

9.3 Kernenergie

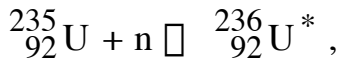
Kernenergie ist eine interessante Möglichkeit, nutzbare Energie zu gewinnen. Das kann man sehen wenn man vergleicht, wie viel Energie in 1 kg unterschiedlicher Massen vorhanden ist. Bei Kernreaktionen kann man rund 10 Größenordnungen mehr Energie gewinnen als bei chemischen Prozessen mit der gleichen Brennstoffmenge. Man kann zwischen Kernspaltung und Kernfusion unterscheiden, wobei beim ersten ein schwerer Kern in mehrere leichtere Bruchteile gespalten wird, beim zweiten Prozess werden leichte Kerne zu einem schwereren verschmolzen.

Energieinhalt von 1 kg / J	
Wasser in 50m Fall	500
Kohle Verbrennung	$3 \cdot 10^6$
UO ₂ Kernreaktor	$2.2 \cdot 10^{12}$
D ₂ Kernfusion	$9.5 \cdot 10^{13}$
Antimaterie	$9.5 \cdot 10^{16}$

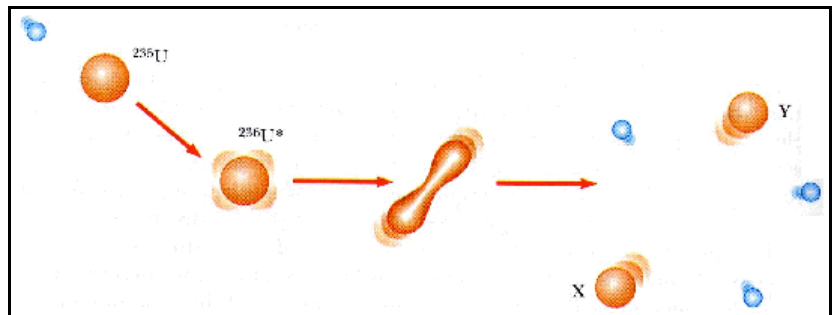
9.3.1 Kernspaltung

Schwere Kerne mit Massenzahlen $A > 209$ sind nicht mehr stabil; ihre Bindungsenergie pro Nukleon ist geringer als in Kernen mit kleinerer Massenzahl. Bei einer Spaltung in kleinere Kerne wird somit Energie frei. Allerdings ist bei natürlichen Kernen der spontane Zerfall wesentlich langsamer als die Emission von α -Teilchen. So zerfallen in einem kg ^{238}U von den $2.5 \cdot 10^{24}$ Kernen pro Sekunde 7 durch spontane Spaltung, aber 10^7 durch Emission von α -Teilchen.

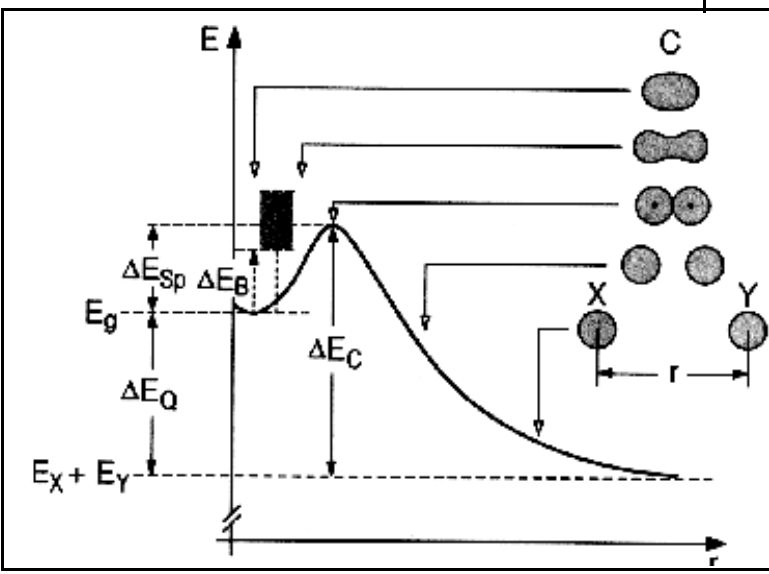
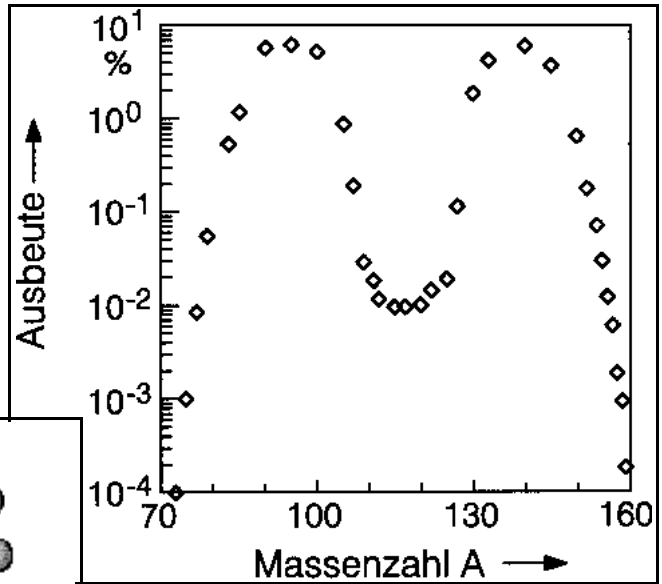
Die Spaltung kann jedoch durch Neutronen stark beschleunigt werden. ^{238}U Kerne können durch Neutronen mit einer Energie von $> 1.3 \text{ MeV}$ zur Spaltung angeregt werden. Bei ^{235}U genügen auch thermische Neutronen. Hier findet in einem ersten Schritt ein Einfang des Neutrons statt,



wobei ein hoch angeregtes ^{236}U entsteht. Dieses beginnt zu oszillieren, wobei sich eine Einschnürung entwickeln kann. Die Coulomb-Abstoßung zwischen den beiden positiv geladenen Teilen führt dazu dass sich die Teile an der Einschnürung trennen und auseinander fliegen.



Typischerweise entstehen dabei zwei Teilkerne, deren Massen sich etwa ein Verhältnis 2:3 bilden. Die meisten dieser Zerfallsprodukte sind selber instabil und es folgen deshalb eine Reihe von Sekundärprozessen. In einigen dieser Zerfallsprozesse werden auch Neutronen freigesetzt. Alle Zerfallsprodukte enthalten eine erhebliche kinetische Energie, welche in der Form von Wärme an das umgebende Material dissipiert wird.



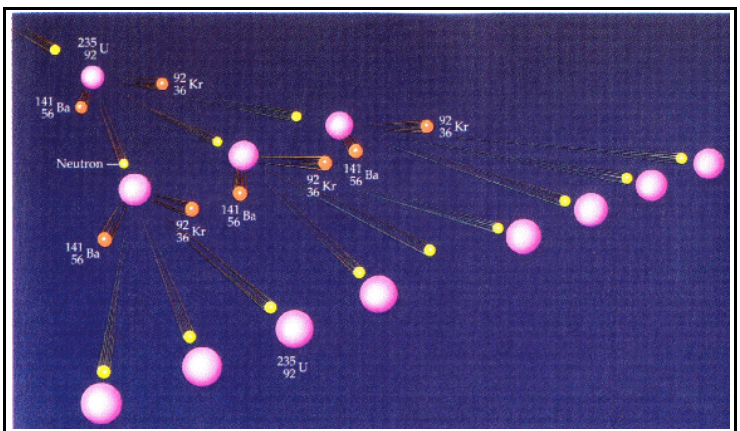
Der Prozess ähnelt einer chemischen Reaktion: es muss zunächst Energie aufgebracht werden, um den Zerfall in Gang zu bringen. Wenn die Zerfallsprodukte sich weit genug getrennt haben werden sie von der Coulomb-Wechselwirkung beschleunigt. Die Spaltung findet dann statt wenn die Bindungsenergie kleiner ist als die Energie, welche beim Einfangen des Neutrons ge-

wonnen wird.

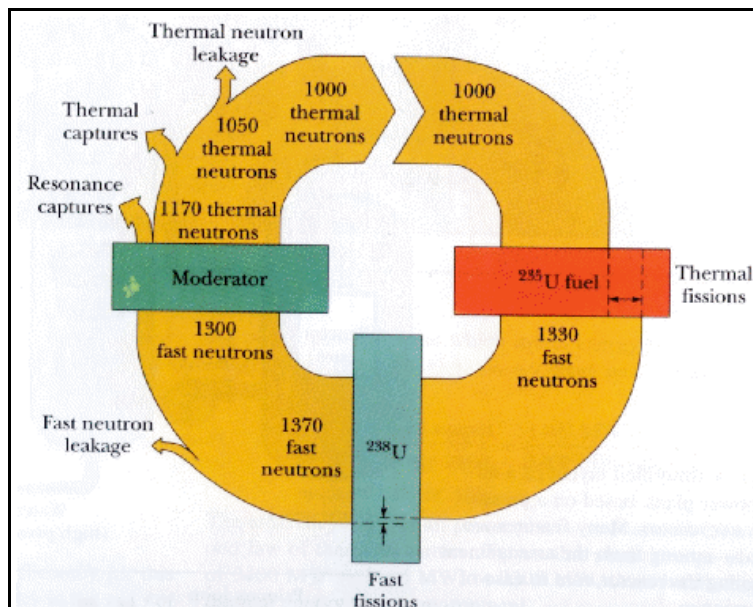
9.3.2 Kernreaktoren

Da bei der Spaltung Neutronen freigesetzt werden, können diese ebenfalls wieder Spaltprozesse in Gang bringen. Wird pro Spaltprozess mindestens ein Neutron für einen weiteren Spaltprozess verfügbar, so setzt eine sich selbst verstärkende Kettenreaktion ein. Die Bedingungen dafür sind

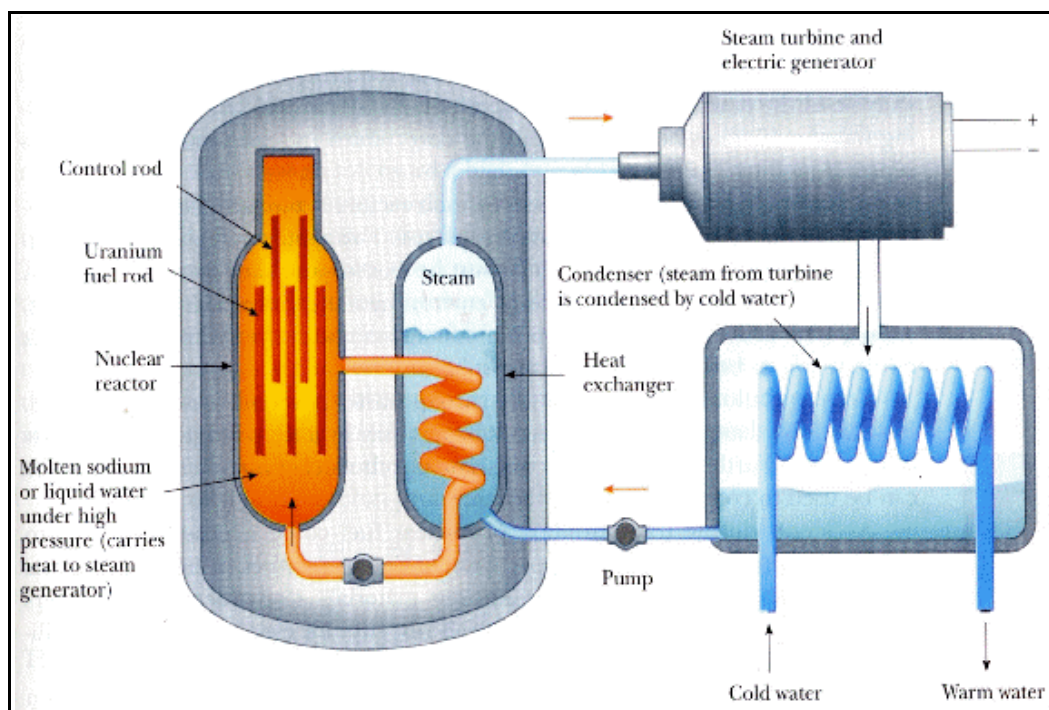
- Das Material muss genügend rein, d.h. die Konzentration der spaltbaren Isotope groß genug sein.
- Die Masse muss genügend groß sein, damit ein genügender Anteil der Neutronen innerhalb der Masse absorbiert wird statt zu entweichen. Man spricht deshalb von einer kritischen Masse.



Da der Absorptionsquerschnitt für langsame Neutronen größer ist als für schnelle, wie sie in den Zerfallsprozessen erzeugt werden, müssen die Neutronen verlangsamt (= "moderiert") werden, damit die Kettenreaktion in einem Kernkraftwerk aufrecht erhalten bleibt. Für den Bremsvorgang sind leichte Kerne am besten geeignet, da sie eine ähnliche Masse haben wie die Neutronen selber. Normaler Wasserstoff kann aber auch Neutronen einfangen, deshalb ist "schweres" Wasser D_2O besser geeignet als leichtes Wasser H_2O .

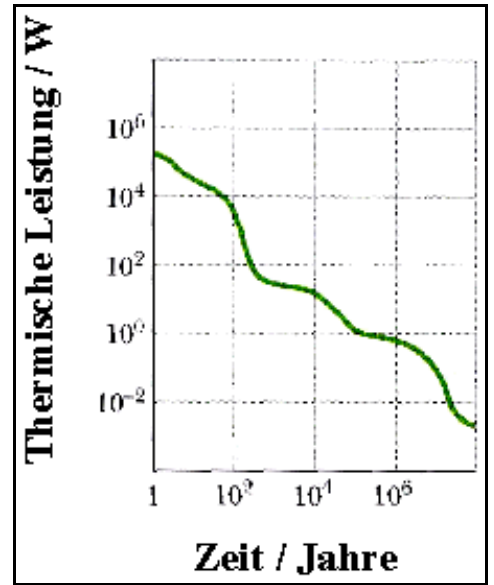


Ein Kernkraftwerk besteht aus einem Reaktor, in dem die Kernspaltung kontrolliert abläuft und dabei Wärme erzeugt. Diese Wärme wird über einen Wärmetauscher auf eine Dampfturbine geleitet, in der die thermische Energie in elektrische Energie umgewandelt wird.



9.3.3 Probleme der Kernspaltung

Kernspaltung hat offensichtlich ein enormes Potenzial für die Bereitstellung von elektrischer Energie. Die Vorräte an Brennstoff (Uran) sind sehr hoch und könnten, je nach verwendeter Technologie den Bedarf an elektrischem Strom für lange Zeit decken. Allerdings bringt die Nutzung der Kernenergie als prototypisches Beispiel einer Großtechnologie auch erhebliche Probleme technischer wie auch sozialer Art. Dazu gehört u. A. die Radioaktivität der Spaltprodukte, welche z. T. extrem langlebig sind. Aufgrund der komplexen Zusammensetzung der Spaltprodukte ist eine Gewichtung der Beiträge nicht einfach. Man kann z.B. die thermische Leistung betrachten, welche auch nach mehreren Millionen Jahren nicht auf 0 abgesunken ist.

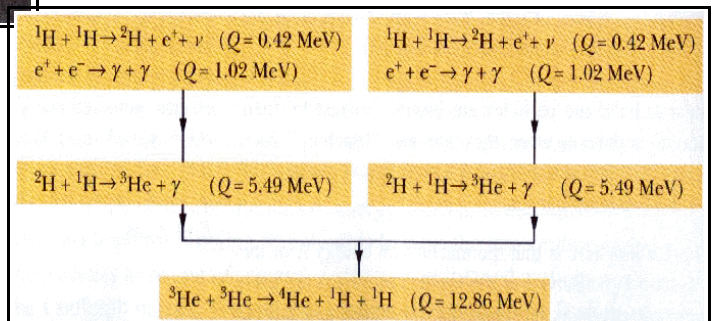


Dass auch große Unfälle nicht auszuschließen sind, bei denen Millionen Menschen betroffen sein können, zeigte sich bei der Explosion des Kernkraftwerks von Chernobyl.

9.3.4 Kernfusion

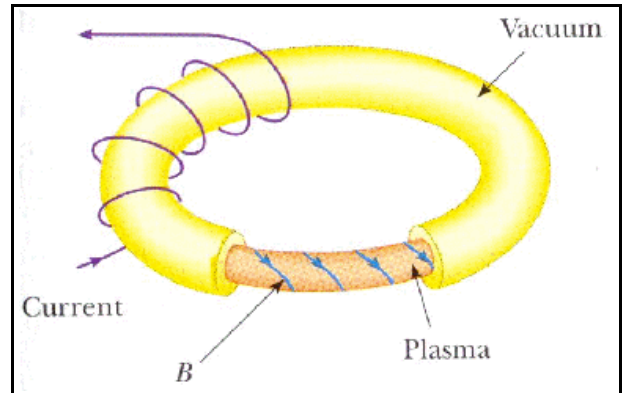
Eine andere Möglichkeit, nutzbare Energie aus Kernprozessen zu gewinnen, ist die Kernfusion. Diese ist u.a. auch die Energiequelle der Sonne.

Leichte Kerne, insbesondere Wasserstoff (¹H, ²H, ³H), welche eine relativ geringe Bindungsenergie pro Nukleon aufweisen, verschmelzen zu schwereren Kernen, z.B. ⁴He, welche eine größere Bindungsenergie pro Nukleon aufweisen. Auch bei diesem Prozess wird Energie frei.

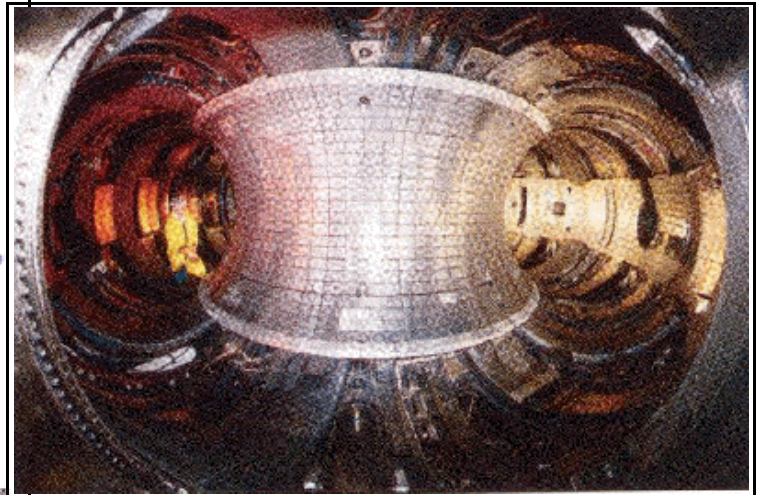
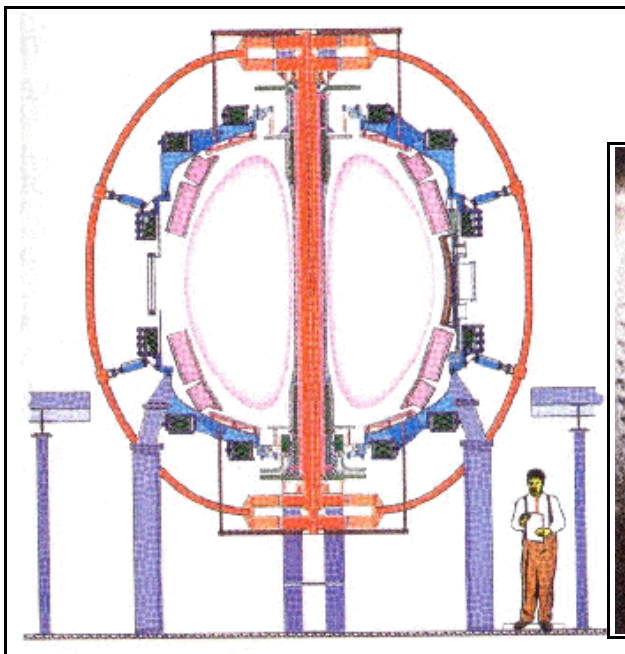


Die Verschmelzung von zwei ²H Kernen zu einem ⁴He Kern setzt zwar Energie frei, doch muss dafür zuerst die Barriere aufgrund der Coulomb-Abstoßung überwunden werden. Es werden deshalb sehr hohe Temperaturen von 50-100 Millionen Kelvin (und damit hohe Geschwindigkeiten der Kerne) sowie eine hohe Dichte (und damit viele Kollisionen) benötigt.

Um die große Zahl von Kollisionen zu ermöglichen müssen die Atome über lange Zeit bei hoher Temperatur und hoher Dichte zusammengebracht werden. Dies ist in einem Gefäß mit materiellen Wänden nicht möglich. Da die Atome bei diesen Temperaturen ionisiert sind (d.h. positiv geladen) kann man sie jedoch mit Magnetfeldern zusammenhalten. Die am intensivsten untersuchte Technik dafür verwendet ein Magnetfeld in der Form eines Torus, den sog. Tokamak.



Die dafür notwendigen Magnetfelder werden von Elektromagneten und / oder supraleitenden Magneten erzeugt.



Die Magnetfelder können das Plasma nicht vollständig einschließen. Die Materialien, welche die Magneten einhüllen, werden deshalb vom Plasma ebenfalls stark beansprucht.

9.3.5 Kernfusion in Sternen

Die Entdeckung der Kernfusion hat auch ein schwieriges astrophysikalisches Problem gelöst: betrachtet man nur chemische Prozesse, so reicht die Masse der Sonne (bei bekanntem Energieausstoß) nur für eine Zeit von einigen 1000 Jahren. Die heutigen Kenntnisse über die Fusionsprozesse, die im Inneren der Sonne ablaufen, ist jedoch in guter Übereinstimmung mit dem beobachteten Verhalten der Sonne, und mit ihrem Energieausstoß. Man ist deshalb zuversichtlich, dass man auch die Prozesse in anderen Sternen versteht.

So führt z.B. die Akkumulation von Fusionsprodukten (d.h. schwereren Isotopen) im Kern der Sonne dazu, dass die Temperatur und damit die Fusionsgeschwindigkeit mit dem Alter der Sonne zunehmen. Dies kann bei bestimmten Sternen zu explosionsartiger Helligkeitszunahme führen; es entstehen „Novas“ (=neue Sterne) oder Supernovas, wie dieses bekannte Beispiel von 1987.

