

# LK Physik \* Energie durch Kernspaltung und Fusion

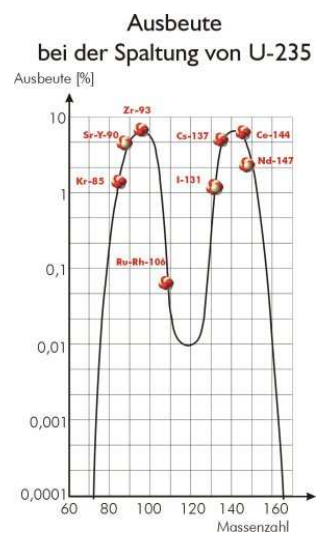
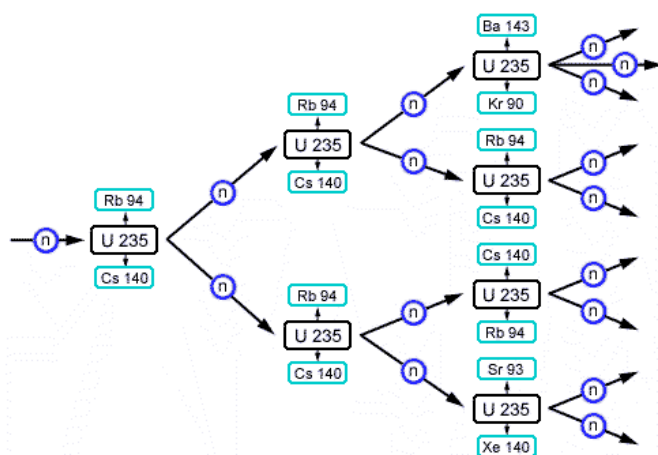
[Quelle: [http://www.physik.uni-muenchen.de/leifiphysik/web\\_ph10/umwelt-technik/13kkw/schema.htm](http://www.physik.uni-muenchen.de/leifiphysik/web_ph10/umwelt-technik/13kkw/schema.htm)]

## Kernspaltung und Kettenreaktion

Hahn, Straßmann und Meitner entdeckten als erste, dass man mit langsamen Neutronen (typische Geschwindigkeit ca. 2km/s) die schweren Uran-235-Kerne spalten kann. Dabei wird kurzzeitig ein instabiler Zwischenkern (Uran-236) gebildet, welcher in zwei mittelschwere Kernbruchstücke "zerplatzt". Bei diesem Spaltprozess entstehen 2 bis 3 sehr schnelle Neutronen (typische Geschwindigkeit ca. 10000km/s). Die bei der Spaltung entstandenen Kernbruchstücke sind radioaktiv und zerfallen weiter.

Einen Teil der Bindungsenergie, die den Urankern zusammenhielt, nehmen die Kernbruchstücke als Bewegungsenergie mit. Diese Bruchstücke sind positiv geladen, stoßen sich elektrisch ab und fliegen auseinander. Da sie jedoch in ein Kristallgitter eingebettet sind, können sie nicht frei wegfliegen, sondern werden sehr schnell abgebremst. Bei dem Bremsvorgang wird die Bewegungsenergie in innere Energie umgewandelt.

Damit eine Kettenreaktion zustande kommt, muss eine gewisse Mindestmasse (**kritische Masse**) spaltbaren Materials vorliegen. Ist dies nicht der Fall verlassen zu viele Neutronen das Material an seiner Oberfläche bevor sie eine Spaltung bewirkt haben. Die kritische Masse von U-235 beträgt etwa 50kg.

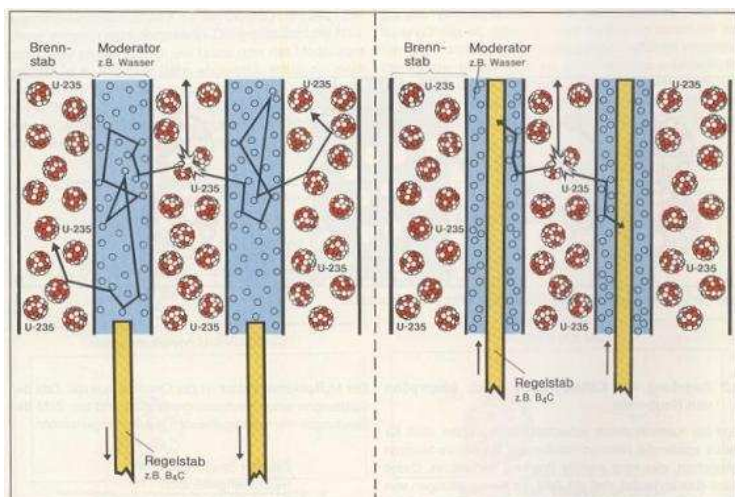
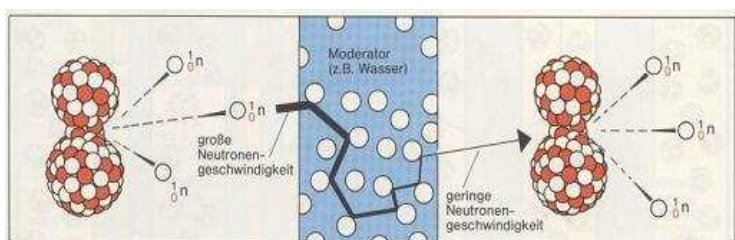


## Moderation und Regelung

Will man mit den schnellen Spaltneutronen eine Kettenreaktion auslösen, muss man diese erst abbremesen (moderieren) damit eine genügend hohe Wahrscheinlichkeit besteht, dass weitere U-235 Kerne gespalten werden.

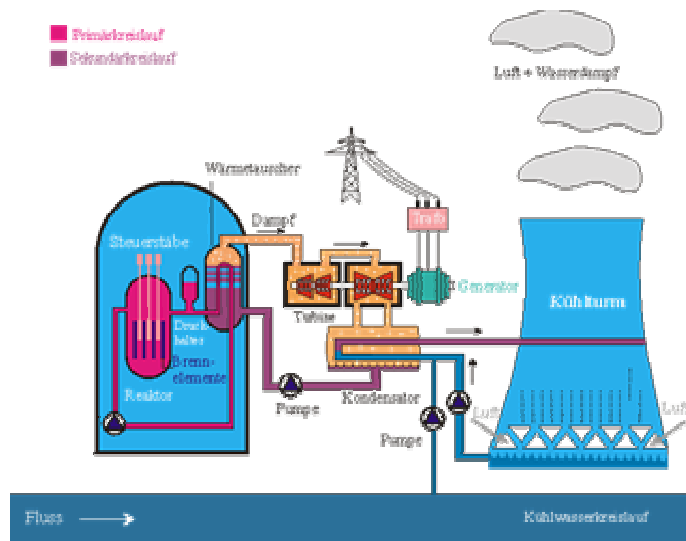
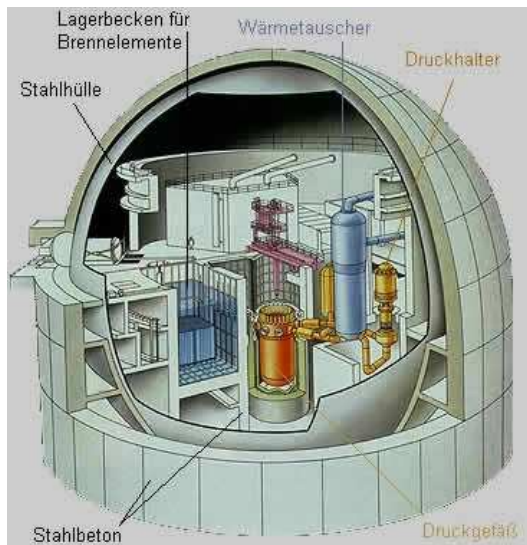
Wasser eignet sich besonders gut zum Abbremsen der schnellen Neutronen, da die reichlich vorhandenen Wasserstoffkerne fast die gleiche Masse besitzen wie die Neutronen.

Bei etwa gleich schweren Stoßpartnern ist der Energieverlust der Neutronen besonders hoch. Schiebt man Neutronen absorbierende Regelstäbe (z.B. aus  $B_4C$ ) zwischen die Brennstäbe, so kommt die Kettenreaktion zum Erliegen.



## Aufbau des Druckwasserreaktors

Zwischen einem konventionellen Kohlekraftwerk und einem Kernkraftwerk besteht im konventionellen Teil (Turbine, Kondensator, Generator, Kühlturm) kein wesentlicher Unterschied. Die Erzeugung des Dampfes geschieht jedoch auf sehr unterschiedliche Weise und mit sehr unterschiedlichen Konsequenzen für die Umwelt.

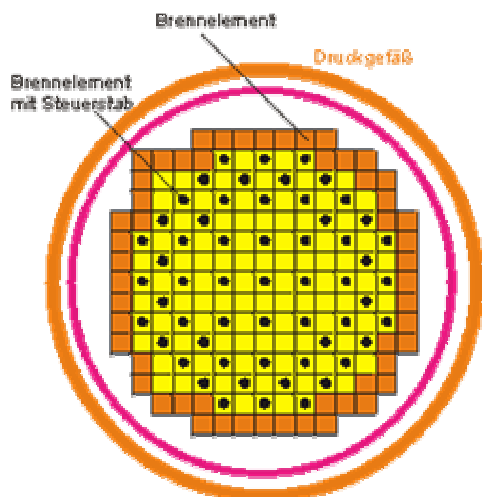


Der eigentliche Reaktorkern befindet sich im **Druckgefäß**, welches von einer (inneren) Stahlbetonhülle umgeben ist. An das Druckgefäß sind der **Druckhalter** und der **Wärmetauscher** angeschlossen. Diese drei Elemente sind die Hauptbestandteile des Primärkreislaufes. Der gesamte Primärkreislauf befindet sich in einer Stahlhülle, die ihrerseits von einer (äußeren) Stahlbetonhülle umgeben ist. Diese Stahlbetonhülle soll den Reaktor vor äußeren Einwirkungen (z.B. abstürzendes Flugzeug) schützen. Die inneren Sicherheitshüllen sollen den Austritt radioaktiven Materials oder radioaktiver Strahlung verhindern.

### Druckbehälter

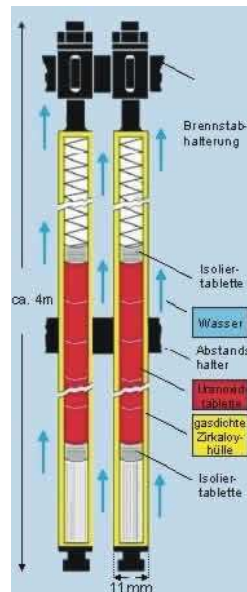
Der Reaktorkern (Uranstäbe und Regeleinrichtungen) befindet sich im stählernen Druckbehälter, der mit Wasser gefüllt ist (leichtes Wasser  $H_2O$  bei Leichtwasserreaktoren; schweres Wasser  $D_2O$  bei Schwerwasserreaktoren).

Der nebenstehend dargestellte Druckbehälter eines Reaktors mit ca. 1,2MW ist 10,5m hoch und hat die Masse von 425t.



In das Druckgefäß werden die sogenannten Brennelemente eingelassen und nach einem bestimmten Muster angeordnet.

Ein Brennelement besteht aus ca. 300 Brennstäben in denen sich die Uranoxid-Tabletten befinden. Zwischen die Brennstäbe können die Steuerstäbe eingeführt werden, die aus einem neutronenabsorbierenden Material bestehen. Wenn die Steuerstäbe sehr weit in das Brennelement eingeschoben sind, wird die Kettenreaktion unterbunden.



Das gesamte Druckgefäß und damit auch der Raum zwischen den Brennstäben ist mit Wasser gefüllt.

Das Wasser hat zwei Aufgaben zu erfüllen:

Es dient zum einen als Moderator zum Abbremsen der Neutronen und zum anderen führt es die von den Brennelementen erzeugte Wärme ab, dient also auch als Kühlmittel. Um das Sieden des Wassers zu verhindern, wird der Betriebsdruck im Primärkreis auf ca. 158 bar heraufgesetzt und durch einen Druckhalter geregelt. Das Kühlmittel tritt mit einer Temperatur von 288 °C in den Reaktor ein und verlässt ihn wieder mit einer Temperatur von 316 °C. Etwa 44000t Kühlmittel werden je Stunde durch den Reaktor bewegt.

### Technische Daten eines modernen Druckwasserreaktors (Isar 2)

Thermische Reaktorleistung	3950 MW
Elektrische Leistung	1450 MW
Anzahl der Brennelemente	193
Anzahl der Brennstäbe pro Brennelement	ca. 300
Aktive Brennstablänge	3,90 m
Durchmesser des Reaktorkerns	ca. 3,60 m
Gesamtes Uragewicht	103 t

Der **Druckhalter** hat die Aufgabe, den Betriebsdruck des Kühlmittels im Primärkreis konstant zu halten. Damit soll verhindert werden, dass sich Dampfblasen in diesem Kreislauf bilden, die den Kühlmittelfluss behindern würden.

Bei Laständerungen des Reaktors gibt es Temperaturänderungen im Kühlsystem, die ohne die ausgleichende Funktion des Druckhalters zu unerwünschten Druckschwankungen und damit zum Sieden des Wassers im Primärkreislauf führen würden.

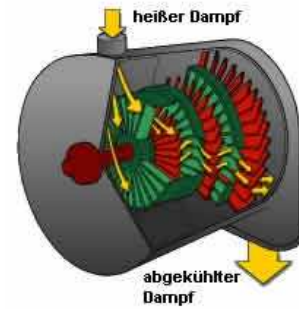
Das durch die Brennelemente erhitzte Wasser gibt seine Wärme in vier **Wärmetauschern (Dampferzeugern)** an das Wasser des Sekundärkreises ab. Aufgrund der hohen Temperatur und des niedrigen Drucks verdampft das Wasser im Sekundärkreis und liefert pro Stunde insgesamt 3600 t Sattdampf von 265 °C und einem Druck von ca. 52 bar. Der heiße Dampf strömt mit hoher Geschwindigkeit auf die Turbine.

Durch das Zweikreisssystem beim Druckwasserreaktor wird erreicht, dass die im Reaktorkühlmittel auftretenden radioaktiven Stoffe auf den Primärkreis beschränkt bleiben und nicht in die Turbine und den Kondensator gelangen.



## Turbine

Der im Kessel entstandene heiße Dampf strömt in die Richtung des geringeren Drucks, wobei sich die Strömungsgeschwindigkeit durch Düsen erhöhen lässt. Trifft der Dampfstrahl auf die Blätter des Turbinenlaufrades, erfolgt eine Energieumwandlung. Die gespeicherte innere Energie wird in Bewegungsenergie in Form der Rotation des Rades umgewandelt.



## Generator

Im Generator wird die Rotationsenergie der Welle in elektrische Energie umgewandelt. In Kraftwerken setzt man Innenpolgeneratoren ein, bei denen die Induktionsspule ruht und der Elektromagnet rotiert. Bei der hohen Induktionsspannung und dem hohen Induktionsstrom wäre es unmöglich die hohe Leistung über Schleifkontakte abzugreifen. Der im Inneren rotierende Elektromagnet wird mit einer relativ niedrigen Gleichspannung über Schleifkontakte gespeist.

Mit einer Generatorleistung von bis zu 1500 Megawatt sind es die größten elektrischen Maschinen, die jemals von Menschenhand gebaut wurden.

## Kondensator

Wenn der Dampf die letzte Schaufel der Turbine verlassen hat, besitzt er - wie das Wort "entspannt" ausdrückt - nur noch wenig Druck, nämlich rund 40 Hektopascal (fast Vakuum), und ist nur noch ca. 35°C warm. Man könnte ihn einfach ins Freie entweichen lassen, wo er dann zu weißen Wolken kondensieren würde, wie das früher bei den Dampflokomotiven der Fall war.

Würde der abgearbeitete Dampf nach dem Verlassen der Turbine einfach nach außen abgeleitet werden, müssten bei einem Kraftwerk mit 600 MW elektrischer Leistung stündlich etwa 1 900 Tonnen gereinigtes Speisewasser ersetzt werden. Außerdem müsste das riesige Dampfvolumen von der Umgebung aufgenommen werden.



## Kühlturm

Die Kühlwassermenge eines Wärmekraftwerks ist beträchtlich: Für ein 1 300-Megawatt-Kraftwerk werden stündlich etwa 160 000 m<sup>3</sup> Kühlwasser benötigt. Das entspricht der Füllmenge eines Kanals von 100 m Länge, 16 m Breite und 10 m Tiefe. Die einfache und kostengünstige Durchlaufkühlung (Kühlwasser wird einem Fluss oder Kanal entnommen und fließt nach mechanischer Reinigung durch den Kondensator) wird heute kaum noch verwendet.

Gebräuchlicher ist heute der so genannte **Naturzug-Nasskühlturm**. Er besteht aus einer Betonschale, die sich in der Mitte verjüngt und oftmals eine Höhe von mehr als 150 m erreicht. Die Betonschale ruht auf einer gitterähnlichen Tragekonstruktion, sodass von allen Seiten Luft hineinströmen kann. Infolge des durch die Wärmezufuhr bedingten Auftriebs sowie durch Form und Höhe des Kühlturms bildet sich ein natürlicher Luftzug, der von unten nach oben geht. Das erwärmte Kühlwasser, das vom Kondensator kommt, wird in etwa 12 m Höhe über Verteilerrohre in den Kühlturm geführt und durch ein Plattensystem nach unten gegen den aufsteigenden Luftstrom verrieselt. Dabei kühlt das Wasser ab und sammelt sich im Kühlturmbecken. Von dort kann man es von neuem in den Kondensatorkreislauf einspeisen.

