

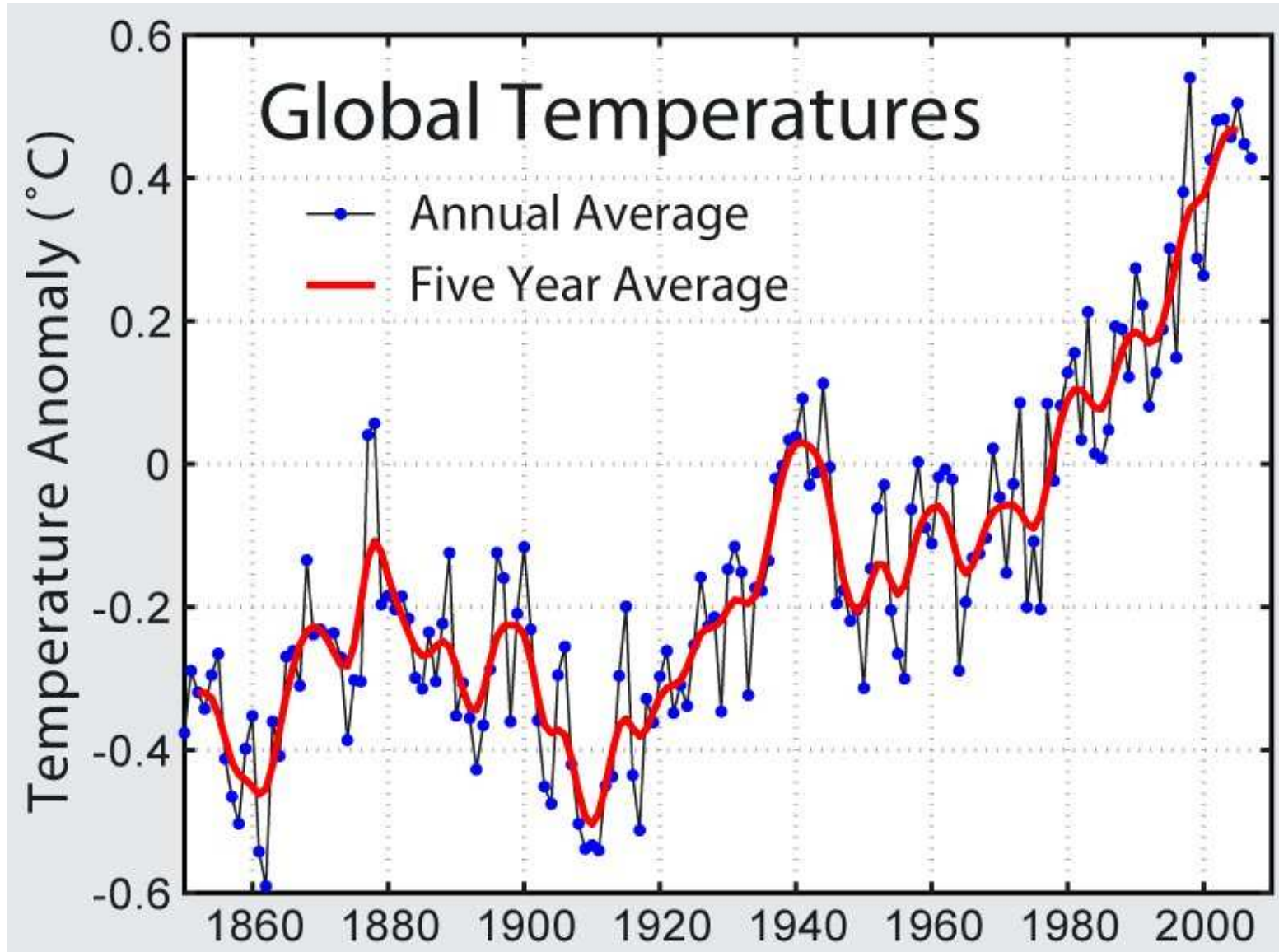
# Zukunft der Energieversorgung

Es wird höchste Zeit umzudenken



Universität Siegen  
Claus Grupen

# Warnung



# Übersicht

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

# Übersicht über den Energieverbrauch

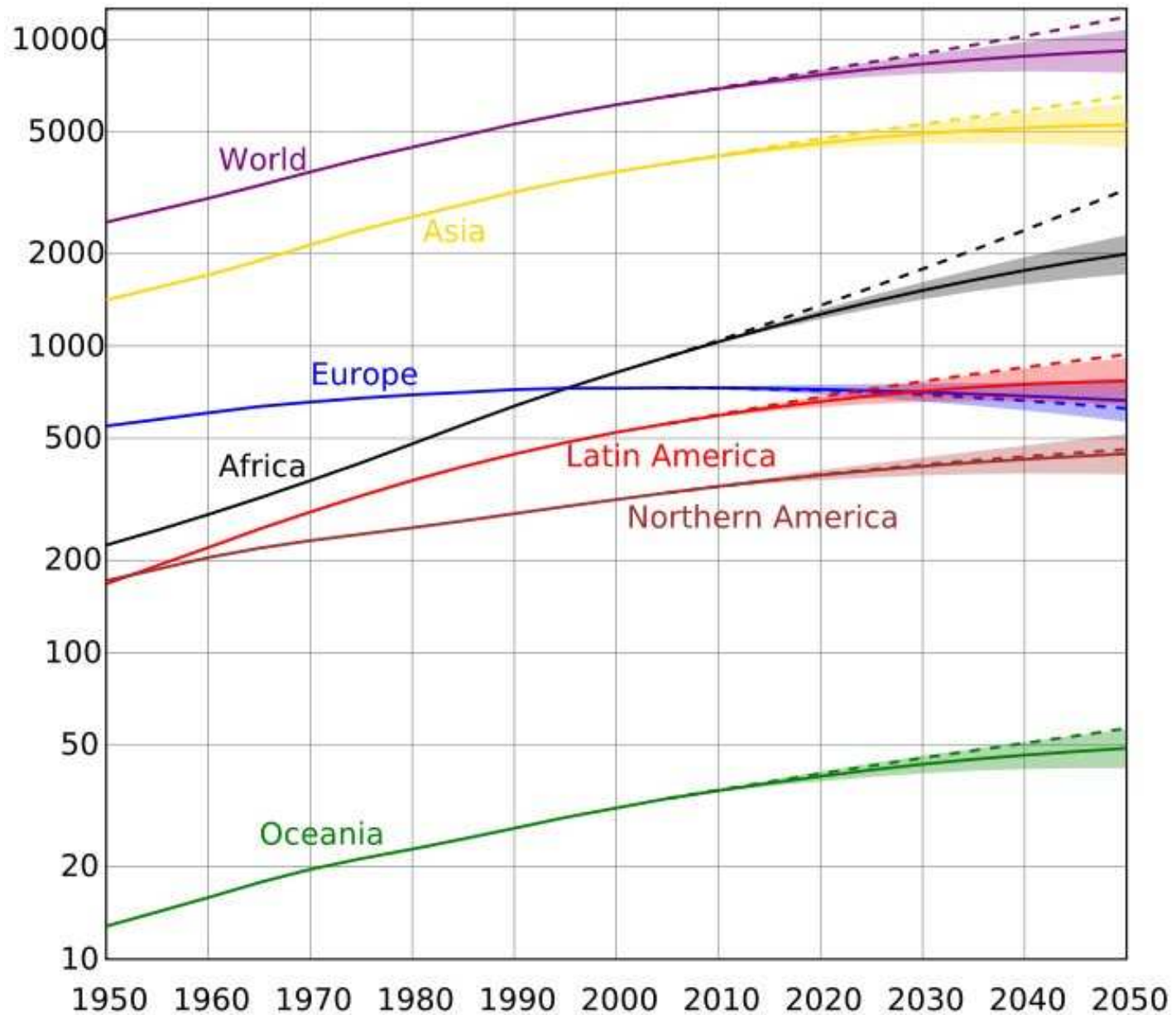
Wieviel Energie braucht der Mensch?

Seine Körperleistung beträgt etwa 100 Watt. Man benötigt Energie für

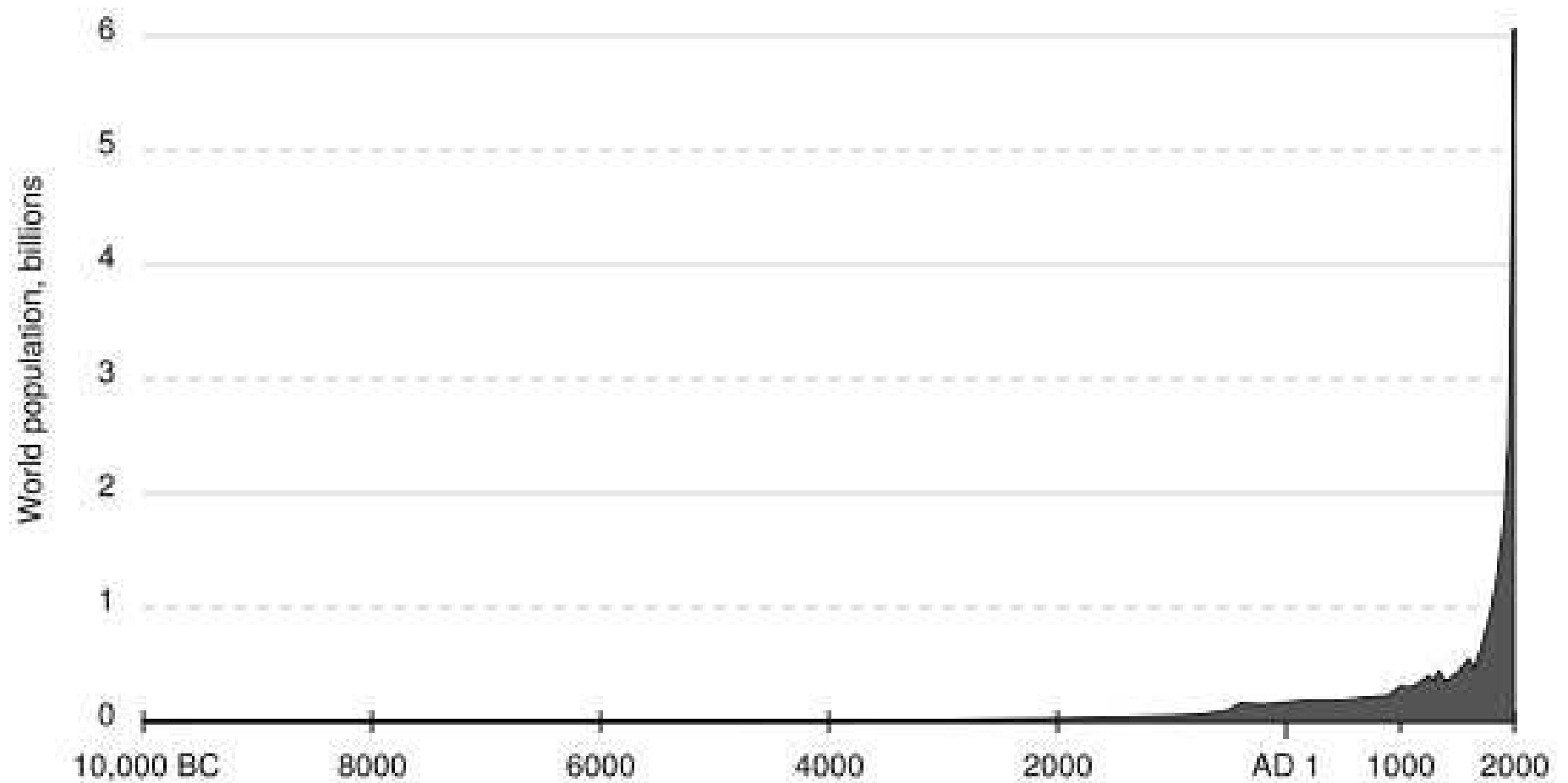
- Heizung
- Nahrung
- Verkehr
- Beleuchtung
- Urlaub, ...

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

# Weltbevölkerung



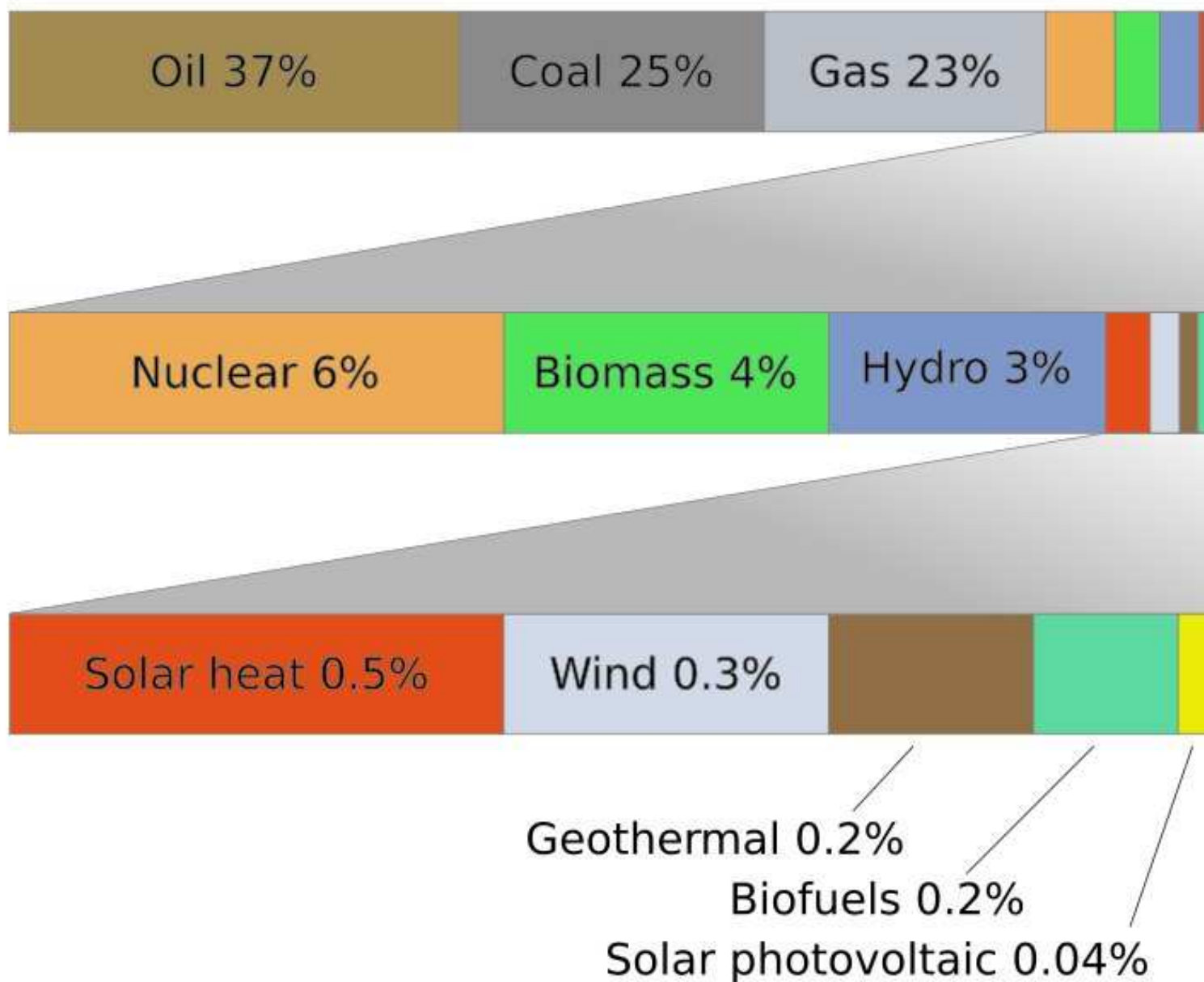
# Weltbevölkerung



# Wo kommt die Energie her?

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

# Energieverbrauch





# 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?

# 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>

# CO<sub>2</sub> 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](#)

# Kohle vs. Kraftfahrzeuge

- Summe der  $\text{CO}_2$  Emissionen der 10 größten deutschen Kohlekraftwerke: 165,6 Millionen Tonnen  $\text{CO}_2$  pro Jahr
- PKW: 180 g/km  $\text{CO}_2$  für Mittelklassewagen
- Fahrleistung 15 000 km/a
- Anzahl der zugelassenen Fahrzeuge: 42 Millionen
- $m(\text{CO}_2) = 0,18\text{kg/km} \cdot 42 \cdot 10^6 \cdot 15000 = 113 \cdot 10^6$   
Tonnen

# Radioaktivität in der Kohle

---

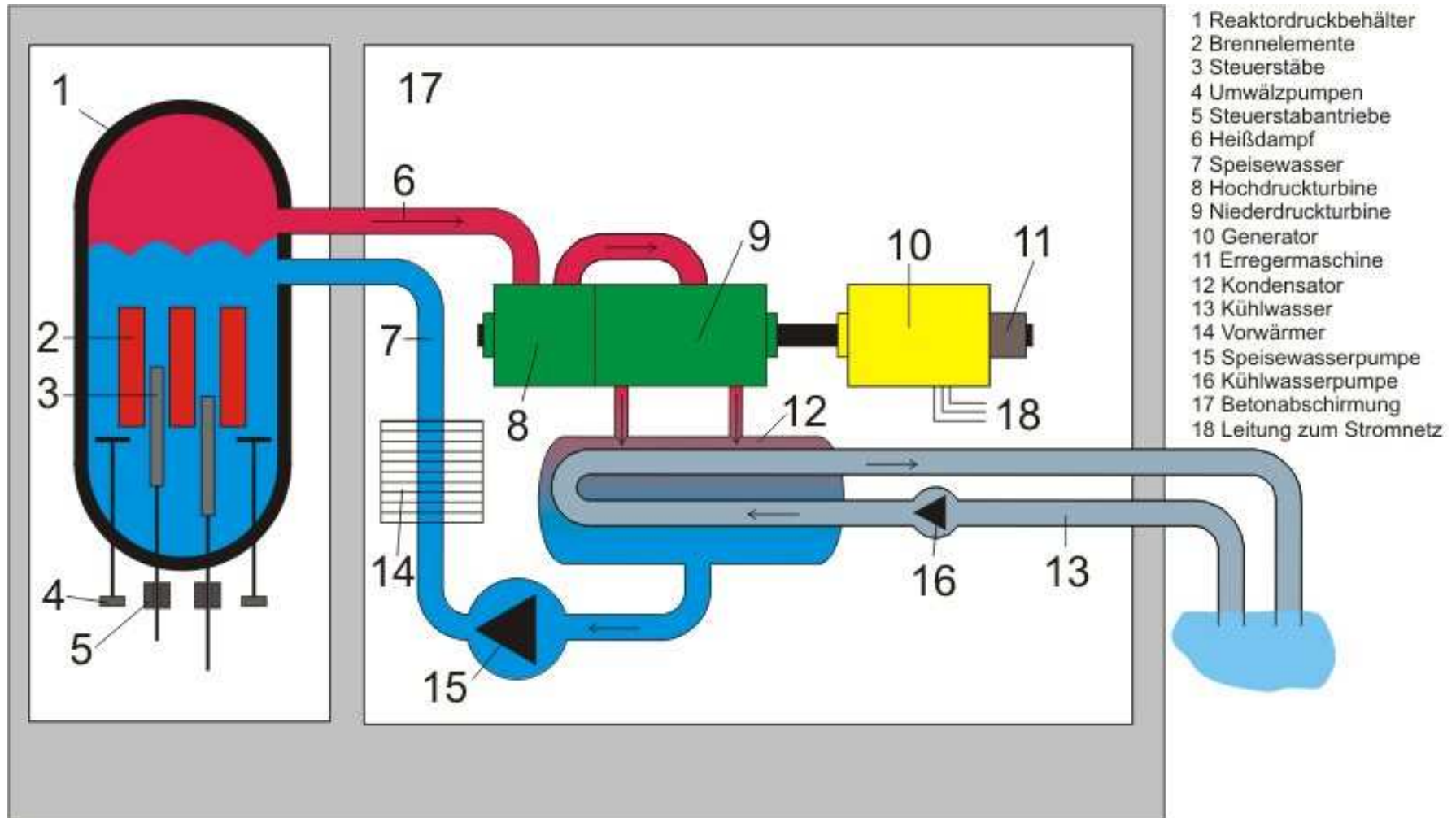
**Ein Kohlekraftwerk gibt mehr radioaktive Stoffe an die Umwelt ab als ein stabil laufendes Kernkraftwerk.**

# Kernspaltung

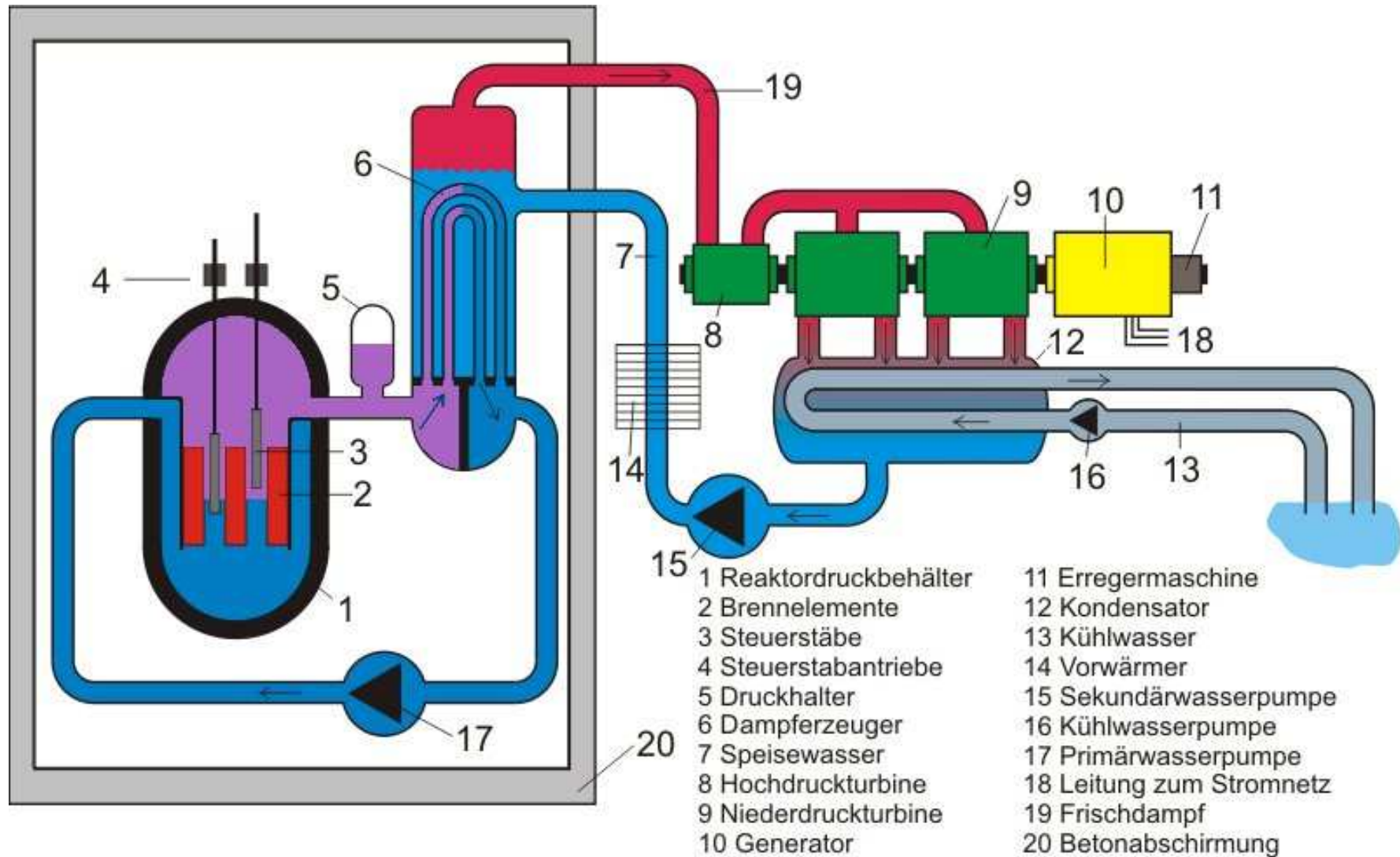
- 1938/39 von Hahn und Straßmann entdeckt
- Nobelpreis für Chemie
- Physikalische Erklärung von Lise Meitner und Otto Frisch
- ursprünglicher Plan: Erzeugung von Transuranen
- Spaltung von Uran mit langsamen Neutronen



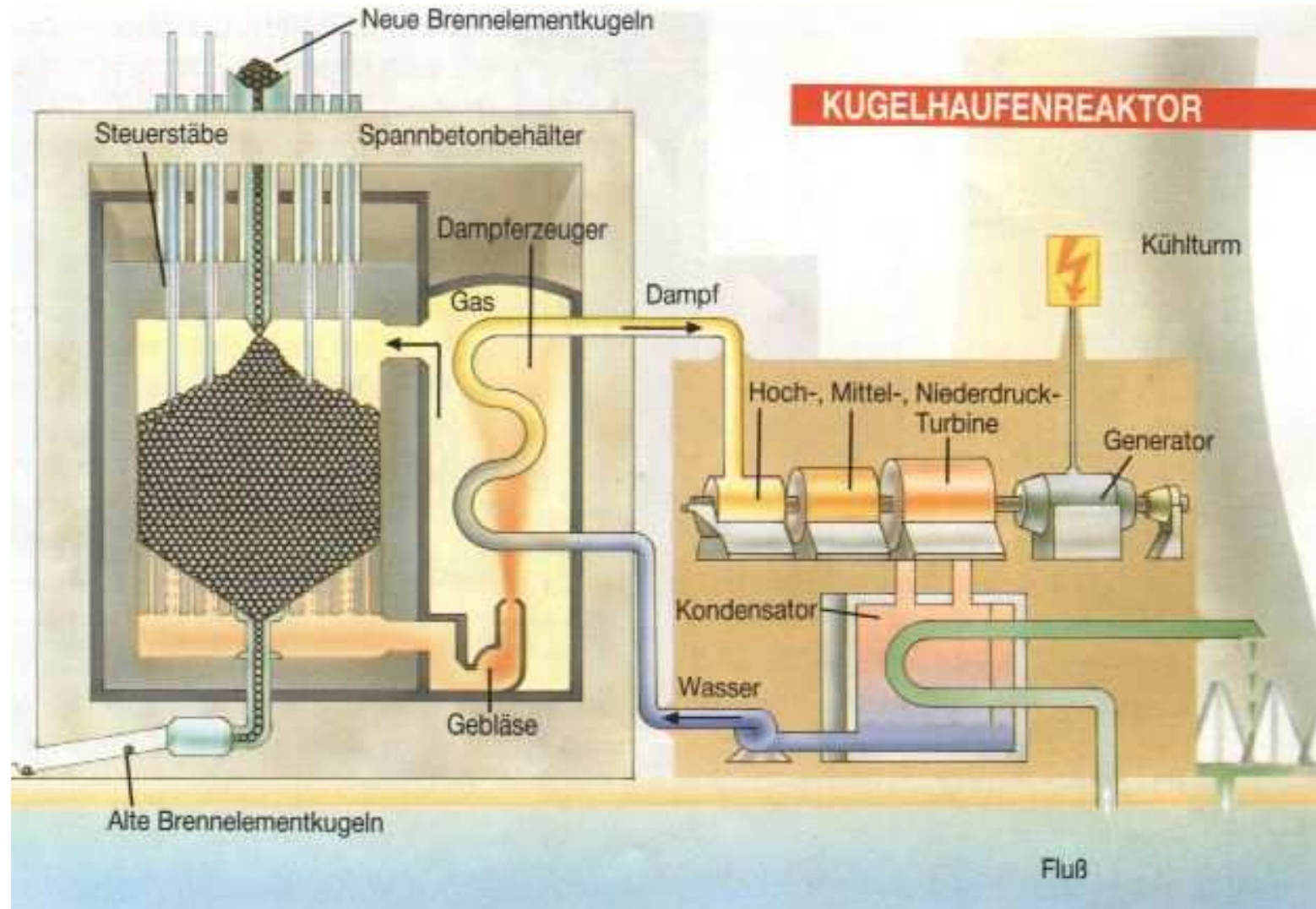
# Siedewassereaktor



# Druckwasserreaktor



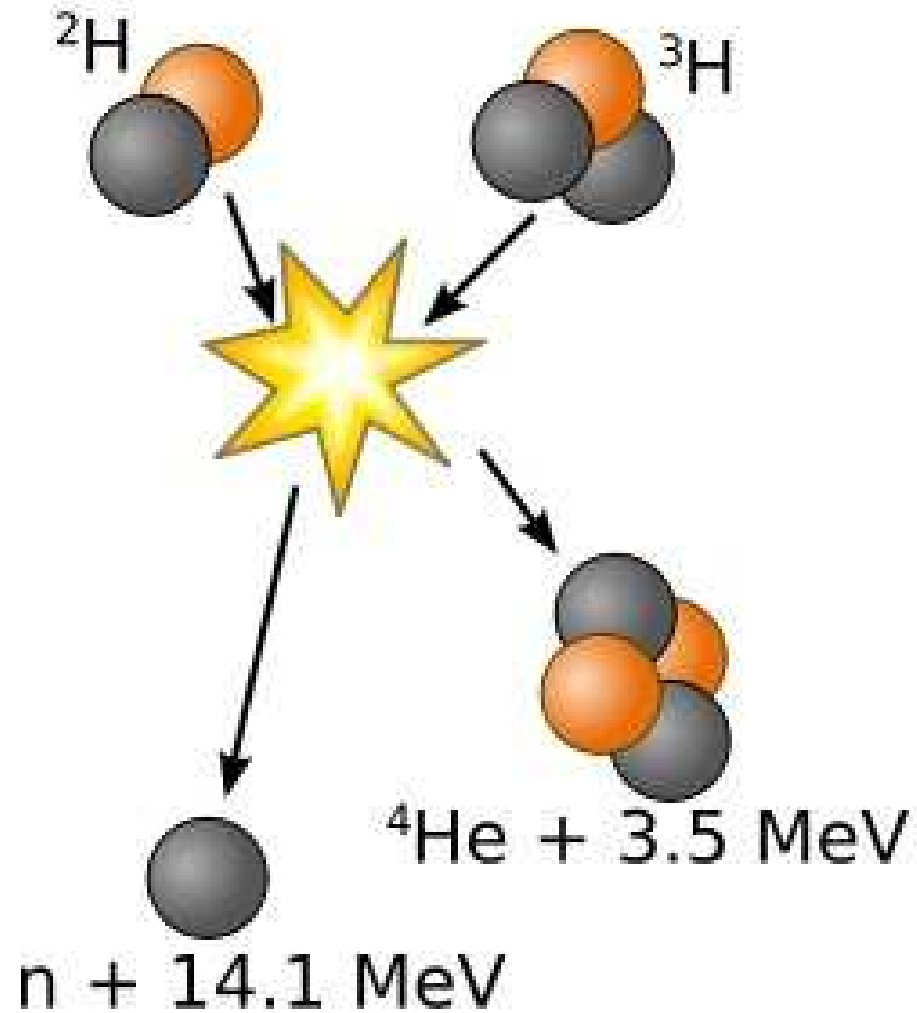
# Kugelhaufenreaktor



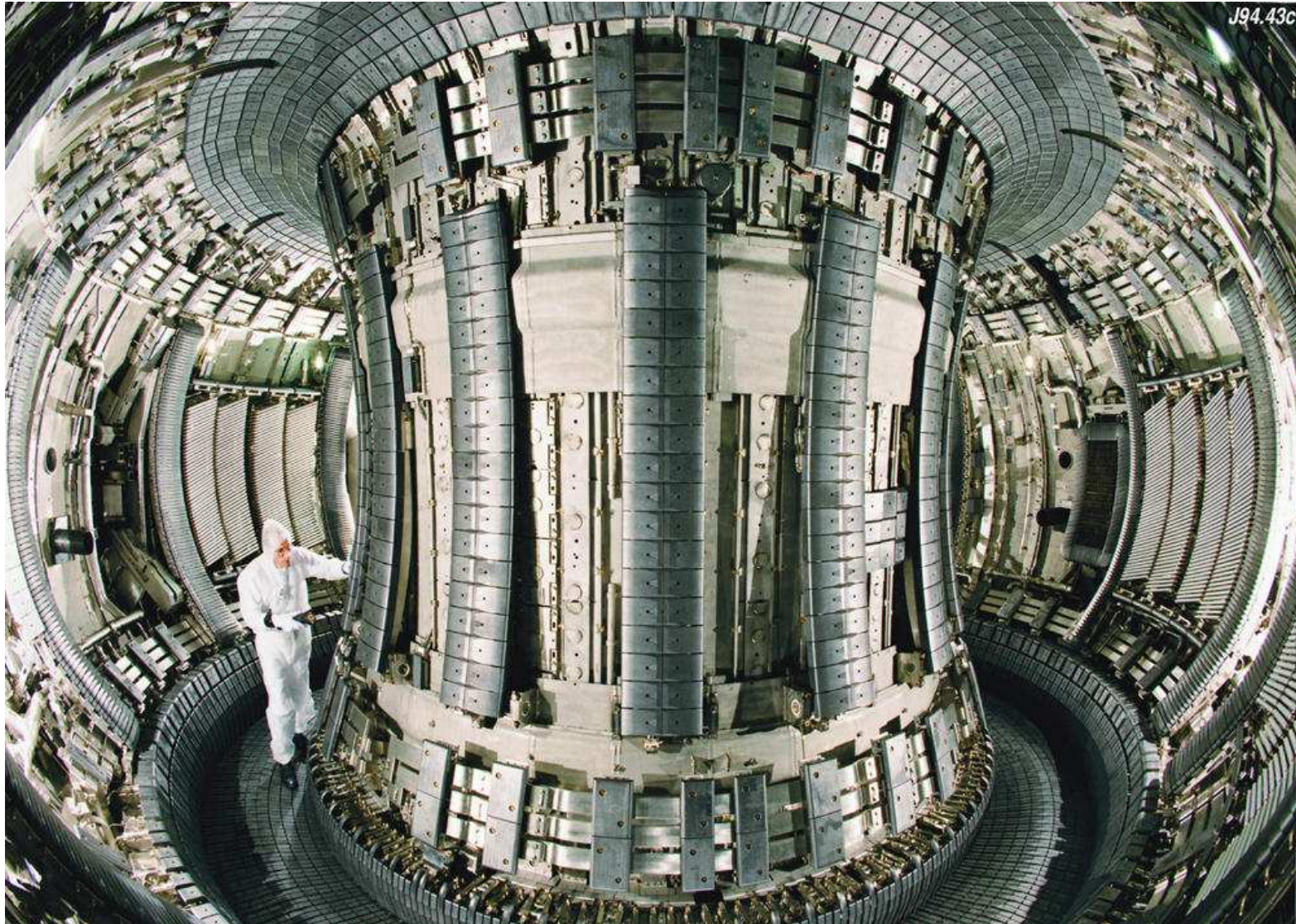
# Entsorgung



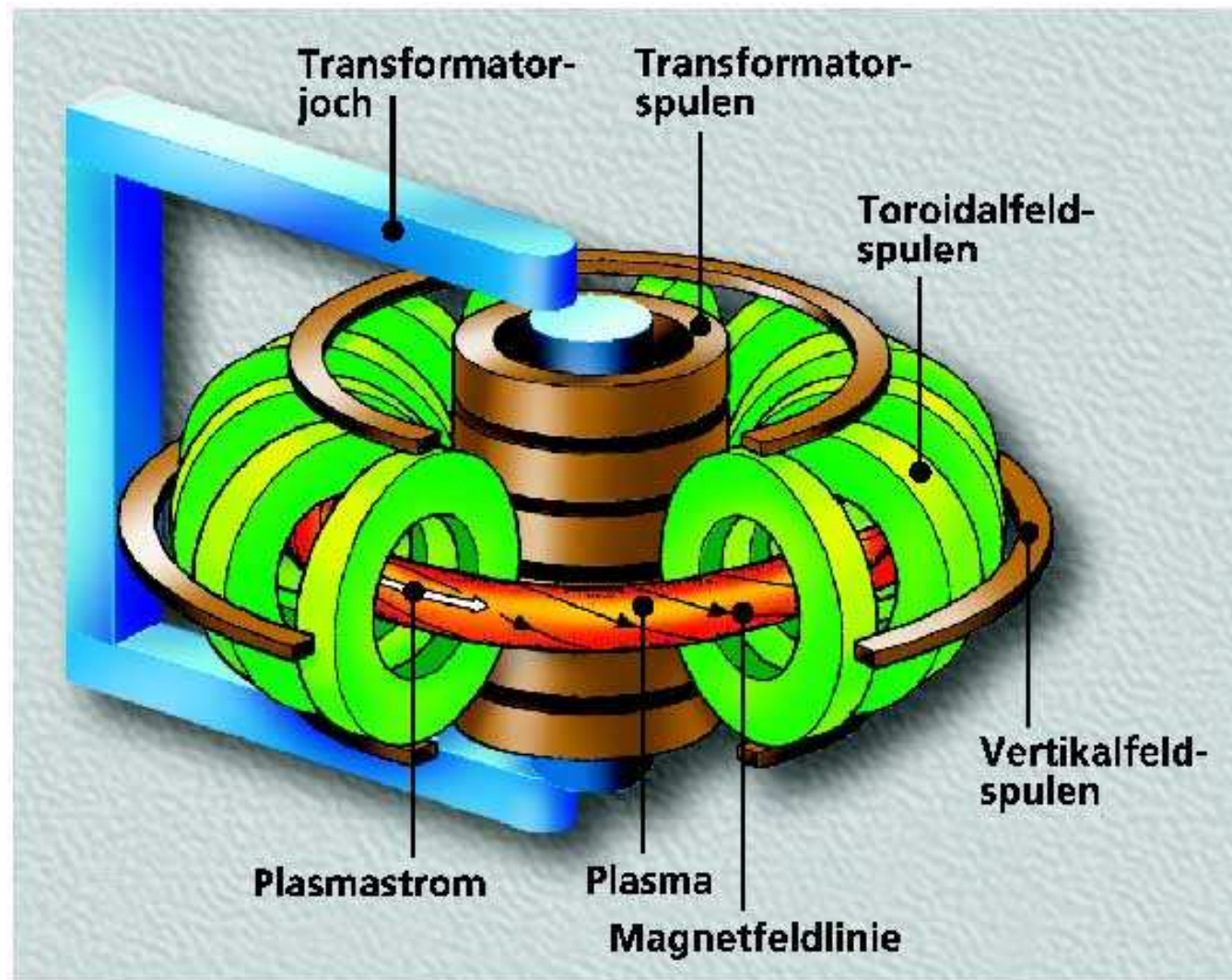
# Fusionsreaktion



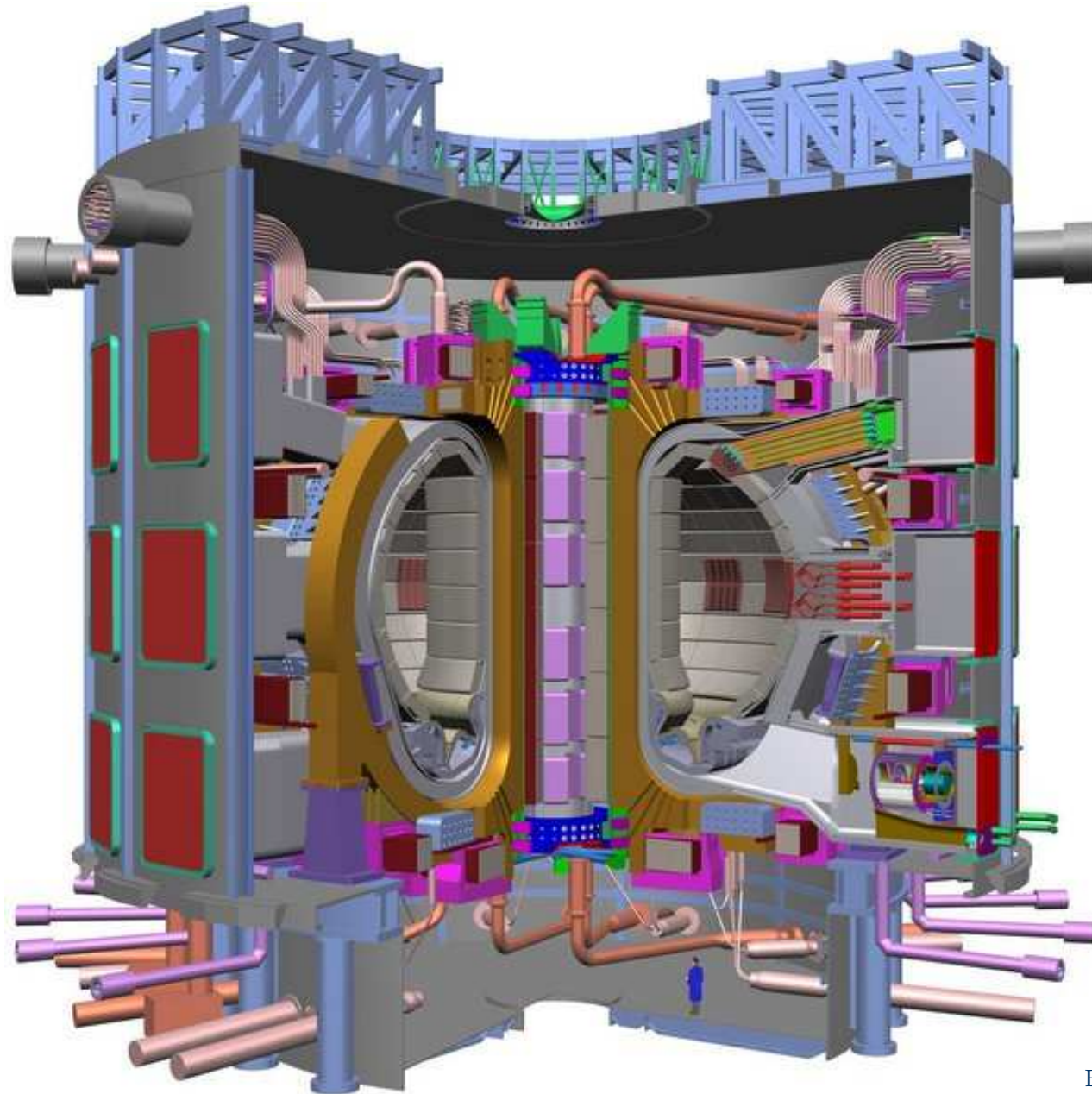
# Joint European Torus



# Tokamak

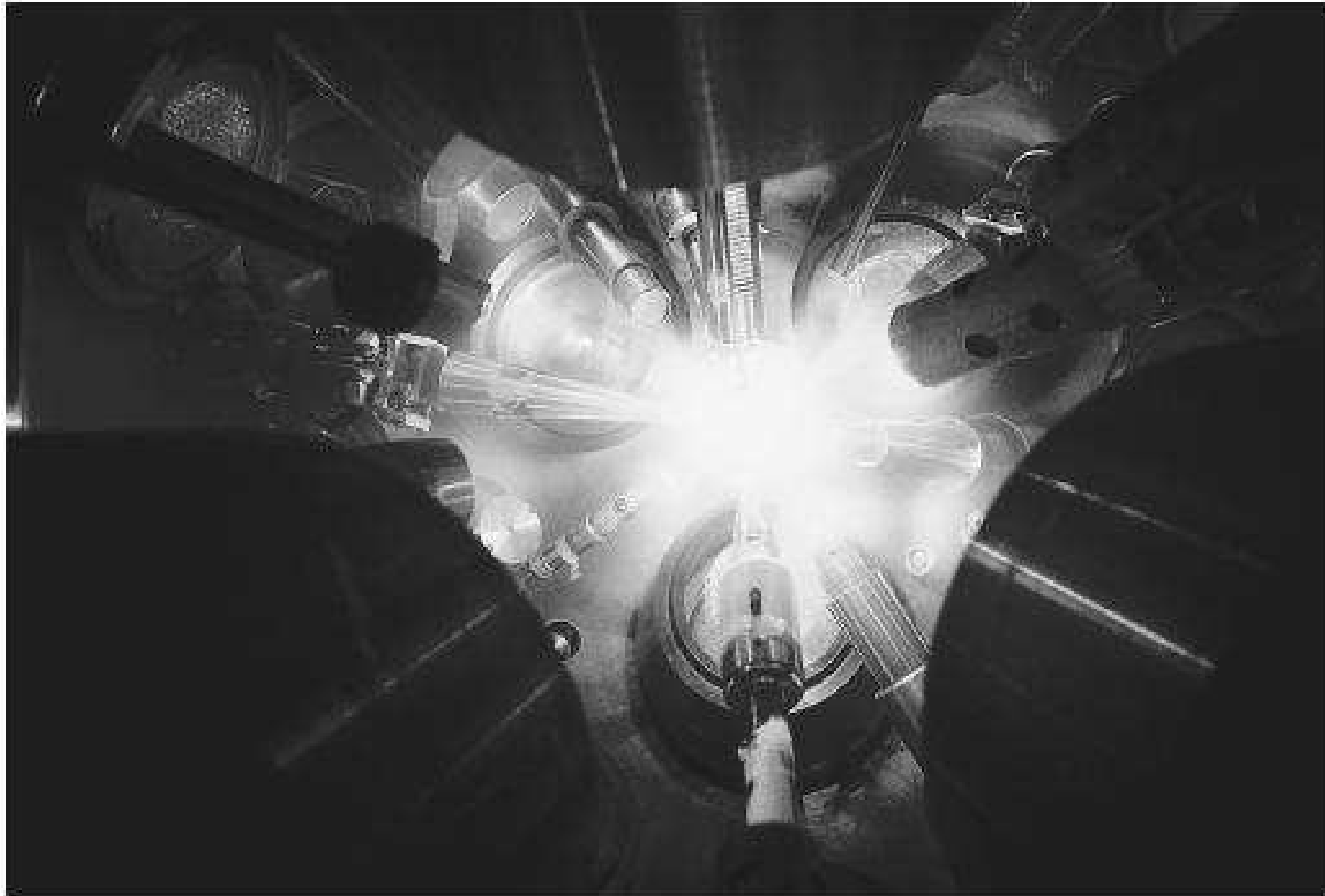


# ITER





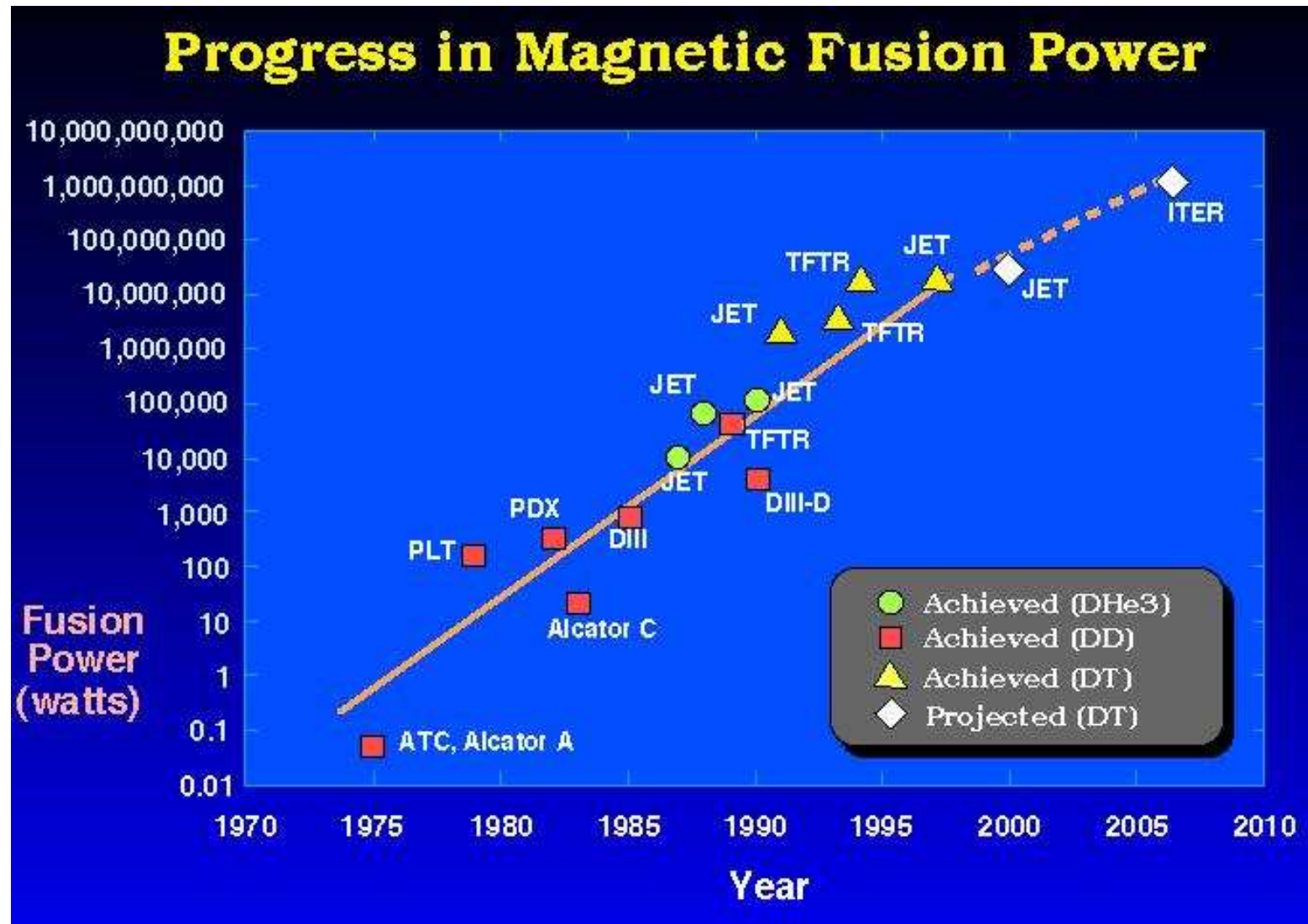
# Laserfusion



# Laserfusion



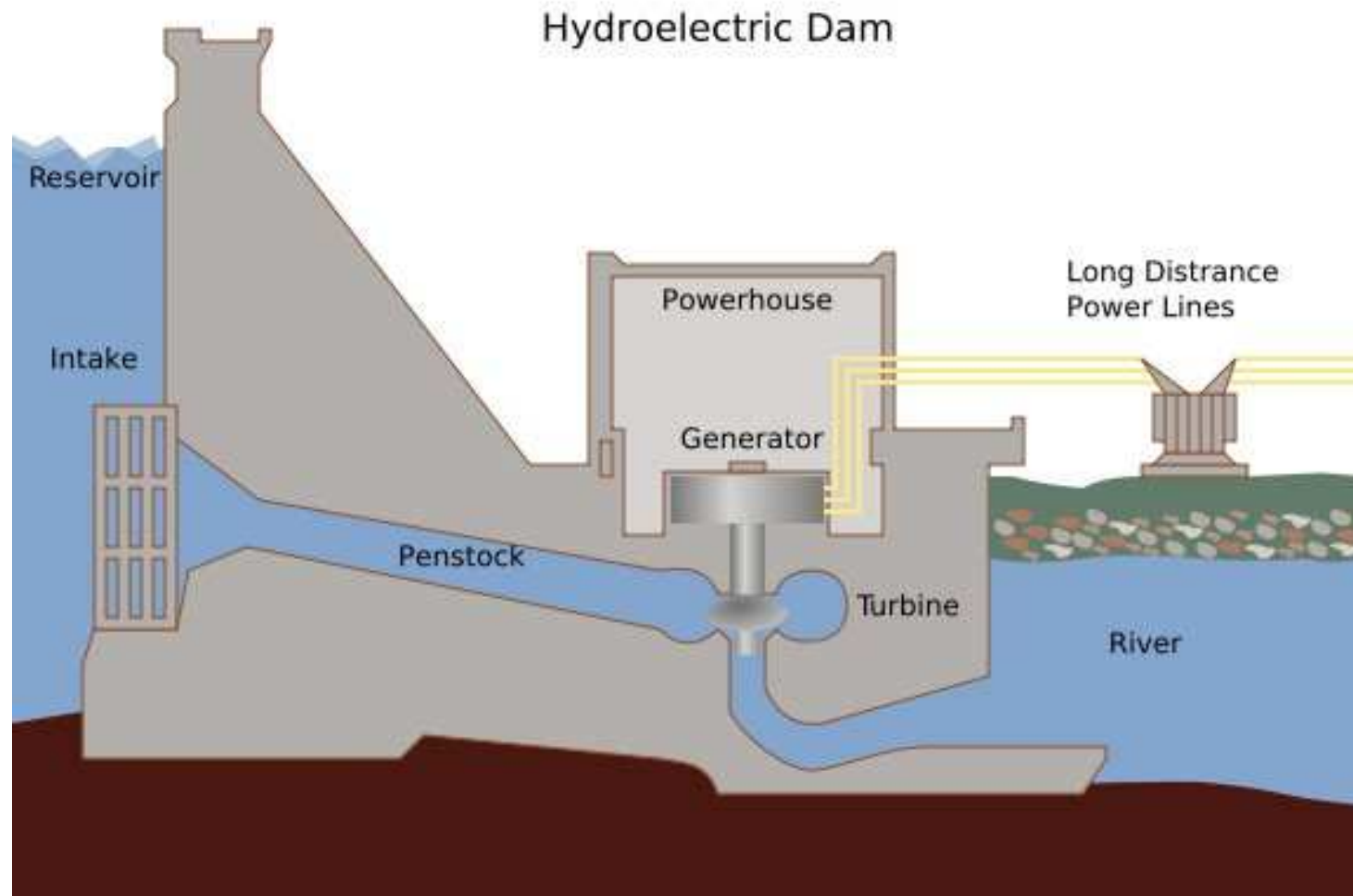
# Zündbedingungen



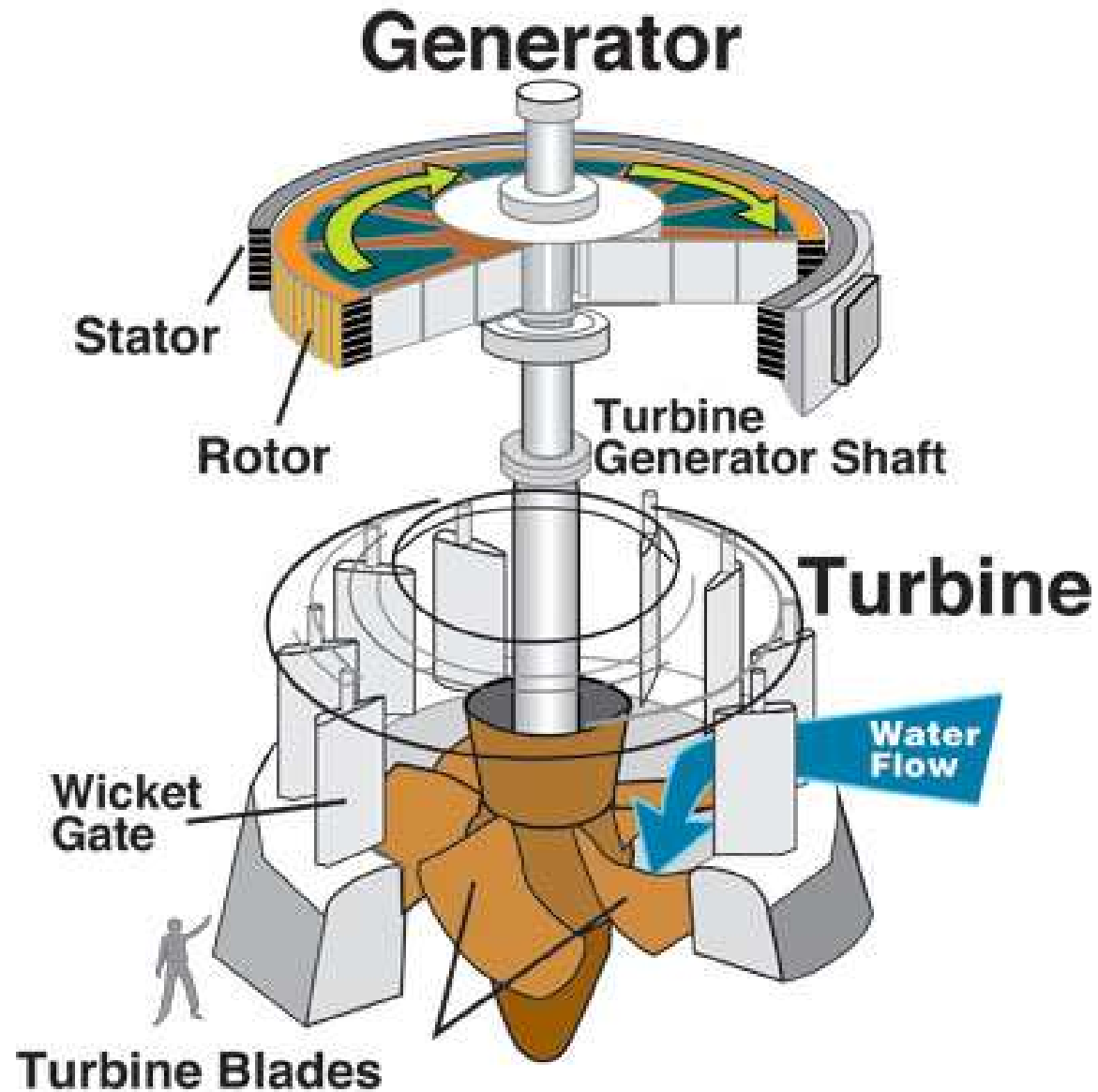
# Wasserkraft



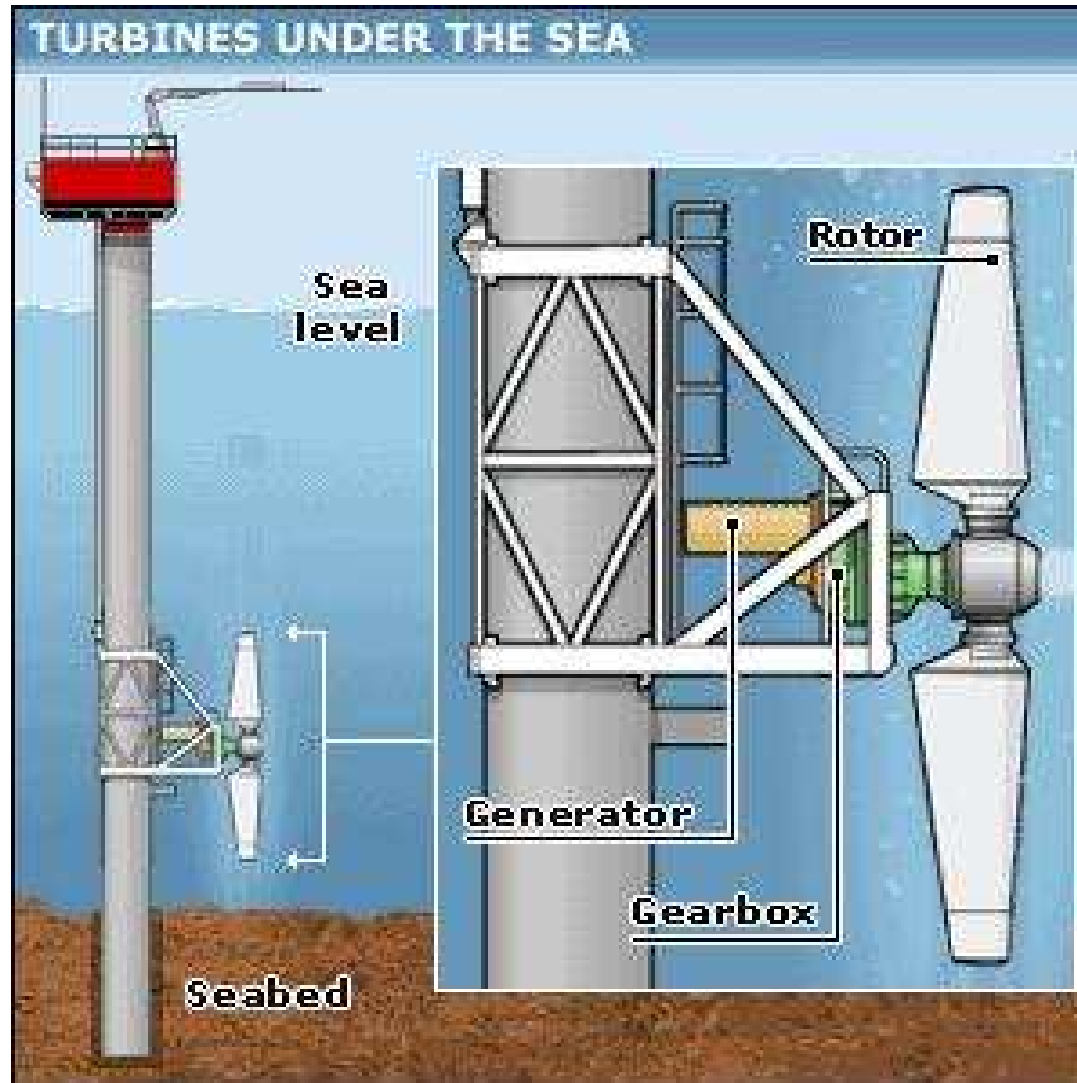
# Wasserkraft



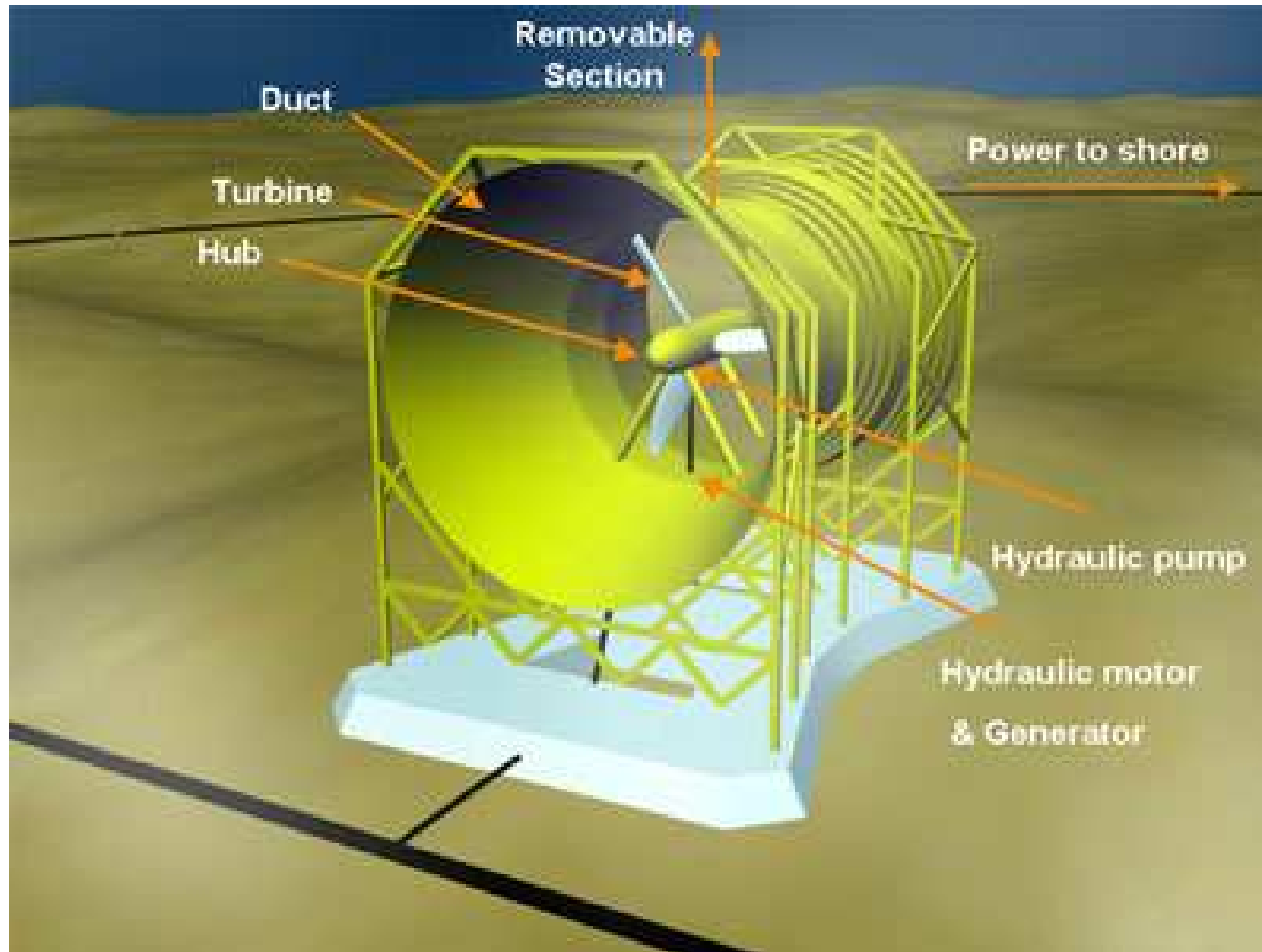
# Wasserkraft



# Gezeitenkraftwerk, Prinzip



# Gezeitenkraftwerk, Prinzip

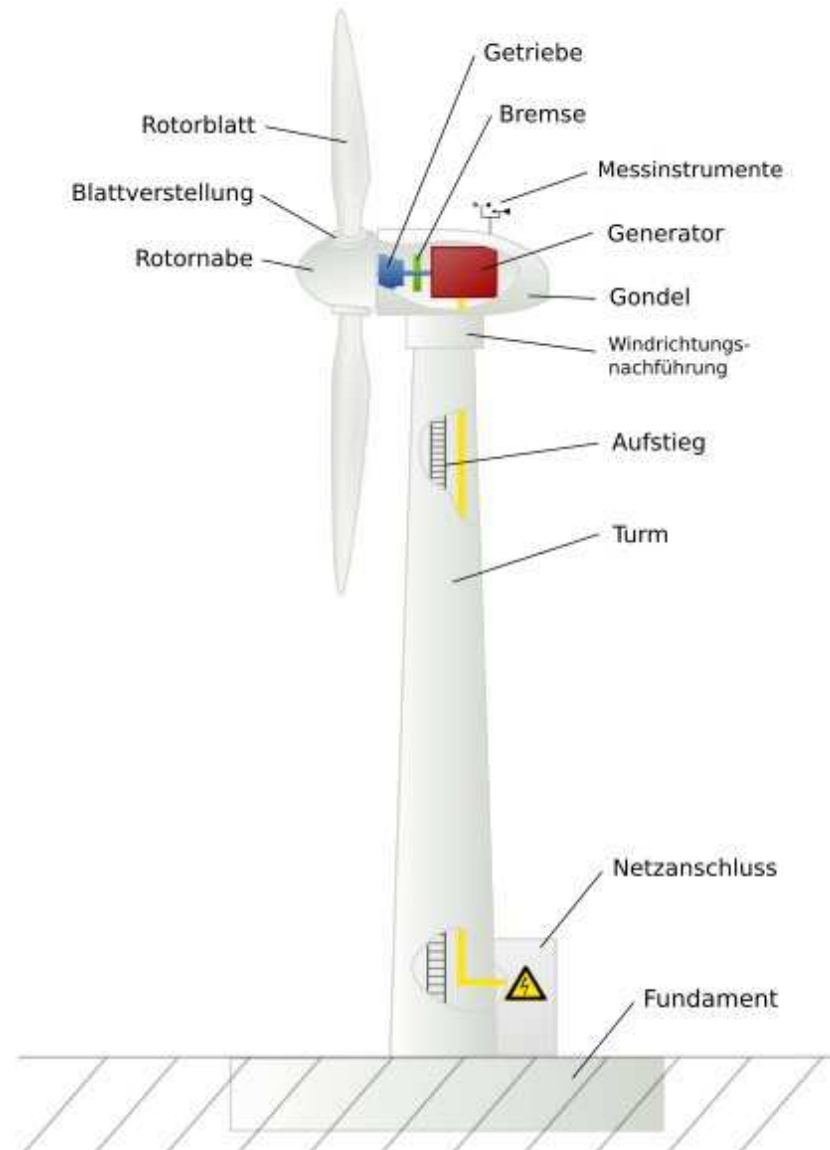




# Windenergie



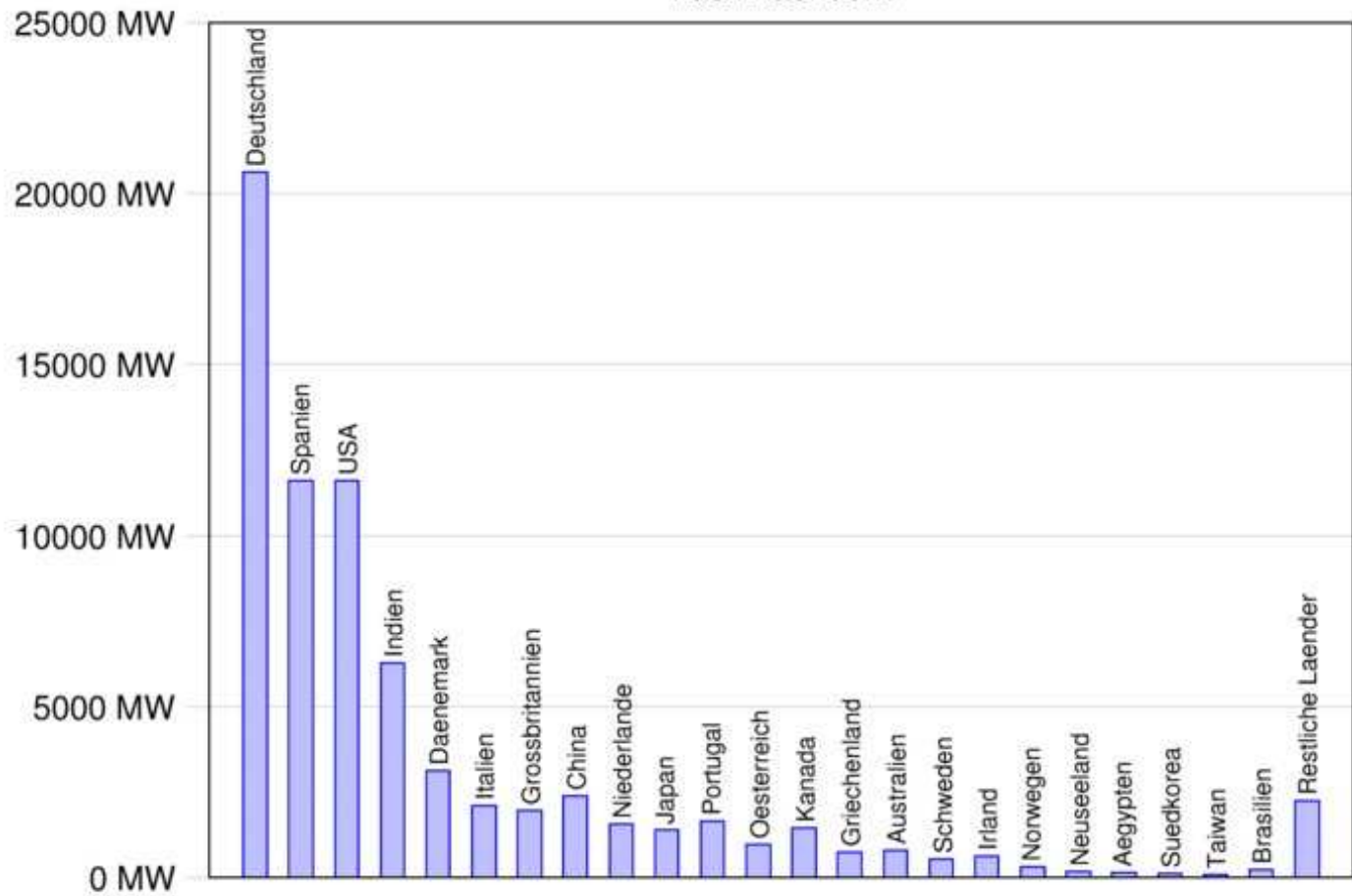
# Windenergie



# Windenergie

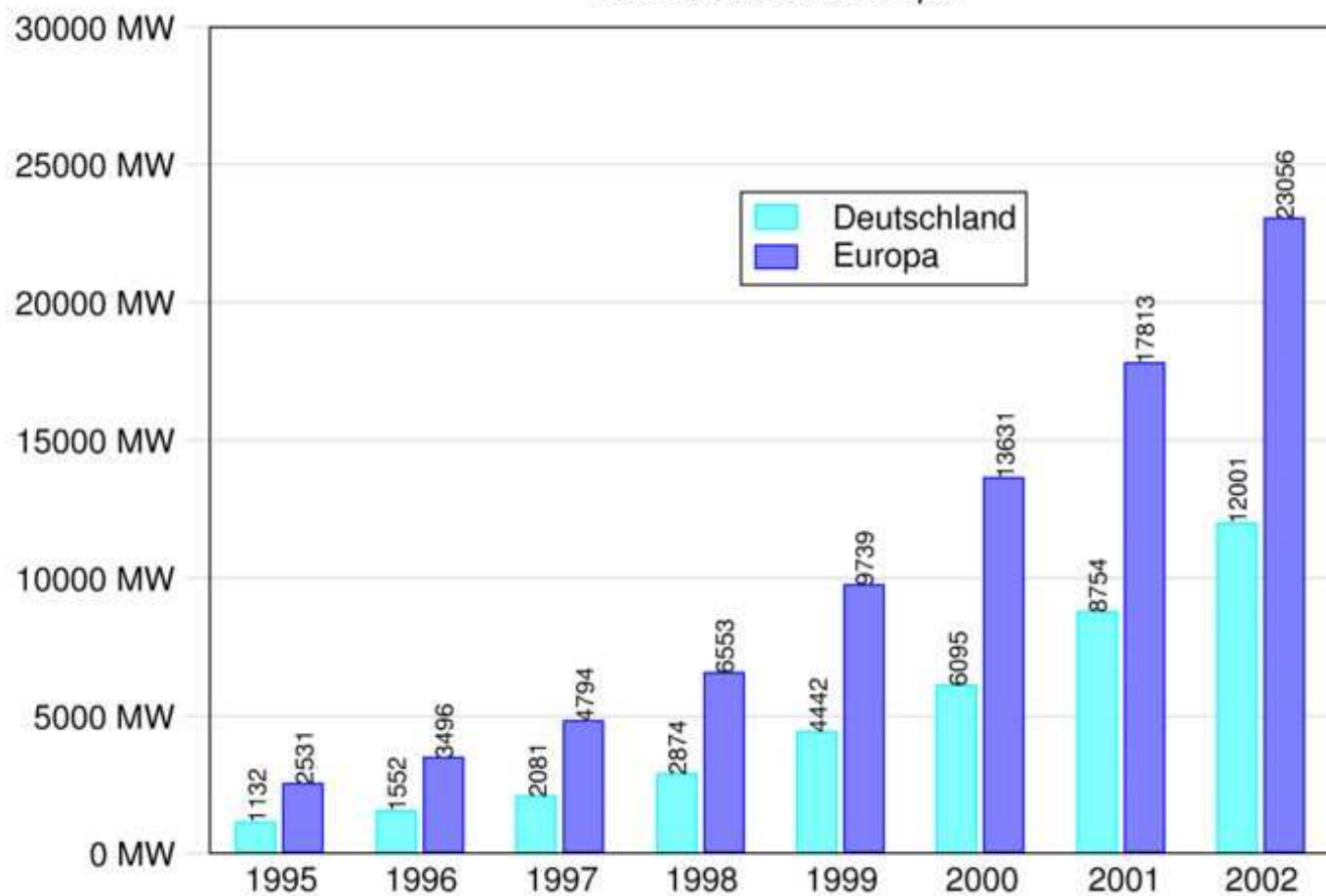
## Installierte Windleistung

nach Laendern

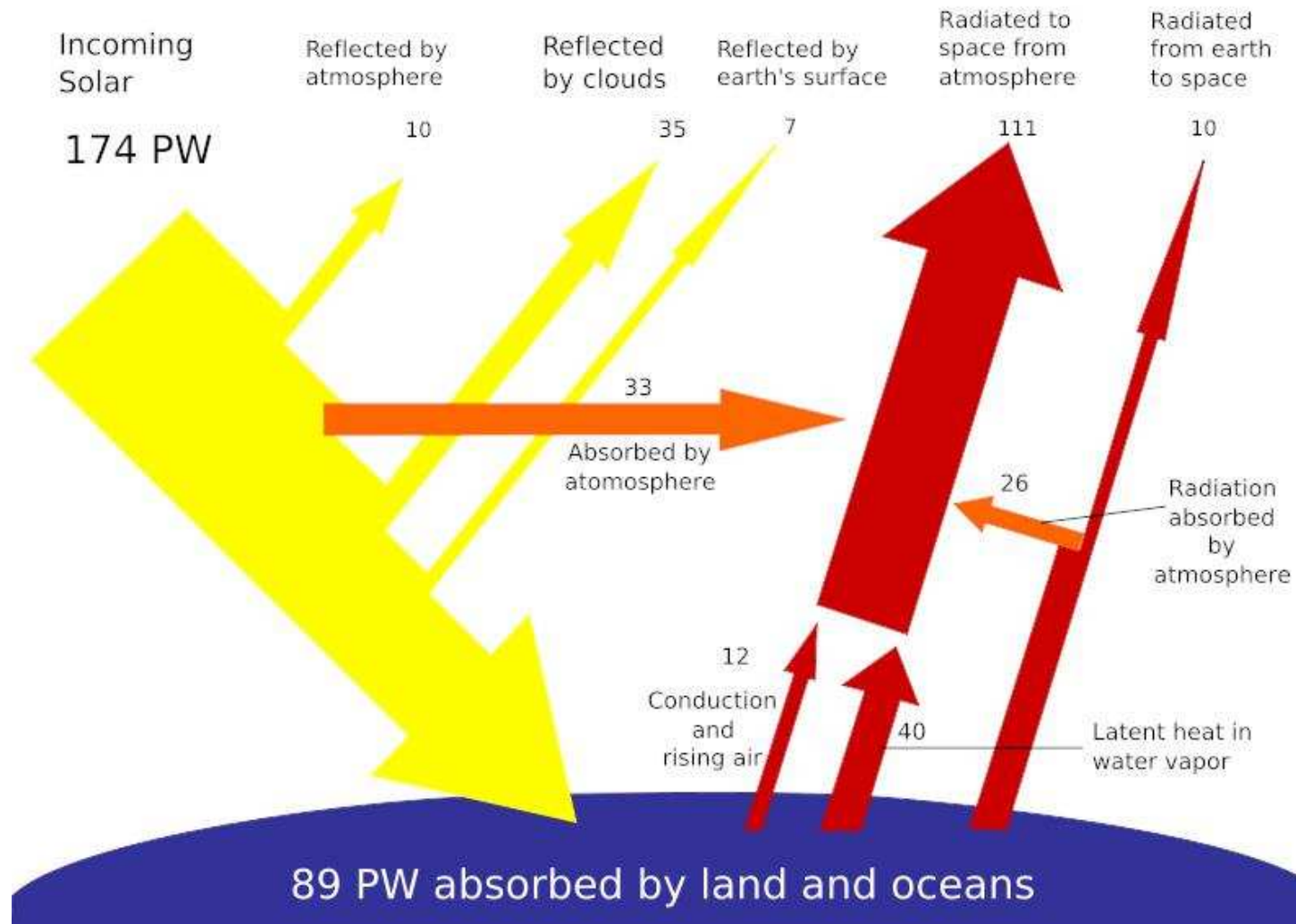


# Windenergie

Installierte Leistung in Windkraftanlagen  
Deutschland und Europa



# Solarenergie



# Solarenergie



# Solarenergie



# Solarenergie





# Solarenergie



# Solarenergie



# Beispiel Solarenergie am ENC

- Photovoltaikanlage auf dem Gebäude ENC-B
- 210  $m^2$  Kollektorfläche
- Jahresleistung: 15 000 kWh
- mittlere Leistung  $\approx 4$  kW am Tage
- Investitionskosten geschätzt: 120 000 Euro
- amortisiert nach  $\geq 16$  Jahren

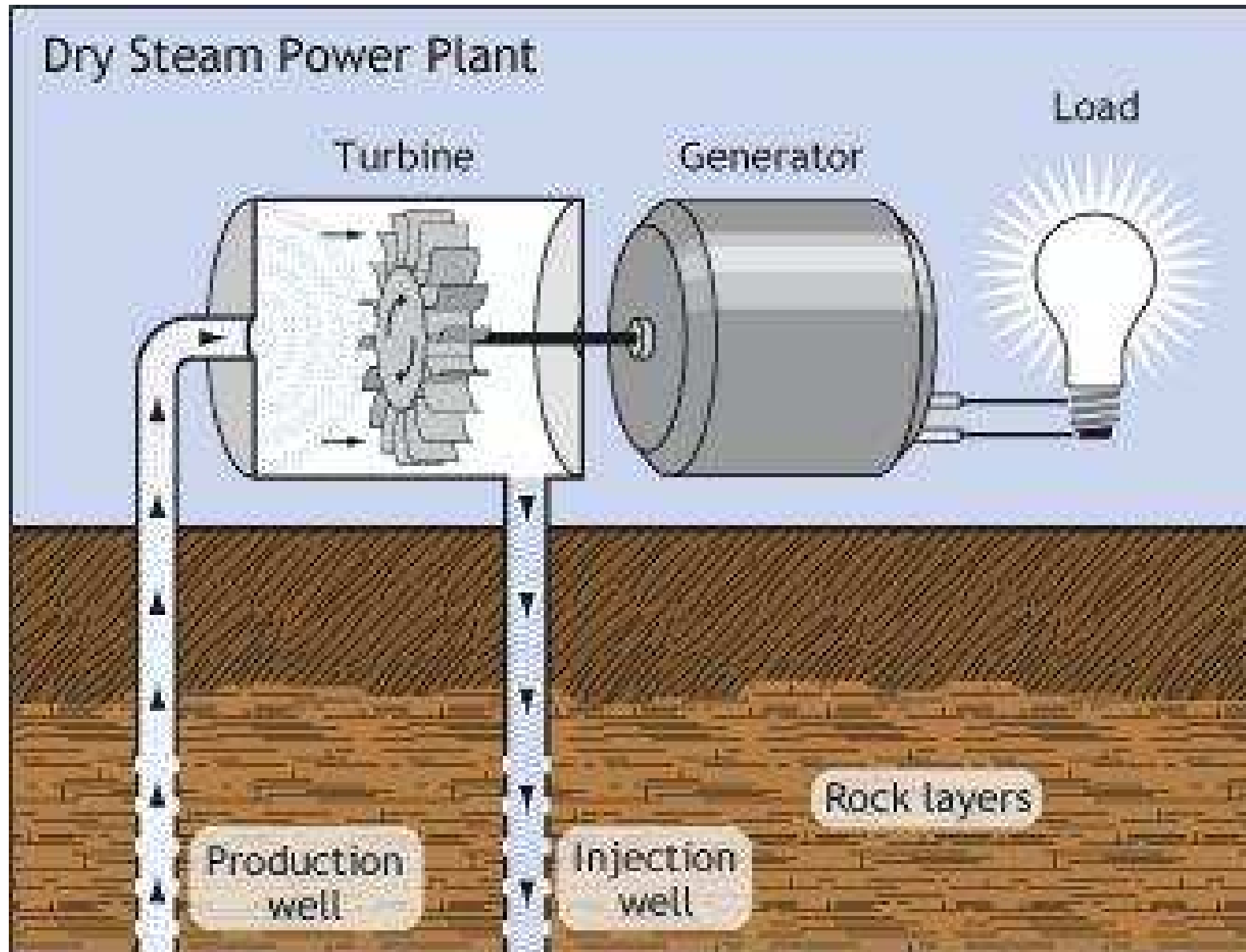
# Biogas aus Mist

- 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
- 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

# Geothermie

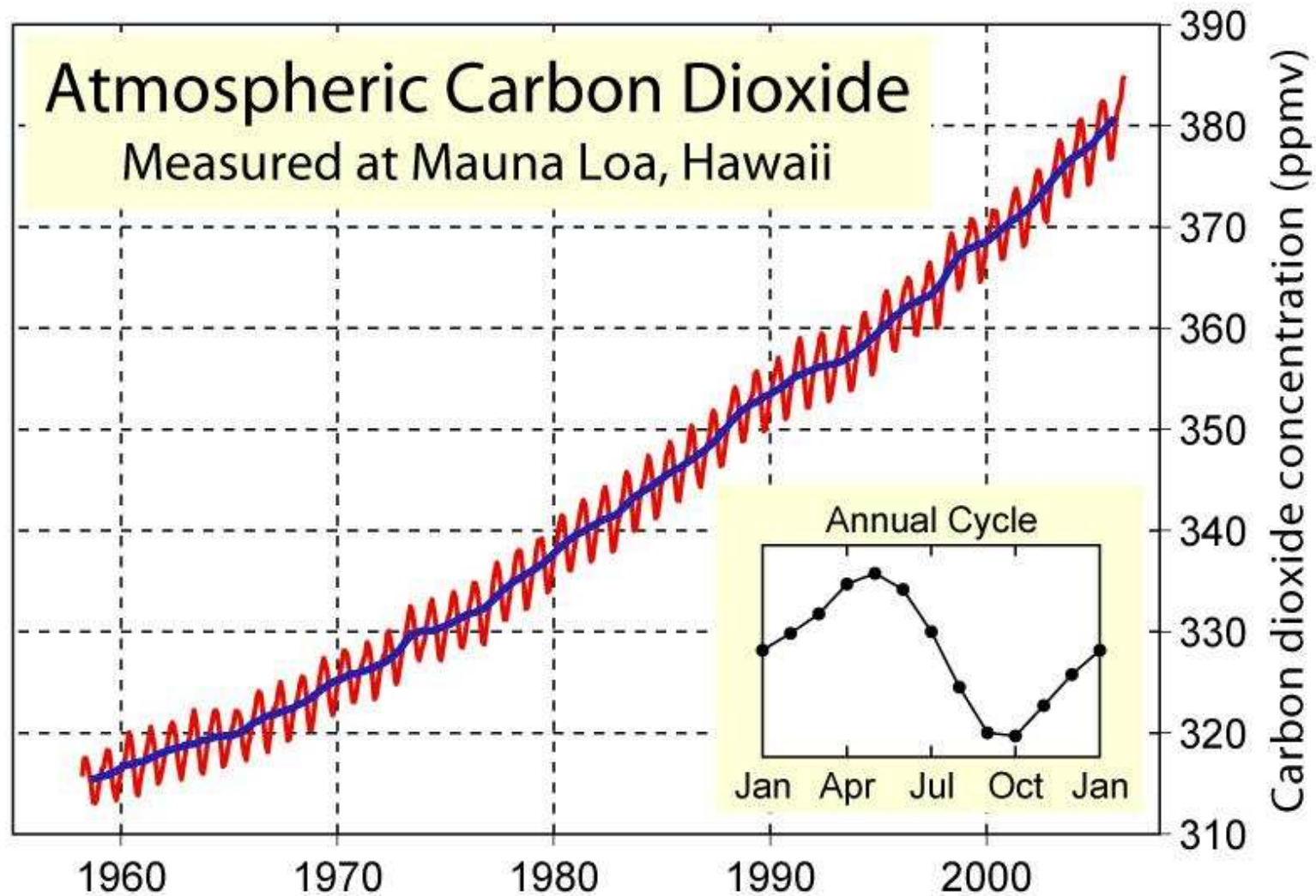


# Geothermie



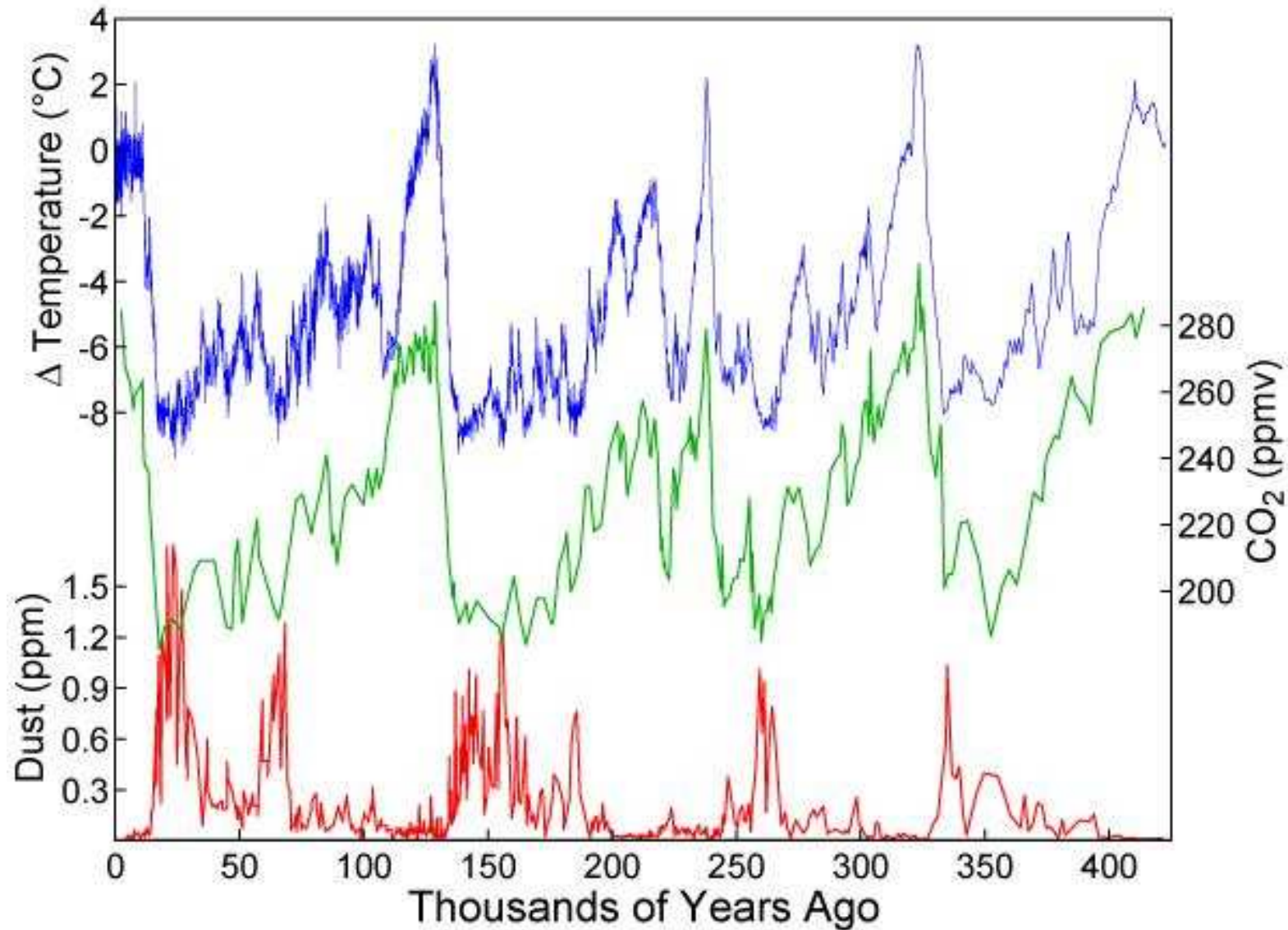
Der Geysir "Old Faithful" im Yellowstone Nationalpark

# CO<sub>2</sub> Anstieg in Hawaii

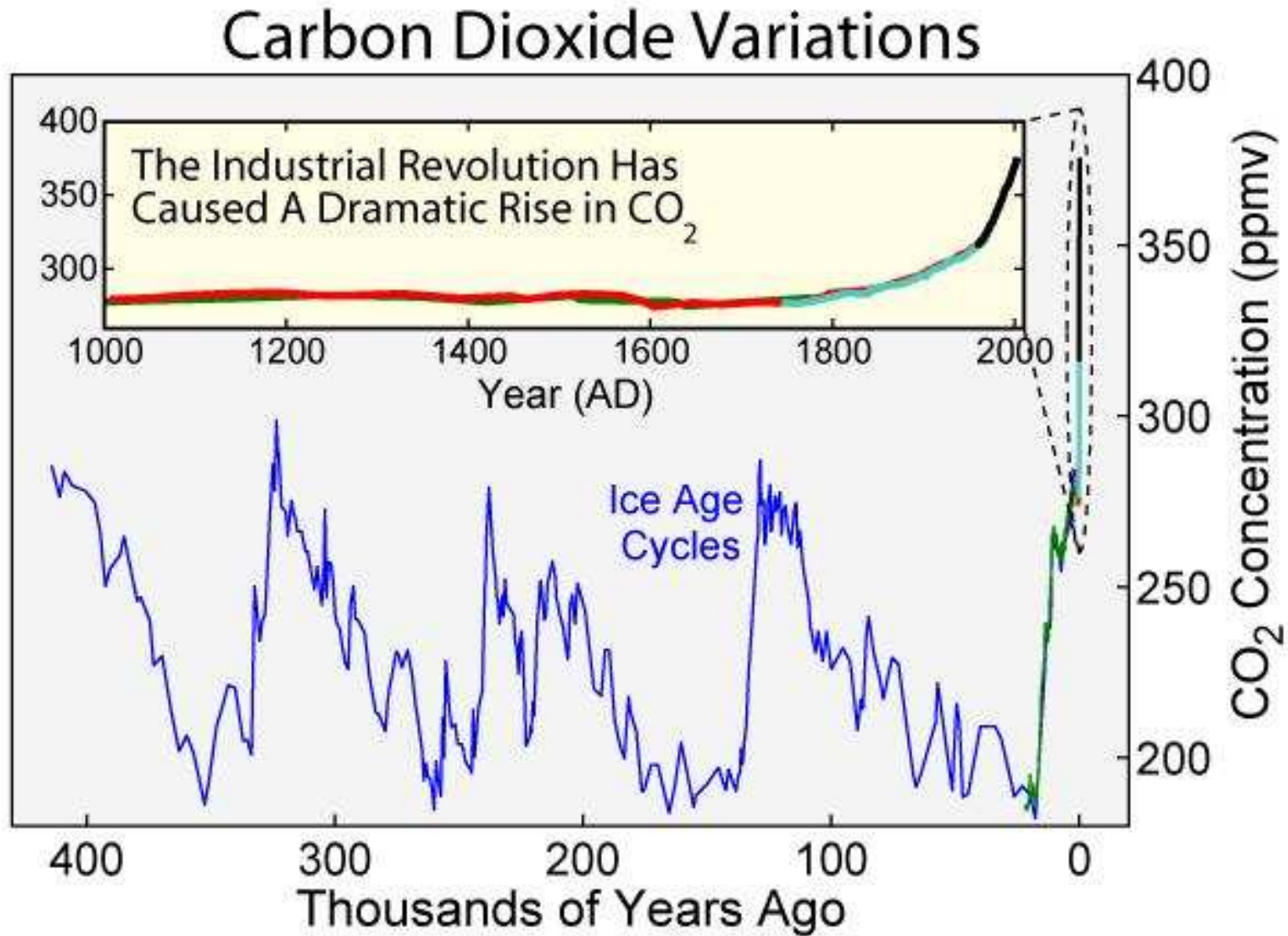




# Staub, $CO_2$ und Temperatur



# CO<sub>2</sub> Anstieg

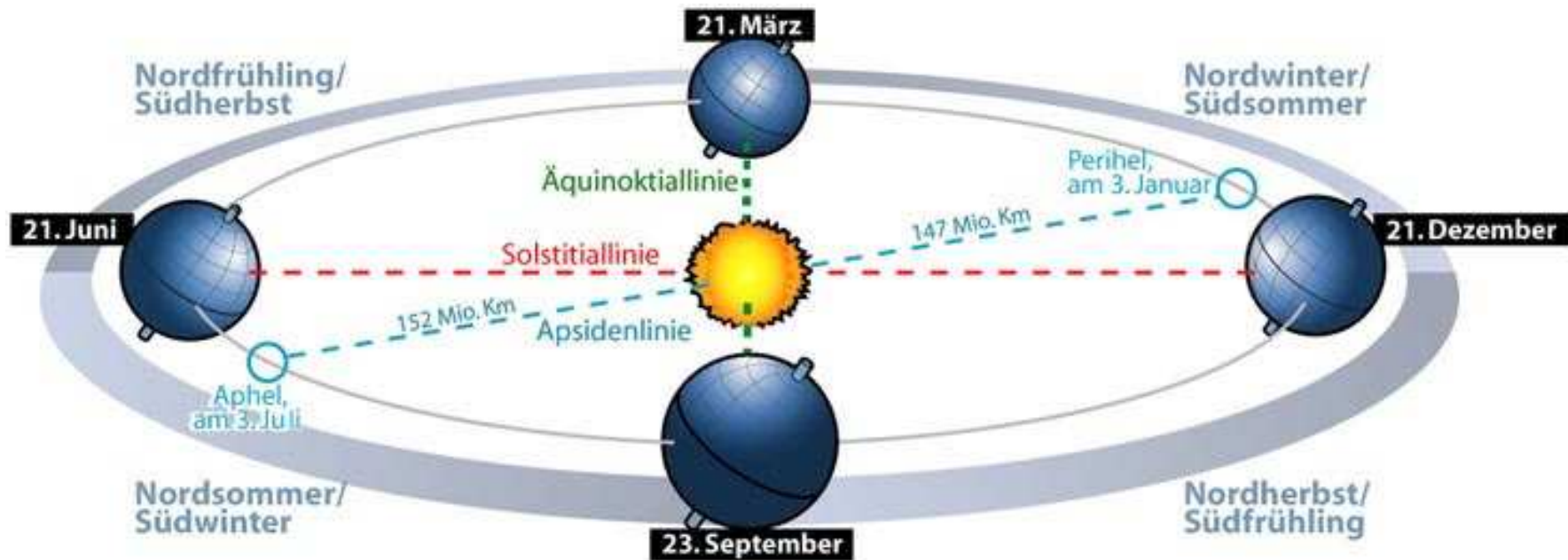


# Natürliche CO<sub>2</sub> Schwankungen

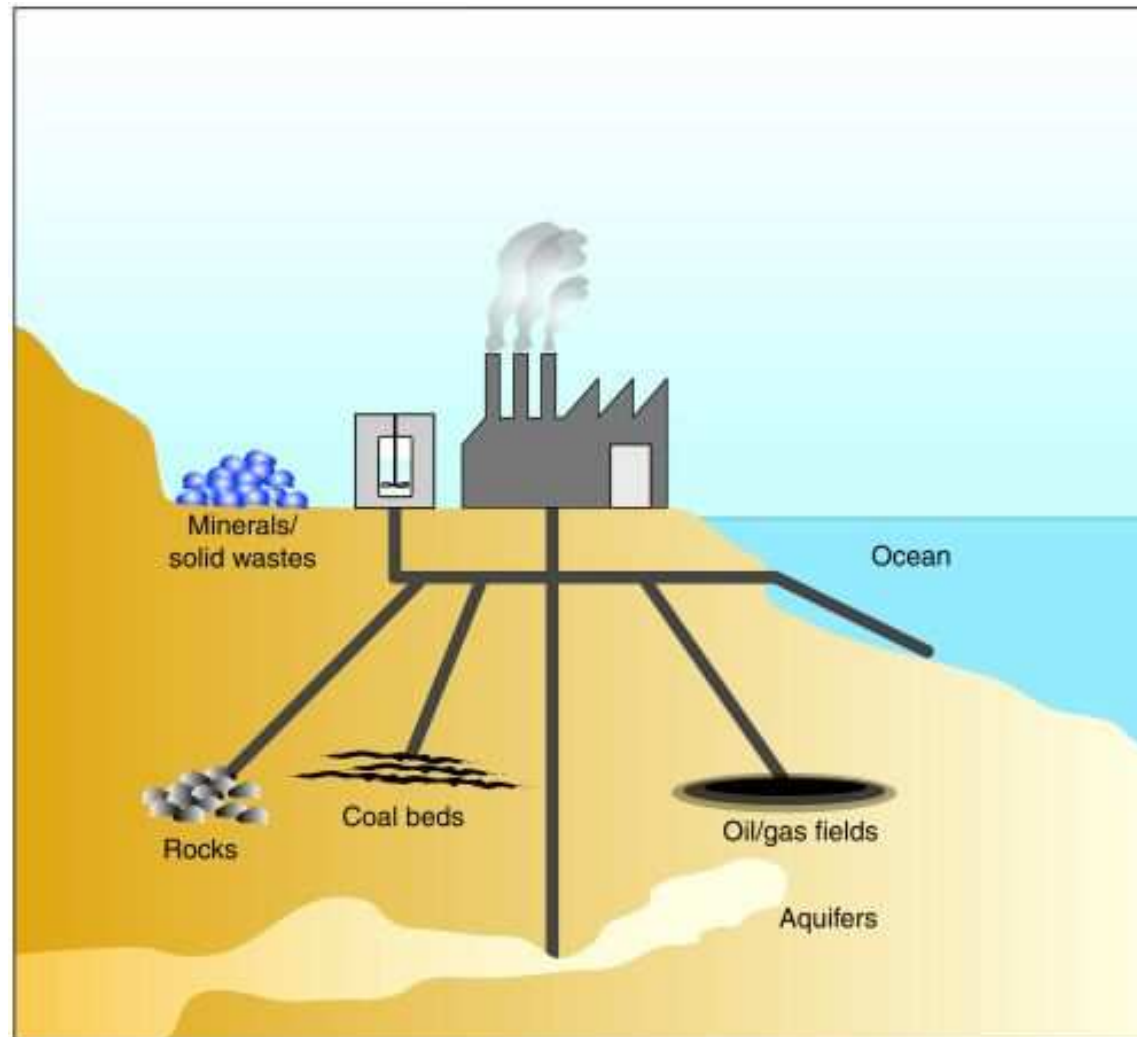
periodische Temperaturschwankungen, durch astronomische Ursachen bedingt

- 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



# CO<sub>2</sub> Speichermöglichkeiten



# Einsparpotenzial an CO<sub>2</sub>

- Der Gesamtausstoß an CO<sub>2</sub> 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

# Thermodynamisches Argument

Das “Energieproblem” ist eigentlich ein Entropieproblem!  
Die Energie in einem angeschlossenen System bleibt erhalten.

Alle Energie wird letztlich in Wärme umgewandelt.  
⇒ Durch unseren Energieverbrauch wird die Erde wärmer.

Wenn wir eine jährliche Steigerung des Energieverbrauchs von 3 % annehmen, dann wird es in 500 Jahren auf der Erde unerträglich warm!

## Fazit

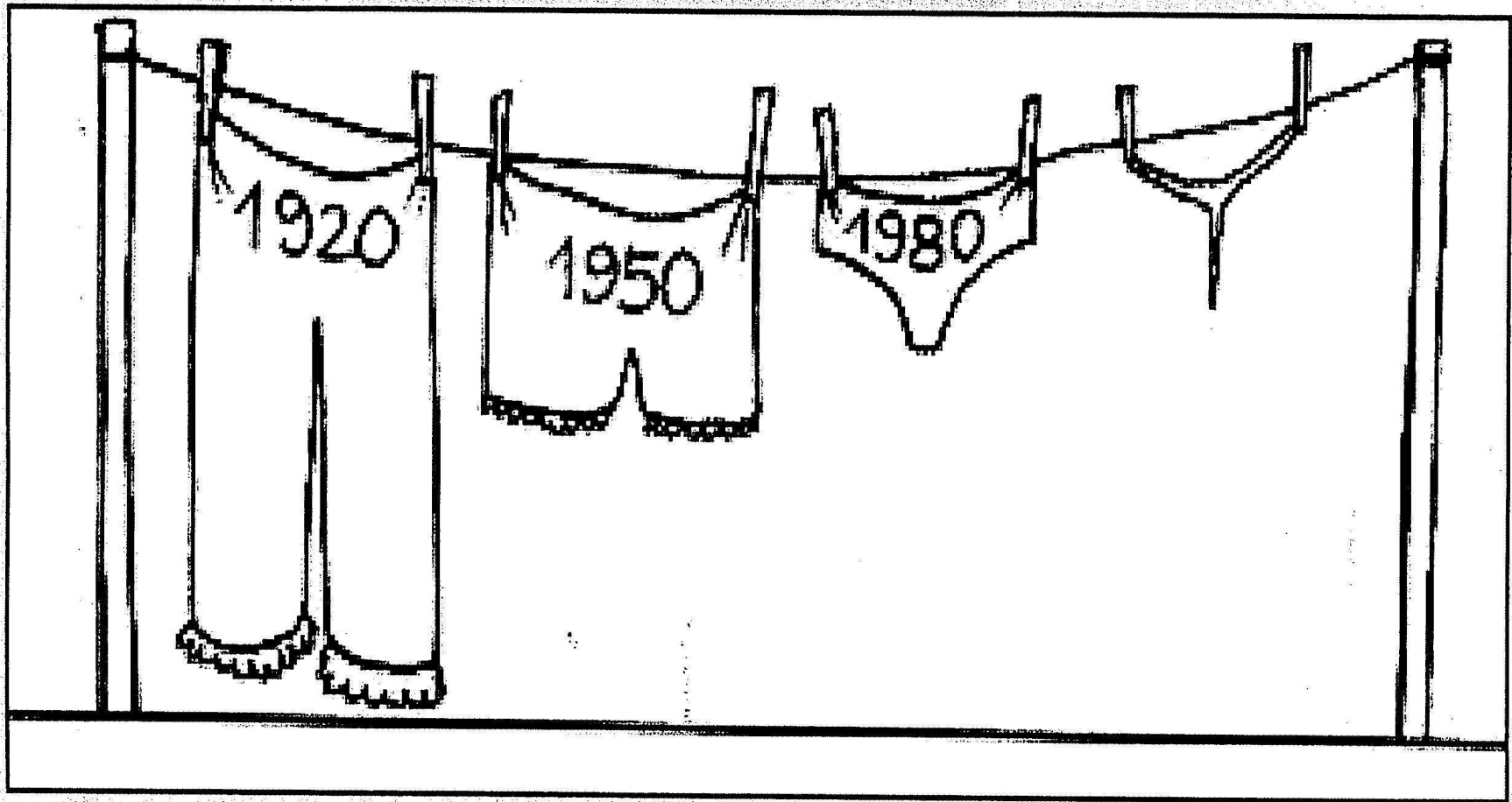
Ein permanentes Wachstum und Leben auf der Erde ist mit der elementaren Thermodynamik nicht vereinbar.

# 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.**



# Evidenz für Klimawechsel



# CO<sub>2</sub> Einsparung

