

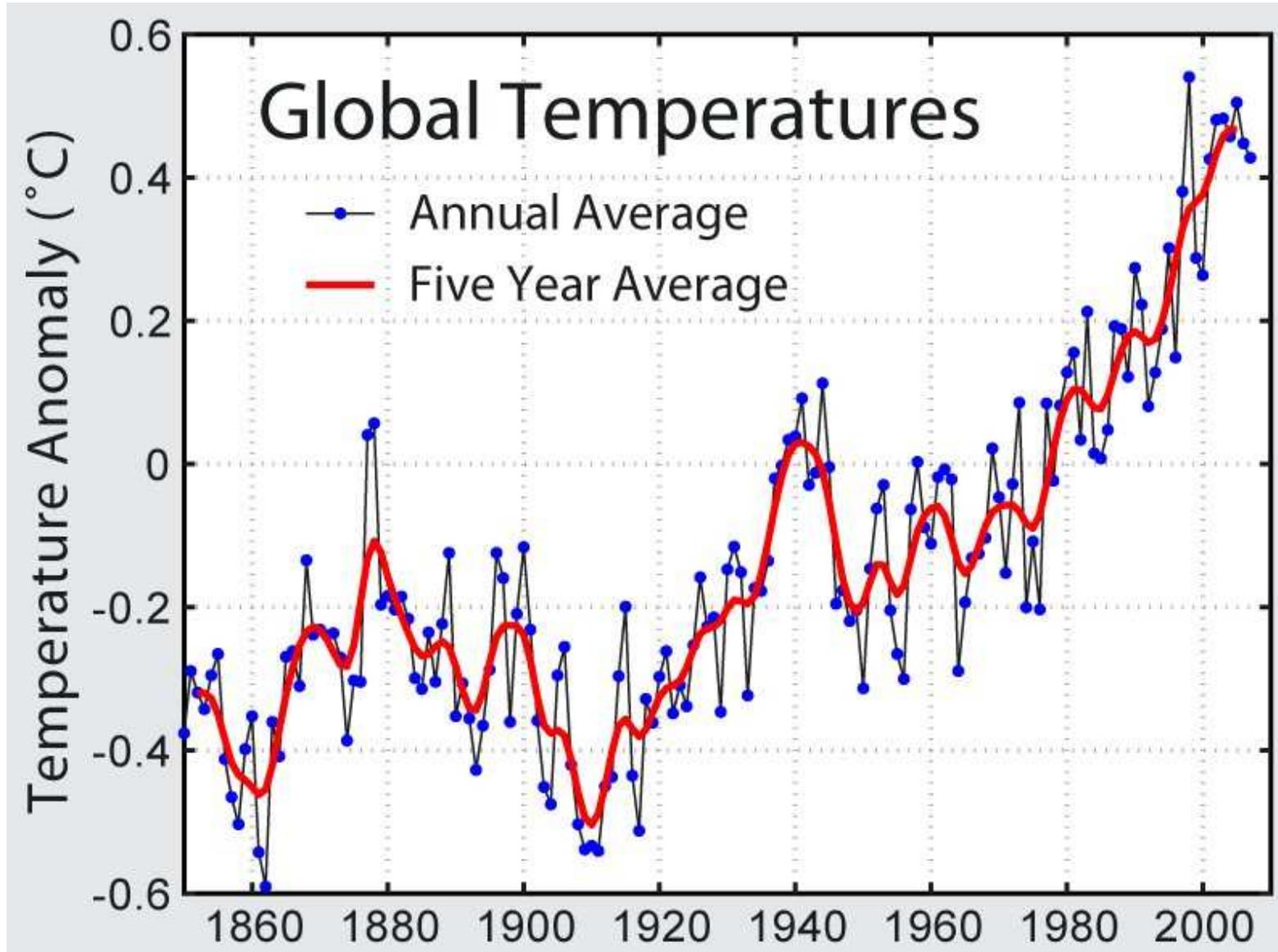
Zukunft der Energieversorgung

Mittwochsakademie Wintersemester 2008/9



Universität Siegen
Claus Grupen

Warnung



Übersicht

- Stand der Energieversorgung
- Fossile Brennstoffe
- Kernenergie
- Alternative Energien
- Reichweite der Vorräte
- Klimaveränderungen
- Prognosen
- Handlungsweisen

Übersicht über den Energieverbrauch

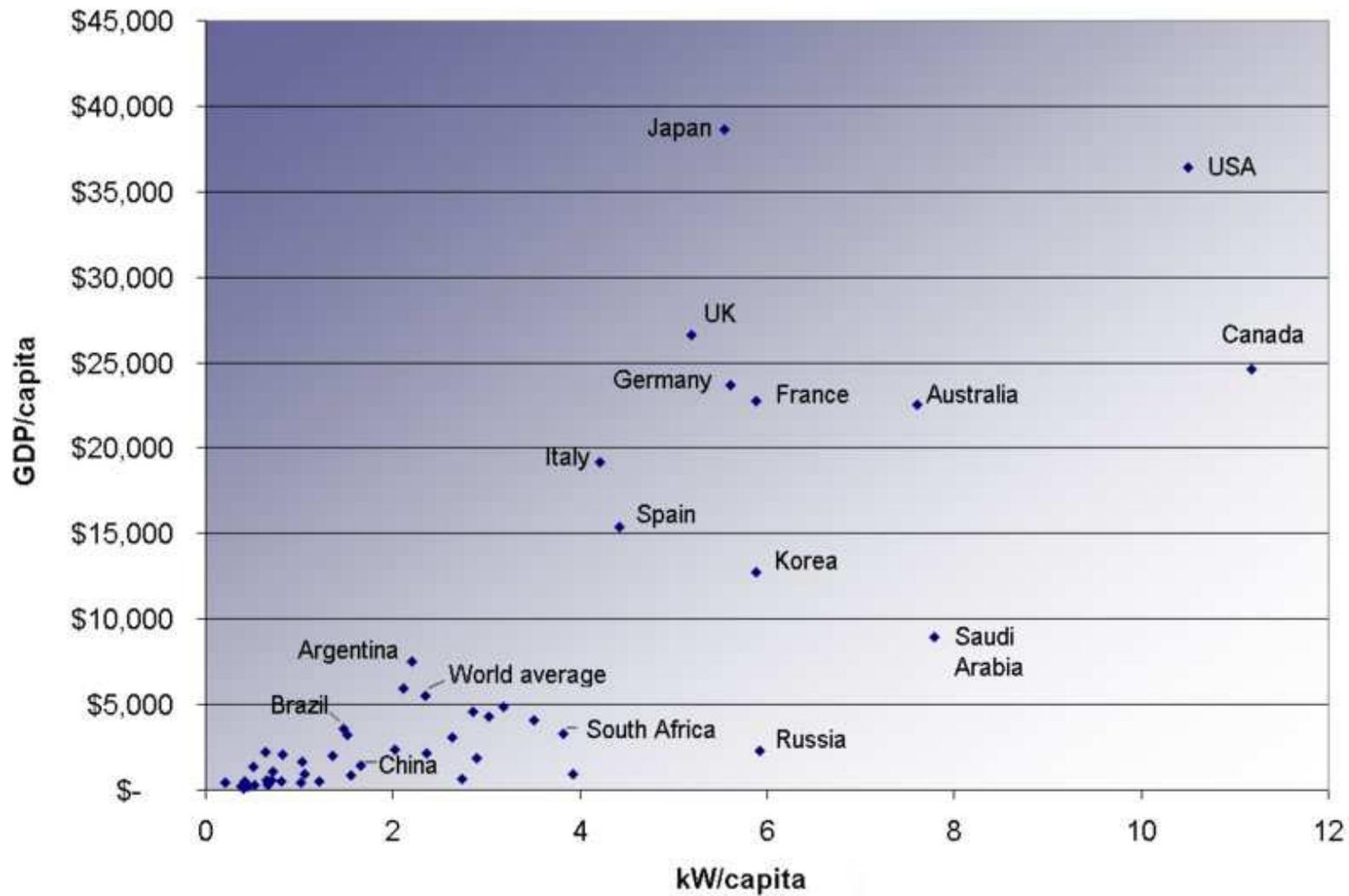
Wieviel Energie braucht der Mensch?

Seine Körperleistung beträgt etwa 100 Watt. Man benötigt Energie für

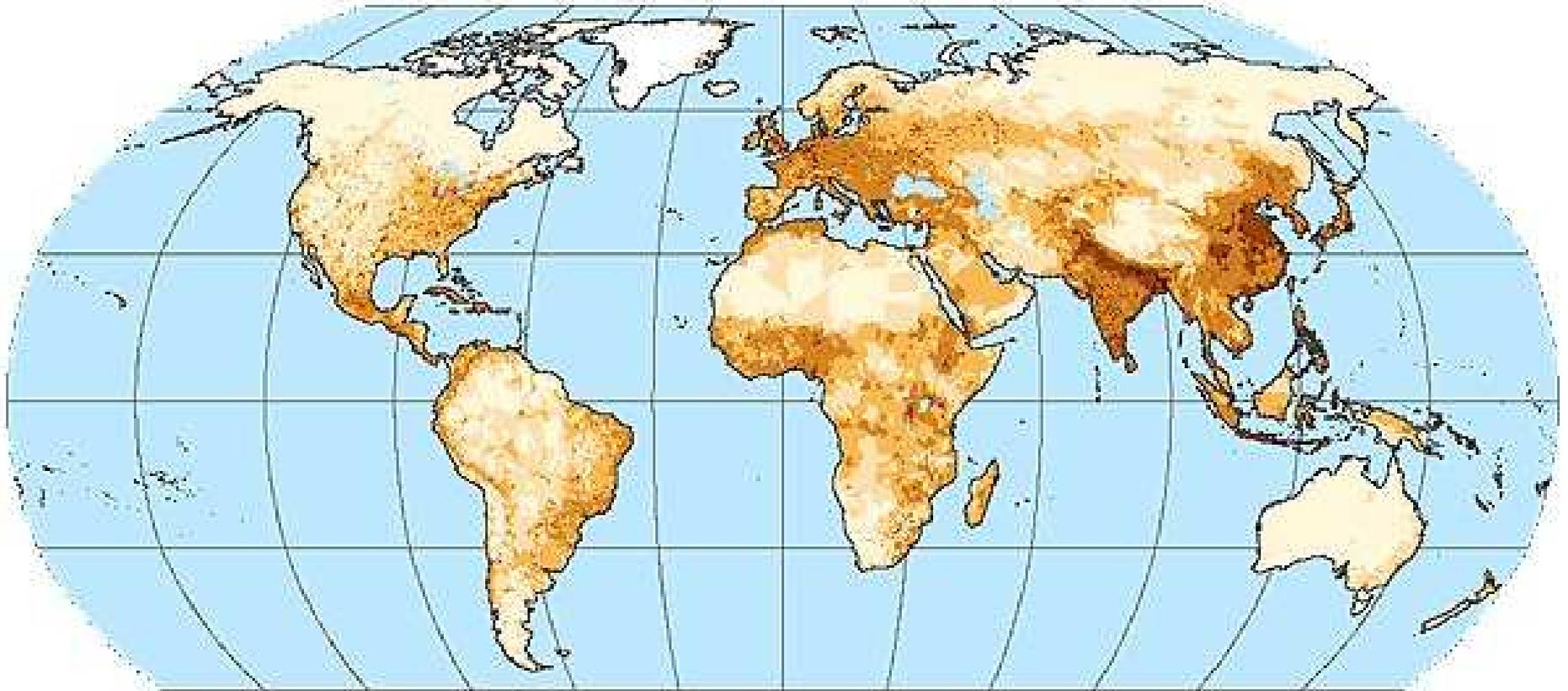
- Heizung
- Nahrung
- Verkehr
- Beleuchtung
- Urlaub, ...

in Deutschland verbraucht jeder insgesamt etwa 5 kW, d.h. 120 kWh täglich

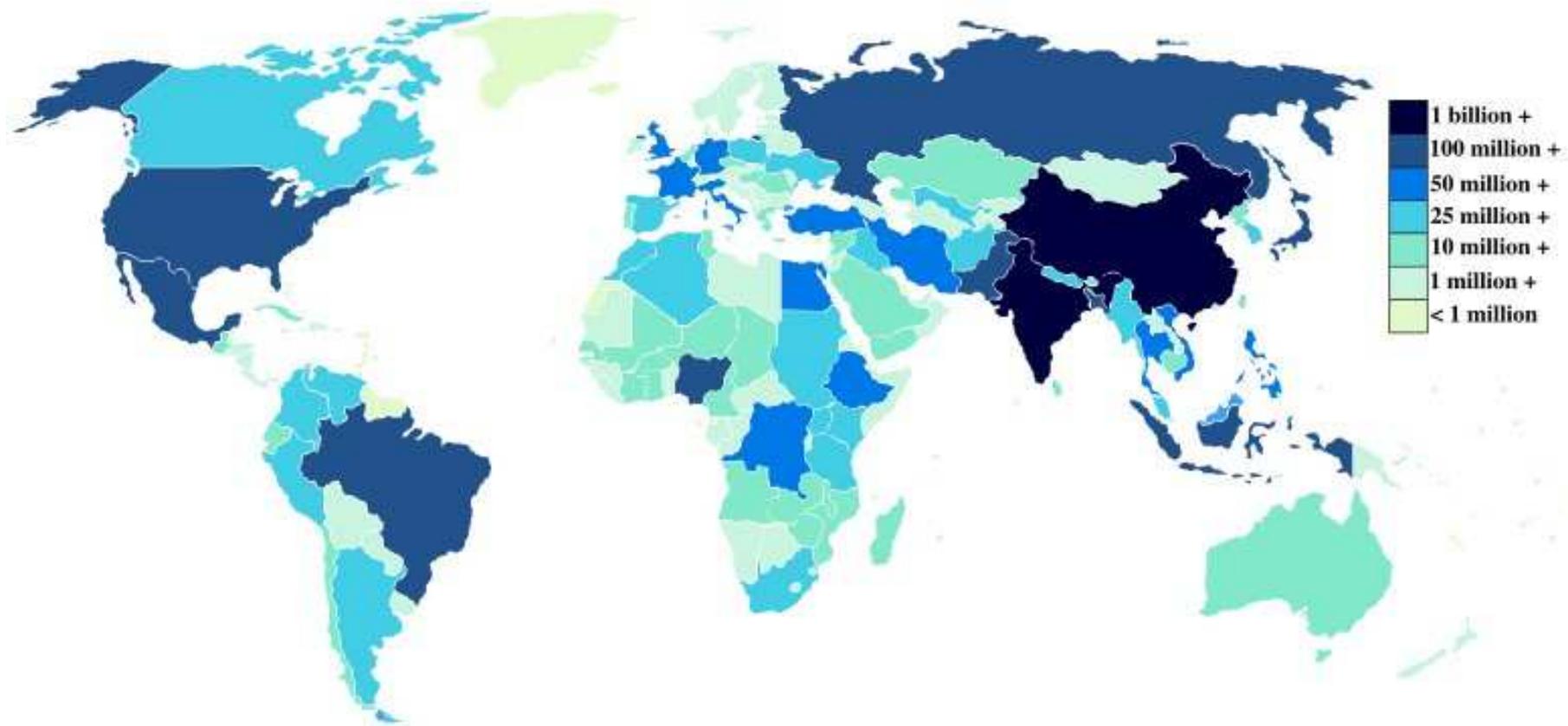
Energieverbrauch



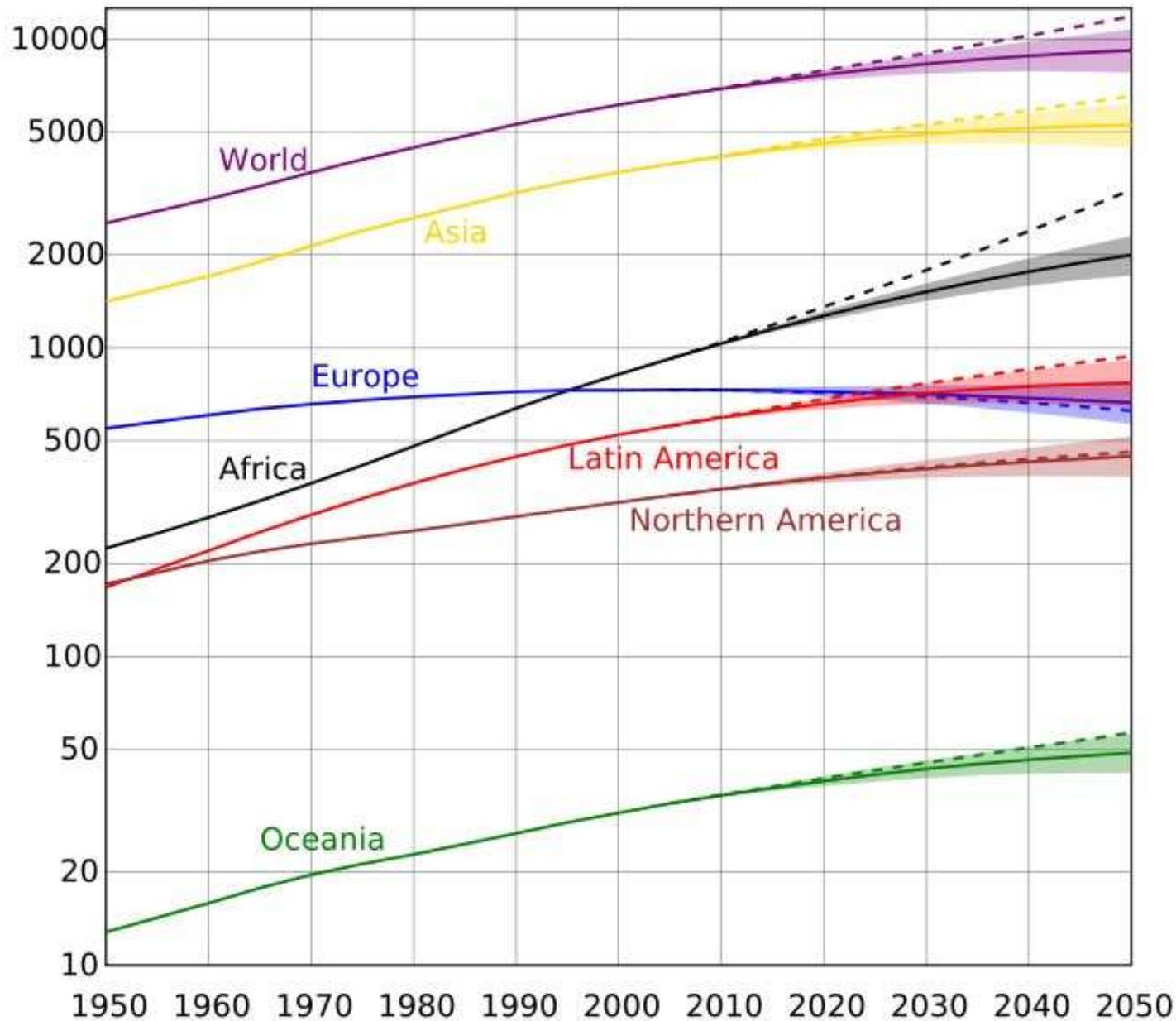
Weltbevölkerung



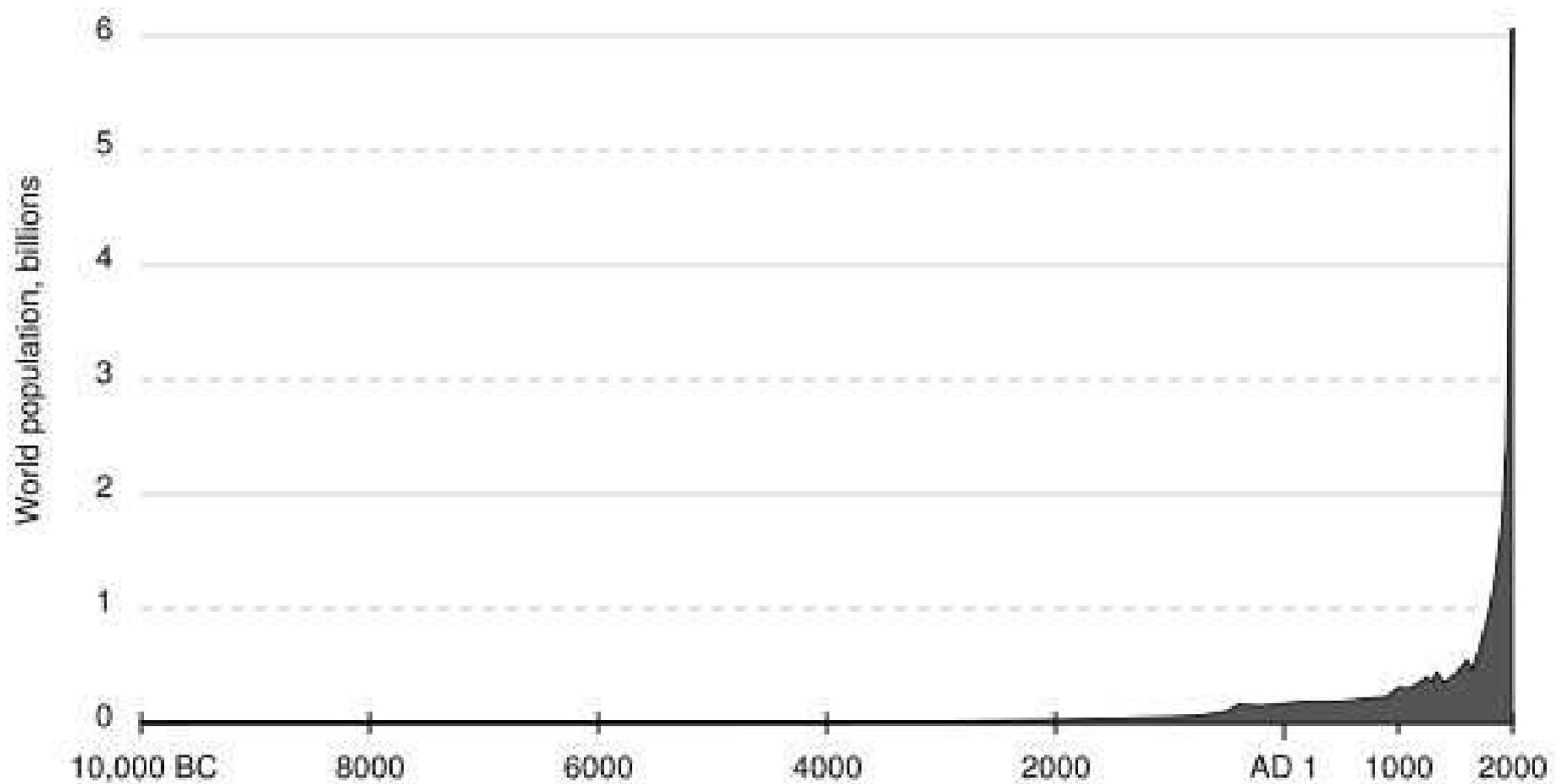
Weltbevölkerung



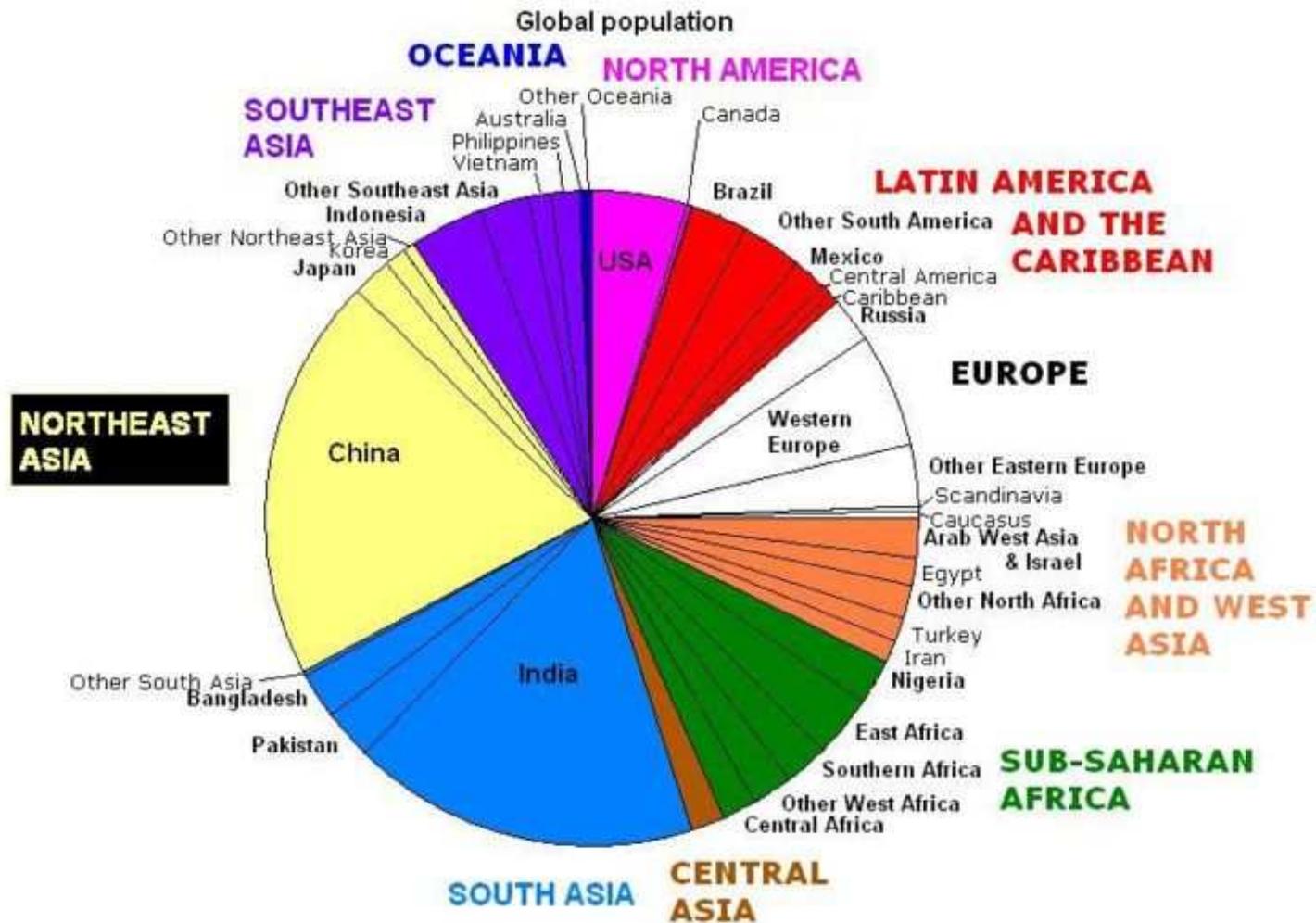
Weltbevölkerung



Weltbevölkerung



Weltbevölkerung



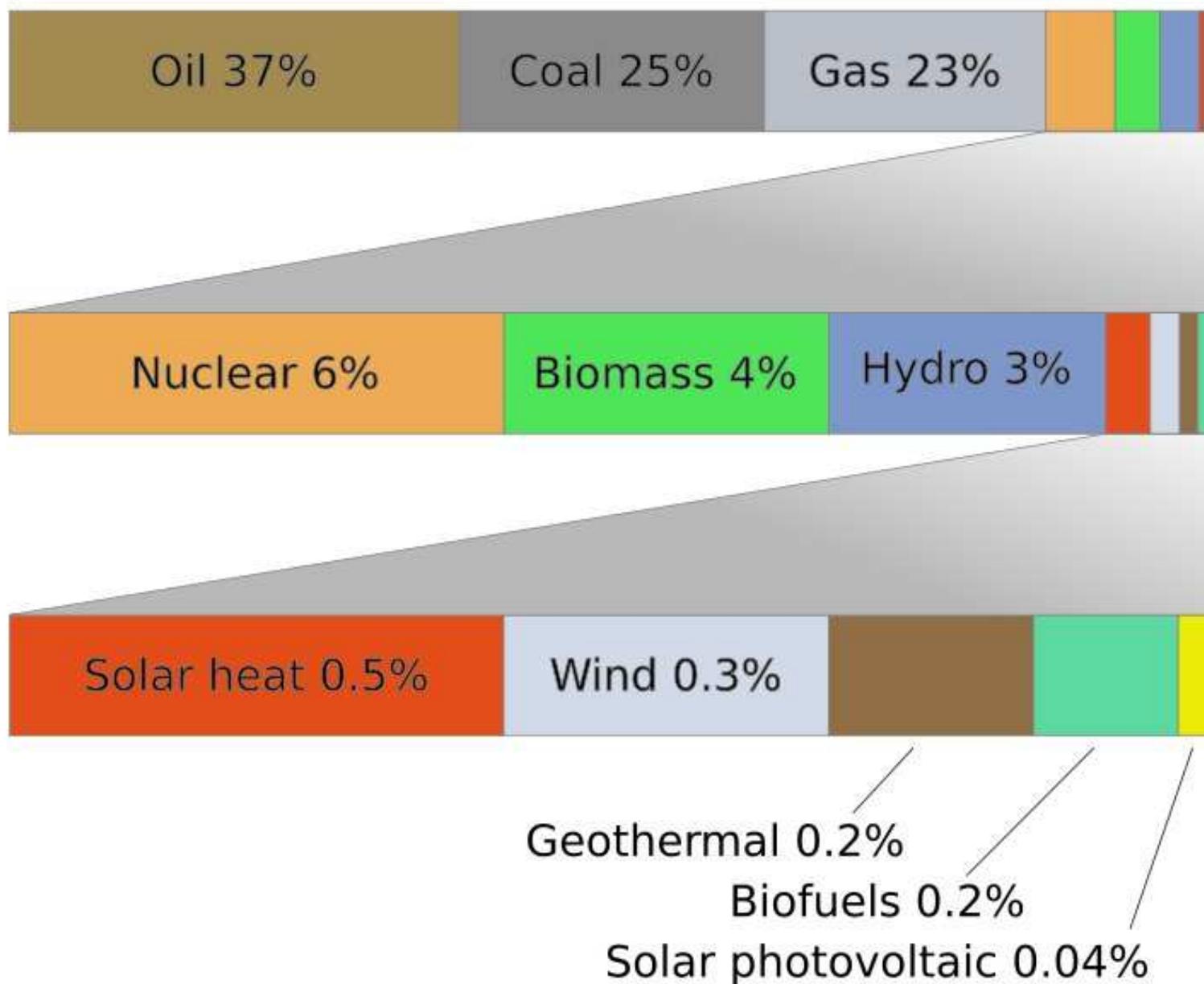
Bevölkerungsdichten

- Asien: 116 Einwohner pro Quadratkilometer
- Europa: 32
- Afrika: 27
- Südamerika: 25
- Nordamerika: 15
- Australien und Ozeanien: 4
- Weltmittel: 45

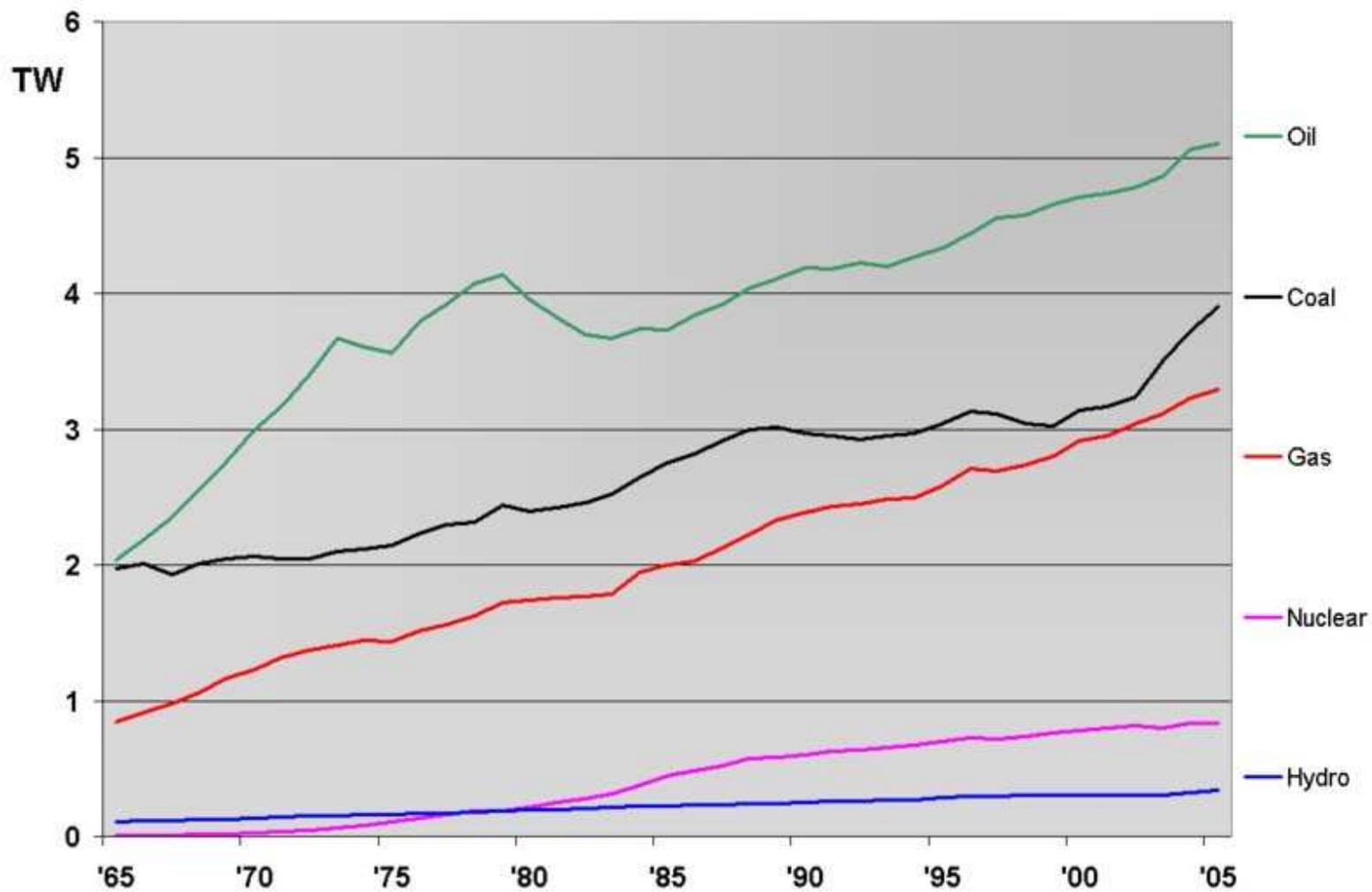
Wo kommt die Energie her?

- Öl
- Kohle
- Gas
- Kernenergie
- Wind
- Solarenergie
- Wasserkraft
- Biomasse
- Geothermie
- Gezeitenkraftwerke, ...

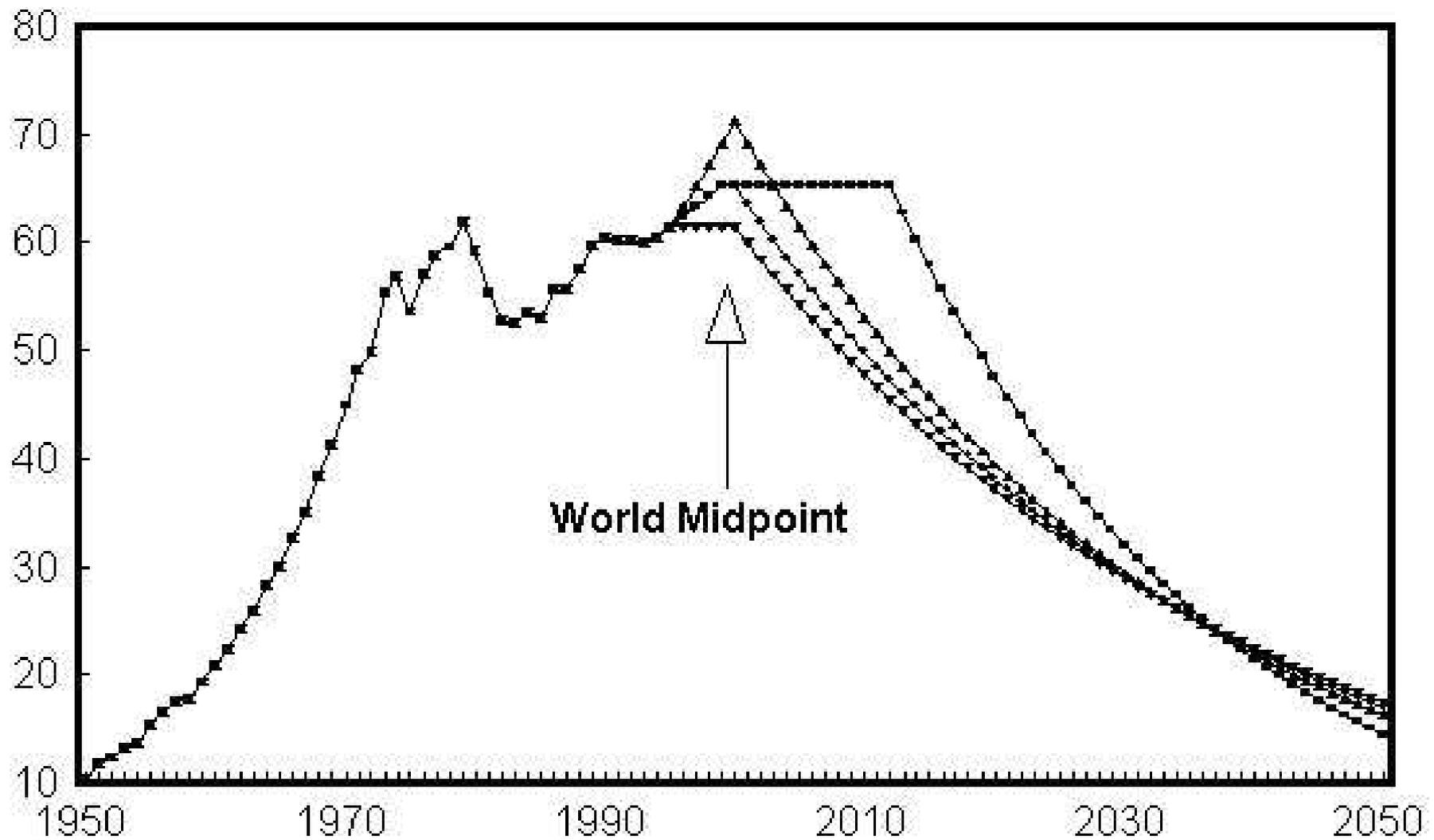
Energieverbrauch



Energieverbrauch



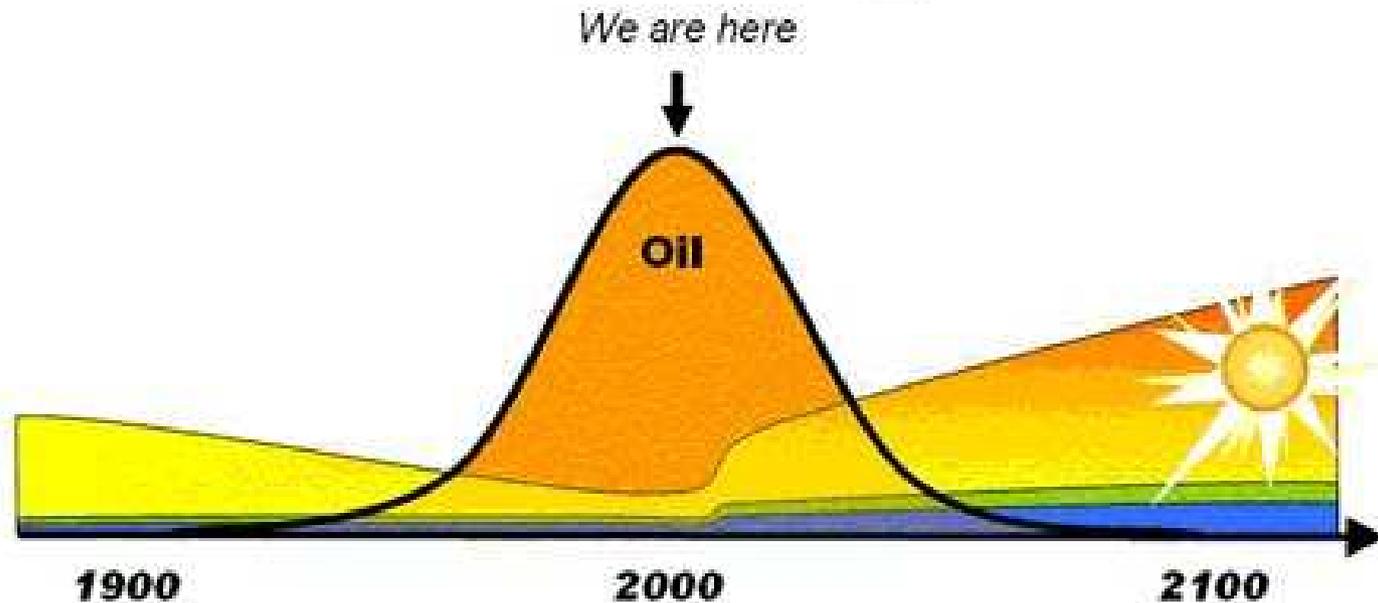
Ölförderung



Campbell World Oil Production Plot

Zeit für eine Veränderung

Wake up!!!



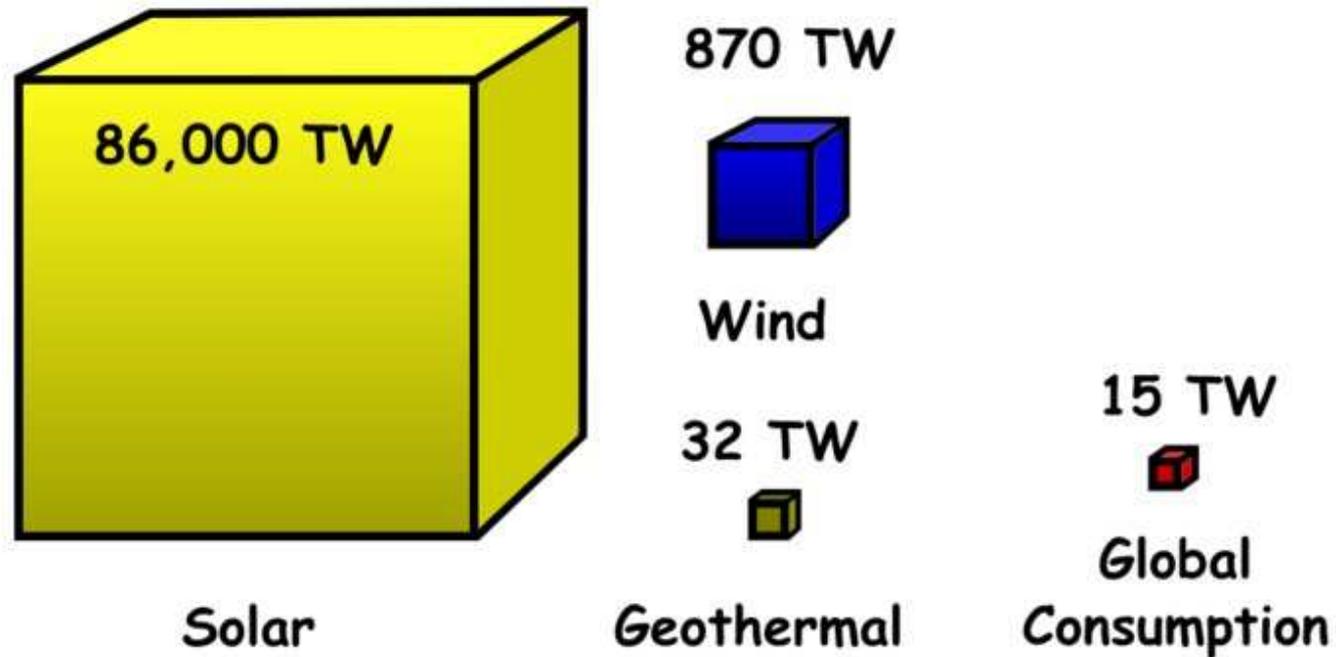
...to the power of Solar

www.oilcrisis.com

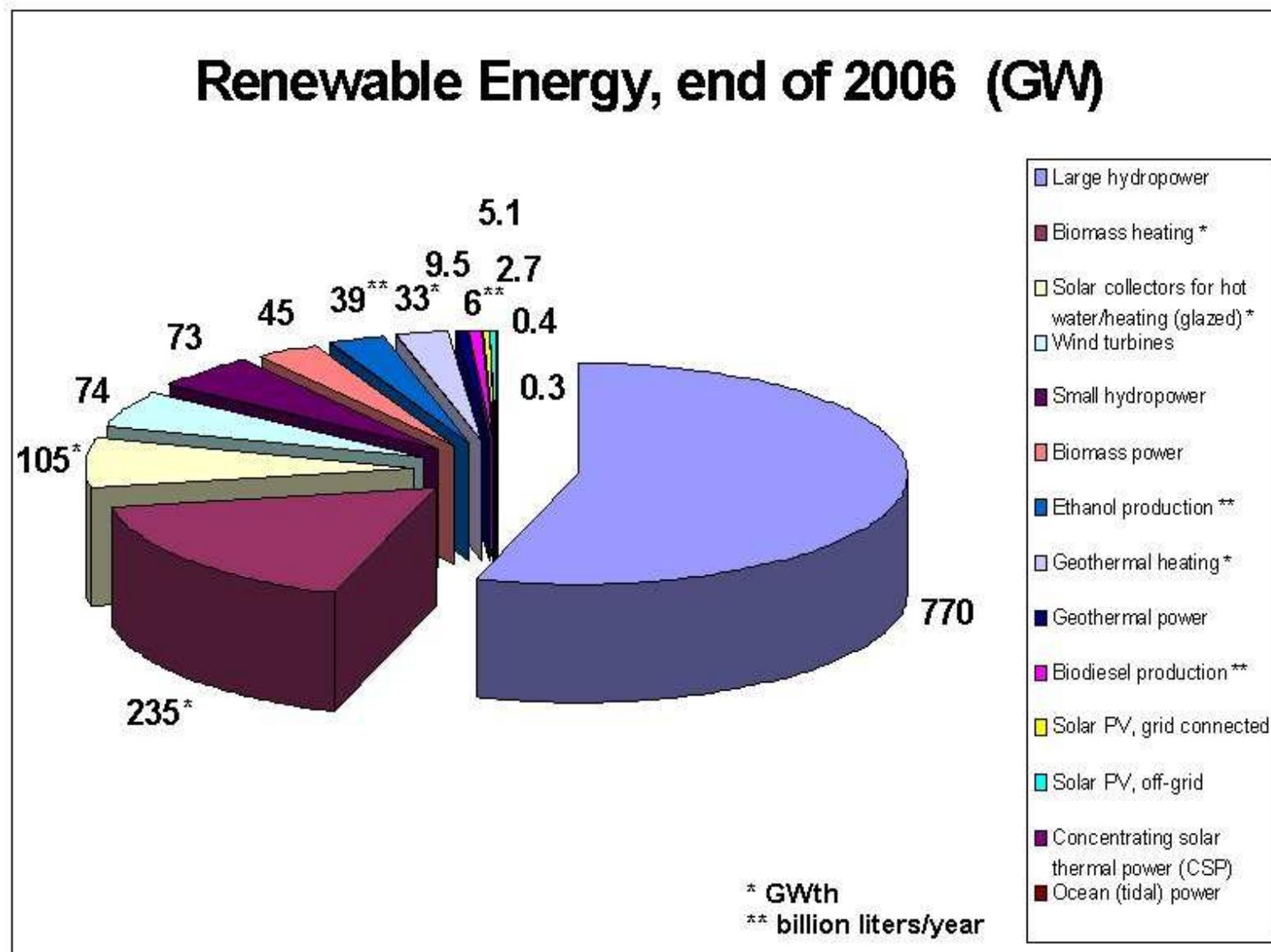
Ist der Energiebedarf zu decken?

- gegenwärtig benötigte Leistung weltweit: 15 TW
- was liefert die Sonne: 86 000 TW
- Wind: 870 TW
- Geothermisch 32 TW
- Wasserkraft
- Biomasse
- Gezeitenkraftwerke, ...
- Wenn jeder Mensch so leben würde wie wir: 30 TW
- WO IST DAS PROBLEM?

Regeneratives Energieangebot



Regenerative Energienutzung



Wie läßt sich das Problem lösen?

- Öl, Kohle und Gas haben eine geringe Reichweite und stellen ein großes Klimaproblem dar
- Also müssen die fossilen Energieträger ersetzt werden; und zwar langfristig durch regenerative Energien
- Vorübergehend muss die Energie aus Kernspaltreaktoren genutzt werden, um das CO_2 Problem in den Griff zu bekommen
- Langfristig sind Kernspaltreaktoren keine Alternative, da auch das Uran beschränkt ist
- Kernfusion wäre auch ein möglicher Ausweg
- auf jeden Fall müssen alternative Energien gefördert werden

Energieeinheiten

- mechanische Energie: $1 \text{ Nm} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$
- elektrische Energie: $1 \text{ Ws} = 1 \text{ VAs} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ J}$
- $1 \text{ kWh} = 10^3 \text{ Wh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Ws}$
- $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
- $1 \text{ cal} = 4,185 \text{ J}$
- eine Steinkohlentonneneinheit (SKE) = 7000 kcal
- ein Barrel (US) = 42 Gallonen = 158,987 l für Öl
- ein Liquid Barrel (US) = 31,5 Gallonen = 119,240 l für andere Flüssigkeiten

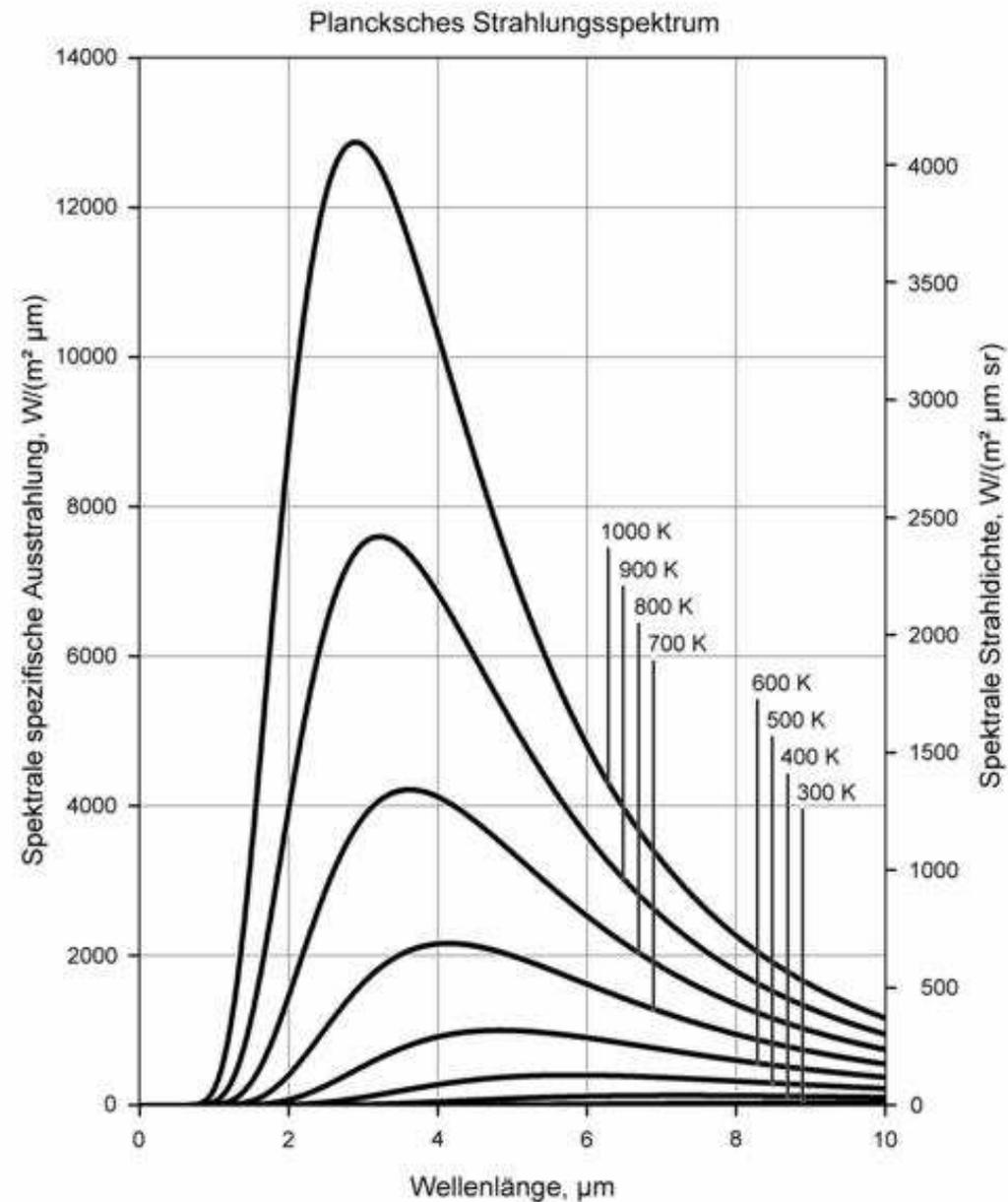
andere nützliche Einheiten

- Solarkonstante $S = 1350 \frac{W}{m^2}$
- am Erdboden bei klarem Himmel $\approx 300 \frac{W}{m^2}$
- bei typischem Wetter in Siegen $\approx 100 \frac{W}{m^2}$
- Tagesbedarf an Energie $\approx 2000 \text{ kcal} = 8,4 \text{ MJ}$
- Energiegehalt einer Tasse Kaffee $6 \text{ kcal} = 25 \text{ kJ}$
- Energiebedarf beim Treppensteigen (3 Etagen) $\approx 8 \text{ kJ}$

Planck'sches Strahlungsgesetz

- $P_\lambda(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$
- $P_\lambda(\lambda, T)$ spektrale spezifische Ausstrahlung
- h Planck'sches Wirkungsquantum
- c Lichtgeschwindigkeit
- k Boltzmann-Konstante
- T absolute Temperatur der Strahlerfläche, in K
- λ betrachtete Wellenlänge

Planck-Verteilung



Wien'sches Verschiebungsgesetz

- → Wiensches Verschiebungsgesetz
- $\lambda_{\max} = \frac{2897,8 \mu m K}{T}$
- λ_{\max} Wellenlänge, bei der die größte Strahlungsintensität auftritt, in μm
- T absolute Temperatur der strahlenden Fläche, in K
- Beispiel: $\lambda_{\max} \cdot T \approx 3000 \mu m K$
- mit Zahlen: T = 6000 Kelvin (Sonne) → $\lambda = 0,5 \mu m$
- mit Zahlen: T = 300 Kelvin (Mensch) → $\lambda = 10 \mu m$

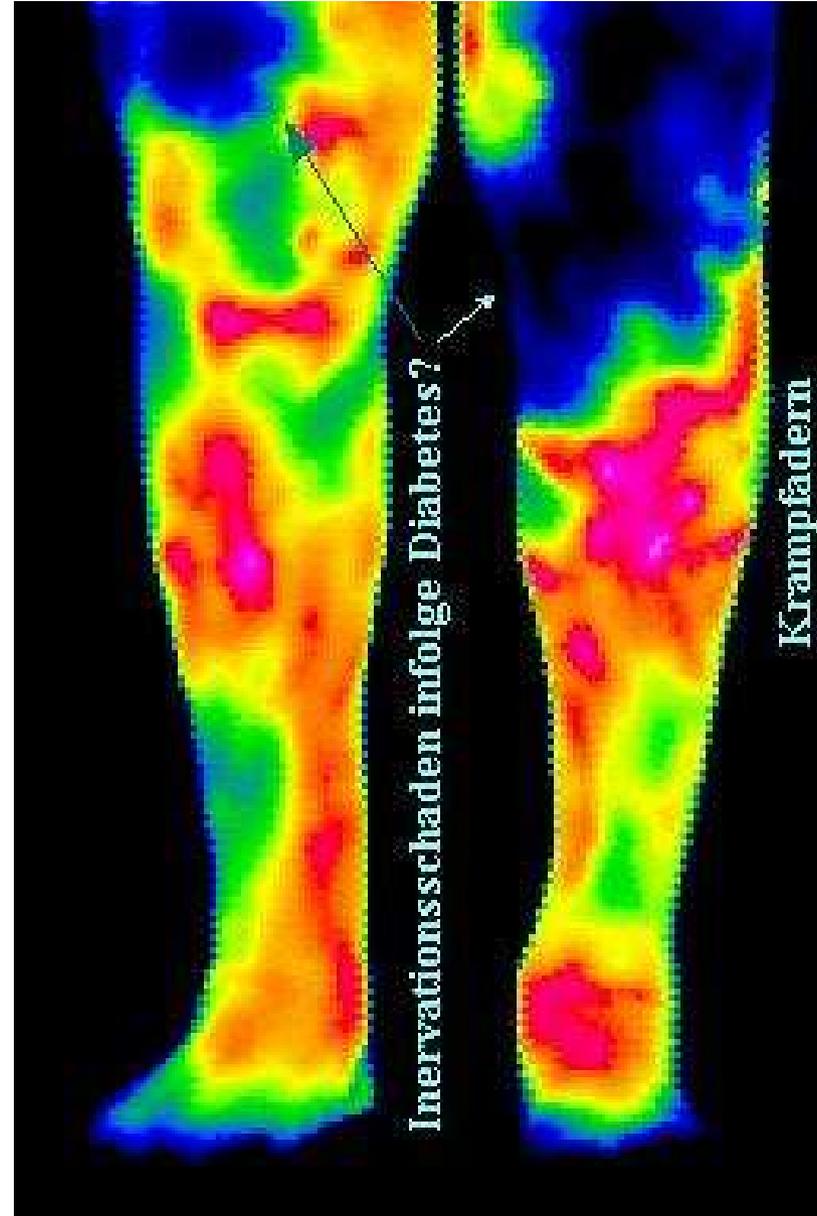
Thermobilder



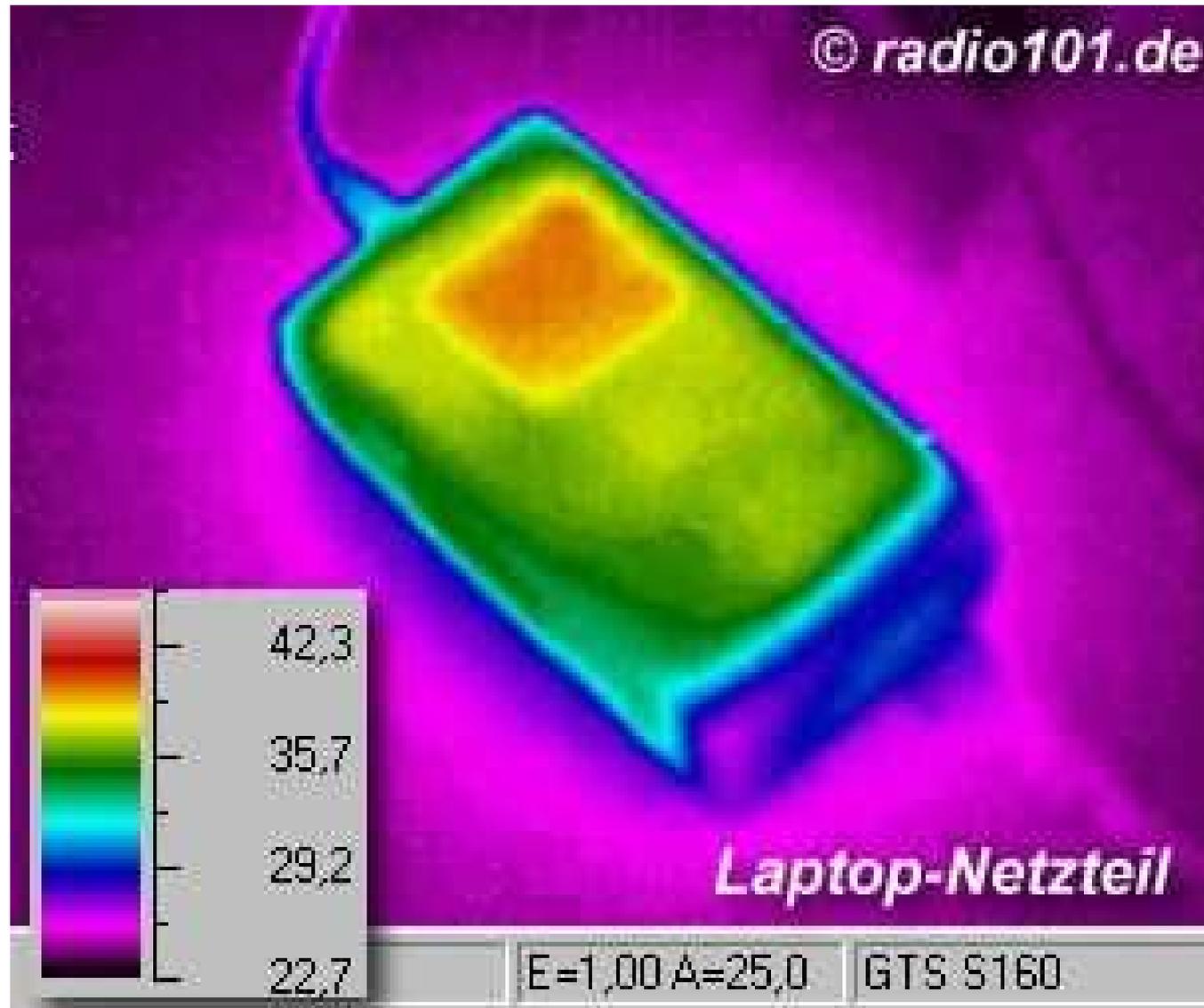
Thermobilder



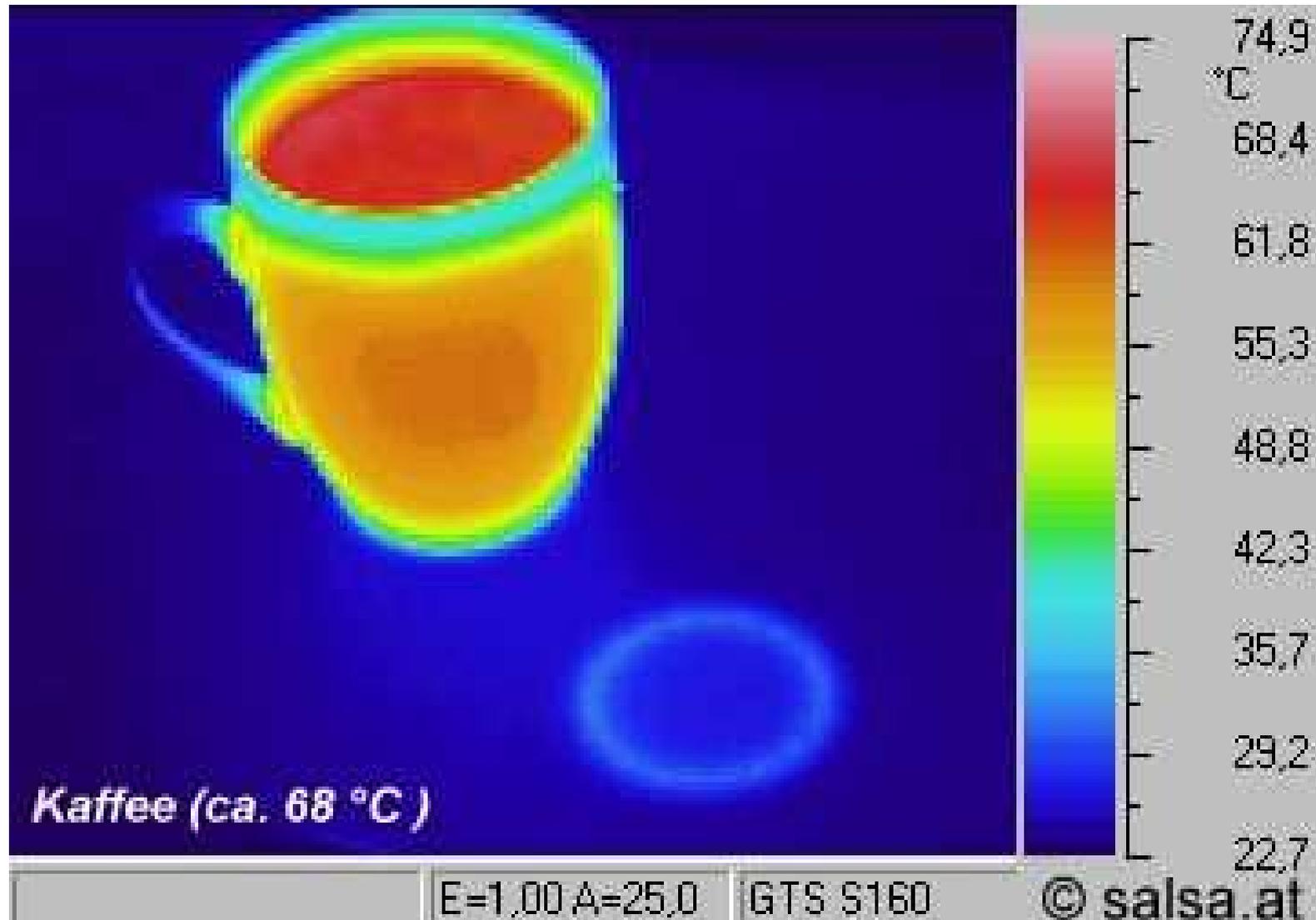
Mangeldurchblutung



Netzteil



Kaffeetasse



Energievorräte

- Kohle etwa 100 Jahre
- Öl 40 bis 90 Jahre
- Erdgas 70 bis 130 Jahre
- Uran 70 bis 280 Jahre
- Die Reichweite ist eine Frage des Preises und der Abbauwürdigkeit
- Deuterium; Tritium für Kernfusion unerschöpflich

Kohlekraftwerke

Kohle + Luft →

Wärme + Kohlendioxid + Wasser + Stickstoff + Dreck

Dreck =

Schwermetalle + Stickoxide + organische Verbindungen

Im folgenden werden die einzelnen Schadstoffe aus Kohlekraftwerken etwas detaillierter dargestellt. Als Basis wird ein Kohlekraftwerk mit einer Leistung von 1 GW zugrundegelegt.

Chemie der Kohle

- Kohle ist reich an natürlichen Mineralstoffen mit großen regionalen Schwankungen
- 2 Millionen Tonnen Kohle (Jahresverbrauch) enthalten*
- 34 000 kg Arsen; 200 kg Cadmium
- 12 000 kg Gold; 400 kg - 4000 kg Quecksilber
- 16 000 kg Blei; 6 000 kg Uran 238
- 10 000 kg Thorium; 50 kg Uran 235

*Trace elements in West Virginia Coals

<http://www.wvgs.wvnet.edu/www/datastat/te/index.htm>

Freigesetzte Mineralstoffe

- Angenommene Filtereffizienz: 99 %
- in Flugasche werden die Mineralstoffe angereichert
- bei 2 Millionen Tonnen Kohle (Jahresverbrauch) werden freigesetzt:
 - 340 kg Arsen; 5 kg Cadmium
 - 120 kg Gold; 20 kg bis 1000 kg Quecksilber
 - die Rückhaltung von Hg ist problematisch
 - 160 kg Blei; 60 kg Uran 238; 100 kg Thorium
 - große Schwankungen, je nach Herkunft!
- andere Quellen: 100 kg Schwermetall pro Tag und Kraftwerk

gasförmige Emissionen (ohne CO₂)*

NO _x	25 000 Tonnen
SO ₂	65 000 Tonnen
flüssige organische Verbindungen	200 Tonnen
elementarer Kohlenstoff	500 Tonnen
NH ₃ (Ammoniak)	10 Tonnen
Summe	etwa 91 000 Tonnen#

*Power Plant Emissions; Clean Task Force, Boston 2004

entsprechend 4,6 % der Steinkohle

Feinstaub-Emissionen

PM 10 1500 Tonnen/a

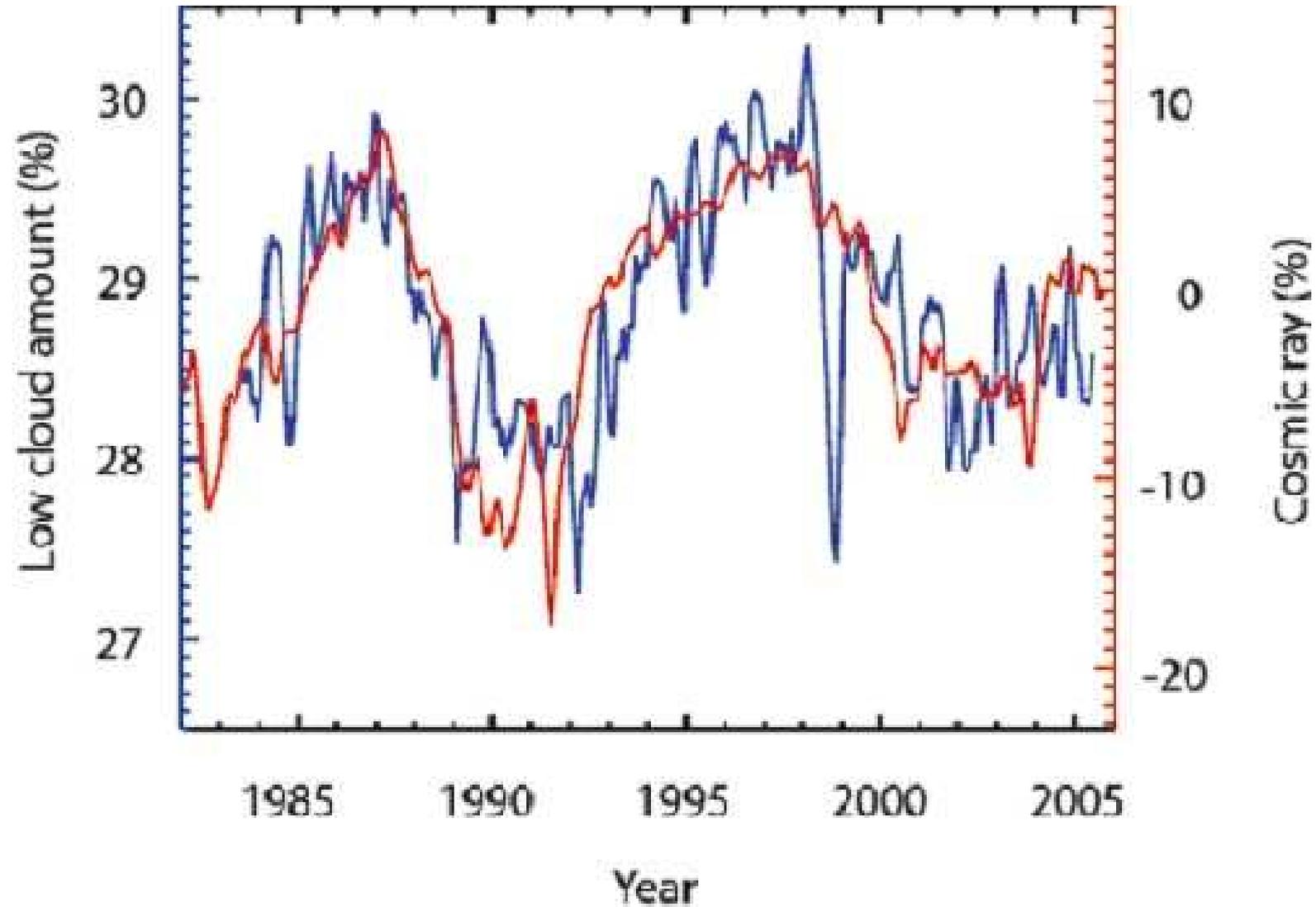
PM 2,5 700 Tonnen/a

- Volumen $V \sim r^3$
- Oberfläche $O \sim r^2$
- Oberfläche pro Volumen $\sim 1/r$
- Oberfläche PM 2,5/PM 10 \rightarrow Faktor 4 bei gleicher Masse
- Achtung: kleine Staubpartikel sind gefährlicher!

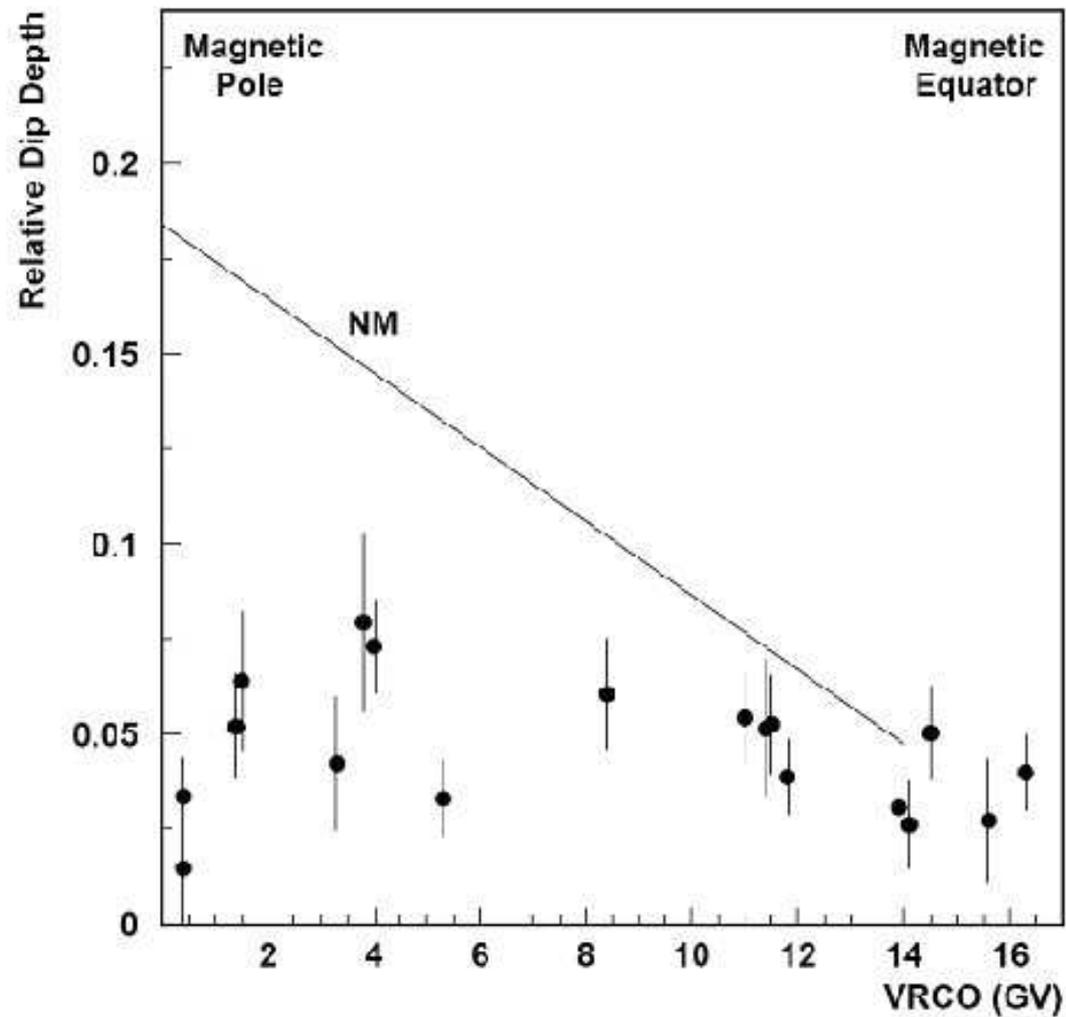
Filter, Flugasche, Schlacken

- gute Filter sind ganz wesentlich
- Flugasche ist 10 mal so radioaktiv wie Steinkohle
- Schlacken sind schwach radioaktiver Müll
- Schlacken enthalten wertvolle Minerale
- Achtung: es gibt keine Vorschriften für die Lagerung von Schlacken

Kosmische Strahlung?



Kosmische Strahlung



Biologische Folgen*

Krankheit	pro 10 ⁵ Einwohner/a
Chronische Bronchitis	35
Akute Bronchitis	80
Chronische Lungenkrankheiten	3
Asthma	6
Lungenentzündung	17
Herzanfälle	85
Herz-Kreislaufbeschwerden	30
Allergien	viele

insgesamt 3 Promille der Bevölkerung sind betroffen

*Power Plant Emissions; Clean Task Force, Boston 2004

Physikalische Aspekte

- Carnot Wirkungsgrad
- $\eta = 1 - T_1 / T_2$
- T_2 Dampftemperatur; T_1 Kühlttemperatur
- Temperaturen in Kelvin
- Dampftemperatur 500 bis 600 K
- $\eta \rightarrow 40 \% \text{ bis } 50 \%$
- Verbesserung der Energieeffizienz?
- der Rest ist Abwärme
- Kraft-Wärme Kopplung vorgesehen?

Praktische Aspekte

- Notwendigkeit für 380 kV Hochspannungsleitungen
- Aufheizen des Kühlwassers mit
- möglichen ökologischen Folgen
- bauliche Verschandelung der Natur
- Wertminderung von Grundstücken
- Belastung durch Schwertransporte
- Anlieferung von 2 Millionen t Kohle pro Jahr
- Abraumhalden

Politische Aspekte

- billige Kohle aus Kolumbien, Südafrika, Rußland?
- Ausbeutung der Bergleute dort?
- Braucht die Region 900 MW zusätzlich?
- DK und NL lehnen den Bau von KohleKW ab
- die dänischen Betreiber (DONG-Energy) wollen in Deutschland bauen?
- Alternativen: Wind? Solare Energie?
- → Probleme mit der Grundlast
- würde effiziente Speicher erfordern:
Pumpwasserspeicher wie in Norwegen? → bessere europäische Netze

Klimafolgen

- Klimakonferenz Bali ??
- Reduktion des CO₂ Ausstoßes ??
- CO₂ Probleme sind bekannt
- einige Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr sind nicht wenig
- Anstieg des Meeresspiegels
- Einschränkung der Biodiversität
- Ausbreitung von Tropenkrankheiten (Malaria, ...)

CO₂ Ausstoß; Vergleiche

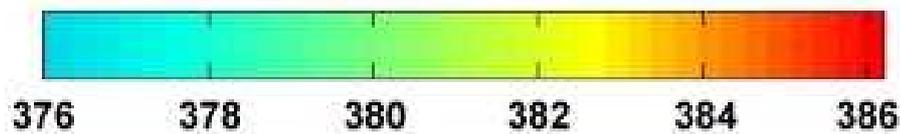
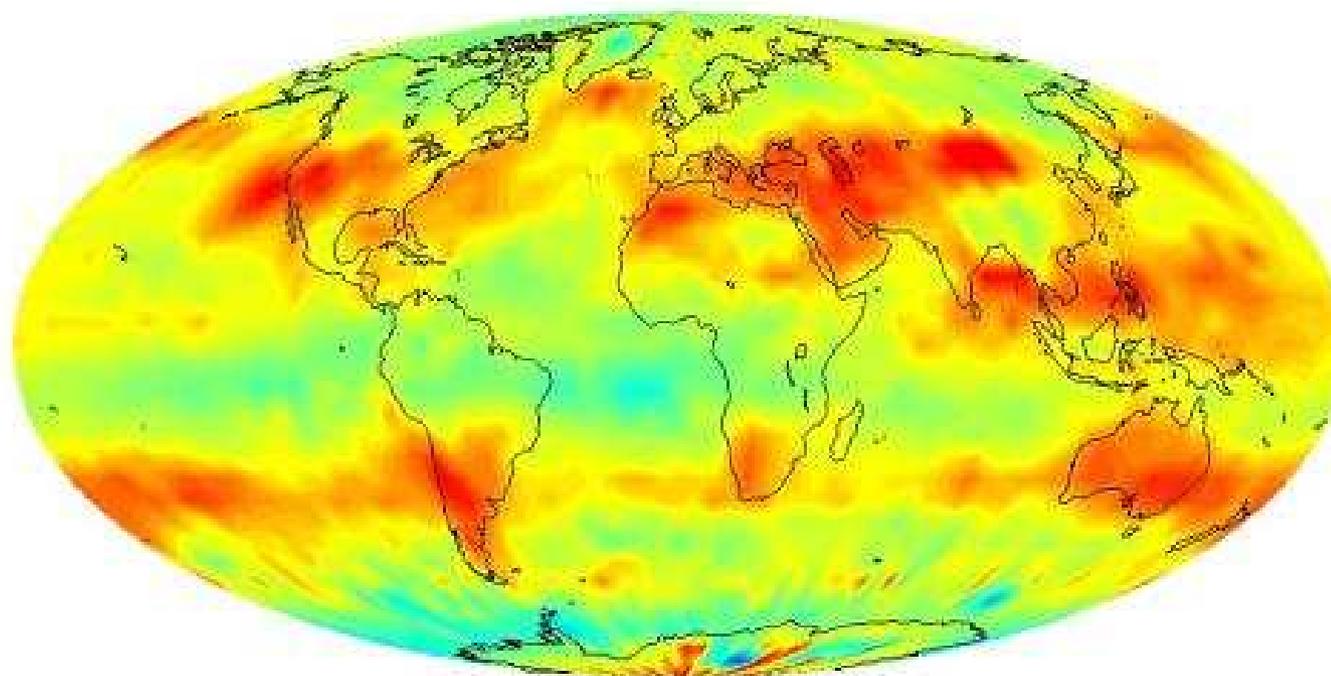
- Angaben in Millionen Tonnen pro Jahr

Weltweit	12 000
USA	2790
China	2680
Russland	661
Indien	583
Japan	400
Deutschland	356
Australien	226
Südafrika	222
Großbritannien	212
Südkorea	185
Frankreich	175

<http://vorort.bund.net/suedlicher-oberrhein/>

[neue-kohlekraftwerke-enbw-eon-rwe-vattenfall.html](#)

Atmospheric Infrared Sounder



AIRS July 2008 CO₂ (ppmv)

Kohle vs. Kraftfahrzeuge

- Summe der CO_2 Emissionen der 10 größten deutschen Kohlekraftwerke: 165,6 Millionen Tonnen CO_2 pro Jahr
- PKW: 180 g/km CO_2 für Mittelklassewagen
- Fahrleistung 15 000 km/a
- Anzahl der zugelassenen Fahrzeuge: 42 Millionen
- $m(CO_2) = 0,18 \text{ kg/km} \cdot 42 \cdot 10^6 \cdot 15000 = 113 \cdot 10^6$
Tonnen

Stromverbrauch im Haushalt

- Einpersonen-Haushalt etwa 1.600 kWh
- Zweipersonen-Haushalt etwa 2.800 kWh
- Dreipersonen-Haushalt etwa 3.900 kWh
- Vierpersonen-Haushalt etwa 4.500 kWh
- Fünf-oder mehr Personen etwa 5.300 kWh

Wo geht die Energie hin?

- Kühl- und Gefriergeräte 24 %
- Kleingeräte für Haushalt und Pflege 24 %
- Beleuchtung 19 %
- Gargeräte 12 %
- Unterhaltungselektronik, Computer 7 %
- Wäschetrockner 6 %
- Waschmaschinen 4 %
- Geschirrspülmaschinen 4 %

Typische Verbraucher

- Fernseher in Betrieb 100 Watt
- Fernseher Stand-by 10 Watt
- Radio 30 Watt
- Kühlschrank 0,50 kWh pro Tag
- Gefrierschrank 0,75 kWh pro Tag
- Waschmaschine 1000 Watt
- Wäschetrockner 3000 Watt
- Geschirrspülmaschine 1000 Watt

CO₂ Ausstoss nach Marken

- Mittelwerte über die verschiedenen Typen pro Hersteller
- VW 159 g/km
- Audi 177 g/km
- SEAT und Skoda 150 g/km
- Opel 160 g/km
- Mercedes 185 g/km
- BMW 192 g/km

CO₂ Ausstoss; Rekorde

- Maserati 345 g/km
- Lamborghini 327 g/km
- Ferrari 310 g/km
- Porsche 287 g/km
- Maybach 390 g/km
- Porsche Cayenne 361 g/km
- Landrover 190 g/km
- Smart 115 g/km
- Toyota Plus 104 g/km
- 3 Liter Auto (technisch kein Problem) 80 g/km

Radioaktivität in der Kohle

- Ra 226; 40 Bq/kg Halbwertszeit 1600 a
- Th 232; 30 Bq/kg Halbwertszeit $1,4 \cdot 10^{10}$ a
- K 40; 240 Bq/kg Halbwertszeit $1,3 \cdot 10^9$ a
- in geringen Mengen U 238, U 235, Po 210, Bi 214, ...
- insgesamt 4 TBq (Jahresverbrauch)
- Strahlenbelastung durch Inhalation (70 %)
- und Ingestion (30 %)
- im Umkreis von 10 km: $\approx 100 \mu\text{Sv}$ pro Jahr*

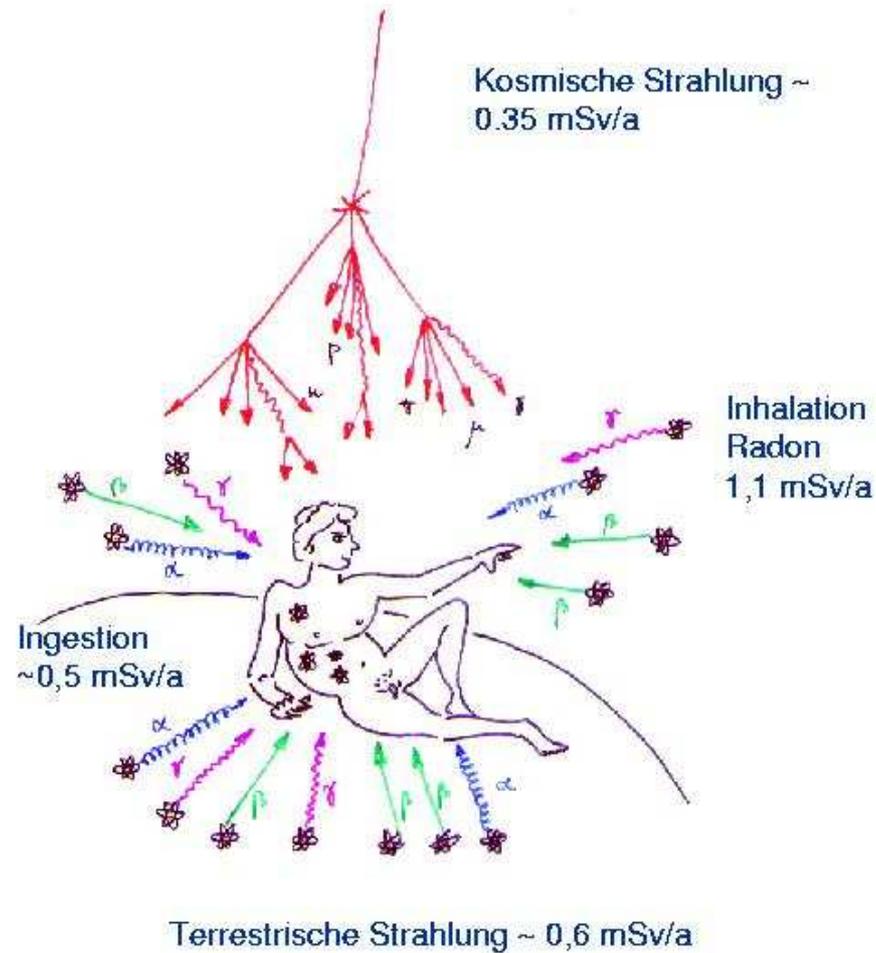
*Scientific American, Dec. 2007

Radioaktivität der natürlichen Umwelt

- Kosmische Strahlung 0,35 mSv/a; Myonen und Elektronen
- Terrestrische Strahlung 0,6 mSv/a; Ra 226; Th 232; K 40; ...
- Inhalation 1,1 mSv/a; Rn 222; Rn 220
- Ingestion 0,5 mSv/a; C 14; K 40; ...
- insgesamt $\approx 2,5$ mSv/a
- Grenze für strahlenexponiertes Personal; 20 mSv/a
- Letale Dosis: 4500 mSv

Umweltradioaktivität

Natürliche Strahlenbelastung

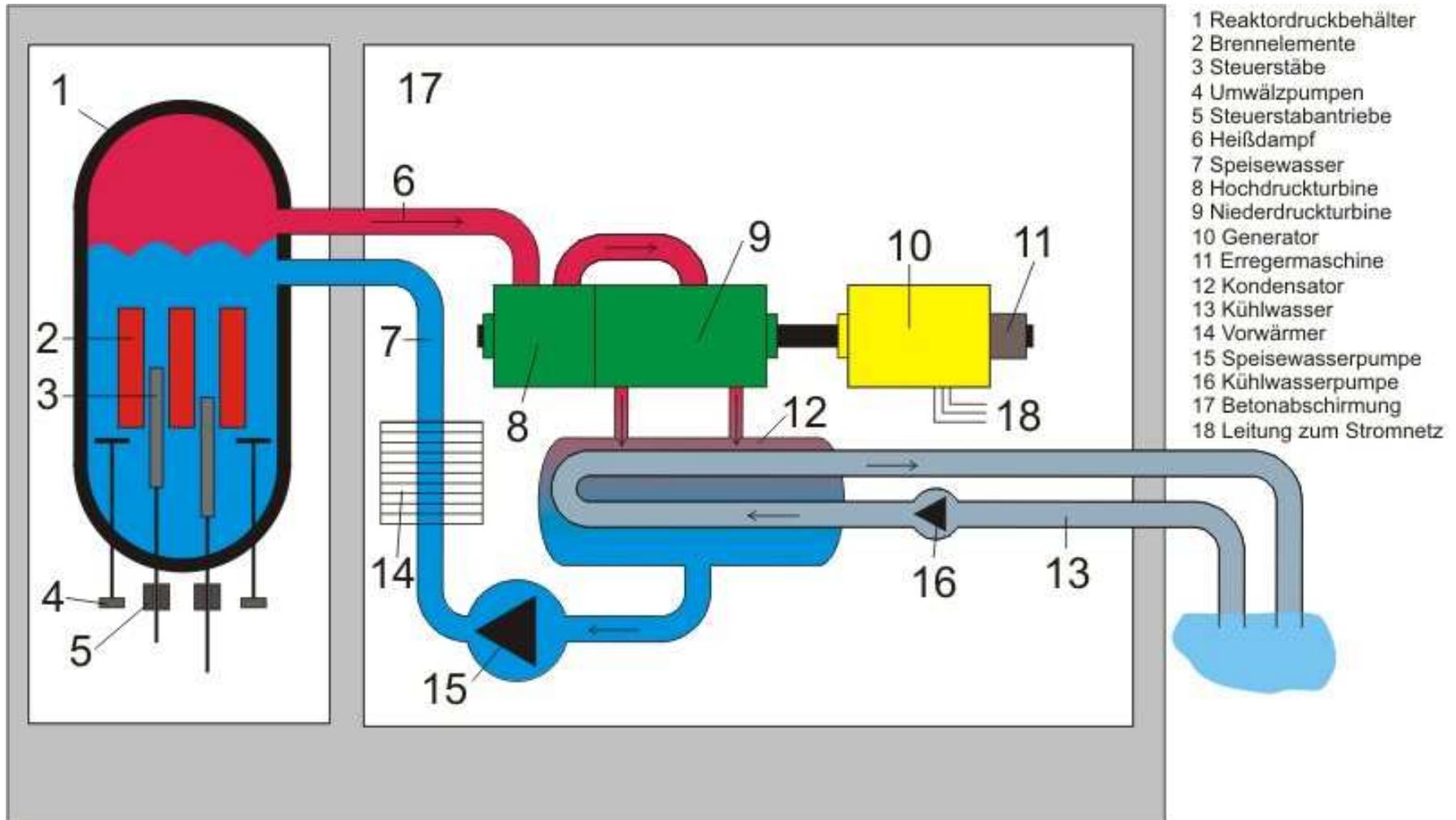


Kernspaltung

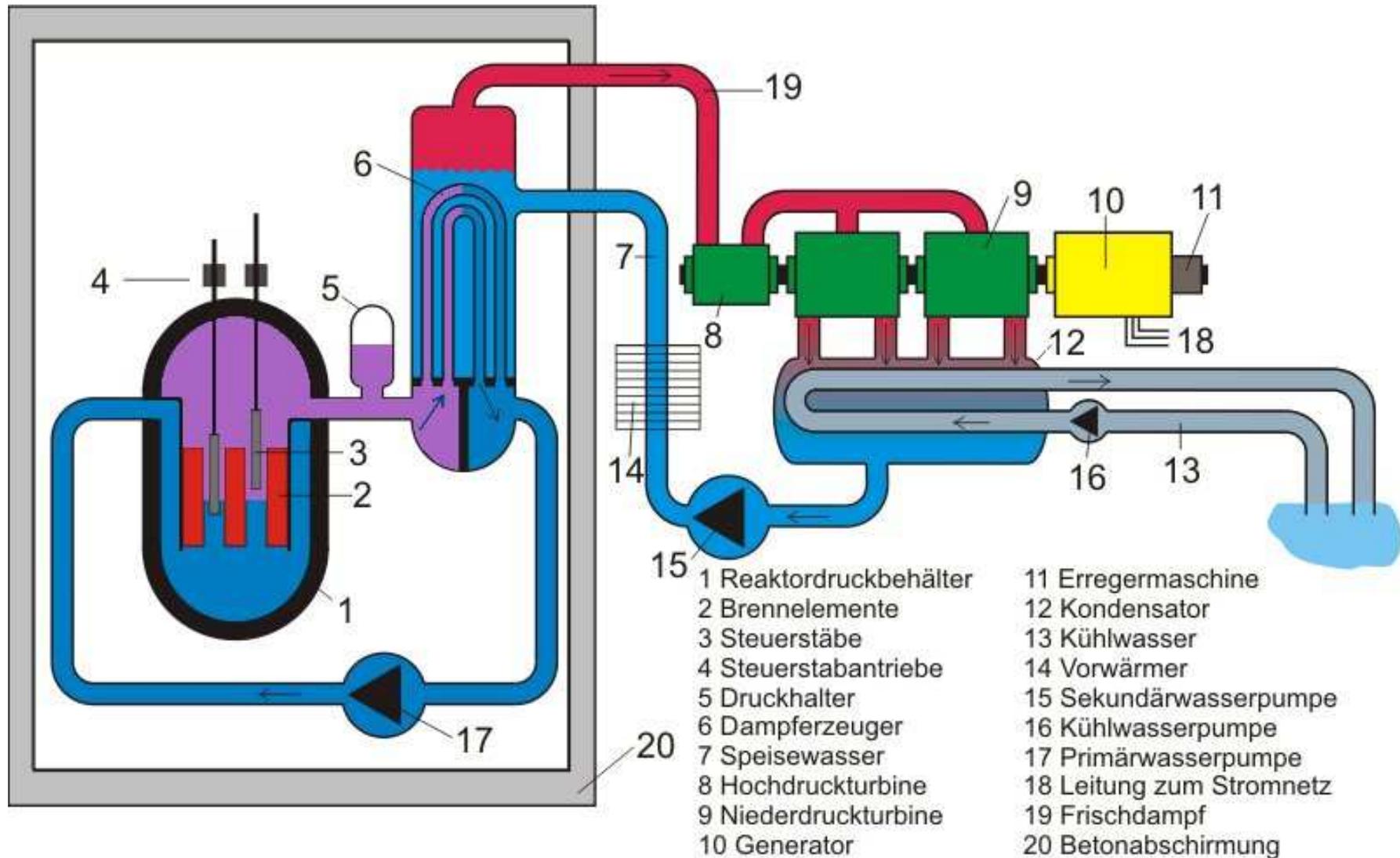
- 1938/39 von Hahn und Straßmann entdeckt
- Nobelpreis für Chemie
- Physikalische Erklärung von Lise Meitner und Otto Frisch
- ursprünglicher Plan: Erzeugung von Transuranen
- Spaltung von Uran mit langsamen Neutronen



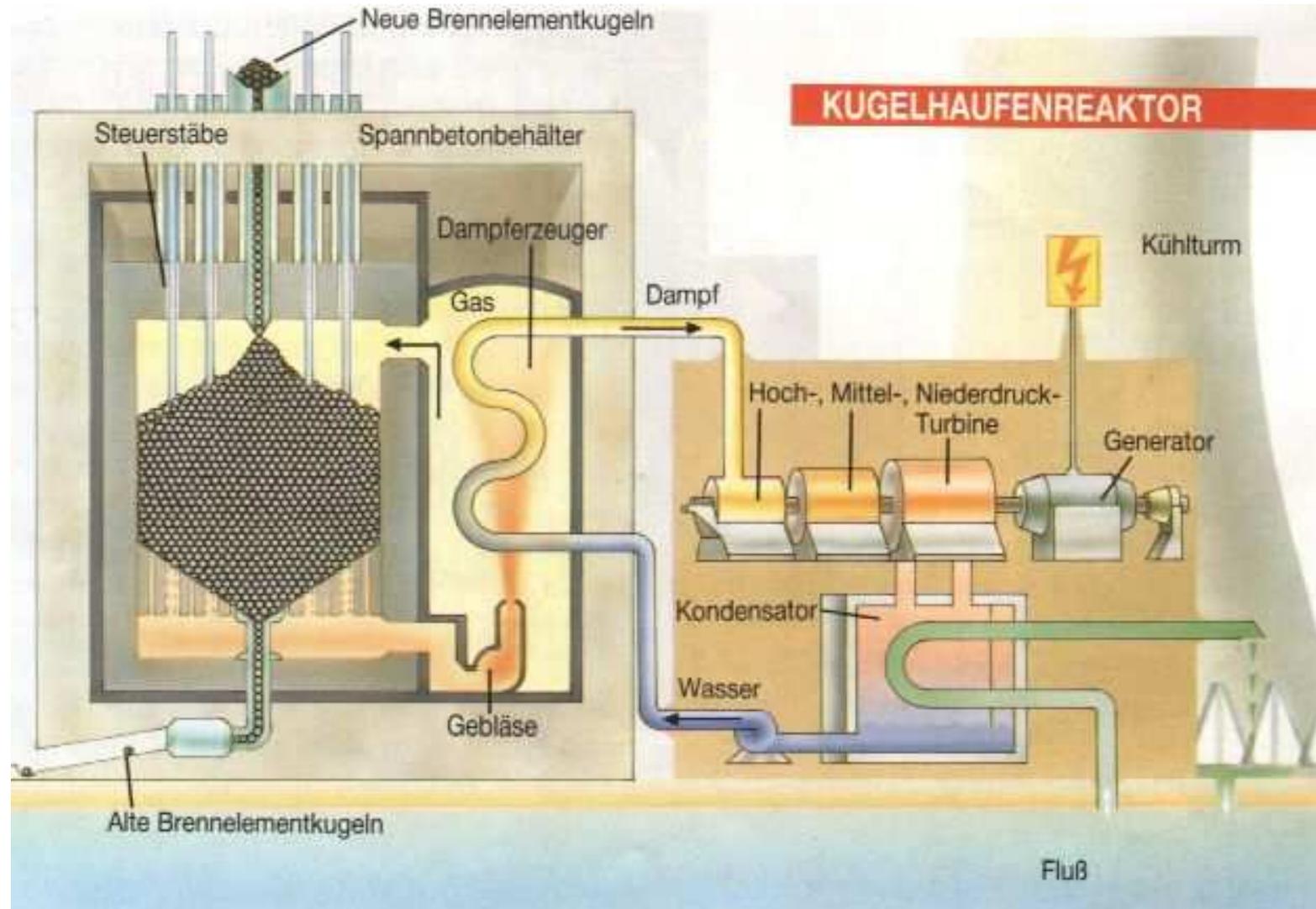
Siedewassereaktor



Druckwasserreaktor



Kugelhaufenreaktor



Kernspaltung

Wirkungsgrad der Kernspaltung

$$E = m \cdot c^2$$

Masse des Urankernes ≈ 235 GeV

Bindungsenergie von Uran: etwa 7,5 MeV pro Nukleon

Bindungsenergie der Spaltprodukte: etwa 8,5 MeV pro Nukleon

Energiegewinn etwa 1 MeV pro Nukleon

Also 235 MeV pro Spaltung

Nur ein Promille der Masse wird in Energie umgewandelt!

komplette Spaltung von einem kg Uran bringt $9 \cdot 10^{13}$ J

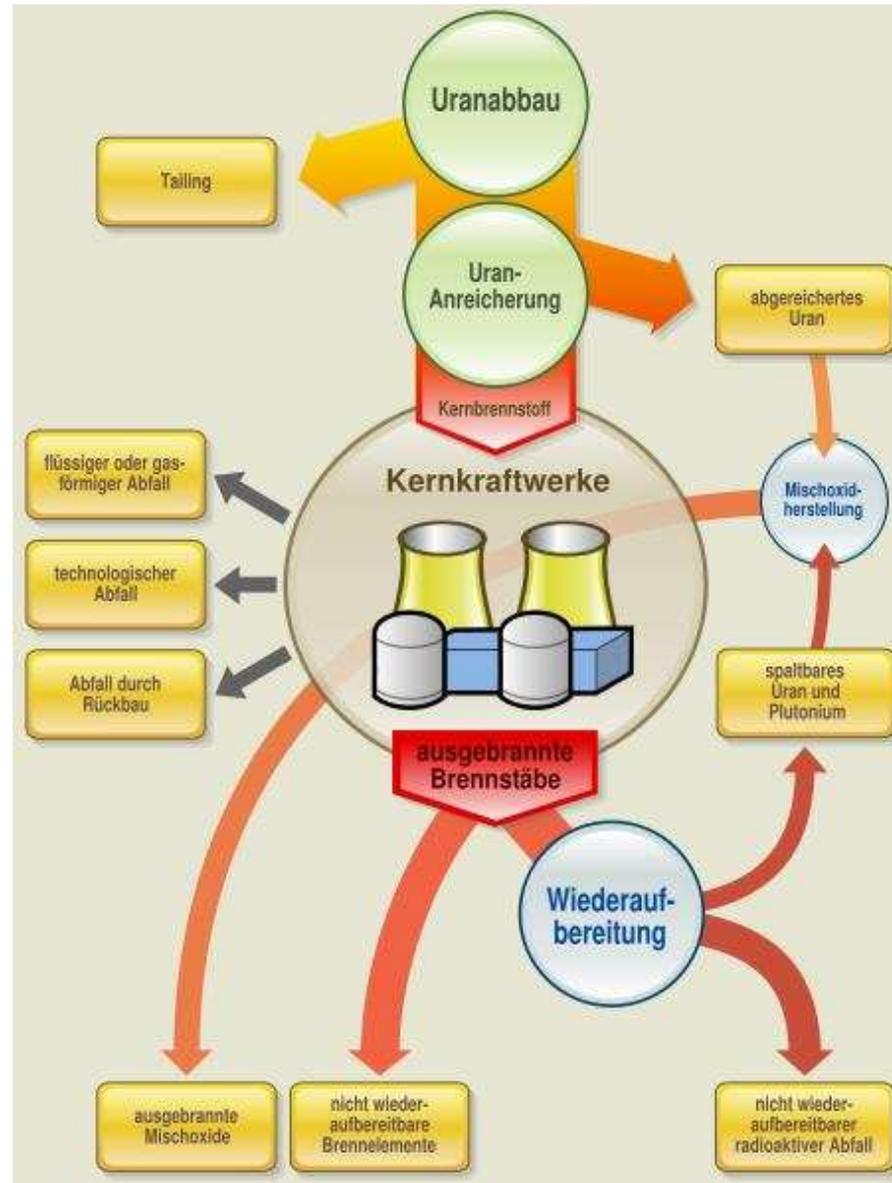
entsprechend 25 Millionen kWh

tatsächlich wird nur etwa 1 % gespalten: 250 Tausend kWh

Entsorgung



Entsorgung



Entsorgung



Entsorgung



Umwandlung radioaktiver Stoffe



Transmutation I

- Transmutation ist die Umwandlung chemischer Elemente in andere chemische Elemente beispielsweise durch Kernreaktionen. Mögliche Anwendungen sind die Behandlung radioaktiven Abfalls
- im Mittelalter wurde der Begriff von Alchemisten verwendet
- Transmutation durch Neutronen
- Transmutation durch Beschuss geladener Teilchen
- es werden langlebige in kurzlebige Isotope umgewandelt
- $p + {}^{90}\text{Sr} \rightarrow n + {}^{90}\text{Y}$
- $p + {}^{137}\text{Cs} \rightarrow n + {}^{137}\text{Ba}$

Transmutation II

- gefährlich sind die langlebigen Transurane
- sie machen ein Prozent des radioaktiven Abfalls aus
- z.B. $T_{1/2}(^{237}\text{Np}) = 2,1 \cdot 10^6 \text{ a}$
- Schnelle Neutronen werden durch Spallation gewonnen
- Ein einzelnes Proton kann 30 bis 50 Neutronen pro Kollision freisetzen
- Transmutation am CERN an geringen Mengen Plutonium erfolgreich demonstriert
- Energiegewinnung im Transmutationsprozess

Transmutation III

- man benötigt einen kostspieligen Protonenbeschleuniger
- die Transurane müssen in hoher Reinheit vorliegen (99,99 %)
- die Herstellung hochreiner Transurane ist technologisch noch nicht vollständig beherrscht
- als Kühlmittel des Transmutationsreaktors wird ein kompliziert zu handhabendes flüssiges Blei-Wismut-Gemisch favorisiert
- der Wirkungsgrad der Transmutation ist nur etwa 20 bis 25 %, deshalb benötigt man einen Kreislaufbetrieb mit weiteren Stufen der Materialtrennung.

Kernfusion

Fusion in der Sonne



Fusion im Fusionskraftwerk

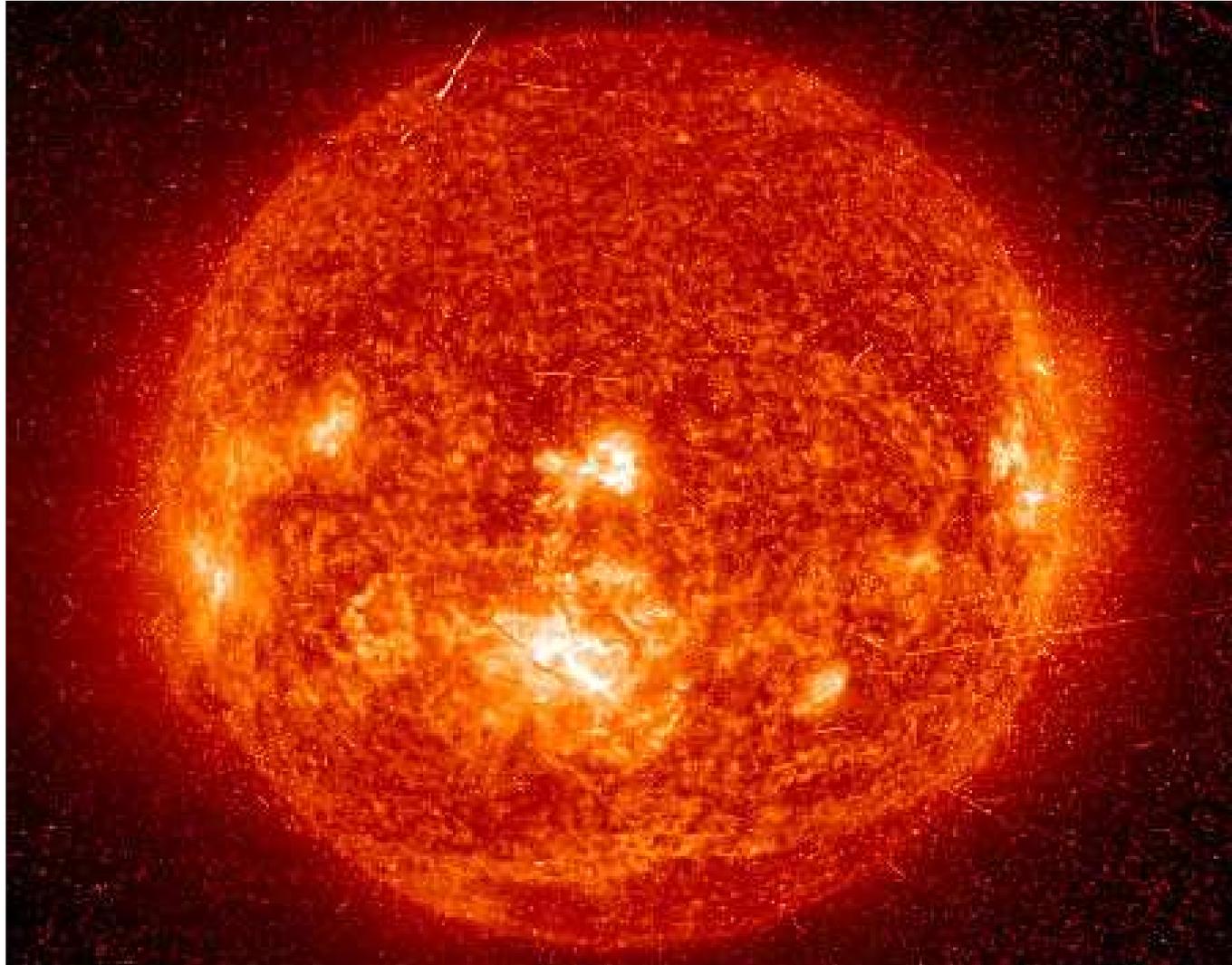


Erzeugung von Deuterium und Tritium

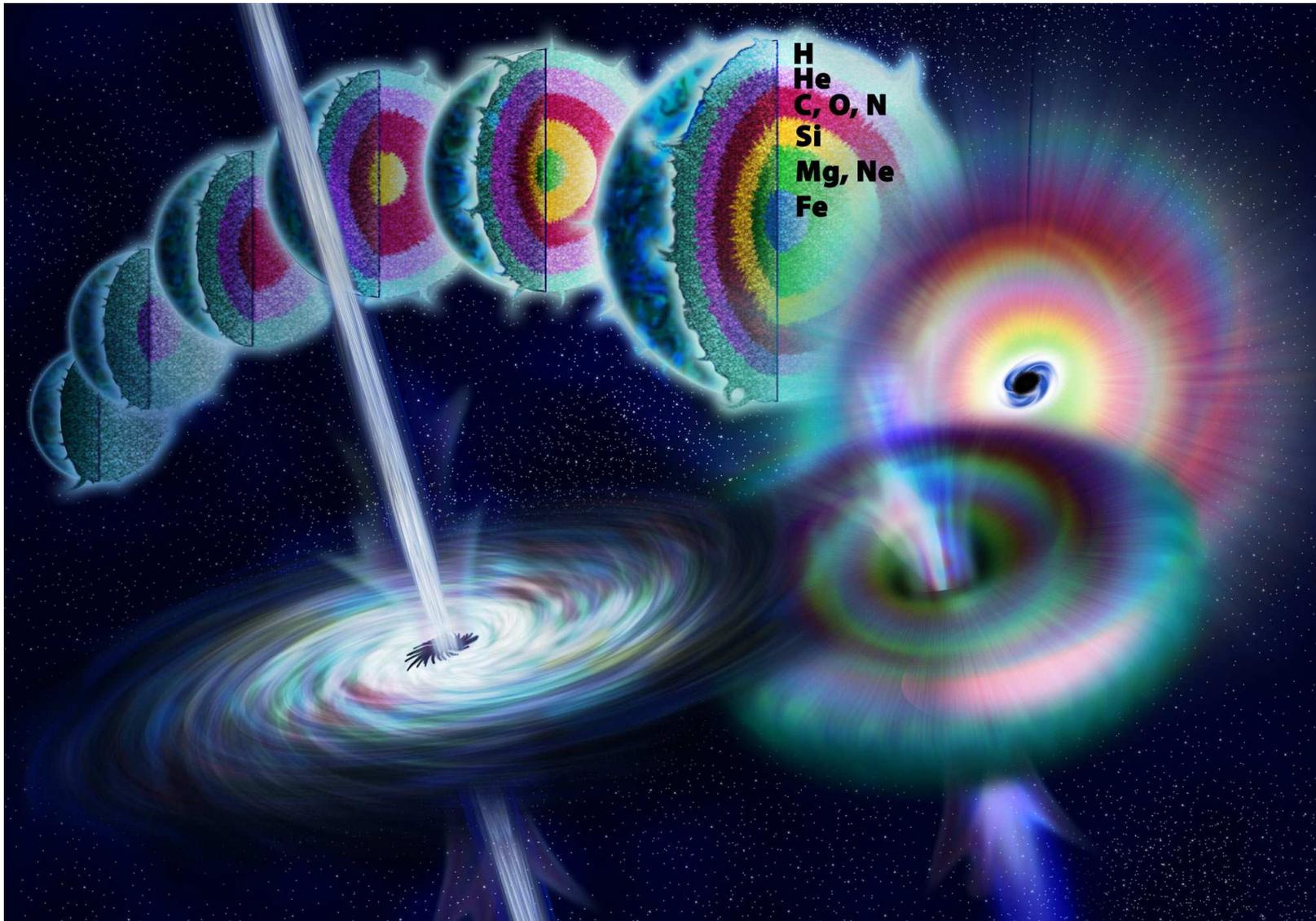
Deuterium ist im Meerwasser enthalten



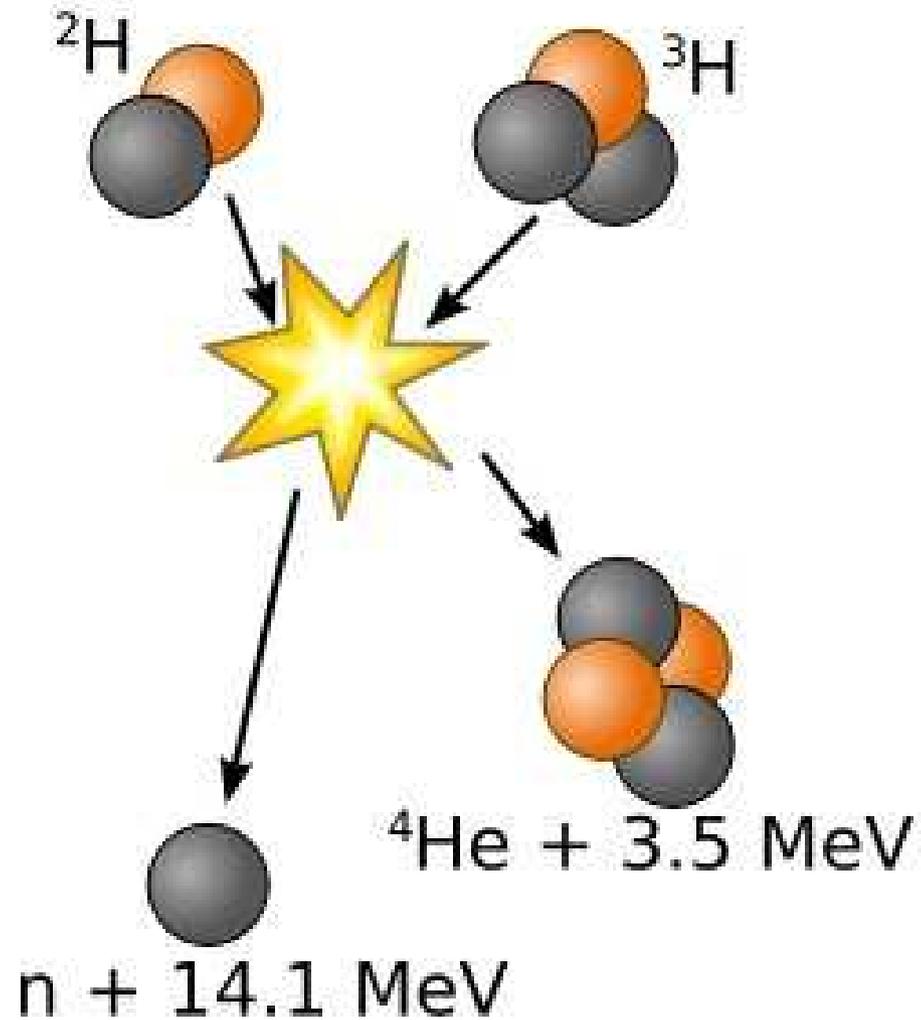
Unser Fusionsreaktor



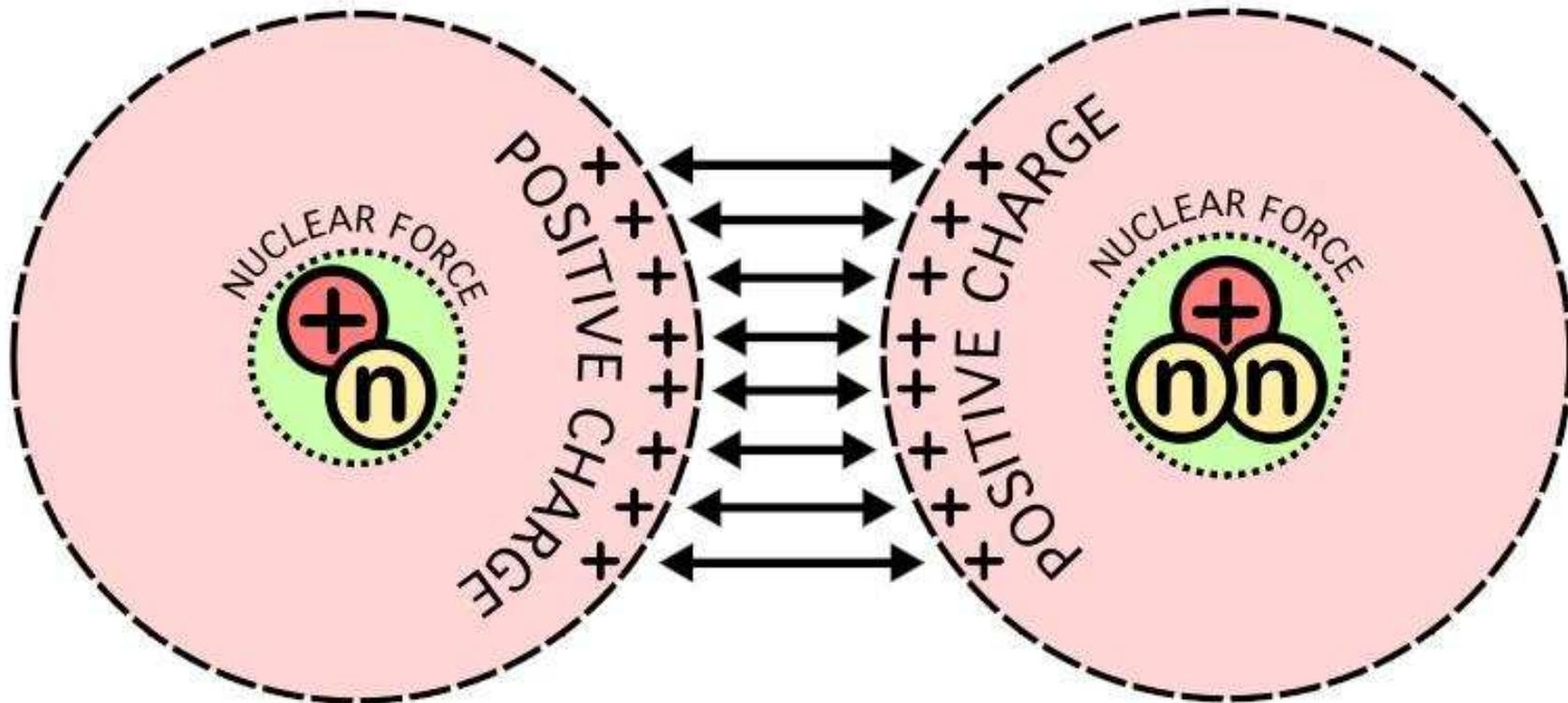
Stellare Fusionsreaktoren



Fusionsreaktion



Coulombabstossung



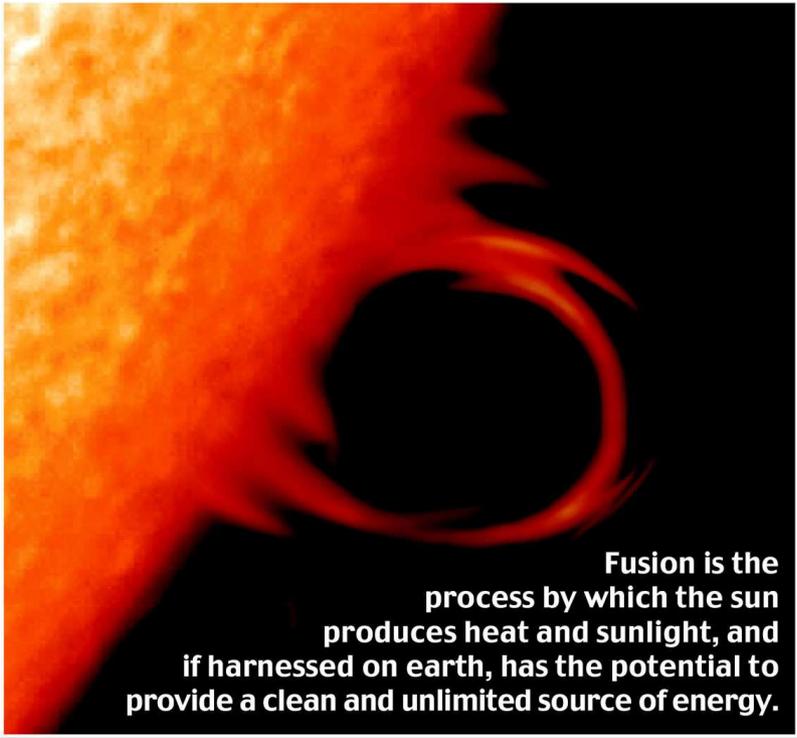
Wasserstoffbombe



Fusionsreklame

EFDA EUROPEAN FUSION DEVELOPMENT AGREEMENT JET

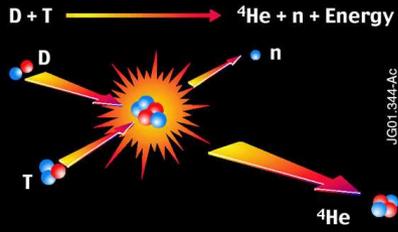
Fusion ...



Fusion is the process by which the sun produces heat and sunlight, and if harnessed on earth, has the potential to provide a clean and unlimited source of energy.

Fusion occurs when the nuclei of small atoms such as Hydrogen, Deuterium, or Tritium, join together to produce Helium, neutrons and energy.

$D + T \rightarrow {}^4\text{He} + n + \text{Energy}$



UKAEA Fusion
Working with the world

JG01.344-Ac

Fusionsreklame

EFDA EUROPEAN FUSION DEVELOPMENT AGREEMENT JET

...in the Universe ...

The majority of the Universe is composed of hot, charged gases called "plasmas". The sun, stars and solar wind are plasmas which naturally form before fusion can occur.

The symmetry of extra-galactic jets makes it possible to describe them using equations similar to those studied by fusion scientists.

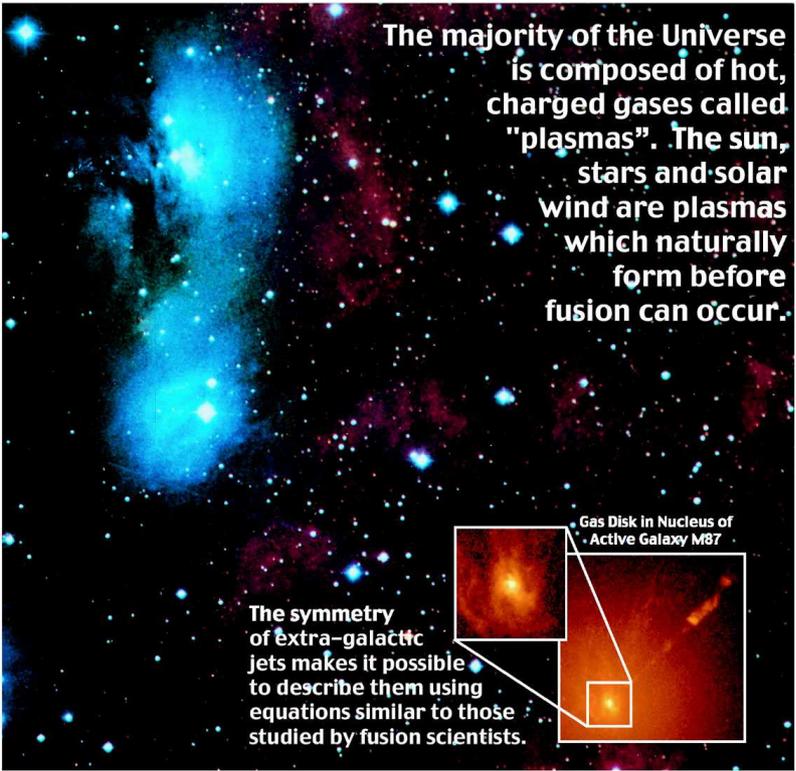
Gas Disk in Nucleus of Active Galaxy M87

Without magnetic field

Charges in a magnetic field

Charged particles (including those in plasmas), will follow magnetic field lines, which permeate throughout space.

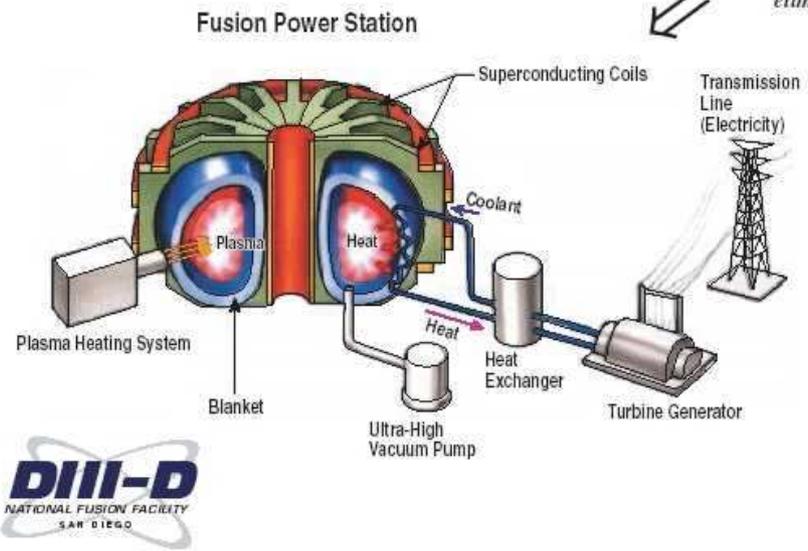
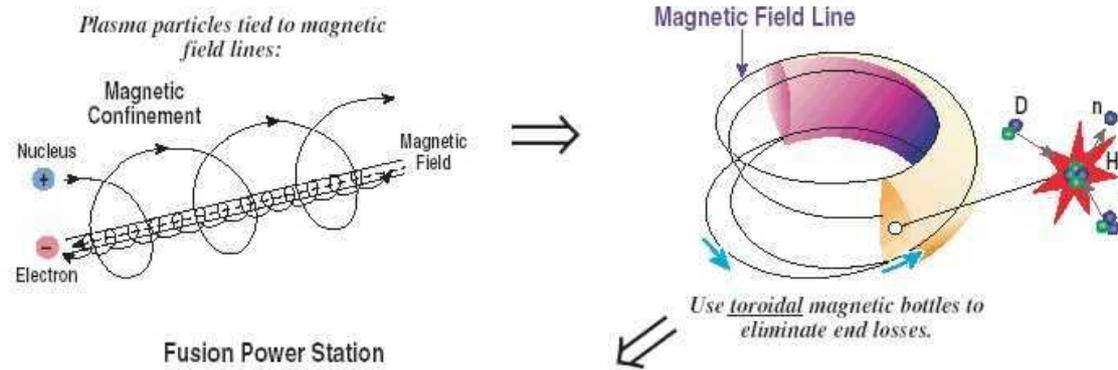
UKAEA Fusion



Fusionsprinzip

MAGNETIC FUSION ENERGY OVERVIEW

- Magnetic field confinement of hot plasma fuel for sustained nuclear burn

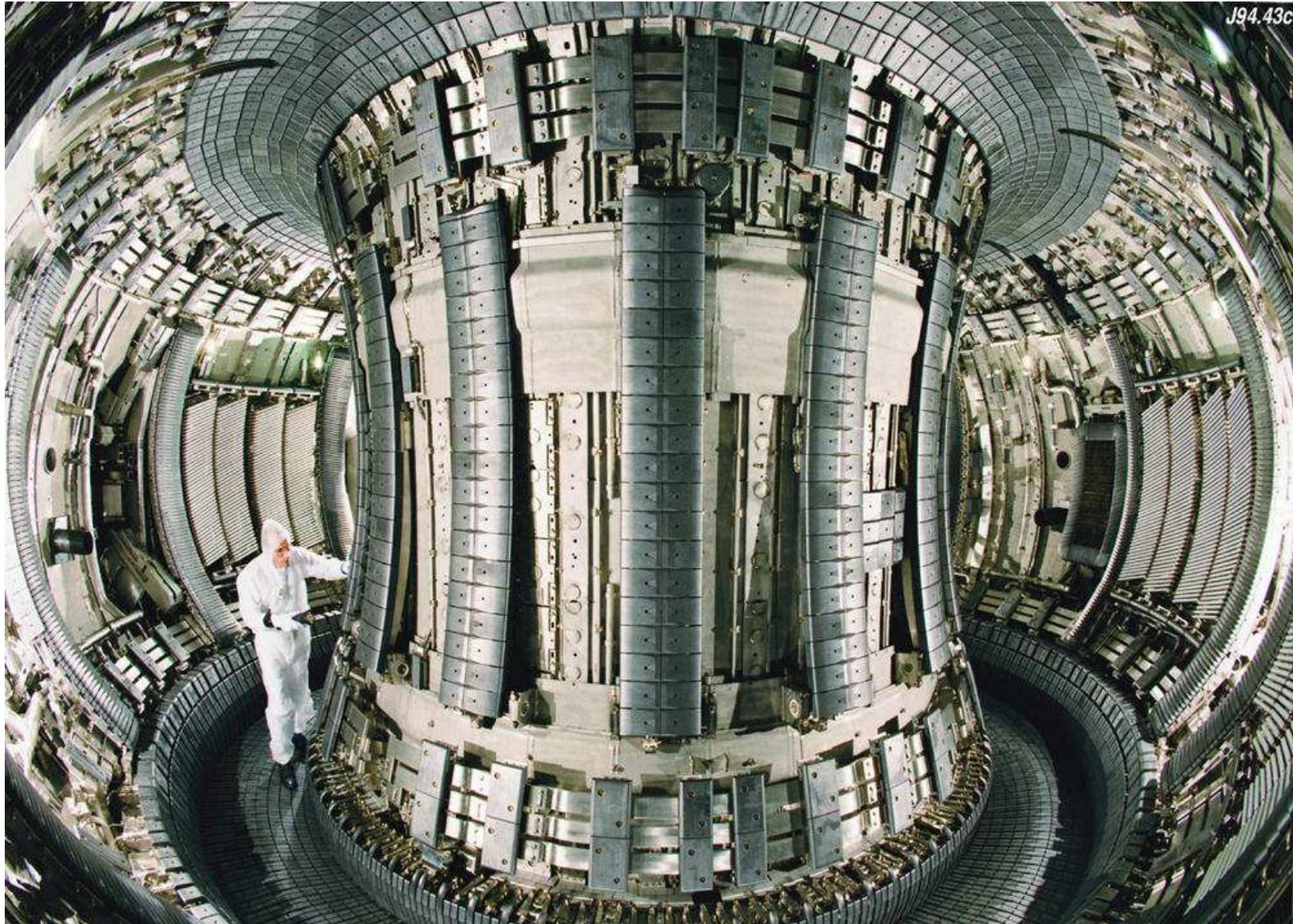


Issues

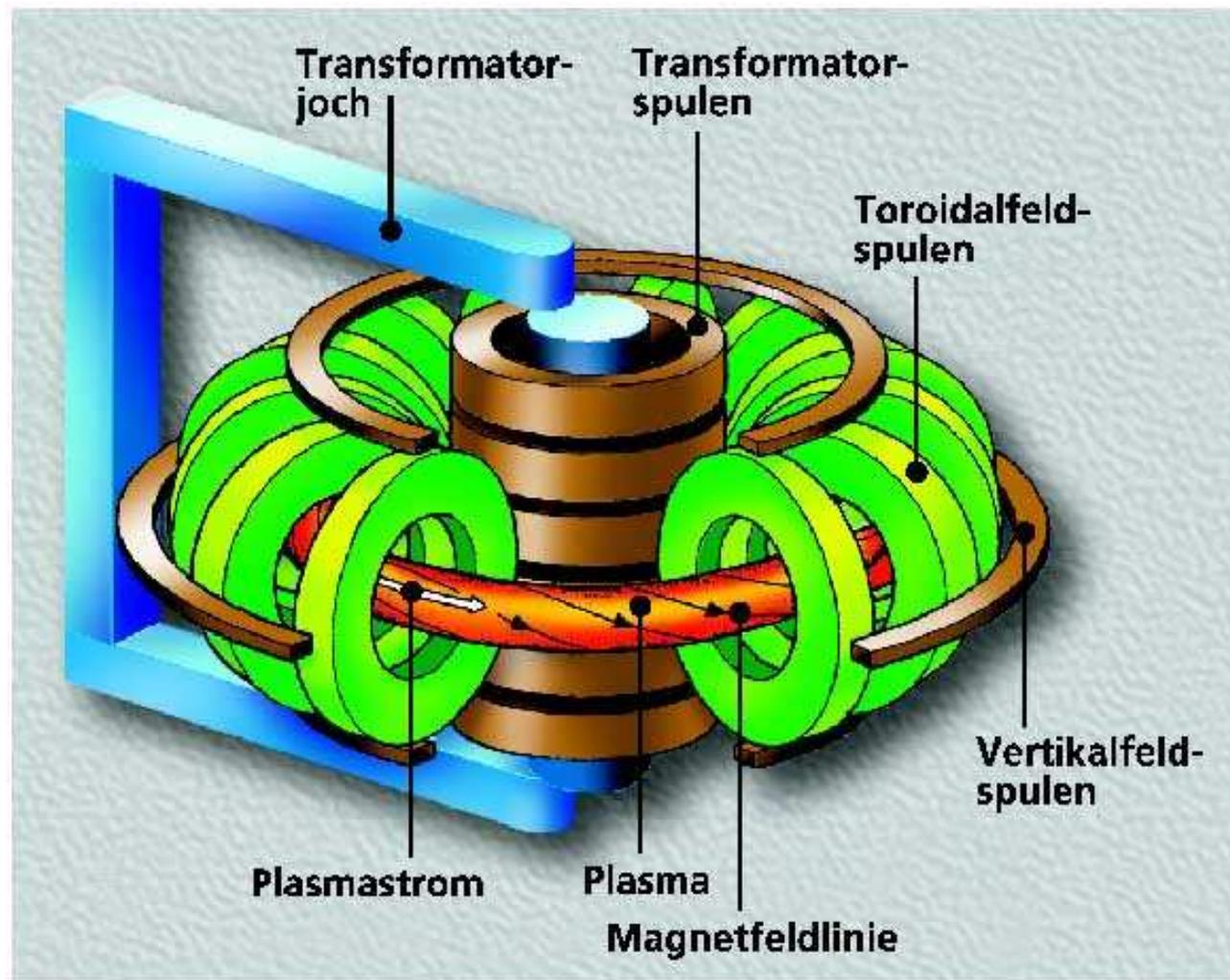
- Stability
- Heat transport
- External & alpha heating
- Plasma-wall interactions
- Tritium and power generation
- Structural activation
- Reliability



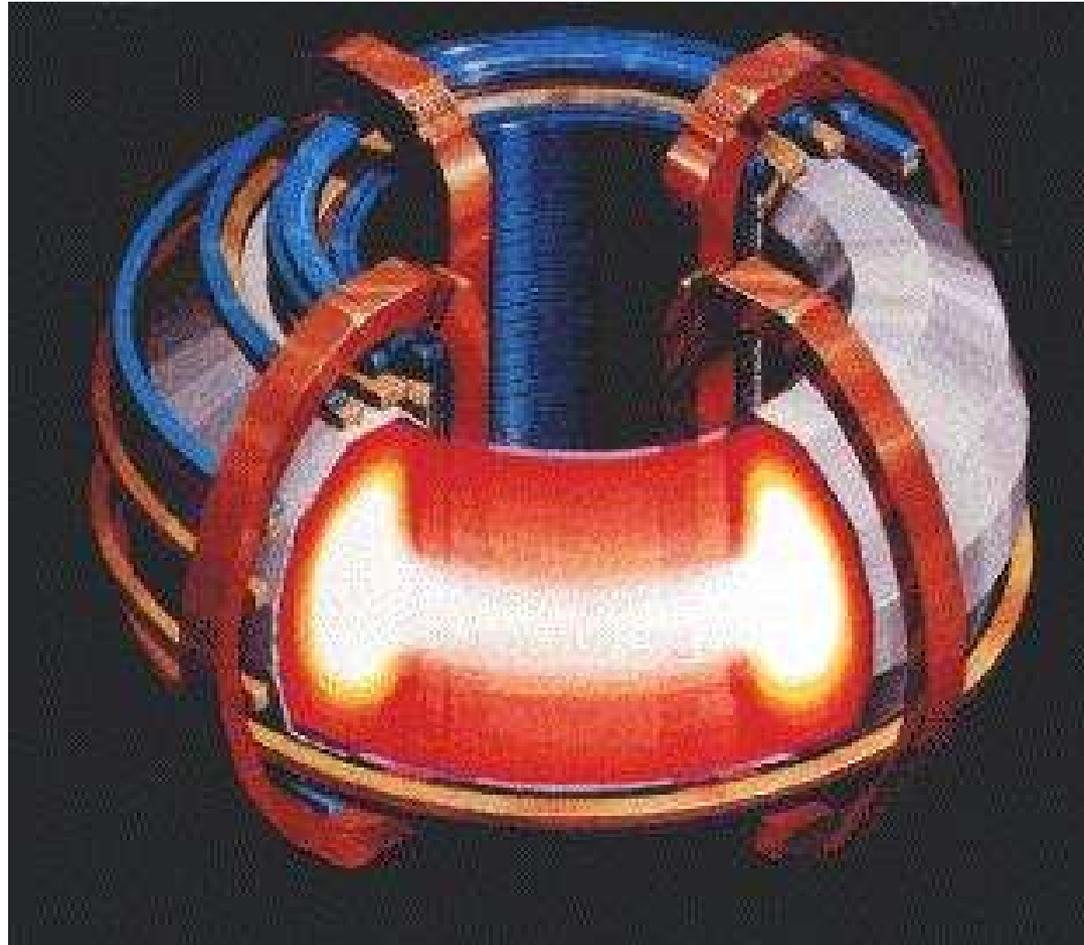
Joint European Torus



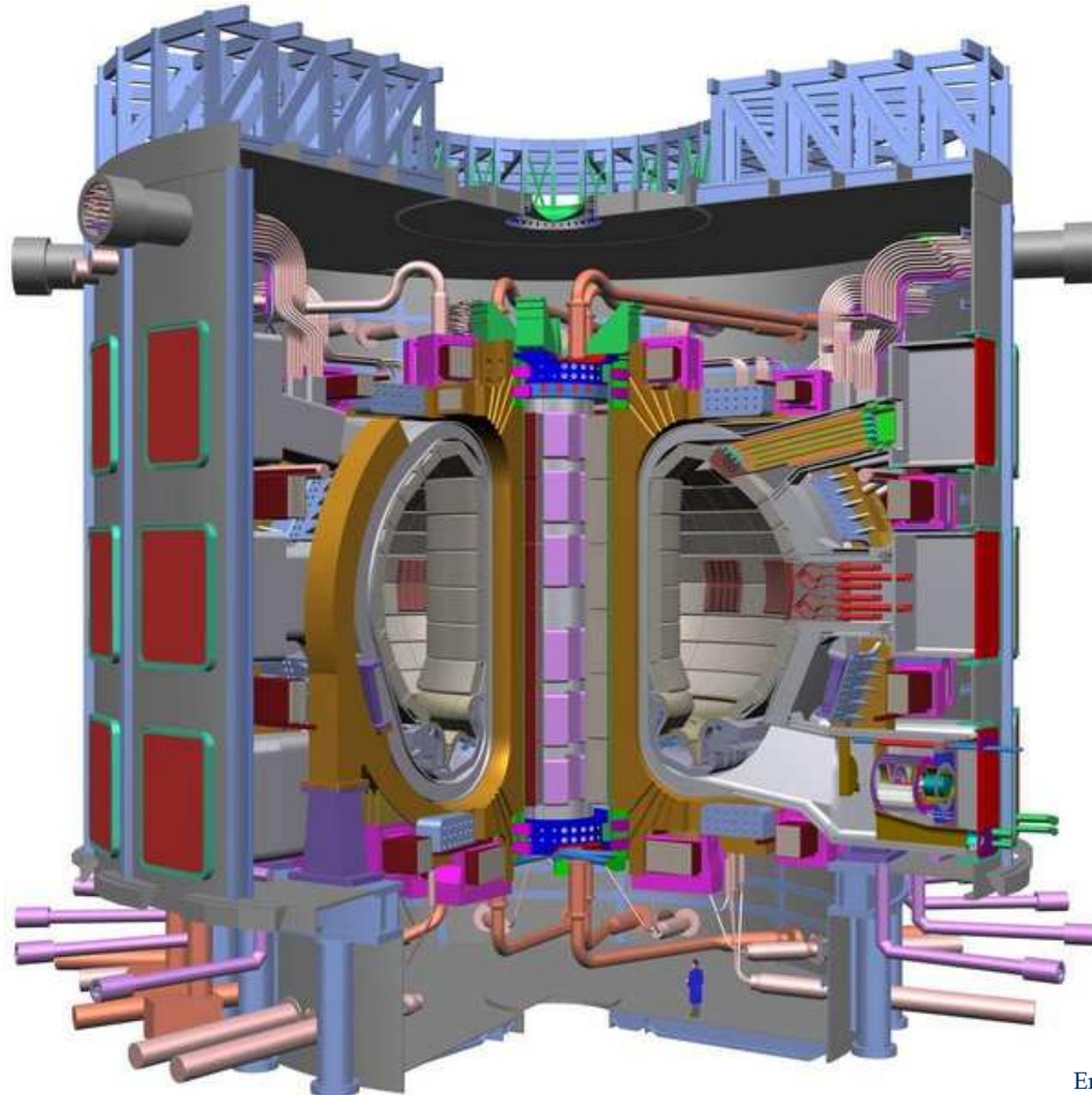
Tokamak



Tokamak



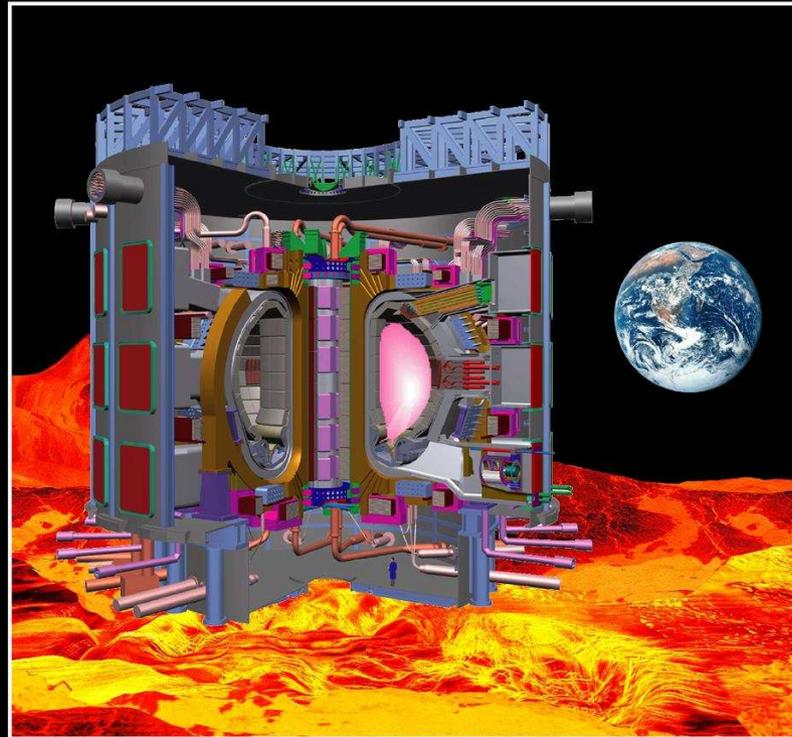
ITER



ITER

EFDA EUROPEAN FUSION DEVELOPMENT AGREEMENT JET

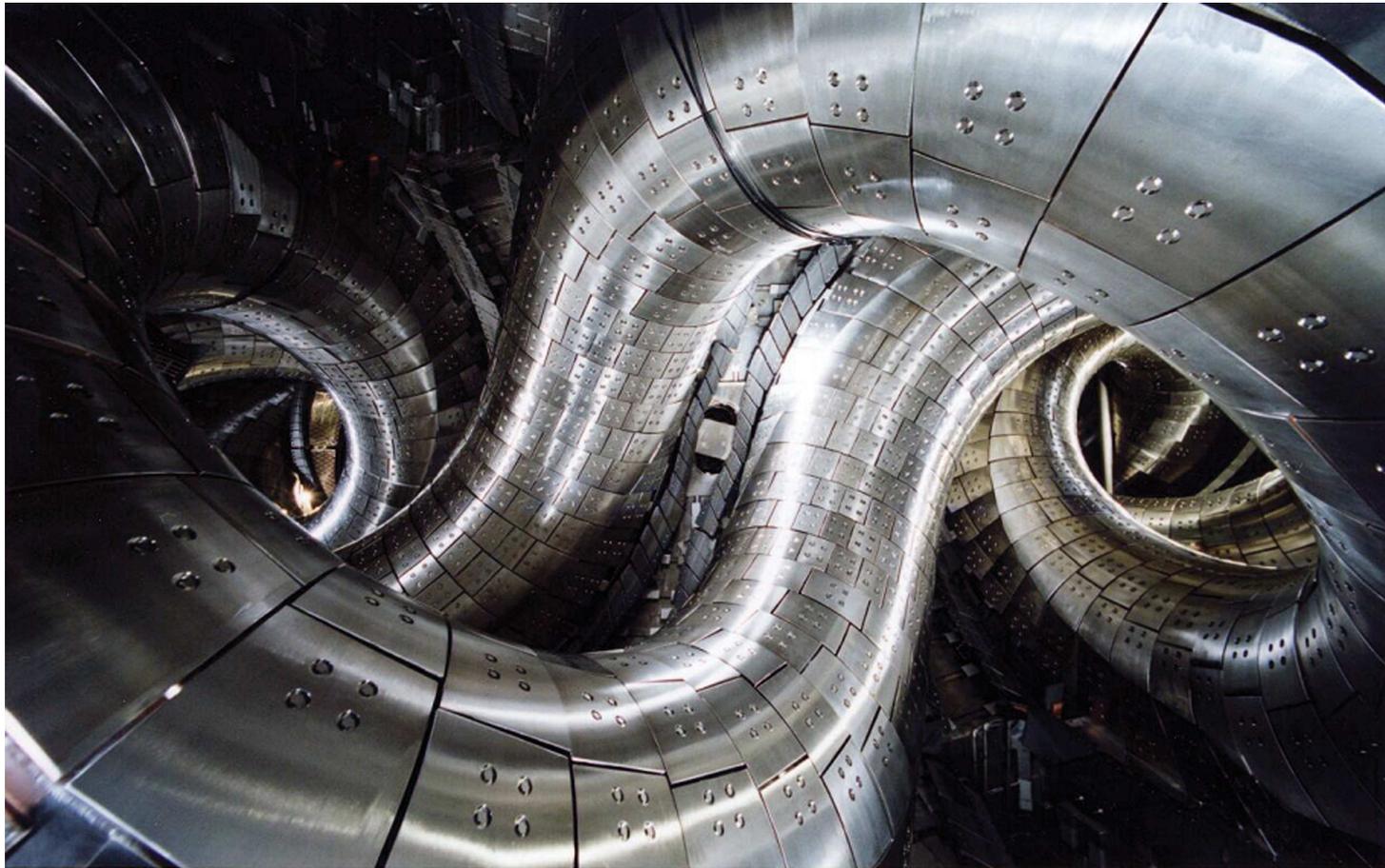
ITER—the way ahead



Within the next 5 years the world will embark on the most exciting fusion experiment so far. This is ITER, an international research facility, designed to study the physics of burning plasmas and the engineering principles required by a fusion power station.

UKAEA Fusion
Working with Europe

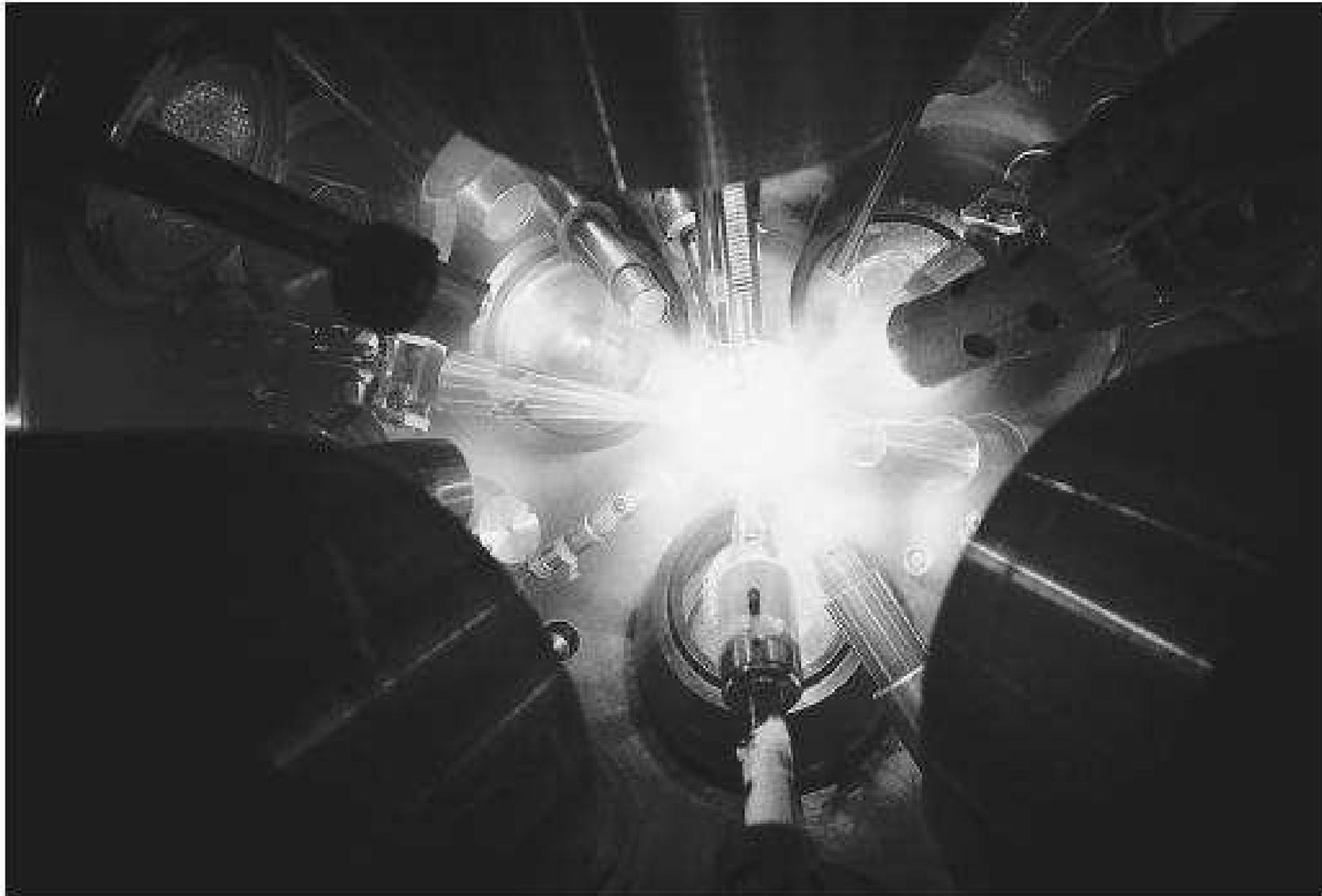
Stellarator



Laserfusion



Laserfusion



Laserfusion

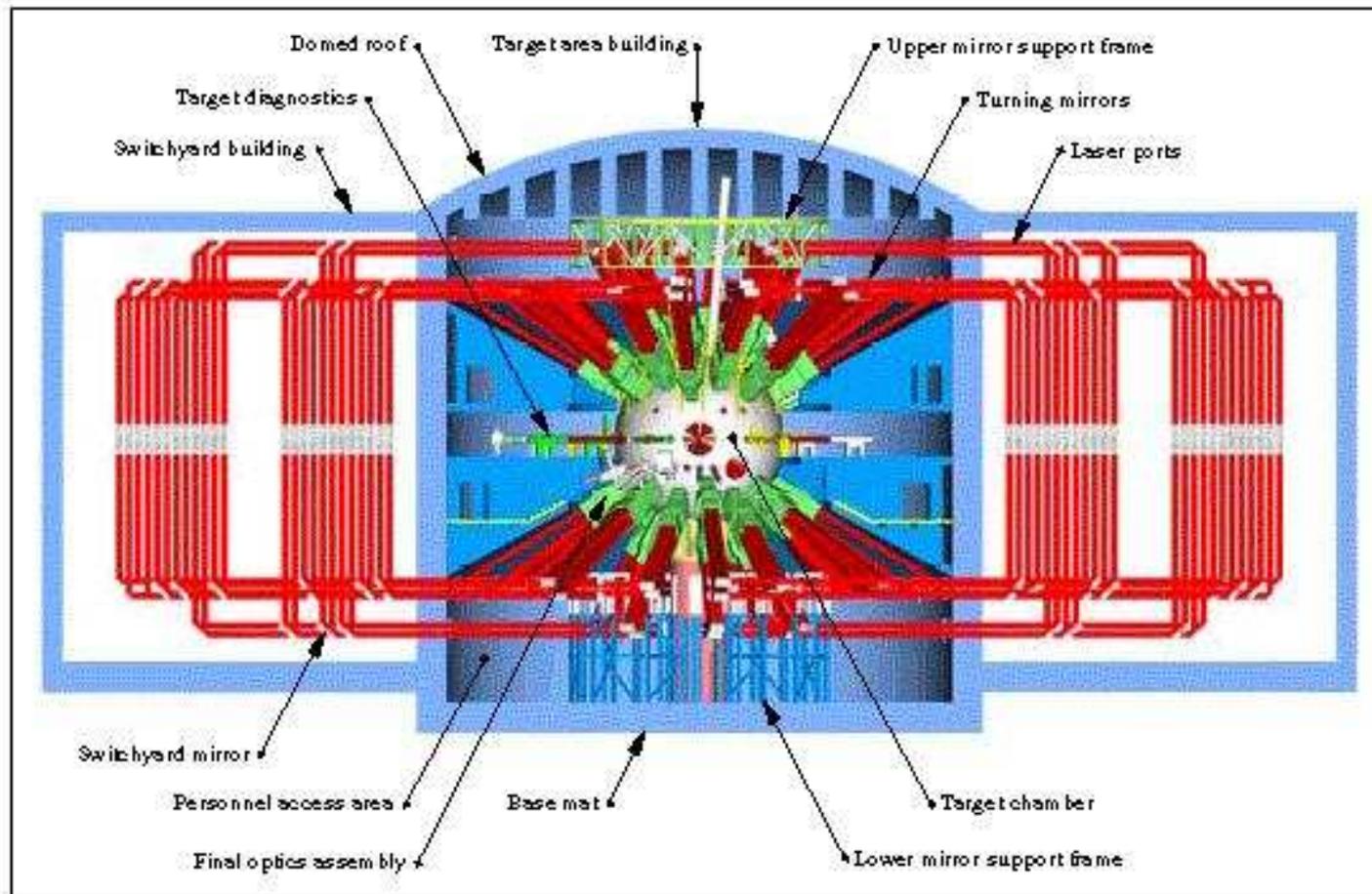


Laserfusion

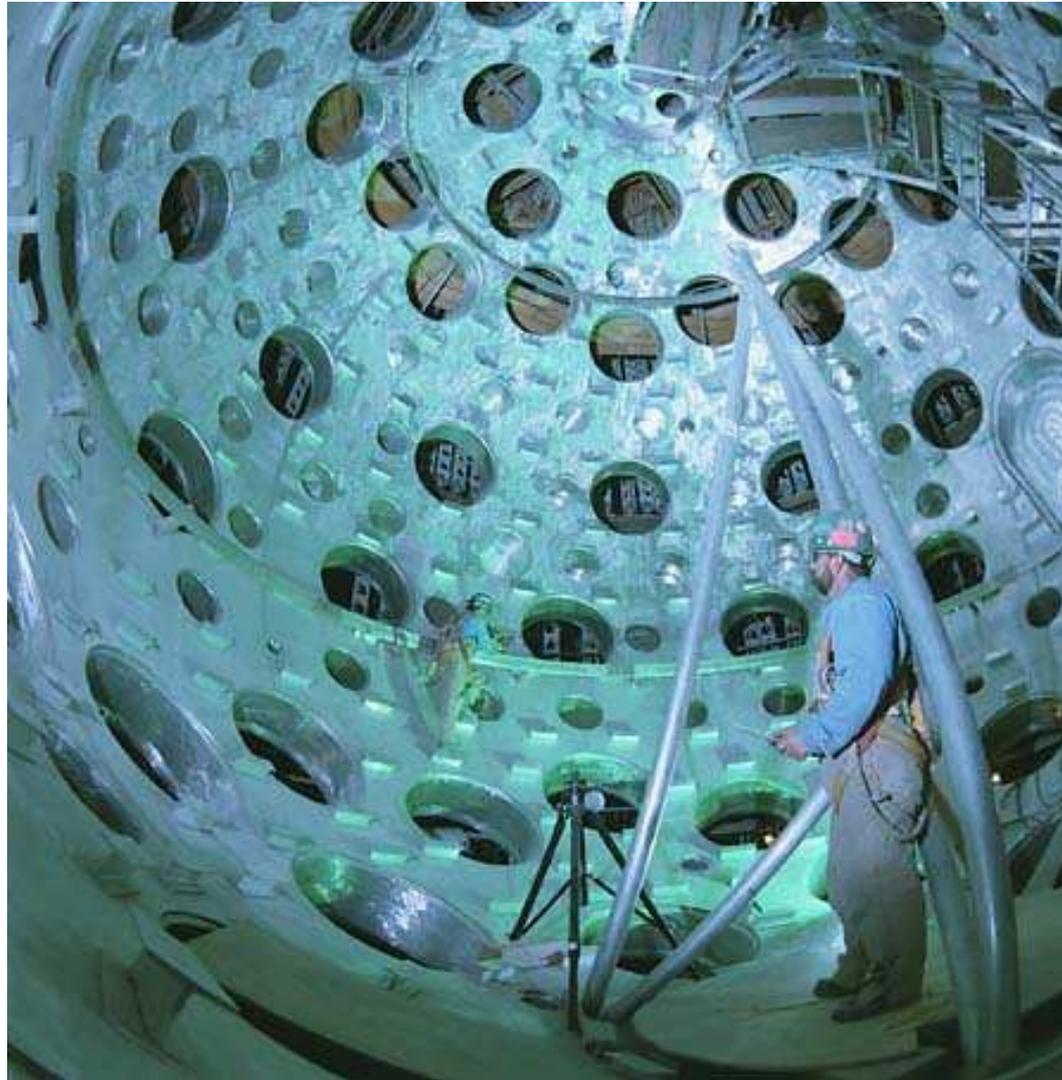
Nova Laser Bay



National Ignition Facility



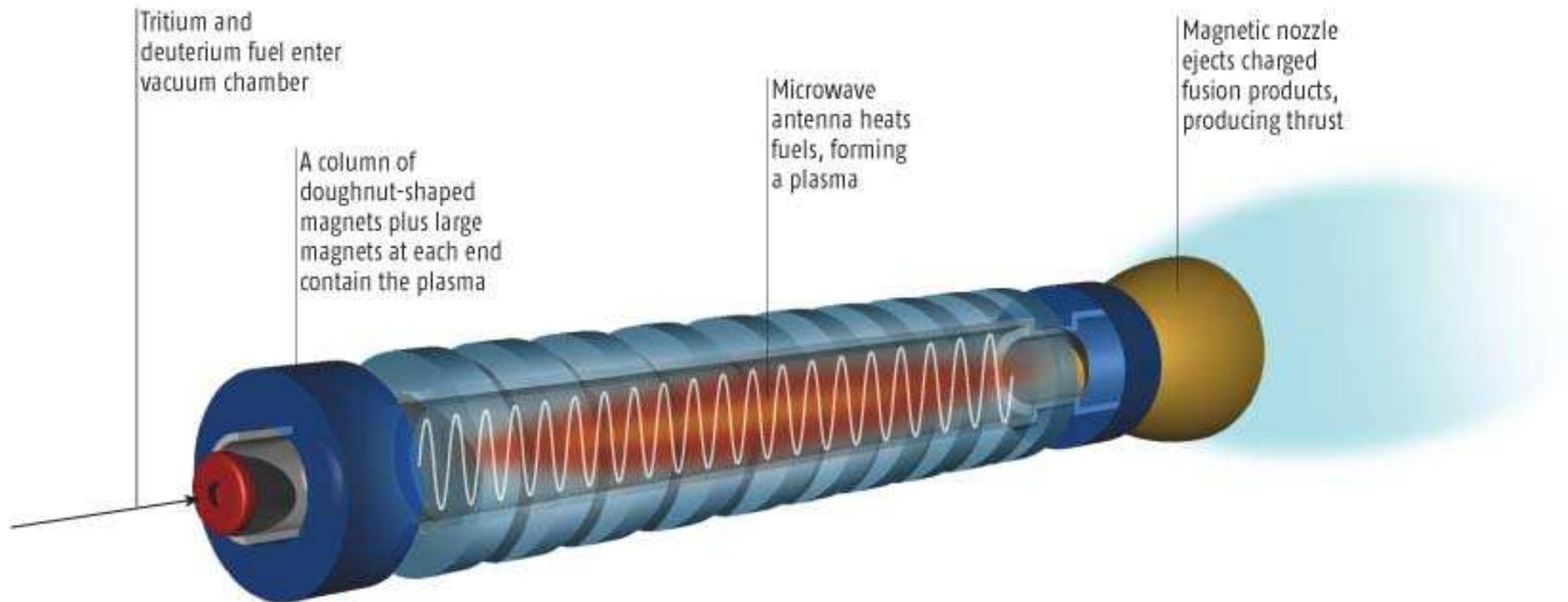
Das Innere von NIF



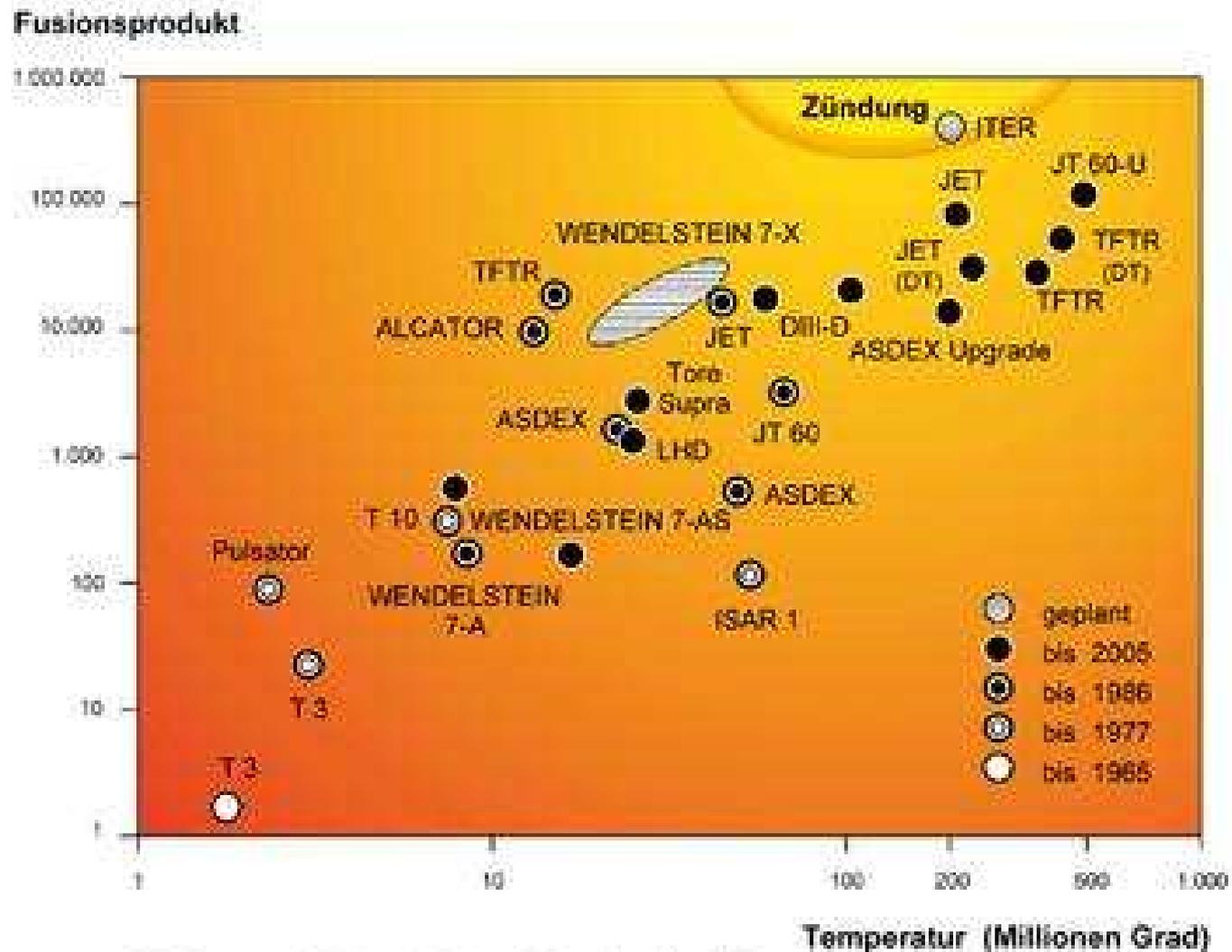
Fusion mit Mikrowellen

FUSION JET

Microwaves heat plasma to around 600 million kelvin, fusing nuclei to form helium and kicking out hot charged particles

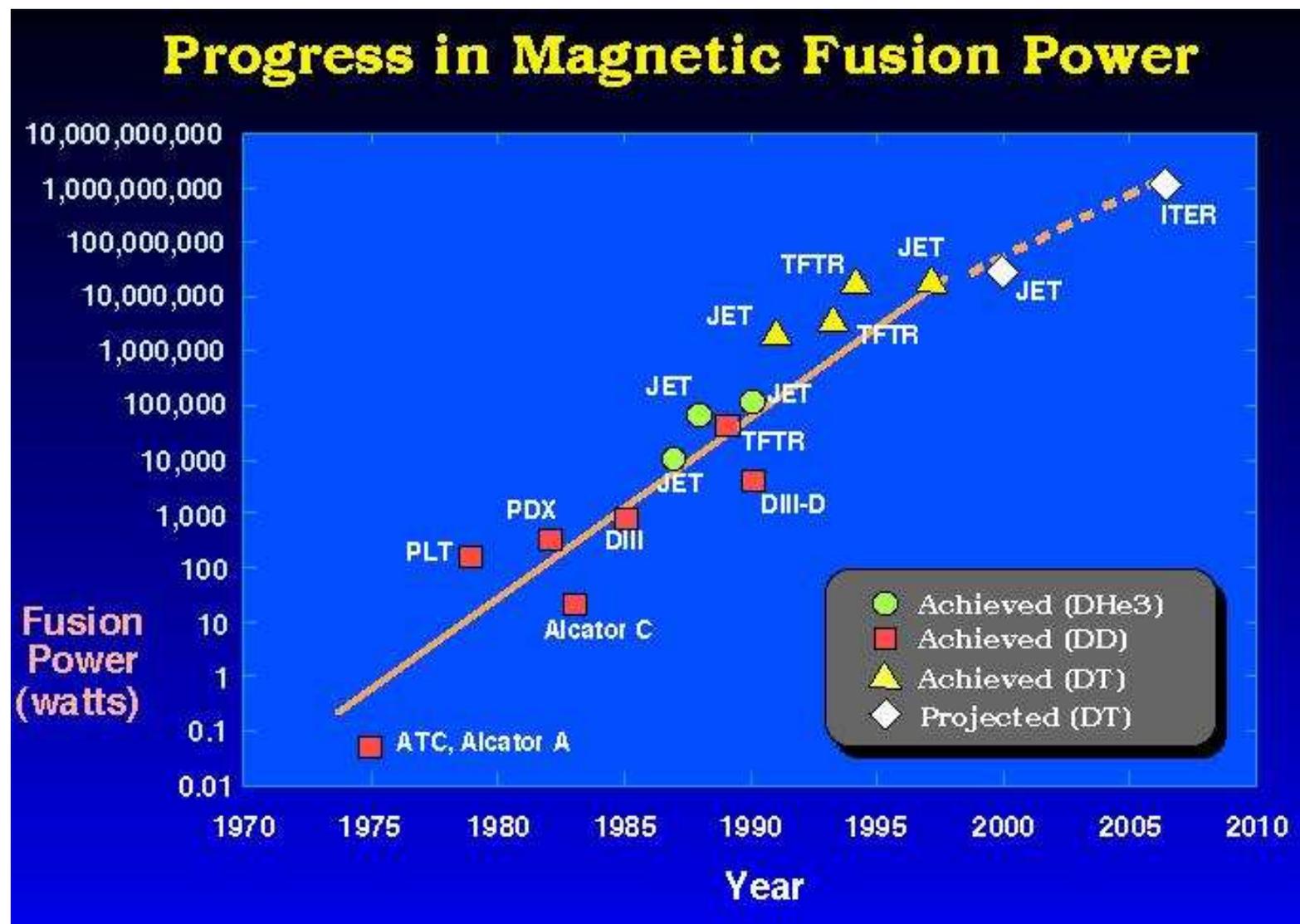


Zündbedingungen

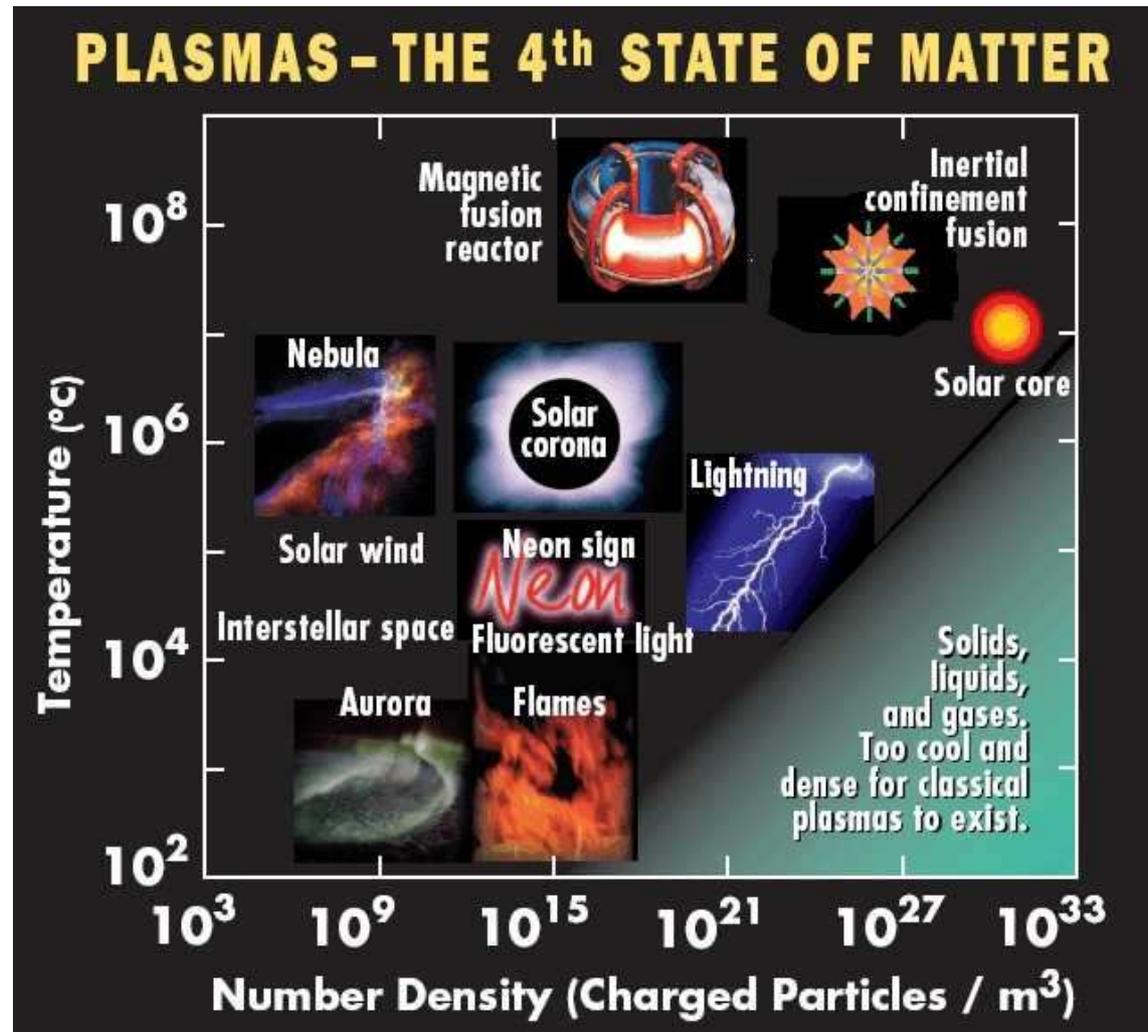


Fusionsprodukt = Dichte x Energieeinschlusszeit x Temperatur
 (10^{17} Teilchen pro Kubikzentimeter x Sekunde x Grad Celsius)

Energieerzeugung



Zündbedingungen



Kernfusion

Wirkungsgrad der Kernfusion in der Sonne

$$E = m \cdot c^2$$

Nehmen wir vier Wasserstoffatomkerne

Fusion zu einem Heliumkern

Bindungsenergie des Heliums: etwa 27 MeV

Energiegewinn 6,75 MeV pro Nukleon

Masse-Energieumwandlung: $6,75 \text{ MeV} / 938 \text{ MeV} = 0,72 \%$

Fusion von einem kg Wasserstoff bringt $6 \cdot 10^{14} \text{ J}$

entsprechend 170 Millionen kWh

Wirkungsgrad der Fusion etwa 10 %

→ 17 Millionen kWh

Kernfusion

Praktisches Beispiel der Kernfusion auf der Erde

10 Gramm Deuterium (kann aus 500 l Wasser gewonnen werden)

15 Gramm Tritium (kann aus 30 Gramm Lithium erzeugt werden)

(entsprechend je $3 \cdot 10^{24}$ Atomkernen)

pro Fusionsprozess werden 14,1 MeV an nutzbarer Energie erzeugt

$$\Delta E = 3 \cdot 10^{24} \cdot 14,1 \text{ MeV} = 6,77 \cdot 10^{12} \text{ J} = 1,88 \cdot 10^6 \text{ kWh}$$

Soviel braucht eine Person im Laufe ihres Lebens.

Der Wirkungsgrad gegenüber der Kernfusion in der Sonne ist allerdings nur 0,3 % statt 0,72 %.

Franck-Hertz Versuch

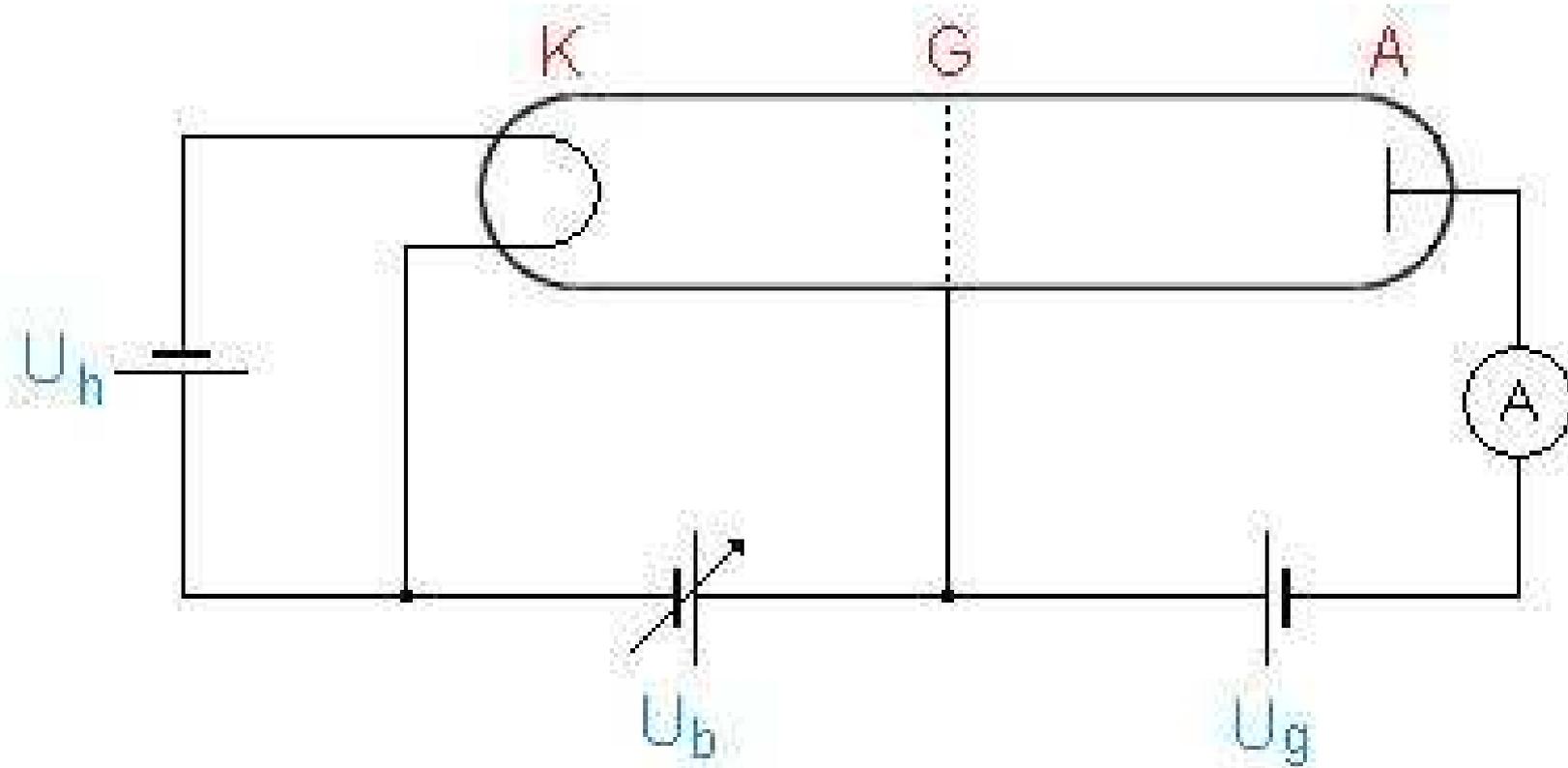
Anregung eines atomaren Gases

$$|E_a - E_e| = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

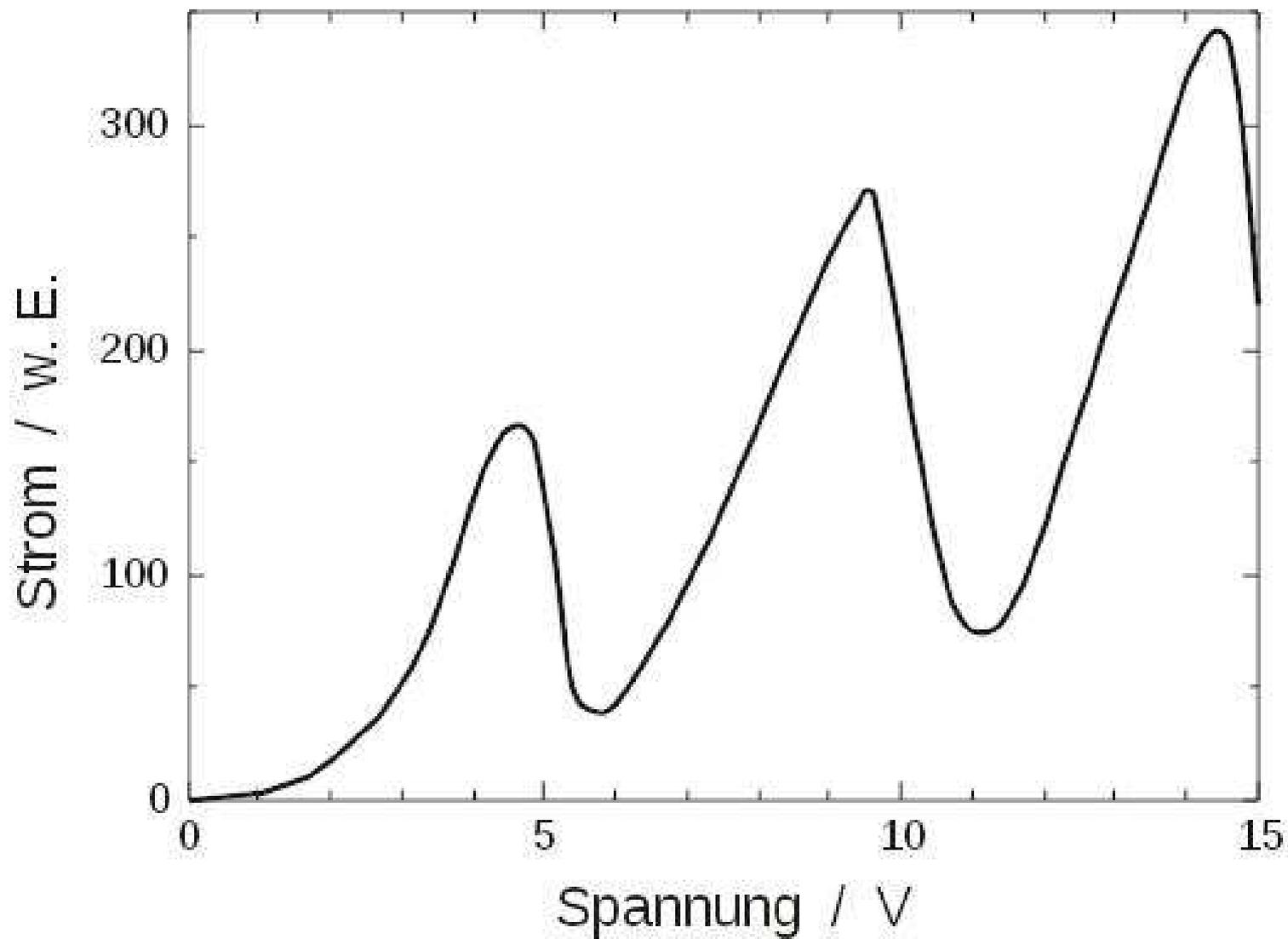
wobei

- * E_a der Energie des Anfangszustandes,
- * E_e der Energie des Endzustandes,
- * ν Frequenz des Lichtes ($\nu = \frac{c}{\lambda}$)
- * h Plancksches Wirkungsquantum ($6,626 \cdot 10^{-34} \text{Js}$)

Versuchsaufbau



Anregungskurve



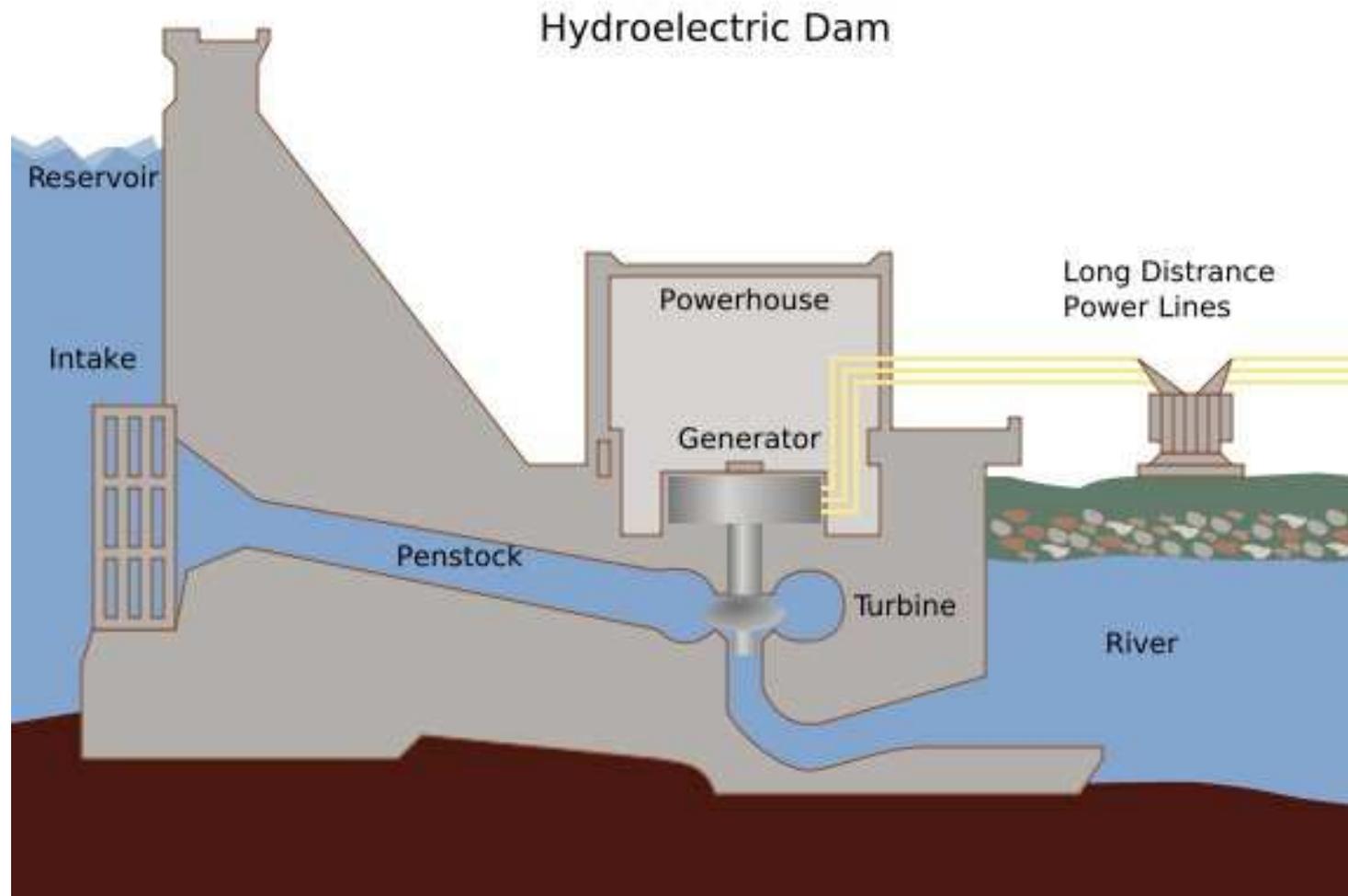
Lord Kelvin Zitat:

The inhabitants of the Earth cannot continue to enjoy the light and heat essential to their life for many million years longer, unless sources now unknown to us are prepared in the great storehouse of creation.

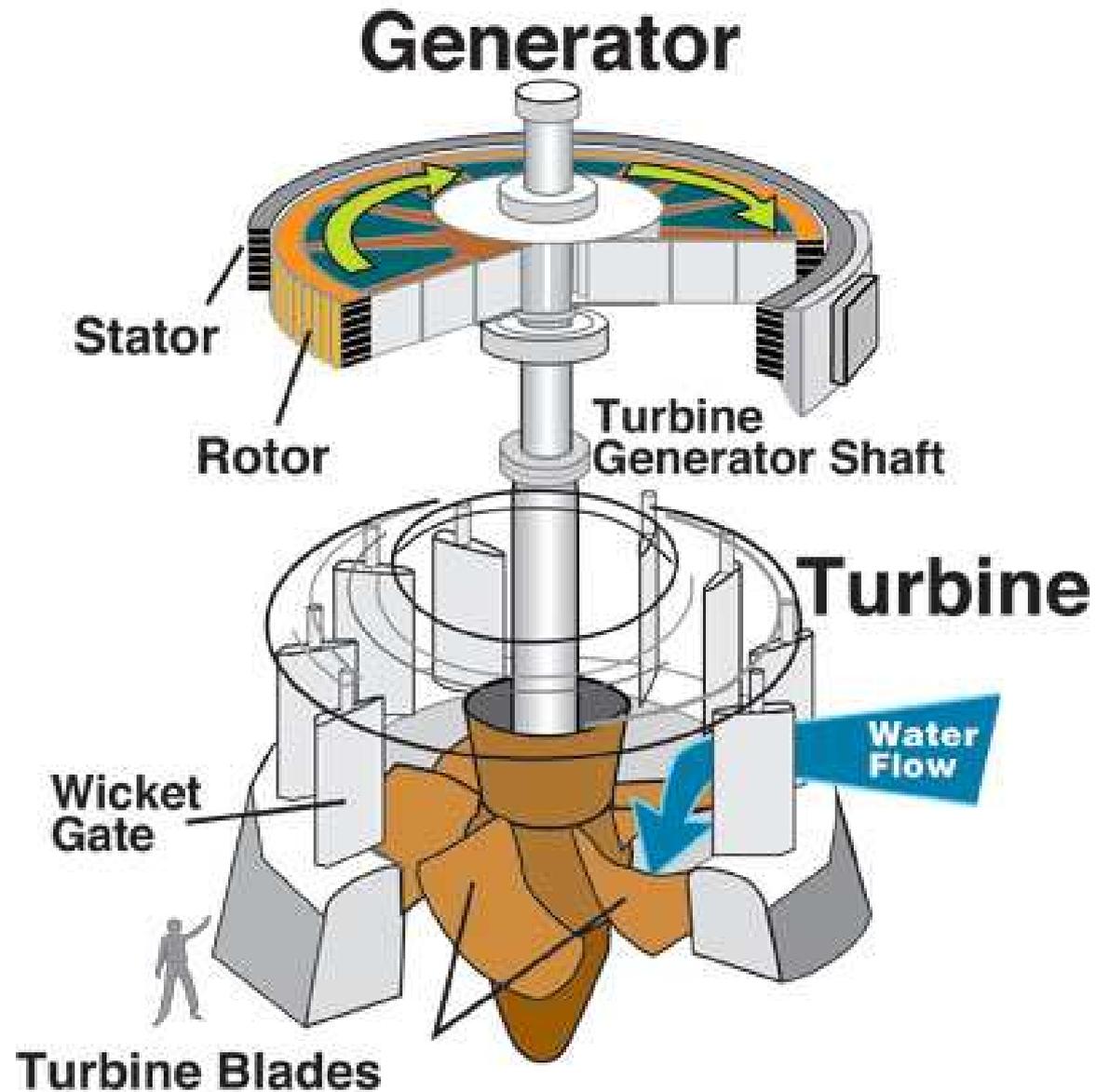
Wasserkraft



Wasserkraft



Wasserkraft



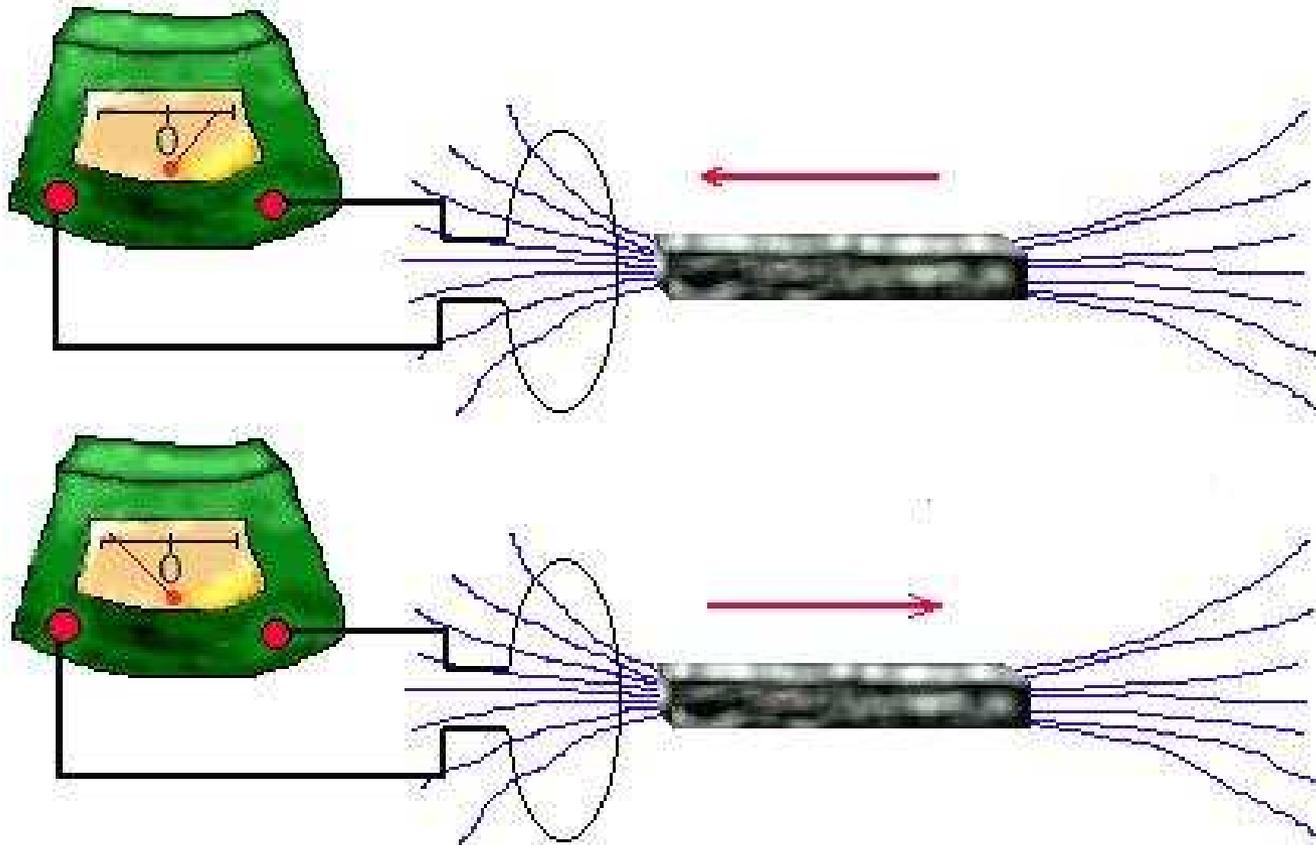
Wasserkraft



Wasserkraft



Generator-Prinzip



Gezeitenkraft: Shoemaker-Levi



ein paar numerische Betrachtungen

Abstand Erde Mond: $r = 380\,000$ km

Erdradius: $R = 6370$ km; Mondmasse \mathcal{M}

allgemeine Beschleunigung: $a = \frac{G\mathcal{M}}{r^2}$

Differenzbeschleunigung zwischen der mondzu- und mondabgewandten Seite

$$a = \frac{G\mathcal{M}}{r^2} - \frac{G\mathcal{M}}{(r+R)^2} \approx 2\frac{G\mathcal{M}}{r^3}R$$

unter Benutzung von $(1 \pm x)^{-2} = 1 \mp 2x \pm 3x^2 \dots$

mit Zahlen $a = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}^2$

ein paar numerische Betrachtungen

entsprechendes gilt für die Kräfte

$$F_{\text{grav}} = \frac{GMm}{r^2}$$

M - Mondmasse, m - Masse des beschleunigten Wassers

Differenzkraft

$$F_{\text{diff}} = GMm \left(\frac{1}{r_{\text{nah}}^2} - \frac{1}{r_{\text{fern}}^2} \right)$$

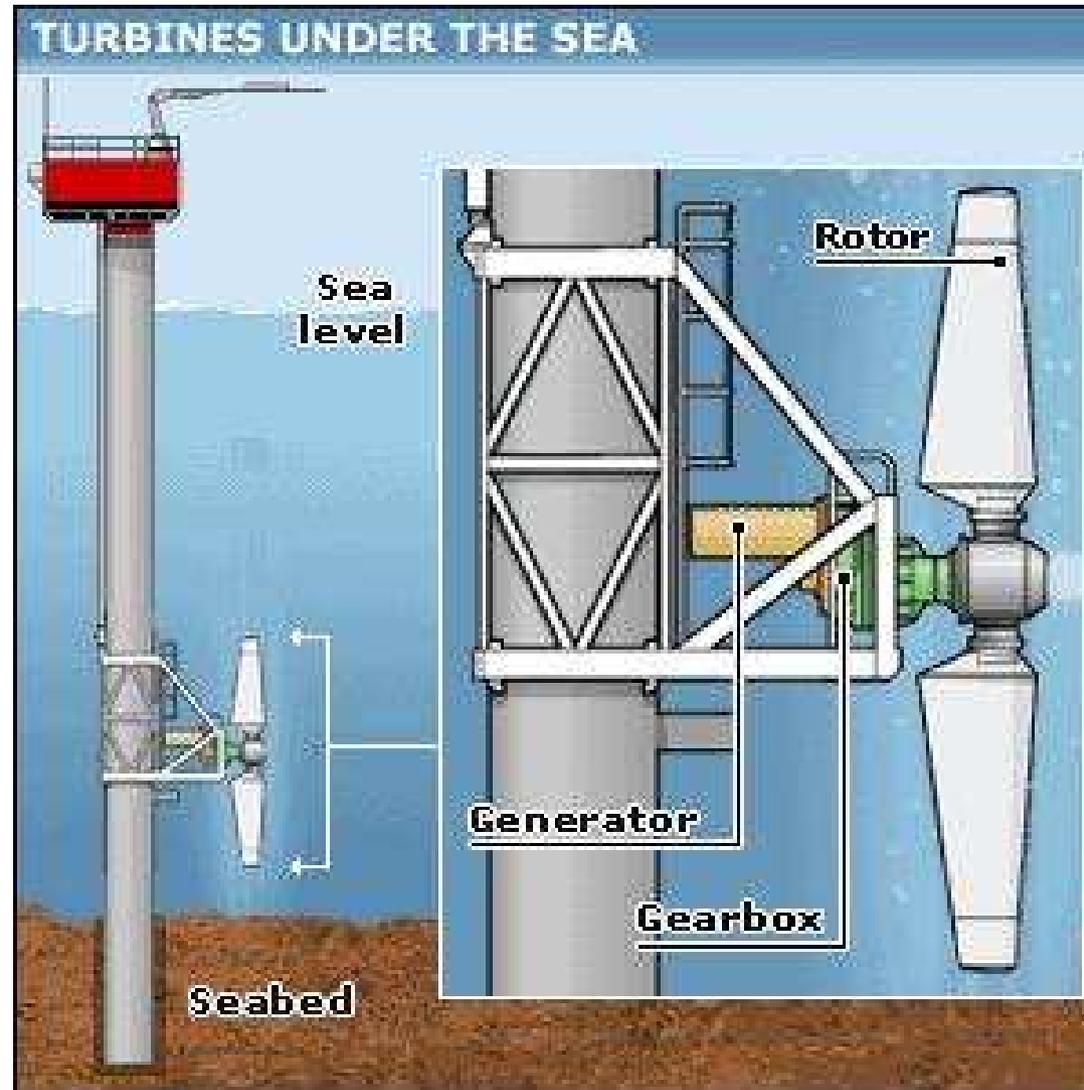
Für kleine Differenzen $r_{\text{nah}} - r_{\text{fern}}$ folgt

$$dF_{\text{gezeit}} = \frac{2GMm}{r^3} dr$$

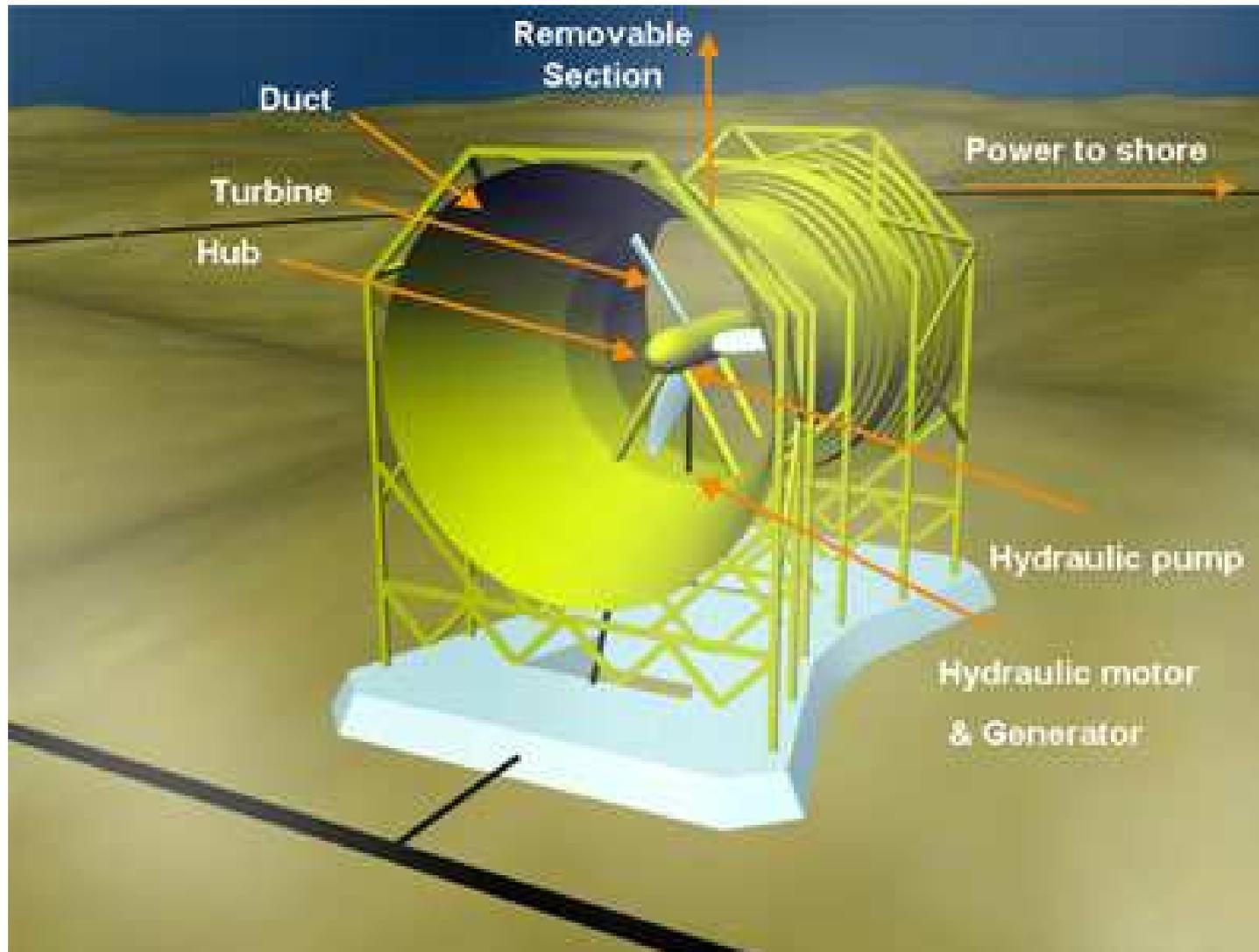
Die Gezeitenkräfte der Sonne auf der Erde sind weniger als halb so groß wie die des Mondes. Die Gezeitenkraft des Mondes ruft eine Auslenkung einer Wasseroberfläche von ca. 30 cm hervor, die der Sonne von ca. 14 cm.

(Eigenschwingungen verursachen an den Küsten deutlich höhere Tiden).

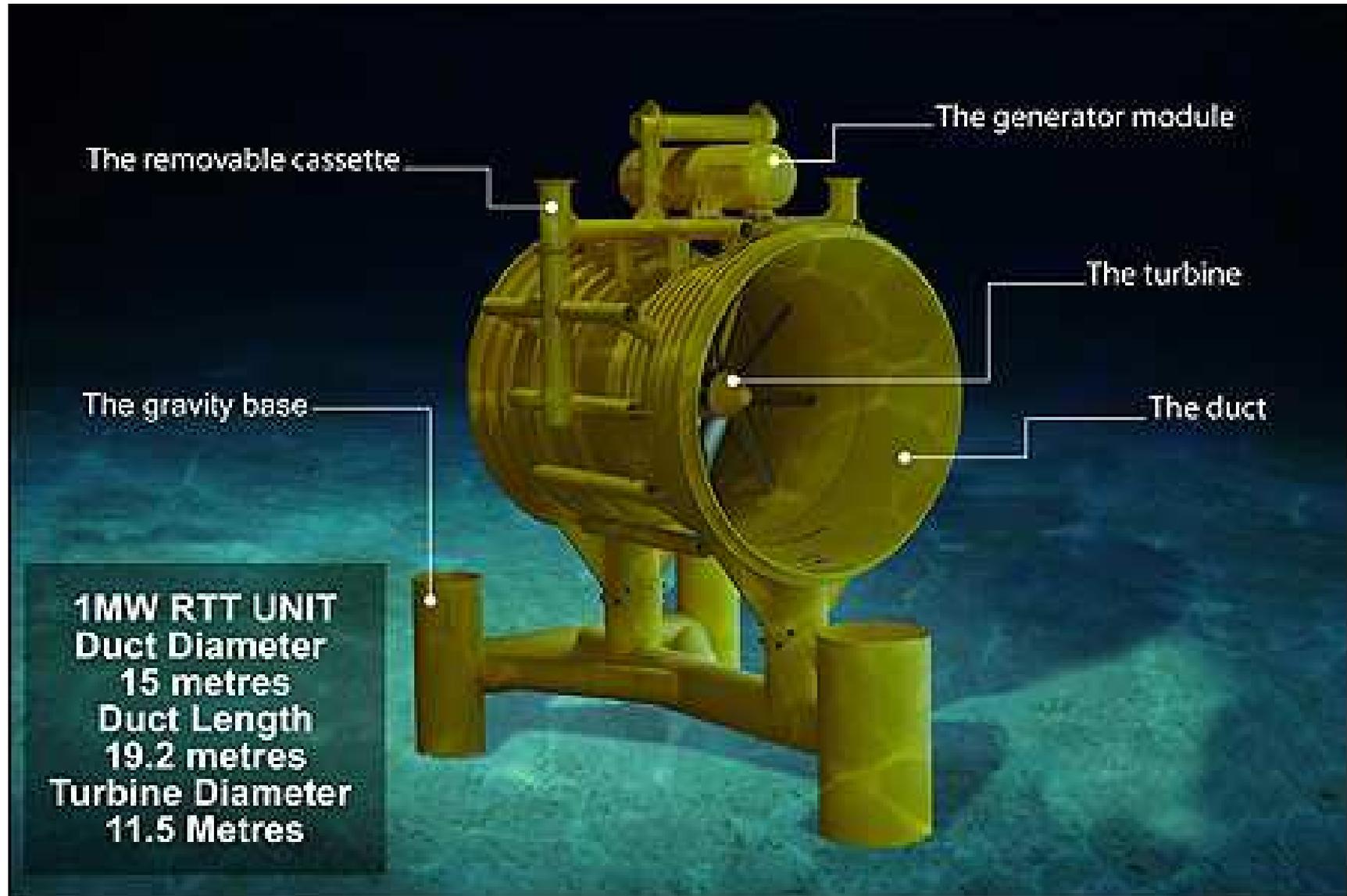
Gezeitenkraftwerk, Prinzip



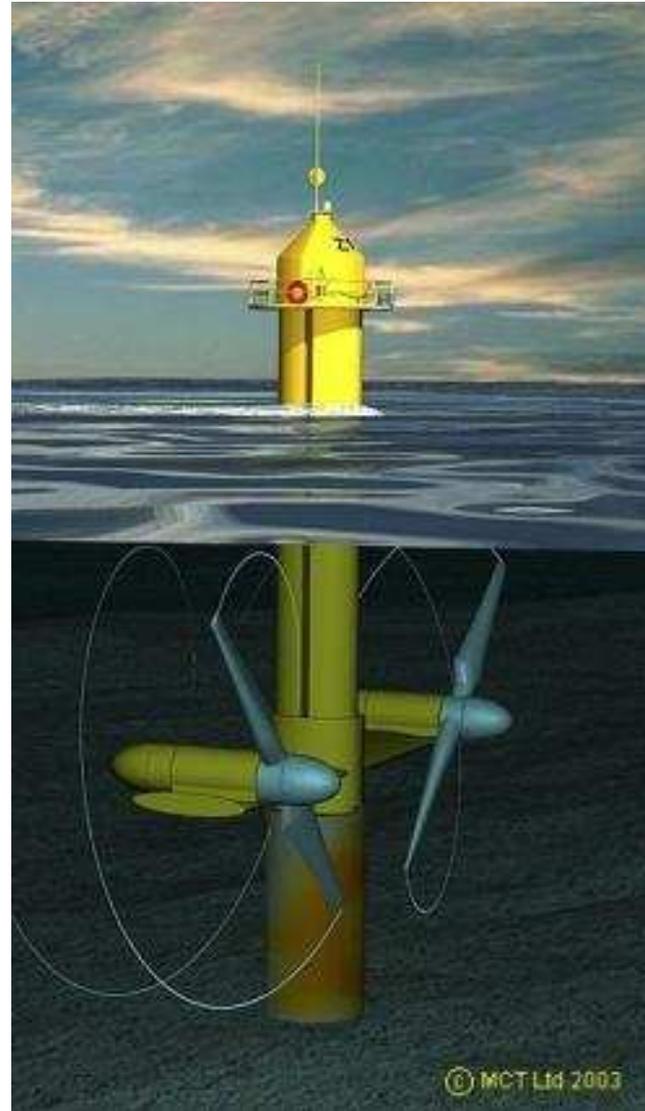
Gezeitenkraftwerk, Prinzip



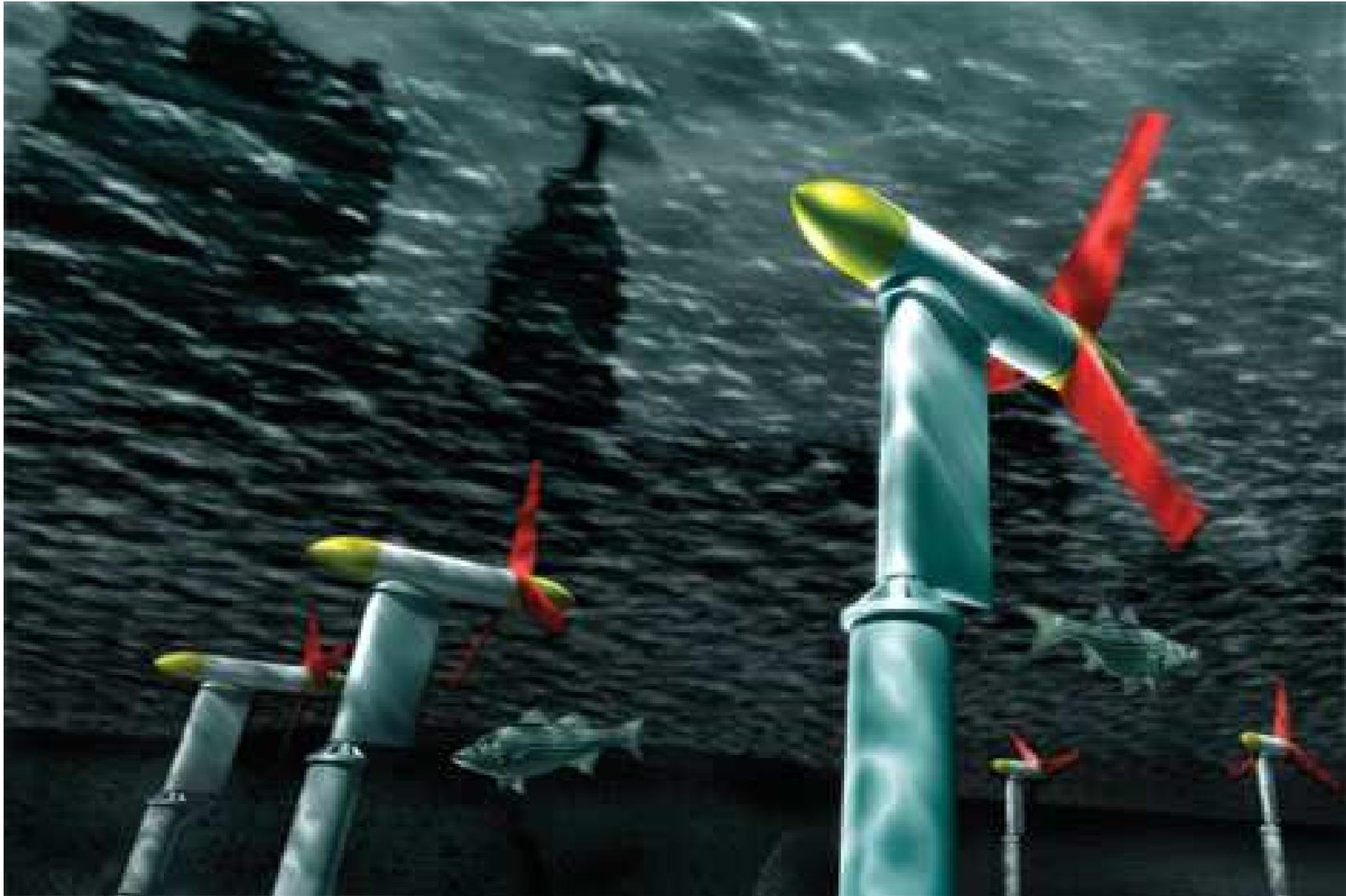
Gezeitenkraft, Prinzip



Gezeitenkraftwerk



Gezeitenkraftwerk



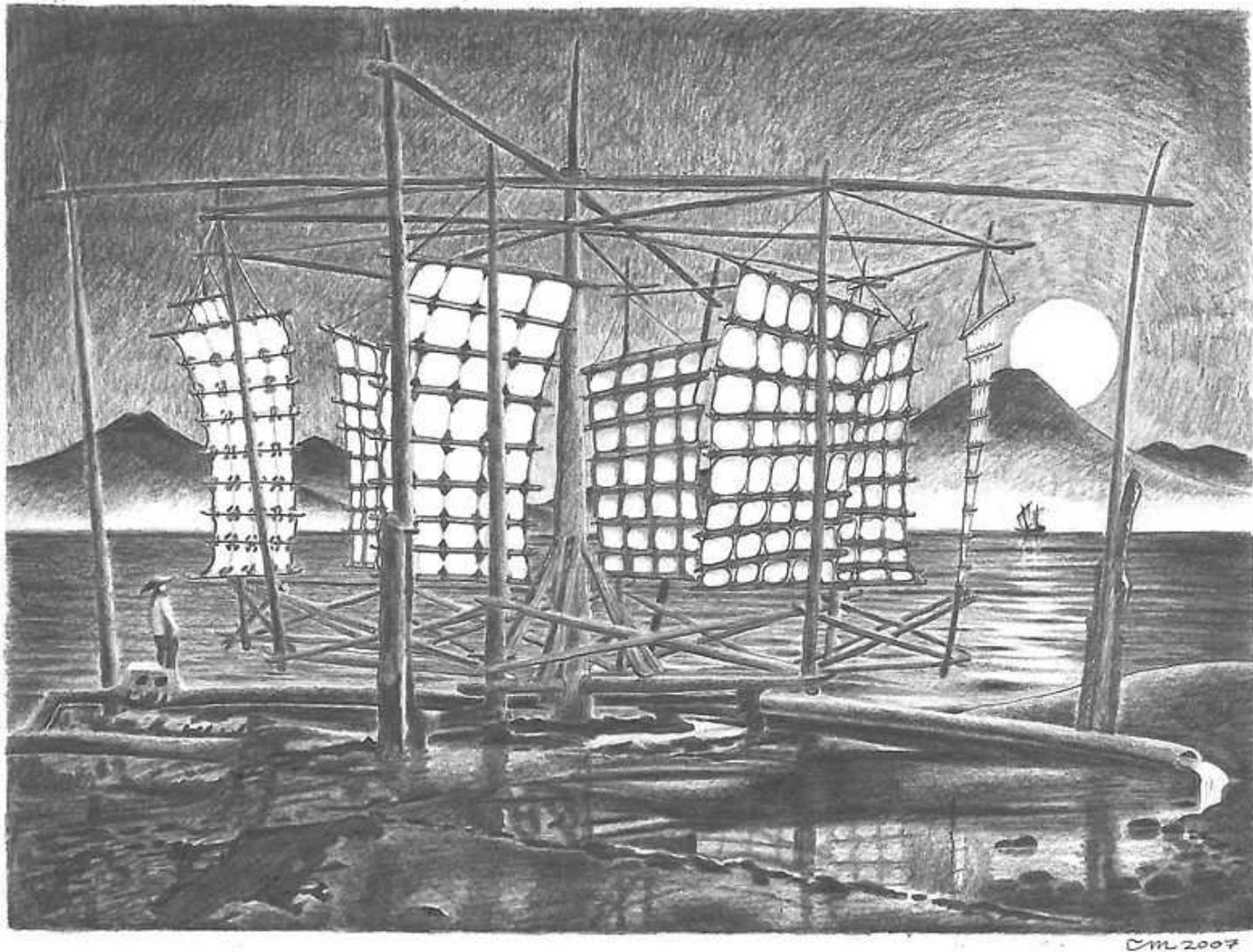
Gezeitenkraftwerk



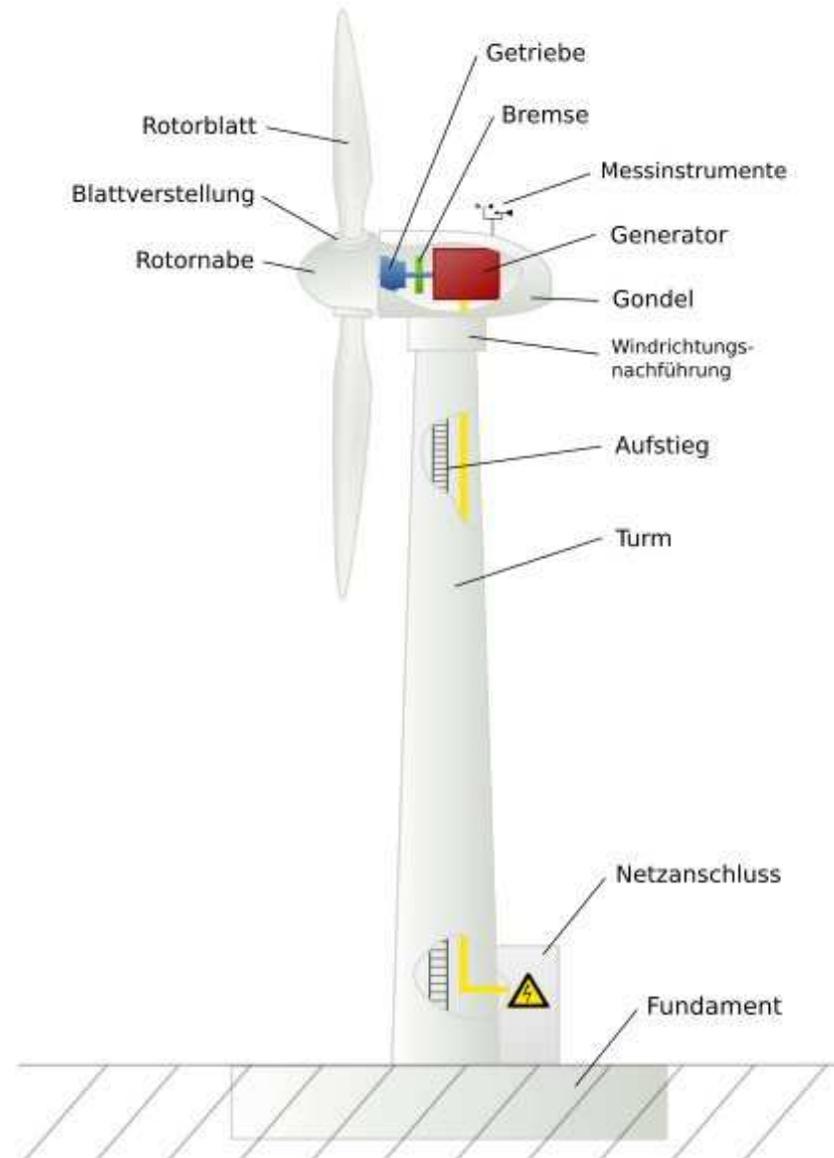
Windenergie



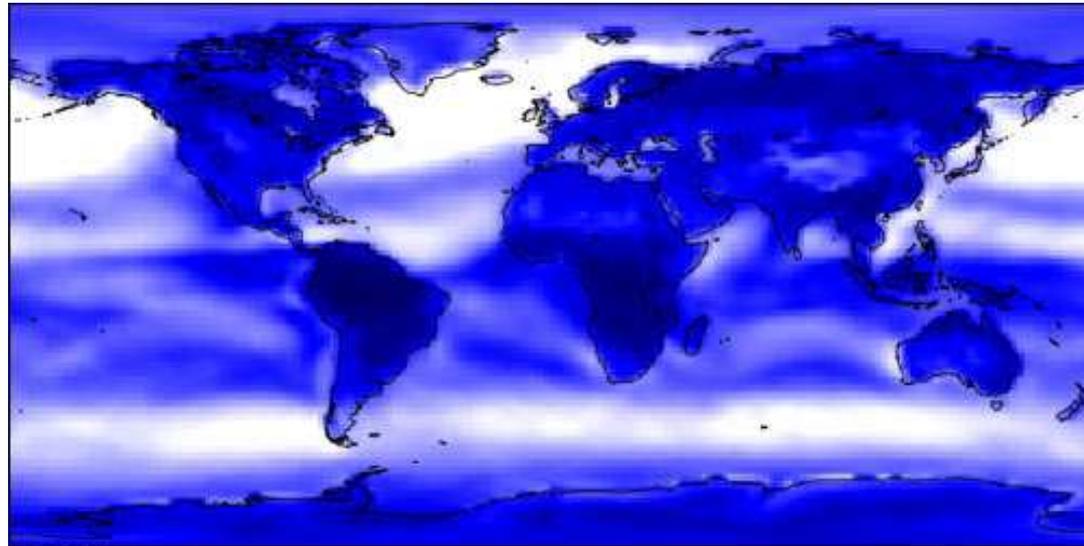
Windenergie



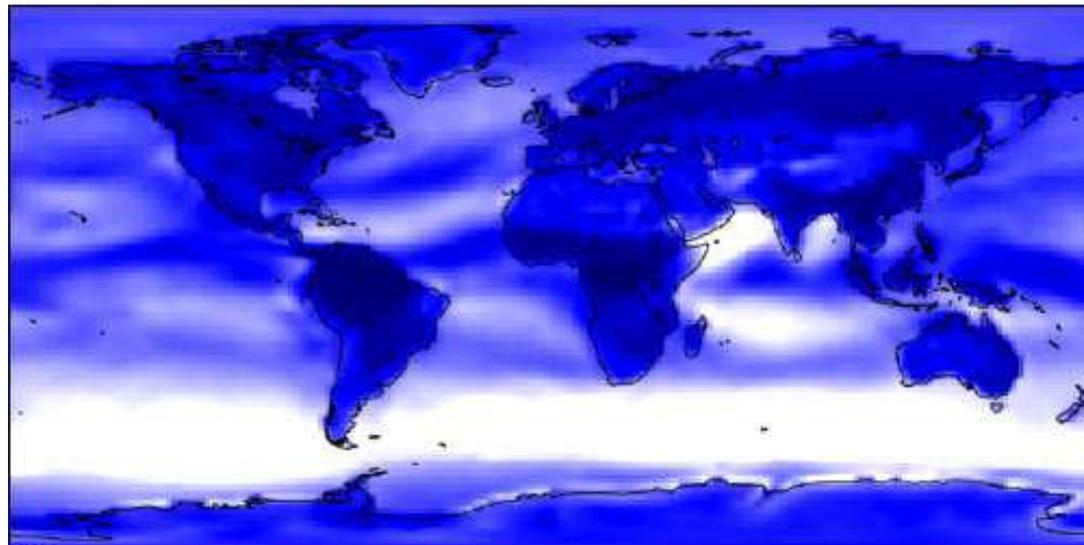
Windenergie



Windenergie



January



July

Wind Speed (meters/sec)

Windenergie

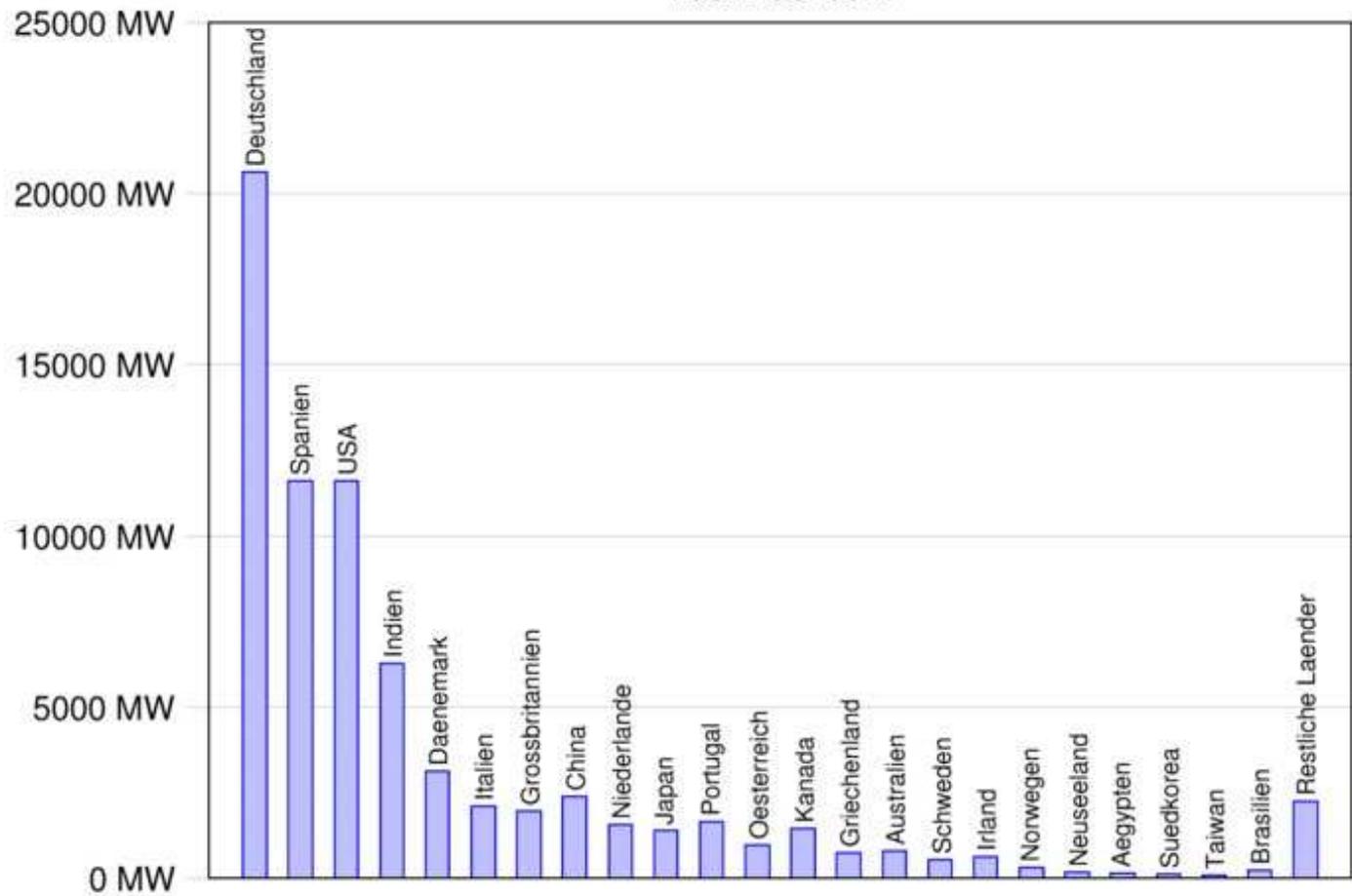
World Wind Energy - Total Installed Capacity (MW) and Prediction 1997-2010



Windenergie

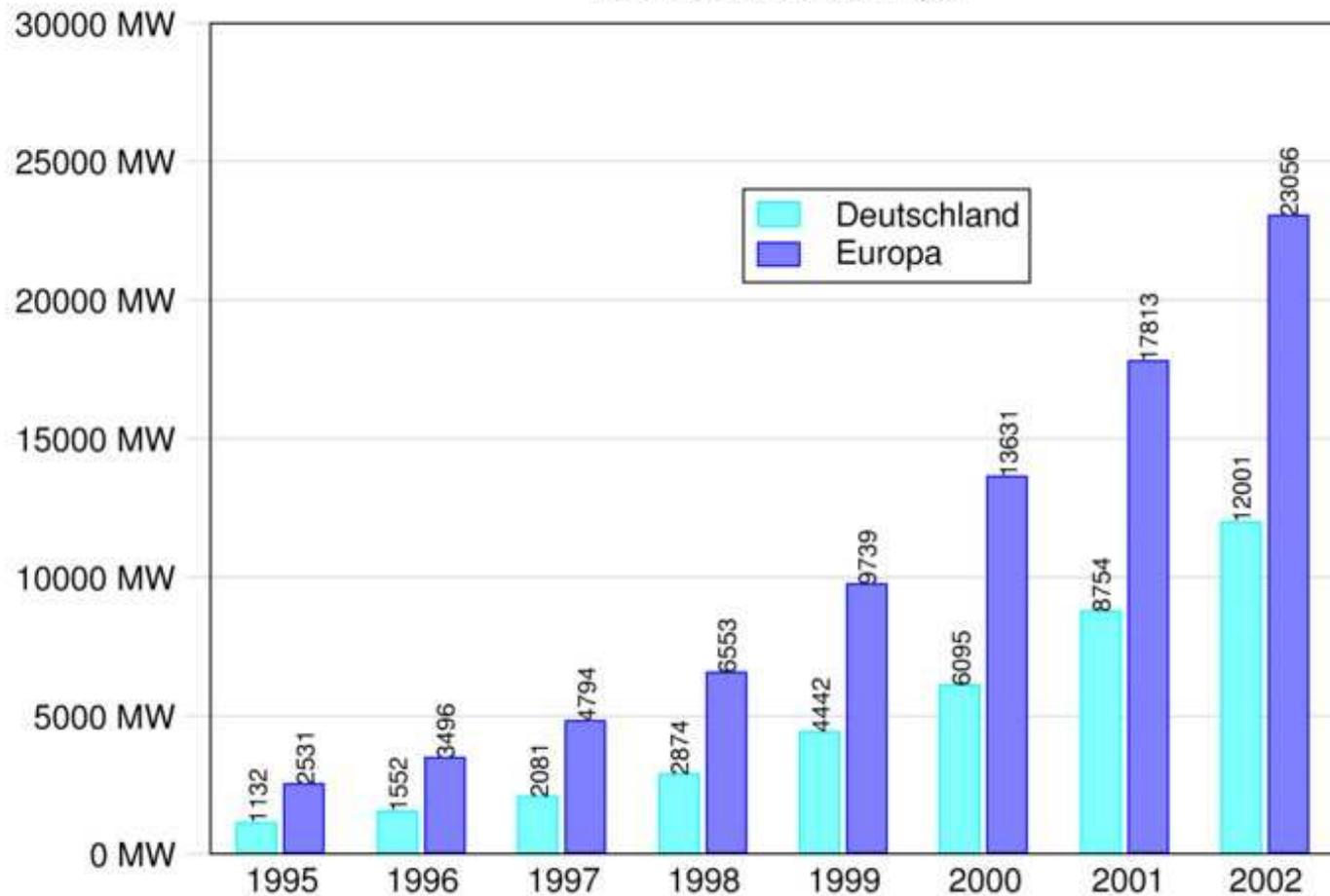
Installierte Windleistung

nach Laendern



Windenergie

Installierte Leistung in Windkraftanlagen
Deutschland und Europa



Windenergie



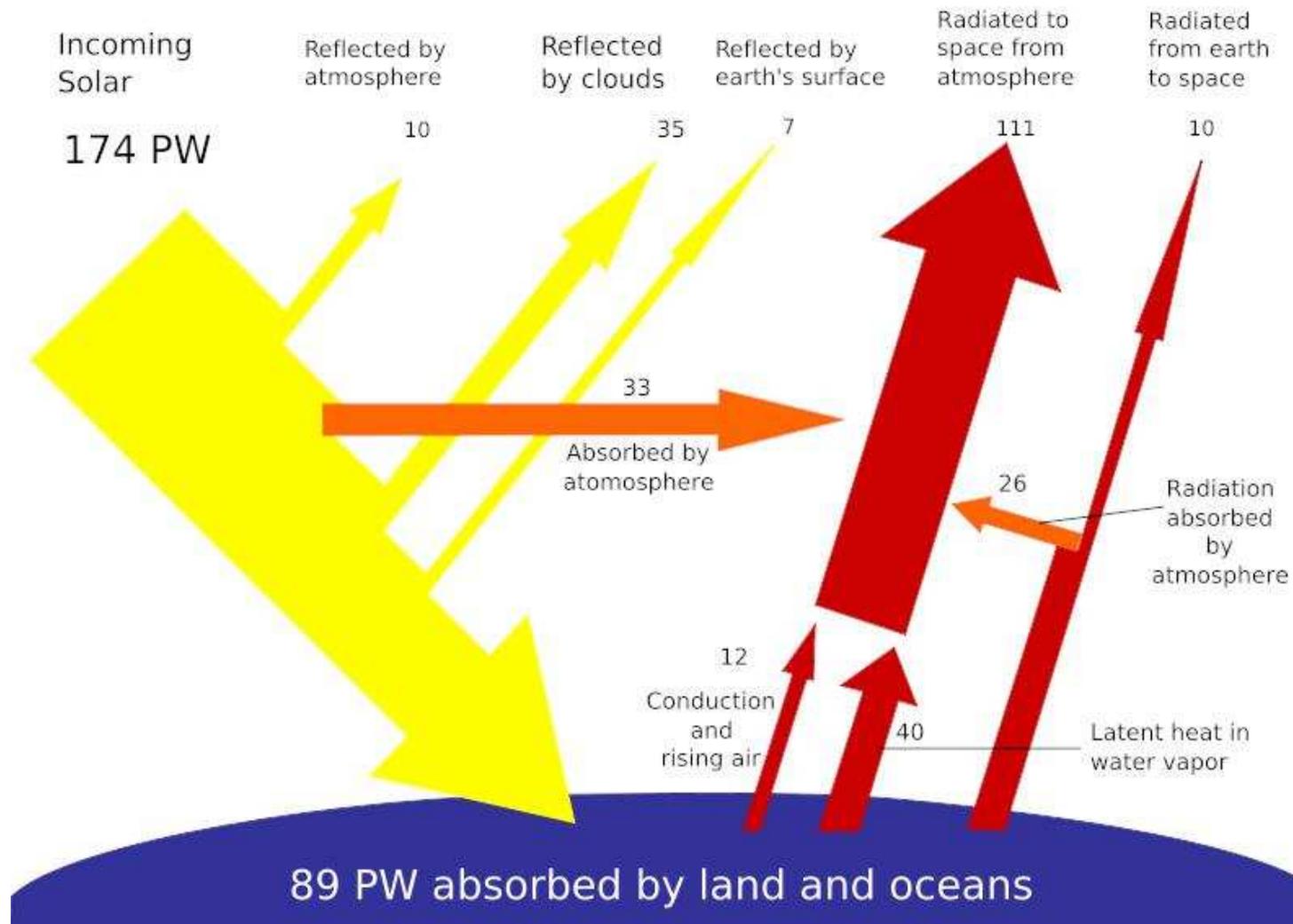
Windenergie



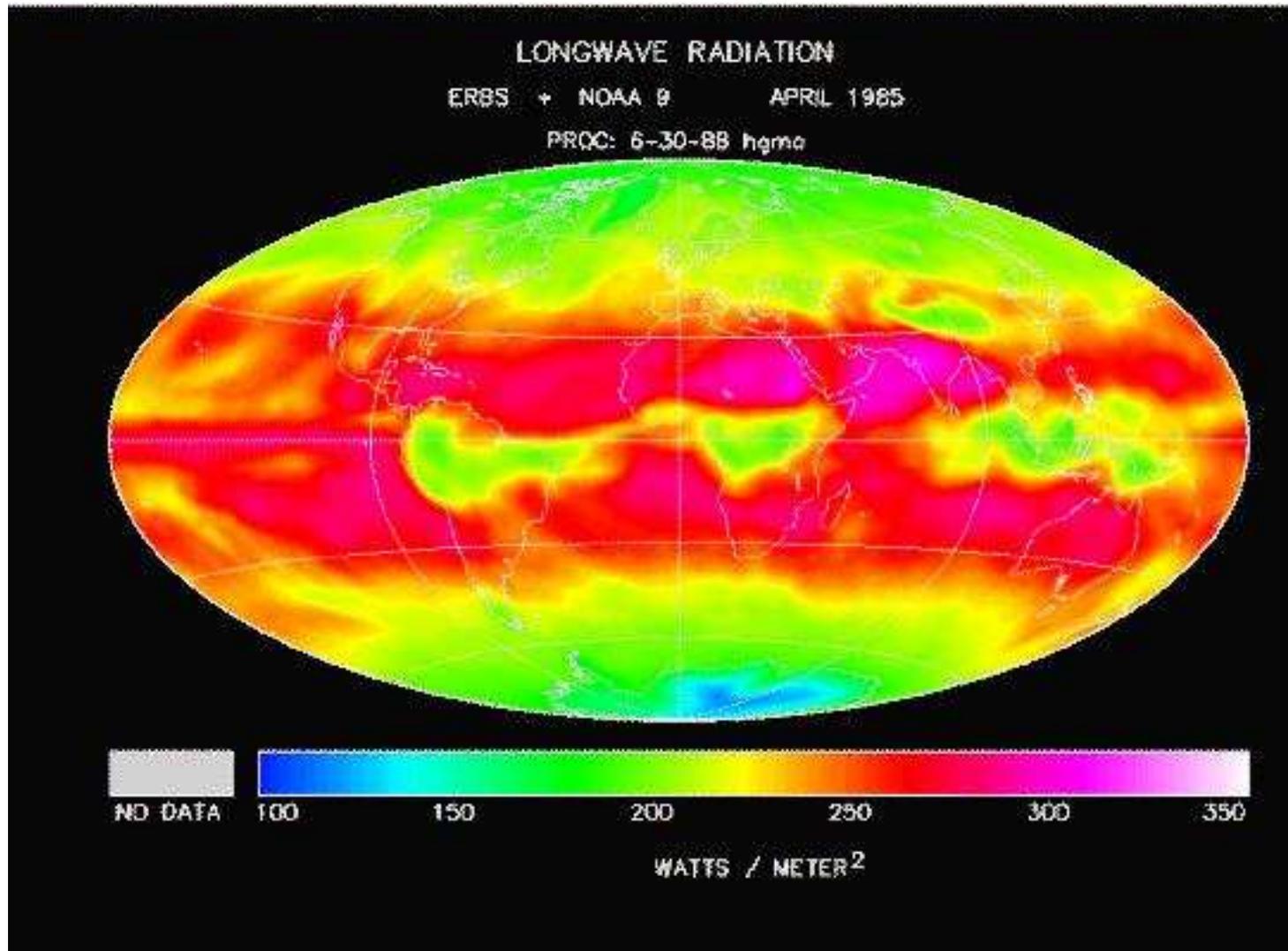
Windenergie in Deutschland

- Gesamtstromverbrauch (2007) 616 TWh
- Windstromerzeugung (2007) 39,5 TWh (6,4 %)
- Installierte Anlagenleistung (2007) 22,2 GW
- Gesamtzahl der Windräder (2007) 19 460
- durchschnittliche Leistung pro Anlage 1,14 MW
- durchschnittliche Auslastung der Anlage ≈ 30 %

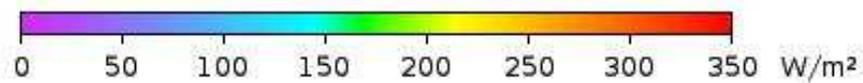
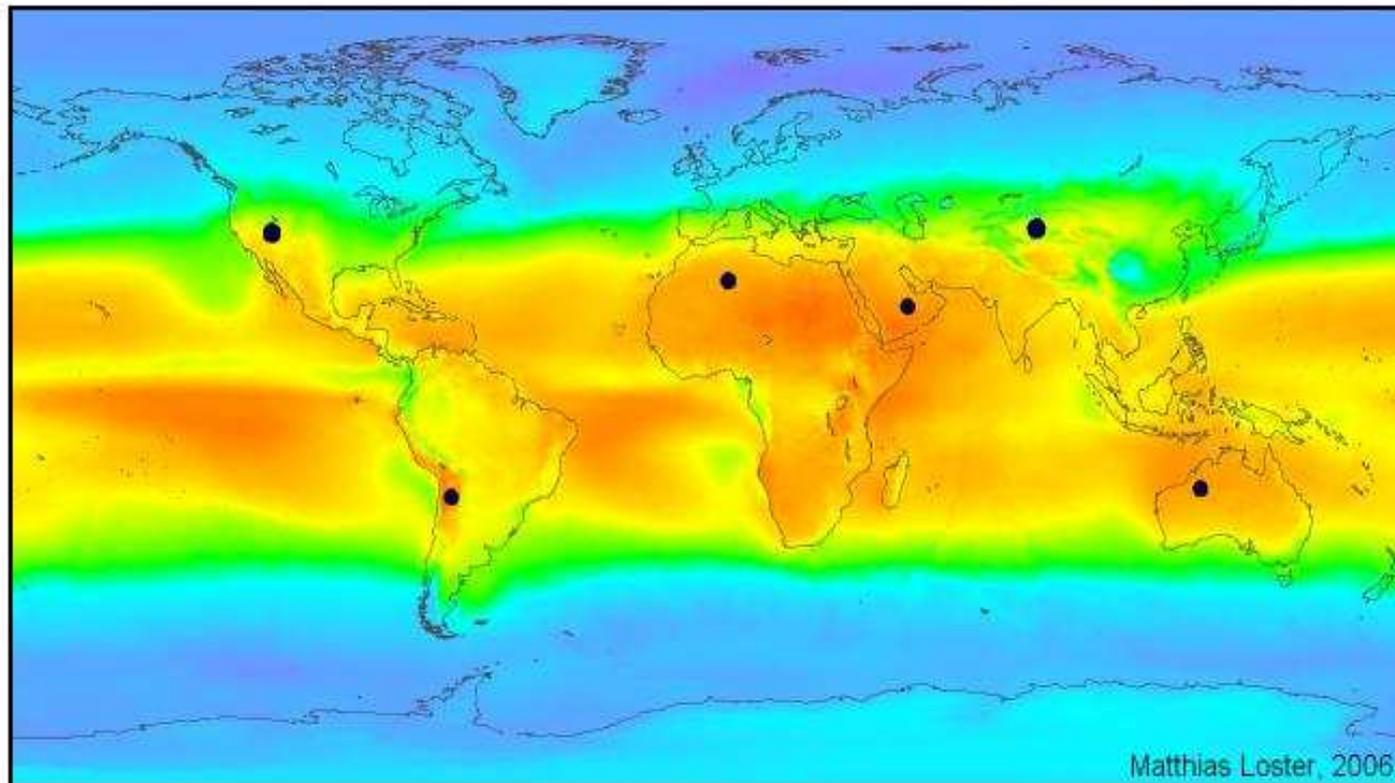
Solarenergie



Solarenergie

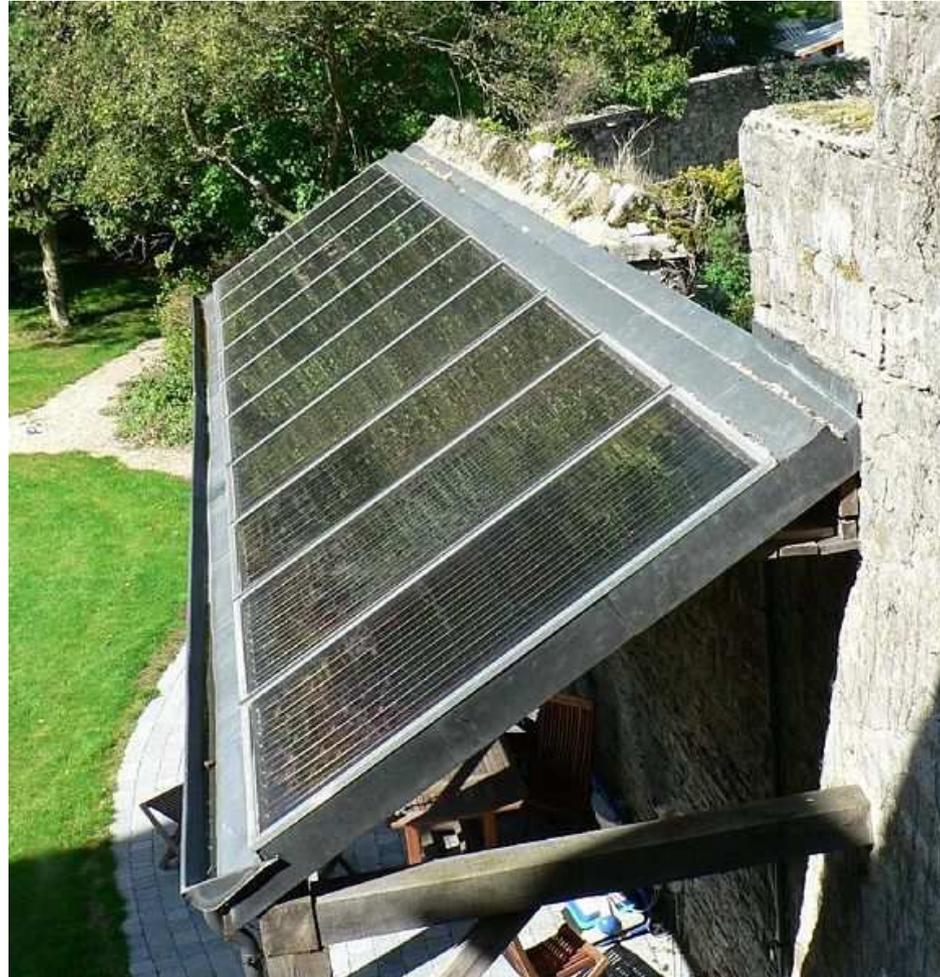


Solarenergie



$\Sigma \bullet = 18 \text{ TWe}$

Solarenergie



Solarenergie



Solarenergie



Solarenergie



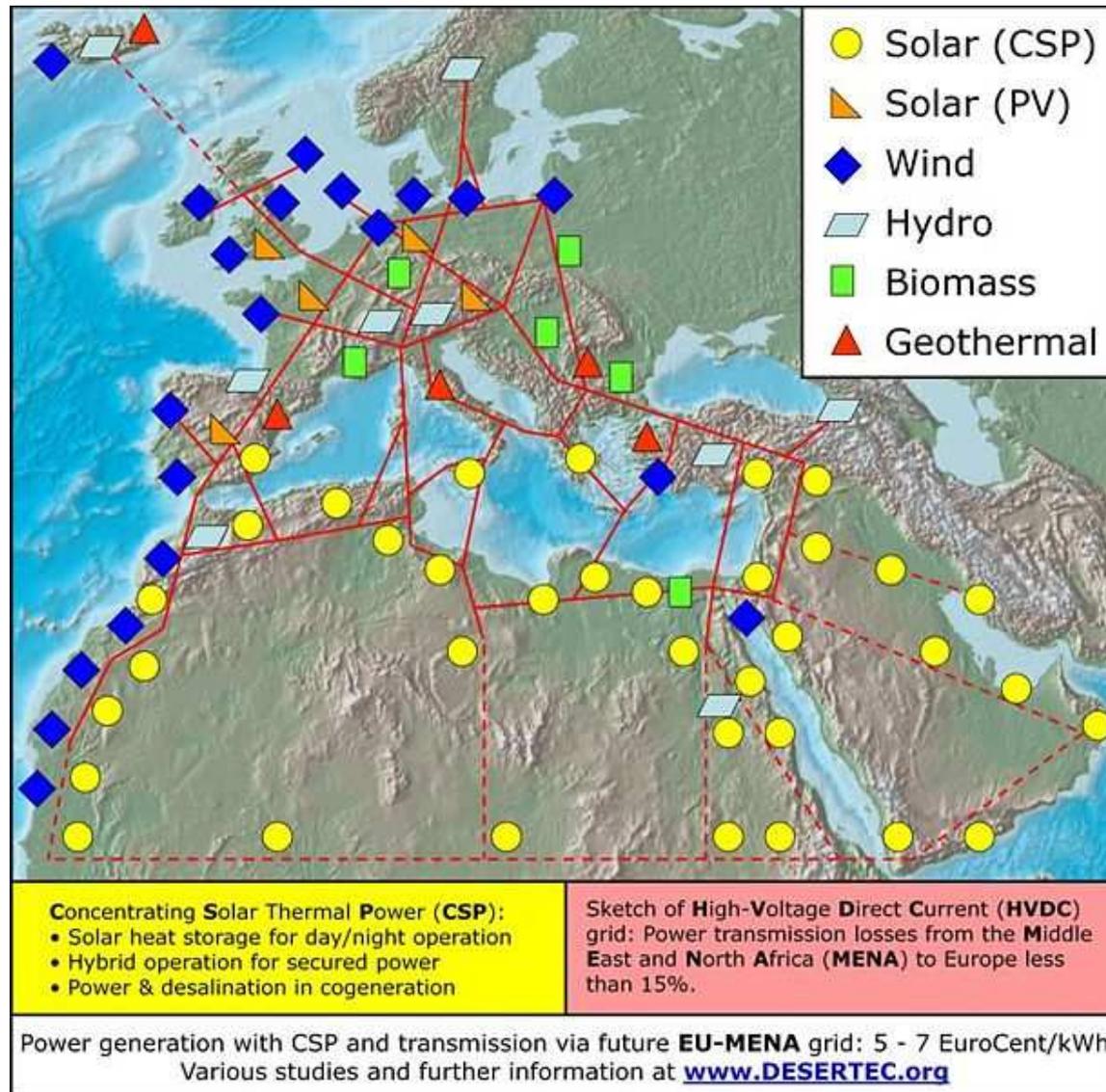
Solarenergie



Solarenergie



Solarenergie



Beispiel Solarenergie in Deutschland

- Sonnenangebot am 'Rand' der Atmosphäre 1350 W/m^2
- im Mittel im Siegerland 100 W/m^2 am Tage
- effektive Leistung 50 W/m^2
- Leistungsbedarf pro Person: 5 kW
- Einwohnerzahl NRW: 18 Millionen
- Leistungsbedarf NRW: 90 GW
- entsprechend einer Fläche mit Solarzellen von 1800 km^2
- entsprechend 2,5 mal der Waldfläche in Siegen-Wittgenstein

Beispiel Solarenergie am ENC

- Photovoltaikanlage auf dem Gebäude ENC-B
- 210 m^2 Kollektorfläche
- Jahresleistung: 15 000 kWh
- mittlere Energie pro Tag: 40 kWh
- mittlere Leistung \approx 4 kW am Tage
- Vergütung nach dem Einspeisungsgesetz 50 Cent/kWh
- Gewinn pro Tag: 20.- Euro minus Wartung
- Jahresgewinn 7 500.- Euro minus Wartung
- Investitionskosten geschätzt: 120 000 Euro
- amortisiert nach \geq 16 Jahren

Beispiel Solarenergie am ENC

- Übliche Leistungsdefinition:
- 1 kW_{peak} ist diejenige Leistung, die unter besten Verhältnissen eine Leistung von einem kW bringt
- Bei optimaler Sonneneinstrahlung benötigt man dafür eine Photovoltaikfläche von $10 m^2$
- Die ENC-Anlage hat $21 kW_{peak}$, könnte also eine Leistung von 21 kW erbringen
- Im besten Jahr bisher (2003): 16 200 kWh auf $210 m^2$
- bei $21 kW_{peak}$ entspricht das also 771 kWh pro kW_{peak}
- in 2006: 11 600 kWh entsprechend 552 kWh pro kW_{peak}
- Investitionskosten 6500 Euro pro kW_{peak}

Andere regenerative Energiequellen

- Biokraftstoffe: e.g. Diesel aus Nutzpflanzen; z.B. Diesel oder Nahrung aus Zuckerrohr
- Biomasse: nicht-fossiles aber totes biologisches Material; z.B. alle biologischen Abfälle eignen sich dafür.
- Geothermie: nur für geeignete geologische Formationen: e.g. Island
- Wärmepumpen: immer geeignet, auch für Siegen
- geringe Beiträge zur Gesamtenergiebilanz, meist nur lokal verwendbar

Biogas aus Mist

- Photosynthese
- $6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} + \text{Lichtenergie} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2$
- Pflanzen erzeugen Sauerstoff zum Atmen für den Menschen
- Fermentation im Bioreaktor
- Bruttoreaktion: $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 3 \text{CH}_4 + 3 \text{CO}_2$
- in unverbrannter Form ist Biogas ein schlimmes Treibhausgas
- Methanverbrennung: $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$

Klimaproblem durch Kühe

- ein Rind erzeugt 200 Liter CH_4 pro Tag
- es gibt insgesamt 500 Millionen Rinder auf der Welt
- d.h. auf 10 Menschen kommt ein Rind
- alle Rinder erzeugen 100 Millionen m^3 Methan pro Tag
- deutscher Erdgasbedarf: 270 Mill. m^3 pro Tag
- eine Kuh erzeugt pro Jahr soviel Treibhausgase wie ein PKW mit einer Fahrleistung von 18 000 km
- ein Mensch erzeugt pro Jahr soviel Treibhausgase wie ein PKW mit einer Fahrleistung von 4 000 km
- ein Vegetarier die Hälfte, ein Veganer ein Siebtel davon

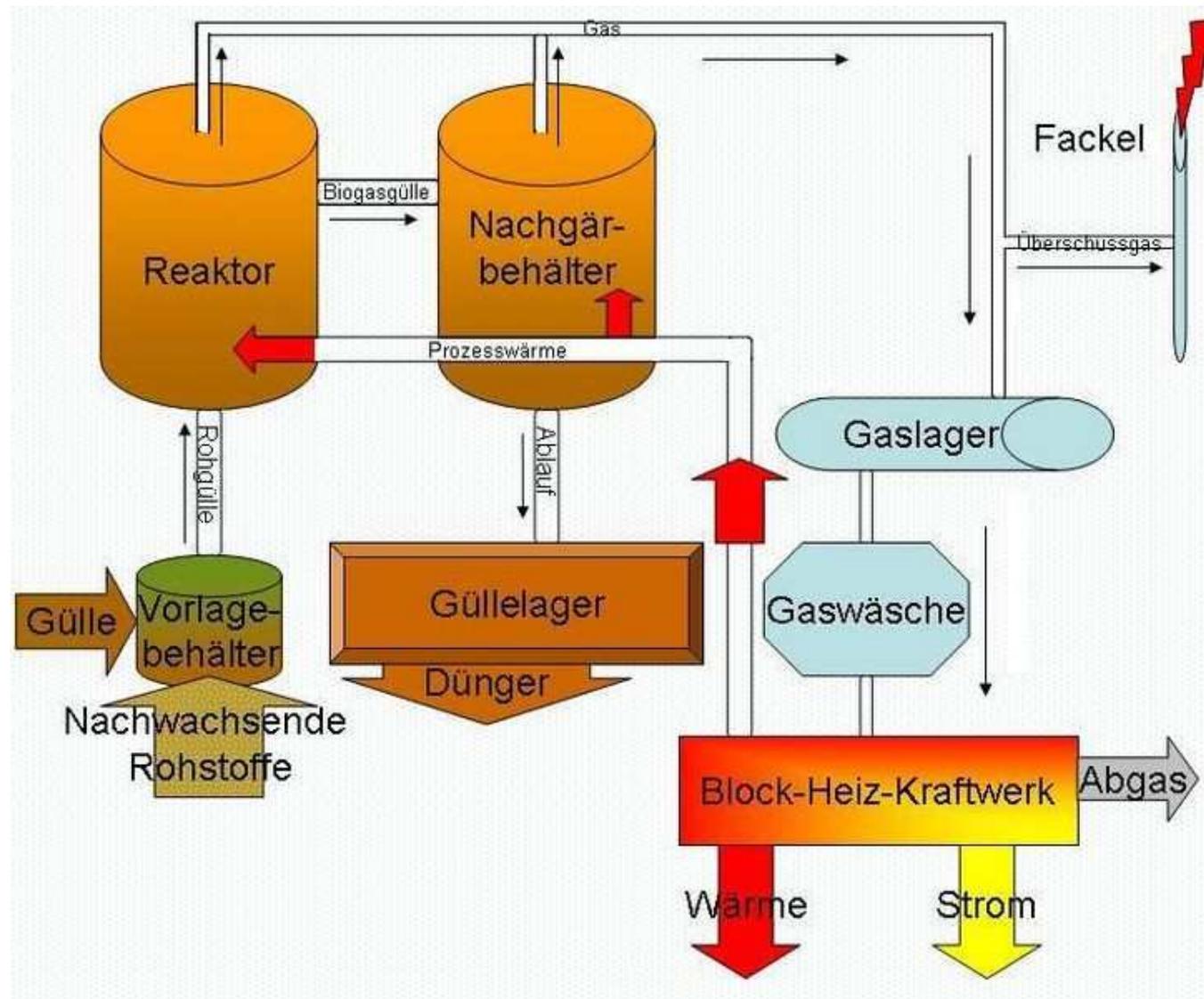
Praktische Aspekte

- Input: Maissilage, Grassilage, Rindermist, Gülle
- Methangehalt im erzeugten Gas: 53 %
- auf 20 Jahre garantierter Preis
- 28 Cent/kWh plus Boni (\approx 10 Cent/kWh)
- Wärmenutzung (Prozesswärme) zum Heizen oder Vorwärmen der Biomasse
- Anlagengröße variabel: 100 kW bis 800 kW

Biogas



Biogas



Biogas



Biogas



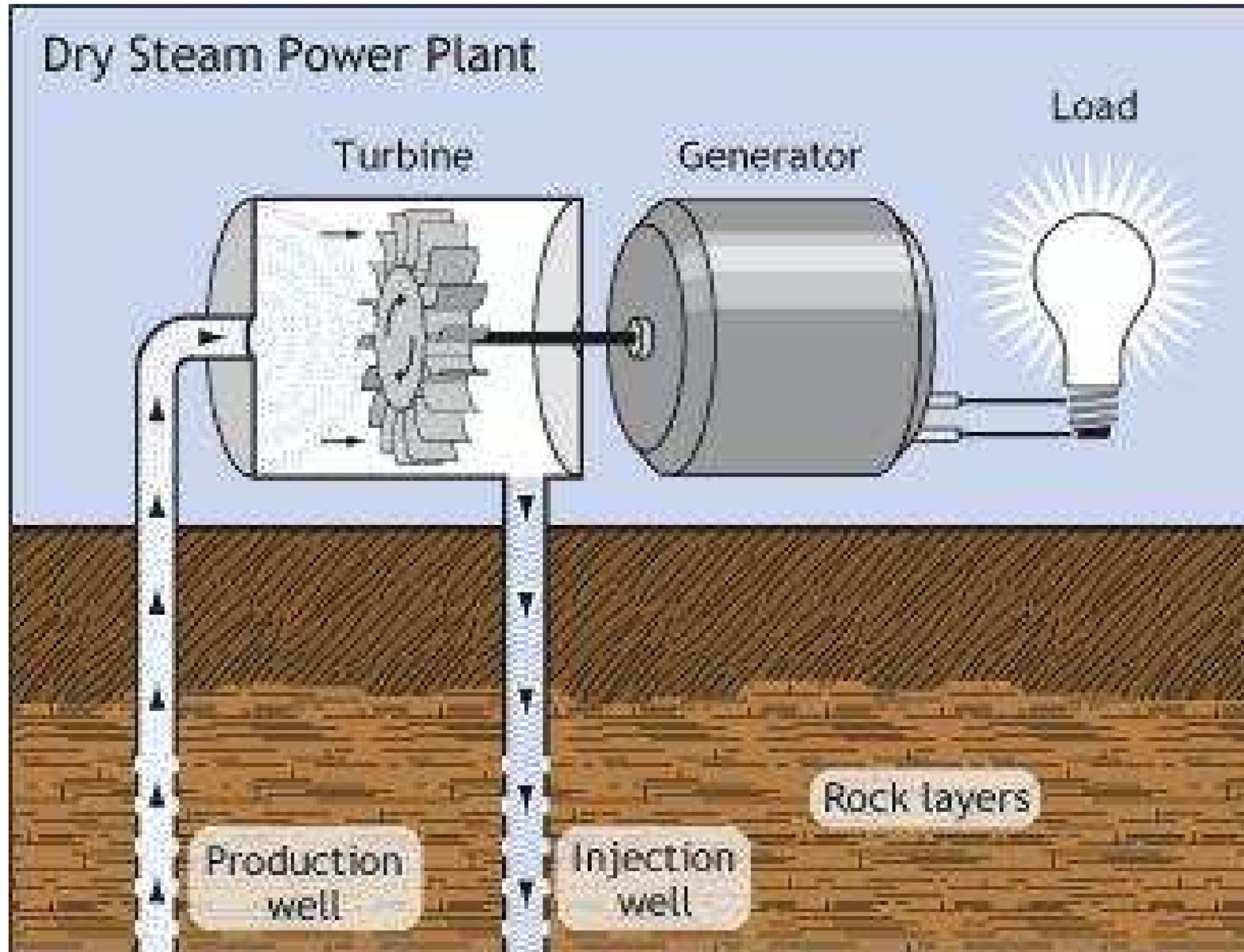
Biogas



Biomasse



Geothermie



Geothermie

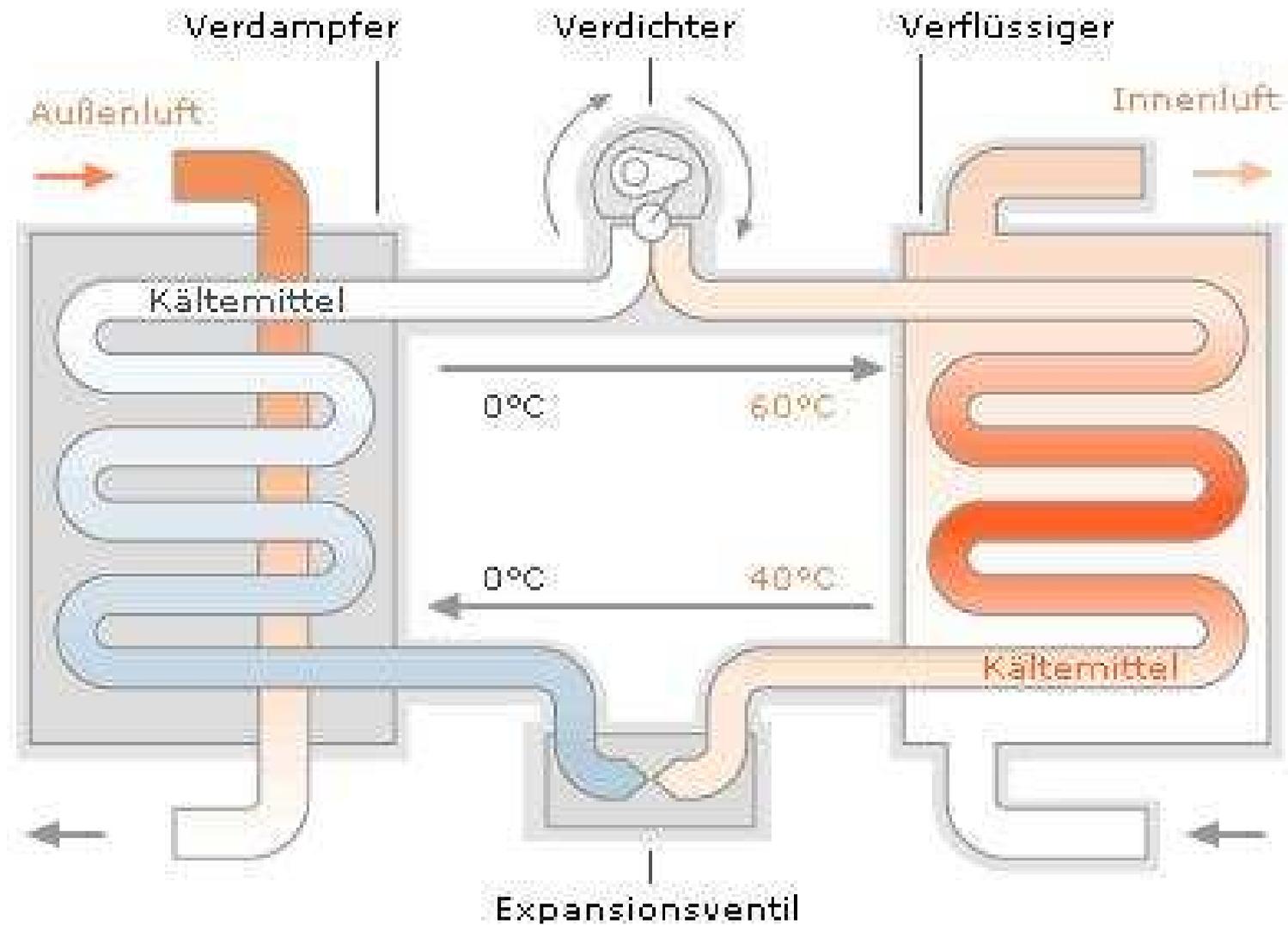


Der Geysir "Old Faithful" im Yellowstone-Nationalpark

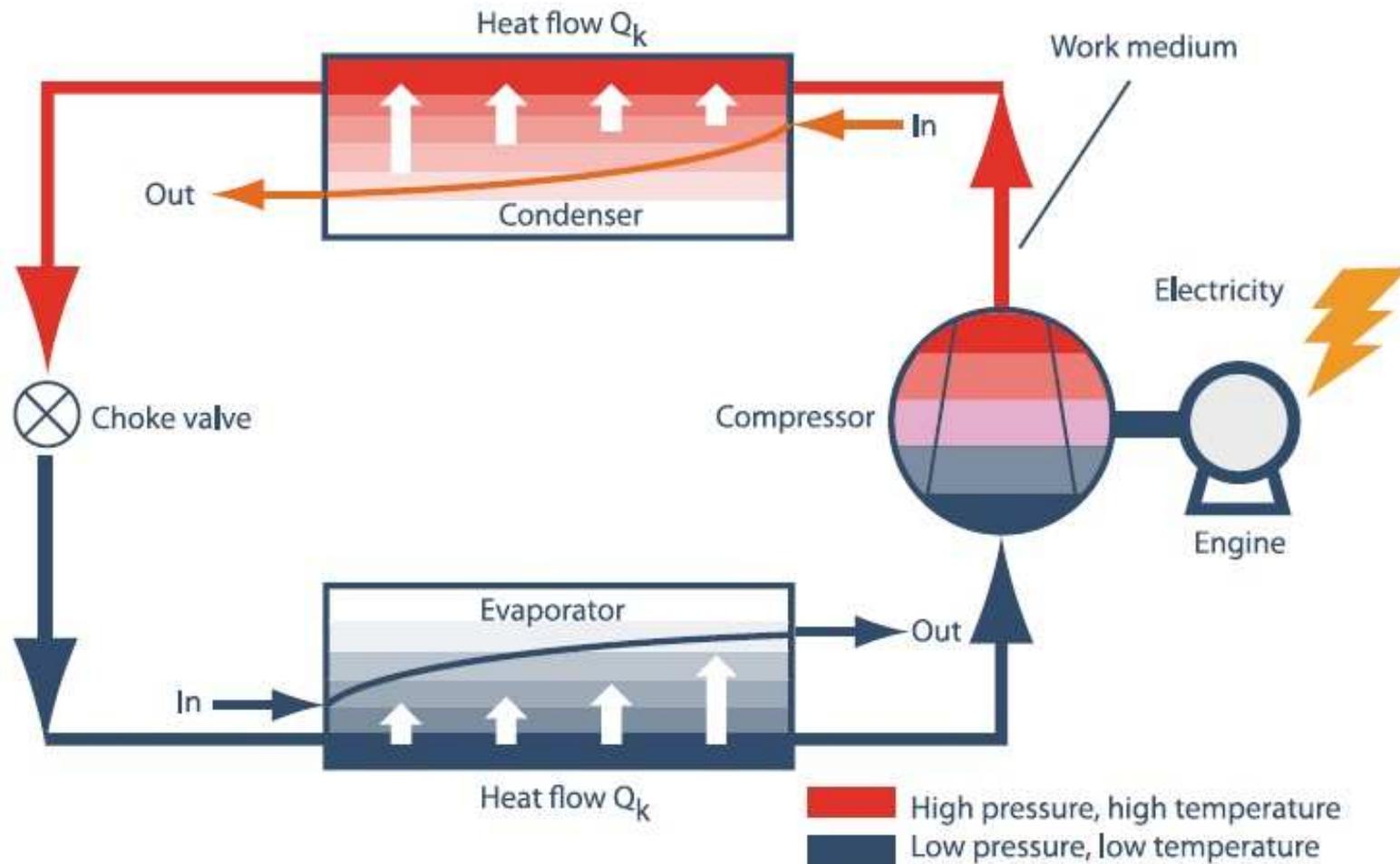
Geothermie



Wärmepumpe



Wärmepumpe



Historische Anmerkungen

- Alte Meinungen: Klimawechsel erfolgen so langsam, dass man während der Lebenszeit eines Menschen keine Änderungen bemerken kann.
- Es gibt einen ständigen Wechsel von Eiszeiten und Zwischeneiszeiten. Der Wechsel erfolgt chaotisch. Der Klimawechsel zeigt eine ‘Sägezahnstruktur’.
- Die Analyse von Eisbohrkernen (Grönland, Antarktis) zeigt sehr rasche Klimaschwankungen, selbst auf der Zeitskala von Jahrhunderten und sogar Dekaden.
- Das Klima ist durch ein sehr delikates Gleichgewicht charakterisiert.

Abschmelzen der Polkappen

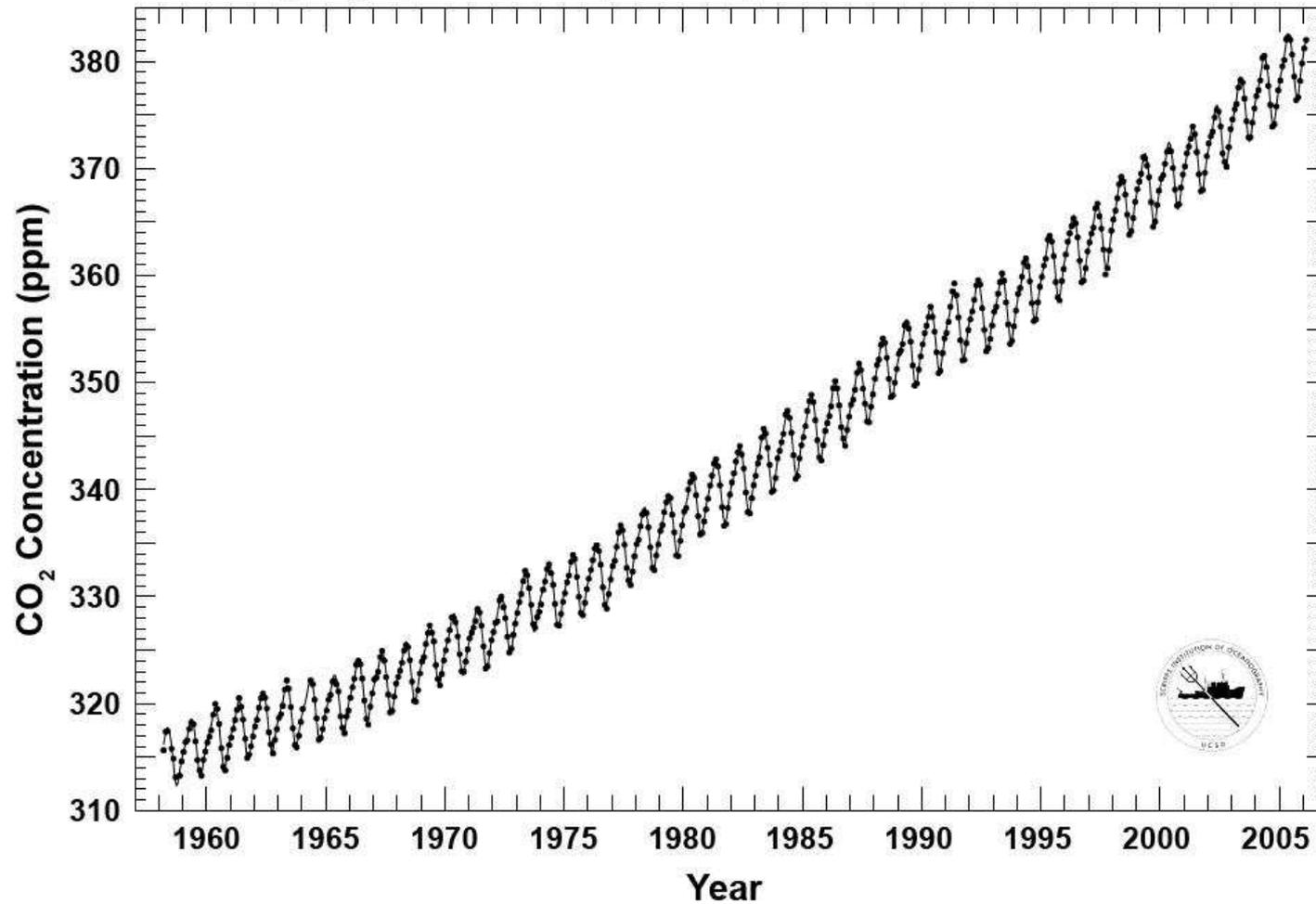


■ The ice caps were melting and no one seemed to care. Except the guy who had to clean it up.

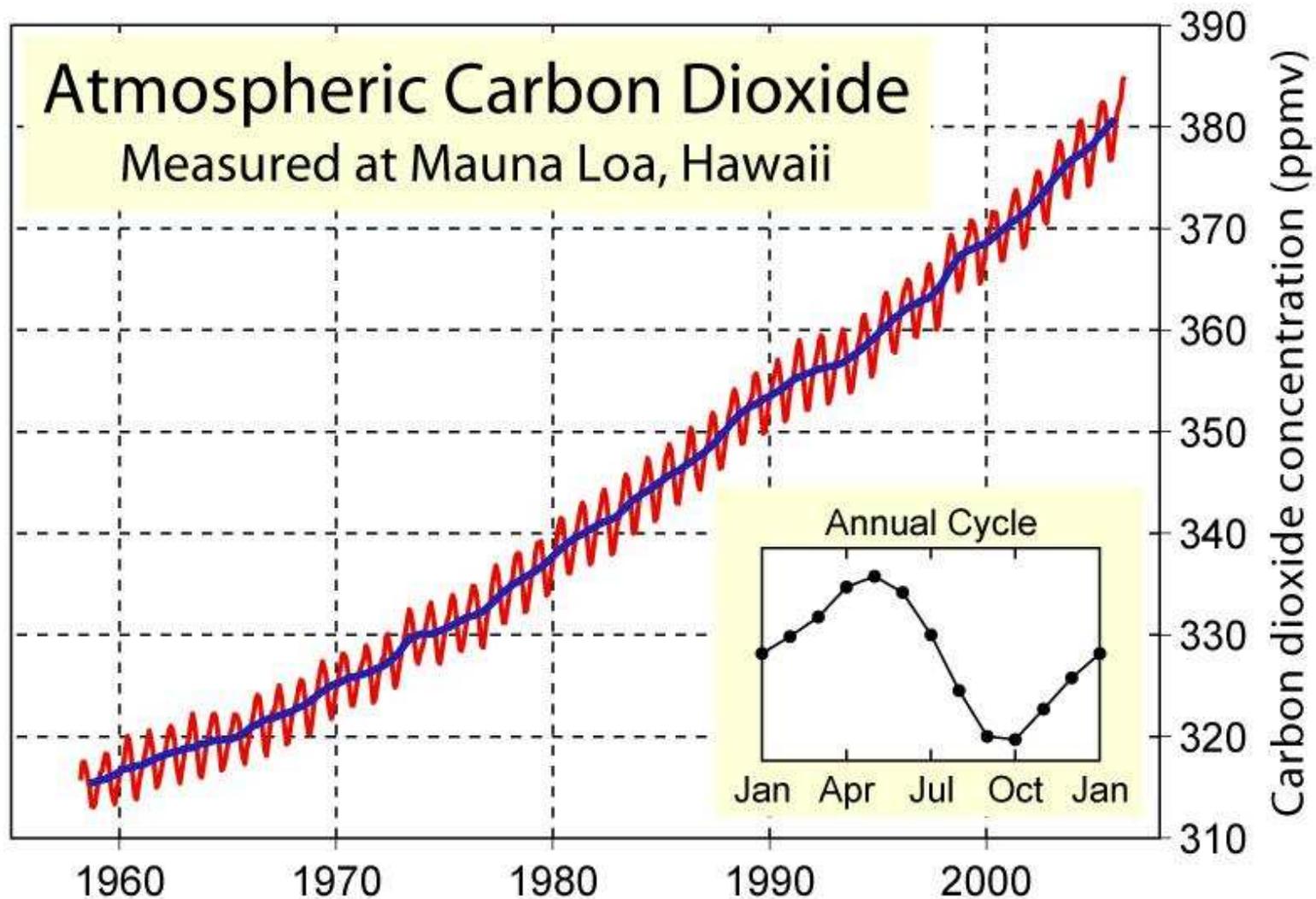
CO₂ Anstieg in Hawaii

Mauna Loa Observatory, Hawaii Monthly Average Carbon Dioxide Concentration

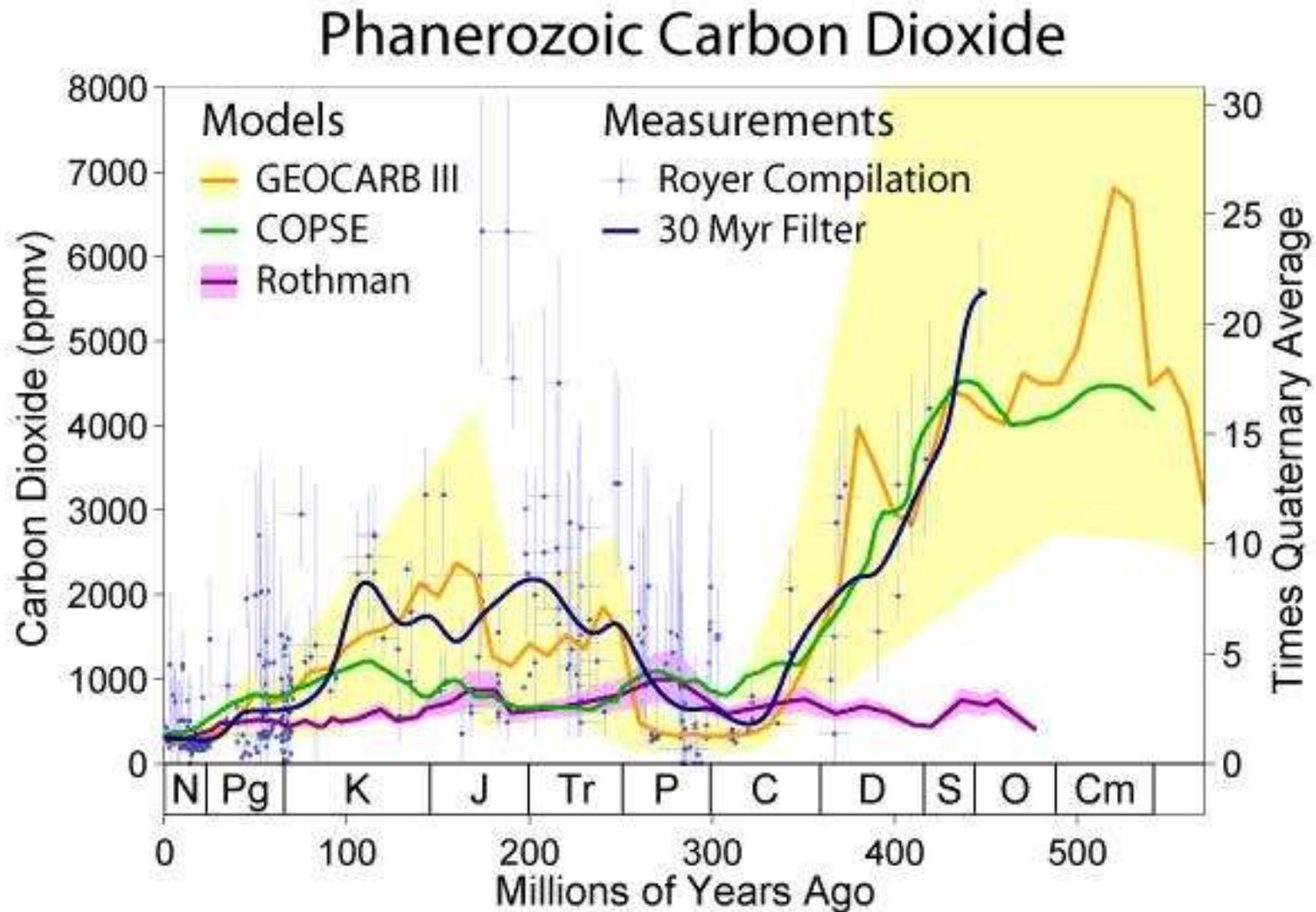
Data from Scripps CO₂ Program Last updated February 2006



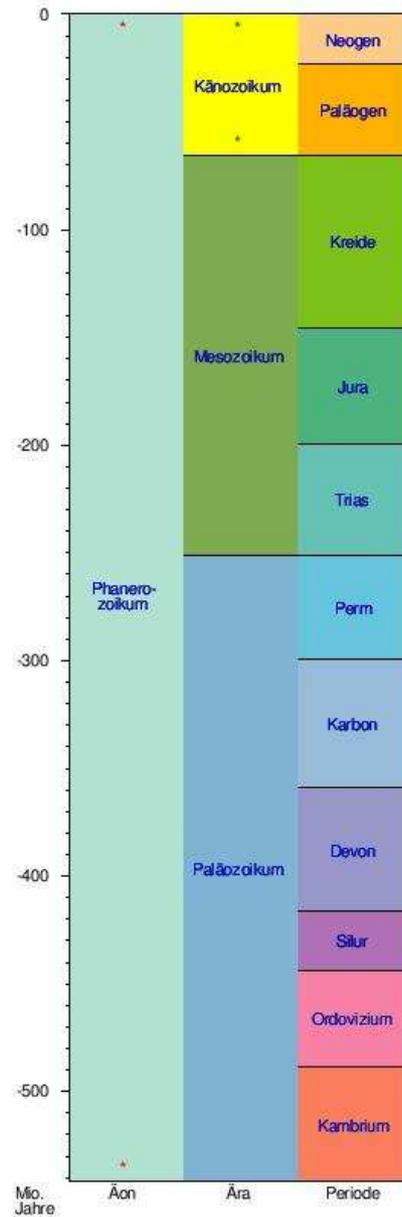
CO₂ Anstieg in Hawaii



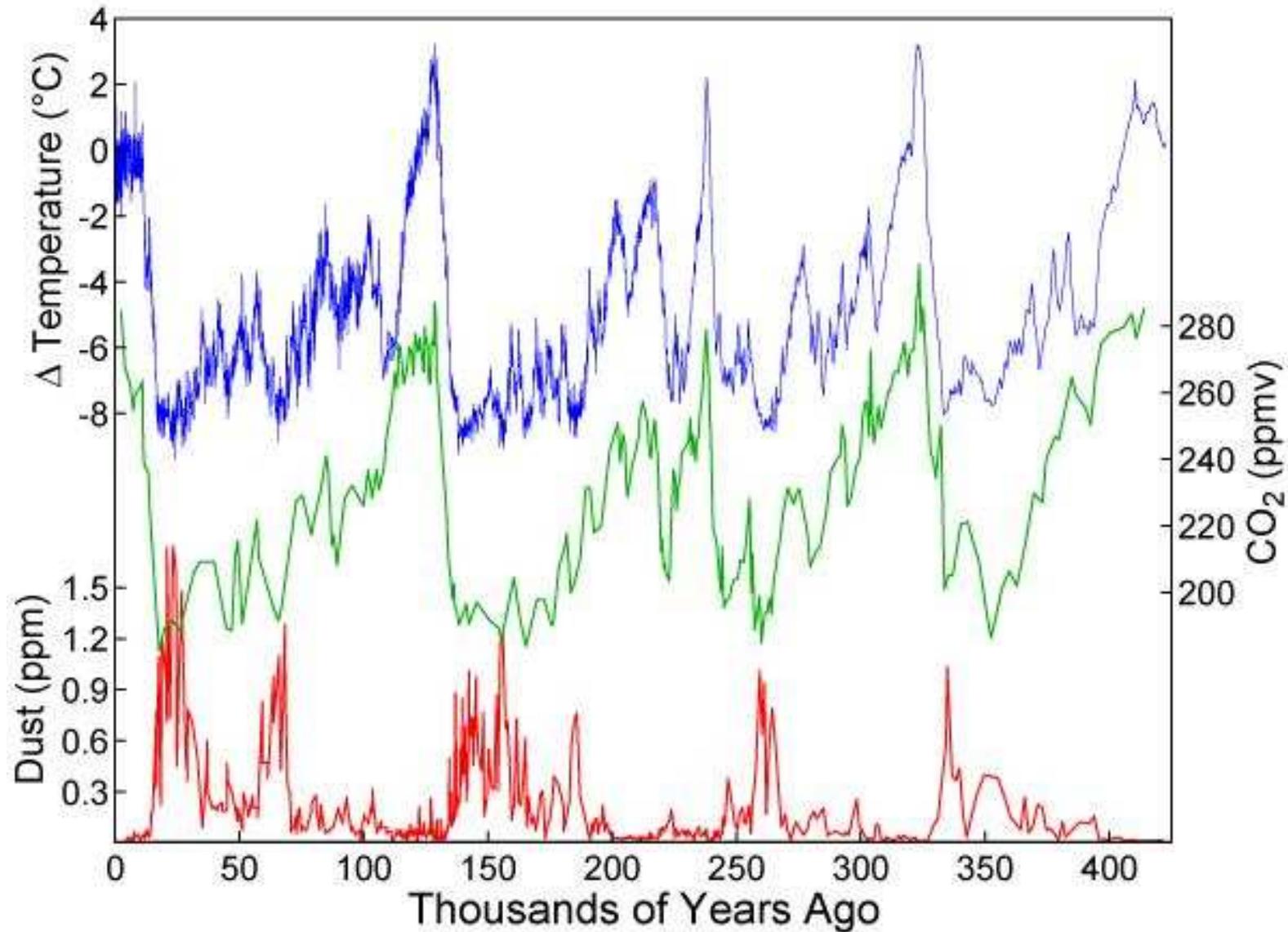
CO₂ in geologischen Zeiträumen



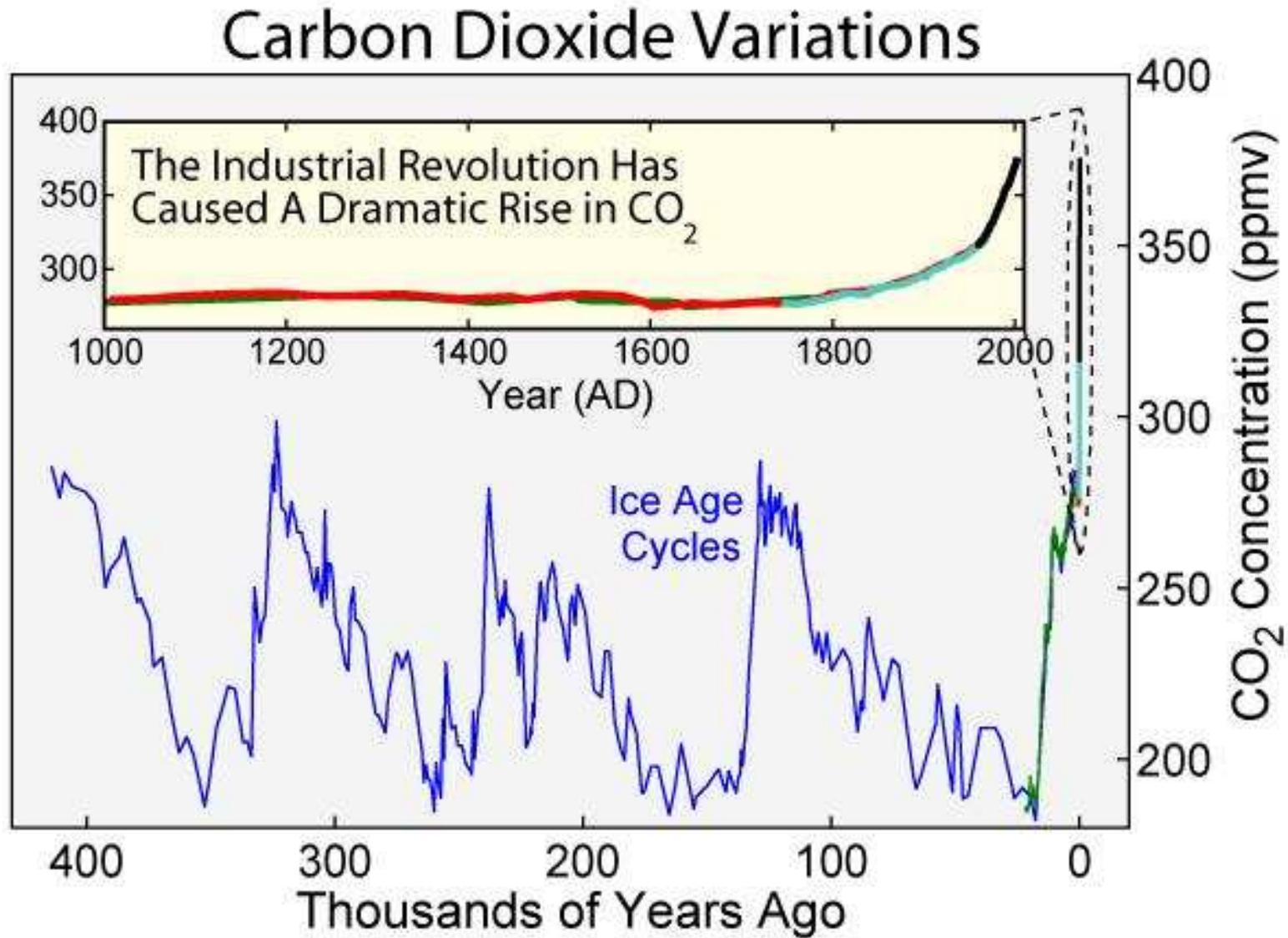
Geologische Zeitskalen



Staub, CO_2 und Temperatur



CO₂ Anstieg

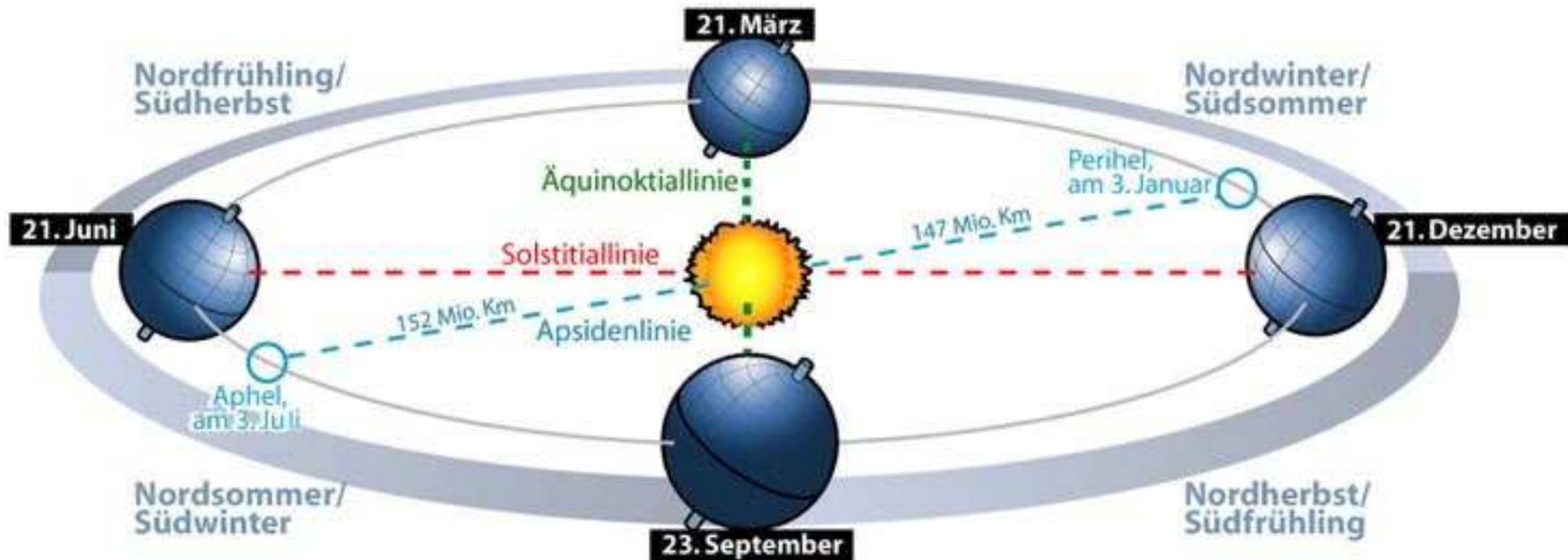


Natürliche CO₂ Schwankungen

periodische Temperaturschwankungen, durch astronomische Ursachen bedingt

- Der Zeitpunkt zwischen Perihel und Aphel der Erde ändert sich mit einer Periode von 21 000 Jahren
- Die Präzession der Erde hat eine Periode von 26 000 Jahren
- Die Neigung der Erdachse schwankt zwischen 21,8 und 24,4 Grad mit einer Periode von 40 000 Jahren
- Die Exzentrizität der Sonne variiert mit einer Periode von 96 000 Jahren

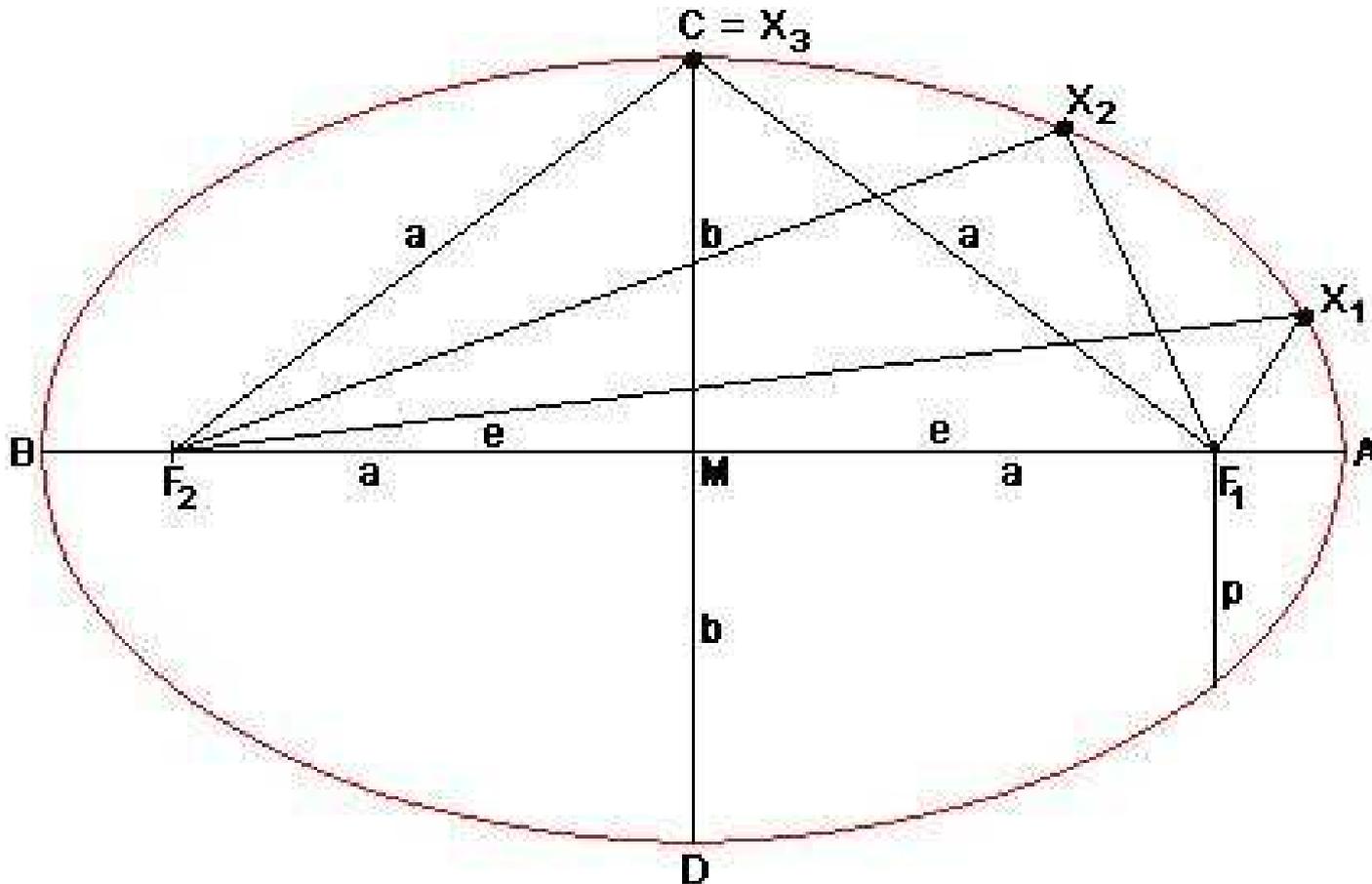
Perihel und Aphel



Exzentrizität

e - Exzentrizität

$\epsilon = e/a$ - numerische Exzentrizität (= 0,017 für die Sonne)



Aperiodische CO₂ Schwankungen

- Vulkanismus: durch viel Staub in den oberen Atmosphärenschichten wird ein größerer Teil des Sonnenlichtes reflektiert → es wird kälter.
- Asteroideneinschläge
- Eis: und Schneebedeckung: viel Schnee → höhere Reflektion → es wird kälter
weniger Schnee: → mehr Absorption → es wird wärmer (selbstverstärkende Prozesse)
- Änderung von Windverhältnissen
- chaotisches Wetterverhalten
- es gab in der Vergangenheit sehr kurzfristige Klimaänderungen

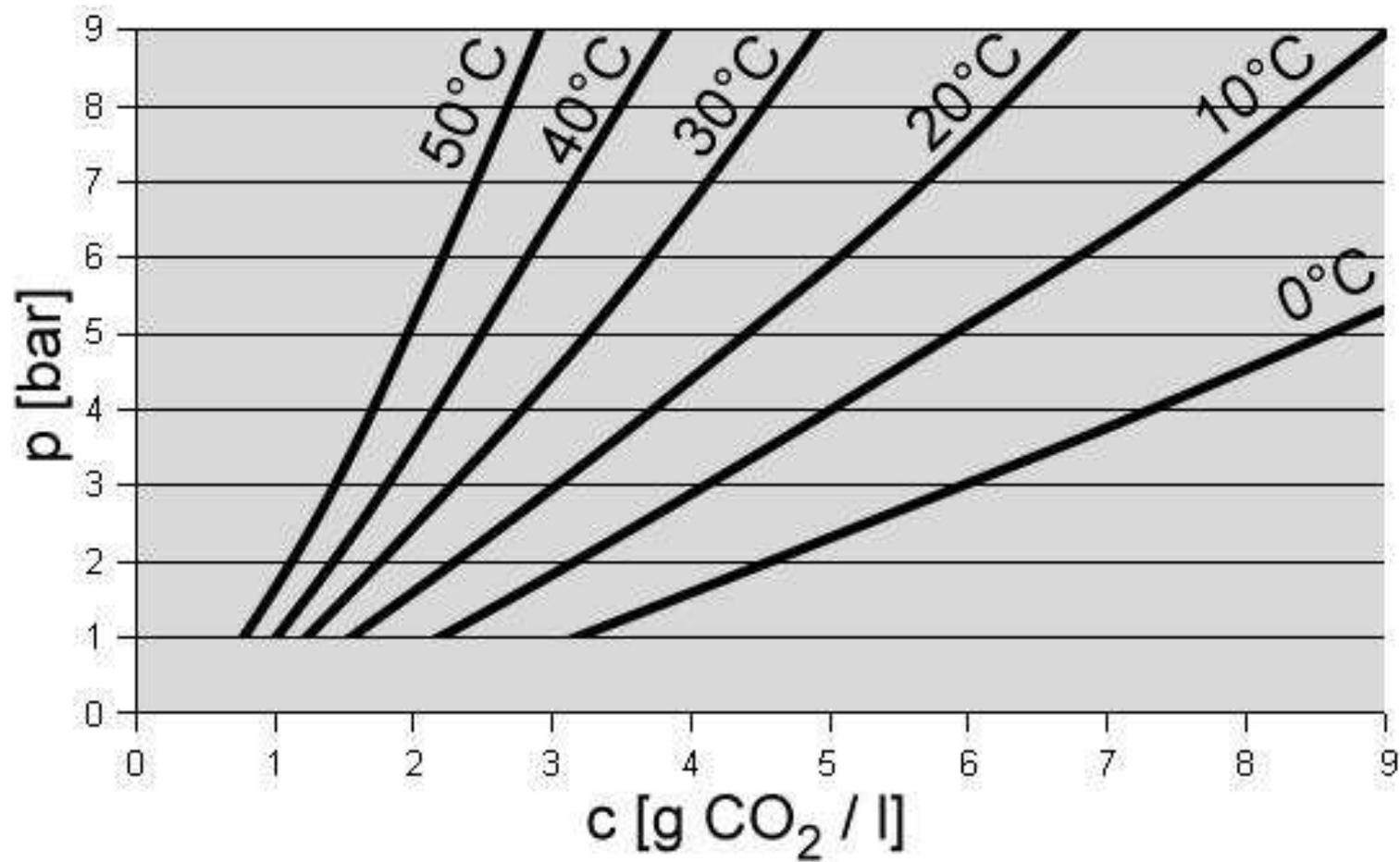
CO₂ Sequestrierung

- 0,32 kg Steinkohle erzeugen 0,88 kg CO₂ entsprechend 1 kWh
- Abgasreinigung: Das Abgas enthält etwa 15 % CO₂
Trennung von N₂, H₂, und CO₂ mit einer Effizienz von 90 %
Wirkungsgradeinbußen im Gesamtprozeß ≈ 10 %
- → Mehrbedarf an Brennstoff ≈ 40 - 50 %
- erheblicher Mehrbedarf an Investitionen ≈ 90 %
- Besser: Kohlevergasung: Oxyfuel-Verfahren:
Kohle + Wasserdampf → H₂ + Reste
und H₂ Verbrennung mit reinem Sauerstoff

CO₂ Sequestrierung

- Verwendung von CO₂ für die Industrie als Löse- und Reinigungsmittel: nur 0,1 % des erzeugten CO₂ werden benötigt
- Synthese von Methanol aus CO₂ gemäß
$$CO_2 + 3 \cdot H_2 \Rightarrow CH_3OH + H_2O$$
- erfordert einen Energiebedarf an 50 kJoule pro Mol: zuviel
- Verpressung in unterirdischen Speichern? Wenn es leckt, gelangt CO₂ an die Oberfläche
⇒ Seen, in denen das Leben erstickt, denn CO₂ ist schwerer als Luft
- Abscheidung in Ozeanen? Unabsehbare ökologische Folgen!

Löslichkeit von CO_2 in Wasser



Trockeneis; CO_2 ; -78 Grad Celsius



Nyos-Unglück

- Dichtigkeit von Endlagern??, Erdbeben, Vulkanismus?
- Der Nyos-See ist ein Kratersee in Kamerun (Zentralafrika).
- Er befindet sich in einem alten Vulkankrater im Oku-Vulkangebiet.
- Der See ist bekannt geworden durch die Nyos-Tragödie, bei der im August 1986 plötzlich große Mengen von CO_2 aus dem See austraten und etwa 1700 Bewohner der umliegenden Dörfer töteten.

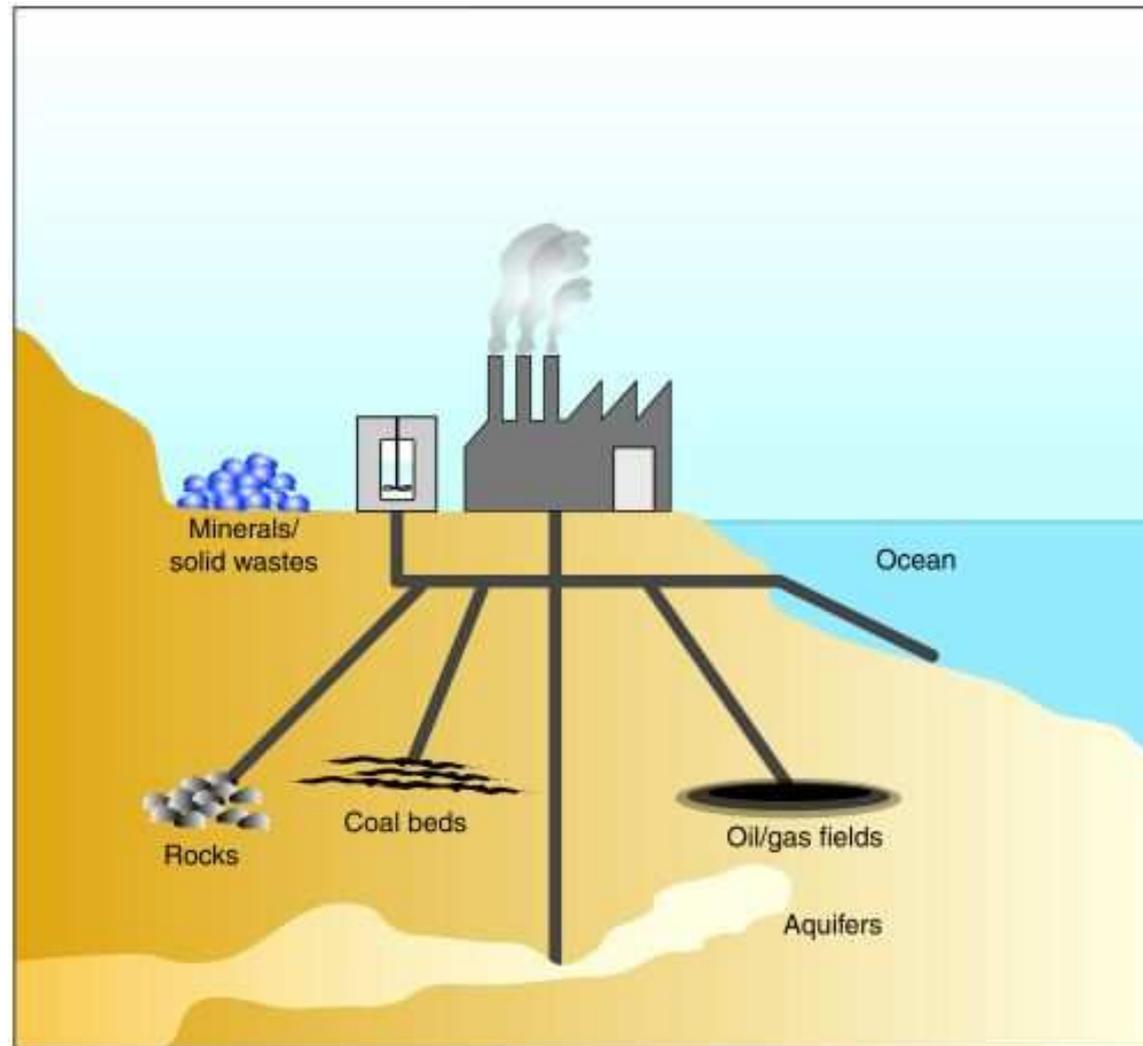
Nyos-See in Kamerun



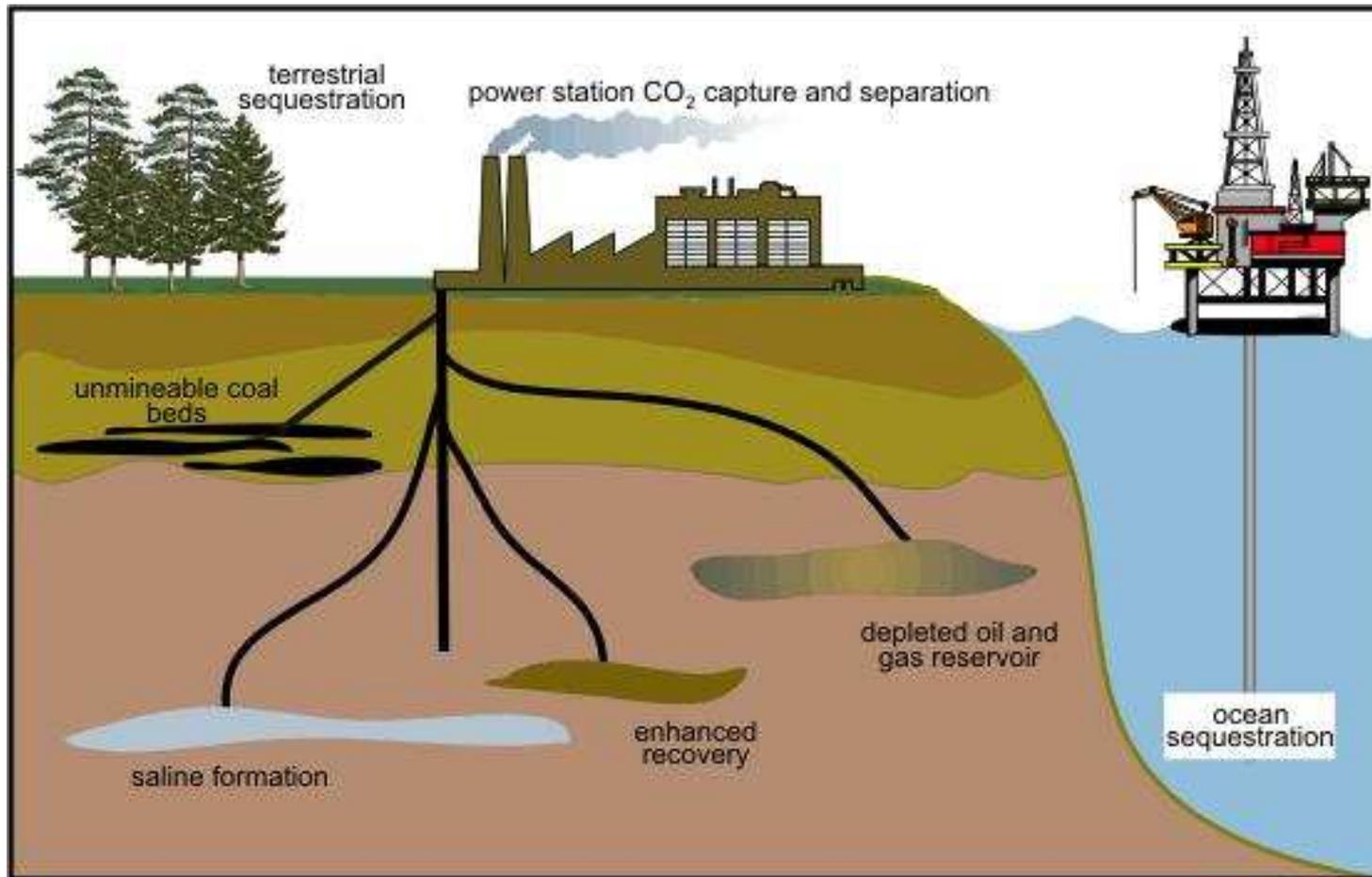
Aussichten der CO₂ Einlagerung

- 50 bis 100 US Dollar pro Tonne abgeschiedenes CO₂
- Der Gesamtwirkungsgrad eines Kohlekraftwerks mit CO₂ Abscheidung fällt von 38 % auf 23 %
- Man braucht also einen höheren Kohleverbrauch von 50 %.
- Bislang gibt es nur kleine Pilotanlagen
- Technischer Einsatz in 10 bis 20 Jahren möglich
- ab 2020 wird Windenergie billiger sein als Energie aus Kohleverbrennung

CO₂ Speichermöglichkeiten



CO₂ Speichermöglichkeiten



Einsparpotenzial an CO₂

- Der Gesamtausstoß an CO₂ in Deutschland beträgt ca. 360 Millionen Tonnen jährlich
- Ersetzen alter fossiler Kohleraftwerke durch neue, moderne und Umrüstung auf Erdgas statt Kohle:
 - 23 Millionen Tonnen
- Biomasse und Biokraftstoffe:
 - 20 Millionen Tonnen
- Offshore Windanlagen und sonstige Regenerative Energiequellen:
 - 10 Millionen Tonnen
- Umsetzung der beschlossenen AKW-Abschaltung:
 - + 112 Millionen Tonnen

Weitere Maßnahmen

- 'Geo-Engineering? Schattenspender im Weltraum?
Schwefelinjektion in die Atmosphäre??
- 'Oxyfuel' Speicherung von CO_2 in Gesteinsformationen
kostet 20 bis 25 % mehr an Energie
- Entzug von CO_2 aus der Umgebungsluft mit
Polymerfolien?? teuer!
- Verpressen von CO_2 im Meerwasser??
- Bessere Energiespeicher?
Bleiakku 30 Wh pro kg Masse
Lithium-Ionen Akku 200 Wh pro kg Masse
weitere Verbesserungen möglich
- kein Bio-Ethanol, da insgesamt klimaschädlich

Verrückte Ideen

- Paul Crutzen (FCKW-Nobelpreis): Schwefelinjektion in die Atmosphäre??
- einige hundert Raketen mit einer Million Tonnen Schwefel in die Stratosphäre schießen
- Die Schwefelpartikel reflektieren einen Teil des Sonnenlichtes
- Auswirkungen?
- Saurer Regen?
- Schädigung der Ozonschicht?
- als Notfallmassnahme, wenn das Klima aus dem Ruder läuft???

Mehr verrückte Ideen

- Sonnenschirm im Weltraum über der Erde aus Aluminiumfolien von der Größe Nordamerikas
- soll 3,5 % der Sonnenstrahlung reflektieren
- könnte bei Misserfolg wieder eingeholt werden
- weitere Ideen: Injektionen von 20 Millionen Tonnen Staub in die Atmosphäre: dämpft die Sonnenstrahlung um 1 Promille
- “Begrünen” der Wüsten mit Plastikbäumen, die die Luftfeuchtigkeit einfangen und in den Boden leiten. Später könnten echte Bäume wachsen und CO_2 absorbieren.
- Algenwachstum drastisch steigern durch Düngung des Meerwassers mit Eisenoxid? Im Test fehlgeschlagen.

Noch mehr verrückte Ideen

- Alexander Abian: man sollte den Mond sprengen. Dadurch würde sich die Erdachse aus der Schiefelage von 23 Grad befreien und sich senkrecht auf die Ekliptik stellen:
- Es bricht ein globaler Frühling aus (keine Jahreszeiten mehr) mit mehr Pflanzen, die das CO_2 absorbieren.
- Die Mondbrocken könnte man im Pazifik versenken???

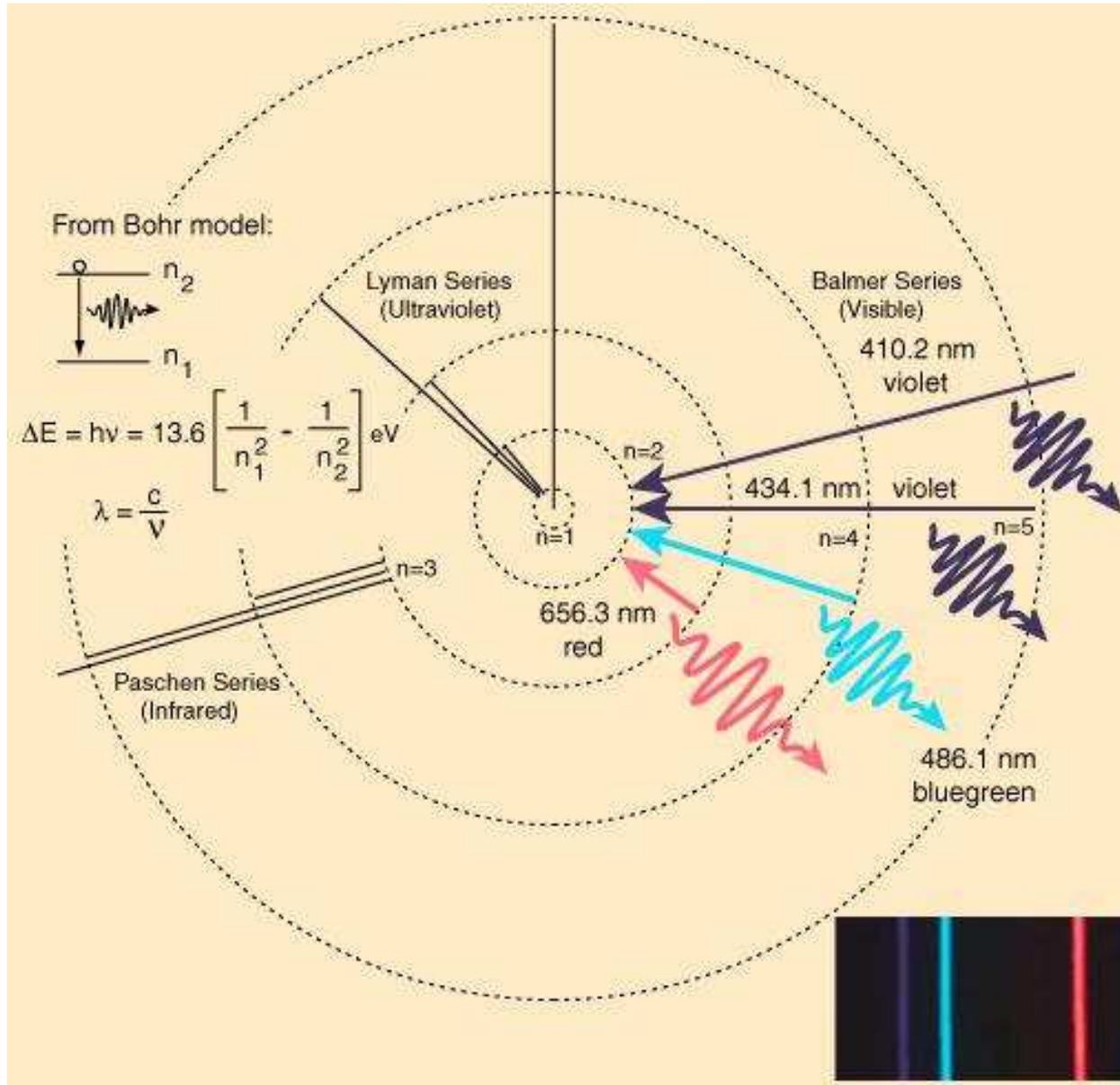
Massnahmen und Folgen

- Ausbreitung von Seuchen in vormals kältere Gebiete
- Ausbreitung von wärmeliebenden Pflanzenschädlingen
- Auftauen der Permafrostböden in Sibirien
⇒ noch mehr Klimagase (CO₂ und Methan)
- Bau eines Damms bei Gibraltar: der steigende Meeresspiegel würde dann die teuren Tourismus-Hochburgen an den Mittelmeerufern verschonen???
- Mojib Latif: “Wer das Übel nicht bei der Wurzel packt, ist grundsätzlich bescheuert!”

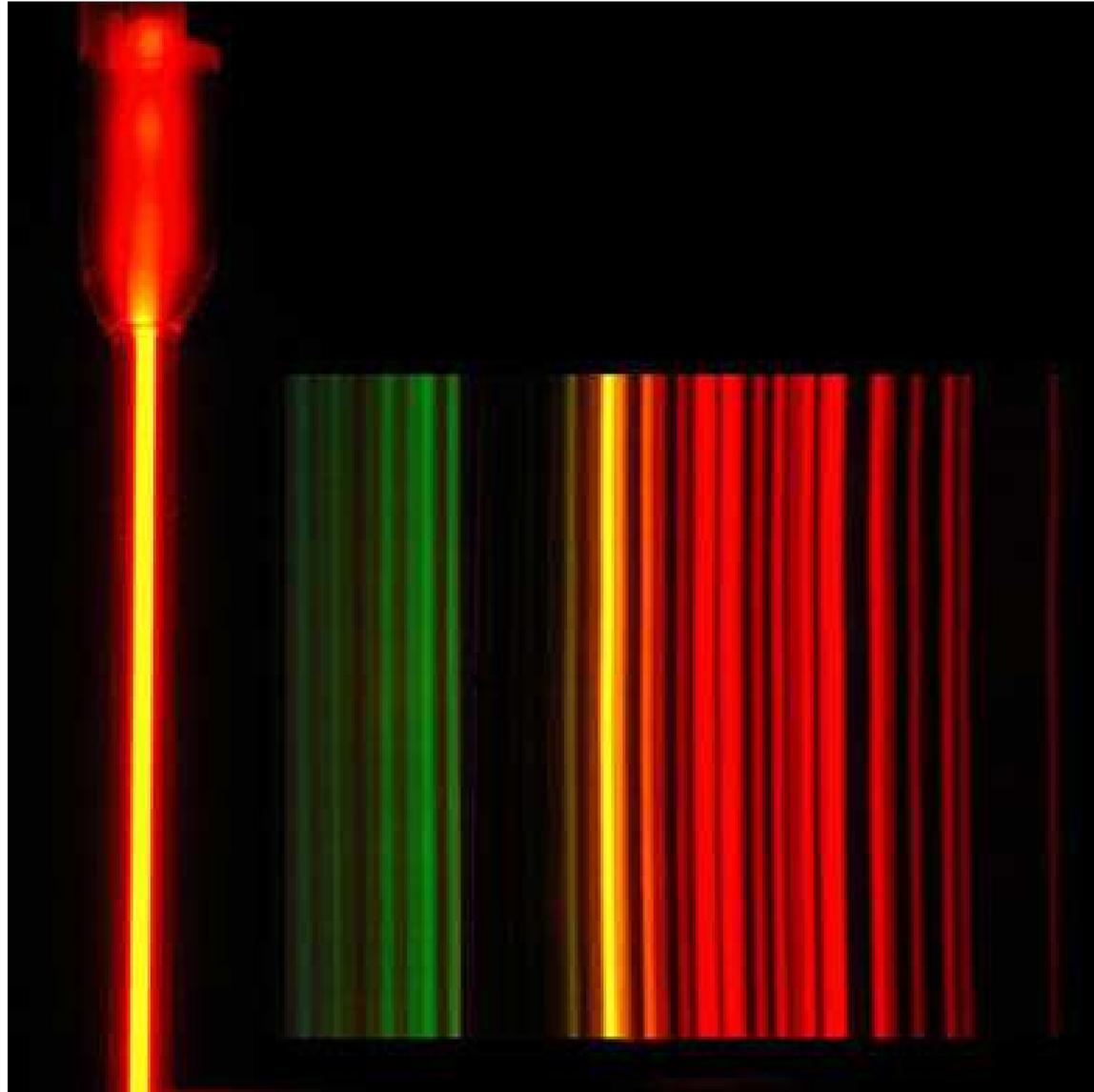
Gegenargumente

- Nicht CO_2 sondern der Wasserdampf ist das wichtigste Treibhausgas: Wenn CO_2 die Atmosphäre erwärmt, verdunstet mehr Wasser und es bilden sich mehr Wolken, die die Erde kühlen. Es wird sich ein Gleichgewichtszustand einstellen.
- Die Temperaturerhöhung von 0,6 Grad liegt in der normalen Schwankungsbreite: keine Aufregung
- Die meisten Messstationen liegen in Städten und an Flughäfen - also typischen Wärmeinseln: Die "globalen" Messergebnisse sind deshalb falsch.
- Der Teibhauseffekt verlängert die Wachstumsperiode: Die Pflanzen wachsen länger und nehmen mehr CO_2 aus der Luft auf, was die Erwärmung begrenzt.

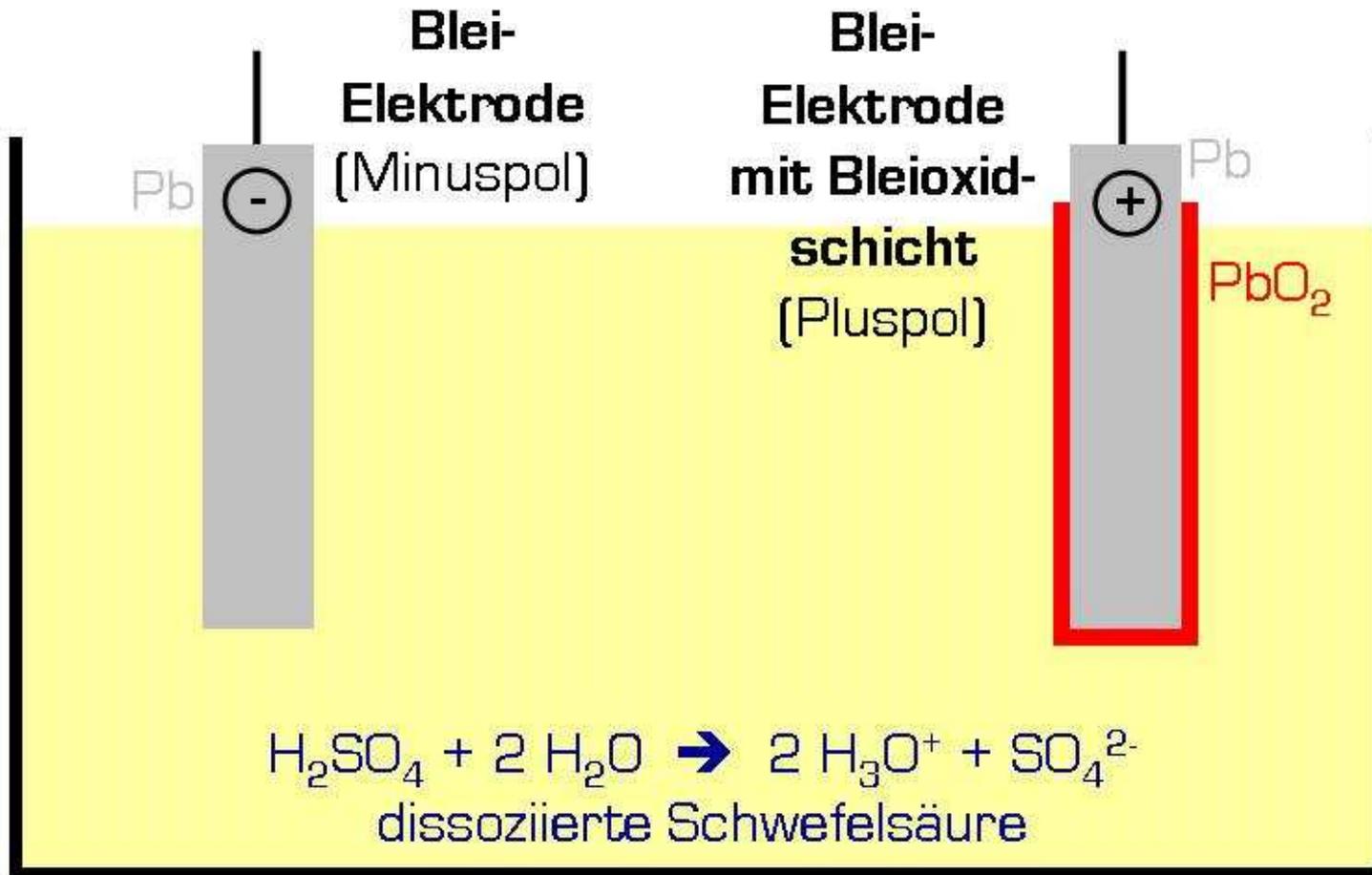
Atomspektren



Atomspektren



Bleiakkumulator



Energiespeicherung: Akku

- Bleiakkumulator



- positiver Pol:



- Gesamtreaktion:

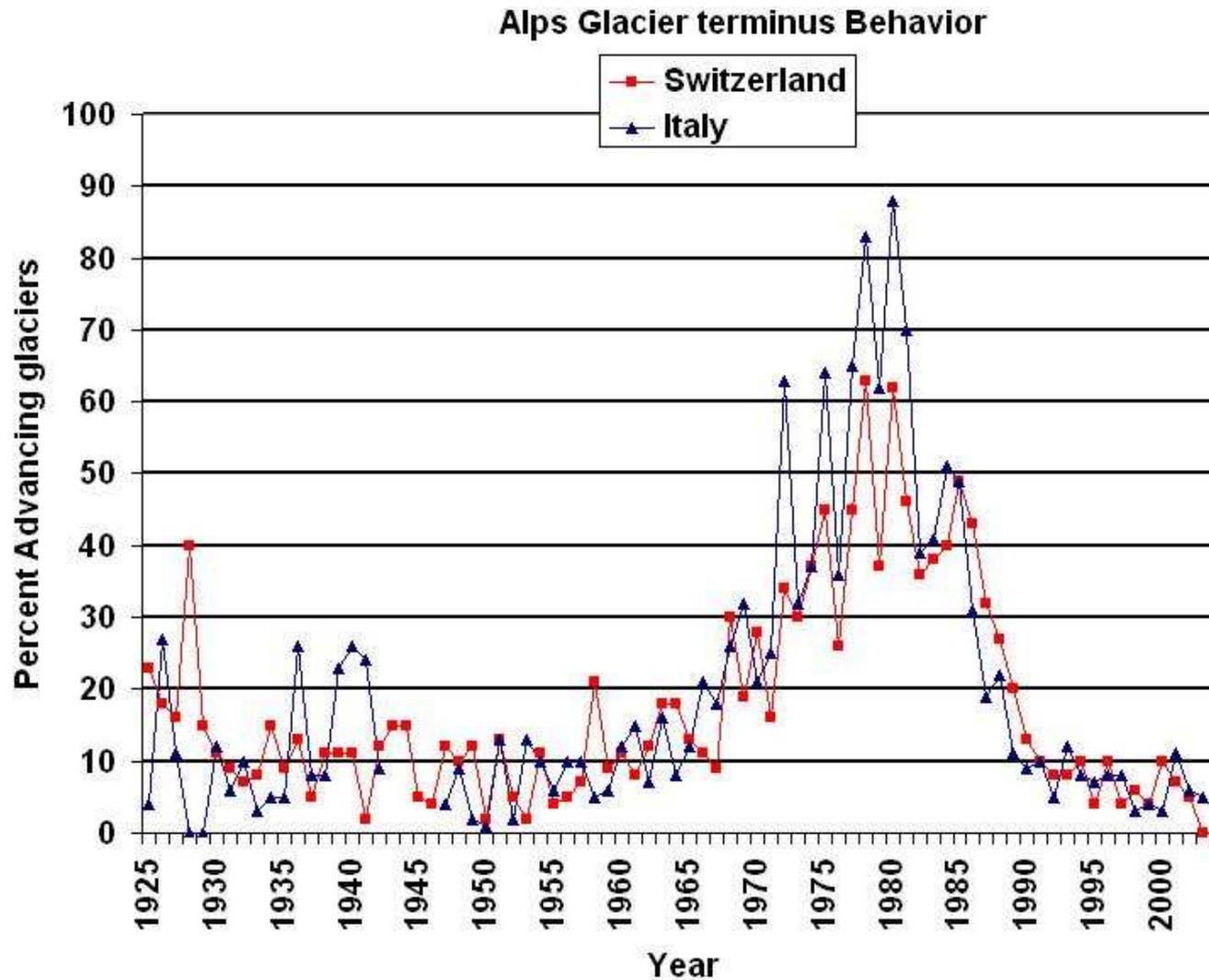


Noch mehr Ideen

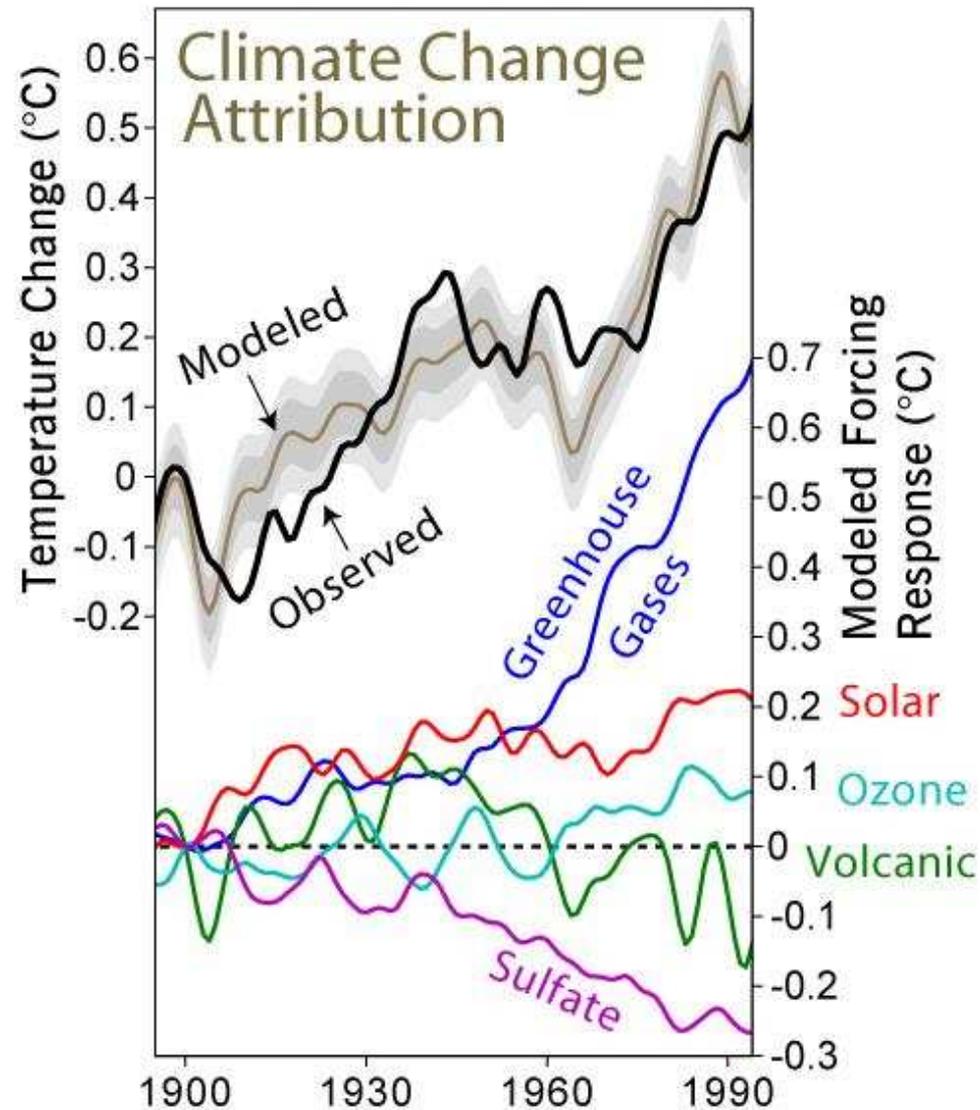
- Transmutationsreaktor: sichere Elementumwandlung: teuer, aber gut
Experimentalreaktor: EUROTRANS 50 bis 100 MW_{th} ; inhärent sicher
- JET: breakeven 16 MW Fusionsenergie, 16 MW Heizenergie
- ITER: Fusionsenergie = 10 x Heizenergie, geplant
- Wasserstoff als Energieträger? Schwierige Speicherung
Wasserstoff leckt überall heraus. Als NH_3 oder CH_3OH speichern?
- Passivhäuser: Einsparpotential Faktor 10?

Gletscherlängen

geringer Vulkanismus in der ersten Hälfte des letzten Jahrhunderts



Temperaturvariation



Temperaturen am 31.7.08

Rekordtemperaturen über 35 Grad, auch in Siegen



Lebensräume von Tieren?

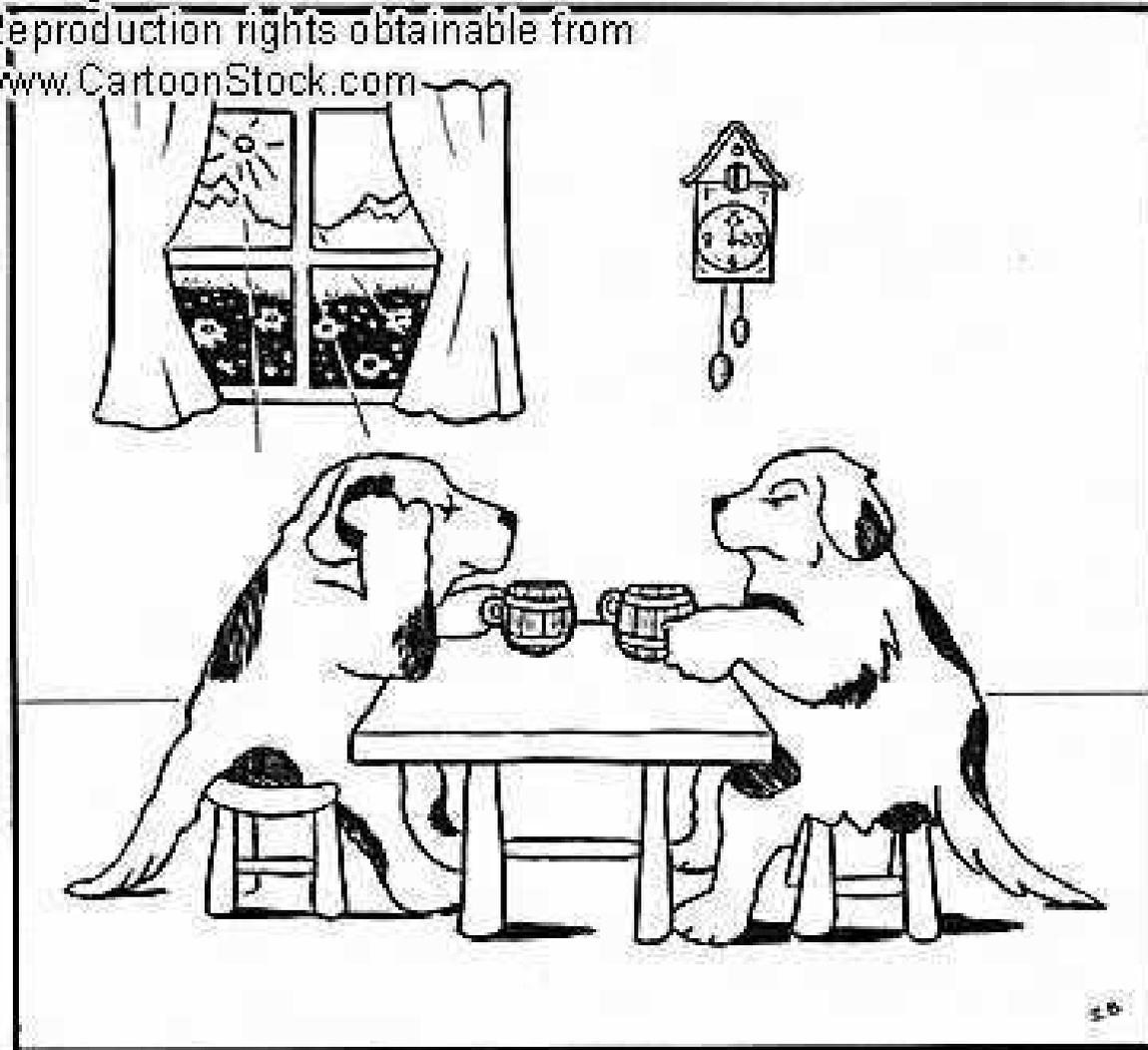


Lebensräume von Tieren?

© Original Artist

Reproduction rights obtainable from

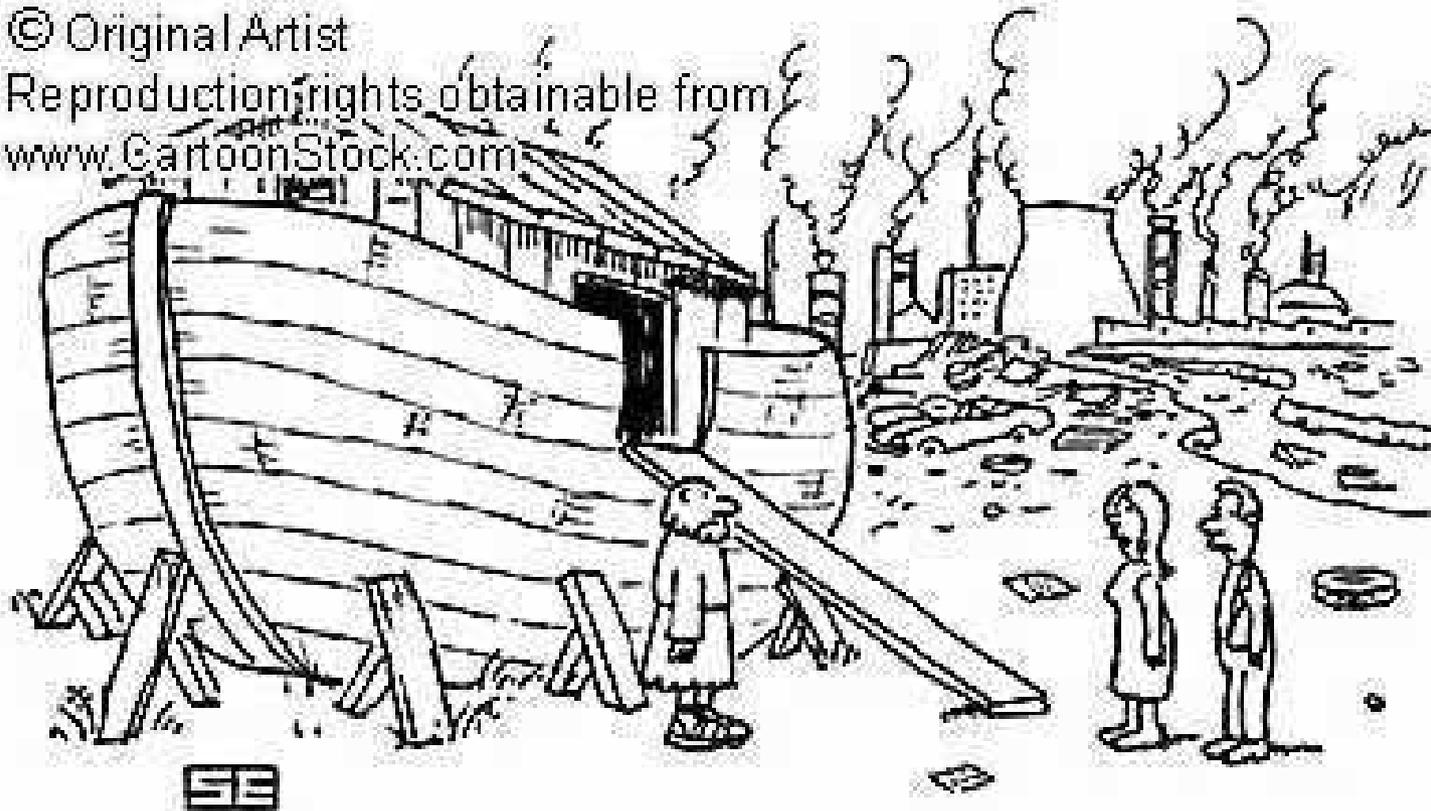
www.CartoonStock.com



ST. BERNARDS, UNEMPLOYED DUE TO THE GREENHOUSE EFFECT.

Lebensräume von Tieren?

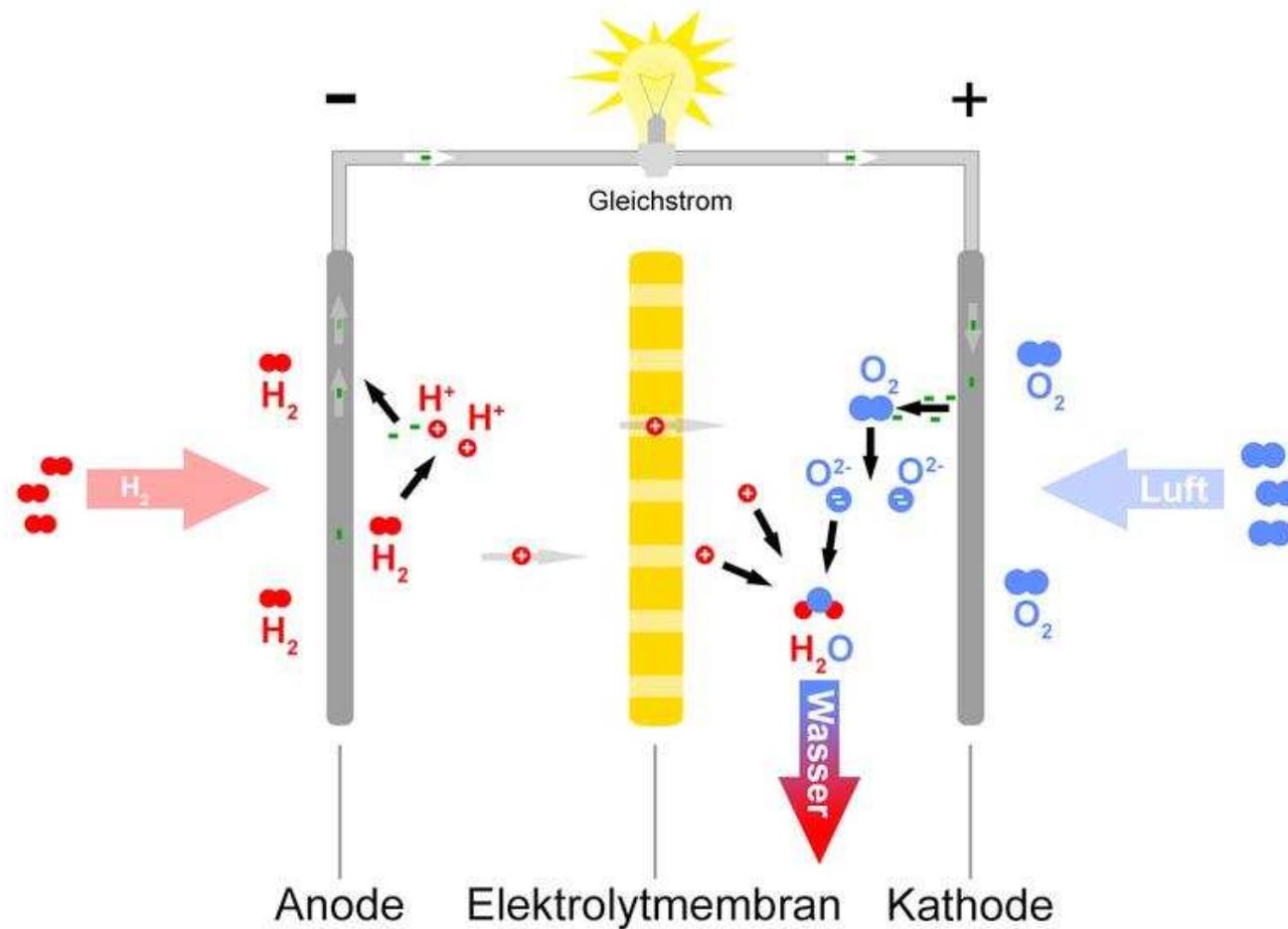
© Original Artist
Reproduction rights obtainable from
www.CartoonStock.com



*"There is nobody else. I'm afraid we've wiped out all
of the other species."*

Zukunftsspeicher

Brennstoffzelle



Thermodynamik I

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)

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

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

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

Thermodynamik II

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

Thermodynamik III

In 383 Jahren wird die Erde kochen,
unabhängig vom CO_2 Problem
(falls wir ein permanentes Wachstum haben werden)

Fazit

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

Zusammenfassung

- **Das CO_2 Problem muss jetzt angepackt werden.**
- **Es ist fast schon zu spät**
- **Die Restlaufzeiten der Kernkraftwerken müssen verlängert werden**
- **Es muss mehr in Energieforschung investiert werden.**
- **Es muss mehr in Speichertechniken investiert werden.**
- **Langfristig muss der Mensch lernen, von regenerativen Energien zu leben.**