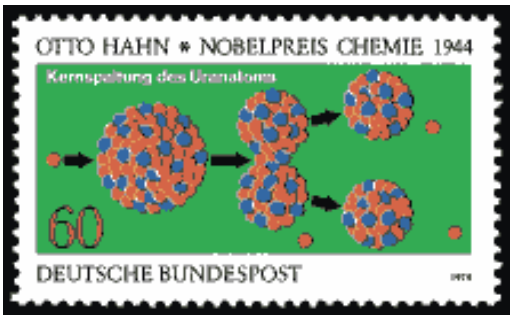

Posten 11

Kernspaltung

Sozialform	Dreier-Gruppen (auch Einzel- oder Partnerarbeit möglich)
Bearbeitungszeit	30 Minuten
Voraussetzung	Posten 5 "$E=mc^2$"
	Posten 6 "Sind Massen immer gleich massiv?"

11.1 Einleitung

Wohl kein anderes, von Menschenhand erzeugtes Werk hat solch zweischneidige Konsequenzen gehabt wie die Entdeckung der Kernspaltung. Einerseits als recht effiziente Energiequelle verwendet, wurde die Kernspaltung andererseits auch skrupellos zu schrecklichen und menschenverachtenden Waffen missbraucht.
In diesem Posten lernen Sie die Kernspaltung aus 3 Facetten kennen, wobei vor allem die Kernspaltung von Uran-235 in den Mittelpunkt gestellt wird: Die Geschichte hinter der Kernspaltung, insbesondere im Bezug auf die Atombombe, der physikalische Ablauf einer Kernspaltung, und die Funktionsweise von Atombombe und Kernkraftwerk.

11.2 Arbeitsauftrag

In diesem Posten gibt es drei Kurztexte:

Text 1: Die Geschichte der Kernspaltung
Text 2: Das Prinzip der Kernspaltung
Text 3: Atombomben und Kernkraftwerke

1) Sie finden sich in Dreiergruppen zusammen. Jeder bearbeitet zunächst eigenständig einen Text, und macht sich Notizen dazu. Jeder wird also sozusagen in seinem Gebiet ein "Experte".
2) Nach ca. 15 min finden Sie sich wieder zusammen und lehren ihren Kollegen ihr Gebiet. Scheuen Sie sich nicht, den Experten auszufragen!

Hinweis: Wenn Sie keine Dreiergruppe bilden können, so lesen Sie entweder alleine oder mit einem Partner alle drei Texte durch, oder teilen Sie nach belieben auf, und fragen sich dann gegenseitig aus.

11.3 Die Geschichte der Kernspaltung

Die Entdeckung der Kernspaltung kann man sicherlich als Zufall bezeichnen, denn das eigentliche Ziel der Kernforscher war es, neue Stoffe oder Isotope zu finden. Die größten Potentiale für neue Elemente sah man in den „Transuranen“, also in Elementen, deren Ordnungszahl größer als 92 ist (Uran war damals das letzte Element im Periodensystem).

Am 14. Dezember 1938 entdeckten der Chemiker Otto Hahn und der Physiker Fritz Strassmann in Berlin deshalb "unbewusst" die Spaltung von Uran-Atomkernen, die mit Neutronen beschossen wurden (Abb.1). Die jüdisch - österreichische Physikerin und Hahns Kollegin Lise Meitner erklärte als erste, dass Hahn "einen Urankern zerplatzt" hatte, und dass zwischen Hahns Atomkernspaltung und Einsteins berühmter Formel $E=mc^2$ ein Zusammenhang besteht. Die Spaltungs-Bruchstücke Barium und Krypton waren zusammen leichter als der Anfangskern. Die ursprünglich für verschwunden gehaltene Masse äusserte sich in der freigewordenen Energie. Das Atomzeitalter, also die Nutzung von Kernenergie als Energiequelle und als Waffe, begann mit der ersten atomaren Kettenreaktion. Diese wurde in Chicago am 2.12.1942 von Enrico Fermi ausgelöst.

Abb. 1.: Arbeitstisch von Otto Hahn, auf dem die Kernspaltung entdeckt wurde.

Der 2. Weltkrieg stand bevor, und eine Handvoll Physiker drängten Albert Einstein, er möge doch Präsident Roosevelt den Bau einer Kernspaltungswaffe nahelegen, da sie Angst hatten, dass ihnen die Deutschen mit "der Bombe" zuvorkommen könnten. Roosevelt stimmte zu und genehmigte das geheime Atombombenprojekt "Manhattan Project". Man entdeckte dort unter anderem auch, dass auch Plutonium-Kerne spaltbar sind.

Am 16. 7. 1945 detonierte in der Wüste von New-Mexico (wo sehr viele Kernspaltungs-Versuche durchgeführt wurden) die erste Atombombe der Geschichte, sie erhielt den Namen "Trinity". Hiroshima wurde am 6. August mit einer Uran-Atombombe ("Little Boy") vernichtet: Bis Dezember starben rund 200 000 Menschen, die Hälfte davon wurde direkt von der Atombombe getötet, die andere Hälfte starb an den kurz- und langfristigen Folgen (Glassplitter, Verbrennungen, Krebs etc.). Diese Zahl ist jedoch schwer zu schätzen. Auf Nagasaki fiel drei Tage später eine stärkere Atombombe aus Plutonium (ca. 70 000 Opfer sterben insgesamt). Die voluminös-kugelige Bombe erhielt die Bezeichnung "Fat Man" (siehe Abb. 2)

Abb 2.: "Little Boy" und "Fat Man"

Am 10. Dezember 1946 erhielt Otto Hahn rückwirkend für die Entdeckung der Kernspaltung den Nobelpreis für Chemie des Jahres 1944. Fritz Strassmann, dessen Anteil an der Entdeckung annähernd ebenso gross war, ging leer aus.

Die Tatsache, dass bei der Kernspaltung sehr viel Energie freigesetzt wird, nutzt man heute bei der Energiegewinnung durch Kernkraftwerke.

Das Prinzip der Kernspaltung (von Uran-235)

In einem Atomkern hat es im Wesentlichen zwei Kräfte, die sich die Waage halten: Einerseits die elektrische Kraft (Coulombkraft), die die positiv geladenen Protonen voneinander *abstossen*, und andererseits eine starke Kernkraft, die eine sehr kurze Reichweite hat und die Nukleonen (Protonen und Neutronen) aneinander *binden*, egal welche elektrische Ladung sie besitzen. Für einen stabilen Kern werden die elektrostatischen Abstossungskräfte durch diese Kernkräfte kompensiert.

Schiesst man nun ein Neutron in den Kern (der aufgrund seiner neutralen Ladung ungehindert zum Kern vordringen kann), überträgt es seine Bindungsenergie auf den Kern, und unter der Einwirkung dieser Energie fängt der Kern zu schwingen und zu "schwabbeln" an. Im Verlauf dieser Schwingung verformt sich der Kern. Dabei können die abstossenden Kräfte gegenüber den anziehenden Kräften dominieren, und die beiden Kerne stossen sich mit einer sehr grossen Kraft gegenseitig ab.

Die mit einer hohen Geschwindigkeit auseinanderfliegenden Spaltprodukte übertragen ihre Energie über Stossprozesse an die Atome der Umgebung, bis sie schliesslich abgebremst werden. Die kinetische Energie der Atome in der Umgebung wächst an, und das wird makroskopisch von uns als Wärme wahrgenommen.

Sehr schwere Kerne haben einen Neutronenüberschuss, damit diese Kernkraft die abstossende Coulombkraft zwischen den Protonen kompensiert. Somit ist der Kern stabil. Spaltet sich ein schwerer Kern in zwei Teilkerne auf, so haben diese einen starken Neutronenüberschuss. Bei der Kernspaltung werden einige dieser überschüssigen Neutronen sofort freigesetzt. Diese freigesetzten Neutronen sind für eine Kettenreaktion von grosser Bedeutung.

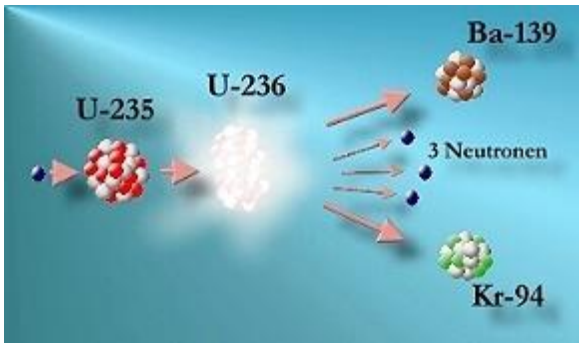

Abb. 3: Ablauf einer Kernspaltung von Uran.

Für die Kernspaltung eignet sich – aufgrund seiner Bindungsenergie und den daraus folgenden Stabilitätseigenschaften – das Uran-235 (^{235}U) besonders gut. Bei Aufnahme eines Neutrons wird es kurzzeitig zum instabilen ^{236}U, und zerfällt darauf in die radioaktiven Stoffe Barium ^{139}Ba und Krypton ^{94}Kr. Dies ist nur einer von vielen möglichen Zerfällen. So kann ^{235}U auch in Rubidium und Cäsium, oder in Strontium und Xenon zerfallen. Zusätzlich zu den beiden Spaltprodukten werden auch 2 oder 3 Neutronen freigesetzt (siehe Abb. 3).

In einer Kernspaltung werden etwa 200 MeV Energie freigesetzt. Die Energie, die dabei frei wird, äussert sich in einer geringeren Masse der Endprodukte: Die Summe der Massen der beiden Endprodukte und der 2-3 Neutronen ist kleiner als die Masse des ungespaltenen, ursprünglichen Kerns und dem Neutron (Abb. 4). Dieser sogenannte "Massendefekt" gibt Auskunft über die freigesetzte Energie, mittels der berühmten Einsteinschen Formel $E=mc^2$. Bei der Spaltung von 1 Gramm Uran-235 wird dieselbe Energie frei wie bei der Verbrennung von 3 Tonnen Steinkohle! Von dem in der Natur vorkommenden Uran sind nur die sehr

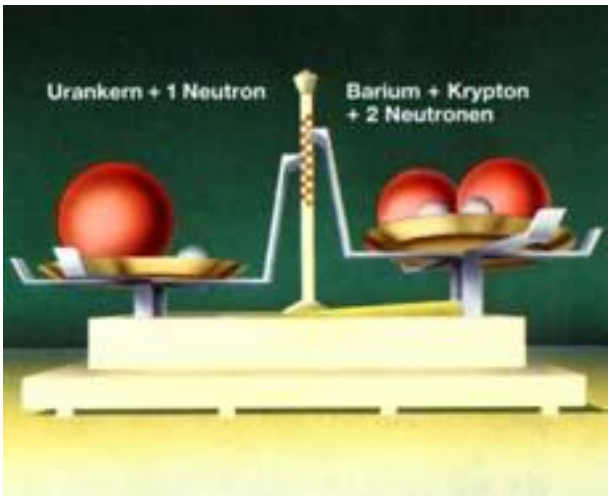

Abb. 4: Massendefekt

seltenen Atomkerne mit einer Massenzahl von 235 spaltbar. Das weit häufigere Uran-238 ist nicht spaltbar, und muss mit Uran-235 angereichert werden, wenn man eine Kettenreaktion erreichen will.

11.4 Atombomben und Kernkraftwerke

Um eine Kernspaltung durchzuführen, beschiesst man Uran-235-Kerne mit langsamen Neutronen. Als Endprodukte entstehen bei einer Spaltung 2 bis 3 "neue", schnelle Neutronen, die, falls sie auf einen benachbarten Uran-235-Kern treffen und genügend abgebremst wurden, wieder eine Kernspaltung hervorrufen können, die wieder Neutronen hervorbringt, usw. So kann eine *Kettenreaktion* entstehen. Es muss jedoch zumindest eine Mindestmasse, eine sogenannte „kritische Masse“ an Uran-235 vorhanden sein, damit eine Kettenreaktion stattfindet und aufrechterhalten wird. Ausserdem ist ein sogenannter Moderator vonnöten, der die schnellen Neutronen abbremst.

Zu diesem Zweck werden in Atombomben "unterkritische Massen" von Uran (oder Plutonium) entweder mit Wucht aufeinander geschossen oder mit Hilfe konventioneller Sprengstoffe aus allen Seiten zusammengedrückt. Zusammen mit einem geeigneten Moderatormaterial wird die Masse durch diesen Zusammenschluss überkritisch. Durch die dann einsetzende Kettenreaktion werden riesige Energiemengen frei, und es kommt zur Explosion. Die kritische Masse von Uran-235 beträgt ca. 50 kg. Dies entspricht einer Uran-Kugel von ungefähr 17 cm Durchmesser. Die freiwerdende Energie der Hiroshima-Bombe entsprach etwa der Wirkung von ca. 15'000 Tonnen TNT.

Dass man die Kernspaltung auch sinnvoller verwenden kann, sieht man an den Atomkraftwerken. Hierzu nutzt man die Tatsache, dass die Uran-Brennelemente bei der Kernspaltung sehr heiss werden, und die Wärme an das umgebende Wasser abgeben. Im Prinzip funktionieren Atomkraftwerke wie die herkömmlichen Kraftwerke: Dabei wird durch einen Brennstoff (Kohle, Gas, oder eben Uran) Wasser erhitzt. Der unter hohem Druck stehende Wasserdampf[1] versetzt eine Turbine in Drehungen. Die Turbine treibt einen Generator an, dieser erzeugt den Strom. Das Wasser wird durch einen zweiten Wasserkreislauf abgekühlt (siehe Abb. 5). Die Wasserkreisläufe sind voneinander getrennt.

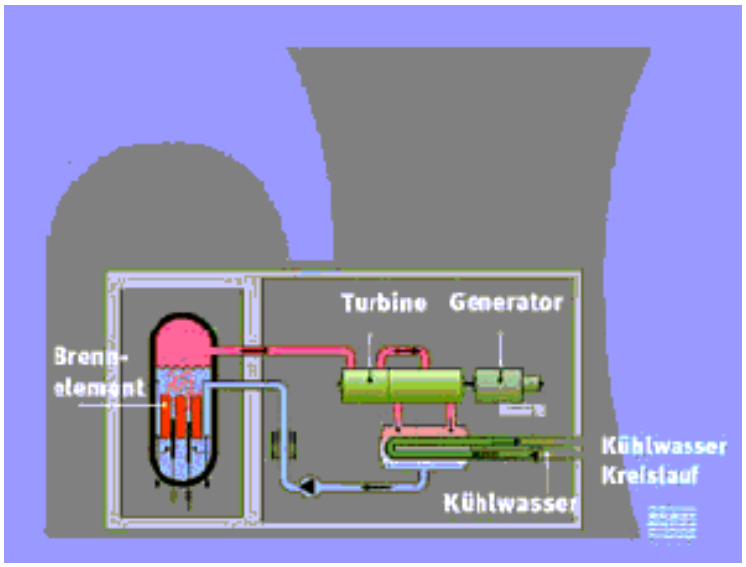

Abb. 5: Aufbau eines Atomkraftwerks

Um die Kettenreaktion zu kontrollieren, werden die Neutronen an *Regelstäben* absorbiert, die sich zwischen den Brennstäben befinden. Und die zu schnellen Neutronen werden mit einer sogenannten *Moderatorflüssigkeit* abgebremst.

Ein Atomkraftwerk liefert eine Leistung von einigen Hundert bis Tausende von Megawatt. Der grosse Nachteil sind jedoch die radioaktiven Abfälle, die man irgendwie entsorgen muss. Übrigens: Der Grund für den Reaktorunfall in Tschernobyl war menschliches Versagen.

[1] Je nach Kraftwerk-Typ kann es auch sein, dass das Wasser unter sehr hohem Druck steht und flüssig bleibt.

Wieso explodieren Atombomben, Kernkraftwerke aber nicht? Bei der Atombombe läuft die Kettenreaktion explosionsartig ab, während beim Reaktor dafür gesorgt wird, dass die Zahl der Urankerne, die pro Sekunde gespalten werden, kontrolliert bleibt. Man bremst die Kettenreaktion dadurch ab, indem man die Zahl der Neutronen verringert (welche die Kettenreaktion vorantreiben). Das geschieht dadurch, dass man den Uranblock mit Stoffen versetzt, welche Neutronen absorbieren. Diese sogenannten Regelstäbe oder Absorber werden zwischen die Brennelemente geschoben. Je nach Eindringtiefe der Stäbe kann man so die Reaktion abbremsen oder beschleunigen.

Zudem kommt noch, dass das natürliche Uran bloss 0.7% U-235 enthält, und für die Kernkraftwerke auf 3 bis 4 % U-235 angereichert wird (in einer Atombombe hat man reines Uran-235!), so dass theoretisch selbst beim Schmelzen des Reaktorkerns keine kritische Masse an U-235 vorhanden ist, die für eine Explosion ausreichen würde.