

Zeitschrift:	Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
Herausgeber:	Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band:	62 (1970)
Heft:	1-2
 Artikel:	Durchbruch der Kernenergie : Bedeutung und Ergebnisse der Nuclex 69 in Basel
Autor:	Gross, Arnold T.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-921047

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: 18.02.2026

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

DURCHBRUCH DER KERNENERGIE

Bedeutung und Ergebnisse der Nuclex 69 in Basel

Bericht von Arnold Th. Gross

DK 061.3:621. 384.2

Die Schweiz, so sagte Bundesrat Roger Bonvin, Vorsteher des Eidgenössischen Verkehrs- und Energiewirtschafts-Departements, anlässlich der Eröffnung der Internationalen Fachmesse und Fachtagungen für die kerntechnische Industrie Nuclex 69 in Basel, hat bis jetzt das Privileg gehabt, auf dem Gebiet der Kernenergie alle Ausstellungen mit weltweiter Beteiligung zu beherbergen, die sich mit der friedlichen Nutzung dieser neuen Energieart im weitesten Sinne befassen. Fügen wir hinzu, dass sie dieses Privileg in optimaler Weise genutzt und insbesondere mit der Nuclex 69 eine nach Umfang und Informationswert kaum zu überbietende Leistungsschau der kerntechnischen Industrie der Welt geboten hat.

Ausser Japan beteiligten sich alle mit der nuklearen Technik beschäftigten Nationen — insgesamt 22 Länder — an dieser wegweisenden Veranstaltung. Durch weiträumige

Anordnung in sieben Hallen mit 24 000 m² war es gelungen, eine übersichtliche Darstellung dessen zu geben, was jedes einzelne Land zur Entwicklung der Kernenergie in Forschung und Technik beigetragen hat und was es zu leisten imstande ist.

Nimmt man noch hinzu, in wie wirkungsvoller Weise das Geschaute durch neun Fachsitzungen mit 85 Referaten prominenter Spezialisten aus aller Welt ergänzt und vertieft wurde und dass viele zusätzliche Information auf Pressekonferenzen und in speziellen Vortagsreihen mehrerer Länder geboten war, so rundet sich das Bild zu einem fachlichen Ereignis von Weltrang. Dem entsprach auch die Beteiligung: über 18 000 Messebesucher aus 33 Ländern und etwa 1850 Hörer bei den Fachvorträgen wurden festgestellt.

Entwicklung und Aussichten der Kernenergie

Die Atomtechnik steht im Begriff, die energiewirtschaftliche Entwicklung von Grund auf zu ändern. Die grossen Industriemächte haben Milliardenwerte in dieses neue Gebiet investiert, die nun in steigendem Masse ihre Früchte tragen.

Nachdem die USA und Grossbritannien die Entwicklung eingeleitet hatten, haben andere Industrieländer den Rückstand aufzuholen vermocht, nicht zuletzt auch die in den entscheidenden Anfangsjahren durch politische Fesseln von der Entwicklung ausgeschlossene Bundesrepublik Deutschland. Einige Nationen sind sogar nahezu ebenbürtige Wettbewerber der USA geworden. So entstand durch die immer grösser werdende Zahl von Produzenten nuklearer Komponenten und durch die steigende Nachfrage nach Kernkraftwerken eine internationale Konkurrenzsituation, die industrielle Konzentrationen im Reaktorbau erheischt.

Diese im Interesse der Vereinfachung und Leistungssteigerung zu begrüssende Entwicklung wurde besonders durch die rasch wachsenden Betriebsgrössen der Kernkraftwerke erzwungen, sind doch nur sehr leistungsfähige Firmen imstande, schlüsselfertige Anlagen für 600 bis 1200 MW zu erstellen, gasdicht geschweisste Hochdruckgefässe mit Gewichten in der Grössenordnung von 500 t sowie Reaktorkomponenten diffizilster Bauart mit höchster Präzision zu fertigen.

Um Sinn und Bedeutung der Nuclex 69 voll beurteilen zu können, muss man sich über die Rolle der Kernenergie in der Energiewirtschaft von heute und morgen im klaren sein. Zeigten die Ausstellungen, die 1955, 1958 und 1964 im Rahmen der internationalen Atomkonferenzen veranstaltet wurden, die fortschreitende Verlagerung des Schwerpunkts von den staatlichen Forschungszentren auf die Industrie, so liess die Nuclex 66 erstmalig erkennen, dass sich die Kernindustrie als neuer Industriezweig etabliert hatte.

Damals war bereits eine erhebliche Zahl von Prototypanlagen in fast allen Industrieländern erfolgreich im Betrieb, doch hatte keine noch die Schwelle der Wirtschaftlichkeit erreicht. Diese Schwelle ist jetzt überschritten. Das Atomkraftwerk Beznau der NOK, das mit seiner ersten Einheit von 350 MW Nutzleistung¹⁾ am 7. September 1969 den vollen Leistungsbetrieb aufgenommen hat, wird seinen Strom bereits zu wirtschaftlichen Bedingungen erzeugen. Von den

in der BR Deutschland im Bau befindlichen Anlagen Stadersand und Würgassen (je 660 MW) und den bestellten Kernkraftwerken Brunsbüttelkoog (750 MW) und Biblis (1200 MW) sind weitere Verbesserungen zu erwarten. Die nächste Reaktorgeneration der Brüter wird in etwa 10 bis 15 Jahren entscheidende Senkungen der Stromerzeugungskosten bringen.

Nach einer Zusammenstellung des Bundesministeriums für wissenschaftliche Forschung vom 1. Oktober 1969 waren Ende 1968 in der Welt 64 Kernkraftwerke mit einer Netto-Kapazität von 12 807 MW in Betrieb. Weitere 138 Kernkraftwerke, mit deren Inbetriebnahme bis Ende 1975 zu rechnen ist, befinden sich im Bau bzw. sind geplant. Damit werden Ende 1975 in der Welt voraussichtlich über 200 Kernkraftwerke mit einer gesamten Nettoleistung von mehr als 105 000 MW in Betrieb sein:

in der westlichen Welt	164 Anlagen mit 89 995 MW
in den Ostblockstaaten	18 Anlagen mit 6 690 MW
in Asien (ohne Ostblock)	20 Anlagen mit 8 579 MW
202 Anlagen mit 105 264 MW	

Die USA werden Ende 1975 die grösste nuklear installierte Leistung haben (siehe Tabelle 1). Zusammen mit Grossbritannien werden sie dann über 67 % der in den Atomkraftwerken der ganzen Welt installierten Nettoleistung verfügen. Der Anteil der Ende 1968 installierten Nuklear-Kapazität an der Gesamtkapazität in ausgewählten Ländern betrug 1,7 %. Er war, wie Tabelle 2 zeigt, in den einzelnen Ländern sehr unterschiedlich. Zu diesen Leistungsreaktoren kommen noch 378 Forschungsreaktoren in 48 Ländern der Erde.

Während bis 1968 der Gas/Graphit-Reaktor der meistgebaute Typ war, wird der Druckwasserreaktor 1975 an erster Stelle stehen (Tabelle 3). Bei den gasgekühlten Reaktoren dürften nach Vollendung der in Grossbritannien im Bau befindlichen und geplanten Gas/Graphit-Reaktoren die Hochtemperaturreaktoren in den Vordergrund rücken. In der weiteren Entwicklung wird später der Schnelle Brüter dominieren.

¹⁾ Beim Kernkraftwerk muss zwischen elektrischer und thermischer Leistung unterschieden werden; im folgenden soll MW die elektrische, MWth die thermische Leistung bezeichnen.

ZUSAMMENSTELLUNG DER VORAUSSICHTLICHEN NUKLEAREN KAPAZITÄT ENDE 1975

Tabelle 1

Land	Zahl der Kernkraftwerke	Nettoleistung MWe	Anteil an der Gesamtkapazität %
Belgien	3	1 501	1,4
Bundesrepublik Deutschland	15	4 060	3,9
Frankreich	10	3 094	3,0
Italien	5	1 290	1,2
Niederlande	2	454	0,4
Europäische Gemeinschaft (EG)	35	10 399	9,9
Grossbritannien	19	10 643	10,1
Schweden	7	3 354	3,2
Oesterreich	1	15	0,0
Schweiz	4	1 014	1,0
Spanien	4	1 550	1,4
übriges Westeuropa	35	16 576	15,7
Westeuropa zusammen	70	26 975	25,6
Argentinien	1	319	0,3
Kanada	5	2 552	2,4
USA	88	60 149	57,2
Amerika	94	63 020	59,9
Westliche Welt zusammen	164	89 995	85,5
Bulgarien	1	800	0,8
Sowjetische Besatzungszone	2	770	0,7
Tschechoslowakei	1	150	0,1
Ungarn	1	800	0,8
UdSSR	13	4 170	4,0
Ostblockstaaten zusammen	18	6 690	6,4
Indien	4	1 180	1,1
Japan	15	7 267	6,9
Pakistan	1	132	0,1
Asien (ohne Ostblock)	20	8 579	8,2
Welt insgesamt	202	105 264	100,0

GESAMT- UND NUKLEARKAPAZITÄT SOWIE NUKLEARE STROMERZEUGUNG 1968 IN AUSGEWÄHLTEN LÄNDERN

Tabelle 2

Land	Installierte Kapazität			Nukleare Stromerzeugung	
	insgesamt	davon Kernenergie	%	Netto-Erzeugung MWh	Veränderung gegenüber Vorjahr %
	MW	MW	%		
Belgien	6 100	11	0,2	60 955	— 38,3
BR Deutschland	47 200	895	1,9	1 950 368	+ 59,2
Frankreich	30 200	1 229	4,1	3 100 598	+ 6,1
Italien	25 300	607	2,4	2 441 309	— 22,5
Niederlande	8 600	54	0,6	26 630	*)
Europ. Gemeinschaft	117 400	2 796	2,4	7 579 860	+ 2,5
Grossbritannien	52 400	4 213	8,0	26 621 528	+ 7,1
Schweden	12 500	265	2,1	20 189	— 59,2
Schweiz	9 500	8	0,0	8 871	*)
Oesterreich	6 300	—	—	—	—
Spanien	13 000	160	1,2	43 200	*)
Westeuropa insgesamt	211 100	7 442	3,5	34 273 648	+ 6,1
USA	295 800	3 329	1,1	13 416 691	+ 71,6
Kanada	31 300	222	0,7	846 617	+ 407,6
Japan	44 700	179	0,4	578 584	— 13,7
UdSSR	150 000	1 185	0,8		
Insgesamt	732 900	12 357	1,7	49 115 540	+ 19,9

*) Vorjahr 0

Reaktortyp	Kernkraftwerke					
	Zahl	Ende 1968 MWe	%	Zahl	Ende 1975 MWe	%
Gas-Graphit (einschl. Hochtemperaturreaktoren)	19	5 410	42,2	32	14 510	13,8
Siedewasser	21	3 878	30,3	68	36 548	34,7
Druckwasser	16	3 038	23,7	84	51 710	49,2
Schwerwasser	4	381	3,0	7	764	0,7
Schnelle Brüter	3	92	0,7	9	1 704	1,6
Sonstige	1	8	0,1	2	28	0,0
zusammen	64	12 807	100,0	202	105 264	100,0

In seiner Eröffnungsrede «new horizons in energy resources for mankind» hob der Präsident des Exekutivrats der Weltenergikonferenz, Walker L. Cisler (Detroit/USA) die überragende Bedeutung hervor, die der Schnelle Brüter spätestens Mitte der achtziger Jahre erlangen werde. Er selbst sei überzeugt, dass die Entwicklung besonders angesichts der in Europa erzielten Fortschritte auf diesem Gebiet wesentlich schneller vor sich gehen werde. Man hoffe in den USA, schon um 1975 eine Demonstrationsanlage von 350 bis 500 MW mit einem natriumgekühlten Schnellen Brüter erstellen zu können, so dass anfangs der achtziger Jahre wirtschaftlich arbeitende Anlagen schon in der Größenordnung von 700 bis 1000 MW denkbar wären.

Bis zu dem Zeitpunkt, in dem der Schnelle Brüter die kommerzielle Phase erreicht, so sagte Cisler, wird die Kernenergie nur eine ziemlich beschränkte Rolle spielen

können, denn ein ausschliesslicher Einsatz von Wasserreaktoren der ersten und selbst der zweiten Generation würde den wirtschaftlich gewinnbaren mutmasslichen Weltvorrat an natürlichem Uran bis zum Ende unseres Jahrhunderts weitgehend erschöpft haben. Der Schnelle Brüter dagegen wird es voraussichtlich ermöglichen, die Energie des Natururans bis zu 80 % auszunutzen und so den nutzbaren Energiegehalt der natürlichen Spaltstoffvorräte um ein Vielfaches zu vermehren. Vorerst sollte jedoch die Möglichkeit mehr Beachtung geschenkt werden, das in den «konventionellen» Reaktoren erzeugte Plutonium in Wasserreaktoren wiederzuverwenden, denn wenn man dieses in der heutigen Reaktorgeneration anfallende Plutonium für die Brüter aufhebe, werde bald ein recht kostspielig zu lagernder Fundus entstehen, der ein enormes brachliegendes Kapital darstelle.

Die Entwicklung in den einzelnen Ländern im Spiegel der Messe

Der Rundgang durch die Messe gab einen guten Überblick über die Entwicklung der Kernenergie, ihren derzeitigen Stand und die Zukunftsprogramme in den massgebenden Industrieländern. Wir folgen der Anordnung der Hallen, ohne durch diese Reihenfolge eine vergleichende Wertung zum Ausdruck bringen zu wollen. Als zusätzliche Information zu den Ausstellungsobjekten und bildlichen Darstellungen diente ein gutes und reichhaltiges Prospektmaterial, teilweise auch die Vorführung instruktiver Filme.

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

Eine Einführung in das Reich der Kernenergie gab die erste, der deutschen Entwicklung gewidmete Ausstellungshalle. Schon ein Blick auf die diagonal über die ganze Hallendecke verteilten Grossphotos der bestehenden Kernkraftwerke und Kernforschungszentren der Bundesrepublik, erst recht aber die Ausstellungsobjekte der 59 Stände zeigten, dass die deutsche Kernindustrie nach ihrem verspäteten Start inzwischen den Anschluss an die internationale Entwicklung der Atomtechnik gefunden hat.

Seit 1956 haben Bund und Länder insgesamt 7,2 Mrd. DM zur Erforschung und Nutzung der Kernenergie ausgeben; hinzu kommen die Forschungsaufwendungen der Industrie. Schon Mitte der siebziger Jahre sollen die finanziellen Leistungen weitgehend von der Privatindustrie getragen werden. Mit einer bis 1980 auf 25 000 MW geschätzten Kernkraftwerkskapazität, die einschliesslich des erforderlichen Brennstoffs ein Investitionsvolumen von über 20 Mrd. DM darstellt, erscheint die Kernenergie als ein recht bedeutender volkswirtschaftlicher Faktor. Rund 16 000 hochqualifizierte Fachkräfte sind gegenwärtig in der technischen Entwicklung, der Forschung und Lehre tätig, rund

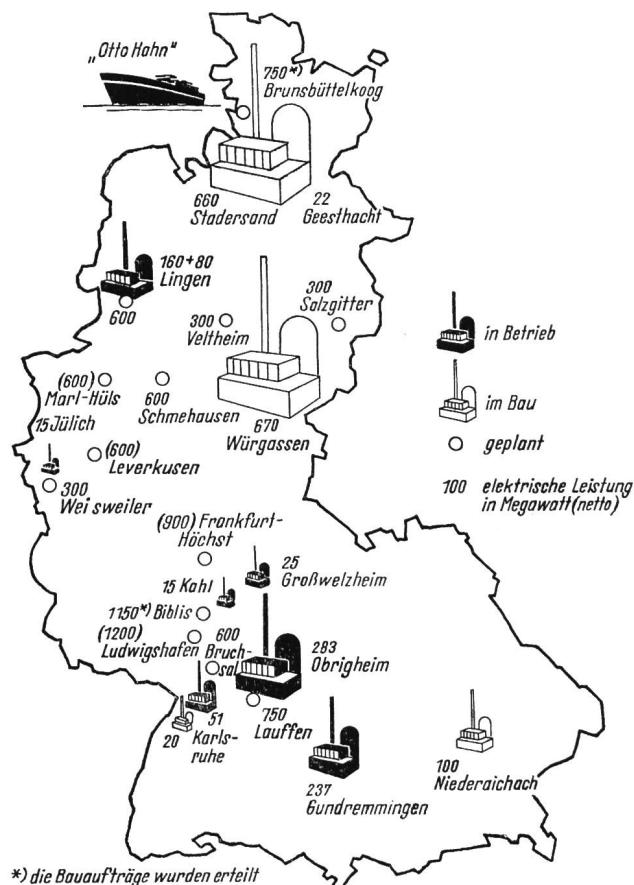


Bild 1 Standorte der in der BR Deutschland bestehenden und geplanten Kernkraftwerke
Quelle: Deutsches Atomforum

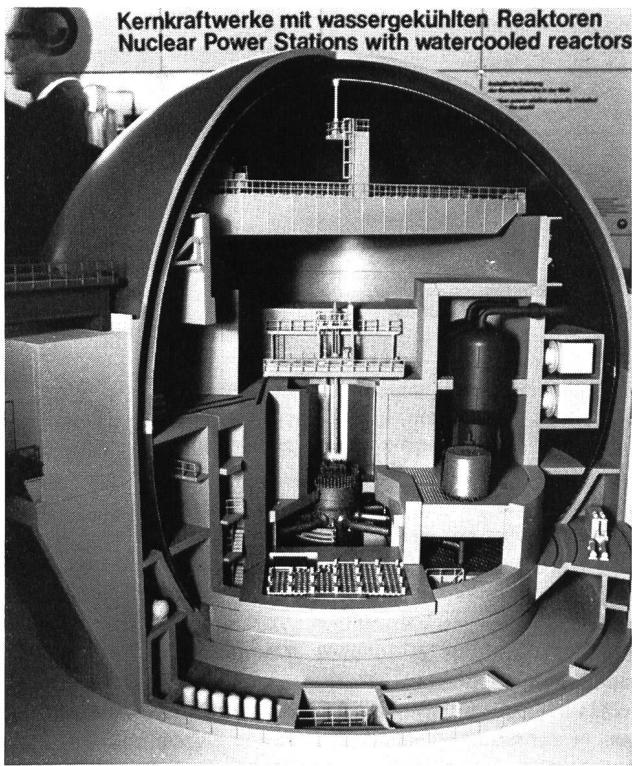


Bild 2 Schnittmodell des Kernkraftwerks Biblis am Rhein. Druckwasserreaktor für 3440 MWth
Foto: Kraftwerk Union

7000 Beschäftigte in der kerntechnischen Produktion, weitere 1500 Personen zählen die Belegschaften der Kernkraftwerke.

Ein grosser Informationsstand bildete den Mittelpunkt der Halle. Daneben zeigte ein Raumkino ein Tagesprogramm von 13 Filmen über die kerntechnische Forschung und Entwicklung, den Bau und Betrieb der wichtigsten Kernkraftwerke und die industrielle Fertigung spezieller Reaktorbauteile. Von dort aus fiel der Blick auf das 5,8 m hohe Modell eines Turbinenschaufelrads, das der Endstufe der Dampfturbine von 670 MW im Kernkraftwerk Würgassen entspricht. Bei 1500 U/min werden die 69 Schau-

feln dieser Stufe eine Umfangsgeschwindigkeit von 456 m/s erreichen, das bedeutet nahezu 1,5fache Schallgeschwindigkeit.

Über die Grossprojekte der kommenden Jahre unterrichteten die Stände von AEG-Telefunken, Kraftwerk-Union, Siemens, Interatom und BBC/Krupp. Sie zeigten u. a. in sehr anschaulichen Schnittmodellen den Druckwasserreaktor für das 1200 MW-Kernkraftwerk Biblis (Kraftwerk-Union), einen Siedewasserreaktor gleicher Leistung mit integrierter Bauweise, bei der die Dampferzeuger und Umwälzpumpen in der Druckschale angeordnet sind (AEG), die Anordnung eines Thorium-Hochtemperaturreaktors mit Spannbeton-Druckbehälter (BBC/Krupp) für 300 MW sowie den Prototypreaktor eines natriumgekühlten Schnellen Brutreaktors SNR von ebenfalls 300 MW (Interatom).

Das Kraftwerk Biblis, das Mitte 1974 den kommerziellen Leistungsbetrieb im RWE-Netz aufnehmen soll, stellt einen Meilenstein in der Entwicklung dar. Seine Nettoleistung von 1150 MW entspricht den grössten Kernkraftwerken, die in den USA bis 1977 geplant sind, und steht für Europa mit weitem Abstand an der Spitze; der 62 m lange Einwellenturbosatz ist der grösste der Welt. Im Hinblick auf die in den Vereinigten Staaten übliche Anordnung von Zweiwellenturbinen mag es interessieren, dass eine Aufteilung der Kraftwerkleistung in zwei Turbosätze einen Mehrpreis von 52 Mio DM erfordert hätte. Die besondere Bedeutung dieses Projekts liegt jedoch darin, dass bei gleicher Vollastbenutzungsdauer ein modernes Oelkraftwerk an demselben Standort und bei den heutigen Oelpreisen mindestens 30 %, ein Steinkohlekraftwerk mindestens 60 % Jahresmehrkosten erfordern würde. Ein so entscheidender Vorteil der Kernenergie ist bisher nirgendwo auch nur an nähernd erreicht worden.

Der Thorium-Hochtemperatur-Reaktor (THTR) ist eine rein deutsche Entwicklung, die sich in einem Versuchskraftwerk von 15 MW auf dem Gelände der Kernforschungsanlage Jülich seit Dezember 1967 im praktischen Betrieb bewährt hat. Es handelt sich um einen mit Helium gekühlten Kugelhaufenreaktor, bei dem die Brennstoffelemente aus Kugeln mit einer Graphithülle bestehen, die sogenannte coated particles aus Uran/Thorium-Karbid enthalten. Die Kugeln werden im Reaktorkern umgewälzt

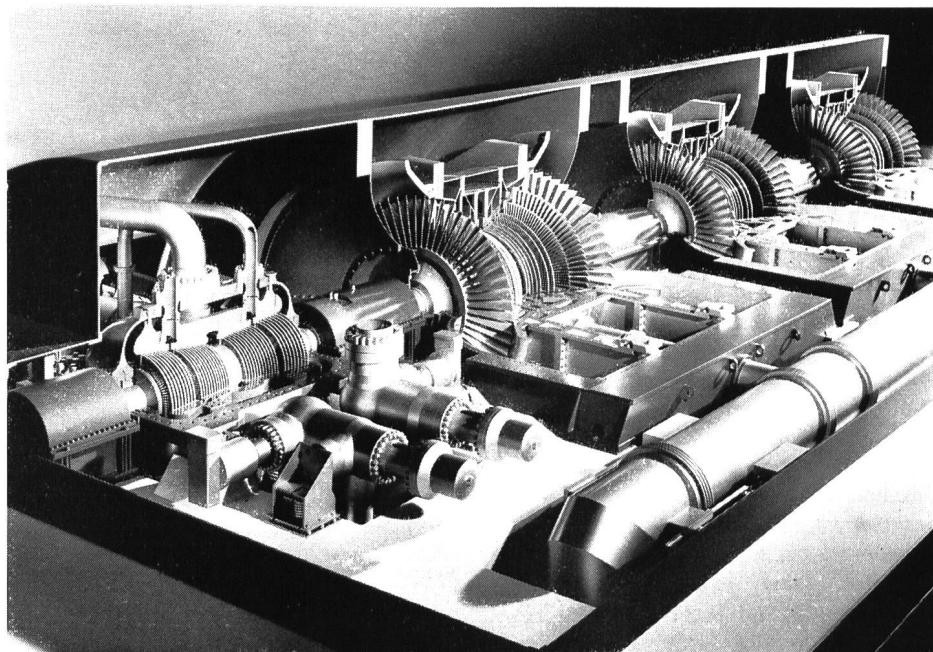
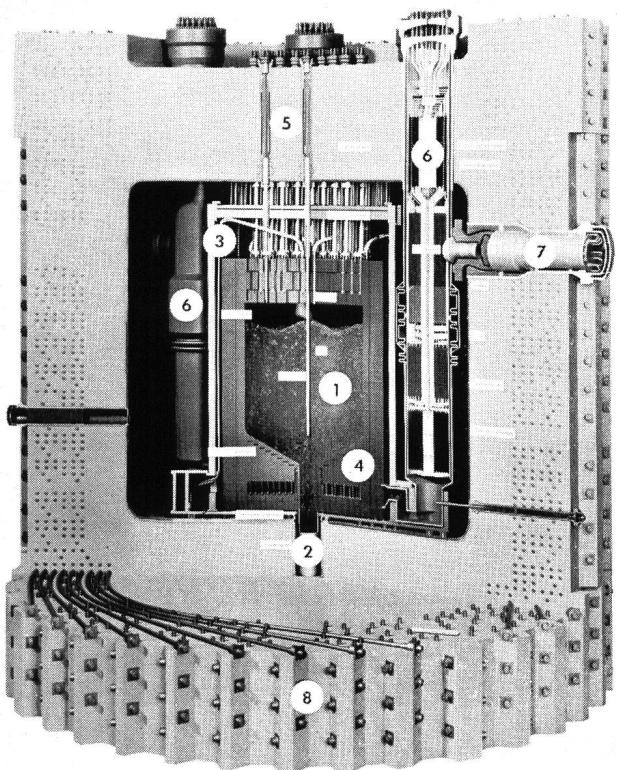


Bild 3
Modell der 1200 MW-Sattdampfturbine für das Kernkraftwerk Biblis
Foto: Kraftwerk Union



1 Core (675 000 Elemente) 5 Absorberstäbe
2 Kugelabzugsrohr 6 Wärmetauscher
3 Kugelzugaberohr 7 Gebläse
4 Graphitreflektor 8 Spannbetonbehälter

Bild 4 Schnittmodell des Thorium-Hochtemperaturreaktors (THTR) mit Spannbetonbehälter
Foto: Dierks, Basel

und können während des Betriebs durch eine Beschikungsanlage aus dem Kern abgezogen bzw. neu eingeschleust werden.

Bei einer weiteren Versuchsanlage mit 22 MW, die in Geesthacht bei Hamburg im Bau ist und 1973 in Betrieb gehen soll, wird erstmalig der heliumgekühlte Kugelhaufenreaktor in geschlossenem Kreislauf mit einer Gasturbine zusammengeschaltet. Eine Projektstudie der BBC/Krupp Reaktorbau GmbH (BBK) hat das Ziel, bis 1973 baureife Unterlagen für ein wirtschaftliches Gasturbinen-Kernkraftwerk von 600 MW zu erstellen.

Eine THTR-Prototypanlage für zunächst 300 MW wird demnächst in Schmehausen im Ruhrgebiet in Angriff genommen. Sie erhält ein Zweikreissystem mit sechs Dampferzeugern. Reaktorkern, Dampferzeuger, Gebläse sowie die Bauelemente für die Reaktorsteuerung und -überwachung werden in einem Spannbetonbehälter integriert sein. Die Kugelschüttung im Kern wird aus 675 000 Brennlementkugeln bestehen, die hoch angereichertes Uran (93%) als Spaltstoff, gemischt mit Thorium als Brutstoff enthalten werden. Unter den derzeitigen Bedingungen errechnen sich die Brennstoffkosten zu etwa 0,6 Dpf/kWh. Die Austrittstemperatur des Kühlgases (Helium) wird 750 °C betragen. Die gegenüber den Wasserreaktoren wesentlich höhere Dampftemperatur von 530 °C bedeutet, dass normale Dampfturbinen verwendet werden können. Der hohe Wärmeleistunggrad — bis 42 % scheinbar erreichbar — ermöglicht einen um etwa ein Drittel geringeren Kühlwasserbedarf.

Neben Modellen des Druckbehälters und des Kugelumlaufs im Reaktor wurden die Anwendungsmöglichkeiten der BBK-Reaktorbaulinie dargestellt. Geplant sind zum Beispiel Hochtemperaturreaktoren zur Erzeugung von Prozesswärme

für chemische und metallurgische Zwecke sowie für Meerwasserentsalzung.

Das Modell des Schnellbrüterprototyps SNR bei Interatom dokumentiert eine Gemeinschaftsaufgabe mit Belgien, Luxemburg und den Niederlanden. Die Bundesrepublik hat die Entwicklungsarbeiten am Dampfbrüter eingestellt, um alle Kräfte auf die natriumgekühlte Linie zu konzentrieren. Natrium ermöglicht wegen seines niedrigen Dampfdrucks bei hoher Betriebstemperatur (rund 550 °C) ein dünnwandiges Wärmeübertragungssystem und kleine Wärmetauscher bei hoher spezifischer thermischer Leistung.

Die sogenannte kompakte natriumgekühlte Kernreaktoranlage (KNK-Reaktor, 19 MW Nettoleistung) im Kernforschungszentrum Karlsruhe, die Anfang 1970 kritisch werden soll, bildet hierfür die technologische Vorstufe, zunächst als thermischer Reaktor, später mit einem «schnellen» Kern als zweiter Ladung. Damit wird dann die KNK-Anlage auch als Testreaktor zur Erprobung von Schnellbrüter-Brennelementen für den 300 MW-Prototyp-Brüterreaktor SNR zur Verfügung stehen. Ein baureifes Angebot liegt bereits vor; man hofft, dieses Brüterkraftwerk noch im laufenden Jahr in Angriff nehmen zu können. Es soll beim Braunkohlenkraftwerk Weisweiler des RWE erstellt werden.

Die zahlreichen andern Aussteller zeigten die Vielfalt der eigens für den Reaktorbau entwickelten Spezialgeräte, Maschinen und sonstigen Komponenten. Blickfänge waren die grossen Schwerbauteile der Stahlbaufirmen, wie zum Beispiel Schnittmodelle der Reaktordruckgefässe für die Kernkraftanlagen in Karlsruhe (MZFR) und Obriegheim (KWO) oder das 1:1-Modell des Behälterdeckels für das KWO-Druckgefäß. Fertigungsvorgänge an solchen Objekten, Besonderheiten der Schweißverfahren und dergleichen wurden in Leuchtbildern und Grossphotos dargestellt. Der Pumpen- und Armaturenbau musste wegen der hohen Anforderungen an Dichtheit und Betriebssicherheit zu ganz neuartigen Konstruktionen mit ungewöhnlichen Abmessungen übergehen.

Eine interessante Gruppe bildeten die speziellen Mess- und Regelgeräte, die Regelstabantriebe, die Messautoklaven, der Instrumentenbau, die Isotopentechnik mit den vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten für Nuklide, die Laborgeräte, die Manipulatoren und die Technik der heißen Zellen, der Strahlenschutz, die Dekaminationseinrichtungen sowie die Transportmethoden für radioaktive Substanzen.

Besonderes Interesse fanden die je nach Reaktortyp verschiedenartigen Brennelemente, insbesondere auch die Kugellemente für den Kugelhaufenreaktor (THTR), dazu die Herstellung der «coated particles» und des karbidschen Brennstoffs. Zu dieser Gruppe zählt auch die Technologie neuartiger Werkstoffe, wie etwa die Verarbeitung des Zirkoniums und spezieller Metalllegierungen, die in sehr dünnwandigen Bauteilen mit allerhöchster Präzision zur Umhüllung von Brennlementstäben und -bündeln verwendet werden.

So diente die erste Halle gewissermassen auch der Einführung in die einzelnen Sparten der Kerntechnik, die in den folgenden Hallen in zahlreichen Varianten, der spezifischen technischen Entwicklung und Zielsetzung der verschiedenen Länder entsprechend, dargeboten waren, sich gegenseitig ergänzten und zum Vergleich herausforderten.

GROSSBRITANNIEN

Ein abgerundetes Bild der britischen Leistung gab der beherrschende Stand der United Kingdom Atomic Energy Authority (UKAEA) inmitten der ihn im Detail ergänzenden

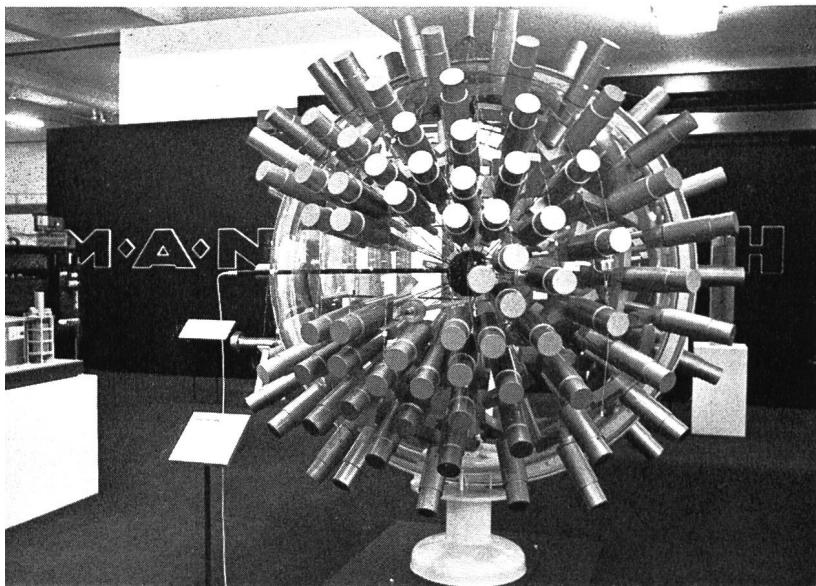


Bild 5 Igelspektrometer mit 100 Detektoren zur Simultanmessung von Neutronen-Einkristall-Interferenzen in der deutschen Ausstellung
Foto: Dierks, Basel

Bild 6 Stände britischer Aussteller

Foto: A. Th. Gross



25 Aussteller der britischen Nuklearindustrie. Die Geschlossenheit der Darstellung war der sorgfältigen Planung und Gestaltung durch die UKAEA gemeinsam mit dem British Nuclear Forum zu verdanken.

Modelle und Schaubilder von den im Netzbetrieb arbeitenden zehn Kernkraftwerken, den im Bau befindlichen fünf und den geplanten vier weiteren Anlagen unterstrichen die Tatsache, dass Grossbritannien, das schon 1956 einen Leistungsreaktor in Calder Hall in Betrieb setzte, nach der UdSSR die längste Bau- und Betriebserfahrung aufzuweisen hat. Wenngleich diese Erfahrung fast ausschliesslich auf die gasgekühlte Baulinie ausgerichtet war und erst in den letzten Jahren auch andere Reaktortypen in das Bauprogramm aufgenommen wurden, so kann die britische Atombehörde doch mit berechtigtem Stolz darauf hinweisen, dass mehr als 150 Reaktorjahre Betrieb von gasgekühlten Reaktoren und die mit weitem Abstand grösste nukleare Stromerzeugung von mehr als 100 TWh²⁾

²⁾ 1 TWh = 1 Mrd kWh, 1 GWh = 1 Mio kWh

— das sind rund 61 % der Kernenergie-Erzeugung der ganzen Welt — einen nuklearen Erfahrungsschatz technologischer, konstruktiver und betriebsmässiger Art darstellen, der keinem andern Land in diesem Umfang zur Verfügung steht.

Ein Zehntel aller in England und Wales erzeugten Elektrizität und 20 % der Stromerzeugung in Schottland stammen aus Kernkraftwerken mit insgesamt 4100 MW installierter Leistung, weitere 6380 MW befinden sich im Bau. Die im Kernkraftwerk Bradwell (300 MW; Magnox-Reaktor, seit 1962 in Betrieb) während der vergangenen drei Jahresperioden registrierten Lastfaktoren von rund 80 % liegen erheblich über dem Durchschnitt der konventionellen Wärmekraftwerke. Dabei ist bemerkenswert, dass Störungen nur zum geringsten Teil von den nuklearen Anlageteilen ausgehen, sondern im wesentlichen durch die herkömmlichen Kraftwerkkomponenten verursacht wurden. Die AGR-Anlagen haben sich in England selbst mitten in Kohlengebieten als wettbewerbsfähig mit herkömmlichen Kohlekraftwerken erwiesen.

In einer Diskussionsveranstaltung des britischen Atomforums stand erwartungsgemäss die Frage nach der Zukunft der gasgekühlten Reaktoren und den weiteren Plänen der britischen Atompolitik im Vordergrund. Der Präsident des Forums, S. A. Ghali, führte aus, dass die Verwendung von beschichteten Spaltstoffkugelchen (coated particles) an erster Stelle der Forschungsbemühungen um eine weitere Verbesserung dieses Reaktortyps durch Steigerung der Leistung und der Betriebstemperatur stehe. Man erwarte, dass diese Arbeiten im laufenden oder nächsten Jahr (1971) so weit gediehen sein werden, dass an die Bestellung einer kommerziellen Anlage von 2 x 600 MW gedacht werden könne. Der weiterentwickelte gasgekühlte Hochtemperaturreaktor im Betondruckgefäß werde sich durch besonders hohe Sicherheit auszeichnen, so dass er auch für Stadtrandgebiete zugelassen werden könnte. Das AGR-Kernkraftwerk Hartlepool (1250 MW, Inbetriebnahme 1974) wird nur 8 km von einer Stadt mit 140 000 Einwohnern entfernt sein, und auch das geplante Werk Heysham von 2500 MW mit vier AGR-Reaktoren soll in einem Stadtgebiet errichtet werden.

Der in Grossbritannien entwickelte schwerwassermoderierte Steam Generating Heavy Water Reactor (SGHWR) arbeitet seit 1968 zufriedenstellend im Versuchskraftwerk Winfrith (100 MW). Der im Reaktorkern in Druckröhren erzeugte Leichtwasserdampf kann unmittelbar in der Turbine verwendet werden. Es sind also keine besonderen Wärmetauscher erforderlich, doch bedeuten andererseits die vom Schwerwasser umflossenen Druckrohre aus Zirkonlegierung, die auch die stabförmigen Brennelemente enthalten, eine gewisse Komplizierung des Reaktorkerns.

Für das Studium der Brütertechnik wurde in Dounreay in Nordschottland ein natriumgekühlter Schneller Versuchsreaktor (DFR) von 14 MW erstellt, der seit 1959 schon über 200 GWh erzeugt hat. Er dient zur Zeit als Testreaktor für Plutoniumwerkstoffe für ein Prototyp-Brüterkraftwerk (PFR) von 250 MW, das ebenfalls in Dounreay errichtet wird und 1972 in Betrieb gehen soll.

In der Forumsdiskussion wurde mitgeteilt, dass der mit Uranoxid arbeitende SGHWR-Reaktor in Winfrith die Vorstufe für einen 300 MW-Reaktor darstellt, der um etwa 10 % wirtschaftlicher sein soll als die gegenwärtige Ausführung des fortgeschrittenen Gas/Graphit-Reaktors AGR, der ebenfalls leicht angereichertes Uranoxid verwendet. Ein SGHWR-Kraftwerk würde jedoch nur bei Leistungen über 300 MW die Wirtschaftlichkeit eines Hochtemperaturreaktors mit



Bild 7 Standorte der in Grossbritannien bestehenden und geplanten Kernkraftwerke. Die Zahlen geben die elektrische Kraftwerkleistung in MW an. Zahlen in Klammern: im Bau. Quelle: Prospekt der UKAEA

Elektrizitätserzeugung aus Kernenergie bis Juli 1969 (in Millionen MWh)

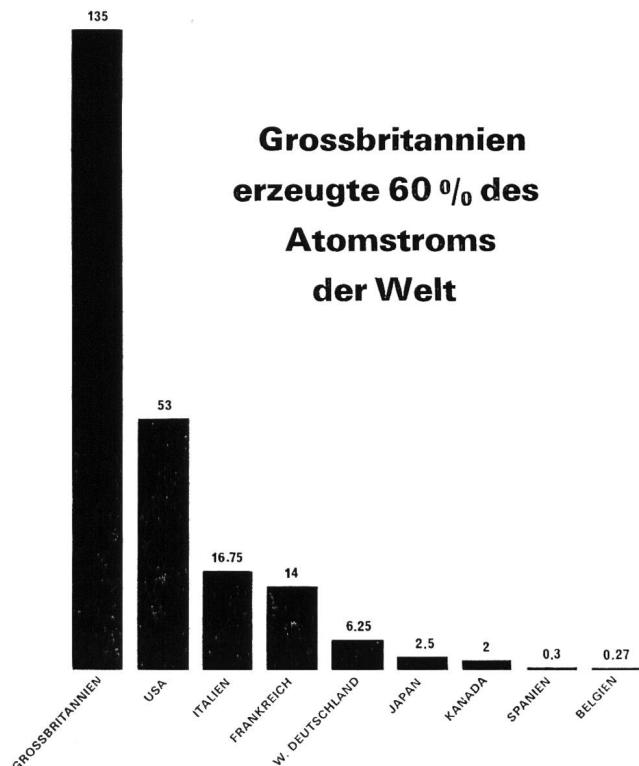


Bild 8 Stromerzeugung aus Kernenergie bis Juli 1969 (in TWh)
Quelle: Prospekt der UKAEA

CO₂- oder Heliumkühlung und mit coated particles übertreffen. Das sei auch der Grund, weshalb der CEGB vorerst beim AGR-Kraftwerk bleiben wolle, denn der verhältnismässig geringe Kostenvorteil des SGHWR rechtfertige bei den derzeitigen Leistungsgrössen von etwa 600 MW noch keine Abkehr von dem in England so gründlich erprobten und bewährten AGR-System.

Anders verhalte es sich bei Ländern, die erst zur Kernenergie übergehen wollen oder die bereits Leichtwasserreaktoren betreiben. Demgegenüber wurde allerdings gelten gemacht, dass man im Ausland wohl erst dann bereit sei, Schwerwasserreaktoren von der britischen Industrie zu beziehen, wenn diese Bauart in Grossbritannien selbst betrieben werde und sich dort bewährt habe.

Zur Frage der Brennstoffversorgung äusserte sich T. Tuohy, Managing Director der Production Group der UKAEA. Die britische Atomenergiebehörde sei als einzige Organisation in der Lage, die Brennstoffversorgung für jede bekannte Reaktorbauart zu garantieren, sei es natürliches oder angereichertes Uran, Uranoxid oder Uran/Plutonium-Oxid, und zwar in jeder Art der Umhüllung (canning): Magnesium- oder Zirkoniumlegierung oder nichtrostendem Stahl. Auch in der Wiederaufbereitung verbrauchter Brennstoffelemente sei sie jeder Anforderung gewachsen.

In 20 Jahren hat die Spaltstoff-Fabrik Springfields mehr als 2,5 Millionen Brennstoffelemente erzeugt. Eine neue Anlage mit einer Kapazität von 250 t/Jahr zur Herstellung von oxidischem Brennstoff ist geplant. Das Werk Springfields wird in Zusammenarbeit mit der belgischen Métallurgie & Mécanique Nucléaire SA auch die zweite Spaltstoffladung für den Siedewasserreaktor GKN in Dodewaard (Holland) entwerfen und herstellen.

Die alte Anlage in Springfields ist 1968 durch ein Werk zur Erzeugung von Uranhexafluorid mit einer Kapazität von 2500 t/Jahr ersetzt worden. Es bezieht Uranerze aus Kanada und Südafrika, die in der Diffusionsanlage der US Atomic Energy Commission angereichert werden. Auch die Umwandlung von angereichertem Hexafluorid in oxidische Spaltstoff-Pellets ist vertraglich gesichert.

Die Kapazität der Anlage in Windscale zur Aufarbeitung bestrahlter Brennelemente beträgt 2500 t Uran pro Jahr. Ein weiteres Werk zur chemischen Extraktion von Uran und Plutonium aus verbrauchten Elementen ist 1969 in Betrieb gekommen. Es wird die Aufarbeitung oxidischer Brennstoffelemente aus Kernkraftwerken in Italien, Kanada, Schweden, Spanien und der Schweiz in Auftrag nehmen.

Schliesslich wird auch Plutonium/Uran-Oxid in Windscale hergestellt. Solche Spaltstoffe wurden für die Siedewasserreaktoren in Kahl (BR Deutschland), Garigliano (Italien), Ågesta (Schweden), Tokai Mura (Japan) und für den BR3-Vulcain-Reaktor in Belgien geliefert, ebenso für den AGR-Prototyp; sie sollen später für den PFR-Reaktor in Dounreay verwendet werden.

Die von Tuohy aufgezeigten Möglichkeiten, durch Zusammenarbeit der Anlagen in Springfields, Capenhurst und Windscale einen vollständigen Brennstoffkreislauf für das britische Kernenergieprogramm und für Reaktoren im Ausland anzubieten, wurde in einer besonderen Abteilung der Production Group auf dem UKAEA-Stand dargestellt. Weiteres Informations- und Schaumaterial betraf Bestrahlungsanlagen und Untersuchungseinrichtungen für bestrahlte Gegenstände, Fernbedienungsgeräte, Strahlenschutz, Isotopenbatterien, Gammsterilisierung, Gelfällungsverfahren zur Herstellung von Oxiden bestimmter Form und Zusammensetzung, Beschleuniger für den Beschuss mit Schwerionen, ferner Neutronen- und Kobalt-60-Quellen sowie eine Reihe von kerntechnischen und datenverarbeitenden Geräten.

Schliesslich seien noch einige ins Auge fallende Ausstellungsstücke der britischen Kernindustrie erwähnt. Modelle zeigten Details des SGHWR sowie der Brennstoffanordnung und der Dampferzeuger für einen gasgekühlten Hochtemperaturreaktor, ferner Spannbetondruckgefässe, das 570 t schwere Druckgefäß für den Siedewasserreaktor des schwedischen Kernkraftwerks Ringhals I sowie Einrichtungen zum Brennstoffwechsel bei arbeitendem oder abgeschaltetem Reaktor. Modelle der Forschungsreaktoren HERALD und HELEN erinnerten daran, dass vor kurzem Verträge mit der Schweiz, mit Rumänien, Chile und Brasilien über Forschungsreaktoren und Ausbildungseinrichtungen im Gesamtwert von über 4 Mio Pfund abgeschlossen worden sind.

Alles in allem zeigten die um die zentrale, gewissermassen energiepolitische Darstellung der britischen Atomenergiebehörde gruppierten Firmenstände, fast mehr noch als in der bundesdeutschen Ausstellung, eine wohl abgewogene Schau der industriellen Möglichkeiten auf allen Gebieten der Atomenergietechnik: Reaktorkomponenten, Strukturteile, Mess- und Regeltechnik, Anwendung von Computern im Reaktorbetrieb, Gas- und Dampftechnik, Schutz- und Sicherheitssysteme, Metallographie, Isotopen-technik, Spaltstoff-Geologie und -Technologie.

Man spürte deutlich das Bemühen, den Prozess der endgültigen Kommerzialisierung der britischen Kernenergie vorwärtszutreiben. Dies kommt auch in der Reorganisation der UKAEA und in der Gründung der «Design and Construction Companies» zum Ausdruck. Die neuen Gesellschaften sind jetzt selbst für das Marketing verantwortlich, und so kann und wird, wie man hofft, den Fragen des Absatzmarktes grössere Beachtung geschenkt werden.

Zur Zeit werden die umfassenden Forschungs- und Entwicklungsprogramme noch von der Atomenergiebehörde bestimmt, in Zukunft jedoch mehr und mehr von der Industrie übernommen, so dass schliesslich die Entwicklung nach rein kommerziellen Gesichtspunkten durchgeführt werden kann. Man hofft, dass die bei der UKAEA nicht mehr voll ausgelasteten Wissenschaftler und Techniker ihren neuen Aufgabenbereich in der expandierenden kerntechnischen Industrie finden, um so ihre Erfahrungen für die Zukunft nutzbar zu machen.

Die Atombehörde hat in der Vergangenheit Reaktorsysteme entwickelt, die zwar im Inland erfolgreich waren, sich jedoch im Exportgeschäft bisher nicht durchsetzen konnten. Die britischen Unternehmen befanden sich hier im Nachteil gegenüber ihren Konkurrenten in den USA, da sie nicht die Möglichkeit hatten, die Entwicklungsarbeiten ihren Marktkenntnissen entsprechend zu bestimmen. Der zuständige Minister of Technology, Wedgwood Benn, ist der Auffassung, dass britische Unternehmen die Möglichkeit haben sollten, bei internationalen Ausschreibungen auch als Anbieter von Komponenten für Leichtwasserreaktoren aufzutreten, selbst wenn sie damit im Wettbewerb mit britischen Unternehmen stünden, die komplette gasgekühlte Kernkraftwerke anbieten. Das würde bedeuten, dass nunmehr in Grossbritannien auch Leichtwasserreaktoren unter Lizenz gebaut würden, und es wird damit indirekt ein Zweifel an der bisher verfolgten Strategie des gasgekühlten Reaktors — mit Ausnahme der Hochtemperaturreaktoren — ausgedrückt.

Im Hinblick auf die noch zu gründende Brennelementgesellschaft hörte man, dass es das Ziel dieser Reorganisation sei, die UKAEA von all ihren industriellen und kommerziellen Elementen zu trennen. Zunächst sollen alle Anteile der neuen Brennelementgesellschaft von der öffentlichen Hand gehalten werden, wobei die Möglichkeit für

eine industrielle Beteiligung offenbleibt. Die Brennelementgesellschaft wird die staatlichen Anteile an den beiden Reaktorbaugesellschaften übernehmen und damit die Möglichkeit zur Durchführung einer weitgehenden Standardisierung der Brennelementherstellung erhalten.

VEREINIGTE STAATEN VON AMERIKA

Grundsätzlich anders angelegt war die amerikanische Schau. Wer hier eine ähnlich umfassende Information über die Möglichkeiten und Programme der amerikanischen Kernindustrie erwartete, sah sich enttäuscht. Mag sein, dass das Handelsministerium der USA als Organisator mehr Wert darauf legte, anhand einzelner Objekte und besonders durch ein umfangreiches «U. S. Industrial Colloquium» mit 18 Spezialvorträgen die Aufmerksamkeit auf bestimmte Entwicklungen zu lenken, aber diese Absicht wurde nur unvollkommen erreicht, weil die an sich recht interessanten Vorträge leider zeitlich mit den Sitzungen der offiziellen Fachtagungen zusammenfielen.

In den USA gibt es zahlreiche kleine und mittlere Firmen mit ausgeprägten speziellen Fähigkeiten, sei es weil sie von Wissenschaftlern geleitet werden, die an Forschungsprogrammen teilgenommen haben, sei es wegen ihrer langen Tradition auf einem Spezialgebiet. Solche kleinen Firmen haben oft bessere Lösungen zu bieten als selbst die grössten Unternehmen der Branche. Diese Situation ist besonders in der Kerntechnik ausgeprägt. Sieben der ausstellenden Gesellschaften waren noch kaum zehn Jahre alt.

Es kann nicht Aufgabe dieses Berichtes sein, den in Basel fehlenden Ueberblick über die amerikanische Atomenergiepolitik der vergangenen Jahre und der überschaubaren Zukunft zu geben, doch sei wenigstens informationshalber auf einige markante Tatsachen hingewiesen. Die USA verfügten Ende 1968 über eine Kernkraft-Kapazität von rund 3,3 GW³) mit einer Jahreserzeugung von über 13,4 TWh. Schon Ende 1975 werden sie eine gesamte installierte Nettolleistung von rund 60 GW in 88 Kernkraftwerken haben, während in Grossbritannien, das heute noch an der Spitze marschiert, zu diesem Zeitpunkt erst 10,6 GW in 19 Kernkraftwerken installiert sein werden (vgl. Tabelle 1, Seite 2). Der Anteil der USA an der nuklearen Kapazität der Welt wird dann auf 57,2 % gestiegen, derjenige von Grossbritannien auf 10,1 % zurückgegangen sein.

Die nach dem Stand vom Februar 1969 in den USA bestellten oder im Bau befindlichen 28 Kernkraftwerke mit einer Betriebsgrösse von mehr als 1000 MW repräsentieren eine gesamte Zubauleistung von 30,8 GW. Es handelt sich durchwegs um Druckwasser- oder Siedewasser-Reaktoren. Es ist bemerkenswert, dass verschiedene dieser Kraftwerke mit Anlageteilen, wie zum Beispiel Reaktordruckgefässe oder Dampfturbinen, ausgerüstet werden, die von europäischen Herstellern — so auch aus der Schweiz — geliefert werden.

Indessen sehen sich neuerdings die amerikanische Kernindustrie und die Atomenergiekommission erheblichen Schwierigkeiten gegenüber, die vorgesehenen Bauprojekte fristgerecht zu verwirklichen. Der Engpass liegt bei der nicht mehr ausreichenden Kapazität der drei grossen Herstellerfirmen, obgleich diese nahezu 23 mal so gross ist wie diejenige des grössten reaktorbauenden Unternehmens in Europa. Fast die Hälfte der in den USA 1967 und 1968 bestellten elektrischen Zubauleistung war nuklearer Art. Dies erforderte nicht vorgesehene Umstellungen bei der Reaktorindustrie, die mit ihren Bauprogrammen in Verzug

³⁾ 1 GW = 1000 MW

geriet. Es fehlte eine angemessene Ueberleitungszeit vom konventionellen zum nuklearen Kraftwerkbau. Die Folge war, dass viele Elektrizitäts-Versorgungsunternehmen sich nach dem Boom der letzten Jahre — zwischen 1966 und 1968 wurden in den USA 70 Reaktoren mit insgesamt 60 000 MW bestellt — wieder dem Bau herkömmlicher Wärmekraftwerke zuwandten, um ihrem rapide steigenden Leistungsbedarf nachkommen zu können. Nur vier Kernkraftwerkblöcke wurden 1969 in Auftrag gegeben! Man ist jedoch überzeugt, dass diese Entwicklung nur vorübergehender Natur ist.

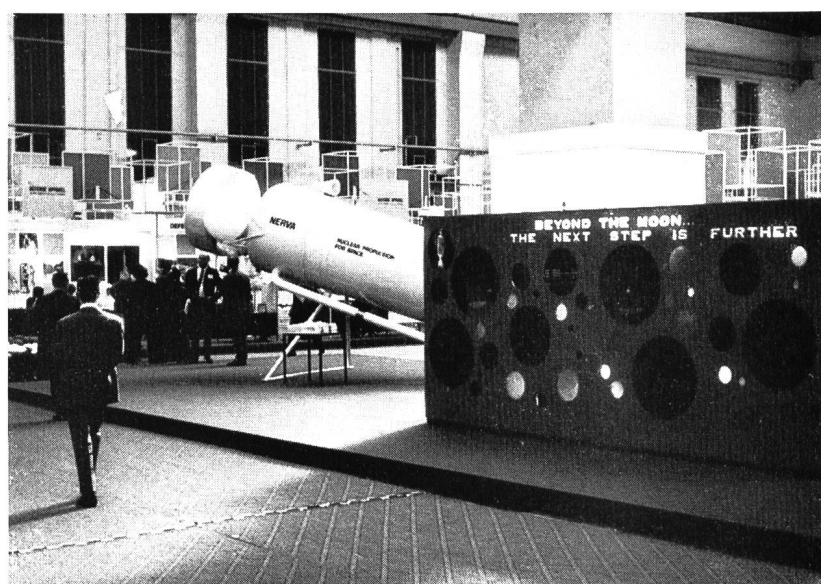
Zum andern hat sich neuerdings der Widerstand einzelner Bevölkerungsgruppen und kommunaler Verwaltungsbehörden gegen den Bau von Atomanlagen verstärkt, wobei Fragen des Schutzes der Bevölkerung, von Gewässern und Landwirtschaft im Vordergrund stehen. Eine grosse Aufklärungskampagne hat eingesetzt, um sicherzustellen, dass dem in den Staaten nur noch auf nuklearer Grundlage lösbar Energieversorgungsproblem rechtzeitig im erforderlichen Umfang entsprochen werden kann.

Paradestück der amerikanischen Schau war das im Zugang zu den 49 Ständen als Modell in natürlicher Grösse aufgestellte 7,3 m lange Blechgehäuse des ersten mit Kernenergie betriebenen Raketenmotors der Welt: Nerva (Nuclear Engine for Rocket Vehicle Application). Dieses Triebwerk, das im Juni 1969 auf dem Bodenprüfstand in Nevada während eines Probelaufs von 13 Minuten eine Höchstleistung von 22 500 kp Schub erreichte, ist die zur Zeit am weitesten fortgeschrittene Versuchsausführung des sogenannten Rover- und Nerva-Programms des Space Nuclear Propulsion Office (SNPO), das den Bau eines nuklearen Raketenmotors mit 34 000 kp Schub, entsprechend 1500 MW Leistung, zum Ziele hat. Dank seiner im Vergleich zu flüssigkeitsgetriebenen Raumraketen sehr geringen Abmessungen, seines dementsprechend geringeren Leistungsgewichts und der Möglichkeit, ohne Fremdhilfe zu starten, erscheint ein solches System grundsätzlich geeignet als Antrieb für bemannte Raumfahrzeuge, wiederverwendbare Erde/Mond-Fähren oder Einsätze zu weit abgelegenen Zielen mit Start vom Mond aus oder von einer Basisstation auf einer Erdumlaufbahn.

Der Nerva-Motor verwendet flüssigen Wasserstoff als Arbeitsmedium, das zuerst zur Kühlung der Austrittsdüse dient und dann in einem Uran/Graphit-Reaktor auf einige tausend Grad erhitzt und gasförmig durch die Schubdüse ausgestossen wird. Sein Reaktor ist dreimal so heiss wie irgendein Reaktor für stationäre Zwecke, seine Ausstossgeschwindigkeit doppelt so gross wie diejenige von chemischen Raketen. Der Reaktor wurde von der Westinghouse Corp. geliefert.

Drei Grossfirmen in den USA, die jedoch nur mit erstaunlich bescheidenen Ständen und Ausstellungsstücken vertreten waren, stellen Kernreaktoren her: General Electric zeigte das Modell eines Kernkraftwerks mit Siedewasserreaktor, Combustion Engineering das eines Druckwasserreaktors, Westinghouse Pläne und ein Grundsatzmodell für eine Energieversorgung auf nuklearer Basis.

Noch einige andere Ausstellungsobjekte seien erwähnt: die Pläne von Schwerwassergewinnungsanlagen (Deuteron Corp.); eine Darstellung der Raffinierung und Umwandlung von Urankonzentraten in hochreines UF_6 sowie der Rückgewinnung von Uran und anderen Materialien aus bestrahlten Brennstoffelementen (Allied Chemical Corp.); die Anwendungsmöglichkeiten von nuklearen Sprengstoffen (Geonuclear Nobel Paso), denen auch im Rahmen der oben erwähnten Vortragsreihe über nukleare Technologie eine besondere Sitzung gewidmet war.



Bilder 9a und b Modell des ersten nuklearen Raketenmotors «Nerva» auf der amerikanischen Schau. Fotos Dierks, Basel und A. Th. Gross



Bild 10 Schutzgehäuse für Arbeiten an strahlenden oder giftigen Objekten
Foto: Dierks, Basel

Die Donald W. Douglas Laboratories zeigten eine Serie von Miniaturbatterien mit den Isotopen Promethium 147 und Plutonium 238. Bei wartungsfreier Dauerleistung von einigen Mikrowatt bis zu einigen Watt über Zeiträume bis zu zehn Jahren sind sie unvergleichlich kleiner und leichter als entsprechende chemische Batterien und deshalb zum Beispiel für Raumfahrt und Unterwassertechnik geeignet, aber auch für Prothesen oder als Herz-Schrittmacher, vielleicht auch einmal als Energiequelle für künstliche Herzen. Die grösseren Sentinel-Generatoren liefern fünf Jahre lang laufend bis zu 50 Watt.

Weiter waren zu sehen Sonden zur präzisen Messung von Temperaturen bis 16 000 °C; ein Gerät, das den Ort der höchsten Temperatur entlang einer Mess-Strecke anzeigt und diese Temperatur misst, so dass man zum Beispiel den Verlauf von Wärmeflüssen oder von Wärmestauungen in Feuerungen bestimmen kann; ferner Plastikhüllungen für Draht- und Kabelbündel mit einer Art Reissverschluss, der nachträgliche Ergänzungen und Kontrollen der Leitungen ermöglicht. Im übrigen sah man vor allem spezielle Messgeräte, Rechner, Strahlenschutz sowie Ausstattungen für biologische und medizinische Anwendungen von Radioisotopen.



Bild 11 Kanadischer Stand

Foto: Dierks, Basel

Bild 12 Darstellung der Uranverarbeitungsstätten in Frankreich

Foto: Jean Biaugeaud



KANADA

Das in Kanada ausschliesslich verfolgte Schwerwasserreaktor-Programm bestimmte die Einheitlichkeit der Schau. Die grosse Erfahrung der kanadischen Kernindustrie auf diesem Gebiet beruht auf einer seit 1940 betriebenen Forschungs- und Entwicklungsarbeit, die aus geologischen, energiepolitischen und wirtschaftlichen Gründen ausschliesslich auf den mit schwerem Wasser moderierten Reaktor mit Natururan als Brennstoff, den Candu-Reaktor (Canadian Deuterium Uranium), ausgerichtet war. Man ersparte sich dadurch den zumindest damals nur auf militärischer Grundlage zu rechtfertigenden, äusserst kostspieligen Bau einer Spaltstoff-Anreicherungsanlage.

Auf Grund der einschlägigen Erfahrungen mit einem Versuchsreaktor (NPD) von 22 MW, den die Atomic Energy of Canada Ltd. (AECL) 1962 in Betrieb setzte, wurde im Auftrag des grössten kanadischen Stromversorgungsunternehmens, der Hydro-Electric Commission of Ontario, ein erstes Candu-Kernkraftwerk von 200 MW, Douglas Point, am Huron-See gebaut. Es ging 1966 in Betrieb.

Die nächste Anlage, das bei Toronto gelegene Kernkraftwerk Pickering, soll mit vier Einheiten von je 500 MW bereits auf einen Gestehungspreis von 4 mills/kWh kommen und damit voll wettbewerbsfähig sein. Die beiden ersten Blöcke sollen 1971 in Betrieb gehen, die ganze Anlage 1973 voll ausgebaut sein.

Das ebenfalls 1971 kritisch werdende Kernkraftwerk Gentilly (250 MW) zwischen Montreal und Quebec am St. Lorenz-Strom ist ein Demonstrationskraftwerk. Der mit Schwerwasser moderierte Reaktor wird mit siedendem Leichtwasser in den die Brennstoffelemente enthaltenden 308 Druckröhren gekühlt. Dieser abgewandelte Candu-Typ wird als Boiling-Light-Water-Reactor (BLW) bezeichnet. Bauherren sind die AECL und die Stromversorgungsgesellschaft Hydro-Quebec.

Das jüngste Bauprojekt ist das von der AECL entworfene und für die Ontario Hydro bestimmte Kernkraftwerk Bruce, dessen Bau, wiederum in Douglas Point, inzwischen begonnen wurde. Es handelt sich um vier Candu-Reaktoren mit Schwerwasser-Moderierung und -Kühlung. Als Brennstoff dürfte UO₂ in Frage kommen. Mit vier Blöcken von je 750 MW ist Bruce das grösste zur Zeit im Bau befindliche Kernkraftwerk der Welt. Es soll 1976 mit der ersten Einheit in Betrieb gehen und auch eine Schwerwasserfabrik für 800 t/Jahr mit billigem Anzapfdampf beliefern.

Durch seinen Reichtum an spaltbaren Erzen ist Kanadas Brennstoffversorgung autark und preiswert. Mit Hilfe einer ausgewogenen Politik der Erzverarbeitung und der Aufarbeitung bestrahlter Brennelemente, durch ständige Verbesserung der Brennelement-Technologie, Verwendung von Uran und Thorium als Mischbrennstoff und andere Massnahmen will man die Neutronenökonomie und damit den Wärmewirkungsgrad des Candu-Reaktors noch entscheidend erhöhen. Aus solchen Gründen glaubt man auf die Entwicklung von Brutreaktoren verzichten zu können.

Der Erfolg der Candu-Reaktoren führte zum Bau gleichartiger Kernkraftwerke in Pakistan (Kanupp, 125 MW) und Indien (Rapp I, 200 MW) durch kanadische Firmen. Beide Anlagen sollen 1970 in Betrieb gehen. Auch Australien zeigt Interesse für diese Reaktorbauart. Die staatliche japanische Organisation «Power Reactor Nuclear Fuel Development of Japan» stützt sich bei der Entwicklungsarbeit für einen thermischen Reaktor ebenfalls auf die kanadischen Erfahrungen; ein Vertrag über die Lieferung technischer Unterlagen wurde kürzlich abgeschlossen.

Die Technik und Gestaltung der Candu-Anlagen, die Dienstleistungen der einschlägigen Firmen und die mit der Durchführung des kanadischen Kernenergieprogramms zusammenhängenden Fragen des Brennstoffzyklus wurden in der kanadischen Ausstellung anschaulich gemacht. Bezeichnenderweise befassen sich vier der neun Aussteller mit der Herstellung und Veredlung von spaltbarem Material.

Die von der kanadischen Westinghouse aus Metall-Legierungen von natürlichem und angereichertem Uran entwickelten Brennstoffe haben sich auch in Kernreaktoren der Schweiz bewährt. Die Eldorado Nuclear Ltd. stellte sich als grosser Lieferant von Natururan, UF_6 , Zirkonium (als Hüllmaterial) und einigen Legierungen vor. Die Rio Algom Mines Ltd. gehört zu den wichtigsten Spaltstofflieferanten der Welt. Seit 1966 hat die Firma Verträge für die Lieferung von 20 000 t mit kanadischen, britischen, japanischen und amerikanischen Kunden. Ihre grossen Erzreserven gestatten eine wesentliche Ausweitung der Produktion. Die kanadische General Electric ist spezialisiert auf die Entwicklung und Herstellung von Brennstoff für Schwerwasserreaktoren.

FRANKREICH

Was sich in Kanada aus den genannten Gründen als erfolgreich erwiesen hat — Eigenständigkeit in der Brennstoffversorgung und Konzentrierung auf einen einzigen Reaktortyp —, hat Frankreich in eine Sackgasse geführt. Obgleich dort in neuerer Zeit auch Versuchsanlagen für

Druckwasser- und Schwerwasser-Reaktoren gebaut worden sind und mit dem Baubeginn des natriumgekühlten Reaktors Phénix (250 MW) in Marcoule zu Anfang 1969 auch ein Schnellbrüterprogramm eingeleitet wurde, war das nationale Kernenergieprogramm doch praktisch auf den Gas/Graphit-Reaktor mit Natururan ausgerichtet. Wesentlich war dabei die Sorge, bei einer Verwendung von Leichtwasserreaktoren wegen der erforderlichen Brennstoffanreicherung in die Abhängigkeit von den USA zu geraten.

Nachdem es sich nun herausgestellt hat, dass die Stromerzeugung des seit März 1969 im Betrieb befindlichen Werks St. Laurent I trotz seiner Leistungsrösse von 480 MW um etwa 20 % teurer ist als bei einem entsprechenden Leichtwasserreaktor, wird jetzt die Gas/Graphit-Reaktorbaulinie verlassen. Wenn man bedenkt, dass der Preis der in konventionellen französischen Wärmekraftwerken erzeugten kWh seit 1960 im Mittel von rund 1,5 Fr. auf rund 0,95 Fr. gefallen ist und wahrscheinlich noch bis auf etwa 0,5 Fr. gesenkt werden kann und dass dann der Strom aus St. Laurent I um zwei Drittel teurer sein wird, so wird klar, dass eine nichtstaatliche Elektrizitätswirtschaft den jetzt eingeleiteten Schritt schon längst hätte tun müssen.

Das Pariser Präsidialamt hat bekanntgegeben, dass die verstaatlichte Electricité de France im Verlauf des sechsten Wirtschaftsplans ab 1970 ein «Programm der Diversifikation» beginnen werde. «Es wird sich auf mehrere Kernkraftwerke grosser Leistung erstrecken, die als Energiebasis angerei-



Bild 13 Luftbild der Reaktoranlage Rapsodie im Kernforschungszentrum Cadarache

Foto: Loïc-Jahan



Bild 14 Blick in den Testreaktor Pegase im Kernforschungszentrum Cadarache
Foto: Pierre Jahan

chertes Uran verwenden.» Gleichzeitig wurde eine Neustrukturierung und Umgruppierung der französischen Elektroindustrie angekündigt.

Dies scheint der gegebene Augenblick für eine europäische Konzentration, und Frankreich steht nun vor der Entscheidung, einem Angebot von AEG und Siemens für eine deutsch-französische Lösung zu folgen oder sich den Plänen der amerikanischen Westinghouse-Gesellschaft für einen überstaatlichen Elektrokonzern in Europa unter Beteiligung von Frankreich, Belgien und Italien anzuschließen. Der erstere Fall dürfte eine entscheidende Stärkung der europäischen Zusammenarbeit in der Atomforschung bedeuten, im letzteren Falle wäre diese ernstlich bedroht. Auch der Traum einer europäischen Isotopentrennungsanlage unter Beteiligung Frankreichs wäre dann ausgeträumt.

Auf diesem Hintergrund muss man die französische Beteiligung bei der Nuclex 69 sehen. Die Darstellungen der Gas/Graphit-Reaktoren und der mit ihnen ausgerüsteten französischen Kernkraftwerke traten hinter den Objekten der Uran gewinnenden und verarbeitenden Industrie zurück. Dank seinen Schürfrechten in Afrika ist Frankreich zu einem der bedeutenden Uranproduzenten der Welt geworden. Seine Jahreskapazität beträgt mehr als 4000 t Urankonzentrate. Die Raffinerien in Le Bouchet und Malvesi produzieren UF₆ bzw. UF₄, das in Pierrelatte in UF₆ umgewandelt wird. Hinzu kommt das Werk in La Hague zur Aufarbeitung bestrahlter Brennelemente (Trennverfahren), dem gegenwärtig eine Anlage zur Aufarbeitung oxidischer Brennstoffe angegliedert wird. Auch die Herstellung aller Arten von Brennelementen mit natürlichem oder angereichertem Uran bzw. Uranoxid oder mit Plutonium für Schnellbrüter gehört zu diesem Fachgebiet.

Aus dem Schnellbrütergebiet wurde ein Modell des Phénix-Reaktors (250 MW) bei Cadarache an der Rhone

gezeigt; auch Brennelemente des Phénix und des seit 1967 betriebenen Versuchsreaktors Rapsodie (20 MW_{th}) waren zu sehen.

Unter den sonstigen Ausstellungsobjekten von Geräten und Ausrüstungen für Kernreaktoren seien noch die von der Firma Rateau gezeigten gasgeschmierten Lager erwähnt, die zum Beispiel für Turbomaschinen bei der integrierten Reaktorbauweise unerlässlich sind und auch bei Gasturbinen im Gaskreislauf von Hochtemperaturreaktoren eine wichtige Rolle spielen.

ÖSTERREICH

Oesterreich, das als Wasserkraftland noch grössere Energiereserven hat und auch über fossile Energiequellen verfügt, hat erst zur Zeit der Nuclex 69 sein erstes Kernkraftwerk ausgeschrieben. In Betracht kommen ein Block von 350 MW, ein Block von 600 MW oder eine Anlage mit zwei Blöcken von je 350 MW. 70 Prozent der Investitionen sind der österreichischen Industrie vorbehalten. Dieser Umstand weist darauf hin, dass die heimische Industrie schon seit langem massgeblich in die Produktion von Kernbrennstoffen, Bauelementen und Reaktorkomponenten eingeschaltet ist.

Die Oesterreichische Studiengesellschaft für Atomenergie zeigte im Rahmen ihres Herstellungsprogramms Kernbrennstoffe für gasgekühlte Hochtemperaturreaktoren, die aus beschichteten sphärischen Partikeln bestehen. Auf einen Kern aus dem Karbid oder Oxid von Uran, Thorium oder Plutonium (Durchmesser 200 bis 800 μm) wird eine 110 bis 115 μm dicke Beschichtung aus Pyrokohlenstoff oder aus Pyrokohlenstoff und Siliziumkarbid aufgebracht. Diese Kombination ist für Spaltprodukte weitgehend undurchlässig und entspricht den Forderungen hoher Temperaturfestigkeit, guter Neutronenökonomie und chemischer Beständigkeit.

Die andern acht Aussteller waren bekannte Stahlwerke, Kessel- und Apparatebaufirmen, die mit zum Teil komplizierten Objekten und interessanten Schaubildern ihre einschlägigen Bauprogramme und Lieferungen für Kernreaktoren in Europa und in Uebersee darstellten.

Bild 15 Oxidisches Brennstoffteilchen mit Pyrokohlenstoff- und Siliziumbeschichtung (coated particle) in 80facher Vergrösserung

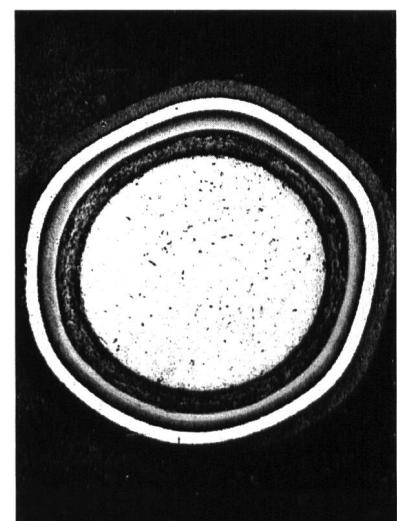


Foto: Oesterreichische Studiengesellschaft für Atomenergie

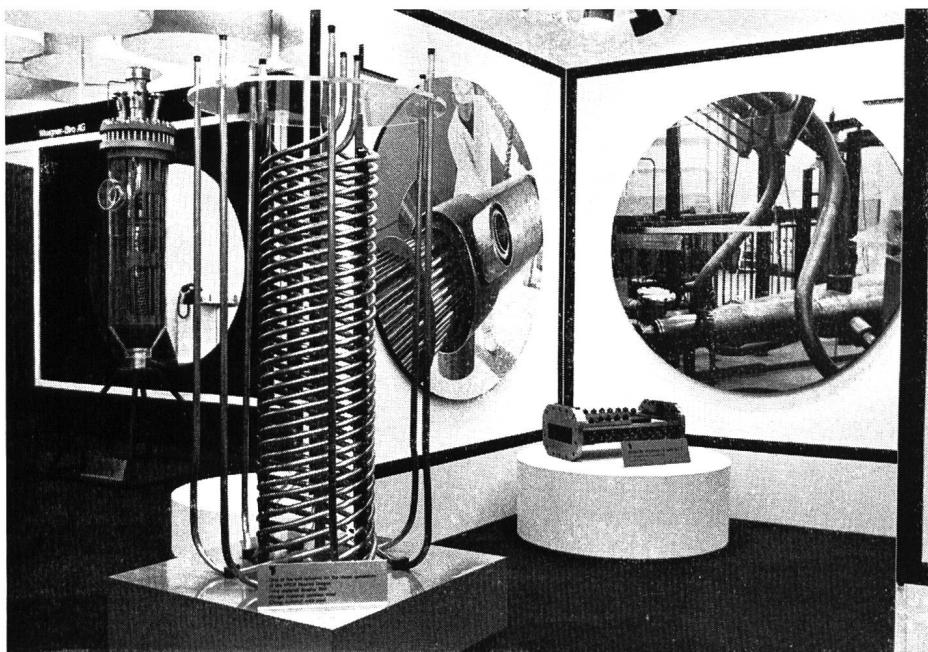


Bild 16
Rohrwicklungen, hergestellt von
der österreichischen Firma
Waagner-Biro für einen Dampf-
erzeuger im HTGR-Reaktor Dragon
in Winfrith (GB)
Foto: Dierks, Basel

SCHWEIZ

Seit dem 7. September 1969 liefert das erste schweizerische Kernkraftwerk Beznau mit seinem ersten Kraftwerkblock (Druckwasserreaktor von Westinghouse mit zwei Turbosätzen von je 182 MW; Endausbau 1972: zwei Blöcke mit insgesamt 700 MW) Strom in das Netz der Nordostschweizerische Kraftwerke AG (NOK). Im fortgeschrittenen Baustadium steht das Kernkraftwerk Mühleberg (Siedewasserreaktor von General Electric, 300 MW, Inbetriebnahme 1971) der Bernische Kraftwerke AG. Alle drei Kernkraftwerkblöcke haben geringere Anlagekosten als die jüngsten Schweizer Wasserkraftwerkprojekte. In ihrem Jahresbericht für 1968/69 vertritt die Motor-Columbus AG die Auffassung, dass die 1969 in der Schweiz im Bau befindlichen Wasserkraftwerke die Aera der Wasserkraft zu einem vorläufigen Abschluss bringen. Dies ist offenbar in Hinsicht auf die quantitative Deckung des Bedarfszuwachses gemeint, die in naher Zukunft Sache der Kernenergie sein dürfte.

Das spektakuläre Ereignis der Betriebseröffnung in Beznau I leitet demnach für die schweizerische Elektrizitätswirtschaft das Zeitalter der Kernenergie ein, nicht aber für die schweizerische Industrie, die sich schon längst in allen Zweigen der Nukleartechnik einer weltweiten Präsenz erfreut. Deshalb ist es auch kein Zufall, dass sich die Nuclex als einzige wirklich internationale Fachmesse der Welt für die kerntechnische Industrie durchgesetzt hat. Ähnliche Veranstaltungen in andern Ländern sind nie über lokale Bedeutung hinausgekommen. Einer der Hauptgründe für diesen Erfolg dürfte darin liegen, dass die Schweiz praktisch der einzige Nuklearmarkt der Welt ist, auf dem die Bedingungen für jedermann dieselben sind.

Betrachtet man die Milliarden, welche die grossen Industriestaaten zur Förderung ihrer Nuklearindustrie investiert haben, und die Grösse der ausländischen Konzerne, die sich mit dem Kernkraftwerkbau befassen, so scheinen die Chancen eines kleinen Landes wie der Schweiz gering. Dazu kommt, dass der schweizerische Inlandmarkt äusserst beschränkt ist und dass hier — im Gegensatz zum Ausland — noch völlig liberale Verhältnisse herrschen. Die schweizerische Industrie ist also im Inland der ausländischen Konkurrenz voll ausgesetzt, während sie im Ausland

gegen die nationalen Präferenzen anzukämpfen hat.

Eine Uebersicht über das nukleare Angebot der Schweiz, wie sie die schweizerische Darstellung auf der Nuclex ermöglichte, zeigt, dass in den meisten in Betrieb oder im Bau stehenden Kernkraftwerken der Welt Erzeugnisse, Techniken oder Dienstleistungen dieses Landes verwendet werden. Kein Land von der Grösse der Schweiz war bis jetzt in der Lage, eine unabhängige kerntechnische Industrie aufzubauen, die sogar ganze Kraftwerke planen und erstellen kann.

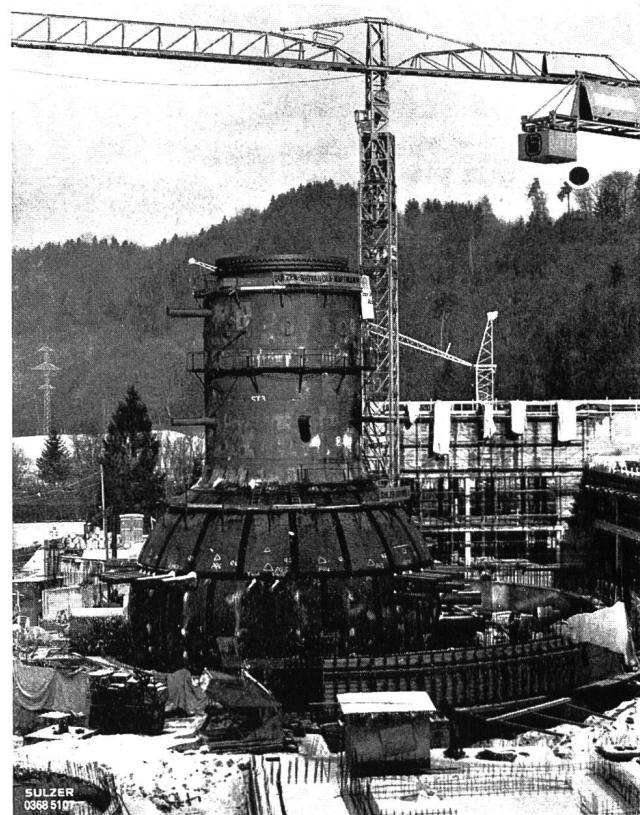


Bild 17 Montage des Druckbehälters für den Siedewasserreaktor im
Kernkraftwerk Mühleberg der BKW. Durchmesser der unteren Kugel
18 m, Wanddicke 21 bis 30 mm
Foto: Sulzer (Bild-Nr. 0368 5107)

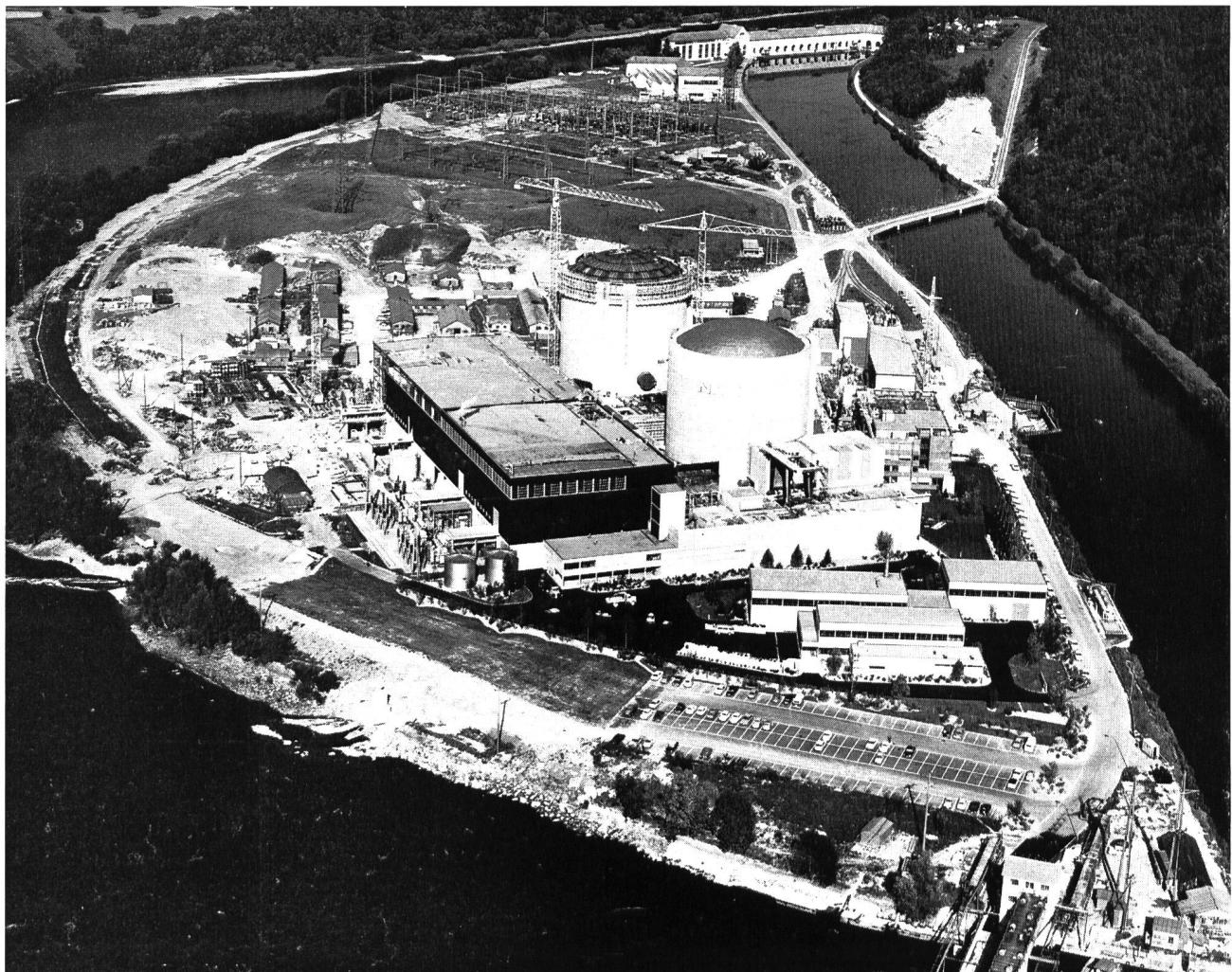


Bild 18 Luftbild der auf einer Aare-Insel gelegenen Kernkraftwerke Beznau I und II der NOK; im Hintergrund Schaltanlage und altes Wasserkraftwerk Beznau

Foto: Comet, Zürich

Was dieser Industrie in erster Linie zu ihrer beachtlichen Stellung auf dem Weltmarkt verholfen hat, das ist ihre traditionelle Qualität und ihre starke internationale Verflechtung. Die Schweizer Qualität beim Bau von Kraftwerken, elektrischen Anlagen und Maschinen wurde an die hohen Anforderungen der Kerntechnik angepasst. Man konzentrierte und spezialisierte sich auf Erzeugnisse, bei denen die Erfahrungen aus der konventionellen Technik übernommen werden konnten, und vervollkommnete Hergebrachtes. Zu den klassischen Kraftwerk-Erbauern stiesen noch jene Firmen, die über eine Tradition in Bereichen verfügten, die bei den Kernkraftwerken neu hinzukamen: Elektronik, Verfahrenstechnik, spezielle Wasserchemie usw. Auch im Nuklearbereich richtete die Industrie ihr Hauptaugenmerk auf die internationale Zusammenarbeit, die ihr den Zugang zu den wichtigen Märkten der Welt öffnete.

Die beschränkten finanziellen und personellen Mittel erlaubten es zwar nicht, Reaktoren eigener Konzeption zu entwickeln, die schweizerische Industrie ist aber in der Lage, praktisch alle Komponenten für die verschiedenen Kernkraftwerktypen herzustellen. Sie hat dies beim Bau von Beznau und Mühleberg, jedoch auch bei zahlreichen ausländischen Projekten bewiesen. Besonders aktiv ist sie gegenwärtig auf dem Gebiet des Hochtemperaturreaktors, für dessen Entwicklung Brown Boveri in Zusammenhang mit dem Dragonprojekt eigene Arbeiten durchführt, zum Teil auch in Verbindung mit dem deutschen THTR-Pro-

gramm. Ueber ihre Beziehungen zu Gulf General Atomic ist auch die Firma Gebrüder Sulzer in diesen Problemkreis eingeschaltet.

Die beiden grössten im Nuklearsektor tätigen schweizerischen Industriegruppen, Brown Boveri/Maschinenfabrik Oerlikon und Gebrüder Sulzer/Escher Wyss, haben ihre Produktionsprogramme gegenseitig abgegrenzt: Brown Boveri konzentriert sich auf den sekundären Teil der Anlagen, das heisst insbesondere auf die Turbogruppen, von denen die Firma neben Beznau und Mühleberg eine ganze Reihe für Kernkraftwerke in der BR Deutschland, in Frankreich, Grossbritannien, Kanada, Schweden und den USA geliefert hat. Beim Bau von Beznau und Mühleberg hat BBC Erfahrungen für die Gesamtprojektierung und Erstellung vollständiger Kernkraftwerke sammeln können und ist deshalb heute ein gesuchter Partner reaktorbauender Firmen und so zum Beispiel als Hauptkontrahent einer amerikanischen Reaktorfirma in der Ausschreibung für das erste österreichische Kernkraftwerk beteiligt. BBC-Turbosätze laufen in vielen ausländischen Kernkraftwerken: Trawsfynydd (GB), AVR Jülich (BRD), E1 4, Bugey und Phénix (F), Gentilly (Ca), Donald C. Cook II (USA), ferner unter BBC-Lizenz: Ringhals, Oskarshamn II und Barsebeck (S).

Sulzer konzentrierte sich andererseits auf die schweren Ausrüstungen für den primären (nuklearen) Anlageteil, wie Reaktordruckgefässe, Dampferzeuger und Pumpen, und konnte neben wichtigen Aufträgen für die beiden schwei-

zerischen Kernkraftwerke ebenfalls schon verschiedene Exporterfolge verzeichnen, zum Beispiel wesentliche Anlageteile für die Kernkraftwerke EDF 4 und E1 4 (F), Dragon und Dungeness B (GB), Marviken (S) und Fort St. Vrain (USA).

Zu erwähnen ist auch die weitreichende Tätigkeit schweizerischer Ingenieurunternehmungen, die als Ingenieur-Architekten Vorstudien, Projektierung, Bauleitung und Bauüberwachung für komplett Anlagen übernehmen. In jüngster Zeit sind es Projekte und Projektstudien für die ersten Kernkraftwerke in Griechenland und in der Türkei, ferner für das schweizerisch-französische Gemeinschaftswerk Kaiseraugst bei Basel, für ein schweizerisch-deutsches Gemeinschaftswerk Leibstadt, ebenfalls am Hochrhein, und für das Projekt Kernkraftwerk Gösgen an der Aare bei Olten sowie für einen SGHWR-Reaktor von 370 MW für die britische Atombehörde.

Die weitreichenden Möglichkeiten der beiden Grossfirmen werden durch zahlreiche mittelgrosse und kleinere Unternehmen ergänzt, die mit ihren Spezialitäten Eingang in den Weltmarkt der Nuklearindustrie gefunden haben. Unter diesen auch in Basel vertretenen Firmen seien beispielhaft erwähnt: Ateliers des Charmilles mit Einrichtungen für den Brennelementwechsel und -transport, zum Beispiel der Wechselmaschine für den Dragon-Reaktor, Beznau und Mühleberg; Georg Fischer mit Stahlgussteilen, Pumpen und Gebläsen sowie thermischen Schilden als Lieferant für viele Reaktoren in Europa, Kanada und USA; Landis & Gyr mit Neutronenfluss-Instrumentierungen, Schutzgeräten und dergleichen; Sprecher & Schuh mit Fernmelde-, Kommando- und Steuerungsanlagen.

SOWJETUNION UND OSTBLOCKLÄNDER

Zum erstenmal hat sich die Sowjetunion in Basel auf das rauhe Feld der freien Konkurrenz mit ihren westlichen Rivalen begeben. Ob sich die Hoffnungen auf eine Belebung des Gedanken- und Erfahrungsaustausches mit dieser «Grossmacht auf dem Gebiet der Kernenergie» erfüllen werden, bleibt abzuwarten. Das Interesse der Nuclexbesucher war verständlicherweise besonders gross, liess jedoch bei näherer Besichtigung des sowjetischen Standes zusehends nach.

Leuchtbilder und Tabellen an den Wänden des ringsum geschlossenen Ausstellungspavillons zeigten die im Gang befindliche Umstrukturierung der sowjetrussischen Elektrizitätswirtschaft von einer zur Zeit noch fast ausschliesslich auf Wasserkraft und fossilen Brennstoffen beruhenden Versorgung auf eine im europäischen Teil der UdSSR später vorwiegend auf Atomenergie abgestellte Stromerzeugung.

Die Sowjetunion hat 1954 das erste Kernkraftwerk der Welt, die Anlage Obninsk bei Moskau, mit einem graphitmoderierten Druckröhrenreaktor von 5 MW in Betrieb gesetzt. Vom gleichen Typ sind auch die beiden Reaktoren im Kraftwerk Belojarsk am Ural; der zweite Reaktor arbeitet mit nuklearer Überhitzung. Dieser Typ soll in Leistungseinheiten von 1000 MW zunächst die Grundlage des nuklearen Programms der Sowjetunion bilden; der Aufbau eines Druckwasserreaktors war im Modell zu sehen.

Die nächste Anlage in Nowo-Woronesch am Don wird demnächst über insgesamt 1465 MW in vier Reaktorblöcken verfügen. Ein weiteres Bauprogramm dieser Druckwasser-Reaktorlinie sieht bis 1980 eine installierte Gesamtleistung von etwa 10 000 MW in Standardeinheiten von 440 MW vor. Blöcke bis 1000 MW sind auch hier geplant.



Bild 19 Stand der Schweizerischen Vereinigung für Atomenergie (SVA)
Foto: Dierks, Basel

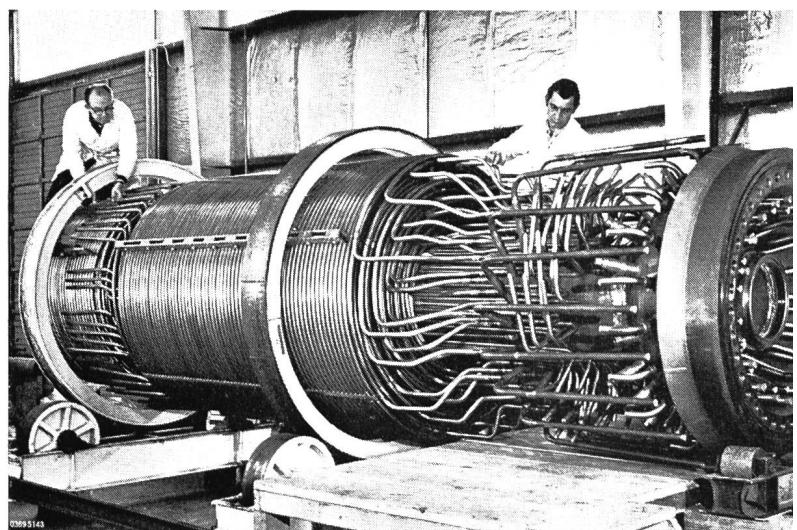


Bild 20 Zusammenbau der Hochdruck-Heizfläche eines Dampferzeugers für das HTGR-Kernkraftwerk Fort St. Vrain (USA)
Foto: Sulzer (Bild Nr. 0369 5143)

Bild 21 Zugang zum Ausstellungsstand der Sowjetunion
Foto: Dierks, Basel



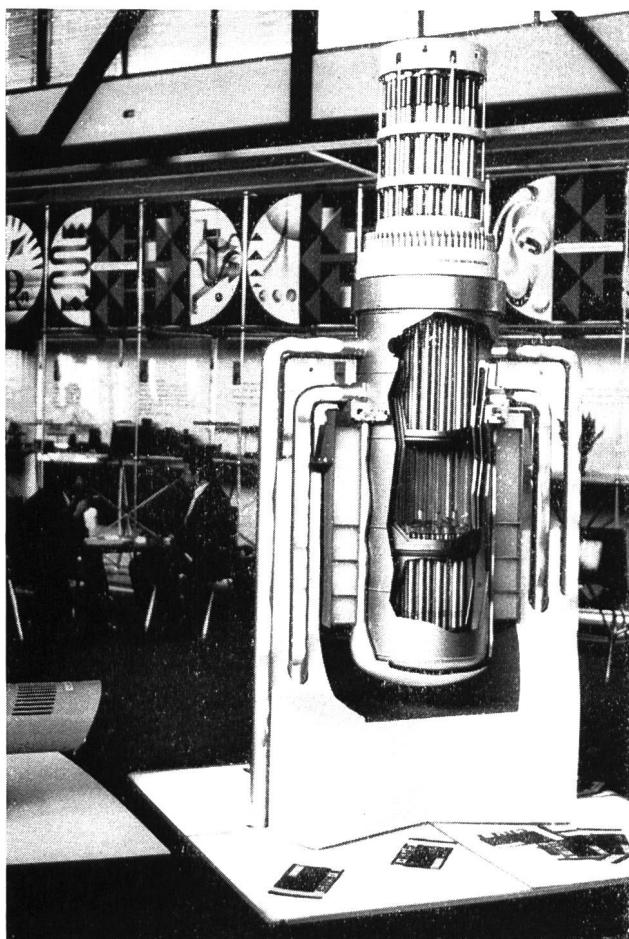


Bild 22 Modell eines Druckwasserreaktors sowjet-russischer Bauart
Foto: A. Th. Gross

Grosse Aufmerksamkeit wird dem natriumgekühlten Schnellen Brüter geschenkt. Der erste Reaktor dieser Art (BN 350) soll jetzt im Kernkraftwerk Schewtschenko am Kaspischen Meer mit 150 MW in Betrieb kommen. Es handelt sich um eine Mehrzweckanlage, die mit einer Meerwasserentsalzung für 150 000 m³/Tag gekoppelt ist. Ein weiterer Natriumbrüter von 600 MW (BN 600), der als leider allzu schematisches Modell im Mittelpunkt des Pavillons stand, ist als dritter Block im Kraftwerk Belojarsk im Bau; durch Zwischenüberhitzung hofft man einen thermi-

schen Wirkungsgrad von 41 % zu erreichen. Die Konstruktionsarbeiten für einen Schnellbrüter von 1000 MW sind im Gang; Reaktorleistungen bis zu 2000 MW werden in Betracht gezogen.

Bei den sonstigen Ausstellungsstücken ging es im wesentlichen um Anwendungsmöglichkeiten von Strahlungsquellen in Industrie, Landwirtschaft, Medizin und Biologie, um Isotopenbatterien, Mess- und Laborgeräte. Eine Plasma-Metallschneideanlage, die im Betrieb vorgeführt wurde, fand besondere Beachtung. Bei einer Leistung des Plasma-Schneidbogens von max. 120 kW beträgt die Schnittgeschwindigkeit beim mechanischen Schneiden von Stahl 0,1 bis 4 m/min bei Stählen von 120 bis 10 mm Dicke.

Die UdSSR hat sich neuerdings bereit erklärt, die Aufarbeitung bestrahlter Brennelemente aus allen Ländern zu übernehmen, die den Atomwaffensperrvertrag unterschrieben haben.

Die Ostblockländer traten nur wenig in Erscheinung. Rumänien war durch das Bukarester Institut de Physique Atomique vertreten, das in Zusammenarbeit mit einer britischen Firma in der Nähe von Bukarest eine Anlage zur Dekontaminierung radioaktiver Abfälle baut. Das Institut, das auch mit westlichen Forschungsstätten zusammenarbeitet, verfügt über einen russischen Versuchsreaktor von 2 MW. Die Ausbildung von Spezialisten für den Reaktorbetrieb erfolgt im Rahmen eines Kernenergieplans für 1969 bis 1980. Wegen seiner eigenen Vorkommen an Natururan bevorzugt Rumänien ein Reaktorprogramm, das ohne angereichterten Spaltstoff auskommt. Es kommen also der kanadische Candu-Reaktor oder der britische AGR in Frage.

Die Tschechoslowakei, repräsentiert durch Skodaexport/Prag, zeigte Stahldruckgefässe für Reaktoren, Entwürfe für Wärmetauscher im Primärkreislauf sowie Schweißverfahren.

Ungarn und die DDR liessen sich durch ihre Ausenhandelsorganisationen vertreten.

ITALIEN

Unter den 12 Ausstellern dominierte das Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare (CNEN), das gemeinsam mit dem italienischen Atomforum einen Ueberblick über die nukleare Entwicklung gab. Die Elektrizitätsversorgung des Landes beruht zu 57 % auf Wärmekraftwerken; der Wasserkraft

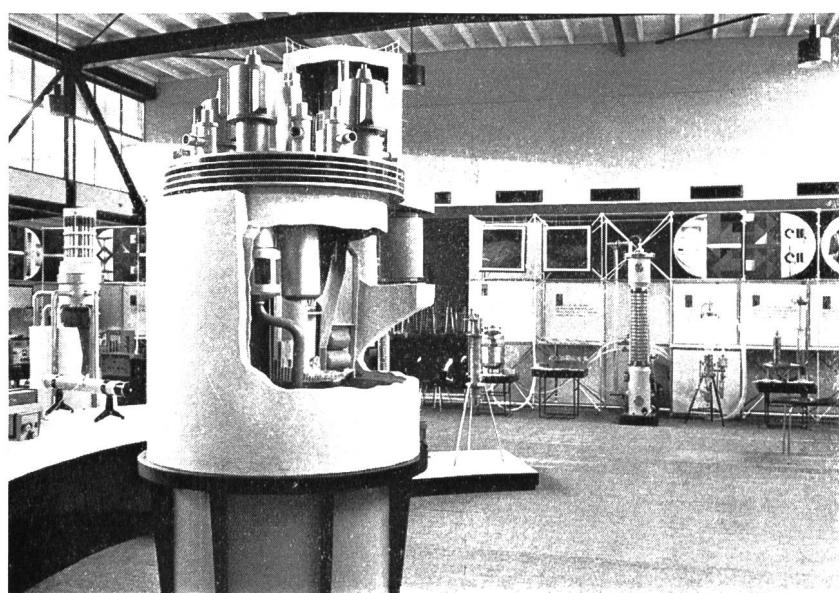


Bild 23
Modell des natriumgekühlten Schnellbrüters BN 600 (600 MWe) für das Kraftwerk Belojarsk
Foto: Dierks, Basel

fällt mehr und mehr die Rolle der Spitzen- und Regulierenergie zu. Deshalb soll die Kernenergie in steigendem Masse zur Grundlastdeckung herangezogen werden.

Bis Juli 1969 haben die drei Kernkraftwerke — *Latin a* (Gas/Graphitreaktor, 210 MW), *Garigliano* (Siedewasserreaktor, 160 MW) und *Trino Vercellese* (Druckwasserreaktor, 257 MW) — 16,75 TWh erzeugt, so dass Italien hinter Grossbritannien und den USA an dritter Stelle der Kernenergieproduktion steht. Die Erfahrungen beim Bau und Betrieb dieser Anlagen haben es der heimischen Kernindustrie möglich gemacht, die kurz vor der Vergabe stehende vierte Anlage mit 650 bis 750 MW bei Piacenza am Po selbst zu konzipieren.

Das Reaktorprogramm der CNEN sieht die Entwicklung eines schwerwassermoderierten Reaktors vom Druckröhrenprinzip mit Leichtwasser-Nebelkühlung vor; ein Prototypereaktor *Cirene* (35 MW) soll die nötigen Erfahrungen liefern. Außerdem wird auch in Italien an der Entwicklung eines natriumgekühlten Schnellen Brüters gearbeitet. Mit dem Bau eines als Modell gezeigten Testreaktors (PRV) von 140 MW_{th} zur Püfung von Brennelementen soll 1970 begonnen werden. Schliesslich soll im Rahmen des Rovigo-Programms ein organisch moderierter Reaktor zur Industriedampferzeugung in Verbindung mit Wasserentsalzungsanlagen entwickelt werden. Geplant ist auch eine Schwerwasserfabrik für etwa 20 t/Jahr, die 1971 in Betrieb kommen soll.

Verschiedene italienische Firmen betätigen sich auf dem Gebiet der Spaltstoffgewinnung und -verarbeitung. Als Beispiel zeigte die ENI ein bei ihrer Tochtergesellschaft Agip Nucleare entwickeltes Verfahren zur Herstellung kleiner Brennstoffpartikel aus Uran-, Plutonium- oder Thorium-oxid. Das sogenannte Plutoniumprogramm der CNEN dient der Entwicklung von keramischen Brennstoffelementen auf Plutonumbasis. Versuchsanlagen zum Studium der technologischen und chemischen Probleme der Wiederaufbereitung bestrahlter Brennstoffe aus den italienischen Kernkraftwerken und später auch aus Schnellbrütern sind im Bau.

Mit Nachdruck setzte sich Professor C. Salvetti, Vizepräsident der CNEN, auf einer Pressekonferenz für den Bau einer europäischen Anreicherungsanlage ein. Um dieses dringende Problem voranzutreiben, hat die CNEN die Italian Uranium Enrichment Group gegründet, die sich mit Detailfragen der Spaltstoffanreicherung befasst. Im Rahmen eines bereits vorliegenden Entwicklungsplans für Teile einer solchen Anlage erhielt zum Beispiel die ENI Aufträge auf Verdichter zu Diffusions- und Ultrazentrifugenanlagen.

BELGIEN

Seine Rolle als europäisches Zentrum der Atomforschung verdankt Belgien wohl ursächlich seiner jahrzehntelangen Erfahrung mit der Gewinnung von Radium aus Uranerzen und deren Verarbeitung zu radioaktiven Erzeugnissen. Durch ihre Uranlieferungen an die USA und an Grossbritannien gewann die belgische Industrie einschlägige technologische und chemische Kenntnisse, aber auch Einblick in viele Grundprobleme der kerntechnischen Forschung, die sie weiter zu entwickeln wusste.

Belgien ist Mitglied der grossen europäischen Organisationen wie der CERN, der ENEA, der IAEA und von Euratom. Bilaterale Abkommen bestehen mit den USA, der UdSSR, mit Grossbritannien, Polen, Indien und Pakistan.

Das schon 1952 gegründete Forschungszentrum Mol ist

bald weit über seine ursprüngliche Aufgabe, die nukleare Wissenschaft und Industrie zu befruchten, hinausgewachsen. Seine Forschungs- und Testreaktoren ermöglichen die Herstellung von Isotopen sowie kernphysikalische und -technische Untersuchungen aller Art, die besonders auch für die Kernforschungszentren und nuklearen Industrien der angeschlossenen Länder wichtig sind.

Die Forschung in Mol ist in erster Linie auf alle mit dem Brennstoffzyklus zusammenhängenden Entwicklungsprobleme eingestellt. Gemeinsam mit dem französischen Kernforschungszentrum Cadarache und dem Karlsruher Transuranforschungsinstitut ist das Plutoniumlabor in Mol zur Zeit noch die einzige Forschungsstätte für Plutonium innerhalb der EWG. Dort wurde auch die Technik der coated particles entwickelt. Daneben wird Mol sich jetzt der Arbeit am Schnellen Brüter widmen. Im Rahmen eines Abkommens mit der BR Deutschland und mit Holland sollen die Entwicklungsarbeiten für den natriumgekühlten Schnellen Brutreaktor als Prototypanlage mit 300 MW gemeinsam betrieben werden.

Der Bedeutung der belgischen Industrie für die Gewinnung und Verarbeitung spaltbaren Materials sowie für alle Zweige der Herstellung und Wiederaufbereitung von Brennelementen entsprechend waren sieben einschlägige Firmen mit zum Teil sehr interessanten Darstellungen in Basel vertreten. Erwähnt sei ein über 3 m langes Brennstoffbündel der Firma Métallurgie et Mécanique Nucléaires, die Brennstoffe aller Art für viele Reaktoren in Europa und in den USA geliefert hat. Oder Proben vom Auflösen, Zerschneiden und Entmanteln bestrahlter Brennstäbe und Bilder von halbautomatischen Wiederaufbereitungsanlagen in Mol und bei der Eurochemic, an deren Errichtung die Electro-Navale et Industrielle (ENI) massgeblich beteiligt ist.

Auf dem grossen Stand des Centre d'Etudes de l'Energie Nucléaire, Mol, war ein guter Überblick über die oben genannten Forschungsgebiete zu gewinnen, vor allem über die Möglichkeiten, die der Hochflussreaktor BR 2 in Mol für die Entwicklung von Leistungsreaktorprogrammen und für die Erzeugung von Isotopen und Transuranen bietet.

Im Programm der Ateliers de Constructions Electriques de Charleroi (ACEC) sind die Bestrebungen um eine Standardisierung von Reaktorkomponenten, wie zum Beispiel Pumpen, Wärmetauscher, Rohrleitungen und Armaturen, ganz besonders interessant. Allerdings setzt dies eine gewisse Kontinuität der künftigen Entwicklung voraus, die für den Konvertotyp jetzt anzunehmen ist. Das Ziel wäre das Kernkraftwerk aus standardisierten Bausteinen. Einen weiteren Schritt bedeutet das Zwillings-Kernkraftwerk aus zwei identisch gleichen, voneinander unabhängigen Reaktor/Turbinen-Blöcken mit dazwischen liegenden Hilfsmaschinen. Dies ermöglicht vereinfachte Bauweise und Lagerhaltung, stufenweise Anpassung der installierten Leistung an den steigenden Bedarf ohne unproduktive Vorausinvestitionen sowie erhöhte Betriebssicherheit nach dem Vollausbau.

Nach diesem Prinzip wird das von fünf belgischen Stromversorgungsunternehmen bestellte Kernkraftwerk *Doel* (Druckwasserreaktor, 2 x 390 MW) im Norden von Antwerpen gebaut werden. Eine weitere Anlage mit dem gleichen Reaktortyp, aber nur einem Block von rund 800 MW, wird in *Tihange* an der Maas erstellt werden. Bei diesem Kernkraftwerk, an dem die ACEC mit wesentlichen Lieferungen beteiligt ist, handelt es sich wie bei der Anlage *Chooz* in den Ardennen (Druckwasserreaktor, 266 MW) um ein französisch-belgisches Gemeinschaftswerk. Ein

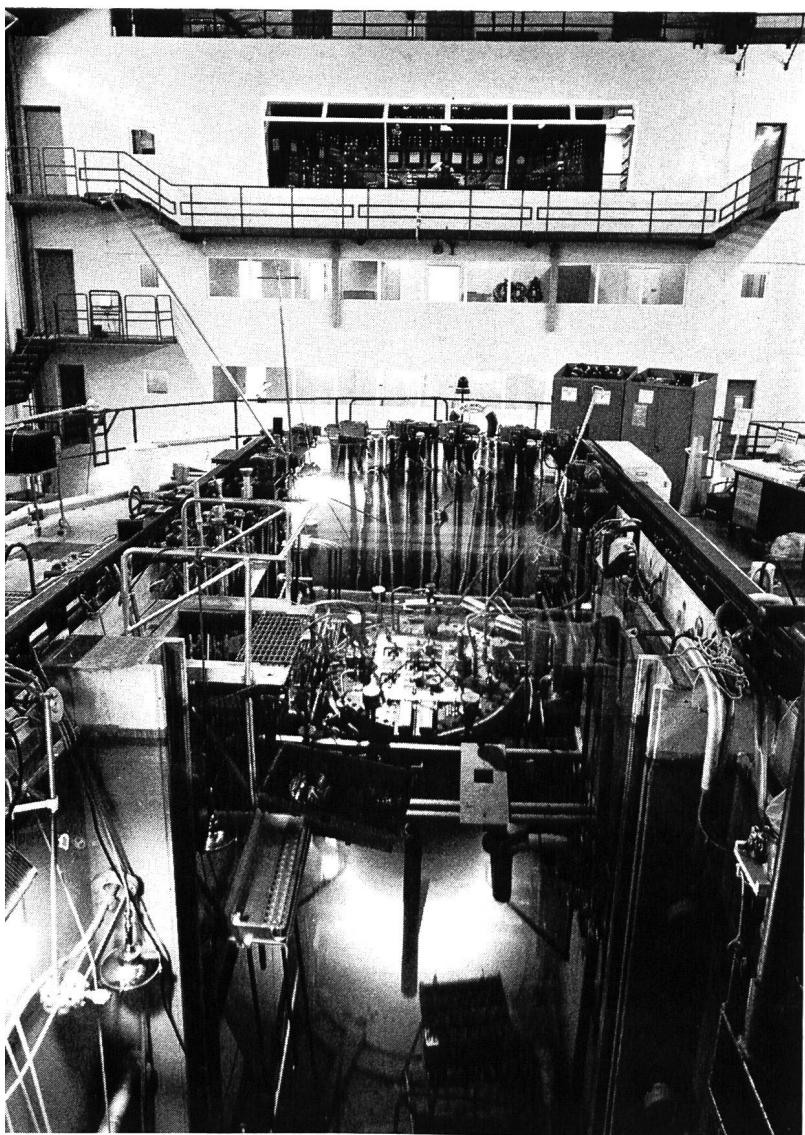


Bild 24 Materialprüfreaktor R 2 (50 MWth) im Kernforschungszentrum der AB Atomenergi in Studsvik (Schweden) Foto: AB Atomenergi

weiteres Kraftwerkprojekt mit einem gasgekühlten Hochtemperaturreaktor von 400 MW wird zur Zeit geprüft. Bei Anlagekosten von 170 bis 180 US-Dollar je kW für eine Leistungsgröße von 600 bis 700 kW werden bei einem solchen Werk Erzeugungskosten von 4,6 mills/kWh erwartet.

SKANDINAVISCHE GRUPPE

Die vier skandinavischen Länder hatten in einer gemeinsamen Gruppe «Nuclear Scandinavia» ausgestellt. Die nordische Kernindustrie präsentierte einen weitgespannten Fächer von der kompletten Reaktoreinheit bis zur Forschungseinrichtung, wobei Norwegen sich eher mit Forschung und Planung befasst. Der seit zehn Jahren dort als gemeinschaftliches Forschungsunternehmen der Europäischen Kernenergieagentur betriebene Haldenreaktor ist den beteiligten Ländern, darunter auch der Schweiz, schon in vieler Hinsicht nutzbringend gewesen. Die Zusammenarbeit der nationalen Forschungszentren Risø (Dänemark), Kjeller (Norwegen) und Studsvik (Schweden) bedeutet eine wesentliche Förderung der nordischen Kernindustrie.

Dänemarks Industrie scheint im wesentlichen auf Präzisionsinstrumente, Brennelementbau und Isotopentechnik ausgerichtet. Finnland zeigte sich als Hersteller

von Druckgefäßen, Wärmetauschern, Reaktoreinbauten, Brennstoffwechselmaschinen. An der Ausrüstung eines kürzlich in der UdSSR bestellten Kernkraftwerks mit Druckwasserreaktor von 440 MW wird die finnische Kernindustrie mit 50 % der Lieferungen beteiligt sein.

Die umfassendste Erfahrung hat wohl Schweden, das über eine leistungsfähige Schwerbau-, Dampfturbinen- und Elektroindustrie verfügt und seit fünf Jahren das Kernkraftwerk Agesta betreibt. Der mit schwerem Wasser gekühlte und moderierte Druckwasserreaktor liefert 10 MW für die Stromerzeugung und 55 MW_{th} für die Fernheizung einer Stockholmer Vorstadt von 10 000 Wohnungen. Zwei weitere Kernkraftwerke werden im laufenden Jahr in Betrieb gehen: Marviken mit einem Schwerwasser-Einkreisreaktor von 140 MW mit Einrichtungen zum Studium der nuklearen Überhitzung (von der man inzwischen wieder abgegangen ist) sowie Oskarshamn mit einem Siedewasserreaktor von 440 MW als erstes kommerzielles Kernkraftwerk in Schweden.

Von 1973 an sollen jährlich eine oder zwei weitere Anlagen mit Siedewasserreaktoren von 580 bis 830 MW den Betrieb aufnehmen, zum Teil verbunden mit einer Fernwärmeversorgung. So wird die nukleare Kraftwerkleistung im Jahr 1980 etwa 7 bis 8 GW betragen. Das entspricht einer Stromerzeugung von über 45 TWh bzw. einem Drittel der Gesamtproduktion. 1985 sollen bereits etwa 60 % des schwedischen Strombedarfs mit 18 GW Kernkraftwerkleistung erzeugt werden. Im Mittelpunkt der Entwicklungsarbeiten wird auch in Schweden der natriumgekühlte Schnelle Brüter stehen.

FAZIT DER NUCLEX

Der Gang durch die Ausstellung, die Fachvorträge, Forumsdiskussionen und Pressekonferenzen haben wie kaum je zuvor einer breiten Öffentlichkeit gezeigt, dass die Kernenergie ein erstrangiger Faktor der Volkswirtschaft geworden ist. Zugleich wurde sichtbar, wie eng verflochten die Probleme sind, die von dieser Entwicklung in aller Welt aufgeworfen werden, und welch eminent politischen Charakter sie haben. Die Veranstaltungen haben aber auch erkennen lassen, dass die lebenswichtigen Aufgaben, die hier auf jedes einzelne Land zukommen, fast überall die nationalen Industriepotentiale, oft auch die volkswirtschaftlichen Kräfte übersteigen.

Wie kaum eine andere technische Entwicklung erfordert deshalb die Kernenergie eine die Grenzen überschreitende Gemeinschaftsleistung. Besonders deutlich wurde dies in jüngster Zeit durch die drängende Frage einer gesicherten Spaltstoffversorgung Europas. Dies betrifft nicht nur den Bau einer Spaltstoff-Anreicherungsanlage, der die Finanzkraft eines einzelnen Landes weit übersteigen würde, sondern auch die umfangreichen Bauprogramme der kommenden Jahre, die einer gegenseitigen Abstimmung und einer Konzentration der industriellen Kapazitäten bedürfen, wie sie sich neuerdings zum Beispiel in der BR Deutschland, in Frankreich und England abzeichnet. Daraus folgt zugleich die zwingende Notwendigkeit einer Wiederbelebung der Europäischen Atomgemeinschaft.

Als eine Art internationaler Lehrschau hat die Nuclex 69 weit über den Charakter einer Fachmesse hinaus die Richtschnur für die künftigen Dispositionen gegeben. Darin ist der grosse Gewinn dieser Veranstaltung zu erblicken.

Adresse des Verfassers:
Obering. Dipl.-Ing. A. Th. Gross,
Widmaierstrasse 144,
D-7 Stuttgart 80