

Kernspaltung im Reaktor

Prinzipieller Aufbau

Mit der geringen Konzentration von 0,7% ^{235}U im Natururan kann ein Reaktor nicht betrieben werden. Daher wird in **Anreicherungsanlagen** die Konzentration auf etwa 3% erhöht. Außerdem kann noch ^{239}Pu beigemischt werden, das zuvor in einem anderen Reaktor „erbrütet“ wurde.

Die Spaltstoffe liegen als metallisches Oxid vor und werden in ein Hüllrohr aus einer Zirkonlegierung (Schmelzpunkt ca. 1300 K; keine Neutronenabsorption) eingeschweißt. Mehrere solche Rohre werden zu sogenannten **Brennelementen** gebündelt, die sich zusammen mit dem **Moderator** Wasser in einem Drucktank befinden.

Die bei der Spaltung nutzbare Bewegungsenergie der Spaltprodukte wird in Form von Wärme an das Wasser abgegeben. Das heiße unter Druck stehende Kühlmittel wird durch einen Wärmeaustauscher gepumpt, in dem es Wasserdampf erzeugt, der wie in einem gewöhnlichen Wärmekraftwerk eine Turbine antreibt.

In den Drucktank ist auch das **Regelsystem** des Reaktors eingebaut, das aus Stäben mit stark Neutronen absorbierendem Material (Cadmium, Indium, Bor) besteht. Dadurch ist es möglich, den Neutronenfluss so zu regeln, dass die Kritikalität k des Reaktors 1,0 ist.

Bei einer üblichen Leistung von 1,2 GW und einem Wirkungsgrad von 40% ist eine Spaltleistung von 3,0 GW notwendig. Dies entspricht $0,9 \cdot 10^{20}$ Spaltungen pro Sekunde bzw. einer Spaltung von 36 mg Uran und damit einer Erzeugung von 36 mg Spaltprodukten pro Sekunde. Diese Spaltprodukte sind Isotope im Massenbereich $A = 90$ bis 100 bzw. $A = 130$ bis 140 und zumeist instabil und unterliegen dem β -Zerfall. Die dabei freigesetzte Energie trägt ebenfalls zur Erwärmung des Kühlmittels bei (ca. 5%) und fällt auch dann noch an, wenn der Reaktor bereits abgeschaltet ist („Nachwärme“)!

Bei einer Restkonzentration von 0,7% ^{235}U wird der Brennstab ausgewechselt. Dies entspricht der Gesamtmasse von 40 t Uranoxid jährlich.

Reaktortypen

• **Leichtwasserreaktor**

weiteste Verbreitung

ca. 1 GW elektrische Leistung

Spaltmaterial: angereichertes ^{235}U

Kühlmittel und Moderator: Wasser (→ innere Sicherheit)

Varianten:

- Druckwasserreaktor (hoher Druck des Kühlmittels → Siedetemperatur erhöht sich auf über 280°C)
- Siedewasserreaktor (Sieden wird nicht verhindert; Wasserdampf treibt direkt die Turbine an)

• **Hochtemperaturreaktor**

Spaltmaterial: ^{232}Th wird durch Neutroneneinfang in ^{233}Th konvertiert, aus dem über zwei β -Zerfälle ^{233}U entsteht; dieses dient als Spaltmaterial.

Moderator: Graphit

Spaltmaterial und Moderator werden zu einer homogenen Kugel geformt.

Kühlmittel: Heliumgas (750°C – 900°C)

hoher Wirkungsgrad wegen des hohen Temperaturgefälles

• **Schneller Brutreaktor**

Spaltmaterial: ^{239}Pu

Durch Neutroneneinfang wird aus ^{238}U das Isotop ^{239}U erbrütet, das über ^{239}Np wieder in ^{239}Pu zerfällt. Pro gespaltenem ^{239}Pu -Kern entsteht dabei mehr als ein neuer ^{239}Pu -Kern! Das erbrütete Plutonium muss daher auf chemischem Weg herausgelöst werden (→ Wiederaufbereitung nötig!).

• **Druckröhrenreaktor**

Moderator: Graphitblock mit 2000 Bohrungen, in denen sich die von Wasser umspülten Druckrohre mit dem Spaltmaterial befinden.

Nachteil: komplexe Röhrenstruktur; keine innere Sicherheit

Vorteil: Beschickung und Entnahme auch im laufenden Betrieb möglich

besonders im militärischen Bereich eingesetzt

• **Naturreaktor**

In Oko (Gabun) arbeitete (vermutlich) ein „Naturreaktor“ über einen Zeitraum von 200 000 Jahren. In der frühen Erdgeschichte war die Konzentration von ^{235}U erheblich größer als heute. Als vor 2 Milliarden Jahren in diese Uranlager Wasser einbrach, verfügte der Reaktor über einen Moderator und eine Kettenreaktion setzte ein, bis die ^{235}U -Konzentration auf ca. 1% abgesunken war.

(nach Kuhn, Physik Band II, 2. Teil, Braunschweig 1990, S. 495f)