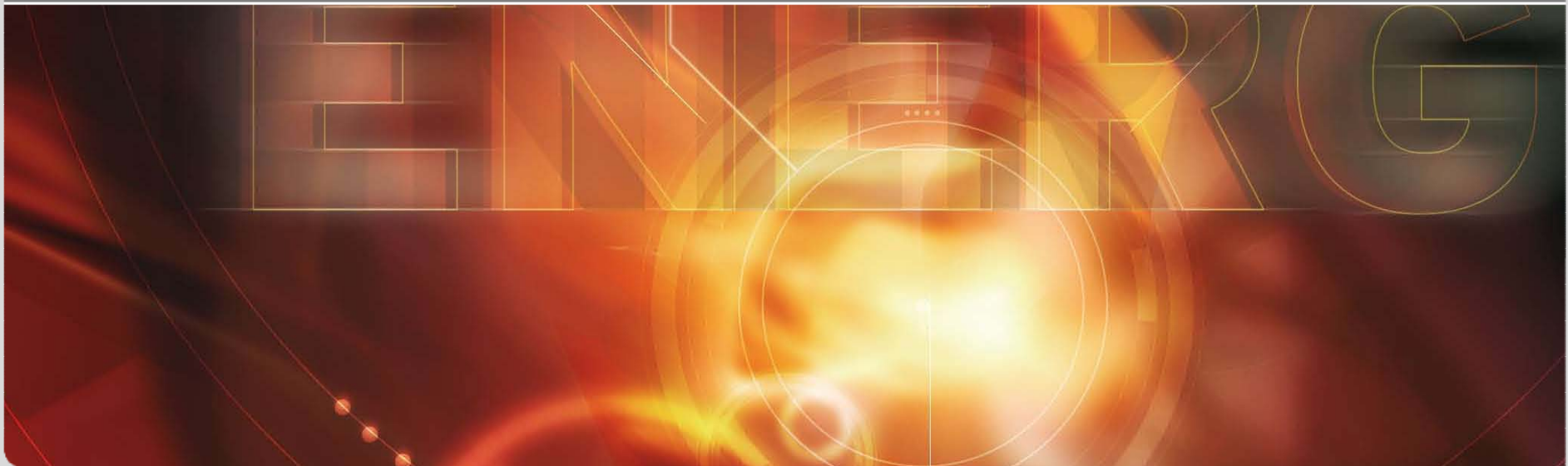


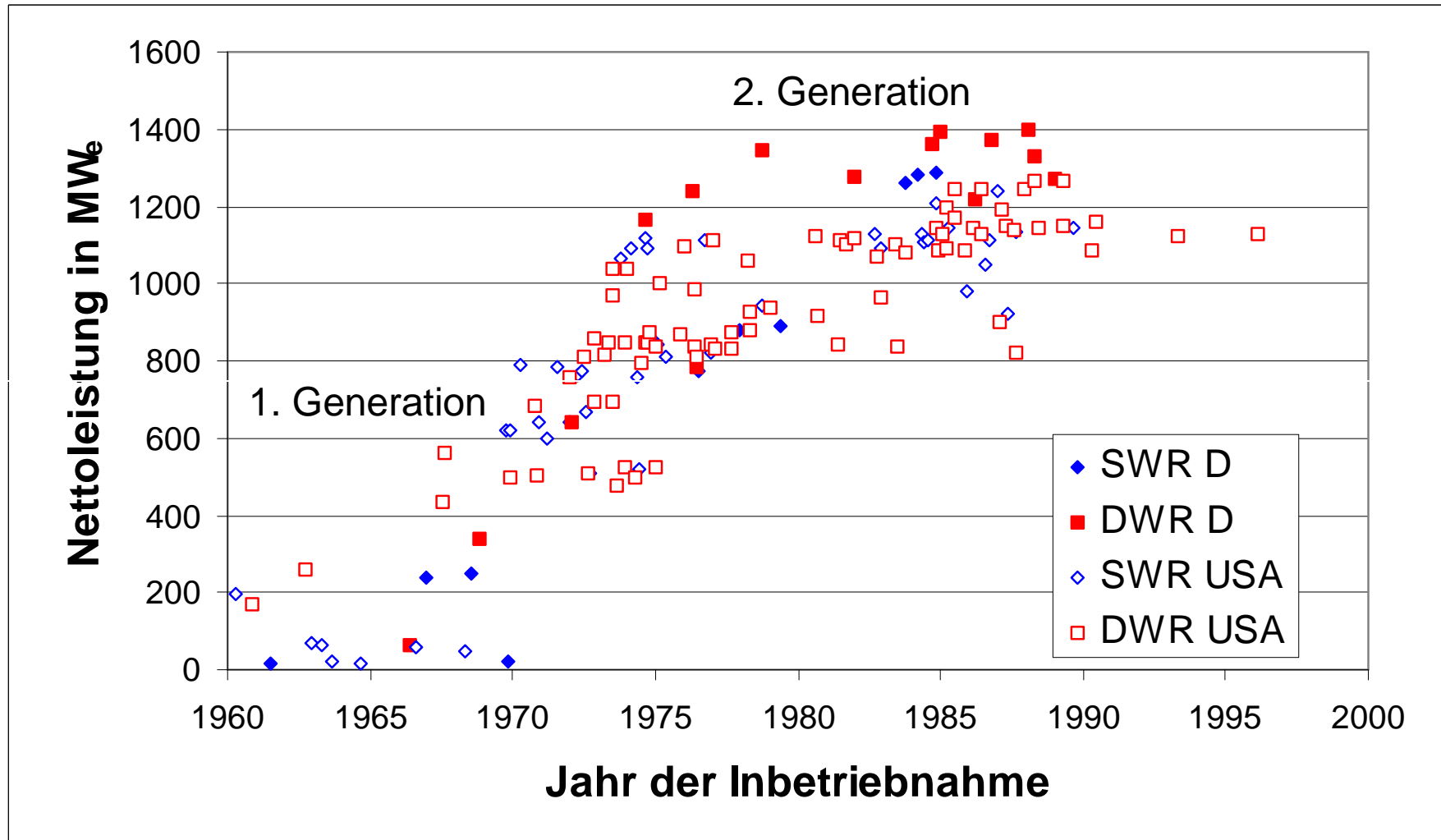
# Zukunftsperspektiven von Kernkraftwerken

**Prof. Dr.-Ing. Thomas Schulenberg**  
**Institut für Kern- und Energietechnik**

KIT-ZENTRUM ENERGIE



# Druckwasserreaktoren (DWR) und Siedewasserreaktoren (SWR) in Deutschland und USA



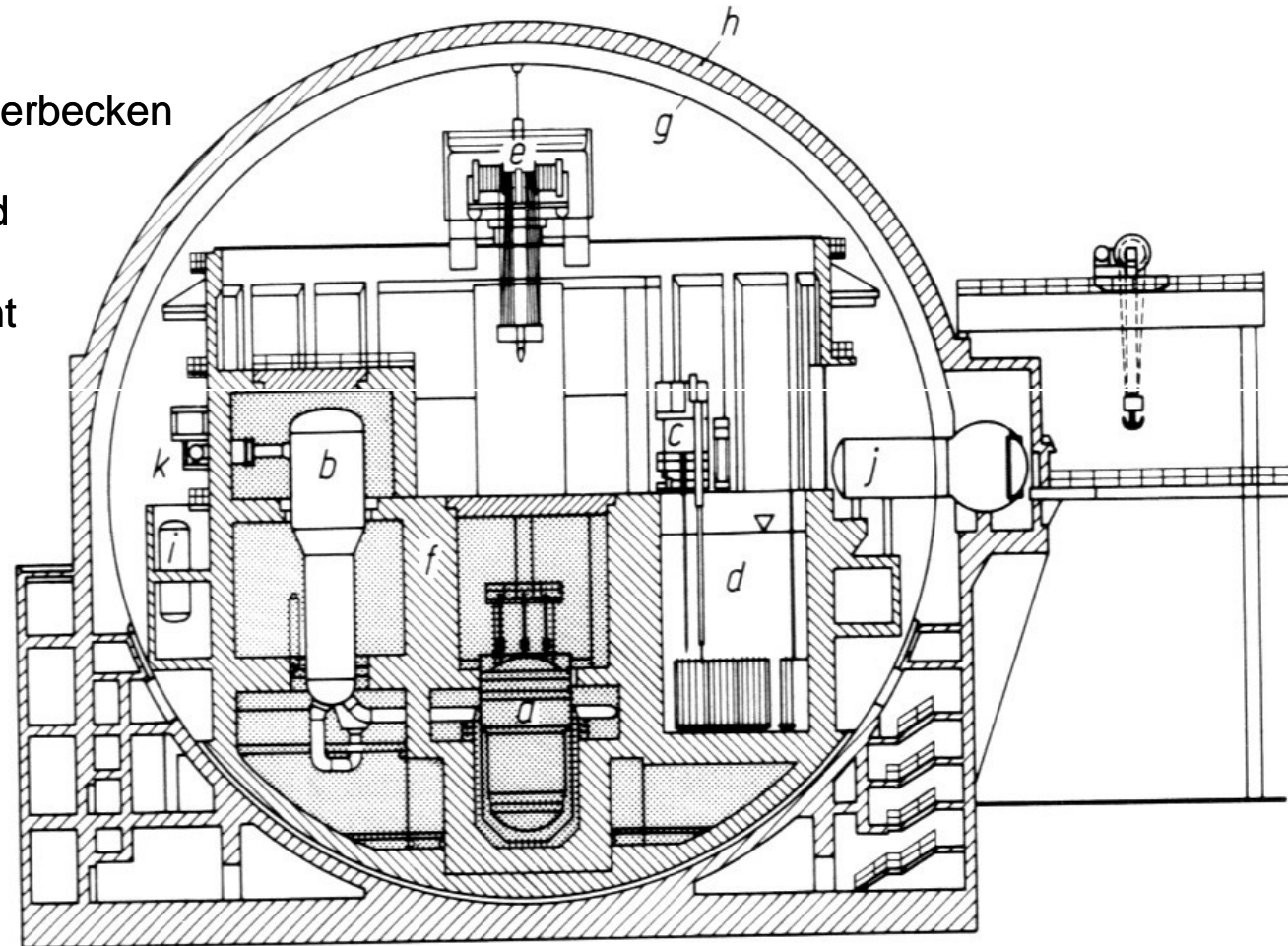
## Entwicklungsschritte der DWR und SWR

- 1. Generation: Prototypen von einigen 100 MW<sub>e</sub> Leistung
  - teilweise schon wieder stillgelegt
  
- 2. Generation: Große Konvoi-Anlagen, Druck- und Siedewasserreaktoren über 1000 MW<sub>e</sub>
  - bilden den wesentlichen Anteil der europäischen Stromversorgung aus Kernenergie.
  - Diskussion über Laufzeitverlängerung oder –begrenzung.
  
- 3. Generation: DWR und SWR mit verbesserter Sicherheitstechnik
  - Beispiele: EPR, AP1000, KERENA, ESBWR
  - werden derzeit weltweit angeboten und z.T. bereits gebaut.

# Druckwasserreaktor der 2. Generation

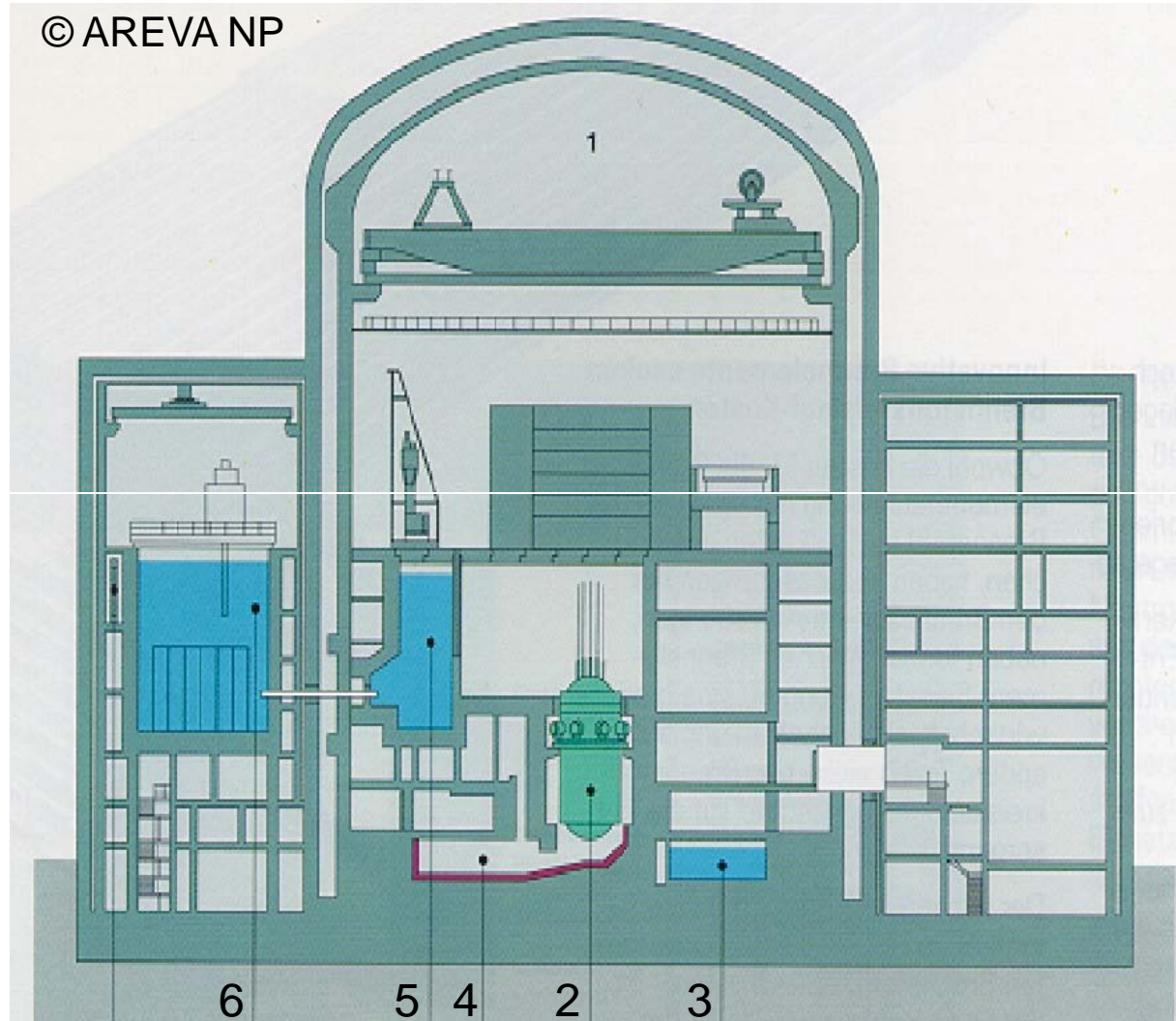
## KWU Konvoianlage

- a) Reaktor
- b) Dampferzeuger
- c) Belademaschine
- d) Brennelement-Lagerbecken
- e) Kran
- f) Biologischer Schild
- g) Stahl-Liner
- h) Beton-Containment
- i) Borierungssystem
- j) Materialschleuse
- k) Dampfleitung



# European Pressurized Water Reactor EPR

© AREVA NP

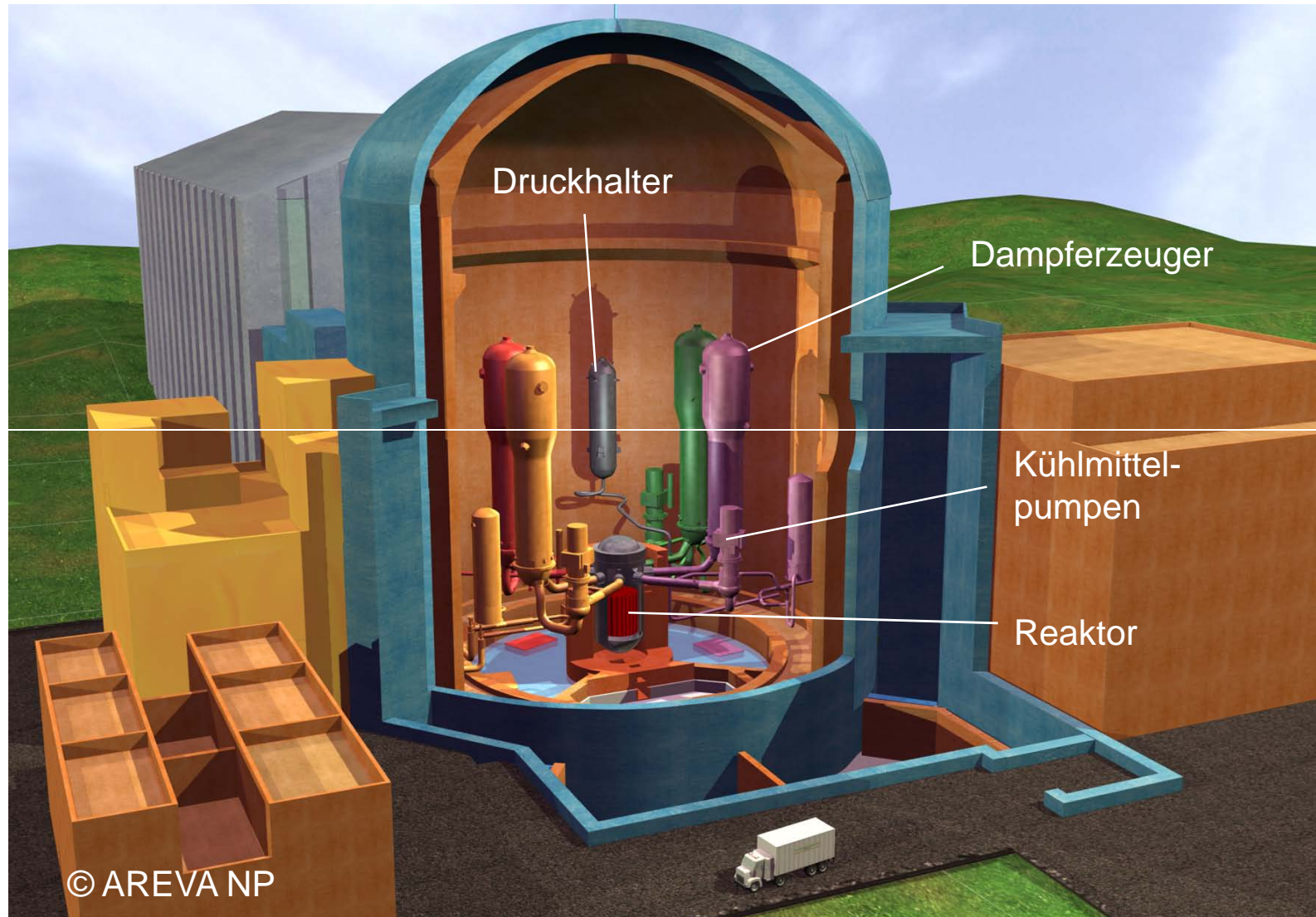


Entwickelt von  
Framatome<sup>1)</sup> und  
Siemens in den 90er  
Jahren basierend auf  
20 Jahren  
Reaktorsicherheits-  
forschung

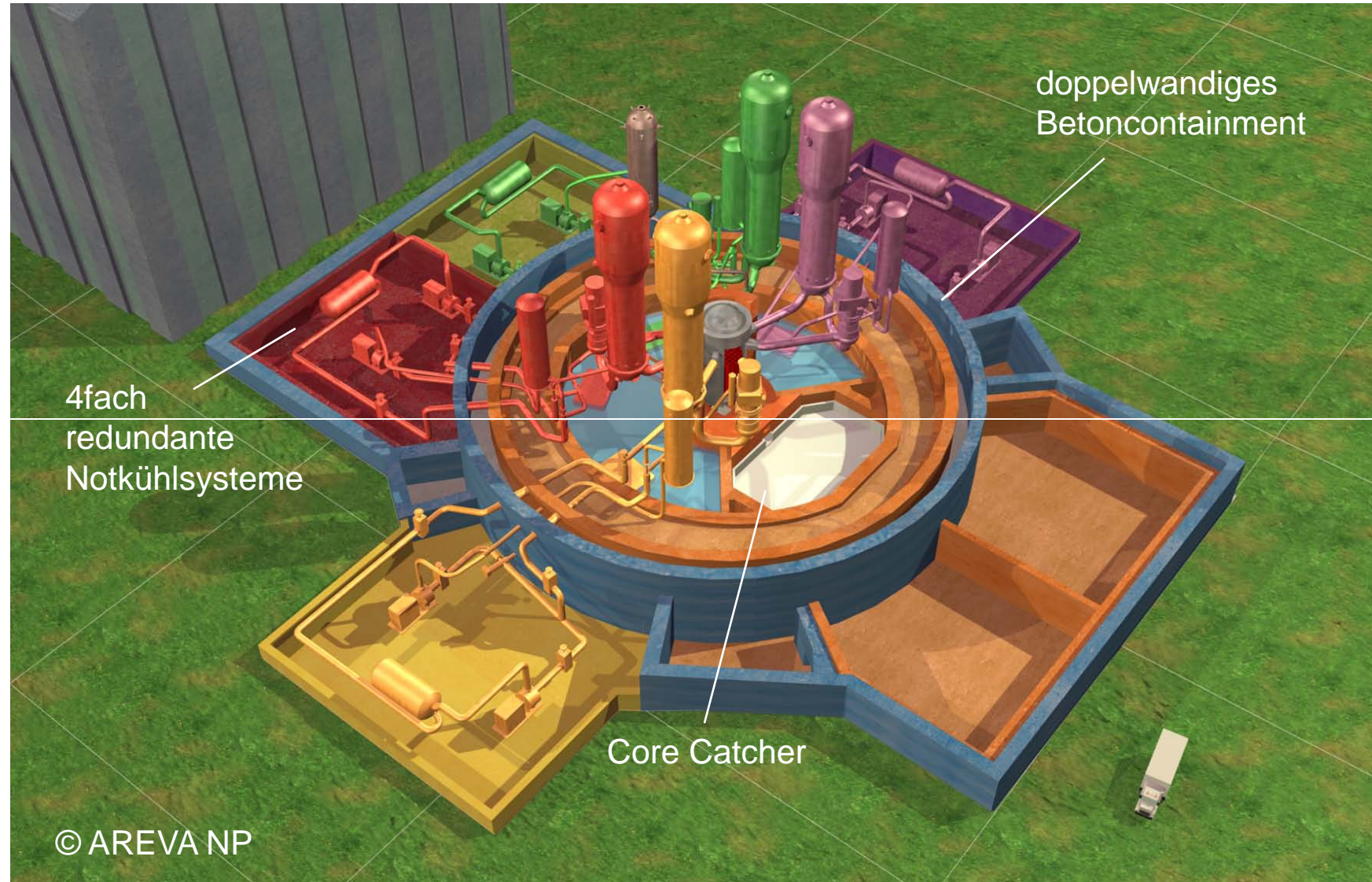
1. Containment
2. Reaktor
3. Flutbecken
4. Ausbreitungsfläche für Kernschmelze
5. Brennelementbecken innerhalb des Containments
6. Brennelementbecken außerhalb des Containments

1) Heute AREVA NP

# Primärsystem des EPR



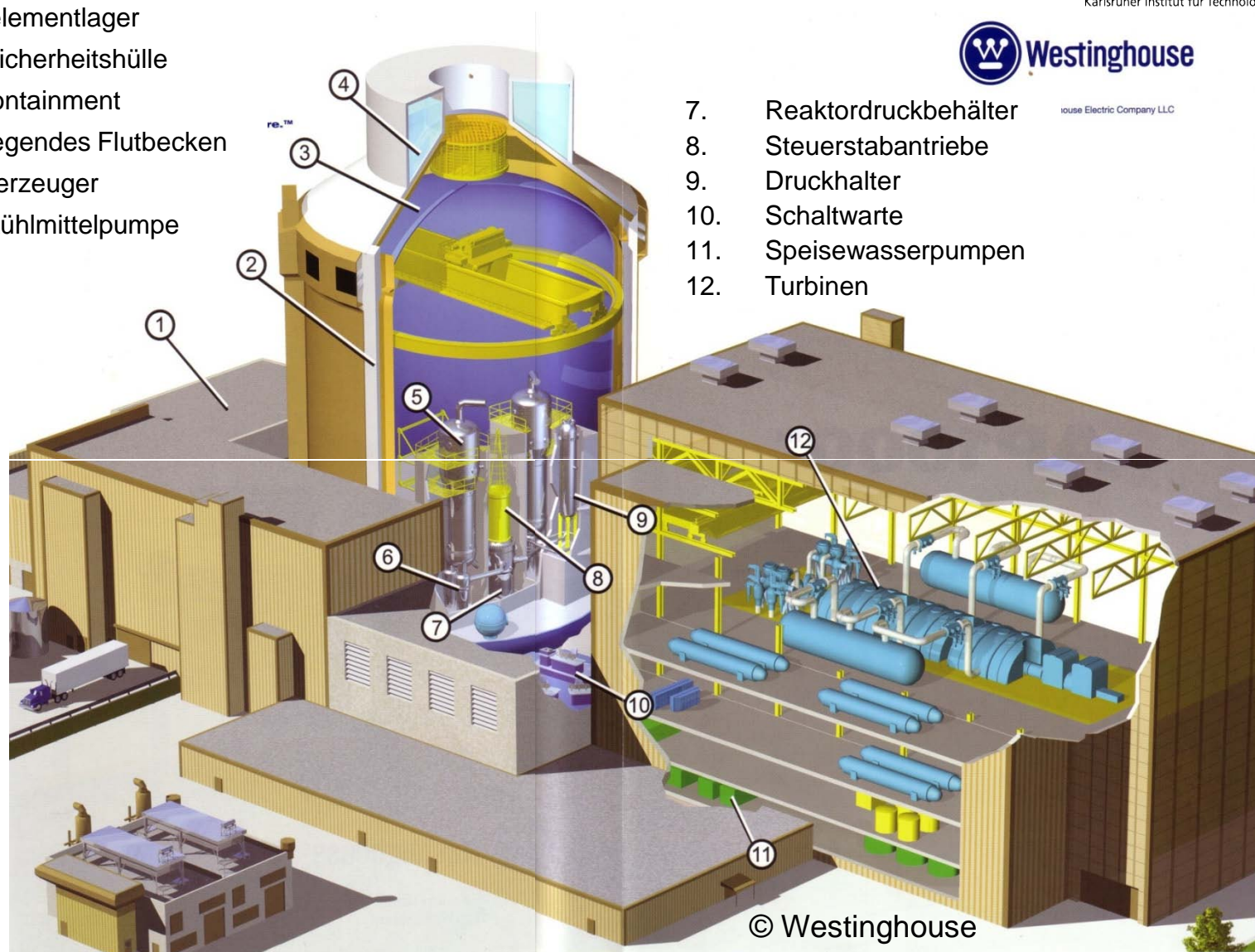
# Verbesserte Sicherheitssysteme des EPR



# AP 1000 mit passiven Sicherheitssystemen

1. Brennelementlager
2. Betonsicherheitshülle
3. Stahlcontainment
4. Hochliegendes Flutbecken
5. Dampferzeuger
6. Hauptkühlmittelpumpe

7. Reaktordruckbehälter
8. Steuerstabantriebe
9. Druckhalter
10. Schaltwarte
11. Speisewasserpumpen
12. Turbinen



## Neu im Vergleich zur 2. Generation

- Zehnmal kleinere Eintrittswahrscheinlichkeit eines schweren Unfalls durch systematische Optimierung aller Systeme
  - Wahrscheinlichkeit eines Kernschmelzunfalls  $< 10^{-6}$  pro Reaktor und Jahr
- Wenn es dennoch zu einem schweren Unfall kommen sollte, sind die Folgen des Unfalls auf das Containment begrenzt
  - Selbst im schlimmsten Fall besteht Notwendigkeit zur Evakuierung nur in unmittelbarer Umgebung des Kraftwerks

Die 3. Generation von Druckwasserreaktoren unterscheidet sich bewusst wenig von der 2. Generation:

- Nutzung erprobter Komponenten soweit möglich
- Kaum Änderung von Dampfdruck und -temperatur
- Verbesserung und Erweiterung der Sicherheitssysteme

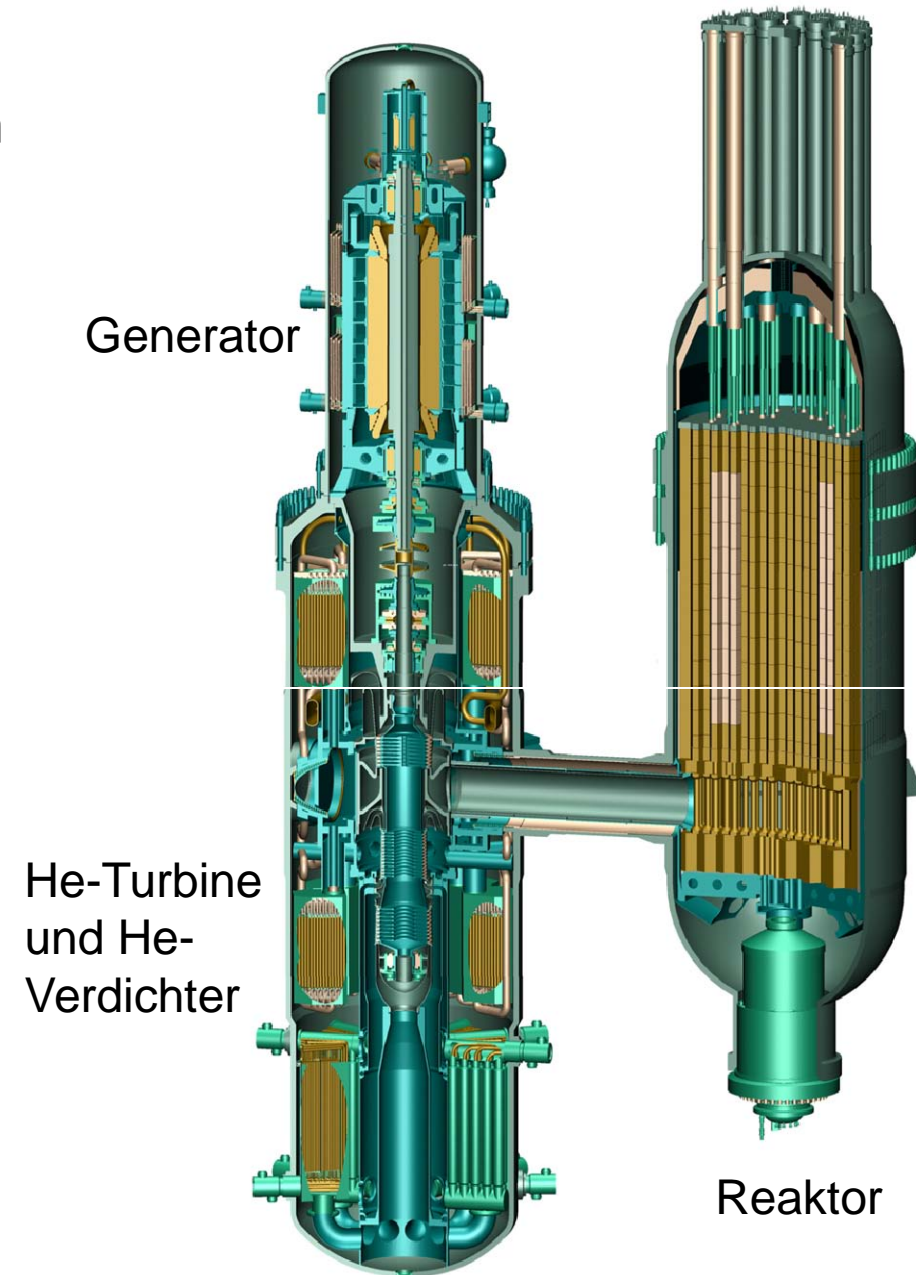
Die 3. Generation ist heute marktreif und kann zur Stromerzeugung in 20 bis 30 Jahren eingesetzt werden.

# Planung und Bau von Druckwasserreaktoren der 3. Generation

- EPR Olkiluoto in Finnland: Baubeginn 2004,
- EPR Flamanville in Frankreich: Baubeginn 2007,
- 4x AP1000 in China, Auftrag an Westinghouse
- 2x EPR in China, Auftrag an AREVA NP
- Derzeit Interesse in USA, England, Schweiz, Südafrika, Indien, u.a.

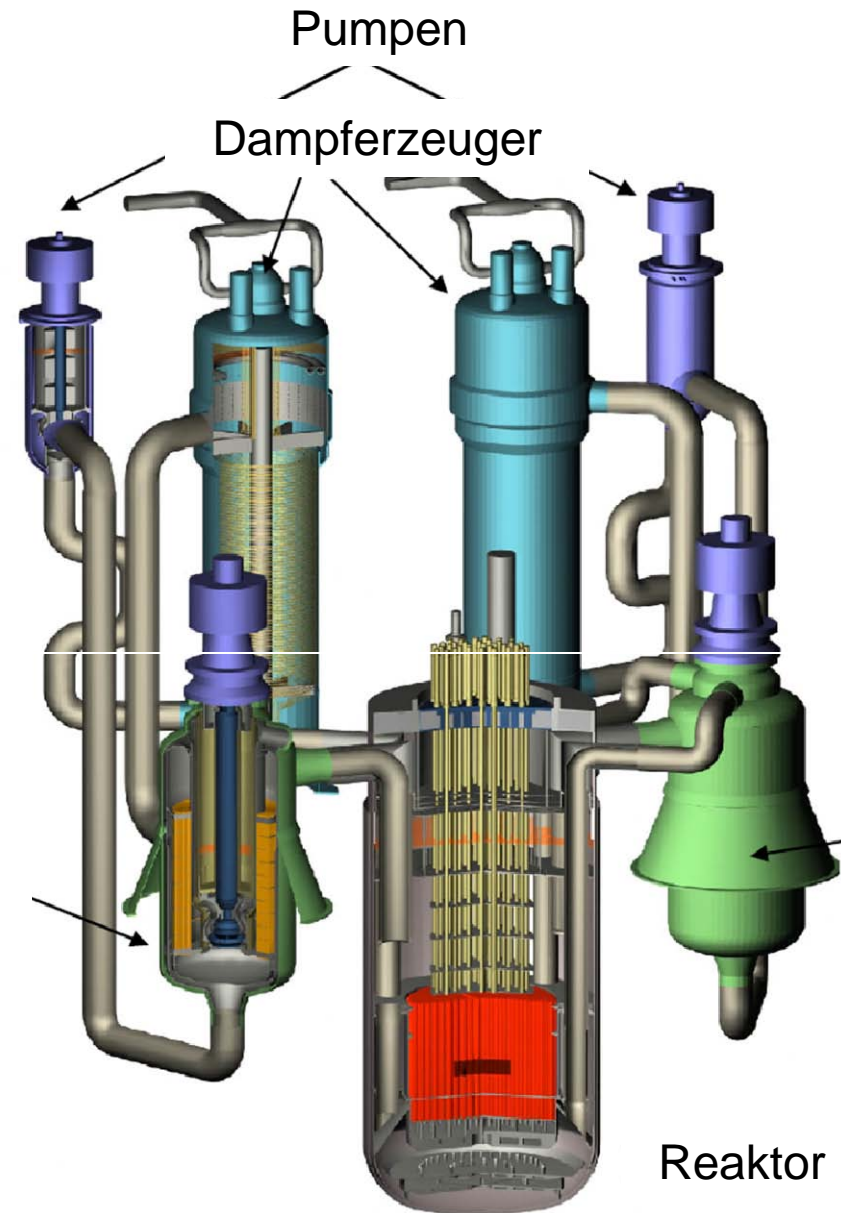
# Konzepte der 4. Generation

- Heliumgekühlte Hochtemperaturreaktoren
  - Prozesswärme mit 800°C, z.B. zur Wasserstoffherstellung
  - Kernenergie nicht nur zur Stromerzeugung
  - Beispiel: Konzept des GT-MHR, General Atomics, USA, Leistung 280 MW<sub>e</sub>

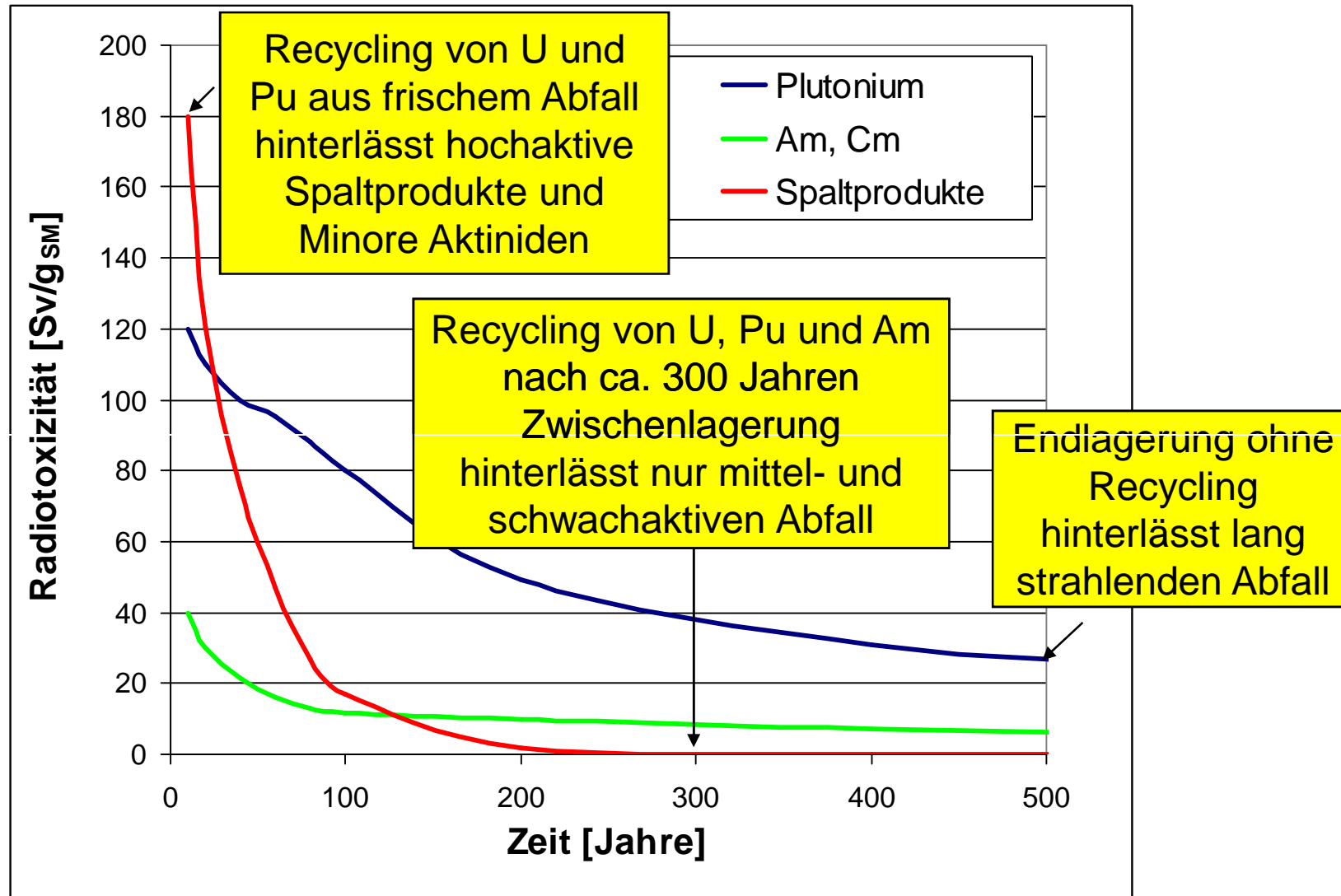


## Konzepte der 4. Generation

- Natrium oder Blei gekühlte schnelle Reaktoren
  - Verwertung des Uran-238 aus der Anreicherung und Recycling des Urans, Plutoniums und Americiums aus abgebrannten Brennelementen
  - Kernenergie für Jahrtausende bei minimalem Abfall
  - Beispiel: Konzept des japanischen JSFR 1500, Natrium gekühlter schneller Reaktor mit 1500 MW<sub>e</sub> Leistung



# Radiotoxizität abgebrannter Brennelemente



## Fazit

- Die 4. Generation bietet langfristig weitere Optionen zur Nutzung der Kernenergie und zur Entsorgung.
- Die 4. Generation von Kernkraftwerken wird voraussichtlich jedoch in den kommenden 50 Jahren noch kaum zur weltweiten Stromerzeugung beitragen.