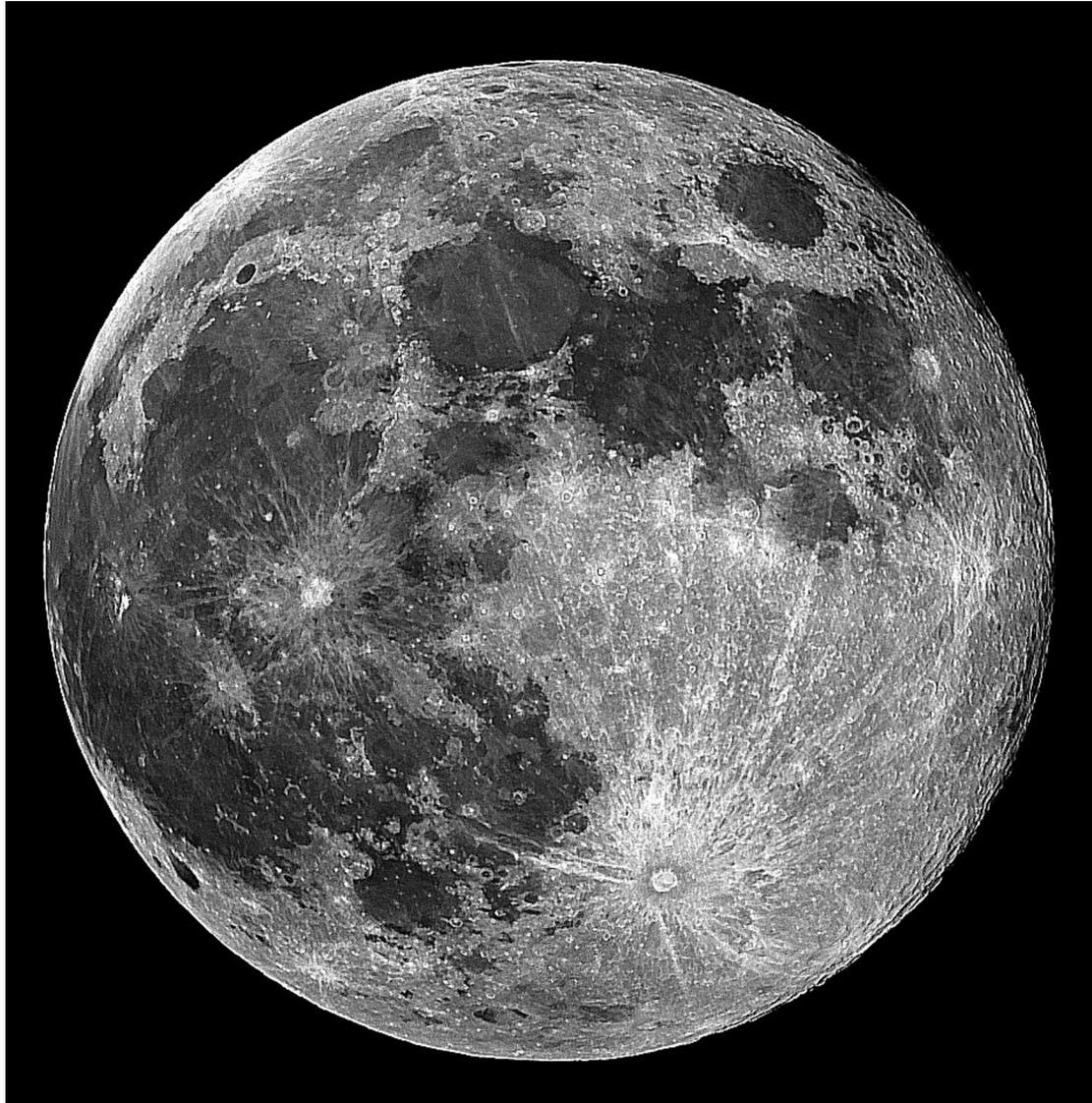
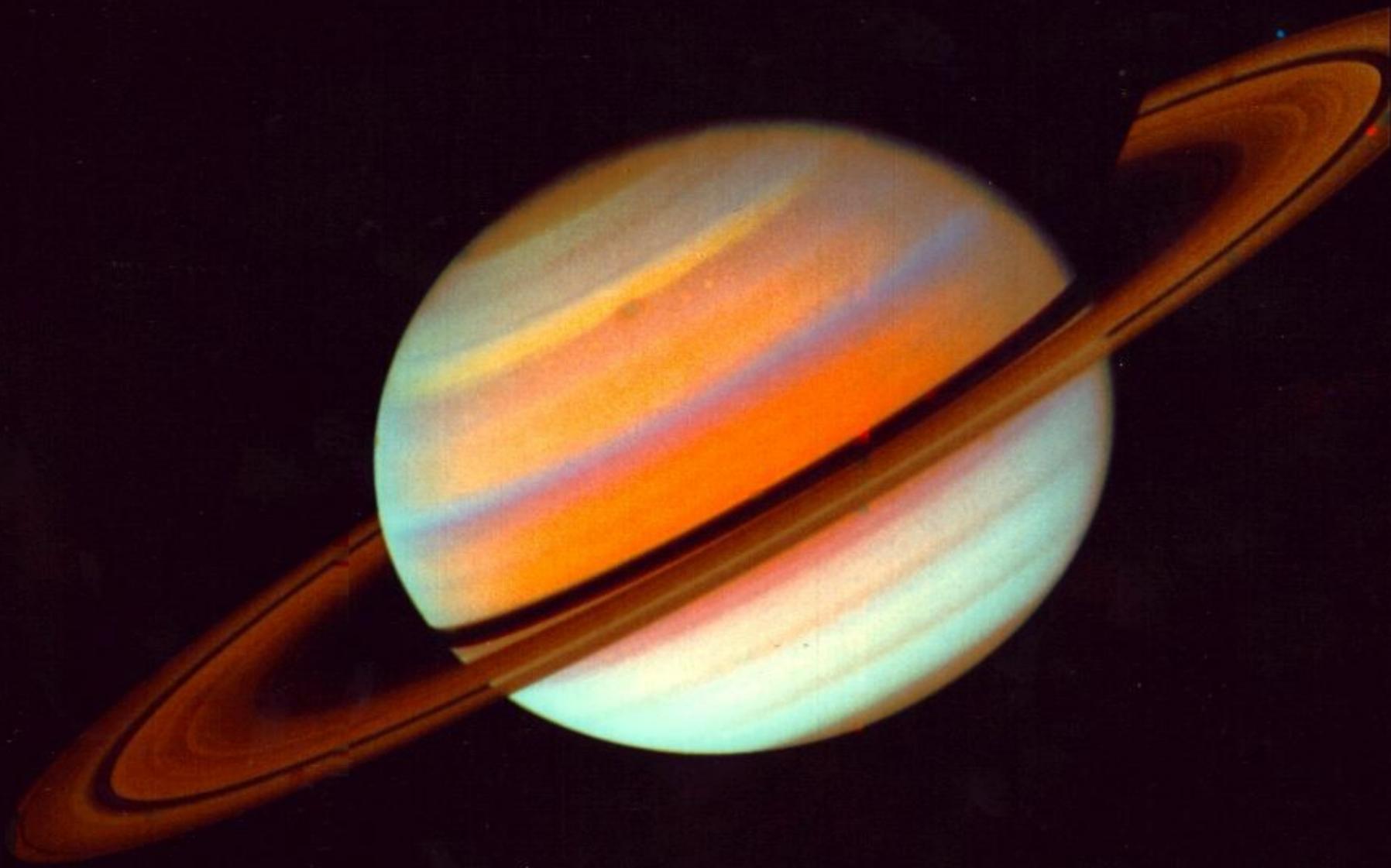
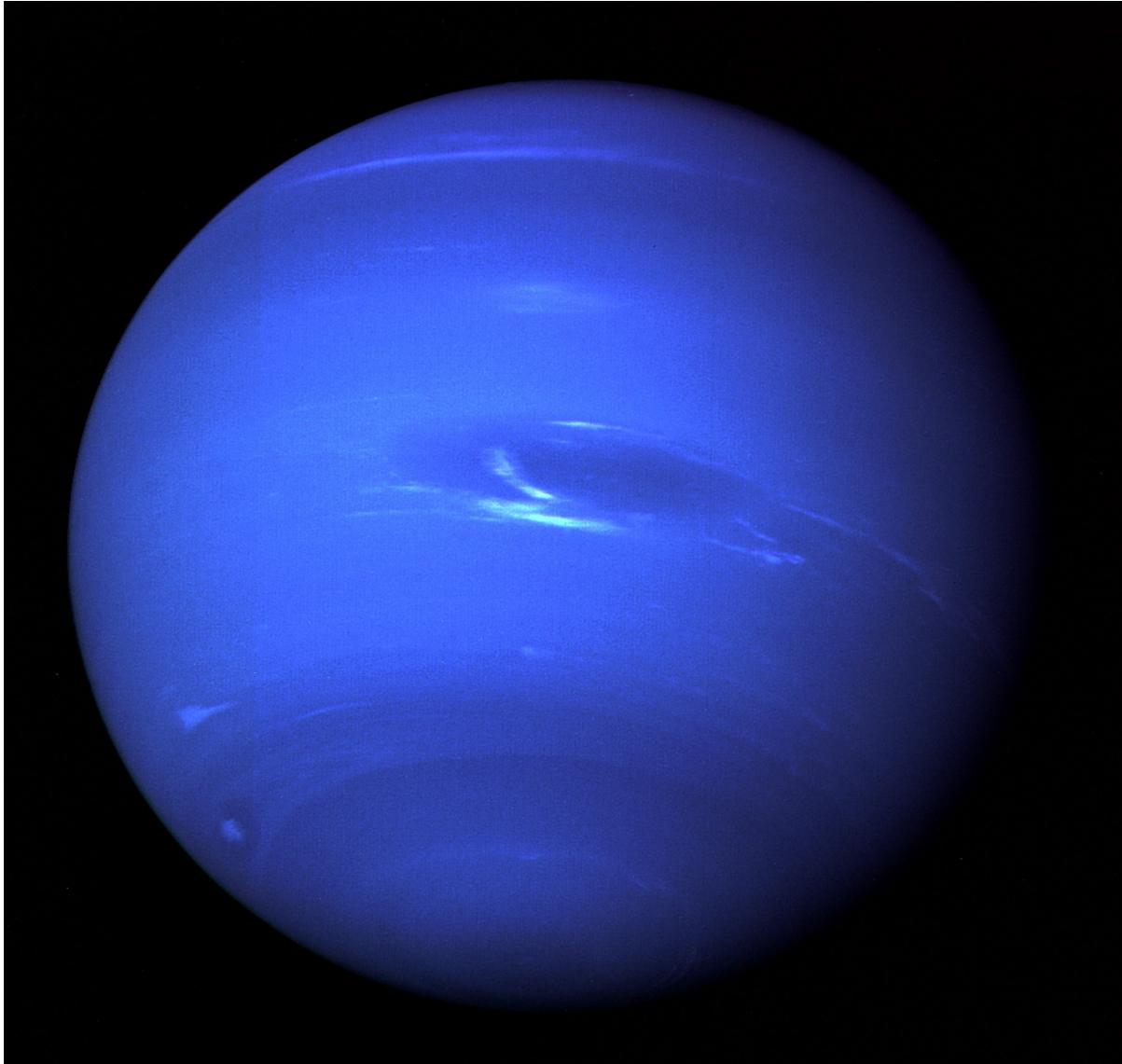
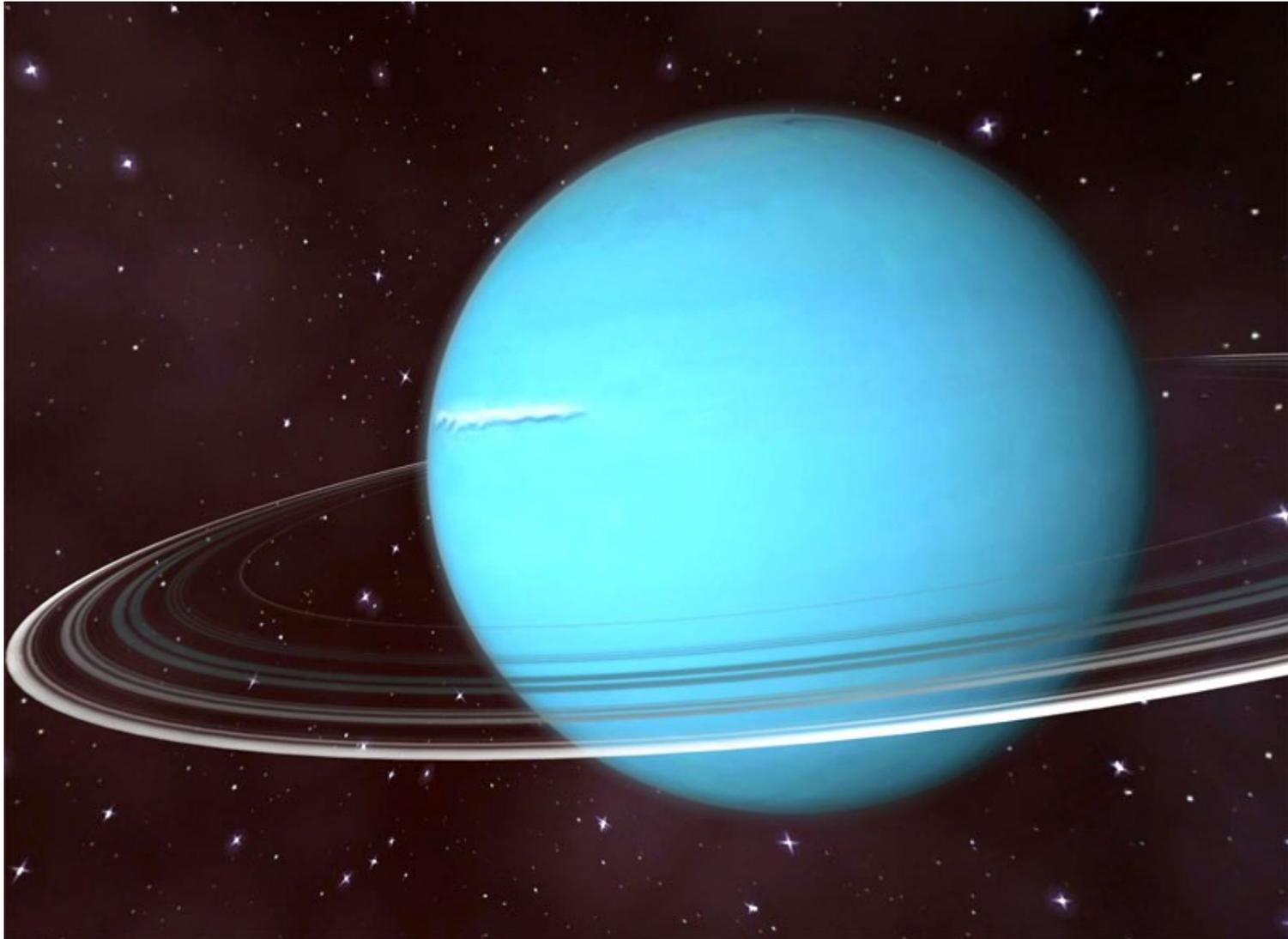


Bild des  
Mondes

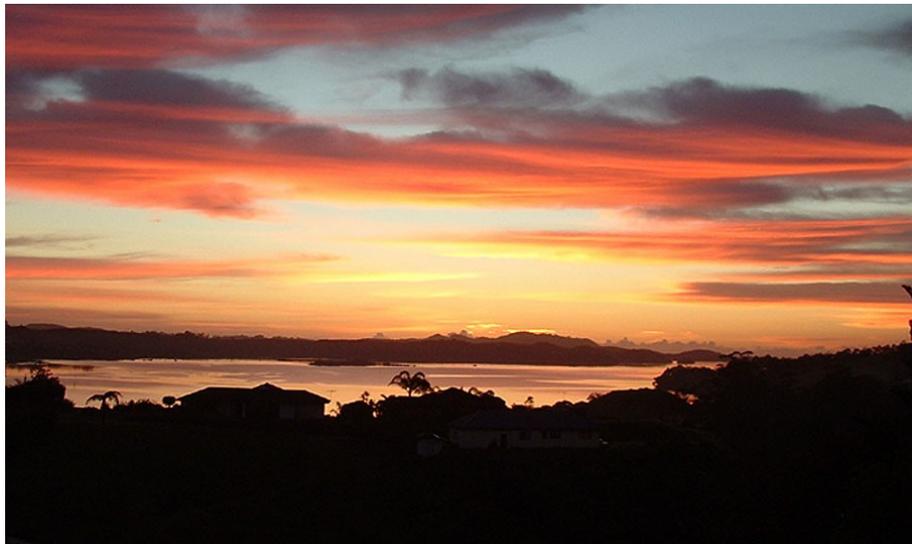








## Ein paar Fakten zur Erde



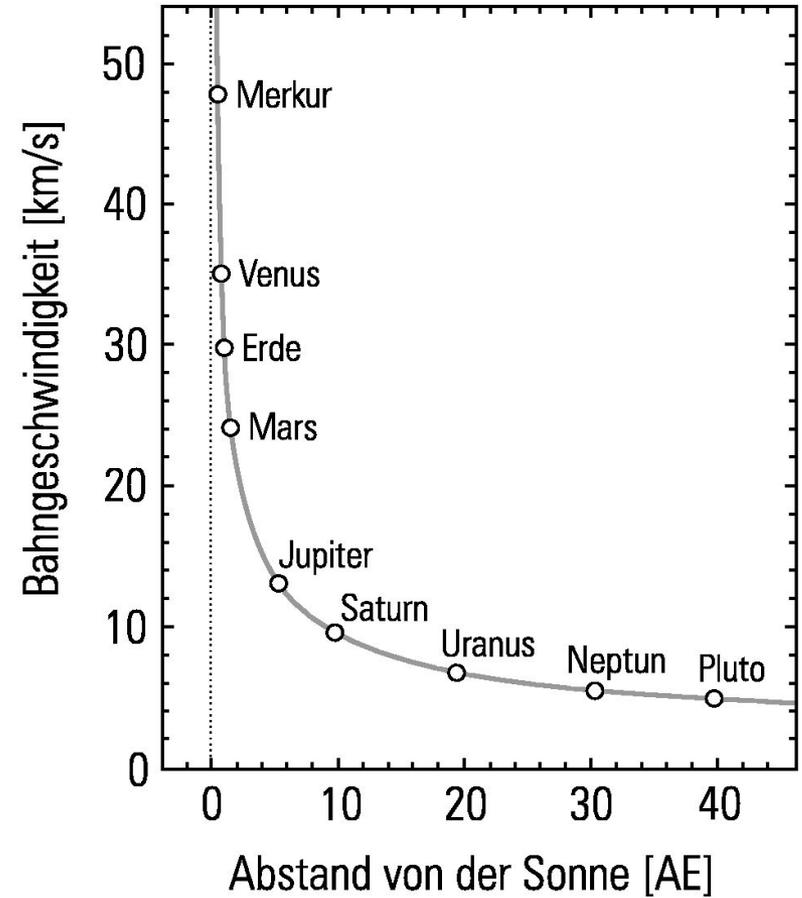
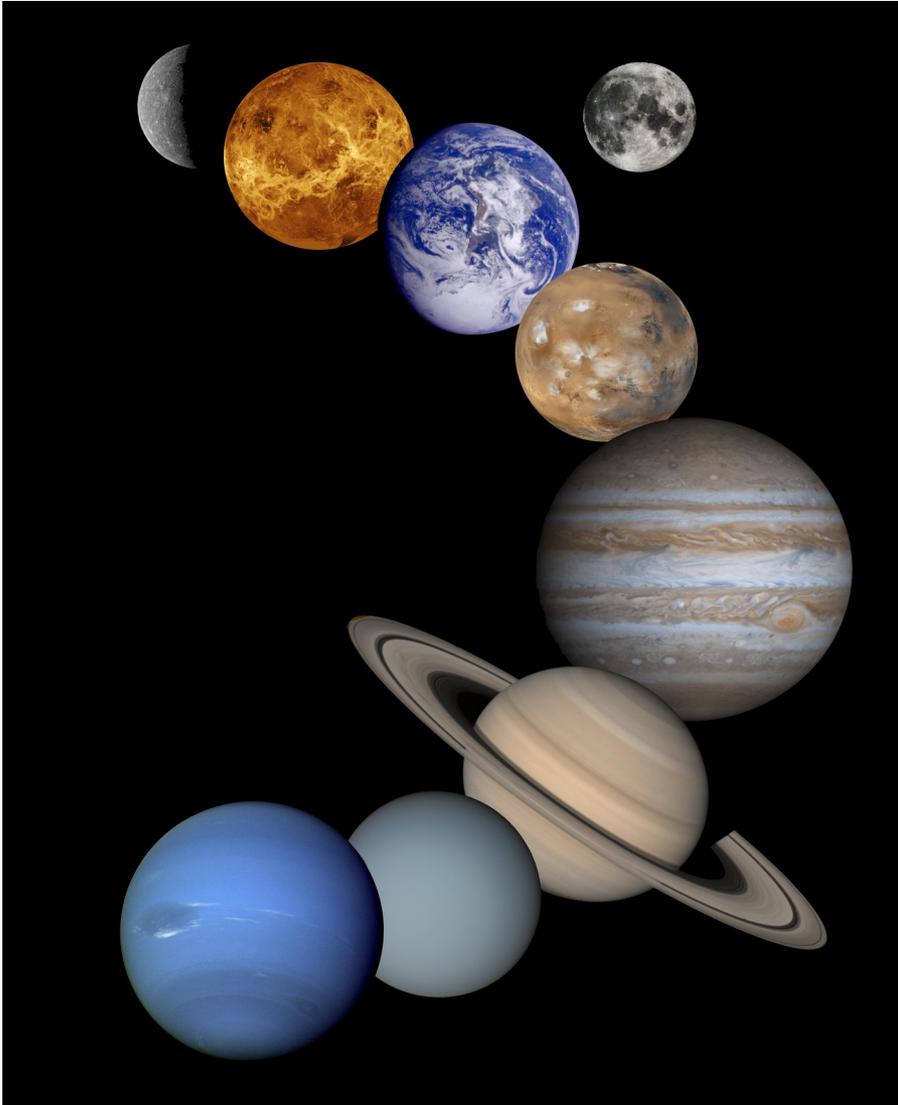
Sonnenaufgang



aufgehende Erde  
über dem Mond



Empfindlichkeit der Erdatmosphäre  
(Rayleigh Streuung)



Umlaufgeschwindigkeiten der Planeten

die solaren Planeten

## Entwicklung von Leben auf der Erde

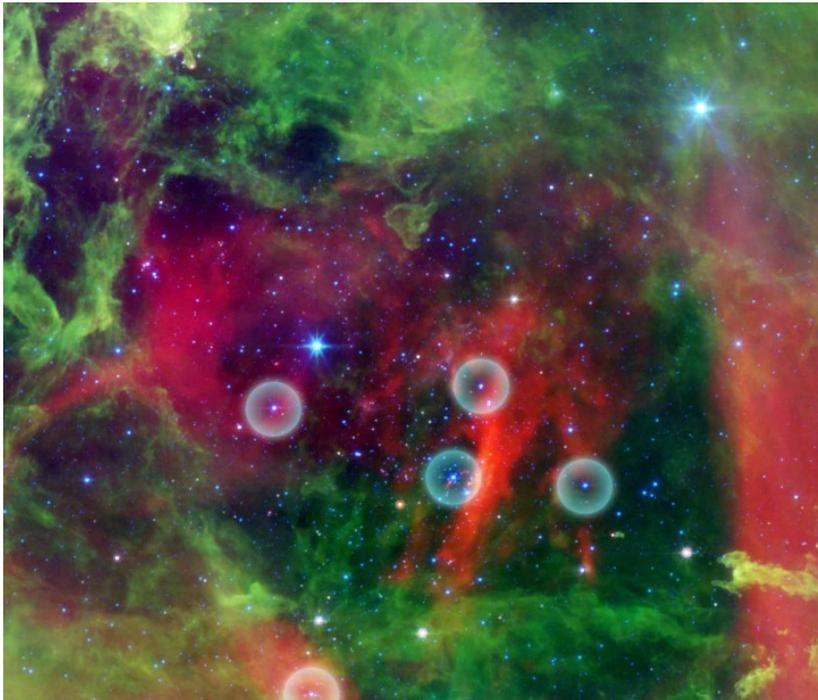
heute  $t = 0$

- vor 3,5 Milliarden Jahren  
erste Lebensformen
- vor 1 Milliarde Jahren  
erste Landlebewesen
- vor 0,2 Milliarden Jahren  
Dinosaurier, erste Säuger
- vor 0,1 Milliarden Jahren  
erste Primaten
- vor 10 Millionen Jahren  
erste Hominiden
- vor 2 Millionen Jahren  
Pithecanthropus
- vor 160 000 Jahren  
Neandertaler
- vor 100 000 Jahren  
Homo sapiens



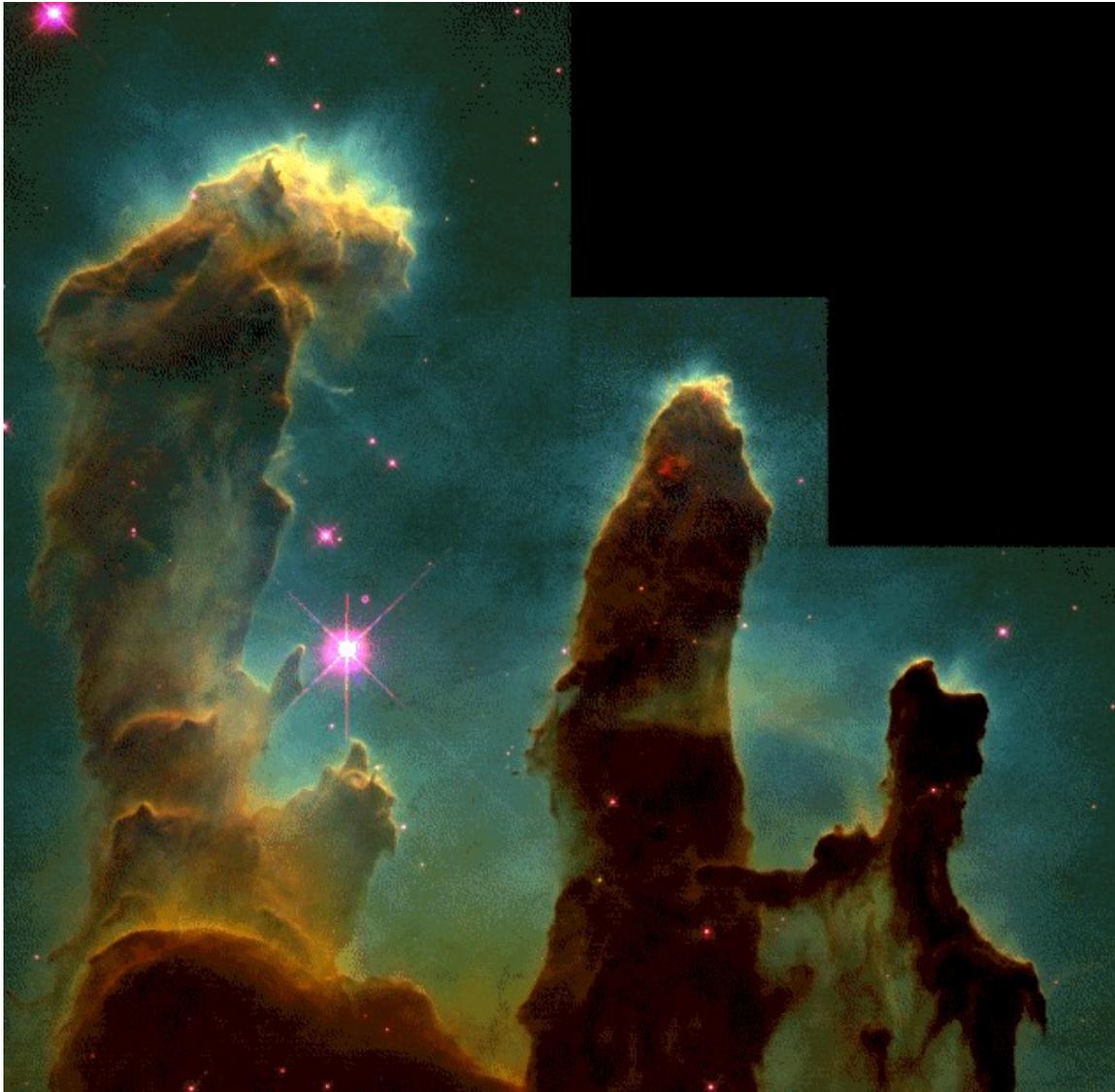
Trilobit

## Wie wurde die Sonne geboren?



-  Die Sonne bildete sich aus einer dunklen Wasserstoff- und Staubwolke.
-  Der Wasserstoff und Staub stammte aus einer früheren Supernova-explosion, die Sonne ist also ein Recyclingprodukt eines gestorbenen Sterns.
-  Durch gravitative Instabilität bildete sich eine Protosonne. Dieser Formationsprozess dauerte etwa 50 Millionen Jahre.

Typische Sternbildungsregion  
im Rosetten-Nebel



Kreissaal für Sterne

## Protosonne

Die Protosonne war nur im Infraroten von außerhalb sichtbar, da alle anderen Spektralbereiche im Staub absorbiert wurden.



Sternbildungs-  
region  
Orion-Nebel

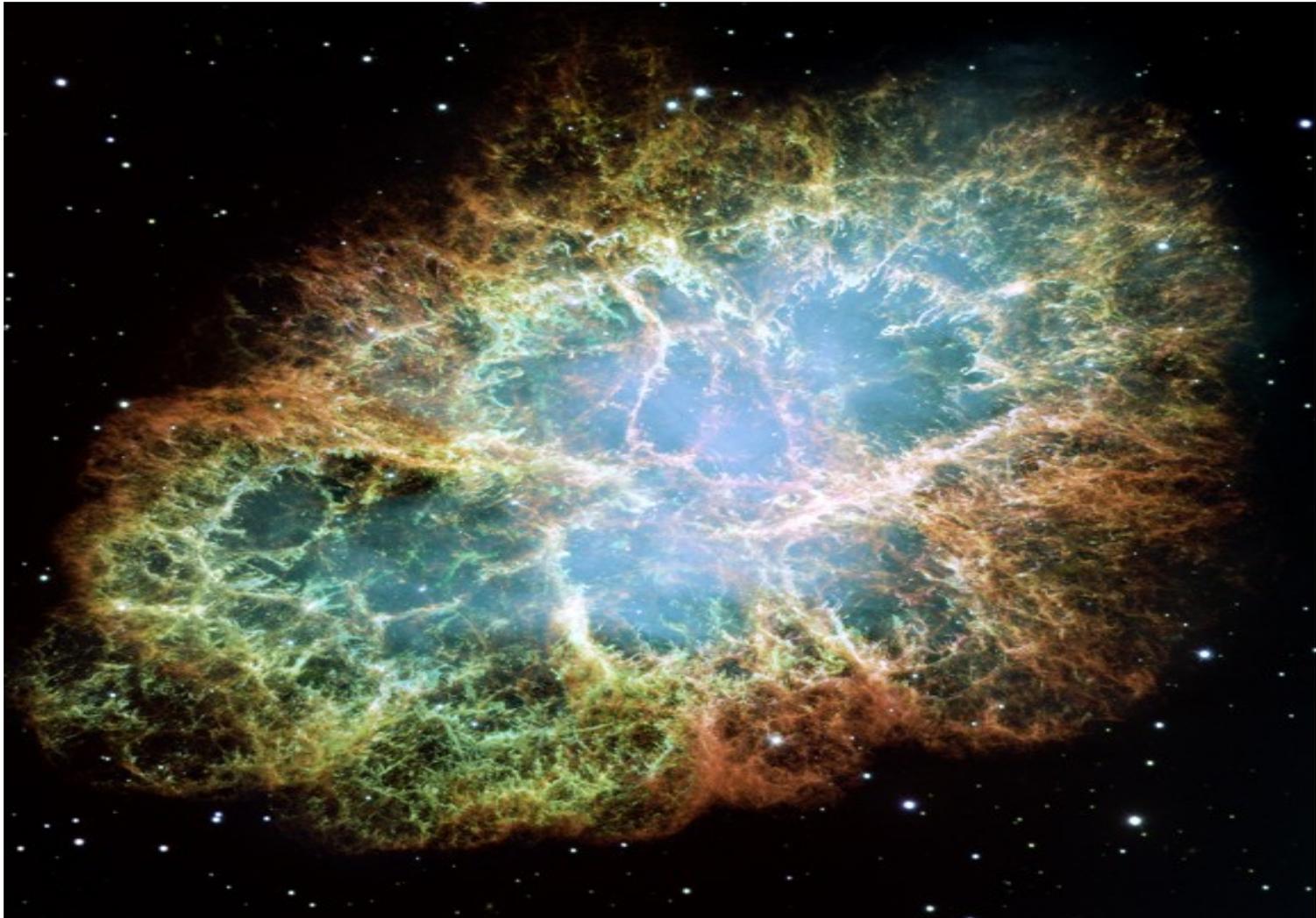
links:  
im Optischen

rechts:  
im Infraroten

Die Protosonne drehte sich:  
es entwickelte sich eine Akkretionsscheibe senkrecht zur Drehachse, aus der  
sich die Planeten bildeten.



## Der Krebsnebel





## Supernova-Explosion

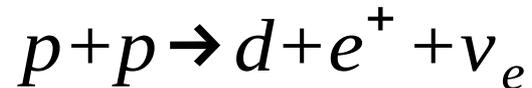


# Wie funktioniert die Sonne?

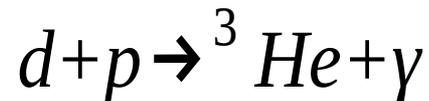


Die Sonne ist ein Kernfusionsreaktor.

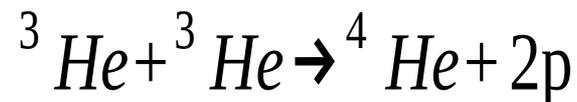
- ★ Wenn die Protosonne sich so weit verdichtet hat, dass eine Zentraltemperatur von 15 Millionen Kelvin erreicht wird, zündet die Wasserstofffusion.
- ★ Die Verschmelzung von Wasserstoff zu Helium setzt gewaltige Energien frei.
- ★ Die „Zünderreaktion“ ist eine schwache Wechselwirkung (sonst gäbe es uns nicht):

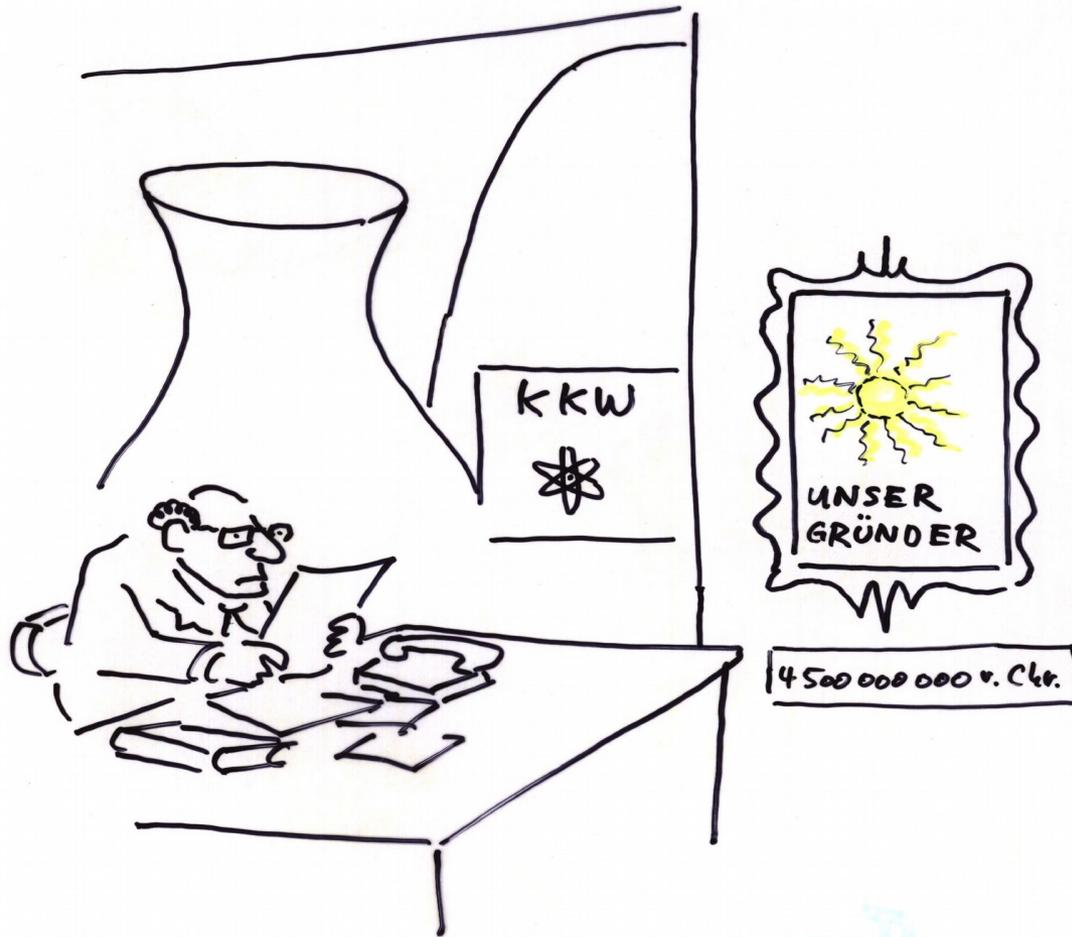


In weiteren Reaktionen wird zunächst  ${}^3\text{He}$  erzeugt:



und aus diesem Heliumisotop schließlich





# Entwicklung der Sonne

**heute (t=4,5 Milliarden Jahre):** die Sonne hat etwa 50% des Wasserstoffs verbrannt

- ★ Die Sonne wird langsam etwas größer und gelangt zur Mid-Life Krise.
- ★ Sie wird auch etwas heller; nach 5,6 Milliarden Jahren um 10%.
- ★ Es wird wärmer auf der Erde
  - der Wasserdampf aus der Atmosphäre verschwindet  
In den Weltraum,
  - das Wasser der Ozeane fängt an zu verdampfen,
  - größere Tiere, die auf der Erdoberfläche leben, sterben aus,
  - das Leben im Wasser ist (noch) nicht betroffen,
  - der Mensch (wenn es ihn dann noch gibt) muss sich überlegen, wohin er auswandern möchte (Mars? auf einen Jupitermond?)



das Wasser verdampft

## Zeitpunkt: 9 Milliarden Jahre (3,5 von jetzt)

Die Luminosität der Sonne ist um um 40% gestiegen

- ★ auf der Erde herrschen Venus-Verhältnisse,
- ★ Oberflächentemperaturen um 700 Kelvin (etwa 400 Grad Celsius),
- ★ die Ozeane sind ausgetrocknet,
- ★ es gibt kein Wasser mehr auf der Erde,
- ★ Ende jedweder Form von terrestrischem Leben.

## Zeitpunkt: 10,9 Milliarden Jahre

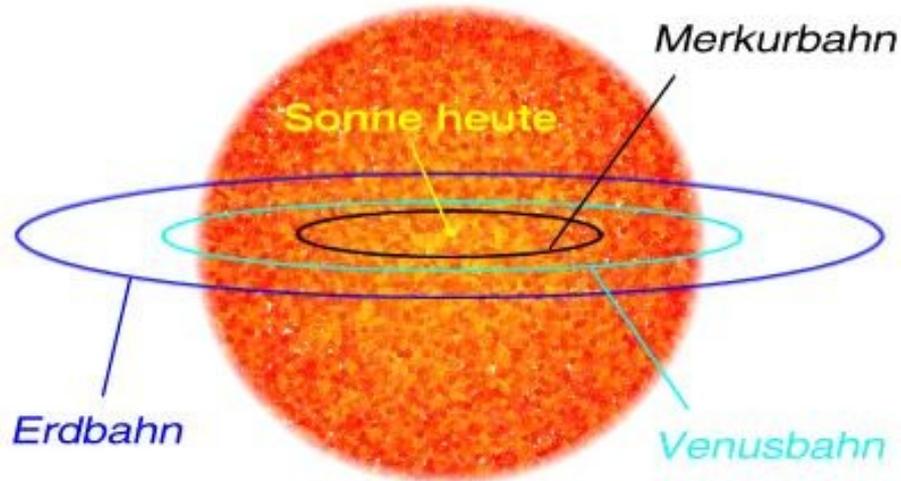
- ★ der Wasserstoffvorrat ist verbraucht,
- ★ die Heliumasche wird instabil und kollabiert unter ihrem eigenen Gewicht,
- ★ dabei verdichtet sich das Helium und heizt sich auf,

Zu diesem Zeitpunkt ist die Sonne

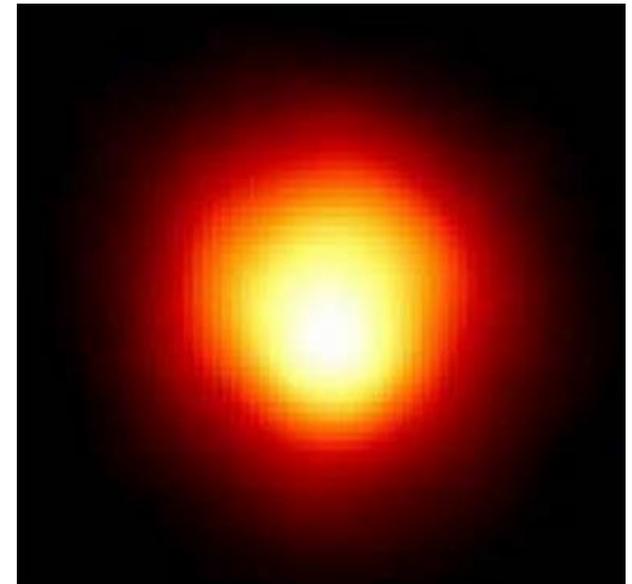
- ★ etwas größer
- ★ etwas heller

## Roter Riese

Sonne in einigen Mrd. Jahren



Die Sonne im Zustand als  
Roter Riese erfüllt etwa 50%  
des Himmels



Beteigeuze

künstlerische Vorstellung der Sonne als Roter Riese



**Zeitpunkt: 12,233 Milliarden Jahre:**

Das verdichtete Helium zündet und verbrennt zu Kohlenstoff.

Die Sonne hat jetzt extreme Werte  
angenommen:

- ★ Zentraltemperatur 100 Millionen Kelvin
- ★ Nachdem sie ihre Hülle weitgehend abgestoßen hat, verhält sie sich in der Phase des Heliumbrennens relativ stabil.

★ Die Phase des Heliumbrennes dauert etwa 110 Millionen Jahre

★ Gegen Ende dieser Phase verlagert sich das Heliumbrennen in die Außenbezirke der aufgeblähten Sonne.

★ Die Erdoberfläche schmilzt und wird zur Lava.

Sieht so die biblische Hölle aus?

Nur durch die Zunahme des Erdbahnhalfmessers entkommt die Erde der völligen Vernichtung.

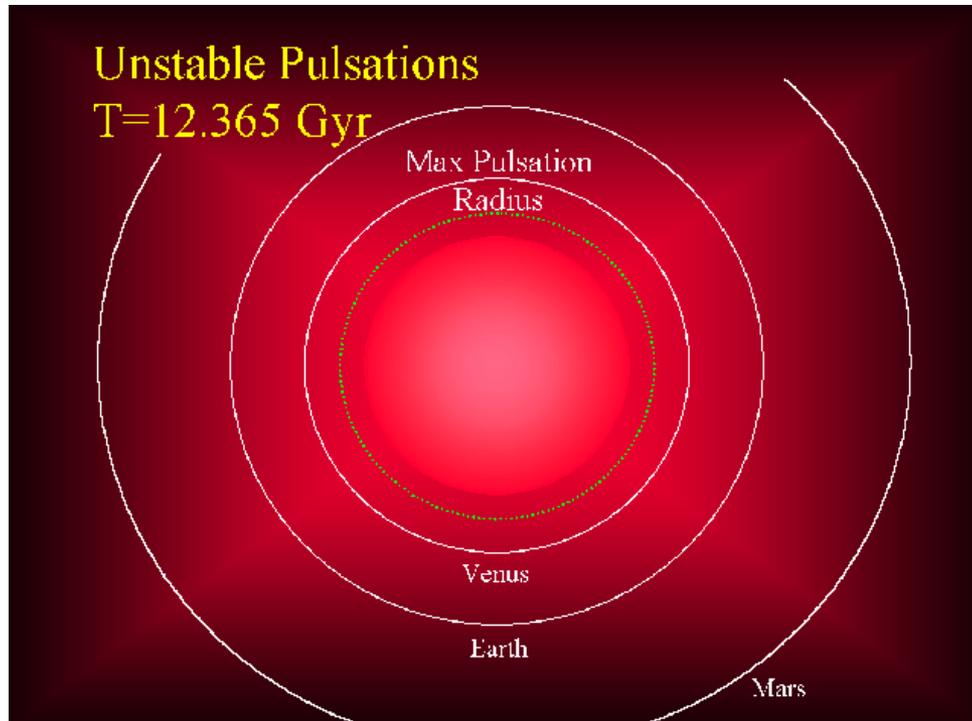


Die Erde wird gebacken

## Zeitpunkt: 12,344 Milliarden Jahre

- ★ Der Heliumvorrat ist aufgebraucht.
- ★ Der C-O Kern kollabiert schnell.
- ★ Das verglimmende Helium-Feuer wird in die Außenbereiche der Sonne abgedrängt und führt zu einem Aufblähen der Sonne.
- ★ Der kollabierende C-O Kern erreicht nicht die zum Kohlenstoffbrennen erforderliche Temperatur. Dafür ist die Sonne zu leicht. (Man bräuchte die vierfache Sonnenmasse dafür.)
- ★ Die kollabierende Sonne kommt in einen kritischen Zustand.
- ★ Sie verliert dauernd an Masse.

## Alterszittern: die Sonne wird instabil



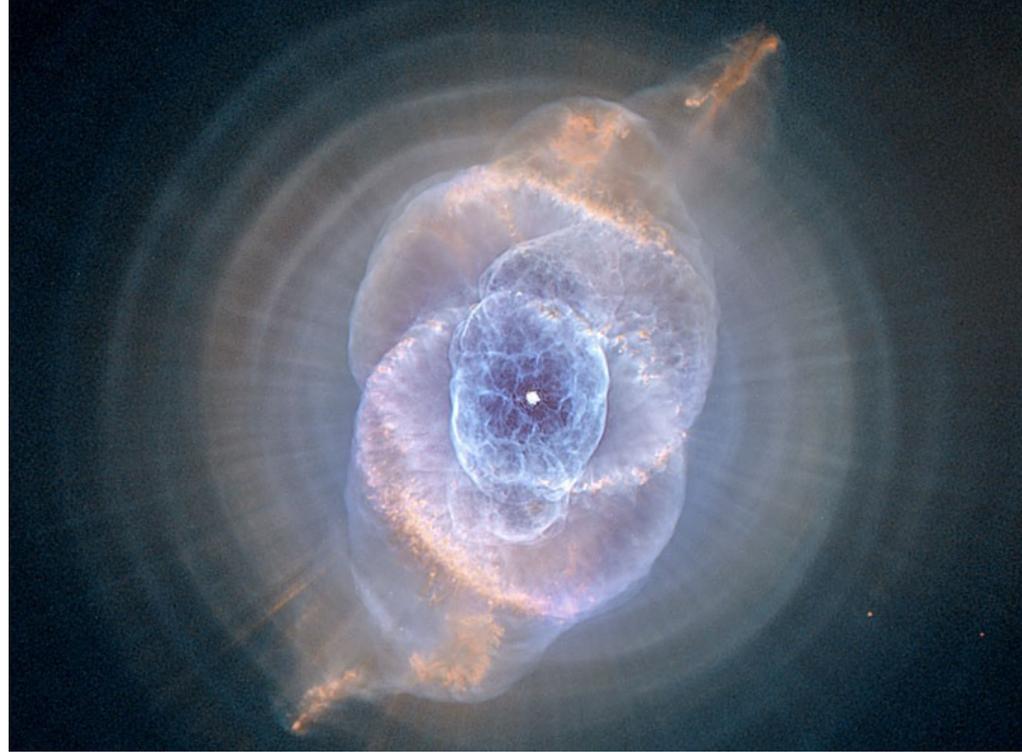
pulsierende Sonne

- ★ Sie hat 50% ihrer Masse verloren.
- ★ Venus und Erde haben sich von der Sonne entfernt.  
(Abstand Sonne-Erde = 1,7 AE)
- ★ Die Sonne fängt an zu pulsieren und wird viel größer.
- ★ Sie stößt noch mehr Masse ab und ejiziert schließlich ihre ganze Hülle.
- ★ Die Hülle wird zu einem planetaren Nebel.
- ★ Das von der heißen Rest-Sonne emittierte UV-Licht wechselwirkt mit der abgestoßenen Hülle und ionisiert und erleuchtet das Gas als planetaren Nebel.



Universität  
Siegen

Katzenaugen-Nebel



Helix-Nebel



Lagoon-Nebel

## Phase des Planetaren Nebels



Lyra-Nebel

- ★ Der nackte C-O Kern liegt frei.
- ★ Für weitere Fusionsprozesse reicht die Temperatur nicht aus.
- ★ Die Helligkeit der Sonne fällt schnell ab.
- ★ Das zentrale Gestirn wird zu einem weißen Zwerg
- ★ Der weiße Zwerg leuchtet aufgrund seiner (hohen) Temperatur; er wird immer dunkler.

## Weißer Zwerg

- ★ Der weiße Zwerg ist recht klein (ungefähr Erdgröße) und strahlt sehr ineffizient, kühlt sich also nur langsam ab.
- ★ Das Universum ist noch nicht alt genug, um sagen zu können, wie lange weiße Zwerge noch leuchten können.
- ★ Man vermutet, dass weiße Zwerge 100 Milliarden von Jahren (kümmerlich) leuchten können, bis sie zu einem schwarzen Zwerg werden.



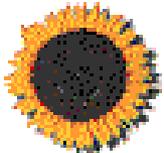
Altersheim weißer Zwerge



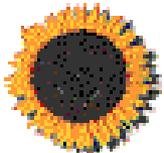




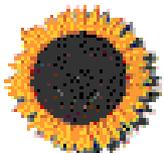
**Nach vielen Milliarden Jahren wird die Sonne von der Bildfläche verschwinden.**



**Aus dem Staub des planetaren Restnebels wird sich aber wieder durch Gravitation eine neue Protosonne entwickeln, die sich bis zur Wasserstoffzündung verdichtet.**



**Die Brocken, die nicht in der neuen Sonne landen, werden Planeten, und auf einem erdähnlichen Planeten kann sich eventuell wieder Leben entwickeln.**



**Genauso wie wir aus dem Sternenstaub einer früheren Sonnengeneration gemacht sind, werden wir wieder als Sternenstaub für eine spätere „Reinkarnation“ von neuem Leben bereit stehen.**