

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 127/128 (1946)
Heft: 10

Artikel: Die physikalischen Grundlagen der Atomenergie-Anlage
Autor: Dubs, Werner R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-83899>

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: 16.01.2026

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

Die physikalischen Grundlagen der Atomenergie-Anlage

Von Dr. sc. techn. WERNER R. DUBS, Dipl. Masch.-Ing. E. T. H., Mem. Am. Phys. Soc., Escher Wyss A.-G., Zürich

(Schluss von Seite 111)

Von grösstem Interesse für eine zukünftige Energiewirtschaft sind die bei diesem Prozess anfallenden riesigen Wärmemengen. Die hauptsächlichsten Ergebnisse der amerikanischen Forschungen zur Entwicklung der Atomenergieanlage und der Atomombe sind in dem bereits erwähnten Bericht von H. D. Smyth enthalten.

Wie oben ausgeführt, werden die vom Uran-235 ausgesandten energiereichen Neutronen in der Uranmasse verzögert und bei einer bestimmten Geschwindigkeit von den Kernen des Urans-238 abgefangen. Sie können daher nicht mehr mit den Kernen des Urans-235 in Reaktion treten. Beim amerikanischen Verfahren werden nun die bei der Spaltung des Urans-235 freiwerdenden schnellen Neutronen ausserhalb dem Uran, in einem sogenannten Moderator verlangsamt. Als Moderator kommt ein Element in Frage, dessen Atomkerne die Neutronen bremsen, ohne sie aber selbst zu absorbieren. Besonders geeignet sind hierfür ausser schwerem Wasser, die Elemente Helium, Beryllium, Kohlenstoff, Sauerstoff; d. h. Stoffe deren Atomgewicht durch vier teilbar ist.

Die zur Zeit ausgeführten Anlagen enthalten einen Moderator aus ganz reinem Graphit (so darf z. B. 1 kg Graphit höchstens $\frac{1}{1000}$ gr Bor enthalten), in dem in genau berechneter geometrischer Anordnung Uranstäbe (aus dem in der Natur vorkommenden Isotopengemisch) bestimmter Dimensionen eingelagert sind. Im Graphitmoderator, der die Uranstäbe umschliesst, stossen die von der Spaltung des Urans-235 herrührenden schnellen Neutronen mit den Kohlenstoffkernen des Graphits zusammen und verlieren dadurch den grössten Teil ihrer Geschwindigkeit. Erst

nachdem die Neutronen im Graphit den gefährlichen Geschwindigkeitsbereich (~ 70 km/s), in dem sie von den Atomen des Urans-238 weggeschnappt werden, durchlaufen haben und bereits sehr langsam geworden sind, fliegen sie wieder in den nächsten Uranstab hinein, um dort die wenigen Kerne des Urans-235 zu spalten (Bild 16). Die neu entstehenden schnellen Neutronen erfahren wiederum dasselbe Schicksal: sie werden ebenfalls im Graphitmoderator verlangsamt und gelangen mit der geeigneten Geschwindigkeit in einen weiteren Uranstab.

Bei diesem Prozess nimmt die Neutronenzahl rasch zu. Mit ihr wächst auch die Energieproduktion, die durch die Spaltung des Urans-235 entsteht. Schweres Wasser ist für die Neutronenverzögerung günstiger als Graphit. Die Abmessungen des Moderators werden kleiner und der Faktor der Neutronenvermehrung ist grösser.

Da die Atomenergie in Form einer enormen Wärmemenge anfällt, steigt die Temperatur der Uranstäbe sehr stark an. Könnte man die Reaktion nicht steuern, d. h. die Vergrösserung der Neutronenzahl nicht regulieren, so würden die Uranstäbe bald schmelzen (bei etwa 1700°C) und verdampfen, wodurch die Anlage zerstört würde.

Zur Steuerung des Ablaufes der Kettenreaktion dienen im Graphitmoderator angeordnete Hohlräume, in die Stäbe aus einer stark Bor-haltigen oder Cadmium-haltigen Legierung eingetaucht werden können (Bild 17). Das Element Bor absorbiert langsame und mittelschnelle Neutronen sehr stark; dabei zerfällt der Bor-kern in Lithium und Helium. Durch ein entsprechendes Eintauchen der Steuerstäbe aus Bohrstaht kann der Neutronenstrom auf einem konstanten Wert gehalten werden. Die Regulierung der Eintauchtiefe kann z. B. durch einen Neutronenzähler erfolgen, der über einen Verstärker einen Servomotor in Bewegung setzt. Eine andere Möglichkeit besteht in der Steuerung durch einen Thermostaten, der dafür sorgt, dass die Uranstäbe nicht zu heiss werden. Die Steuerung wird ausserordentlich erleichtert durch den Umstand, dass beim Spaltprozess auch noch Neutronen (rd. 1 %) entstehen, die erst mit grösserer zeitlicher Verzögerung (bis zu etwa 1 min) von den Spaltprodukten ausgesendet werden. Der für das Anschwellen der Kettenreaktion massgebende Multiplikationsfaktor k ist nur wenig grösser als 1. Infolge des verzögerten Ablaufes der Neutronenproduktion und des Umstandes, dass nur ein sehr geringer Neutronenüberschuss gesteuert werden muss, hat man genügend Zeit, wirksam in den Prozess einzugreifen. Eine kleine Verschiebung des Regulierstabes bewirkt nur eine sehr allmähliche Veränderung der Energieproduktion. Beim Aufbau eines Uran-Graphitblockes aus einzelnen Schichten findet man, dass die Kettenreaktion von selbst zündet, sobald der Block eine bestimmte kritische Grösse erreicht hat (Bild 18). Die Einleitung der Reaktion erfolgt dabei durch die mit der kosmischen Strahlung aus dem Weltraum einfallenden Neutronen.

Die Tatsache der Neutronenvermehrung bei der Spaltung des Urankerns U 235 genügt allein noch nicht, um den Ablauf der Kettenreaktion in der erwähnten Anordnung der Uranstäbe im Graphitmoderator sicherzustellen. Verschiedene Umstände

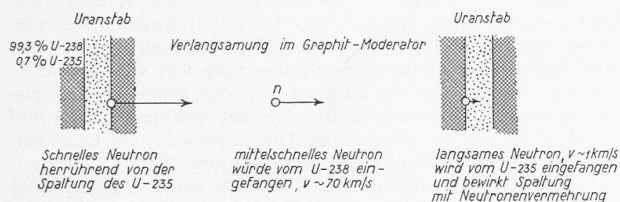


Bild 16. Das Prinzip des Moderators

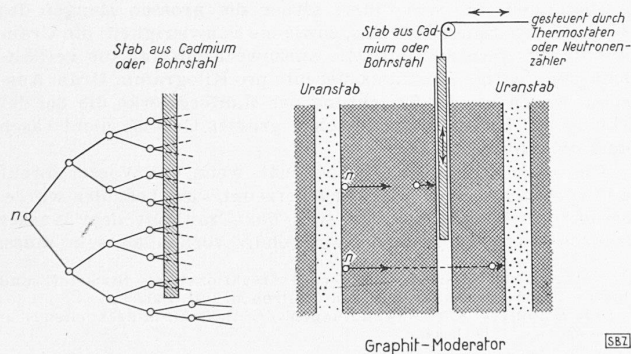


Bild 17. Die Steuerung der Neutronenstroms

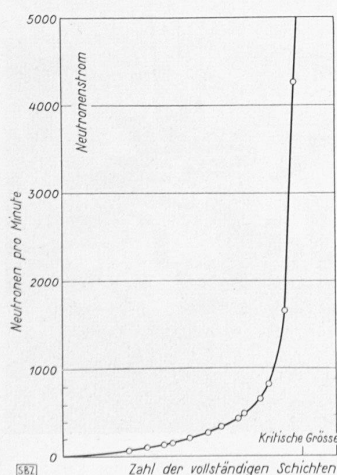


Bild 18. Die Zunahme des Neutronenstroms bei Vergrösserung der Zahl der Uran-Graphit-Schichten

(aus
H. D. Smith:
«Atomic Energy»)

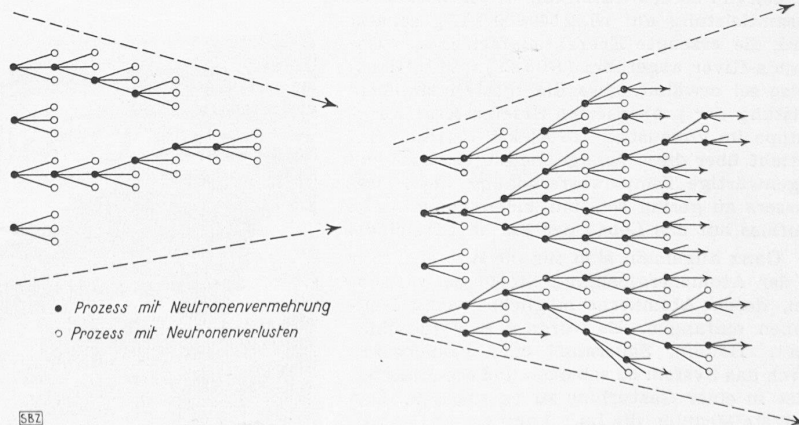


Bild 19. Die konvergente Kette
In beiden Bildern wurde angenommen, dass eine Spaltung mit der Aussendung von drei neuen Neutronen begleitet sei

Bild 20. Die divergente Kette

stehen dem Anwachsen des Neutronenstromes entgegen. Die Verluste an wirksamen Neutronen sind verschiedener Art. Eine Anzahl von Neutronen kann ohne Wirkung aus der Vorrichtung entweichen und sich in der Umgebung verlieren. Eine weitere Gruppe macht mit Unreinigkeiten im Graphit oder im Uran unerwünschte Kernprozesse durch, die keine neuen Neutronen liefern. Ein anderer Teil von Neutronen wird im Moderator nicht genügend verlangsamt und deshalb in der Folge von den Kernen des Urans-238 eingefangen, wobei die bekannte Umwandlung in Plutonium erfolgt.

Überwiegt nun die Zusammenwirkung der Prozesse, die zu Neutronenverlusten führen, so bricht die Kette bald ab, da nach einer geringen Zahl von Reaktionen jedes der Endneutronen einem Verlustprozess zum Opfer gefallen ist (konvergente Kette). Im Schema, Bild 19, folgen auf die vier Ausgangsprozesse nur acht neue Kernspaltungen bei einer Emission von total 36 Neutronen. Die pro Zeiteinheit frei werdende Energie ist in diesem Fall technisch nicht ausnützbare. Können dagegen die Neutronenverluste in der Anlage klein genug gehalten werden, so nehmen die Verzweigungen der Kette immer mehr zu (divergente Kette).

Die vier Ausgangsprozesse werden im Schema, Bild 20, durch eine grosse Zahl neuer Kernspaltungen gefolgt, die sich im Laufe der Zeit entwickeln; die freiwerdende Energie nimmt beträchtlich zu. Wenn z. B. auf ein Neutron, das eine Zertrümmerung verursacht, nur im Mittel 1,03 Neutronen der drei neuen Neutronen mit Sicherheit neue Kernzertrümmerungen hervorrufen, so wächst die Zahl der Zertrümmerungen nach einer geometrischen Progression mit dem Verhältnis 1,03 (gegenwärtiger Wert der Multiplikationskonstanten) an, d. h. es entsteht eine divergente Reihe die gegen Unendlich strebt.

Sehr beruhigend für den Maschineningenieur wirkt die Tatsache, dass die Atomenergie nur in Form von Wärme anfällt und die Physiker zur Zeit noch keinen Weg sehen, der direkt die Gewinnung elektrischer Energie gestatten würde. Die elektrische Energieform muss vielmehr über den bekannten Umweg der thermo-elektrischen Anlagen erzeugt werden. Durch die grosse Energie der Spaltprodukte werden die Uranstäbe aufgeheizt, man muss sie also kühlen. Zur Abführung der Wärme sind sie von einem Hohlraum umgeben durch den ein Wärmeträger zirkuliert (Bild 21).

Damit stellt die Atomenergie-Anlage im Grunde nichts anderes als eine besondere Art Kessel mit einer neuartigen Feuerung dar. Die zur Zeit im Betrieb stehenden Uranenergie-Anlagen arbeiten der Einfachheit halber mit Wasser als Kühlmedium. Es ist jedoch zu beachten, dass die in den U. S. A. während des Krieges errichteten Anlagen ausschliesslich zur Herstellung des Plutoniums aus Uran-238 dienten und die anfallende Wärme ein Abfallprodukt war. So wird in den Hanfordwerken in Pasco, Washington, deren thermische Gesamtleistung auf rd. 2500 000 kW geschätzt wird, die erzeugte Energie einfach in den Columbia-River abgeführt (Bild 23). Vergleichsweise sei erwähnt, dass die totale installierte Leistung der projektierten Urseren-Kraftwerkgruppe im Vol্লাusbau 725 000 kW beträgt. Im Bericht über diese Anlage heisst es, dass die gegenwärtige Temperaturerhöhung des Flusswassers zu gering sei, um einen nachteiligen Einfluss auf das Leben der Fische auszuüben.

Ganz allgemein sind für die Wärmeabfuhr in der Atomenergieanlage Stoffe zu verwenden, deren Atomkerne möglichst wenig Neutronen einfangen. Es wurde z. B. vorgeschlagen⁴⁾ Helium, Sauerstoff oder Kohlensäure durch das System zu schicken und die erhitzten Gase in einer Gasturbine zu entspannen. Das billigste Medium, die Luft, kann wegen der Ab-

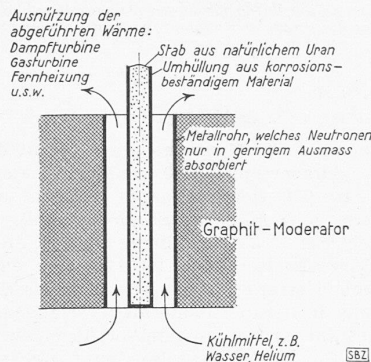


Bild 21. Die Gewinnung der Nutzenergie durch Kühlung der Uranstäbe

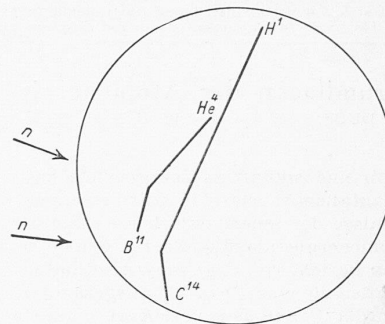
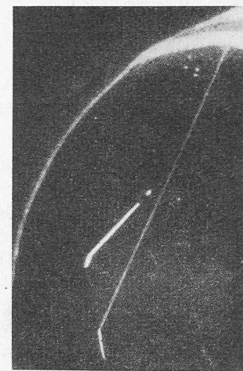
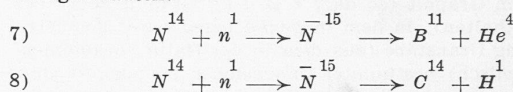


Bild 22. Umwandlung des Stickstoffs durch Neutronen. Das elektrisch ungeladene Neutron (n) erzeugt keine Bahnspur.

Aufnahme: J. Chadwick, Proc. Cambr. phil. Soc. Vol. 30 p. 357 (1934)



sorption der Neutronen durch den Stickstoff, nicht verwendet werden. Die Kernumwandlungen des Stickstoffs beim Beschuss mit Neutronen sind im Physikalischen Institut der E. T. H. unter Leitung von Prof. P. Scherrer eingehend untersucht worden^{5), 6)}. Es sind zwei Umwandlungen bekannt, deren Reaktionsgleichungen lauten:



Die zweite Reaktion tritt besonders leicht ein mit langsamen Neutronen (thermische Neutronen), deren kinetische Energie nur in der Grössenordnung der gaskinetischen Energien liegt. In Bild 22 sieht man den Vorgang der beiden Kernumwandlungen, wie er in Form der Nebelspuren in der Wilson'schen Kamera sichtbar wird. Die von den Umwandlungspunkten ausgehenden Bahnen bilden einen Winkel miteinander, da sie den Vorwärtsschub des eingefangenen Neutrons mit sich führen.

In den amerikanischen Studien für die beste Anlage zur Plutoniumherzeugung wurde das Problem der Kühlung mit Helium oder Wasser eingehend untersucht. Die Gründe für die Entscheidung zu Gunsten der Wasserkühlung (Hanford-Werk) sind mannigfacher Art. Als wesentlichste Nachteile der Heliumkühlung werden angegeben, die Gefahr einer Undichtheit bei einer Kühlung mit einem Gas unter hohem Druck, das radioaktive Verunreinigungen mit sich führt; ferner die grossen Mengen des erforderlichen reinen Heliums, sowie die Schwierigkeit, die Uranstäbe in der Kernreaktionszelle auszuwechseln und die verhältnismässig niedrige Leistungsausbeute pro Kilogramm Uran. Ausserdem waren bei der Errichtung der Hanfordwerke die bei der Kühlung mit Helium erforderlichen grossen Gebläse nicht rasch genug zu erhalten.

Die beste Kühlung würde erreicht, wenn das Wasser direkt die Uranstäbe, in denen die Wärme erzeugt wird, bespülen würde. Dies ist jedoch nicht möglich, weil das Uran mit dem Wasser chemisch reagiert und ferner ein Schutz vorhanden sein muss,

⁵⁾ P. Huber: Untersuchung der Kernreaktionen an Stickstoff und Schwefel unter der Einwirkung von Neutronen. 1941. Zürich.

⁶⁾ E. Baldinger: Kernumwandlungen von Stickstoff mit schnellen Neutronen. Zürich. 1939. Diss.

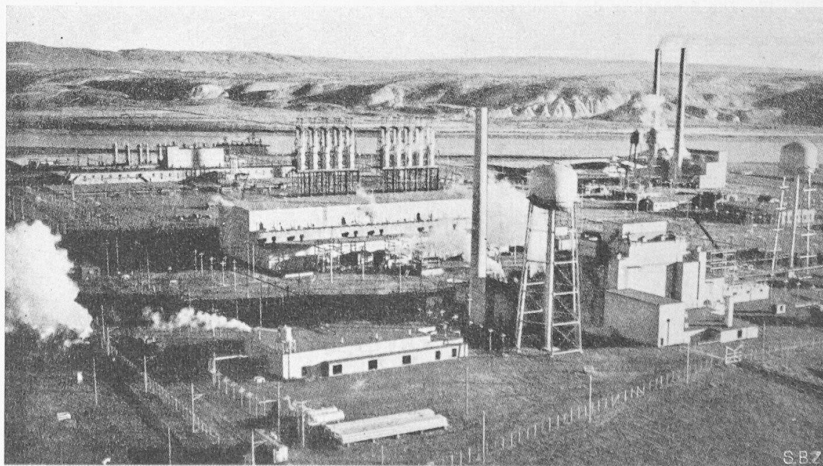


Bild 23. Hanfordwerke in Pasco, Washington

⁴⁾ P. Scherrer: «Atomenergie» NZZ vom 28. November 1945.

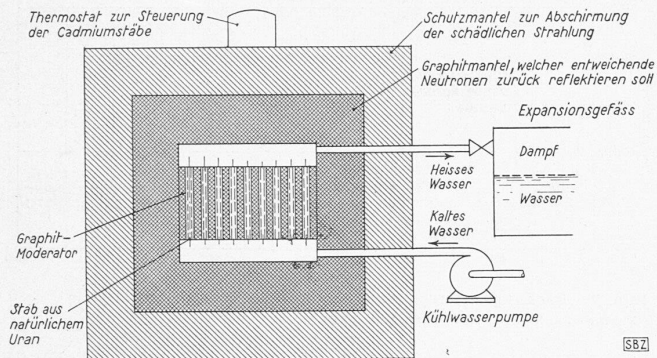


Bild 24. Vereinfachtes Schema des Aufbaues einer Atomenergieranlage für industrielle Zwecke

damit nicht eine gefährliche Menge von radioaktiven Stoffen in Lösung übergeht. Aus diesen Gründen muss das Uran von der direkten Berührung mit dem Wasser geschützt werden (Bild 21). Die Herstellung der Schutzhüllen ist zu einem der schwierigsten Probleme der Kernreaktionszelle geworden, und bildet denn auch einen Teil des Geheimnisses. An das Material der Schutzhüllen müssen u. a. folgende Anforderungen gestellt werden: Es muss das Uran vor dem Korrosionsangriff durch das Wasser schützen, die Spaltprodukte vom Wasser fernhalten, die Wärme gut leiten und nicht zu viele Neutronen einfangen. Vom Standpunkt der Kernphysik wäre ein dünner Mantel aus Aluminium zulässig und wurde zunächst als leichteste Lösung des Problems gewählt. Grosse Mühe bereitet in diesem Fall die Herstellung einer einheitlichen wärmeleitenden Verbindung zwischen dem Uranstab und dem Aluminiummantel, sowie der gegenüber dem Kühlmittel gasdichte Verschluss der Umhüllung, der wegen der Entwicklung radioaktiver Gase, z. B. Xenon, nötig ist. Das Wasser, welches das Kühlsystem verlässt, muss auf seine Radioaktivität untersucht werden. In den Hanford-Werken wird an Stelle einer Rückkühlung des Wassers stets mit neuem Frischwasser gearbeitet. Bevor das Wasser, das die Anlage verlässt, in den Columbia-River zurückfliesst, verbleibt es solange in einem Bassin, bis sich seine Radioaktivität auf einen ungefährlichen Restbetrag vermindert hat. Für die Kühlwasserversorgung wurden Pumpwerke, Filteranlagen und Wasseraufbereitungsanlagen eingerichtet. Im Bericht über die Hanfordwerke heisst es, dass die Aufwendungen für die Wasserversorgung vergleichbar sind mit denjenigen einer grösseren Stadt. Das ganze Kühlwassersystem muss sehr zuverlässig arbeiten. Für den Fall eines Ausbleibens der Wasserzufuhr wurden in der Hanford-Anlage rasch reagierende Kontrollorgane eingebaut, deren Aufgabe es ist, die Kettenreaktion sofort zu unterbrechen.

Einer Veröffentlichung des bekannten englischen Kernphysikers M. L. Oliphant⁷⁾ entnehmen wir den in Bild 24 dargestellten grundsätzlichen Aufbau einer Atomenergie-Anlage.

Der Graphitmoderator mit dem Rohrbündel, das die Uranstäbe enthält, ist in einem Gehäuse angeordnet, das unten und oben durch eine Wasserkammer abgeschlossen ist. Mit einer Pumpe wird Wasser unter hohem Druck durch das Kühlsystem gepresst. Aus der oberen Kammer tritt das heisse Wasser in ein Expansionsgefäß über, in dem der Druck erniedrigt wird und infolgedessen teilweise Dampf entsteht, der industriellen Zwecken zugeführt werden kann. Nach andern Projekten (Bild 25) wird der entstehende Nassdampf in einer zweiten Kernreaktionszelle (pile) überhitzt und in einer anschliessenden Dampfturbinegruppe ausgenutzt. Diese Unterteilung in zwei getrennte Zellen ist schon deshalb notwendig, weil wegen der unterschiedlichen Dichte die Neutronenabsorption in flüssigem Wasser und in Wasserdampf verschieden ist. Die Steuerstäbe bestehen im vorliegenden Fall aus Cadmium; ihre Eintauchtiefe wird durch einen Thermostaten reguliert. Nach aussen ist das Gehäuse von einem dicken Graphitmantel umgeben, der die entweichenden Neutronen zurückwerfen soll. Zur Isolierung von schädlichen Strahlungen legt man um das Ganze noch einen dicken Schutzmantel aus Beton.

Erfolgt die Kühlung der Uranstäbe mit einem geeigneten Gas, so kann die abgeführte Wärme in einer Gasturbine ausgenutzt werden. In Bild 26 ist die Anordnung der Kernreaktionszelle im offenen und geschlossenen Gasturbinenprozess dargestellt. Da im offenen Kreislauf die Luft nicht direkt durch die Kernreaktionszelle geleitet werden darf, muss ein zusätzlicher Wärmeaustauscher angeordnet werden. Besonders günstig liegen dagegen die Verhältnisse beim geschlossenen Kreislauf, der mit Helium⁸⁾ betrieben werden kann. Die in diesem Fall zu überwindenden Schwierigkeiten wurden bereits im Abschnitt über die Kühlung mit Helium angedeutet. Will man den geschlossenen Kreislauf mit atmosphärischer Luft betreiben, so ist ebenfalls ein Wärmeaustauscher nötig.

Es eröffnet sich hier ein interessantes Gebiet für eine enge Zusammenarbeit zwischen Physiker und Ingenieur zwecks Entwicklung der günstigsten Form der Atomenergie-Anlage.

Im Interesse der Vollständigkeit sei erwähnt, dass eine etwas abweichende Ausführungsform einer Atomenergie-Anlage in den Patenten von F. Joliot⁹⁾ festgehalten ist. Joliot arbeitet mit schwerem Wasser (D_2O) als Moderator. Das schwere Wasser, das mit zwei Hochdruckpumpen dauernd in Zirkulation gehalten wird, strömt durch ein System von kubischen Zellen, die mit Platten aus metallischem Uran belegt sind. Auf diese Weise dient das schwere Wasser gleichzeitig als Beförderungsmittel für die Abfuhr der bei der Uranspaltung erzeugten Wärme.

Aus den vorangehenden Ausführungen geht klar hervor, dass die Atomenergie-Anlage in ihrer heutigen Form nur als Grossanlage in Frage kommt. Als Ausblick für eine zukünftige Energiewirtschaft ergibt sich die Möglichkeit der Errichtung von thermischen Grosskraftwerken, die von der Kohle als Brennstoff unabhängig sind. Solche Grosskraftwerke sollten in erster Linie

⁷⁾ M. L. Oliphant: Power production by nuclear methods, The illustr. London News, oct. 1945.

⁸⁾ Vgl. SBZ Bd. 127, S. 51*.

⁹⁾ Schweizer-Patent Nr. 233 011.

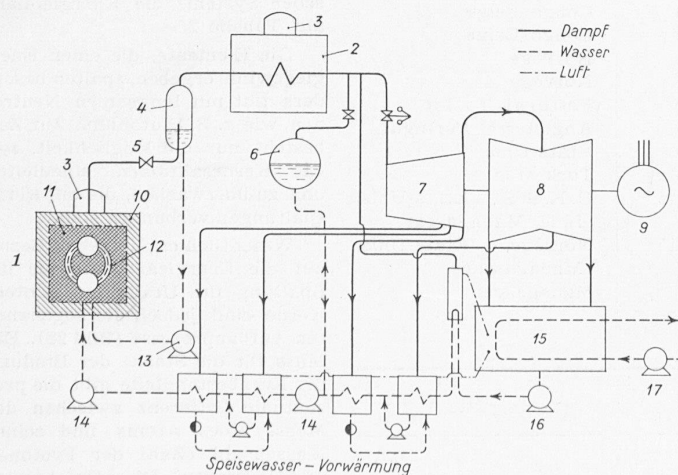


Bild 25. Schema eines Atom-Dampfkraftwerks — Legende: 1 Main Nuclear Pile, 2 Super-Heating Pile, 3 Thermostat zur Steuerung des Neutronenstromes, 4 Verdampfungsgefäß, 5 Druckreduzierventil, 6 Speisewasserbehälter, 7 HD.-Turbine, 8 ND.-Turbine, 9 Generator, 10 Schutzmantel, 11 Graphit-Moderator, 12 Rohrbündel mit Uranstäben, 13 Umwälzpumpe, 14 Speisepumpen, 15 Kondensator, 16 Kondensatpumpe, 17 Kühlwasserpumpe

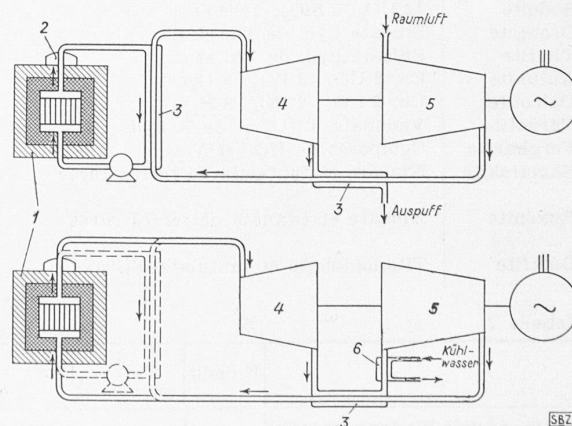


Bild 26. Anordnung der Kernreaktionszelle (Pile), oben im offenen, unten im geschlossenen Gasturbinenprozess.

- 1 Nuclear Pile,
2 Thermostat zur Steuerung des Neutronenstromes,
3 Wärmeaustauscher, 4 Turbine,
5 Kompressor, 6 Vorkühler

die Grundlast übernehmen, weil ihre Wärmekapazität

sehr gross ist und sie deshalb nicht rasch angefahren und abgestellt werden können. Die hydraulischen Kraftwerke würden alsdann zweckmässig für die Spitzendeckung eingesetzt und sind dementsprechend zu disponieren. Mit der in neuerer Zeit entwickelten Uebertragung mit

hochgespanntem Gleichstrom kann die gewonnene elektrische Energie dem Verbraucher über grosse Distanzen zugeführt werden. Es sind aber auch grosse Fernheizwerke denkbar, die ganze Städte mit Wärme versorgen und das Gespenst der kalten Stuben ein

für alle mal bannen. So erscheint die Gewinnung der Atomenergie als eine der wichtigsten technischen Aufgaben, deren Lösung der höchsten Anstrengungen wert ist.

In den beschriebenen Hanford-Atomenergiewerken werden zur Plutoniumgewinnung die Uranstäbe von Zeit zu Zeit herausgenommen, die radioaktiven Spaltprodukte entfernt und das Plutonium vom Uran getrennt. Diese Trennung ist unvergleichlich viel leichter als die der Uran-Isotopen, weil das Plutonium ein vom Uran verschiedenes chemisches Element ist.

Die schematische Darstellung in Bild 27 zeigt, wie die Gewinnung der Atomenergie für friedliche Zwecke eng verknüpft ist mit der Erzeugung des Plutoniums, dem gegenwärtigen Grundstoff der Atombombe. In der Uranenergieanlage nimmt das Plu-

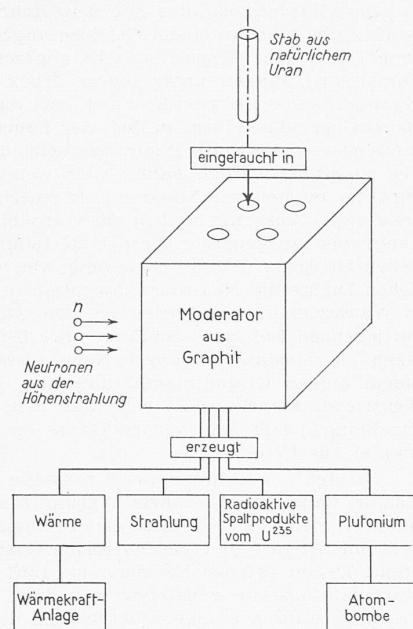


Bild 27. Die Erzeugung des Plutoniums aus natürlichem Uran

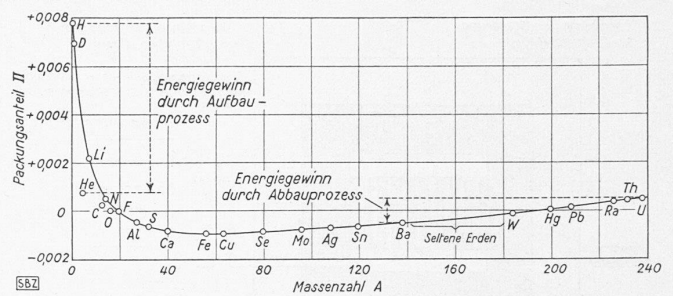


Bild 28. Packungsanteil in Abhängigkeit der Massenzahl (Atomgewicht von Sauerstoff 16,0000)

tonium ebenfalls an der Kettenreaktion teil, da sein Kern mit langsamen und mittelschnellen Neutronen spaltbar ist. Auf diese Weise wird das Uran-238 indirekt zur Energieerzeugung herangezogen. Bis zu welchem Ausmass es dabei abgebaut werden kann, ohne dass die Kettenreaktion in der Anlage zum Stillstand kommt, ist bis jetzt nicht mitgeteilt worden.

Ein schwieriges Problem stellt die Vernichtung oder Weiterverarbeitung der in der Uranenergie-Anlage anfallenden grossen Mengen stark radioaktiver Nebenprodukte dar. Wie bereits a. O. gezeigt wurde, liefert 1 kg Uran-235 bei der Spaltung praktisch die gleiche Gewichtsmenge kurzlebiger radioaktiver Elemente, darunter radioaktive Gase. Der Schutz der Lebewesen vor den gefährlichen Strahlungen verlangt die Vorkehrung besonderer Massnahmen, wie z. B. die Ueberwachung durch Fernsteuerung des ganzen Betriebes.

Seit der Entdeckung der Kettenreaktion des Urans hat überall ein lebhaftes Interesse für die Uranvorkommen eingesetzt. Die Zusammenstellung Tableau 1, die aus einer Arbeit von Mme. P. Curie¹⁰⁾ entnommen wurde, gibt eine Uebersicht über die Verteilung der wichtigsten Uranvorkommen auf der Erde. Sehr grosse Uranvorkommen befinden sich in den Haute-Katanga-Minen in Belgisch-Kongo. Der Carnotit (Utah, U. S. A.), ein Calcium-Vanadium-Uranerz, enthält bis zu 5 % V_2O_5 , weshalb er vor der Entwicklung der Atombombe zur Vanadiumgewinnung abgebaut wurde. Trotz der relativen Seltenheit des Uranminerals ist ein ausreichender Vorrat vorhanden, der an sich den Betrieb grosser Uran-Atomergieanlagen ermöglichen würde. Auch bei den Kernen der Elemente Thorium (Th) und Protactinium (Pa) wurde bei der

Bombardierung mit Neutronen hoher Geschwindigkeit die Kernspaltung beobachtet. Nach den Rechnungen von Niels Bohr und seinem Mitarbeiter J. A. Wheeler, die 1939 im «Institute for advanced study» in Princeton, New Jersey, durchgeführt wurden, ergibt sich bei der Reaktion von Neutronen mit den schweren Kernen der letzten Elemente des periodischen Systems die Energiebilanz auf Tabelle 2.

Die Elemente, die einen Energiegewinn ergeben, spalten besonders gut mit langsamen Neutronen, wie z. B. Plutonium. Zur Zeit besteht nur die Möglichkeit, solche Kernreaktionen einzuleiten und zu überwachen, die mit Kernspaltungen verbunden sind.

Wesentlich ergiebiger in Bezug auf die Energieausbeute als die Spaltung des Urans in leichtere Kerne sind jedoch die sogenannten Aufbauprozesse (Bild 28). Ein Mass für die Stärke der Bindung der Kernbestandteile gibt die prozentuale Differenz zwischen der Masse eines Atoms und seiner Massenzahl (Zahl der Protonen und Neutronen). Diese Grösse wird nach F. W. Aston als Packungsanteil bezeichnet. Die Kurve auf Bild 28 hat ein Minimum in der

Tableau 1. Répartition mondiale de l'Uranium

Nom	Composition	% d'U.	Lieux de production
Pechblende (Uraninite)	Oxydes d'Uranium et mélange complexe	30 à 80 %	Tchécoslovaquie, Angleterre, Etats-Unis, Congo Belge, Canada
Broggérîte	Oxydes d'Uranium et de Thorium	10 %	Norvège et Etats-Unis
Thorianites	Oxydes de Thorium et d'Uranium	10 %	Ceylon
Becquerelite	$UO_3 \cdot 2 H_2O$	72 %	Congo Belge
Curite	$2 PbO, 5 UO_3, 4 H_2O$	55 %	Congo Belge
Kasolite	$3 PbO, 3 UO_3, 3 SiO_2, 4 H_2O$	40 %	Congo Belge
Soddite	$12 UO_2, 5 SiO_2, 14 H_2O$	72 %	Congo Belge
Orangite	Silicate hyd. de Th. et U.	1 %	Norvège
Thorite	Silicate hyd. de Th. et U.	9 %	Norvège
Autunite	$Ca, 2 UO_4, 2 PO_4, 8 H_2O$	50 %	Portugal, Tonkin
Calcolite	$Cu, 2 UO_4, 2 PO_4, 8 H_2O$	50 %	Angleterre, Portugal
Carnotite	Vanadate d' UO_2 et de K hydr.	50 %	Etats-Unis
Ferghanite	Composés de UO_3 et V_2O_5	50 %	Turkestan
Samarskite	Niobate et tantalate de terres rares	3 à 15 %	U. R. S. S., Etats-Unis, Inde, Madagascar
Euxénite	Niobate et titanate de terres rares	3 à 15 %	Norvège, Etats-Unis, Madagascar
Bétafite	Titanoniobate et tantalate d'Uran	25 %	Madagascar

Tabelle 2.

	Einheit	Th ²³³ 90	Pa ²³² 91	U ²³⁴ 92	U ²³⁵ 92	U ²³⁸ 92	Np ²³⁹ 93	Pu ²³⁹ 94
Freiwerdende Bindungsenergie beim Einfangen eines Neutrons	MeV	5,2	5,4	5,4	6,4	5,2	5,4	6,4
Energieaufwand für die Kernspaltung	MeV	6,9	5,5	5,0	5,2	5,9	5,32	4,35
Energiegewinn	MeV	- 1,7	- 0,1	+ 0,4	+ 1,2	- 0,7	+ 0,08	+ 2,05

¹⁰⁾ Mme. P. Curie «Radioactivité», 1935 Paris, Hermann & Cie., Editeurs.

Gegend des Eisens. Bei der Bildung dieses Elementes und seiner Nachbarlemente aus Protonen und Neutronen wird der grösste Energiebetrag frei. Die Elemente mit mittlerem Atomgewicht sind aus diesem Grunde am stabilsten. Zwischen Fluor und Quecksilber ist der Packungsanteil negativ, was bedeutet, dass in diesem Intervall die Atomgewichte leicht unter dem ganzzahligen Massenwert liegen.

Der grösste Betrag der Bindungsenergie, der beim Abbau des Urans in Eisen frei würde, ist äquivalent 0,1% der beteiligten Massen, während er bei der Umwandlung von Wasserstoff in Eisen rund zehnmal grösser ist. Wie man sieht, wäre es bedeutend lohnender, die Elemente vom Wasserstoff aus aufzubauen, als das Uran abzubauen, wie es gegenwärtig gemacht wird.

Zum Abschluss möge die stürmische Entwicklung der Kernphysik noch durch einige historische Daten belegt werden.

1904 Entdeckung des α -Teilchens durch E. Rutherford.

1911 Modell des Kernatoms durch E. Rutherford.

1919 Erste Kernumwandlung durch E. Rutherford: Umwandlung von Stickstoff durch Bombardierung mit α -Teilchen in Sauerstoff und Wasserstoff.

1932 Erste Atomumwandlung mit künstlich beschleunigten Teilchen durch J. D. Cockcroft & E. T. S. Walton.

1932 Entdeckung des Deuterons durch H. C. Urey.

1932 Entdeckung des Neutrons durch J. Chadwick.

1932 Entdeckung des Positrons durch C. D. Anderson.

1934 Entdeckung der künstlichen Radioaktivität durch F. Joliot und P. Curie (Paris).

1934 Erste Arbeiten von E. Fermi (Rom) über die Bombardierung von Uran mit Neutronen; Entdeckung der Transurane.

1937 Erste Anwendung der Thermiodiffusion zur Isotopentrennung durch H. Clusius und G. Dickel (Deutschland).

1939 Entdeckung der Uranspaltung durch O. Hahn und F. Strassmann (Deutschland).

1942 2. Dezember: Die erste Atomenergieanlage der Welt wird in Chicago in Betrieb gesetzt und läuft seither über drei Jahre ununterbrochen. Anfängliche Energieproduktion 0,5 Watt; sie wurde am 12. Dez. 1942 auf 200 Watt erhöht.

1944 Inbetriebnahme der Handfordwerke in Pasco (Washington) zur Erzeugung von Plutonium. Wärmeleistung rd. 2500 000 kW.

1945 Abwurf der ersten Atombombe über Hiroshima und Ende des zweiten Weltkrieges.

In der Schweiz wurde an der E. T. H. durch Prof. P. Scherrer schon vor rund zehn Jahren ein Institut für Kernphysik ins Leben gerufen. Die eingehende Bearbeitung von kernphysikalischen Problemen zu einem Zeitpunkt, als noch keine technischen Nutzenanwendungen abzusehen waren, bedeutete lange Zeit eine undankbare Pionierarbeit, die in technischen Kreisen oft nicht dem genügenden Verständnis begegnete. Wenn unser Land gegenwärtig in der Lage ist, ebenfalls seinen Beitrag auf dem Gebiete der Kernphysik zu leisten, so ist dies zum grossen Teil der weit vorausschauenden Initiative von Prof. P. Scherrer zu verdanken. Heute da die Kernphysik grosse Erfolge aufzuweisen hat, werden die kernphysikalischen Arbeiten auch vom Staat grosszügig¹¹⁾ gefördert. Eine Atomenergiekommission ist gebildet worden, die den Bau einer Atomenergieanlage in der Schweiz studiert und die damit zusammenhängenden Fragen bearbeitet. Gleichzeitig wird ein Stab von Kernphysikern herangebildet, der

¹¹⁾ Vgl. die vom Bundesrat vorgeseh. Massnahmen in SBZ Bd. 128, S. 61.

unserer Industrie für die einsetzende Entwicklung zur Verfügung steht.

Nachdem es gelungen ist, die gewaltigen Energiemengen des Atomzerfalls in mässigen, stets beherrschten Strömen fliessen zu lassen, eröffnet sich ein Weg, der geeignet sein kann, den Bedarf der Menschheit an Energie für alle Zeiten vollauf zu befriedigen. Nachdem ein Volk in der Lösung des grossen Problems bereits einen Vorsprung erzielt hat, erleben wir zur Zeit ein gewaltiges Ringen der übrigen Kulturvölker um die Methoden zur Erschliessung dieser Energie. Dabei droht allerdings eine Gefahr, ähnlich derjenigen, die den Zaubrerlehrer betraf, als er die Geister, die er rief, nicht mehr bannen konnte. Es bleibt nur zu hoffen, dass die ethischen und moralischen Kräfte in den Völkern noch rechtzeitig die Oberhand gewinnen, damit sich die Menschheit der grossen Verantwortung bewusst werde, die sie mit der Erschliessung einer so gewaltigen Energiequelle, wie die der Atomenergie, übernommen hat.

Französische Touristikflugzeuge in der Schweiz

Eine Gruppe französischer Werkpiloten führte kürzlich in allen grösseren Schweizerstädten sieben neue französische Reise- und Sportflugzeuge vor, die berechtigtes Aufsehen erregten. Wenn wir auch bei verschiedenen Konstruktionen den Eindruck hatten, es handle sich erst um Prototypen und bis zur Serienreife fehle noch manches, so fanden wir doch viele Details, die vortrefflich gelöst waren.

Den nachhaltigsten Eindruck hinterliessen zweifellos die beiden einmotorigen Typen «Nord 1101» und «Nord 1200». Diese beiden vier-, bzw. dreiplätzigigen Tiefdecker in Ganzmetallbauweise, die vor allem als private Reiseflugzeuge Verwendung finden sollen, verfügen über ein einziehbares Bugradfahrwerk, das, wie Demonstrationen bewiesen, Start und Landung bedeutend vereinfacht. Ihre Flugeigenschaften sind gut, besonders im unteren Geschwindigkeitsbereich. Der Typ 1101, dessen Preis mit 75 000 sFr. angegeben wird, erinnert in Aufbau und Leistungen stark an das deutsche Reiseflugzeug Messerschmitt 108 b «Taifun». Er verfügt über eine elektrisch verstellbare Luftschaube, die von einem 220 PS Renaultmotor angetrieben wird. Alle übrigen vorgeführten Flugzeuge waren (mit einer Ausnahme) mit einem 140 PS Renault-Motor und einer nicht verstellbaren Holz-Luftschaube ausgerüstet. Die Motoren werden durchwegs pneumatisch vom Pilotensitz aus angelassen. Der Typ «SE 2300» und seine Ausführung mit Bugrad, «SE 2310», sind einmotorige Ganzmetalltiefdecker, die in einer geschlossenen Kabine Platz für zwei bis drei Personen bieten. In Frankreich wird im Reiseflugzeugbau mehr und mehr die Ganzmetallkonstruktion angewendet; nur zwei der gezeigten sieben Flugzeuge waren in Holz gebaut. Bekanntlich halten sich Holz- und Metallkonstruktionen bezüglich des Gewichtes etwa die Waage. Während aber der früher fast ausschliesslich angewandte Holz- und Gemischtbau handwerklich bedeutend einfachere und billigere Bau- und Reparaturmöglichkeiten bietet, was bei Sportflugzeugen recht wesentlich ist, preisen die besonders in Nordamerika zahlreichen Freunde des Ganzmetall-Schalenbaues seine hohe Witterungsbeständigkeit und elegantere Form.

Das Flugzeugmuster «Guerchais-Roche T-35», das äusserlich dem Typ «RE 2300» ähnlich ist, stellt ein voll akrobatiktaug-

Tabelle 1. Hauptdaten der vorgeführten Touristikflugzeuge

	Nord 1101	Nord 1200	SE 2300	SE 2310	Guerchais-Roche T-35	MH-52	AS 70
Plätze	4	3	2 oder 3	3	3	2	1
Motor	6-Zyl., 220 PS Renault	4-Zyl., 140 PS Renault	140 PS Renault	140 PS Renault	140 PS Renault	140 PS Renault	45 PS Salmson
Spannweite m	11,5	10,2	10,2	10,2	9,3	9,76	7,4
Länge m	8,75	6,85	7,18	7,4	7,25	7,28	5,35
Flügelfläche m ²	17,4	13	15	15	17,85	14	8
Leergewicht kg	945	538	590	712	487	640	202
Fluggewicht kg	1580	875	900	1084	800	870	310
Höchstgeschwindigkeit km/h	305	265	242	220	245	225	185
Reisegeschwindigkeit km/h	277	230	218	200	220	200	167
Landegeschwindigkeit km/h	100	80	75	—	55	75	45
Reichweite km	1200	900	800	900	1100	600	420
Gipfelhöhe m	5900	6000	—	4650	7500	—	6200
Fahrwerk	Bugrad einziehbar (hydraulisch)	Bugrad einziehbar (mechanisch)	Heckrad fest	Bugrad fest	Heckrad fest	Bugrad fest	Heckrad fest