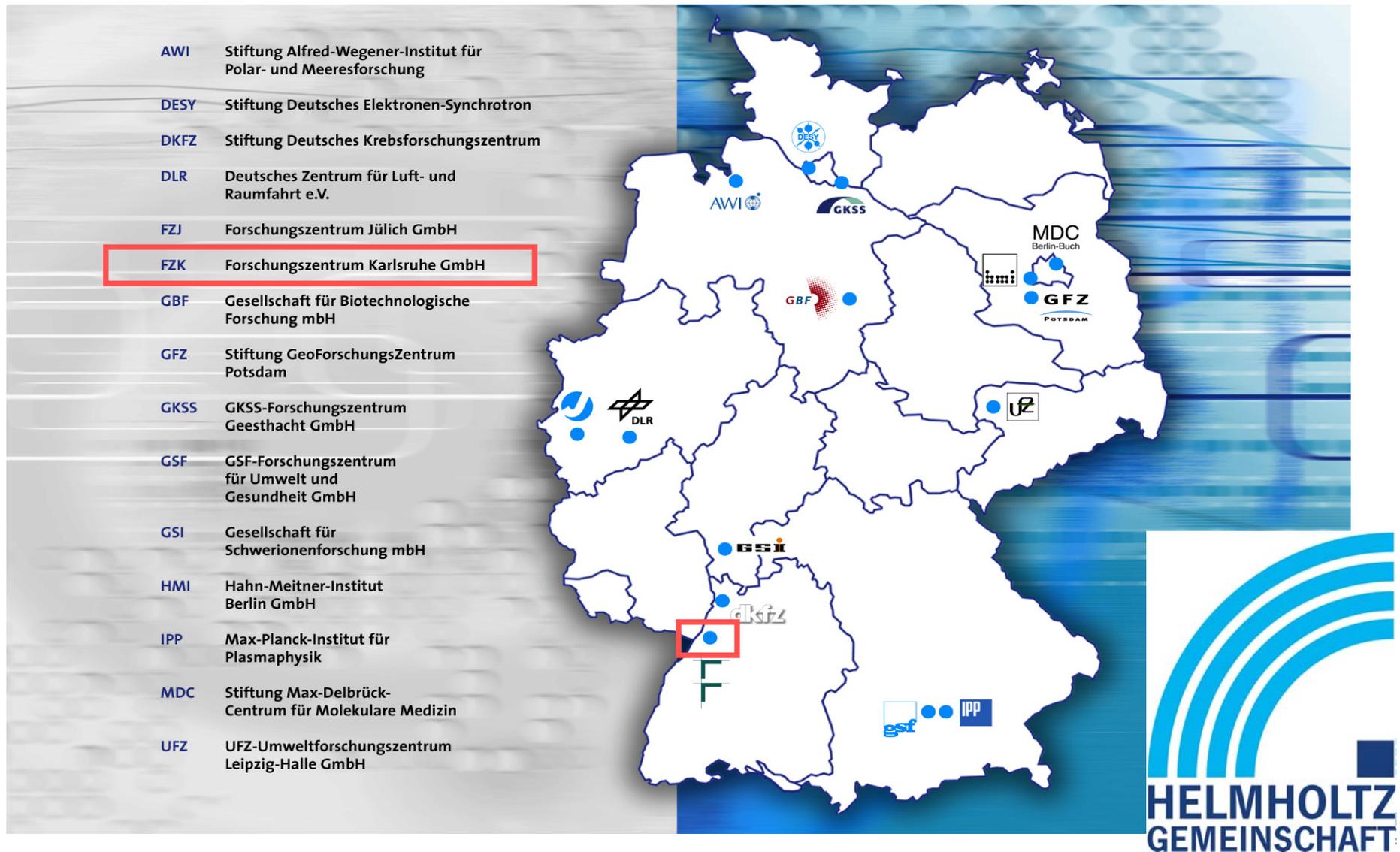


Neue Kernreaktoren der Generation IV

Joachim U. Knebel
Kerntechnische Gesellschaft e.V.
&
Forschungszentrum Karlsruhe
Programm Nukleare Sicherheitsforschung

**Generation IV: Zielsetzung und Möglichkeiten
Minimierung des hochradioaktiven Abfalls
Wie verhält sich Deutschland?**

Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft

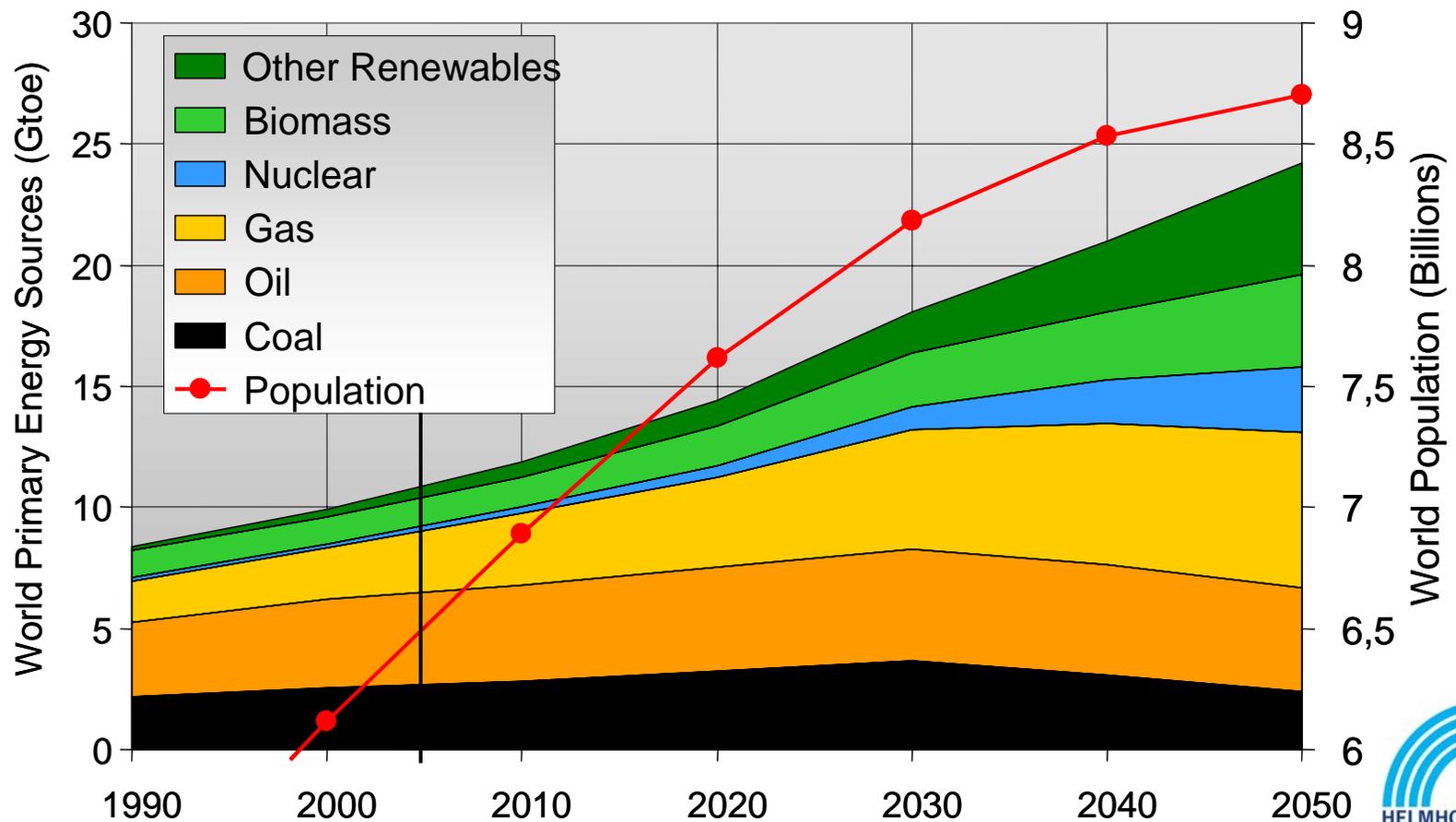


Helmholtz Gemeinschaft: Mission

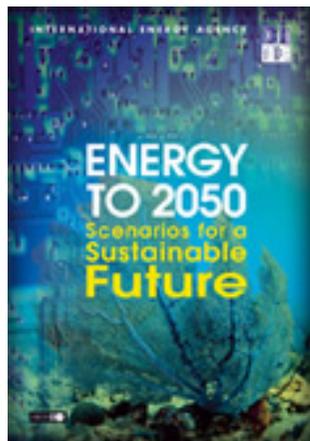
- Die Helmholtz-Gemeinschaft ist mit ihren 15 Forschungszentren, ihren 24.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern und einem Jahresbudget von rund 2,1 Milliarden € die größte Wissenschaftsorganisation Deutschlands.
- Die Helmholtz-Gemeinschaft identifiziert und bearbeitet große und drängende Fragen von Gesellschaft, Wissenschaft und Wirtschaft, insbesondere durch die Erforschung von Systemen hoher Komplexität.



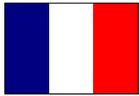
Sustainable Development Vision Scenario (IEA 2003)



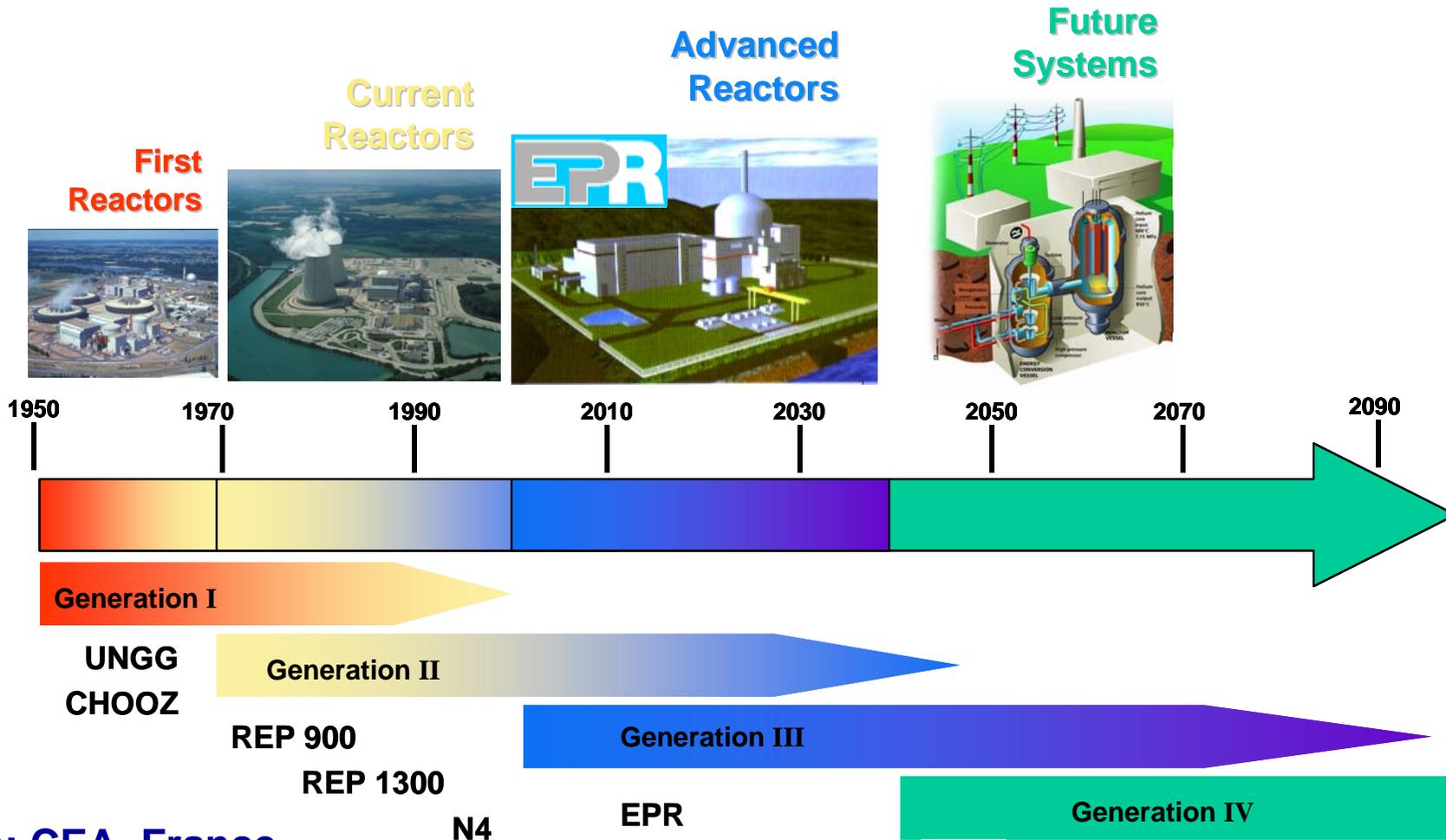
Source:



Nuclear Energy Data for 2002

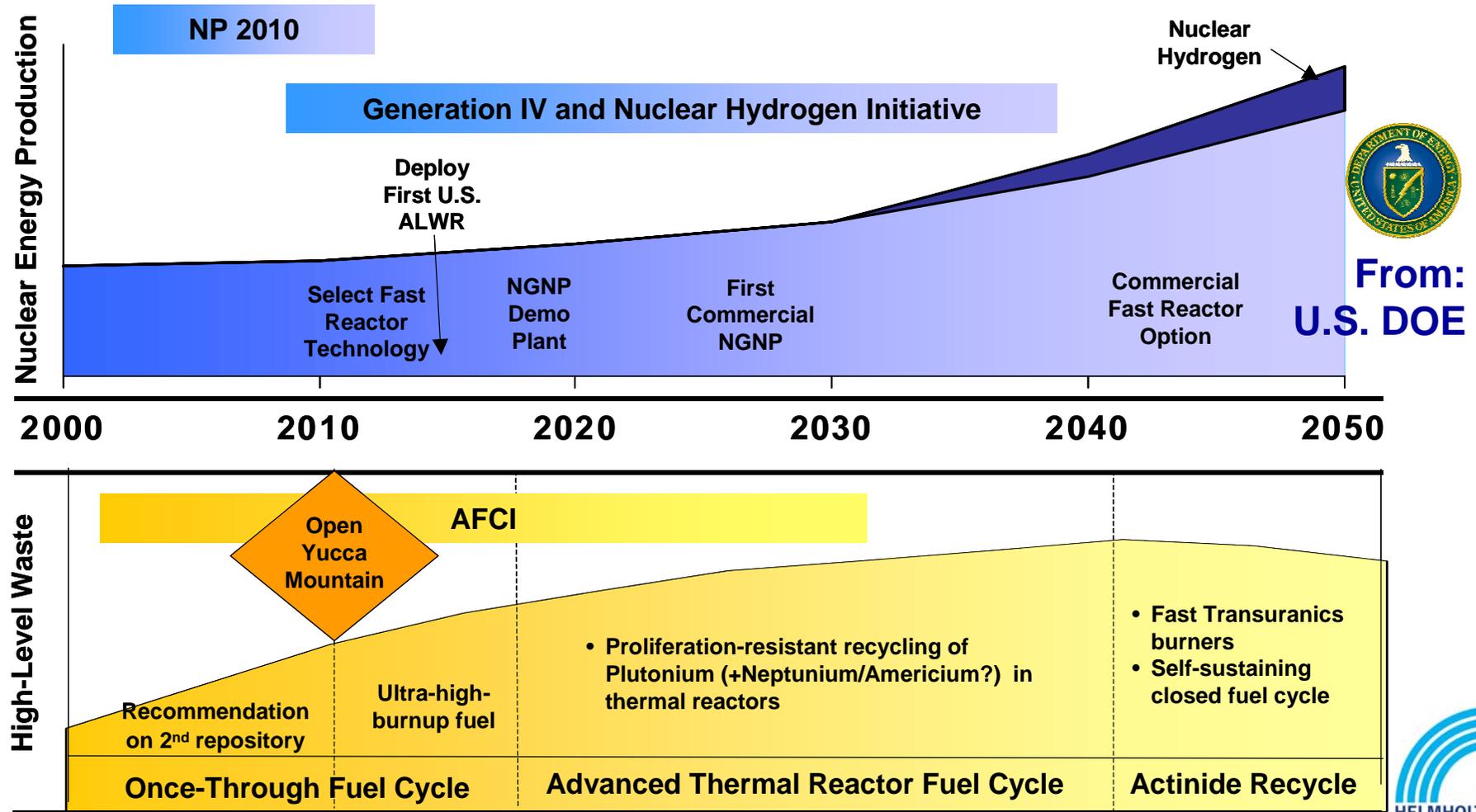
	France 	Germany 	USA 
Operating units	59	19	104
Net capacity [GWe]	63.1	21.3	98.6
Proportion of total electricity production [%]	0.78	0.3	0.20
Strategy	continuity	phase out	revival

Evolution of Nuclear Power in France



From: CEA, France

Long-term U.S. Strategy for Nuclear Energy



Kerntechnische Daten für Deutschland



2004:

- Betrieb von 18 Kernkraftwerken mit einer installierten Nettoleistung von etwa 22 GW(e)
- Produktion von 165 TWh, was etwa 1/3 der gesamten Stromproduktion entspricht
- ⇒ Hohe Zeitverfügbarkeit
- ⇒ Beitrag zur Grundlast: etwa 50%

Kerntechnische Daten für Deutschland



Kernkraftwerk Philippsburg

2004:

- **Betrieb von 18 Kernkraftwerken mit einer installierten Nettoleistung von etwa 22 GW(eI)**
- **Produktion von 165 TWh, was etwa 1/3 der gesamten Stromproduktion entspricht**
- ⇒ **Hohe Zeitverfügbarkeit**
- ⇒ **Beitrag zur Grundlast: etwa 50%**

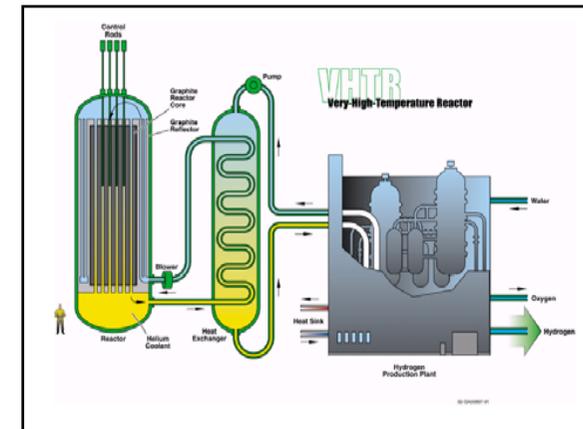
Internationale Arbeiten zu Generation IV

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

Selection Process:

4 Goal Areas	8 Goals	15 Criteria	24 Metrics	
Sustainability	SU1 Resource Utilization	SU1-1 Fuel Utilization	• Use of fuel resources	
	SU2 Waste Minimization and Management	SU2-1 Waste minimization	• Waste mass • Volume • Heat load • Radiotoxicity	
		SU2-2 Environmental impact of waste management and disposal	• Environmental impact	
Economics	EC1 Life Cycle Cost	EC1-1 Overnight construction costs	• Overnight construction costs	
		EC1-2 Production costs	• Production costs	
		EC2-1 Construction duration	• Construction duration	
	EC2 Risk to Capital	EC2-1 Construction duration	• Construction duration	
Safety and Reliability	SR1 Operational Safety and Reliability	SR1-1 Reliability	• Forced outage rate	
		SR1-2 Worker/public - routine exposure	• Routine exposures	
		SR1-3 Worker/public - accident exposure	• Accident exposures	
	SR2 Core Damage	SR2-1 Robust safety features	• Reliable reactivity control • Reliable decay heat removal	
		SR2-2 Well-characterized models	• Dominant phenomena - uncertainty • Long fuel thermal response time • Integral experiments scalability	
	SR3 Offsite Emergency Response	SR3-1 Well-characterized source term/energy	• Source term • Mechanisms for energy release	
		SR3-2 Robust mitigation features	• Long system time constants • Long and effective holdup	
	Proliferation Resistance and Physical Protection	PR1 Proliferation Resistance and Physical Protection	PR1-1 Susceptibility to diversion or undeclared production	• Separated materials • Spent fuel characteristics
			PR1-2 Vulnerability of installations	• Passive safety features

4 Goal Areas



8 Goals



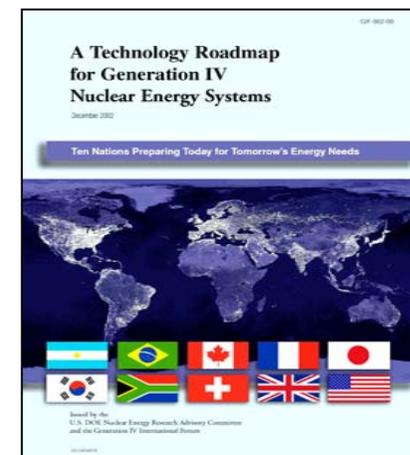
15 Criteria

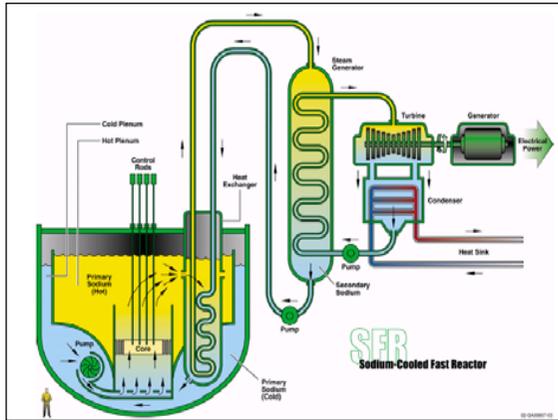


24 Metrics

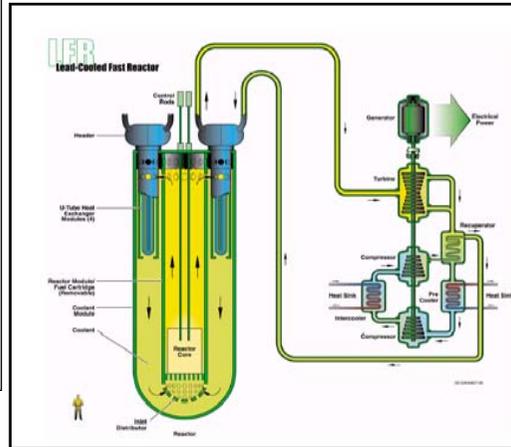
Entwicklungsziele: Auswahlkriterien (Auszug)

- **Wirtschaftlichkeit 1:** Generation IV Kernenergiesysteme sollen einen klaren Kostenvorteil gegenüber anderen Energiequellen haben.
 - **Nachhaltigkeit 2:** Generation IV Kernenergiesysteme sollen den nuklearen Abfall minimieren und entsorgen, insbesondere die Langzeit-Radiotoxizität reduzieren und dadurch den Schutz von Menschen und Umwelt verbessern.
 - **Sicherheit und Zuverlässigkeit 3:** Notfall-Schutzmaßnahmen außerhalb der Anlagen sollen nicht erforderlich sein.
- ⇒ Evaluierung von nahezu 100 Konzepten.
- ⇒ 2002: Auswahl von 6 Kernenergiesystemen.

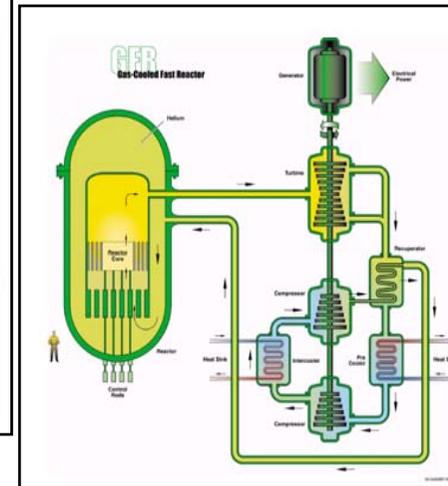




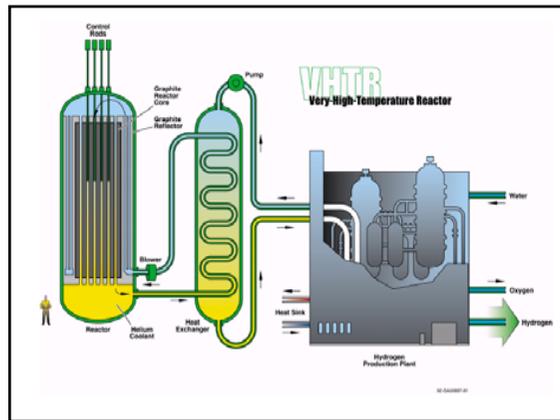
Sodium Fast Reactor



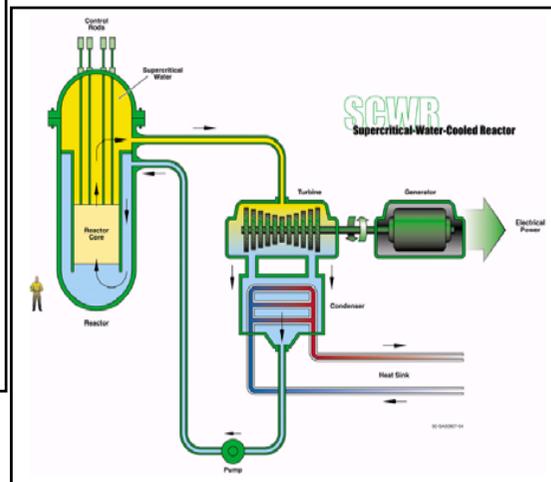
Lead Fast Reactor



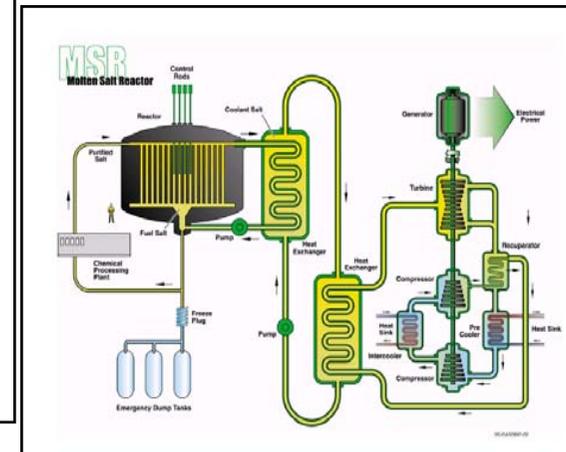
Gas Fast Reactor



Very High Temperature Reactor



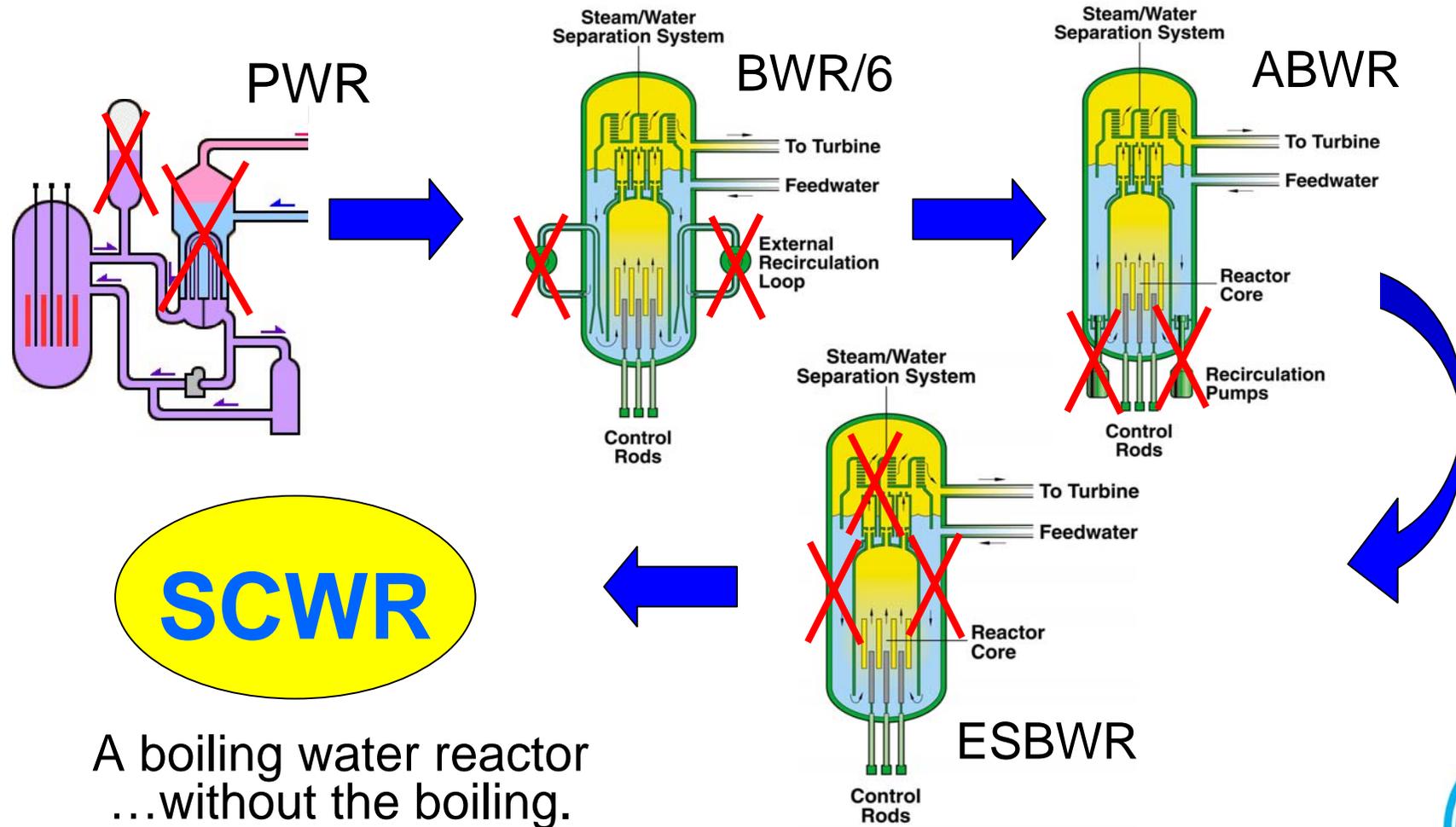
Supercritical Water Reactor



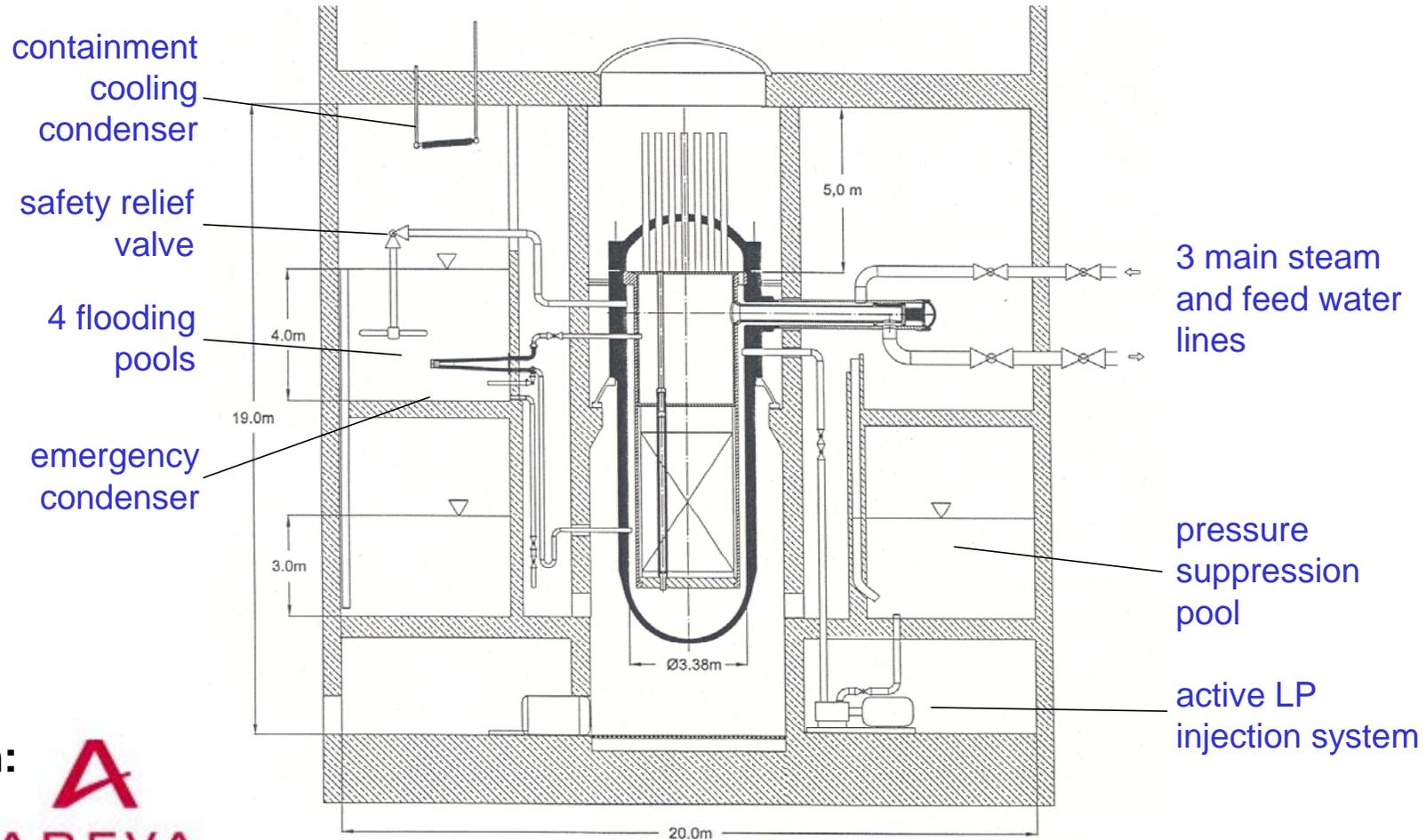
Molten Salt Reactor

Gen IV Systems

From LWR to SCWR by Simplification



SCWR: Innovative Safety Features

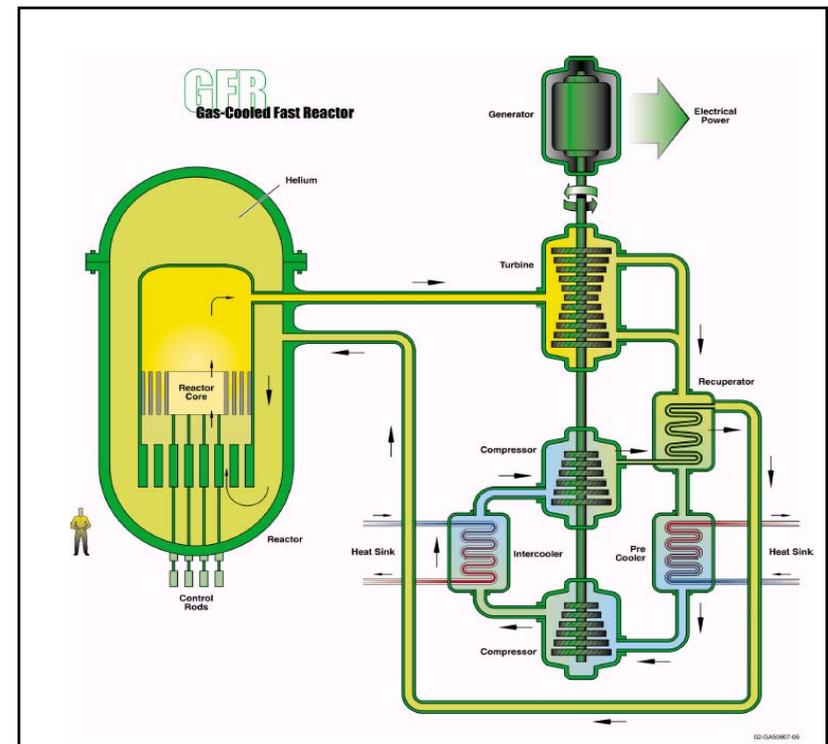


From:

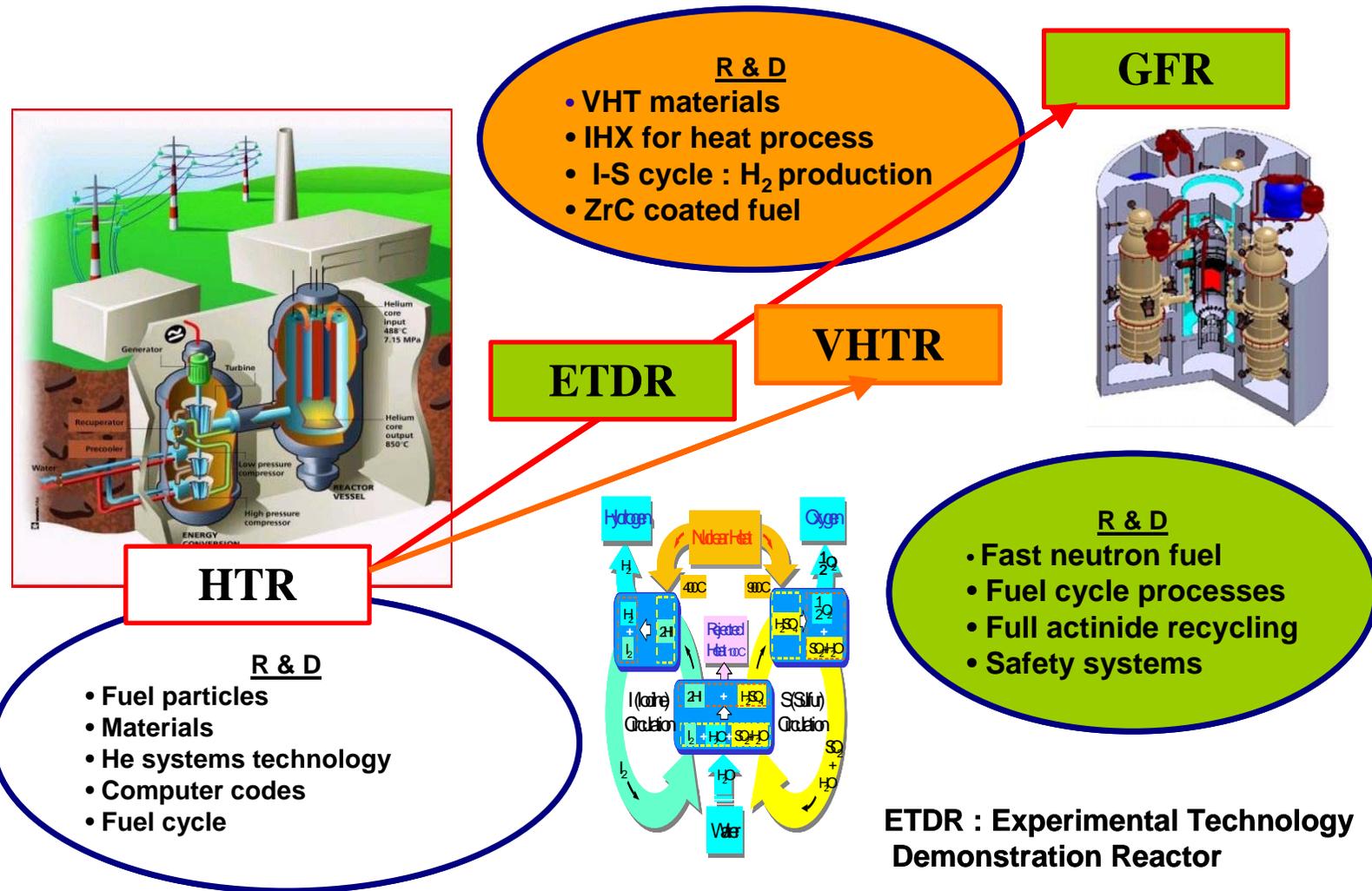


Gas-gekühlter Schneller Reaktor (GFR)

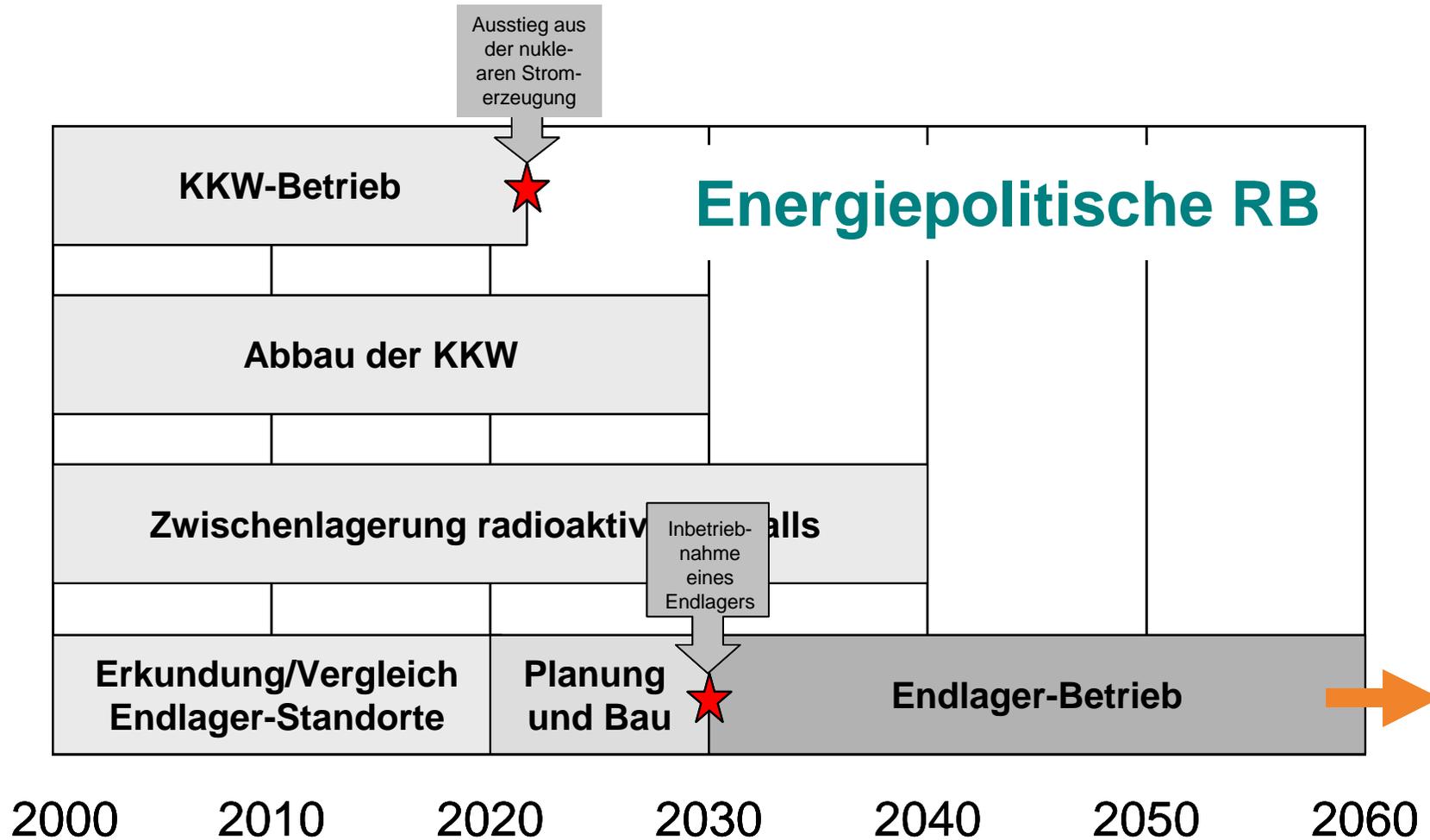
- Helium-gekühlter Reaktor mit schnellem Neutronenspektrum
- Geschlossener Brennstoffkreislauf
- Erzeugung von: Strom, Wasserstoff oder Prozesswärme
- Heliumturbine im Direktkreislauf
- Erbrüten und Spalten von Brennstoff im Gleichgewicht
- Verbrennung der Actiniden durch Rezyklisierung
- Integrierte Brennstoffwiederaufarbeitung
- Leistung: 1200MW(eI)
- Netto Anlagenwirkungsgrad: 48%



R&D on Gas Cooled Reactors



Was macht Deutschland ?



Forschungspolitische Randbedingungen

➤ Koalitionsvereinbarung: 10/2002

- **Einstellung der Entwicklung von Technologien zur nuklearen Stromerzeugung mit staatlicher Unterstützung**
- **Förderung der Forschung zur Erhöhung der Sicherheit der in Deutschland betriebenen Kernreaktoren**

➤ Frage:

- **Ist unter diesen Randbedingungen eine verantwortungsbewusste kerntechnische Forschung in Deutschland möglich?**
- **Können wir die Sicherheit und den Fortschritt der Kerntechnik bei unseren Nachbarn bewerten?**

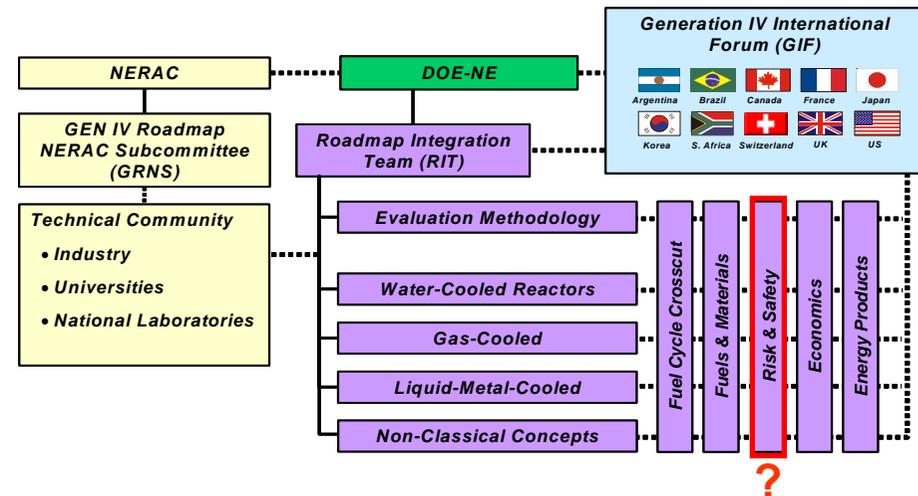
Internationale Arbeiten zu Generation IV

Situation in Deutschland:

Mitarbeit deutscher Forscher an Generation IV zur Zeit mit öffentlicher Bundesfinanzierung nicht möglich.

Dadurch keine Beiträge zu:

- Übertragbarkeit international entwickelter, innovativer Sicherheitsansätze auf in Deutschland bestehende Anlagen,
- Weiterentwicklung von internationalen Sicherheitsstandards, die in den Stand von Wissenschaft und Technik in Deutschland eingehen.



Technologieverlust in Deutschland

- Nationales Forschungsprogramm zum HTR beendet.
- Know-how wird in Südafrika und VR China kommerzialisiert.

- Handelsblatt – 28.2.05:
„Bei der HTR-Technik
war Deutschland
lange Zeit führend.“

China plant neuartiges Atomkraftwerk

Kugelhaufenreaktoren gelten als sicher, wurden bislang aber nicht kommerziell genutzt

LEBENSBLAU

von Michael M. 24.2.2005
DÖSSELDORF. China plant die Hochwelt aufzubrechen. Das Land will den weltweit ersten kommerziell genutzten Kugelhaufenreaktor bauen – ein Kernreaktor mit einem bislang einzigartigen Sicherheitskonzept. Bereits in der Zukunft soll die Anlage am Meeresstrand, vor der Energiekosten-Haareng in einem Küstenturm mit anderen chinesischen Unternehmern will er in der Provinz einen knapp 200 Megawatt starken Reaktor bauen.

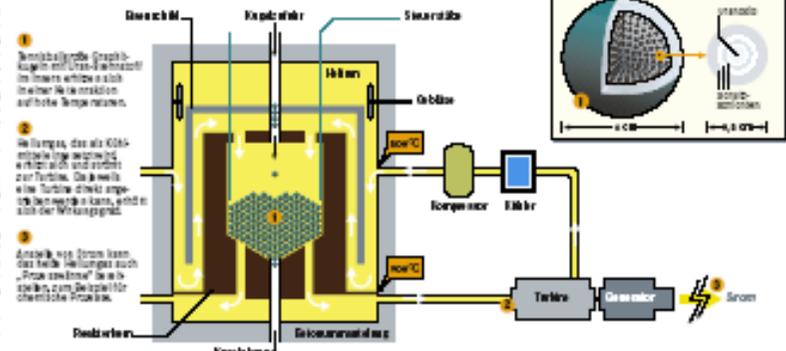
Bei der auch Hochtemperaturreaktor (HTR) genannte Technik wird das Spaltmaterial Uranoxid nicht in Brennstäben, sondern in tennisballgroßen Kugeln aus Graphit eingeschlossen, die nach und nach in das Erdreich sinken und sich bei der Kernreaktion auf hohe Temperaturen erwärmen. Als Kühlmittel dient nicht Wasser, sondern ein reaktionsträger Gas – in der Regel Helium –, das sich durch die Erwärmung ausdehnt und einen Generator zur Stromproduktion antreibt.

Der Reaktor ist kleiner als heutige Kraftwerke

Großer Vorteil: Die Hochtemperaturreaktoren sind inhärent sicher, sagt Gerd Fasbender, Vordirektor des Forschungszentrums Jülich. Während heutige Reaktoren eine Abschaltung des Kühlkreislaufs nach einer Abschaltung durch aktive Notdrosselmechanismen, wird ein Hochtemperatur-Reaktor ohne aktiven Eingriff eines Notdrosselsystems am Stillstand gehindert.

Neue Chance für Hochtemperaturreaktoren

Die auch „Kugelhaufenreaktor“ genannte Technik wurde in den 1970er Jahren in Deutschland entwickelt. In China kommt sie weltweit bald erstmals zum kommerziellen Einsatz.



Quelle: Technische Zeitschrift

Bei der Technik war Deutschland lange Zeit führend. Bereits in den sechziger Jahren stand in Jülich ein reaktorfähiger Testreaktor. Ende der achtziger Jahre wurde in Hamm-Uentrop sogar ein Prototyp mit 300 Megawatt Leistung gebaut, der aber nach einigen Jahren wieder eingestrichelt wurde. Das China die Technik nun aufnimmt, übertrifft nicht. Das Riesensicht hat einen enormen Energiepotenzialer und kann zahlreiche neue Kraft-

werksbauern – neben Kohleanlagen sollen bis 2020 alleine 20 neue Kernkraftwerke entstehen. Die Exemplare erfolgen derzeit ein anderes Technik – die Europäern – Druckwasserreaktoren (DWR). Ihr Ansatz: Der Nuklearfall wird als unwahrscheinliches, aber deutliches Szenario eingeschätzt, soll aber auf den Reaktor beschränkt und damit beherrschbar bleiben. Hierzu wird der Reaktor auf eine Kernkraftwerke und

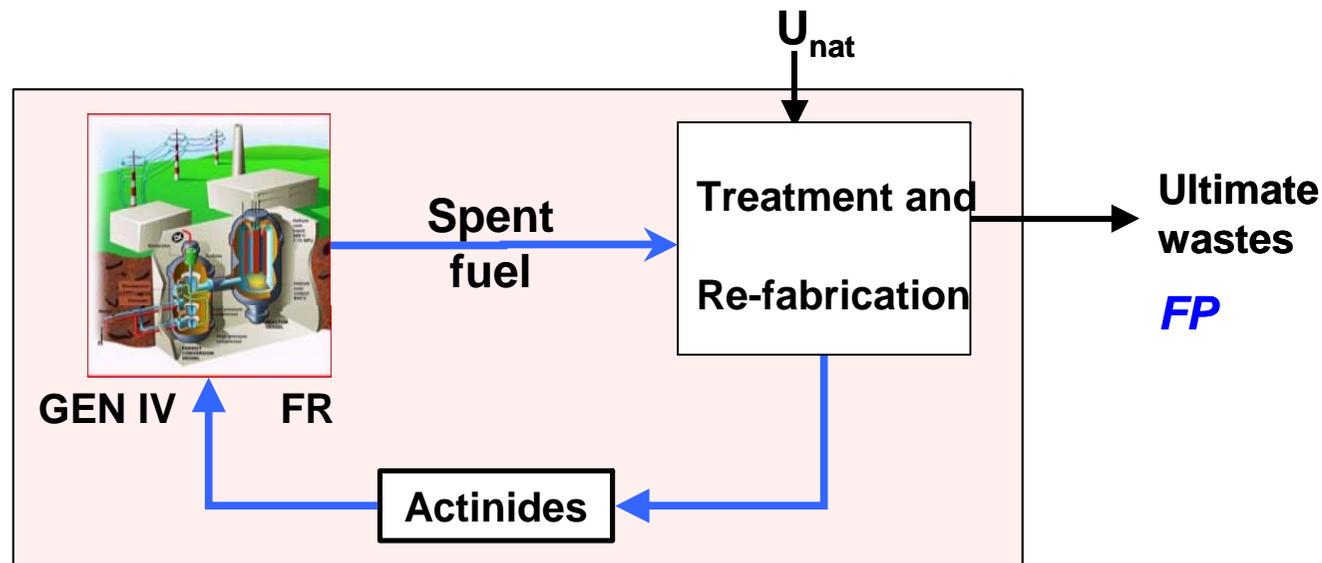
einen mehrere Meter dicke Beton-schicht gebaut. Eine ebenfalls mehrere Meter dicke Beton-Hülle soll verhindern, dass radioaktiver Dampf nach außen dringt. Das Reaktor im HTR ist zwar höher als beim HTR, dafür gilt er als wirtschaftlicher. Mit über 1.500 Megawatt Leistung werden Erdwerke geplant, die leistungsstärker sind als die gängigen Meiler. Die Technik ist präzisiert Finland hat die erste Bauprojekt auf den Weg ge-

bracht – Frankreich will folgen. Gebaut wird auch schon an der nächsten Generation von Kernkraftwerken: Sie soll so sicher sein wie der HTR und wirtschaftlicher als der HTR – unter anderem so wie das sogenannte Uranbrennstoffelement. Ein Problem können die beiden derzeit aktuellen Techniken nämlich nur unzufriedenstellend lösen – die Endlagerung. Noch fallen große Mengen an radioaktivem verschmutzten Abfall an.

Wirtschaftswelt

Entwicklungsziel: Nachhaltigkeit

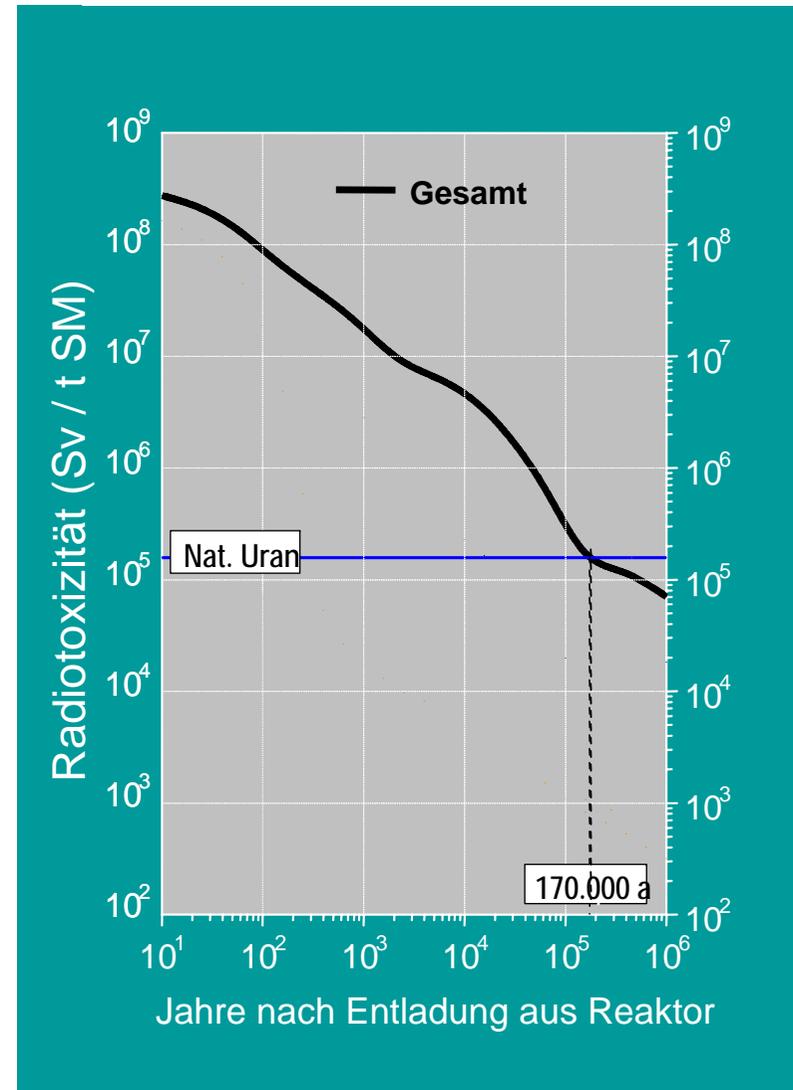
- Generation IV Kernenergiesysteme sollen den nuklearen Abfall minimieren und entsorgen, insbesondere die Langzeit-Radiotoxizität reduzieren und dadurch den Schutz von Menschen und Umwelt verbessern.



From:
CEA, France

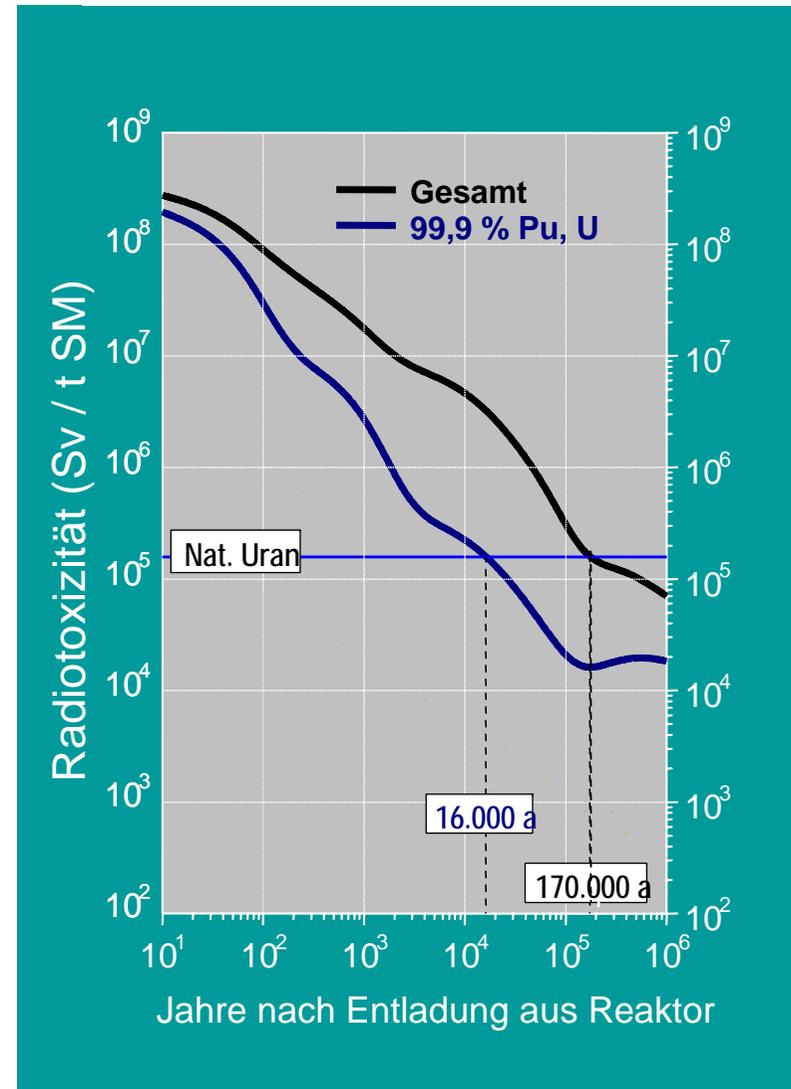
Radiotoxizität

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



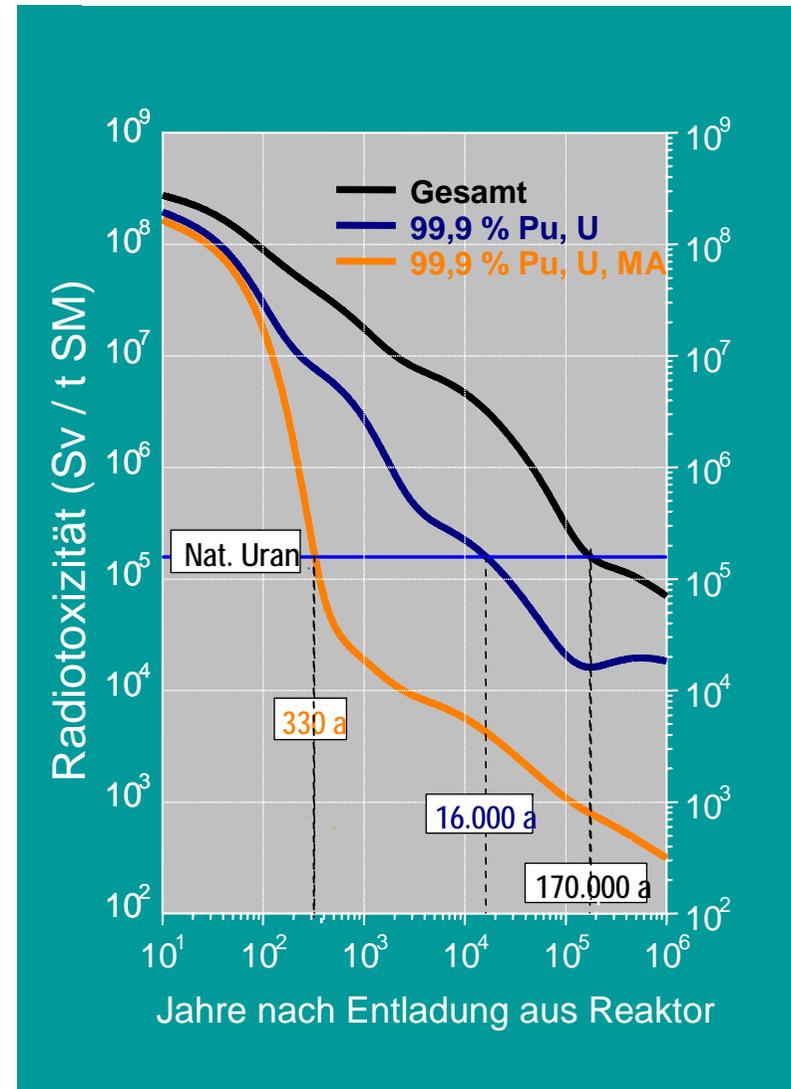
Radiotoxizität

- **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**



Entsorgung: Was macht Deutschland ?



Nukleare Entsorgung: Situation ab 1998

Zielstellungen:

- Entwicklung eines nationalen Entsorgungsplans, Erhebung der vorhandenen und Abschätzung der zukünftig anfallenden Abfallmengen und Betrachtung der Entsorgung,
- Überarbeitung der Sicherheitskriterien,
- Neubeginn der Endlagersuche: „Weiße Landkarte“.



Arbeitskreis Auswahlverfahren für Endlagerstandorte (AkEnd)

➤ Wesentliche Punkte:

- Ein Endlager für alle radioaktiven Abfälle
- Endlagerung in tiefen geologischen Formationen ab 2030
- Sicherer Einschluss für 1 Million Jahre
- Untertägige Erkundung von mindestens zwei Standorten
- Transparenz des Auswahlverfahrens



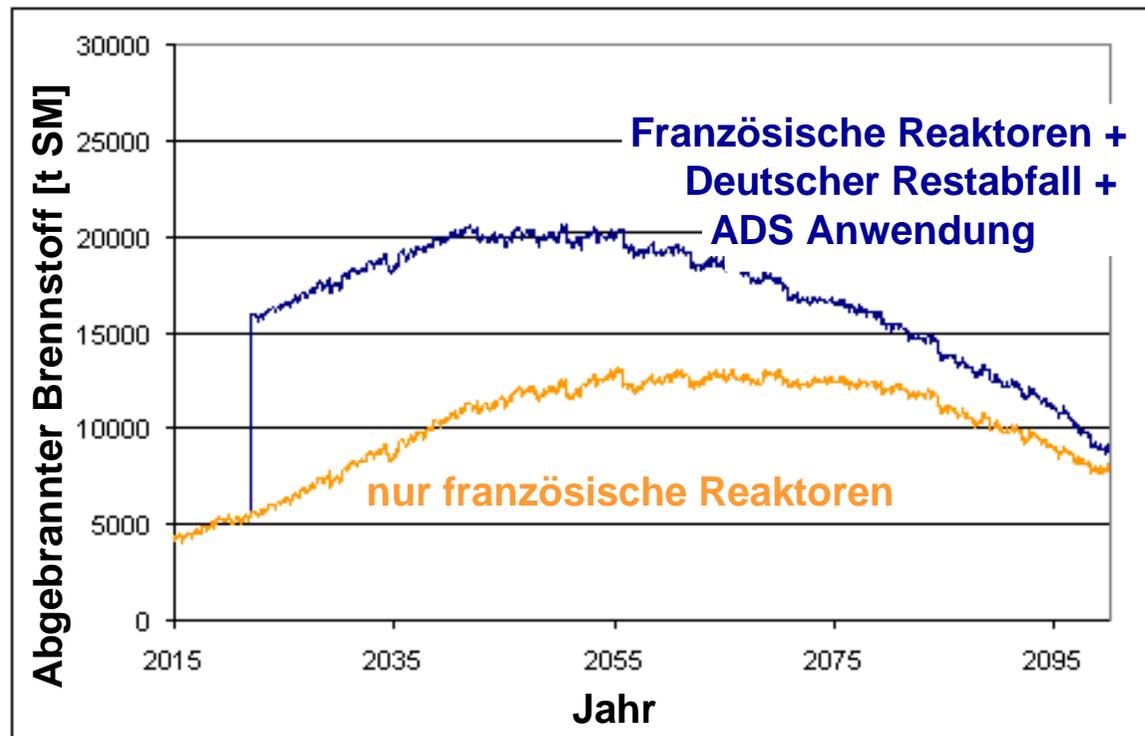
Kerntechnik: Ein multinationaler Ansatz

➤ M. ElBaradei IAEA (10/2003):

„Wir sollten multinationale Ansätze zur Behandlung und Endlagerung von Kernbrennstoffen und radioaktivem Abfall entwickeln.“

Kerntechnik: Ein multinationaler Ansatz

- Kombination des Abfalls aus D und F in 2022.
- Pu aus D findet in F bis 2100 als Brennstoff Anwendung.
- Minore Actiniden (MA) werden in Accelerator Driven Systems (ADS) ab 2030 verbrannt.

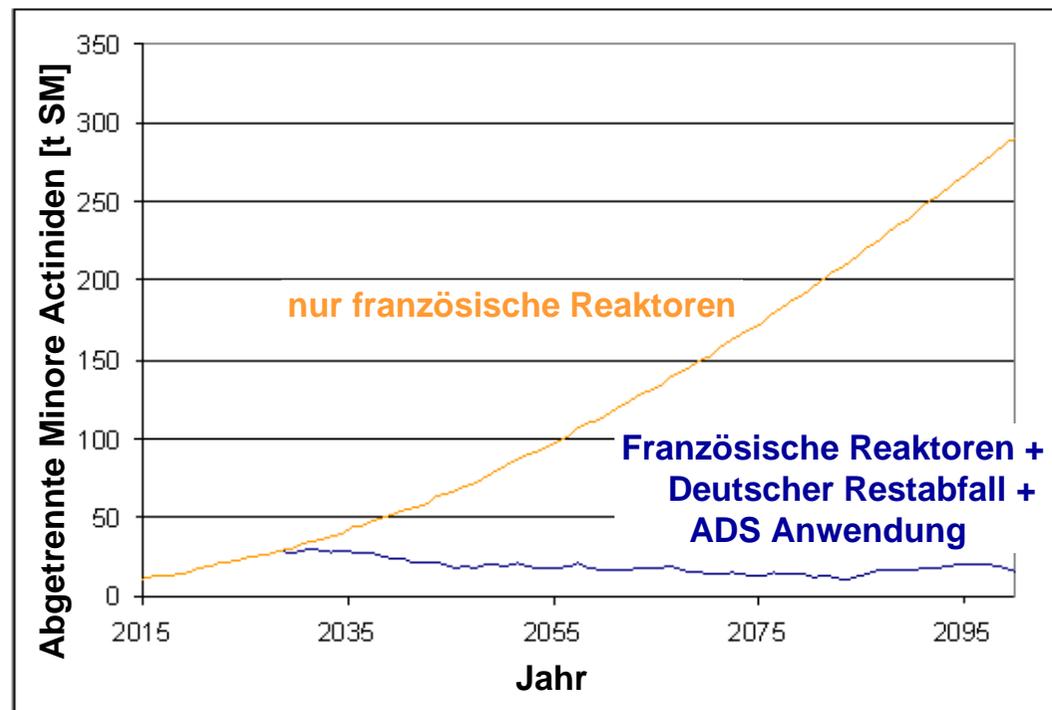


[Link ADS](#)

Kerntechnik: Ein multinationaler Ansatz

FAZIT:

- **Gesamtes Inventar an deutschen Minoren Actiniden (MA) kann bis 2100 vernichtet werden!**
- **Anforderungen an ein Endlager sind deutlich anspruchsloser!**

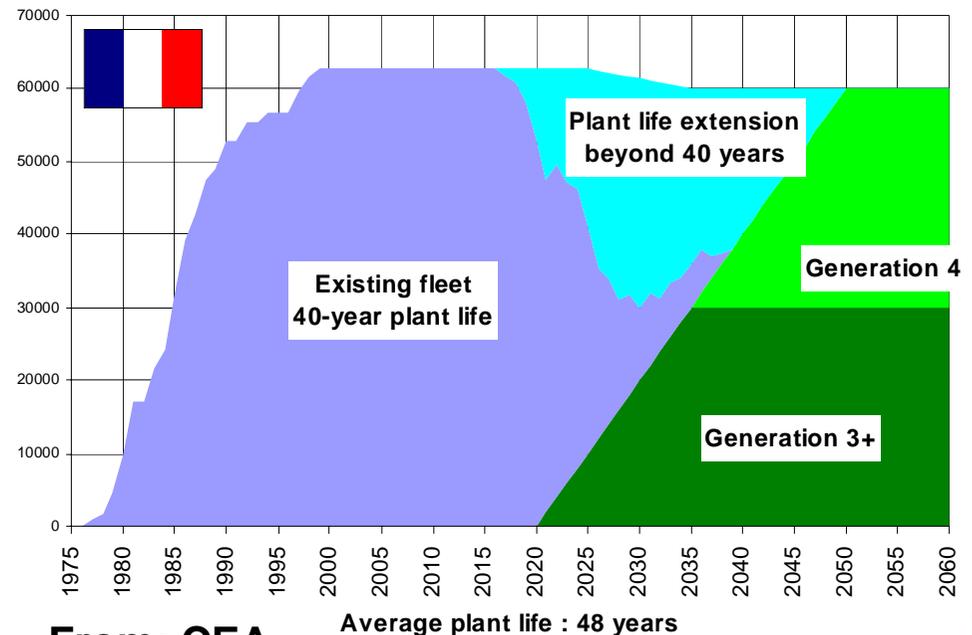


Schlussfolgerung (1/3)

- Reaktorentwicklung und Entsorgung sind eng miteinander verbunden. Gen III (EPR) und Gen IV sind wegweisend.



From: EPR Olkiluoto 3, Press release
TVO Finland, Oct. 10 2003



Schlussfolgerung (2/3)

- **Selbst unter Ausstiegsbedingungen braucht Deutschland noch langfristig kerntechnischen Nachwuchs für:
Behörden, TÜV, Industrie, EVUs, Forschungseinrichtungen.**

Fachkompetenz in der Kerntechnik

Arbeitsplatzentwicklung für wiss.-techn. Personal: 2000 bis 2010
(Umfrageergebnisse aus den Jahren 2000 und 2004)

	Anzahl der Arbeitsplätze		Prognose 2000 für 2010	Prognose 2004 für 2010
	Ist 2000	Ist 2004		
KKW-Betreiber	5500	5550	4000	5250
KKW-Hersteller- u. Service-Industrie	8800	9270	7100	7840
Aufsichts- und Gutachter-Institutionen	1350	1350	1200	1200
F&E-Institutionen: Reaktorsicherheit	370	360	370	340
F&E-Institutionen: Nukl. Entsorgung	350	330	380	280
Mitwirkung in intern. Gremien	100	100	100	100
Summe	16470	16960	13150	15010

Fachkompetenz in der Kerntechnik

Arbeitsplatzentwicklung für Hochschulabsolventen*: 2000 bis 2010
(Umfrageergebnisse aus den Jahren 2000 und 2004)

	Anzahl der Arbeitsplätze			Prognose 2004 für 2010 (davon Neubesetzungen)
	Ist 2000	Ist 2004	Prognose 2000 für 2010 (davon Neubesetzungen)	
KKW-Betreiber	1250	1330	1000 (keine)	1270 (450)
KKW-Hersteller- u. Service-Industrie	3500	3340	3300 (1000)	3170 (930)
Aufsichts- und Gutachter-Institutionen	1350	1350	1100 (300)	1100 (300)
F&E-Institutionen: Reaktorsicherheit	370	360	370 (160)	340 (150)
F&E-Institutionen: Nukl. Entsorgung	350	330	380 (110)	280 (60)
Mitwirkung in intern. Gremien	100	100	100 (100)	100 (100)
Summe	6920	6810	6250 (1670)	6260 (1990)

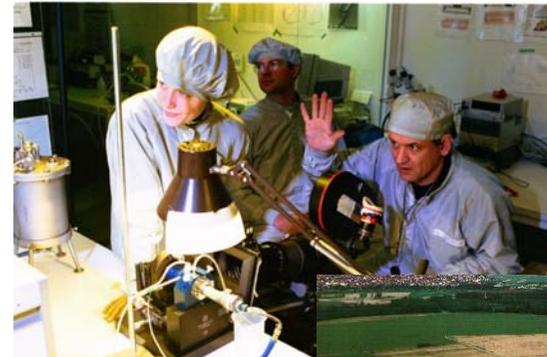
*) Uni, TU, FH

Ausbildung des kerntechnischen Nachwuchses

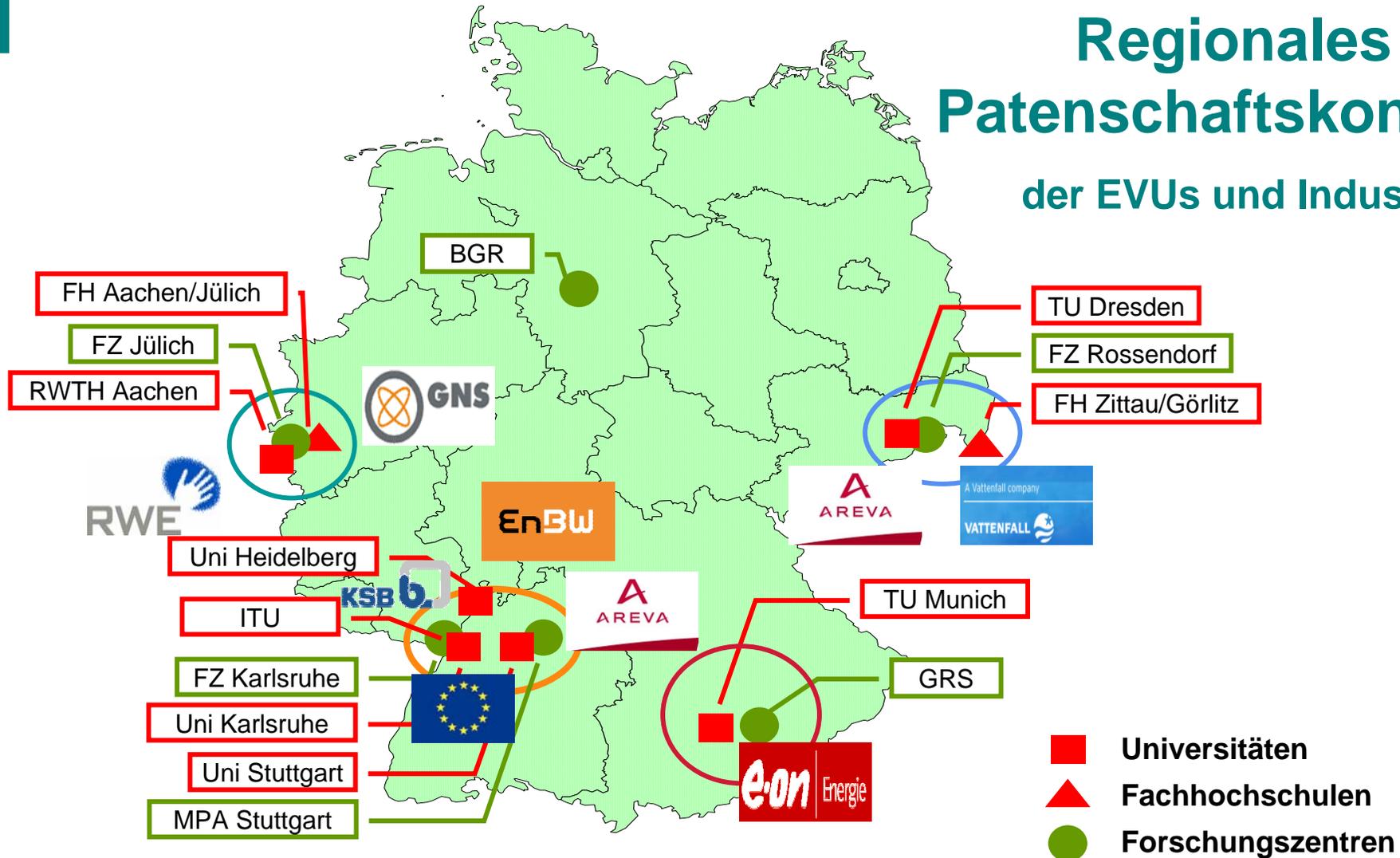


**Vorlesungen zur Reaktortechnik
und Radiochemie (Beispiele):**
Schulenberg, Karlsruhe: etwa 15
Cacuci, Karlsruhe: etwa 18
Kugeler, Aachen: etwa 25
Lohnert, Stuttgart: etwa 12
Fanghänel, Heidelberg: etwa 25
Odoj, Aachen: etwa 30

Motivation
Perspektive
?

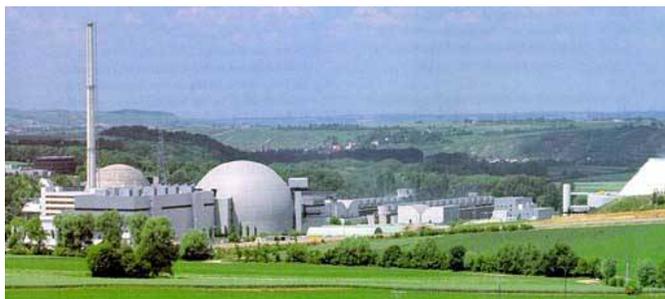


Regionales Patenschaftskonzept der EVUs und Industrie

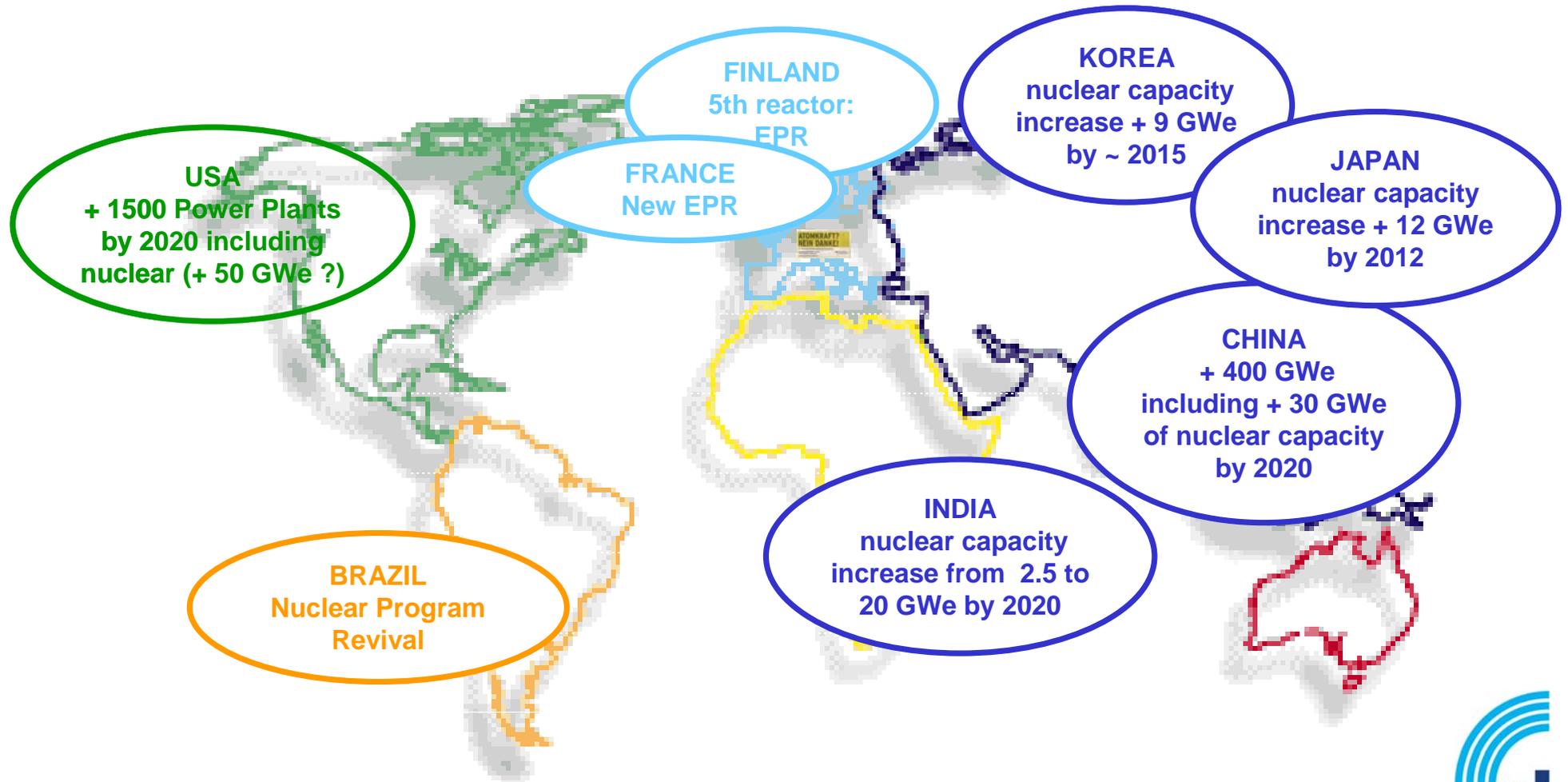


Schlussfolgerung (3/3)

- **Internationale Erfahrungen zeigen, dass die besten Nachwuchs-Wissenschaftler / Ingenieure / Techniker durch anspruchsvolle, internationale Projekte angezogen werden.**
- **Um dies zu erreichen, müssen Deutsche Forscher an allen relevanten internationalen Projekten / Gremien mitarbeiten dürfen, wie z.B. INPRO, Gen IV, um**
 - **Neue Sicherheitstechnologien zu entwickeln,**
 - **Diese auf bestehende Kernkraftwerke in Deutschland anzuwenden,**
 - **Den Sicherheitsstandard von Kernkraftwerken um Deutschland zu erhöhen.**



Zukunftstechnologie Kernenergie !



Rede von Bundespräsident Horst Köhler beim Arbeitgeberforum "Wirtschaft und Gesellschaft" Berlin, 15.03.2005



- „Angesichts der Lage auf dem Arbeitsmarkt brauchen wir in Deutschland jetzt eine politische Vorfahrtsregel für Arbeit.“
- Was der Schaffung und Sicherung wettbewerbsfähiger Arbeitsplätze dient, muss getan werden. Was dem entgegensteht, muss unterlassen werden. Was anderen Zielen dient, und seien sie noch so wünschenswert, ist nachrangig.
- Eine solche Grundeinstellung wünsche ich mir von allen, die politische Verantwortung tragen.“



Forschungszentrum Karlsruhe
in der Helmholtz-Gemeinschaft

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)

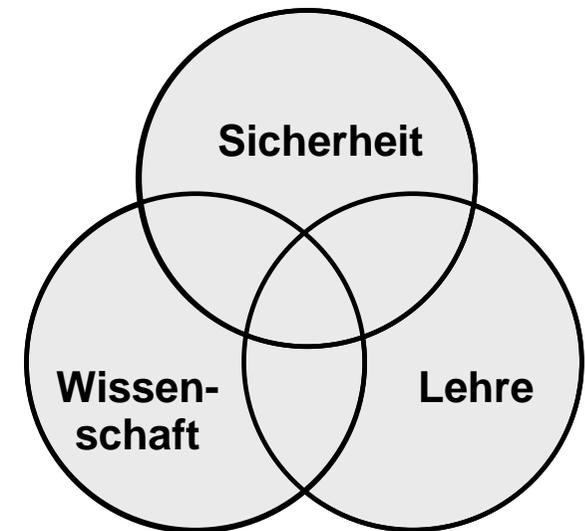


Forschungszentrum Karlsruhe
in der Helmholtz-Gemeinschaft

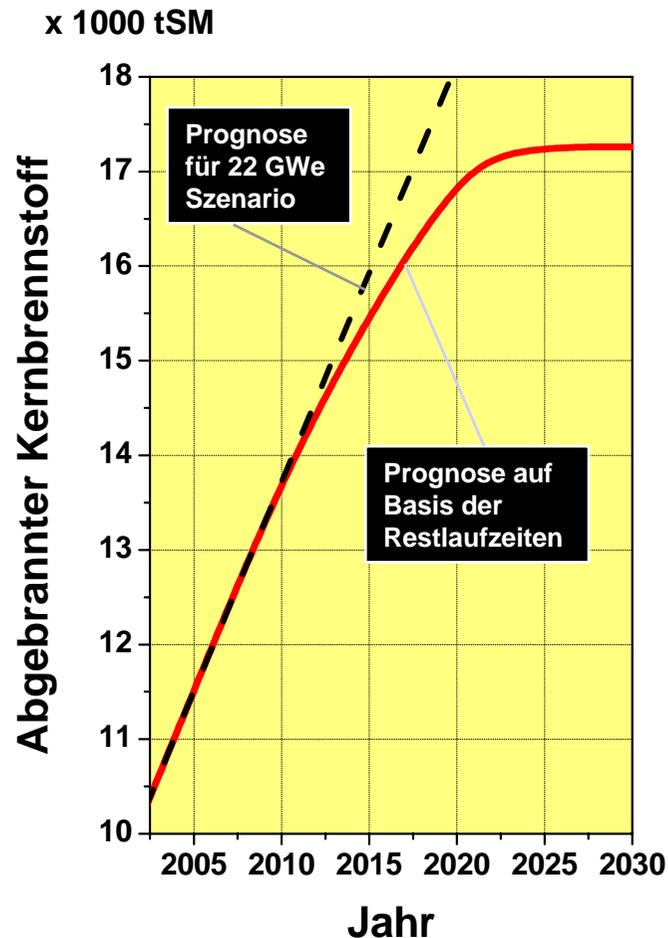
Zusatzfolien:

Motivation und Zielsetzung des Programms Nukleare Sicherheitsforschung

- **Untersuchung wissenschaftlicher Aspekte der**
 - **Sicherheit von Kernreaktoren**
 - **Sicherheit der Nuklearen Entsorgung.**
- **Umsetzung der Ergebnisse im öffentlichen Interesse, damit der hohe Sicherheitsstandard der in Deutschland betriebenen kerntechnischen Einrichtungen auch in Zukunft gewährleistet ist und höchsten internationalen Ansprüchen genügt.**
- **Erhalt und Weiterentwicklung der wissenschaftlichen Kompetenz in der Kerntechnik und Nachwuchsförderung.**



Hochradioaktive Abfälle in Deutschland



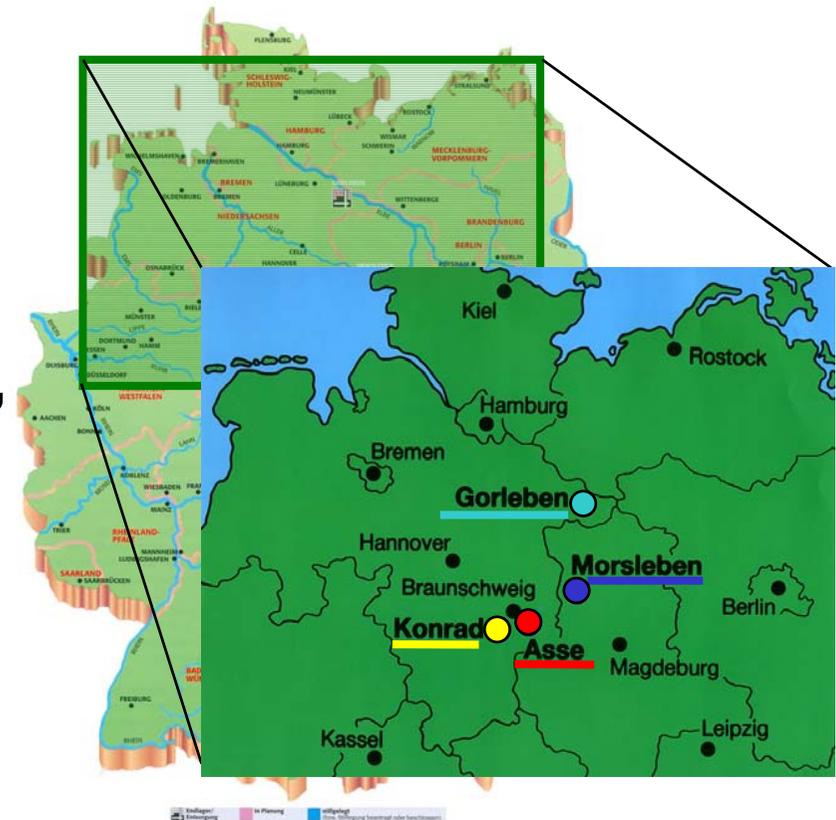
Abgebrannter Kernbrennstoff:

- **Angefallen bis Ende 2003:**
etwa 10600 t
- **Bis zur Restlaufzeit (etwa 2022) fallen noch an:**
etwa 6650 t
- **Summe:** etwa 17250 t

Entsorgungskonzept bis 1998

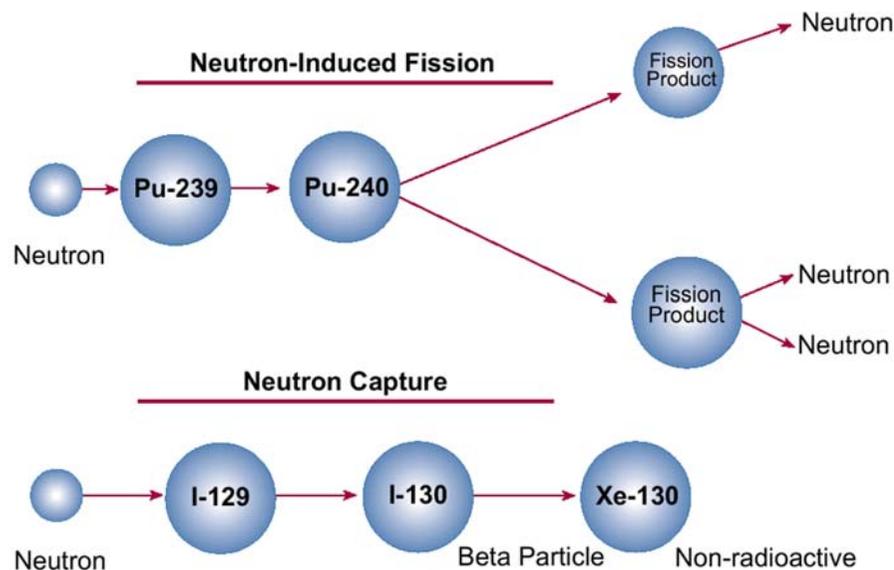
Wesentliche Elemente waren:

- **Konrad**
als Endlager für vernachlässigbar
wärmeentwickelnde Abfälle zügig
und zeitnah in Betrieb zu nehmen,
- **Gorleben**
als Endlager insbesondere für
abgebrannte Brennelemente und
wärmeentwickelnde Abfälle aus
der Wiederaufarbeitung etwa bis
2015 verfügbar zu haben.



[Link Endlager](#)

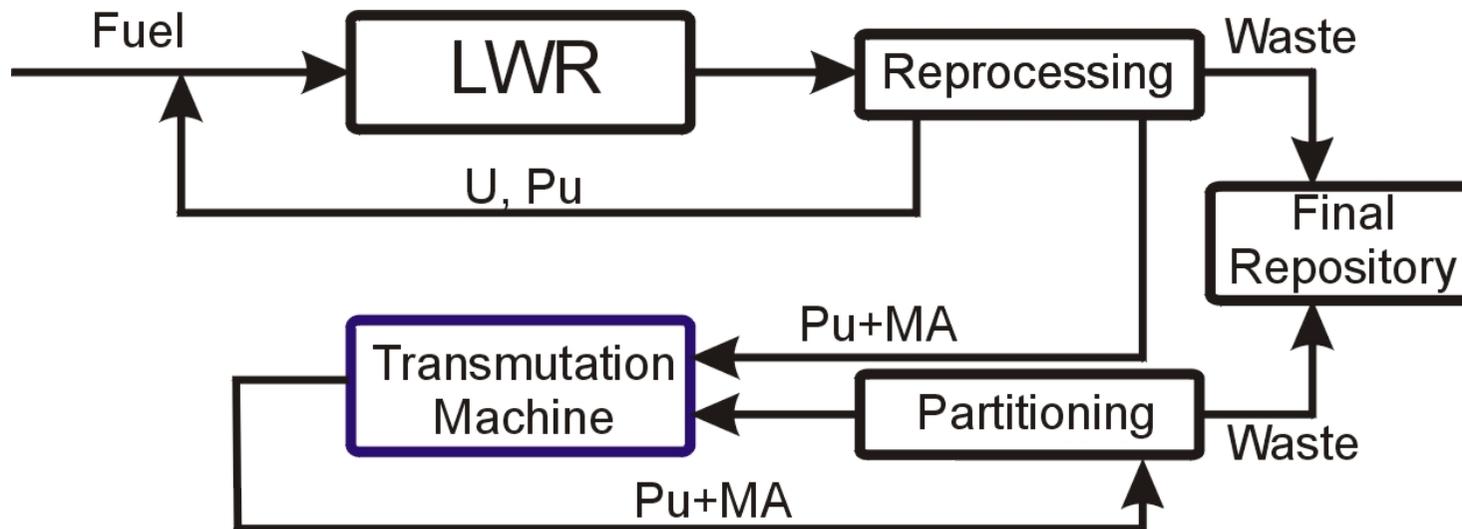
Partitioning & Transmutation



Vorgehensweise:

- **Abtrennung der langlebigen, hochradioaktiven Radionuklide (Pu, MA, LLSP) aus dem radioaktiven Abfall**
- **Umwandlung der hochradioaktiven Elemente in kurzlebige und/oder stabile Elemente durch Neutronen induzierte Spaltung oder durch Neutroneneinfangreaktionen**

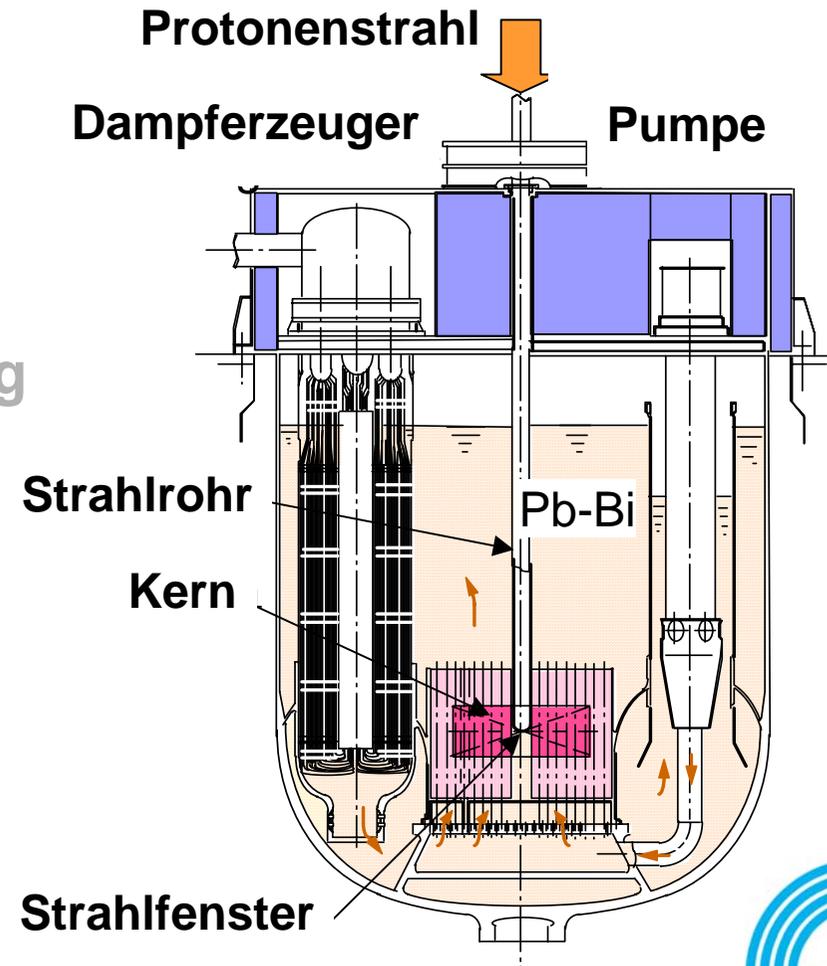
Brennstoffkreislauf mit Transmutation



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

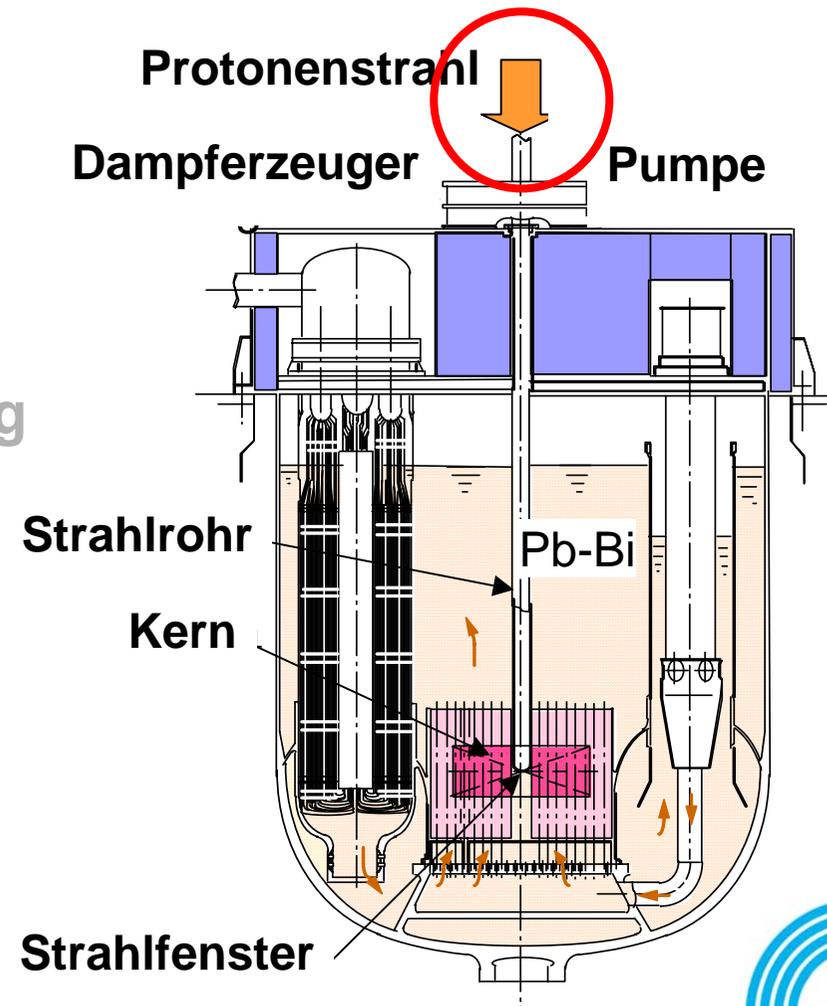
Was ist eine Transmutationsmaschine?

- Protonenbeschleuniger
(Linac oder Zyklotron)
- +
- Spallationstarget zur Erzeugung
hochenergetischer Neutronen
- +
- Unterkritische Anordnung
(Reaktorkern) mit Pu und MA



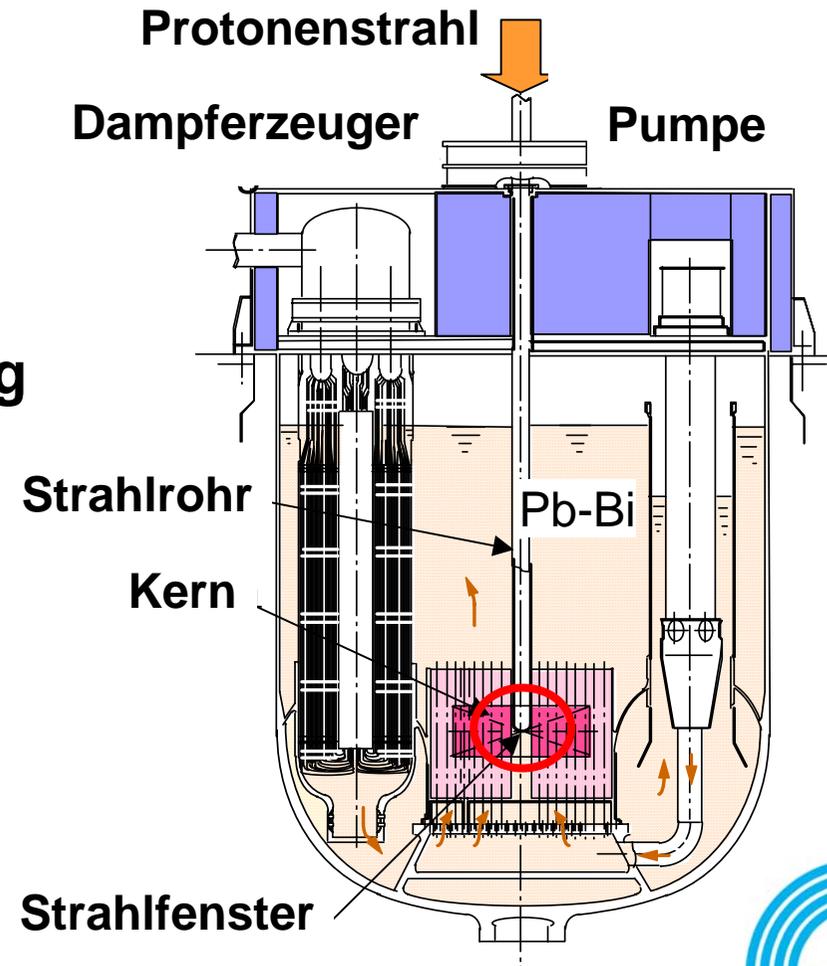
Was ist eine Transmutationsmaschine?

- **Protonenbeschleuniger (Linac oder Zyklotron)**
- +
- **Spallationstarget zur Erzeugung hochenergetischer Neutronen**
- +
- **Unterkritische Anordnung (Reaktorkern) mit Pu und MA**



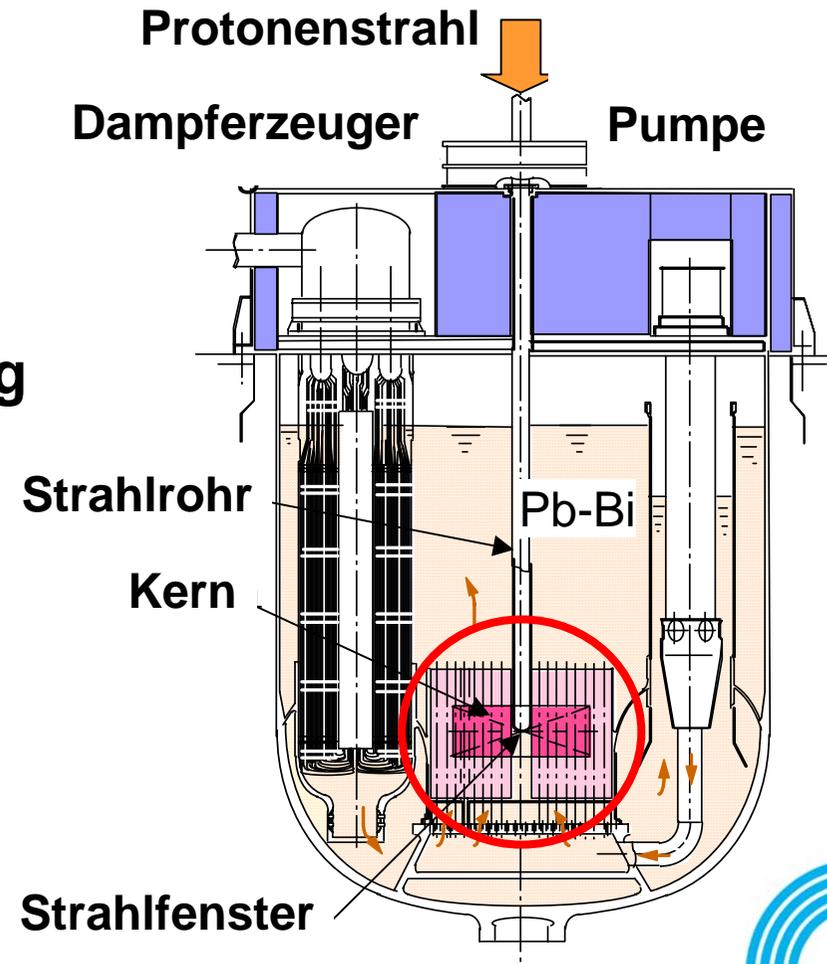
Was ist eine Transmutationsmaschine?

- **Protonenbeschleuniger (Linac oder Zyklotron)**
- +
- **Spallationstarget zur Erzeugung hochenergetischer Neutronen**
- +
- **Unterkritische Anordnung (Reaktorkern) mit Pu und MA**



Was ist eine Transmutationsmaschine?

- **Protonenbeschleuniger (Linac oder Zyklotron)**
- +
- **Spallationstarget zur Erzeugung hochenergetischer Neutronen**
- +
- **Unterkritische Anordnung (Reaktorkern) mit Pu und MA**



[Back](#)



Supercritical-Water-Cooled Reactor (SCWR)

Attributes

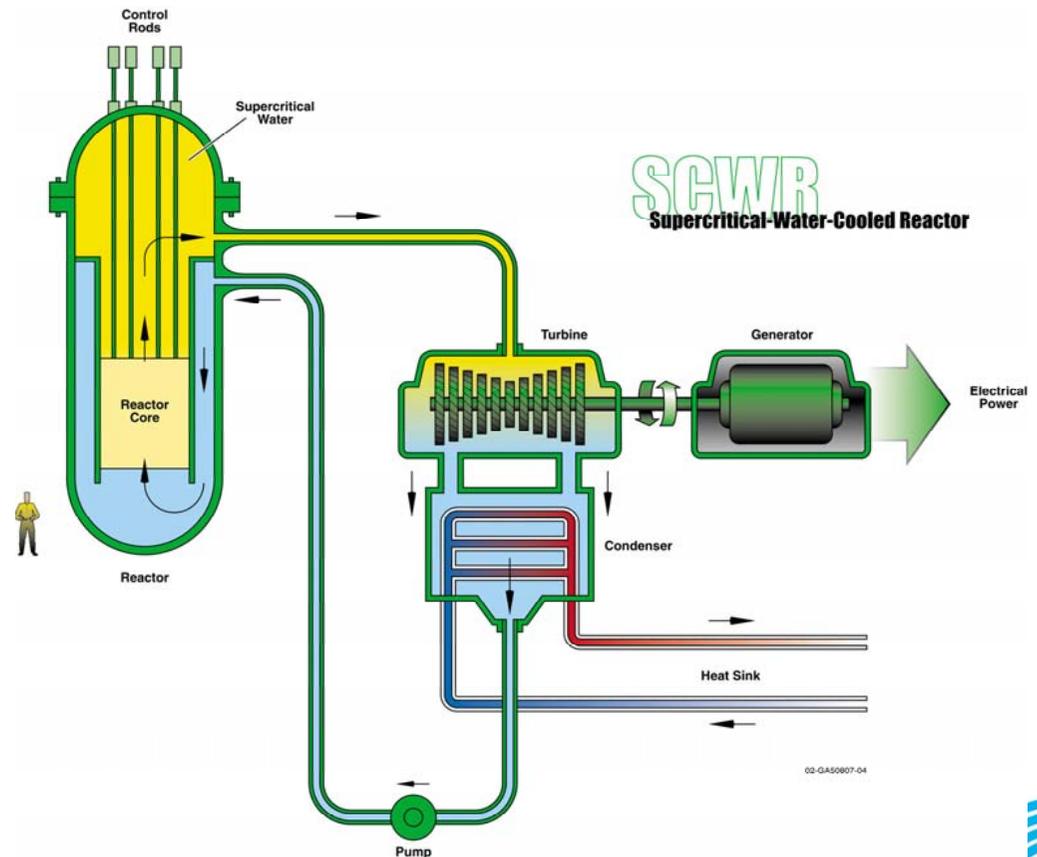
- Advanced reactor cooled by water above critical point (374 °C, 22.1 MPa)
- Direct-cycle cooling

Benefits

- Simplified system; fewer components; compact
- Thermal efficiency approaches 44%
- Economic
- Builds on existing technology

Viability Issues

- Coolant flow stability against oscillations
- Thermal and heat-transfer properties
- Safety concept and fuel design criteria
- Materials





Gas-Cooled Fast Reactor (GFR)

Attributes

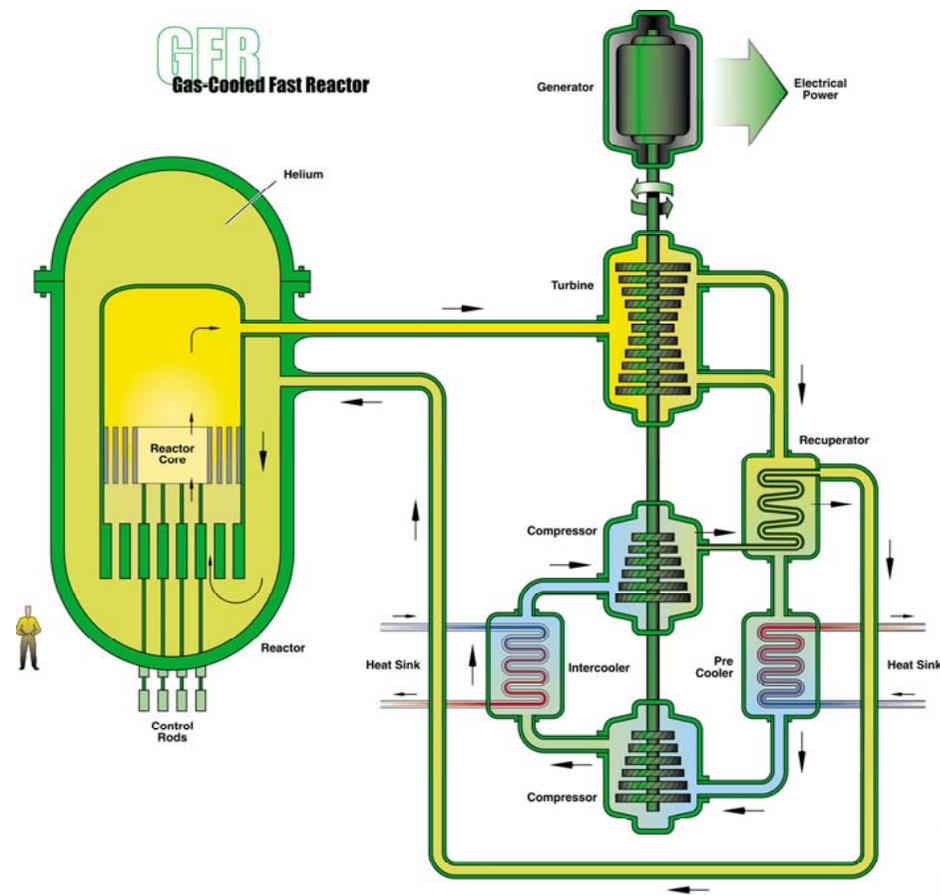
- He coolant, 850°C outlet temperature
- 600 MW_{th} / 288 MW_e
- Direct-cycle gas-turbine

Benefits

- Efficient electricity generation
- High U-resource utilization
- Waste minimization
- Possible hydrogen production

Viability Issues

- Fuel and materials development challenges
- Active safety systems needed at targeted power density due to relatively low thermal inertia and poor heat transfer characteristics of coolant at low pressure
- Economics





Lead-Cooled Fast Reactor (LFR)

Attributes

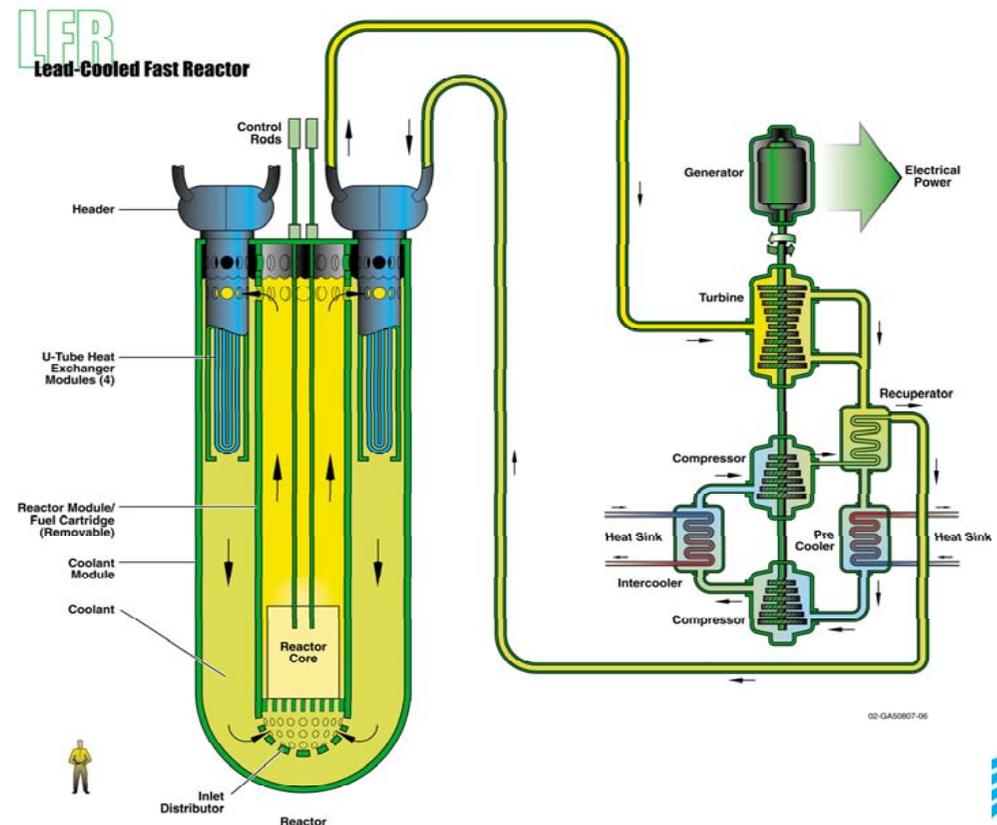
- Pb or Pb/Bi coolant
- 500°C to 800°C outlet temperature
- U-TRU nitride fuel
- 25–200 MW_e
- 15–30 year core refueled as a cartridge

Benefits

- Small size tailored to needs for remote or distributed generation
- No need for on-site fuel storage or local fuel cycle infrastructure
- Design simplification

Viability Issues

- Control of corrosion
- Coolant activation
- Seismic safety
- Qualification of Russian data





Sodium-Cooled Fast Reactor (SFR)

Attributes

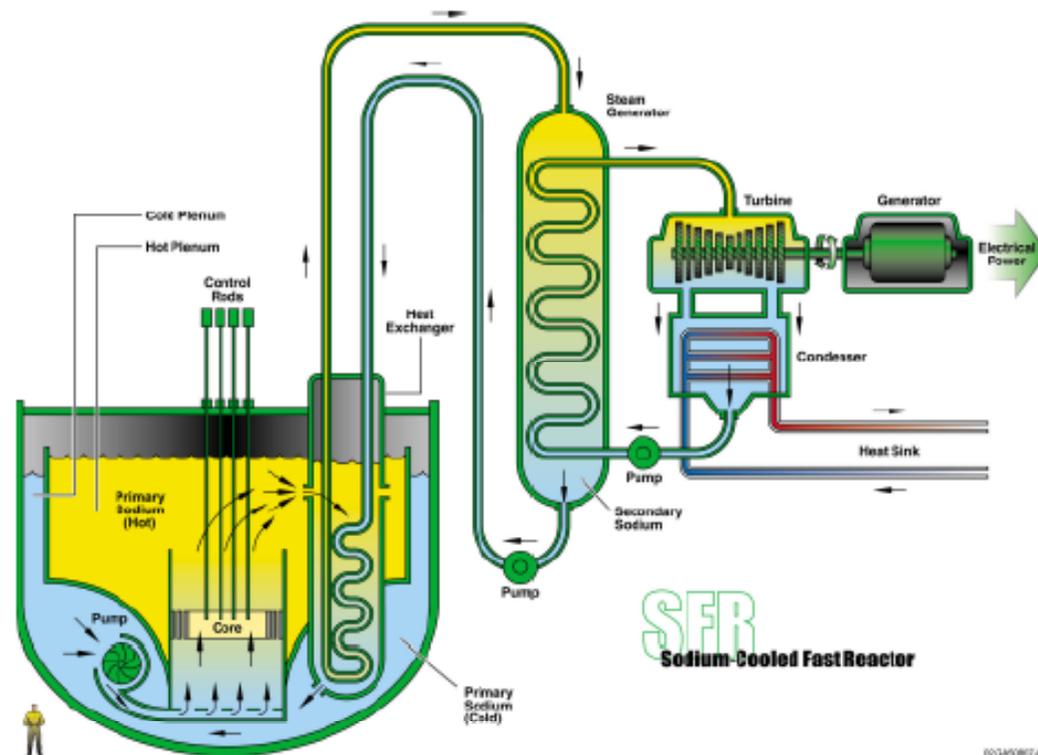
- Sodium coolant, outlet temperature 550°C
- Primary system at atmospheric pressure
- Efficient electricity generation
- 1000-5000 MW_{th}

Benefits

- Advantageous actinide management
- Efficient conversion of fertile uranium
- Metal or MOX fuel with advanced recycling

Viability Issues

- Development of oxide fuel fabrication technology
- Sodium leak prevention
- Economics





Molten Salt Reactor (MSR)

Attributes

- Molten salt fuel mixture
- 1000 MW_e net power
- Efficient electricity generation

Benefits

- Inherently safe
- Potential for hydrogen production
- Actinide burning
- Efficient fuel utilization
- Low pressure reduce stress on vessel and piping

Viability Issues

- Molten salt chemistry and control
- Compatibility of fuel with structural materials, graphite, and heat exchangers
- Reliability of materials and corrosive effects

