

# Erleuchtung oder Blackout? Energieversorgung der Zukunft

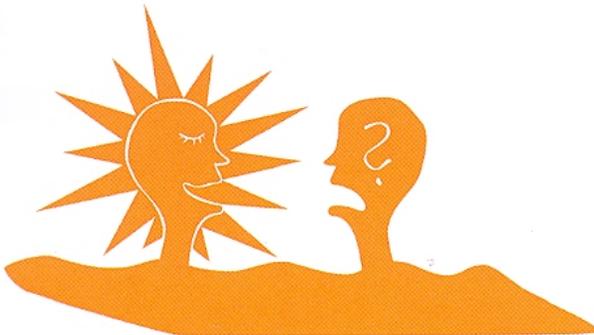


- [Link](#) ➤ **Einleitung zum Thema**
- [Link](#) ➤ **Hans Müller-Steinhagen (DLR): Regenerative Energien**
- [Link](#) ➤ **Joachim U. Knebel (KIT-FZK): Kernkraft**



COLLOQUIUM FUNDAMENTALE

## Erleuchtung oder Blackout? Energieversorgung der Zukunft



**Donnerstags 18h00, Engesser-Hörsaal, Geb. 10.81**  
In Kooperation mit dem KIT-Zentrum Energie

Leitung: Prof. Dr. Caroline Y. Robertson-von Trotha  
Organisation: Ina Scholl M.A.

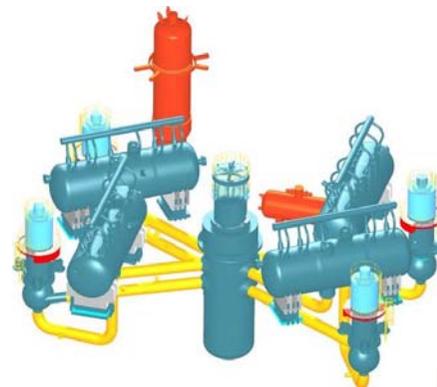
Weltweit steigt der Bedarf an Energie in rasantem Tempo. Umstritten ist jedoch, welche Energie genutzt und wie sie gewonnen werden soll. Angesichts der Endlichkeit fossiler Brennstoffe und des Klimawandels hat sich Deutschland das Ziel gesetzt, den Anteil regenerativer Energiequellen bis 2020 auf 18 Prozent zu steigern. Die Diskussion um ethische und ökologische Aspekte von Biokraftstoffen zeigt jedoch, dass erneuerbare Energien ebenfalls kritisch zu prüfen sind. Gleichzeitig wird die Energiefrage in einer globalisierten Welt zu einem wichtigen Faktor der Außenpolitik. In der Vortragsreihe werden neue Lösungen der Energienutzung erläutert, den traditionellen Energiequellen gegenübergestellt und in einen gesellschaftlichen wie politischen Kontext eingebettet.

Logo: [www.framboise-noel.eu](http://www.framboise-noel.eu)

[www.zak.uni-karlsruhe.de](http://www.zak.uni-karlsruhe.de) / 0721.608-4384

**ZAK**  
SS 2008

# Internationale Entwicklungen neuer Reaktorlinien: Fünf gute Gründe für die Nutzung der Kernenergie



**Joachim U. Knebel**  
**Forschungszentrum Karlsruhe**

# Internationale Entwicklungen neuer Reaktorlinien: Fünf gute Gründe für die Nutzung der Kernenergie



*Nachdruck und Verbreitung mit Genehmigung des  
Forschungszentrums Karlsruhe GmbH unter  
Nennung der Gesellschaft und des Autors  
gestattet. Beleg erbeten.*

*Es gilt das gesprochene Wort.*

# Internationale Entwicklungen neuer Reaktorlinien: Fünf gute Gründe für die Nutzung der Kernenergie

- **Was macht der Rest der Welt?**
- **Was macht Deutschland?**

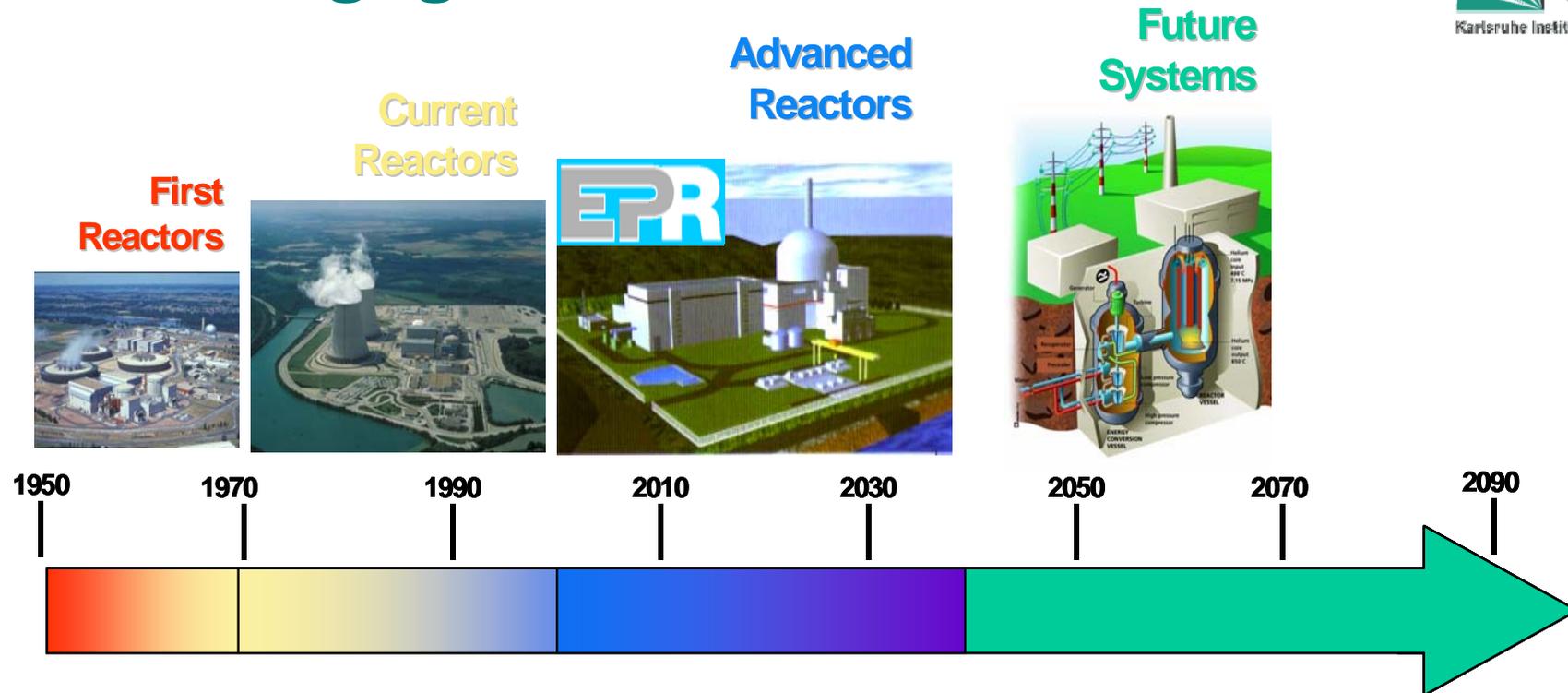
# Kernenergie: Wirtschaftlich, umweltfreundlich, sicher.

**Fünf gute Gründe für die Nutzung  
der Kernenergie in einem  
ausgewogenen Energiemix:**



- **Kernenergie ist nachhaltig.**
- **Kernenergie schützt unsere Wettbewerbsfähigkeit.**
- **Kernenergie stärkt unseren Technologiestandort.**
- **Kernenergie schützt uns vor Abhängigkeiten und Versorgungslücken.**
- **Kernenergie ist sicher.**

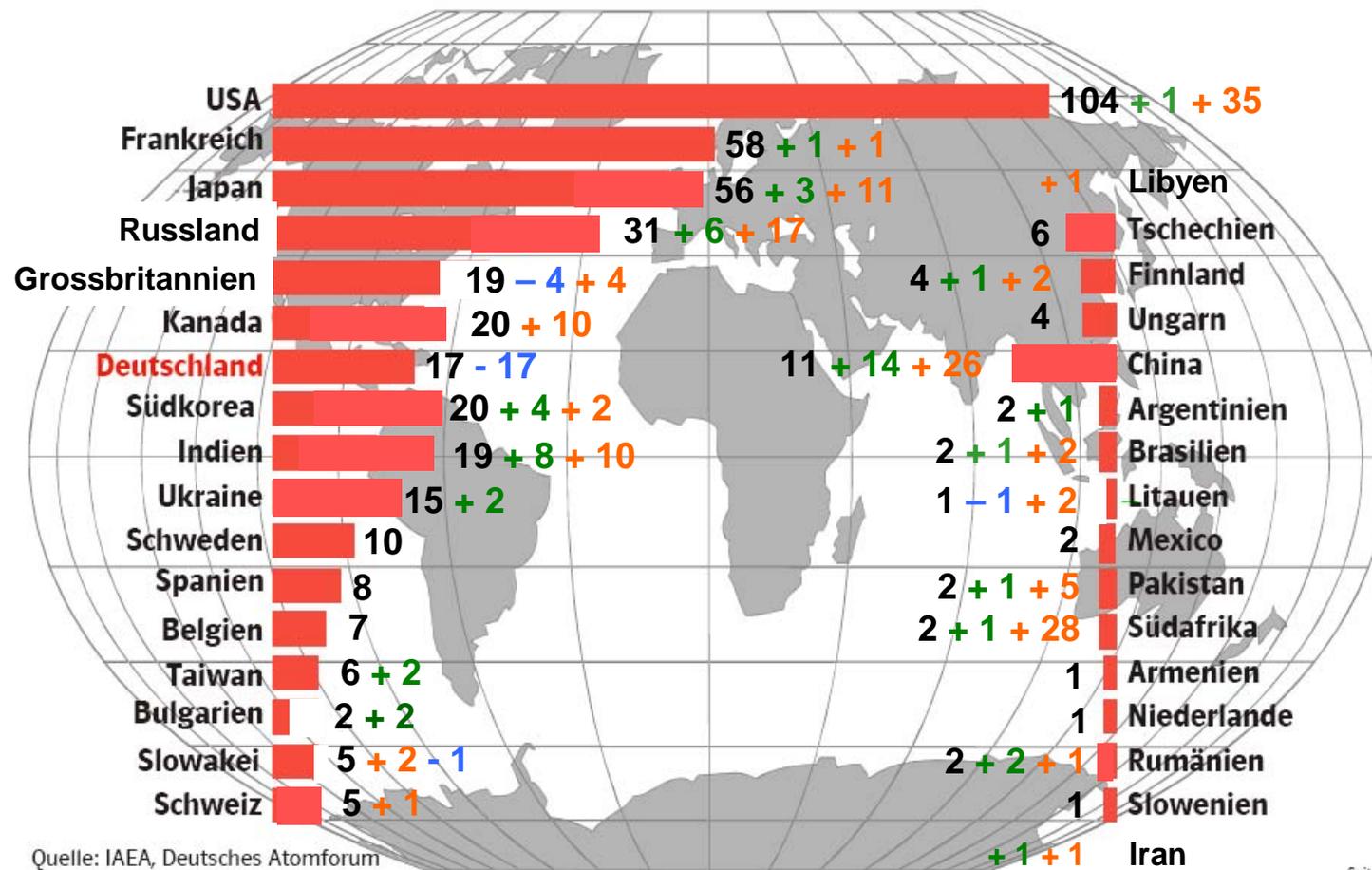
# Entwicklungsgeschichte



- 1. Generation: Kleine Prototypen einiger 100MWe Leistung
- 2. Generation: Große Druck- und Siedewasserreaktoren mit ~1000MWe, wie z.B. CONVOI, N4, ...
- 3. Generation: DWR und SWR mit verbesserter Sicherheitstechnik, wie z.B. EPR, SWR 1000, VVER , APWR, AP 1000

# Daten zur Kernenergie (Stand Okt. 2007)

- Weltweit sind 443 Kernkraftwerke in 31 Ländern in Betrieb
- Kernenergie trägt mit 16% zur Stromerzeugung bei



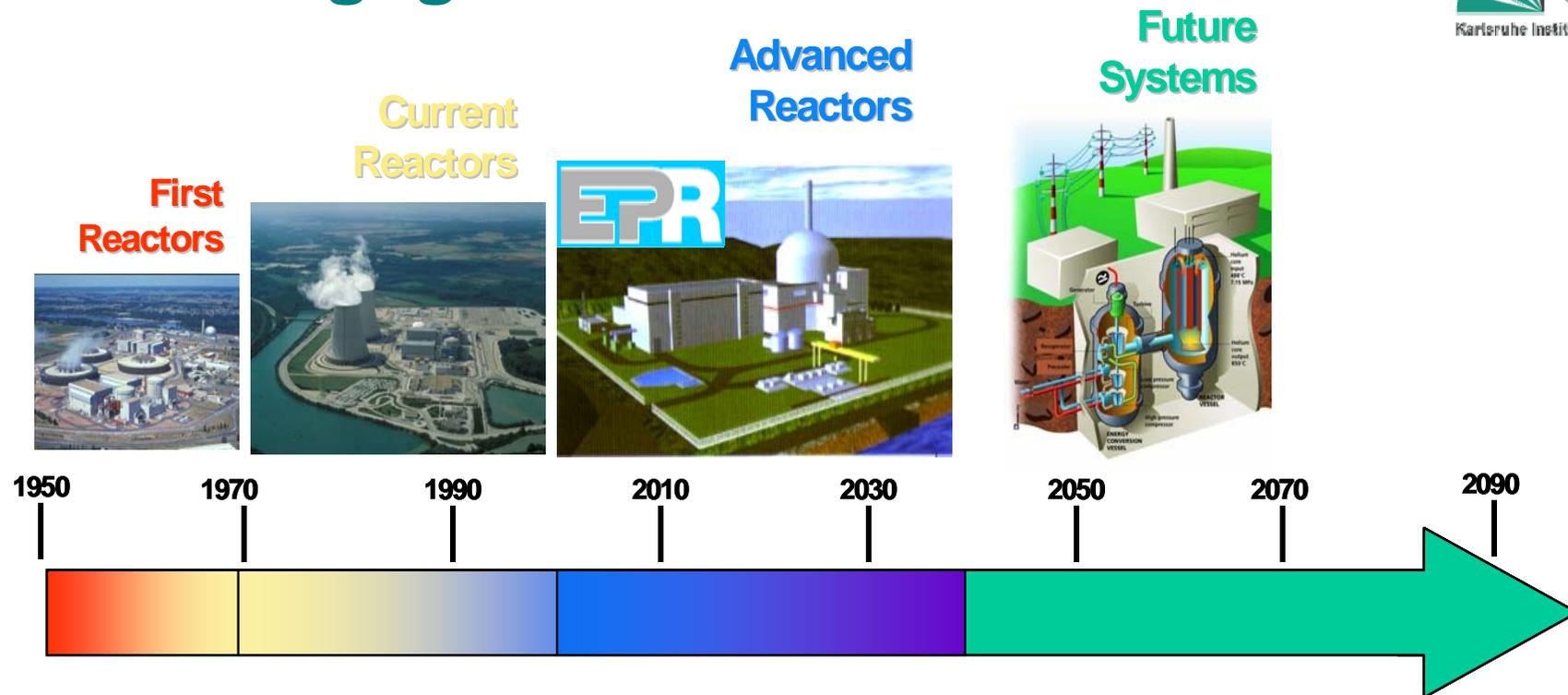
Quelle:



**Abschaltung  
angekündigt: 23  
im Bau: 51  
geplant: 171**

Quelle: IAEA, Deutsches Atomforum

# Entwicklungsgeschichte



## Stand 2008:

- Wir brauchen keine sicheren, zuverlässigen, kostengünstigen Kraftwerke mehr zu entwickeln ⇒ Diese sind heute kommerziell verfügbar!

## Ausblick:

- Einführung eines geschlossenen Brennstoffkreislaufs zur Ressourcenschonung und Abfallminimierung.

# Stand der Technik: Europäischer Druckwasserreaktor EPR

# Europäischer Druckwasserreaktor EPR

- Der EPR ist ein großer fortschrittlicher Druckwasserreaktor der 1600-MWe-Leistungsklasse mit evolutionären Merkmalen.
- Auslegungskonzept basiert auf weltweit gesammelten Erfahrungen aus Tausenden von LWR-Betriebsjahren, vor allem die mit den derzeit modernsten Reaktoren: den französischen N4- und den deutschen Konvoi-Anlagen.
- Der EPR verkörpert die Ergebnisse jahrzehntelanger FuE-Programme, besonders der CEA und des FZK.
- Wirkungsgrad etwa 36%;  
Investitionskosten etwa 2 k€/kW;  
Stromgestehungskosten ~3-4 c/kWh.



**EPR Project in Finland: Olkiluoto III.**

**Quelle:** <http://www.areva-np.com>

# Europäischer Druckwasserreaktor EPR



- **Notkühlung:** durch vier voneinander unabhängige, räumlich getrennte Teilsysteme sichergestellt. Jeder Stränge kann die zugeordnete Schutzfunktion komplett und alleine ausführen.  
Gleichzeitiges Versagen aller Stränge aufgrund von Einwirkungen von innen oder außen ausgeschlossen.

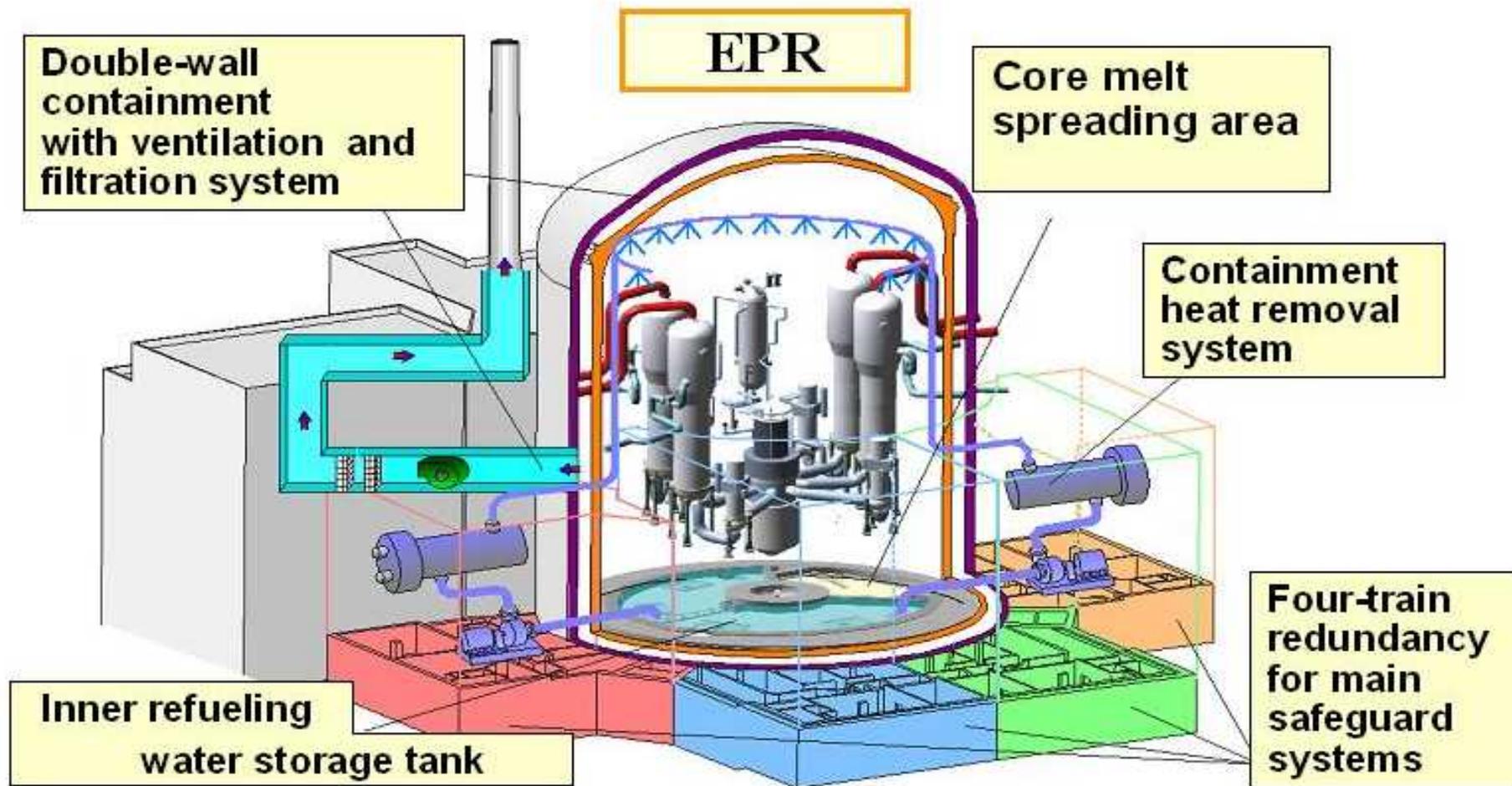


- **Reaktorgebäude:** Auch für den extrem unwahrscheinlichen Fall einer Kernschmelze schließt das gasdichte Containment die freiwerdende Radioaktivität sicher ein und begrenzt alle Auswirkungen auf die Anlage.



- **Ausbreitungsfläche für Kernschmelze:** Schmelze wird innerhalb des Containments auf spezieller Ausbreitungsfläche aufgefangen und dort zuverlässig gekühlt.
- **Robustes Containment:** Sechs Meter dicke Fundamentplatte aus Stahlbeton.  
Zwei Stahlbetonhüllen von je 1,3 Meter Dicke.

# Europäischer Druckwasserreaktor EPR

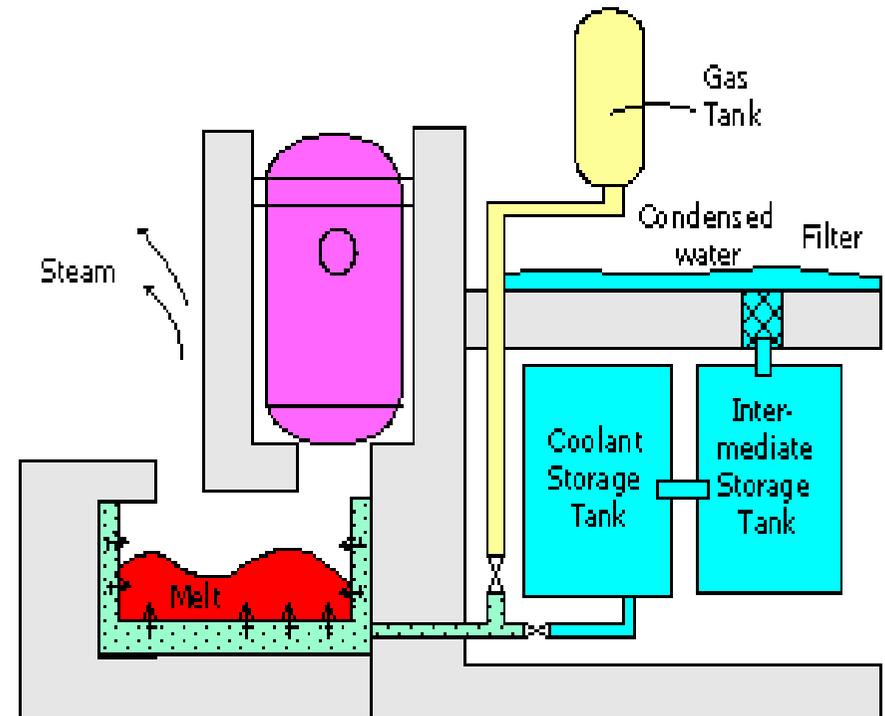


**1998: Deutsche Forscher mussten diese Arbeiten aufgrund forschungspolitischer Vorgaben einstellen.**

# KAERI: Core Catcher from FZK

Porous layer core catcher design from FZK:

- Melt erodes sacrificial concrete, eventually exposing porous concrete layers that cover the reactor basemat and pedestal wall surfaces,
- melt cooled by soaked porous concrete and from top flooding.



- Source:



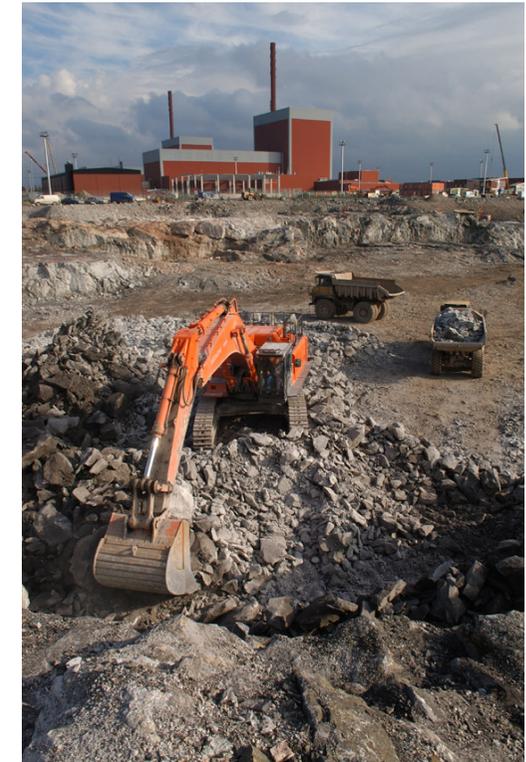
# Realisierung der Generation III in Finnland



**Containment Liner**



**Großkomponenten**



**Baubeginn**

**AREVA NP**

**Bodenplatte**



# Sowie: Realisierung der Generation III in Flamanville, Frankreich



> 10 à 13

Flamanville 3 in pictures - May 2008

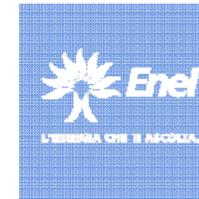


general view

situation before the beginning  
of the building work (June 2006)



# Italy: ENEL and Nuclear Energy



- 4.200 MW installed nuclear capacity
- Further 1.100 MW nuclear under construction

## France

- Agreement with EDF for the development of EPR design: 12.5% partnership to the construction and operation of Flamanville 3 and further 5 units in France
- Anticipated Capacity
- PWR-1600 MWe Technology Areva Design



## Russia

- Agreement with Rosatom for joint development of new nuclear power plants
- PWR-1000 MWe Technology Russian Design



## Slovak Republic (2)

- Slovenske Elektrarne NPP: 1760 MWe
- Development and Construction of Mochovce 3&4 (2x440 MW)
- PWR-440 MWe Technology Russian design



## Spain (1), (2)

- Endesa NPPs: 2441 MW
- PWR-1000 MWe Technology Westinghouse Design



## Romania

- Cernavoda Project Partnership
- CANDU-750 MW Technology AECL Design





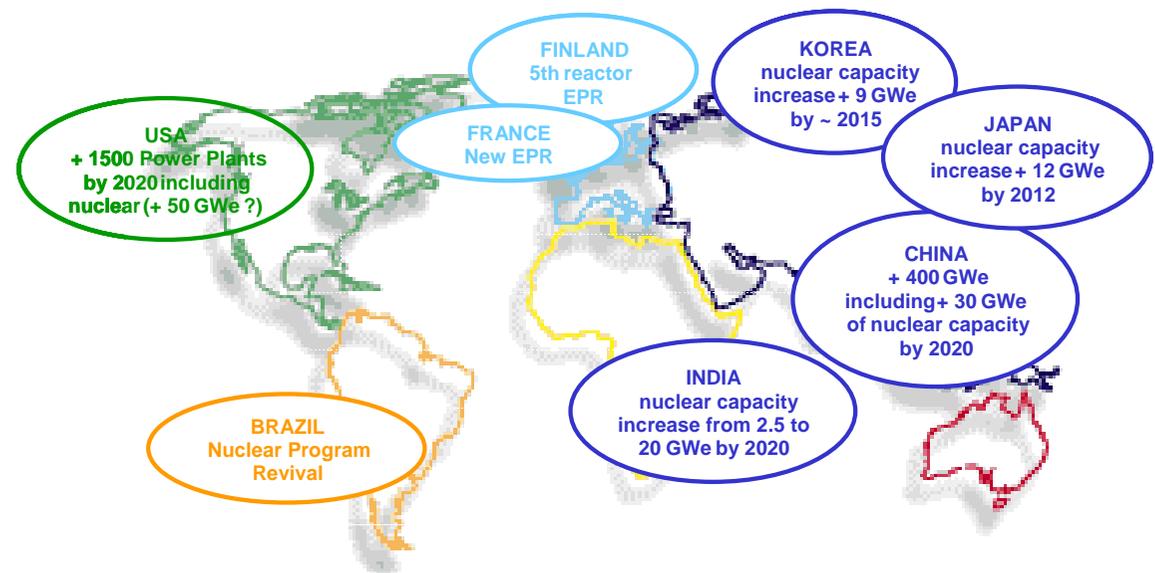
June 10 2008:

- An application to build a new third generation light-water reactor (LWR = **EPR?**) unit in Switzerland has been submitted for a general licence – a ‘framework approval’ – to the Swiss Federal Office of Energy.
- The proposed unit, with a generating capacity of 1,100 MWe or 1,600 MWe, would be built in the vicinity of the existing Goesgen nuclear plant and could be commissioned after 2020.
- The estimated cost of the project is 6 to 7 billion Swiss francs (about 7 billion US dollars, 4.5 billion euro).



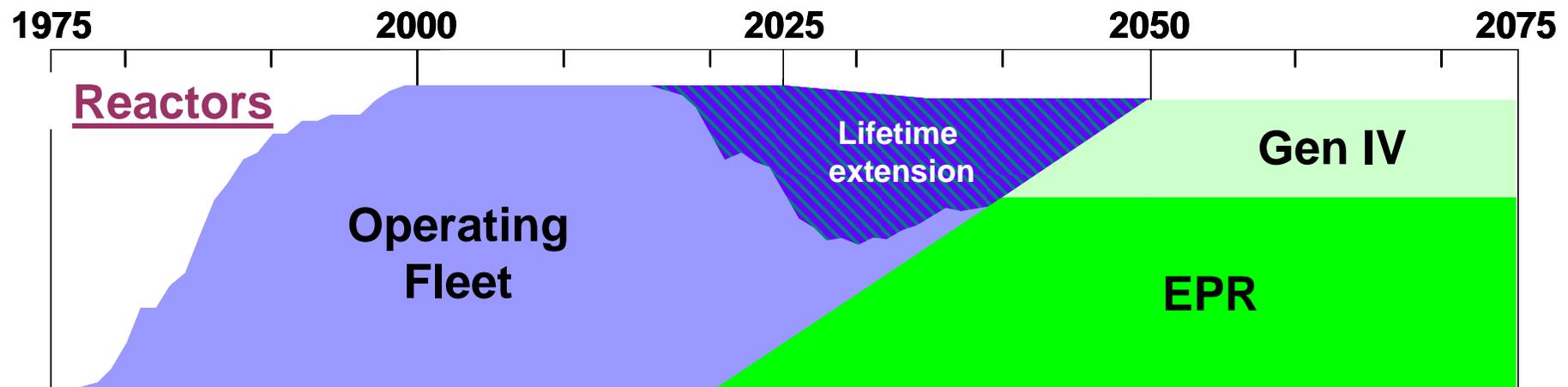
# Internationale Strategien

- Frankreich
- USA
- China



# Kerntechnik-Strategie in Frankreich:

- Laufzeitverlängerung
- Ersatz alter Anlagen durch Anlagen der Generation III+
- Stromerzeugung und Transmutation von hochradioaktivem Abfall in Schnellen Reaktoren
- ‚Law Bataille‘ vom 28. Juni 2006: Nachhaltiges Management des radioaktiven Abfalls

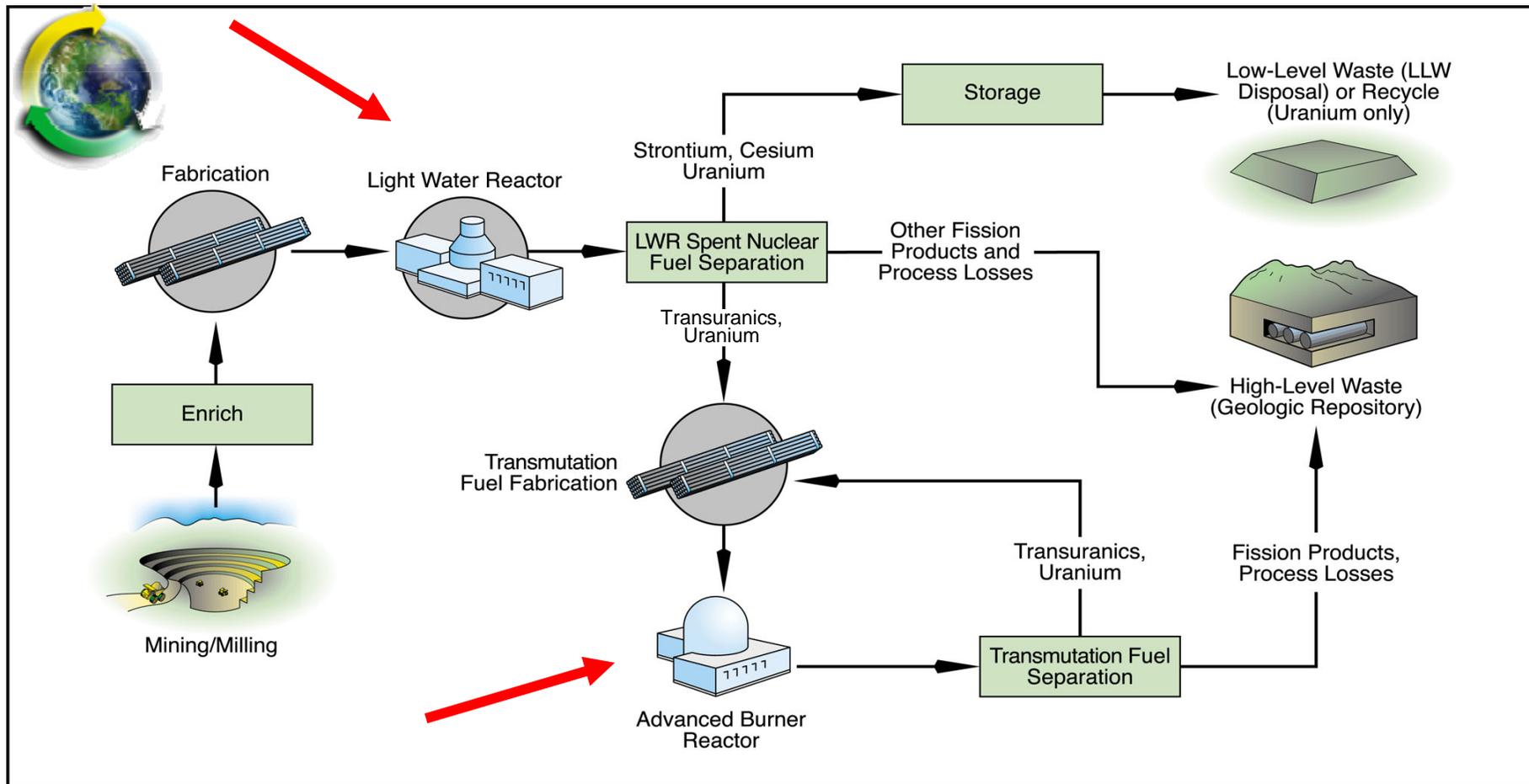


From:  
EdF, France 

# Referenz in den USA:

## ⇒ Closed Fuel Cycle Strategy

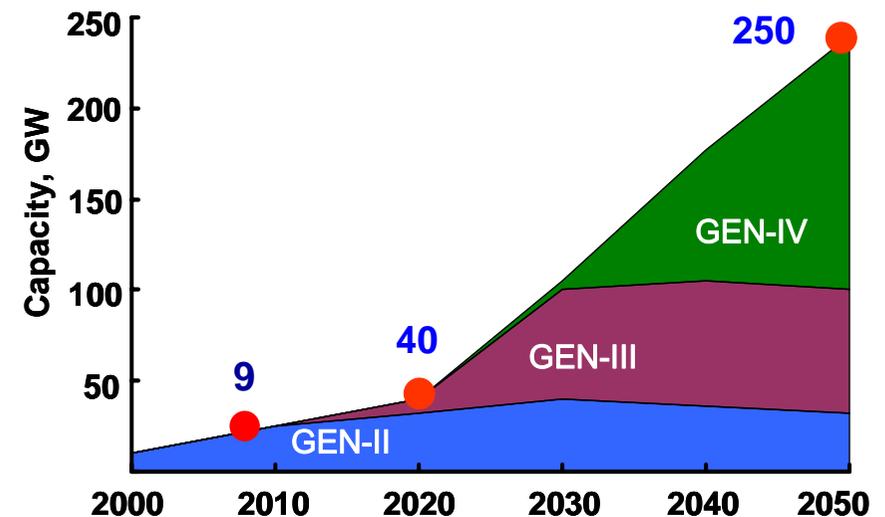
(GNEP: Global Nuclear Energy Partnership)



# What's about China?

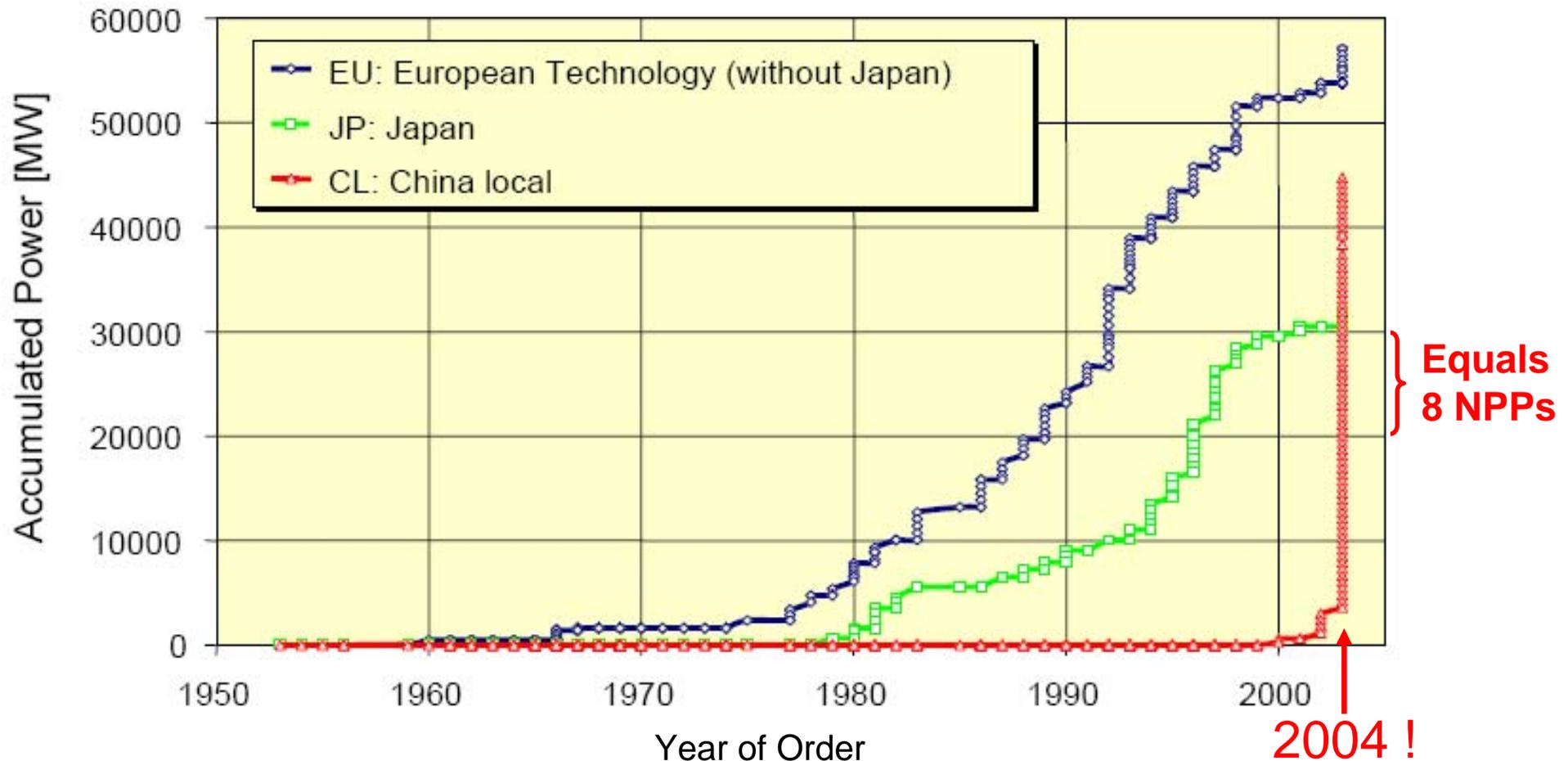


- Mainland China has 9 nuclear power reactors in commercial operation (**2% of electricity production**), a further 6 units with construction well advanced, and 4 more under construction.
- Additional reactors are planned to give a **5-fold increase in nuclear capacity to 40 GWe by 2020** (being 3 to 4 units per year over 10 years).
- Purchase order for **4 units AP1000 (Westinghouse)** and **2 units EPR (AREVA)**.



# The Coal Option: EU, Japan, CHINA

- Installation of Modern Coal Fired Power Stations in the EU, Japan and China.



Quelle: Dr. Gasteiger; Alstom VGB-Kongress Okt. 2004

# Internationale Arbeiten zu Generation IV



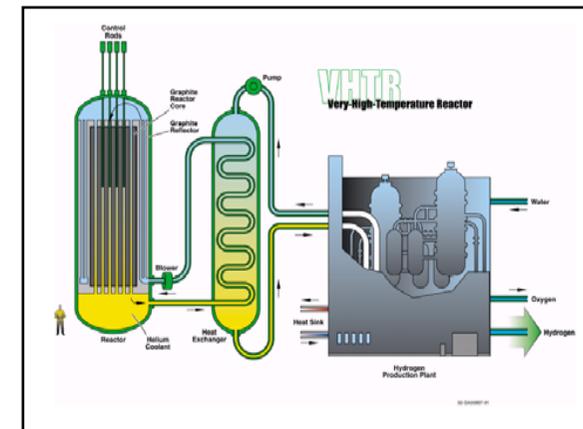
# Internationale Arbeiten zu Generation IV

## Strategische Zielsetzung:

- Entwicklung von neuen Kernreaktoren bis 2030 in internationaler Kooperation
- Strom, Meerwasserentsalzung, Wasserstoff, Wärme

## Technologische Zielsetzungen:

- Höhere Wirtschaftlichkeit
- **Gesteigerte Nachhaltigkeit**
- Verbesserte Sicherheit
- Höhere Proliferationsresistenz



U.S.A.



United Kingdom



Switzerland



South Korea



South Africa



Japan



France



Canada



Brazil



Argentina

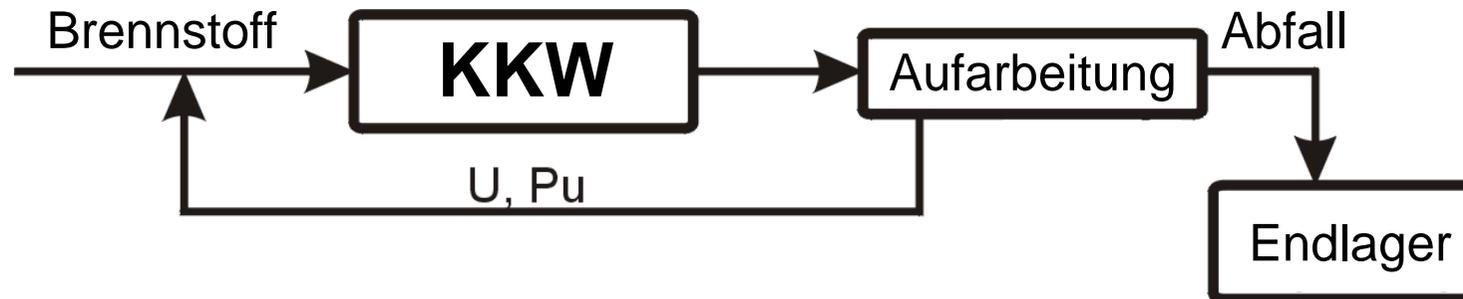


European Union

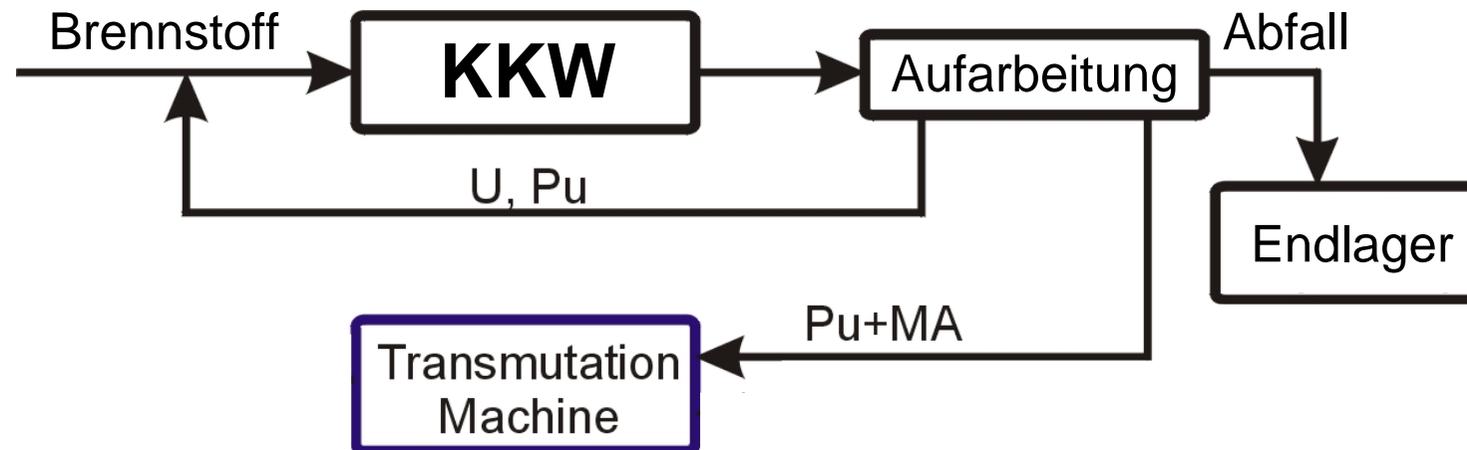
**Plus China und Russland seit 2006!**

**Und Deutschland?**

# Einfache Rezyklierung des Brennstoffs

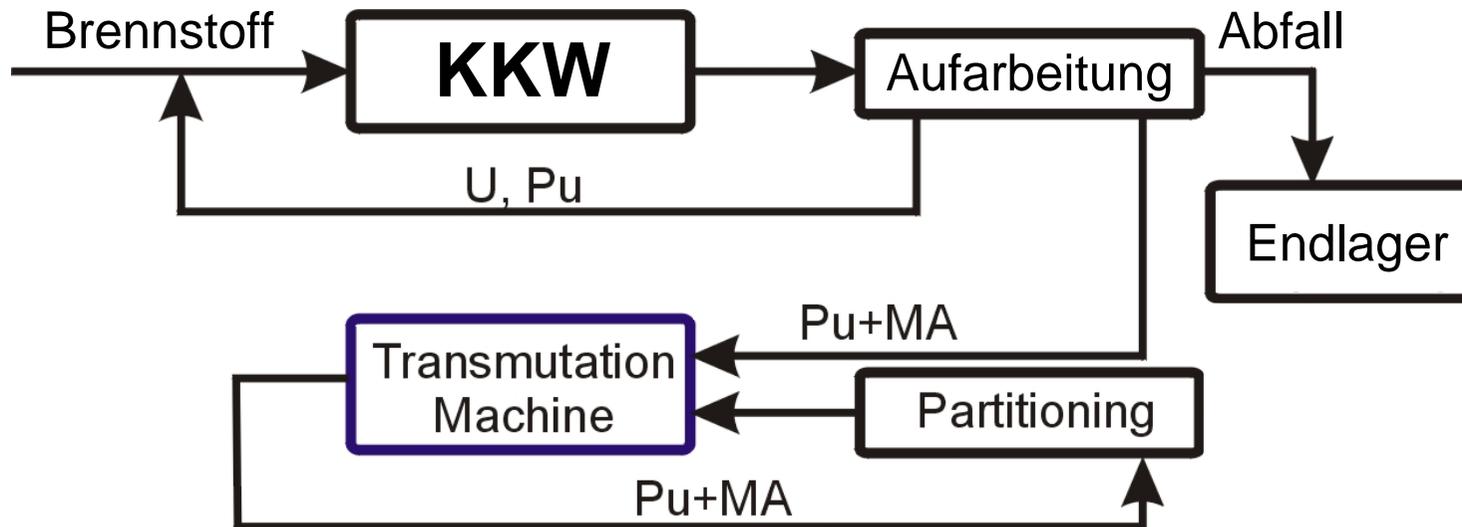


# Brennstoffkreislauf mit Transmutation



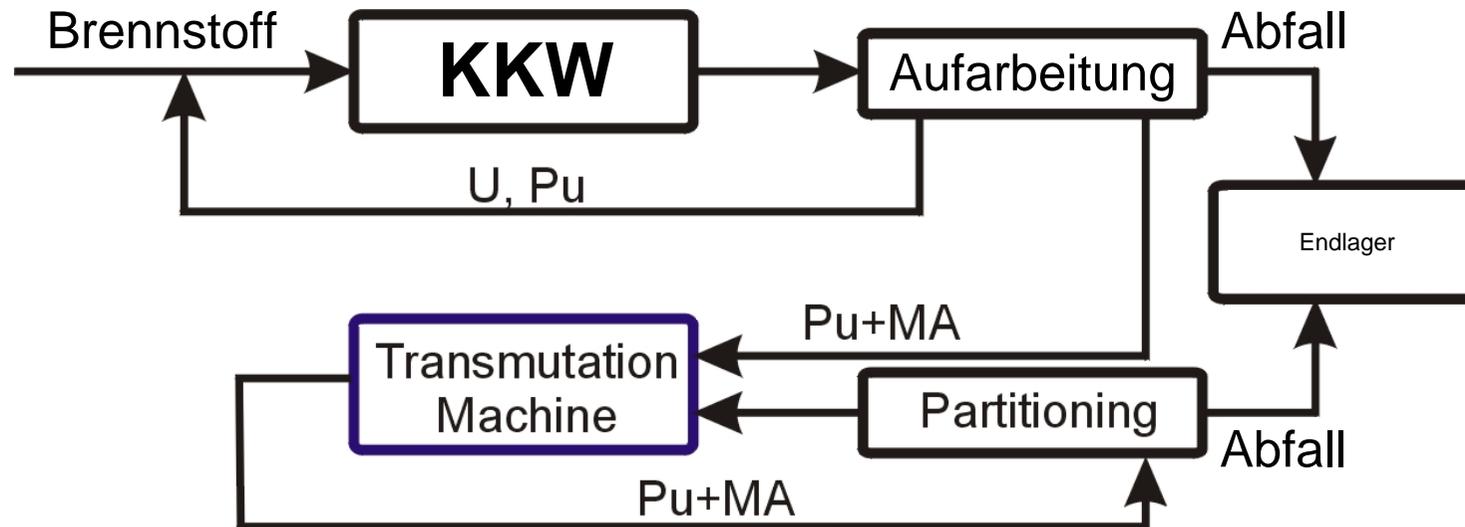
- **Strategie:** Vernichtung von Plutonium und Minoren Actiniden in einer Transmutations-Maschine.

# Brennstoffkreislauf mit Transmutation



- **Strategie:** Vernichtung von Plutonium und Minoren Actiniden in einer Transmutations-Maschine.

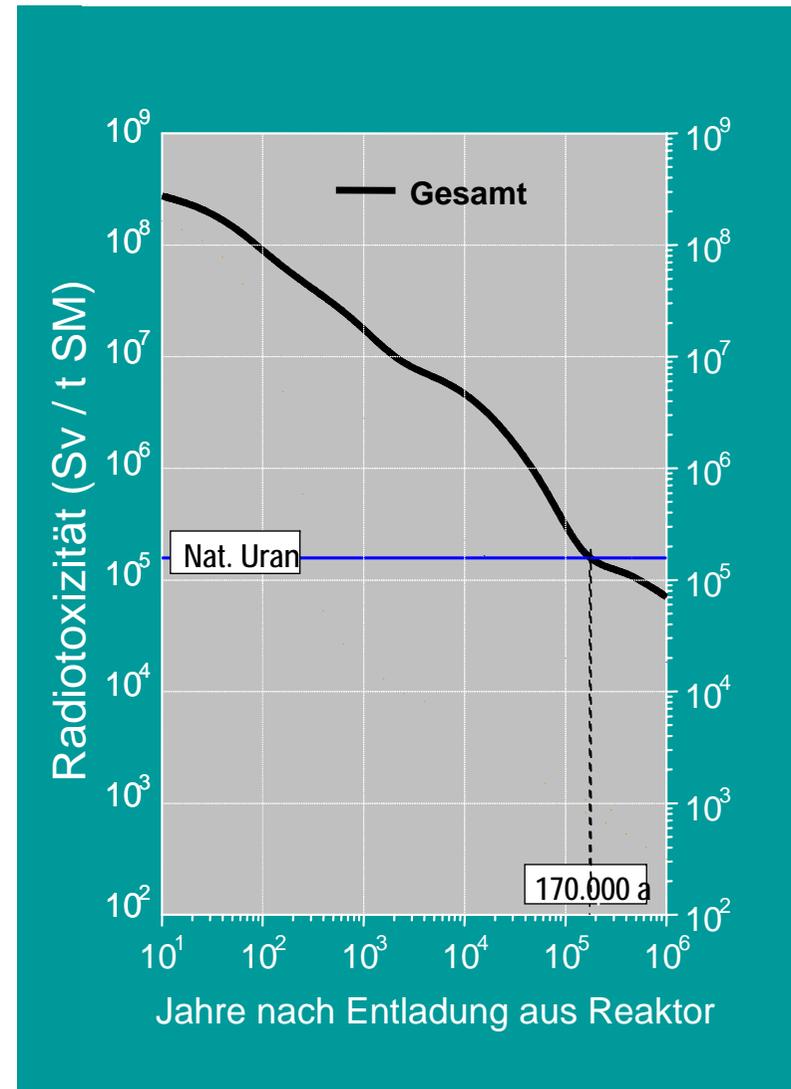
# Brennstoffkreislauf mit Transmutation



- **Strategie:** Vernichtung von Plutonium und Minoren Actiniden in einer Transmutations-Maschine.
- **Vorteil:** Reduzierung der **Radiotoxizität**, des Volumens und der Wärmemenge des in ein Endlager einzubringenden Abfalls.

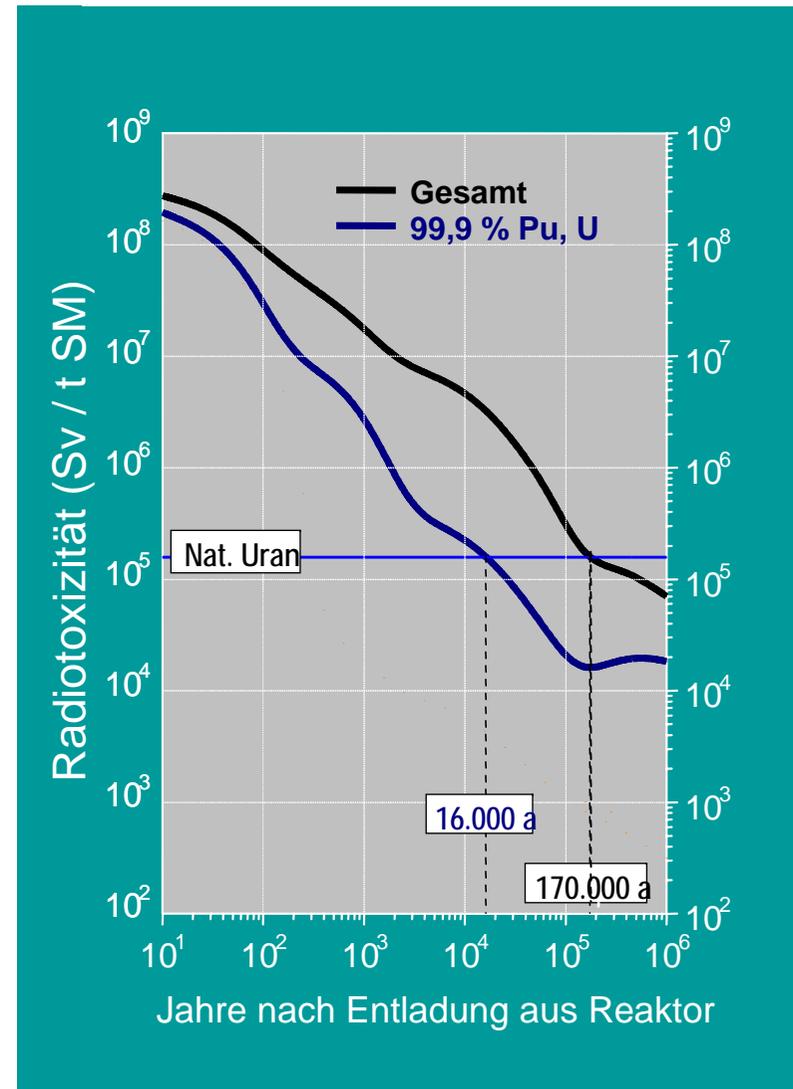
# Radiotoxizität

- **Direkte Endlagerung des gesamten Abfalls**  
**(Konzept in Deutschland)**



# Radiotoxizität

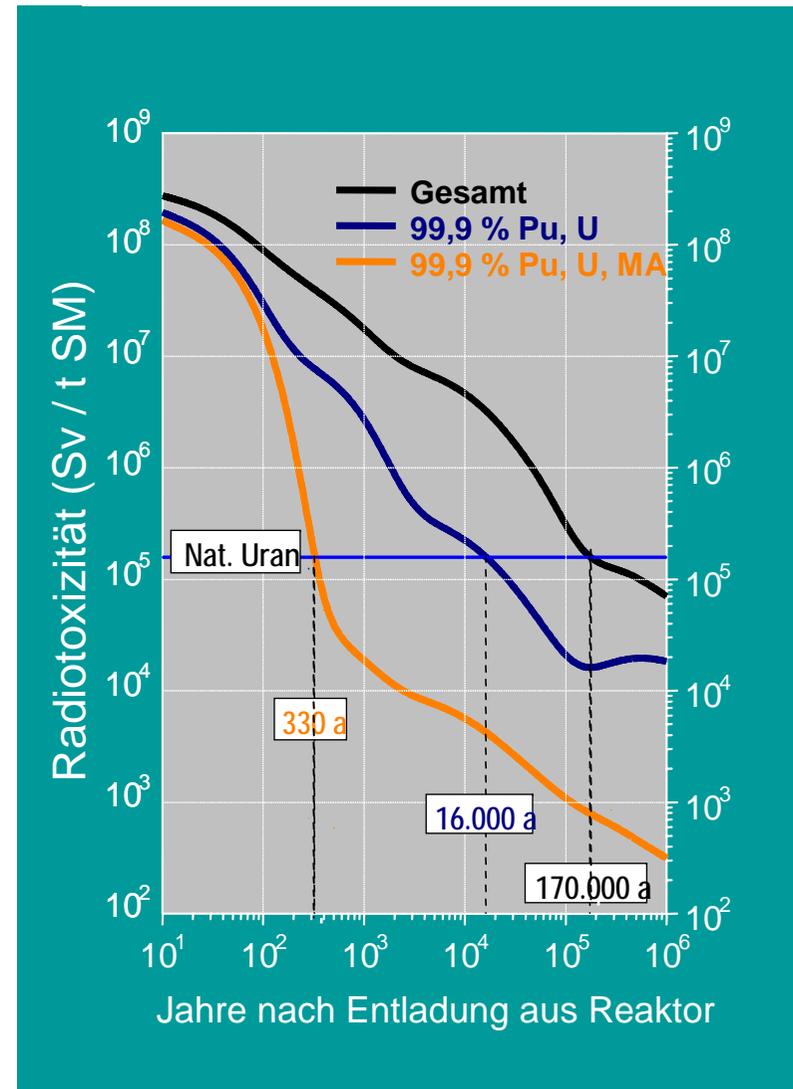
- **Abtrennung und Umwandlung von 99.9% des Pu und des U**



# Radiotoxizität

- **Abtrennung und Umwandlung von 99.9% des Pu, U und MA**
- **Übergang von geologischen zu historischen Zeiträumen bei der nuklearen Entsorgung**
- **Effizienz:**

$$\epsilon_{PT} = \frac{\epsilon_P \epsilon_T}{1 - (1 - \epsilon_T) \epsilon_P}$$

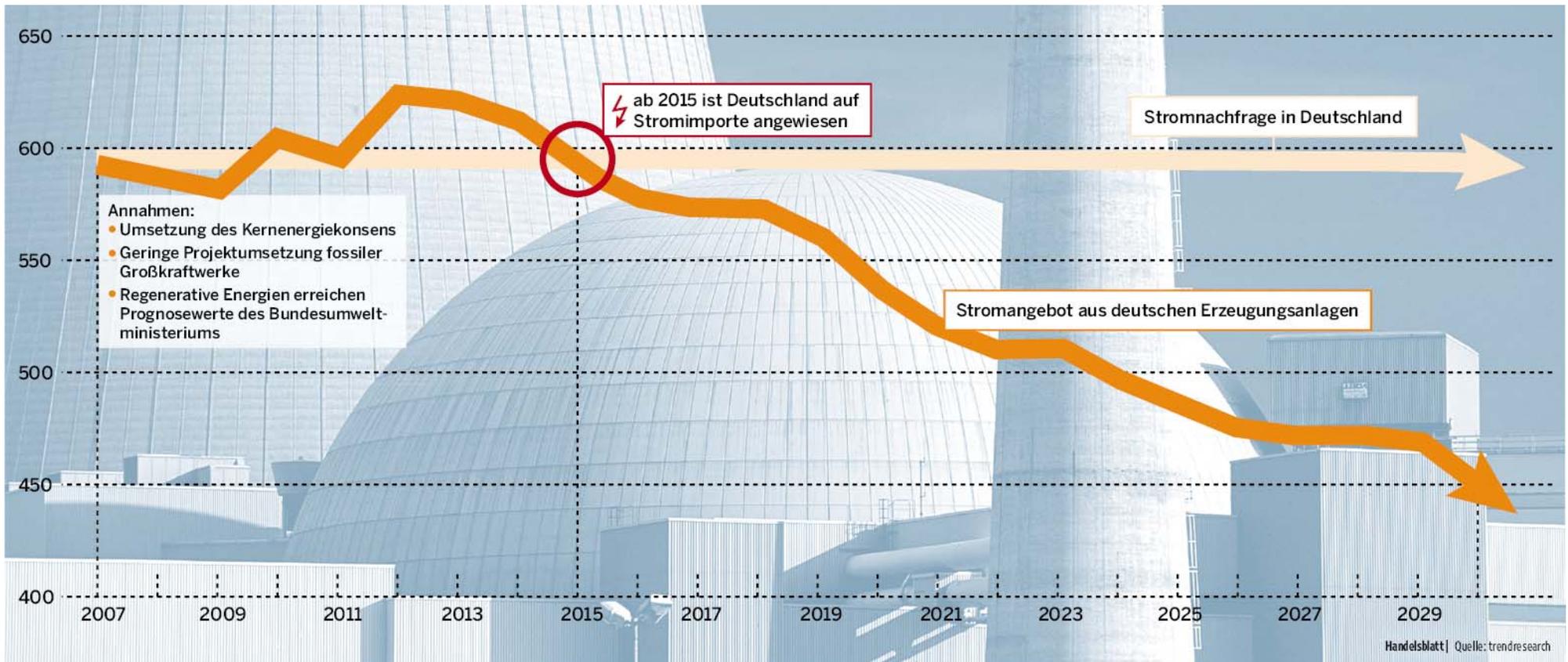


# Was macht Deutschland?

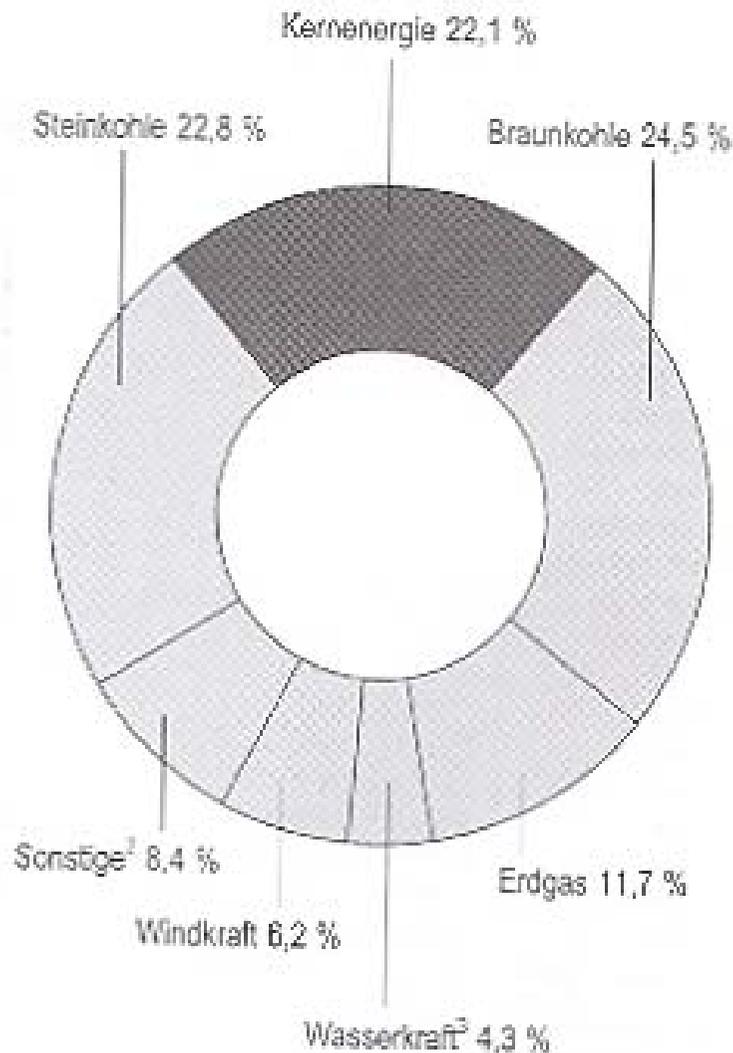


# Strom aus Energieerzeugungsanlagen in Deutschland (TWh / Jahr)

➤ **Handelsblatt: Kraftwerke werden in 2015 knapp.**



Source: Handelsblatt, 21.1.2008



Stromerzeugung in D (2007)

## 2007:

- **Betrieb von 17 Kernkraftwerken mit einer installierten Nettoleistung von etwa 20 GW(e)**
- **Produktion von 140.5 TWh, was etwa 22% der gesamten Stromproduktion entspricht**

- ⇒ **Hohe Zeitverfügbarkeit**
- ⇒ **Beitrag zur Grundlast: etwa 45%**

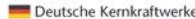
- ⇒ **Steigerung der Stromproduktion der Kernkraftwerke von 2005 zu 2006 um 2.6%**

# Deutschland ist Weltmeister in der nuklearen Stromproduktion

- **Aber:**
  - Politischer Beschluss, aus der friedlichen Nutzung der Kernenergie zur Stromerzeugung auszusteigen.**
  - Festlegung der Reststrommengen.**

Top Ten der internationalen Jahresstromproduktion

Jahr	Weltmeister	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
1981	DE	DE				DE				
1982	DE	DE	DE			DE				
1983	DE	DE		DE			DE			
1984	DE	DE	DE			DE				
1985	DE	DE	DE	DE	DE	DE	DE			
1986	DE	DE		DE	DE	DE			DE	
1987	DE	DE	DE			DE		DE		DE
1988		DE	DE			DE	DE			DE
1989	DE	DE		DE	DE		DE		DE	DE
1990	DE	DE	DE		DE	DE		DE		
1991	DE	DE		DE	DE	DE	DE			
1992	DE	DE	DE			DE	DE		DE	DE
1993	DE	DE	DE	DE	DE	DE		DE		
1994	DE	DE	DE	DE	DE	DE				DE
1995	DE	DE	DE	DE	DE		DE		DE	
1996	DE		DE	DE	DE	DE		DE		DE
1997	DE	DE	DE	DE			DE	DE		DE
1998	DE		DE	DE	DE	DE		DE		
1999	DE	DE	DE	DE		DE	DE	DE		
2000	DE	DE	DE			DE	DE	DE		
2001	DE	DE	DE	DE	DE	DE	DE		DE	
2002	DE	DE		DE		DE	DE			
2003	DE		DE	DE	DE			DE		DE
2004	DE			DE		DE	DE		DE	
2005	DE		DE	DE		DE	DE	DE		
2006	DE	DE		DE	DE		DE	DE		DE
2007		DE	DE	DE	DE		DE			DE

 Deutsche Kernkraftwerke 
  Weltrekord, KKW Grohnde: 12,53 TWh 
 Quelle: DAIF

# Endlagerung

# Endlagerung

- **Technisch ist die Endlagerung bereits heute gelöst.**
- **Wie überall auf der Welt üblich, setzt Deutschland auf die sicherheitstechnisch vorteilhafte getrennte Endlagerung der Abfallarten.**
- **Deutschland verfügt im internationalen Vergleich über ein weit vorangeschrittenes Entsorgungskonzept. Dieses bewährte Zwei-Endlager-Konzept besteht aus den Standorten:**
- **Schacht Konrad: Genehmigtes Endlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle**
- **Salzstock Gorleben: Potenzielles Endlager für hochradioaktive Abfälle**



**Schacht Konrad**



**Salzstock Gorleben**

# Forschung und Lehre



# Direkte Folgen der Ausstiegspolitik und der forschungspolitischen Vorgaben

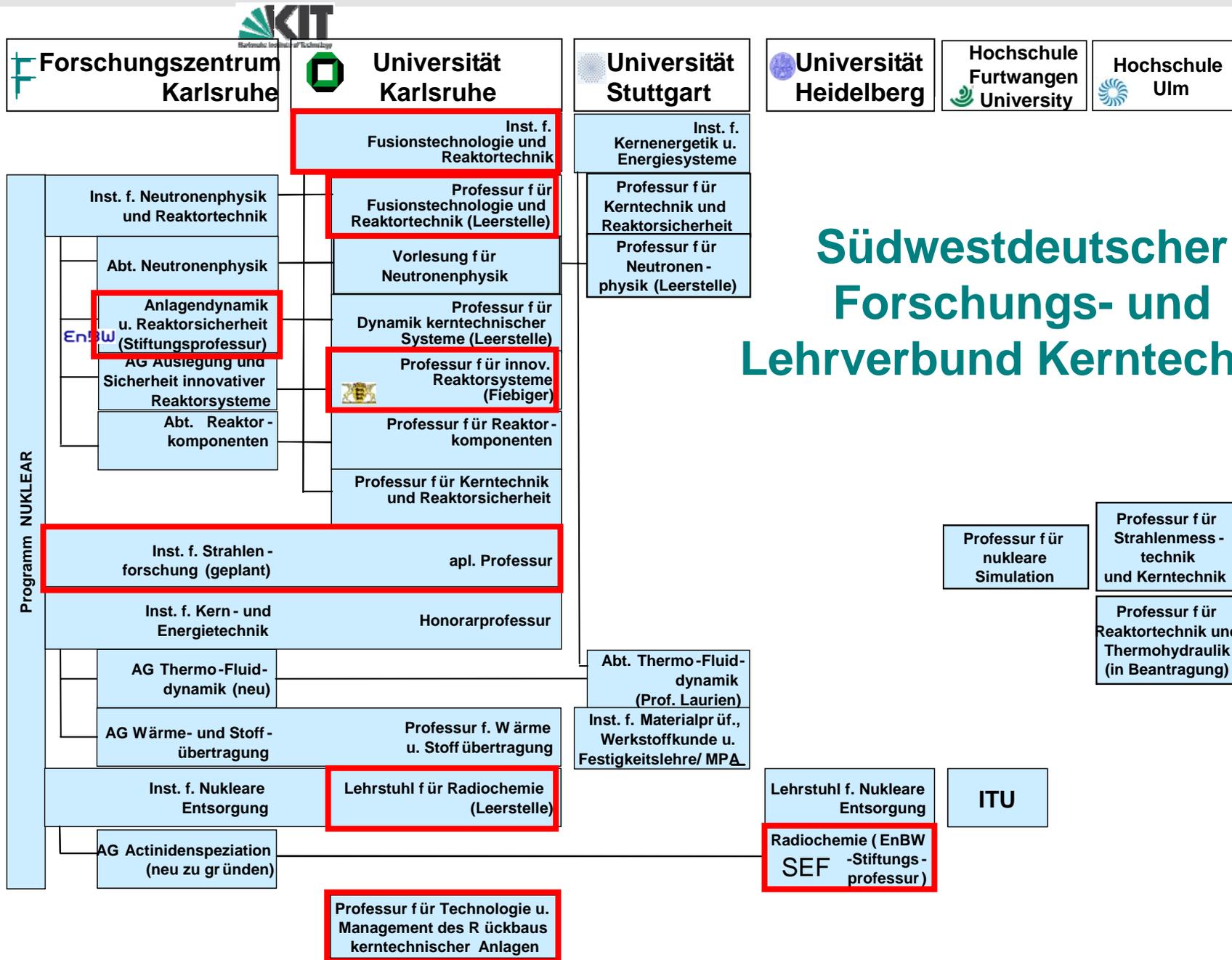
- **Keine Beteiligung deutscher Wissenschaftler mit öffentlichen Mitteln an internationalen Arbeiten zu neuen Reaktorentwicklungen (teilweise auf den Gebieten der Sicherheit, Technologie und neue Rechenprogramme).**
- **Deutsche Wissenschaftler sind vom internationalen Zugewinn an wissenschaftlicher und technischer Exzellenz ausgeschlossen.**
- **Keine qualifizierte deutsche Einflussnahme auf und Rückkopplung von internationalen Entwicklungen.**
- **Keine standortspezifischen FuE-Arbeiten zur Endlagerung hochradioaktiver Abfälle (Gorleben-Moratorium).**
- **Zu wenig Nachwuchs für Wissenschaft, Industrie, Behörden, ... !**

# Südwestdeutscher Forschungs- und Lehrverbund

## Kerntechnik: founded 22.10.2007

- Forschungszentrum Karlsruhe GmbH
- EnBW Energie Baden-Württemberg AG
- Institut für Transurane (ITU)
- Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg
- Universität Karlsruhe (TH)
- Universität Stuttgart
- Hochschule Furtwangen University
- Hochschule Ulm





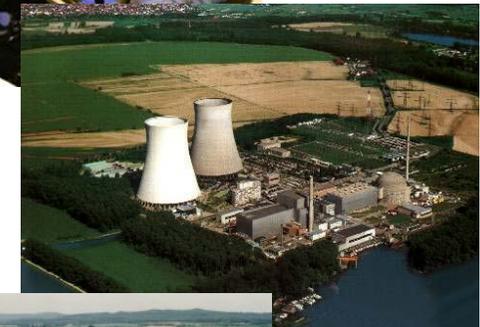
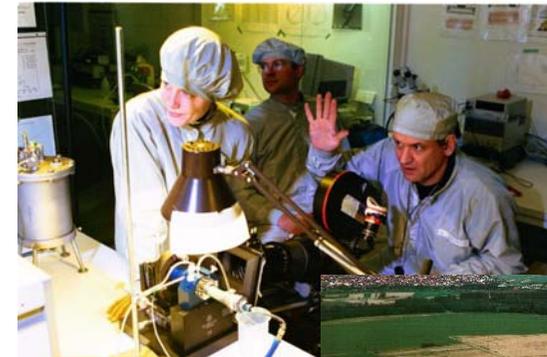
# Südwestdeutscher Forschungs- und Lehrverbund Kerntechnik



# Ausbildung des kerntechnischen Nachwuchses



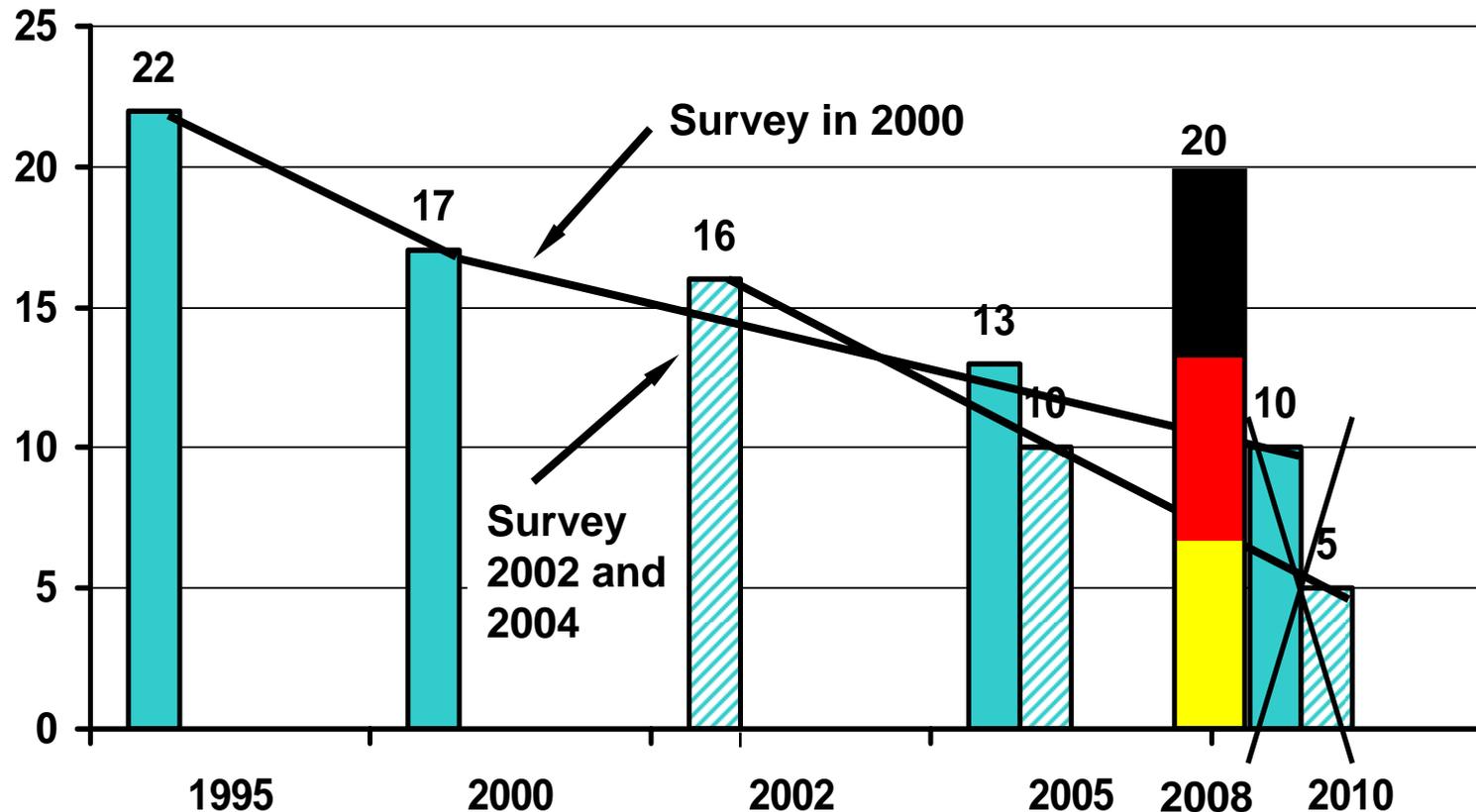
→  
**Motivation  
Perspektive**



**Vorlesungen zur Reaktortechnik  
und Radiochemie (Beispiele):**  
Schulenberg, Karlsruhe: etwa 15  
Cacuci, Karlsruhe: etwa 25  
Kugeler, Aachen: etwa 25  
Lohnert, Stuttgart: etwa 12  
Fanghänel, Heidelberg: etwa 25  
Odoj, Aachen: etwa 30  
Hurtado, Dresden: etwa 70

# Status Today

- **New Professorships\* at Universities Aachen, Clausthal-Z, Dresden, Heidelberg, Karlsruhe, Munich, Stuttgart (surveys by KTG (1994), FZK (2000, 2002 and 2008))**



\*) in reaktor physics, reaktor technology, reaktor safety, nuclear and radio chemistry, radiation protection, decommissioning

# Zusammenfassung und Fazit

**BK Dr. Angelika Merkel  
am Deutschen Steinkohletag, Essen, 6. November 2007:**

➤ **‘Der Energiemix ist unsere Zukunft.’**

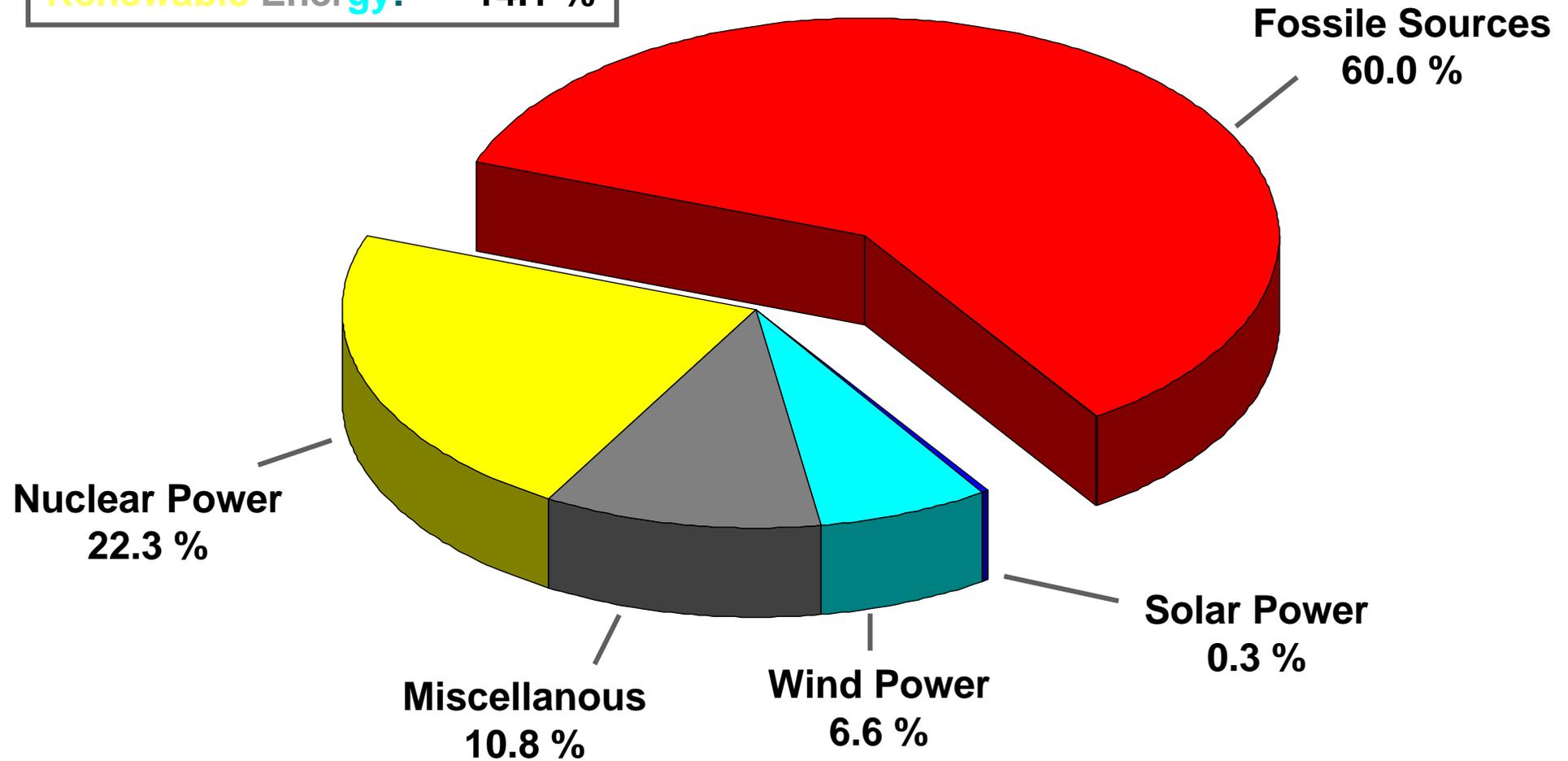
**und zum Thema Kernenergie:**

➤ **‘Die Welt wird sich relativ wenig  
nach unserer Meinung richten,  
wenn ich das richtig verstehe.’**



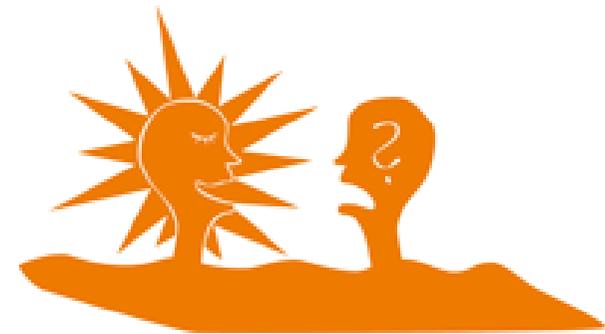
# Electricity Production 2007 in Germany

**Conventional Energy:** 85.9 %  
**Renewable Energy:** 14.1 %



# Fazit

- **Kernenergie in Deutschland ist wirtschaftlich, umweltfreundlich und sicher.**
- **Deutschland kann seine ehrgeizigen Ziele bei der Reduktion der Emissionen an Kohlendioxid erreichen.**
- **Das wird aber nur unter Nutzung der Kernenergie in einem ausgewogenen Mix aller Energieerzeugungsformen gelingen.**
- **Bei allen Entscheidungen dürfen aber physikalisch-technische Fakten nicht durch ideologische Vorgaben verdrängt werden.**



# Vielen Dank

**Joachim U. Knebel**  
**Forschungszentrum Karlsruhe**  
**Programm Nukleare Sicherheitsforschung**

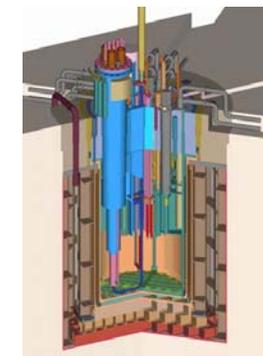
**<http://www.fzk.de/nuklear>**  
**[mailto: joachim.knebel@nuklear.fzk.de](mailto:joachim.knebel@nuklear.fzk.de)**



# Zusatzfolien:

# Weitere Informationen

- [Link](#) ➤ Exoten: HTR, EMHR, CANDU
  - [Link](#) ➤ SWD FuLV-KT
  - [Link](#) ➤ Generation IV
  - [Link](#) ➤ KVKT
  - [Link](#) ➤ VHTR und Wasserstoff
  - [Link](#) ➤ NucNet
  - [Link](#) ➤ NUKLEAR
  - [Link](#) ➤ Zahlen
  - [Link](#) ➤ SWR1000
  - [Link](#) ➤ KKW Weltweit
  - [Link](#) ➤ HPLWR / SCWR
  - [Link](#) ➤ Uranvorkommen
  - [Link](#) ➤ Fünf Gründe
- [Link](#) ➤ **FUSION**



# Kernenergie schützt uns vor Abhängigkeiten

- **Deutschland braucht eigene u. verlässliche Energiequellen.**
- **Je länger die deutschen Kernkraftwerke laufen, umso geringer ist unsere Abhängigkeit insbesondere von Erdgas- und Kohleimporten.**
- **Der Brennstoff Uran steht noch mindestens 200 Jahre zur Verfügung und kommt dabei aus politisch sehr stabilen Ländern wie Kanada und Australien.**
- **Eine Schließung des Brennstoffkreislaufs unter Verwertung der Abfälle würde diese Verfügbarkeit um ein Vielfaches verlängern und die Problematik der Entsorgung entscheidend verringern.**

# Kernenergie schützt uns vor Versorgungslücken

- Die Kernenergie ist das Rückgrat der deutschen Stromversorgung.
- Bei der Rund-um-die-Uhr-Versorgung, der so genannten Grundlast, liegt ihr Anteil bei fast 50 Prozent.
- Damit sichern die 17 deutschen Kernkraftwerke 365 Tage im Jahr und 24 Stunden am Tag die Verfügbarkeit von Energie für private Haushalte, öffentliche Einrichtungen und Unternehmen.

# Kernenergie schützt unsere Wettbewerbsfähigkeit

- Die Kernenergie trägt maßgeblich zu einer preisgünstigen und zuverlässigen Stromversorgung in Deutschland bei.
- Das sichert die Wettbewerbsfähigkeit unserer Volkswirtschaft.
- Durch den Ausstieg aus der Kernenergie würde Deutschland dagegen mit einem dreistelligen Milliardenbetrag belastet.

# Kernenergie ist sicher

- **Deutsche Kernkraftwerke sind nach Sicherheitsstandards konstruiert, die international Maßstäbe setzen.**
- **Unsere Anlagen werden rund um die Uhr sicher und zuverlässig betrieben. Dafür sorgen hoch qualifizierte und motivierte Mitarbeiter.**
- **Betriebserfahrungen werden systematisch genutzt, um das hohe Sicherheitsniveau und die Zuverlässigkeit der Kernkraftwerke auch für die Zukunft zu erhalten und zu verbessern.**
- **Unsere Fortschritte in Wissenschaft und Technik werden international eingebracht und berücksichtigt.**