

Zeitschrift: Protar
Herausgeber: Schweizerische Luftschutz-Offiziersgesellschaft; Schweizerische Gesellschaft der Offiziere des Territorialdienstes
Band: 12 (1946)
Heft: 1

Artikel: Atomenergie
Autor: Bleuler, E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-363145>

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: 19.01.2026

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

P. A. en vertu des instructions existantes. De ce fait la troupe entrait en contact direct et parfois aussi en conflit avec la population et les intérêts particuliers des citoyens. De là découlent les attaques de la presse contre la troupe P. A. immédiatement après l'armistice. La «rage publique» ne faisait pas de différence entre la troupe P. A. qui a certainement fait son devoir aussi consciencieusement que n'importe quelle autre arme et les mesures civiles de P. A. En raisonnant objectivement la population doit arriver — et les autorités et les instances militaires n'ont à ce propos aucun doute — à la conclusion que, aussi longtemps que la Suisse a besoin d'une défense nationale, la troupe P. A. doit être maintenue et instruite et forme un élément de celle-ci. La future tâche, la position et l'organisation de la troupe P. A. dans le cadre de la défense nationale sont à l'étude en connexion avec la réforme de l'armée auprès des autorités compétents. La *Protar* a jusqu'à présent apporté son concours à l'étude de toutes ces questions. Elle le fera aussi dorénavant.

En devenant officier et en acceptant une charge dans une troupe, ce dernier s'engage du même coup à s'instruire et à s'intéresser à son arme aussi en dehors du service. L'officier doit tendre à développer non seulement son instruction militaire, mais encore à compléter son instruction générale. Dans l'ensemble l'instruction d'un officier porte sur des questions psychologiques, tactiques et techniques. Celui qui ne s'en occupe pas en dehors du service ne pourra pas remplir les exigences de son grade et de sa charge, ni en temps de paix ni en temps de guerre. Malheureusement l'on constate que les officiers qui auraient particulièrement be-

soin de s'instruire ne se rendent pas toujours compte des moyens de continuer cette instruction hors service ou se tiennent à l'écart. Dans les écoles et cours on a peut-être pas assez insisté sur ce point, qui représente un engagement pris implicitement par l'officier lors de l'obtention de son grade. En collaboration avec la Société Suisse des Officiers P. A., la *Protar* a à cœur de tenir l'officier au courant des questions qui l'intéressent, et ceci particulièrement pendant l'époque où celui-ci à moins de contact avec la troupe et le service en général.

Nous voudrions en quelques mots expliquer quelles seront les questions auxquelles nous voudrons un soin particulier dans notre journal:

- 1^o Expériences de guerre en matière de protection contre les attaques par avions et armes «V»;
- 2^o énergie atomique et son application;
- 3^o développement des armes offensives et défensives;
- 4^o questions techniques générales;
- 5^o tactique de la troupe P. A. selon les expériences de guerre;
- 6^o questions psychologiques du commandement;
- 7^o questions de la réorganisation de la troupe P. A. et de la défense nationale
- 8^o protection anti-aérienne de l'industrie, produits industriels servant à la défense nationale;
- 9^o questions de la sécurité mondiale, etc.

En traitant aussi amplement que possible tous les problèmes intéressant la conduite de la troupe P. A. et la P. A. en général, nous espérons gagner les officiers comme lecteurs de notre journal et ainsi leur être utile dans l'instruction lors service.

Editeur et rédaction.

Atomenergie Von Dr. E. Bleuler, Zürich

Auf Grund der ersten Meldungen über die Atombombe ist im Augustheft der «*Protar*» (1945, Nr. 8) eine Zusammenfassung der damaligen Kenntnisse der zugrundeliegenden physikalischen Prozesse gegeben worden. In der Zwischenzeit ist ein Bericht über die Entwicklung der Atommaschine und der Atombombe erschienen, in welchem die hauptsächlichsten Ergebnisse der amerikanischen Forschung und Produktion dargestellt werden: «*Atomic Energy, A General Account of the Development of Methods of Using Atomic Energy for Military Purposes under the Auspices of the United States Government 1940-1945.* By H. D. Smyth.»

Da in dieser Publikation ganz neue Gesichtspunkte auftauchen und manche Einzelheiten der technischen Verwertung der Atomenergie beschrieben sind, welche weit über unsere früheren Kenntnisse hinausgehen, dürfte eine zusammenfassende Wiedergabe am Platze sein. Es versteht

sich, dass einige Punkte — welche in ihrer Gesamtheit das «Geheimnis der Atombombe» ausmachen — nur andeutungsweise ausgeführt sind. Vor allem werden keine Angaben über Grösse, Gewicht und Zusammensetzung der Bombe und teilweise der Maschine gemacht, so dass auf Schätzungen, welche im folgenden gegeben werden, kein allzu grosses Gewicht gelegt werden darf.

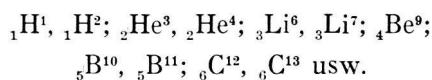
I. Atombau und Atomumwandlung.

Atombau.

Zum Verständnis des Folgenden seien die Angaben des ersten Berichtes über den Atombau kurz wiederholt: Die Materie besteht aus Atomen, den kleinsten (vermeintlich) unteilbaren Teilchen. Ihre Zahl ist sehr gross: 1 g Wasserstoff enthält $6,02 \cdot 10^{23}$ Atome (0,602 Quadrillionen), ebenso wie 16 g Sauerstoff oder 238 g Uran. Der Durchmesser des Atoms ist von der Grössenordnung 10^{-8} cm

(der zehnmillionste Teil eines Millimeters). Heute wissen wir, dass auch die Atome nicht unteilbar sind, sondern aus einem Atomkern — mit einem Durchmesser von etwa 10^{-12} cm — und der Atomhülle (10^{-8} cm) bestehen. Die letztere wird von negativen Elektronen gebildet, welche, bildlich gesprochen, um den Kern kreisen, wie die Planeten um die Sonne. Der Atomkern selbst ist aus Protonen und Neutronen aufgebaut. Die Protonen sind positiv geladen, und zwar ist die Grösse ihrer Ladung gleich derjenigen der Elektronen, während die Neutronen ungeladen sind (neutral). Zwischen diesen Partikeln wirken besondere, ungeheuer starke Kräfte, die sogenannten Kernkräfte, welche den Atomkern zusammenhalten, obschon sich die positiven Protonen gegenseitig abstoßen. Die Massen der beiden Teilchen sind praktisch gleich gross, ungefähr 1, wenn man diejenige des Sauerstoffatoms (willkürlich) gleich 16 setzt. Die Elektronen sind dagegen 1840mal leichter. Der Kern enthält also fast die gesamte Atommasse. Da das ganze Atom elektrisch neutral sein muss, ist die Zahl der (negativen) Elektronen in der Hülle gleich derjenigen der (positiven) Protonen im Kern (sogenannte Kernladung). Bei den chemischen Prozessen wirken nur Kräfte zwischen den Elektronenhüllen; für das chemische Verhalten eines Atoms ist daher nur die Zahl der Elektronen in der Hülle, also die Kernladung, verantwortlich.

Ein Atomkern wird häufig in folgender Weise durch chemisches Symbol, Kernladung und Atomgewicht dargestellt: ${}_8\text{O}^{16}$ = Sauerstoffkern mit Kernladung 8 und Gewicht 16. Er besteht also aus 8 Protonen (p) und $16 - 8 = 8$ Neutronen (n). Um ihn kreisen natürlich 8 Elektronen. Andere Kerne sind z. B.: ${}_1\text{H}^1$ (Wasserstoff, 1 p + 0 n), ${}_6\text{C}^{12}$ (Kohlenstoff, 6 p + 6 n), ${}_{92}\text{U}^{238}$ (Uran, 92 p + 146 n). Es zeigt sich jedoch, dass häufig Kerne mit gleicher Ladung (gleicher Protonenzahl), aber verschiedener Masse, d. h. verschiedener Neutronenzahl, vorkommen. Man nennt sie Isotope, d. h. Kerne, die in der Tabelle der Elemente am gleichen Ort (beim gleichen Element) stehen. Tatsächlich müssen diese Atome chemisch identisch sein, da sie wegen der gleichen Kernladung auch die gleiche Elektronenhülle haben, welche ja allein für die chemischen Reaktionen verantwortlich ist. So besteht Chlor aus einem Gemisch von drei Teilen ${}_{17}\text{Cl}^{35}$ (17 p + 18 n) und 1 Teil ${}_{17}\text{Cl}^{37}$ (17 p + 20 n), so dass das mittlere Atomgewicht 35,5 beträgt. Einzelne Elemente haben bis 11 Isotope. Sie treten bereits bei den leichtesten Elementen auf:



Von besonderer Wichtigkeit ist das schwere Isotop des Wasserstoffes, ${}_1\text{H}^2$, häufig mit D bezeichnet. In gewöhnlichem Wasser sind etwa 0,16 % aller Wasserstoffatome durch das schwere Isotop ersetzt. Durch fortgesetzte Elektrolyse wird das schwere Wasser, D_2O , angereichert, da es sich

langsamer zerstetzt. Die grösste Anlage dieser Art befand sich vor dem Kriege in Rjukan (Norwegen). Der Kern ${}_1\text{H}^2$, Deuton genannt, ist eines der wirksamsten Geschosse für Atomumwandlungen.

Atomumwandlung.

Zur Umwandlung eines Elementes in ein anderes ist es nur nötig, die Ladung des Atomkernes zu ändern. Dies geschieht am besten durch Beschießen mit andern Atomkernen. Als Beispiel sei die von Lord Rutherford zuerst durchgeföhrte Umwandlung von Stickstoff in Sauerstoff angegeben, welche, ähnlich wie in der Chemie, als «Kernreaktion» geschrieben werden kann:



In Worten: Ein Heliumkern wird auf einen Stickstoffkern geschossen und bleibt in ihm stecken. Der entstandene Kern, ein Fluorisotop, sendet einen Wasserstoffkern (Proton) aus, so dass ein Sauerstoffisotop ${}_8\text{O}^{17}$ zurückbleibt. In ähnlicher Weise können Umwandlungen durch Geschosse von ${}_1\text{H}^1$ oder ${}_2\text{He}^4$ bewirkt werden. Dabei ist es freilich notwendig, den Geschossen eine ausserordentlich hohe Geschwindigkeit zu erteilen, rund ein Zehntel Lichtgeschwindigkeit, damit sie die Atomhülle durchdringen und sich dem Atomkern trotz der Abstossung (gleiche Ladung!) bis zur Berührung nähern können. Diesem Zweck dienen die modernen Apparate, wie Zyklotron, Tensator und andere Beschleunigungsanlagen.

Sehr wirksam sind auch Neutronen, welche, da ungeladen, von den Atomkernen nicht abgestossen werden. Sie können sich ihnen daher auch bei kleinen Geschwindigkeiten nähern, wobei häufig bei einem solchen Zusammenstoss ausserordentlich grosse Umwandlungswahrscheinlichkeiten auftreten. Freilich müssen die Neutronen immer zuerst durch eine andere Kernreaktion erzeugt werden, z. B. durch

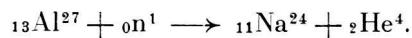


Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass Atomkerne auch durch energiereiche elektromagnetische Strahlung (sog. γ -Quanten) und durch schnelle Elektronen umgewandelt werden können.

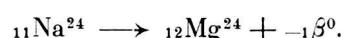
Heute sind einige tausend Kernreaktionen bekannt, durch welche jedes Isotop in ein anderes übergeführt werden kann.

Radioaktivität.

Häufig entsteht durch eine Kernumwandlung ein in der Natur nicht vorkommendes Isotop. Als Beispiel sei genannt:



In der Natur kommt nur ein Na-Isotop der Masse 23 vor, wohl aber ein Mg-Isotop der Masse 24. Daher wandelt sich das ${}_{11}\text{Na}^{24}$ durch Aussendung eines Elektrons aus dem Atomkern um in ${}_{12}\text{Mg}^{24}$:



Das austretende Elektron wird β -Teilchen oder β -Strahl genannt. Die Masse des Kerns bleibt bei diesem sogenannten «radioaktiven Zerfall» dieselbe, da ja das Elektron sehr leicht ist, während sich die Ladung um 1 erhöht, weil eine negative Ladung aus dem Kern ausgesendet wird. Diese Umwandlung geht nicht sofort, sondern nur mit einer gewissen Geschwindigkeit vor sich, derart, dass in gleichen Zeiträumen immer der gleiche Bruchteil der vorhandenen Kerne zerfällt. Die Halbwertszeit — innert welcher sich die Hälfte der Kerne umwandelt — bewegt sich zwischen Bruchteilen von Sekunden und Millionen von Jahren. Bei Na^{24} beträgt sie 14,8 Stunden.

Andere Isotope senden positive Elektronen aus; gewisse schwere Elemente, z. B. Radium, auch ${}_2\text{He}^4$ -Atomkerne, α -Teilchen genannt. In diesem Falle wird die Kernladung um 2, die Masse um 4 Einheiten verringert.

Atomenergie.

Die Energien, welche bei den besprochenen Kernreaktionen und beim radioaktiven Zerfall auftreten, sind ungefähr eine Million mal grösser als diejenigen der chemischen Prozesse. So entsteht bei der Verbrennung von 1 kg Kohle eine Wärmeenergie von ca. 9 kWh, während die Umwandlung von 1 kg Lithium in Helium 60'000'000 kWh liefert (${}_3\text{Li}^7 + {}_1\text{H}^1 \rightarrow 2 {}_2\text{He}^4 + \text{Energie}$).

Der Unterschied liegt darin, dass bei den chemischen Reaktionen nur die Atomhüllen, bei den Kernreaktionen aber die Atomkerne verändert werden, in welchen unvergleichlich grössere Kräfte auftreten.

Es ist interessant, sich zu überlegen, aus welchen Eigenschaften der Ausgangs- und der Endkerne einer solchen Umwandlung die freiwerdende Energie berechnet werden kann. Diese Frage hat eine überraschende Lösung gefunden: Wenn man die Summe der Massen vor und nach der Reaktion vergleicht, so findet man einen Massenverlust während der Umwandlung, welcher zur entstandenen Energie proportional ist, und zwar gilt, wie Einstein als erster vorausgesagt hat, die Beziehung:

$$E = m c^2,$$

Energie = Masse mal Quadrat der Lichtgeschwindigkeit (300'000 km/sek). 1 gr Masse entspricht einer Energie von $9 \cdot 10^{20}$ Erg = 25'000'000 kWh. Bei der Umwandlung von Lithium in Helium sind die Massen z. B.:

$$\begin{aligned} {}_3\text{Li}^7 &: 7,018163 \\ {}_1\text{H}^1 &: 1,008131 \end{aligned}$$

$$\text{Masse } \left\{ \begin{array}{l} \text{vorher} \\ \text{nachher} \end{array} \right. \begin{array}{l} 8,026294 \\ 2 {}_2\text{He}^4: 8,007720 \end{array}$$

$$\text{Massenverlust} \quad m : 0,018574$$

Da 1 kg Li 927 g ${}_3\text{Li}^7$ enthält, verliert es bei der Reaktion eine Masse von 2,46 g = 60'000'000 kWh, wie oben angegeben.

Diese Erkenntnis scheint den beiden bewährten chemisch-physikalischen Gesetzen zu widersprechen:

1. Bei einer chemischen Reaktion bleibt die Gesamtmasse der Reaktionspartner konstant.

2. Die Gesamtenergie bleibt ebenfalls konstant, ändert aber ihre Form. — Bei der Verbrennung von Kohle mit Sauerstoff zu CO_2 ändert sich die Masse sicher um weniger als 1:1'000'000, während sich die sog. chemische Energie in Wärmeenergie umwandelt. — Diese beiden Gesetze werden nun aufgehoben und verschmelzen in ein einfacheres Gesetz, das die *Gleichwertigkeit von Masse und Energie* ausdrückt: Bei jedem Vorgang bleibt die Summe von Masse und Energie konstant, wobei die Umrechnung nach der Formel $E = m c^2$ erfolgt. Bei den chemischen Prozessen merkt man freilich nichts von der Massenänderung, da sie sehr klein ist, beim obigen Beispiel nur $0,38 \cdot 10^{-6}$ g für 1 kg Kohle.

Die Energieausbeute von Kernumwandlungen kann auf diese Art leicht berechnet werden. Leider ist aber die technische Energiegewinnung mittels Reaktionen der beschriebenen Art unmöglich, da die Wahrscheinlichkeit, mit einem beschleunigten Teilchen einen Atomkern zu treffen, sehr klein ist. Vielmehr werden die meisten Geschosse beim Durchgang durch die ausgedehnten Atomhüllen gebremst, bevor sie auf einen der 10'000mal kleineren Atomkerne stoßen können. Im allgemeinen bewirkt nur etwa *ein* Geschoss von 1000 eine Atomumwandlung. Die Energie, die zur Beschleunigung der Partikel aufgewendet werden muss, ist grösser als diejenige, die aus den wenigen Umwandlungen gewonnen werden kann. Es ist daher notwendig, eine solche Reaktion zu finden, in welcher diejenigen Teilchen, welche sie auslösen, direkt oder indirekt wieder neu erzeugt werden. Solche Verhältnisse sind z. B. in der Sonne verwirklicht, deren Energieproduktion hauptsächlich auf Kernreaktionen beruht: Infolge der hohen Temperatur von rund 20'000'000° sind viele Geschosse (Protonen) genügender Geschwindigkeit vorhanden, um dauernd Kernumwandlungen hervorzurufen, deren Energie die hohe Temperatur aufrecht erhält. Der Kreis schliesst sich daher: Hohe Temperatur \rightarrow Geschosse von genügender thermischer Energie \rightarrow Kernumwandlung \rightarrow Energieproduktion \rightarrow hohe Temperatur \rightarrow etc. Die Geschosse werden hier also indirekt, durch die erzeugte Hitze, geliefert. Auf der Erde ist eine Maschine dieser Art natürlich nicht möglich, da kein Material bei solchen Temperaturen beständig ist. Nach den bisherigen Kenntnissen sind wir daher auf eine Reaktion oder eine Reihe von Reaktionen angewiesen, in welcher die auslösenden Teilchen direkt neu erzeugt werden.

II. Möglichkeit einer Kettenreaktion bei Uran.

Wie Hahn und Strassmann (Berlin) zum erstenmal feststellten, zerfällt das schwerste Ele-

ment, Uran, bei Beschießung mit Neutronen in zwei etwas verschiedene Bruchstücke mittlerer Kernladung, z. B. Strontium (38) und Xenon (54). Man muss sich vorstellen, dass der Urankern, der ein Neutron einfängt, zu schwingen beginnt, so dass er in zwei Teile zerplatzen kann, welche sich

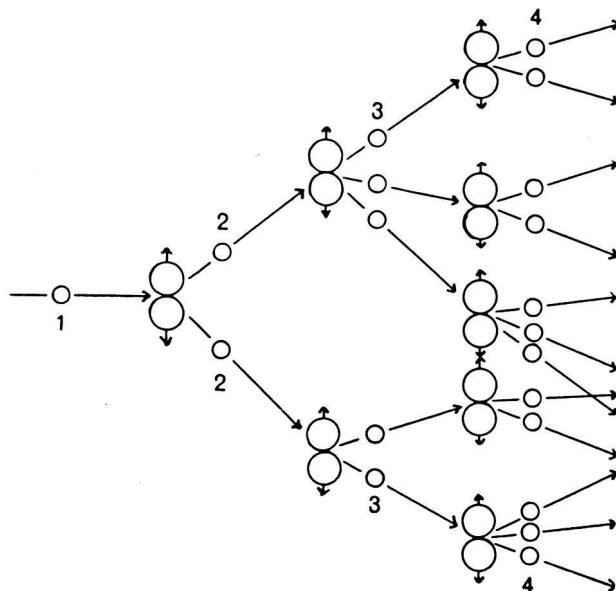


Abb. 1

Lawinenartiges Anschwellen der Kettenreaktion, schematisch.

○ Neutronen, ○ Bruchstücke des gespaltenen Urankerns.
1, 2, 3, 4 etc.: Aufeinanderfolgende Neutronen-Generationen
1 = Primäres Neutron, 2 = Sekundärneutronen etc.

dann, da sie beide positiv geladen sind, mit ungeheurer Kraft abstoßen und auseinander fliegen. Die Bruchstücke sind radioaktiv und wandeln sich in mehreren Stufen in stabile Elemente um. Von besonderer Wichtigkeit ist, dass bei der Spaltung des Urankerns zugleich 2–3 neue Neutronen hoher Energie entstehen. Damit ist nun die Möglichkeit einer sogenannten Kettenreaktion gegeben (siehe Abb. 1). Die neuen Neutronen können ihrerseits in andere Urankerne eindringen und diese zur Spaltung bringen, so dass die Reaktion lawinenartig anschwellen kann.

Eine solche Kettenreaktion sollte sich daher, einmal eingeschaltet, von selbst fortpflanzen. Die Energie der Spaltprodukte wandelt sich dabei in Wärme um, die nutzbar gemacht werden kann. Es ist zum vornherein klar, dass der verwendete Uranblock genügend gross sein muss, damit die Neutronen, die einige Zentimeter in der Materie zurücklegen können, ohne mit einem Kern zusammenzustossen, Gelegenheit haben, eine Spaltung zu bewirken, bevor sie aus dem Uranblock hinausfliegen.

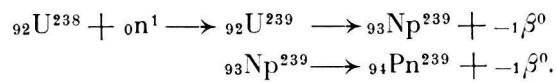
Die ersten Versuche zeigten jedoch, dass ohne besondere Vorkehrungen auch mit grossen Uranmengen keine Kettenreaktion möglich ist. Dies kann durch das Verhalten der verschiedenen Uranisotope erklärt werden.

Isotope des Urans.

Das natürliche Uran besteht aus 3 Isotopen: 99,3 % ^{238}U , 0,7 % ^{235}U und 0,006 % ^{234}U . Das

letztere verhält sich ähnlich wie ^{235}U und wird im folgenden nicht berücksichtigt.

Die Spaltung ist nun beim häufigeren Isotop ^{238}U nur mit sehr schnellen Neutronen möglich, bei ^{235}U dagegen mit Neutronen aller Geschwindigkeiten, wobei langsame Neutronen, mit Geschwindigkeiten um 1 km/sec, weitaus am wirksamsten sind. Der überwiegende Teil aller beobachteten Spaltungen entsteht durch langsame Neutronen in ^{235}U . ^{238}U reagiert mit mittelschnellen und langsamen Neutronen ganz anders: Es verschluckt sie einfach, so dass ein neuer Kern ^{239}Np gebildet wird. Dies geschieht mit grösster Wahrscheinlichkeit bei einer Neutronengeschwindigkeit von ca. 70 km/sec. Schnellere oder langsamere Neutronen werden nur selten auf diese Weise eingefangen. ^{239}Np zerfällt mit einer Halbwertszeit von 23 min in ein neues Element, Neptunium, dieses mit 2,3 d Halbwertszeit in Plutonium:



Das Transuran ${}_{94}\text{Pu}^{239}$, das in der Natur nicht vorkommt, ist instabil und zerfällt unter Aussendung eines ${}_{2}\text{He}^4$ -Kerns in ${}_{92}\text{U}^{235}$. Die Halbwertszeit ist jedoch so gross, 50 Jahre, dass der Kern praktisch als stabil angesehen werden kann. Seine Eigenschaften sind ganz ähnlich wie diejenigen von ^{235}U , insbesondere lässt er sich ebenfalls durch langsame Neutronen spalten.

Das Scheitern der ersten Versuche lässt sich nun verstehen: Die bei einer Spaltung entstandenen schnellen Neutronen werden durch Zusammenstöße gebremst, bevor sie eine Spaltung in ^{238}U bewirken können. Zur Fortsetzung der Kettenreaktion kommt daher nur noch die Spaltung des viel selteneren ^{235}U in Frage, wozu sie aber zuerst weiter gebremst werden müssen; denn dort sind langsame Neutronen am wirksamsten. Während der Bremsung, die in kleinen Schritten vor sich geht, durchlaufen die Neutronen immer einmal das Gebiet der Geschwindigkeiten um 70 km/sec, wo sie mit grosser Wahrscheinlichkeit von ^{238}U eingefangen werden, so dass die Kettenreaktion abbricht.

III. Uranmaschine.

Moderator.

Man glaubte aus dem oben erwähnten Grunde, dass eine Atommashine nur mit reinem oder angereichertem ^{235}U möglich wäre. Tatsächlich lässt sich jedoch die Schwierigkeit durch einen einfachen Kunstgriff umgehen:

Es muss dafür gesorgt werden, dass die Neutronen dann, wenn sie eine Geschwindigkeit von ca. 70 km/sec haben, nicht vom ^{238}U eingefangen werden können. Dazu genügt es, die Neutronen nicht im Uran selbst, sondern in seiner Umgebung, im sogenannten «Moderator», zu verlangsamen. Als Bremsmaterial kann irgend ein Element verwendet werden, das wenig Neutronen absorbiert.

Leichte Kerne sind natürlich vorteilhaft, weil ihnen die Neutronen beim Zusammenstoss eine besonders grosse Energie abgeben können. Von den derart möglichen Isotopen: ${}_1^1H^2$ (${}_1^1H^1$ absorbiert die Neutronen stark), ${}_2^4He^4$, ${}_4^9Be^9$, ${}_6^{12}C^{12}$ und ${}_8^{16}O^{16}$ wurde aus praktischen Gründen Graphit gewählt.

Man hat sich die Maschine etwa so vorzustellen: In einem Graphitblock sind in regelmässigen Abständen Uranstäbe eingelagert. Sie sind zum Schutze vor Korrosion in Hüllen verpackt, die vermutlich zur Hauptsache aus Aluminium bestehen. Diese werden direkt vom Kühlmittel (Wasser, auch Gase) bespült. Die günstigste Anordnung der Stäbe, vor allem aber die Herstellung der Hüllen, bilden einen Teil des «Geheimnisses». Die minimale Grösse des Blockes dürfte einige Kubikmeter betragen, bei etwa ähnlichem Gewicht an Uran und Graphit.

Wirkungsweise.

Damit die Kettenreaktion nicht abbricht, müssen die bei der Spaltung entstehenden 2—3 Sekundärneutronen im Mittel mindestens *eine* neue Spaltung bewirken. Ist die Zahl k der im Mittel ausgelösten neuen Spaltungen kleiner als 1, so klingt die Kettenreaktion ab, ist sie grösser als 1, so schwollt sie an. Was kann nun mit den Sekundärneutronen passieren? Im günstigsten Falle treten sie aus dem Uranstab in den Moderator aus, werden dort durch Zusammenstöße verlangsamt bis zu sehr kleinen Geschwindigkeiten und geraten schliesslich durch Zufall wieder in den Uranstab. Dort werden sie häufig auf U^{238} gestossen, das sie jedoch meistens einfach reflektiert, da die Einfangwahrscheinlichkeit nur bei grösseren Geschwindigkeiten, um 70 km/sec, gross ist. Wenn sie aber, im Mittel nach etwa 200 Zusammenstössen, schliesslich auf ein U^{235} gestossen, bewirken sie eine Spaltung und somit die Fortsetzung der Kettenreaktion.

Im Gegensatz zu diesem günstigen Falle können Neutronen auf mannigfache Weise für die Kettenreaktionen verloren gehen:

1. Unreinigkeiten im Graphit oder im Uran können die Neutronen einfangen. Es mussten daher ausserordentliche Verfahren zur Reinigung dieser Stoffe entwickelt werden («Geheimnis»). So darf z. B. in 1 kg höchstens 1 Milligramm Bor enthalten sein!

2. Ein Neutron kann wieder in einen Uranstab gelangen, bevor es genügend abgebremst ist, durchläuft im Uran die kritische Geschwindigkeit von 70 km/sec, wird daher von U^{238} eingefangen und gibt zur Bildung von Plutonium Anlass.

3. Die Neutronen können durch die Oberfläche des Blockes entweichen.

Es zeigt sich nun, dass bei genügender Reinheit der Substanzen (Punkt 1) und günstiger geometrischer Anordnung (Punkt 2) die Kettenreaktion von selbst zu laufen beginnt, wenn nur

der Block eine genügende Grösse hat (Punkt 3). Die Einleitung erfolgt dabei durch die mit der Höhenstrahlung dauernd aus dem Weltall auf die Erde eindringenden Neutronen. Das lawinenartige Anschwellen der Kettenreaktion muss natürlich bei der gewünschten Stärke gebremst werden, da sonst die Maschine zerstört würde. Dies geschieht durch Stäbe aus Cadmium- oder Borstahl, welche in besondere Kontrollkanäle im Graphitblock eingetaucht werden können und die Neutronen stark absorbieren. Ein durch einen Neutronenzähler gesteuerter Servomotor reguliert die Eintauchtiefe der Stäbe automatisch auf die gewünschte Neutronenintensität. Die Steuerung wird dadurch ausserordentlich erleichtert, dass rund 1 % der beim Zerfall entstehenden Sekundärneutronen nicht momentan, sondern mit Verzögerungen bis zu etwa 1 min ausgesendet werden. Der Mechanismus dieses Prozesses ist noch unklar. Die Intensität kann sich wegen der verzögerten Neutronen nur allmähhlich verändern, da die für das Anschwellen der Kettenreaktion charakteristische Zahl k (siehe oben) nur knapp grösser als 1 ist. Die mechanische Regulierapparatur reagiert daher rasch genug. Es wird angegeben, dass bei einer bestimmten Maschine nach einer Verrückung eines Regulierstabes um 1 cm aus der Normallage die Energieproduktion erst nach 4 Stunden auf das Doppelte gestiegen war!

Energieproduktion.

Durch die grosse Energie der Spaltprodukte — 25'000'000 kWh für 1 kg gespaltenes U^{235} — werden die Uranstäbe aufgeheizt. Ihre Wärme wird durch das Kühlmittel abgeleitet und kann zu Heizzwecken oder zur Erzeugung mechanischer oder elektrischer Energie verwendet werden. Für 1 kWh elektrischer Energie muss heute etwa mit einem Uranpreis von 1 Rappen gerechnet werden, während wir das Wasser geschenkt bekommen! Für Heizzwecke ermässigt sich der Preis auf etwa $\frac{1}{4}$, da hier der schlechte Wirkungsgrad der Wärmekraftmaschine wegfällt. Ausgeschlossen erscheint uns gegenwärtig die Verwendung zur Fortbewegung von Fahrzeugen, erstens wegen der Grösse der Maschine, zweitens wegen der starken Neutronenstrahlung, die sie aussendet und welche für die Insassen sehr gefährlich wäre. Die Schädigungen sind ähnlich wie diejenigen durch Röntgenstrahlen.

Amerikanische Anlagen.

Die erste Uranmaschine wurde schon am 2. Dezember 1942 in Chicago in Betrieb genommen, anfänglich mit einer Energieproduktion von $\frac{1}{2}$ Watt, welche später auf 200 Watt gesteigert wurde. Nach dem Bau von zwei weiteren Versuchsmaschinen von 1000—2000 kW in Chicago und Clinton (Tennessee) wurde gleich die Hauptanlage von 3 Maschinen in Pasco-Hanford (Washington) errichtet. Ihre Gesamtleistung beträgt über 600'000 kW (die Hälfte aller schweizerischen Kraftwerke!). Die erste der drei Maschinen ist seit September 1944

in Betrieb, die ganze Anlage seit Frühling 1945. Die erzeugte Energie wird freilich einfach in den Columbiafluss abgeleitet, da die Maschinen nur zur Erzeugung des Plutoniums aus U^{238} dienen, welches in der Atombombe verwendet wird.

IV. Uranbombe.

Wegen des langsamen Anschwellens der Kettenreaktion in der beschriebenen Uranmaschine ist sie nicht zur Verwendung als Sprengkörper geeignet. Zur Beschleunigung des Vorganges muss der Verlust der Neutronen im U^{238} herabgesetzt werden. Zwei Möglichkeiten stehen offen: 1. Trennung des U^{235} vom U^{238} ; 2. Verwendung von Plutonium statt U^{235} als Explosivstoff. Beide Wege wurden mit Erfolg beschritten.

Isotopen-trennung.

Die Trennung zweier Isotope, wie U^{235} und U^{238} , kann nicht mit chemischen Methoden durchgeführt werden, da sie ja chemisch genau gleich reagieren. Dagegen sind mindestens zehn verschiedene physikalische Methoden der Isotopen-trennung bekannt, von denen diejenigen besprochen werden sollen, welche zur Herstellung der Bomben benutzt worden sind.

a) Diffusion. Ein Gefäß wird durch eine poröse Wand unterteilt. Die eine Hälfte enthält ein Gemisch von zwei Gasen verschiedener Masse, die andere Hälfte ist evakuiert. Dann diffundiert das leichtere Gas rascher durch die poröse Wand als das schwerere, so dass man im ursprünglich leeren Teil eine Anreicherung des leichteren Gases erhält. Die einzige brauchbare gasförmige Uranverbindung ist UF_6 , welches bei $56^\circ C$ siedet. Die ganze Apparatur muss daher mindestens auf diese Temperatur erhitzt werden, wenn bei Atmosphärendruck gearbeitet werden soll. Der relative Massenunterschied der beiden Isotopenverbindungen (349 und 352) ist so klein, dass die Anreicherung sehr gering ist. Es müssen daher Tausende von solchen Stufen hintereinander geschaltet werden, um eine genügende Reinheit des U^{235} zu erzielen. Dazu gehören Hektaren von Trennwänden, deren Herstellung grosse Schwierigkeiten bereitet («Geheimnis!»), ebenso Tausende von Pumpen, die das Gas aus einer Stufe in die nächste hineinfördern und dabei komprimieren.

b) Thermodiffusion. Wenn sich ein Gasgemisch zwischen einer kalten und einer warmen Wand befindet, so reichert sich unter gewissen Bedingungen, die von der Beschaffenheit der Moleküle abhängen, das leichtere Gas an der warmen Wand an. Zugleich steigt es dort empor, so dass sich schliesslich am oberen Ende des Gefässes eine grössere Konzentration des leichteren Gases einstellt. Dieses Verfahren wurde von Clusius und Dickel in München erstmals angewendet. Für eine genügende Anreicherung müssen wiederum viele solcher sogenannter Trennröhre hintereinander geschaltet werden. Die amerikanischen Physiker

haben es nun fertiggebracht, eine ähnliche Trennung in Flüssigkeiten durchzuführen, wo natürlich wegen der grösseren Dichte eine bessere Ausbeute erwartet werden kann. Die Einzelheiten der Methode sind uns völlig unbekannt.

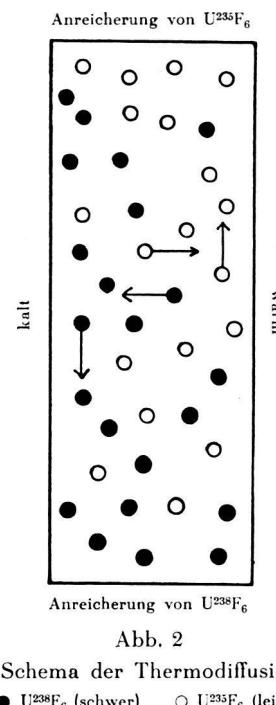


Abb. 2
Schema der Thermodiffusion
● $U^{238}F_6$ (schwer) ○ $U^{235}F_6$ (leicht)

c) Elektromagnetische Trennung. Das Prinzip der Trennung von Atomen verschiedener Massen im Magneten ist schon lange im Massenspektrographen angewendet worden, im allgemeinen jedoch nur zur Bestimmung der Massen, nicht aber zur Gewinnung grösserer Mengen von getrennten Isotopen. Die Wirkungsweise ist anhand der Abb. 3 leicht verständlich:

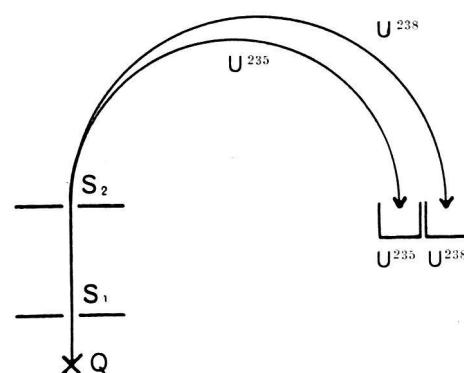


Abb. 3
Schema der elektromagnetischen Isotopen-trennung

In der Ionenquelle Q wird der Dampf eines Uransalzes ionisiert, z. B. mittels einer Bogenentladung; d. h. aus der Elektronenhülle des Atoms wird ein Elektron herausgeschlagen, so dass der Rest, Ion genannt, einfach positiv geladen ist. Ein Teil dieser Ionen fliegt durch den Schlitz S₁. Zwischen S₁ und S₂ werden sie durch ein elektrisches Feld beschleunigt, so dass sie praktisch

die gleiche Energie erhalten. Das homogene Magnetfeld, senkrecht zur Zeichenebene, lenkt die Teilchen ab, und zwar so, dass sie Kreisbahnen beschreiben. Ihre Radien sind natürlich um so kleiner, je kleiner die Masse der Ionen ist, da sich leichte Teilchen besser ablenken lassen. In zwei Bechern können die beiden Ionensorten getrennt aufgefangen werden. Die Anreicherung bei dieser Methode ist sehr gut, dafür liefert sie aber im allgemeinen nur kleine Mengen. Früher sind nur Bruchteile von Milligrammen auf diese Weise hergestellt worden. Für die benötigte Produktion mussten vermutlich Hunderte von Apparaten der skizzierten Art gebaut werden.

Produktion von U²³⁵.

Alle beschriebenen Methoden wurden zur Herstellung von reinem U²³⁵ verwendet. Die Anlagen befinden sich in der Nähe von Knoxville (Tennessee). Im Winter 1944/1945 wurde die Trennung in zwei Stufen durchgeführt: Zuerst wurde durch Thermodiffusion in Flüssigkeiten eine gewisse Anreicherung (vielleicht bis 10 %?) erzielt, während die vollständige Trennung elektromagnetisch erfolgte. Etwa seit Frühling oder Sommer 1945 ist die Thermodiffusion durch die Gasdiffusion ersetzt worden, möglicherweise, weil diese schneller oder betriebssicherer arbeitet. Es scheint, dass jetzt der grössere Teil der Trennung mittels Gasdiffusion durchgeführt wird.

Produktion von Plutonium.

In den beschriebenen grossen Uranmaschinen von Pasco-Hanford wird aus U²³⁸ Plutonium erzeugt. Die Uranstäbe werden periodisch herausgenommen, die radioaktiven Spaltprodukte entfernt und das Plutonium chemisch vom Uran getrennt. Dies ist hier möglich, da Plutonium ein neues Element, nicht ein Isotop des Urans ist. Die Gesamtproduktion an U²³⁵ und Pn²³⁹ dürfte im Sommer 1945 von der Grössenordnung einiger Kilogramm im Tag gewesen sein.

Uranbombe.

Über die Bombe selbst wissen wir natürliche gemäss nicht sehr viel. Sie wurde im Laboratorium von Los Alamos, 20 km von Santa Fé (Neu-Mexiko), unter der Leitung von J. R. Oppenheimer entwickelt. In grossen Zügen kann man sich folgendes vorstellen: Die eigentliche «Ladung» besteht aus vielleicht 20–50 kg U²³⁵ + Pn²³⁹ in zwei oder mehreren getrennten Körpern. Diese Einzelteile sind nicht gross genug, um eine Kettenreaktion aufrechtzuerhalten, da zu viele Neutronen durch ihre Oberfläche hinausdiffundieren. Um sie zur Explosion zu bringen, werden sie im gewollten Augenblick ineinander geschossen. Der entstehende Block ist dann über der kritischen Grösse, so dass er augenblicklich explodiert. Die Einleitung der Kettenreaktion erfolgt dabei entweder durch die Neutronen der Höhenstrahlung

oder durch eine zusätzliche künstliche Neutronenquelle. Bei der Explosion muss verhindert werden, dass die Ladung schon nach geringer Erhitzung, wenn erst ein kleiner Teil des U²³⁵ + Pn gespalten ist, auseinanderfliegt, da ja dann die Kettenreaktion sofort abbrechen würde. Dies geschieht dadurch, dass die Bombe von einem schweren Mantel, vermutlich einigen Tonnen Blei, umgeben ist, welcher infolge seiner Trägheit nicht sofort davonfliegt, sondern die Ladung noch einige Millionstessekunden zusammenhält, so dass die Kettenreaktion weiter fortschreiten kann.

Die Energieproduktion bei der vollständigen Spaltung von 1 kg U²³⁵ entspricht derjenigen von 20'000 Tonnen TNT. Auch wenn nur wenige Prozent der Ladung explodieren, entsteht im Innern der Bombe eine ungeheure Hitze, welche eine entsprechende Druckwelle in der Luft bewirkt. Die radioaktiven Zerfallsprodukte der Bombe sollen durch die Heissluftströmung in die Höhe gewirbelt und unschädlich verteilt werden. Über die Wirkungen der Bombe ist in den Tageszeitungen berichtet worden.

V. Zusammenfassung.

Uranmaschine.

Es ist gelungen, eine Atommaschine zu konstruieren, in welcher eine Kettenreaktion in natürlichem Uran aufrechterhalten wird und welche grossen Energiemengen liefern kann. Die Hauptschwierigkeiten liegen, soweit sie überblickbar sind,

1. in der Beschaffung des Materials (grössere Uranvorkommen sind nur im Coloradogebiet, in der Gegend des Grossen Bärensees, im Joachimstal [Tschechoslowakei] und im Belgischen Kongo bekannt),
2. in der Herstellung von reinstem Uranmetall und Graphit in grossem Maßstabe,
3. in der Herstellung der Uranbehälter.

Die Atommaschine ist zurzeit noch kein gefährlicher Konkurrent der Wasserkraftwerke, soweit die Erzeugung von Elektrizität in Frage kommt, wohl aber auf dem Gebiet der Wärmeerzeugung.

Uranbombe.

Neben verschiedenen schwierigen Detailfragen ist die Beschaffung der Sprengladung das Hauptproblem. Als solche kann reines U²³⁵ oder Pn dienen. Drei verschiedene Wege der Isotopen-trennung sind technisch durchgeführt worden. Am einfachsten ist aber vermutlich die Gewinnung von Pn mit Hilfe der Atommaschine.

Wer die Uranmaschine hat, besitzt daher auch die Uranbombe.

Das Zögern der Amerikaner bei der Bekanntgabe der Geheimnisse der Maschine ist aus diesem Grunde verständlich.

Weiterentwicklung.

Abgesehen von der rein konstruktiven Weiterentwicklung der geschilderten Maschine und der Bombe ist es natürlich auch möglich, dass durch kernphysikalische Forschung andere geeignete Prozesse und Substanzen entdeckt werden. Spaltungen wie bei Uran sind auch bei den andern

schwersten Kernen festgestellt worden; diese bieten jedoch keine Vorteile gegenüber Uran. Bei den leichten und mittelschweren Kernen ist bisher keine Möglichkeit der Ausnutzung der Atomenergie gefunden worden; es ist jedoch nicht anzunehmen, dass die Forschung hier an ein Ende gelangt ist.

(Le compte rendu français de cet article paraîtra dans la prochain numéro.)

Luftangriffe und ihre Wirkungen auf einige Städte von Süddeutschland

Von Oberstlt. M. Koenig, Chef a. i. der A + L.

1. Einleitung.

Im Juni 1945 führte der Verfasser dieses Artikels als Leiter einer Mission von Fachleuten im Auftrag des EMD eine Studienreise nach Süddeutschland aus. Die Fahrt bezweckte vor allem, in einigen Städten Erhebungen anzustellen, einerseits über die Art der Luftangriffe und der Angriffsmittel, andererseits über die erzielte Wirkung der Bombardierungen. Ferner sollten die getroffenen Schutzmassnahmen auf ihre Zweckmässigkeit hin geprüft werden.

Das Ergebnis war sehr ergiebig, indem in allen Städten Fachleute über alle gestellten Fragen zum Teil einlässlich Auskunft erteilen und bei den anschliessenden Besichtigungen von Anlagen oder Schadenstellen, sowie durch Vorlegen von Aktenmaterial, ihre Aussagen belegen konnten.

Die Ausreise erfolgte bei St. Margrethen und führte nach Lindau zum Hauptquartier der Ersten französischen Armee, wo die Mission offiziell empfangen wurde. Nach einer Besichtigung von Friedrichshafen ging die Reise über Stuttgart und Pforzheim nach Karlsruhe. Von da führte sie dem Rhein und der Siegfriedlinie entlang über Freiburg i. B. nach Basel zurück.

Die folgenden Ausführungen enthalten einige der wichtigsten Ergebnisse aus den Besichtigungen der vorgenannten Städte.

2. Friedrichshafen.

Die Angriffe auf diese Stadt galten vor allem der Vernichtung der dortigen Industriewerke. Es erfolgten unter anderem namentlich zwei schwere Angriffe. Der erste vom 28. 4. 44 traf vor allem die Stadt selbst, deren Kern fast gänzlich zerstört wurde. Die Außenquartiere wurden insbesondere längs der Hauptdurchgangsstrassen schwer mitgenommen. Die Menschenverluste dagegen waren gering. Sie sollen nur etwa 80 Tote betragen haben. Der zweite Grossangriff vom 20. 7. 44 richtete sich auf die Rüstungswerke und hatte deren vollständige Zerstörung zur Folge. Es wurden hierbei durch Sprengbomben ca. 200 Personen getötet und 350 verletzt. Die verwendeten Bomben sollen neben Brandbomben Sprengbomben von 50

und 100 kg gewesen sein. Der von einem alliierten Offizier behauptete Abwurf von Minen konnte nicht nachgewiesen werden. Nach Angaben des Polizeikommandanten sollen Verschüttete, die nicht geborgen werden konnten, selten gewesen sein. Die Zahl der Menschen, welche bei Bränden oder infolge deren Auswirkungen umgekommen sind, wurde ebenfalls als gering bezeichnet. Dem Kommandanten waren keine solchen Fälle bekannt. Obschon im Stadtzentrum ausgedehnte Brände entstanden sind, wurden dennoch nirgends in Schutzräumen verkohlte Leichen gefunden. Die Trümmerbildung vor den Kellerfenstern sei sofort nach den Angriffen gering gewesen, so dass die Rettung der Insassen aus Schutzräumen meistens rechtzeitig möglich war. Heute erscheinen die Trümmerhaufen dagegen gross. Dies röhrt davon her, dass vor stehengebliebenen Häusern absichtlich Trümmergeschütt aufgestapelt wurde, um die Keller gegen die Seitenwirkung von Brisanzbomben zu schützen. Die Wasserleitungen und Hydrantenanlagen wurden bei beiden Angriffen derart getroffen, dass die Stadt jeweils längere Zeit ohne genügende Wasserversorgung blieb.

Das Verhalten der Hausfeuerwehrleute wurde scharf kritisiert. Bei den ersten Luftangriffen soll ihr Einsatz gut gewesen sein. Später flüchteten indessen die Einwohner bei Fliegeralarm in die Wälder, aus Angst, die Schutzräume seien ungenügend. Die Folge davon war, dass die Häuser ohne Hausfeuerwehren blieben, was zu den relativ grossen Brandschäden führte.

Zusammenfassend ist zu bemerken, dass, wenn Friedrichshafen auch mit zahlreichen Brisanz- und Brandbomben angegriffen wurde, es sich immerhin um verhältnismässig leichte Kaliber handelte. Wegen der niedrigen und lockeren Bebauung konnten Flächenbrände nicht oder nur in beschränktem Umfange entstehen. Die Trümmerbildung war aus baulichen Gründen ebenfalls gering. Infolge der relativ kleinen Brisanzbomben wurden Schutzräume nur in seltenen Fällen in Mitleidenschaft gezogen. Es waren somit alle Voraussetzungen gegeben, dass die Schutzräume einerseits ziemlich guten Schutz während der Angriffe boten und andererseits bei Brandgefahr rechtzeitig geräumt werden konnten. In Fried-