

# ENERGIE

**Dariusz Miśkowiec, 9.03.2009**

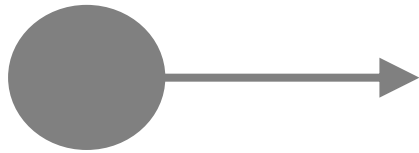
# Welche Energie?

**Energie, die man zum Leben braucht**

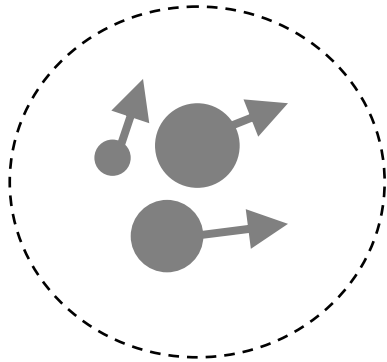


# Welche Energie?

auch Energie eines Objekts in Physik



$$E^2 = m^2 + p^2$$



$$E_{\text{CM}}^2 = (\sum p^\mu_i) (\sum p_{\mu i}) \text{ invariante Masse}$$

# Welche Energie?

nicht diese Arten von Energie

**ENERGIESPIEGEL**

- Gesunder und erholsamer Schlaf
- Ausgeglichenheit und Innere Ruhe
- Strahlungsfreier Schlaf- und Arbeitsplatz
- Mehr Energie Morgens und am Tag

Energiespiegel, Patent geschützt, A 1883/2007

Unterstützung für ein sinnvolles  
und gesundes Leben

 **EnergyMirror**<sup>®</sup>  
Energie in Bewegung

**daniel küblböck**  
positive  
energie

# Dieser Vortrag

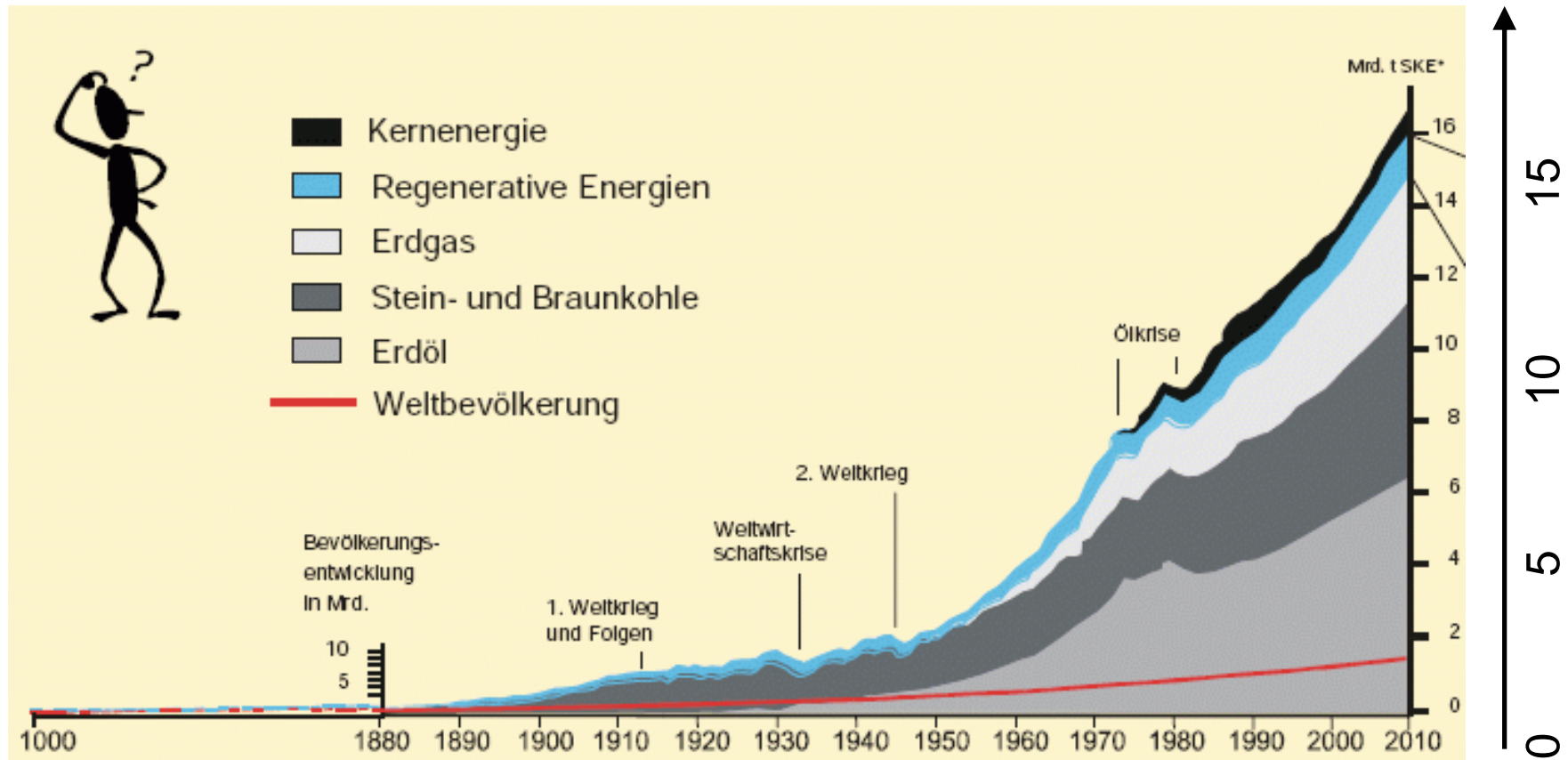
- 🌐 **Energiewirtschaft heute**
- 🌐 **künftige Energiequellen**
- 🌐 **Energiespeicher**

# **Energiewirtschaft heute**

# Weltenergieverbrauch

TFZ Bayern

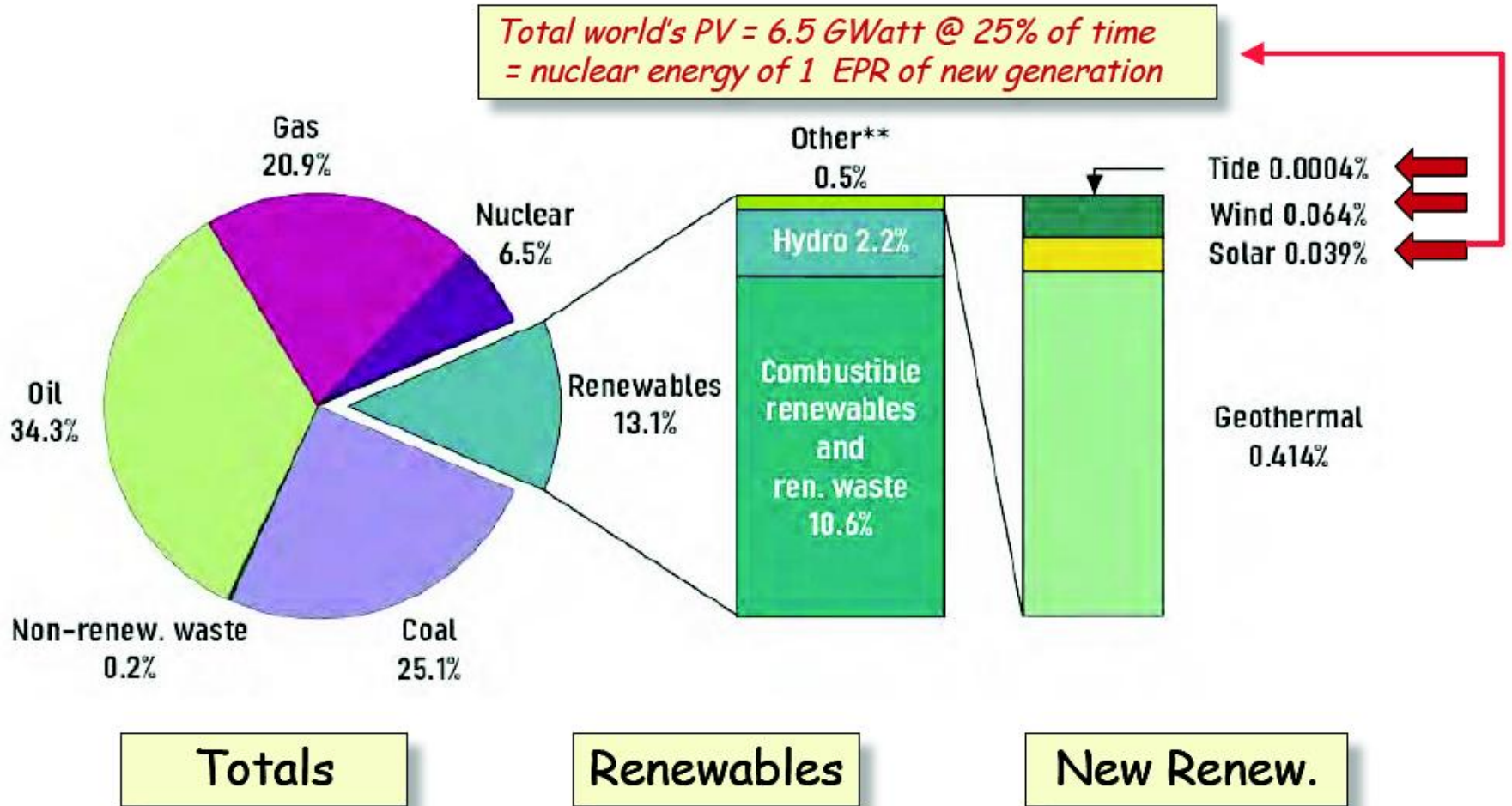
Leistung in TW



**Weltenergieverbrauch 2009: 15 TW primär, 2 TW elektrisch**  
**Wachstum: 20% pro 10 Jahre**

# Primärenergiequellen

C. Rubbia, QM2008, Jaipur Feb-2008





# Primärenergievorräte

☢	Öl	DH97	202-356 GtSKE	15 TW x 13-23 Jahre
☢	Ölschiefer / Teersand	DH97	149-500 GtSKE	15 TW x 9.5-32 Jahre
☢	Gas	DH97	167-250 GtSKE	15 TW x 11-27 Jahre
☢	Braunkohle	DH97	128-830 GtSKE	15 TW x 8.1-53 Jahre
☢	Steinkohle	DH97	617-6126 GtSKE	15 TW x 39-390 Jahre
☢	Natururan	DH97	38-377 GtSKE	15 TW x 2.4-24 Jahre
				-----
				80-550 Jahre

# Erderwärmung – Upsala Glacier, Patagonien 1928

*C. Rubbia, QM2008, Jaipur Feb-2008*



# Erderwärmung – Upsala Glacier, Patagonien 2004

*C. Rubbia, QM2008, Jaipur Feb-2008*



# Erderwärmung – Riggs Glacier, Alaska 1941

*C. Rubbia, QM2008, Jaipur Feb-2008*





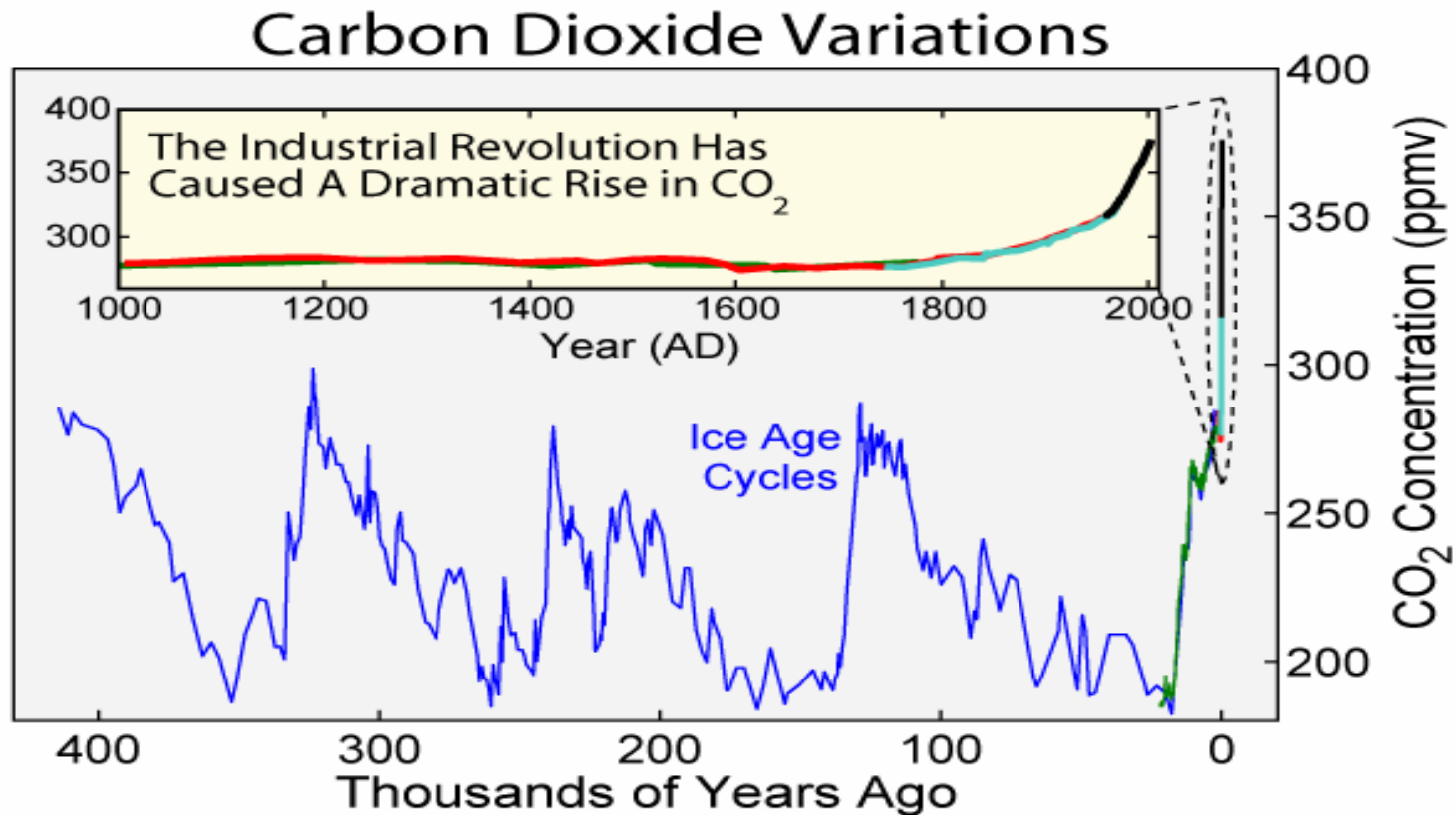
# Erderwärmung – Riggs Glacier, Alaska 2004

*C. Rubbia, QM2008, Jaipur Feb-2008*



# Direkte Ursache der Erderwärmung: CO<sub>2</sub>

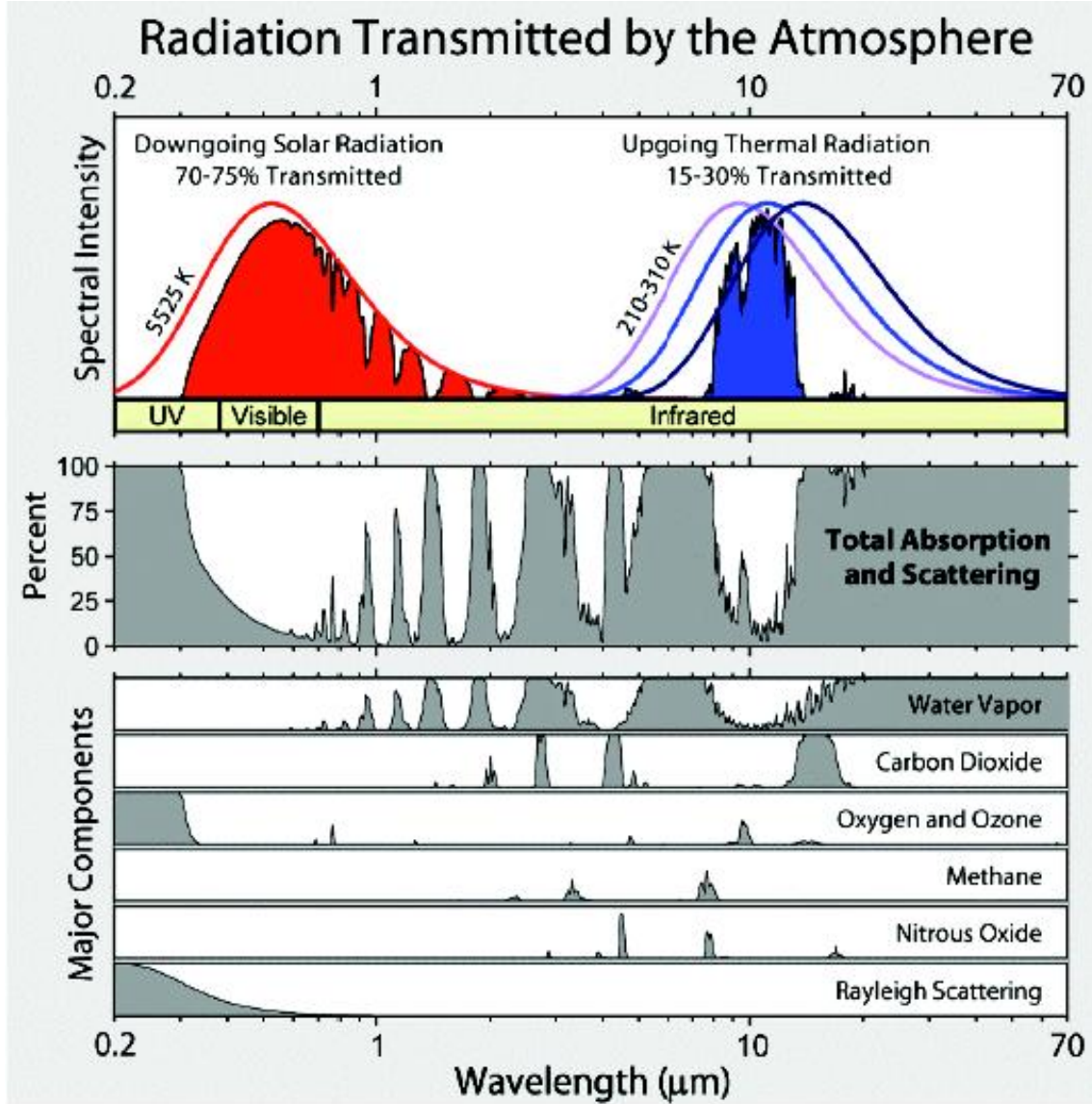
wikipedia



- 🌐 analysiert über (ant)arktische Luftblasen
- 🌐 deutlicher Anstieg in den letzten 100 Jahren
- 🌐 **anthropogene Herkunft (IPCC AR4, 2007)**

# CO<sub>2</sub> und Wärmefluss

C. Rubbia, QM2008, Jaipur Feb-2008



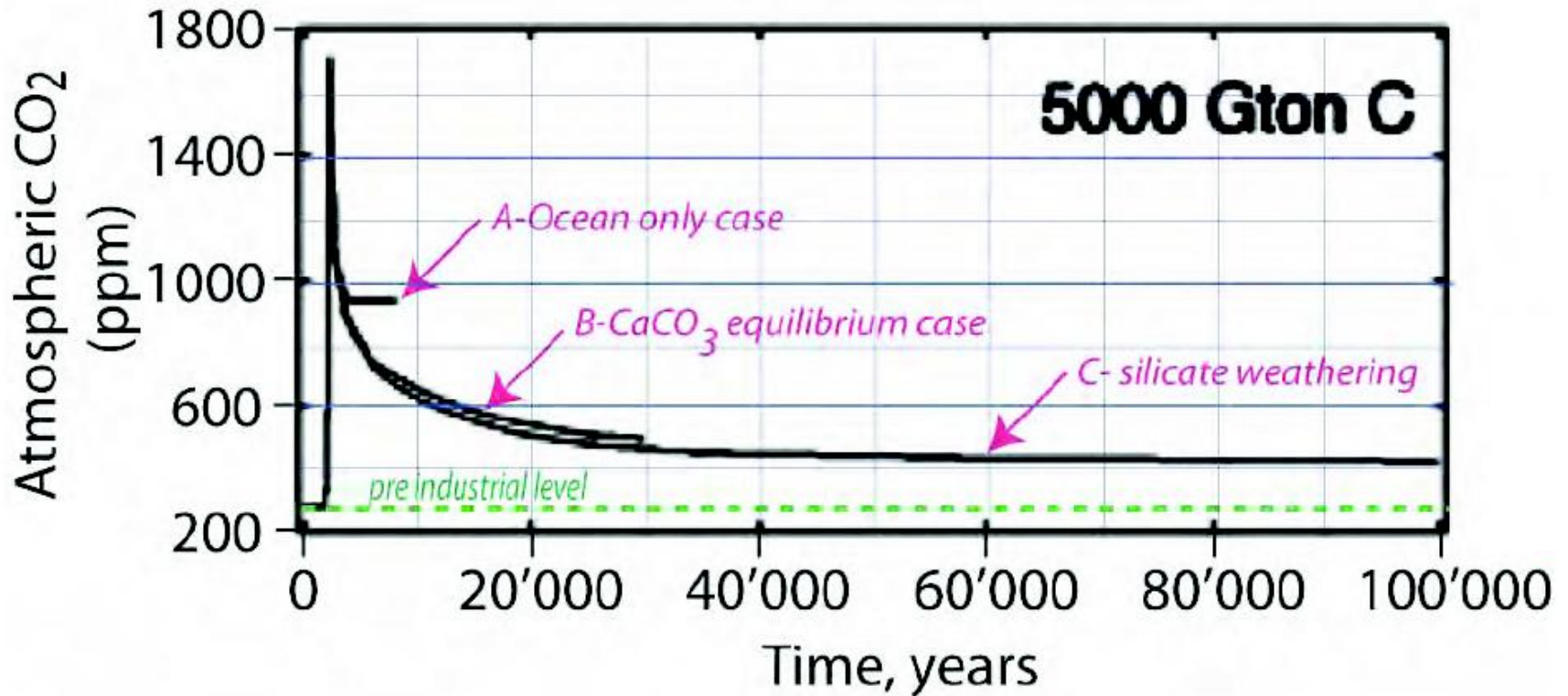
# Erderwärmung

- ☢ **Erderwärmung ist nichtlinear:**  
weniger Eis → mehr Photonabsorption → weitere Erwärmung  
→ noch weniger Eis → ...
- ☢ **Folgen: Dürren im Süden, Regen im Norden Europas, mehr Fluktuationen, mehr Stürme**
- ☢ **Fairness gegenüber kommenden Generationen erfordert schnelles Handeln**



# Lebensdauer von CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre

C. Rubbia, QM2008, Jaipur Feb-2008

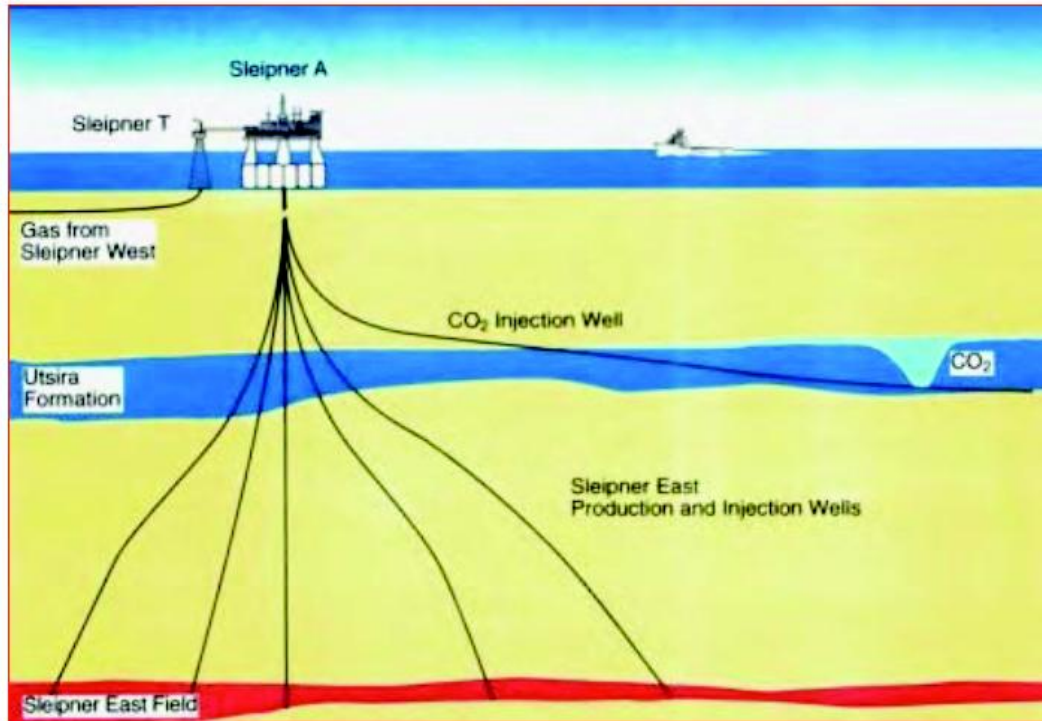


**Nichtexponentiell, mittlere Lebensdauer 30 000 Jahre**

# Lösungsansätze

# CO<sub>2</sub> - Sequestrierung

C. Rubbia, QM2008, Jaipur Feb-2008



- ☉ **Mengen: 1 GWe produziert 11 Mt CO<sub>2</sub> pro Jahr (5.6 km<sup>3</sup>) (Vergl. Kernspaltung: 30 t oder 15 m<sup>3</sup> Abfall)**
- ☉ **Umwelt- und Sicherheitsprobleme**
- ☉ **Energieaufwand: eff. Wirkungsgrad des Kraftwerks 43→28%**
- ☉ **keine langfristige Lösung**

# Wasserkraft

Dreischluchtendamm, Yangtse, 18 GW



- ⦿ **Leistung kW-GW**
  - ⦿ **Wirkungsgrad 90%**
  - ⦿ **Weltleistung jetzt 0.3 TW<sub>el</sub>**
  - ⦿ **Weltleistung maximal 1.2 TW<sub>el</sub>**
  - ⦿ **schnell zuschaltbar**
- 
- ⦿ **politisches Mittel**
  - ⦿ **Umweltprobleme**
  - ⦿ **Unfallrisiko (Henan Damm in China, 1975, 215 000 Tote)**

**Probleme beherrschbar, wichtiger Beitrag in Zukunft**

# Windkraft



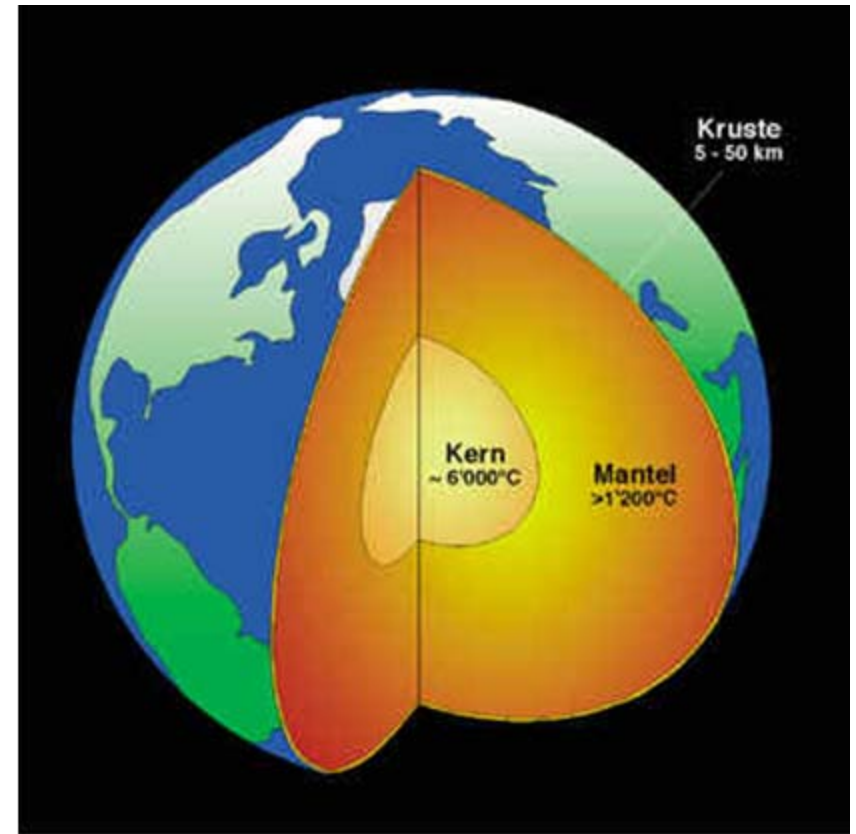
- ⊗ Leistung 1-5 MW<sub>el</sub>/Rotor
- ⊗ Wirkungsgrad 45%
- ⊗ Windstärkenvariationen → 15%
- ⊗ Weltleistung jetzt 0.8 TW<sub>el</sub>
- ⊗ Weltleistung maximal 3 TW<sub>el</sub>

- ⊗ 1 Windrad/10 m Küste → 10% Strom in D
- ⊗ Leistungsschwankungen
- ⊗ Einfluss auf die Umwelt/Biosphäre

**"Sinnvoll als Ergänzung" (Kleinknecht)**

# Geothermie

- ☢ **Wärmefluss 60 mW/m<sup>2</sup>**
- ☢ **Kraftwerke an heißen Quellen**
- ☢ **weltweit etwa 10 GW<sub>el</sub>**



**begrenzt, niedrige Energiedichte**



# Solarthermie

- ☼ **16-25% Wirkungsgrad**
- ☼ **30  $W_{el}/m^2$  möglich**
- ☼ **400 °C**
- ☼ **50-250 MW Spitzenleistung**
- ☼ **6 cent/kWh erreichbar**
- ☼ **direkte H<sub>2</sub>-Herstellung möglich**

Concentrating Solar Power



- ☼ **"Das Problem dieser Anlagen ist die Speicherung der (...) Energie" (Kleinknecht)**







20<sup>th</sup> International Conference on  
Ultra-Relativistic Nuclear-Nuclear Collisions  
February 4th - 10th, 2008 (Japan, 2008)

Quark Matter 2008

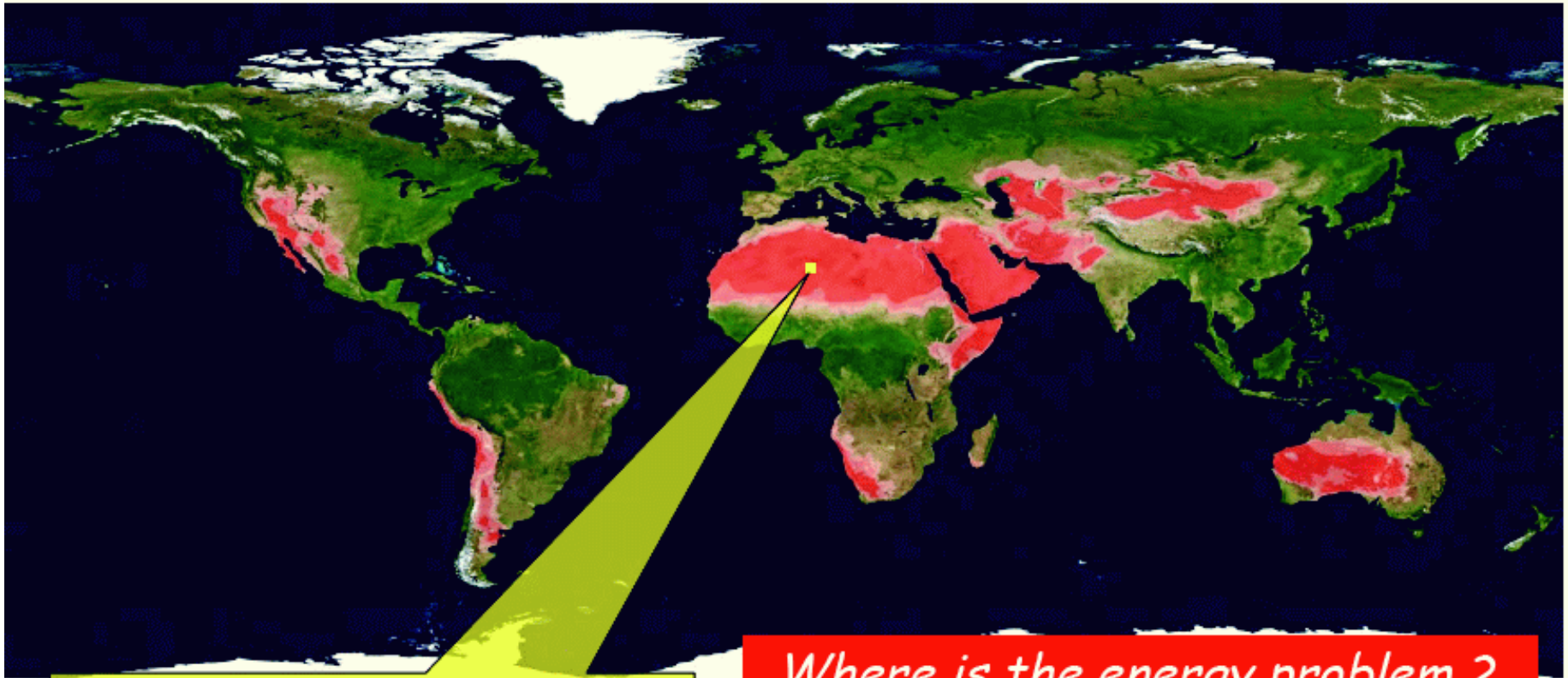
Quark Matter 2008



**Solar energy in the "sunbelt"**

**Where is the energy problem ?**

High efficiency conversion of CSP solar into high temperature heat (450-650 °C)  
The "great transformation" from fossils to solar



(210 × 210 km<sup>2</sup> = 0.13% of deserts)  
is receiving yearly averaged solar energy equal to  
global energy consumption (15 TW × year)

*Where is the energy problem ?*

*High efficiency conversion of CSP solar into high  
temperature heat (450-650 °C)  
The "great transformation" from fossils to solar*

Gerhard Knies, ISES-Rome CSP WS 2007

QM2008\_Inaugural/India Feb 2008

Slide# : 20

# Photovoltaik

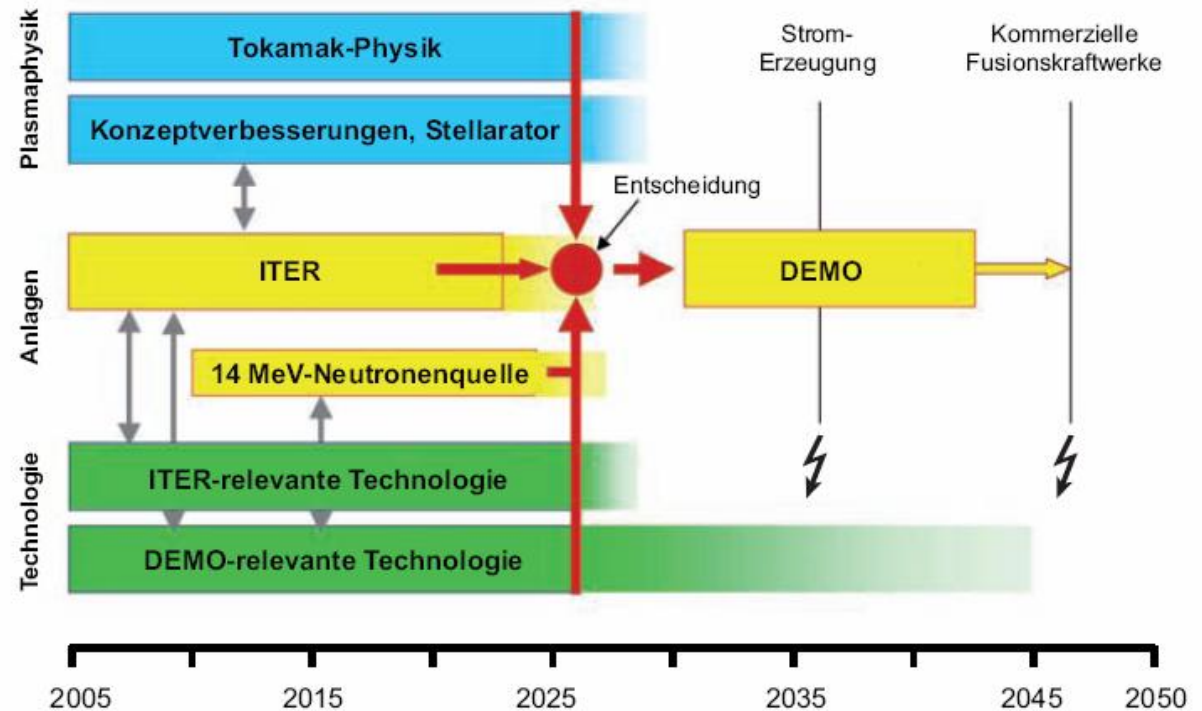
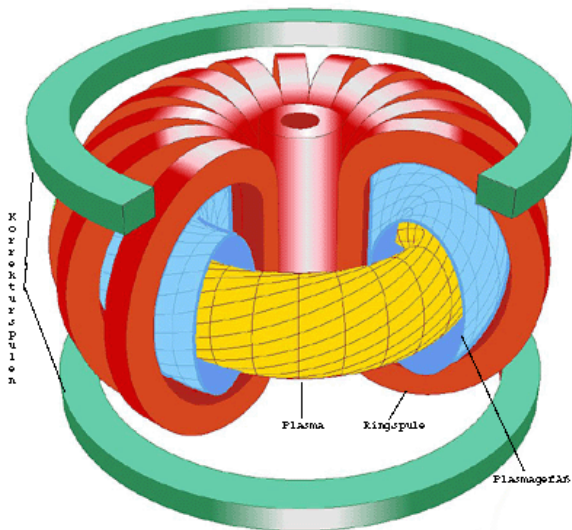
- ☼ **Wirkungsgrad 10-20% (bis 40%)**
- ☼ **Tag/Nacht-Problem**
- ☼ **20 c/kWh in 10 Jahren**



- ☼ **berücktigter Erntefaktor < 1? Rückgewinnungszeit 4-7 Jahre**
- ☼ **"Die Speicherung der elektrischen Energie (...) ist ein ungelöstes Problem" (Kleinknecht)**



# Kernfusion



- ☢ panaceum (solange die Gesamtleistung  $\ll$  120 PW)
- ☢ noch nicht verfügbar
- ☢ Treibstoff für den Verkehr weiterhin ungelöst

# Fazit

**Fossile Energiequellen können durch  
regenerative Quellen ersetzt werden**

**aber...**

**Was ist mit der Speicherung?**

# Energiespeicher

# Speicherproblem jetzt

- ☉ **>80% der primären Energie kommt von fossilen Quellen**
- ☉ **fossile Energieträger sind perfekte Speichermedien:  
z.B. Deutschlands Ölreserve für 90 Tage  
+ verteilte Reserven: Auto, Keller, ...**

**→ kein Speicherproblem**



# Speicherproblem in Zukunft

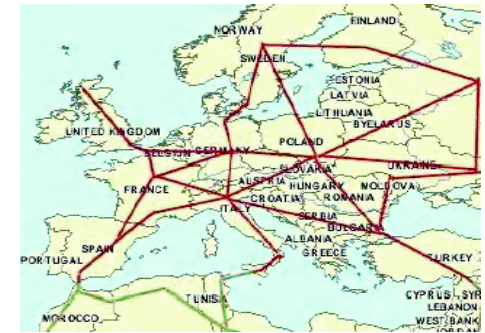
- 🌐 **die neuen Energiequellen liefern hauptsächlich Wärme oder Strom**
- 🌐 **beide Formen lassen sich nicht speichern**



# Speicher/Transport-Optionen in Zukunft

## zentrale Energiewirtschaft

- ☉ Windkraft, Solarthermie, Photovoltaik ins große Netz eingespeist
- ☉ Kernfusion, Wasserkraft, Geothermie fangen Schwankungen auf
- ☉ **Stromnetze mit 10 x mehr Kapazität notwendig**



## teilweise dezentrale Energiewirtschaft

- ☉ Windkraft, Solarthermie, Photovoltaik teilweise autark
- ☉ **dezentrale Speichersysteme**



## in beiden Fällen

- ☉ **Energieträger für Verkehr notwendig**



# Ansätze zum Speicherproblem

- 🌐 **Pumpspeicherkraftwerke**
- 🌐 **Salz - latente Wärme**
- 🌐 **Wasserstoff und Co**

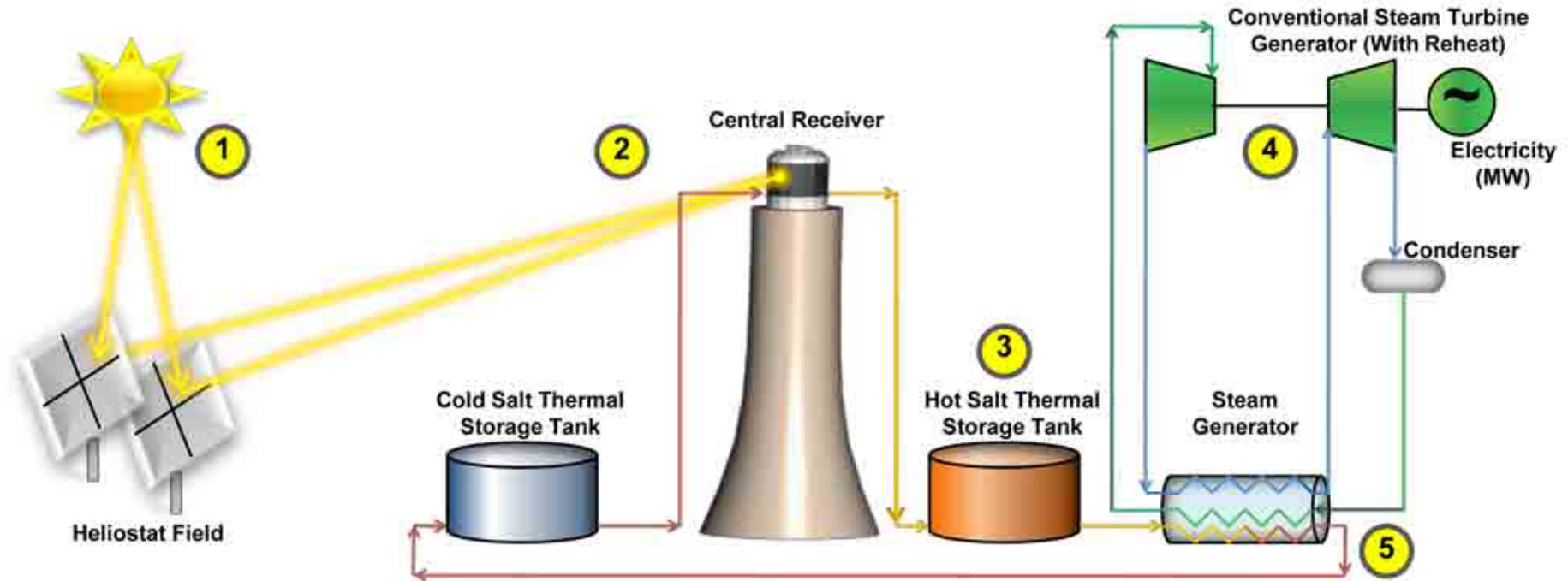
# Pumpspeicherkraftwerke

Goldisthal, Thüringen, 1 GW x 8 h



- 🌐 **80% Effizienz**
- 🌐 **Deutschland: 6.5 GW x 4-8 h**
- 🌐 **natürlich begrenzt**

# Salzwärmespeicher



**Salzflüssigkeit bei CSP: Speicher und Transport**  
**Rubbia: auch Tag/Nacht Speicherung**

# Wasserstoff als Energiespeicher

- 🚫 **Produktion:**      **Elektrolyse oder direkt**
- 🚫 **Transport:**      **unter Druck (200 b) oder kalt (-254 °C)**
- 🚫 **Verwendung:**    **Verbrennung oder Brennstoffzelle**



# weitere Energiespeicher

- ☢  $\text{NH}_3$  Ammoniak
- ☢  $\text{CH}_3\text{OH}$  Methanol
- ☢  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  Ethanol
  
- ☢ Si statt C

# Energiedichte (MJ/kg)

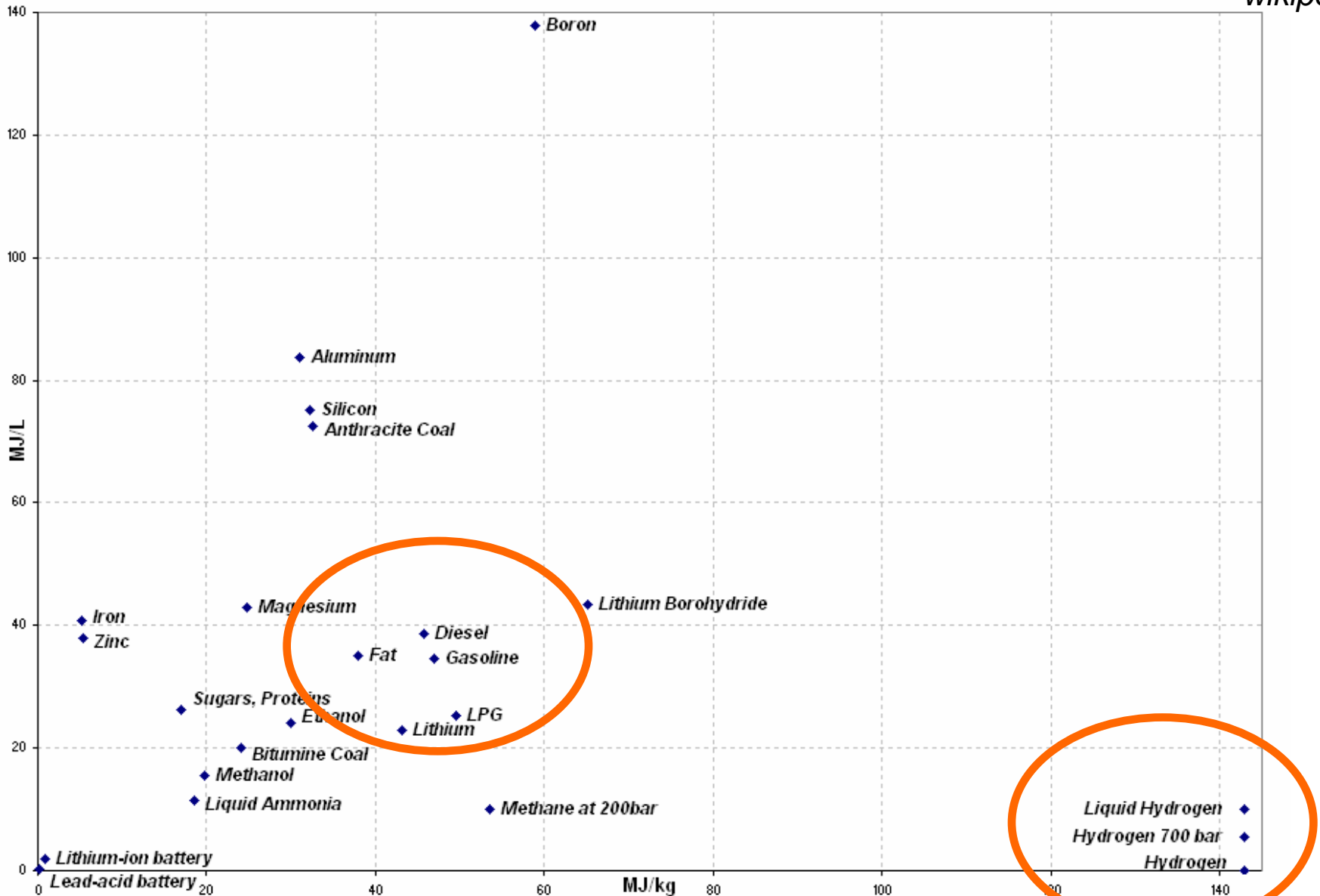
wikipedia

$mc^2$	89,876,000,000
d+t fusion	337,000,000
U <sup>235</sup> fission	88,250,000
TNT	4.610
hydrogen	143
natural gas	54
gasoline	46
coal	33
silicon	32
ethanol	30
glucose	16
wood	6
molten salt	1
lithium ion battery	0.54
compressed air at 300 bar	0.51
flywheel	0.5
battery, NiMH	0.25
battery, NiCd	0.14
battery, lead acid	0.09
water at 100 m dam height	0.001
clock spring	0.0003



# volumetrische und gravimetrische Energiedichte

wikipedia





# Speichermedien mit ultra-Wasserstoff Dichten?

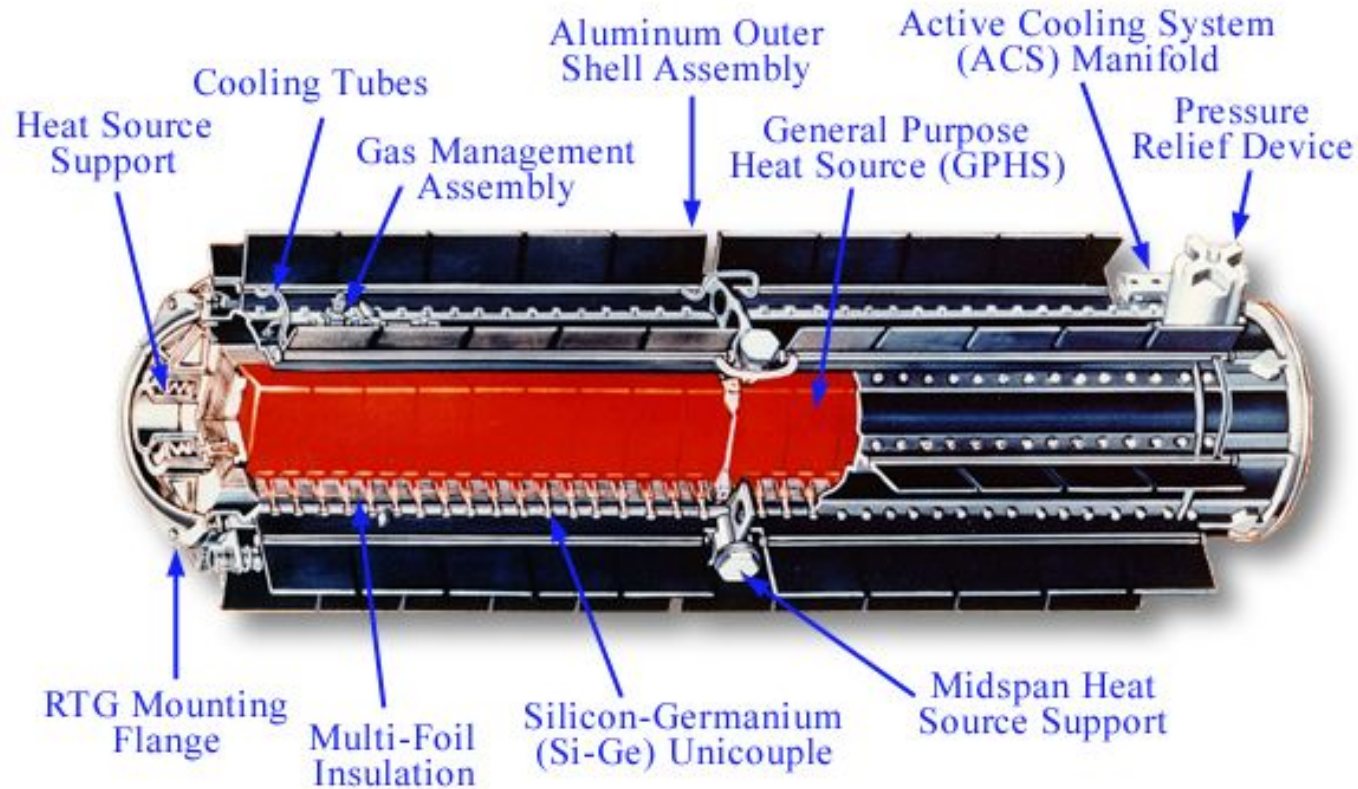
- ☼ **Kernkräfte**
  - nukleare Batterien (RTG, Schrittmacher)
  - triggerbarer Zerfall
  - "echte" nukleare Batterie

- ☼  **$mc^2$** 
  - Schwarzes Loch a la HS
  - Bosonenfalle (Photonen)
  - Antiteilchen

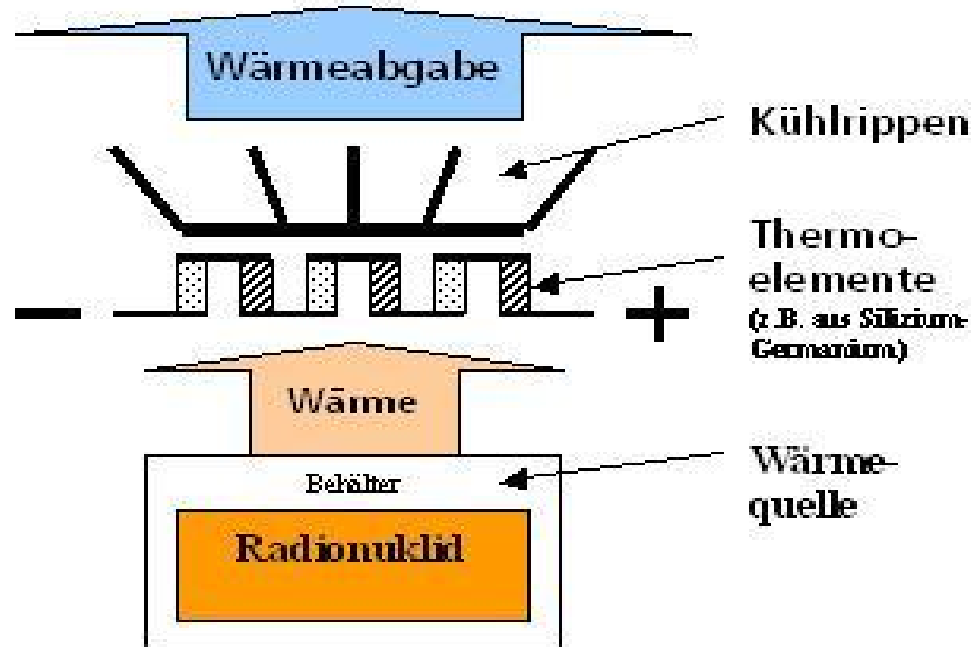
# Nukleare Batterie?

Radioisotope Thermoelectric Generator on Cassini Probe

## GPHS-RTG



# Nukleare Batterie?

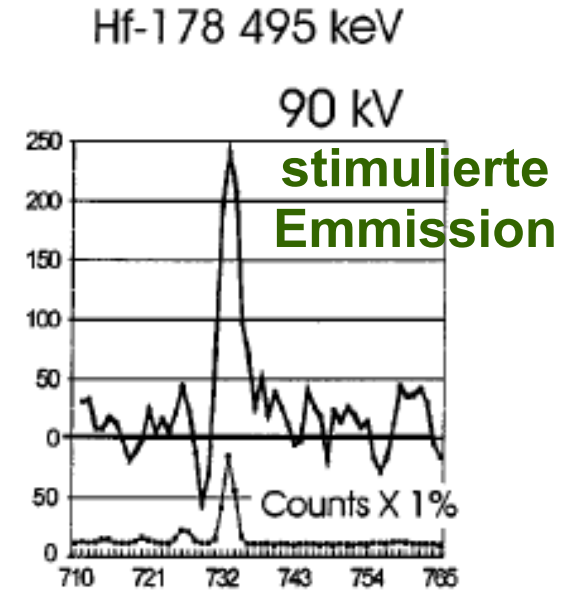
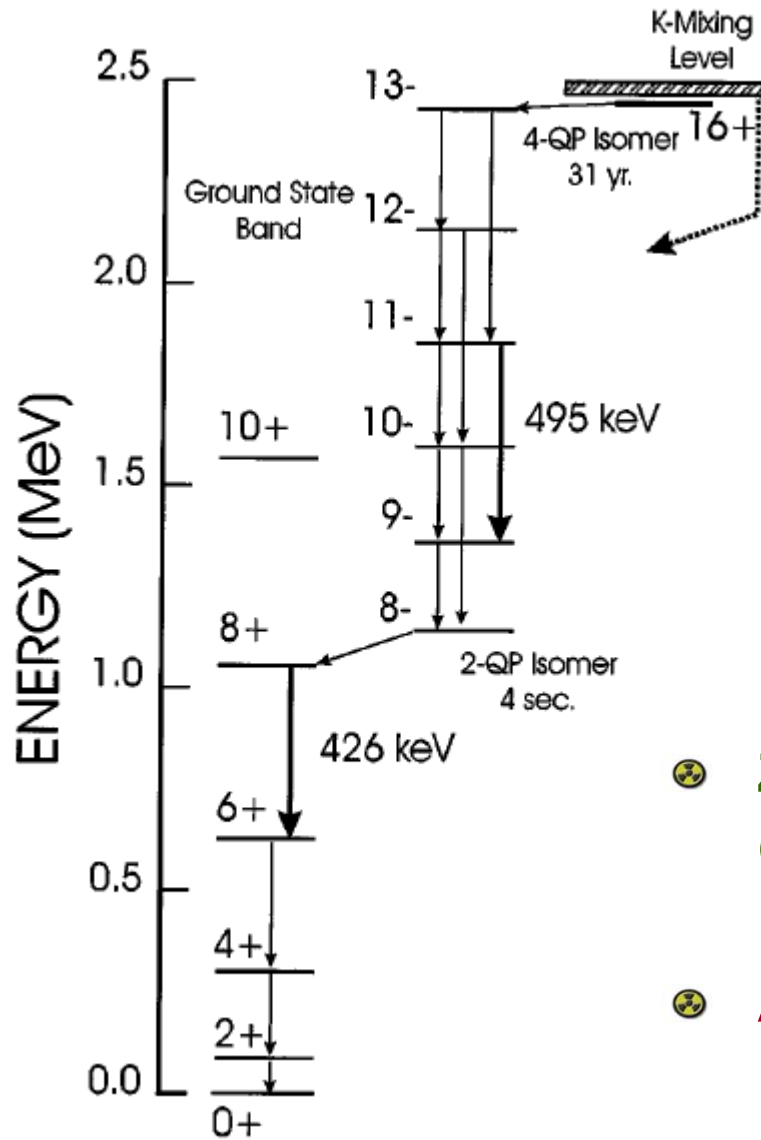


## RTG:

- ☢ radioaktive Quelle liefert Wärme
- ☢ Wärme → Elektrizität
- ☢ Zerfall nicht kontrollierbar



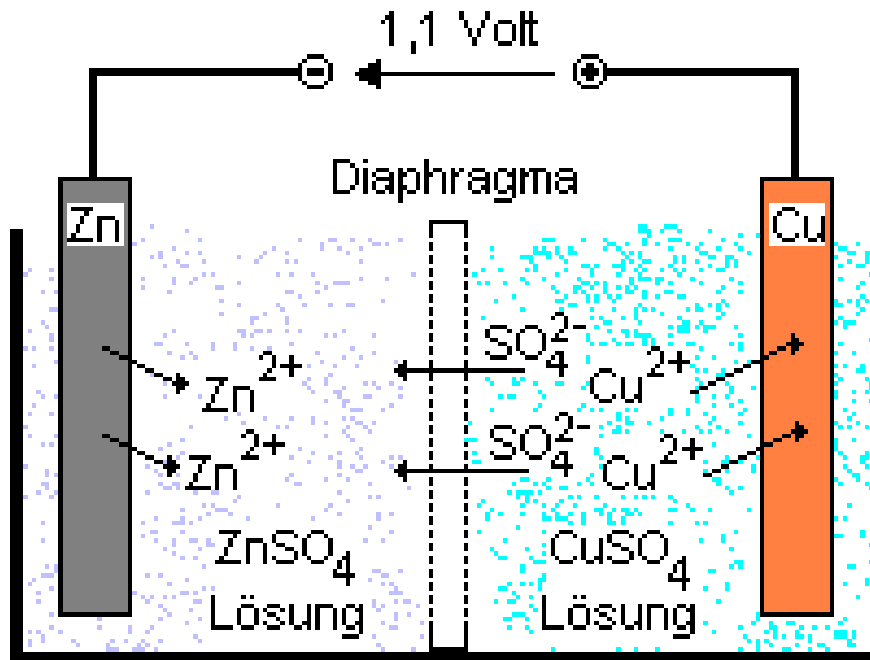
# $^{178m2}\text{Hf}$ als Energiespeicher



- ☛ Zerfall triggerbar mit Röntgenstrahlen  
Collins Phys. Rev. Lett. 82, 695 (1999)
- ☛ APS Argonne,  $10^5 \times$  Intensität →  
nicht bestätigt

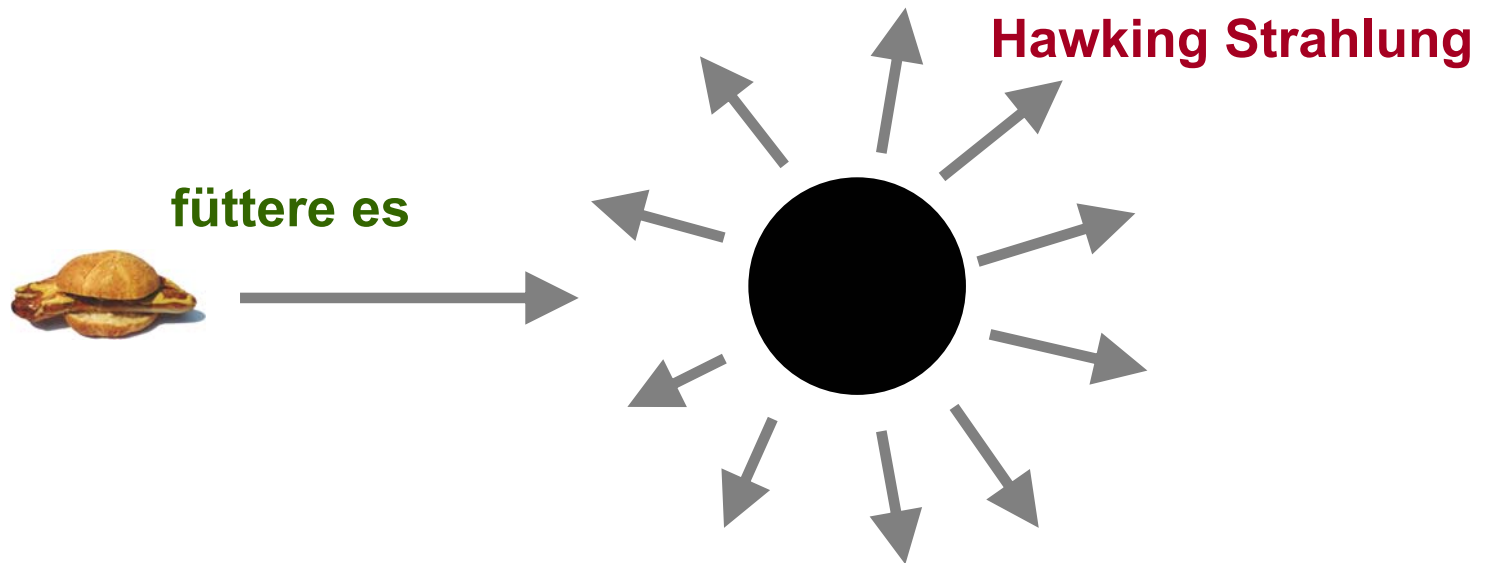
# "echte" nukleare Batterie

Daniell-zelle



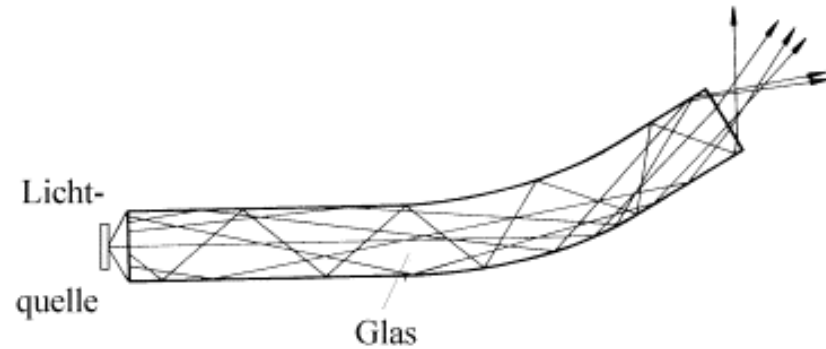
- ⊕ **elektro:**  
 $U = 1.1 \text{ V}$ ,  $kT = 26 \text{ meV}$
- ⊕ **nuklear:**  
 $U \sim 1 \text{ MV}$ ,  $kT \sim 26 \text{ eV}$

# Horsts Schwarzes Loch

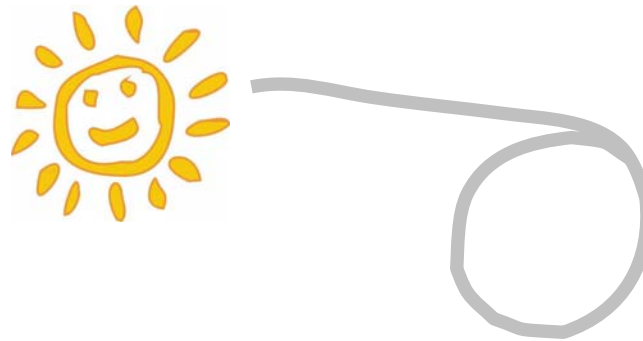


# Photonenfalle

**verlustfreier Lichtleiter?**



**dann:**





# Antiteilchenfalle



- ⚠ **Antiprotonen:  $10^6$ , Coulomb**
- ⚠ **Antiwasserstoff: Produktion**
- ⚠ **Antineutronen**
- ⚠ **neutral Pionen**
- ⚠ **...**
  
- ⚠ **Aufladbar! Wirkungsgrad?...**
- ⚠ **Verluste?**

# Speichermedien mit ultra-Wasserstoff Dichten?

## ☢ Kernkräfte

- nukleare Batterien (RTG, Schrittmacher) (nicht kontrollierbar)
- triggerbarer Zerfall (vielleicht)
- "echte" nukleare Batterie (= Kernfusion?)

nicht aufladbar

## ☢ $mc^2$

- Schwarzes Loch a la HS
- Bosonenfalle (Photonen)
- Antiteilchen

Science  
Fiction

# Zusammenfassung

- 🌐 **Umstieg von den fossilen auf regenerative Quellen auf dem Weg**
- 🌐 **am Speicherproblem wird eifrig gearbeitet**
- 🌐 **Speicherdichten oberhalb von Wasserstoff unerforschtes Feld**

# Quellennachweis



1. B. Diekmann, K. Heinloth, "Energie", Teubner 1997
2. K. Kleinknecht, "Wer im Treibhaus sitzt", Piper 2007
3. MPG Report "Die Zukunft der Energie", Beck 2008
4. Q. Schiermeier et al, "Electricity without Carbon", Nature 454(2008)14
5. 1. Darmstädter Energie-Konferenz, 18-Apr-2008

**BACKUP**

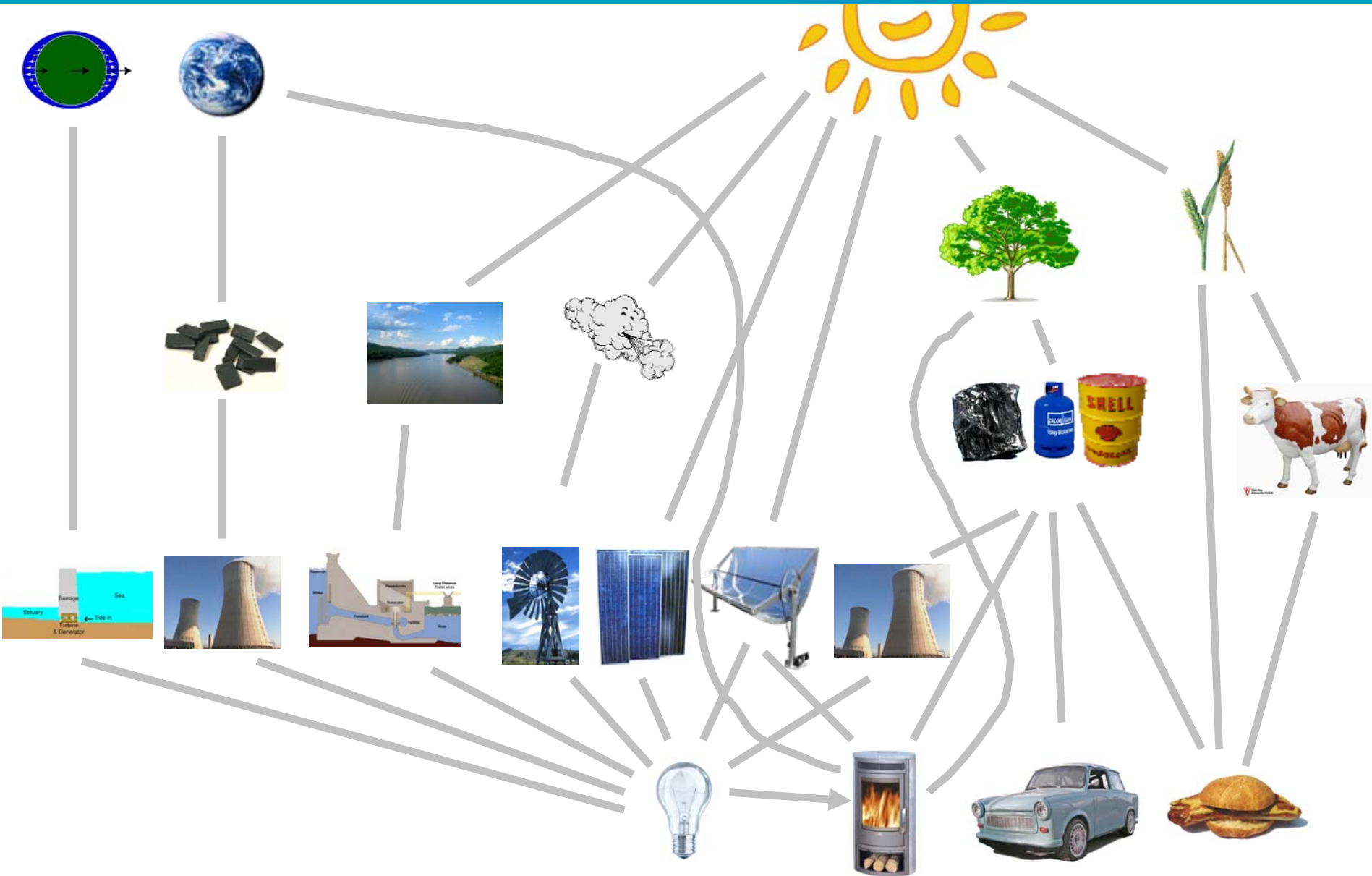


# Weitere Anzeichen für Erderwärmung

Quelle: M. Kowalski



# Energiefluss





# Rubbia's talk, "verification" of some numbers

	<b>Rubbia</b>	<b>wiki etc. + my simple calculations</b>
<b>present total power consumption</b>	<b>15 TW</b>	<b>15 TW</b>
<b>coal reserves</b>	<b>5-20e15 kg</b>	<b>1e15 kg (equiv. to 63 y * 15 TW)</b>
<b>water level increase by Greenland ice melting</b>	<b>7-15 m</b>	$\frac{2.2 \text{ Mkm}^2 \times 0.81 \times 3 \text{ km}}{510 \text{ Mkm}^2 \times 0.70 \times 1.10} = 14 \text{ m}$
<b>surface needed for 15 TW</b>	<b>210 x 210 km<sup>2</sup></b>	<b>15 TW / (0.7 x 0.3 x 1400 W/m<sup>2</sup>) = = 230 x 230 km<sup>2</sup></b>
<b>typical CSP plant yield</b>	<b>250 GWh<sub>el</sub>/km<sup>2</sup>/y</b>	<b>0.1 x 290 W/m<sup>2</sup>=250 GWh<sub>el</sub>/km<sup>2</sup>/y</b>
<b>costs in 2020</b>	<b>5+1 cent/kWh</b>	
<b>alu, steel, glass...</b>		<b>100 kg/m<sup>2</sup>; producing 50 kg of Al takes 3 GJ = 290 W x 120 days</b>
<b>day/night storage salt</b>		<b>1e7 kg/km<sup>2</sup></b>

# Primärenergiemix (Deutschland?)

## Primärenergieverbrauch nach Energieträgern

Anteile in %

Energieträger	2005	2006	2007
Mineralöl	36	35,6	33,8
Steinkohle	13	13,2	14,1
Braunkohle	11	10,8	11,7
Erdgas, Erdölgas	22	22,6	22,7
Kernenergie	12	12,5	11,1
Wasser- und Windkraft <sup>1)3)</sup>	1	1,2	1,6
Außenhandelsaldo Strom	-0,2	0,0	0,0
Sonstige <sup>2)</sup>	5,0	4,1	4,1

82.3% fossil

1) Windkraft ab 1995

2) u.a. Brennholz, Brenntorf, Klärschlamm, Müll, sonstig

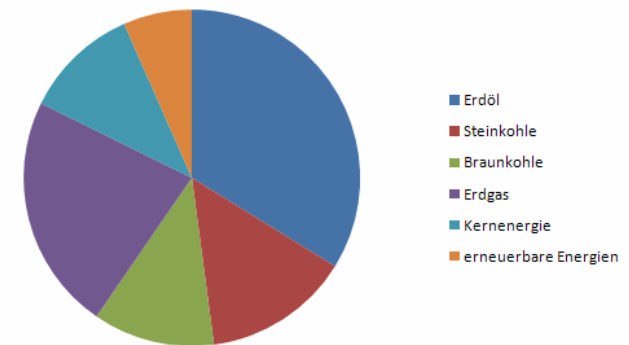
3) incl. Fotovoltaik



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

letzte Änderung: 18.01.2008

Aufteilung der Primärenergie an der Energieversorgung 2007



# Welche Speicherdichten braucht man?

- 🌐 **Windrad**  
**1 MW x 2 Wochen = 1.2 TJ**  
**1.2 TJ / 20 t = 60 MJ/kg**
  
- 🌐 **1/2 Dach Solarthermie/Photovoltaik, 1/2 Keller Energiespeicher**  
**(2.5 kW+0.5 kW) x 2 Wochen = 3.6 GJ**  
**3.6 GJ / 1 t = 3 MJ/kg**

# Nomenklatur

1 kg Kohle



30 MJ Primärenergie



11 MJ Sekundärenergie (elektr.)



10 MJ Nutzenergie

# Einheiten

## Energie

- ☢ 1 Btu = 1055 J (british thermal unit)
- ☢ 1 MBtu = 1055 kJ
- ☢ 1 MMBtu = 1055 MJ
- ☢ 1 kgSKE = 29.3 MJ
- ☢ 1 GtSKE = 29.3 EJ

## Leistung

- ☢ 1 kWh/y = 1 kW/8723 = 0.1146 W
- ☢ 1 tSKE/y = 930 W
  
- ☢ Kohlekraftwerk 1 GW<sub>el</sub>
- ☢ Kernkraftwerk 1 GW<sub>el</sub>
- ☢ Windrad 15 MW

# Biomasse und Photovoltaik

- ☉ Biomasse: Sonne → Brennwert  $\eta = 1\%$   
Sonne → Treibstoff  $\eta = 0.2\%$
- ☉ Photovoltaik Sonne → Strom  $\eta = 10-20\%$



# Potenzielle Energiequellen

	jetzt	maximal
☢ Wasserkraft	0.8 TW <sub>el</sub>	3 TW <sub>el</sub>
☢ Kernspaltung	0.4 TW <sub>el</sub>	
☢ Kernfusion		
☢ Gezeiten		<< 3 TW
☢ Wellen		<< 100 TW
☢ Wind	0.1 TW <sub>el</sub>	72 TW <sub>el</sub>
☢ Geothermie	0.01 TW <sub>el</sub>	1 TW <sub>el</sub>
☢ Sonne (1 kW/m <sup>2</sup> ) auf Sahara		9000 TW
☢ Sonne → Biomasse 1%		8-14 TW?
☢ Sonne → Biomasse → Treibstoff 0.2%		
☢ Sonne → Photovoltaik 10-30%	0.01 TW <sub>el</sub>	
☢ Sonne → Heizung/Warmwasser		