

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 45 (1954)  
**Heft:** 25

**Artikel:** Technische Energiegewinnung aus Kernprozessen  
**Autor:** Scherrer, P.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1061215>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 03.04.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

GEMEINSAMES PUBLIKATIONSORGAN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS (SEV) UND  
DES VERBANDES SCHWEIZERISCHER ELEKTRIZITÄTSWERKE (VSE)

## Technische Energiegewinnung aus Kernprozessen

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 28. Oktober 1954 in Zürich,  
von P. Scherrer, Zürich

621.311.25 : 621.039.4

*Es wird eine kurze Übersicht gegeben über die derzeitige Lage auf dem Gebiet der Energieerzeugung mittels Kernreaktionen.*

*Ausgehend von den heutigen Vorstellungen über den Atomkern werden die wesentlichen physikalischen Grundlagen dargelegt, welche für das Verständnis der Vorgänge in einem Kernreaktor notwendig sind. Eine ausführliche Erläuterung der Arbeitsweise einer Atommaschine erfolgt am Beispiel eines Reaktors mit natürlichem Uran und Moderator.*

*Bref aperçu de la situation actuelle dans le domaine de la production d'énergie par réactions nucléaires.*

*En se basant sur les conceptions modernes du noyau atomique, l'auteur indique les principes physiques essentiels qui permettent de comprendre les phénomènes de la réaction nucléaire. Des explications détaillées sur le fonctionnement d'une machine atomique sont ensuite données, en prenant comme exemple un réacteur à uranium naturel et modérateur.*

Auf dem Gebiet der Energiegewinnung aus Kernreaktionen wurden in den vergangenen Jahren durch umfassende und grossangelegte Versuche bedeutende Fortschritte erzielt. In den Vereinigten Staaten von Amerika und in England sind heute Atomkraftwerke im Bau, welche mit natürlichem Uran arbeiten und mit Hilfe von Kernprozessen elektrische Energie zu verhältnismässig günstigen Bedingungen erzeugen werden. Der Preis soll nach Berechnungen in der Gegend von 4...5 Rp./kWh liegen. Bereits sind Maschinen in Betrieb, welche Energie mittels an Uran 235 angereichertem Material erzeugen, wie z. B. die Maschine des Unterseebootes «Nautilus». Für solche Anlagen können aber heute noch keine Daten über ihre Wirtschaftlichkeit angegeben werden. Wenn man bedenkt, dass wir uns erst am Anfang einer langen Entwicklung befinden, so kann kein Zweifel darüber bestehen, dass die Atomenergie berufen ist, in erfolgreiche Konkurrenz mit den bisherigen Energieformen zu treten.

Für die Erzeugung von Atomenergie werden heute noch ausschliesslich Uran-Reaktoren verwendet, weil die Uranspaltung der einzige Kernprozess ist, welcher bei gewöhnlicher Temperatur von selbst als Kettenreaktion abläuft. Doch sind Untersuchungen im Gange, auch andere spaltbare Elemente, z. B. Thorium, zur Energieerzeugung heranzuziehen. Praktische Erfolge wurden jedoch bis jetzt nicht erzielt. Aber schon im Uran allein steht uns eine gewaltige Energiemenge zur Verfügung. Man schätzt den hier greifbaren Vorrat 20mal grösser als denjenigen der heute abbaufähigen fossilen Brennstoffe (Kohle, Erdöl usw.).

Eine kurze Zusammenstellung zeigt uns, welche riesige Energiebeträge mit Hilfe von Kernreaktionen gewonnen werden können:

1 kg Kohle →	8,5 kWh (C + O <sub>2</sub> → CO <sub>2</sub> )
1 kg Lithium →	70 000 000 kWh (Li + H → 2He)
1 kg Wasserstoff →	180 000 000 kWh (4H → He + 2 e <sup>+</sup> )
1 kg Uran 235 →	25 000 000 kWh

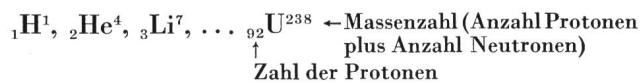
Die Verbrennung von 1 kg Kohle liefert 8,5 kWh. Demgegenüber ist der Energiegewinn bei der relativ «ungünstigen» Reaktion der Urankernspaltung pro kg «verbrannter» Materie rund 3 000 000mal grösser. Der gesamte jährliche Bedarf der Schweiz an elektrischer Energie könnte somit durch Spaltung von nur 2000 kg Uran 235 gedeckt werden.

Die physikalischen Vorgänge bei der Atomkernspaltung sind gut erforscht, und sie lassen sich auf Grund unserer Vorstellungen über den Kernbau leicht verstehen. Die dazu notwendigen physikalischen Grundlagen seien im folgenden kurz zusammengefasst.

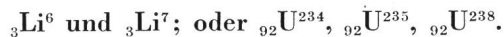
Zu Anfang dieses Jahrhunderts haben *Rutherford* und *Bohr* gezeigt, dass das *Atom* aus Kern und Elektronenhülle besteht. Der Kern ist positiv geladen und enthält praktisch die gesamte Masse des Atoms. Die Hülle wird von einer Anzahl Elektronen gebildet, die negative Ladung besitzen, und die den zentralen Kern in bestimmter, von der Wellenmechanik vorgeschriebener Weise umkreisen. Die Verhältnisse in der Elektronenhülle sind heute dank der Quantenmechanik und dem *Paulischen* Ausschlussprinzip völlig geklärt. Man weiss auch, dass an den meisten alltäglichen Erscheinungen nur die Hülle beteiligt ist. So werden z. B. die chemischen Bindungen, die Farben, magnetische Eigenschaften usw. nur durch den Bau der Elektronenhülle bestimmt.

Der *Kern* selbst ist aufgebaut aus zweierlei Teilchen, aus *Protonen* und *Neutronen*. Diese beiden Elementarteilchen sind fast gleich schwer, beide

besitzen den gleichen Drehimpuls (Spin), hingegen ist das Neutron elektrisch neutral, das Proton positiv geladen. Die Ladung des Protons ist gleich gross wie diejenige des Elektrons, hat aber das entgegengesetzte Vorzeichen. Alle Atomkerne bestehen aus diesen zwei Teilchen. Dabei ist im Atom die Zahl der Protonen, die gleich der Kernladungszahl und der Nummer im periodischen System der Elemente ist, gleich gross wie die Zahl der Hüllenelektronen. Der einfachste Atomkern, der Wasserstoffkern, wird von einem einzelnen Proton gebildet; der Heliumkern besteht aus zwei Protonen und zwei Neutronen, Lithium aus drei Protonen und vier Neutronen und der schwerste in der Natur vorkommende Kern (Uran 238) aus 92 Protonen und 146 Neutronen. In der üblichen Schreibweise stellt man dies so dar:



Die meisten chemischen Elemente werden nun aber nicht von ein und derselben «Atomsorte» gebildet. Vielmehr gibt es von fast allen Kernen zwei oder mehrere «Ausführungen», sogenannte *Isotope*, die sich bei gleicher Protonenzahl voneinander durch verschiedene Anzahl der Neutronen unterscheiden. Beim Wasserstoff sind drei isotope Kerne bekannt: Der gewöhnliche Wasserstoffkern (Proton), der schwere Wasserstoffkern (Deuteron), der aus einem Proton und einem Neutron besteht und das Triton (1 Proton plus zwei Neutronen):  ${}_1\text{H}^1$ ,  ${}_1\text{H}^2$ ,  ${}_1\text{H}^3$ . Andere Beispiele für Isotopie sind:



Alle Isotope eines Elementes besitzen dieselbe Protonenzahl und somit die gleiche Anzahl von Hüllenelektronen. Sie haben daher weitgehend gleiche chemische Eigenschaften. Ihre Trennung bereitet aus diesem Grunde grosse Schwierigkeiten, da die üblichen chemischen Trennverfahren ausscheiden. Eine Trennung ist nur mit Hilfe von komplizierten Prozessen in zum Teil ausserordentlich kostspieligen Anlagen durchführbar. So haben die Trennanlagen von Oakridge, welche das  $\text{U}^{235}$  rein herstellen, den amerikanischen Staat rund 2 Milliarden Dollars gekostet.

Zwischen den Elementarteilchen, sowohl zwischen Proton und Neutron, als auch zwischen zwei Protonen oder zwischen zwei Neutronen, wirken sehr starke Anziehungskräfte. Dies sind die *Kernkräfte*, von denen man heute einige wesentliche Merkmale genau kennt; jedoch ist das exakte Kraftgesetz noch unbekannt. Kernkräfte sind weder elektrischer Natur, noch haben sie etwas mit Gravitationskräften zu tun. Man kann sie teilweise verstehen, wenn man weiss, dass nach dem Dualitätsprinzip — Welle-Korpuskel — zu jedem Kraftfeld bestimmte *Teilchen* gehören. Handelt es sich z. B. um ein elektrisches Kraftfeld, so sind die zugeordneten Teilchen die Photonen. Die *Reichweite* einer Kraft steht in engem Zusammenhang mit der Masse dieser das Kraftfeld charakterisierenden Teilchen (Reichweite =  $h/2\pi m_0 c$ ). Die Photonen besitzen

die Ruhmasse null und somit unendliche Reichweite, das heisst sie haben das Coulombsche Gesetz zur Folge, kurzreichweitige Kräfte hingegen werden von schwereren Teilchen mit Ruhmasse ungleich null bedingt. Bei den Kernkräften sind die zum Feld gehörenden Teilchen die  $\pi$ -Mesonen, die heute künstlich hergestellt werden können, und die eine sehr intensive Wechselwirkung mit dem Kern haben. Kernkräfte sind *ladungsunabhängig* und wegen der endlichen und verhältnismässig grossen Ruhmasse der  $\pi$ -Mesonen (276 Elektronenmassen) äusserst *kurzreichweitig* (Reichweite =  $h/2\pi m_0 c = 1,4 \cdot 10^{-13}$  cm). Während in kleinen Abständen vom Kraftzentrum (einige Kerndurchmesser) praktisch noch nichts von ihnen verspürt wird, steigt die Anziehung mit kleiner werdender Distanz plötzlich sehr stark an. Dieses Verhalten ist in Fig. 1 versinnbildlicht für die Kraft zwischen zwei Neutronen (*a*) und zwischen zwei Protonen (*b*). Im zweiten Fall ist der Kernkraft die Coulomb-Abstossung zu überlagern, die von der elektrischen Ladung der Protonen herrührt.

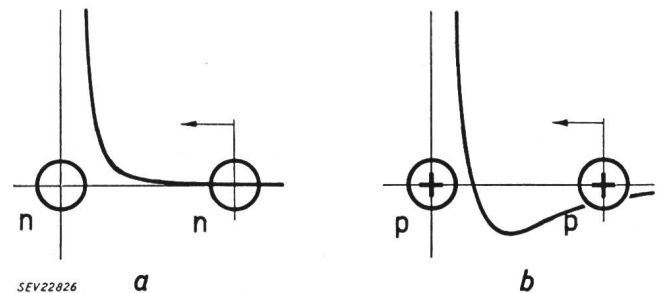


Fig. 1  
Kraft zwischen zwei Elementarteilchen in Abhängigkeit ihres gegenseitigen Abstandes  
a Neutron — Neutron b Proton — Proton

Das Kernkraftfeld einerseits und das Coulombfeld andererseits erklären nun weitgehend, wie bei Kernreaktionen Energie gewonnen werden kann. Wir betrachten zu diesem Zweck die in Fig. 2 dargestellte Kurve, welche die mittlere Bindungsenergie der Kerne in Funktion des Atomgewichts zeigt. Die Bindungsenergien sind dabei auf ein einzelnes Kernteilchen bezogen (totale Bindungsenergie eines Kerns geteilt durch seine Massenzahl). Man weiss, dass beim Aufbau eines Kerns aus Protonen und Neutronen Energie frei wird. Es folgt dies direkt aus der berühmten Einsteinschen Relation:  $E = m c^2$ , wonach also die Energie  $E$  eines Kerns gleich dem Produkt aus seiner Masse  $m$  mal der Lichtgeschwindigkeit  $c$  im Quadrat ist. Für alle bekannten Kerne ist nun die Masse  $m$  etwas kleiner als die Summe der Massen ihrer Elementarteilchen. Die kleine Massendifferenz wird als *Massendefekt* bezeichnet und gibt, mit  $c^2$  multipliziert, gerade den Energiebetrag an, der beim Aufbau gewonnen werden kann.

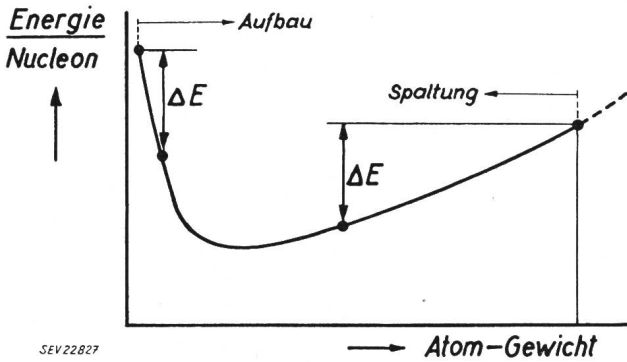
Für den Aufbau z. B. des Deuterons aus einem Proton und einem Neutron gilt die Gleichung:

$${}_0n^1 + {}_1p^1 = {}_1d^2 + 2,2 \text{ MeV}$$

Der Energiebetrag ist hier in der gebräuchlichen Einheit MeV (Millionen Elektronvolt) angegeben. 1 MeV entspricht der Energie von  $1,60 \cdot 10^{-13}$  Ws.

Der Energie-Inhalt der zwei einzelnen Elementarteilchen ist grösser als der des zusammengesetzten Systems. Die Energiedifferenz entweicht in Form eines Gammaquants.

Die Kurve der Fig. 2 zeigt, dass der Energiegewinn pro Teilchen beim Aufbau von leichten und sehr schweren Kernen kleiner ist als für den mittelschweren Kern, und zwar aus folgendem Grund: Jedes Elementarteilchen leistet einen bestimmten Beitrag zur Bindungsenergie des Kerns. Dieser Bei-



SEV 22827

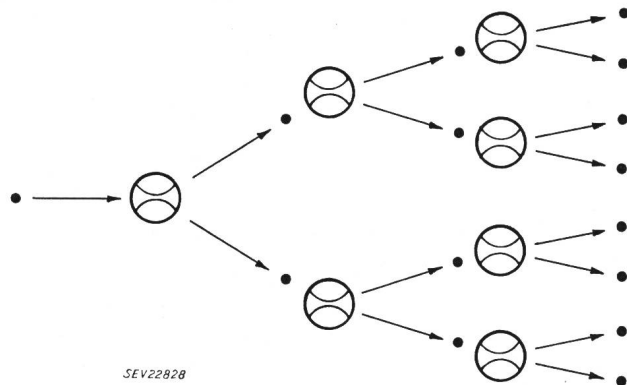
Fig. 2

Mittlere Bindungsenergie  $E$  der Kerne (pro Nucleon) als Funktion des Atomgewichtes  $A$

trag ist gross, wenn das Teilchen von vielen Nachbarn umgeben ist, da jede Bindung zu einem Nachbarpartikel den Betrag von ungefähr 2,2 MeV beiträgt. Bei kleiner Teilchenzahl (leichte Kerne) hat ein einzelnes Teilchen im Mittel nur wenige Nachbarn, und beim Aufbau ist der resultierende Energiegewinn klein. Bei mittelschweren Kernen fallen auf ein Nucleon im Mittel mehr Nachbarn, es kann mehr Energie beim Aufbau gewonnen werden. Bei fortgesetzter Anlagerung von Teilchen an den Kern nimmt aber der Einfluss der Coulomb-Abstossung verglichen mit der Kernkraft mehr und mehr zu. Dies hängt gerade damit zusammen, dass Kernkräfte kurzreichweitig sind, die Coulombkräfte aber lange Reichweiten besitzen. Der Energiegewinn für jedes neue zugefügte Teilchen infolge der Kernkraft nimmt immer um ungefähr denselben Betrag zu, während der ihm entgegengesetzte Beitrag des Coulombfeldes mit dem Quadrat der Kernladung, also wesentlich rascher ansteigt. Man kann somit von einer gewissen Grösse des Kerns an durch Aufbau fast keine Energie mehr gewinnen. Hingegen resultiert von hier an, und das trifft besonders für die schwersten Kerne zu, dann ein Energiegewinn, wenn man einen bestehenden Atomkern zerlegt, also z. B. einen Urankern in zwei ungefähr gleich grosse Teile aufspaltet. Diese zweite Möglichkeit, aus Kernprozessen Energie zu gewinnen, liegt allen Atomkraftwerken zu Grunde, welche heute schon bestehen oder gerade gebaut werden. Der umgekehrte Prozess, der Aufbau eines schwereren Kerns aus leichten Bestandteilen, liegt bei der Wasserstoffbombe vor.

Wenn man künstliche Atomumwandlungen hervorrufen will, muss man zwei Atomkerne zur Berührung bringen. Die Kerne reagieren dann miteinander; es bilden sich neue Gruppierungen ihrer Bestandteile (Protonen und Neutronen) und damit

neue Atomkerne. Praktisch führt man Kernreaktionen so aus, dass man Atomkerne aufeinander schießt. Wegen der starken elektrischen Abstossung sind dazu allerdings hohe Geschwindigkeit notwendig, wie sie heute mit Hilfe von grossen Beschleunigungsmaschinen erzielt werden können. Eine Ausnahme machen die Neutronen. Für viele Experimente mit Neutronen sind hohe Geschwindigkeiten nicht erforderlich, weil ein Neutron keine Coulomb-Abstossung erfährt und daher leicht in andere Kerne eindringen kann. Von den zahlreichen Reaktionen, die durch Neutronen ausgelöst werden, sind in diesem Zusammenhang diejenigen mit den schwersten Atomkernen interessant. Man hat hier Prozesse gefunden, bei denen ein Kern nach Einfang eines langsamen Neutrons in zwei ungefähr gleich grosse Teile zerlegt wird. Bei dieser Kernreaktion können zwei bis drei Neutronen neu entstehen. Es handelt sich um den Reaktionstyp der *Kernspaltung*. Die Erzeugung von neuen Neutronen gibt uns die Möglichkeit, eine *Kettenreaktion* auszulösen, deren Verlauf in Fig. 3 schematisch dargestellt ist.



SEV 22828

Fig. 3

Kettenreaktion

Kreise: Uran-235- oder Plutoniumkerne; Punkte: Neutronen

Wenn die spaltbare Substanz rein vorliegt, reines  $U^{235}$  oder reines  $Pu^{239}$ , so spielt sich der Vorgang explosionsartig ab, und das Material verbrennt im Bruchteil einer Sekunde (Atombombe). Damit dies geschieht, muss der Sprengkörper eine gewisse kritische Grösse besitzen, und zwar deshalb, weil die bei der Spaltung entstehenden Neutronen sehr durchdringend sind. Wäre der Körper zu klein, so würden wegen ihres grossen Durchdringungsvermögens die meisten Neutronen entweichen, ohne selbst wieder eine neue Spaltung hervorzurufen.

Mit natürlichem Uran kann nun eine solch schnelle Kettenreaktion nicht vorgenommen werden.  $U^{235}$  ist in diesem nämlich nur zu einem sehr kleinen Prozentsatz, zu 0,7 %, enthalten. Abgesehen von 0,01 %  $U^{234}$  fallen die restlichen 99,3 % auf das Uranisotop  $U^{238}$ , das sich beim Beschuss mit Neutronen ganz anders verhält: Durch Anlagerung eines Neutrons an  $U^{238}$  wird der Kern  $U^{239}$  gebildet. Dieser künstlich erzeugte Atomkern geht unter Emission eines  $\beta$ -Teilchens, d. h. eines Elektrons, welches bei diesem Prozess neu geschaffen wird, zuerst in Neptunium ( ${}_{93}Np^{239}$ ) und durch nochmalige Aussendung eines  $\beta$ -Teilchens in Plu-

tonium ( ${}_{94}\text{Pu}^{239}$ ) über. Beim  $\beta$ -Zerfall wird ein Neutron im Kern zu einem Proton; bei diesem Prozess werden ein Elektron und ein Neutrino neu erzeugt und emittiert. Der Atomkern Plutonium 239 kann nun wie Uran 235 Kernspaltung ausführen, wobei pro Spaltprozess ebenfalls zwei bis drei Neutronen entstehen (Fig. 4).

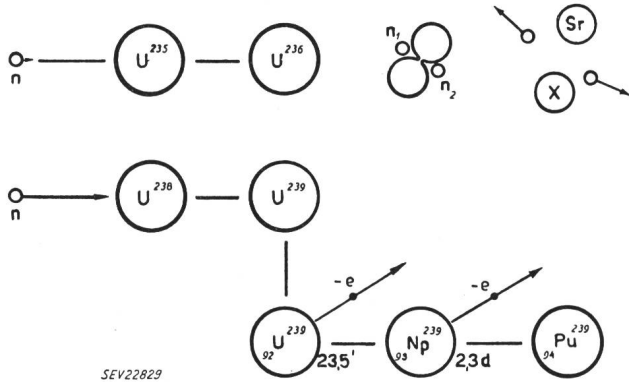


Fig. 4  
Reaktionen von Neutronen mit den Atomkernen Uran 235 und Uran 238

Wenn es gelingt, eine Atommaschine mit *natürlichem Uran* zum Laufen zu bringen, so ermöglicht es gerade diese zweite Reaktion, einen sogenannten *Breeder-Reaktor* zu konstruieren, bei dem der verbrauchte Brennstoff ( $\text{U}^{235}$ ) fortlaufend durch neue brennbare Substanz, welche sich im Reaktor bildet, ersetzt wird ( $\text{Pu}^{239}$ ).

Der Betrieb eines Kernreaktors unter Benützung von natürlichem Uran stösst zunächst auf erhebliche Schwierigkeiten, welche ihren Grund darin haben, dass die beiden oben genannten Reaktionstypen ganz wesentlich auf die Neutronengeschwin-

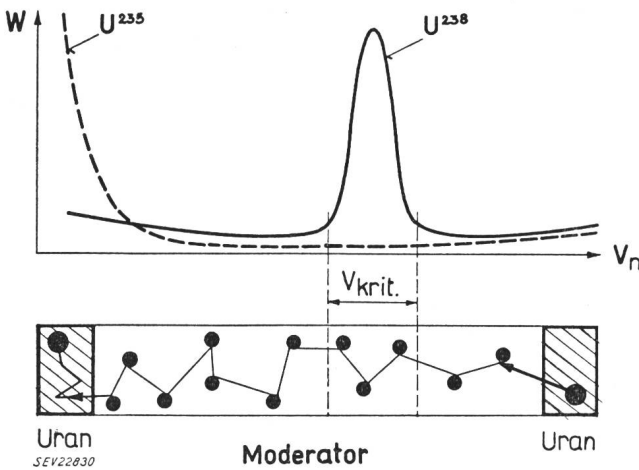


Fig. 5  
Einfangquerschnitte von  $\text{U}^{235}$  und  $\text{U}^{238}$  für verschiedene Neutronengeschwindigkeiten und Verlangsamung der Neutronen im Moderator

digkeiten empfindlich sind. Und zwar ist es so, dass die Wahrscheinlichkeit  $W$  (Wirkungsquerschnitt) für den Einfang im  $\text{U}^{235}$  dann gross ist, wenn die Neutronen *kleine* Geschwindigkeiten besitzen. Im  $\text{U}^{238}$  sind hingegen für *mittlere* Geschwindigkeiten die Einfangwahrscheinlichkeiten gross (Fig. 5). Die von der Spaltung herrührenden Neutronen sind

sehr schnell, zu schnell, um vom  $\text{U}^{235}$  oder  $\text{U}^{238}$  wesentlich eingefangen zu werden. Sie reagieren zunächst weder mit den einen noch mit den anderen Kernen und müssen zuerst verlangsamt werden, um zur Reaktion zu kommen. Diese *Verlangsamung* geschieht durch elastische Zusammenstösse mit den Urankernen, wobei die Neutronen bei jedem Stoss etwas Energie an die Uranatome abgeben und so mehr und mehr von ihrer anfänglichen Geschwindigkeit verlieren. Sobald sie in den Bereich einer kritischen Geschwindigkeit kommen, werden sie fast alle vom  $\text{U}^{238}$  eingefangen und gehen verloren; nur ganz wenige werden so langsam, dass sie dann einen neuen Kern  $\text{U}^{235}$  spalten und die Reaktion fortsetzen können. Die gewünschte Kettenreaktion ist also ausgeschlossen.

Es gibt aber einen Kunstgriff, der uns diese Schwierigkeit überwinden hilft. Man muss die Verlangsamung der Neutronen in einem andern Stoff, in einem sogenannten *Moderator* vornehmen. Als Moderatorsubstanzen eignen sich Stoffe, die unabhängig von der Neutronengeschwindigkeit, also für schnelle und langsame Neutronen, sehr kleine Einfangquerschnitte besitzen, z. B. schweres Wasser ( $\text{D}_2\text{O}$ ), Graphit (C), Helium, Berylliumoxyd, Sauerstoff. Aus praktischen Gründen kommen in erster Linie  $\text{D}_2\text{O}$  und Graphit in Frage.

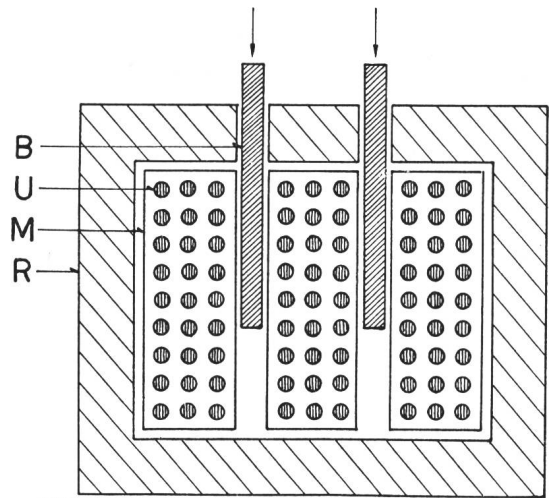


Fig. 6  
Schema eines Uran-Graphit-Reaktors  
U Uranstäbe; M Graphit-Moderator; R Neutronenreflektor; B Borstäbe zur Leistungsregulierung

Ein Reaktor, wie er auch mit natürlichem Uran aufgebaut werden kann, ist in Fig. 6 schematisch dargestellt. Das Uran wird in Form von Stäben regelmässig im Graphit- oder  $\text{D}_2\text{O}$ -Moderator verteilt. Die Maschine läuft von selbst an, weil in der kosmischen Strahlung immer Neutronen vorhanden sind und auch spontane Spaltung von  $\text{U}^{235}$  eintreten kann. Nach einer primären Spaltung treten zwei bis drei sekundäre Neutronen aus dem Uranstab in den Moderator ein und werden dort auf kleine Energien heruntergebremst. In der Folge treffen sie früher oder später wieder einen Uranstab, spalten einen neuen  $\text{U}^{235}$ -Kern und erzeugen so wiederum zwei bis drei Neutronen. Wegen der starken Energieabhängigkeit der Einfangwahrscheinlichkeiten

von  $U^{235}$  und  $U^{238}$  spielt die Neutronenanlagerung an das Isotop  $U^{238}$  nur eine geringe Rolle.

Damit nun die so eingeleitete Kettenreaktion nicht abbricht, sondern sich weiter fortpflanzt, ist dafür zu sorgen, dass die *Neutronenbilanz* erhalten bleibt. In erster Linie muss der Reaktor die kritische Grösse haben, um die Verluste an Neutronen durch die Oberfläche klein zu halten. Aber auch aus anderen Gründen können Neutronen wieder verloren gehen. Ein Teil davon wird von Verunreinigungen im Uran oder im Moderator weggefangen, ein anderer Teil erfährt nur ungenügende Verlangsamung und reagiert dann mit dem  $U^{238}$ . Die Verluste durch die Oberfläche lassen sich erheblich vermindern, indem man den Reaktor mit einem Neutronenreflektor umgibt, der aus einer der üblichen Moderatorsubstanzen besteht. Bei richtiger Konstruktion der Maschine ist es möglich, eine positive Neutronenbilanz zu erzielen, d. h. jedes Neutron im Reaktor muss im Mittel mindestens wieder ein neues Neutron erzeugen [ $k > 1$  ( $k$  Reaktivität)]. Die Neutronendichte und die damit verbundene Wärmeentwicklung steigen dann immer mehr an.

Der Reaktor würde schliesslich zerstört werden, wenn man nicht durch Eintauchen von Bor- oder Cadmiumstäben die Kettenreaktion regulieren könnte. Die Regulierwirkung beruht darauf, dass Bor und Cadmium äusserst grosse Einfangquerschnitte für langsame Neutronen besitzen. Je tiefer man die Stäbe in den Reaktor eintaucht, um so mehr langsame Neutronen werden absorbiert, bis schliesslich die Bilanz ausgeglichen ist und die Maschine stationär läuft.

Der Reaktor, der mit natürlichem Uran und Moderator arbeitet und den wir etwas eingehender betrachtet haben, stellt nur einen bestimmten Typ

einer Atommaschine dar. Es existieren ausserdem zahlreiche andere Maschinen, deren Bau und Arbeitsweise voneinander zum Teil erheblich abweichen, und die im folgenden noch kurz erwähnt seien. Man unterscheidet je nach Art des Moderators, des «Brennstoffs» und der Konstruktion: Graphit-Pile,  $D_2O$ -Pile, Reaktoren mit natürlichem oder mit angereichertem Uran ( $U^{235}$ -Gehalt grösser als 0,7 %), homogene oder inhomogene Pile. Allen diesen Maschinen ist gemeinsam, dass die Atomenergie als *Wärme* gewonnen wird, also in einer für die technische Anwendung ungünstigen Energieform. Es ist zur Zeit kein Weg sichtbar, der gestatten würde, die Energie direkt in Form elektrischer Energie mit einem einigermaßen in Betracht fallenden Wirkungsgrad zu erhalten.

Die Atommaschinen, die heute gebaut werden, sind natürlich als erste tastende Versuche zu betrachten. Wir können nicht beurteilen, welche Wege die Technik in Zukunft einschlagen wird. Wichtig ist, dass die Schweiz mit dem Bau eines Reaktors nicht länger zuwartet, sondern an diesen Problemen tatkräftig mitarbeitet.

Adresse des Autors:

Prof. Dr. P. Scherrer, Vorstand des Physikalischen Instituts der Eidgenössischen Technischen Hochschule, Gloriastrasse 35, Zürich 7/6.

Nachwort der Redaktion:

In der anschliessenden Diskussion erwähnte der Referent die kürzlich erfolgte Gründung einer *Europäischen Gesellschaft für Atomenergie*. Zur Zeit gehören dieser Organisation sieben Staaten an; auch die Schweiz ist Mitglied. Die Gesellschaft fördert einen regen Gedanken- und Erfahrungsaustausch zwischen allen beteiligten Partnern und leistet so einen wichtigen Beitrag für eine erfolgreiche Zusammenarbeit auf europäischer Grundlage. Diese Gesellschaft wird auch das Organ sein, das beim Zustandekommen des von Präsident Eisenhower vorgeschlagenen internationalen Atom-pools als Verhandlungspartner für Europa aufzutreten in der Lage ist.

## Wirtschaftliche Betrachtungen

### über die Nutzung der Kernumwandlung zur Erzeugung elektrischer Energie

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 28. Oktober 1954 in Zürich,

von A. Winiger, Zürich

621.311.25 : 621.039.4

*Für bestimmte Kernreaktoren-Typen sind die technischen Probleme so weit geklärt, dass der Bau je eines Atomkraftwerkes in Amerika und England in Angriff genommen werden konnte. Über die Wirtschaftlichkeit der Atomenergie liegen noch keine zuverlässigen Daten vor. Einige Zahlenwerte werden angegeben. Auf Grund des bisherigen Entwicklungstempos kann angenommen werden, dass im Zeitpunkt des Vollausbaues der schweizerischen Wasserkräfte Atomkraftwerke mit klassischen Dampfkraftwerken in Wettbewerb treten können. Sie werden praktisch nur als Grundlastwerke arbeiten, wodurch unsere Akkumulieranlagen, die zur Deckung der Leistungsspitzen unentbehrlich sind, noch an Wert und Bedeutung gewinnen.*

*Pour certains types de réacteurs nucléaires, les questions techniques sont suffisamment élucidées pour que la construction d'une usine atomique ait pu être entreprise aussi bien en Angleterre qu'en Amérique. Quant au coût de l'énergie nucléaire, nous ne disposons pas encore de données sûres. Quelques exemples numériques sont fournis à ce propos. Le développement a été si rapide jusqu'ici que nous pouvons admettre qu'au moment où l'aménagement de nos forces hydrauliques sera achevé, les usines atomiques pourront concurrencer les centrales thermiques classiques. Les usines atomiques ne produiront en principe que de l'énergie de base, de sorte que nos usines à accumulation, indispensables pour couvrir les besoins en énergie de pointe, gagneront encore en importance et en valeur.*

#### A. Einleitung

Die friedliche Erschliessung der neuen Energiequelle, die in der Umwandlung des Atomkerns liegt, ist heute in vollem Fluss. Technisch ist ein bedeutender Teil der zu überwindenden Schwierigkei-

ten bereits gelöst; dagegen lassen sich über die wirtschaftlichen Verhältnisse zukünftiger Energieerzeugungsanlagen nur Vermutungen anstellen. Wie weit die Meinungen noch auseinandergehen, wird am besten durch zwei Berichte illustriert, die kürzlich