Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 38 (1947)

Heft: 21

Artikel: Atomenergie und Elektrizitätswirtschaft

Autor: Winiger, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1061447

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: 27.12.2025

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

SCHWEIZERISCHER ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

REDAKTION:
Sekretariat des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Zürich 8, Seefeldstrasse 301

ADMINISTRATION:
Zürich, Stauffacherquai 36 ◆ Telephon 23 77 44
Postcheckkonto VIII 8481

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

38. Jahrgang Nr. 21 Samstag, 18. Oktober 1947

Atomenergie und Elektrizitätswirtschaft

Vortrag, gehalten an der Generalversammlung des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins am 6. September 1947 in Interlaken, von *A. Winiger*, Zürich

621.499.4

Die Quellen, die über die Frage der Nutzbarmachung der Atomenergie z. Z. zur Verfügung stehen, sind wenig aufschlussreich. Bekannt sind die grundsätzlichen physikalischen Verfahren, um aus Uran- und Thoriumerzen Wärme zu gewinnen. Die mit diesem Ausgangsmaterial möglichen Kernprozesse werden im folgenden skizziert. Das Wesen der «Primäranlage» und der «Sekundäranlage» wird erläutert, und es werden die wenigen bekannt gewordenen konstruktiven Elemente kurz beschrieben. Auch die Unterlagen zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit sind unvollständig. Immerhin scheint es, dass die «Brennstoffkosten» für die Kilowattstunde erzeugter elektrischer Energie aus Atomkraftwerken zur Zeit in der Grössenordnung von 0,6 Rp. für Primäranlagen und 6 Rp. für Sekundäranlagen liegen. Dabei ist die Atomanlage gegenüber thermischen Werken mit höheren Investitionskosten belastet. Bei amerikanischen Elektrizitätsversorgungsnetzen betragen die Brennstoffkosten rund 20 % des mittleren Verkaufspreises der Energie. Eine Verringerung der Brennstoffkosten beim Atomkraftwerk kann sich deshalb nur auf diesem Anteil des Energiepreises auswirken. Für die Schweiz dürften die Verhältnisse grundsätzlich die gleichen sein.

Der Einsatz von Atomenergie in der schweizerischen Energieversorgung liegt also in einer späteren Zukunft durchaus im Bereich der Möglichkeit. Eine Revolution auf dem Energiemarkt gehört jedoch ins Reich der Fabel. Die eingehenden Ueberlegungen führen den Referenten zur These, dass die Formel für die Schweiz niemals lauten kann: hydraulische oder Atomenergie, sondern höchstens: hydraulische und Atomenergie.

Les données à disposition actuellement concernant l'utilisation de l'énergie atomique sont peu probantes. Les processus physiques fondamentaux pour produire de la chaleur au moyen de minerais d'uranium et de thorium sont seuls connus actuellement. Les possibilités de désintégration avec ce matériau de base sont esquissés dans l'article suivant. L'auteur indique la nature des installations «primaire» et «secondaire» et décrit brièvement les quelques éléments de construction connus. Les données permettant d'apprécier la rentabilité sont également incomplètes. Il semble toutefois que les frais résultant des «combustibles» pour un kilowattheure d'énergie électrique produite par des usines atomiques s'élèvera à environ 0,6 cts pour les installations primaires et de 6 cts pour les installations secondaires, par rapport aux centrales ordinaires. Les frais d'investissement sont plus élevés pour les centrales atomiques que pour les autres centrales thermiques. Les frais résultant des combustibles représentent, pour les réseaux de distribution d'électricité américains, environ le 20 % du prix de vente moyen de l'énergie. Une diminution des frais résultant des combustibles ne peut que porter sur ce pourcentage du prix de l'énergie. Ces conditions sont en prinzipe également valables pour la Suisse.

L'utilisation en Suisse de l'énergie atomique pour la production d'énergie est parfaitement dans le domaine des possibilités pour un avenir assez lointain. Il serait toutefois fantaisiste de croire à une révolution dans le domaine de la production d'énergie. Les considérations fortement étayées de l'auteur lui permettent d'affirmer que la formule suivante ne pourra jamais s'appliquer à la Suisse: énergie hydraulique ou atomique, mais tout au plus: énergie hydraulique et atomique.

Bevor ich auf das eigentliche Thema meines Vortrages eingehe, möchte ich kurz die Grenzen skizzieren, die mir für die Bearbeitung des Stoffes gezogen waren. Nicht ohne Bedenken bin ich, als Nicht-Physiker, dem eigene Erfahrung und persönlicher Kontakt mit der neuen Technik fehlen, an die Aufgabe herangetreten, die verschiedenen Aspekte der Erzeugung von Atomkernenergie zu beleuchten, trotzdem die neue Energiequelle bereits weitgehend vom physikalischen und chemischen Laboratorium in die ingenieurtechnische Sphäre eingedrungen ist. Es besteht zwar schon ein ganzer Kranz von Publikationen, die aber sehr unterschiedlichen Wertes sind und im wesentlichen auf die gleichen amerikanischen Quellen zurückgehen [1]). Sie vermeiden im allgemeinen sorgfältig alles, was tieferen Einblick in die «Tours de métiers» verschaffen könnte. Insbesondere über die technische und wirtschaftliche Seite des Problems der Energieerzeugung in grösserem Maßstab ist wenig positives und zuverlässiges Material vorhanden, da der Fluss der Entwicklung gerade auf diesem Gebiet noch nicht in eine ruhige Phase eingetreten ist. Es konnte sich deshalb nur darum handeln, auf Grund gewisser, bereits Allgemeingut gewordener Tatsachen und der aus der kriegstechnischen Auswertung der Atomumwandlung bekannt gewordenen Daten die wahrscheinliche Entwicklung zu umreissen, die das Eindringen der neuen Energiequelle in die allgemeine Energiewirtschaft bestimmen wird. Aus naheliegenden Gründen musste ich mich auf diejenigen Kernprozesse beschränken, die, soweit heute bekannt, in erster Linie für den praktischen Einsatz in Frage

[1]) Siehe das Literaturverzeichnis am Schluss.

kommen. Das sind die Verfahren, die auf Uran- und Thoriumerzen als Ausgangsmaterial basieren.

Es ist mir ein Bedürfnis, an dieser Stelle meinem Kollegen im Vorstand, Professor Tank, meinen besondern Dank zum Ausdruck zu bringen für seine Unterstützung in der Beschaffung der Unterlagen und seinen wertvollen Rat bei der Ausarbeitung des Vortrages.

I

Durrer schätzt die jährlich auf der Erde im Dienste ihrer Bewohner erzeugte und verbrauchte Energie auf das Aequivalent von zirka 2½ Milliarden Tonnen guter Steinkohle [2]). Von diesem Gesamtenergiebedarf entfallen rund *72 %* auf die verschiedenen *Kohlenarten*, *24 %* auf *Erdöl*, Erdgas und Schieferöl und nur *4 %* auf *hydroelektrische Energie*. Ungefähr ²/₃ der geförderten Kohle werden heute ohne weitere Veredelung verbrannt und damit der chemischen Verarbeitung entzogen. Beim jetzigen Verbrauchsrhytmus wäre damit zu rechnen, dass die Kohlen- und vor allem die Oelvorräte in wenigen Jahrhunderten erschöpft sind. Diese überaus ernste Lage im Energie- und Kohlensektor ver-

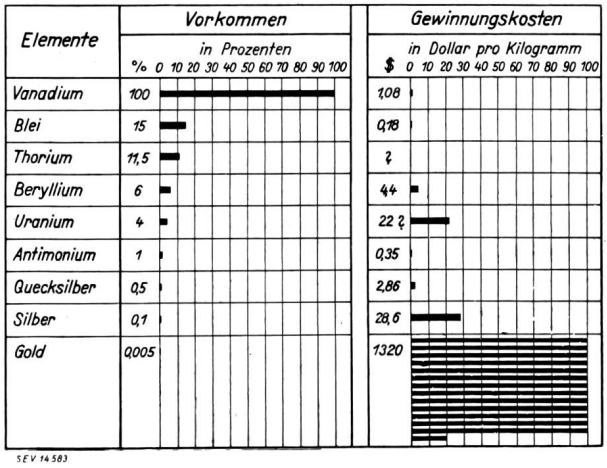

Fig. 1
Vorkommen von Uran und Thorium im Verhältnis zu andern Metallen und bezogen auf Vanadium = 100

langt gebieterisch nach entsprechenden Gegenmassnahmen, die heute nach zwei Richtungen weisen:

a) dem tatkräftigen weitern Ausbau der Wasserkräfte, deren «Rohstoff» in ständigem Kreislauf zur Verfügung steht;

b) der Nutzbarmachung der Atomkernenergie für die Erzeugung von Wärme, mechanischer und elektrischer Arbeit, um Kohle, Erdöl und Erdgas der organischen Chemie als Rohstoffe erhalten zu können.

Das aufsehenerregende Experiment vom 16. Juli 1945 in der Wüste von Alamogordo verkündete, dass es der Zusammenarbeit der Physiker, Chemiker und Ingenieure gelungen war, die in den Atomkernen schlummernden Energien dem Menschen dienstbar zu machen und einen neuen Abschnitt der Energiewirtschaft einzuleiten.

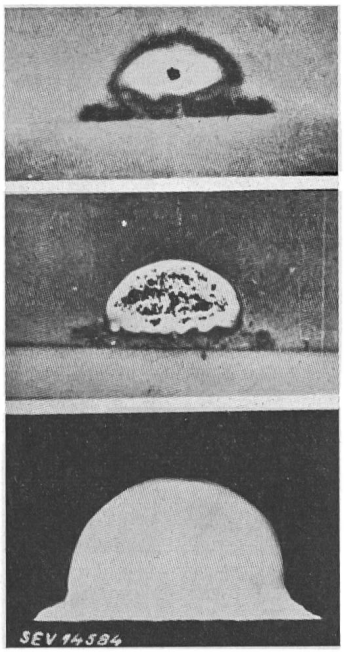

Fig. 2
Versuch einer Atombombe in New Mexico am 16. 7. 1945 aus einer Distanz von ca. 10 km aufgenommen

Oben:
Beginn der Explosion. — Diese kleine Wolke erhob sich später zu einer Höhe von rund 12 km.

Mitte:
Vielfarbige Explosionswolke; die schwarzen Flekken haben eine grössere Helligkeit als die Oberfläche der Sonne.

Unten:
Spätere Ausbildung der Explosionswolke.

II

Einen Schlußstein von ebenso grosser Bedeutung wie Eigenart in der von *Einstein* zu Anfang unseres Jahrhunderts entwickelten Relativitätstheorie bildet der Satz von der Aequivalenz von Masse und Energie. Danach stellt die träge Masse die konzentrierteste Energieform dar, die wir uns denken können. Der Faktor, mit dem jede Massenänderung zu multiplizieren ist, um die entsprechende Energieänderung zu erhalten, weist den ausserordentlich hohen Betrag des Quadrats der Lichtgeschwindigkeit auf ($W = m\,c^2$). Die restlose Umwandlung eines Grammes Materie ergäbe somit, sofern sie sich durchführen liesse, ein Energiequantum von rund *25 Millionen kWh*, was der Verbrennungswärme von rund *3000 t Kohle* gleichkommt. Theoretisch entspräche die Jahreserzeugung der Schweiz an elektrischer Energie in der Höhe von *10 Milliarden kWh* einem Massenverlust von nur *400 g*. Um messbare Massenänderungen zu bewirken, bedarf es aussergewöhnlich grosser Energiemengen. Erst das Studium kleinster Masseteilchen, wie es die Untersuchungen der modernen Atomphysik mit sich brachten, erlaubte für die Einsteinschen Beziehungen auch den experimentellen Nachweis zu erbringen.

Die Auffassung vom Aufbau der Materie hat in den letzten 50 Jahren eine grundlegende Aenderung erfahren. Während man vor der Entdeckung der Radioaktivität um die Jahrhundertwende, die vor allem mit den Namen von *Becquerel* und *Curie* verbunden ist, das Atom als das kleinste unteilbare Masseteilchen ansah, weiss man heute, dass dieser Baustein der Materie selbst ein kompliziertes Gebilde darstellt. Ein Kern, der praktisch die Masse des Atoms verkörpert und eine positive Ladung trägt, ist umgeben von negativ geladenen Elektronen.

[2]) *Durrer, Robert:* Betrachtungen über die Weltenergieerzeugung. Zürich, 1946. [Referat im Bull. SEV Bd. 37 (1946), Nr. 11, S. 310...312.]

Ihre Zahl entspricht der Ordnungszahl im periodischen System der Elemente und beträgt zum Beispiel 92 für das uns am meisten interessierende Uran. Während die Atomhülle einen Durchmesser von rund 10^{-8} cm aufweist, ist der Kern noch um eine Viererpotenz kleiner. Er setzt sich seinerseits aus kleinsten Masseteilchen zusammen, nämlich den in der gleichen Zahl wie die Elektronen vorhandenen, positiv geladenen Protonen und den elektrisch neutralen Neutronen. Die Summe von Protonen und Neutronen ist ein Mass für das Atomgewicht des Elementes. Beim Uran 238, von dem später noch die Rede sein wird, besteht der Atomkern aus 92 Protonen und 146 Neutronen. Aendert sich die Zahl der Neutronen bei gleichbleibender Anzahl Protonen, so spricht man von einem *Isotop*. Es unterscheidet sich vom Grundelement durch ein entsprechend verändertes Atomgewicht bei gleicher Ordnungszahl. So enthält zum Beispiel das natürliche Uran rund 0,7 % eines Isotops vom Atomgewicht 235, dessen Kern infolgedessen statt 146 nur 143 Neutronen aufweist. Die Isotope eines Elementes lassen sich nicht durch chemische Prozesse voneinander trennen, da ihre chemischen Eigenschaften, als nur von der Elektronenhülle abhängend, unverändert bleiben.

Vier Forschungsergebnissen kommt besondere Bedeutung zu für die spätere Entwicklung des Uran-Atomofens. 1931 gelang den Physikern *Cockcroft* und *Walton* im Cavendish-Laboratorium in Cambridge die erste künstliche Zertrümmerung eines Atomkerns durch Beschiessung von Lithium mit künstlich beschleunigten Protonen. *Chadwick* entdeckte im Jahre 1932 das Neutron als neues und wirksames Geschoss für Atomumwandlungen. Es besitzt ungefähr die gleiche Masse wie das Proton, ist aber ausserordentlich durchdringend, da es keine Ladung besitzt und durch die Kernfelder der Atome nicht abgelenkt wird. Sodann fanden 1939 *Hahn* und *Stassmann*, dass durch Beschiessung von Uraniumatomen mit Neutronen unter starker Energieentwicklung eine Spaltung des Kerns eintritt. Kurz darauf wurde festgestellt, dass bei diesem Vorgang auch neue Neutronen frei werden, die zu weiteren Kernreaktionen Anlass geben können. Und schliesslich gelang es 1942 dem Physiker *Fermi*, die Möglichkeit der Durchführung der sogenannten *Kettenreaktion* nachzuweisen, die nötig ist, um den einmal eingeleiteten Vorgang der Kernspaltung selbsttätig aufrecht zu erhalten — eine unerlässliche Voraussetzung für die technische Ausbeutung des Prozesses. Schon früher war es Fermi geglückt, die Wirksamkeit *langsamer* Neutronen für eine grosse Zahl von Kernprozessen festzustellen.

Das reine Uran mit der Kernladungszahl 92 besteht zu 99,3 % aus dem Isotop 238 und zu 0,7 % aus dem Isotop 235. Vor allem die Kerne des Isotops 235 werden durch die Anlagerung von Neutronen unstabil und zerfallen in Elemente niedrigerer Ordnungszahl, die zusammen eine geringere Masse aufweisen als der ursprüngliche Atomkern. Dem Massenverlust entspricht als Aequivalent die bei dem Vorgang in Form von Wärme und Strahlung frei gewordene Energie. Die geschilderte Atomkernspaltung hat ausserdem die Emission von zwei bis drei frischen Neutronen zur Folge, welche zur Spaltung weiterer Atomkerne benützt werden können. Eine solche Kernreaktion kommt aber nur zustande, wenn die Geschwindigkeit der Neutronen unter einer gewissen Grenze liegt, das heisst bei Verwendung sogenannter langsamer Neutronen. Es mussten also Mittel und Wege gefunden werden, die bei der Kernspaltung entstehenden schnellen Neutronen so stark abzubremsen, dass die Fortpflanzung der Reaktion gesichert war. Das bedingte die Anwendung geeigneter Bremsmittel und ein Minimum an räumlicher Ausdehnung des Reaktionsblockes.

Als Ausgangsmaterial für die Erzeugung von Wärmeenergie kommen nur Stoffe in Frage, mit denen eine Kettenreaktion selbständig aufrecht erhalten werden kann, ähnlich wie ein einmal eingeleiteter Verbrennungsvorgang sich selbst weiter

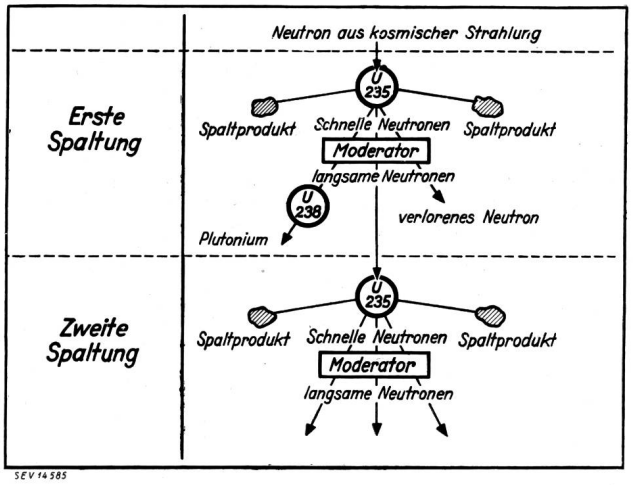

Fig. 3
Grundsätzliche Darstellung der Atomkernspaltung
(Dem Bericht von Smyth entnommen)

fortpflanzt. Die Natur liefert, soweit heute bekannt, nur ein einziges Element, das direkt als Brennmaterial für den Atomofen Verwendung finden kann, das Uranisotop 235, dessen Trennung vom Isotop 238 aber mit ausserordentlichen Schwierigkeiten und hohen Kosten verbunden ist. Im Zusammenhang mit den Forschungen zur Herstellung von Atomwaffen sind jedoch noch weitere, künstlich herstellbare Atombrennstoffe entdeckt worden. Nach einem von der Kommission für Atomenergie der Vereinigten Nationen veröffentlichten Bericht [2] [1]) kommen mit grosser Wahrscheinlichkeit in den nächsten Jahren nur folgende Elemente als «Atombrennstoffe» in Betracht:

Das schon erwähnte Uranisotop U 235
Das Transuran Plutonium Pu 239
Das Uranisotop U 233.

Am wenigsten erforscht ist das durch Kernumwandlung des Thoriums erzeugbare U 233; dagegen sind Plutonium und U 235 in industriellem Maßstab hergestellt und kriegstechnisch verarbeitet worden.

Das im natürlichen Uran mit 99,3 % enthaltene Isotop 238 ist unbrauchbar für die Auslösung von

Kettenreaktionen. Durch Beschiessung mit mittelschnellen Neutronen lässt es sich über verschiedene Zwischenstufen zu dem neu entdeckten künstlichen Element Plutonium mit der Kernladungszahl 94 umformen, das seinerseits als «Atombrennstoff» Verwendung finden kann. Die Erzeugung von Plutonium erfolgt in einer sogenannten *Primäranlage*,

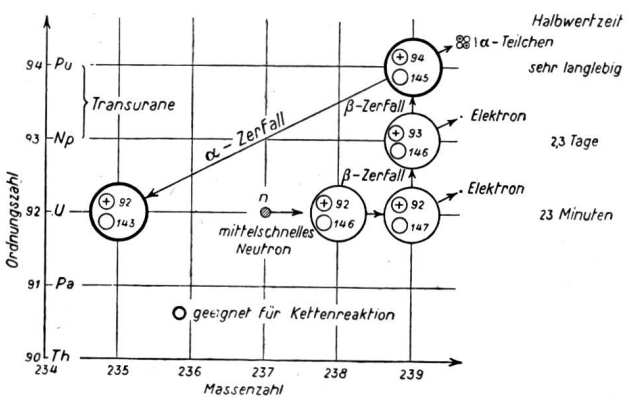

Fig. 4
Umwandlung von U 238 in Pu 239
(Bericht Smyth u. Art. Dubs SBZ)

die mit natürlichem Uran beschickt wird, wobei das Isotop U 235 unter Verwendung geeigneter Kunstgriffe die Aufrechterhaltung der Reaktion sichert und die zur Umwandlung des U 238 nötigen Neutronen liefert. Als Nebenprodukt entsteht Wärme.

Im Gegensatz zu den Primäranlagen, die in erster Linie der Herstellung von kettenreaktionsfähigen

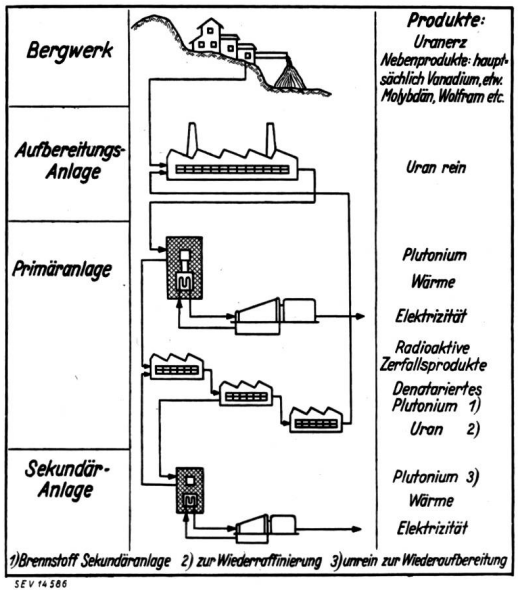

Fig. 5
Schematischer Aufbau einer Atomenergieanlage
(Primär- und Sekundär-Anlage)

Elementen dienen, bezeichnet man die eigentlichen Atomkraftwerke als *Sekundäranlagen*. Sie sollen Energie erzeugen aus reinen Atombrennstoffen, z. B. Plutonium oder U 235, welche vorher einer geeigneten Behandlung unterzogen wurden, um eine missbräuchliche Verwendung zu Herstellung von Atomwaffen möglichst zu verhindern. Diese sogenannte «Denaturierung» kann beispielsweise in der Zufügung geeigneter Isotope bestehen.

III

Nach den kurzen Hinweisen auf die grundlegenden Umwandlungsprozesse der für die Erzeugung von Atomenergie geeigneten Elemente soll der konstruktive Aufbau des Atomofens gestreift werden, soweit die Oeffentlichkeit darüber unterrichtet wurde. In einem Graphitblock, dessen Abmessungen gewisse Minimalwerte nicht unterschreiten dürfen, sind Oeffnungen ausgespart für die Aufnahme der Brennstoff- und Regulierstäbe. Die geometrische Anordnung der einzelnen Bauelemente ist dabei von grosser Bedeutung. Der Graphit übernimmt zwei Funktionen. Als Neutronenverlangsamer oder Moderator hat er die von den Uranstäben nach Einleitung der Kettenreaktion ausstrahlenden Neutronen bis zum Auftreffen auf einen andern Uranstab auf die wirksame Geschwindigkeit abzubremsen. Als äussere Ofenverkleidung trägt er dazu bei, die nach aussen fliegenden Neutronen teilweise wieder nach dem Ofeninnern umzulenken und damit die Verluste an aktiven Neutronen zu verkleinern. An Stelle von Graphit kann auch sogenanntes schweres Wasser und Beryllium als Bremsmittel für die Neutronen dienen.

Um zu verhindern, dass die Kettenreaktion zu stürmisch verläuft und zur Zerstörung der Anlage führt, muss der Neutronenstrom durch das Einschieben von Schirmen aus neutronenabsorbierendem Material, beispielsweise aus Cadmium oder Bor, so gesteuert werden, dass die Fortpflanzung der Reaktion auf einem bestimmten Energieproduktionsniveau gesichert ist. Das Verhältnis der bei jeder Kernspaltung neu entstehenden aktiven Neutronen zu dem die Spaltung anregenden Neutron nennt man den *Vermehrungsfaktor K*. *K*—1 ist ein Mass für die Wärmeproduktion und soll bei den bereits angeführten grossen Atomöfen zur Herstellung von Plutonium, die mit verhältnismässig niedrigen Temperaturen arbeiten, den Wert von 0,03 aufweisen, so dass jede neue Generation von Neutronen nur um 3 % grösser wäre als die vorhergehende.

So einfach der konstruktive Aufbau des Atomofens erscheint, so kompliziert sind die Probleme, die mit seiner Bedienung und Nutzbarmachung für die Energieerzeugung zusammenhängen. Um das Betriebspersonal vor den Einwirkungen der äusserst intensiven Strahlungen zu schützen, muss die ganze Anlage mit einem Schutzmantel umgeben werden, der bei bestehenden Ausführungen aus Betonmauern von zirka 3 m Mächtigkeit bestehen soll. Da durch das Ausströmen radioaktiver Gase und Dämpfe eine Gefährdung der Umgebung des Werkes eintreten kann, ist es aus Sicherheitsgründen vorzuziehen, die Anlagen nicht in dicht besiedelten Gegenden zu errichten.

Die anfallende Wärme muss zu ihrer industriellen Verwertung dem Atomofen durch gasförmige oder flüssige Medien entzogen werden, die ihrerseits radioaktiv verseucht werden können und eine

entsprechende Abschirmung bedingen. Eine weitere Schwierigkeit erwächst aus der Notwendigkeit, Konstruktionsmaterial zu beschaffen und Wärmeaustauschstoffe herzustellen, die durch die Einwirkung

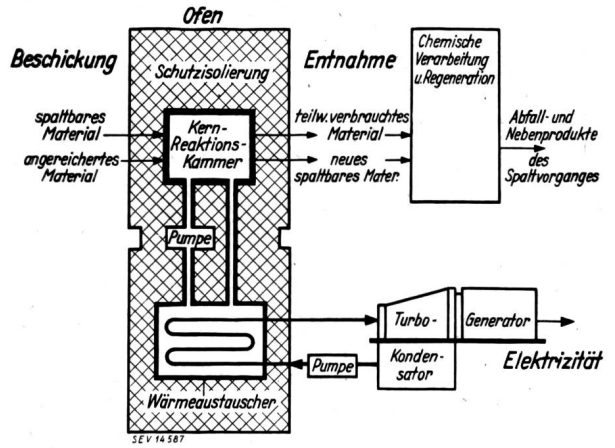

Fig. 6
Schema des Atomofens

von Neutronen- und andern Strahlungen keine Veränderungen ihrer Eigenschaften erleiden, die zu Betriebsstörungen führen können. Eine Technologie solcher Stoffe ist im Werden begriffen. Als Beispiel eines Gases, das sich in ganz reinem Zustand vorzüglich als Wärmeübertragungsmedium eignet, sei das Element Helium erwähnt. Zufolge seines stabilen Kerns bildet es im Kontakt mit dem Atomofen keine radioaktiven Isotope, die das Bedienungspersonal gefährden würden.

IV

Vom Standpunkt der Elektrizitätswirtschaft aus erhebt sich nun die Frage der Wettbewerbsfähigkeit des neuen Energieerzeugers im Vergleich zu den heute üblichen hydraulischen und thermischen Anlagen. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, festzuhalten, dass eine direkte Erzeugung von Elektrizität aus Kernreaktionen kaum verwirklicht werden kann. Die im Atomofen frei werdende Energie fällt an in Form von Strahlungen und kinetischer Energie bewegter Teilchen und kann nur als Wärme nutzbar gemacht werden. Die Anlage zur Erzeugung elektrischer Energie aus Atomkernreaktionen setzt sich also ähnlich wie bei den normalen thermischen Werken zusammen aus:

dem Atomofen als eigentlichem Energieerzeuger;

dem Wärmeaustauscher, der insbesondere den Uebertritt radioaktiv verseuchter Medien in die Maschinenanlage zu verhindern hat;

dem Generator zur Erzeugung elektrischer Energie, angetrieben je nach den verwendeten Wärmeübertragungsmedien durch Dampf- oder Gasturbinen.

A priori ist das Atomkraftwerk gegenüber der normalen thermischen Anlage zusätzlich belastet mit einem komplizierten Wärmeaustauscher und kostspieligen Vorkehren für den Schutz des Bedienungspersonals. Beides wirkt sich im Sinne einer Erhöhung der Investitionskosten und einer Verschlechterung des thermischen Wirkungsgrades aus. Dabei ist den umfangreichen chemischen und metallurgischen Nebenbetrieben des Atomofens, die der Regeneration und Aufarbeitung des Brennstoffes dienen, noch nicht Rechnung getragen.

Die Frage nach der Höhe der Brennstoffkosten ist noch komplexerer Natur. Einige Anhaltspunkte ergeben die folgenden Ueberlegungen. Es ist ein grundsätzlicher Unterschied zu machen zwischen Primäranlagen, in denen die Wärme als Nebenprodukt anfällt, und Sekundäranlagen, die nur der Energieerzeugung dienen.

Für die Primäranlagen, die mit natürlichem Uran beschickt werden, ergibt eine überschlägige Rechnung, unter Annahme eines Preises von rund *100 Fr. pro kg Uran* und eines thermischen Wirkungsgrades von 10 %, dass die erzeugte Kilowattstunde mit einem Brennstoffpreis von nur *0,6 Rp.* belastet würde, wobei das gleichzeitig erzeugte, *nicht isolierte* Plutonium umsonst anfällt. Man kann aber auch den Preis des Ausgangsstoffes nur dem Plutonium belasten und die Energie als Abfallprodukt kostenlos dem Wärmeaustauscher zuführen.

Grundsätzlich anders liegen die Verhältnisse bei der Sekundäranlage, die nur reinen Brennstoff verwendet, dessen Herstellung zweifellos mit hohen Kosten verbunden ist und der nur der Energieerzeugung dient. Legt man der Rechnung beispielsweise einen Preis für Plutonium von rund 150 Fr. pro Gramm zugrunde, ein Preis, der in der amerikanischen Presse erwähnt wurde, so ergeben sich bei Annahme eines thermischen Wirkungsgrades von 10 % Brennstoffkosten in der Grössenordnung von *6 Rp./kWh*, also in einer keinesfalls zu unterschätzenden Höhe.

Der Vergleich mit den Brennstoffkosten bestehender thermischer Werke wird allerdings dem Umstand Rechnung tragen müssen, dass beim Atombrennstoff die Transportkosten praktisch nicht ins Gewicht fallen, während sie bei Kohle und Oel je nach Entfernung des Werkes vom Gewinnungsort des Brennstoffes ein sehr bedeutendes Ausmass annehmen können.

Winne, Sekretär der Atomenergiekommission der USA und einer der technischen Leiter der unter Führung der General Electric und Monsanto Chemical Co. als Gemeinschaftswerk der gesamten amerikanischen Industrie in Oakridge im Bau begriffenen Versuchsanlage, hat das Problem der Wirtschaftlichkeit zukünftiger Atomenergiekraftwerke noch durch folgende Ueberlegung abzugrenzen versucht. Die Investitionskosten einer Anlage für die Erzeugung von Elektrizität aus Kernenergie werden aller Voraussicht nach höher sein als diejenigen einer gewöhnlichen thermischen Anlage. Ersparnisse sind also nur durch die Reduktion der Brennstoffkosten zu erzielen. Diese betragen für amerikanische Verhältnisse rund 20 % des dem Elektrizitätsabnehmer verrechneten mittleren Energiepreises. Die Produktion elektrischer Energie aus Atomkraftwerken kann deshalb nur diesen Kostenanteil in Mitleidenschaft ziehen.

Es ist ausgeschlossen, sich nur ein einigermassen zutreffendes Bild über die zukünftigen Kapital- und Betriebskosten zu machen, bevor die vielen Unbe-

kannten mindestens annähernd bestimmt sind. Dazu gehören die chemische und metallurgische Behandlung der Ausgangsstoffe und Reaktionsrückstände, die Schutzvorrichtungen gegen die Einwirkung der radioaktiven Strahlungen, die Bereitstellung geeigneter Wärmeübertragungsmedien und Konstruktionsmaterialien und last but not least die zuverlässige Steuerung des Reaktionsablaufs. Allein die Herstellung der im Atomofen selbst verwendeten Stoffe, beispielsweise Graphit, erfordert wegen des nötigen Reinheitsgrades, der für viele Elemente Verunreinigungen über einem zehntausendstel Prozent nicht mehr zulässt, kostspielige Einrichtungen. Es unterliegt aber keinem Zweifel, dass alle diese Faktoren, insbesondere die nötigen Nebenbetriebe, aus wirtschaftlichen Gründen dazu drängen, die Atomkraftwerke mit möglichst hoher Leistung auszustatten.

Eine weitere Komponente, die auf die Preisbildung der aus Kernenergie gewonnenen elektrischen Energie einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss ausüben kann, ist die aus militärischen Gründen gegebene Ingerenz des Staates in den Betrieb der Atomöfen. Es ist interessant, sich die Zahlen vor Augen zu halten, die vom Informationsdienst der Vereinigten Nationen über die Entwicklungskosten der Atombombe publiziert worden sind; sie sollen bis zum 30. Juni 1945 auf rund 2 Milliarden Dollars oder 8,5 Milliarden Schweizerfranken angewachsen sein. Nach Beendigung des Krieges ging aber die Erforschung der Technik der Atomumwandlung weiter und sie dürfte nur für die USA und England zusammen $1^1/_2$...2 Milliarden Schweizerfranken pro Jahr erfordern. Neben diesen Summen nehmen sich die 18 Millionen Schweizerfranken recht bescheiden aus, die der schweizerischen Kommission für Atomenergie für die Dauer von drei Jahren zur Verfügung gestellt wurden.

Diese Entwicklungskosten sind aber so ungeheuer, dass sie mindestens teilweise später auf die Energieerzeugung abgewälzt werden müssen, sei es in Form von Konzessionsgebühren, Lizenzabgaben oder entsprechend hohen Grundpreisen für die aus staatlichen Werken gelieferten «Atombrennstoffe». Es ist mit grösster Wahrscheinlichkeit damit zu rechnen, dass die Preise für elektrische Energie aus Atomkraftwerken den Erzeugungskosten der bestehenden thermischen Anlagen bzw. den Marktpreisen angepasst werden, selbst wenn der Gestehungspreis in absehbarer Zeit sich unter dieses Niveau senken sollte, was heute nicht vorauszusehen ist.

Zusammenfassend darf auf Grund der bis jetzt der Oeffentlichkeit bekannt gewordenen Unterlagen wohl gesagt werden, dass die aus Kernenergie erzeugte Elektrizität mit der Zeit konkurrenzfähig werden kann. Eine *Revolution* auf dem Energiemarkt gehört dagegen ins Reich der Fabel, sofern der Boden der gesunden wirtschaftlichen Ueberlegung nicht verlassen wird.

V

Welches sind nun die Folgerungen, die sich aus den bisherigen Ausführungen für die schweizerische Elektrizitätswirtschaft ergeben?

Unser Land verfügt — sollen wir sagen glücklicherweise? — über keine Uran- oder Thoriumerz-Vorkommen, die die Ausbeutung lohnen würden. Sie ist also für die Beschaffung von Atombrennstoff, wie bei Kohle und Oel, auf das Ausland angewiesen. Diese Abhängigkeit von andern Staaten wird noch dadurch verschärft, dass das ganze Problem der Atomenergie zu einem hohen Politikum geworden ist. Brennstoff für Atomöfen, selbst wenn er «denaturiert» ist, kann möglicherweise zur Herstellung von Atomwaffen Verwendung finden. Wenn sich auch ein Staat bereit fände, uns mit Material zur Beschickung von Kernreaktionsanlagen für teures Geld zu versehen, so müssten wir damit eine internationale Kontrolle und Aufsicht mit in Kauf nehmen, die mit unserer Souveränität kaum vereinbar wäre.

Einige Daten über ausgeführte Atom-Umwandlungsanlagen in den USA

Objekt	Kosten in Mill. Dollar	Anzahl Bauarbeiter in der Spitzenzeit	Grössen
Anlage für Isotopentrennung durch Gasdiffusion	545	25 000	4 Gebäude mit 232 000 m² Grundfläche auf Gelände 800 × 400 m
Anlage für Isotopentrennung auf elektromagnetisch. Weg	350	13 200	175 Einzelgebäude inkl. 9 Gebäude für Hauptprozess
Anlage für Isotopentrennung durch therm. Diffusion	10,5	—	Hauptgebäude 158 × 25 × 22,5 m
Versuchsofen in Clinton	12	3 247	Leistung 1000 kW
Hanford	350	45 000	3 Gross-Reaktionsöfen u. zugehörige chemische Trennanlagen. 600 000 m³ Beton. Ganze Anlage 1540 km²
Los Alamos . . .	60	—	—

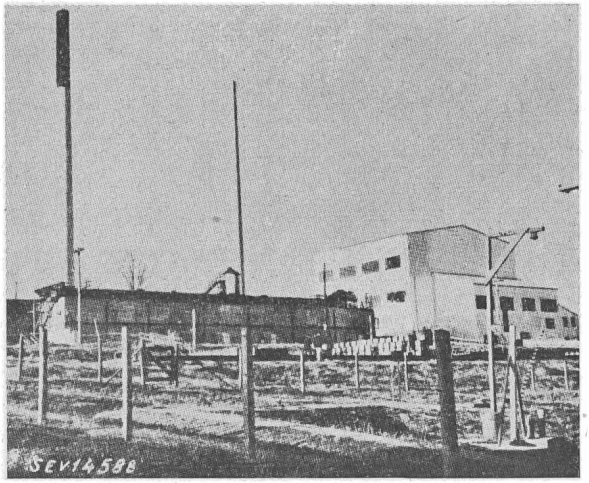

Fig. 7
Plutonium-Versuchsanlage in Oakridge (Tennessee)

Die Vereinigten Staaten von Amerika, England, Frankreich und vielleicht noch andere Staaten sind uns im Bau von Atomwerken um ein gutes Stück voraus. Wir kämen kaum darum herum, Patente fremdstaatlicher Atomenergiekommissionen zu benützen und dafür entsprechende Lizenzen zu zahlen.

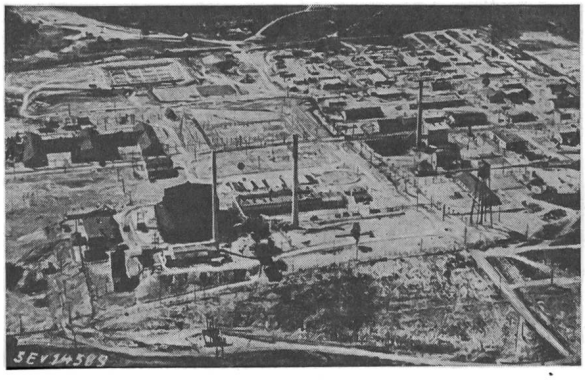

Fig. 8
Versuchsanlage der Clinton Engineering Works in Oakridge

Es sei in diesem Zusammenhang nur an die Erfindungsrechte erinnert, die bereits in der Schweiz angemeldet wurden. Wir haben allerdings auch einen ansehnlichen Stab sorgfältig ausgebildeter Atomphysiker, die ebenfalls fähig wären, an der Entwicklung mitzuarbeiten und die von ihnen gefundenen neuen Verfahren und Methoden mit denen der andern Staaten auszutauschen. Wenn wir aber diesen Weg verfolgen wollen, genügen die uns zur Verfügung stehenden Mittel kaum, abgesehen davon, dass wir für die Beschaffung der schweren, kettenreaktionsfähigen Elemente doch vom Ausland abhängig sind.

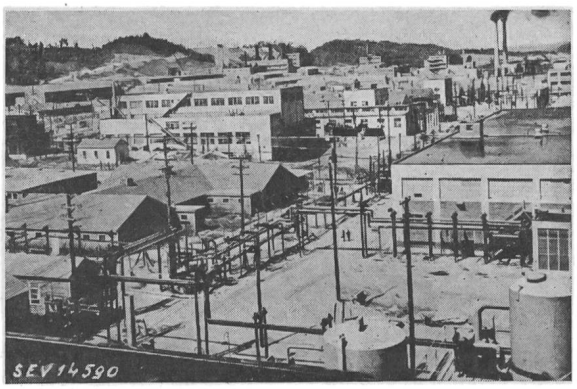

Fig. 9
Fabrikationsanlage der Clinton Engineering Works in Oakridge

Die wirtschaftlichen Ueberlegungen, soweit sie auf den heute zugänglichen Daten beruhen, haben gezeigt, dass eine Konkurrenzierung der normalen thermischen Energieerzeugung durch Atomkraftwerke in absehbarer Zeit kaum zu befürchten ist, selbst wenn die Preise von Kohle und Oel noch steigen sollten, was durchaus im Bereich der Möglichkeit liegt. Um so weniger haben wir Grund, an der Wirtschaftlichkeit des weitern Ausbaues unserer Wasserkräfte zu zweifeln. Für uns ist Wasser immer noch der billigste Rohstoff, sofern er, gleiche Energiequalität vorausgesetzt, zu Gestehungspreisen verarbeitet werden kann, die in der Grössenordnung derjenigen der thermischen Werke liegen.

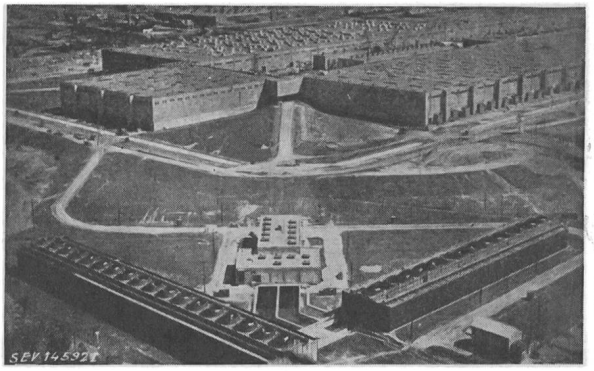

Fig. 10
Fabrikationsanlage der Clinton Engineering Works in Oakridge

Dazu kommt, dass Atomenergieanlagen in möglichst grossen Einheiten und wenig besiedelten Gegenden erstellt werden sollten, Bedingungen, die in der Schweiz schwer zu erfüllen sind, es sei denn, man denke an unterirdische oder ins Wasser versenkte Anlagen.

Atomkraftwerke eignen sich ihrer Natur nach in erster Linie als Grundlastwerke mit möglichst konstanter Leistungsabgabe während den 8760 Stunden des Jahres. Der Energiemarkt fordert aber auch die Lieferung von Spitzenenergie, die in unsern Verhältnissen am besten durch Speicherwerke bereitgestellt wird.

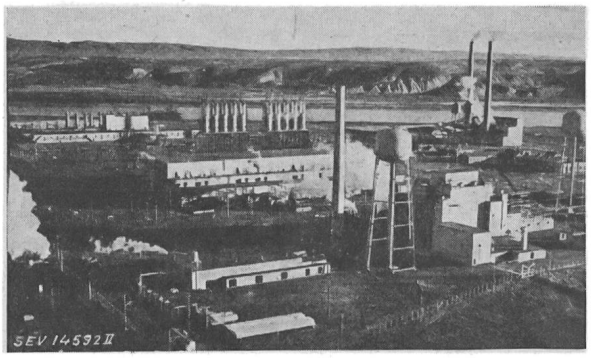

Fig. 11
Fabrikationsanlage der Hanford Engineering Works bei Pasco (Washington)

Die Losung für unser Land lautet deshalb nach wie vor: höchstmöglicher Ausbau der Wasserkräfte und Staubecken und eine gut überlegte Abschreibungspolitik, um die Kapitalkosten der hydraulischen Anlagen im Laufe der Jahre so zu verringern, dass uns auch die grössten Ueberraschungen auf dem Gebiete der Atomkernforschung nichts mehr anhaben können.

Nur der Vollständigkeit halber sei noch erwähnt, dass auch die Vorräte an Uran und Thorium nicht unerschöpflich sind, während uns das Wasser in ständig wiederkehrendem Kreislauf zur Verfügung steht.

Selbstverständlich ist es durchaus denkbar, dass uns in kommenden Dezennien für die Deckung un-

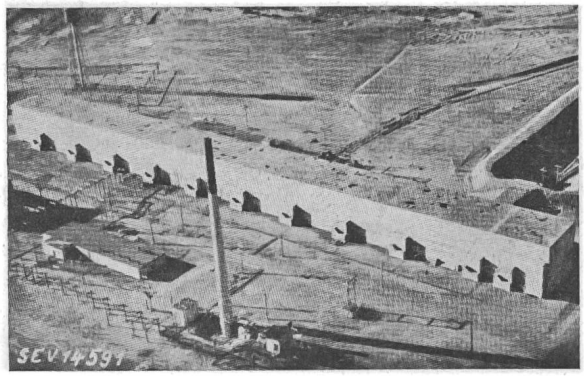

Fig. 12
Atomofen zur Herstellung von Plutonium der Hanford Engineering Works bei Pasco

seres Bedarfes an Wärmeenergie Atombrennstoffe an Stelle von Kohle und Oel geliefert werden und dass wir im Austauschverkehr Grundlastenergie aus grossen Atomkraftwerken des Auslandes beziehen; aber die Formel kann für uns niemals lauten: *hydraulische* ***oder*** *Atomenergie*, sondern höchstens *hydraulische* ***und*** *Atomenergie.*

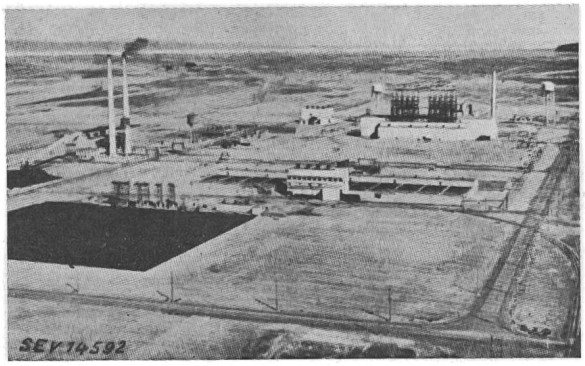

Fig. 13
Chemische Anlage zur Verarbeitung der Ofenprodukte der Hanford Engineering Works bei Pasco

VI

Das Verhältnis des Menschen zur stofflichen Welt hat in den vergangenen Jahrhunderten der geschichtlichen Zeit drei Stufen durchlaufen. Im Altertum und im Mittelalter beschränkte sich die Technik auf die Anwendung der Gesetze des Makrokosmos, ohne in das Innere der Materie einzudringen. Durch die Ausnützung der Gravitation und den Einsatz der einfachsten mechanischen Vorrichtungen, wie Rollen und Hebel, wurden die schwachen Kräfte von Mensch und Tier vervielfacht. Mächtige Bauten zeugen heute noch vom Erfolg dieser primitiven Arbeitsweise, bei der allerdings der Faktor Zeit nur eine untergeordnete Rolle spielte.

Mit der Erfindung des Schiesspulvers und der Dampfmaschine begann die Nutzbarmachung der chemischen Energie der Stoffe, das Eindringen in den Mikrokosmos. Durch die Befreiung der in der Atomhülle wirksamen Energien machte der Mensch sich Kräfte dienstbar, die seine eigenen um das Millionenfache überstiegen.

Nunmehr ist es ihm gelungen, auch in die innersten Bausteine der Materie vorzustossen und sich die ungeheuren Energien, die im Atomkern schlummern, untertan zu machen. Damit sind die stärksten Wärmetönungen, die durch chemische Prozesse erzielt werden können, nochmals um das Millionenfache übertroffen.

Hoffen wir bestimmt, dass das Atomzeitalter das Seinige dazu beitragen wird, uns eine geeinigte und friedliche Welt zu bringen. Sollte dies nicht der Fall sein, dann sind die gleichen Befürchtungen am Platz, denen Gottfried Keller seinerzeit bei der Erfindung des Dynamits durch folgende Verse Ausdruck verliehen hat:

Seit ihr die Berge versetzet mit archimedischen Kräften,
Fürcht ich, den Hebel entführt euch ein dämonisch Geschlecht!
Gleich dem bösen Gewissen geht um die verwünschte Patrone,
Jegliches Bübchen verbirgt schielend den Greuel im Sack.
Wahrlich, die Weltvernichtung, sie nahet mit länglichen Schritten,
Und aus dem Nichts wird nichts: herrlich erfüllt sich das Wort!

Literaturverzeichnis

[1] *Smyth, Henry:* Atomic Energy for Military Purposes. The Official Report on the Development of the Atomic Bomb under the Auspices of the United States Government 1940—1945.

[2] *United Nations, Department of Public Information:* Scientific and Technical Aspects of «The Control of Atomic Energy».

[3] Atomic Energy—Its Future in Power Production. A Chemical Engineering Report. SA aus Chem. Engng. Bd. 1946, Oktober.

[4] *Winne, H. A.:* Atomic Energy in Industry. Electr. Engng. Bd. 66(1947), Nr. 7, S. 631...638.

[5] Atom Power Plant. Workaday Electricity will Come from First Nuclear Utility in 1948. Wall Street J. Bd. 1947, 4. März.

[6] *Meitner, Lise:* Das Atom. Neue Rdsch. Bd. 1945, Oktober.

[7] *Masters, Dexter* und *Way, Katherine:* One World or None. A Report to the Public on the Full Meaning of the Atomic Bomb. Chicago.

[8] *Dubs, Werner R.:* Die physikalischen Grundlagen der Atomenergie-Anlage. Schweiz. Bauztg. Bd. 128(1946), Nr. 9, S. 107...111, u. Nr. 10, S. 123...127.

Adresse des Autors:
A. Winiger, Direktor der «Elektro-Watt» elektrische und industrielle Unternehmungen A.-G., Zürich.