Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 48 (1956)
Heft: 5-6

Artikel: Schweizerische Ingenieurtagung für Kernenergie
Autor: Rossel, J. / Scherrer, P. / Huber, Paul
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-921496

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: 01.07.2025

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

Kanton St. Gallen

Der Regierungsrat des Kantons St. Gallen stellt fest, daß die Untersuchungen der Vereinigung für Landesplanung vom Standpunkt des Kantons St. Gallen zutreffend sind, und diese werden durch zusätzliche kantonale Untersuchungen und besonders ausführliche Darlegungen noch nachdrücklich unterstützt. Vorerst sollte alles unternommen werden, um den Bau der letzten Kraftwerke am Hochrhein zu fördern, da diese die Voraussetzung für die Schiffahrt bilden.

Kanton Graubünden

Die Hochrheinschiffahrt Basel—Bodensee erscheint als das einzig greifbare Mittel, eine wirtschaftsbelebende Kraft von Dauer auf die ostschweizerischen Gebiete auszuüben. Der Kleine Rat gibt der bestimmten Hoffnung Ausdruck, daß die gerechten Forderungen der Ostschweiz im Sinne der Gleichbehandlung aller Landesteile erfüllt werden.

Kanton Aargau

Es wird die Ansicht vertreten, daß die Rheinschiffahrt von Basel bis zum Bodensee früher oder später kommen wird. Im Interesse des Kantons, insbesondere des aargauischen Rheintales hält es die Regierung für erstrebenswert, an der Verwirklichung mitzuhelfen. Die wirtschaftlichen Auswirkungen der Hochrheinschiffahrt dürfen auf Grund der im Bericht enthaltenen Gutachten zuversichtlich beurteilt werden.

Kanton Thurgau

Hält die Verwirklichung des Projektes nicht nur für möglich, sondern auch für nötig, sowohl im Interesse der Ostschweiz als auch des ganzen Landes. Die Schaffung der Wasserstraße wäre geeignet auf anderem, heute vielleicht besserem, auf jedenfalls vordringlicherem Wege, einen Ersatz für die Ostalpenbahn zu bieten. Zudem glaubt die Regierung, daß der Schweiz aus dem Staatsvertrag mit Deutschland bestimmte Verpflichtungen erwachsen, denen sich die Schweiz nicht entziehen darf sobald die in Artikel 6 festgelegten Voraussetzungen erfüllt sind. Nach der Auffassung des Kantons seien diese Voraussetzungen gegeben.

Zwischenstaatlicher Notenwechsel

Note der Deutschen Gesandtschaft vom 28. Oktober 1938

Einleitend erinnert die deutsche Note an den deutsch-schweizerischen Vertrag vom 28. März 1929 über die Regulierung des Rheins zwischen Straßburg/Kehl-Istein, in dessen Artikel auch die Richtlinien über die Großschiffahrtsstraße von Basel bis zum Bodensee enthalten sind.

Die Note hebt einerseits die bei der Deckung der Energieversorgung aufgetretenen Schwierigkeiten hervor, die einen beschleunigten Ausbau der Wasserkräfte des Rheins erfordern. Andererseits weist die Note auf die Verkehrsbedürfnisse der beiden Länder hin, die es für notwendig erscheinen lassen, den Ausbau des Hochrheins an die Hand zu nehmen, zumal die Bauwürdigkeit außer Zweifel steht.

Die Schweizer Regierung wird eingeladen, Besprechungen über das Bau- und Finanzierungsproblem zu führen.

Note des Politischen Departements vom 5. Dezember 1938

Mit der Deutschen Regierung ist der Bundesrat der Ansicht, daß die noch hängigen Fragen, welche die Rheinschiffahrt zwischen Basel und Bodensee betreffen, abzuklären sind. In erster Linie handelt es sich um technische Fragen, die noch der Abklärung bedürfen.

Note der Deutschen Gesandtschaft vom 6. Februar 1939

In der Antwortnote erklärt sich die Deutsche Regierung bereit, Verhandlungen über die von der Schweiz vorgeschlagenen technischen Probleme zu führen und ersucht zugleich das Badische Finanz- und Wirtschaftsministerium, das Eidgenössische Wasserwirtschaftsamt zu einer Besprechung der noch offenen Fragen einzuladen.

E. Auer

Schweizerische Ingenieurtagung für Kernenergie

Der *Schweizerische Ingenieur- und Architektenverein* (SIA) organisierte gemeinsam mit der *Eidgenössischen Technischen Hochschule*, Zürich (ETH), der *Ecole Polytechnique de l'Université de Lausanne* (EPUL) und dem *Physikalischen Institut der Universität Neuenburg* eine Ingenieurtagung für Kernenergie, die vom 5. bis 7. April 1956 in Neuchâtel zur Durchführung kam.

Nach dem *Eröffnungsreferat* von Dr. *C. Keller*, Präsident der SIA-Fachgruppe für Maschineningenieurwesen, wurden einleitend Vorträge gehalten, die durch ihren wissenschaftlichen und theoretischen Aufbau schon große Anforderungen an die Zuhörerschaft stellten:

Introduction à la physique nucléaire
J. Rossel, Dr, Professeur à l'Université de Neuchâtel

Elementare Reaktortheorie
P. Scherrer, Dr., Professor an der ETH in Zürich

Spezielle Ergebnisse der Neutronenphysik
Paul Huber, Dr., Professor an der Universität in Basel

Nachstehend folgen Auszüge aus dem Einleitungsreferat und den weiteren Vorträgen, die unsere Leser besonders interessieren dürften, welche teils den für den Kurs ausgehändigten Kurzfassungen, teils der «*Neuen Zürcher Zeitung*», Nrn. 1186/1188, vom 25. April 1956 entnommen sind [1].

[1] Inzwischen sind in der «Schweiz. Bauzeitung» 1956, Heft Nr. 21, die Vorträge Keller, Rometsch, Alder, Bauer im Wortlaut erschienen, die anderen Vorträge werden in späteren Heften folgen; die in französischer Sprache gehaltenen Referate erscheinen vollinhaltlich im «Bulletin technique de la Suisse Romande».

Einleitung

Referat von Dr. *C. Keller*, Leiter der Forschungsabteilung der Firma Escher Wyß, Zürich

Die Entwicklung der Atomenergie ist nicht nur für den Physiker, sondern auch für den Ingenieur zu einem äußerst faszinierenden Ereignis unserer Zeit geworden. Die wirtschaftliche Überführung der im Atomkern gespeicherten Energie in mechanische Energie stellt aber die Technik vorerst noch vor schwierigere Aufgaben als dies bei den herkömmlichen fossilen Brennstoffen der Fall war. Die Wege und Möglichkeiten zur Ausbeute der durch Atomkernspaltung oder gar Kernvereinigung auf kleinstem Raum entstehenden Wärme sind mindestens so mannigfaltig wie bei bisherigen Wärmekraftanlagen. Die Fülle neuer Phänomene, Vorschläge und Verfahren ist selbst für den Fachmann verwirrend, und gar der mehr außenstehende Techniker wird durch die Tages- und Fachpresse, die diesen neuen «Schlager» gierig aufgreift, oft mehr verwirrt als informiert.

Die Kernenergietagung soll dazu beitragen, den Schweizer Technikern, die ja Anfang und erste Entwicklungszeit nur von Ferne miterleben konnten, eine möglichst sachliche Information über den Stand der Dinge zu geben. Es war der Leitgedanke der Veranstalter, die Probleme dabei in erster Linie vom Standpunkt des Maschineningenieurs aus zu behandeln. Denn dieser ist in Zusammenarbeit mit Physikern, Metallurgen und Chemikern in erster Linie dazu berufen, Atomkraftanlagen praktische Gestalt zu geben.

Für jedes Land stellt sich die Frage der Erschließung und Verwertung dieser neuen Energiequelle wohl verschieden, je nach seinen Reserven an hydraulischer oder kalorischer Energie und seinem Willen und Vermögen zur technischen Mitarbeit. Auch hier ist die Schweiz, wie in so vielen anderen Dingen, in einer besonderen Lage. Ausländische Vorgehen und Verfahren können und sollen nicht unbesehen übernommen oder weiterentwickelt werden. Die finanziellen Mittel und auch der mögliche Personaleinsatz sind beschränkt. Wenn wir aber schon, wie bei anderen technischen Errungenschaften der Neuzeit, keine Pionierarbeit mehr leisten können, so wäre es für unsere Industrie gefährlich, bei den jetzt einsetzenden Realisierungen zu lange beiseite zu stehen. Die Wahl unserer Marschrichtungen und die Entschlüsse, wie, wo und wieviel Techniker und Physiker in Hochschulen und Industrie eingesetzt werden sollen, setzt vertiefte Kenntnisse der neuen Phänomene und Technologien voraus. Solche Kenntnisse sollen einem weiteren Kreis in den kommenden Referaten und Aussprachen vermittelt werden.

Noch ist kein Jahr vergangen seit der *ersten internationalen Atomenergie-Konferenz in Genf*. Aus den vorgelegten Berichten wurde erstmals klar, wieviel Wissen und Material in den Kriegs- und Nachkriegszeiten hinter für uns verschlossenen Türen in staatlichen Laboratorien und Forschungsstätten der Industrie schon zusammengetragen war.

Am 2. Dezember 1942 hatte *Fermi* die erste kontrollierte Kettenreaktion an der Versuchspile in Gang gebracht, die in einem primitiven Keller der Universität Chicago aufgestellt war. Sein Code-Telegramm an andere Kernphysiker und Behörden meldete:

«The Italian navigator has landed, the natives are friendly.»

Diese Meldung bedeutete den eigentlichen Beginn des Atomzeitalters.

Die weitgehende Freigabe der seither gesammelten Grundlagen, vor allem in den Vereinigten Staaten von Amerika mit bisher über 10 000 Berichten, dann aber auch in England und Frankreich, hat die Industrie dieser Länder veranlaßt, sich mit großer Energie der Anwendung der Atomenergie für friedliche Krafterzeugung zu widmen. Staatlich geförderte Entwicklungsprogramme und Ausschreibungen für den Bau von Reaktoren und gesamten Kraftanlagen haben in erstaunlich kurzer Zeit die Krafterzeugung aus Atomanlagen aktuell werden lassen.

Heute stehen schon die ersten Atomkraftwerke in Betrieb, und weitere werden in der allernächsten Zeit in rascher Folge entstehen. Erhebliche finanzielle Unterstützung trägt in vielen Ländern dazu bei, Anlaufschwierigkeiten und Risiken der Industrie zu überbrükken und die Entwicklung rasch vorzutreiben. Wenn z. B. die Atomic Energy Commission (AEC) in ihrem Budget für 1957 eine Summe von rund einer Milliarde Schweizer Franken nur für Reaktorenbau einsetzt, was auf den Tag umgerechnet gegen drei Millionen Schweizer Franken ausmacht, so zeigt dies, mit welchen Konkurrenten Europa zu rechnen hat.

Ein technisch schon so lange hochentwickeltes und auf seine technischen Schulen und die Industrie wohl mit Recht stolzes Land wie die Schweiz kann an diesen Ereignissen nicht ohne große Anteilnahme vorbeigehen. Durch unsere guten Beziehungen mit dem Ausland ist meist durch freundschaftliche und persönliche Bande mit Wissenschaftern und Ingenieuren anderer Länder schon frühzeitig Kunde von den Fortschritten der Atomtechnik zu uns gelangt. In Hochschulen und in der Industrie haben sich auf freiwilliger Basis Studiengruppen gebildet. So hat z. B. die Arbeitsgemeinschaft der Industrie Brown Boveri, Sulzer und Escher Wyß gemeinsam die Vorarbeiten für den Schweizer Reaktor durchgeführt und auf diese Weise eine Gruppe von Atomfachleuten herangezogen. Die Schweizerische Kommission für Atomenergie unter der Leitung von *Prof. Scherrer* bemüht sich in Zusammenarbeit mit privaten Stellen, Wege zum Anschluß und zur Mitwirkung an einer neuen technischen Welt zu finden.

Frühere Vorträge und Kurse über Atomenergiegrundlagen, die Veranstaltung des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins vom Oktober 1954 in Zürich, dann das im vergangenen Winter an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich durchgeführte erste Seminar sowie der Einführungskurs im Februar 1956 an der Ecole Polytechnique de l'Université de Lausanne, waren stark besucht. Jene Kurse werden in Zukunft weitergeführt werden müssen, denn auch in der Heranbildung von Fachleuten gilt es in der Schweiz aufzuholen. Junge Schweizer werden sich aber eher dem neuen Studium zuwenden, wenn die Schweiz nicht nur abwartet, was im Ausland geschieht, sondern ebenfalls durch aktive Vorarbeiten für den Bau von Atomanlagen Arbeitsgelegenheiten im eigenen Land eröffnet. Wie wichtig die Heranbildung von Atomingenieuren andernorts genommen wird, zeigen die großen Zahlen z. B. in Amerika, England und Deutschland. *L. Strauß*, der Vorsitzende der AEC, hat an der Atomenergiekonferenz in Cleveland vom vergangenen Dezember erklärt, daß in Amerika allein jährlich gegen 1500 neue Leute

ausgebildet werden müssen, um den zukünftigen Bedarf von 20 000 bis 30 000 Mann für den Betrieb der kommenden Atomkraftwerke in den Vereinigten Staaten zu decken.

Es sollen nicht weitere Zahlen über Kapitalaufwendungen und ähnliches angeführt werden, die im Ausland für nötig erachtet werden, um maßgebend an der Erschließung der Atomenergie teilnehmen zu können. Es sind ja nicht nur ausschließlich Geld- und Personenaufwand, die einen Erfolg und eine maßgebende Stellung der technischen Neuentwicklung ermöglichen. Die Privatinitiative der Schweizer Industrie hat durch die natürliche Zusammenarbeit mit Hochschulen und Wissenschaft schon oft bewiesen, daß sich ein tüchtiger und arbeitsamer Kleiner gegenüber den Großen der Industrie im Ausland behaupten kann. Auch in der Atomtechnik mit ihren vielgestaltigen Anforderungen an Spezialisten in Chemie, Physik und Maschinenbau sollte dies möglich sein. Mehr als vielleicht allgemein bekannt ist, sind Ansätze und Willen zu solchem Tun vorhanden.

Die im vergangenen Februar durch die Amerikaner angekündigte Zurverfügungstellung von 20 t Uran-235 in einem Wert von 2 Mrd Schweizer Franken für außeramerikanische Länder gibt wohl Europa und auch der Schweiz in vermehrtem Maße Möglichkeiten, an der Erschließung der neuen Energiequelle aktiver als bisher teilzunehmen. Das Angebot an Kernbrennstoff entspricht — in elektrischen Maßeinheiten ausgedrückt — einer akkumulierten Wärmeenergiemenge von 500 Mrd kWh. Aus dieser Brennstoffmenge ließen sich in kalorischen Kraftwerken mit 25% Wirkungsgrad gerechnet, 125 Mrd kWh erzeugen, also fast das Zehnfache der heutigen jährlichen Stromerzeugung der Schweiz.

Diese Offerte dürfte viele Hindernisse beseitigen, die bisher die freie Entwicklung und den Betrieb der Reaktoren behinderten. Das gleiche gilt auch von der sich jetzt abzeichnenden Möglichkeit, Kraftanlagen kleinerer und mittlerer Leistungen von 5000 bis 50 000 kW vorteilhaft bauen zu können, bei denen natürlich technische Risiken und Kapitalbedarf erheblich geringer sind als bei den ersten sehr großen Pionieranlagen in Amerika und England.

Überblick über die Reaktorbauarten

Aus dem Referat von Dr. *W. Dubs*, Oberingenieur in Firma Escher Wyß AG, Zürich

Die heutigen Leistungsreaktoren produzieren Wärme durch Spaltung der schweren Atomkerne. Als spaltbare Materialien werden die folgenden Kerne verwendet: Uran-235, Plutonium-239 und Uran-233. Die Möglichkeiten, wie ein solcher Reaktor für die industrielle Energieentwicklung gebaut werden kann, sind außerordentlich mannigfaltig.

Um einen Überblick zu gewinnen, kann man die Reaktoren nach folgenden Gesichtspunkten einteilen:

Nach der Art der Zusammensetzung der Brennstoffelemente.

Nach der Art der für die Spaltung verwendeten Neutronen, das heißt Reaktoren, die mit thermischen, intermediären oder schnellen Neutronen arbeiten. Reaktoren, die mit den schnellen Neutronen arbeiten, besitzen zum Beispiel keinen Moderator.

In bezug auf die bauliche Struktur ist zwischen heterogenen Reaktoren mit einzelnen Brennstoffelementen und homogenen Reaktoren, in welchen der Brennstoff in einer Lösung gleichmäßig verteilt ist, zu unterscheiden.

Bezugnehmend auf die Wärmeabführung sind Reaktoren mit flüssigen und gasförmigen Kühlmitteln zu unterscheiden.

Die *ersten Leistungsreaktoren* wurden mit einem unter hohem Druck stehenden Kühlwassersystem ausgerüstet. Erwähnt seien: die Westinghousereaktoren für das Unterseebot Nautilus, das 60 000-kW-Kernenergiekraftwerk der Stadt Pittsburg, der russische 5000-kW-Leistungsreaktor und der kanadische Leistungsreaktor in der Nähe von Ontario.

Der Druckwasserreaktor, der zur Gruppe der heterogenen thermischen Reaktoren gehört, verwendet leichtes Wasser als Moderator und Kühlmittel. Die angereicherten Brennstoffelemente und die Kontrollstäbe, welche den eigentlichen Reaktorkern bilden, sind in einem Druckkessel angeordnet. Eine Umwälzpumpe fördert im geschlossenen Kreislauf das Druckwasser durch den Reaktorkern und den Dampferzeuger.

Ein wirksamer Weg zur Verbesserung der Ausbeute eines wassergekühlten Reaktors ist die Erzeugung des Turbinendampfes im Reaktor selbst, anstatt in einem Wärmeaustauscher. Man gelangt damit zum *Siedewasserreaktor*, der ebenfalls feste Brennstoffelemente besitzt und mit leichtem Wasser als Moderator betrieben wird. Die hauptsächlichste Ungewißheit über das Funktionieren des Siedewasserreaktors steht in Verbindung mit den durch das Sieden verursachten Dichteschwankungen des Moderators.

Als erster Vorstoß in das Gebiet der höheren Temperaturen hat die AEC den Bau eines mit *flüssigem Natrium gekühlten heterogenen Uran-Graphitreaktors* in Auftrag gegeben. Der ganze aktive Kern taucht in ein Kühlbad aus flüssigem Natrium, das bis auf etwa 600 ° C erhitzt wird. Um bei einer Dampfkraftanlage, wie sie im vorliegenden Falle vorgesehen ist (Frischdampf von 482 ° C und einem Druck von 88 at), jede Möglichkeit eines Kontaktes zwischen dem radioaktiven Natrium und dem Wasser im Dampferzeuger auszuschließen, ist ein zweifacher Wärmeaustauscher vorgesehen. Kernphysikalisch hat die Natriumkühlung gegenüber der Wasserkühlung den Nachteil einer schlechteren Neutronenökonomie.

Eine neue Bauart stellt der *schnelle Breederreaktor* dar, der außer Wärme gleichzeitig mindestens gleichviel neuen Brennstoff aus Uran 238 oder Thorium 232 fabriziert, wie er verbraucht. Die schnellen Breederreaktoren besitzen keinen Moderator. Aus dem kompakten Kern wird die Wärme mittels zirkulierenden flüssigen Natriums an den Kreislauf einer Wärmekraftmaschine übertragen. Die räumlich sehr konzentrierte Anordnung des Reaktormaterials ist außerordentlich schwer zu kühlen und wegen des hohen Neutronenflusses sehr anfällig auf Strahlungsschäden. Die hauptsächlichste konstruktive Schwierigkeit des schnellen Breederreaktors besteht in dem heiklen Kompromiß, der zwischen der nicht ausnützbaren Kompaktheit und einer nicht mehr arbeitsfähigen Auflockerung des Reaktorkernes gefunden werden muß. Es wird erwartet, daß der Breedergewinn und der gute thermische Nutzeffekt den vorliegenden Reaktortyp zu einem wirtschaftlichen Erfolg bringen werden.

Der homogene Reaktor zeichnet sich durch seine Einfachheit aus, besteht er doch im wesentlichen aus einem

druckfesten Kessel, der eine gleichmäßige Mischung von Brennstoff und Moderator enthält. Diese Mischung dient auch als Wärmeträger. Kernphysikalisch ist die gleichmäßige Mischung von Reaktormaterial und Moderator ungünstiger als die heterogene Bauweise, weshalb der homogene Reaktor nur mit angereichertem Brennstoff betrieben werden kann. Anderseits bietet der homogene Reaktor technisch wesentliche Vorteile. Es besteht z. B. die Möglichkeit, in einem Nebenstrom dauernd eine kleine Menge der umlaufenden Mischung zu regenerieren. Die Umtriebe für die Wiederaufarbeitung des Reaktormaterials sind von großem Einfluß auf die Wirtschaftlichkeit eines Reaktorbetriebes. Hier bietet der homogene Reaktor einen interessanten Ausblick.

Als Beispiel einer industriellen Anwendung von *gasgekühlten Reaktoren* sei das englische Kernenergiekraftwerk *Calder Hall* erwähnt, welches am 17. Oktober dieses Jahres den Betrieb aufnehmen soll. In der Anlage sind zwei Reaktoren aufgsetellt, die mit natürlichem Uran als Brennstoff, Graphit als Moderator und verdichteter Kohlensäure als Wärmeträger betrieben werden.

Die Calder-Hall-Reaktoren

Aus dem Referat von *L. Rotherham*, Direktor der Forschungsabteilung der englischen Atomenergiekommission

Im Mai 1953 ist das erste Kernenergiekraftwerk von England in Bau genommen worden. Es befindet sich bei *Calder Hall in Cumberland* in der Nähe der Windscale Works. Man rechnet damit, daß es bereits im kommenden Oktober Elektrizität ans Überlandnetz abgeben kann. Neben der Energieerzeugung wird das Werk auch *Plutonium* fabrizieren.

Das Kraftwerk besitzt zwei heterogene, mit Graphit moderierte Reaktoren, die als Brennstoff natürliches Uran verwerten. Die umhüllten Uranstäbe sind in vertikalen Kanälen, welche durch den Graphitmoderator gehen, angeordnet. Die über 1000 Tonnen Moderatorgraphit befinden sich in einem zylindrischen Druckgefäß. Dieses wurde auf der Baustelle aus 0,5 cm dicken Stahlblechen zusammengeschweißt und hernach mit elektrischer Strahlungsheizung spannungsfrei gemacht. Es hat einen Durchmesser von 12 m und weist eine Höhe von 18 m auf.

Als Wärmeträger dienen 10 Tonnen auf 7 Atmosphären verdichtete Kohlensäure, welche sich im Reaktor auf etwa 350 ° C erhitzt. Die Kohlensäure wird am obern Reaktorende durch vier Leitungen in die Wärmeaustauscher, die sich an den Ecken des Reaktorgebäudes befinden, geleitet. Jeder dieser vier Wärmeaustauscher ist in ein vertikales Stahlgefäß von 5,4 m Durchmesser und 21 m Höhe eingeschlossen. Der in den Wärmeaustauschern erzeugte Dampf wird zum Kontrollhaus, das sich zwischen den beiden Reaktorgebäuden befindet, geführt. Dort sind vier Turbogeneratorgruppen von je 23 000 kW elektrischer Leistung (11 kVolt) montiert.

Die Anlagen von Marcoule

Aus dem Referat von *M. Pascal*, Directeur-adjoint industriel au Commissariat à l'Energie atomique de France

Im Jahre 1952 wurde in Frankreich ein Fünfjahresplan für den Aufbau eines Zentrums zur Gewinnung von Plutonium aufgestellt. Im Jahre 1958 werden alle drei entworfenen Reaktoren und eine chemische Fabrik zur Abtrennung des Plutoniums erstellt sein.

Der erste Reaktor G_1 ist bereits im Betrieb. Es handelt sich um einen heterogenen, mit Graphit moderierten Reaktor, der als Brennstoff 10 Tonnen natürliches Uran enthält. Seine Wärmeleistung beträgt 40 000 kW. Der Reaktor wird mittels eines Luftstromes von 240 kg/s gekühlt. Die Kühlluft besitzt eine Austrittstemperatur von 220 ° C. Obwohl der Reaktor nicht als Leistungslieferant, sondern für die Fabrikation von Plutonium gebaut worden ist, wird die anfallende Wärmeenergie in einer *Versuchsanlage* in elektrische Energie umgewandelt. Die gewonnene Energie deckt jedoch nicht einmal den Elektrizitätsverbrauch der Kühlventilatoren.

Im November 1955 hat man mit dem Bau von zwei ähnlichen Reaktoren begonnen, dem G_2 und G_3. Auch bei ihnen dient natürliches Uran (je 100 Tonnen) als Brennstoff und Graphit als Moderator. Für die Kühlung ist jedoch an Stelle von Luft komprimierte Kohlensäure vorgesehen. Die Wärmeleistung wird 150 000 kW betragen. Der Reaktorkern befindet sich in einem Betonhohlzylinder — Wandstärke 3 m, Höhe 15,6 m, Durchmesser 14 m — der als Druckgefäß und biologischer Schild dient.

Beide Reaktoren werden mit thermischen Maschinen gekoppelt. Man rechnet mit einer totalen Leistung von 30 000 kW Elektrizität. Die Reaktoren G_2 und G_3 sollen Ende 1957 bzw. Mitte 1958 den Betrieb aufnehmen. Zur Gewinnung des Plutoniums wird die Aluminiumhülle der Uranstäbe — in diesen hat sich während des Betriebes das Plutonium gebildet — mechanisch entfernt. Hernach wird das Uran in Salpetersäure aufgelöst und die Lösung mit den üblichen Trennungsmitteln bearbeitet. Man erhält abschließend das Plutonium als Hydroxyd in salpetersaurer Lösung und das restliche Uran als Oxalat.

Ab 1958 wird die jährliche Plutoniumfabrikation von Marcoule 100 kg und die elektrische Leistung 50 000 kW betragen. Die beiden Reaktoren G_2 und G_3 dienen auch als Prototypen für den ersten französischen *Leistungsreaktor der EDF* (Electricité de France).

Hochtemperaturreaktoren

Aus dem Referat von *R. F. Benenati*, Prof. of Chemical and Nuclear Engineering, Brooklyn Politechnic, New York

Die ersten Reaktoren, die in Amerika gebaut worden sind, dienten lediglich der Herstellung von Isotopen für militärische Zwecke. Die dabei gewonnene Wärmeenergie wurde nicht verwendet, sondern abgeführt, d. h. die Reaktoren wurden gekühlt. Da man kein Interesse an der Umwandlung der angefallenen Wärme in Elektrizität hatte, strebte man naturgemäß auch nicht nach höheren Temperaturen, die einen guten thermischen Wirkungsgrad ergeben.

Für den Maschineningenieur ist der Reaktor eine Wärmequelle. Es stellt sich also die Frage, weshalb bei den bisherigen Reaktoren nur relativ niedrige Temperaturen realisiert worden sind. Kernphysikalisch ist eine kompakte Form des Urans (großes Verhältnis von Masse zu Oberfläche) günstig. Deshalb bestehen die Brennstoffelemente der meisten heterogenen Reaktoren aus zylindrischen Uranstäben. Nun hat aber das metallische Uran und übrigens auch das Plutonium die unangenehme Eigenschaft, bei Temperaturen von ungefähr 650 ° C einen Umwandlungspunkt zu besitzen, der zu Deformationen der Uranstäbe führt. Will man zu höheren Temperaturen gelangen, so scheint die Anwendung

von Uranlegierungen, Uranverbindungen oder Mischungen von Uranverbindungen mit Keramik aussichtsreich zu sein.

Die meisten Metalle besitzen große Neutronenabsorptionsquerschnitte, jedoch sehr gute Wärmeleitfähigkeit und Festigkeit. Keramikbrennstoffelemente, wie sie erstmals an der Atomkonferenz in Cleveland (USA) im vergangenen Dezember (Cleveland-Bericht, J. R. Johnson, «Ceramic Fuel Materials for Nuclear Reactors», Preprint 110) gezeigt worden sind, weisen kleine Absorptionsquerschnitte und bei hohen Temperaturen Wärmeleitfähigkeiten, die etwa gleich gut wie diejenigen der Metalle sind, auf. Um die Festigkeit und die Wärmeleitfähigkeit der Keramikelemente zu erhöhen, werden ihnen Metall- oder Siliziumverbindungen zugemischt und man erhält die sogenannten «Cermets»-Brennstoffelemente. Speziell günstig ist das SiC-Si, das einen Absorptionsquerschnitt von nur 0,1 barn (Aluminium: 0,2 barn) und bei 1000 ° C eine höhere Wärmeleitfähigkeit als rostfreier Stahl aufweist. Sowohl die Keramik- wie auch die Cermets-Brennstoffelemente werden bereits von der amerikanischen Privatindustrie hergestellt.

Welche Stoffe eignen sich nun als Wärmeträger für Hochtemperaturreaktoren? Wasser fällt natürlich wegen der riesigen Dampfdrucke nicht in Betracht. Flüssige Metalle stellen sehr hohe Anforderungen konstruktiver Art. Als Wärmeträger für Hochtemperaturreaktoren eignen sich vor allem Gas. Um gute Wärmeübergangszahlen zu erhalten, sind erhöhte Drucke notwendig. Um zwischen den vier Gasen (Luft, Kohlensäure, Stickstoff und Helium) das günstigste herauszufinden, müssen weitere Überlegungen angestellt werden.

Materialprobleme

Aus dem Referat von Dr. *R. Rometsch*, Chemiker in Firma Ciba AG, Basel

Die industrielle Anwendung der Kernenergie hat der Chemie verschiedene Impulse erteilt. Diese bestehen einerseits in der *Forderung*, bisher kaum benötigte Materialien in großen Mengen und von höchster Reinheit herzustellen. Anderseits ergibt sich aber auch die *Möglichkeit*, eine große Anzahl neuer, meist radioaktiver Isotopen und in der Natur nicht vorkommende Elemente gewinnen zu können.

Die *Materialforderungen*, welche für die Entwicklung der Kernenergie notwendig sind, können mit den bestehenden Chemieanlagen nicht bewältigt werden. Ein erstes Problem besteht in der Gewinnung und Aufarbeitung der *Kernbrennstoffe* (Uran 235, Uran 233, Plutonium 239). Das *Uran 235* kommt zu 0,7% im *natürlichen Uran* vor. Es ist deshalb in dieser Form das leichtest zugängliche und auch billigste spaltbare Material. Die Herstellung von natürlichem metallischem Uran in der Schweiz kommt in absehbarer Zeit nicht in Frage, hauptsächlich darum, weil bisher keine abbauwürdigen Uranvorkommen gefunden werden konnten. Auf Grund der bisherigen geologischen Untersuchungen ist allerdings ein abschließendes Urteil hierüber nicht möglich. Zudem sinkt die Grenze des noch als verarbeitungswürdig befundenen Gehaltes in Uranerzen mit der zunehmenden Verbesserung der Aufarbeitungsmethoden ständig. Sie liegt zurzeit bei ungefähr 200 g/Tonne für ausschließliche Uranherstellung und bei 60 bis 100 g/Tonne, falls noch andere wertvolle Stoffe aus dem gleichen Ausgangsmaterial verwendet werden können. Die U-Gehalte von Aarmassivgraniten bewegen sich vergleichsweise zwischen 12 und 38 g/Tonne, während im Tessin bituminöse Sedimente mit bis zu 96 g Uran pro Tonne gefunden werden konnten.

Das *Uran 235 in angereicherter Form* — leicht angereichert bis 2%, mittel bis 20% und hoch bis ungefähr 100 % — wird vor allem in Amerika als Kernbrennstoff bevorzugt, sicher zum Teil darum, weil die riesigen, während des Krieges aus militärischen Gründen erstellten Trennanlagen heute relativ wirtschaftliche Isotopenanreicherungen gestatten. Diese Anreicherungsanlagen arbeiten nach dem Prinzip der verschiedenen Diffusionsgeschwindigkeiten der Gase von U-238- und U-235-Hexafluorid durch Metallmembranen. Der Trenneffekt ist schlecht, es müssen bis zu 5000 Stufen, wobei jede Stufe aus einer Diffusionszelle und einem Kompressor besteht, hintereinander geschaltet werden. Vergleicht man die für die Trennung notwendige Energiemenge mit derjenigen, die man anschließend aus dem abgetrennten U 235 gewinnen kann, so kommt man zum Schluß, daß Reaktoren, die mit *hoch angereichertem Uran* arbeiten, eigentlich lediglich die Rolle von *Akkumulatoren* erfüllen.

Bei jedem Reaktor muß nach einer gewissen Betriebszeit das Uran regeneriert, das heißt die entstandenen Spaltprodukte müssen abgetrennt und aus dem Uran wieder neue Brennstoffelemente geformt werden. Diese Aufarbeitung des Urans ist eng verknüpft mit der *Plutonium-Herstellung;* denn dieses entsteht ja im Reaktor aus dem Uran 238, dem Hauptbestandteil des natürlichen Urans. Ein typisches amerikanisches Verfahren arbeitet zum Beispiel mit sechs bis acht hintereinander geschalteten Gegenstromextraktionskolonnen. In der ersten wird die saure wässrige Auflösung des gebrauchten Urans mit dem mit Wasser nicht mischbaren Lösungsmittel Hexon in vielfachen Kontakt gebracht, wodurch die Uran- und Plutonium-Salze von denjenigen der Spaltprodukte wegextrahiert werden. In der zweiten Kolonne wird das Plutonium, in der dritten das Uran durch Veränderung der Zusätze und des Geschwindigkeitsverhältnisses beider Phasen ins Wasser rückextrahiert. In allen weiteren Kolonnen werden die Prozesse wiederholt, bis die gesuchten Stoffe genügend rein sind.

Das *Plutonium* stellt einen ausgezeichneten Kernbrennstoff dar; denn es erlaubt die Konstruktion eines mit schnellen Neutronen, also ohne Moderator, arbeitenden Reaktors, der mindestens gleichviel Plutonium aus Uran 238 erzeugt, wie er verbraucht. Entsprechendes, jedoch für mit thermischen Neutronen arbeitende Reaktoren, gilt für das *Uran 233*. Auch dieses entsteht in Reaktoren, und zwar indem thermische Neutronen durch Thorium 232 eingefangen werden, wobei letzteres über Protaktinium in Uran 233 übergeht. Somit ergibt sich auch hier ein chemisches Trennproblem: Uran 233, Thorium, Protaktinium und die Spaltprodukte sind voneinander zu isolieren. Dazu werden Gegenstromextraktionskolonnen oder Ionenaustauscher verwendet.

An die *Reaktorkonstruktionsmaterialien* werden ganz besondere Anforderungen gestellt, so zum Beispiel Korrosionsbeständigkeit auch bei hohen Temperaturen gegen flüssige Metalle, gepaart mit niedriger Neutronenabsorption. Als sehr günstiges Metall hat sich *Zirkonium*

bewährt, doch ist seine Herstellung mit Schwierigkeiten verbunden. Zunächst muß es vom chemisch sehr ähnlichen Hafnium, das in allen Erzen als Begleitelement vorhanden ist, sehr vollständig getrennt werden, da das Hafnium zu den stärksten Neutronenabsorbern gehört. Für die Umsetzung zum Metall ist man vorläufig an ein noch recht kompliziertes, diskontinuierliches Umschmelzen mit Magnesium gebunden. Schließlich ist auch das Umschmelzen und Warmverarbeiten des Metalls nicht ohne Tücken, weil es dabei Stickstoff oder Kohlendioxyd aufnehmen kann, wodurch die sonst ausgezeichnete Korrosionsfestigkeit des Zirkoniums stark herabgesetzt wird.

Technische Aspekte über die Herstellung von schwerem Wasser

Aus dem Referat von Dr. *de Haller*, Direktor der Firma Gebrüder Sulzer AG, Winterthur

Die Produktion von schwerem Wasser gehört in das Gebiet der Isotopentrennung. Sie unterscheidet sich jedoch von der Trennung der schweren Isotopen durch die spezielle Lage von Wasserstoff und Deuterium im periodischen System der Elemente. Die physikalisch-chemischen Unterschiede sind bei den leichten Isotopen noch sehr ausgeprägt. Deshalb existieren viele prinzipiell mögliche Verfahren. Da aber die Konzentration von Deuterium im natürlichen Wasserstoff sehr klein ist und ein Kernreaktor große Mengen schweres Wasser benötigt, kommen für die Trennung nur diejenigen Modelle in Frage, welche ein industrielles und ökonomisches Arbeiten erlauben.

Die verschiedenen gegenwärtig verwendeten Trennverfahren sind die Elektrolyse von Wasser, die Destillation von Wasser oder Wasserstoff, die Austauschreaktion zwischen Wasser und Wasserstoff oder Schwefelwasserstoff. Die Wahl der Methode richtet sich nach den örtlichen Verhältnissen und danach, ob es sich um eine eigentliche Produktionsanlage für schweres Wasser oder um die Verwertung eines Nebenproduktes handelt. Oft werden auch Kombinationen der aufgezählten Verfahren verwendet.

Die Bedeutung des schweren Wassers für die Zukunft ist heute noch nicht zu übersehen. Es ist möglich, daß es bei der Realisierung des Thorium-Breeder-Reaktors, wegen seines außerordentlich kleinen Absorptionsquerschnittes für Neutronen, von großer Wichtigkeit sein wird. Die Weltproduktion an schwerem Wasser wird auf 300 Tonnen pro Jahr geschätzt.

Strahlenschutzproblem bei Kernreaktoren

Aus dem Referat von Dr. *F. Alder*, Physiker bei der Reaktor AG, Würenlingen

Die schädigende Wirkung der radioaktiven Strahlen ist seit über fünfzig Jahren bekannt. Sie äußert sich in harmlosen Fällen durch Ermüdungserscheinungen, Appetitlosigkeit und Verdauungsstörungen, während in ernsteren Fällen Schädigungen der Haut, der Keimorgane und der blutbildenden Organe auftreten können, die bei chronischer Bestrahlung zu bösartigen Geschwüren und frühzeitigem Tod führen.

Die radioaktiven Strahlen ionisieren die Materie, ähnlich wie die Röntgenstrahlen. Die bei der Ionisierung umgesetzte Energie bildet ein Maß für die Intensität der Strahlung. Die biologische Schädigung hängt aber nicht nur von der umgesetzten Energie, sondern wesentlich von der Art der ionisierenden Strahlen ab. Es ist deshalb zweckmäßig, die Strahlendosis für biologische Fragen in «rem» (roentgen equivalent man) anzugeben, einer Einheit, die der Intensität und der Art der Strahlung Rechnung trägt. Unter der «*Toleranzdosis*» versteht man die maximal zulässige Strahlungsdosis, die bei der Exposition des menschlichen Körpers nach dem derzeitigen Stand der Kenntnisse während einer Woche nicht überschritten werden darf. Nach den Empfehlungen durch die «International Commission on Radiological Protection» beträgt die Toleranzdosis heute 300 mrem pro Woche (1 mrem = 10^{-3} rem).

An der Oberfläche eines nicht abgeschirmten Schwerwasserreaktors, der mit 10 000 kW betrieben wird, beträgt die Strahlendosis (vorwiegend Neutronen und Gammastrahlen) rund $4 \cdot 10^{12}$ mrem pro Woche. Damit in der Nähe eines solchen Reaktors überhaupt gearbeitet werden kann, muß die Strahlung um mindestens 10 Zehnerpotenzen abgeschwächt werden. Während zur Abschirmung von Neutronen vor allem leichte Elemente wie Wasserstoff geeignet sind, verlangt die Abschwächung von Gammastrahlen möglichst schwere Elemente. Daraus ergibt sich im allgemeinen ein komplexer Aufbau der Reaktorabschirmung.

Ein besonderes Problem stellt die Beseitigung des radioaktiven Abfalls dar. Radioaktivität kann nicht vernichtet werden. Beseitigung bedeutet daher entweder eine gefahrenlose Lagerung oder eine Verdünnung auf ungefährliche Konzentrationen. Vielversprechend sind in dieser Hinsicht die Versuche mit Montmorillonit-Ton, mit dessen Hilfe die aktiven Produkte in diesem lokalisiert werden können.

Aus den verschiedenen Berichten der großen englischen und amerikanischen Atomenergieforschungsstätten geht eindeutig hervor, daß die heutigen Schutzmaßnahmen völlig genügen, um dem durch radioaktive Strahlung entstandenen Gefahrenmoment zu begegnen. Neben den eigentlichen Abschirmungen ist eine wirkungsvolle Überwachung von Menschen und Tieren, von Luft und Wasser, sowie der Kulturen in einem größeren Umkreis unerläßlich.

Schweizerische Bestrebungen auf dem Gebiet der Kernreaktoren

Aus den Referaten von Dr. *R. Sontheim*, Direktor der Reaktor AG, Würenlingen

Als Folge der Anstrengungen sämtlicher Staaten auf dem Gebiete der Anwendung der kernphysikalischen Forschungsergebnisse wurde auch in der Schweiz die Notwendigkeit erkannt, sich in dieses Gebiet möglichst rasch und umfassend einzuarbeiten. Die Anstrengungen der schweizerischen Industrie, der eidgenössischen Behörden sowie der wissenschaftlichen Institute führten am 1. März 1955 zur Gründung der *Reaktor AG, Würenlingen*. An der Finanzierung dieser Gesellschaft sind über 125 Aktionärfirmen beteiligt, die sich in das Aktienkapital wie folgt teilen: Industrie 49 %, Elektrizitätswerke 31 %, Banken, Versicherungen und Finanzierungsgesellschaften 20 %. Der Geschäftsleitung stehen *11 Kommissionen* auf folgenden Gebieten beratend zur Seite:

1. Bauprojekt; 2. Betriebsfragen; 3. Schutzmaßnahmen; 4. Energiefragen; 5. Metallurgie; 6. Chemie; 7. Maschinenbau; 8. Apparatebau; 9. Schweres Wasser; 10. Patente und Lizenzen; 11. Finanzfragen.

Die Aufstellung einer weiteren Kommission für wissenschaftliche Fragen wird geprüft.

Mit der *Eidgenossenschaft* bestehen *zwei Verträge*, von denen in dem einen an die Errichtung und den Betrieb eines *Atomreaktors* für *die Reaktor AG* fünf Millionen Franken vorgesehen sind, wobei darin der Spaltstoff als reines und natürliches Uran mitenthalten ist. Der zweite Vertrag betreffend die Übernahme der Betriebskosten eines Atomreaktors enthält Bestimmungen, wonach der Bund während des Baues des Reaktors zur Deckung der laufenden Verwaltungs- und Entwicklungskosten einen Betrag von höchstens 1,8 Millionen Franken zu zahlen bereit ist und darüber hinaus nach dessen Fertigstellung einen jährlichen Beitrag von höchstens einer Million Franken während fünf Jahren an die Betriebskosten beisteuert. Ein weiterer Vertrag mit dem Bund wurde bei der Übernahme des in Genf von den Vereinigten Staaten erworbenen Swimming-Pool-Reaktors abgeschlossen. Er regelt in einem Teil den Kauf des Reaktors und im andern die Lieferung des auf 20 % Uran 235 angereicherten Spaltstoffes, die Miete durch uns sowie die Wiederaufbereitung in Amerika.

Für den *Bau ihrer Einrichtungen* besitzt die Reaktor AG auf dem Gelände der Gemeinde Würenlingen längs der Aare ein Stück Land von der Größe von etwa 60 000 m². Ein weiteres Stück von ähnlicher Größe ist sichergestellt und kann im Bedarfsfalle von der Reaktor AG erworben werden. Auf Grund der von der *Arbeitsgemeinschaft* der drei Firmen *Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie., Escher-Wyß-Aktiengesellschaft und Gebrüder Sulzer Aktiengesellschaft* sowie der Ingenieurgemeinschaft der zwei Firmen *Elektro-Watt AG* und *Motor-Columbus AG* geleisteten Vorarbeiten wurde im April 1955 ein Projekt für einen schweizerischen *Schwerwasser-Versuchsreaktor* ausgearbeitet und den zuständigen Stellen zur Einsichtnahme übergeben. Als im Sommer 1955 die internationale Genfer Konferenz über Fragen der friedlichen Verwertung der Atomenergie zu Ende ging, verstärkte sich sehr bald der Eindruck, daß das damalige Projekt im Hinblick auf die in Genf zutage getretenen Überlegungen überprüft werden mußte. Es wurde deshalb nach eingehenden Besprechungen der Beschluß gefaßt, durch Vermehrung der Uran-Spaltstoffelemente sowie durch Vergrößerung der Schwerwassermenge die Nennleistung des Reaktors um 25 % zu erhöhen, wodurch bedeutende zeitliche und technische Vorteile für die Durchführung von Versuchen erreicht werden. Dieser Entschluß konnte um so leichter gefaßt werden, als in Genf von den Vereinigten Staaten von Amerika bekanntgegeben wurde, daß Schweres Wasser zum Preise von 26,5 Rp. pro g loco Amerika lieferbar sei. Das neu überarbeitete Projekt dieses Schwerwasserreaktors ist in der Zwischenzeit vom Verwaltungsrat der Reaktor AG genehmigt worden, und die Entwicklungs- und Kontruktionsarbeiten sind in vollem Gange. Mit einer Inbetriebnahme dieses Reaktors wird auf Ende 1958 gerechnet.

Der in Genf durch die Reaktor AG von den Vereinigten Staaten für etwa 770 000 Fr. erworbene *Swimming-Pool-Reaktor* darf infolge seiner vielfältigen Verwendungsmöglichkeit als ideales Experimentiergerät für Hochschulen und Universitäten unseres Landes angesprochen werden. Überdies erlaubt es dieser Swimming-Pool-Reaktor, früher als dies mit dem Schwerwasserreaktor der Fall gewesen wäre, Erfahrungen zu sammeln und insbesondere Fachkräfte und Betriebspersonal auszubilden.

Mit diesen beiden Reaktoren, die sich für die Aufgabe der Reaktor AG in idealer Weise *ergänzen*, wird die Reaktor AG über zwei Forschungs- und Experimentieranlagen verfügen. die für die ihr übertragenen Aufgaben, nämlich

die Ausbildung von Fachkräften für die Industrie,
die wissenschaftliche Forschung,
die technischen Untersuchungen von Materialien für den Bau von Kraftreaktoren

große Dienste leisten werden.

Im Zusammenhang mit den vorerwähnten Arbeiten darf hier gesagt werden, daß verschiedene *Firmen* mit ihrem eigenen Personal und zu ihren eigenen Lasten Arbeiten ausführen und Versuche im Gange haben, die für die Entwicklung und den Bau der beiden Reaktoren von ausschlaggebender Bedeutung sind. Es betrifft dies hauptsächlich die *Projektierungsarbeiten* und die *Bauleitung*, die der Ingenieurgemeinschaft der beiden Firmen Elektro-Watt und Motor-Columbus übertragen sind sowie die von der Arbeitsgemeinschaft der Firmen AG Brown, Boveri & Cie., Escher-Wyß AG und Gebrüder Sulzer AG durchgeführten *Berechnungsarbeiten* und *Versuche*. Darüber hinaus haben die Aluminium-Industrie AG sowie die Ciba AG für uns nützliche Untersuchungen im Gange und bei der Firma Landis & Gyr AG ist ein Pile-Simulator fertiggestellt worden, der für die Entwicklung der Reaktorsteuerung eine unumgängliche Voraussetzung ist. Alle diese Anstrengungen werden in den genannten Firmen auf eigene Kosten durchgeführt.

Kernenergiereserven

Aus dem Referat von Dr. *F. Houtermans*, Professor an der Universität Bern

Prinzipiell bestehen zwei Wege zur Verwertung der Kernenergie: der der Kernspaltung eines der Elemente *Uran* oder *Plutonium* und der der technisch kontrollierten Verwertung von Fusionsreaktionen leichter Elemente. Von den letzteren wissen wir nur, daß in der Wasserstoffbombe Fusionsenergie verwertet wird; aber über eine technische Verwendung von Fusionsreaktoren liegen in publizierter Form nur Spekulationen vor. Grundsätzlich scheint auch dieser Weg gangbar, wobei freilich eine stationär bei höherer Temperatur arbeitende Energiequelle, wie sie im Innern der Fixsterne vorliegt, für terrestrische Zwecke sicherlich nicht in Frage kommt.

Die *Abschätzung* der Energiereserven, die in der Verwertung der Uranspaltung liegen, hängt entscheidend davon ab, ob es in absehbarer Zeit gelingen wird, auch die in dem Uran-Isotop U 238 und Th 232 schlummernde Energie großtechnisch in ökonomischer Weise zu verwerten. Die landläufigen Reaktoren verwerten bekanntlich nur die Energie des durch thermische Neutronen spaltbaren U 235. Prinzipiell ist das Problem des Breeding-Reaktors bereits gelöst. Pro Kernspaltung werden im Mittel etwa 2,5 Neutronen frei, von denen genau eines zur Aufrechterhaltung der Kettenreaktion benötigt wird, so daß etwa 1,5 Neutronen pro Spaltprozeß für Verluste zur Verfügung stehen. Ge-

lingt es, hievon gerade 1 Neutron für den Einfang durch U 238, der schließlich zu Pu 239 führt, zu verwerten, so wird jedes verbrauchte U-235-Atom durch ein Pu-239-Atom ersetzt, das gleichfalls durch thermische Neutronen spaltbar ist, so daß schließlich die ganze vorhandene Uranmenge für den Energieverbrauch zur Verfügung steht. Genau das gleiche gilt für ein Gemisch von Th 232 mit künstlich abgetrenntem U 235 oder mit Pu 239, wobei Th 232 in U 233 umgewandelt wird. Dieses ist gleichfalls durch thermische Neutronen spaltbar, so daß Th als Energiereserve in einem Breeding-Reaktor praktisch ebenso wertvoll ist wie Uran.

In der Folge soll vorausgesetzt werden, daß der Breeding-Prozeß wirklich technisch gangbar ist.

Die Frage der Energiereserven der Menschheit in sichtbaren oder vermuteten Uranvorkommen hängt davon ab, welche Urankonzentration in einem gegebenen Zeitpunkt und in einem gegebenen Land als ökonomisch verwertbar erachtet wird. Demnach gehen auch die Schätzungen sehr stark auseinander.

Der *Energiebedarf* pro Kopf der Bevölkerung variiert sehr stark je nach der industriellen Entwicklung der einzelnen Länder; wird er in einem Jahresverbrauch von Kohle ausgedrückt, so beträgt er gegenwärtig für die Vereinigten Staaten etwa 8 t Kohle pro Jahr und dürfte für die Schweiz mit etwa 3 t pro Jahr zu beziffern sein. Soll die gesamte in der Kohle steckende Energie hiebei in Rechnung gestellt werden, das heißt berücksichtigt man nicht den thermischen Wirkungsgrad der Wärmekraftmaschinen, in denen die Brennstoffe verwertet werden, so kommt der genannte Energieverbrauch einer Dauerleistung von etwa 8 kW pro Kopf der Bevölkerung für die Vereinigten Staaten und 3 kW für die Schweiz gleich. Man hat berechnet, daß die klassische Energiereserve fossiler chemischer Energie, wie Öl, Kohle usw., bei dem gegenwärtigen Verbrauch der Menschheit nur für etwa 150 bis 300 Jahre reichen dürfte und die aus der direkten Sonnenenergie gewonnenen ausbaufähigen Wasserkräfte bei weitem — auch in gebirgigen Ländern wie der Schweiz — nicht ausreichen, auch nur einen erheblichen Bruchteil der Gesamtenergie zu decken.

Nun hat sich aber der *Energieverbrauch pro Kopf* der *Bevölkerung* selbst in den industriell höchstentwikkelten Ländern in den letzten 10 Jahren etwa verdoppelt, und dieser Anstieg dürfte für die industriell unterentwickelten Länder noch erheblich größer sein. Ferner dürfte sich auch die Bevölkerungszahl der Erde in 50 Jahren etwa verdoppeln, und hier ist gleichfalls ein prozentual stärkerer Anstieg bei den unterentwickelten Ländern zu erwarten. Im Jahr 1950 schätzte Bain die in sichtbaren Uranreserven schlummernde Energie nur recht niedrig ein. Er gibt einen Vorrat von 58 000 t Uran an, was bei dem gegenwärtigen durchschnittlichen Energieverbrauch der gesamten Menscheit nur für etwa 40 Jahre reichen würde. Wohl infolge der Einbeziehung wesentlich ärmerer Uranerze und der großen inzwischen aufgefundenen Uranquellen gibt Putnam im Jahre 1954 die sichtbaren Uranreserven mit 23 Mio t an, also etwa vierhundertmal mehr. Beim gegenwärtigen Energieverbrauch bedeutet das eine Reserve für 16 000 Jahre. Man muß aber nun bedenken, daß die sogenannten reichen Uranerze, und als solche sollen diejenigen verstanden werden, die mehr als etwa 0,1 Prozent Uran enthalten, recht ungleich verteilt sind und meist im Machtbereich der großen Länder liegen, die besonders im Fall politischer Krisen sicherlich wenig freigebig mit ihrem Uran sein werden, da das kostbare U 235 und Pu 239 für militärische Zwecke gestapelt werden wird, wie das wohl schon heute geschieht.

Um die *geochemische Vorratssituation* zu beurteilen, ist es notwendig auf die Tatsache hinzuweisen, daß von allen Schwerelementen, darunter auch von U und Th nur ein äußerst kleiner Bruchteil, sicher weniger als 10^{-8} in Materialien konzentriert ist, die mehr als 1 Promille Uran enthalten. *Ahrens* hat vor einiger Zeit an einigen Elementen ein geochemisches Verteilungsgesetz aufzustellen versucht, wonach die Häufigkeit des Vorkommens seltener Elemente in semilogarithmischer Darstellung durch eine Gaußsche Fehlerkurve wiedergegeben wird. Freilich ist dieses Gesetz von anderer Seite in seiner universalen Anwendbarkeit bezweifelt worden, doch glaubt man nicht sehr fehl zu gehen, wenn es für das Uran und Thorium angewendet wird. Die mittlere Häufigkeit des Urans in Urgesteinen, wie dem Granit, beträgt etwa 5 g/t, die vom Th etwa das Dreifache. Setzt man die Verwertbarkeit des Urans in einem Breeding-Reaktor voraus, so enthält ein durchschnittlicher Granit oder ein aus Urgesteinen stammender Sand etwa elfmal mehr Energie als das gleiche Gewicht Kohle, selbst wenn der Th-Gehalt nicht berücksichtigt wird; mit Berücksichtigung des Thoriums etwa das Vierzigfache der Energie der gleichen Menge Kohle. Das bedeutet, daß wenn U und Th beide verwertet würden, etwa 97,5 Prozent der gewonnenen Energie für Aufarbeitung des Urans und Thoriums verwendet werden könnten und das Ausgangsmaterial immer noch so gut wäre wie Kohle.

Es steht außer Zweifel, daß dieses technologische Problem *lösbar* ist. Günstig wirkt sich hiefür aus, daß das Vorhandensein von Uran und Thorium in der genannten geringen Konzentration in Durchschnittsgesteinen, die sogenannte «Allgegenwart» des Urans, sich nicht als ein chemisches Durchmischungsphänomen, sondern als ein mineralogisches Phänomen erweist. Wie Evans und Goodman und später auch nach der photographischen Methode Coppens, Picciotto und andere gezeigt haben, ist der größte Teil des in den Urgesteinen vorhandenen Urans in einigen wenigen accessorischen Mineralanteilen konzentriert, von denen vor allem zu nennen sind: Zirkon, Monazit, Titanit, Ilmenit, Orthit, Apatit, Pyrochlor. Es ist daher verhältnismäßig leicht, aus Gesteinspulvern, ja sogar aus natürlichen Sanden, von denen praktisch unbegrenzte Vorräte vorhanden sind, die geringen Mengen accessorischer Mineralien mit rein physikalischen Methoden, die ökonomisch durchaus diskutabel sind, abzutrennen. Im Laboratorium geschieht dies durch Trennung in Schwerflüssigkeiten, die dabei nicht verbraucht werden, und durch magnetische Scheidungsverfahren. Durch die freundliche Mitwirkung des Mineralogischen Instituts der Universität Bern *(Prof. E. Niggli)* und die Unterstützung solcher Vorversuche durch die Firma Gebrüder Sulzer AG konnte gezeigt werden, daß sich aus gewöhnlichen Aaresanden unschwer Zirkonfraktionen abtrennen lassen, die ein α-Aequivalent an Uran von etwa bis 2000 g/t haben, was einem Urangehalt von etwa 0,1 Prozent und einem Thoriumgehalt von etwa dem dreifachen entsprechen dürfte.

Die Kernenergie in der zukünftigen europäischen Bilanz

Aus dem Referat von *P. Sevette*, Leiter der Abteilung für elektrische Energie der CEE

Die Abschätzung des Energiebedarfes der europäischen Länder ist außerordentlich schwierig. Nach Berichten der Genfer Atomkonferenz rechnet man mit einer jährlichen Steigerung des Energieverbrauches von 2 bis 3,5 %. Diese Zahlenangaben variieren jedoch sehr stark von Land zu Land. Die europäischen Kohlenvorräte nehmen stetig ab, und es zeigen sich auch Förderschwierigkeiten, bedingt durch den Mangel an Arbeitskräften. Deshalb haben die Preise der fossilen Brennstoffe steigende Tendenz. Die Abschätzung des Potentials an hydroelektrischen Energiequellen ist äußerst schwierig, und es läßt sich lediglich eine obere Grenze mit einer gewissen Exaktheit angeben. Die ökonomische Kommission für Europa hat abgeschätzt, daß die wirtschaftlich ausbaufähigen Projekte lediglich 20 bis 30 % der theoretischen Werte betragen. Der Bau von hydroelektrischen Anlagen ist auch durch die möglichen Kapitalinvestitionen begrenzt. Befinden sich die Kraftwerke nicht am Ort des Verbrauchers, so muß mit zusätzlichen Transportkosten gerechnet werden. Der Transport von 150 MW Elektrizität über eine Distanz von 400 km kostet halb so viel, wie ein thermisches Kraftwerk gleicher Leistung. Natürlich kann man durch die Kernenergie diese Nachteile überbrücken, da sie in der Nähe der Verbraucher aufgestellt werden können.

Die meisten europäischen Länder, bei denen die hydroelektrische Energie im Vordergrund steht (Spanien, Finnland, Italien, Schweden und die Schweiz), werden in zwanzig Jahren vollständig ausgebaut sein. Österreich, Norwegen, Portugal, Rumänien, die Türkei und Jugoslawien werden auch nach Ablauf dieser zwanzig Jahre noch über gewisse ausbaufähige Wasserkräfte verfügen. Selbst Länder, die mineralische Energiequellen besitzen, werden ebenfalls in Kürze ihre hydroelektrischen Möglichkeiten ausgeschöpft haben und gezwungen sein, immer mehr Kohle zu fördern. Für Frankreich wird dies in zwanzig Jahren der Fall sein, für Bulgarien, Griechenland und Ungarn etwas später. England, Belgien und die Tschechoslowakei, die vor allem über fossile Brennstoffe verfügen, könnten theoretisch immer mehr Kohle fördern, doch zeigen sich dort die erwähnten Schwierigkeiten, so daß beispielsweise England schon gegenwärtig eine andere Energiequelle benötigt.

Die Kernenergie im Rahmen der schweizerischen Energiewirtschaft

Aus dem Referat von Dr. *B. Bauer*, Professor an der ETH in Zürich

Die rapide Steigerung des jährlichen Bedarfs an elektrischer Energie beansprucht die *europäische Kohlenförderung* in beängstigendem Maß, vermag doch die Wasserkraft heute nur etwa ein Drittel des Bedarfes zu decken. Wenn es nicht gelingt, dem wachsenden Kohlenhunger der Elektrizitätsbetriebe einen kräftigen Dämpfer aufzusetzen, wird deren Jahresbedarf in 15 bis 20 Jahren an die heutige Förderkapazität der europäischen Gruben heranreichen. Dabei ist zu bedenken, daß ja noch andere, ebenso wichtige Verbraucher an Kohle ihren Anspruch am knappen Vorrat erheben und übrigens den Vorzug der bessern Ausnützung dieser Energiequelle aufweisen. Der weiteren Steigerung der Förderkapazität scheinen anderseits erhebliche technische, wirtschaftliche und nicht zuletzt soziologische Schwierigkeiten entgegenzutreten. So wird der Einsatz der Kernenergie in die Stromversorgung Europas trotz der heute noch herrschenden Unreife ihrer Technik zum dringlichen Erfordernis.

Ebenso wichtig und dringlich ist der weitere *Ausbau* der europäischen *Wasserkraftvorkommen*. Europa könnte auf diesem Weg rascher und mit geringerem Kapitalaufwand zur Entlastung des Kohlenverbrauchs gelangen. Die gesamte heutige Jahresproduktion läßt sich ungefähr vervierfachen, wenn man die jugoslawischen und rumänischen Nutzungsmöglichkeiten und jene im Norden Europas hinzurechnet. Hiebei ist natürlich vorausgesetzt, daß die erforderlichen Leitungen erstellt werden zum Einbezug dieser Wasserkräfte in das zentrale europäische Versorgungsgebiet.

Wie wird sich die schweizerische Energiewirtschaftspolitik im Licht dieser Entwicklung gestalten? Man könnte zunächst glauben, daß die Schweiz als Land mit relativ reichem Vorrat an unausgebauten Wasserkräften keine Eile hätte mit dem Einbezug von *Kernenergie* in unsere Elektrizitätsversorgung. Unsere Bauingenieure schätzen die mögliche Jahresproduktion der noch brachliegenden ausbauwürdigen Nutzungsmöglichkeiten auf mindestens *15 Milliarden kWh*. Unter Beibehaltung des bisherigen Wachstumsgesetzes des Bedarfs könnte man demnach hoffen, den Landesverbrauch bis zu einem Zeitpunkt im Abschnitt 1970 bis 1980 aus eigenen Energiequellen zu befriedigen. Dieses Resultat ist indessen irreführend. Zunächst ist zu sagen, daß die obige Rechnung die wachsenden Widerstände gegen den Kraftwerkbau nicht einkalkuliert hat. Dann ist fraglich, ob gerade dieser Schwierigkeiten wegen und dann auch aus kapitalwirtschaftlichen Gründen der Kraftwerkbau in seinem Zeitprogramm dem steigenden Bedarf wird folgen können. Auf den aushilfsweisen Fremdstrombezug vom benachbarten Ausland darf nicht mit Sicherheit gerechnet werden, denn dieses wird selbst in eine Periode des chronischen Energiemangels geraten. Die Schweiz muß sich daher, noch ehe sie zur Eigenerzeugung elektrischer Energie aus Kernkraft bereit sein wird, ernstlich mit der Erstellung von *thermischen Kraftwerken* vertraut machen (oder mit der Beteiligung an solchen ausländischen Aufstellungsorts).

Aus zwei Gründen sollte man in der Schweiz mit den dahinzielenden Vorbereitungen nicht zuwarten, bis uns die Not zum Handeln zwingt. Da drängt sich zunächst die Überlegung auf, daß der Typus des *Kernenergiekraftwerks*, der den Anforderungen der Großmächte einmal voll entsprechen mag, nicht ohne weiteres für unsere Verhältnisse das Richtige sein wird. Wir können keine Großkraftanlagen in amerikanischem Ausmaß brauchen. Wir werden weder eigene Anlagen zur Aufbereitung und Anreicherung des Urans noch solche zur Regenerierung der «Brennstoff»-Elemente erstellen und betreiben können. Wir haben auch kein militärisches Interesse am Plutoniumanfall. Es ist unsere erste Aufgabe, den *schweizerischen Typus* des Kernenergiekraftwerks in Art und Größe zu studieren. Vielleicht erscheinen verschiedene Lösungen als geeignet. Mit dem Studieren allein wird es beim heutigen Stand der Dinge leider nicht getan sein. Wir werden Versuchsausführungen mit Leistungen von 5 bis 10 MW

erstellen und betreiben müssen, um aus den praktischen Ergebnissen die Richtlinien für die unseren Verhältnissen angepaßte Bauart der Zukunft zu gewinnen. Bis wir glücklich so weit sind, wird der Zeitpunkt des vollständigen Ausbaus der Wasserkräfte in die Nähe gerückt sein. Wir haben also keine Zeit mehr zu verlieren.

Dieses Programm drängt sich auch aus einem anderen Grunde auf; unsere führende *Industrie* der Maschinen-, Apparate- und chemischen Branche ist der Auffassung, daß sie zur weiteren Entwicklung der Reaktortechnik manchen nützlichen Beitrag zu leisten vermöchte. Sie ist willens, die Probleme intensiv zu bearbeiten und glaubt, eigene Lösungen verwirklichen zu können, welche ihren Exportinteressen dienlich wären. Die Erprobung solcher Lösungen in landeseigenen Versuchskraftwerken wäre diesem volkswirtschaftlich wichtigen Vorhaben in hohem Maße förderlich. Es würde auch die Sicherheit der zukünftigen Landesversorgung mit elektrischer Energie festigen, wenn wir in der Erstellung unserer kommenden Kernenergiekraftwerke auch im Reaktorteil nicht ausschließlich auf ausländische Industrielieferungen angewiesen wären.

So erscheint aus den genannten zwei Überlegungen die *freiwillige Zusammenarbeit* von Elektrizitätsunternehmungen und Industriegruppen zwecks Studium und Erprobung von typischen Versuchskraftwerken auf Basis der Kernenergie als der richtige Weg zur Anbahnung einer aktiven schweizerischen Atomenergiepolitik. Diese Entwicklung müßte außerhalb der Reaktor AG erfolgen, deren Aufgabe ja nicht darin besteht, bestimmte Reaktortypen zu bauen und zu betreiben, sondern die technisch-wissenschaftlichen Grundlagen der Bauelemente des Reaktors in ihren Versuchsanlagen zu erforschen.

Anläßlich dieser Kernenergie-Tagung wurde in der Universität Neuenburg eine kleine, aber interessante *Ausstellung* gezeigt, an der neben schematischen und photographischen Darstellungen amerikanischer Reaktoranlagen besonders ein Modell 1 : 250 für die von der Ingenieurgemeinschaft Elektro-Watt AG, Zürich, und Motor-Columbus AG, Baden, projektierte Gesamtanlage für die Versuchsreaktoren Würenlingen und ein Modell 1 : 20 des von der Studiengemeinschaft AG Brown, Boveri & Cie., Baden, Escher Wyß AG, Zürich, und Gebr. Sulzer AG, Winterthur, projektierten Reaktors zu sehen waren; zudem fanden instruktive Filmvorführungen aus Frankreich, Großbritannien und den USA über den Bau von Reaktoren und entsprechende Versuche statt.

Das Schlußwort der von 340 Teilnehmern besuchten Tagung hielt Ing. Dr. h. c. *E. Choisy*, Genève, Präsident des SIA. *Tö.*

Die Schweiz und die Atomprobleme

Schaffung einer Verfassungsgrundlage

Da in der Schweiz eine verfassungsmäßige und gesetzliche Grundlage auf dem Gebiete der Atomenergie noch fehlt, befassen sich zurzeit zwei ad hoc gebildete eidgenössische Kommissionen mit den Atomproblemen von öffentlichem Interesse. Eine Studienkommission für Atomenergie bearbeitet die wissenschaftlichen Fragen, während die wirtschaftlichen und handelspolitischen Aspekte durch eine interdepartementale Administrativkommission, in der die interessierten Departemente und Ämter vertreten sind, untersucht werden. Dieses Vorgehen drängt sich schon darum auf, weil sich unser Land an den intensiven Bestrebungen zur Sicherung einer internationalen Zusammenarbeit auf dem Gebiete der friedlichen Verwendung der Atomenergie beteiligen muß.

Besondere Bedeutung kommt hier dem Projekt der Vereinigten Nationen auf Errichtung einer Welt-Atomagentur zu. Die Vorarbeiten, an denen sich die Vertreter von zwölf Ländern beteiligten, wurden in Washington aufgenommen, und der bereitgestellte Statutenentwurf soll im September in New York behandelt werden mit dem Ziel, eine Institution zu schaffen, an der sich alle Mitglieder der Vereinigten Nationen beteiligen. Wie im Bundeshaus zu vernehmen ist, dürfte eine Beteiligung der Schweiz an der neuen Institution in ähnlicher Weise in Frage kommen wie bei anderen Suborganisationen der Vereinigten Nationen.

In Europa laufen die Bestrebungen auf eine Koordinierung der Bewirtschaftung der Atomenergie auf doppeltem Geleise. Da sind einmal die sechs Staaten der Montanunion, die durch die Errichtung einer Organisation supranationalen Charakters, «Euratom», eine zentrale Bewirtschaftung der Rohmaterialien und Lenkung der Investitionen zu schaffen sucht. Von größerem Interesse für unser Land dürfte aber das Vorgehen der OEEC sein, welche die zwischenstaatliche Zusammenarbeit durch einen gegenseitigen Erfahrungsaustausch, die Förderung des Ausbildungswesens, die Koordination der zu schaffenden nationalen Gesetzgebungen, die Festsetzung von Standardisierungsnormen und die obligatorische Liberalisierung des Handels mit Rohmaterialien und Ausrüstungsgegenständen für die Atomindustrie vorsieht. Hinsichtlich der Möglichkeit von Vereinbarungen auf bilateraler Grundlage wurde an der Generalversammlung der Reaktor AG (Würenlingen) mitgeteilt, daß die Schweiz mit den Vereinigten Staaten über den Abschluß eines Atomvertrags verhandelt.

Neben den wirtschaftlichen Problemen einer internationalen Koordinierung auf dem Gebiete der Atomenergie, stellen sich auch politische Fragen.

Diese Hinweise lassen erkennen, wie dringlich die Schaffung einer verfassungmäßigen Grundlage für die Lösung der Atomprobleme geworden ist. Wie im Bundeshaus zu erfahren ist, wird die Ausarbeitung eines «Atomartikels» der Bundesverfassung so beschleunigt werden, daß die bundesrätliche Vorlage den eidgenössischen Räten in der diesjährigen Herbstsession unterbreitet werden kann. (aus NZZ Nr. 1211, vom 24. 4. 56)