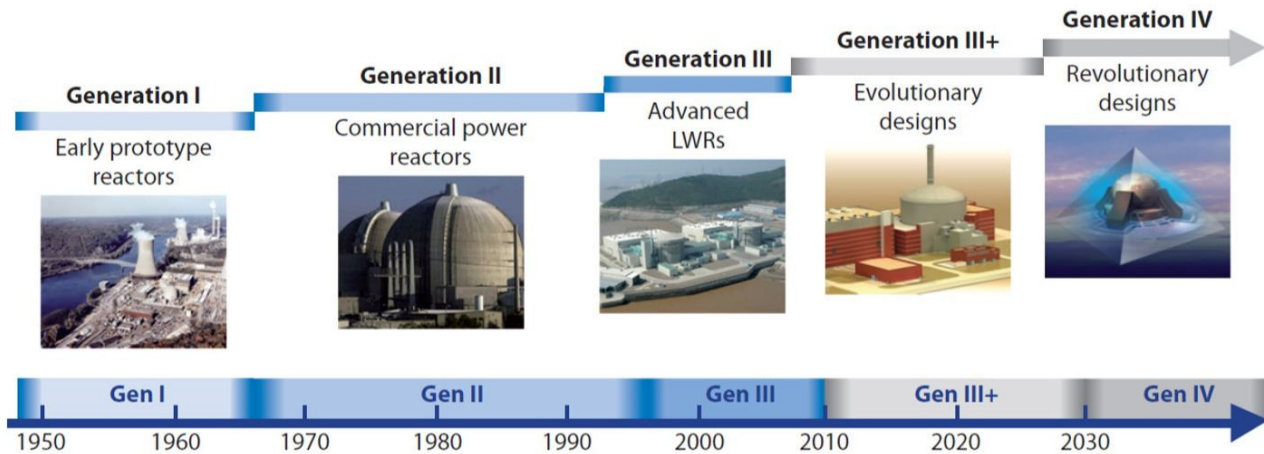


Kernkraftwerke der Generation IV

GIF : Generation IV International Forum



Gründung im Jahr 2000 ; Initiative US Department Of Energy

Ziel : internationale Zusammenarbeit zur Entwicklung zukünftiger Kernreaktoren ; regelmäßige Konferenzen von Fachgruppen

Technische Ziele:

- effizientere Nutzung (vor allem Brüter-Technik)
- geringe Menge radioaktiver Abfallstoffe („closed cycle“), kein Endlager erforderlich
- Wirtschaftlichkeit
- Sicherheit (Lehren aus TMI, Fukushima, Tschernobyl), inhärent sicher
- erschwerter Missbrauch für Kernwaffenproduktion („proliferation resistance“)

- erweiterte Anwendungen: Wasserstoffproduktion, Meerwasserentsalzung

Sechs Reaktortypen aus 130 Vorschlägen ausgewählt
th: thermische Neutronen, schn: schnelle Neutronen → Brüter

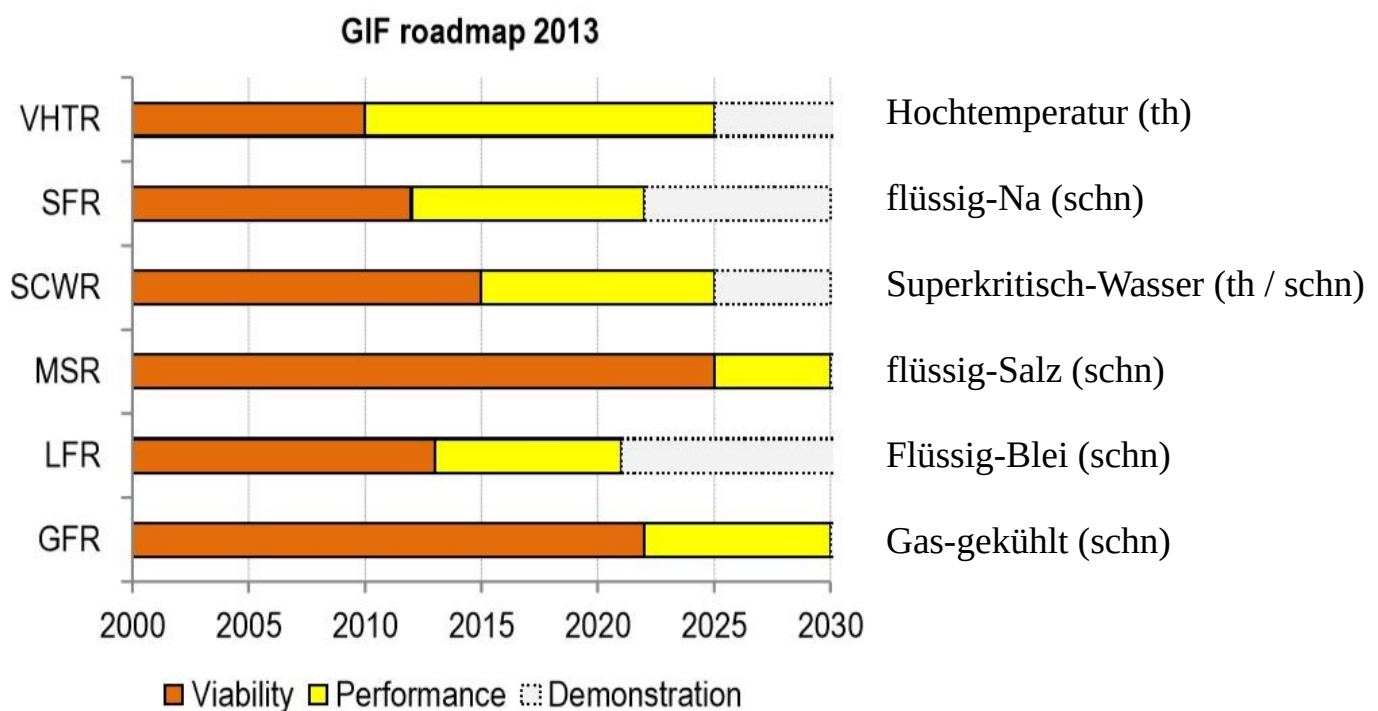


Figure 1-3: Status of the GIF System Arrangements and Memoranda of Understanding
(as of 1 January 2014)

System	CA	CN	EU	FR	JP	KR	RU	CH	US	ZA
SFR		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
VHTR		✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	
SCWR	✓		✓		✓		✓			
GFR			✓	✓	✓			✓		
LFR			P		P		P			
MSR			P	P			P			

✓ = Signatory to the System Arrangement; P = signatory to the Memorandum of Understanding; Argentina, Brazil, and the United Kingdom are inactive.

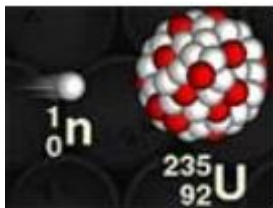
Der weltweite Erfahrungsaustausch konzentriert sich auf folgende 6 Konzepte:

1. Leichtwasserreaktoren mit überkritischen Dampfzuständen
(SCWR)
2. Heliumgekühlte Hochtemperaturreaktoren
(VHTR)
3. Heliumgekühlte schnelle Reaktoren
(GFR)
4. Bleiegekühlte schnelle Reaktoren
(LFR)
5. Natriumgekühlte schnelle Reaktoren
(SFR)
6. Salzschnmelzen-Reaktoren
(MSR)

Zu den Begriffen: thermische Neutronen, schnelle Neutronen,
Erbrüten von spaltbaren Nukliden

U-235-Isotop einziges natürlich vorkommendes spaltbares Nuklid
(g,u-Kern: gerade Protonen-, ungerade Neutronenzahl)

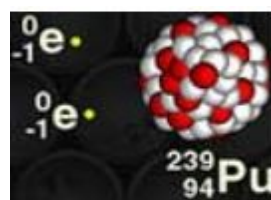
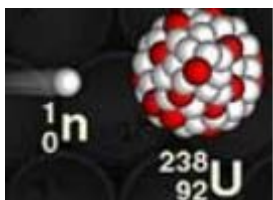
U-235 **spaltbar** ; nur 0,7 % Anteil Natururan



Spaltung; setzt 2 - 3 Neutronen frei
(„thermisches“ = langsames Neutron)

U-238 **nicht** spaltbar
99,3% Anteil Natururan
(g,g-Kern, gerade-gerade)
schnelles Neutron

erbrütetes Pu-239 (Plutonium)
spaltbar (g,u-Kern)



Weitere Brutreaktion:

Thorium : Th-232 (g,u; **nicht** spaltbar) zu U-233 (g,u; **spaltbar**)
Thorium 4 x so häufig wie Uran.

>60-fach bessere Ausnutzung der nuklearen „Brennstoffe“

SFR Sodium cooled Fast Reactor

Flüssig-Natrium gekühlter schneller Reaktor

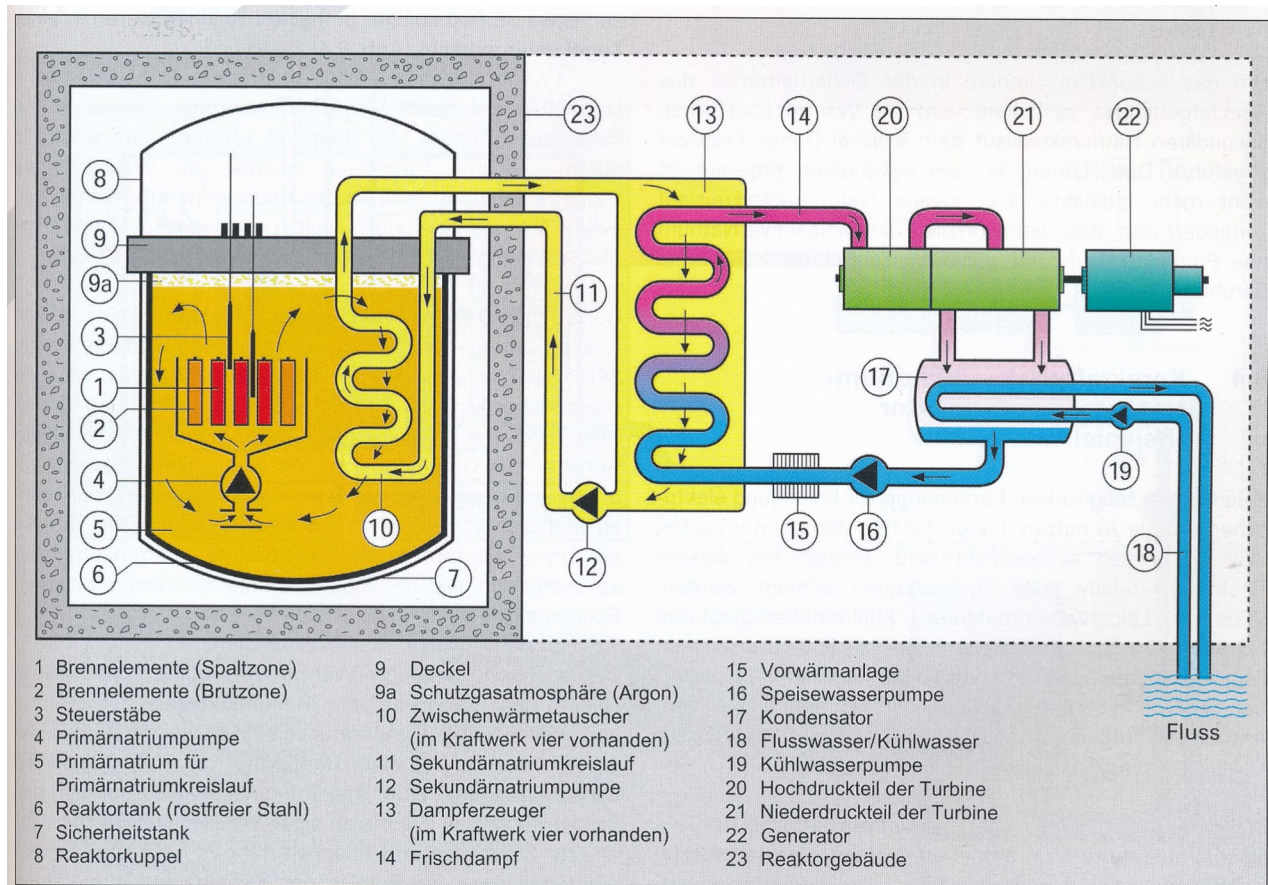
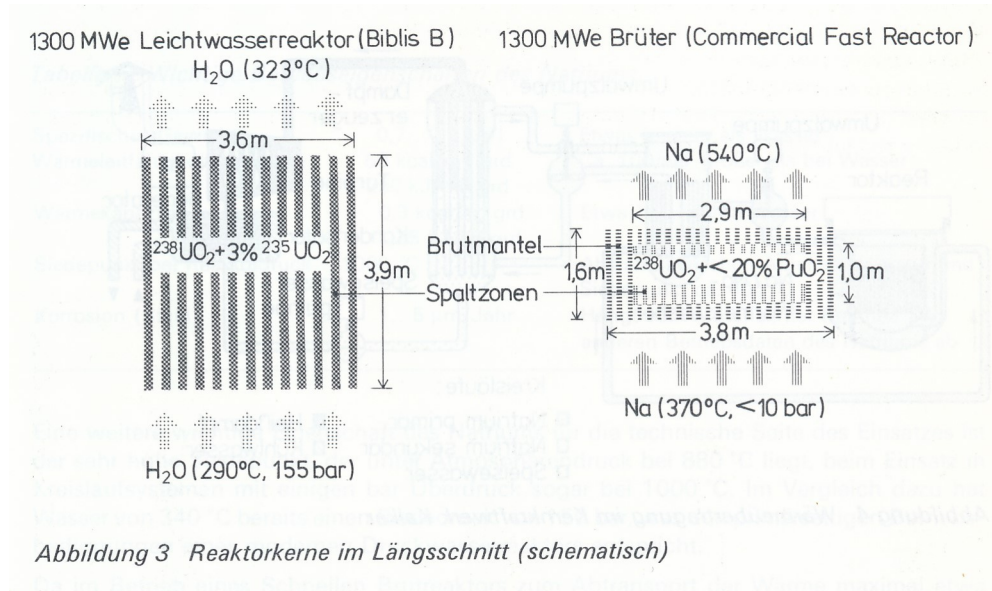


Abb. 6.3: Kernkraftwerk mit Schnellem Brutreaktor (vereinfachte Schemazeichnung)

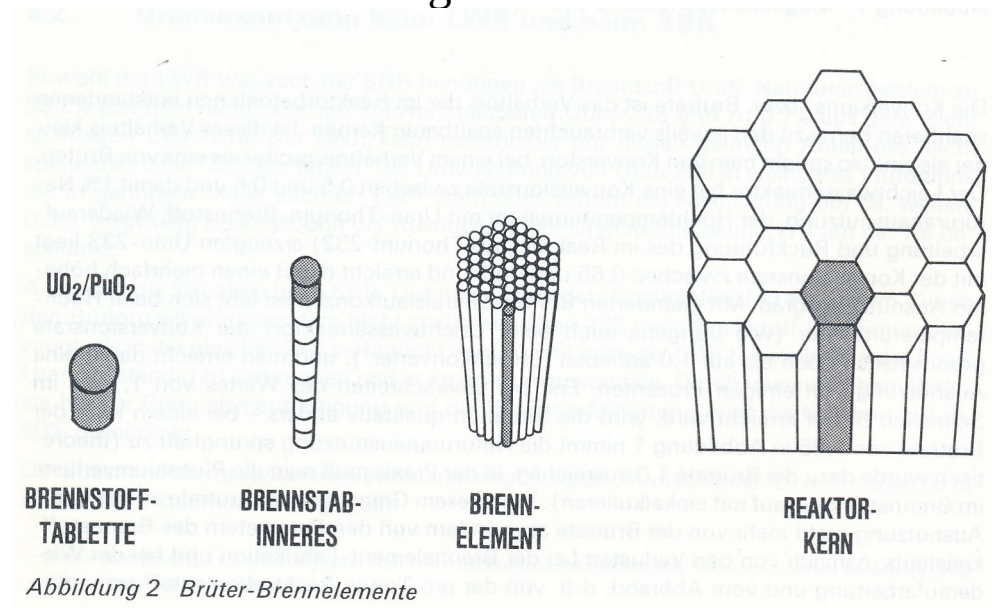
SFRs in Betrieb, im Aufbau oder in Planung, auch Prototypen:

Russland (BN-600, BN-800, BN-1200), USA (EBR-*), Frankreich Superphenix), Japan (MONJU), Indien (PBFR), China, Korea, Deutschland (SNR 300, Kalkar), ...

Vergleich Reaktorkern Leichtwasser-Reaktor flüssig-Na-schneller-Brüter



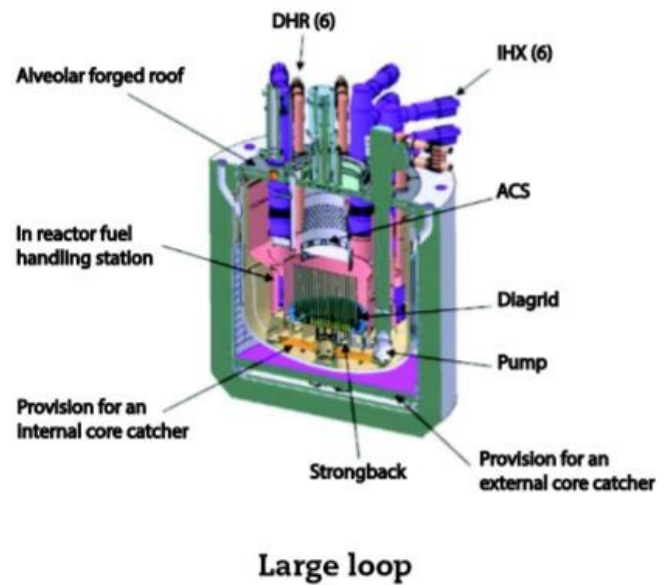
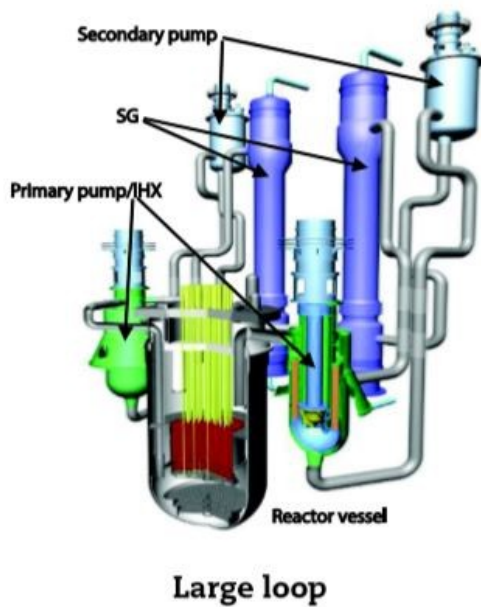
Aufbau Brennelemente flüssig-Na-schneller Brüter



BN-800, Russland (Belojarsk, Sibirien)



GIF-Entwürfe



SFR : Reaktortyp am weitesten fortgeschritten

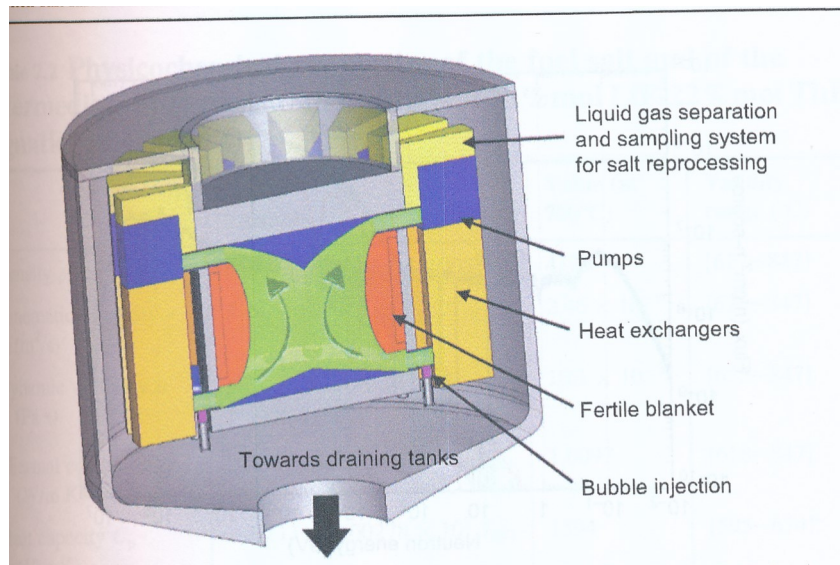
Flüssig-Salz, schneller Brutreaktor (MSFR)

Erste Erfahrungen: 1959-60 (ORNL, Oakridge Nat. Lab.)

Prinzip:

- keinerlei feste Bauteile, Brennelemente, ... im Reaktor
- keine Regelstäbe, kein Moderator
- nur flüssige Salze, Doppelfunktion: Brennstoff + Kühlung
LiF-ThF₄-UF₄
- Brutreaktor
- geschlossener Kreislauf, 40 l pro Tag Aufbereitung
- Sicherheit: stark negativer Temperaturkoeffizient, passives Ablassventil

EVOL-Projekt, Grenoble / Euratom, Zusammenarbeit mit
MOSART-Projekt / ROSATOM / Russland
Detaillierte Simulation eines Referenzreaktors



Verbreitete Meinung: „bestes“ Brutreaktorprinzip
Ergebnis: von GIF als machbar anerkannt:

Table 7.1 Characteristics of the reference molten salt fast reactor

Thermal/electric power	3000 MW _{th} /1300 MW _e
Fuel salt temperature increase in the core (°C)	100
Fuel molten salt, initial composition	LiF-ThF ₄ -(²³³ U or ^{enr} U)F ₄ or LiF-ThF ₄ -(Pu-MA)F ₃ with 77.5 mol% LiF
Fuel salt melting point (°C)	565
Mean fuel salt temperature (°C)	700
Fuel salt density (g/cm ³)	4.1
Fuel salt dilation coefficient (g/cm ³ °C)	8.82 × 10 ⁻⁴
Fertile blanket salt, initial composition (mol%)	LiF-ThF ₄ (77.5–22.5%)
Breeding ratio (steady-state)	1.1
Total feedback coefficient (pcm/°C)	–5
Core dimensions (m)	Radius: 1.1275 Height: 2.255
Fuel salt volume (m ³)	18
Total fuel salt cycle in the fuel circuit	3.9 s

Beispiel einer Simulation; andere Geometrie

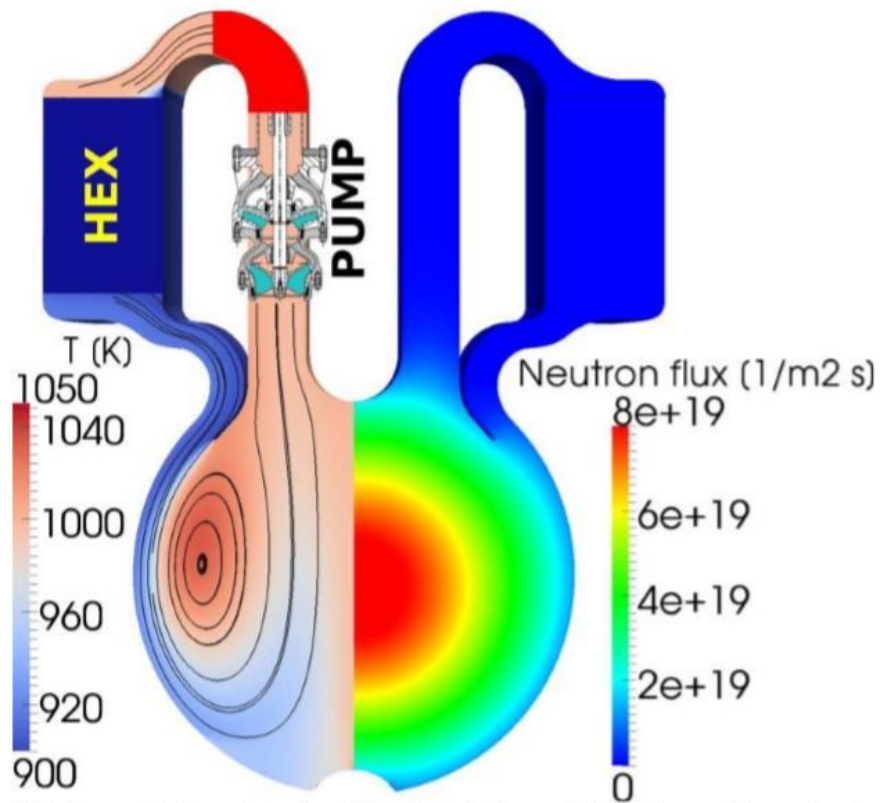


Figure 5: Simplified coupled neutronics-CFD simulation of the alternative spherical core design (nominal conditions, full scale reactor)

VHTR Hochtemperatur-Reaktor, He-gekühlt

THTR 300, Hamm-Uentrop, 1987-1989, teilweise Thorium-Brüten

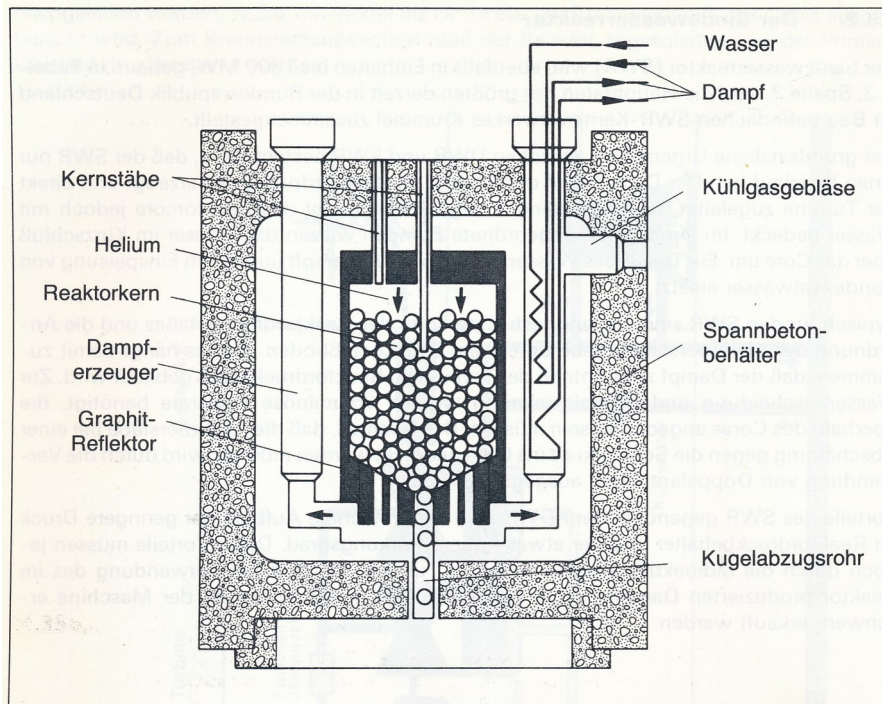


Abbildung 5 Schnitt durch den Reaktordruckbehälter des THTR 300

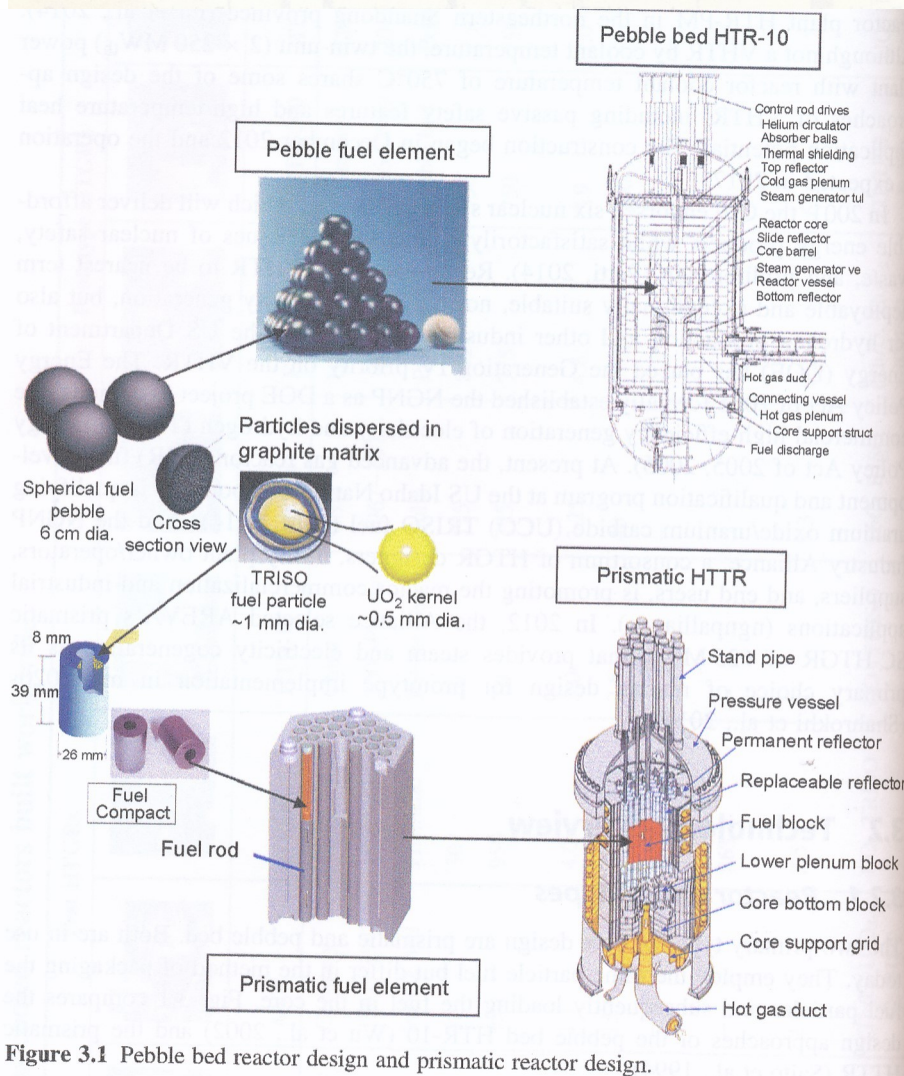
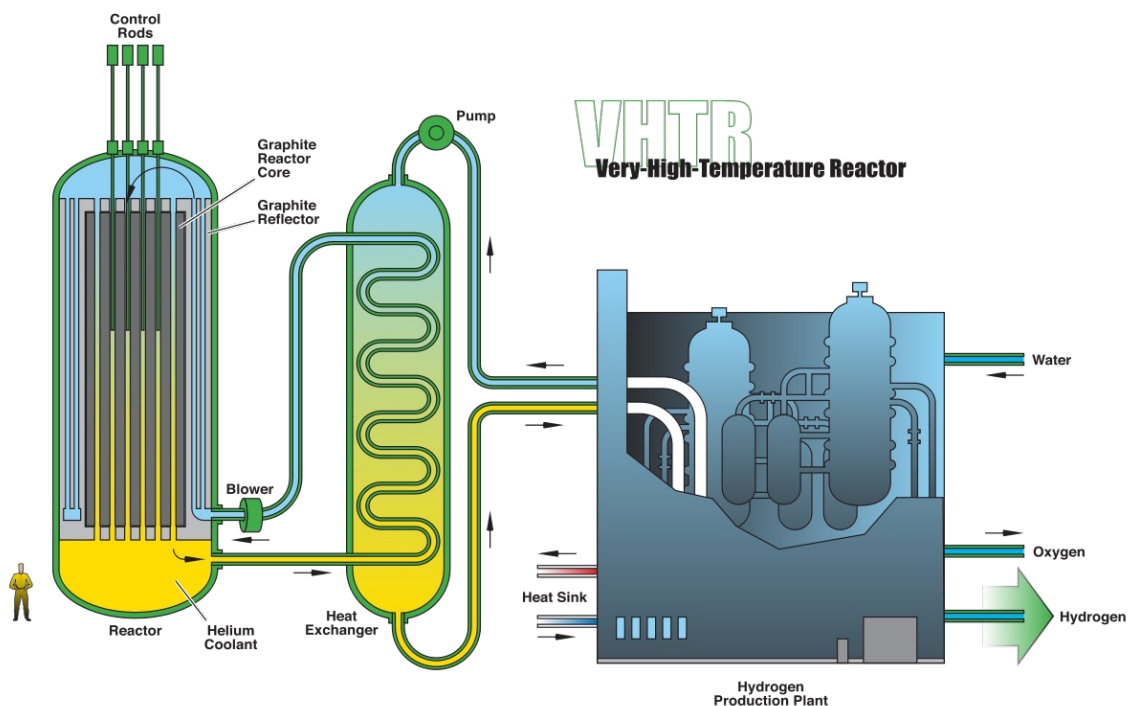
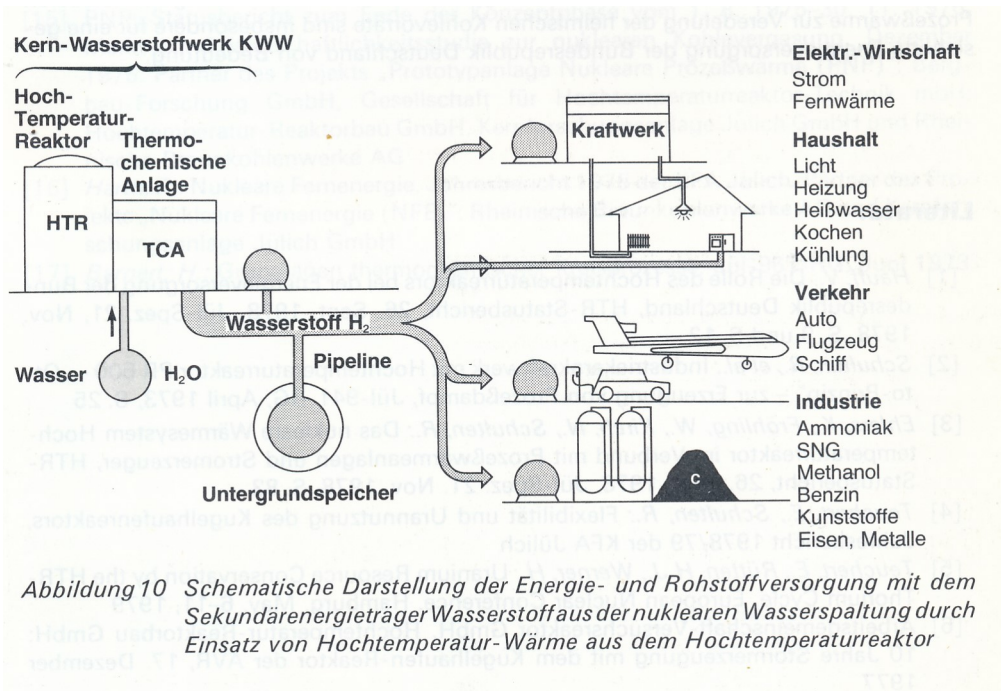


Figure 3.1 Pebble bed reactor design and prismatic reactor design.

Anwendung: Elektrizität, Wasserstoff / chemische Grundstoffe, Meerwasserentsalzung



GIF-Diagramm: Erzeugung von Wasserstoff z.B. nach dem **Schwefelsäure-Iod-Verfahren**

Flüssig-Blei-Brutreaktor

Zuerst verwirklicht als U-Boot-Antrieb, Sowjetunion, 1960

Aktuell: drei GIF-Projekte:

SSTAR / US, BREST / Russland, ELFR / EU unter Beteiligung Japans

GIF LFR Reference Concepts

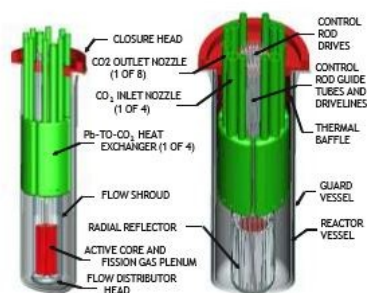


GIF – LFR Memorandum of Understanding (MoU) :

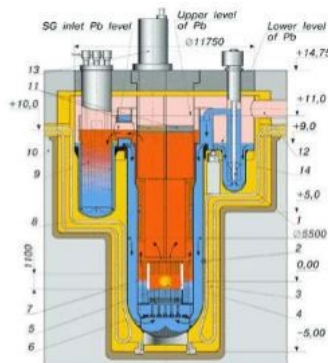
Signed by JRC, for Euratom and the Tokyo Institute of Technology, for Japan - November 2010

Signed by ROSATOM for Russia – July 2011

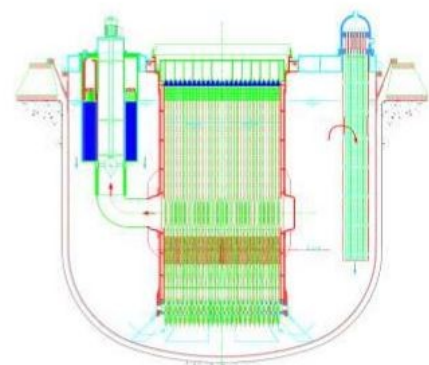
US accepted as observer of the GIF-LFR-SC activities



SSTAR (10 - 100 MWe)



BREST 300 (300 MWe)



ELFR (600 MWe)

Schlussfolgerung:

- Die industrialisierte Welt arbeitet an Gen-IV.

- Deutschland bisher nicht, aber:

Mitarbeit an Sicherheit zögerlich zugestimmt.

- Lasst uns für Gen-IV werben !!!!