

KERNKRAFTWERKE

Kernenergie

Als Kernenergie bezeichnet man die Ausbeutung der Energie, durch Kernspaltung, die in den Atomkernen besteht. Diese Energienutzung ist neu und gibt es erst seit den 1950er Jahren.

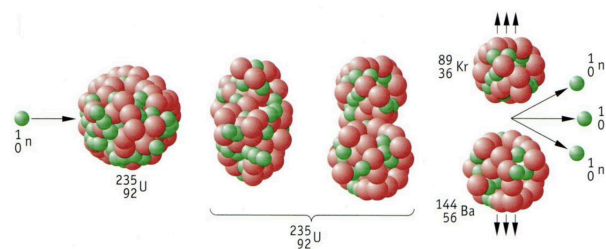
Jedoch war anfangs keine friedliche Nutzung vorgesehen sondern die Nutzung in der Atombombe.

Kernspaltung, Kernfission

Im Jahre 1938 entdeckten die Physiker *Otto Hahn* und *Fritz Strassmann* die Kernspaltung

Funktionsweise

Beschießt man einen Uran ^{235}U -Kern mit einem Neutron, so bildet sich ein Zwischenkern, der dann zerfällt und in zwei Kerne spaltet. Dabei werden 2 bis 3 Neutronen freigesetzt.



Bei dieser Spaltreaktion werden pro gespalteter Kern etwa $200\text{MeV} = 3 \cdot 10^{-11}\text{J}$ freigesetzt.

Kettenreaktion

Um große Mengen an ^{235}U spalten zu können, braucht man sich der Kettenreaktion. Da pro Spaltung 2 bis 3 Neutronen freigesetzt werden, bildet

sich eine Kettenreaktion.

Die Kettenreaktion erlaubt es große Mengen an Energie freizusetzen.

Vermehrungsfaktor

Die Kettenreaktion zieht jedoch mit sich, dass die Reaktion *lawinenartig* anwächst. Um das technisch zu beschreiben definiert man den Vermehrungsfaktor k .

Formel

$$k = \frac{\text{Anzahl der nachfolgenden Spaltungen}}{\text{Anzahl der vorherigen Spaltungen}}$$

Vermehrungsfaktor	Zustand	Beispiel	Bezeichnung
$k < 1$	Die Anzahl an Spaltungen nimmt ab	Herunterfahren des Reaktors	unterkritisch
$k = 1$	Die Anzahl an Spaltungen bleibt konstant	stationärer Betrieb des Reaktors	kritisch

$k > 1$	Die Anzahl an Spaltungen nimmt zu	Hochfahren des Reaktors	überkritisch
---------	--	----------------------------	--------------

Stationärer Betrieb

Um den stationären Betrieb des Reaktor aufrechtzuerhalten muss eine mindest Menge, genannt kritische Masse, an Spaltstoff vorhanden sein.

Wird die kritische Masse überschritten, so verlassen zu viele Neutronen den Spaltstoff ohne eine Spaltung zu bewirken. Dies kann verhindert werden mit Neutronenreflektoren der die Neutronen wieder ins Spaltprodukt reflektiert.

Wechselwirkung zwischen Neutron und Kern

Wenn ein Neutron auf ein Atomkern trifft so gibt es 3 verschiedene Möglichkeiten wie sie mit einander reagieren können. Diese sind *Spaltung*, *Streuung*, *Absorption*.

Alle genannten Reaktionen sind möglich, sie hängen also von der statistischen Wahrscheinlichkeit der Reaktion ab, und das unabhängig von der Geschwindigkeit der Neutronen.

Bemerkung

Thermische Neutronen sind langsame Neutronen.

Bezeichnung	Neutronengeschwindigkeit
-------------	--------------------------

schnelle Neutronen	$> 10^7 \frac{m}{s}$
mittelschnelle Neutronen	$> 10^5 \frac{m}{s}$ bis $> 10^7 \frac{m}{s}$
langsame Neutronen	$> 10^5 \frac{m}{s}$

1. Spaltung

Man unterscheidet zwischen:

- Kerne mit gerader Massenzahl

Ein Neutron kann ein Kern mit gerader Massenzahl spalten, wenn das Neutron ein schnelles Neutron ist.

- Kerne mit ungerader Massenzahl

Hier kann auch ein langsames Neutron den Kern spalten.

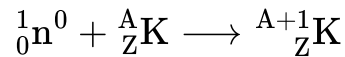
Wobei schnelle Neutronen auch den Kern spalten können ist das viel unwahrscheinlicher und werden daher nicht benutzt.

2. Streuung

Die Streuung ist der Stoßvorgang zwischen den Neutronen und den Kernen. Hierbei wird das Neutron nach dem Stoßvorgang abgelenkt und es verliert Energie an den Atomkern. Da hierbei das Neutron an Geschwindigkeit verliert werden die schnellen Neutronen zu thermischen Neutronen. Man spricht hierbei auch von einem Bremsvorgang der Neutronen.

3. Absorbtion

Absorbtion ist wenn der Atomkern das Neutron einfängt, es gilt:



Da der Kern ein Neutron eingefangen hat ist er radioaktiv. Er sendet γ -Strahlung aus.

Moderator, Moderation

Stoffe die die Streuung begünstigen heißen Moderatoren, sie machen Moderation. Sie bremsen also schnelle Neutronen auf langsame Neutronen ab.

Oft werden folgende Stoffe verwendet: schweres Wasser, Wasser, Beryllium, Grafit.

Neutronen einfangen

Stoffe die Neutronen einfangen sind einerseits in den Reaktorstäben enthalten; wo sie erwünscht sind, und auch in den Spaltprodukten hier bezeichnet man sie als Reaktorgifte.

Wenn der Reaktor gebaut wird müssen jedoch Stoffe eingesetzt werden die keine Tendenz haben Neutronen einzufangen diese heißen Strukturmaterialien.

Sie haben ebenfalls einen Einfluss auf den Vermehrungsfaktor. Gibt es mehr Reaktorgifte so sinkt der Vermehrungsfaktor $k < 1$ gibt es weniger so steigt der Vermehrungsfaktor $k > 1$

Kernbrennstoffe

Geeignete Kernbrennstoffe müssen aus schweren Kernen bestehen, wobei : $A > 200$. Hierfür eignet sich technisch bis jetzt nur ${}^{235}\text{U}$.

Bemerkung

Der Name Kernbrennstoffe kommt daher dass in anderen Kraftwerken oft etwas verbrannt wird. Das ist jedoch beim Kernkraftwerk nicht der Fall.

Gewinnung von U-235

Das Natürlich vorkommende Uran besteht aus:

- 0,7%: ^{235}U

Das ^{235}U ist das gewollte spaltbare Uran

- 99,3%: ^{238}U

Das ^{238}U ist das ungewollte nicht großtechnisch spaltbare Uran

Diese Mischung an Uran ist gleichmäßig über alle Kontinente verteilt, jedoch in sehr geringen Mengen. Was Uran sehr teuer macht und durch die geringen Mengen an Uran in 1t Erz, etwa 7g, noch teurer. Die geringen Mengen und die Kosten sind große Faktoren bei den neuen Kernkraftwerken. Es ist nicht sicher gestellt ob genug und kostengünstiges Uran zu betriebe vorhanden ist.

Brennelement, Brennstoff, Brennstab

In einem Reaktor sind Brennstäbe eingebaut. Sie sind lange rohrförmige Stäbe.

In diesen laufen die Spaltreaktion statt. Man füllt sie mit Pellets oder Brennstofftabletten auf. Diese bestehen aus Urandioxidpulver was in Tabletten gepresst wurde. Dabei muss beachtet werden, dass zwischen dem Brennstoff genügend Platz vorhanden damit entstehende Gase genügend Platz haben.

In einem Reaktor werden mehrere dieser Brennstäbe mit einem Abstandhalter zusammengefasst. Das fertige Produkt bezeichnet man als Brennelement.

Ein Brennstoff dürfen nicht in Kontakt geraten, deshalb werden sie in Tabletten

gepresst und in dem Brennstab eingeschlossen. Ein Kontakt von Brennstoff und Kühlmittel nennt man Kontamination.

Bemerkung

Bei einem Unfall könnte man pulverförmiges Urandioxid nicht so leicht bergen als Tabletten von Urandioxid.

Leichtwasserreaktoren, LWR

Ein Leichtwasserreaktor ist eine Art von Reaktor. Zu dieser Art gehören Siedewasserreaktor und Druckwasserreaktor.

Aufbau

Ein Leichtwasserreaktor besteht aus einem Reaktorgefäß, einem Brennelement, leichtem Wasser und Regelstäbe.

Funktionsweise

Im Reaktorgefäß befindet sich Wasser, im Wasser ist das Brennelement. Das Wasser fungiert hierbei als Kühlmittel und als Moderator. Die Regelstäbe können rein und raus bewegt werden um die Spaltgeschwindigkeit zu regulieren. Sind die Regelstäbe näher an den Brennstäben so geschehen weniger Zerfälle pro Zeiteinheit, sind sie weiter entfernt so steigt die Anzahl an Zerfällen.

Regelstäbe

Ein Regelstab hat zur Aufgabe den Vermehrungsfaktor k zu regulieren. Regelstäbe bestehen aus Stoffen die die Eigenschaft haben Neutronen einzufangen, somit verändern sie kontrolliert die Spaltgeschwindigkeit.

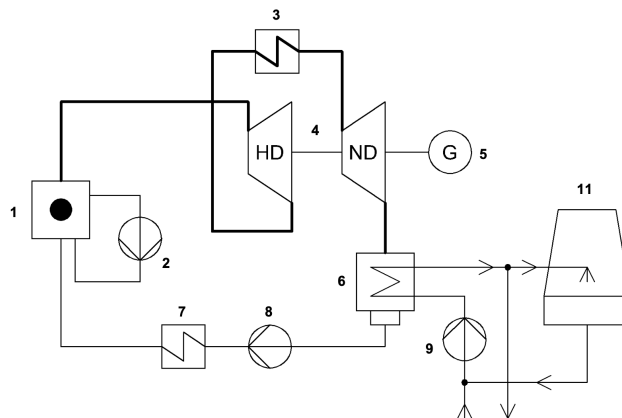
Selbststabilisierung

Leichtwasserreaktor sind selbst stabilisierend, das bedeutet, dass eine unkontrollierbare Kettenreaktion wie bei einer Atombombe physikalisch unmöglich ist.

Steigt die Spaltaktivität schnell an so wird ebenfalls mehr Wärme produziert. Diese fließt in das Kühlmittel und erwärmt ihn. Das Wasser erhöht also seine Temperatur, seine Dichte nimmt damit ab, und damit auch seine Moderatorwirkung. Dies bewirkt nun, dass die schnellen Neutronen nicht mehr auf thermische Neutronen abgebremst werden können und somit die Reaktion an Geschwindigkeit abnimmt. Die Reaktion kommt zum stoppen.

Siedewasserreaktor, SWR

Schaltplan



Aufbau

Siedewasserreaktoren besitzen einen Kreislauf.

Funktionsweise

Bei einem Siedewasserreaktor ist der Reaktor zu $\frac{2}{3}$ mit Wasser gefüllt. Das erlaubt dem Wasser, unter der Wärme des Brennelements, zu siedern, daher der Name. Der Wasserdampf wird anschließend getrocknet und fließt dann zu den Turbinen. Nach den Turbinen kondensiert der Wasserdampf wieder zu Wasser,

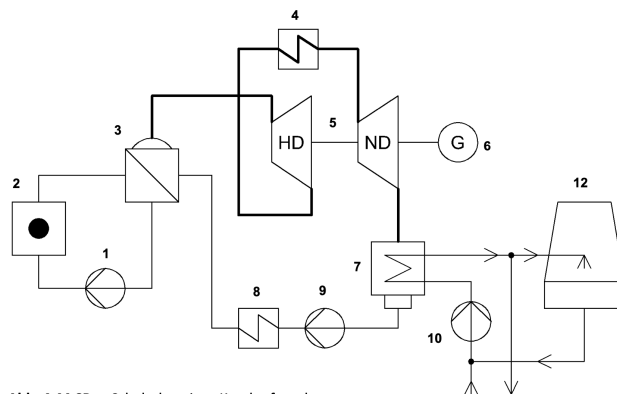
durchgeht einen Kondensator und wird dann wieder in den Reaktor zurückgepumpt.

Schutzmaßnahmen

Da das Wasser den stark radioaktiven Reaktor durchläuft ist es ebenfalls stark radioaktiv und muss somit Abgeschirmt werden um Kontamination zu vermeiden. Das Maschinenhaus der Turbinen sowie Pumpen, Reaktor und alles weitere was mit dem Wasser in Kontakt gerät muss Abgeschirmt werden, dass keine Strahlung heraus gelangen kann.

Druckwasserreaktor, DWR

Schaltplan



Aufbau

Druckwasserreaktoren besitzen 2 Kreisläufe.

Funktionsweise

Der Primärkreislauf transportiert die Wärme die im Reaktor entsteht zu einem Dampferzeuger. Das geschieht ohne, dass das Wasser dabei Aggregatzustand ändert; es bleibt flüssig.

Im Sekundärkreislauf wird das flüssige Wasser im Dampferzeuger zum Sieden

gebracht. Der Dampf fließt, dann zu der Hochdruckturbine und anschließend zum Überhitzer und dann zur Niederdruckturbine.

Schutzmaßnahmen

Bei dem Druckwasserreaktor gibt es den Vorteil, dass es mehrere Kreisläufe gibt, was bewirkt, dass die Strahlung besser abgeschirmt ist.

Barrierenkonzept

Das Barrierenkonzept ist die Methode die Umwelt von den radioaktiven Stoffen frei zu halten.

Verschiedene Barrieren schützen von verschiedenen Arten von Kontamination beispielsweise durch Auslaufen des stark radioaktiven Wassers, oder das Durchdringen der Strahlung, sowie der Austritt der Brennstoffe. Es gibt folgende Barrieren von ganz innen nach außen:

1. Der Brennstoff wird in Brennstofftabletten gepresst.
Verhindert den Stoffausbruch.
2. Der Brennstoff wird in Brennstäbe gepackt.
Verhindert den Stoffausbruch.
3. Das Brennelement wird in den Reaktordruckbehälter eingebaut.
Verhindert den Wasserauslauf.
4. Der Reaktordruckbehälter wird in eine Betonabschirmung eingebaut.
Verhindert, dass Strahlen entkommen.
5. Die Betonabschirmung wird in ein Sicherheitsbehälter eingebaut.
Verhindert den Wasserauslauf.

6. Der Sicherheitsbehälter wird in eine zweite Stahlbetonhülle eingebaut.

Verhindert, dass Strahlen entkommen.

GAU

GAU steht für: Größt anzunehmender Unfall.

GAU bei LWR

Der Größt anzunehmender Unfall bei einem Leichtwasserreaktor ist die Kernschmelze. Der Brennstoff würde sich so stark aufheizen, bis zum Beispiel einem Rohrbruch im Kühlsystem, dass es zur Kernschmelze käme. Da eine Kettenreaktion ausgeschlossen ist durch die Selbststabilisierung, würde der Reaktor sich so stark erhitzen, dass er sich möglicherweise durch alle Barrieren durchschmelzen würde. Somit gelangen die radioaktiven Spaltprodukte in die Umwelt.

Sicherheitsmaßnahmen

Die Sicherheitsmaßnahmen sollen die Wahrscheinlichkeit, dass ein GAU vorkommt verringern. Sie sind:

- **Redundanz**

Redundanz bedeutet, dass wichtige System mehrfach vorhanden sind. Dies ist wichtig, fällt nun ein kritisches System aus, kommt es nicht sofort zu GAU.

- **Diversität**

Die mehrfach vorhandenen Systeme müssen auch unterschiedliche funktionsweisen haben beispielsweise eine andere Energieversorgung, von Strom auf Kraftstoffe.

- Räumliche Trennung

Wichtige Systeme sollten ebenfalls in verschiedenen Räumen vorhanden sein, so dass sie von äußeren Faktoren geschützt sind beispielsweise Explosionen.

Entsorgung

Bei der Reaktion im Brennstab, werden auch Reaktorgifte produziert. Deshalb muss vor dem, dass das Ganze Uran gespalten ist schon der Brennstab entsorgt werden.

Die bei der Spaltung von Uran entstandenen Stoffe sind stark radioaktiv jedoch haben diese eine kurze Halbwertszeit. Sie werden deshalb in ein sogenanntes Abklingbecken zwischengelagert. Das Abklingbecken ist mit Wassergefüllt.

Wiederaufbereitung

Da Uran nicht wieder erzeugt werden kann und dessen Gewinnung nur teurer wird. Muss das noch brauchbare ^{235}U wieder aufbereitet werden. Wiederaufbereitung ist also das brauchbare Uran aus den Brennstäben in neue Brennstäbe zu recyceln.

WAA

WAA, steht für Wiederaufbereitungsanlage. Sie arbeiten mit dem sogenannten *PUREX-Verfahren*.

PUREX-Verfahren

PUREX steht für: Plutonium-Uranium-Recovery by Extraction. Das PUREX-Verfahren besteht aus folgenden Schritten:

1. Die Brennstäbe werden in etwa 5 *cm* große lange Stücke zerschnitten.
Dann werden sie in konzentrierte Salpetersäure gelegt, das löst den Inhalt der Brennstäbe in der Lösung auf.
2. Das Uran und Plutonium werden aus der Lösung getrennt.
Die anderen stark radioaktiven Spaltprodukte werden verfestigt, in Glas eingeschmolzen, wiederum in Edelstahlzylinder eingeschmolzen.
Die mittelstarken Spaltprodukte werden in Beton ummantelt.
3. Uran und Plutonium werden anschließend von einander getrennt und so aufbereitet, dass es in der Brennelementfertigung weiterverarbeitet werden kann.

Endlagerung

Die Spaltprodukte mit einer sehr großen Halbwertszeit und die stark radioaktiv sind müssen für sehr lange Zeit gelagert werden, man spricht von Endlagerung. Schwach radioaktive oder mittelstarke radioaktive Abfälle werden oft nur in stillgelegten Bergwerken gelagert.

Um einen geeigneten Standort zu finden um die stark radioaktiven Spaltprodukte endlagern zu können müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

- geologische Stabilität
- keine Verbindung zum Grundwasser
- ausreichende Tiefe
- gute Wärmeleitfähigkeit