

Energiekonzepte: Wohnen und Arbeiten nach dem Zeitalter des Erdöls

*Prof. Dr. Gerd Ganteför
Fachbereich Physik
Universität Konstanz*

Quellen

Klimaschutz und Energieversorgung in Deutschland 1990 – 2020

Eine Studie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft

Bad Honnef, September 2005



Seminar Energietechnik

2-stündig oder als Blockseminar

Sommersemester 2005

Gerd Ganteför
Nils Bertram

Methoden der Energieerzeugung:

Windenergie, Solarenergie, Kernspaltung,
Kernfusion, kalte Fusion, Biogas, Erdwärme, Gezeiten,
Braunkohle, Erdgas, Methaneis...

Methoden der Energiespeicherung:

Laptopbatterien, H-Speicherung, Brennstoffzelle...

Umweltrelevanz:

Paläoklimatologie, CO₂-Zyklus der Atmosphäre,
globale Klimaerwärmung...

Politische Randbedingungen:

Kyoto-Protokoll, Energiebedarfsprognosen...

Anmeldungen und Themenwünsche per E-Mail an
gerd.gantefoer@uni-konstanz.de

Wie viel Energie wird benötigt ?



Leben braucht Energie !

Biologisch: Verbrennung von Fetten und Kohlenhydraten zu Kohlendioxid (CO₂)

Technisch: Verbrennung von Kohlenstoff (Kohle, Öl) zu Kohlendioxid (CO₂)

1 Mensch:	Nahrungsbedarf	2500 kcal/Tag = 100 Watt
1 Kraftwerk:	Energieerzeugung	1 000 000 000 Watt
		= 1 Gigawatt (1 GW)

Der Bedarf: Schätzung pro Person

Mensch *(Nahrung)* **2500 kcal = 2,4 kWh = 0,2 ltr Heizöl pro Tag**
entspricht 100 Watt pro Mensch
0,1 GW pro Großstadt (1 Million Menschen)

Elektrizität **2000 kWh pro Haushalt pro Jahr**
entspricht 200 Watt pro Haushalt
0,1 GW pro Großstadt (0,5 Millionen Haushalte)

Heizung **2000 Liter Heizöl pro Jahr pro Haushalt**
Brennwert 10 kWh pro Liter
20000 kWh pro Haushalt pro Jahr
entspricht 2000 Watt pro Haushalt
1 GW pro Großstadt (0,5 Millionen Haushalte)

Transport **1x Tanken pro Woche (60 liter)**
Brennwert 10kWh pro Liter
600 kWh pro Woche pro Haushalt
30000 kWh pro Haushalt pro Jahr
entspricht 3000 Watt pro Haushalt
1.5 GW pro Großstadt (0,5 Millionen Haushalte)

Ergebnis : ca. 3 GW pro 1 Million Menschen

PS: voller ICE verbraucht 2,5 ltr/100km pro Person = 1,5x mehr als ein vollbesetzter PKW

Ergebnis der Schätzung pro Person

80 Millionen Menschen: $3 \times 80 = 240$ Gigawatt

Industriebedarf ? Verdoppelung ?

Schätzung Gesamtbedarf: 480 Gigawatt

Tatsächlicher Verbrauch 2005:

83 Millionen Menschen: 460 Gigawatt

14 PJ

= 14 000 000 000 000 000 000 Joule

= 460 Gigawatt für 1 Jahr



- „Anschaulich“:

14 PJ reichen aus, um
38 Milliarden m^3 Wasser zum
Kochen zu bringen

Der Bodensee enthält 50 Milliarden m^3 ,
er würde also sehr warm werden!

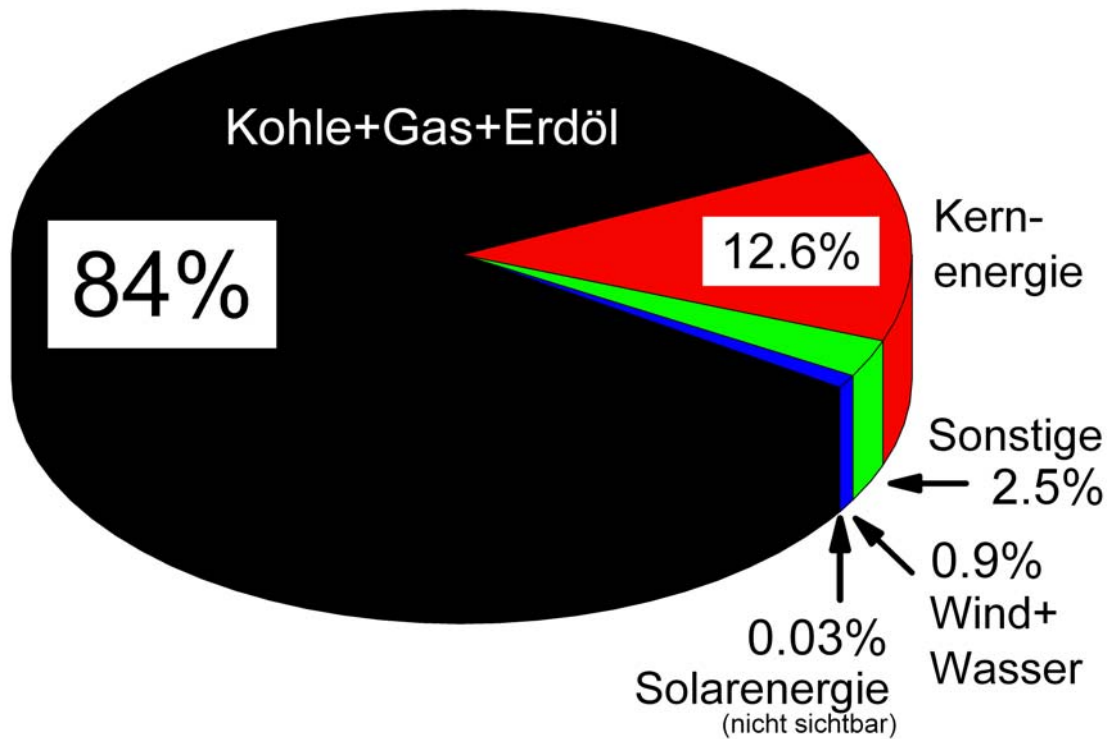
Wovon ist der Verbrauch abhängig?

- Bevölkerungszahl
- Anzahl der Haushalte
- Anzahl an Kraftfahrzeugen und ihrer Fahrleistung
- Umfang der wirtschaftlichen Produktion sowie deren Energieeffizienz

	1990	1999
<i>Wohnbevölkerung (Mio)</i>	79,4	82,1
<i>Anzahl Haushalte (Mio)</i>	34,9	37,8
<i>Anzahl PKW (Mio)</i>	35,5	42,3
<i>Bruttoinlandsprodukt (BIP) in Mrd Euro</i>	1711	1970

***Zunahme BIP um 17 %, trotzdem Abnahme Energieverbrauch um 3%
→ Steigerung der Energieeffizienz***

Primärenergien 2003



Prozentuale Aufteilung der Primärenergie im Jahr 2003 in Deutschland. Kohle, Gas und Erdöl sind fossile Energieträger, deren Verbrennung Sauerstoff verbraucht und das Treibhausgas Kohlendioxid erzeugt. (Quelle: BMBF)

Übersicht über die Energiequellen

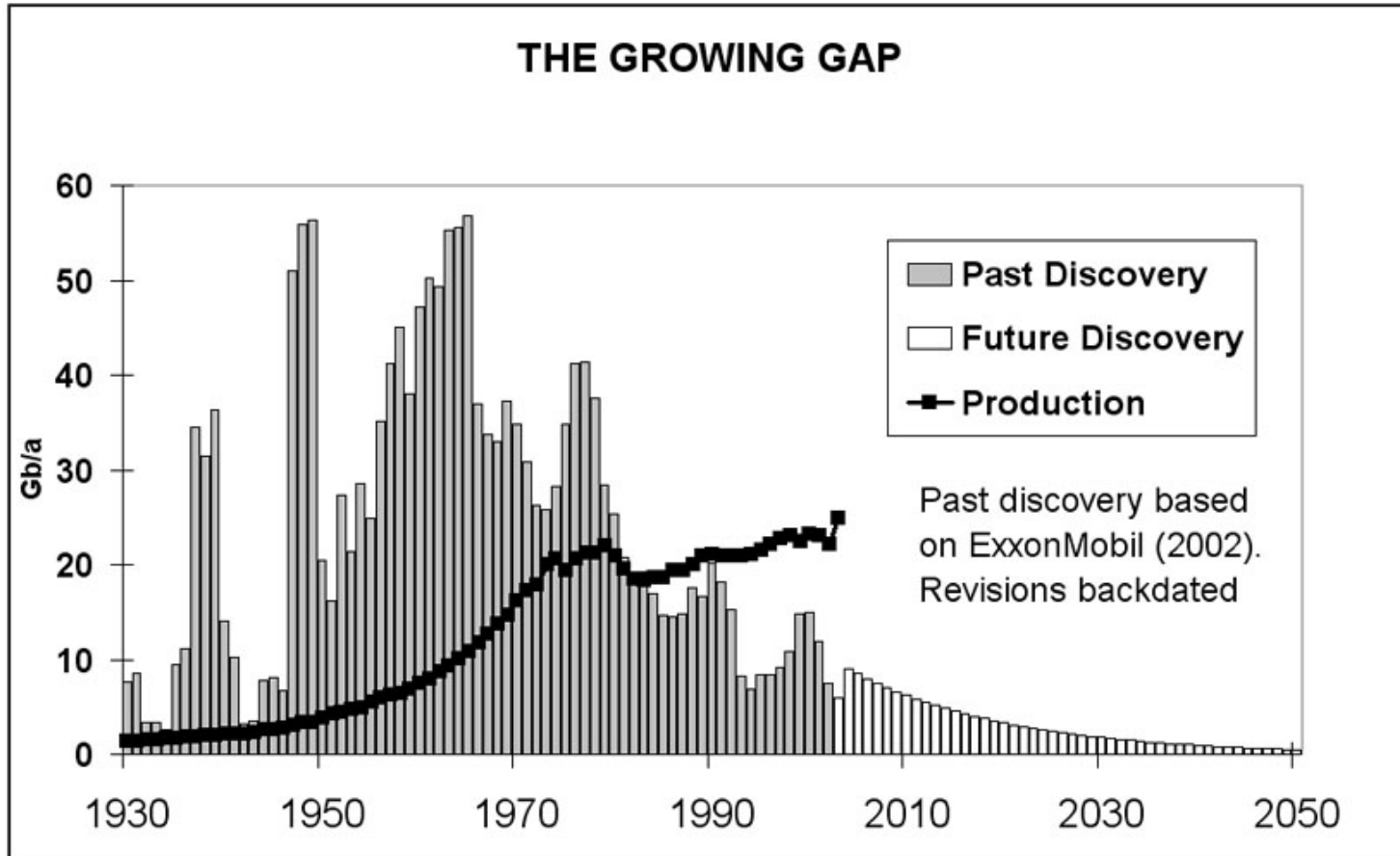
- Öl
- Kohle
- Gas
- Kernenergie
- Windenergie
- Solarenergie

Energiequelle: Öl



Rohölpreis in Dollar pro Barrel : Verdoppelung alle 2,5 Jahre ?

Energiequelle Öl



Es werden weniger neue Felder entdeckt als an Öl gefördert wird. Der Ölpreis sollte sich mit Zeitkonstanten 10-15 Jahren verdoppeln.

Energiequelle Öl

förderfähige Vorräte:	1200	Milliarden Barrel
jährliche Förderung	30	Milliarden Barrel



Vorräte für 40 Jahre

Energiequelle Kohle

förderfähige Vorräte:	783	Milliarden Tonnen
jährliche Förderung	3,8	Milliarden Tonnen



Vorräte für 200 Jahre

Energiequelle Erdgas

förderfähige Vorräte:

170

Milliarden m³

jährliche Förderung

2.7

Milliarden m³



Vorräte für 70 Jahre

Energiequelle Kernenergie

Uranvorräte (geschätzt)
Bedarf der 440 Kernkraftwerke

11.3 Millionen Tonnen
0.068 Millionen Tonnen/Jahr

Vorräte für 150 Jahre

Technische Verbesserungen:

Wiederaufbereitung:

Schneller Brüter

Hochtemperaturreaktor

300 Jahre

4700 Jahre

?



Energiequelle Windenergie

Wind (real 2005)

3 Gigawatt

Gesamt-Elektrizität

55 Gigawatt

Gesamtenergiebedarf

460 Gigawatt

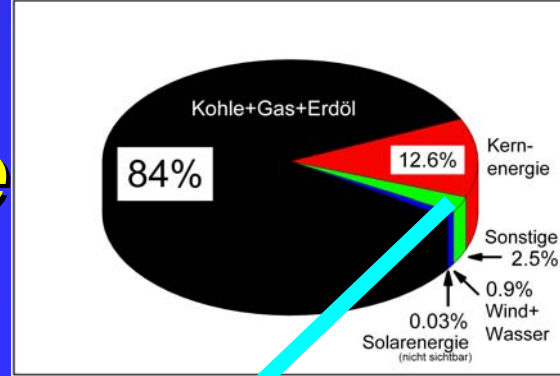


Ausbaupotenzial:

auf dem Festland: gering

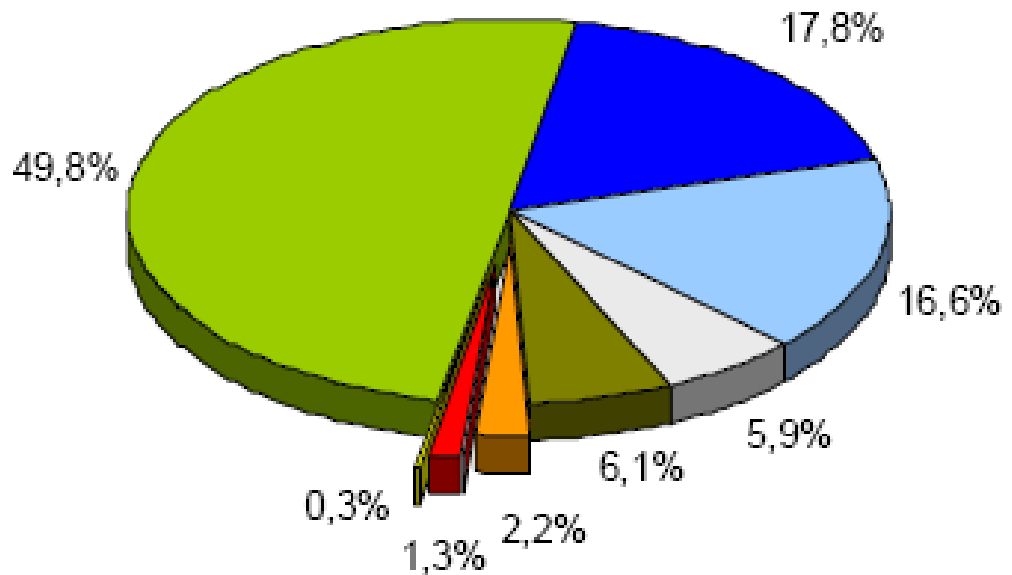
Off shore: ?

Energiequelle Solarenergie



Endenergie: 114 TWh

- Wasserkraft
- Windenergie
- Biodiesel
- biogene Brennstoffe, Strom
- Solarthermie
- Geothermie
- Fotovoltaik
- biogene Brennstoffe, Wärme



Quellen:
siehe oben stehende Tabelle

2003: Anteil regenerativer Energien 0.3%

Wie verändert sich der Energiebedarf ?

Prognose von Klaus Heinloth, im Auftrag der Heraeus Stiftung

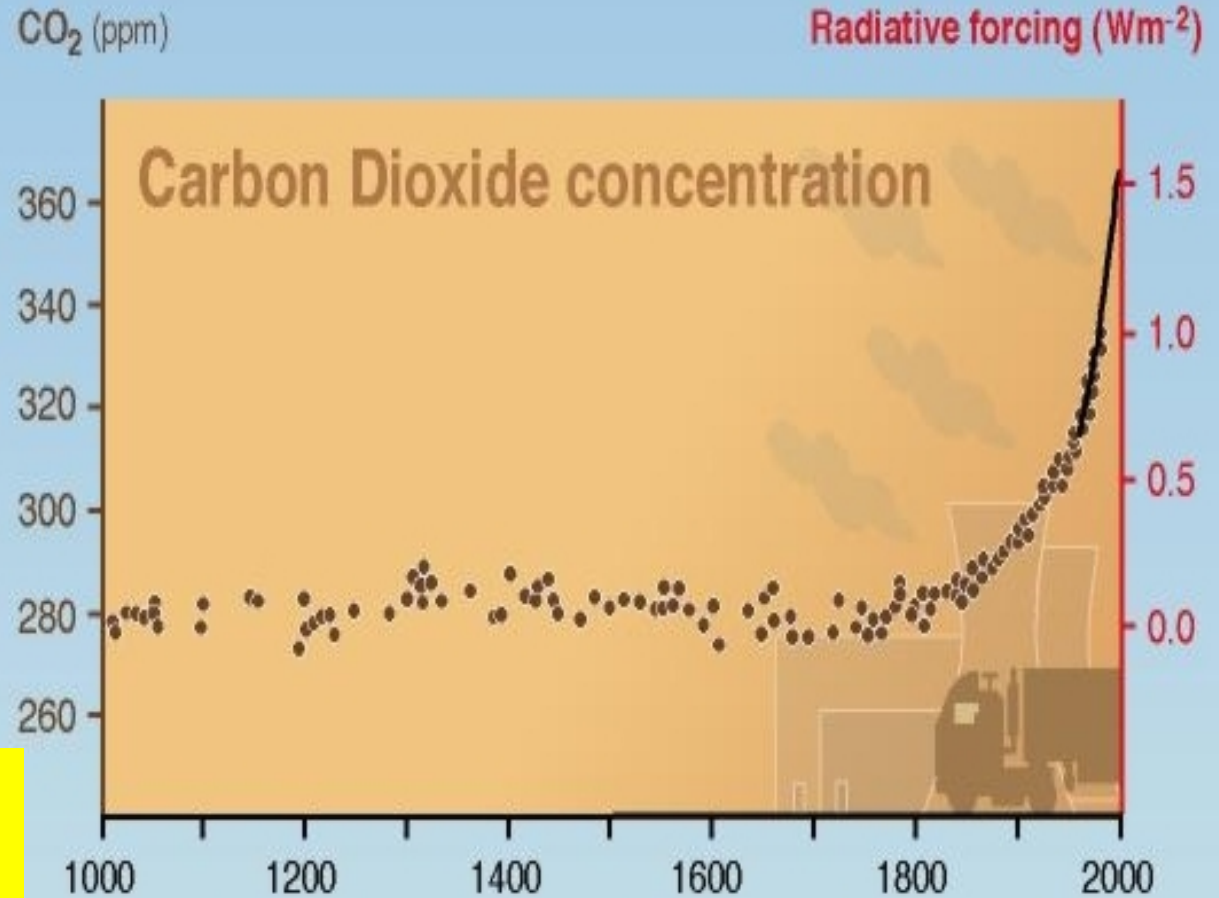
- Bevölkerung nimmt trotz Zuwanderung ab
- Die Wirtschaft wächst jährlich um 1%
- Die Effizienz der Energienutzung wird um 15 bis 30% gesteigert

Abgeschätzt wird, dass der Energiebedarf von 14,3 auf **10,5 - 14,1 PJ** fallen wird!

Übersicht über die Energiequellen

	<u>Art</u>	<u>Zukunft</u>
→	Öl	40 Jahre
→	Kohle	200 Jahre
→	Gas	70 Jahre
→	Kernenergie	150 Jahre (?)
→	Windenergie	max. 5 %
→	Solarenergie	max. 0,1 %
→	andere ???	

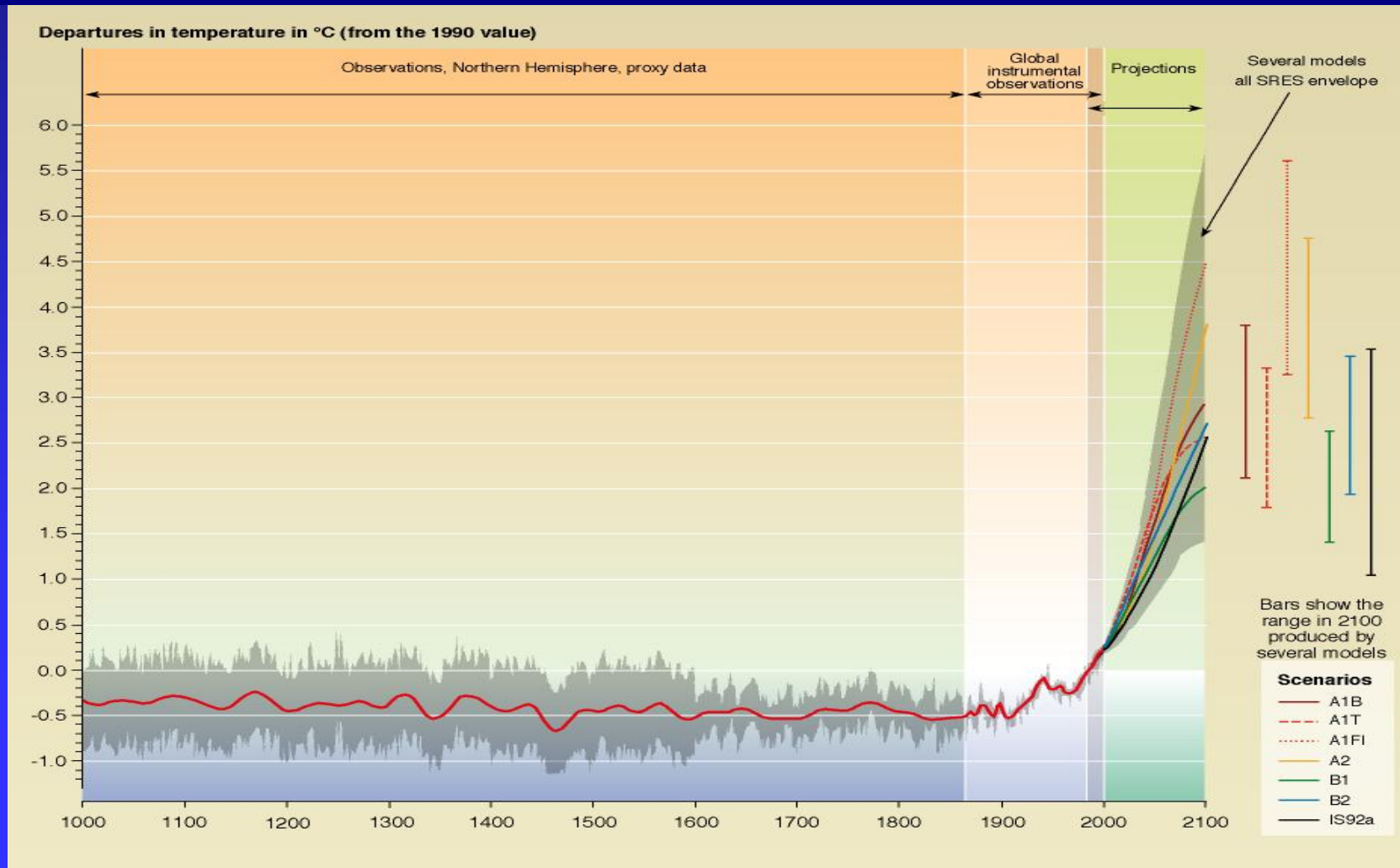
Klimaveränderung: Kohlendioxid (CO₂)



seit 1750: Anstieg
um 31%
höchste Konzentration
seit 420 000 Jahren
oder sogar
seit den letzten
20 Millionen Jahren

Temperaturanstieg

Prognostizierte Temperaturen im 21. Jahrhundert sind signifikant höher als in den letzten 1000 Jahre



Bewertung der Klimaveränderung

Zeitskala 30-100 Jahre (Erwärmung < 2 Grad)

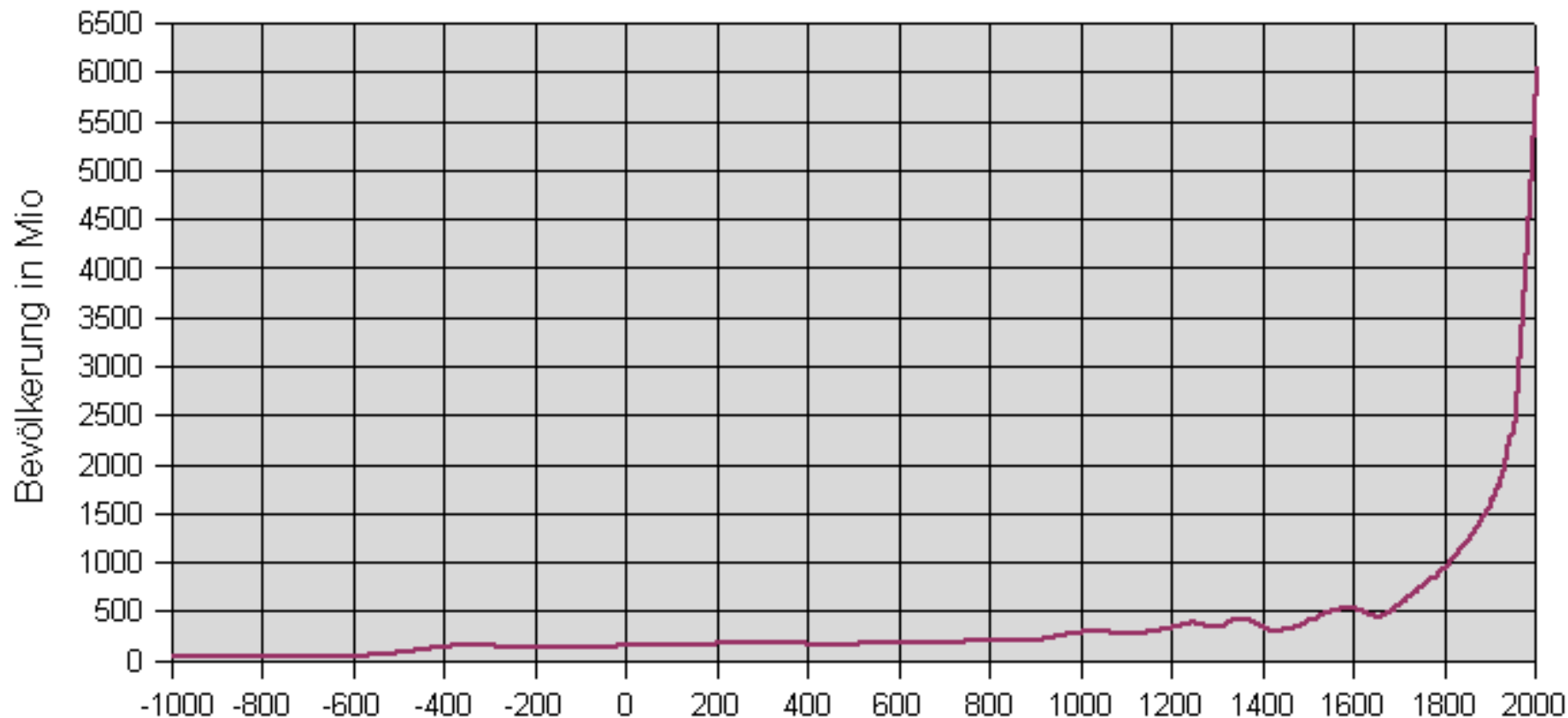
- **geringe Veränderung im Vergleich zur Erdvergangenheit**
- **Ausbreitung der Wüsten**
- **Erwärmung der Polargebiete**
- **geringfügige Erhöhung des Meeresspiegels**
- **extremes Wetter**

Zeitskala 1000 Jahre (Erwärmung > 2 Grad)

- **Warmzeit wie zur Zeit der Dinosaurier**
- **Eisfreie Pole**
- **Anstieg des Meeresspiegels um >100m**

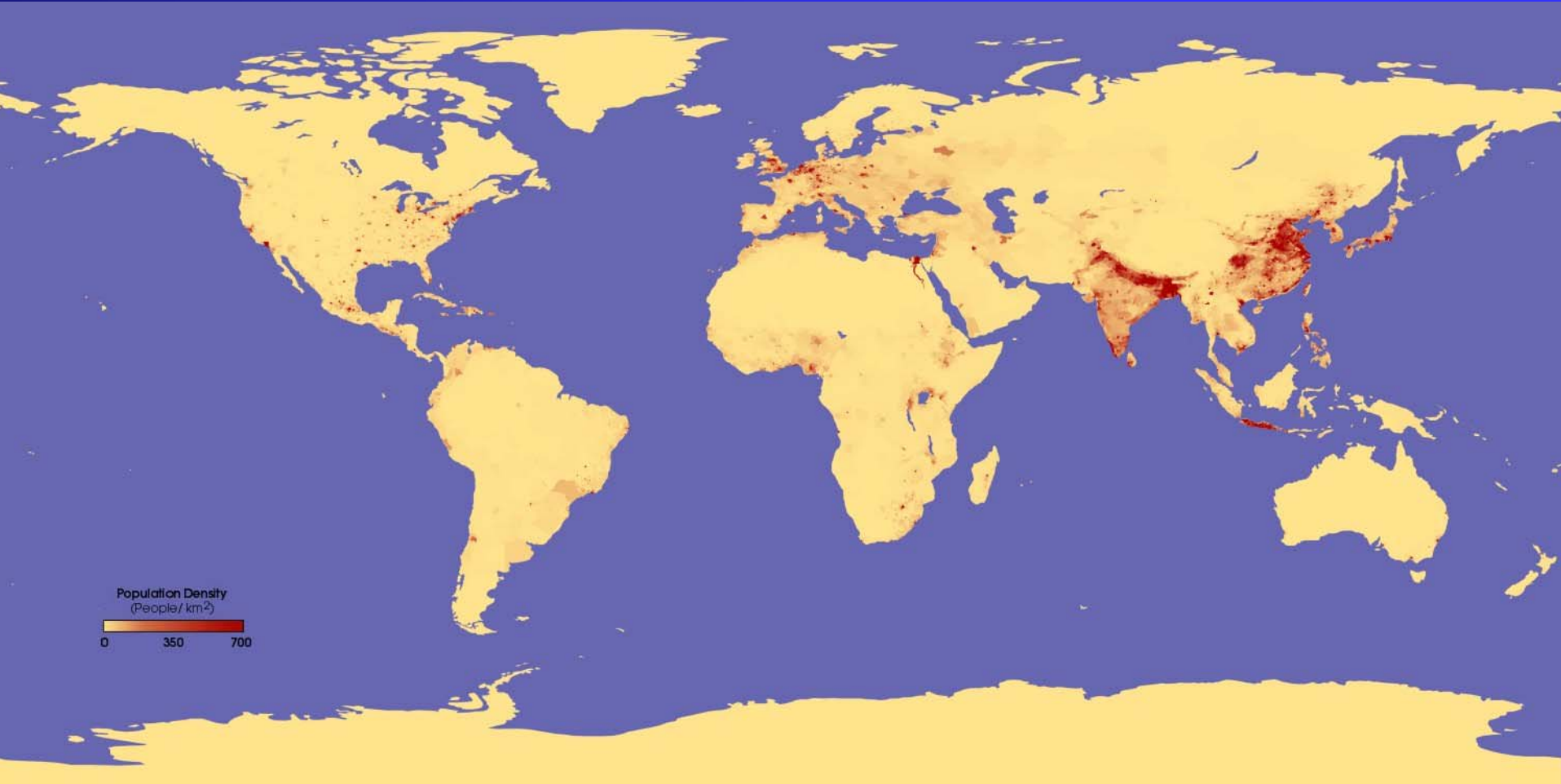
Überbevölkerung und Energie

Bevölkerungsentwicklung



2005	6.5 Milliarden
2025	7,9 Milliarden
2050	9,1 Milliarden

Bevölkerungsdichte



Bei geringer Bevölkerungsdichte (gelb) genügen allein regenerative Energien für die Versorgung (z.B. Norwegen).

Was tun?

- Unsere Hauptenergiequellen (Öl, Kohle, Gas) werden sich im Preis alle 10 Jahre, später alle 5 Jahre verdoppeln.
- Fossile Energieträger führen langfristig zur Erhöhung des Meeresspiegels (Klimakatastrophe).
- Bekannte regenerative Energien können maximal 10 % des Energiebedarfs bei heutiger Bevölkerungszahl und realistischem Energiepreis decken.
- Einsparpotenzial ist zu gering.

→ Deutsche Physikalische Gesellschaft:

**Plädoyer für Weiterlaufenlassen der Kernkraftwerke
Plädoyer für solarthermische Kraftwerke im Süden
Standardkraftwerke mit CO₂ Abscheidung**

- Langfristig gibt es noch keine Energiequelle für die hohe Bevölkerungsdichte Deutschlands.

Resumée

- Wir haben noch Zeit (ca. 30 Jahre)!
- Wir sollten sie vernünftig nutzen!

Energiequelle Kernenergie

Sicherheit im Betrieb:

Moderator und Kühlmittel getrennt: bei Ausfall der Kühlung verstärkt sich die Kettenreaktion (z.B. bei russischen Graphitreaktoren)

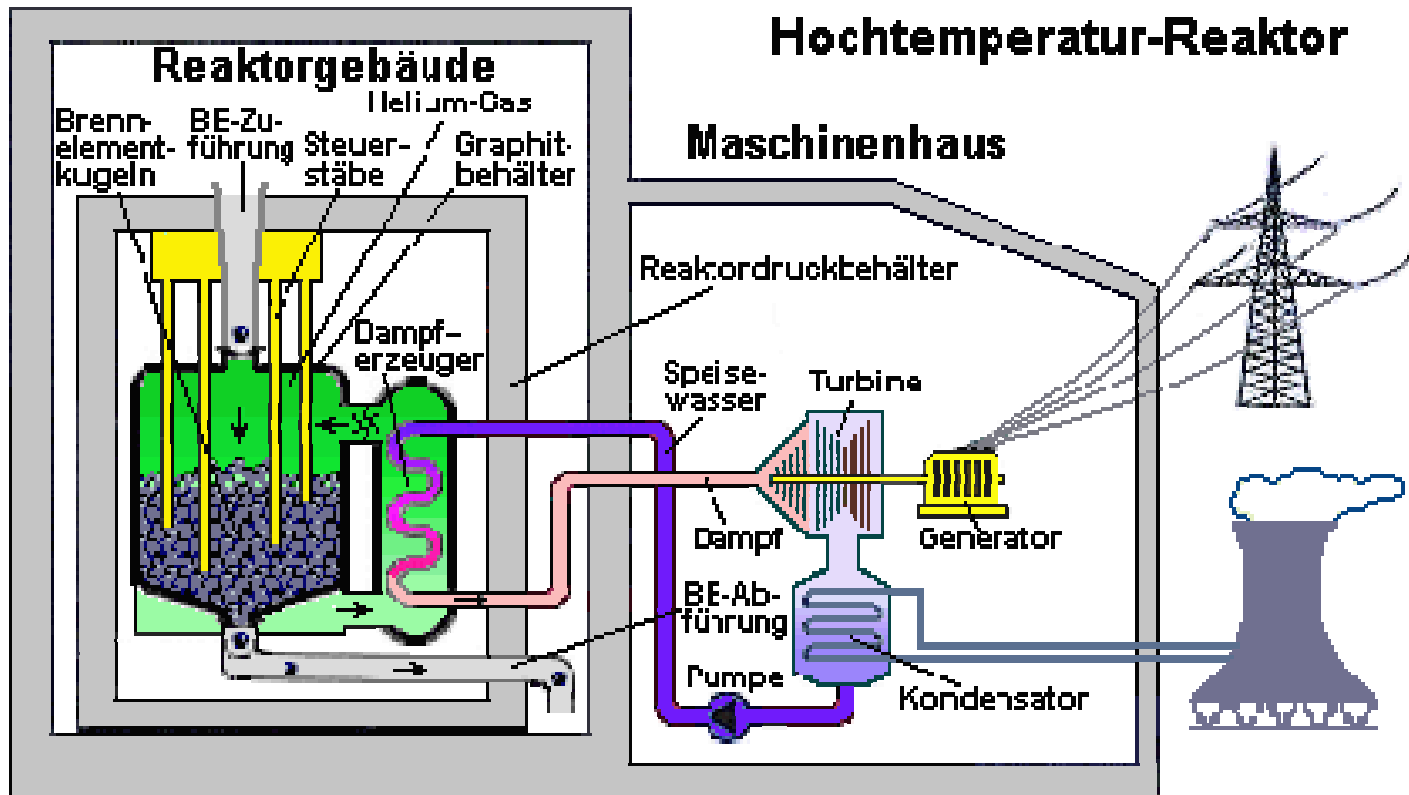
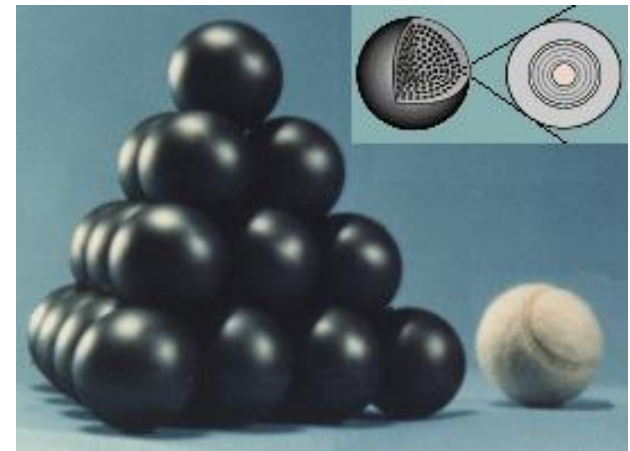
zur Zeit sicherster Reaktor: Hochtemperaturreaktor. Moderator und Kühlmittel ist Helium (entwickelt in Jülich 1960-1980).
Auch für U^{238} geeignet

Endlagerung:

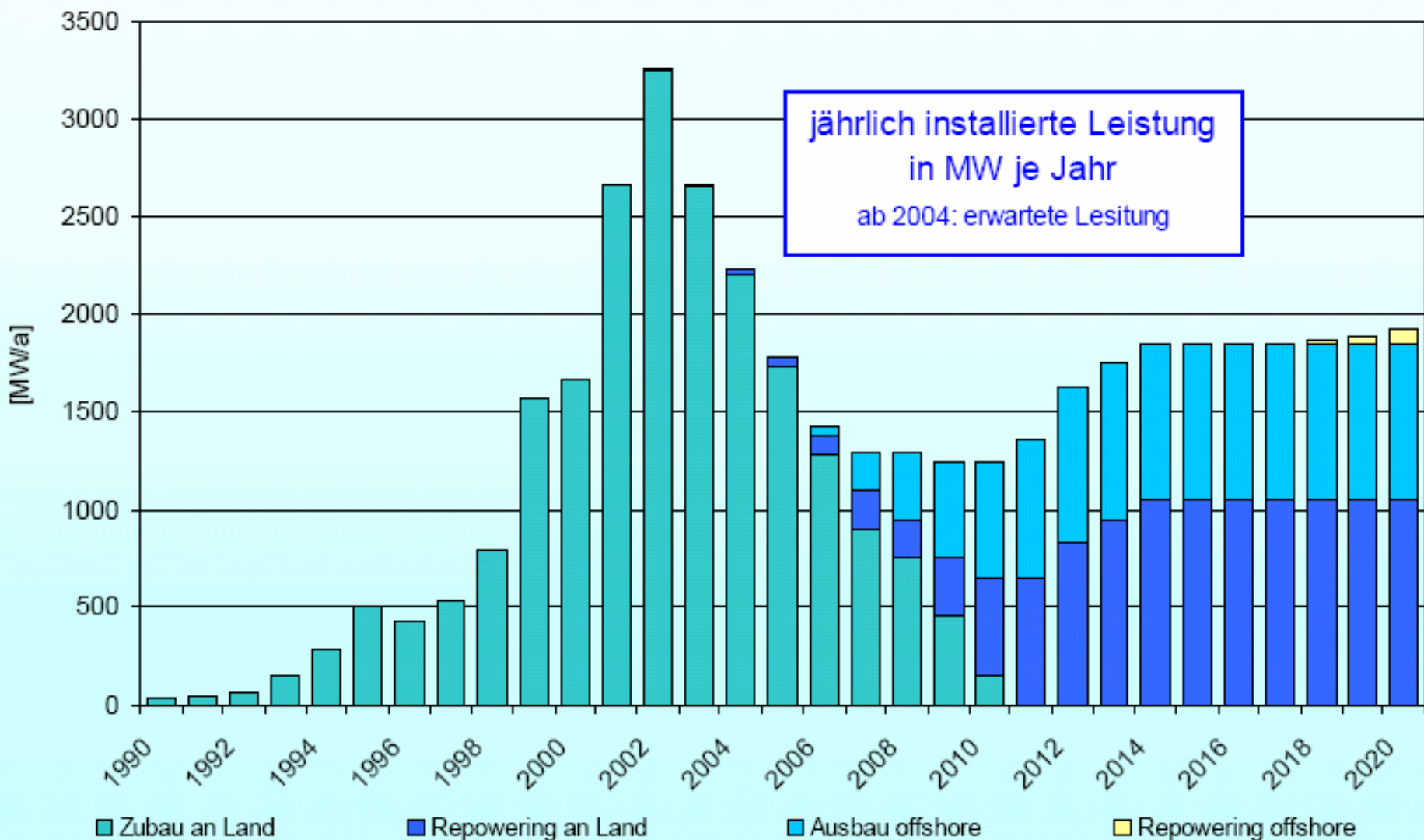
zur Zeit in der Schweiz favorisiert: Tonschichten.

- selbstabdichtend gegenüber Wasser
- gute Ableitung der Abwärme
- geologisch stabil für Millionen von Jahren

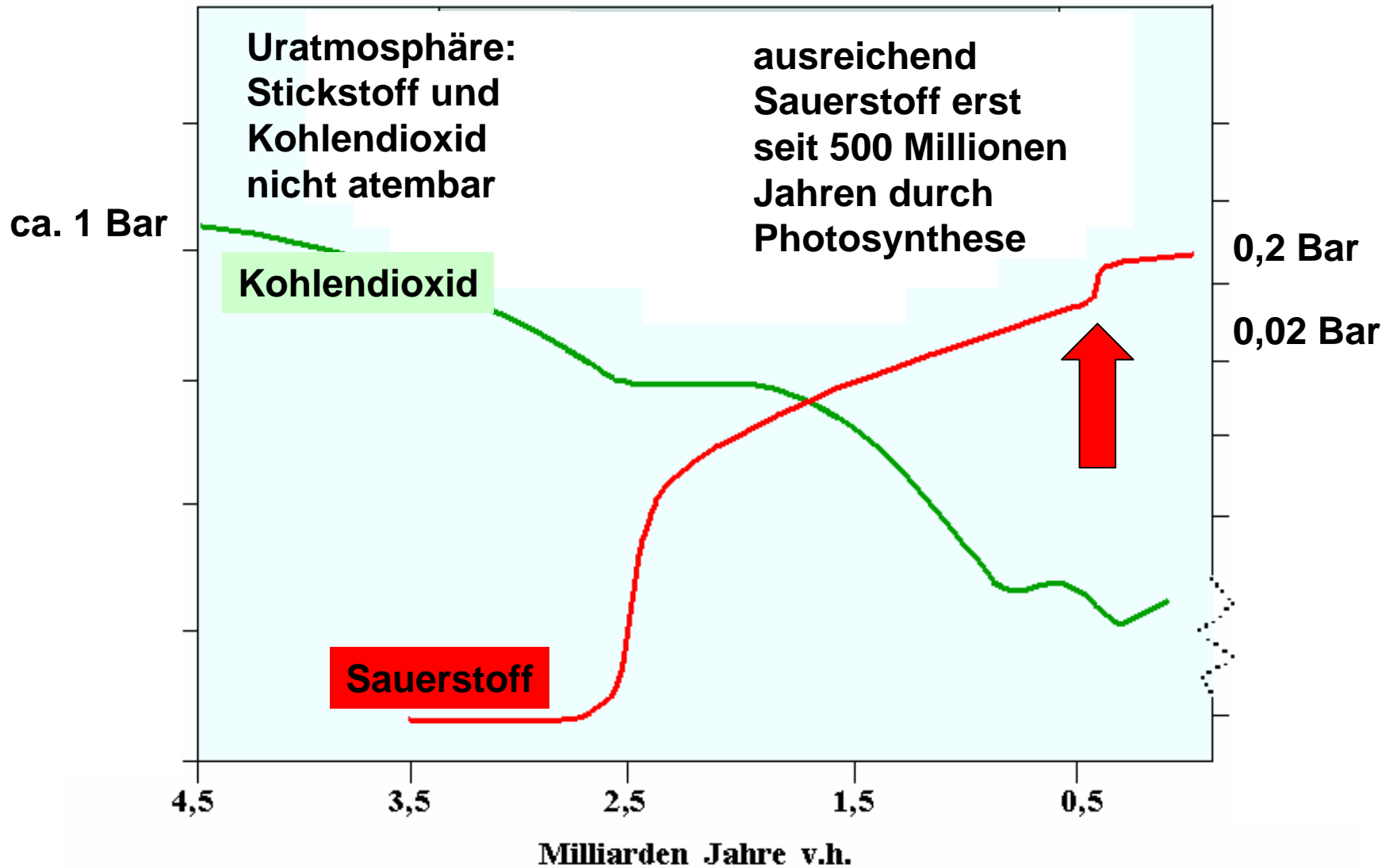
Hochtemperaturreaktor (Hamm-Uentrop)



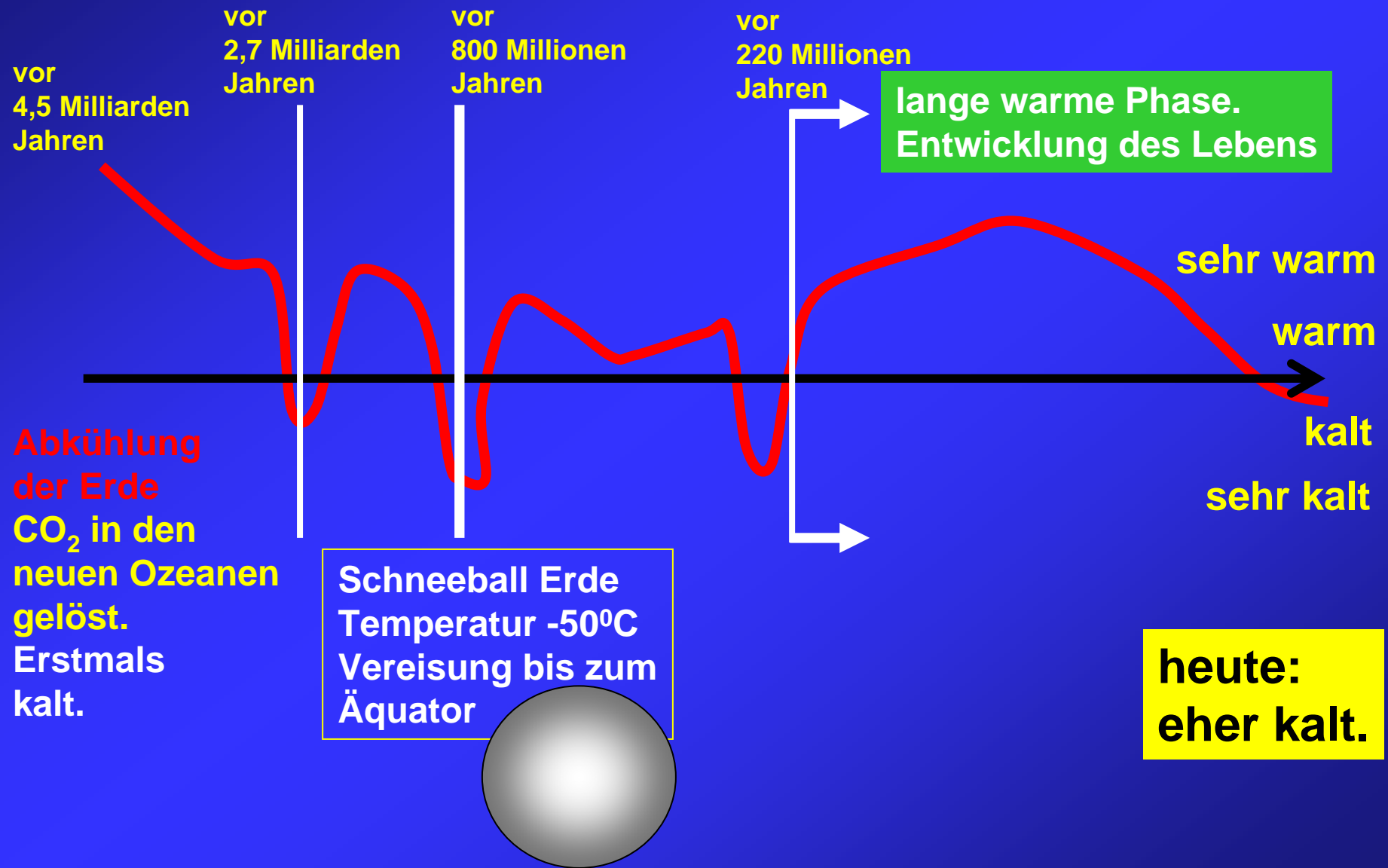
Entwicklung des Windenergiemarktes



Zusammensetzung der Atmosphäre



Die Temperatur in der Vergangenheit



Abscheidung des CO₂

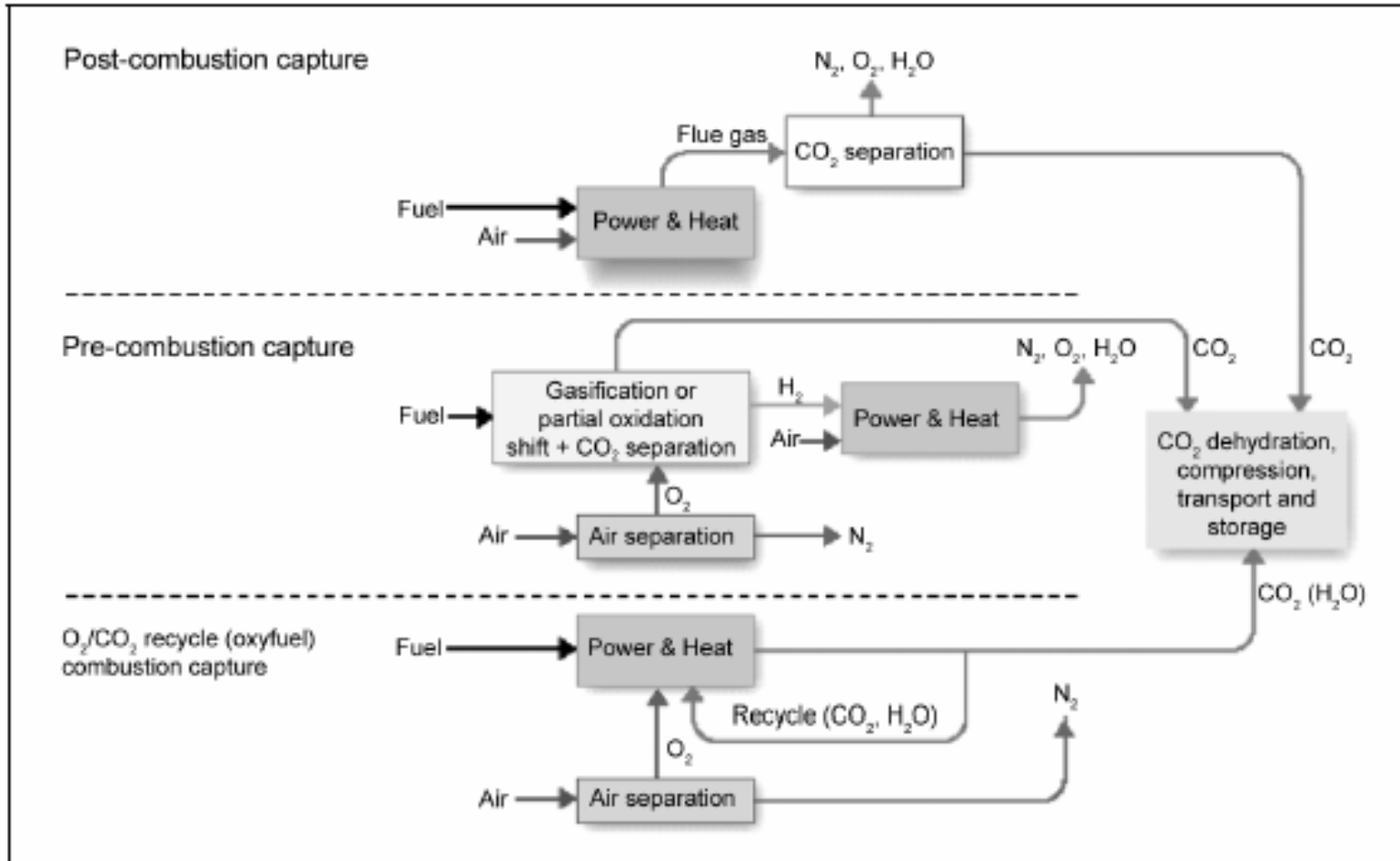


Abb. 1: Die drei wesentlichen Optionen zur CO₂-Abscheidung bei Kraftwerken (Abb.2.1 aus [1])

Lagerung von Kohlendioxid (CO₂)

	Weltweite Kapazität [Gt CO ₂]	Sicherheit	Technische Hürden	Rel. Kosten (€/t CO ₂)	Bewertung
Öl/Gas Reservoir	100e	gut	hoch	niedrig: 5-10	++
Salzwasser-Aquifere	100e-1000e	möglicherweise gut	mittel	niedrig: 15-20	+
Kohle-schichten	10-100e	wahrscheinlich schlecht	niedrig	niedrig	o
Minen-hohlräume	100e	gut	hoch	hoch	-
Ozean CO ₂ Lösung	1000e – 100000e	mittel	mittel	niedrig: ca. 15	o
Tiefsee CO ₂ Pool	1000e – 100000e	wahrscheinlich gut	niedrig	hoch: 60-80	-
Aufforstung	10-100e	gut	hoch	niedrig: 5-20	+

Tab. 1: Weltweite Kapazitäten für CO₂-Speicherung (aus [7]). Zum Vergleich: Derzeit werden weltweit insgesamt ca. 25 Gt CO₂ aus fossilen Brennstoffen pro Jahr produziert.

Solarthermische Kraftwerke im Süden

In solarthermischen Kraftwerken wird die direkte Sonnenstrahlung mittels Spiegeln so stark konzentriert, dass damit ein geeignetes Arbeitsmedium auf hohe Temperaturen erhitzt werden kann (Englisch: Concentrating Solar Power, kurz CSP). Mit der gewonnenen Hochtemperaturwärme wird dann in konventionellen Wärmekraftmaschinen, z. B. Dampf- oder Gasturbinen, Strom erzeugt. Je nach Gestaltung der fokussierenden Spiegel haben sich drei Kraftwerkstypen herauskristallisiert (siehe Abb. 1):

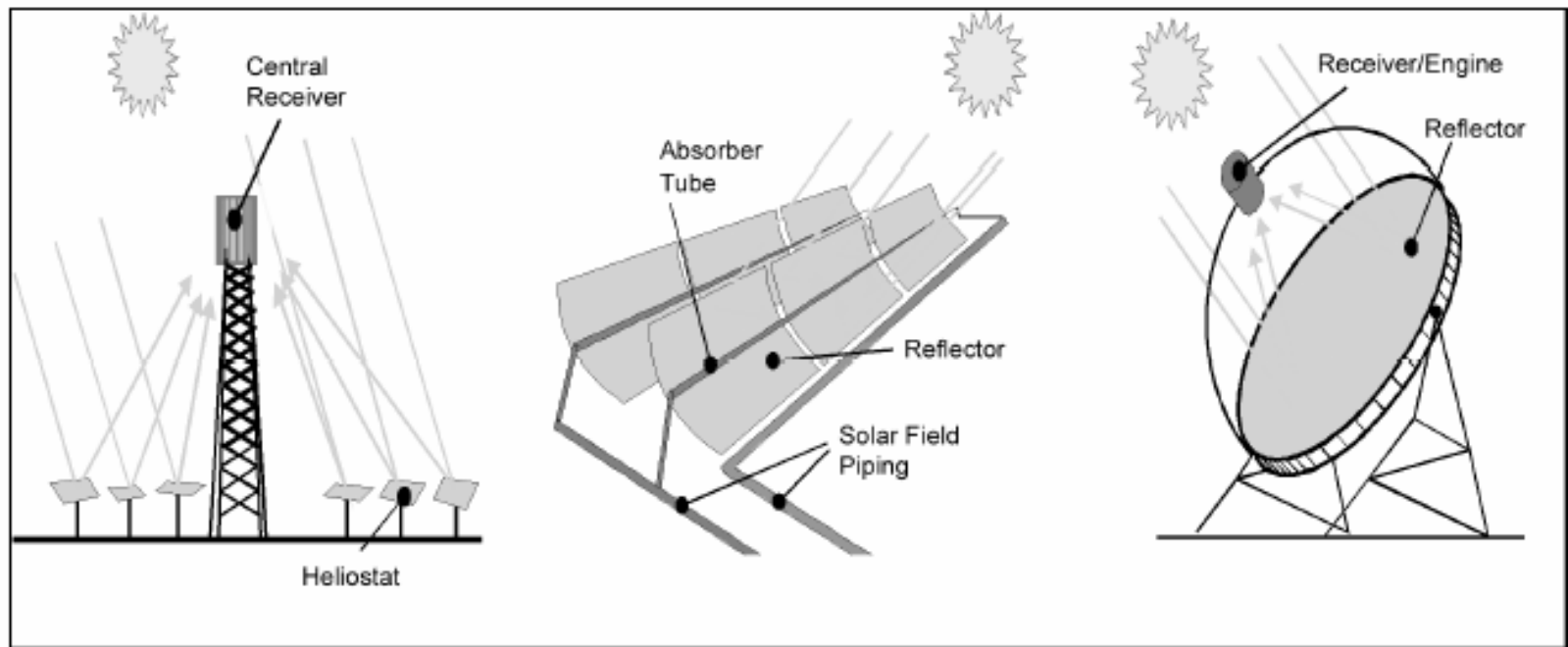
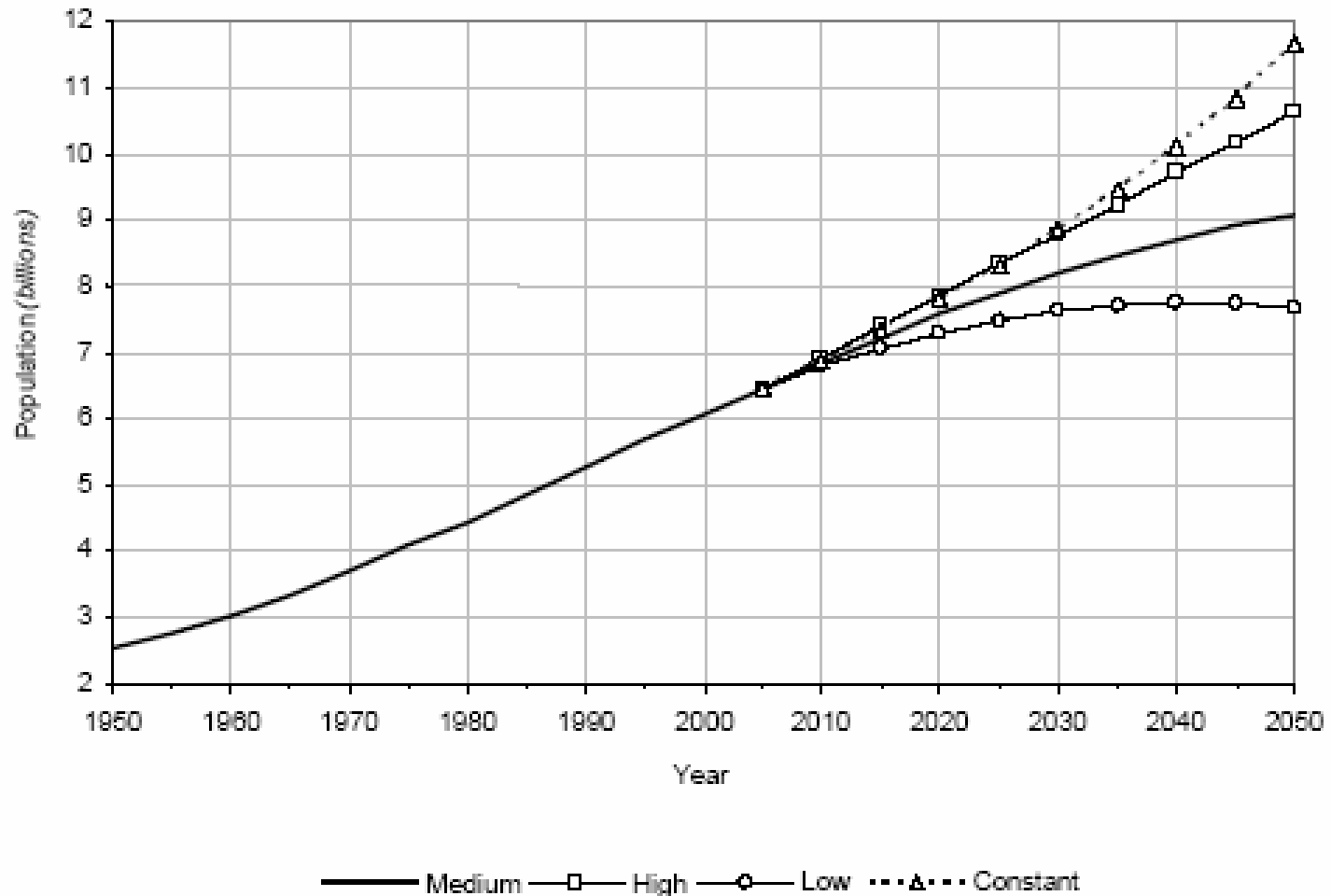


Abb.1: Prinzipien der Solarkonzentration, v.l.n.r.: Solarturm, Parabolrinnen, Paraboloid (nach [1])

Prognosen der Weltbevölkerung (UN)

Figure I.2. World population, estimates and projection variants, 1950–2050



Anteil Elektrizität

Elektrizität

55 Gigawatt

Gesamtbedarf:

460 Gigawatt

Elektrizität: ca. 12 % des Gesamtenergiebedarfs