Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 95 (2004)
Heft: 18

Artikel: Kernkraftwerke der 4. Generation
Autor: Müller, Ulrich
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-857974

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 05.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Kernkraftwerke der 4. Generation

Angesichts der sich weltweit verschärfenden Energieversorgungssituation denkt man wieder über die Kernreaktoren der Zukunft nach. «Generation IV» heisst das Zauberwort, ein grosses Forschungs- und Entwicklungsprojekt unter dem Dach des amerikanischen Energieministeriums (Department of Energy), an dem auch die Schweiz beteiligt ist. Es handelt sich im Wesentlichen um Reaktorkonzepte, die sich das Know-how der gegenwärtigen Technologie zunutze machen und die diese Technologie entsprechend weiterentwickeln. Daneben gibt es aber auch innovative Konzepte auf Basis anderer Kühlmedien, beispielsweise flüssigmetallgekühlte Reaktoren oder heliumgekühlte Reaktoren und auch Brutreaktoren. Die 4. Generation der Kernkraftwerke gibt es bisher nur auf dem Papier. Sechs Modelle stehen in der engeren Wahl, darunter der «Very High Temperature Reactor» sowie ein Salzschmelzereaktor. Sie sollen so wirtschaftlich sein wie der Europäische Druckwasserreaktor EPR, so sicher wie der Hochtemperaturreaktor – und weniger Abfall erzeugen. Der «Generation IV Technology Roadmap» (http://gif.inel.gov/roadmap) beschreibt die nötigen Schritte und Etappen zur Entwicklung solcher neuen Systeme. Die Generation-IV-Kernkraftwerke sollen ab 2015 von den zehn Partnerländern der «Roadmap» erprobt werden.

Sechs Kernreaktortechnologien

Nach mehrjähriger Beratung hat das «Generation IV International Forum» (GIF), vertreten von zehn Ländern, die Auswahl von sechs Reaktortechnologien präsentiert, welche die zukünftige Form der Nutzung von Kernenergie prägen sollen. Diese wurden aufgrund der Faktoren Sauberkeit, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit zur Erfüllung der Energiebedürfnisse auf nachhaltiger Basis ausgewählt. Sie sollen zudem höhere Sicherheit bieten bezüglich Proliferation von Spaltmaterial für Waffen sowie bei terroristischen Angriffen. Sie werden Gegenstand weiterer internationaler Entwicklung sein.

Das GIF wurde 2000 gegründet und Mitte 2001 formell gestartet. Es ist ein internationales Kollektiv, das Regierungen von Ländern vertritt, in denen Kernenergienutzung bedeutungsvoll ist und als lebenswichtig für die Zukunft gesehen wird. Es widmet sich der gemeinsamen Entwicklung der nächsten Generation von Kerntechnik. Geführt von den USA, sind Argentinien, Brasilien, Kanada, Frankreich, Grossbritannien, Japan, Südkorea, Südafrika und die Schweiz Mitglieder des GIF. Die Schweiz wird darin durch das Paul Scherrer Institut sowie die ETH Zürich in mehreren Arbeitsgruppen vertreten. Zusätzlich zur Auswahl dieser sechs Konzepte für den Einsatz zwischen 2010 und 2030, erkannte das GIF eine Anzahl kurzfristig einsetzbarer fortschrittlicher Reaktoren, verfügbar vor 2015.

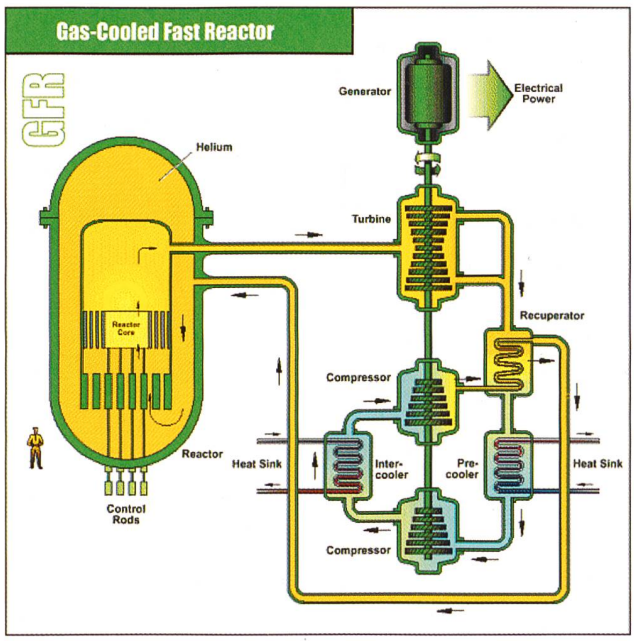
Die meisten der sechs Systeme verwenden einen geschlossenen Brennstoffkreislauf, um die Nutzung zu maximieren und um hochradioaktive Abfälle und Endlager zu minimieren. Drei der sechs sind schnelle Reaktoren, und einer kann ebenfalls als schneller Reaktor konzipiert werden. Einer wird als epithermisch beschrieben, und nur zwei operieren mit langsamen Neutronen wie heutige Anlagen.

Nur ein Reaktortyp wird von leichtem Wasser gekühlt, zwei sind heliumgekühlt und die anderen haben Blei-Wismut-, Natrium- oder Fluorsalz-Kühlmittel. Die letzten drei arbeiten mit niedrigem Druck und bedeutendem Sicherheitsvorteil. Der letzte lässt das Uran-Brennmaterial in der zirkulierenden Kühlflüssigkeit auflösen. Die Temperaturen reichen von 510 °C zu 1000 °C, verglichen mit weniger als 330 °C für heutige Leichtwasserreaktoren. Dies bedeutet, dass vier der Reaktoren für die thermochemische Wasserstoffproduktion eingesetzt werden können.

Die Leistungen reichen von 150 zu 1500 MW_e, bei dem bleigekühlten 50 bis 150 MW_e als Option mit langen Abbrandzyklen (15 bis 20 Jahre ohne Brennstoffwechsel), als ersetzbare Kassette oder ganzes Reaktormodul.

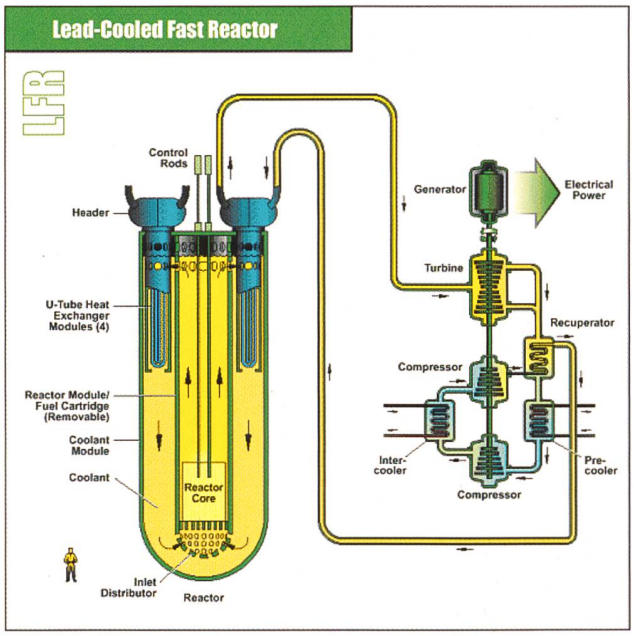
Mindestens vier Systeme haben bereits bedeutende Betriebserfahrung für die meisten Komponenten ihres Typs, sodass sie gut vor 2030 ihren kommerziellen Betrieb aufnehmen könnten.

Obwohl Russland nicht Mitglied der GIF ist, entspricht ein Projekt dem russischen Brest-Reaktor. Somit ist Russland der Hauptentwickler des natriumgekühlten schnellen Reaktors, eine der Technologien, die vom GIF unterbreitet wurden. Indien ist nicht am GIF beteiligt, sondern entwickelt seine eigene fortgeschrittene Technologie, um Thorium als einen Kernbrennstoff zu nutzen.

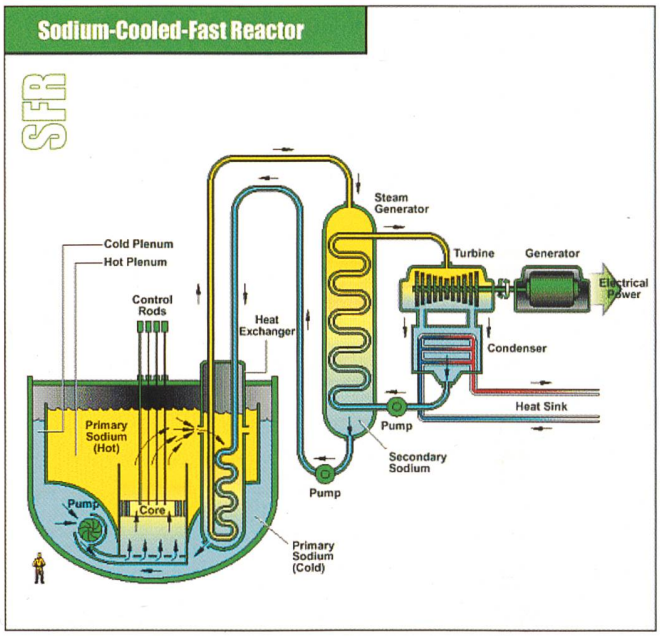


Gas-Cooled Fast Reactor (GFR).

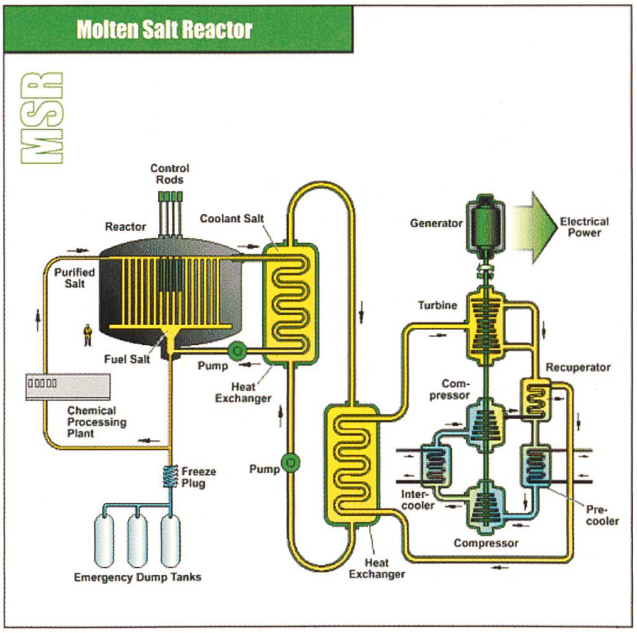
Quellen
Ulrich Müller, VSE
Uranium Information Centre, Melbourne (Australien)
DOE Department of Energy, Washington (USA)



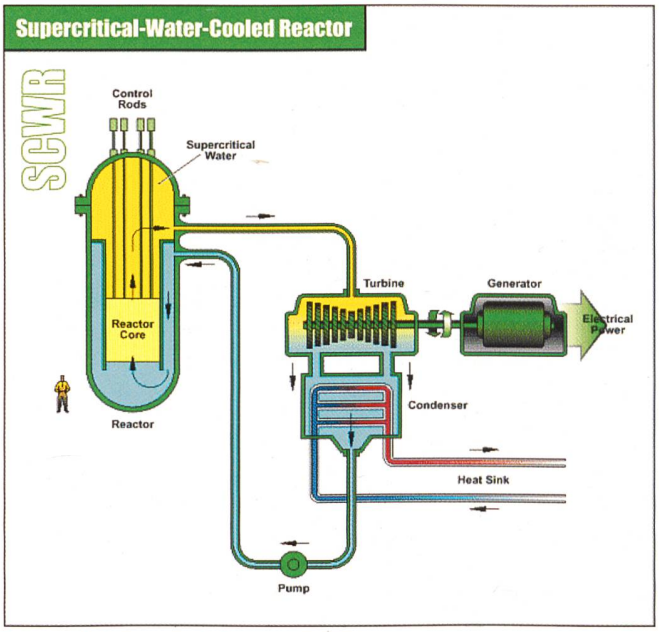
Lead-Cooled Fast Reactor (LFR).



Sodium-Cooled Fast Reactor (SFR).



Molten Salt Reactor (MSR).



Super-Critical-Water-Cooled Reactor (SCWR).

GIF-Reaktortechnologien

Gasgekühlte schnelle Reaktoren (GFR)

Wie andere heliumgekühlte Reaktoren, in Betrieb oder in Entwicklung, sollen diese Hochtemperatur-Einheiten 850 °C erreichen, geeignet für Stromerzeugung, thermochemische Wasserstoffproduktion oder andere Prozesswärme mit hoher Umwandlungseffizienz. Für die Stromerzeugung kann damit direkt eine Gasturbine betrieben werden. Als Brennstoff dienen würden gebrauchtes Uran oder jedes andere spaltbare Material. Ausgebranntes Material würde auf dem Gelände wiederaufgearbeitet und die Aktiniden rezikliert, um die Produktion langlebiger radioaktiver Abfälle zu verkleinern. General Atomics arbeitete in den 1970er-Jahren an einem solchen Projekt (nicht als schneller Reaktor), das jedoch nicht gebaut worden ist.

Bleigekühlte schnelle Reaktoren (LFR)

Bei diesen Reaktoren erfolgt die Kühlung durch flüssiges Metall – Blei (Pb) oder Blei-Wismut (Pb-Bi) – mit natürlicher Konvektion. Brennmaterial ist brutfähiges Uran oder Nitride mit vollem Recycling der Aktiniden in regionalen oder zentralen Wiederaufarbeitungsanlagen. Ein breiter Bereich von Reaktorgrössen ist vorgesehen, von «Batterieeinheiten» ab Fabrik mit 15 bis 20 Jahren Lebensdauer für kleine Netze oder Entwicklungsländer, bis zu modularen 300- bis 400-MW_e-Einheiten und Grossanlagen von 1400 MWe. Betriebstemperaturen von 550 °C sind erreichbar, mit fortgeschrittenen Materialien sind jedoch 800 °C vorgesehen. Dies würde eine thermochemische Wasserstoffproduktion ermöglichen.

Das Konzept entspricht der russischen Brest-Reaktortechnologie, die bleigekühlt ist und auf 40 Jahre Erfahrung mit Blei-Wismut in Reaktoren von U-Booten der Alphaklasse baut. Brennmaterial sind U+Pu-Nitride. Ursprünglich scheint der GIF-Vorschlag aus zwei experimentellen Entwürfen hervorgegangen zu sein: der US Star und der japanische LSPR, beide mit Blei- und Blei-Wismut-Kühlung.

Salzschmelze-Reaktoren (MSR)

Das Uran-Brennmaterial wird in der Natrium-Fluorid-Salzschmelze aufgelöst, die durch Graphitkernkanäle zirkuliert, um eine Moderation und ein epithermisches Neutronenspektrum zu erreichen. Spaltprodukte werden laufend entfernt und die Aktiniden vollständig wiederverwertet, während Plutonium und andere Aktiniden mit U-238 hinzugefügt werden können. Die Kühlmitteltemperatur liegt bei 700 °C bei sehr niedrigem Druck, vorgesehen sind bis zu 800 °C. Für die Stromerzeugung wird ein sekundäres Kühlflüssigkeitssystem benutzt, und thermochemische Wasserstoffproduktion ist auch möglich.

Während der 1960er-Jahren entwickelten die USA den Salzschmelze-Brutreaktor als primäre Ersatzoption für den konventionellen schnellen Brutreaktor, und ein kleiner Prototyp war operativ. Neuere Arbeiten konzentrierten sich auf Lithium und Berylliumfluorid als Kühlmittel und gelöstes Thorium und U-233 als Brennmaterial. Die attraktiven Merkmale des MSR schliessen den Brennmaterialkreislauf ein:

- der hochgradige Abfall enthält nur Spaltprodukte und somit kürzerwirkende Radioaktivität;
- kleiner Lagerbestand von waffenfähigem Spaltmaterial (Pu-242 ist das vorherrschende Pu-Isotop);
- niedriger Brennmaterialverbrauch (die französische Selbstbrütervariante benötigt nur 50 kg Thorium und 50 kg U-238 auf eine Milliarde kWh);
- Sicherheit durch passive Abkühlung.

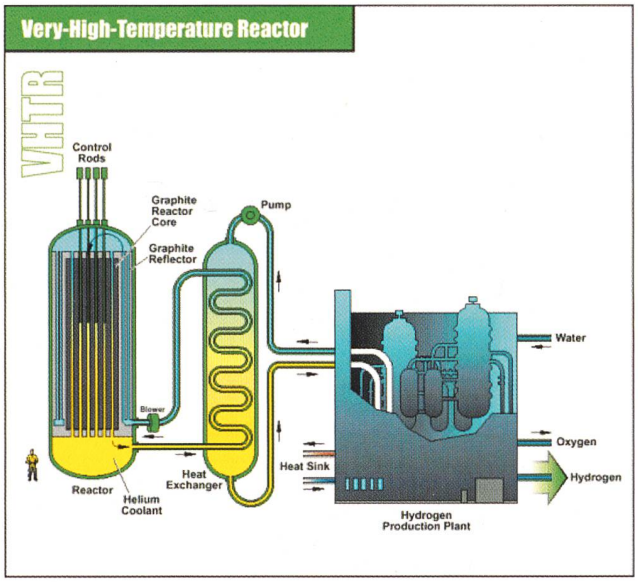
Natriumgekühlte schnelle Reaktoren (SFR)

Dieser Typ baut auf die Erfahrung von über 300 Betriebsjahren bei Reaktoren mit schnellem Neutronenspektrum über fünf Jahrzehnten. Es nutzt Uran-Plutonium-Mischoxid (MOX) als Brennmaterial und hat eine Kühlflüssigkeitstemperatur von 550 °C. Damit wird die Stromerzeugung über einem sekundären Natriumkreislauf ermöglicht, während der primäre Kreislauf nahe dem atmosphärischen Druck bleibt. Zwei Varianten sind vorgeschlagen: ein 150–500-MW_e-Typ mit Aktiniden enthaltenden Metallbrennmaterial und ein 500–1500-MW_e-Typ mit konventionellem MOX-Brennmaterial, in konventionellen Anlagen anderswo wiederaufgearbeitet.

Leichtwassereaktoren mit überkritischen Dampfzuständen (SCWR)

Dies sind wassergekühlte Hochdruckreaktoren, die über dem thermodynamisch kritischen Punkt des Wasser operieren, um einen um rund einen Drittel höheren thermischen Wirkungsgrad als heutige Leichtwasserreaktoren zu erreichen (44% verglichen mit rund 33% der heutigen Typen). Das überkritische Wasser (25 MPa und 510–550 °C) treibt die Turbine direkt an, ohne irgendwelches sekundäres Dampfsystem. Passive Sicherheitsmerkmale sind ähnlich jenen einfacher Siedewasserreaktoren. Brennmaterial ist Uranoxyd, angereichert bei der Option mit offenem Brennstoffkreislauf. Sie können jedoch auch als schnelle Reaktoren ausgelegt werden, mit vollständigem Aktinidenrecycling, basierend auf konventioneller Wiederaufarbeitung. Die meisten Forschungsarbeiten für diesen Entwurf stammen aus Japan.

Very-High-Temperature Reactor (VHTR).



Höchsttemperatur-Gasreaktoren (VHTR)

Diese Reaktoren sind graphitmoderiert und heliumgekühlt und basieren auf umfangreicher Erfahrung. Der Kern kann aus prismatischen Blöcken bestehen, wie beim japanischen HTTR oder beim GT-MHR von General Atomics oder bei anderen in Russland gebauten Reaktoren. Es kann aber auch ein Kugelhaufenreaktor sein wie der chinesische HTR-10 und der PBMR, unter Entwicklung mit internationalen Partnern in Südafrika. Ein für die Wasserstoffproduktion ausgelegter Hochtemperaturreaktor mit 600 MW_{th} kann über zwei Millionen Kubikmeter Wasserstoff täglich produzieren. Der VHTR erzeugt auch Strom mit über 50% Wirkungsgrad bei 1000 °C Kernaustrittstemperatur. Verglichen dazu liegt der Wirkungsgrad des HTTR oder des GT-MHR bei 47% (850 °C).

Centrales nucléaires de la 4e génération

Etant donné que la situation en matière d'approvisionnement énergétique s'est aggravée dans le monde entier, on commence de nouveau à réfléchir aux réacteurs nucléaires de l'avenir. Le mot magique est «Génération IV», un vaste projet de recherche et de développement chapeauté par le ministère américain de l'énergie (Department of Energy), auquel la Suisse participe. Il s'agit essentiellement de concepts de réacteurs qui utilisent les connaissances issues des technologies modernes et améliorent ces technologies. Mais il y a également des concepts novateurs qui reposent sur d'autres techniques de refroidissement comme les réacteurs refroidis par des métaux liquides ou par de l'hélium, ou encore les surgénérateurs. La 4e génération des centrales nucléaires n'existe encore que sur le papier. Six modèles restent en piste après une première sélection, notamment le réacteur à très haute température et le réacteur refroidi par sodium. Ils doivent être économiquement aussi performants que le réacteur européen à eau sous pression REP, aussi sûrs que le réacteur à haute température – et produire moins de déchets. La «Generation IV Technology Roadmap» (http://gif.inel.gov/roadmap) décrit les mesures et les étapes qui sont nécessaires pour développer de tels systèmes. Les centrales nucléaires de la quatrième génération devraient être testées par les dix partenaires de la «Roadmap» à partir de 2015.

Tonfrequenz

Signale, die ankommen: Rundsteueranlagen von ENERMET sorgen für zuverlässige Schaltungen.

Boilersteuerung, Tarifumschaltung, Steuerung der Strassenbeleuchtung und vieles mehr erfolgen präzis und sicher – damit Sie Ihre Last unter Kontrolle haben und Ihr Netz effizient betreiben können – für Service Public und Wirtschaftlichkeit.

Und weil es auf das Zusammenspiel aller Anlagenkomponenten ankommt, übernimmt ENERMET die Systemgarantie.

ENERMET – Systeme mit Garantie

ENERMET AG ■ UNDERMÜLISTR. 28 ■ CH-8320 FEHRALTORF
TEL. ++41 (0)1 954 81 11 ■ FAX ++41 (0)1 954 81 01 ■ www.enermet.ch

ENERMET