

Atomstrom - Funktion und Bauweise eines Kernreaktors

Strom aus dem Atom:

Welche Typen von Atomkraftwerken gibt es?

Leichtwasserreaktoren sind die weltweit häufigste Reaktorlinie. Auch in Deutschland sind alle zur Zeit betriebenen Kernkraftwerke Leichtwasserreaktoren (13 Druckwasserreaktoren 6 Siedewasserreaktoren). Hauptsächlich wegen der hohen Leistungsdichte ist der Leichtwasserreaktor wenig fehlertolerant, wenn die Kühlung des primären Wasserkreislaufs ausfällt. Deshalb muss dieser Wasserstrom in jedem Fall sichergestellt sein.

Wie funktioniert ein Kernkraftwerk?

Man könnte meinen, dass ein Kernkraftwerk die bei der Kernspaltung frei werdende Energie direkt als Strom abgreifen kann. Jedoch wird auch bei Kernkraftwerken der Strom prinzipiell wie in einem gewöhnlichen Kraftwerk erzeugt: In technischer Hinsicht sind Kernkraftwerke nämlich Wärmekraftwerke, genauso wie Kohle- oder Gaskraftwerke. Dabei wird durch einen Brennstoff (Uran, Kohle oder Gas) Wasser verdampft. Der unter hohem Druck stehende Dampf versetzt eine Turbine in Drehungen. Die Turbine treibt einen Generator an , dieser erzeugt den Strom.

Siedewasserreaktor:

Die Brennelemente, die das Urandioxid enthalten, befinden sich in dem zu etwa zwei Drittel mit Wasser gefüllten Druckbehälter. Das Wasser strömt von unten nach oben durch den Reaktorkern und führt dabei die in den Brennstäben entwickelte Wärme ab. Ein Teil des Wassers verdampft. Nach einer Dampf-Wasser-Trennung im oberen Teil des Druckbehälters wird der Satttdampf mit einer Temperatur von 287°C und einem Druck von ca. 69 bar direkt der Turbine zugeführt. Es sind bis zu 5000 t Dampf pro Stunde. Die Turbine ist mit einem Drehstromgenerator gekoppelt, der an den Abnehmern eine Leistung von 900 Megawatt bei einer Spannung von 27 kV liefert! Das im Druckbehälter nicht verdampfte Wasser fließt in dem Ringraum zwischen Druckbehälter und Reaktorkern wieder nach unten, wobei es sich mit dem aus dem Kondensator zurückgepumpten Speisewasser vermischt. Die im Druckbehälter vorhandenen Pumpen wälzen das Kühlmittel um. Durch eine Veränderung der Drehzahl dieser Pumpen kann die Umwälzmenge des Kühlmittels geändert und dadurch die Reaktorleistung gesteuert werden. Bei der Nennleistung des Reaktors strömen pro Stunde 37300 t Kühlmittel durch seinen Kern. Der aus der Turbine austretende Dampf wird im Kondensator verflüssigt. Dazu sind pro Stunde etwa 140500m³ Kühlwasser erforderlich, die meist Flüssen entnommen werden. Das Speisewasser wird durch Vorwärmanlagen auf eine Temperatur von 215°C gebracht und dem Reaktor wieder zugeführt. Die 145 Steuerstäbe, die das neutronenabsorbierende Material (Borcarbid + Hafnium / B4C) enthalten, werden elektromotorisch (bei Normalantrieb) oder hydraulisch (für Schnellabschaltung) von unten in den Reaktorkern eingefahren oder wieder herausgezogen.

Aus dem Sicherheitsbehälter führen die Rohrleitungen nach außen in das Maschinenhaus. Da der Dampf nicht frei von radioaktiven Verunreinigungen ist, muss auch das Maschinenhaus in eine Sicherheitsabschirmung einbezogen sein. Außerdem sind eine Reihe weiterer Sicherheitsvorrichtungen eingebaut, um bei einer Störung eine sofortige Unterbrechung des Dampfstromes zum Maschinenhaus zu erreichen. Das Reaktordruckgefäß mit den Brennelementen ist ein zylindrischer Stahlbehälter. Er ist mit einem Betonschild abgeschirmt

und befindet sich zusammen mit einer Reihe weiterer Anlagenteile und Sicherheitseinrichtungen in einem kugelförmigen Sicherheitsbehälter.

Druckwasserreaktor

Durch das Wasser wird die in den Brennelementen erzeugte Wärme abgeführt. Um ein Sieden zu verhindern, wird der Betriebsdruck im Hauptkühlkreis auf ca. 158 bar heraufgesetzt und durch einen Druckhalter geregelt. Das Kühlmittel tritt mit einer Temperatur von 291°C in den Reaktor ein und verlässt ihn wieder mit einer Temperatur von 326°C. Etwa 67680 t Kühlmittel werden je Stunde durch den Reaktor bewegt. Das erhitzte Wasser gibt seine Wärme in 4 Dampferzeugern an das Wasser eines Sekundärkreises ab. Aufgrund der hohen Temperatur und des niedrigeren Druckes verdampft es im Sekundärkreis und liefert pro Sekunde 2,061 t Sattdampf von 284,5°C und einem Druck von ca. 66 bar. Durch ein solches Zweikreissystem wird erreicht, dass die im Reaktorkühlmittel auftretenden radioaktiven Stoffe auf den ersten Kühlkreislauf beschränkt bleiben und nicht in die Turbine und den Kondensator gelangen. Mit Hilfe des erzeugten Dampfes wird eine Turbine (Hochdruckteil, Niederdruckteil) betrieben, die direkt mit einem Drehstrom-Synchrongenerator gekoppelt ist. Der Generator liefert an den Klemmen eine Leistung von 1362 Megawatt bei einer Spannung von 27 kV. Im Kondensator wird der aus der Turbine austretende Dampf wieder verflüssigt. Dazu sind etwa 208008 t Kühlwasser pro Stunde erforderlich. Das Kondensat wird durch eine Speisewasserpumpe einer Vorwärmanlage zugeführt, auf 218°C vorgewärmt und anschließend in den Dampferzeuger zurückgeleitet. Für die Steuerstäbe des Reaktors wird z. B. eine Legierung aus Silber, Indium und Cadmium als Absorbersubstanz verwendet, da sie eine große Neigung zur Absorption von Neutronen besitzt. Für schnelle Steuervorgänge können 61 Steuerstäbe ganz oder teilweise in den Reaktor eingefahren und wieder herausgezogen werden. Für langsame oder langfristige Regelvorgänge wird Borsäure als Neutronenabsorber dem Reaktorkühlwasser zugesetzt. Die Brennelemente befinden sich in einem Druckbehälter aus Spezialstahl (Wandstärke 25 cm), der zusammen mit dem Primärkreislauf in einem doppelwandigen Sicherheitsbehälter untergebracht ist.

Der Kühlturm

Um den Abdampf der Turbine wieder in Wasser zurückzuverwandeln, muss dem Wasser die sogenannte Kondensations Wärme entzogen werden. Dazu wird durch die Kondensatorrohre ständig Kühlwasser geschickt. Zur Anpassung des Kraftwerks Betriebes an alle auftretenden Verhältnisse sind verschiedene Kühlmöglichkeiten vorgesehen. Bei Frischwasserbetrieb (Entnahme ca. 60m³/s) wird das Hauptkühlwasser von den Hauptkühlwasserpumpen über die Kondensatoren im Maschinenhaus gefördert und strömt über das Kraftschlussbecken, den offenen Ablaufkanal und das Wiedereinleitungsbauwerk in das Gewässer zurück. Für den Kühlturbetrieb ist der Kraftwerksblock mit einem Naturzug Nasskühlturm ausgestattet, der sowohl im Ablauf- als auch im Rückkühlbetrieb gefahren werden kann. Bei Ablaufbetrieb (Entnahme von ca. 60m³/s) wird das Wasser vor Rückgabe in den Fluss über den Kühlturm geleitet und dabei in Abhängigkeit vom jeweiligen Zustand der Atmosphäre abgekühlt. Beim Rückkühlbetrieb wird die Wärmeabgabe in den Fluss im wesentlichen unterbunden, da hierbei das über den Kühlturm geführte Wasser aus der Kühlturmtasse in den Kühlwasserkreislauf zurückgeleitet wird. Dem Kühlkreislauf wird kontinuierlich eine Zusatzwassermenge von 23m³/s zur Deckung der Verdunstungsverluste und der Abschlämmwassermenge aus dem Fluss zugeführt.

Kernfusion

Was ist Kernfusion?

Kernfusion ist eigentlich die Umkehrung der Kernspaltung. Anstatt große Atomkerne zu spalten, werden kleine verschmolzen. Dazu werden die Wasserstoffisotope Deuterium und Tritium benutzt. Als "Abfallprodukt" entsteht dabei Helium. Der gleiche Vorgang läuft auch in der Sonne ab. Allerdings stoßen sich Atomkerne unter normalen Bedingungen durch die gleiche elektrische Ladung ab. Deshalb müssen Druck und Temperatur so hoch sein, dass diese Abstoßung nicht mehr gegeben ist. Das ist nur im sogenannten Plasma möglich. Plasma ist etwa 100.000.000 °C heißes Wasserstoffgas. Bei diesen Temperaturen ist es in seine Bestandteile, Deuteronen, Tritonen und Elektronen zerlegt. Treffen bei diesen Bedingungen zwei Wasserstoffatome aufeinander, verschmelzen zu einem Heliumatom und setzen dabei riesige Mengen Energie frei.

Welche Bedingungen müssen gegeben sein?

Die sogenannten Zündbedingungen sind die Bedingungen, die notwendig sind, um Kernfusionskraft nutzbar zu machen. Wenn das Plasma "zündet" wird genauso viel Energie freigesetzt, damit genug Fusionsprozesse ablaufen um die Temperatur des Plasmas zu erhalten.

Nötig sind:

- Eine Plasmatemperatur von 100 – 200 Millionen Grad
- Eine Plasmadichte von ca. 10 Teilchen pro Kubikzentimeter (Das ist etwa 250000 weniger in der Lufthülle der Erde)
- Eine Energieeinschlußzeit von 1 – 2 Sekunden

Wie kann man solche Bedingungen schaffen?

Um die Zündung auf der Erde zu erreichen, muss die Fusion in einem geschlossenen Behälter durchgeführt werden. Dazu wird ein Ring aus Magneten benutzt, der ein Kraftfeld erzeugt, das Temperatur und Druck standhält. Alle anderen Materialien würden spätestens bei etwa 3000°C schmelzen. Gleichzeitig muss es aber möglich sein, Helium und andere Verunreinigungen zu entfernen, Wärme abzuführen (um Strom zu erzeugen), gleichzeitig aber auch die Anlage vor der Hitze zu schützen. Dabei treten jedoch viele kleinere technische Probleme auf, die nicht alle einzeln besprochen werden können. Die wichtigsten sind, dass das Plasma immer in einer Bahn im Reaktor bleiben muss, dass eine Fusionsanlage eine bestimmte Größe nicht unterschreiten darf (so etwas wie "Mikrofusion" ist also derzeit unmöglich) und dass selbst kleinste Fehler in der Anordnung der Magnete das gesamte System zusammenbrechen lassen. Es gibt 2 Kraftwerkstypen, die eine Fusion dauerhaft ermöglichen: Tokamak und Stellator.

Beim Tokamak gibt es ringförmige Magnete, die das Plasma umschließen, einen Magneten in der Mitte, und einige die den Plasmastahl umschließen. Der größte Nachteil des Tokamaks ist, dass er sehr leicht instabil wird und zusätzlich Strom durch das eigentlich nach außen hin elektrisch neutrale Plasma geleitet werden muss. Deswegen wird wahrscheinlich eher der Stellator den Weg zum Kraftwerk finden. Der Grund dafür ist, dass er für den Dauerbetrieb ausgelegt ist. Die Anordnung der Magnete sorgt dafür, dass sich der Plasmastrom ohne zusätzliche Einwirkung solange stabil um dreht und sich dabei windet, bis die Verunreinigungen zu stark werden oder der Wasserstoff ausgegangen ist (das sollte bei wirklichen Kraftwerken natürlich nicht vorkommen). 2004 soll mit Wendelstein-X der 1. Stellator, durch dessen Erkenntnisse ein wirkliches Kraftwerk möglich wird, in Greifswald entstehen. Die Tokamaks haben zwar noch einen technischen Vorsprung, der könnte allerdings in der nächsten Zeit dahinschmelzen.

Quellen:

Brockhaus Enzyklopädie

Microsoft Encarta 2000

Physikbuch Klasse 10

© 2001 Dominik Schwarz & Stephan Pitan