

Dieser Beitrag ist erschienen in

Werte und Wertkritik. Ökonomische und philosophische Dimensionen
Rohrbacher Manuskripte, Heft 14, Herausgegeben von Rudolf Rochhausen.
Rohrbacher Kreis, Rosa-Luxemburg-Stiftung Leipzig, 2008
ISBN 978-3-981-1061-6-9

Alle Rechte des Beitrags liegen beim Autor.

Der Beitrag kann unter den Konditionen der Creative Commons Lizenz BY-ND
(Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0) frei verbreitet werden.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nd/3.0/de>

Vertrieb des ganzen Hefts durch Osiris-Druck Leipzig,

<http://www.osiris-onlineshop.de>

INHALT DES HEFTS

Kurt Reiprich: Vorwort	5 - 6
Michael Brie: Sozialismus und Eigentum. Thesen in der Diskussion	7 - 16
Wolfgang Methling: Opposition mit Herz und Verstand	17 - 25
Rudolf Rochhausen: Kant und die Wissenschaft	26 - 42
Sabine Nuss: Vom Wert geistig-kreativer Arbeit. Mein Bit, Dein Bit. Bit ist für uns alle da?	43 - 52
Gotthard Klose: Neue Entwicklungen in der Kernreakorteknik	53 - 61
Reinhold Krampitz: Linke Wissenschaftspolitik, weil's vernünftig ist – gemachte Innovation zu optimierter Evolution	62 - 80
Janina Petri: Jugendliche, Medien und Identitätskonstruktion	81 - 86

GOTTHARD KLOSE

Neue Entwicklungen in der Kernreakorteknik

EINFÜHRUNG

Die Diskussionen zur friedlichen Nutzung der Kernenergie in Deutschland halten unvermindert an. Nach dem Sächsischen Ministerpräsidenten Milbradt wird Deutschland in einer Zeit, in der die Kernkraft praktisch wieder vor einer Blüte steht, keinen ausgewogenen Energiemix haben und zudem noch Probleme bei der CO₂-Reduktion bekommen¹. Auf dem CDU-Parteitag in Dresden Ende November 2006 äusserte die Kanzlerin Merkel, dass es umwelpolitisch unsinnig sei, technisch sichere Kernkraftwerke (KKW) abzuschalten. Trotz solcher Äusserungen scheint keine Änderung der deutschen Energiepolitik in Sicht; wie die Kirche an Dogmen festhält, halten die Politiker noch an dem im Koalitionsvertrag von CDU und SPD vereinbarten Atomausstieg fest.

Die meisten z. Z. weltweit betriebenen, kommerzielle Kernkraftwerke wurden vor mehr als drei Jahrzehnten entwickelt. Ihre Sicherheitstechnik wurde in den Betriebsjahren wesentlich verbessert. Neue Reaktor-Typen wurden entwickelt. Sie besitzen nicht nur eine hohe Betriebssicherheit sondern nutzen wesentlich besser das Uran aus und erzeugen weniger Abfall mit Langzeitradioaktivität, was die Anforderung an die Lagerung der Abfälle wesentlich vermindert. Diese wichtigen wissenschaftlich-technischen Fortschritte finden bei den politischen Diskussionen kaum eine Erwähnung, und von den Kernenergiegegnern werden sie nicht einmal zur Kenntnis genommen.

Bei der Entwicklung von Reaktoren unterscheidet man heute vier Generationen (Tab. 1).

Generation	Reaktoren	Beispiel
I	Reaktorprototypen	1. KKW 1954 in der SU
II	Kommerzielle Leistungsreaktoren	Leichtwasserreaktor (LWR)
III	Verbesserte kommerzielle Leistungsreaktoren	Europäischer Druckwasserreaktor (EPR)
IV	Zukünftige Reaktoren	Kugelhaufenreaktor (PBR)

Tab. 1. Generationen von Reaktoren

¹ Leipziger Volkszeitung, Sonderbeilage »Energie«, 5.12.2006, S. 1 - 14

Heute sind weltweit ca. 440 kommerzielle Reaktoren in Betrieb; die meisten sind Leichtwasserreaktoren.

Der Europäische Druckwasserreaktor (EPR) ist ein verbesserter kommerzieller Leistungsreaktor. Er wurde in den 90-iger Jahren des vergangenen Jahrhunderts gemeinsam von Framatome/Frankreich und Siemens/Deutschland entwickelt. In Olkiluoto/Finnland befindet sich einer im Bau. Weitere sind in Frankreich und Schweden in Planung. Zur Generation III gehört auch der von Framatome entwickelte Siedewasserreaktor (SWR).

Für zukünftige KKW werden z. Z. ca. 100 unterschiedliche Reaktortypen diskutiert. Einige seien hier genannt:

- Wassergekühlter Reaktor mit überkritischen Dampfzuständen (SCWR)
- Gasgekühlter thermischer Höchsttemperaturreaktor (GHTR)
- Gasgekühlter schneller Reaktor (GFR)
- Thorium-Hochtemperaturreaktor (THTR)
- Kugelhaufenreaktor (PBR)
- SchnellerBrüter (SNR)

Die zeitlichen Horizonte der Reaktorgenerationen sind aus Abb. 1 ersichtlich.

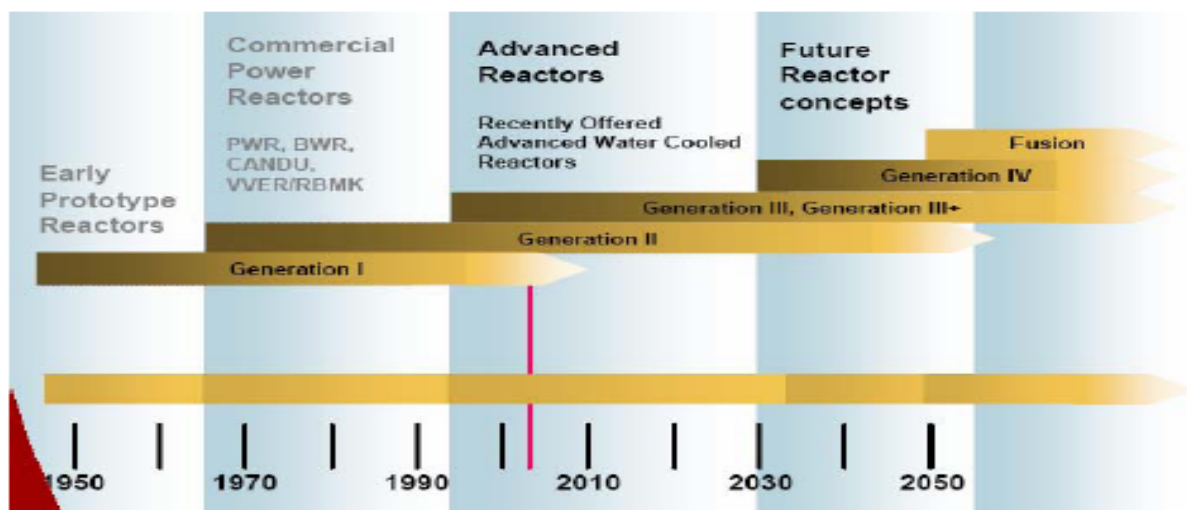


Abb. 1. Reaktorgenerationen²

² http://www.its.uni-karlsruhe.de/download/MaKuWiWi2-2_Kernkraftwerke.pdf

Ziele der Entwicklung neuer Reaktoren sind:

- Höhere Betriebssicherheit zum Schutz von Mensch und Natur (sicherer und zuverlässiger Betrieb der Anlagen, Vereinfachungen)
- Höhere Wirtschaftlichkeit (höhere Effizienz der Anlagen)
- Verlängerung der Reichweite spaltbaren Materials (Umwandlung von nicht spaltbaren in spaltbares Material, Nutzung neuer Kernbrennstoffe)
- Reduzierung der Menge des radioaktiven Materials und des Anteils an langlebigen radioaktiven Isotopen (Rezykling und Wiederaufarbeitung des Brennstoffes, Transmutation und Abtrennung langlebiger radioaktiver Isotope)
- Multivalente Nutzung des Reaktors (Elektroenergie, Wärme, Meerwasserentsalzung, Wasserstoffherzeugung)
- Höherer Schutz vor Proliferation von spaltbarem Material (Gebäudeschutz)

Als nächstes möchte ich noch einmal kurz an einige Grundlagen der Kernenergie erinnern. Nach Erläuterung des Leichtwasserreaktors und des Europäischen Druckwasserreaktors werde ich dann zwei ausgewählte Reaktortypen der Generation IV, nämlich den Gas-gekühlten schnellen Reaktor und den Kugelhaufenreaktor vorstellen.

GRUNDLAGEN DER KERNENERGIE

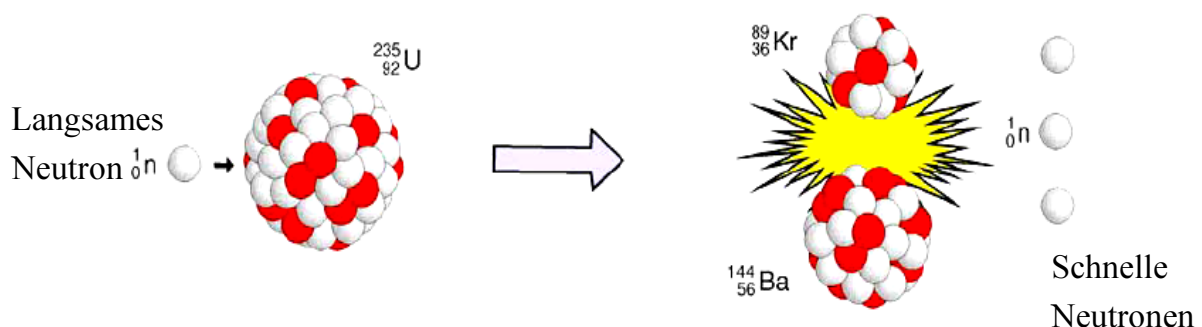
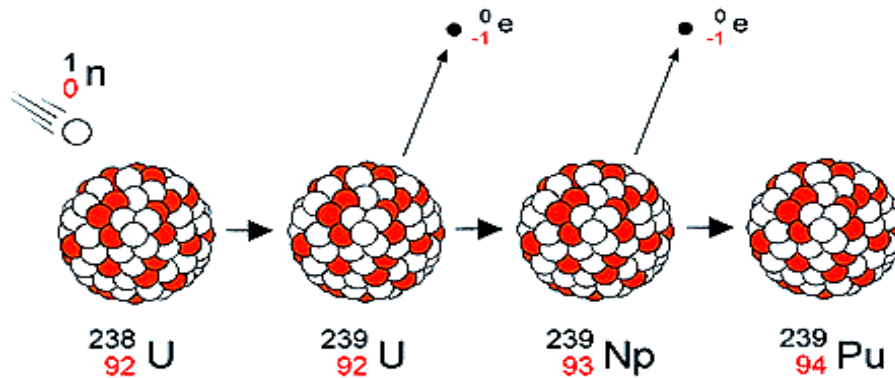


Abb. 2. Kernspaltungsreaktion (oben) und Brutreaktion (nächste Seite) in einem Uranreaktor. Die Zahl links oben am Symbol vom Element gibt die Massenzahl (Summe von Protonen und Neutronen im Atomkern) und die Zahl links unten die Ladungszahl (Zahl der Protonen im Atomkern) an.



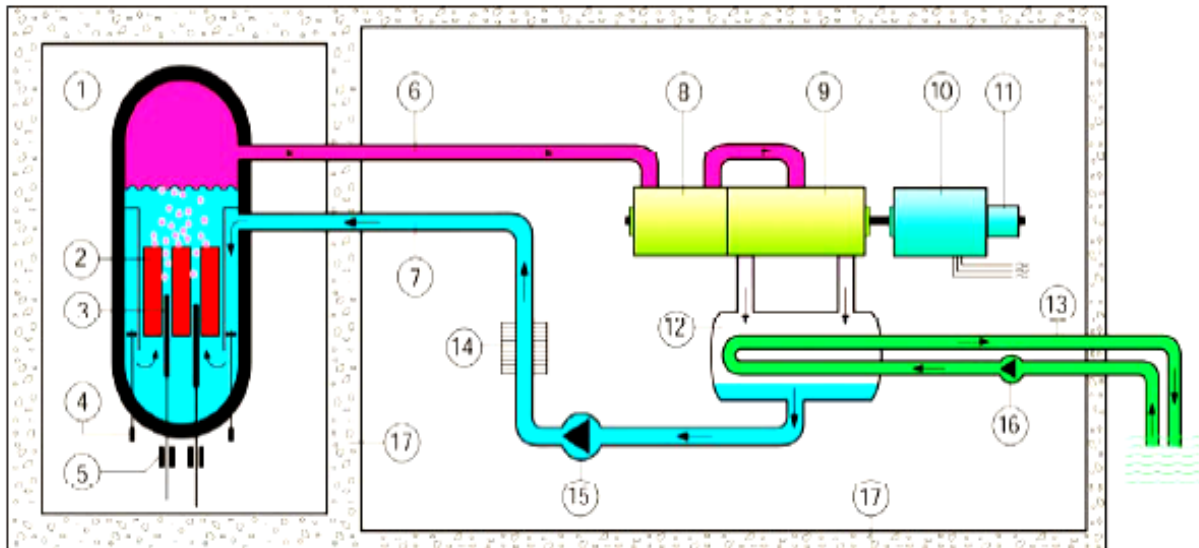
In einem Uranreaktor wird das in den Brennstäben auf ca. 4% angereicherte Uranisotop ${}^{235}\text{U}$ durch Einfang langsamer Neutronen in mittelschwere Elemente gespalten, wobei eine hohe Energie frei gesetzt wird³ (Abb. 2, vorherige Seite). Die entstehende Wärme wird durch ein Kühlsystem nach aussen abgeführt und in den KKW bisher fast ausschliesslich zur Erzeugung von Elektroenergie genutzt. Die bei der Kernspaltung gleichzeitig frei gesetzten schnellen Neutronen müssen durch einen Moderator- in einem LWR ist es normales Wasser- abgebremst werden, damit sie wieder Urankerne spalten können. Durch Einbringen eines Neutronenabsorbers (Steuerstäbe z. B. aus Cadmium) in den Reaktorraum lässt sich die Zahl der Neutronen und damit die Leistung des Reaktors kontrolliert regeln (kontrollierte Kettenreaktion). Das nicht spaltbare Uranisotop ${}^{238}\text{U}$, das den Hauptbestandteil der Brennstäbe ausmacht (ca. 96%), wird zum kleinen Teil (ca. 1%) nach Einfang eines Neutrons über zwei Zwischenstufen in das spaltbare Plutoniumisotop ${}^{239}\text{Pu}$ umgewandelt (Abb. 2, diese Seite). Da dadurch neues Brennmaterial entsteht, spricht man von Brüten und bezeichnet die entsprechende Reaktion als Brutreaktion.

LEICHTWASSERREAKTOR

Der Leichtwasserreaktor (LWR) ist ein Reaktortyp, bei dem leichtes Wasser gleichzeitig als Kühlmittel und Moderator verwendet wird. Es gibt zwei Bauarten des LWR, den Druckwasser- und den Siedewasserreaktor. Abb. 3 zeigt den schematischen Aufbau eines Siedewasserreaktors. Die durch die Kernreaktionen entstehende Wärme erhitzt das Wasser im Reaktorbehälter über den Siedepunkt des Wassers und der entstehende

³ Siehe G. Klose, Deutschland – Ausstieg aus der Kernenergie?, Rohrbacher Manuskripte, Heft 12, 26 – 43, RLS 2006, ISBN 3-9809165-7-X

Wasserdampf (in der Abb. 3 rot) treibt eine Turbine an. In einem Kondensator, der von einem äusseren Kühlwassersystem gekühlt wird, kondensiert der Dampf zu Wasser (blau), das wieder in den Reaktorbehälter zurück gepumpt wird. Die Abschirmung verhindert, dass radioaktiv kontaminierte Stoffe in die Umwelt gelangen.



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

Abb. 3. Schematischer Aufbau eines Leichtwasserreaktors²

EUROPÄISCHER DRUCKWASSERREAKTOR

Der Europäische Druckwasserreaktor (EPR) zeichnet sich gegenüber den Reaktortypen der Generation II vor Allem durch ein verändertes Sicherheitskonzept aus:

- Der Reaktor besitzt ein Auffangbecken, das im Falle einer Kernschmelze (GAU) den geschmolzenen Kern auffängt und abkühlt.
- Alle wichtigen Sicherheitssysteme sind vierfach vorhanden, einschließlich von vier Primärwasserkreisläufen.
- Die Sicherheitssysteme sind in vier räumlich getrennten Gebäuden untergebracht, wobei zwei Gebäude u. a. sicher gegen einen Flugzeugabsturz sind.

- Grosse Wasserreservoirs sorgen für eine hohe thermische Trägheit.
- Volldigitale Leit- und Regelungstechnik mit verbesserter Mensch-Reaktor-Wechselwirkung
- Doppelwandige Abschirmung aus Stahlbeton mit einer Gesamtdicke von 2,6 m

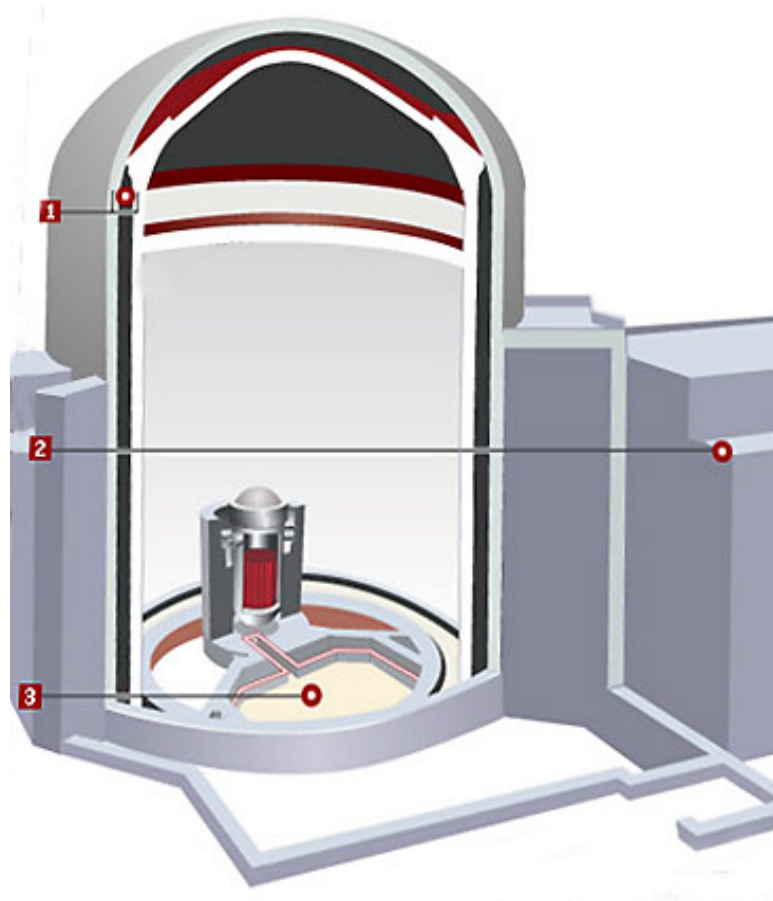


Abb. 4. Sicherheitskomponenten beim EPR:
 1 - doppelwandige Abschirmung (je 1,3 m starker Stahlbeton),
 2 - vier verschiedene Gebäude für alle Sicherheitssysteme,
 3 - Auffangbecken im Falle eines GAUs

GASGEKÜHLTER SCHNELLER REAKTOR

Die Probleme der geringen Ausnutzung vom Uran und der Langzeitradioaktivität der Abfälle sind beim EPR dieselben wie bei den Reaktoren der Generation II. Hier könnte der Gas-gekühlte schnelle Reaktor (GFR) den Durchbruch bringen. Im GFR soll durch geeignete Konstruktion des Reaktorkerns und durch Wahl entsprechender Betriebsbedingungen (Temperatur, Druck, Zusammensetzung und Verteilung des Brennstoffs)

erreicht werden, dass die Brutreaktionen dieselbe Menge spaltfähiges Material erbrüten wie durch Spaltreaktionen verbrannt wird bis alles Uran gespalten ist. Damit ließe sich im Prinzip auch alles nicht spaltbares ^{238}U zur Ernergieerzeugung ausnutzen. Der GFR würde nicht nur eine beträchtlich bessere Ausnutzung des Urans bringen und die Gesamtökonomie wesentlich verbessern (z. B. keine Transporte von radioaktiven Materialien zwischen Spalt- und Brutreaktoren sowie Wiederaufbereitungsanlagen) sondern auch die Anforderungen an die Endlagerung der Abfälle drastisch verringern, da die Abfälle kein hochradioaktives Plutonium mehr enthalten (Verkürzung der Endlagerungsdauer der Abfälle von 170 auf 16 tausend Jahre³). Der Reaktor hätte noch einen weiteren Vorteil. Der Reaktor funktioniert nur bei hohen Temperaturen. Deshalb könnte man den Reaktor auch zur Gewinnung von Wasserstoff aus Wasser durch thermischer Spaltung nutzen, deren Wirkungsgrad höher als der Wirkungsgrad der elektrischen Spaltung (Elektrolyse) ist. Die Bedeutung von Wasserstoff als Energieträger wird in den nächsten Jahren wesentlich steigen.

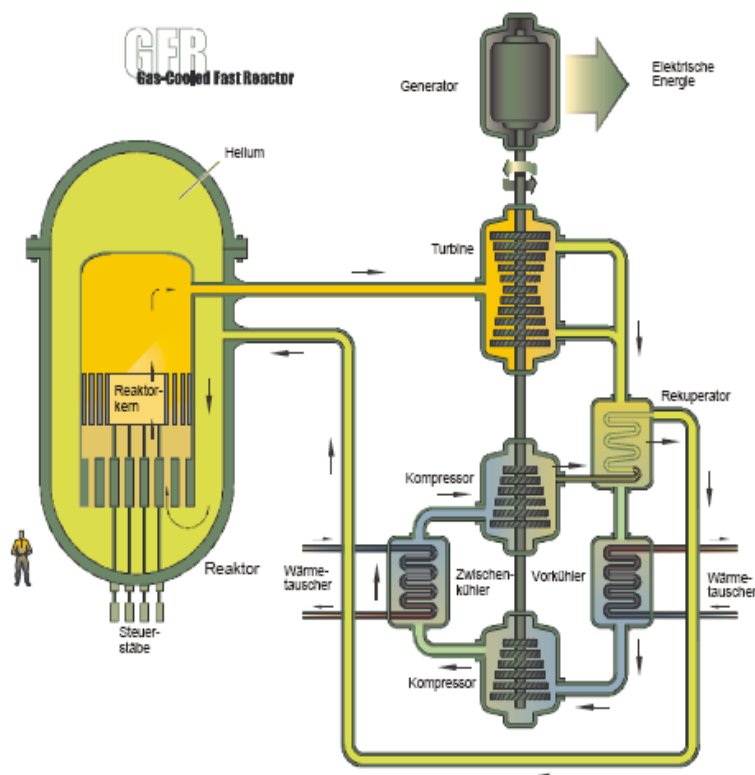


Abb. 5. Gasgekühlter schneller Reaktor⁴

⁴ <http://bibliothek.fzk.de/zb/berichte/FZKA6967.pdf>

KUGELHAUFENREAKTOR

Der Kugelhaufenreaktor (PBR), ein weiterer Reaktor der Generation IV, ist besonders deshalb interessant, da bei ihm eine Kernschmelze (GAU) grundsätzlich ausgeschlossen ist. Er wurde in Deutschland entwickelt. Seit 2000 läuft erfolgreich eine Pilotanlage in China. An ihr wurde demonstriert, dass in der Praxis tatsächlich kein Gau eintritt, auch wenn man den Strom des zur Kühlung verwendeten Gases vollständig auf Null regelt. China und Südafrika planen, in den nächsten Jahren leistungsfähigere Anlagen für die kommerziellen Nutzung zu entwickeln.

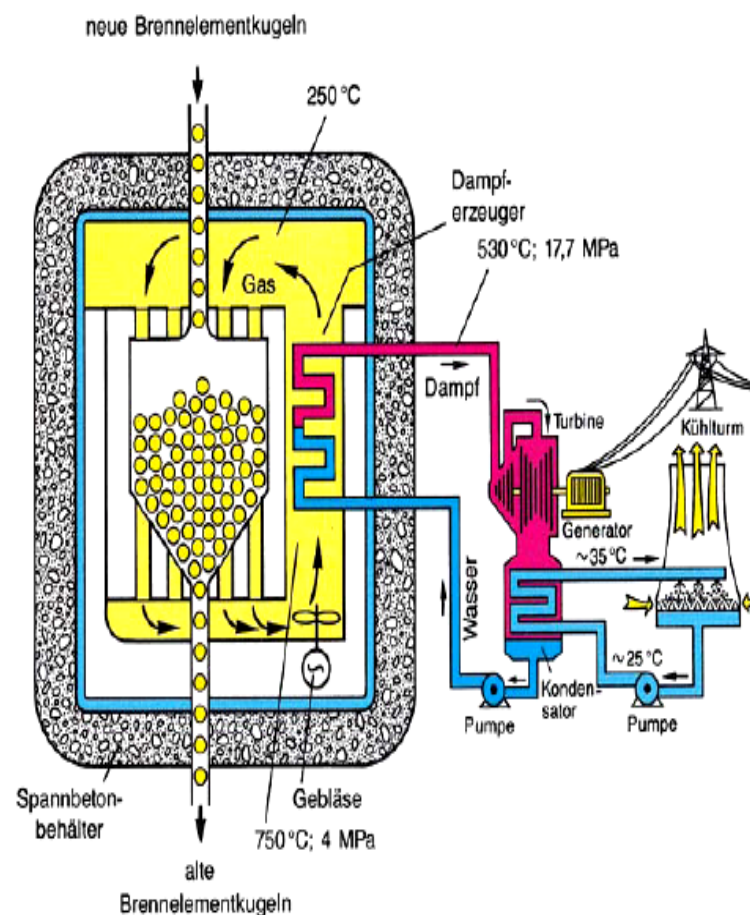


Abb. 6. Kugelhaufenreaktor⁵

⁵http://www.kernenergie.net/informationskreis/de/lexikon/lexikon_detail.php?navid=&detail=/informationskreis/de/lexikon/k/500.php

Beim Kugelhaufenreaktor befindet sich das Spaltmaterial in Tennisball-grossen Hitzebeständigen (bis 1600° C) Kugeln. Wie der GFR arbeitet er bei hoher Temperatur. Im Unterschied zum GFR dient das Heliumgas jedoch nicht nur als Kühlmittel sondern auch zur Steuerung der Kernspaltung. Wird der Gasdurchsatz erhöht, dann nimmt die Temperatur der Kugeln ab und die Spaltrate zu. Umgekehrt, wird der Gasdurchsatz verringert, dann erhöht sich die Temperatur der Kugeln und die Spaltrate sinkt. Auch wenn man den Gasstrom unterbricht, bleibt die Temperatur weit unterhalb der Schmelztemperatur der Kugeln. Bei diesem Reaktortyp ist also ein GAU grundsätzlich ausgeschlossen. Die kontinuierliche Entfernung ausgebrannter Kugeln aus dem unteren Reaktorraum und die gleichzeitige Nachfüllung von unverbrannten Kugeln in den oberen Reaktorraum ermöglicht einen kontinuierlichen Betrieb des Reaktors. Das ist ein weiterer Vorteil dieses Reaktortyps.

SCHLUSSBEMERKUNGEN

Ich habe zwei Reaktortypen der Generation IV vorgestellt, die Heliumgas als Kühlmittel verwenden. Es werden aber auch Hochtemperatur-Reaktoren diskutiert, die mit geschmolzenem Natrium, Blei usw. gekühlt werden. Die Reaktoren der Generation IV werden sicherer und ökonomischer sein und weniger radioaktive Abfälle erzeugen als die heute betriebenen Reaktoren. Ein anderer wesentlicher Vorteil der Reaktoren dieser Generation ist, dass sich bei ihrem Einsatz die zeitliche Reichweite der Kernenergie von ca. 40 bis 60 Jahren³ bei heutiger Kerntechnik auf mehrere hundert Jahre verlängert.

Nach heutigen Prognosen werden Reaktoren der Generation IV von 2030 an zum Einsatz kommen. Alle diese Reaktoren können jedoch nicht das Problem der Langzeittoxizität der Abfälle lösen. Eine sichere Lagerung der hochradioaktiven Abfälle von heutigen KKW über 170 oder 16 tausend Jahre – auch nach der heute in Deutschland vorgenommenen Verglasung – kann niemand garantieren. Erst die künstliche Umwandlung von radioaktiven Isotopen mit langen Abfallzeiten in stabile Isotope oder Isotope mit kurzen Abfallzeiten (Transmutation) kann das Problem der sicheren Lagerung der Abfälle lösen. M. A. W., die Zeit für die Abnahme der Radiotoxizität der Reaktorabfälle auf einen für Mensch und Umwelt unschädlichen, natürlichen Wert läßt sich mittels Transmutation von geologischen Zeiträumen auf einige hundert Jahre verkürzen³. Transmutationsverfahren sind in Entwicklung. Nach heutigen Prognosen, sollen geeignete Transmutationsanlagen ebenfalls ab 2030 zur Verfügung stehen.