

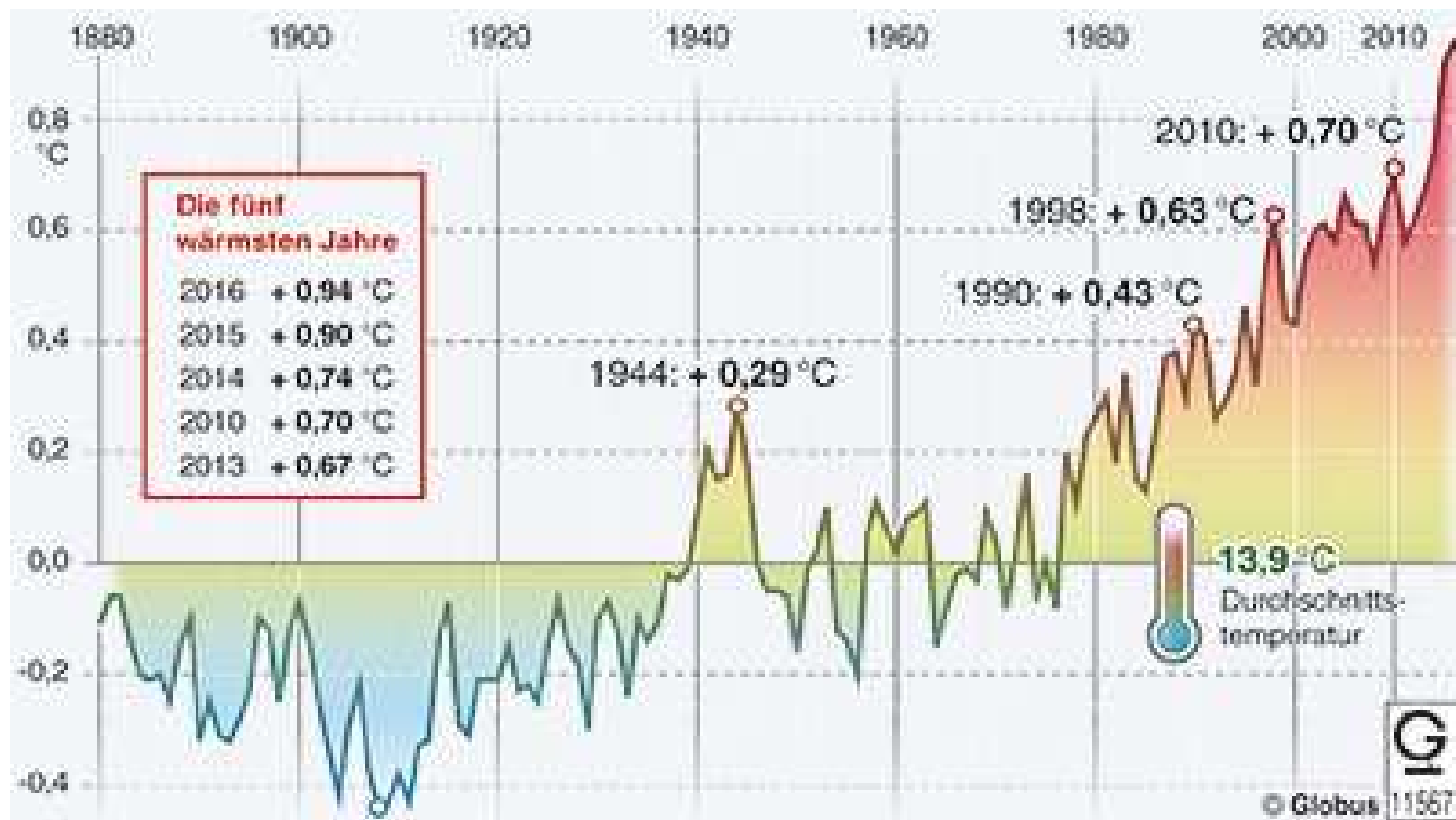
# Zukunft der Energieversorgung

Lions Club Siegen 2018/19



Universität Siegen  
Claus Grupen

# Warnung



2016: +0.94° und 2017: +0.91°

# Ein paar Fakten

- Die Dicke des arktischen Eises ist in den vergangenen 50 Jahren um rund die Hälfte zurückgegangen
- Die grönländischen Eisschelfe sind in den letzten Jahren um 200 Quadratkilometer geschrumpft
- In der Antarktis brechen große Eisbrocken ab. Wenn das antarktische Eis schmelzen würde: 60 m Anstieg des Meeresspiegels. Holland adé. Kölner Bucht!

# noch ein paar Fakten

- Pro Meter Meeresspiegelanstieg breitet sich das Wasser um 100 m aus
- Wanderung von Tropenkrankheiten in den Norden und Süden
- Die Jahre 1995, 2005, 2010 und 2018 gehören zu den wärmsten Jahren seit Beginn der Temperaturlaufzeichnungen
- Die CO<sub>2</sub> Werte liegen bei 400 ppm
- Wanderung von Tropenkrankheiten in den Norden und Süden

# Grundsätzliches

- Woher soll die Energie kommen?
- Woher soll die Grundlast kommen?
- Wie soll die Energie verteilt werden?
- Wie kann Energie gespeichert werden?
- Wie können Abfälle gelagert werden?
- Nachhaltigkeit?

# CO<sub>2</sub> Freundlichkeit

- Fossile Brennstoffe? Nein
- Kernenergie? Ja
- Wind? Ja
- Sonne (Photovoltaik)? Ja
- Geothermie? Ja
- Biomasse? Ja

# Übersicht

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

# Übersicht über den Energieverbrauch

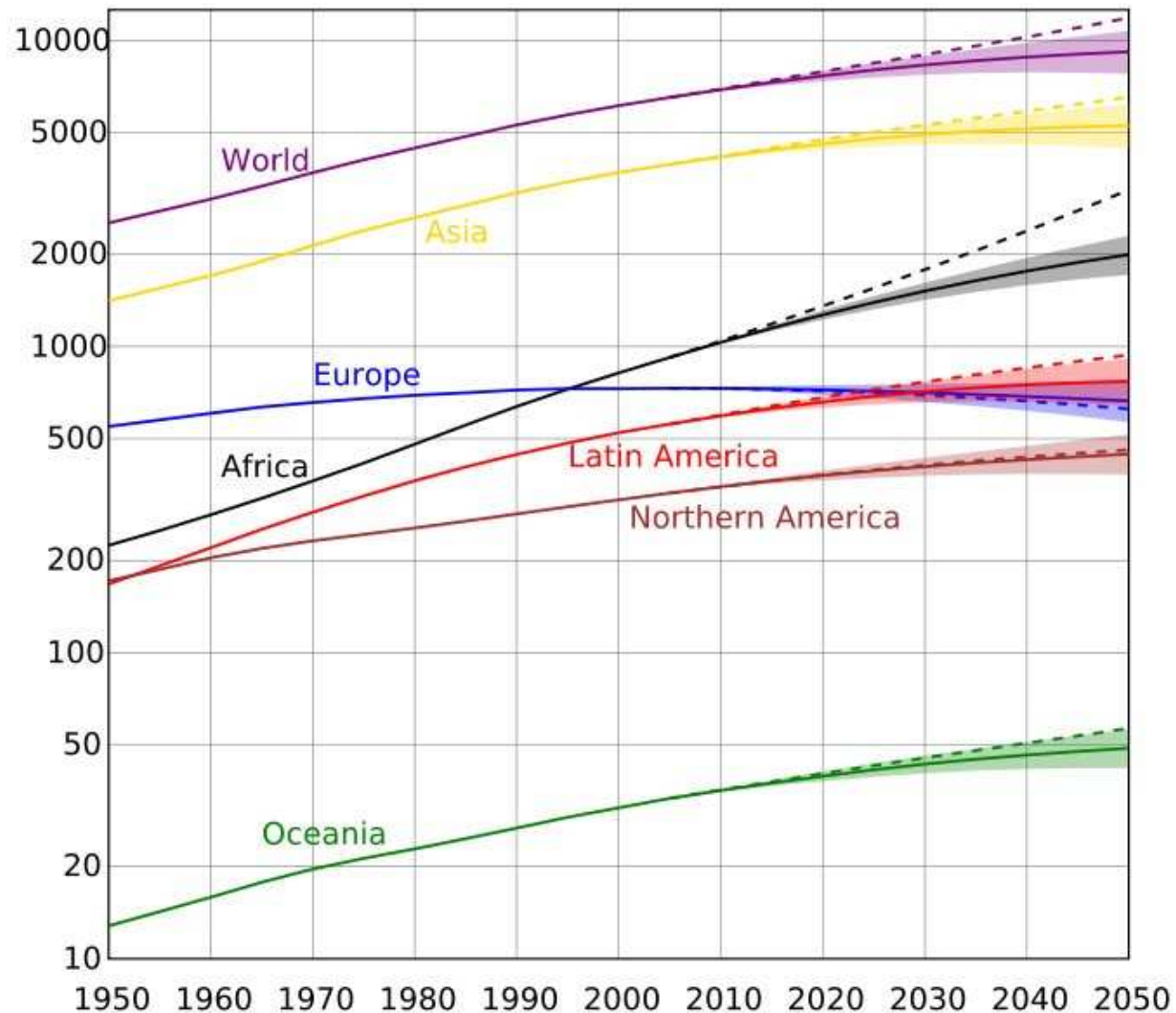
Wieviel Energie braucht der Mensch?  
Seine Körperleistung beträgt etwa 100 Watt. Man benötigt Energie für

- Heizung
- Nahrung
- Verkehr
- Beleuchtung ...

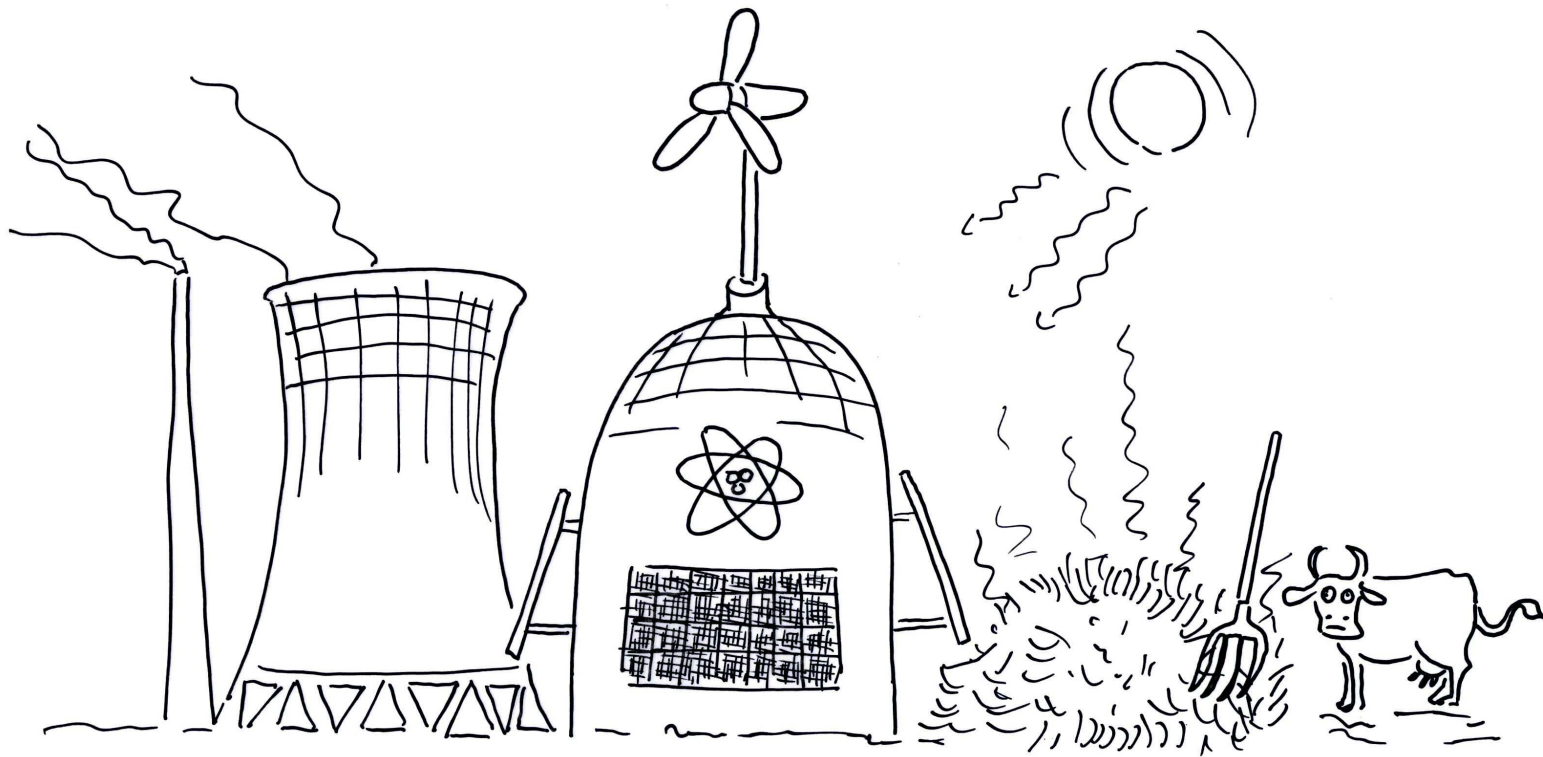
**in Deutschland verbraucht jeder insgesamt etwa 5 kW, d.h. 120 kWh täglich**



# Weltbevölkerung



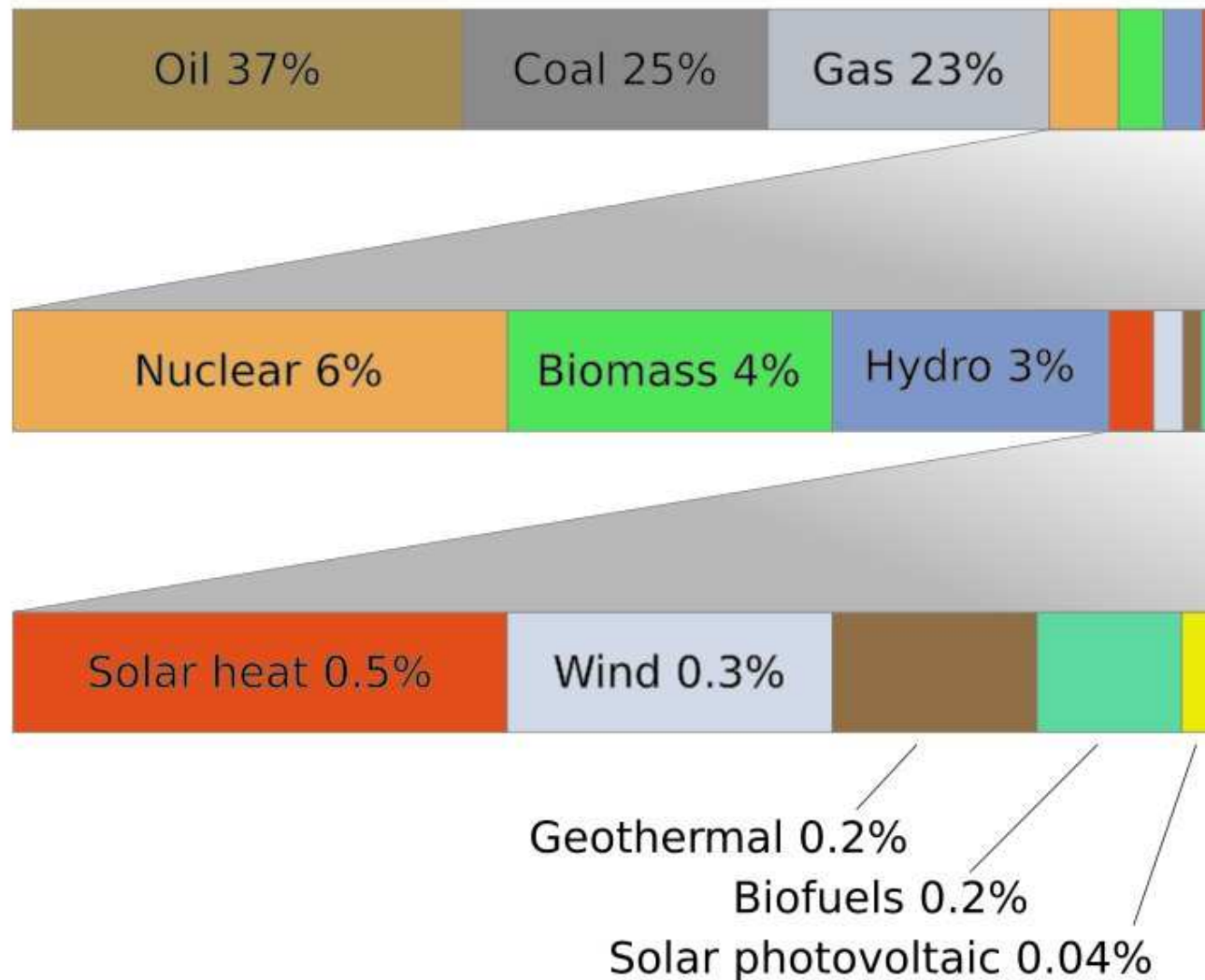
# Energie Mix



Claus Gnipen 2015

**Energie Mix**

# Energieverbrauch



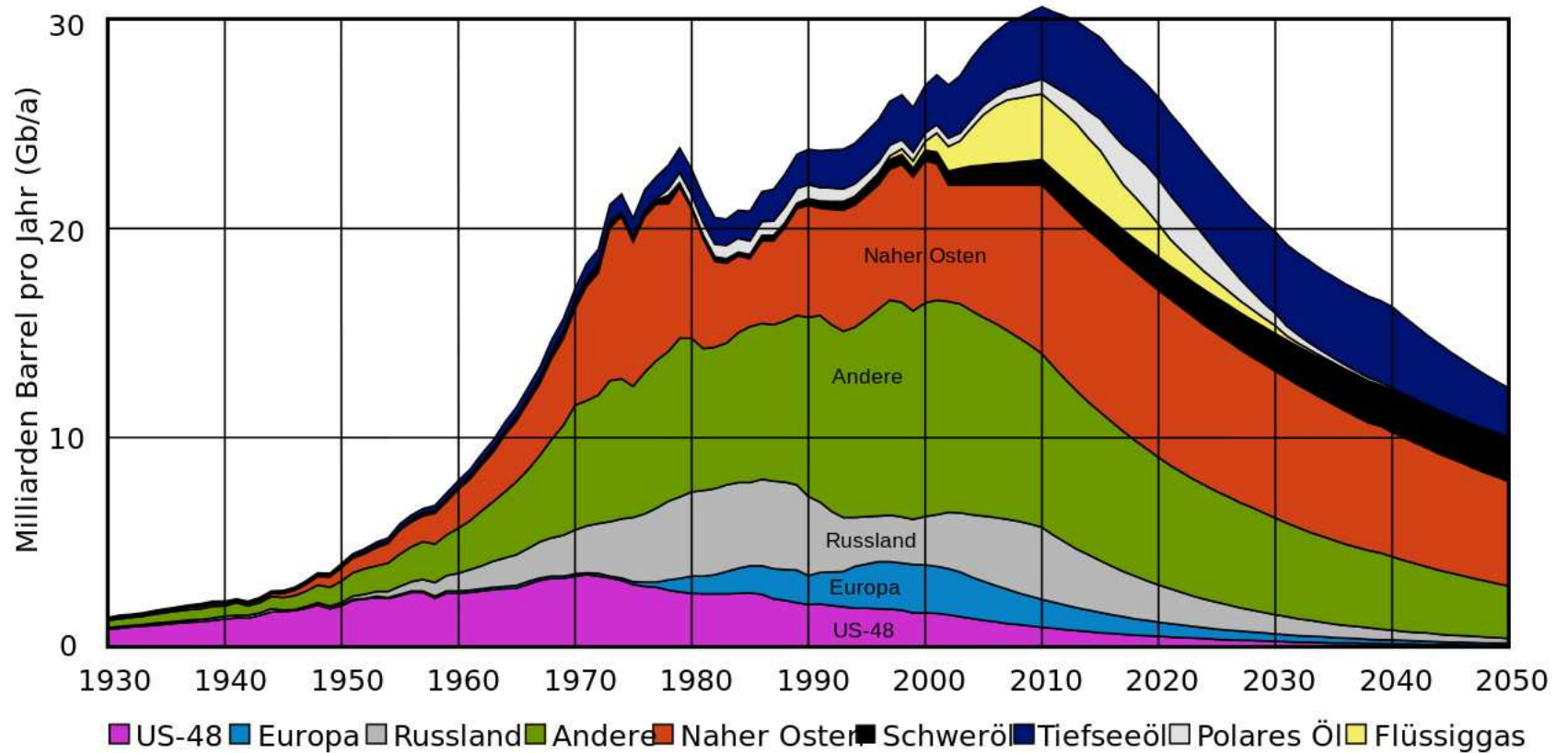
# Ist der Energiebedarf zu decken?

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

# Wie läßt sich das Problem lösen?

- Öl, Kohle und Gas haben eine geringe Reichweite
- Die fossilen Energieträger müssen durch regenerative Energien ersetzt werden
- Vorübergehend könnte die Energie aus Kernreaktoren genutzt werden, um das  $\text{CO}_2$  Problem in den Griff zu bekommen
- Langfristig sind Kernreaktoren keine Alternative, da auch das Uran beschränkt ist; Kernfusion als Ausweg?

# Energievorräte



# Höllengefeuer





# 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
- Steinkohlekraftwerke setzen mehr radioaktive Stoffe frei als Kernkraftwerke



# 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

# CO<sub>2</sub> Ausstoss nach Marken

- Mittelwerte über die verschiedenen Typen pro Hersteller
- VW 159 g/km
- Audi 177 g/km
- Mercedes 185 g/km
- BMW 192 g/km
- Maserati 345 g/km
- Porsche Cayenne 361 g/km
- Smart 115 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, ...
- im Umkreis von 10 km:  $\approx 100 \mu\text{Sv}$  pro Jahr\*

\*Scientific American, Dec. 2007

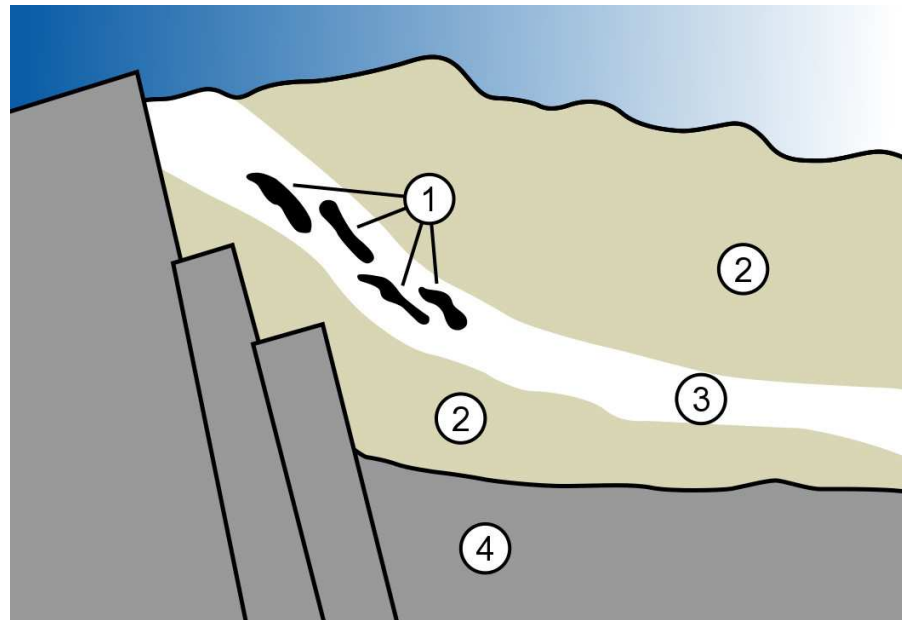
A. Gabbard, Coal Combustion: Nuclear Resource or Danger; 1993

# Kernspaltung

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



# Oklo, Gabun



Naturreaktor in Zentral-Afrika

Laufzeit: 500 000 Jahre

Leistung: 100 kW, Regenmoderation

geeignetes Endlager für 1,7 Milliarden Jahre

# Transmutation

- Transmutation ist die Umwandlung chemischer Elemente in andere chemische Elemente beispielsweise durch Kernreaktionen. Mögliche Anwendungen sind die Behandlung radioaktiven Abfalls
- Transmutation durch Neutronen oder Protonen
- es werden langlebige in kurzlebige Isotope umgewandelt
- $p + {}^{90}\text{Sr} \rightarrow n + {}^{90}\text{Y}$
- $p + {}^{137}\text{Cs} \rightarrow n + {}^{137}\text{Ba}^*$

# Kernfusion

Fusion in der Sonne



Fusion im Fusionskraftwerk

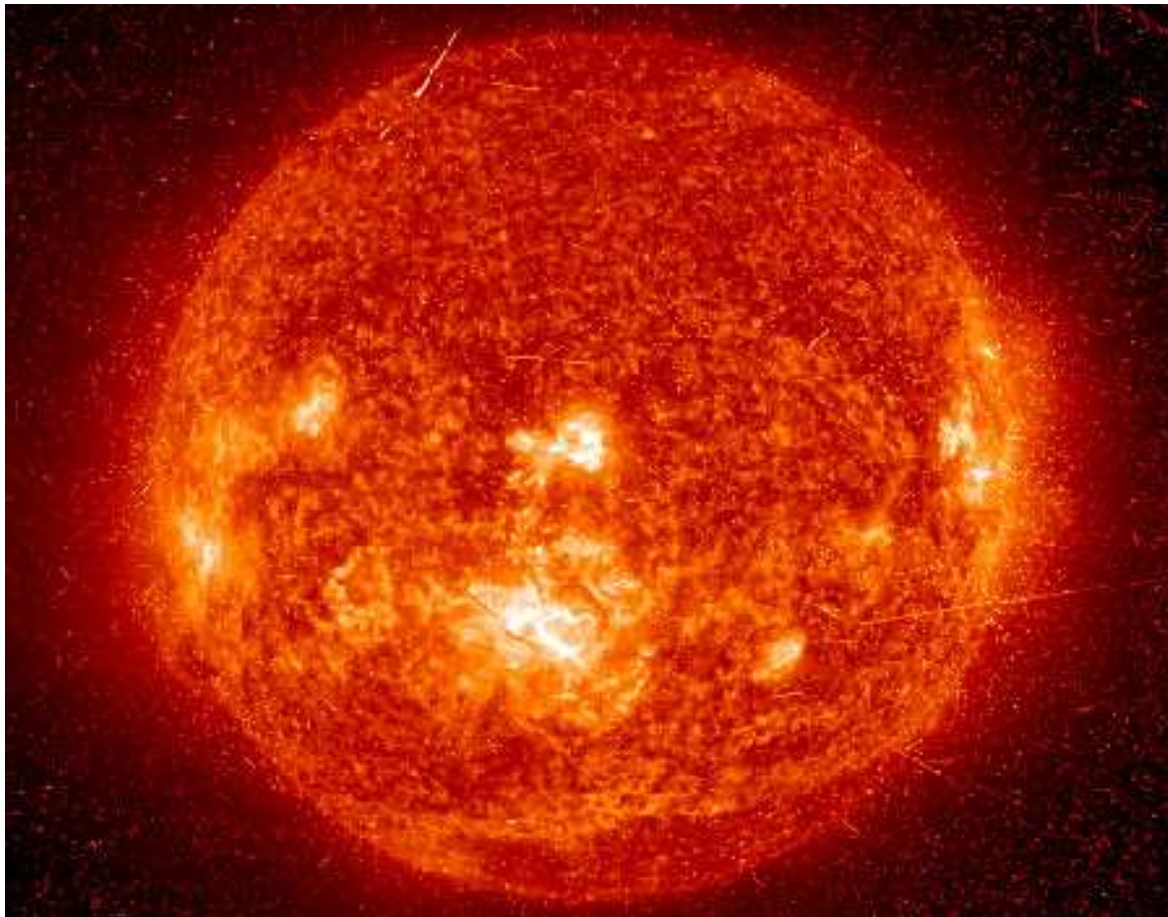


Erzeugung von Deuterium und Tritium

Deuterium ist im Meerwasser enthalten

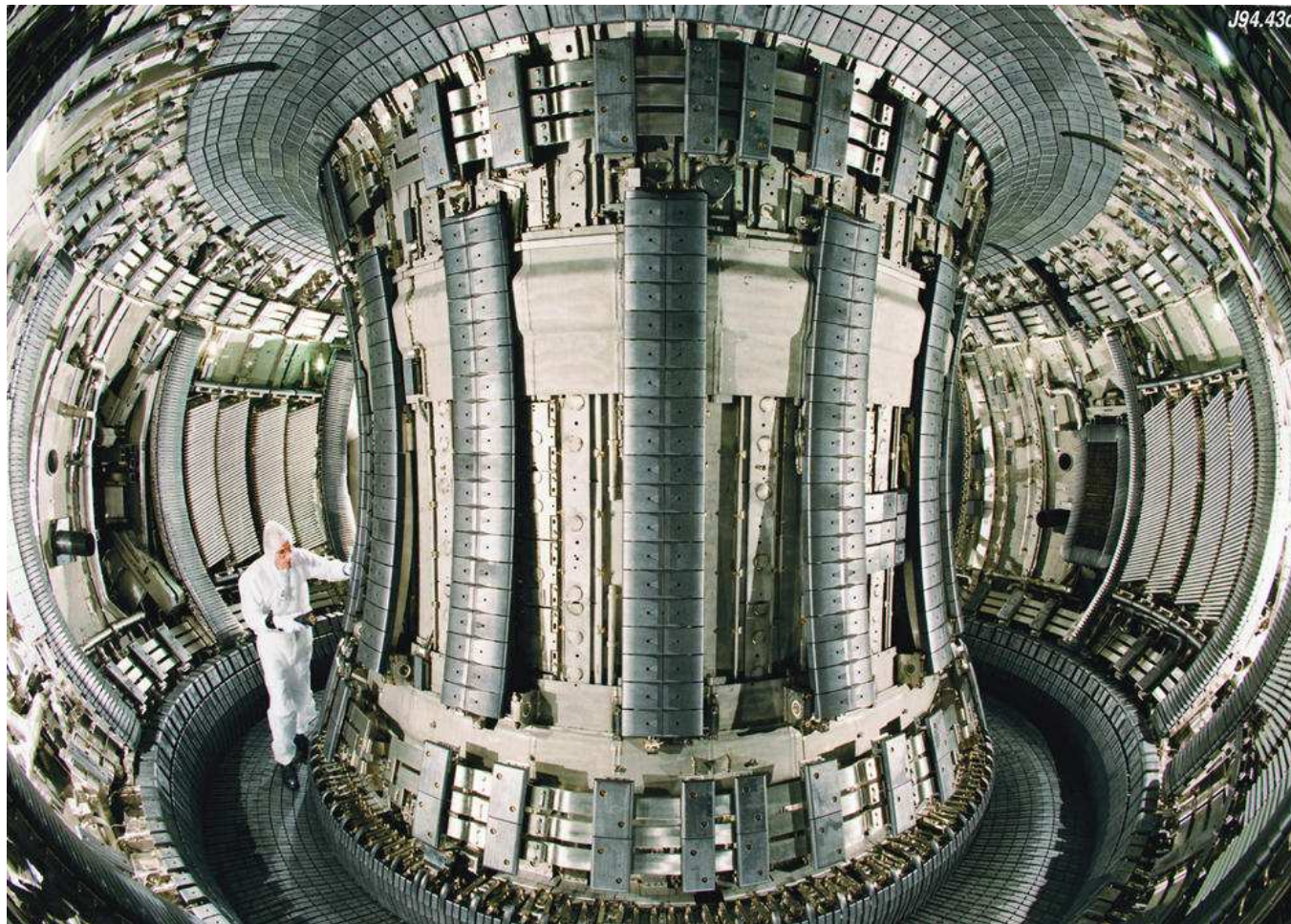


# Unser Fusionsreaktor

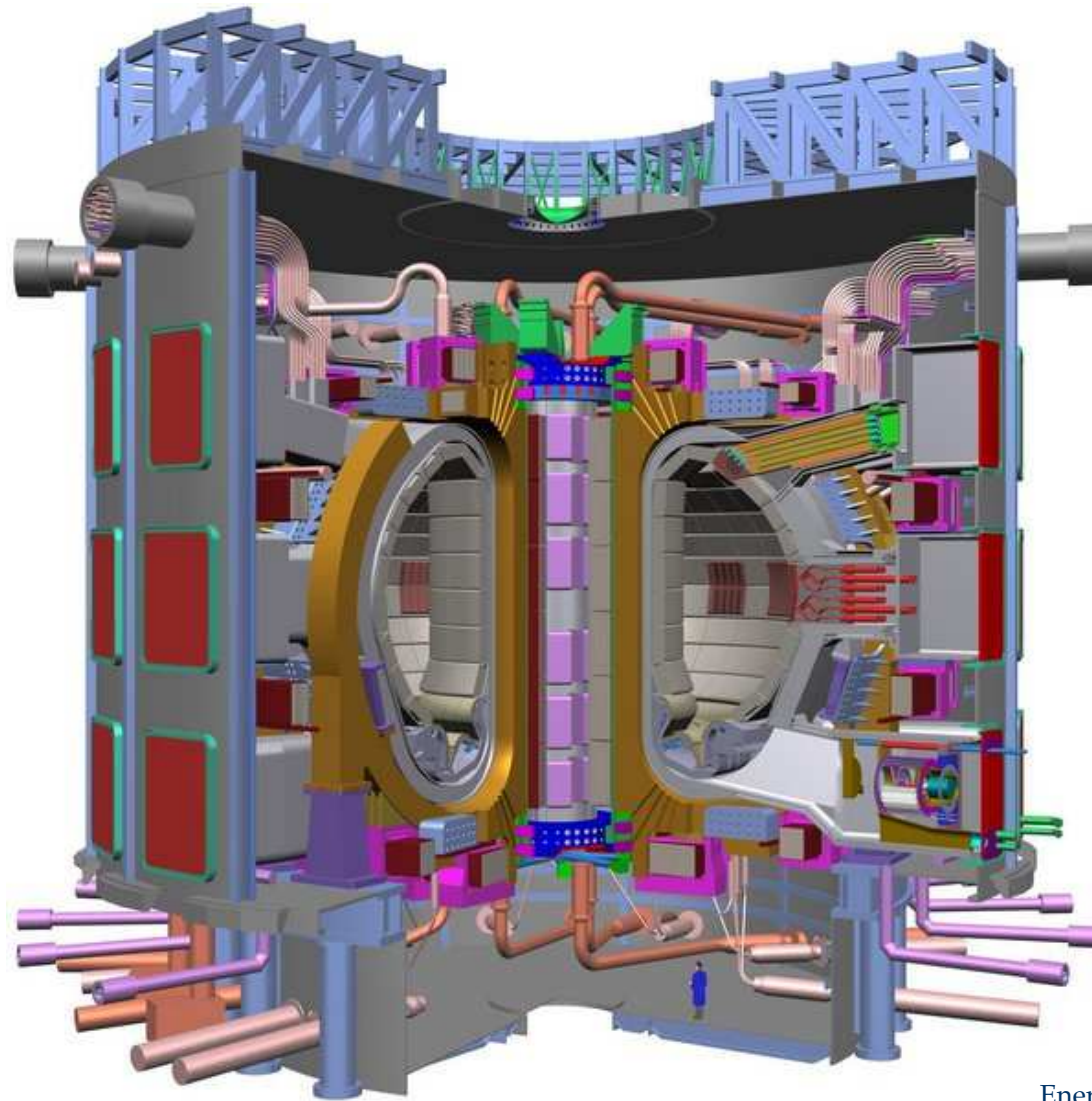




# Joint European Torus



# ITER

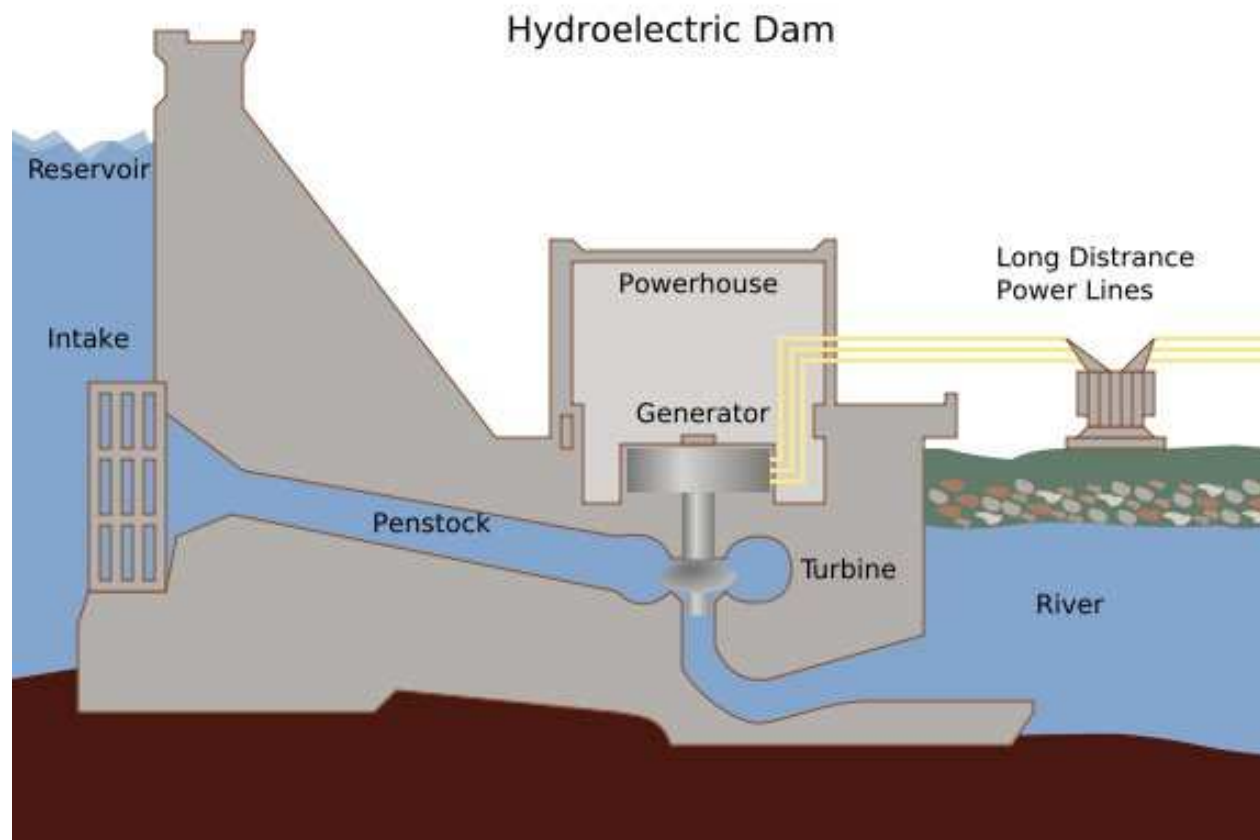




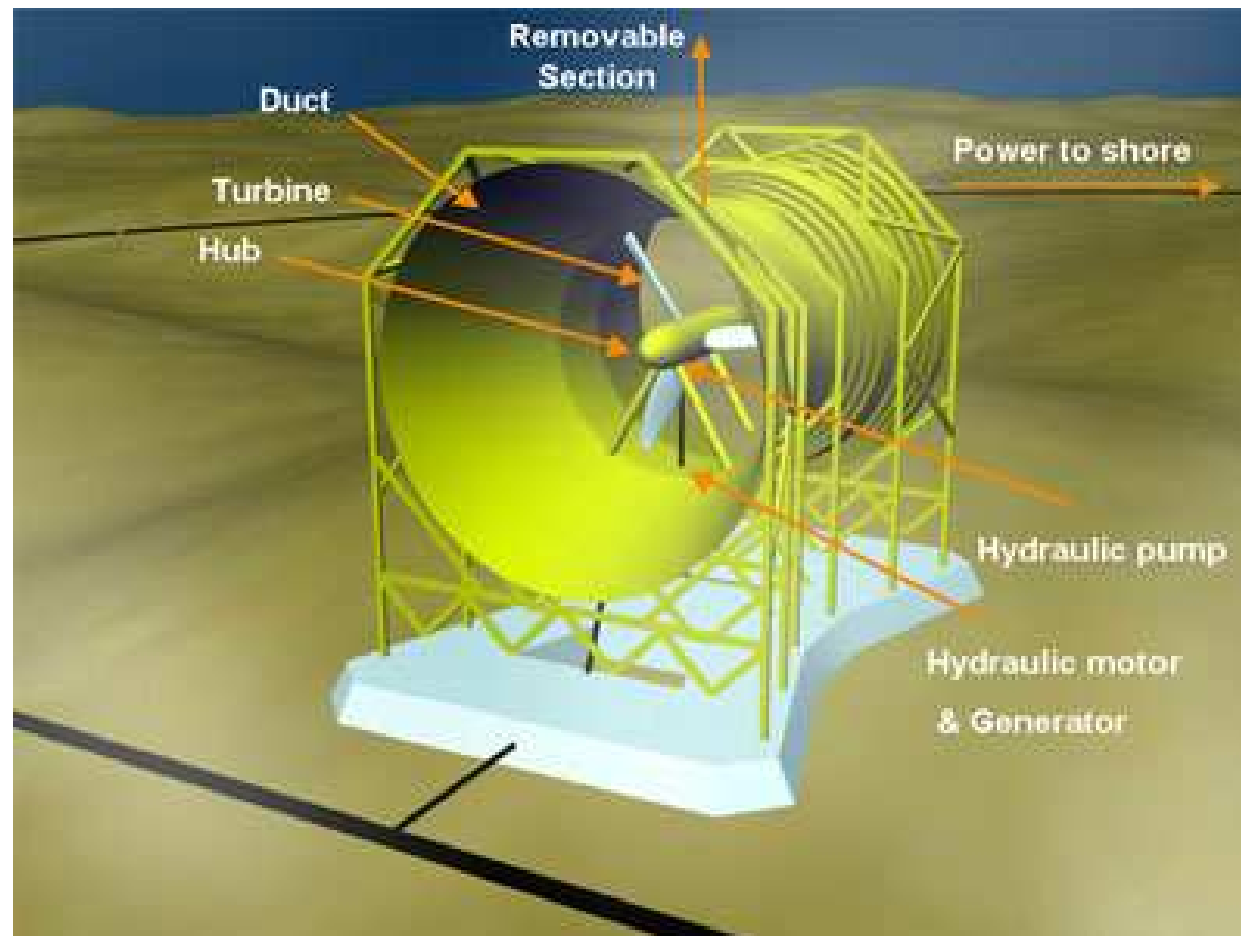
# Wasserkraft



# Pumpspeicherwerke



# Gezeitenkraftwerk, Prinzip

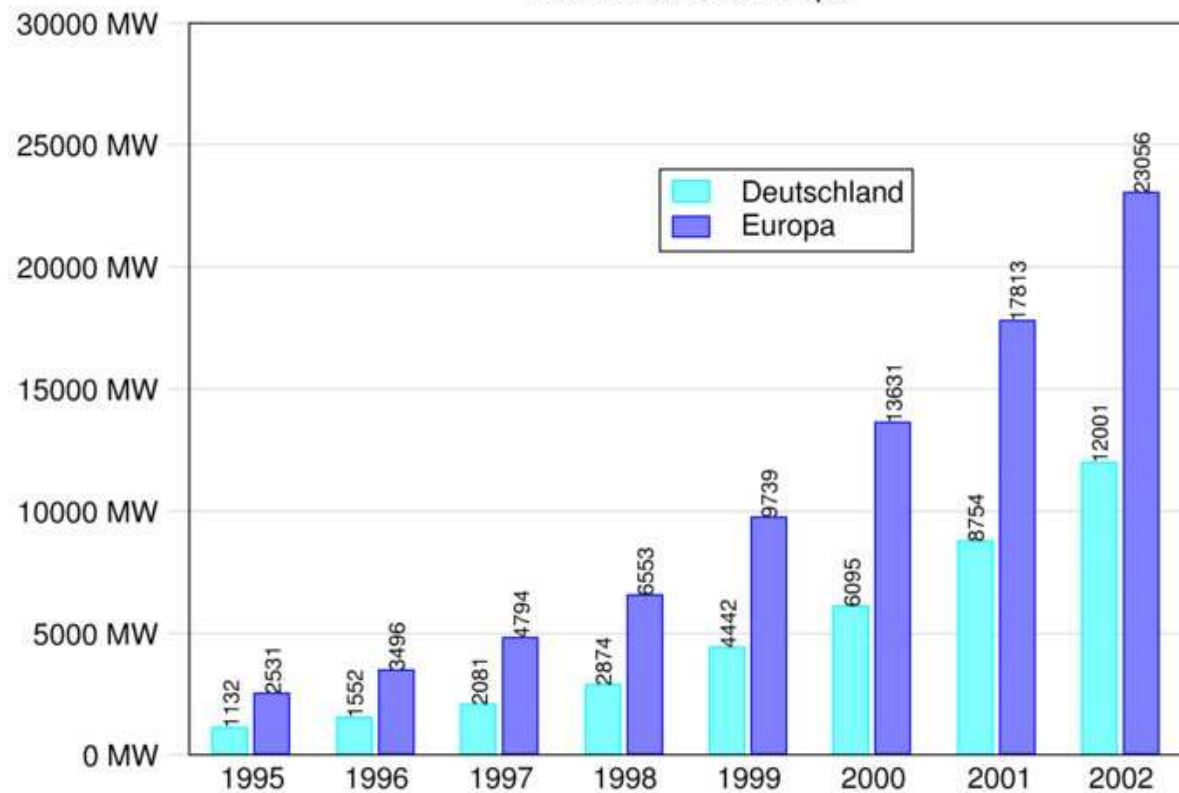


# Windenergie



# Windenergie

Installierte Leistung in Windkraftanlagen  
Deutschland und Europa

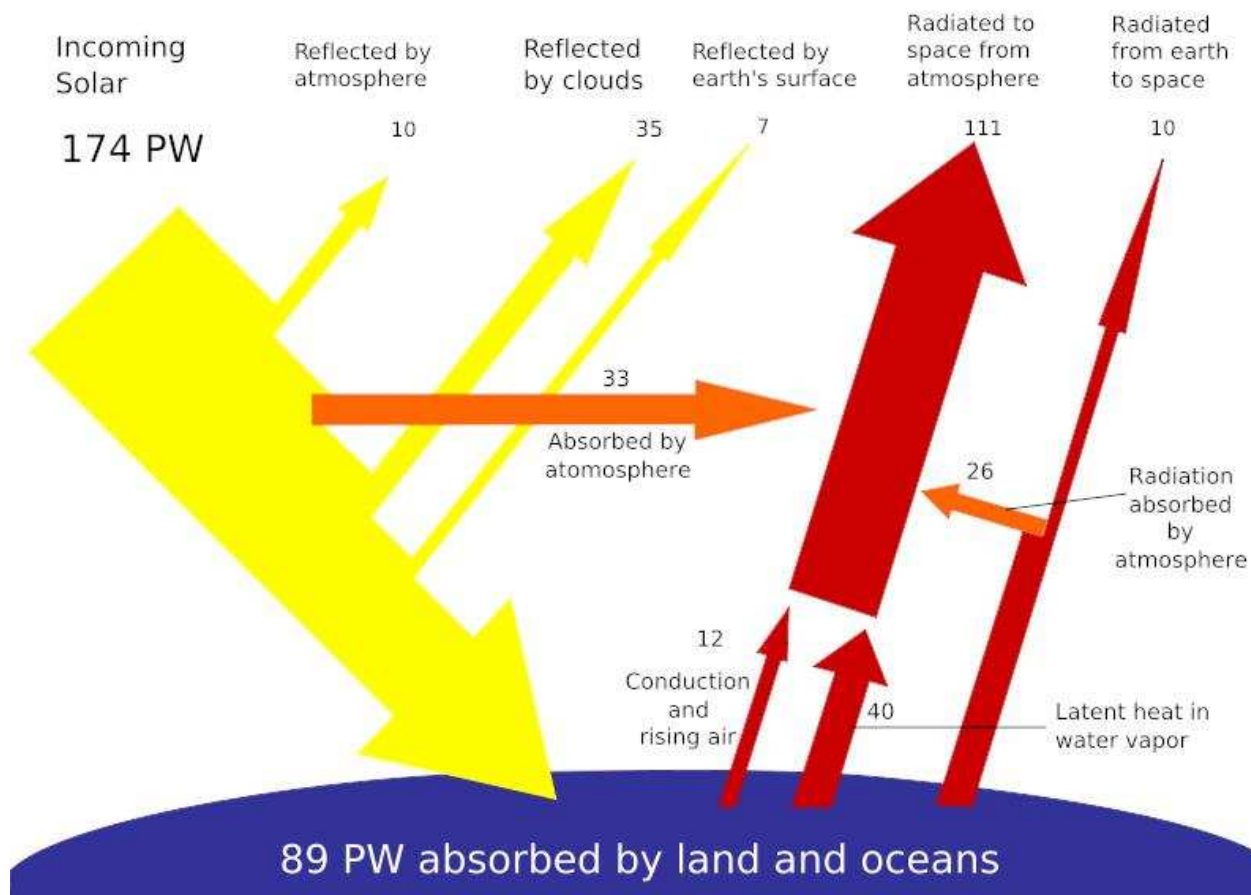


# Windenergie in Deutschland

- Gesamtstromverbrauch (2016) 616 TWh
- Windstromerzeugung (2016) 79,8 TWh (13 %)
- Gesamtzahl der Windräder (2016) 27 220
- durchschnittliche Leistung pro Anlage 2 bis 3 MW
- durchschnittliche Auslastung der Anlage  $\approx$  30 %



# Solarenergie



# Solarenergie



# Solarenergie in Deutschland

- Sonnenangebot am 'Rand' der Atmosphäre  $1350 \text{ W} / \text{m}^2$
- im Mittel im Siegerland  $100 \text{ W} / \text{m}^2$  am Tage
- effektive Leistung  $50 \text{ W} / \text{m}^2$
- Leistungsbedarf pro Person:  $5 \text{ kW} \times 18 \text{ Millionen (NRW)}$
- Leistungsbedarf NRW:  $90 \text{ GW}$
- Flächenbedarf mit Solarzellen von  $1800 \text{ km}^2$
- entsprechend 2,5 mal der Waldfläche in Siegen-Wittgenstein

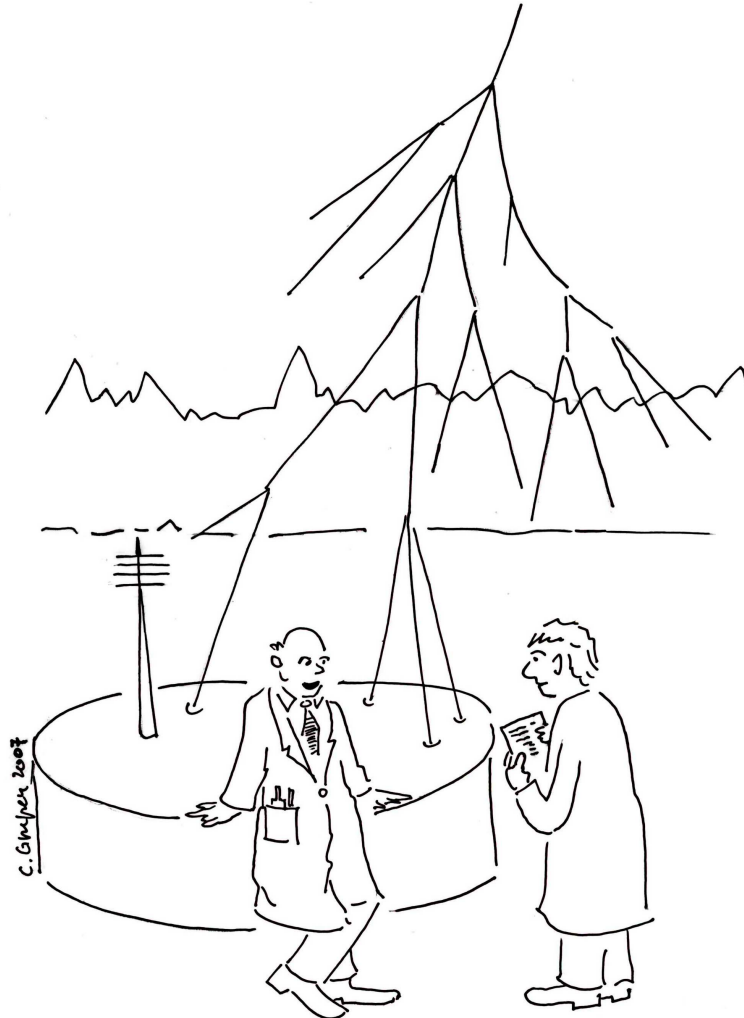
# Beispiel Solarenergie am ENC

- 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

# 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

# Eine Alternative?

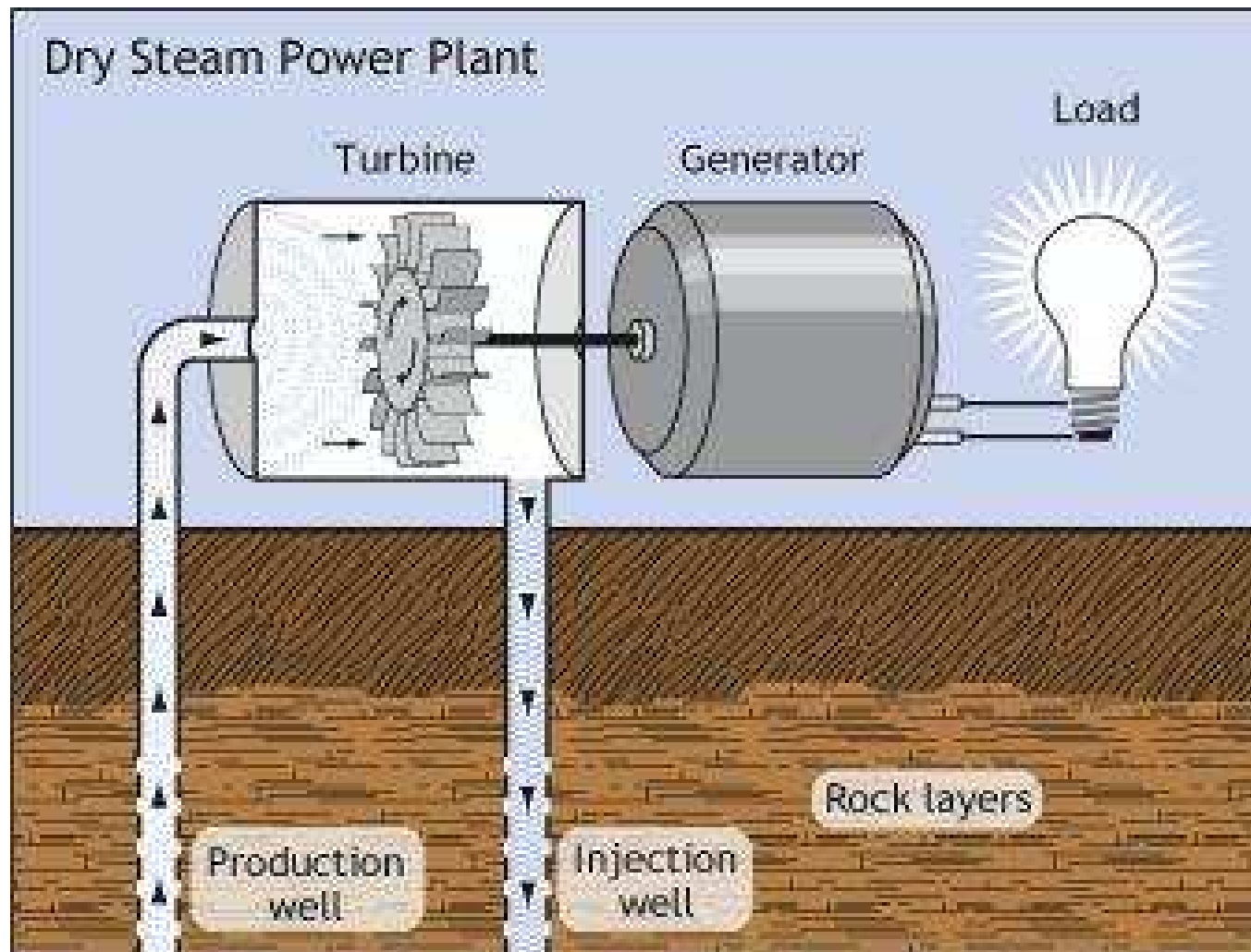


**"Wir fangen die kosmischen Teilchen ein, und verwenden sie zur Energieversorgung!"**

# Klimaproblem durch Kühe

- ein Rind erzeugt 200 Liter  $CH_4$  pro Tag
- 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

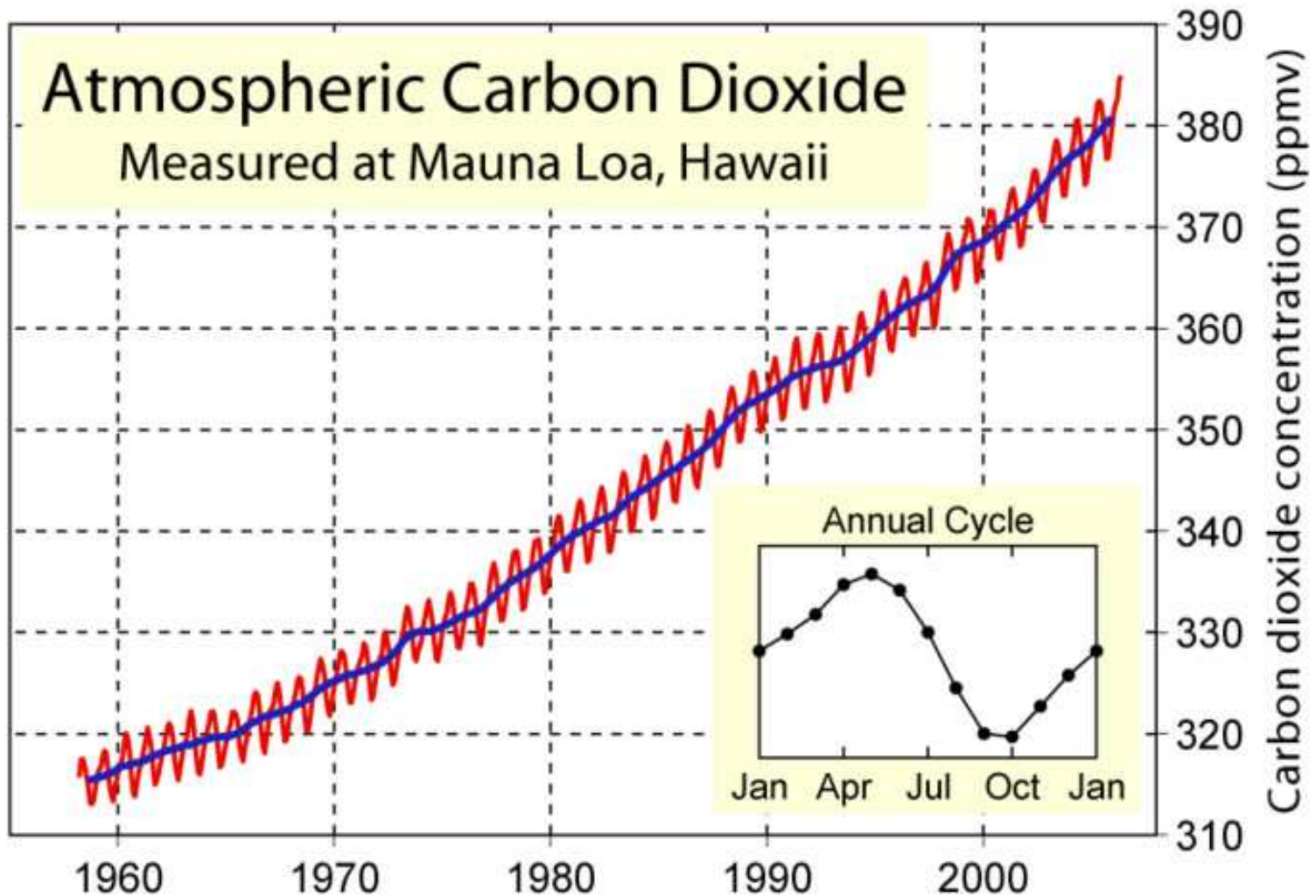


Der Geysir "Old Faithful" im Yellowstone-Nationalpark

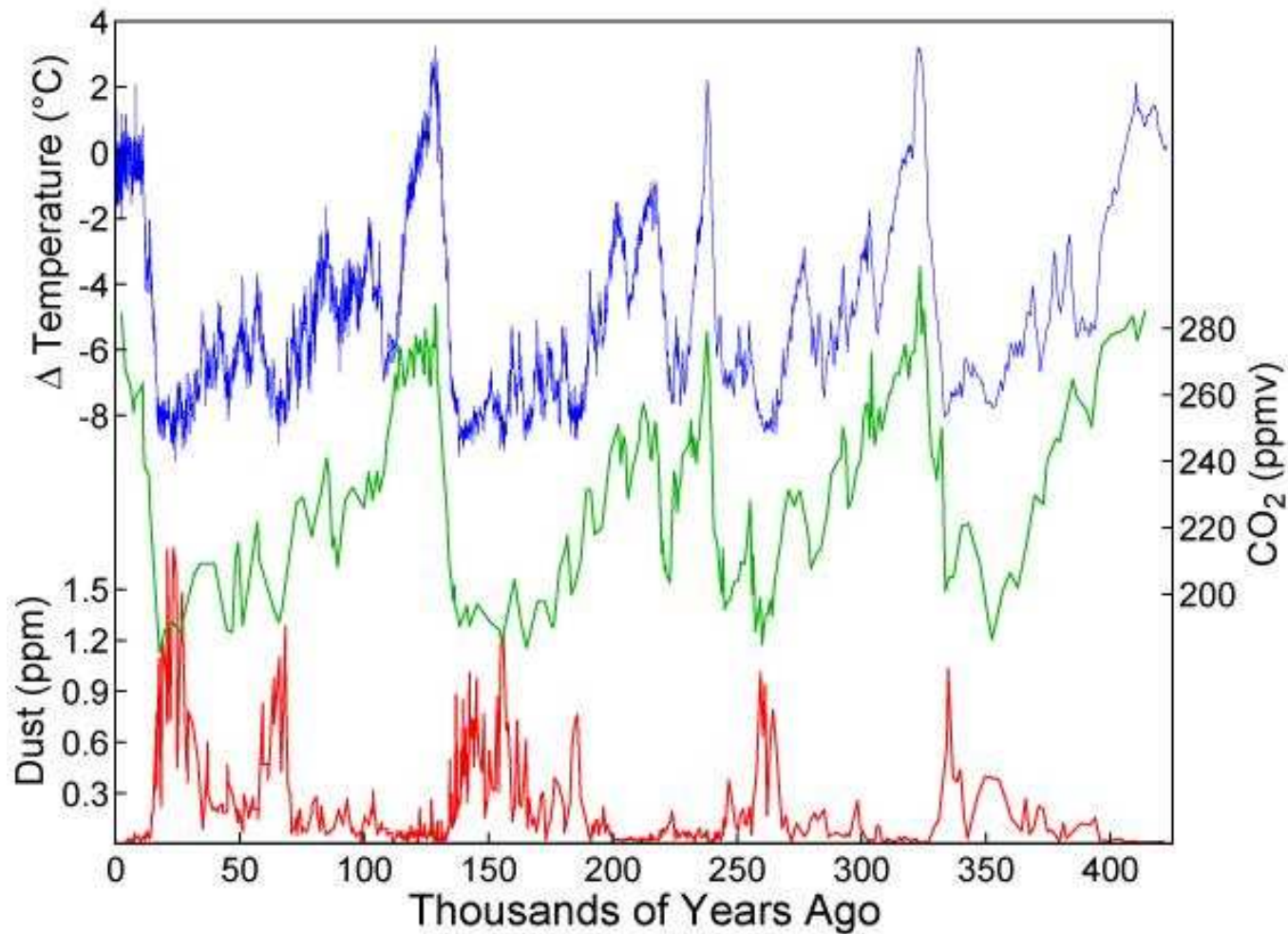
# Historische Anmerkungen

- 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.

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



# Staub, $CO_2$ und Temperatur



# Natürliche $CO_2$ 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

# Mögliche Maßnahmen

- 'Geo-Engineering? Schattenspender im Weltraum?
- Schwefelinjektion in die Atmosphäre??
- Speicherung von  $CO_2$  in Gesteinsformationen
- Verpressen von  $CO_2$  im Meerwasser??
- "Begrünen" der Wüsten mit Plastikbäumen, die die Luftfeuchtigkeit einfangen und in den Boden leiten. Später könnten echte Bäume wachsen und  $CO_2$  absorbieren.
- Bessere Energiespeicher?  
Bleiakku 30 Wh pro kg Masse  
Li-Ionen Akku 200 Wh pro kg Masse

# Thermodynamik

Die Abstrahlung der Erde folgt dem Gesetz von Stefan-Boltzmann

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

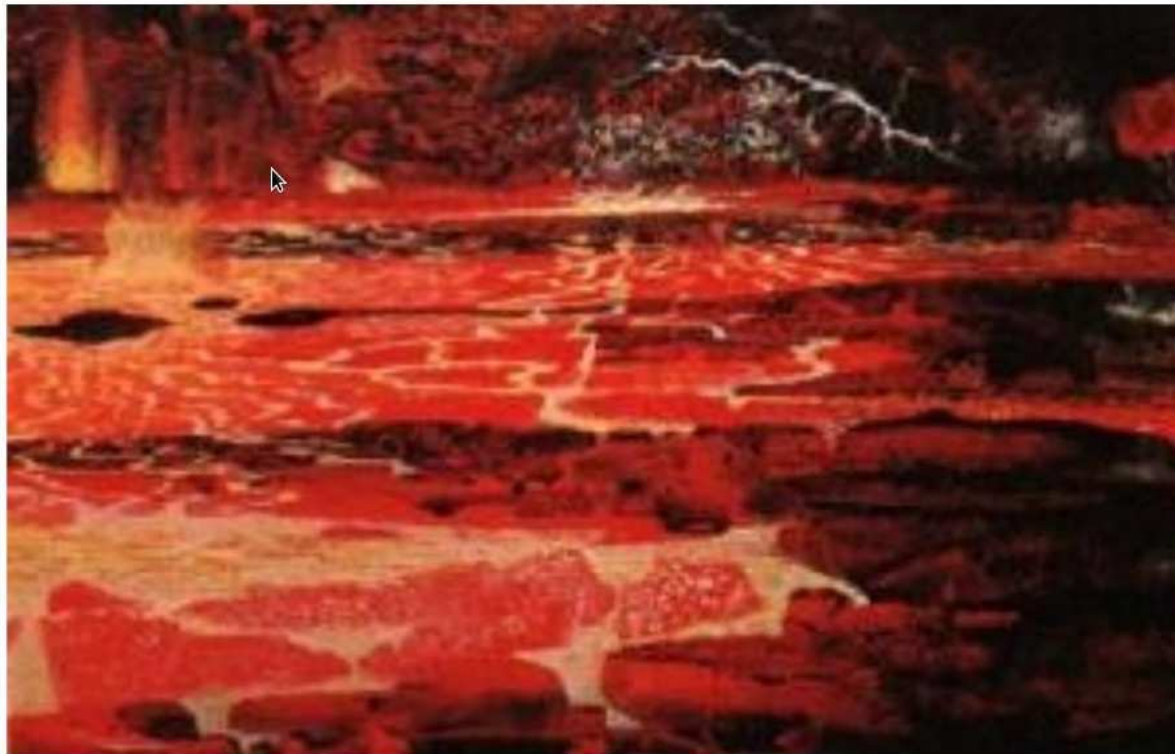
Nehmen wir ein Wirtschaftswachstum (und Energiewachstum) von 3 Prozent pro Jahr an.

In ca 500 Jahren wird die Erde kochen, unabhängig vom CO<sub>2</sub> Problem (falls wir ein permanentes Wachstum haben werden)



# Thermodynamik

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

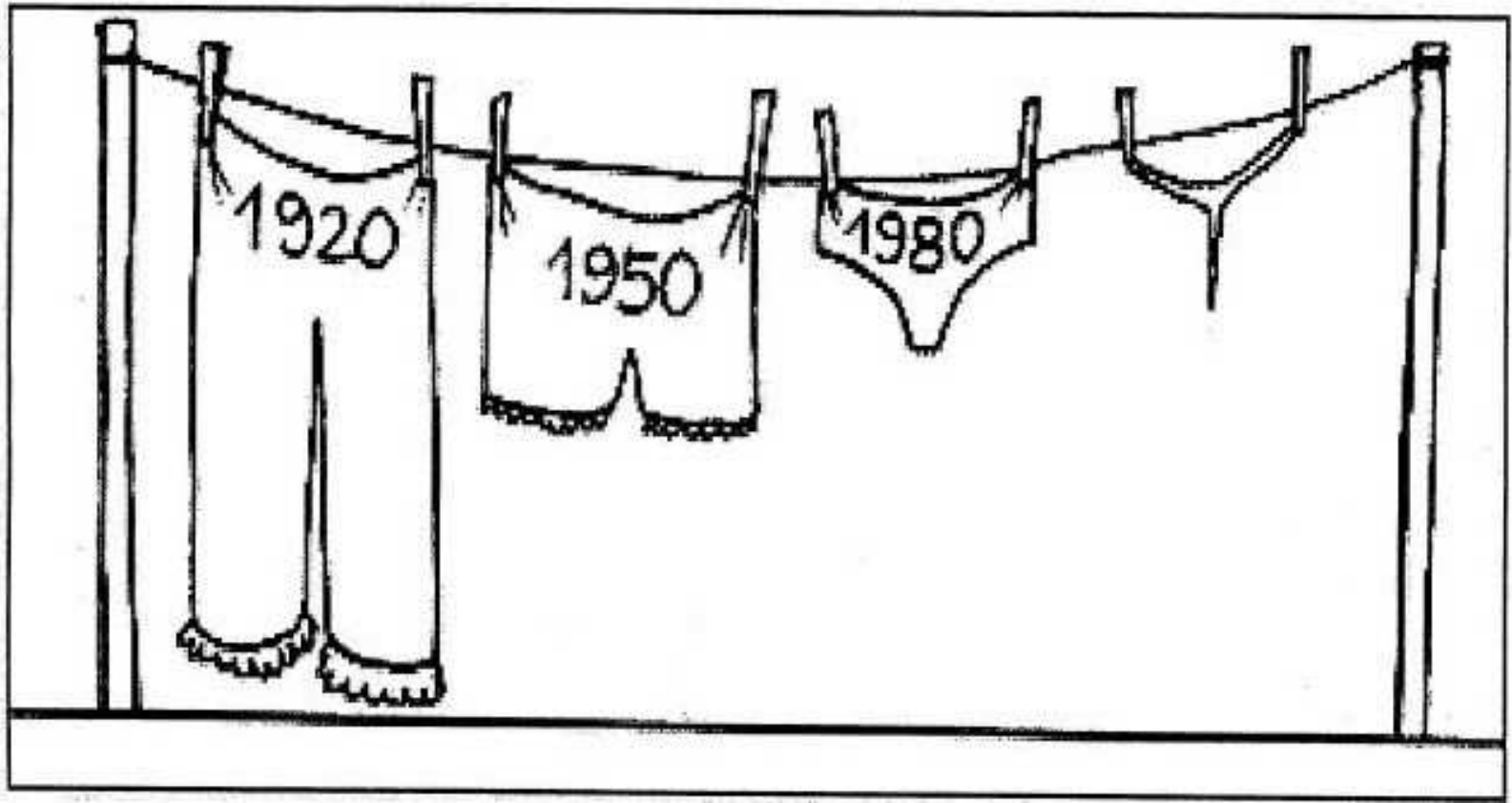




# Zusammenfassung

- Das  $CO_2$  Problem muss jetzt angepackt werden.
- Die Grundversorgung muss sichergestellt werden.
- Das erfordert gute Speichertechniken und stabile Netze.
- Es muss also mehr in Energieforschung investiert werden.
- Es muss mehr in Speichertechniken investiert werden.
- Langfristig muss der Mensch lernen, von regenerativen Energien zu leben.

# Beweis für den Klimawandel



# Vorschlag zur Energieeinsparung

