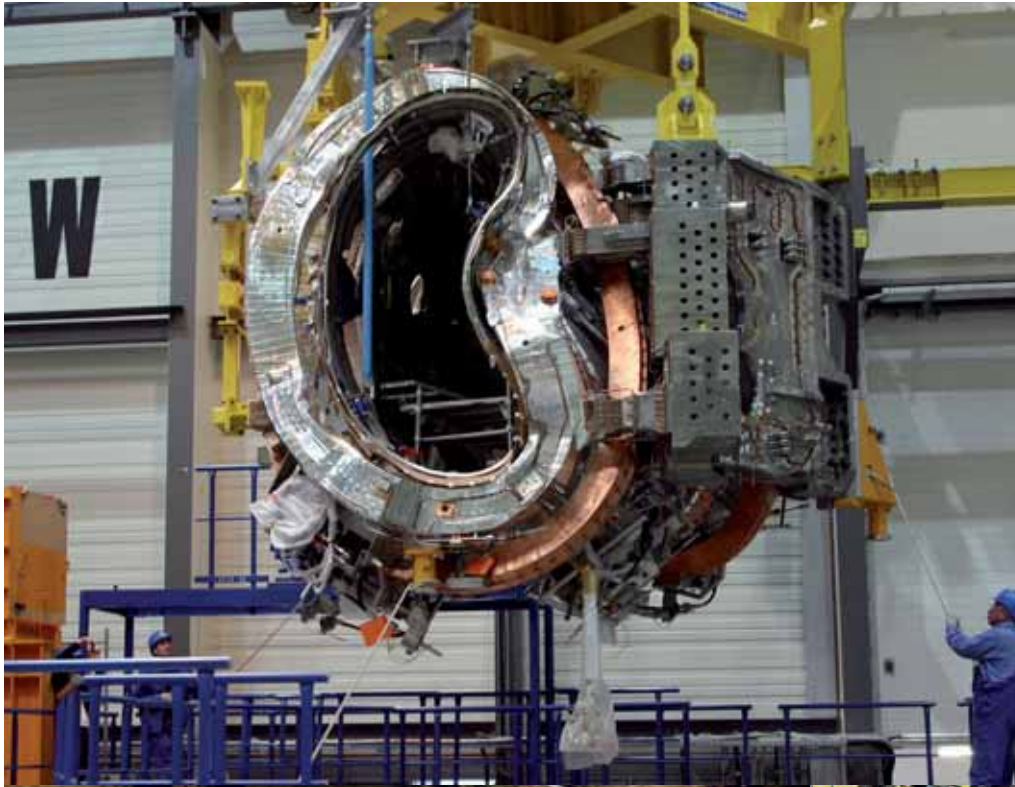




HELMHOLTZ  
GEMEINSCHAFT



Max-Planck-Institut  
für Plasmaphysik



# Auf dem Weg zum Fusionskraftwerk

Günther Hasinger

Debattenabend der Stiftung  
Energie & Klimaschutz

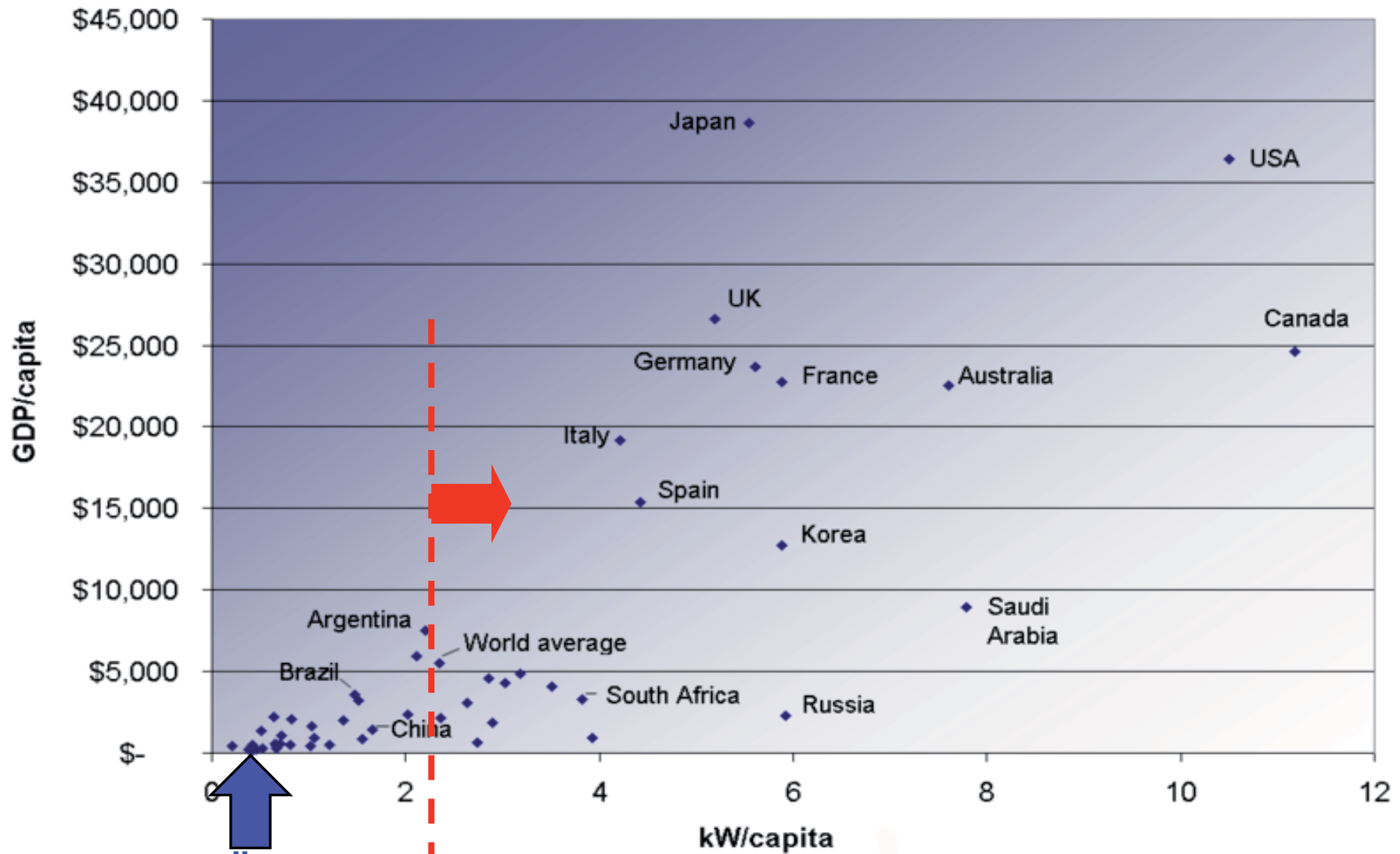
13. April 2010  
Stuttgart



Wissenschaftsjahr 2010

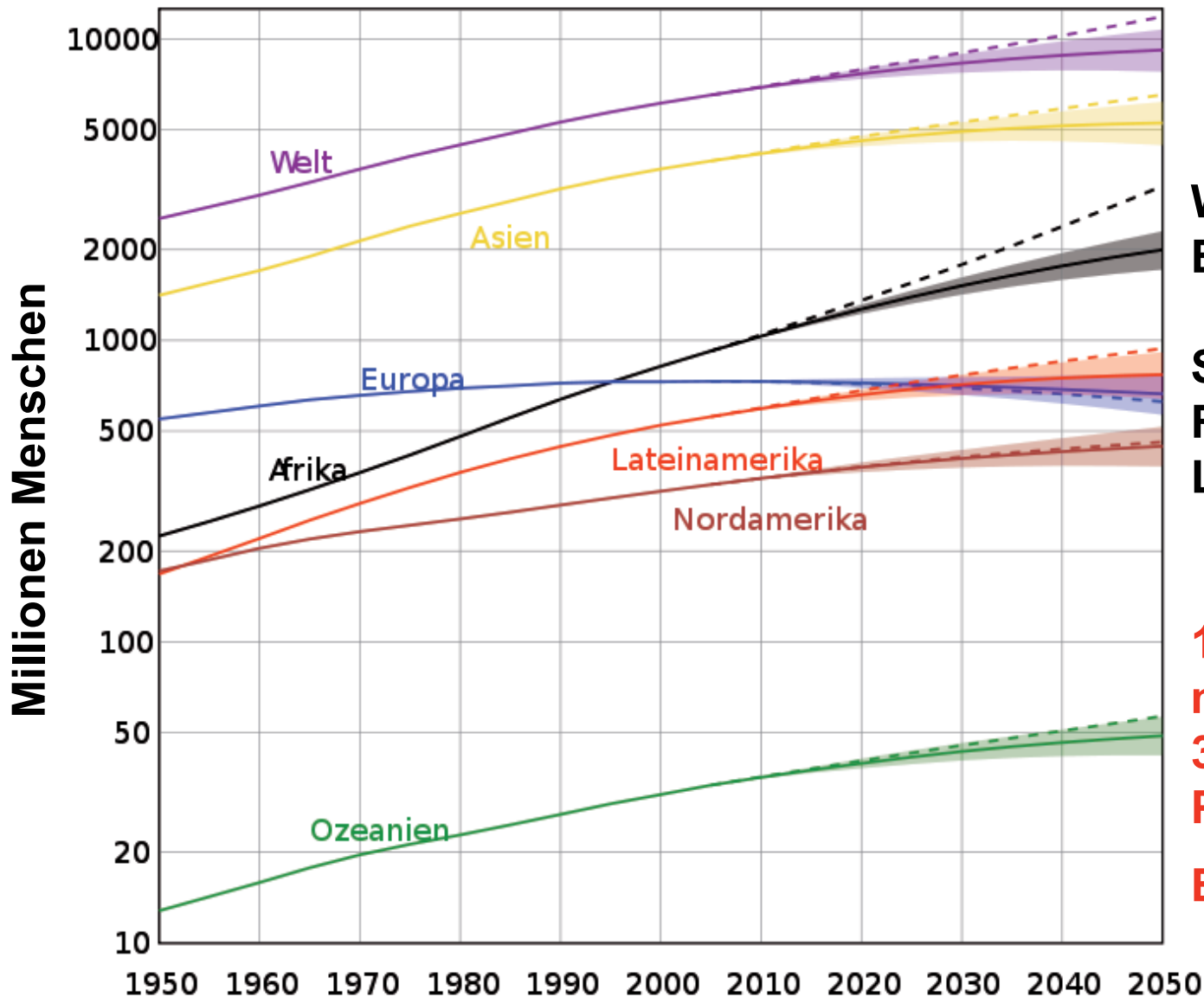
Die Zukunft der  
Energie

# Das Energie-Dilemma



Reines Überleben

# Globales Bevölkerungswachstum

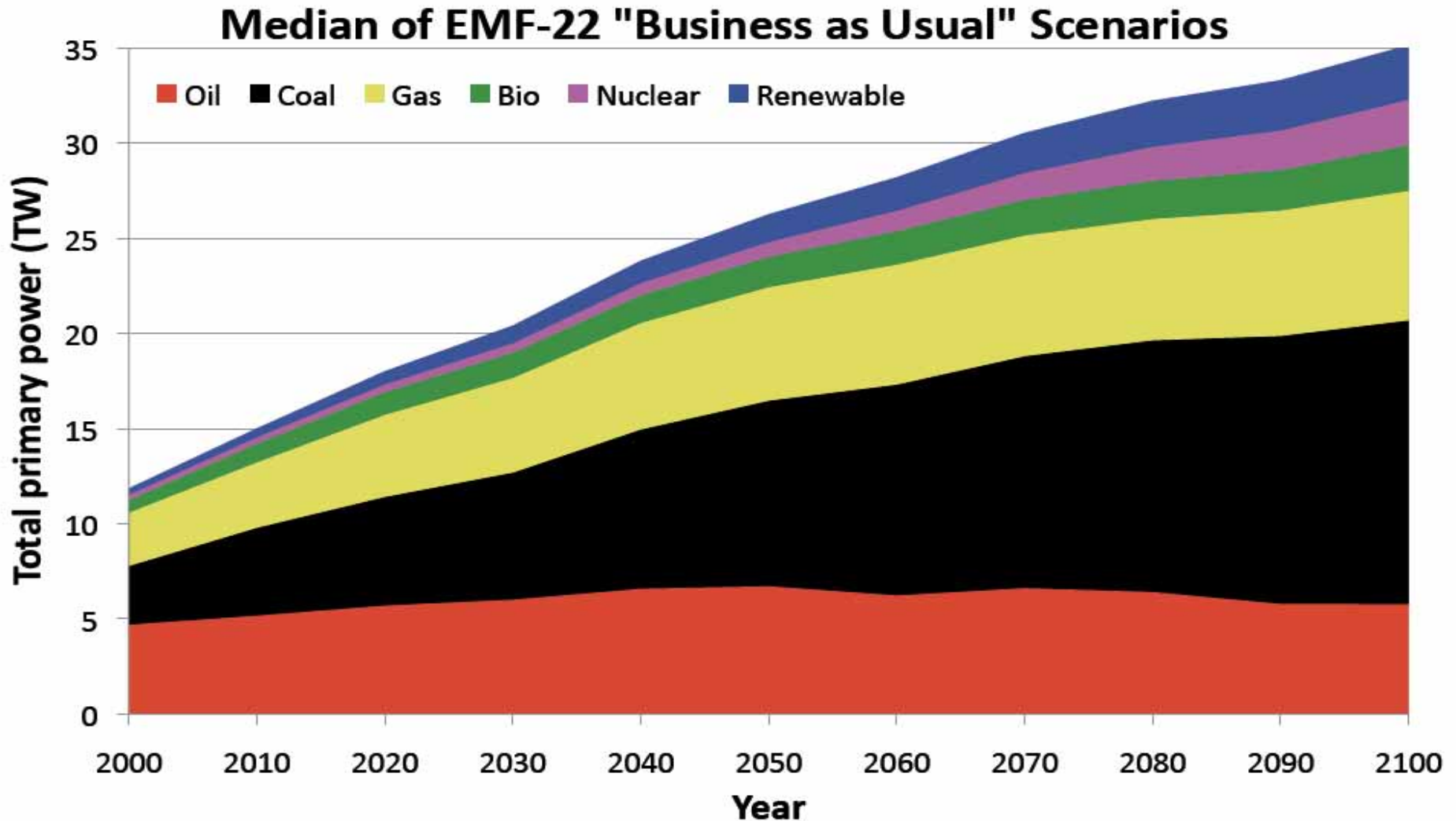


**Wachstum in  
Entwicklungsländern**

**Stagnation oder  
Rückgang in entwickelten  
Ländern**

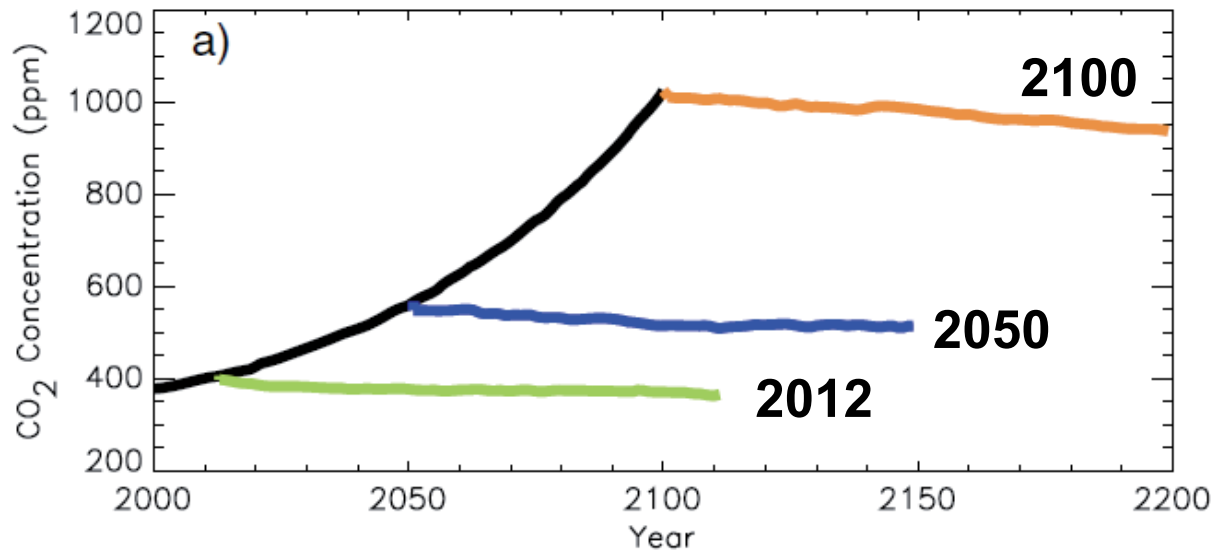
**10 Milliarden Menschen  
mit 3 kW/Kopf benötigen  
30 Terawatt (TW)  
Primärenergie!**

**Etwa 12 TW Elektrizität**



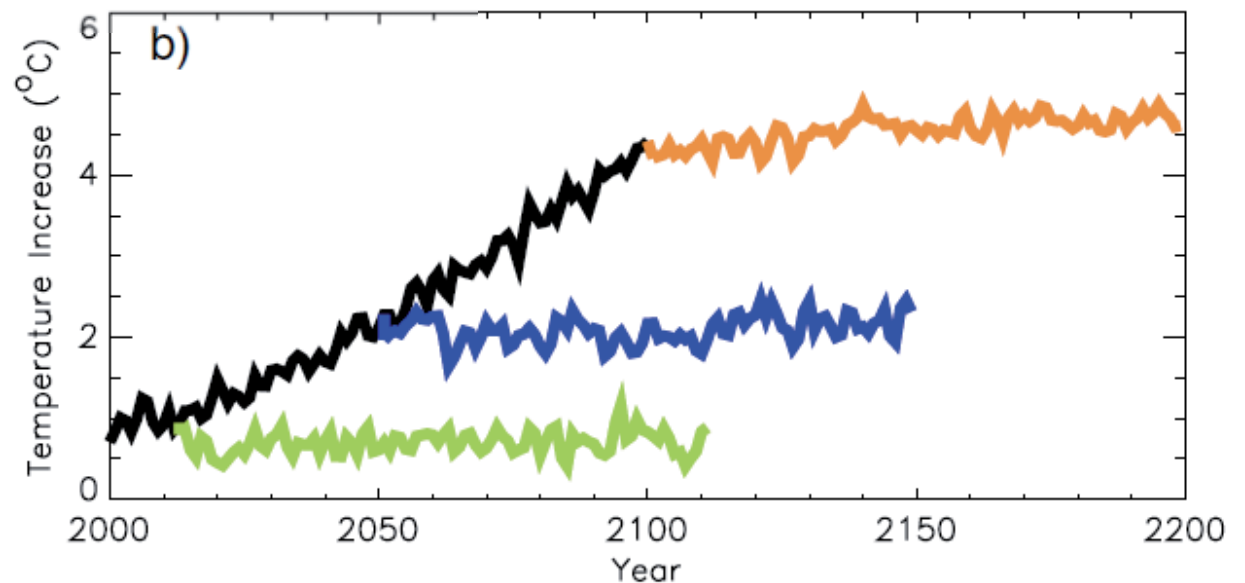
➔ **Benötigt 8000 neue Kohlekraftwerke, ca. 2 pro Woche bis 2100**

# Konsequenz der CO<sub>2</sub>-Emissionen

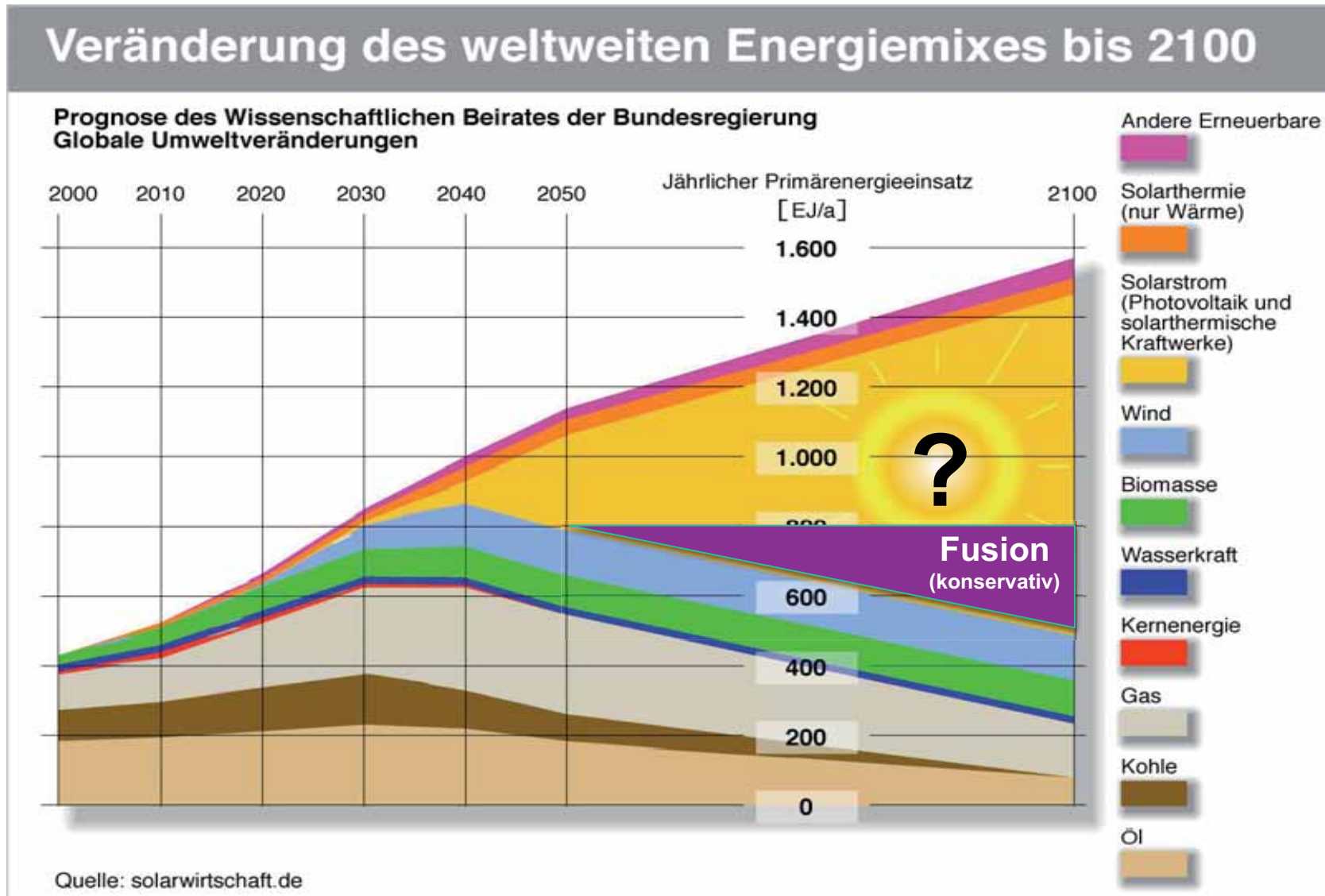


J. Lowe et al., Science 2009

**Spätestens 2050 muss CO<sub>2</sub> komplett vermieden werden, um die Klima-Leitplanke von 2 Grad Erwärmung einzuhalten**



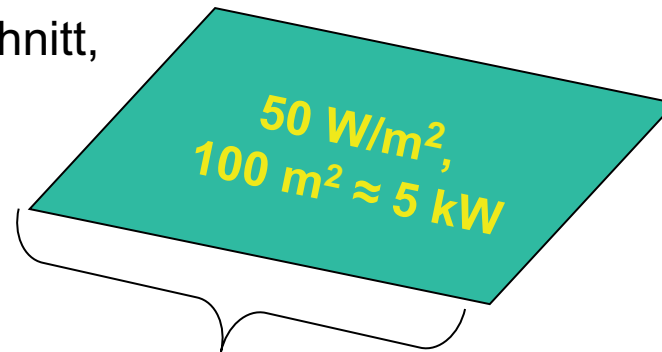
# Kann uns die Sonne helfen?



# Sonnenenergie ist im Prinzip reichlich vorhanden!

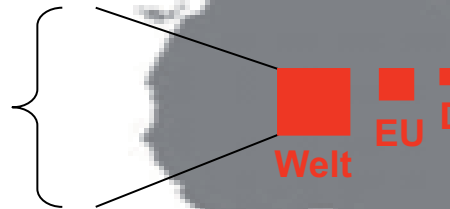


Sahara Tag und  
Nacht Durchschnitt,  
10 % Effizienz:



10 m

ca. 800 km



L-B-Systemtechnik

Quelle: LBST

**640.000 km<sup>2</sup> Wüstenfläche (Deutschland: 360.000 km<sup>2</sup>) reichen, um 10 Milliarden Menschen mit 3 KW/Kopf (Primärenergie) zu versorgen**

**Probleme: extremer Flächenbedarf, Transport und Speicherung, Sicherheit, politische Abhängigkeit etc.**

# Solarthermische Kraftwerke (Andasol 1 & 2)



Quelle: SolarMillenium

**Pro Kraftwerk: Fläche ca. 2 km<sup>2</sup>, Spiegel ca. 0.5 km<sup>2</sup>**

**Elektrische Leistung ca. 50 MW Spitze, 25 MW im Mittel**

**→ 100% Welt benötigt 500 000 solcher Kraftwerke, ca. 15 pro Tag bis 2100 !!!**

# Windkraft-Anlagen



Quelle: Vestas Central Europe

**Pro Windrad:  
Spitzenleistung 2 MW im  
Mittel ca. 1 MW**

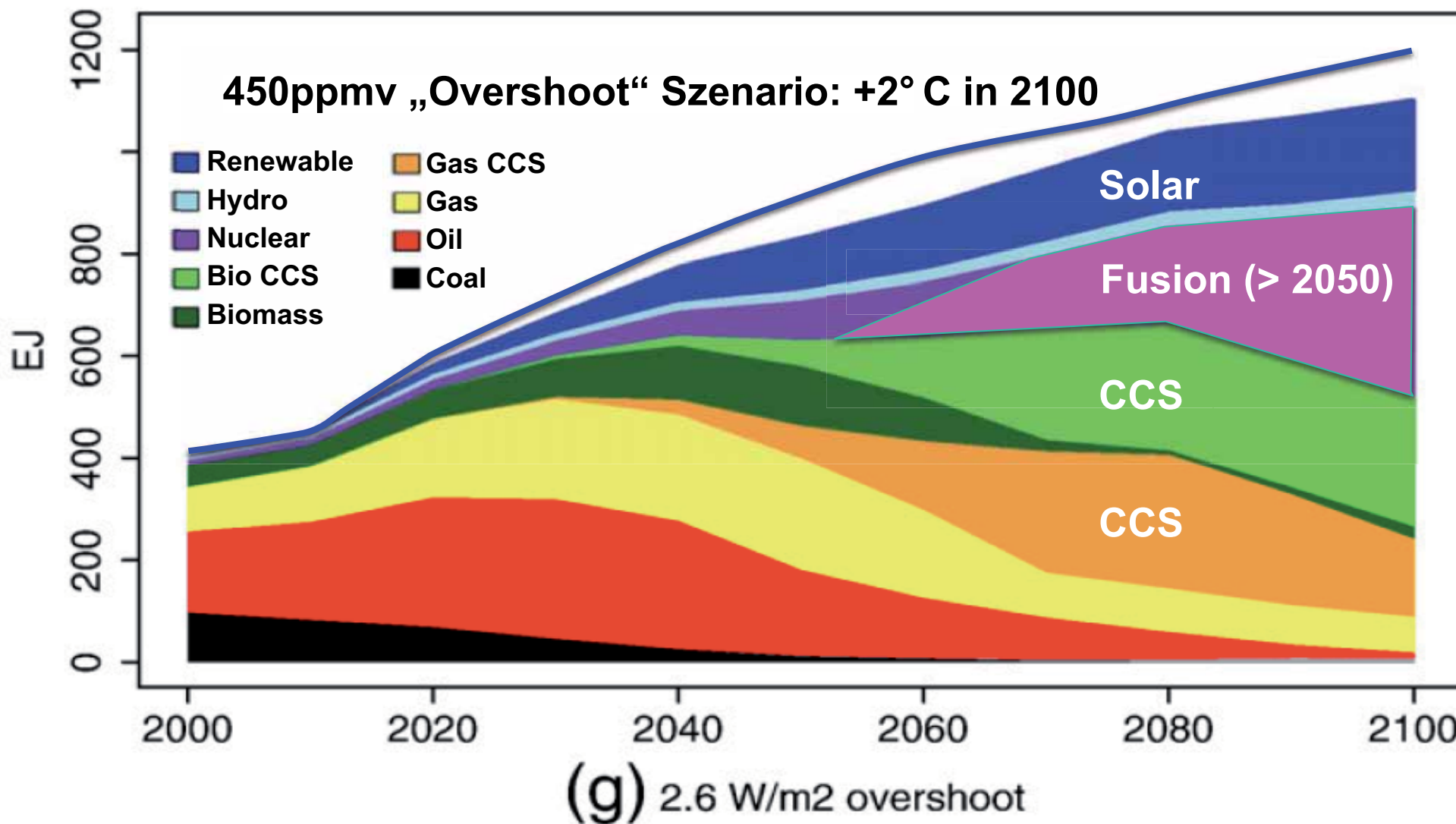
**In Zukunft u.U.  
Spitzenleistung 10 MW im  
Mittel ca. 5 MW**

**Montage von vor der dänischen Nordseeküste**

**→ 100% Welt benötigt 2.4 Mio. große Windräder, ca. eins alle 20 min bis 2100 !!!**

# Energy Modeling Forum (EMF-22)

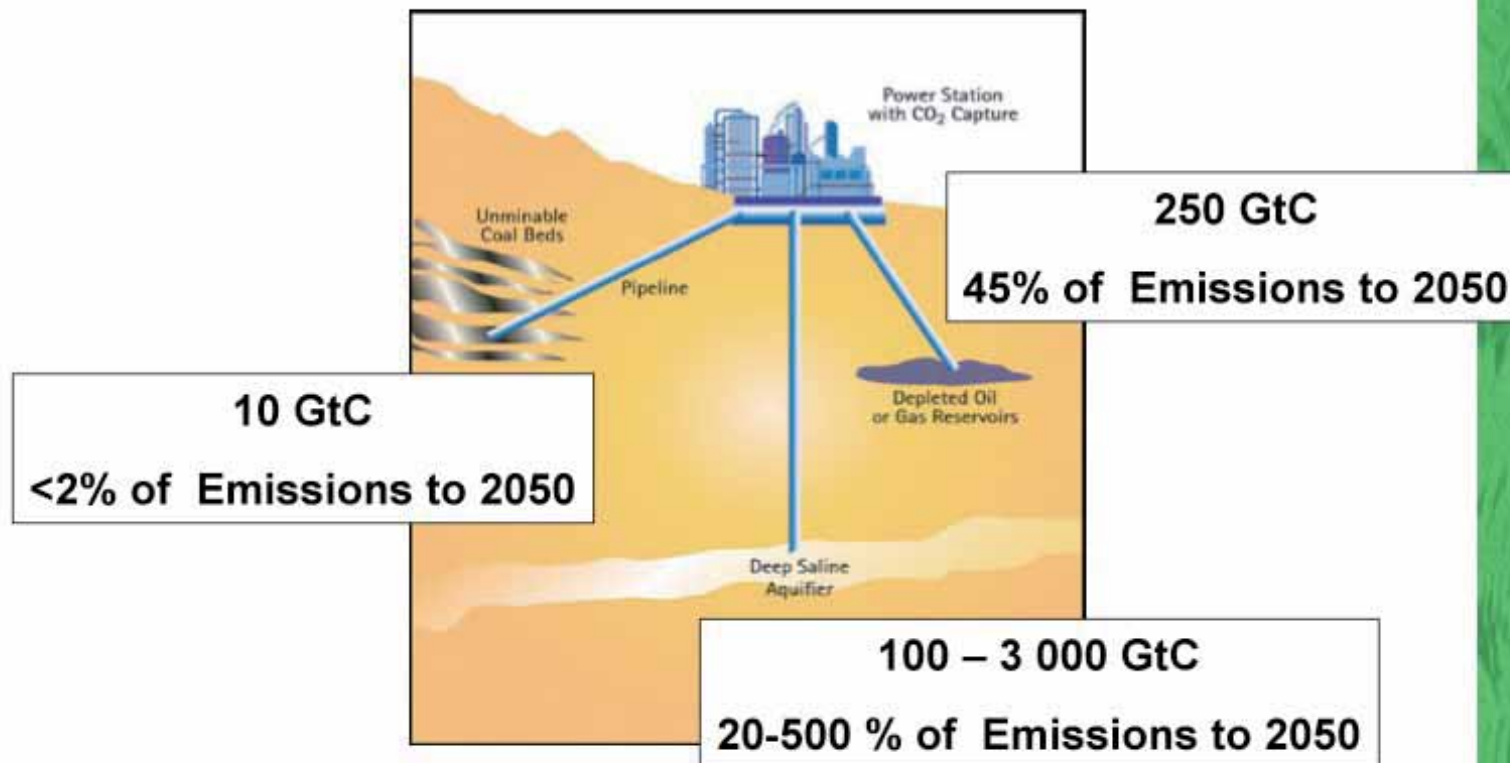
„Pessimistisches“ (Late admission, late technology) Szenario



**Verbraucht alle CCS Speicher & Uran, benötigt 4000 neue Kernkraftwerke**

## Geological Storage Potential

### Global Storage Potential



Comparative potentials at storage costs of up to \$80/tC

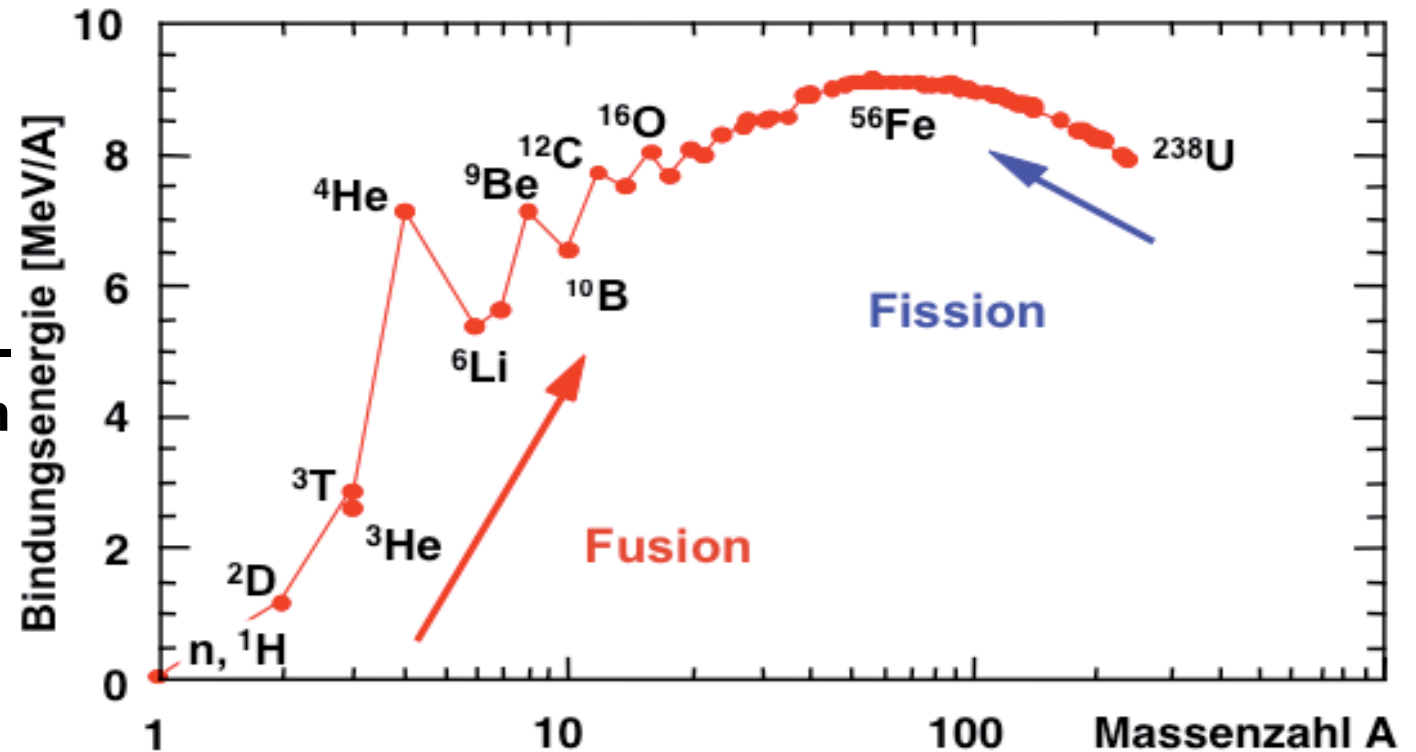
Source: Paul Freund, 2003

# Energie aus der Bindung der Atomkerne

Gebundene Nukleonen sind 'leichter' als freie Nukleonen

Masse wird in Bindungs-Energie umgesetzt, nach Einsteins Formel:

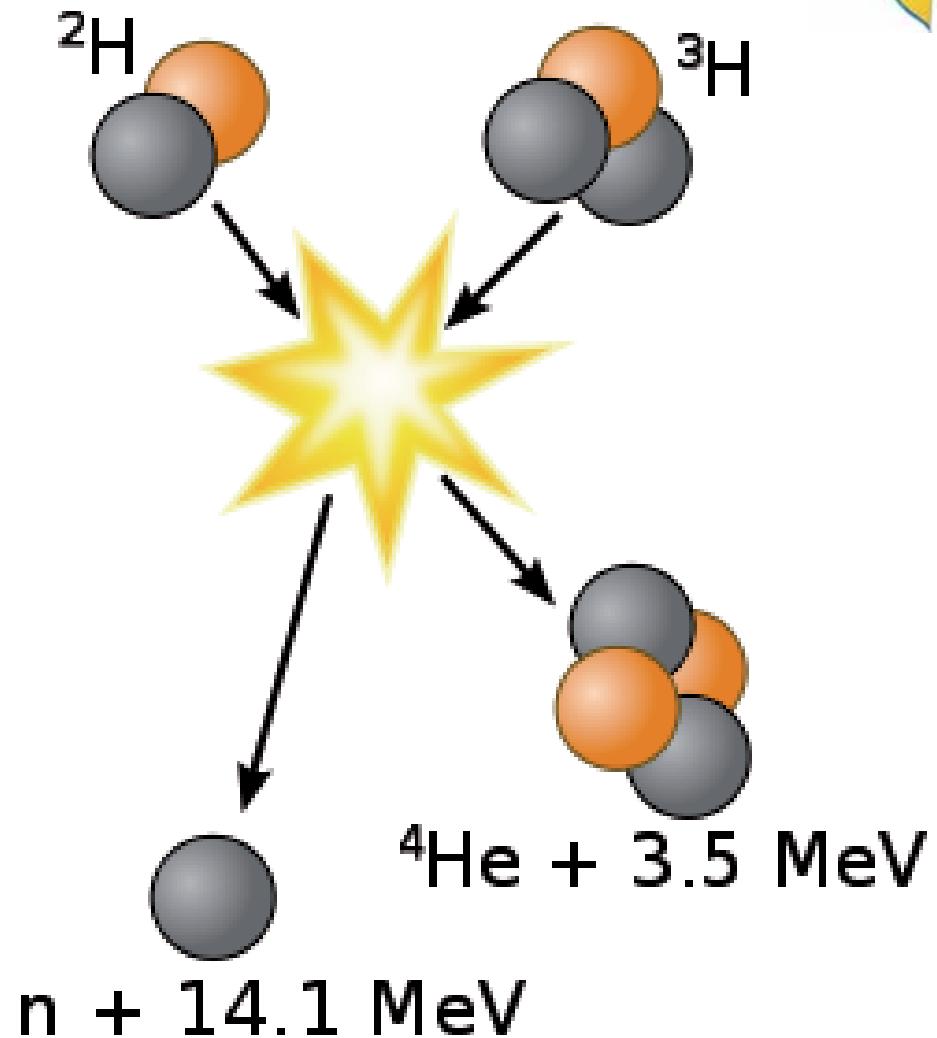
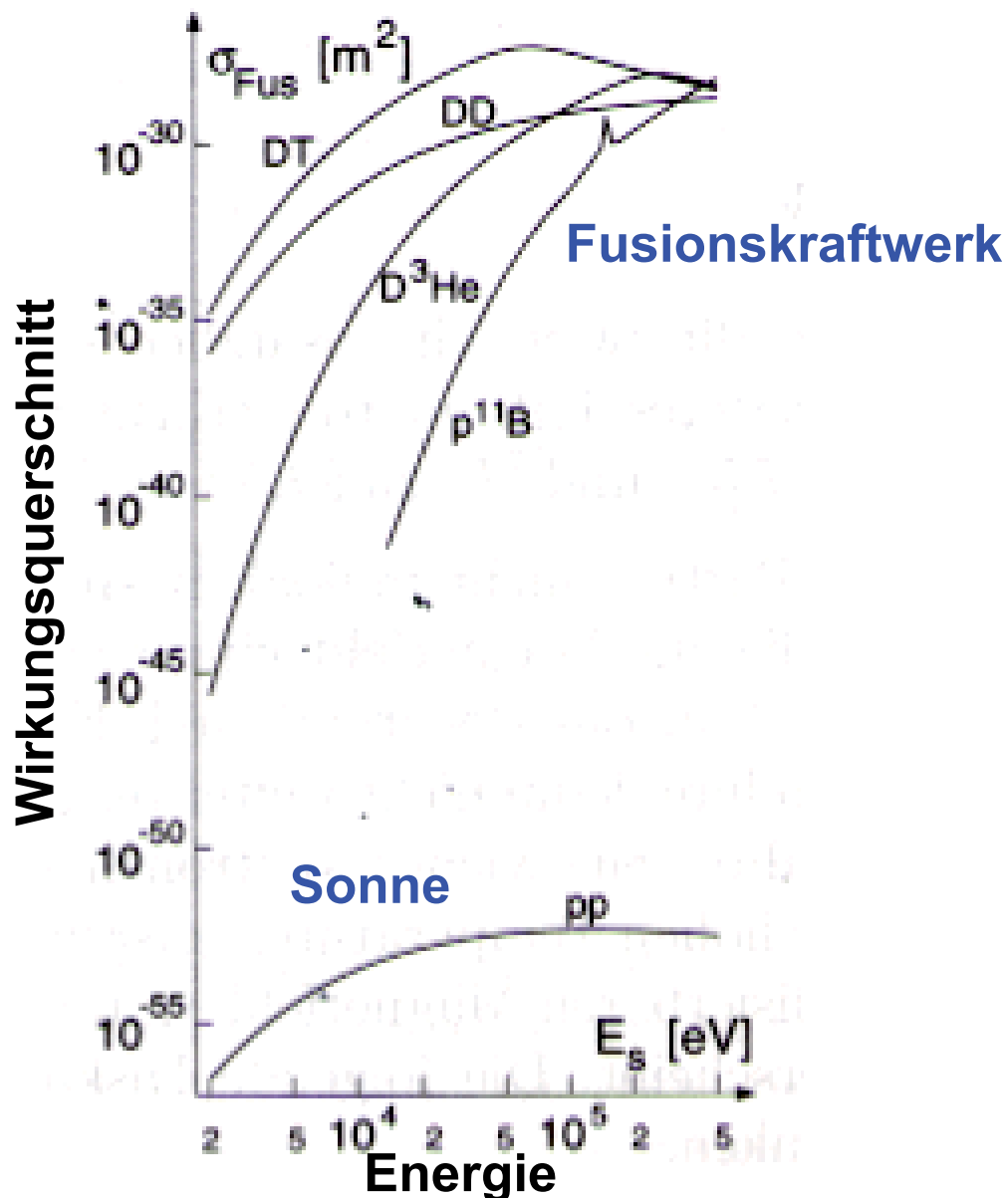
$$\Delta E = \Delta m c^2$$



Energiegewinn aus  
**Kernverschmelzung:** Sterne

**Kernspaltung:** Atomreaktor

# Das „Sonnenfeuer“ auf der Erde



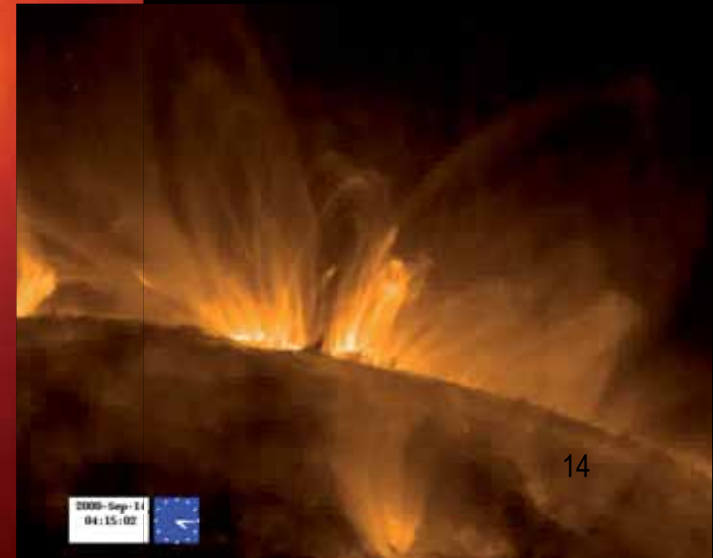
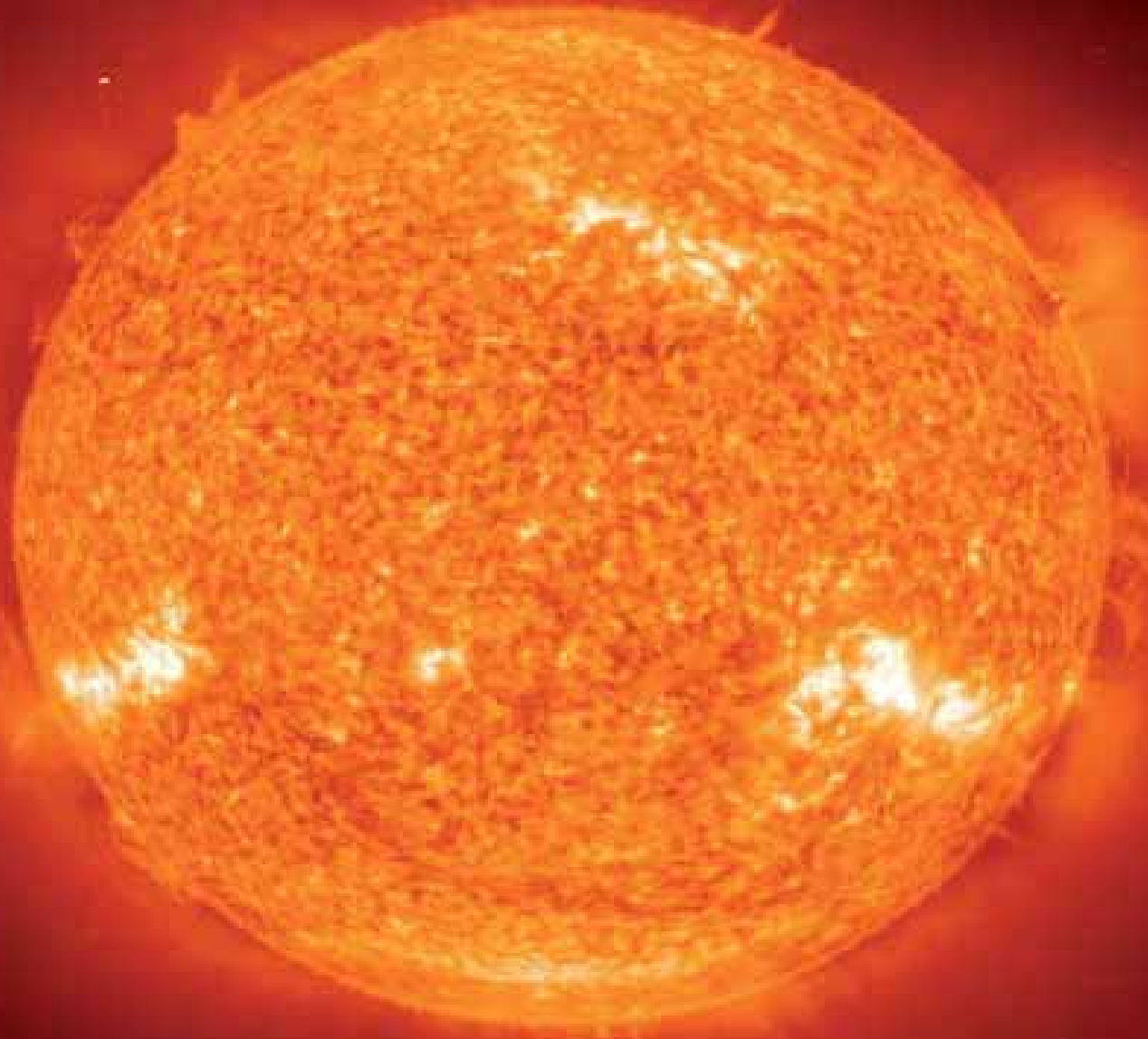
**Etwa eine Million Mal mehr Energie als bei der „Knallgasreaktion“!**

# Plasmaphysik: Magnetischer Einschluss



SOHO/ESA

TRACE/NASA

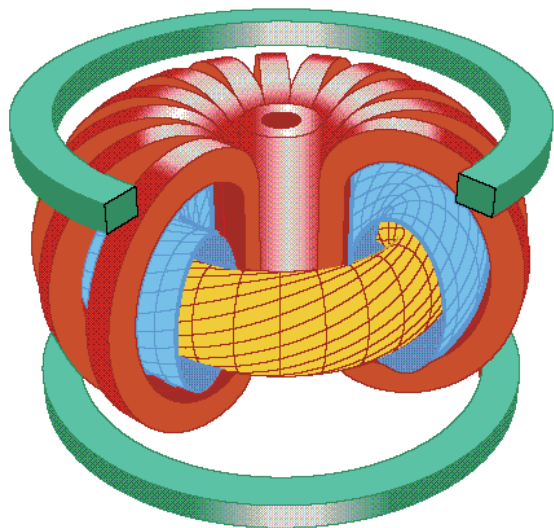


Hasinger Stuttgart 13.4.2010

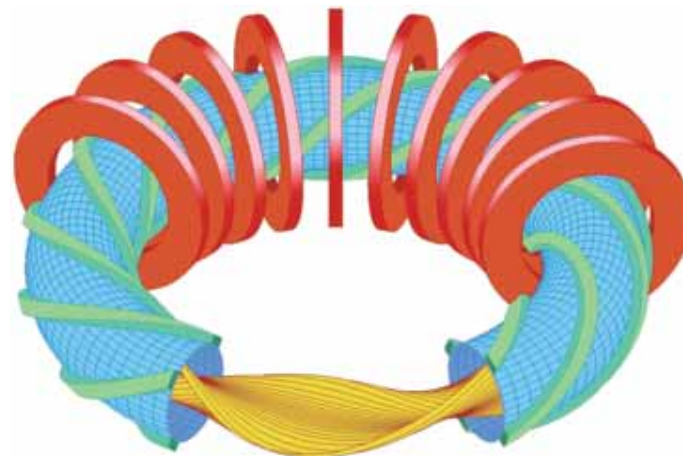
1998/03/30 20:23:42

# Magnetischer Einschluss IV: Tokamak und Stellarator

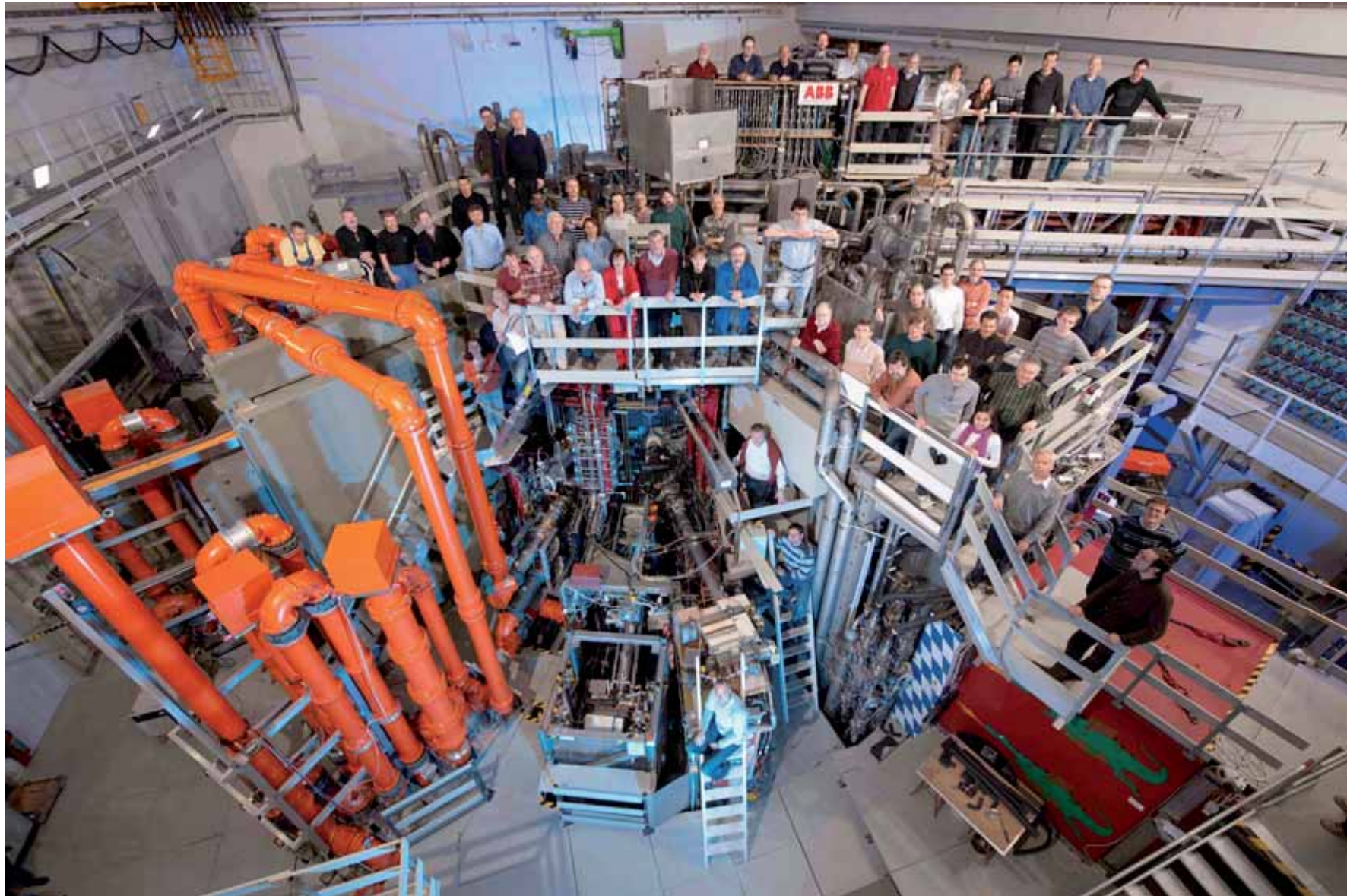
**Tokamak**



**Stellarator**



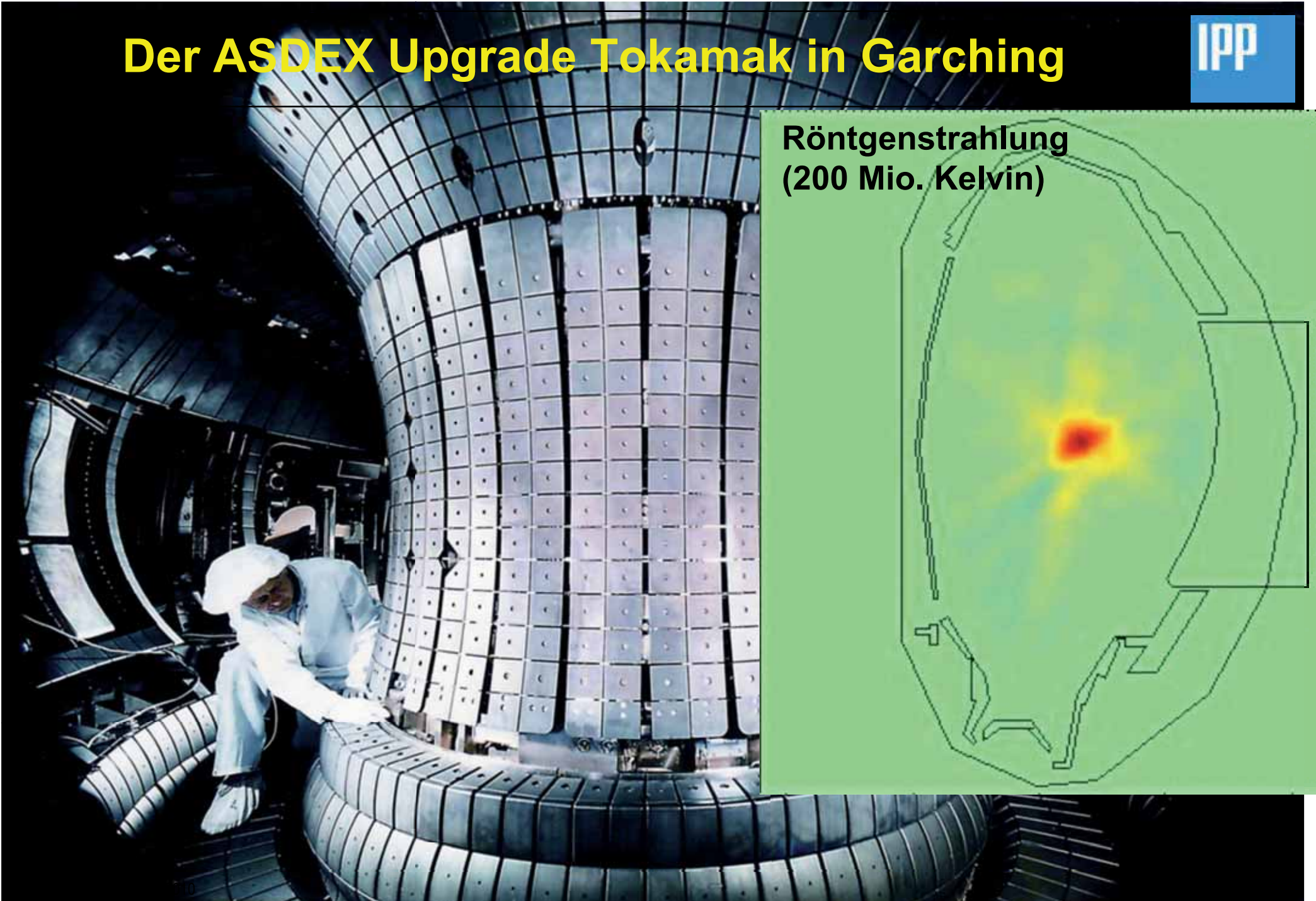
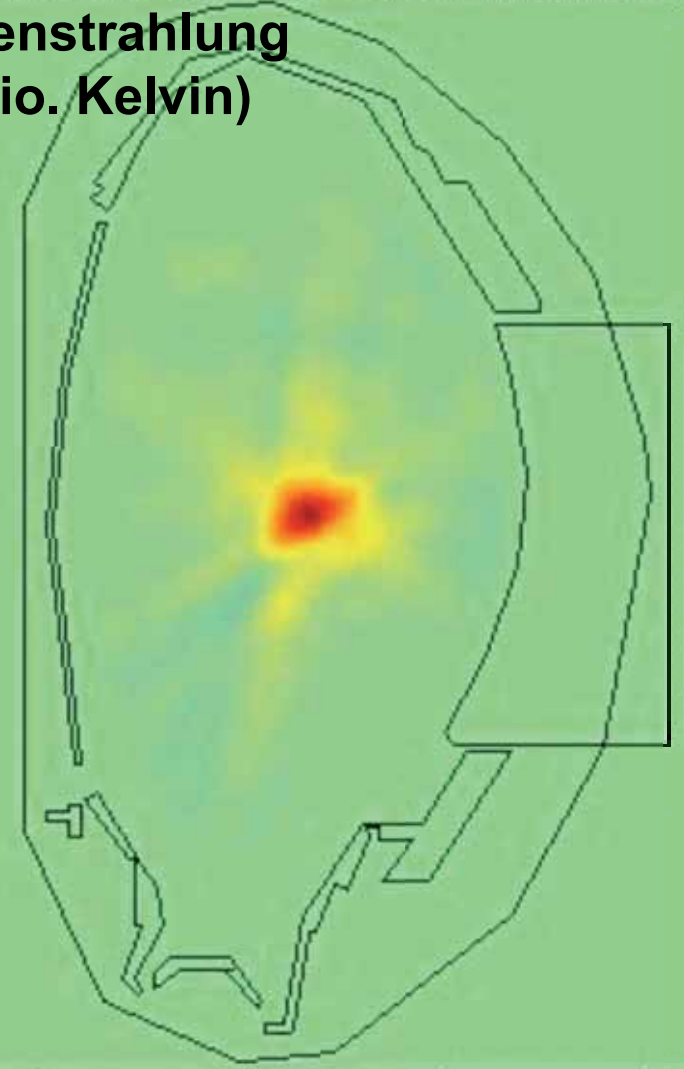
# ASDEX Upgrade und sein Team



# Der ASDEX Upgrade Tokamak in Garching

IPP

Röntgenstrahlung  
(200 Mio. Kelvin)



# Tokamaks und Stellaratoren

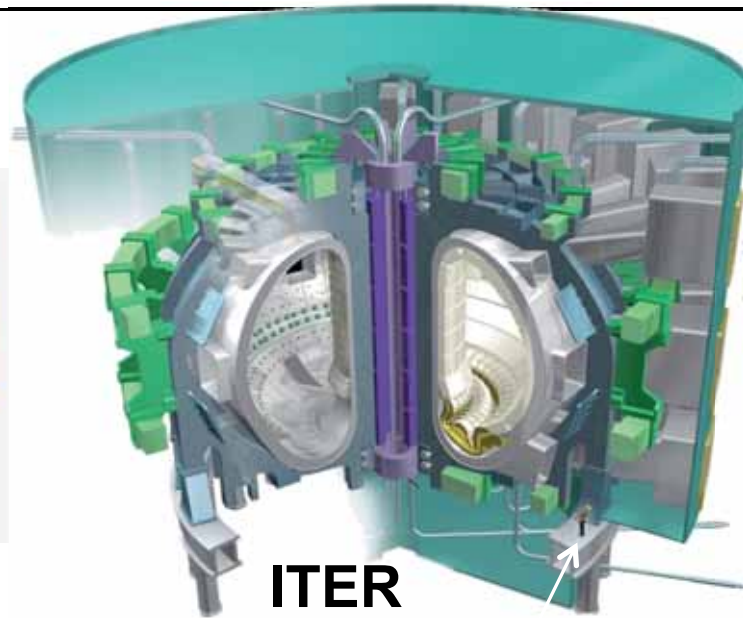
## Tokamaks



**ASDEX Upgrade**  
Garching

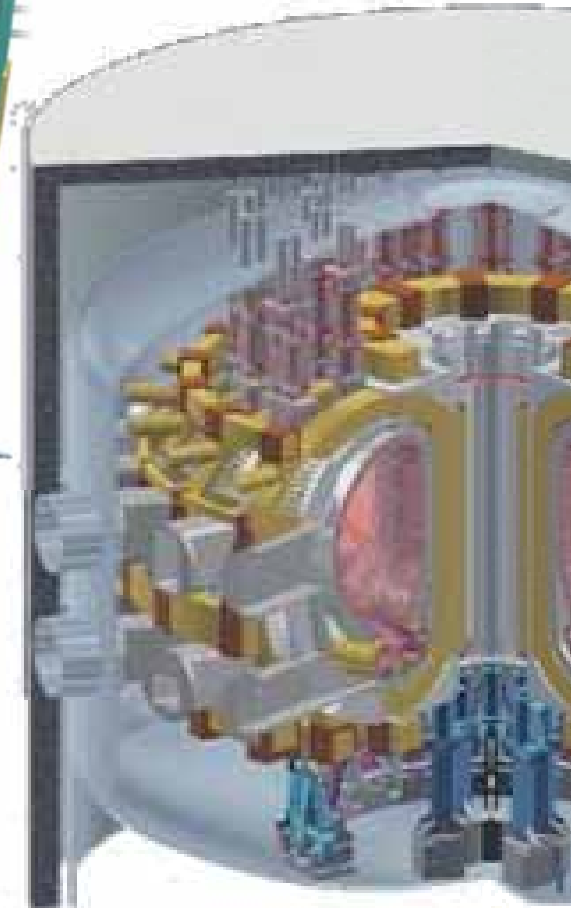


**JET**  
Culham



**ITER**  
Cadarache

Mensch

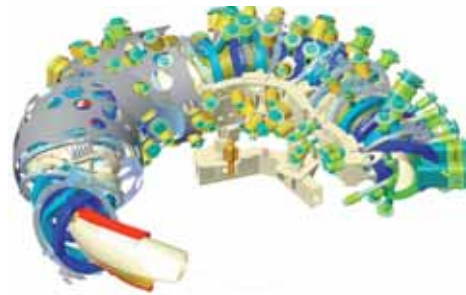


**DEMO**

## Stellaratoren

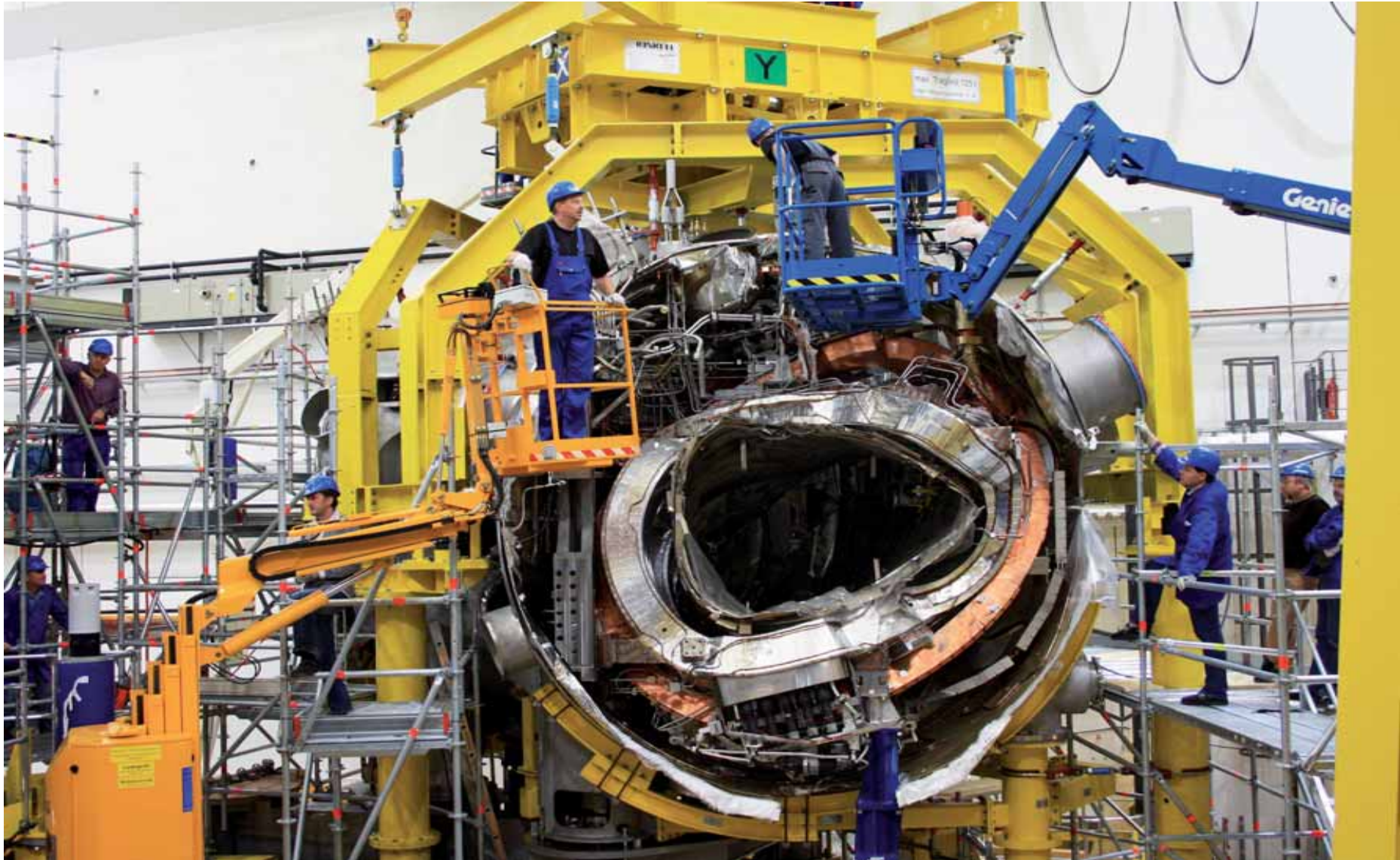


**Wendelstein 7-AS**  
Garching

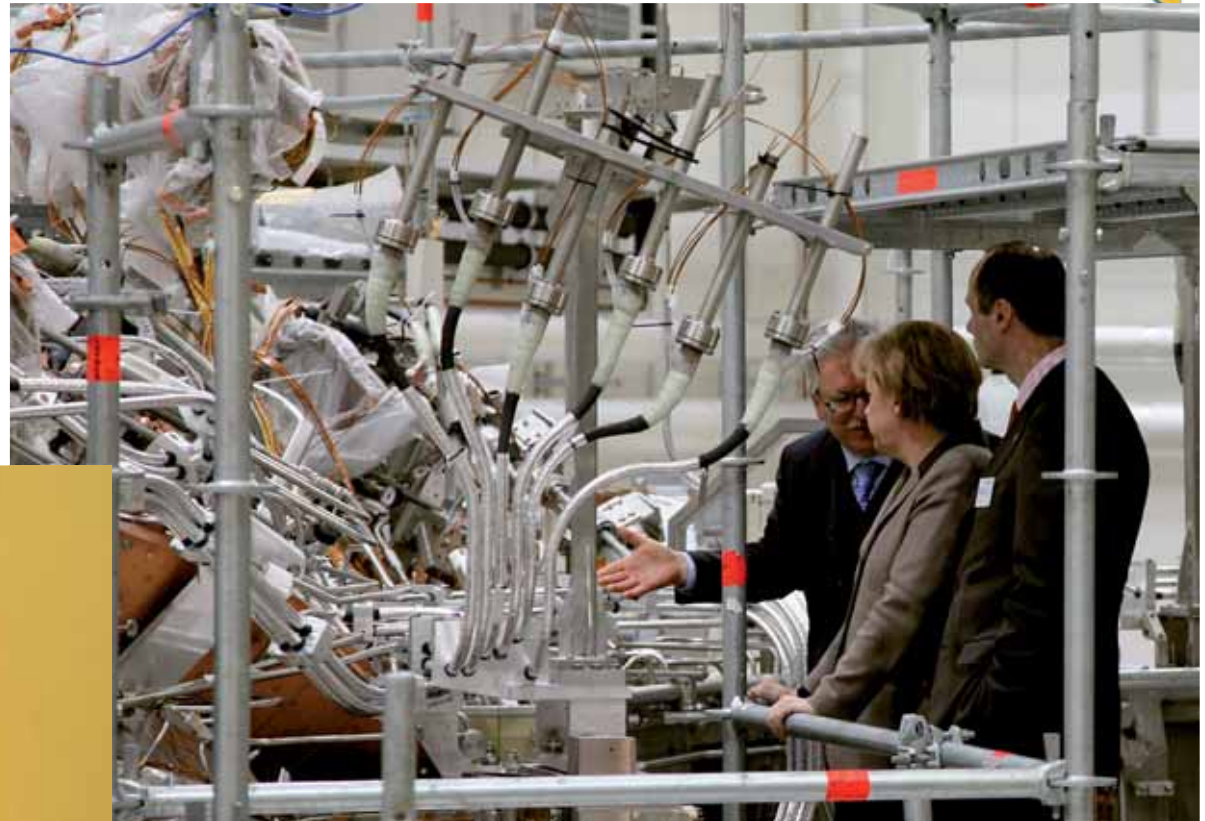


**Wendelstein 7-X**  
Greifswald

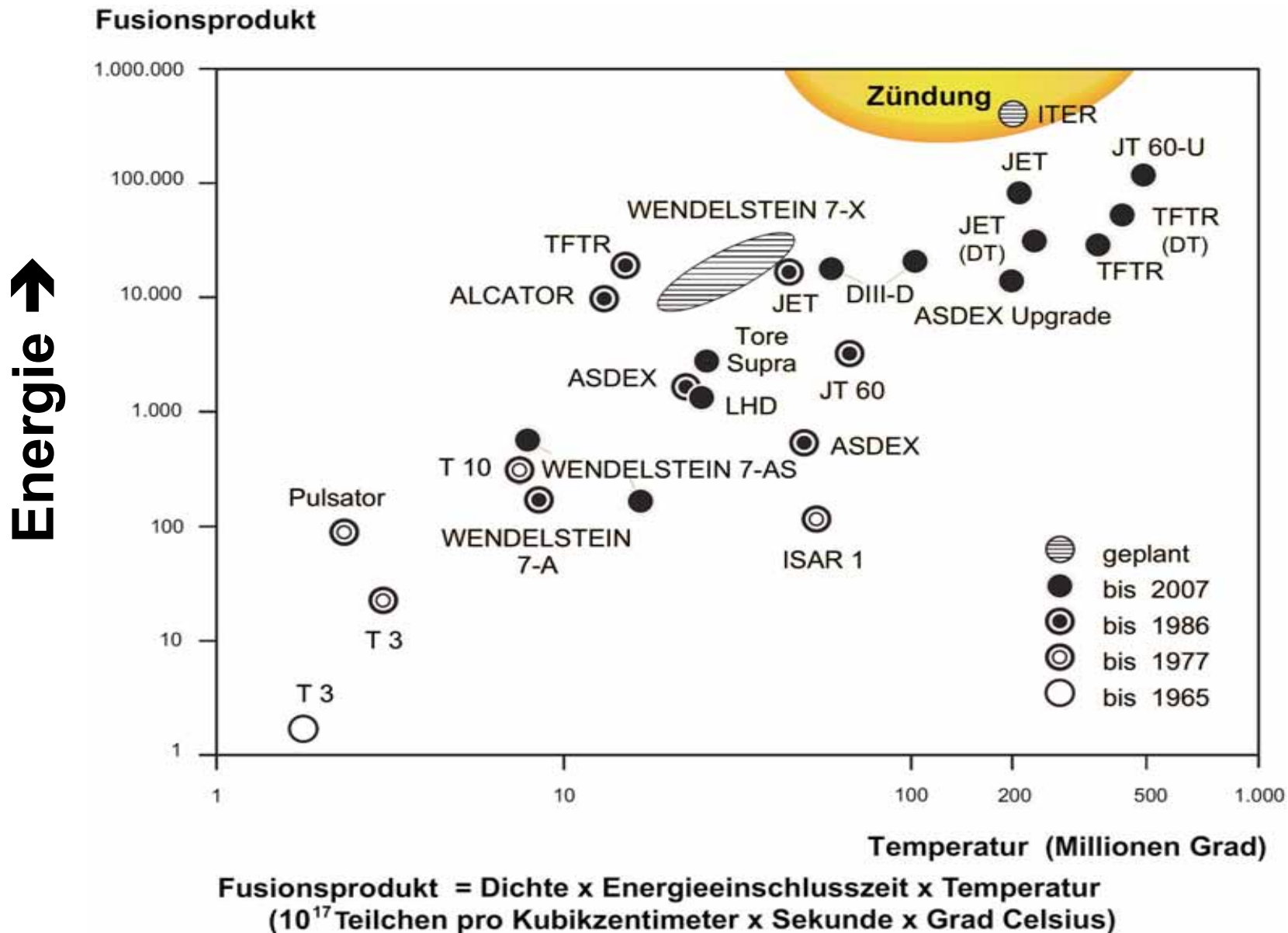
# Wendelstein 7-X: Idee - Design - Konstruktion



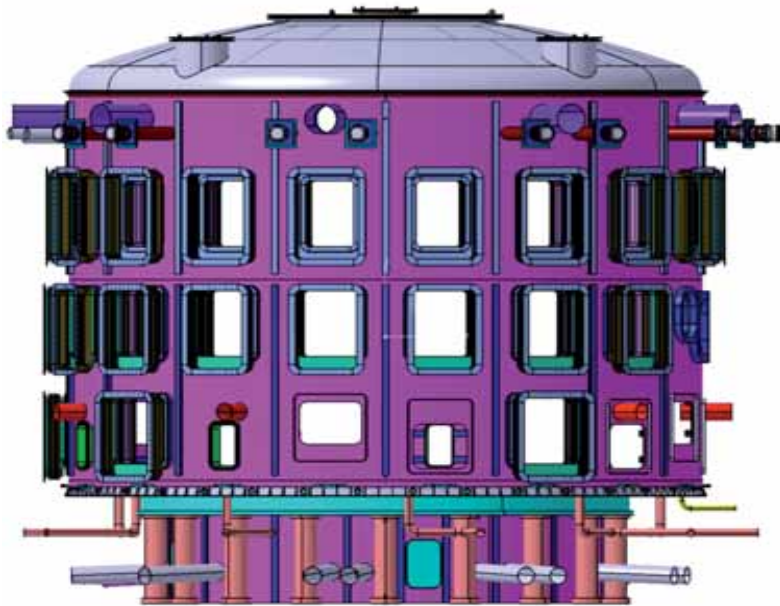
# Besuch der Bundeskanzlerin am 1.2.2010 in Greifswald



# Das Tripelprodukt der Fusion: $\rho \tau T$



# ITER Kryostat im Vergleich

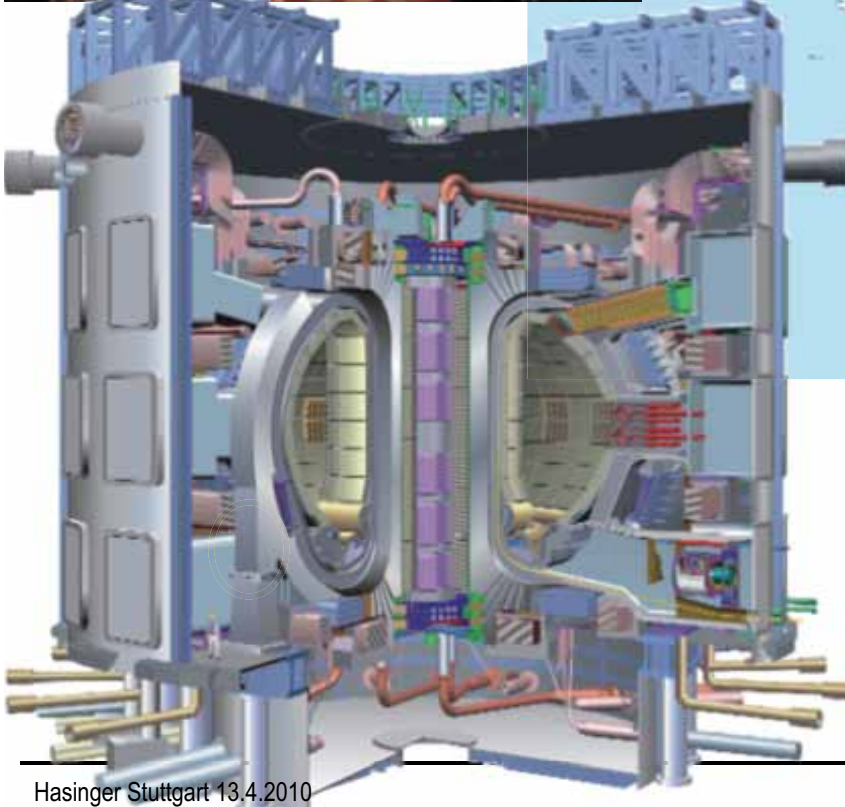
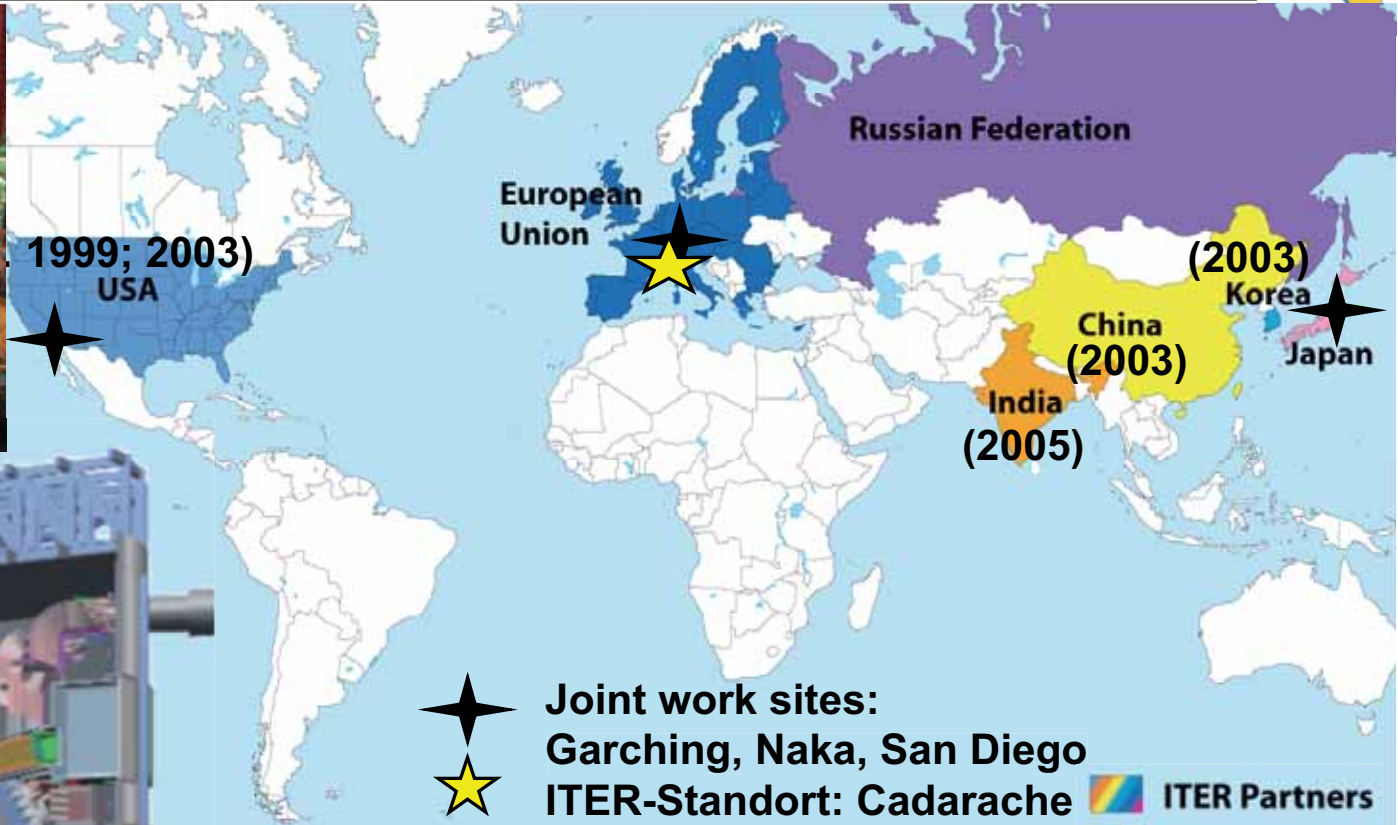


**ITER Kryostat**  
**~28 m Höhe x**  
**29 m Durchmesser**



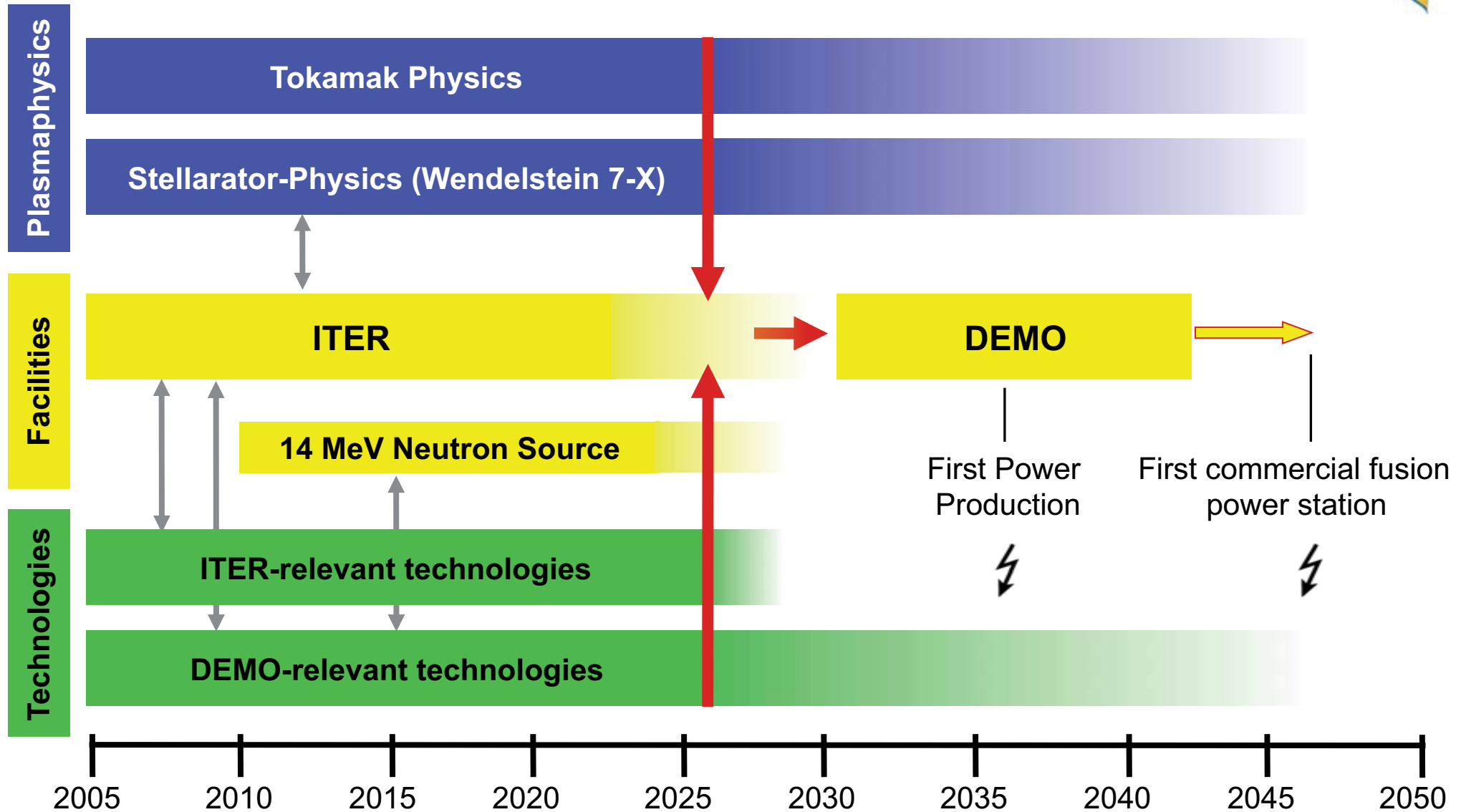
**Jefferson Memorial (Washington DC)**  
**~29 m Höhe**

# ITER @ Cadarache



**>50% der Weltbevölkerung und >80% des GDP  
Größtes und komplexestes Wissenschaftsprojekt  
Deutliche Kosten-Erhöhung: ca. 6 Mrd. € f. EU  
ITER ist DAS Schlüsselexperiment  
Rolle Deutscher Institute ist essentiell**

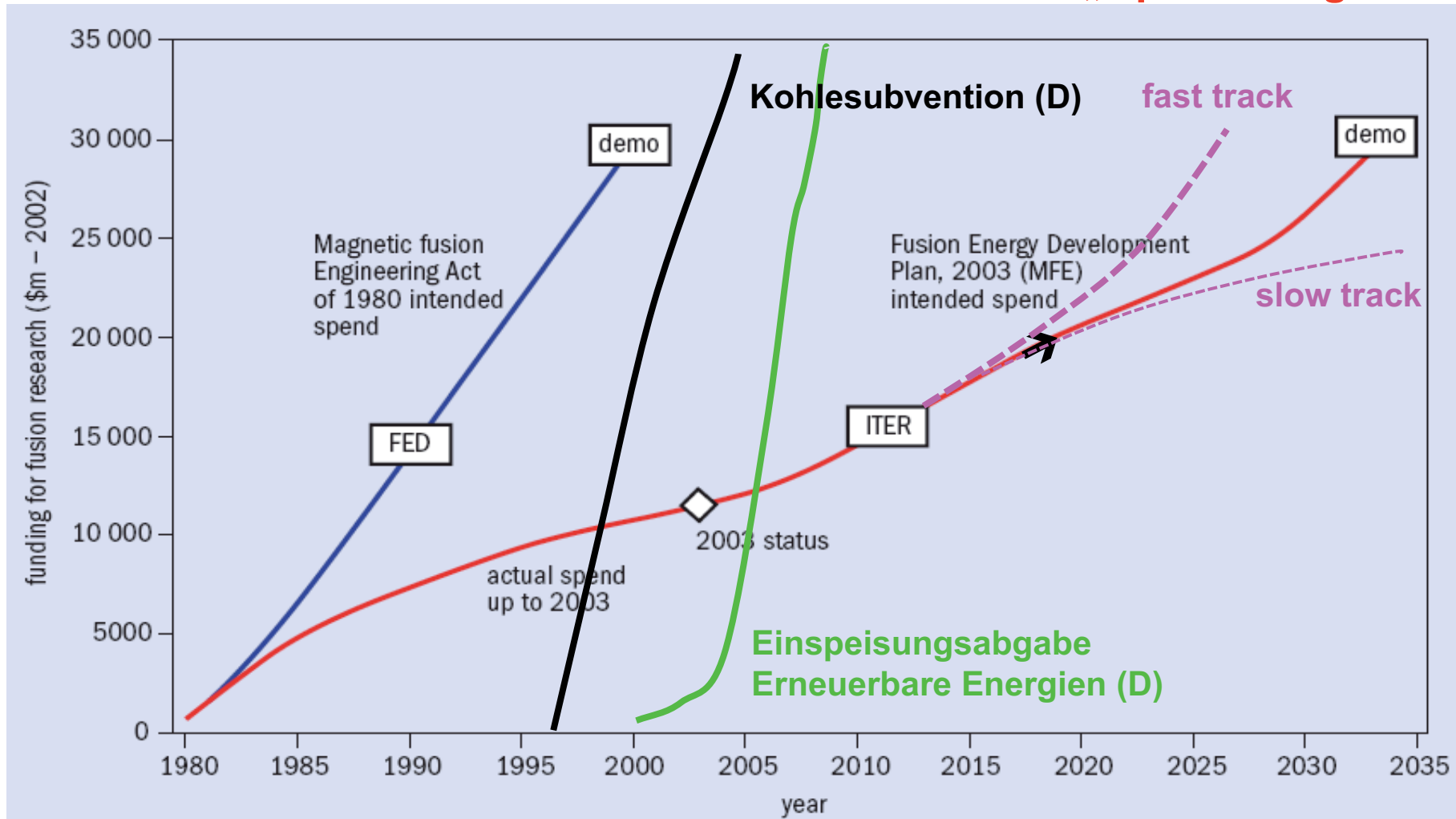
# Der Weg zu einem Fusionskraftwerk



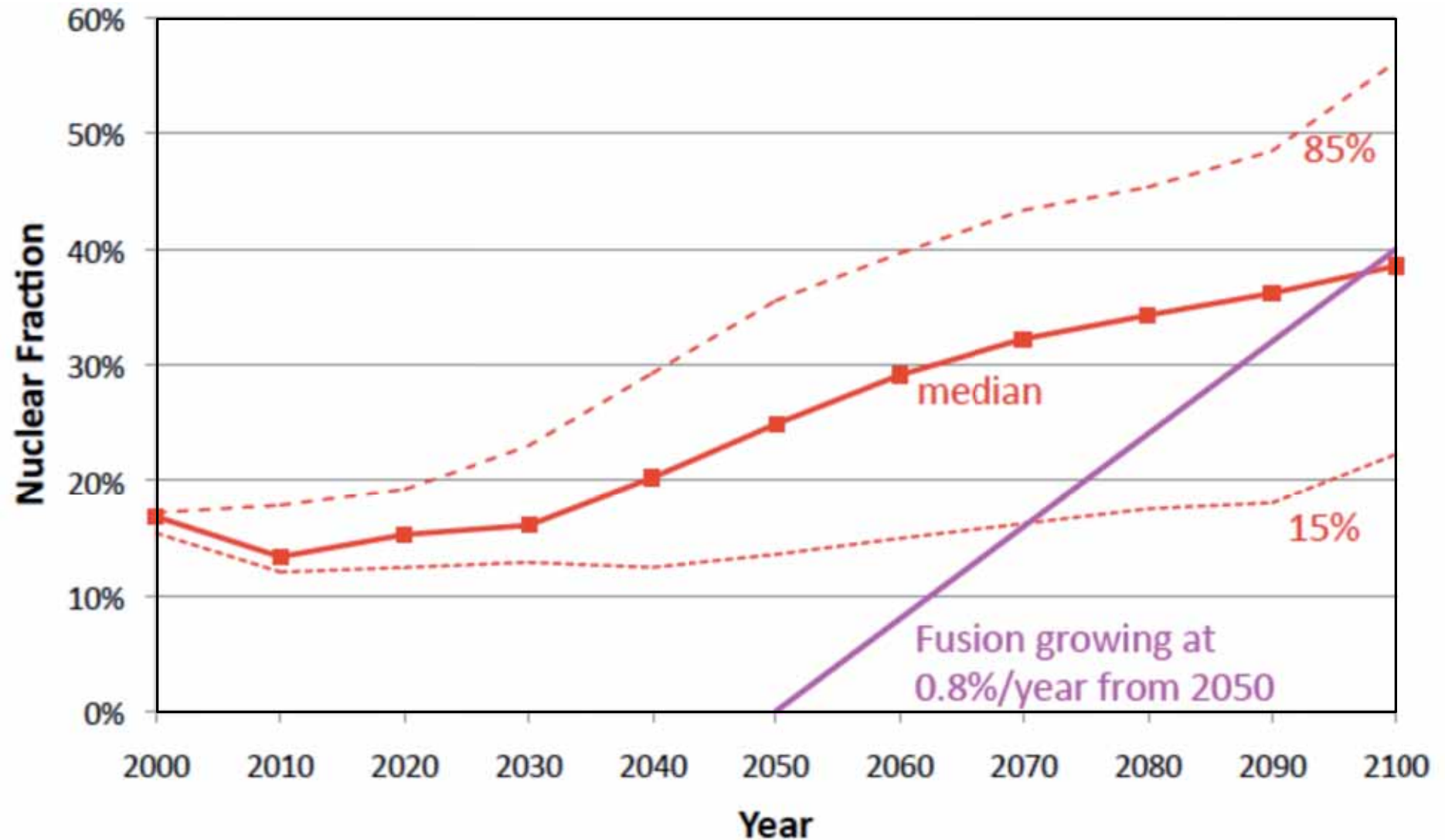
# Warum dauert die Fusion so lange ?



Ein wichtiger Grund: Die Finanzierung der großen Maschinen ist viel langsamer, als ursprünglich erhofft!  
→ wir brauchen eine Art „Apollo-Programm“!



# EMF-22 Szenarios: nuklearer Anteil der Stromversorgung



# Vorteile der Fusionsenergie



- **Brennstoffvorrat fast unbeschränkt und für alle Nationen verfügbar**
  - Deuterium (D aus Wasser) und Lithium (Li aus Steinen und Meerwasser)
  - Eine Badewanne Wasser und eine Laptop-Batterie = Familie Strom für 50 Jahre
  - Praktisch unbegrenzte Vorräte
- **Vorteile für die Umwelt: Clean Energy!**
  - Keinerlei CO<sub>2</sub> Emissionen
  - Mittlere bis niedrige radioaktive Belastung, kein Endlagerproblem
  - Unfall- und Verunreinigungsrisiko minimal
- **Keine Explosionsgefahr, keine Kernschmelze**
  - <5 Minuten Brennstoff im Plasma
- **Niedriges Proliferationsrisiko nuklearer Materialien**
  - Keine spaltbaren Materialien
- **Extrem hohe Energie-Konzentration**
  - Minimale Landnutzung im Vergleich zu Solar-, Wind- und Wasserkraft
- **Unabhängig von Tages-, Jahres- oder Regionalen Variationen**
  - Ideal für Ballungsräume und Grundlastversorgung

➔ **Deutliche Vorteile im Vergleich zu Spalteaktoren und Brütern**

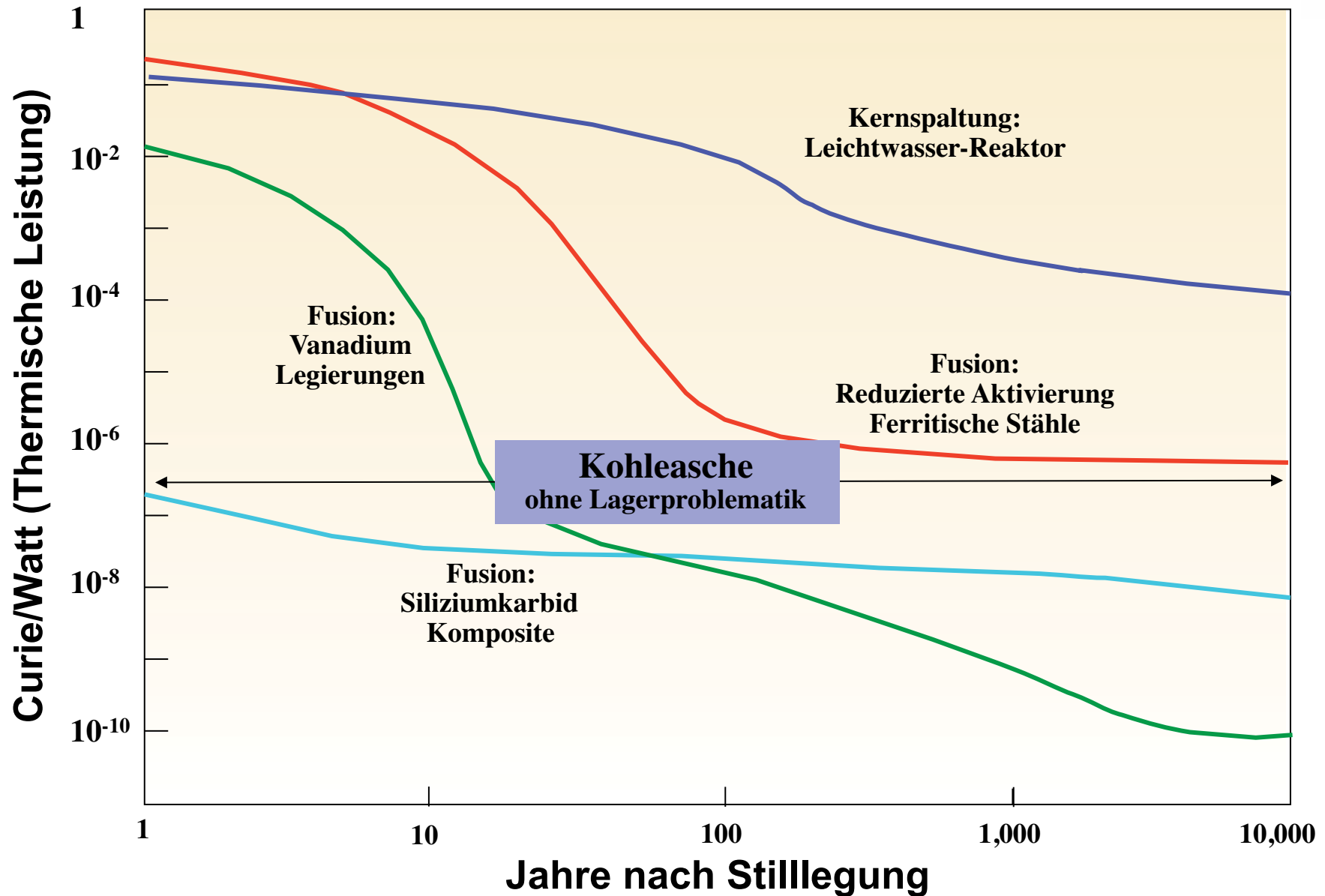
# Die Ressourcen für die Kernfusion sind nahezu unbegrenzt



Das **Deuterium** aus einer Badewanne voll Wasser und das **Lithium** aus einer verbrauchten Laptop-Batterie reichen für die Stromerzeugung für eine Familie über einen Zeitraum von 50 Jahren.

**Der „Fusions-Brennwert“ von 1 Liter Meerwasser entspricht 1/10 Liter Öl!**

# Fusion benötigt keine geologische Endlagerung



# Meine Vision der Energie der Zukunft



**Deutschland bräuchte etwa 50 Fusionskraftwerke (1 pro Jahr ab 2050)**