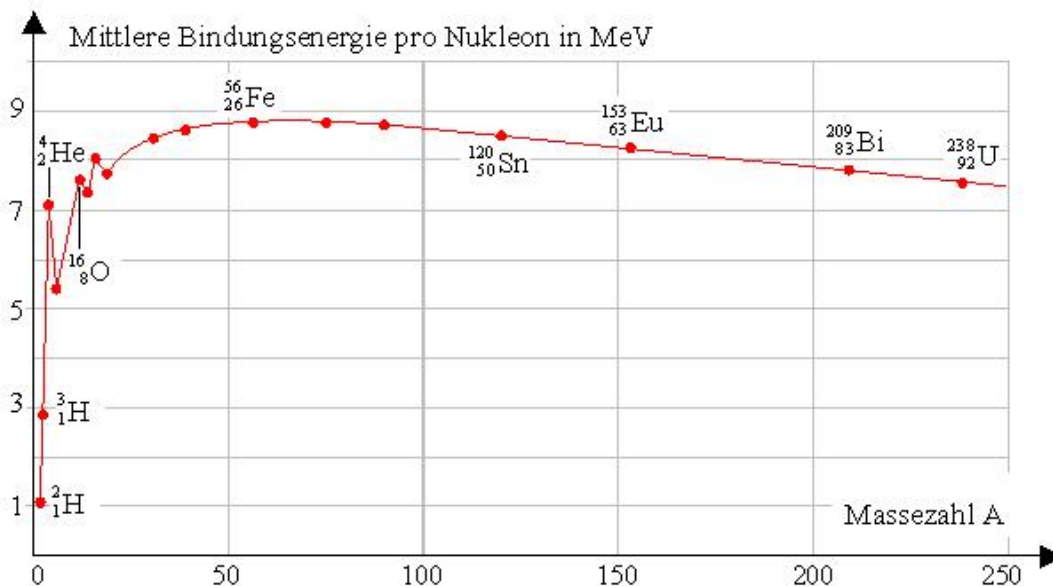


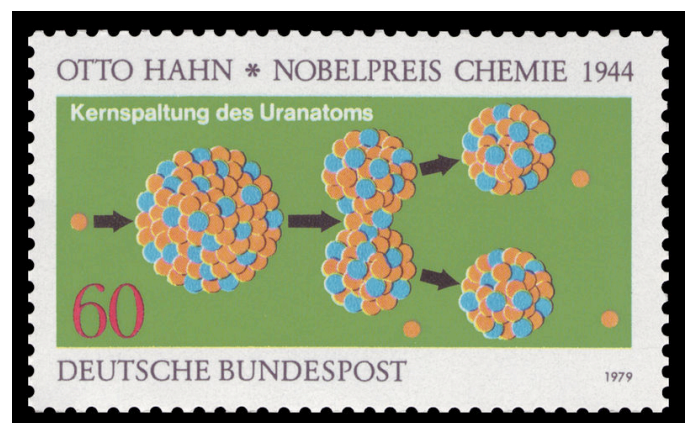
## Kurzinformation zu Kernkraftwerken und Radioaktivität

*Das Ziel dieser knappen Zusammenstellung besteht darin Informationen zu liefern, die es erlauben, die Natur der Kernenergietechnik besser zu verstehen. Es ist in keiner Weise eine Risikoeinschätzung der aktuellen Lage in Japan. (C. Beeli, 15. März 2011)*

Wie aus der folgenden Grafik zu sehen ist, sind in den Atomkernen verschiedener chemischer Elemente die Kernteilchen (Nukleonen = Protonen und Neutronen) verschieden stark gebunden. Je höher die mittlere Bindungsenergie pro Nukleon ist, umso fester sind die Protonen und Neutronen im Atomkern gebunden. Das Maximum liegt beim Element Eisen ( $^{56}\text{Fe}$ , d.h., ein Atomkern mit 26 elektrisch positiv geladenen Protonen und 30 elektrisch neutralen Neutronen). Spaltet man ein Atomkern  $^{235}\text{U}$  (92 Protonen und 143 Neutronen) in zwei ungefähr gleich grosse Teilkern, so sind in diesen neuen Atomkernen die Nukleonen stärker gebunden als vorher im Uranatomkern. Daher wird bei der Kernspaltung von Uran Energie frei. Pro Kilogramm reinem  $^{235}\text{U}$  ist dies eine Energie von 78 Terajoule =  $7.8 \cdot 10^{13}$  J. Bei chemischen Verbrennungsprozessen wird typischerweise pro Kilogramm Benzin oder Propangas  $4.5 \cdot 10^7$  J frei. Selbst bei reinem Wasserstoffgas ist es nicht mehr als  $1.2 \cdot 10^8$  J pro Kilogramm. D.h. es ist bei  $^{235}\text{U}$  rund Hunderttausend bis eine Million mal mehr Energie aus derselben Menge „Brennstoff“. Dies erklärt, weshalb man Kernenergie gerne nutzen möchte: aus relativ wenig Uran kann viel Energie gewonnen werden.



Aus Uran 235 ( $^{235}\text{U}$ ) kann man Energie gewinnen, indem man es mit dem „Beschuss“ von relativ langsamen, freien Neutronen in Uran 236 ( $^{236}\text{U}$ ) umwandelt:  $^{235}\text{U} + n \rightarrow ^{236}\text{U}$ . Der so entstandene Atomkern  $^{236}\text{U}$  ist sehr instabil und zerfällt innert kürzester Zeit (0.1 Mikrosekunden) spontan in zwei kleinere Atomkerne, sowie zwei oder drei freie Neutronen, je nach Endprodukten. Dies ist in der nebenstehenden Gedenkbriefmarke für Otto Hahn schematisch dargestellt: orange die Neutronen, blau die Protonen.



Man spricht bei dieser Art von Kernspaltung von induzierter Kernspaltung. Aus jedem gespaltenen Atomkern  $^{235}\text{U}$  (resp.  $^{236}\text{U}$ ) entstehen zwei bis drei freie Neutronen und zwei kleinere Atomkerne, sowie Energie, die in Form von Bewegungsenergie dieser vier bis fünf Teilchen vorliegt. Die Teilchen werden im Material aber abgebremst und geben so die Bewegungsenergie als Wärme an die Umgebung ab. Diese Wärme wird in Kernkraftwerken genutzt, um heissen Dampf (um 280°C) mit hohem Druck (um 60 bis 75 bar) herzustellen. Der

Energieinhalt wird in Dampfturbinen genutzt, um damit den Stromgenerator (Dynamo) anzutreiben und so elektrischen Strom zu erzeugen, resp. die Wärme in elektrische Energie umzuwandeln.

Die beiden kleineren Atomkerne, die bei der induzierten Kernspaltung von  $^{235}\text{U}$  entstehen, sind oft selbst radioaktive Atomkerne. D.h. sie zerfallen selbst wieder durch radioaktive Kernprozesse in andere Atomkerne und geben dabei ebenfalls wieder Wärme an die Umgebung ab.

Wird ein Reaktor abgeschaltet (d.h. man stoppt die induzierte Kernspaltung von  $^{235}\text{U}$  durch Einfahren sogenannter Steuerstäbe, z.B. Cadmium- oder Borstäbe, die freie Neutronen sehr stark einfangen und so definitiv absorbieren), so wird durch den **radioaktiven Zerfall** der Spaltprodukte dennoch weiterhin Wärme produziert. Die Leistung dieser so genannten **Nachzerfallswärme** entspricht anfänglich etwa 5–10 % der thermischen Leistung des Reaktors im Normalbetrieb und klingt in einem Zeitraum von einigen Tagen ab. Häufig wird dafür der Begriff „Restwärme“ verwendet, welcher aber sehr irreführend ist, weil es sich **nicht** um die verbleibende aktuelle Hitze des Reaktorkerns handelt, sondern um zusätzliche Energie, die dauernd durch weiterlaufende Zerfallsreaktionen frei wird. Es handelt sich dabei um die radioaktiven Atomkerne, die bei der Kernspaltung entstanden sind. Die Nachzerfallswärme muss so lange abgeführt werden, bis fast alle dieser radioaktiven Atome zerfallen sind und damit auch keine Wärme mehr produzieren. Man kann also die Hitze in einem gestoppten Kernreaktor nicht einfach „löschen“, wie man ein Feuer mit Feuerlöscher löschen und definitiv abkühlen kann.

Um die Nachzerfallswärme in Notfällen (bei ausgefallenem Hauptkühlsystem) sicher abführen zu können, besitzen alle Kernkraftwerke ein aufwändiges *Not- und Nachkühlsystem*. Sollte jedoch der Fall eintreten, dass auch diese Systeme versagen, kann es durch die steigenden Temperaturen zu einer **Kernschmelze** kommen, bei der Strukturteile des Reaktorkerns und unter Umständen Teile des Kernbrennstoffs schmelzen. Da neben Uran  $^{235}\text{U}$  in den Kernbrennstäben durch die Kernspaltungen auch langlebige und hochradioaktive Kerne entstanden sind, wie z.B. Cäsium 137 ( $^{137}\text{Cs}$ ), darf die Kernschmelze oder das Innere von Kernbrennstäben unter keinen Umständen in die freie Umwelt gelangen, da sonst eine radioaktive Verseuchung droht. Im Normalbetrieb gibt es sechs Barrieren gegen das Austreten von Radioaktivität. Diese können in derartigen Notsituationen von der Kernschmelze und/oder der grossen Hitze und dem damit verbundenen Druckanstieg durchbrochen werden.

## Literatur-Quellen

Physik Duden, *Basiswissen Schule*: Abitur

Leifi-Physik Seiten:

[http://www.leifiphysik.de/web\\_ph12/grundwissen/11strahlung/strahlung.htm](http://www.leifiphysik.de/web_ph12/grundwissen/11strahlung/strahlung.htm)

[http://www.leifiphysik.de/web\\_ph12/grundwissen/11dosis/dosis.htm](http://www.leifiphysik.de/web_ph12/grundwissen/11dosis/dosis.htm)

[http://www.leifiphysik.de/web\\_ph12/grundwissen/11bindung/bindung\\_11.htm](http://www.leifiphysik.de/web_ph12/grundwissen/11bindung/bindung_11.htm)

[http://www.leifiphysik.de/web\\_ph12/grundwissen/11bindung/bindung.htm](http://www.leifiphysik.de/web_ph12/grundwissen/11bindung/bindung.htm)

Wikipedia Seiten:

<http://de.wikipedia.org/wiki/Uran>

[http://de.wikipedia.org/wiki/Radioaktiver\\_Abfall](http://de.wikipedia.org/wiki/Radioaktiver_Abfall)

[http://de.wikipedia.org/wiki/Entdeckung\\_der\\_Kernspaltung](http://de.wikipedia.org/wiki/Entdeckung_der_Kernspaltung)

<http://de.wikipedia.org/wiki/Kernspaltung>

Weitere Seiten:

[http://www.energiwelten.de/lexikon/lexikon/seiten/htm/020502\\_Sechs\\_Sicherheitsbarrieren\\_in%20einem%20Kernkraftwerk.htm](http://www.energiwelten.de/lexikon/lexikon/seiten/htm/020502_Sechs_Sicherheitsbarrieren_in%20einem%20Kernkraftwerk.htm)

<http://www.kernfragen.de/kernfragen/downloads/index.php> (Kernenergie Basiswissen, Juli 2007)