Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf

Kernreaktoren der dritten und vierten Generation: Konzepte, Pläne, Projekte

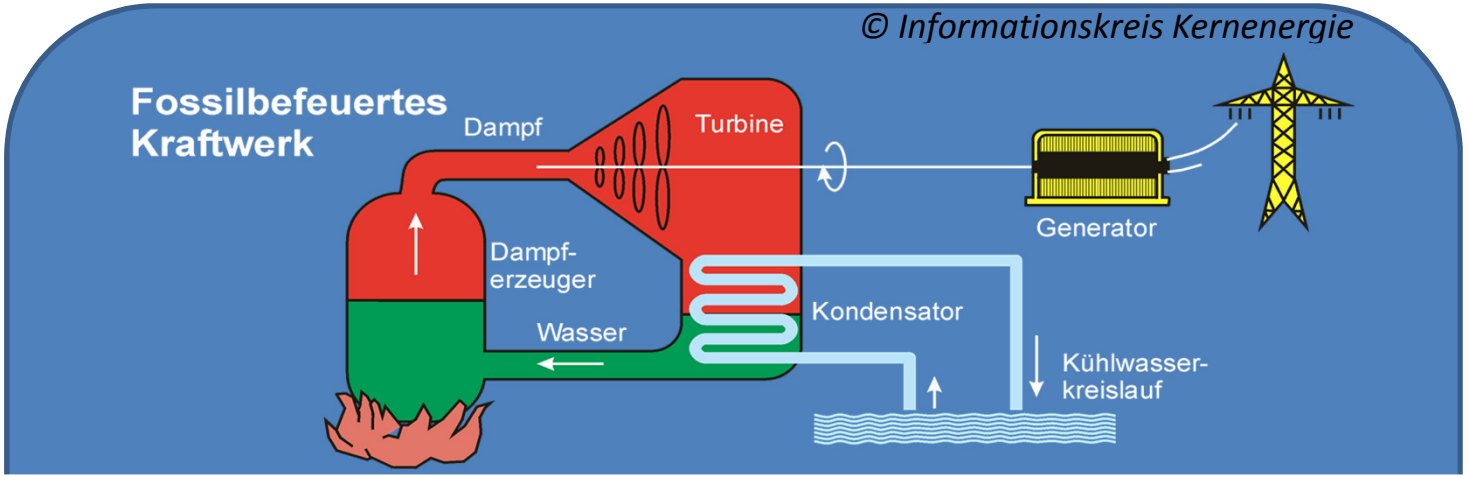
Sören Kliem

21. Februar 2014

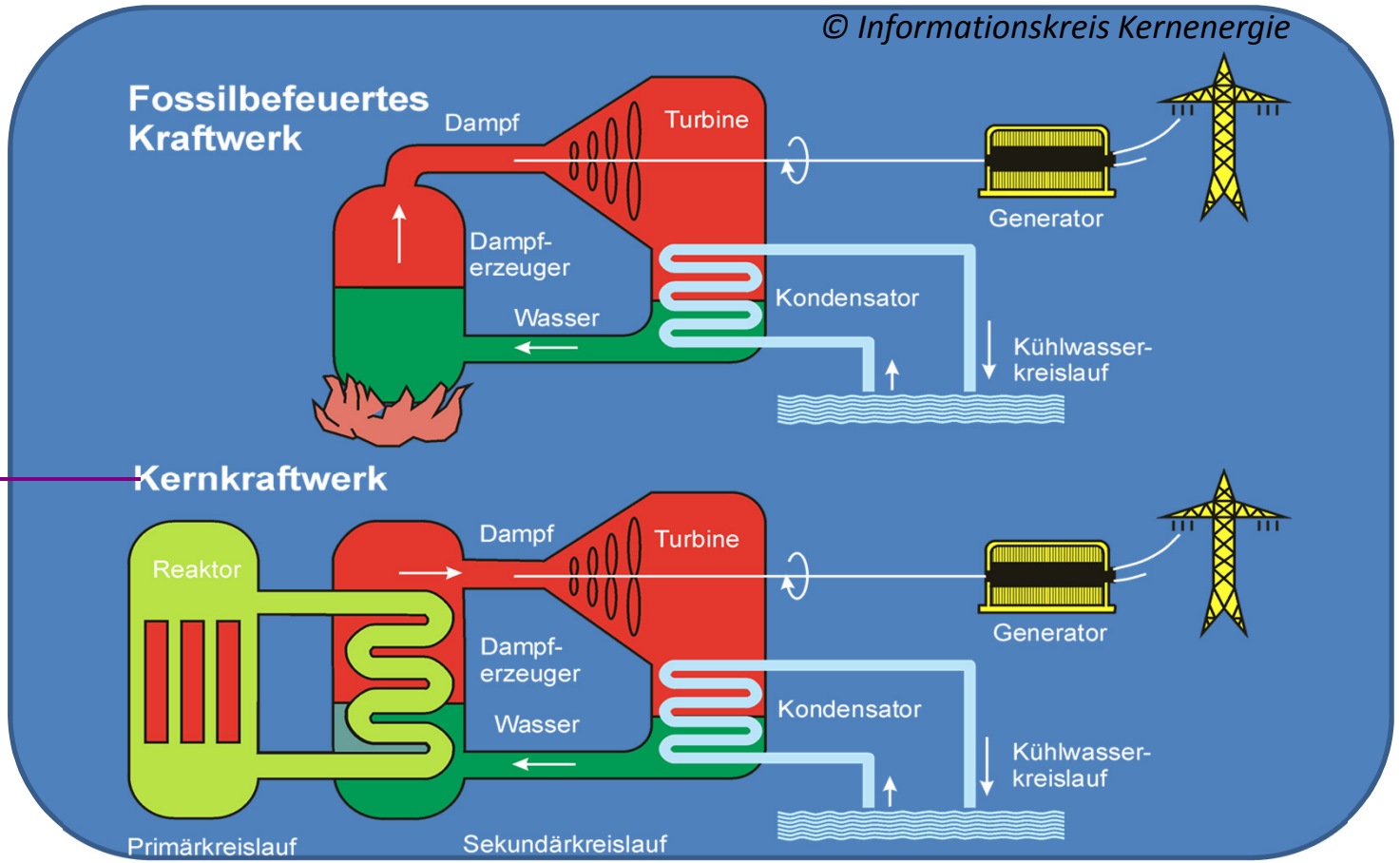
Inhalt

- Funktionsweise von Kernreaktoren
- In Deutschland betriebene Reaktortypen
- Einordnung in die verschiedenen Generationen
- Generation III
- Generation IV

Funktionsweise - Kernkraftwerk



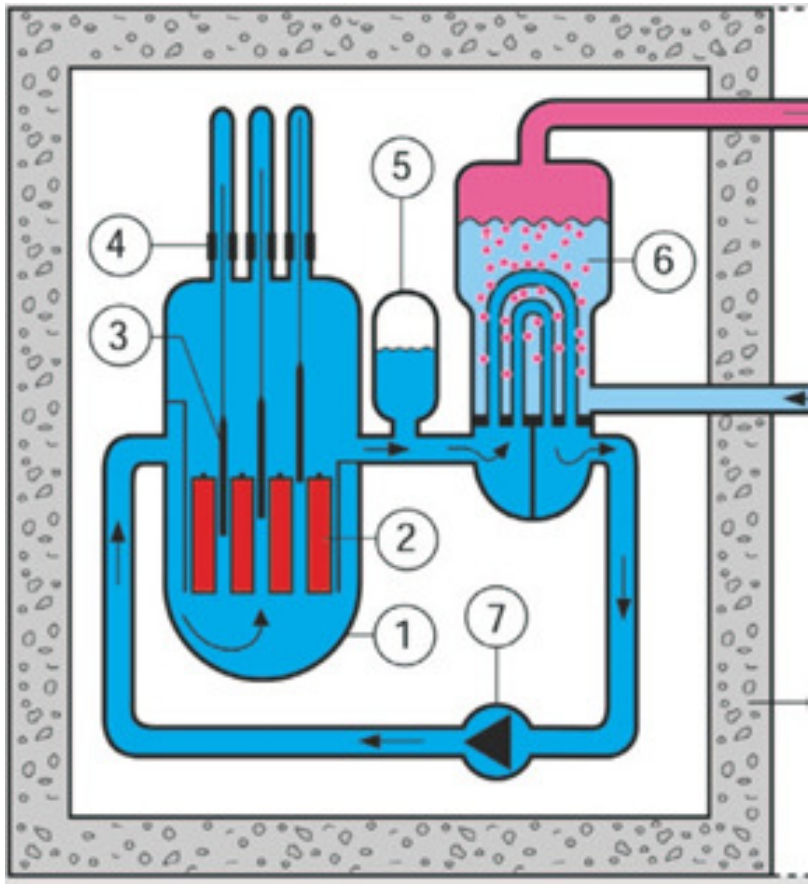
Funktionsweise - Kernkraftwerk

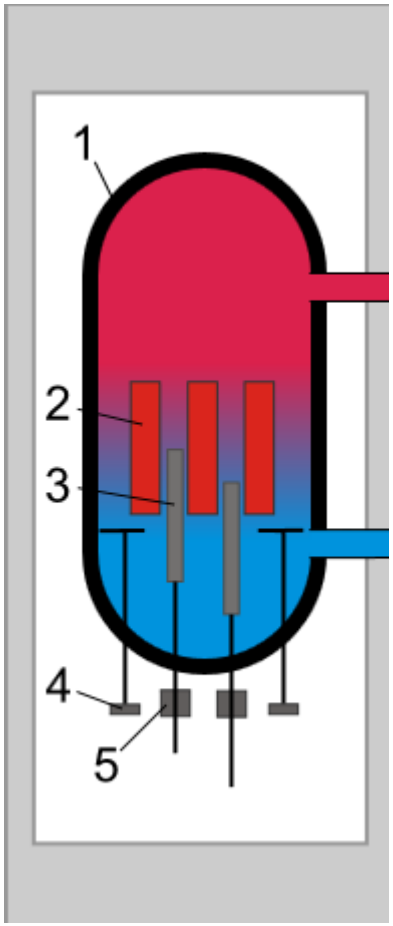


Kernspaltung $E=mc^2$ → Wärmeenergie → Bewegungs-energie → Elektrische Energie

Wärmekraftwerk, bei dem in einem Kernreaktor die Bindungsenergie der Atomkerne in Wärme und mittels Turbine und Generator in elektrische Energie umgewandelt wird.

Unterschied Druck- und Siedewasserreaktor

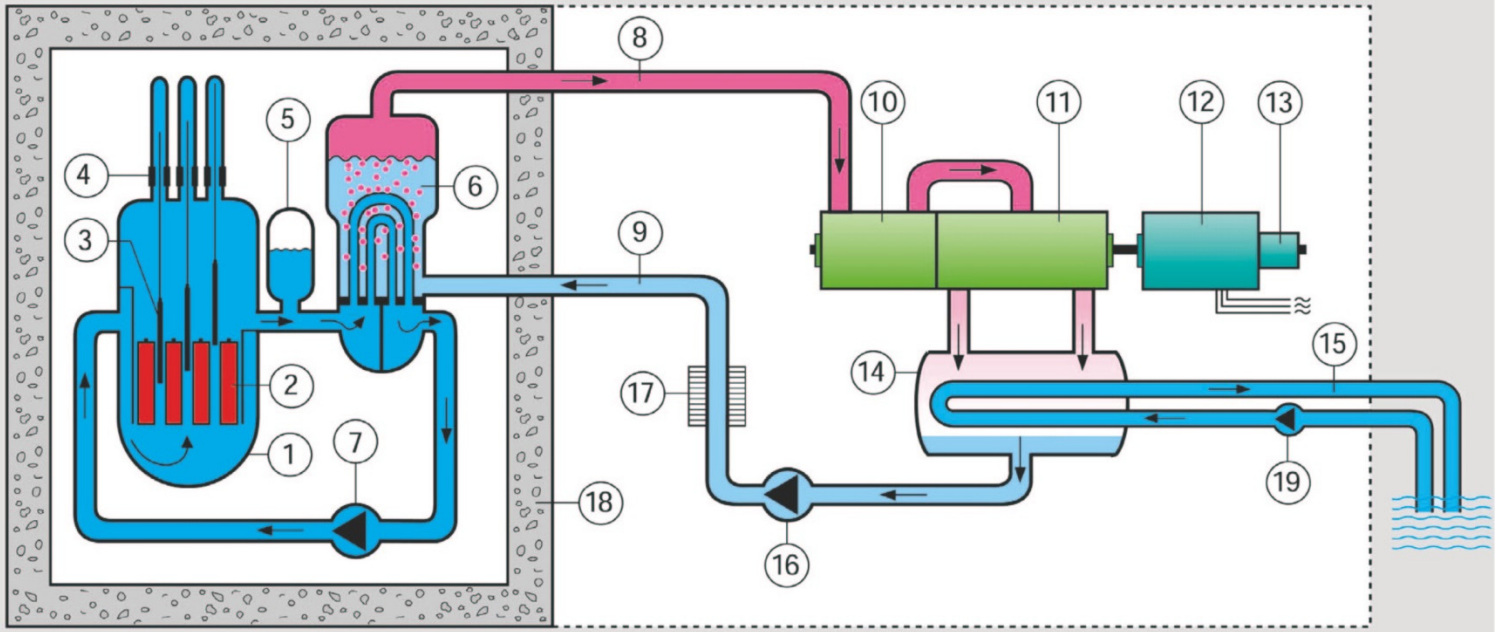




- Druckwasserreaktor
- Siedewasserreaktor

© Informationskreis Kernenergie

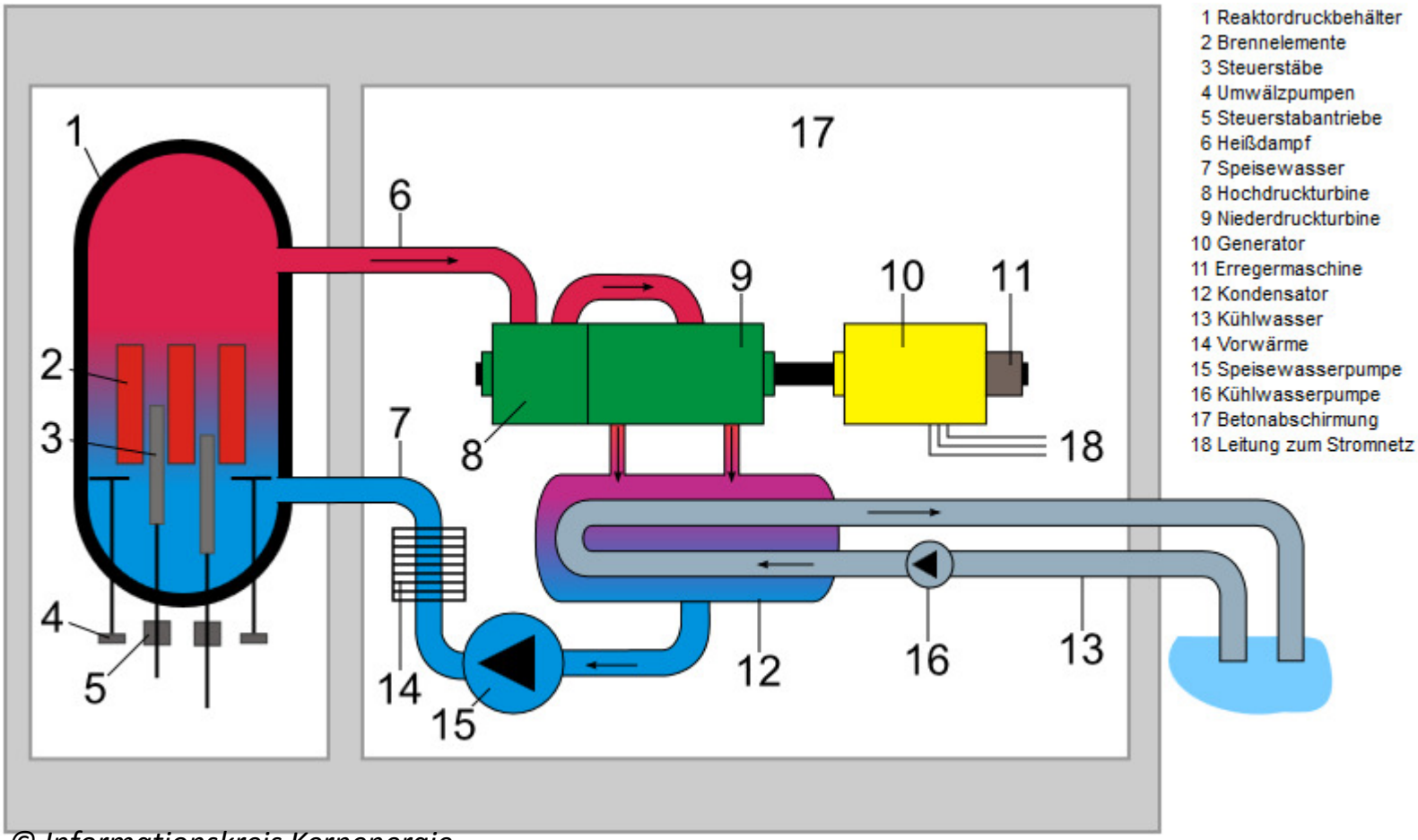
Funktionsweise - Druckwasserreaktor



1 Reaktordruckbehälter
2 Uranbrennelemente
3 Steuerstäbe
4 Steuerstabantriebe
5 Druckhalter
6 Dampferzeuger
7 Kühlmittelpumpe
8 Frischdampf
9 Speisewasser
10 Hochdruckteil der Turbine
11 Niederdruckteil der Turbine
12 Generator
13 Erregermaschine
14 Kondensator
15 Flusswasser
16 Speisewasserpumpe
17 Vorwärmanlage
18 Betonabschirmung
19 Kühlwasserpumpe

Quelle: Informationskreis KernEnergie

Funktionsweise - Siedewasserreaktor

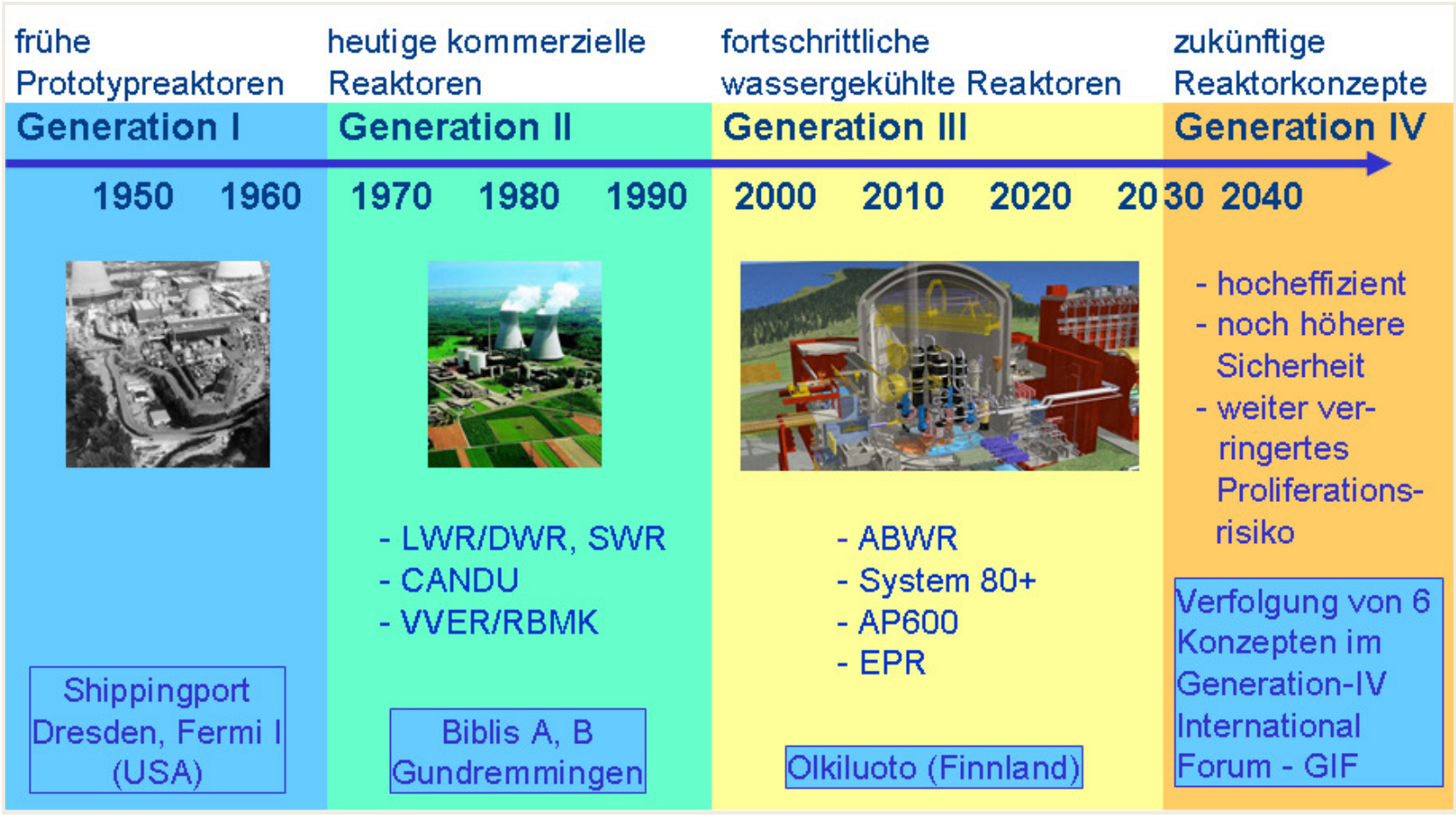


© Informationskreis Kernenergie

KKW in Deutschland

	Abschaltjahr (jeweils: 31.12.)
Druckwasserreaktoren	
Grafenrheinfeld	2015
Philippsburg II	2019
Grohnde	2021
Brokdorf	2021
Isar II	2022
Neckarwestheim II	2022
Emsland	2022
Siedewasserreaktoren	
Gundremmingen B	2017
Gundremmingen C	2021

Übersicht über die verschiedenen Generationen von KKW



- Zeiträume der Inbetriebnahme

Generation III

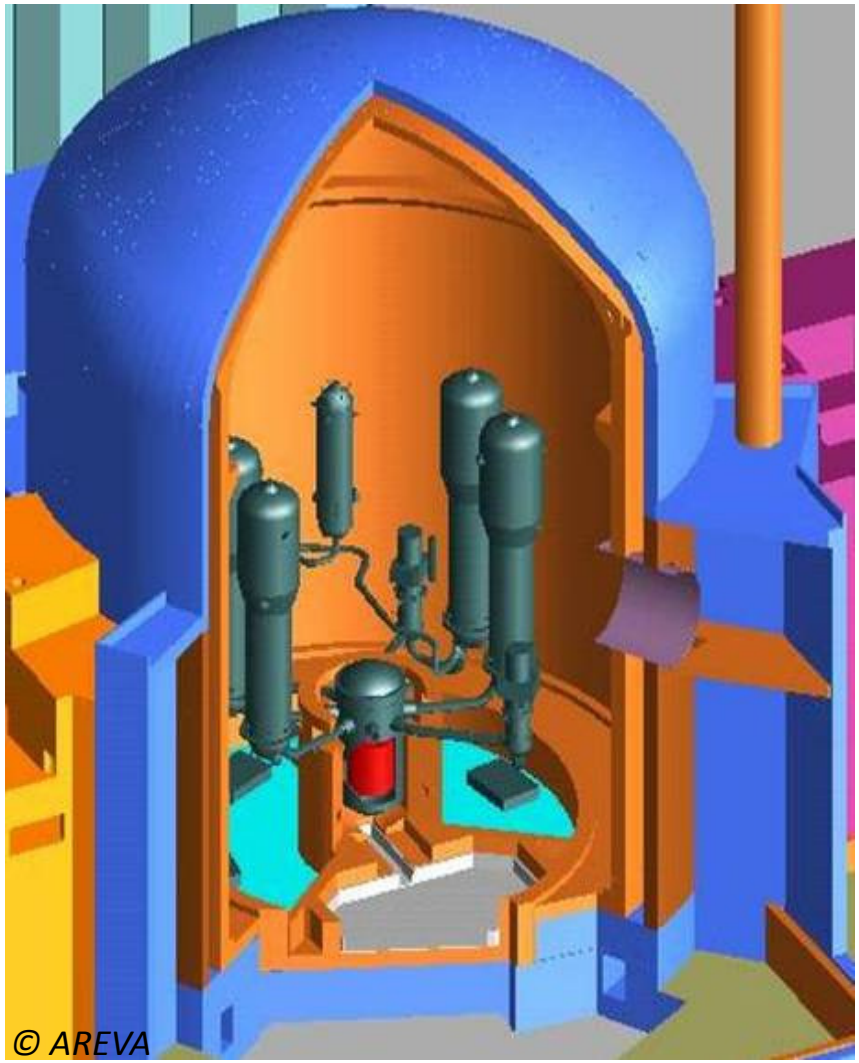
Generation III

- Evolutionäre Konzepte, basierend auf existierenden Anlagen (GEN-II)
- Verbesserte Sicherheitseigenschaften (z.B. Flugzeugabsturz)
- Bessere Brennstoffausnutzung und längere Lebensdauer der Anlage
- Begrenzung der Auswirkungen eines hypothetischen Kernschmelzunfalls auf die Anlage
- Passive Systeme zur Störfallbeherrschung

European Pressurized Reactor (EPR™)

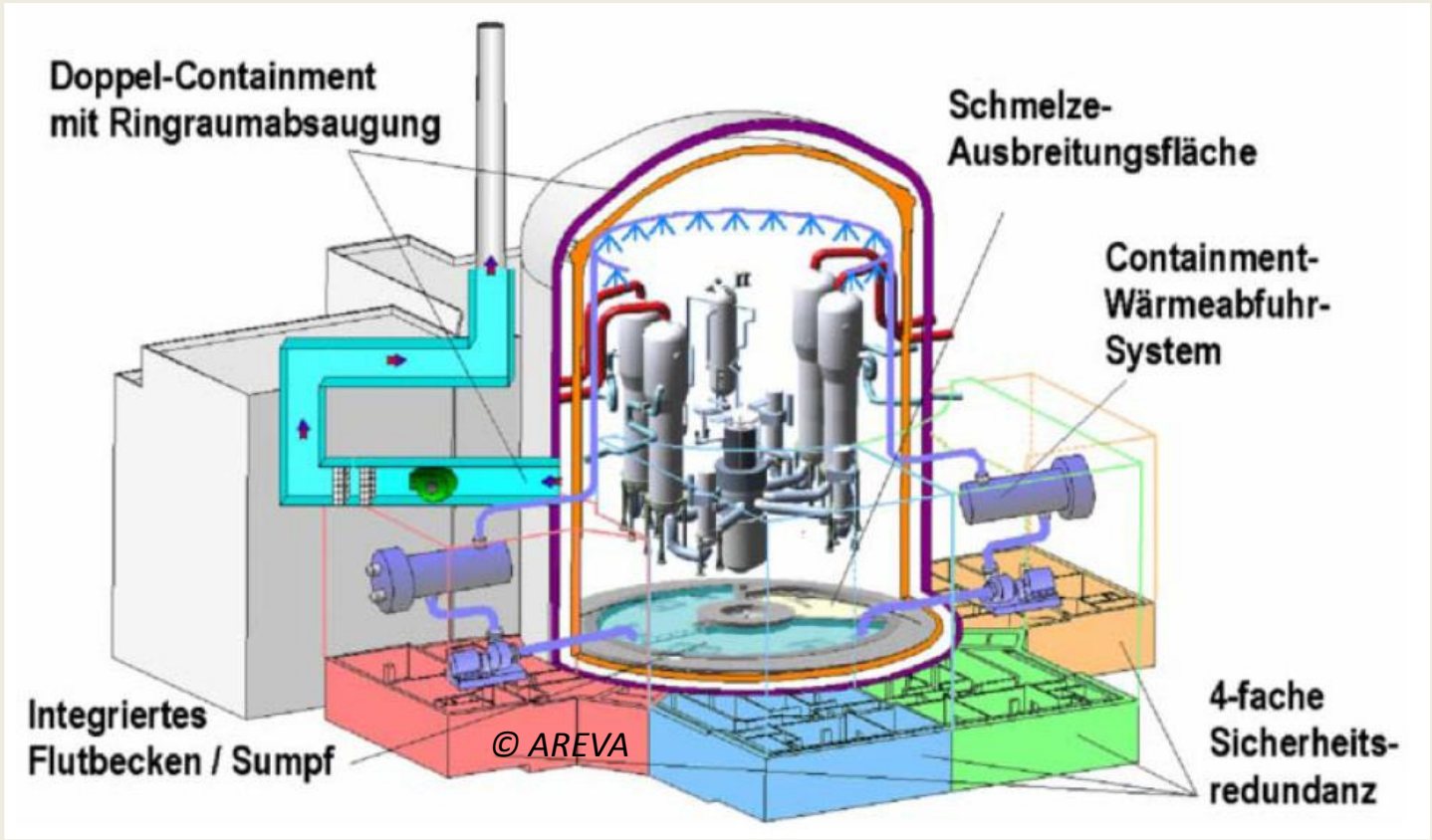
- Gemeinsame Entwicklung von Siemens/KWU (Deutschland) und Framatome (Frankreich)
  - Seit 1989
  - Heute: alles im AREVA-Konzern konzentriert
- Ansatz
  - Evolutionäre Weiterentwicklung
  - Erfahrungsübernahme aus französischen und deutschen KKW
  - Bewährte Technologie
  - Verbesserte Sicherheitseigenschaften
  - leicht erhöhte Leistung (1600MW)

European Pressurized Reactor (EPR™)



- Schema des Reaktoraufbaus

European Pressurized Reactor (EPR™)



- Übersicht über die verbesserten Sicherheitseigenschaften

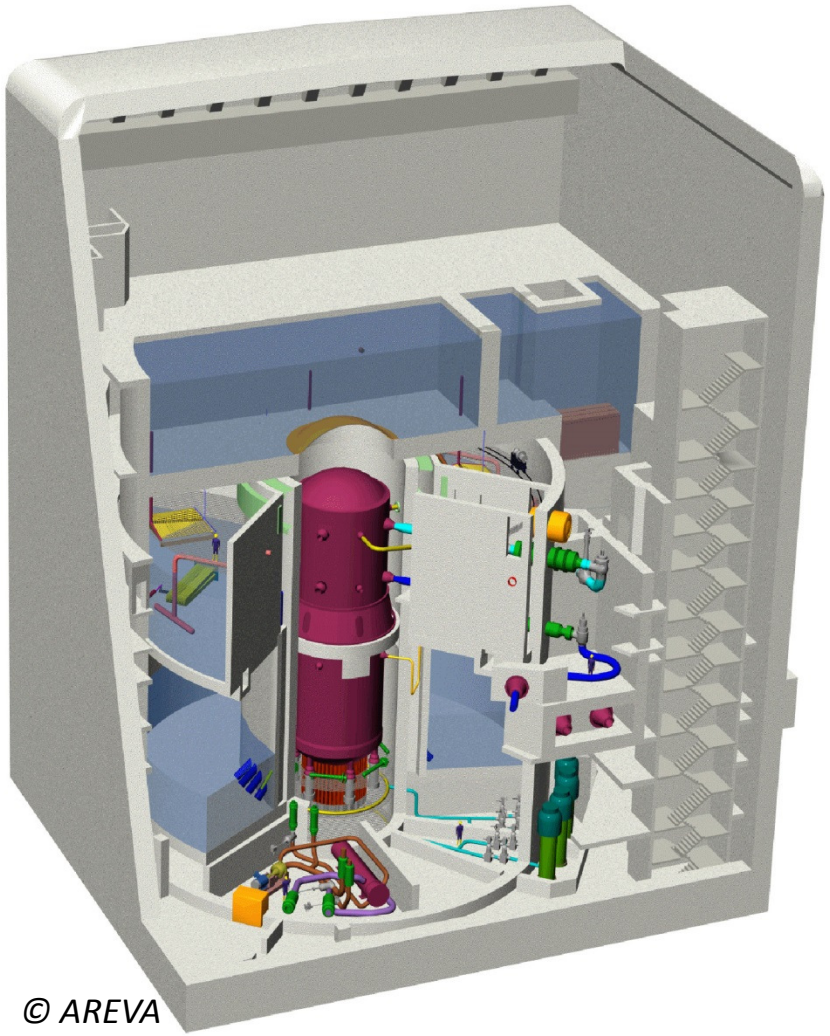
European Pressurized Reactor (EPR™)

- Auffangbecken für Kernschmelze

KERENA™

- Siedewasserreaktor mit 1250MW Leistung
- Entwicklung von AREVA Deutschland
- Basiert auf der deutschen Siedewasserreaktortechnologie
  - Speziell Gundremmingen
  - Erfahrungsübernahme
- Evolutionär
- Fokus: passive Sicherheitssysteme

KERENA™



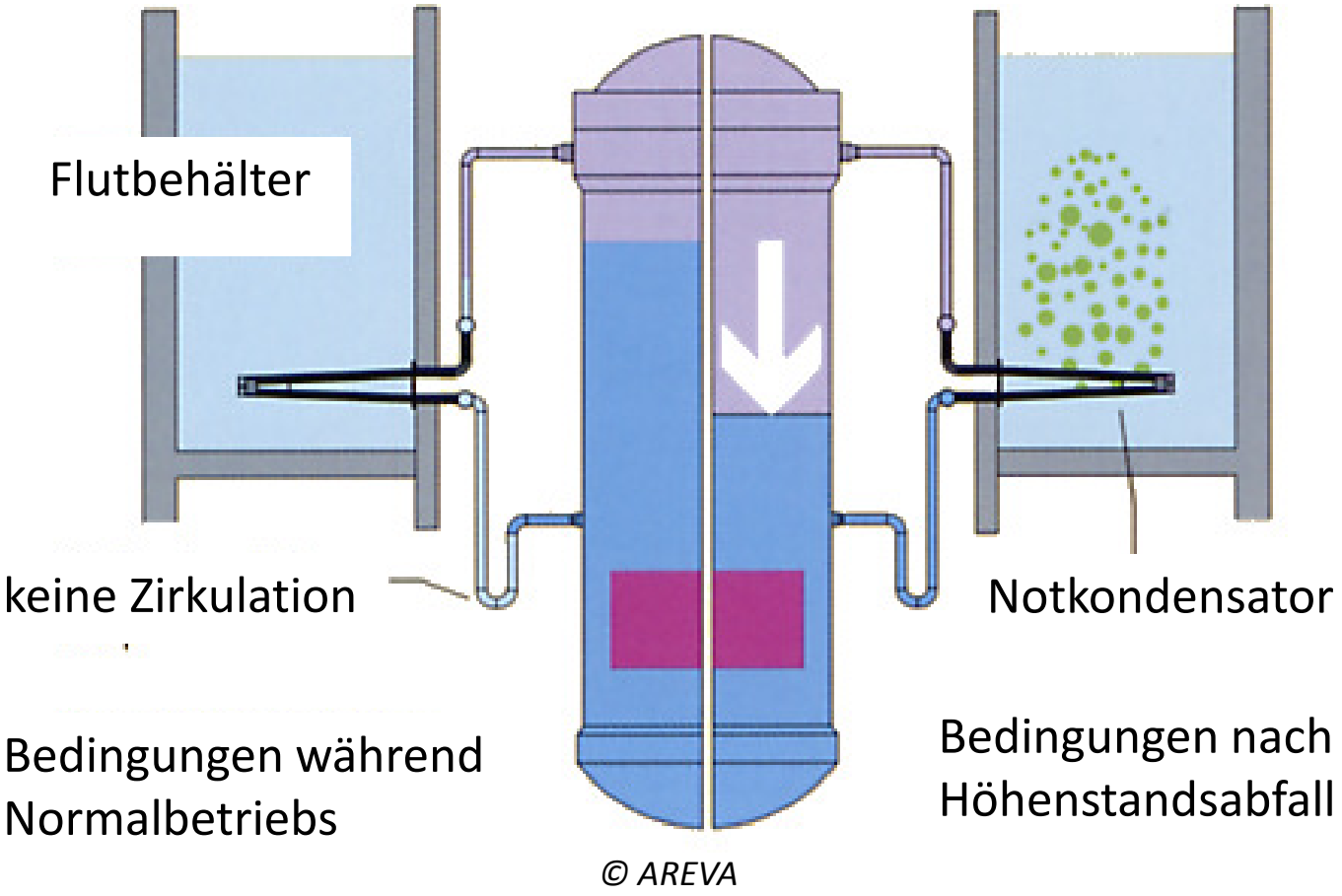
© AREVA

- Schema des Reaktoraufbaus

KERENA™

- Konsequente Einführung passiver Sicherheitssysteme
  - Funktionieren ohne aktives Eingreifen
  - Ohne Strom
- Alle aktiven Sicherheitssysteme haben passive Back-ups
- Störfallbeherrschung auf Basis passiver Systeme möglich
- Beherrschung schwerer Störfälle (Kernschmelze) im Reaktordruckbehälter

KERENA™ - Beispiel für passives System



© AREVA

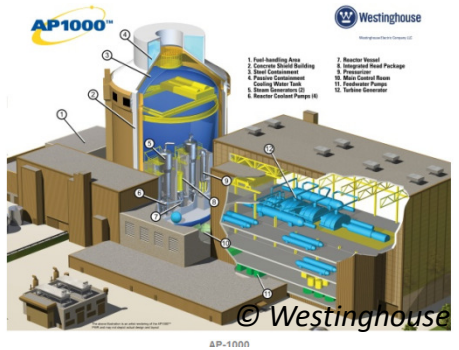
- Funktionsprinzip des Notkondensators

Andere Konzepte (Beispiele)

- Russland
  - WWER-1200
    - passive Systeme
    - für russischen und Weltmarkt

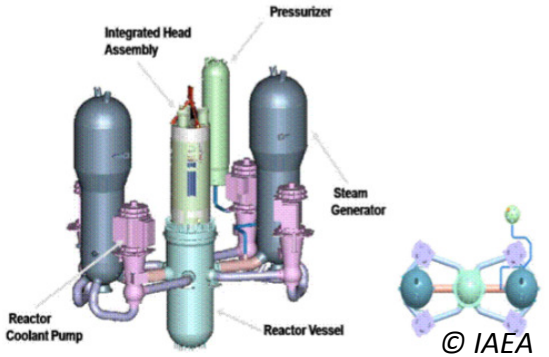
© ROSATOM

- USA
  - AP 1000 (Westinghouse)
    - Sicherheit
    - Ökonomie



© Westinghouse

- Südkorea
  - APR-1400
    - Sicherheit
    - Ökonomie



© IAEA

Realisierung von Projekten

- EPR
  - Finnland (1)
  - Frankreich (1+1)
  - China (2)
  - Großbritannien (2)
- WWER-1200
  - Russland (4+2)
  - Belarus (2)
  - Bulgarien (2 - gestoppt (seitens Bulgarien))
  - Türkei (4)
  - Finnland (1 – Vertrag unterzeichnet)

- EPR in Finnland

Realisierung von Projekten

- AP 1000
  - China (4)
  - USA (2+2)

- AP1000 in Vogtle (USA)

- APR-1400
  - Südkorea (4+4)
  - Verein. Arabische Emirate (2+2)

- Shin Kori 3&4 (Südkorea)

Generation IV

Generation IV

- Revolutionäre Weiterentwicklung
- 4 Hauptziele
  - Hohe Sicherheit und Zuverlässigkeit (keine externen Notfallmaßnahmen)
  - Abfallreduzierung und Verkürzung der Endlagerung (durch Transmutation langlebiger Radionuklide)
  - Geringes Proliferationsrisiko und hohe physische Sicherheit
  - Verbesserte Brennstoffausnutzung und hohe Wirtschaftlichkeit

Weltweite Kooperation im GIF

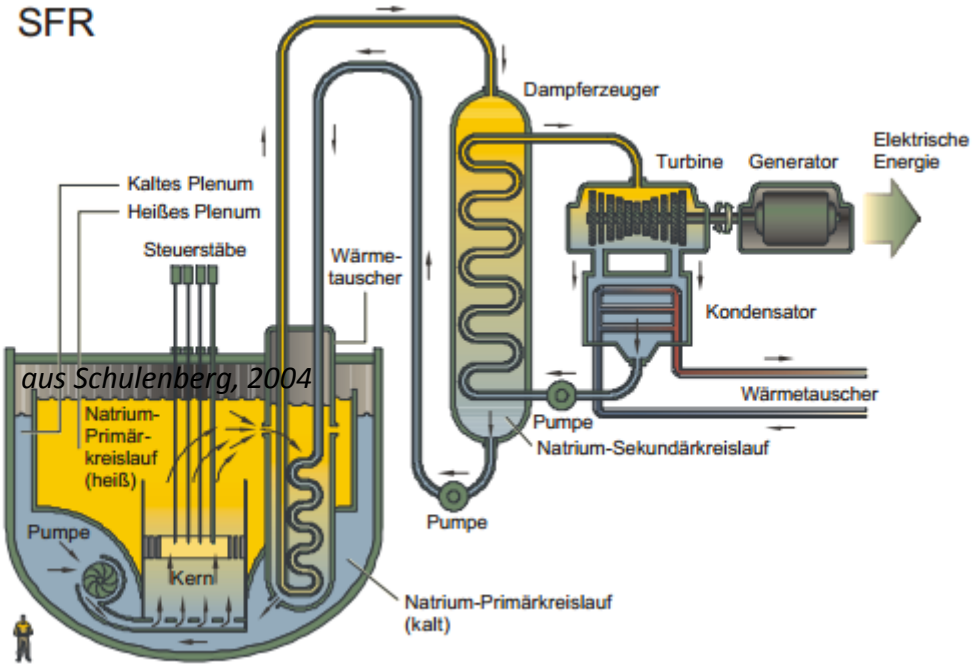
(GenIV International Forum)

GIF (GenIV International Forum)

- gegründet 2001
- Gründungsmitglieder
  - Japan, USA, Kanada, Argentinien, Brasilien, Südafrika, Südkorea, Frankreich, Großbritannien,
- später beigetreten
  - Schweiz, EU (Euratom), China ; Russland
- seit 2002
  - Auswahl von 6 innovativen Reaktorsystemen
  - Technologie-Roadmap
    - Ziel: industrielle Verfügbarkeit gg. 2035
  - Identifizierung von Forschungsbereichen
  - Planung der Forschungsarbeiten
  - Koordination von Projekten

Natriumgekühlter Schneller Reaktor (SFR)

- Geschlossener Brennstoffkreislauf
- Flüssiges Natrium als Kühlmittel
- Hohe Wärmeabfuhr
- Teilweise positive Rückkopplung



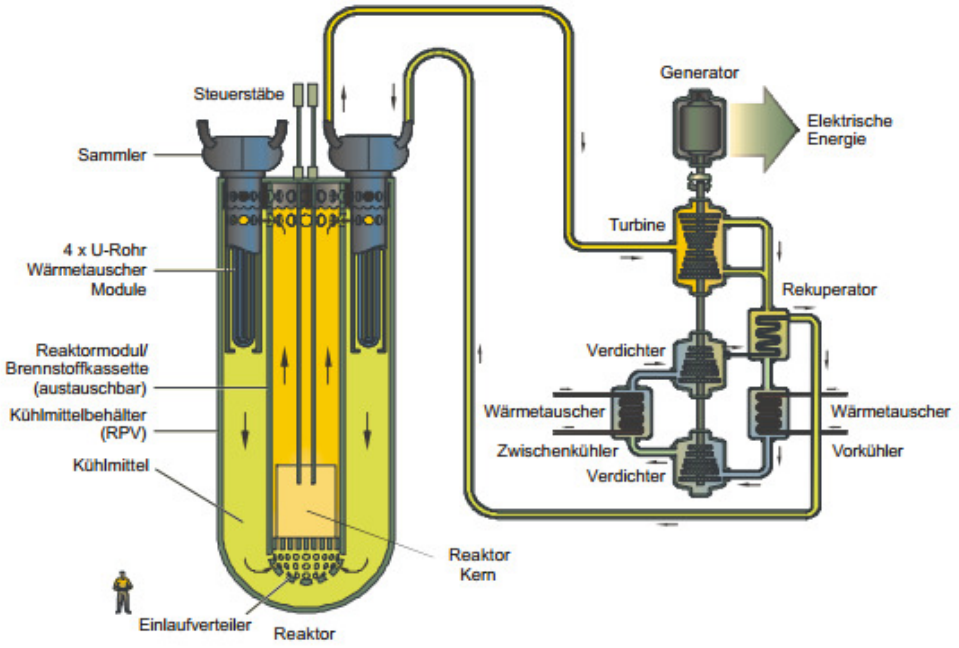
aus Schulenberg, 2004

Schulenberg, Th. et al.: „Was ist Generation IV?“, FZKA6967, 2004

Bleigekühlter Schneller Reaktor (LFR)

- Flüssiges Blei oder Blei/Wismut als Kühlmittel
- Geschlossener Brennstoffkreislauf
- Hohe Wärmeabfuhr
- Interaktion von Blei und Konstruktionswerkstoffen

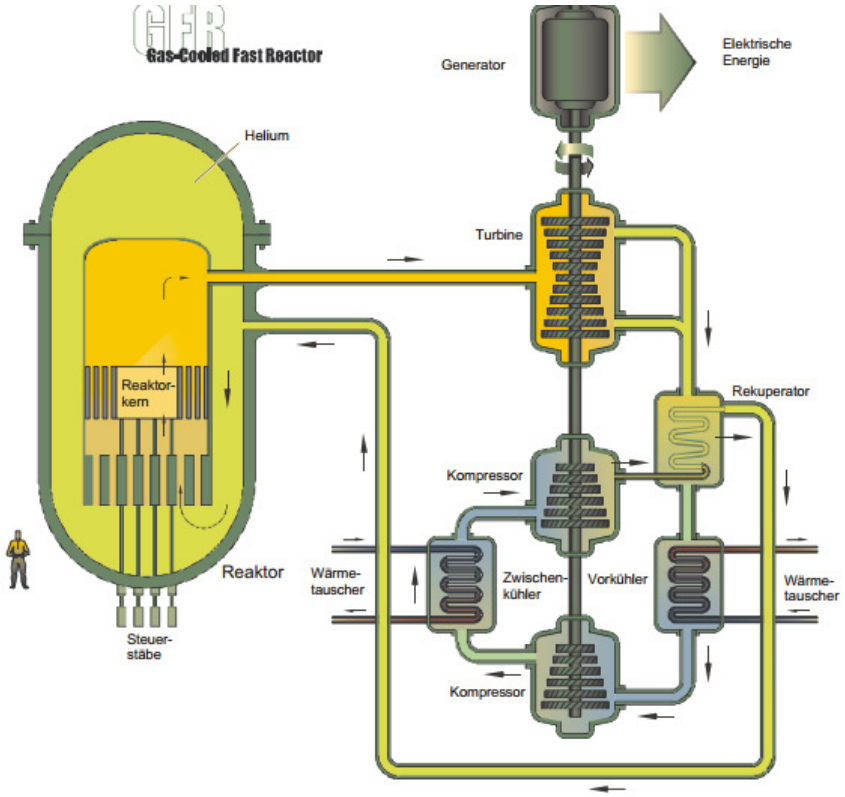
LFR



aus Schulenberg, 2004

Gasgekühlter Schneller Reaktor (GFR)

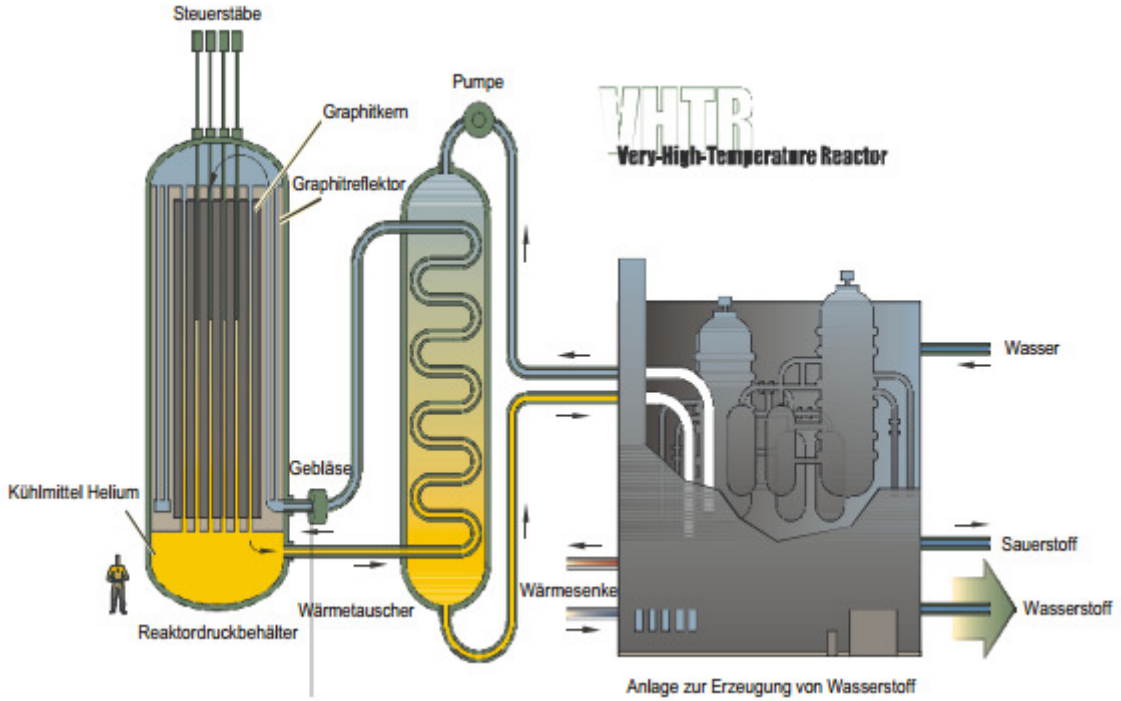
- Helium (Gas) als Kühlmittel
- Hohe Austrittstemperatur
- Geringe Wärmekapazität



aus Schulenberg, 2004

Höchsttemperaturreaktor (VHTR)

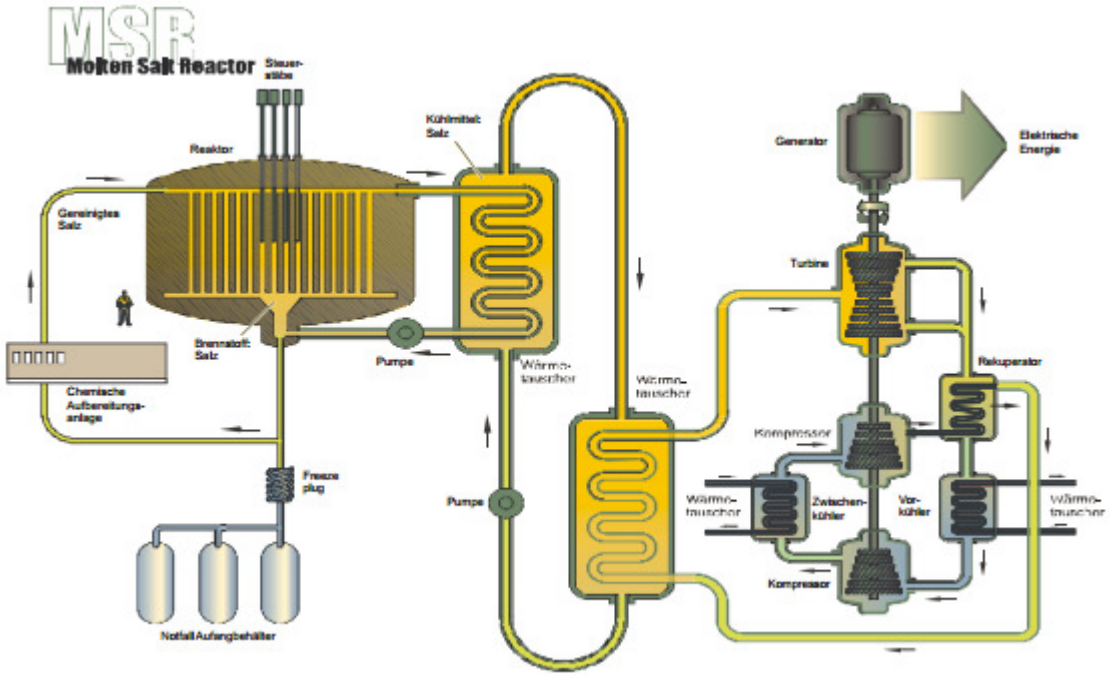
- Helium als Kühlmittel
- Parallele Produktion von Strom und Prozesswärme
- Materialprobleme (hohe Temperaturen)



aus Schulenberg, 2004

Salzschmelze-Reaktor (MSR)

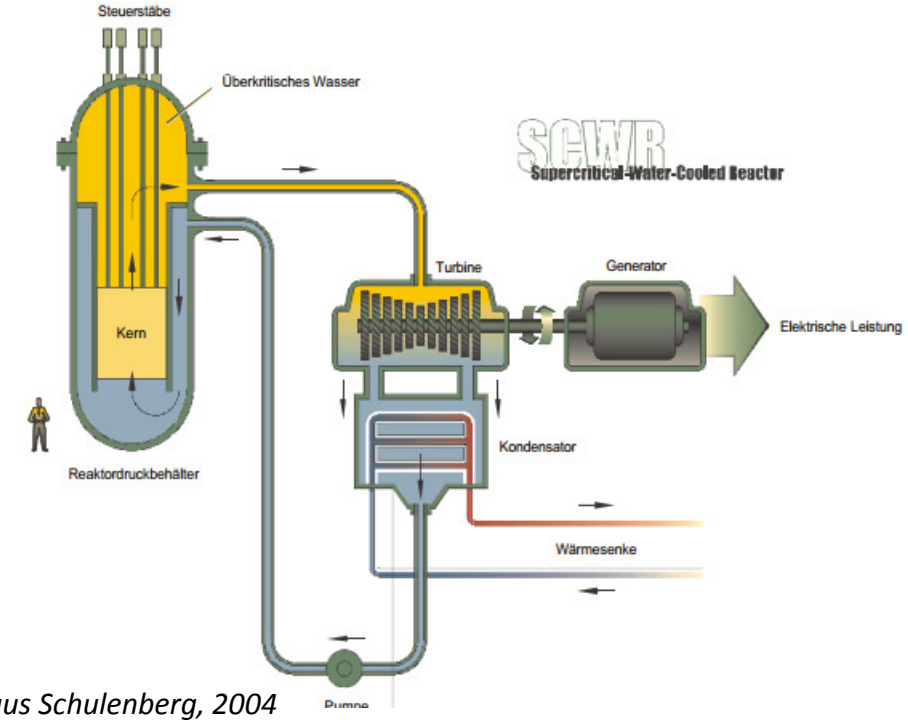
- Umwandlung von radioaktiven Abfällen möglich
- Inhärente Sicherheit durch passive Entleerung
- Materialprobleme (Korrosion)



aus Schulenberg, 2004

Leichtwasserreaktor mit überkritischem Dampf (SCWR)

- Höherer Wirkungsgrad
- Basiert auf erprobter Technologie
- Werkstoffprobleme (Festigkeit)



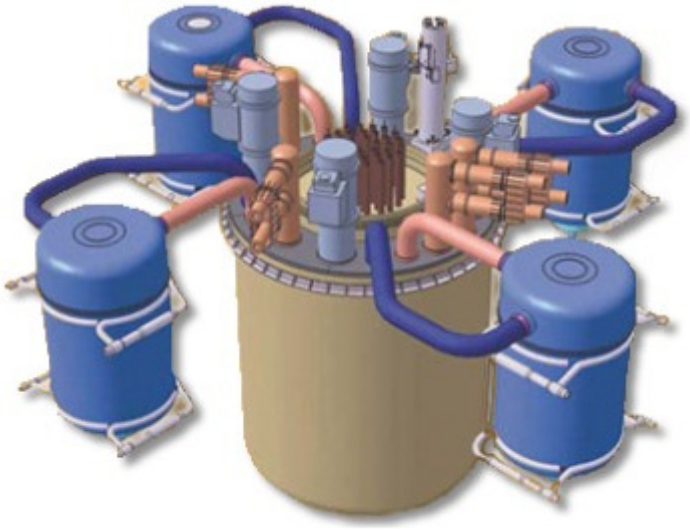
aus Schulenberg, 2004

Generation IV - Übersicht

	SFR	LFR	GFR	VHTR	MSR	SCWR	DWR
Therm. Leistung [MW]	1000-5000	125-3600	600	600	3000	3500	4000
Leistungs-dichte [MW/m^3]	350	350	100	6-10	22	100	100
Kühlmittel	Natrium	Blei	Helium	Helium	Salz	Wasser	Wasser
Druck [bar]	1	1	90	80	1	250	158
Austritts-temperatur [°C]	550	550	850	900	700	510	340
Neutronen-spektrum	schnell	schnell	schnell	thermisch	thermisch / schnell	thermisch	thermisch
Anzahl Kreisläufe	3	2	1	1; 2	2	1	2

Generation IV - Projekte

- SFR
  - ASTRID (Frankreich)
  - Detaillierte Designplanungen
  - Prototyp möglich (2025)
- LFR
  - MYRRHA (Belgien)
  - Planungen laufen
  - Internationale Partner gesucht
    - Europäische Lösung
- GFR
  - ALLEGRO Project
  - Forschungskonsortium
    - Frankreich, Ungarn, Tschechien, Slowakei, Polen



Astrid's primary circuit (Image: CEA)

Zusammenfassung

- Generation III
  - Evolutionäre Weiterentwicklung heute betriebener Reaktoren
  - Fokus auf Sicherheit und Ökonomie
    - Übernahme von Erfahrungen
  - Eine ganze Reihe von Anlagen im Bau
- Generation IV
  - Neue (revolutionäre) Ansätze
  - Weltweite Forschung an 6 Konzepten
  - Einzelne Projekte werden vertieft
  - Beginn des Baus von Demonstrationsanlagen zu 1 -2 Konzepten zu erwarten (2020er Jahre)

Danke für die Aufmerksamkeit

Mein Dank gilt auch Herrn Dr. Frank Schäfer für die Bereitstellung einiger Folien.