

Vom Reaktor zur Turbine

Das als Moderator benötigte Wasser dient zugleich als Kühlmittel. Es strömt zwischen den Brennelementen hindurch und besorgt den Energietransport. Die heißen Brennelemente heizen das Wasser auf. Da es im Reaktor und im ganzen *Primärkreislauf* unter hohem Druck steht (ca. 150 bar), kann es über 300°C erhitzt werden, ohne daß es siedet. Gewaltige Pumpen befördern es zu den *Wärmetauschern*. Dort gibt es seine Energie an das Wasser im *Sekundärkreislauf* ab, das dabei verdampft. Der Dampf strömt dann unter hohem Druck zur Turbine.

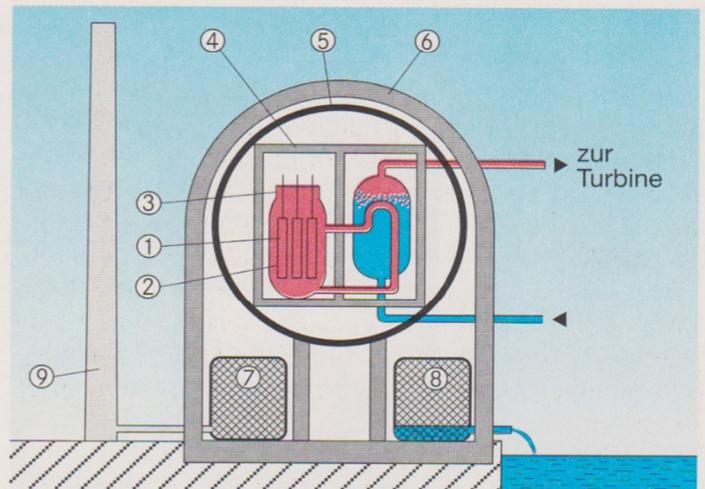
Grundsätzlich ist es auch möglich, das Wasser bereits im Reaktorgefäß zu verdampfen, wenn man dort den Druck niedriger hält. Dann wird die Turbine direkt im Primärkreis betrieben. Dies geschieht im **Siedewasserreaktor**. Das Zweikreissystem des Druckwasserreaktors verhindert jedoch, daß das schwach radioaktive Reaktorkühlwasser in die Turbinen und den konventionellen Teil des Kraftwerks gelangt. Dies erhöht die Sicherheit.

In Kraftwerken mit **Druckwasserreaktoren** erzielt man elektrische Leistungen von über 1000 MW. Die beiden Reaktorblöcke des Kraftwerks Biblis (Bild 1, S. 342), geben bei einem Wirkungsgrad von 33% zusammen eine Leistung von 2500 MW an das Stromnetz ab. Zum Vergleich: 2500 MW reichen, um die Städte Frankfurt und München einschließlich ihrer Industrieanlagen mit Strom zu versorgen.

In Kernreaktoren gewinnt man Energie aus der Spaltung von Atomkernen. Es läuft dort eine kontrollierte Kettenreaktion ab. Wichtigste Bestandteile eines Leichtwasserreaktors sind: Brennelemente, Regelstäbe und Wasser, das zugleich als Moderator und Kühlmittel dient.

Aufgaben

- 1 Vergleiche Atombombe und Kernreaktor! Wozu braucht man im Reaktor einen Moderator?
- 2 Welche Aufgaben hat das Wasser im Druck- und Siedewasserreaktor? Wie unterscheiden sich beide?
- 3 Wie regelt man im Kernreaktor die Kettenreaktion? Wie „schaltet“ man einen Reaktor ab?
- 4 Wie groß ist die Wärmeleistung eines Blocks im Kernkraftwerk Biblis? (Nutze Angaben im Text!)
- 5 Bei der Spaltung eines U-235 Kerns wird eine Energie von ca. $3,2 \cdot 10^{-11}$ J frei. Wie viele Urankerne müssen im Reaktor pro Sekunde gespalten werden, damit die Wärmeleistung 3500 MW beträgt?
- 6 Ein Gramm U-235 enthält etwa $2,5 \cdot 10^{21}$ Atome. Wieviel Tonnen U-235 werden beim Betrieb des Reaktors aus Aufg. 5 pro Jahr gespalten, wenn die mittlere Auslastung des Kraftwerks 70% der Wärmeleistung beträgt?



1 Sicherheitsbarrieren in einem Kernkraftwerk

Zur Sicherheit von Kernkraftwerken

Insbesondere seit der Reaktorkatastrophe in *Tschernobyl* am 26. April 1986, durch die weite Gebiete Europas z.T. erheblich radioaktiv belastet wurden, wird erneut die Frage nach der Sicherheit von Kernkraftwerken gestellt. Wo liegen die Risiken bei der Nutzung der Kernenergie?

Uran ist nur schwach radioaktiv. Erst als Folge der Kernspaltung entstehen radioaktive Spaltprodukte im Inneren der Brennstäbe und durch Neutronenbeschuß auch radioaktive Substanzen im Reaktorbehälter. Verschiedene *Sicherheitsbarrieren* sollen verhindern, daß diese Stoffe auch bei Störfällen nicht in die Umwelt gelangen (Bild 1).

Erste Barriere ist der *Kernbrennstoff* selbst (1). Er hält in seinem Kristallgefüge den größten Teil der Spaltstoffe fest. Weitere Hindernisse sind die gasdichten *Brennstabhüllrohre* (2), der *Reaktorbehälter* (3) sowie eine dickwandige *Abschirmung aus Stahlbeton* (4). Sie schirmt die γ -Strahlung und Neutronen ab und stellt zugleich einen Schutz gegen äußere mechanische Einwirkungen dar. Das Ganze befindet sich im *Sicherheitsbehälter aus Stahl* (5) und im *Reaktorschutzgebäude* (6), dessen Betonhülle z. B. den Aufprall eines abstürzenden Flugzeugs oder ein Erdbeben aushalten soll. Trotzdem gelangen immer noch geringe Mengen radioaktiver Stoffe, vor allem Gase in das Reaktorgebäude. Auch durch sorgfältiges Filtern (7) und (8) ist nicht zu verhindern, daß Spuren dieser Stoffe durch den Kamin (9) oder mit Abwässern nach draußen gelangen. In der Bundesrepublik darf die sich daraus ergebende Strahlenbelastung der direkten Umgebung 0,3 mSv pro Jahr nicht überschreiten (vgl. S. 337).

Doch nicht überall auf der Welt sind Kernreaktoren mit solch umfangreichen Sicherheitseinrichtungen ausgestattet. Solange sie nicht technisch nachgerüstet oder stillgelegt werden, bleiben sie ein kaum einschätzbares Risiko.

Welche Gefahren bergen Störungen?

Obwohl alle wichtigen Bauteile eines Reaktors wie z. B. Kühlmittelleitungen und -pumpen, Wärmetauscher usw. mehrfach vorhanden sind, um bei Ausfall eines Teils dessen Aufgabe zu übernehmen, kann es zu Störungen kommen. Im Notfall wird der Reaktor mit Hilfe der Regelstäbe abgeschaltet. Damit bricht zwar sofort die Kettenreaktion, nicht aber die Wärmeerzeugung im Reaktor ab. Die durch die hohe Radioaktivität der Spaltprodukte verursachte **Nachwärme** beträgt in den ersten Sekunden nach dem Abschalten noch etwa 5% der Reaktorleistung beim Betrieb!

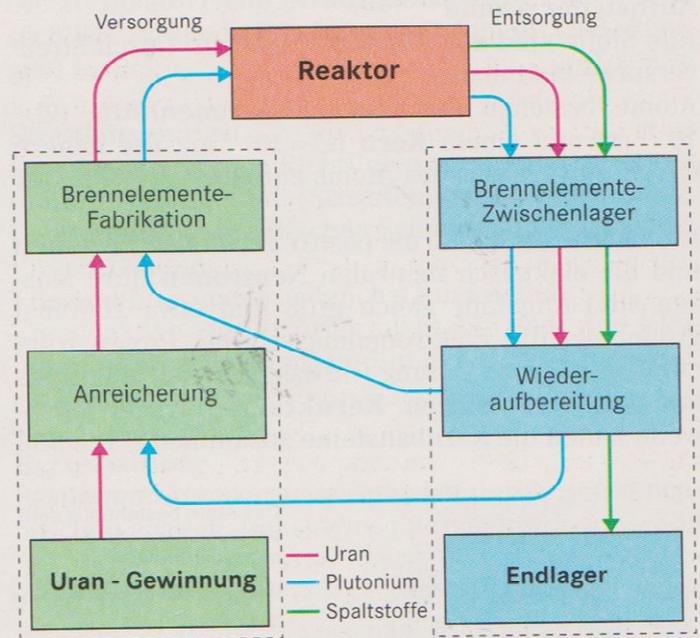
Die größte Gefahr besteht daher im Versagen der Kühlung. Ein Reaktor verfügt über mehrere, voneinander unabhängige Notkühlsysteme. Dies soll das Risiko einer *Kernschmelze* bei gleichzeitigem Versagen aller Kühlsysteme extrem gering machen. Nach einer öffentlichen Risikostudie schätzt man, daß bei dem derzeitigen Sicherheitsstandard in Deutschland ein solcher Unfall einmal in 10 000 Reaktorbetriebsjahren eintreten kann. Und selbst dann rechnet man nur in wenigen Prozent der Fälle mit Folgen, die mit dem Unfall in Tschernobyl vergleichbar wären. Dennoch erhöht man die Sicherheit von Kernkraftwerken weiter.

Das Problem der Entsorgung

Beim Betrieb eines Kernreaktors wird Uran-235 verbraucht, deshalb müssen die ausgedienten Brennelemente nach einigen Jahren aus dem Reaktor entfernt werden. Bei einem Druckwasserreaktor (1300 MW) fallen jährlich rund 30 t verbrauchter Kernbrennstoff an. Er enthält noch ca. 28,7 t Uran, dessen Anteil an U-235 unter 1% gesunken ist, ungefähr 1 t hochradioaktive Spaltprodukte, etwa 280 kg spaltbares Plutonium-239 sowie geringe Mengen von Transuranen.

Die Schwierigkeiten der **Entsorgung** – das sind alle Maßnahmen zur weiteren Behandlung des „abgebrannten“ Brennstoffs – werden durch die radioaktiven Stoffe und das Plutonium verursacht. Die Radioaktivität ist nach der Entnahme der Brennstäbe so hoch, daß man diese ein halbes bis ein Jahr lang in einem gekühlten Wasserbecken neben dem Reaktor lagert, bis sie so weit abgekühlt sind, daß sie zu einer **Wiederaufarbeitungsanlage**, transportiert werden können. In Westeuropa gibt es solche Anlagen in Frankreich und Großbritannien.

Dort werden die Brennstäbe aufgesägt und der Inhalt in heißer Säure aufgelöst. Dann trennt man die einzelnen Bestandteile chemisch. Das gewonnene Plutonium-239 kann direkt als neuer Spaltstoff eingesetzt werden (Bild 2). Auch das Uran ist wiederverwertbar. Schwierig ist die Behandlung des hochradioaktiven Anteils. Die Halbwertszeiten der Spaltprodukte sind z. T. sehr groß. Sie müssen deshalb mehrere tausend Jahre so aufbewahrt werden, daß sie unmöglich in die



2 Brennstoffkreislauf

Luft oder die Nahrungskette des Menschen gelangen. Derzeit hält man es für das sicherste, diesen *Atom-müll* tief in der Erde in ehemaligen Salzbergwerken einzulagern. Das ist jedoch politisch umstritten. Die Frage der **Endlagerung** des Atommülls muß unbedingt geklärt werden.

Ebenso umstritten ist die Wiederaufarbeitung. Ihre Gegner sehen vor allem zwei Gefahren:

- Aus Wiederaufarbeitungsanlagen können radioaktive Stoffe in die Umwelt gelangen.
- Das bei der Aufarbeitung anfallende hochangereicherte Plutonium könnte zum Bau von Atomwaffen verwendet werden, wenn es in die falschen Hände gerät. Dies ist, wie jüngere Erfahrungen zeigen, durchaus möglich.

Neben der Wiederaufarbeitung untersucht man auch die direkte Endlagerung abgebrannter Brennelemente. Hierbei fallen allerdings erheblich größere Abfallmengen an. Die aufgezeigten Probleme im Zusammenhang mit der Kernenergienutzung sind nur auf internationaler Ebene zu lösen.

Aufgaben

- 1 Welche Maßnahmen sollen verhindern, daß aus Kernkraftwerken radioaktive Stoffe nach außen dringen?
- 2 Warum muß ein Kernreaktor auch noch nach dem Abschalten gekühlt werden?
- 3 Worin bestehen die Hauptprobleme bei der Entsorgung von Kernkraftwerken?
- 4 Vergleiche die Angaben im Text über die Menge der entstandenen Spaltstoffe mit dem Ergebnis von Aufg. 6 auf S. 344!
- 5 Welche Vorteile hat die Wiederaufarbeitung der Brennelemente? Welche Probleme treten auf?