Kernspaltung: wie Atomkerne Energie freisetzen

ATOMKERNE UND STRAHLUNG

Im Dezember 1938 fanden Otto Hahn und Fritz Straßmann am Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie in Berlin etwas, das nicht sein durfte. Sie hatten Uran mit Neutronen beschossen und unter den Produkten Barium entdeckt, ein Element, dessen Kern nur gut halb so schwer ist wie der des Urans [1]. Hahn schrieb seiner langjährigen Kollegin Lise Meitner davon. Sie war im Sommer aus Deutschland geflohen und lebte in Schweden. Über Weihnachten besuchte sie ihr Neffe, der Physiker Otto Frisch. Bei einem Spaziergang im Schnee, Frisch auf Skiern, Meitner zu Fuß, rechneten die beiden auf einem Baumstumpf aus, was passiert sein musste: Der Urankern war in zwei Teile zerbrochen [2].

Die Kernspaltung ist seither eine der folgenreichsten Entdeckungen der Physik. Sie liefert Strom in Kernkraftwerken und steckt hinter der Atombombe. Was dabei im Atomkern passiert, ist erstaunlich einfach zu verstehen.

Was ist Kernspaltung?

Bei der Kernspaltung zerfällt ein schwerer Atomkern in zwei mittelschwere Kerne. Am bekanntesten ist das Uran-235. Trifft ein langsames Neutron auf einen solchen Kern, wird er instabil und bricht auseinander. Dabei werden zwei oder drei neue Neutronen frei, im Mittel 2,45, und eine große Menge Energie [3]. Eine mögliche Spaltung sieht so aus [3]:

$$ {}^{1}_{0}\mathrm{n} + {}^{235}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{141}_{56}\mathrm{Ba} + {}^{92}_{36}\mathrm{Kr} + 3\,{}^{1}_{0}\mathrm{n} + 170\,\mathrm{MeV} \tag{1} $$

Die Zahlen oben geben die Masse an, also die Zahl der Protonen und Neutronen, die unten die Zahl der Protonen. Auf beiden Seiten stehen gleich viele Kernbausteine, 236 insgesamt. Barium und Krypton sind nur ein Beispiel, es gibt mehrere Hundert mögliche Paare von Spaltprodukten. Ihre Massen liegen meist um 95 und um 135 [3]. Viele davon sind radioaktiv, was sie zum Problem für die Endlagerung macht. Mehr dazu im Artikel über Radioaktivität.

Uran-235 ist das einzige in der Natur vorkommende Isotop, das sich durch langsame Neutronen spalten lässt. In natürlichem Uran macht es aber nur 0,7 Prozent aus, der Rest ist fast vollständig Uran-238 [3].

Woher kommt die Energie?

Protonen und Neutronen werden im Kern von der starken Kernkraft zusammengehalten. Wie fest, zeigt die Bindungsenergie pro Kernbaustein (Abb. 1). Sie ist bei mittelschweren Kernen wie Eisen am größten. Beim Uran-235 liegt sie bei etwa 7,6 Megaelektronenvolt (MeV), bei den Spaltprodukten bei etwa 8,4 MeV. Jeder der 235 Bausteine gewinnt beim Spalten also rund 0,8 MeV, zusammen ergibt das etwa 200 MeV pro Spaltung [4],[5].

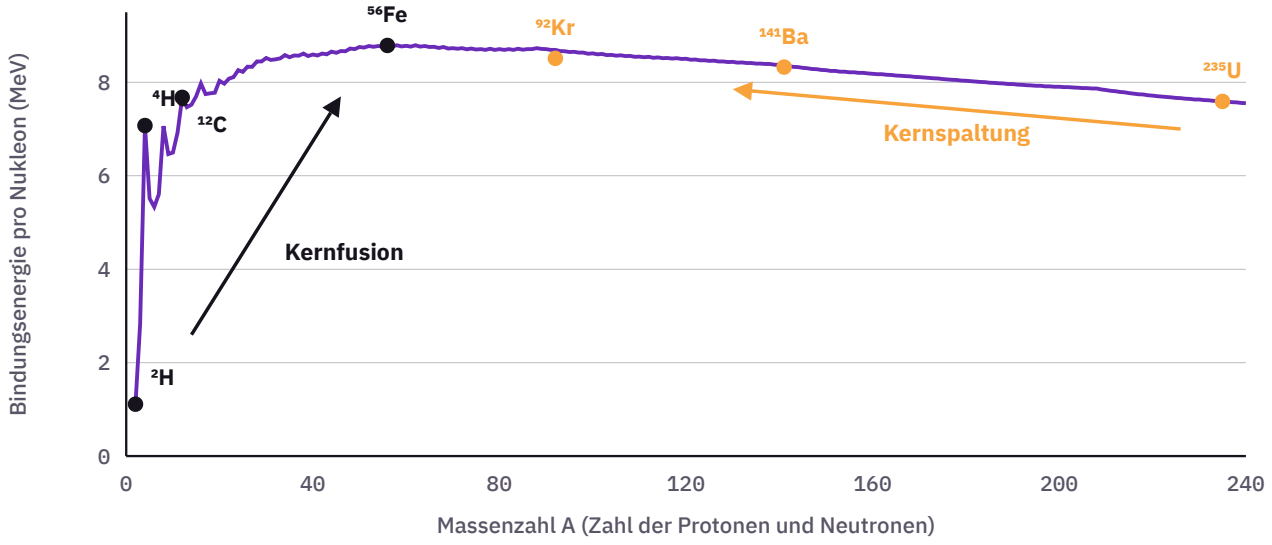

Abb. 1: Bindungsenergie pro Kernbaustein. Je höher der Wert, desto fester ist der Kern gebunden. Wird Uran-235 in zwei mittelschwere Kerne gespalten, rückt jeder der 235 Bausteine um etwa 0,8 MeV nach oben, und diese Differenz wird frei. Eigene Darstellung nach den Daten der Atommassen-Auswertung AME 2020 [5].

Meitner rechnete es 1938 auch über die Masse aus. Die beiden Bruchstücke sind zusammen um etwa ein Fünftel einer Protonenmasse leichter als der ursprüngliche Kern. Nach Einsteins Formel $E = mc^2$ entspricht genau das rund 200 MeV [2]. Mehr zu der Formel im Artikel über die Relativitätstheorie. Der größte Teil der Energie steckt in der Bewegung der beiden Bruchstücke, die sich nach dem Zerplatzen elektrisch abstoßen und auseinanderfliegen [4].

Im Vergleich zur Chemie ist das gewaltig. Beim Verbrennen eines Kohlenstoffatoms werden etwa 6 Elektronenvolt frei. Eine einzige Spaltung liefert so viel wie das Verbrennen von rund 33 Millionen Kohlenstoffatomen [4]. Ein Kilogramm Uran-235, vollständig gespalten, setzt etwa $8 \cdot 10^{13}$ Joule frei, das sind rund 23 Millionen Kilowattstunden (eigene Rechnung).

Die Kurve erklärt auch, warum es den umgekehrten Weg gibt. Bei sehr leichten Kernen steigt die Bindungsenergie, wenn man sie verschmilzt. Davon leben die Sterne. Wie das funktioniert, steht im Artikel über die Kernfusion.

Die Entdeckung 1938

Angefangen hatte alles 1934 mit Versuchen von Enrico Fermi in Rom, der Uran mit Neutronen bestrahlte. Hahn, Meitner und Straßmann gingen dieser Spur in Berlin jahrelang nach [1]. Meitner, Österreicherin jüdischer Herkunft, musste im Juli 1938 Deutschland verlassen, mit zwei kleinen Koffern [2]. Am 19. Dezember 1938 kamen Hahn und Straßmann zu dem Schluss, dass ihre Produkte Barium waren, am 22. Dezember reichten sie ihre Arbeit ein, am 6. Januar 1939 erschien sie [1]. Als Chemiker zögerten sie darin noch, den Schritt zu einer Spaltung des Urankerns ausdrücklich zu vollziehen [6].

Das übernahmen Meitner und Frisch. Sie stellten sich den Urankern als Flüssigkeitstropfen vor, der sich in die Länge zieht, in der Mitte einschnürt und zerreißt [2]. Ihre Erklärung erschien am 11. Februar 1939 in Nature [1],[7]. Frisch wies die energiereichen Bruchstücke kurz darauf auch im Experiment nach [8]. Das Wort für den neuen Vorgang lieh er sich aus der Biologie, wo die Teilung einer Zelle fission heißt [2].

Den Nobelpreis für Chemie 1944 erhielt Hahn allein, „für seine Entdeckung der Spaltung schwerer Atomkerne“. Überreicht wurde er ihm erst 1945 [9]. Meitner ging leer aus. Die Historiker Elisabeth Crawford, Ruth Lewin Sime und Mark Walker haben die Akten des Nobelkomitees ausgewertet. Sie nennen als Gründe unter anderem, dass die Gutachter eine Entdeckung zwischen Chemie und Physik schlecht beurteilen konnten und nicht erkannten, wie sehr die Verfolgung der Juden in Deutschland die veröffentlichten Forschungsergebnisse verzerrt hatte [10].

Die Kettenreaktion

Entscheidend für die Technik sind die Neutronen, die bei jeder Spaltung frei werden. Treffen sie auf weitere Urankerne, lösen sie neue Spaltungen aus, die wieder Neutronen freisetzen. Im April 1939 berichteten Hans von Halban, Frédéric Joliot und Lew Kowarski in Paris, dass bei der Spaltung tatsächlich mehrere Neutronen entstehen [11]. Damit war klar, dass eine Kettenreaktion möglich ist. Im September 1939 legten Niels Bohr und John Wheeler die Theorie der Spaltung auf Grundlage des Tröpfchenmodells vor [12].

Die erste von Menschen gesteuerte Kettenreaktion lief am 2. Dezember 1942 in Chicago. Enrico Fermi, der aus dem faschistischen Italien geflohen war, hatte dafür in einer Squashhalle unter der Tribüne eines Footballstadions rund 380 Tonnen Graphit mit etwa 22 000 Uranstücken aufgeschichtet. Um 15:25 Uhr lief der Reaktor Chicago Pile-1 erstmals selbsterhaltend, nach 28 Minuten schob man den Steuerstab wieder hinein [13].

Im Kernreaktor

Ein Kernkraftwerk hält die Kettenreaktion genau im Gleichgewicht: Im Mittel soll jede Spaltung genau eine weitere auslösen. Weil langsame Neutronen Uran-235 viel leichter spalten, werden sie in den meisten Reaktoren durch einen Moderator abgebremst, oft einfach Wasser. Für Reaktoren mit gewöhnlichem Wasser als Moderator braucht man angereichertes Uran [3], die meisten Anreicherungsanlagen arbeiten mit bis zu 5 Prozent Uran-235 [14]. Die freiwerdende Wärme erzeugt Dampf, der Turbinen antreibt.

Dass sich ein Reaktor überhaupt regeln lässt, liegt an einem Detail. Ein kleiner Teil der Neutronen, beim Uran-235 etwa 0,66 Prozent, wird nicht sofort frei, sondern erst Sekunden später beim Zerfall bestimmter Spaltprodukte. Diese verzögerten Neutronen machen die Kettenreaktion langsam genug, um sie mit Steuerstäben zu kontrollieren [3].

Die Natur war übrigens schneller. In Oklo in Gabun lief vor mehr als zwei Milliarden Jahren ein natürlicher Reaktor. Entdeckt wurde er 1972, weil das Uran dort ein wenig zu wenig Uran-235 enthielt, 0,717 statt 0,720 Prozent. Wasser hatte damals als Moderator gewirkt [15].

In Deutschland ist die Nutzung beendet. Am 15. April 2023 gingen die letzten drei Kraftwerke vom Netz, Emsland, Neckarwestheim 2 und Isar 2. Im ersten Quartal 2022 hatte die Kernenergie noch rund 6 Prozent zum Strommix beigetragen [16].

Die Bombe

Läuft die Kettenreaktion ungebremst, wird in einem Sekundenbruchteil eine riesige Energie frei. Das ist das Prinzip der Atombombe. Im Manhattan-Projekt bauten die USA sie im Zweiten Weltkrieg. Wie es im Labor von Los Alamos zuging, erzählt das Porträt von Richard Feynman. Am 6. August 1945 zerstörte die Uranbombe „Little Boy“ Hiroshima [17], am 9. August die Plutoniumbombe „Fat Man“ Nagasaki [18].

Was Hahn im Dezember 1938 in einem Brief nach Schweden beschrieb, hat die Welt also in wenigen Jahren verändert. Lise Meitner, die das Rätsel unter freiem Himmel löste, hat für ihren Anteil nie den Nobelpreis bekommen.

Quellen

1. Max-Planck-Institut für Chemie: *Die Entdeckung der Kernspaltung.* Ausstellung Meilensteine, Station 2, mpic.de (abgerufen am 29. Oktober 2026).
2. A. Chodos: *December 1938: Discovery of Nuclear Fission.* APS News 16 (2007), Nr. 11, Reihe This Month in Physics History, aps.org.

3. World Nuclear Association: *Physics of Uranium and Nuclear Energy.* Stand 30. März 2026, world-nuclear.org.
4. CNRS/IN2P3: *200 millions electronvolts! A huge amount of energy at the atomic scale.* radioactivity.eu.com, radioactivity.eu.com (abgerufen am 29. Oktober 2026).
5. M. Wang, W. J. Huang, F. G. Kondev, G. Audi, S. Naimi: *The AME 2020 atomic mass evaluation (II).* In: Chinese Physics C 45 (2021), 030003, doi:10.1088/1674-1137/abddaf; Datentabelle bei der IAEA.
6. O. Hahn, F. Straßmann: *Über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle.* In: Die Naturwissenschaften 27 (1939), S. 11–15, doi:10.1007/BF01488241.
7. L. Meitner, O. R. Frisch: *Disintegration of Uranium by Neutrons: a New Type of Nuclear Reaction.* In: Nature 143 (1939), S. 239–240, doi:10.1038/143239a0.
8. O. R. Frisch: *Physical Evidence for the Division of Heavy Nuclei under Neutron Bombardment.* In: Nature 143 (1939), S. 276, doi:10.1038/143276a0.
9. Nobel Prize Outreach: *The Nobel Prize in Chemistry 1944.* nobelprize.org.
10. E. Crawford, R. L. Sime, M. Walker: *A Nobel Tale of Postwar Injustice.* In: Physics Today 50 (1997), Nr. 9, S. 26–32, doi:10.1063/1.881933.
11. H. von Halban, F. Joliot, L. Kowarski: *Number of Neutrons Liberated in the Nuclear Fission of Uranium.* In: Nature 143 (1939), S. 680, doi:10.1038/143680a0.
12. N. Bohr, J. A. Wheeler: *The Mechanism of Nuclear Fission.* In: Physical Review 56 (1939), S. 426–450, doi:10.1103/PhysRev.56.426.
13. Argonne National Laboratory: *7 things you might not know about the world's first nuclear reactor.* 2017, anl.gov.
14. World Nuclear Association: *Uranium Enrichment.* Stand 27. Oktober 2026, world-nuclear.org.
15. S. C. Patel: *The Curious Case of a Two-Billion-Year-Old Nuclear Reactor.* POWER Magazine, 7. September 2018, powermag.com.
16. Bundeszentrale für politische Bildung: *Atomausstieg: Deutschland verabschiedet sich endgültig von der Kernkraft.* 14. April 2023, bpb.de.
17. U.S. Department of Energy, Office of History and Heritage Resources: *The Atomic Bombing of Hiroshima, August 6, 1945.* osti.gov.
18. U.S. Department of Energy, Office of History and Heritage Resources: *The Atomic Bombing of Nagasaki, August 9, 1945.* osti.gov.

Zitiervorschlag

quanten.de: *Kernspaltung: wie Atomkerne Energie freisetzen.* Stand: November 2026. URL: https://quanten.de/kernspaltung.html

Texte und Abbildungen © 2026 quanten.de. Nutzung mit Quellenangabe und Link gern, kommerzielle Nutzung nach Absprache: info@quanten.de

Weiterlesen: Radioaktivität · Kernfusion · Proton · Elementarteilchen