Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 59 (1967)
Heft: 3

Artikel: Nuclex 66 : Leistungsschau der internationalen Kernenergie
Autor: Auer, E.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-920984

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: 26.12.2025

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

NUCLEX 66 — LEISTUNGSSCHAU DER INTERNATIONALEN KERNINDUSTRIE

DK 061.4 (100) : 621.039

In der nachfolgenden gedrängten Berichterstattung über die in Basel zur Durchführung gelangte Tagung und Ausstellung der internationalen Kernindustrie — der Nuclex 66 —, sind wir dank freundschaftlicher Beziehungen zum Schriftleiter der bekannten deutschen Fachzeitschrift «Brennstoff-Wärme-Kraft»/BWK in der Lage, im Anschluss an unsere generellen Ausführungen, einen für die BWK bestimmten aufschlussreichen Bericht von Ing. H. Bialuschewski (Jülich) ebenfalls zu veröffentlichen.

REDAKTION

In der Zeit vom 8. bis 14. September 1966 fand in Basel in den neuen Hallen der Schweizerischen Mustermesse in weltweitem Rahmen die erste Fachmesse und Fachtagung für die kerntechnische Industrie statt. Wie wir bereits in WEW 1966, S. 293 festhalten konnten, war dieser Messe ein überaus guter Erfolg beschieden.

In seiner Eröffnungsansprache wies Dr. H. Hauswirth, Direktor der Schweizer Mustermesse und Präsident der Nuclex 66, darauf hin, dass man in Basel zur Überzeugung gelangt war, dass nach der stürmischen Entwicklung der letzten Jahre der Zeitpunkt gekommen sei, das Schaffen der kerntechnischen Industrie auf breitester Basis in einer kommerziell-industriellen Fachmesse zusammenzufassen, um so eine auf die Bedürfnisse dieses neuen Fachgebietes ausgerichtete internationale Marktveranstaltung zu schaffen. Daran anschliessend sprachen Fachreferenten der amerikanischen, englischen und französischen Atomenergiekommissionen. J. G. Palfrey, (Columbia University USA), der anstelle von C. Holifield sprach, zeichnete in einem sorgfältig aufgebauten Referat die Entwicklung der Kerntechnik in den letzten 25 Jahren auf. Nachdem noch in der Mitte der 50er Jahre viele amerikanische Grossfirmen ihre Nuklearabteilungen wieder geschlossen hatten, weil sie scheinbar die Möglichkeiten der Entwicklung überschätzt hatten, haben die letzten Jahre das Bild vollständig verändert. Der Stand der amerikanischen Industrie zeigt, welch ungeheure Weite der technischen Produktion heute anzutreffen ist. Indessen glaubt Palfrey nicht, dass sich den Amerikanern in Europa ein Markt für Reaktoren eröffnen wird. Eine echte Chance besteht seiner Meinung nach jedoch für den Komponentenbau. H. C. Stewart (Grossbritannien) wies darauf hin, dass England eine jahrelange Erfahrung in der Gewinnung der Elektrizität aus Kernkraftanlagen habe. Schon vor zehn Jahren wurde der erste Reaktor dem Betrieb übergeben. Inzwischen ist England ein grosses Stück weitergekommen und konnte ein weitreichendes Entwicklungsprogramm für den Reaktorbau ausarbeiten. Der Referent wies u. a. auch auf die gute Zusammenarbeit mit der Schweiz hin. In seiner Ansprache führte P. Huet (Frankreich) aus, dass die Verwirklichung eines nationalen Programmes es der französischen Industrie erlaubt, in die vordersten Reihen der Entwicklung zu treten. Für die Zukunft stellt sich die Frage, ob die Industrie in der Lage sein wird, den ungeheuren Expansionsrhythmus aufzunehmen und ob die Weltreserven an spaltbarem Material ausreichen. Die Sorge vor einer Verknappung des Urans wird die Entwicklung von Hochleistungsreaktoren fördern.

Als Vertreter der Eidgenossenschaft brachte Bundesrat R. Bonvin die Freude zum Ausdruck, dass die erste derartige Schau in der Schweiz stattfindet. Das Hauptgewicht seiner Ausführungen galt der Notwendigkeit einer weiträumigen Zusammenarbeit, da sich hier zum ersten Mal eine Industrie entwickle, deren Investitionsvolumen die Kapazität kleiner Länder wie der Schweiz einfach überschreite. Die Schweizer Industrie sei nicht in der Lage, allein einen eigenen Reaktortyp zu entwickeln; daher seien Abkommen mit anderen Ländern getroffen worden. Die Schweizer Industrie begrüsse die Hilfe dieser internationalen Beziehungen. Die enge Zusammenarbeit der verschiedenen schweizerischen Elektrizitätsunternehmungen bietet zudem eine gute Voraussetzung dafür, dass auch die Probleme der Kernenergie gemeistert werden können. Auch die schweizerischen Wasserkraftwerke, so betonte Bonvin, werden ihre Funktion als Ausgleichkraftwerke zu erfüllen haben.

Von der Tatsache ausgehend, dass in den nächsten Jahren in der Welt Aufträge für Kernkraftanlagen vergeben werden müssen, deren Gesamthöhe sich auf Milliardenbeträge beziffern wird, ist es verständlich, dass die erste Atommesse Nuclex 66 auf ein überaus grosses Interesse seitens der Produzenten und Käufer stiess. An der Ausstellung selbst, die in den neuen Hallen der Schweizer Mustermesse untergebracht war, stellten auf 25 000 m² insgesamt 247 Aussteller ihre Erzeugnisse zur Schau. Dabei hatten sich 64 Aussteller aus den USA, 44 aus Frankreich, 42 aus der Schweiz,

Bild 1
Bundesrat Roger Bonvin
als interessierter Besucher der Ausstellung
Nuclex 66

(Bilder 1 bis 3 Photos COMET)

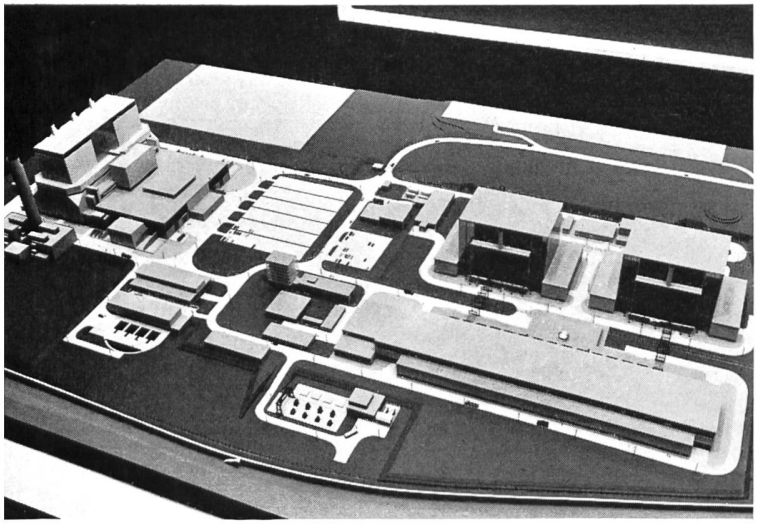


Bild 2 Modellansicht des neuen englischen Kernkraftwerks Hinkley Point B (1150 MW); links im Bild ein britischer AGR Reaktor (advanced gas-cooled reactor) neben der seit 1963 in Betrieb stehenden GCR-(gas-cooled reactor) Anlage Hinkley Point A (500 MW)

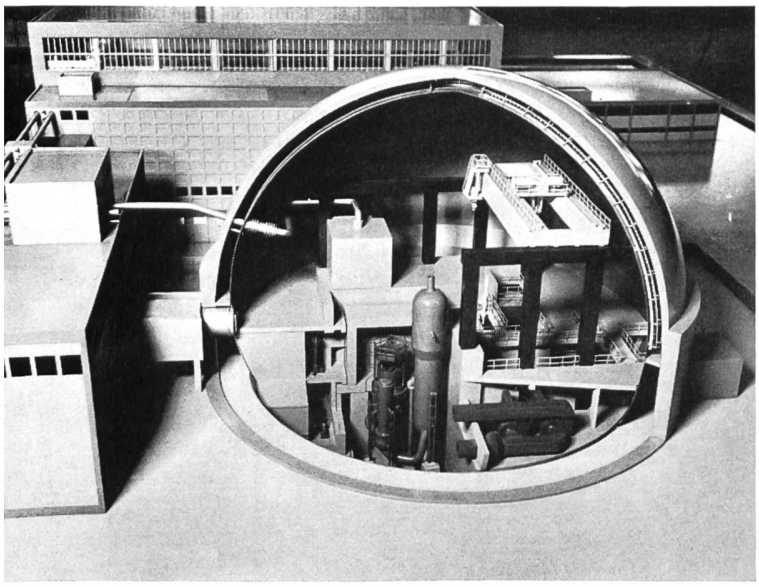


Bild 3 Modellansicht des Reaktorgebäudes des westdeutschen Kernkraftwerks Obrigheim (283 MW)

38 aus der Bundesrepublik Deutschland, 26 aus England und 12 Aussteller aus Kanada beteiligt. Weiter entfielen auf Österreich vier, auf Italien, Belgien und Schweden je drei, auf Liechtenstein und Holland je zwei und schliesslich auf Norwegen, die Tschechoslowakei und den Congo je ein Aussteller.

Im Rahmen der Ausstellung wurden zahlreiche Fachreferate gehalten, die alle besonderen Problemen der Kernenergie galten und in 14 Sessionen behandelt wurden. Umfassenden Einblick vermittelten die Vortrags- und Diskussionsthemen, die auf den gegenwärtigen Stand der Kerntechnik und Kernenergie, auf Entwicklungstendenzen sowie auf Sicherheitsfragen und auf detaillierte Fachprobleme ausgerichtet waren. Die Generalthemen der Fachtagungen waren folgende: Diskussion über die in verschiedenen Ländern bestehenden Vorschriften und Massnahmen auf dem Gebiet der Sicherheit von Kernenergieanlagen; Rohmaterialien für Kernbrennstoffe und Brennstoffzyklen; in Betrieb stehende Leistungsreaktoren; Forschungsreaktoren; Strahlenquellen und Anwendung radioaktiver Strahlen; Strahlengeneratoren und Teilchenbeschleuniger; fortgeschrittene Leistungsreaktoren; Reaktorkomponenten und Sekundäranlagen; Instrumentierung und Regelung von Reaktoren und Kernkraftwerken; Gesamtplanung von Kernkraftwerken und nukleare Bautechnik; nukleare Messgeräte für die Forschung und Strahlenüberwachungsgeräte; Aufbereitung bestrahlter Kernbrennstoffe und Behandlung radioaktiver Abfälle; spezielle Anwendungsgebiete der Kernenergie wie nuklearer Schiffsantrieb, Wasserentsalzung u. a. m. Eine öffentliche Paneldiskussion war dem hochaktuellen Thema der Sicherheitsfragen bei Nuklearanlagen gewidmet, wobei u. a. die in den verschiedenen Ländern geltenden Vorschriften zur Sprache kamen. Führende Spezialisten legten bei dieser Gelegenheit die verschiedenen Aspekte der Sicherheit von Atomkraftwerkanlagen dar. Zur Diskussion gelangten alle wichtigten Sicherheitsfragen, welche die künftigen Betreiber von Atomkraftwerken, die nukleartechnische Industrie, die mit der Behandlung einschlägiger Fragen betrauten Behörden sowie die Öffentlichkeit im allgemeinen interessieren. Wenn man bedenkt, dass bereits 1985 in Europa etwa 40 % der produzierten elektrischen Energie nuklearen Ursprungs sein werden, kann man die Bedeutung ermessen, welche dem sicherheitsmässigen Aspekt zukommt.

Erstes Anliegen dieser bedeutenden Fachmesse war es, auch ein klares, umfassendes Bild der heute schon erreichten wirtschaftlichen und technischen Möglichkeiten der Kerntechnik aufzuzeigen. Diesen Eindruck vermittelten nicht nur die Fachtagungen sondern in hohem Masse auch das Ausstellungsgut. Neben den Grossunternehmen, die für den Bau ganzer Kernkraftanlagen auftreten können, waren an der Nuclex 66 vor allem der Sektor Komponentenbau sowie die Apparate- und Instrumentenindustrie stark vertreten; grosse Bedeutung kommt auch den in der industriellen Praxis immer mehr sich durchsetzenden Bestrahlungsanlagen zu. Auf diesen beiden Ebenen leistete auch die schweizerische Industrie einen beachtenswerten Beitrag an das gute Gelingen dieser internationalen Fachmesse.

Das Ziel, das sich die Organisatoren gesetzt hatten, eine umfassende Schau der Leistungen von Forschung und Industrie auf dem Gebiet der Kerntechnik und Kernenergie zu bieten sowie Wissenschaft und Technik, Industrie und Energieerzeugung, Wirtschaft und Behörden ein klares Bild der wirtschaftlichen Möglichkeiten der Kerntechnik zu vermitteln, darf als erreicht bezeichnet werden. Auch die vorbildliche Dokumentation für die Presse verdient ein spezielles Lob.

Angesichts des Erfolges dieser Veranstaltung und gestützt auf Besprechungen mit Vertretern führender Atomländer und Mitausstellern, beschloss der Messevorstand einstimmig, die nächste derartige Veranstaltung als «Nuclex 69» wiederum in Basel und zwar vom 6. bis 11. Oktober 1969 durchzuführen.

E. Auer

Betrieb und Weiterentwicklung von Leistungsreaktoren

GAS/GRAPHIT-REAKTOR

Mit dem Kernkraftwerk St. Laurent-1 (EdF4-Reaktor) hat man in Frankreich einen Wendepunkt in der Entwicklung der gasgekühlten, graphitmoderierten Natururanreaktoren erreicht und blickt mit grossen Hoffnungen in die Zukunft. Mit dieser Anlage gelang der Nachweis, dass elektrische Energie aus Kernkraftwerken für französische Ver-

hältnisse konkurrenzfähig erzeugt werden kann. Die bisherigen Erfolge und die sich abzeichnenden Entwicklungsmöglichkeiten haben die französischen Behörden darin bestärkt, den eingeschlagenen Weg konsequent weiter zu gehen, wonach alle z. Z. im EdF-Programm vorgesehenen Gas/Graphit-Reaktoren auf der Grundlage des EdF 4-Reaktors gebaut werden sollen. Seine Merkmale sind die integrierte Bauweise, der Druckbehälter aus Spannbeton, die Anordnung des Dampferzeugers unterhalb des Reaktorkerns, die in den unteren Teil des Reaktorbehälters verlegten Kühlgasgebläse und die daraus resultierende extrem kompakte Bauweise, die aus Kostengründen angestrebt worden ist. Den gegenüber herkömmlichen Wärmekraftwerken höheren Anlagekosten soll durch grössere nukleare Leistungseinheiten begegnet werden bei gleichzeitig verbesserter Leistungsfähigkeit der Reaktorkomponenten und Vereinfachung der Hilfsanlagen bzw. Verzicht auf Anlagenteile, die sich als entbehrlich herausgestellt haben. Die als wesentlicher Faktor einer wirtschaftlichen Einheitenvergrösserung anzusehende Erhöhung der Leistungsdichte des Reaktorkerns erfordert leistungsfähigere Brennelemente, da die bisher verwendeten Elemente — an ihren Enden verschlossene Hohlzylinder — aufgrund ihrer geometrischen Gestalt die Leistungsdichte begrenzen und nur bis zu einer Reaktorleistung von 800 MW_{el} verwendet werden können. Die neu entwickelten ringförmigen Brennelemente erlauben eine wesentlich höhere Leistungsdichte und haben eine wesentlich vergrösserte Kühlfläche, wodurch die Anzahl der Kühlkanäle beträchtlich herabgesetzt wird, z. B. von 3 500 auf 800 bei einem Reaktor für 500 MW_{el}. Dies ermöglicht es, jeden Kanal durch e i n e Öffnung zu beladen und vereinfacht damit wesentlich die Lademaschine. Diese neuen Elemente werden erstmalig im Reaktor Bugey-1 eingesetzt.

Weitere Möglichkeiten zur Verringerung der Anlagekosten sieht man in der Verdoppelung bzw. Verkoppelung von zwei Reaktoren gleichen Typs auf e i n e m Gelände bzw. in einem gemeinsamen Gebäude, wie es z. B. beim Kernkraftwerk Dungeness B in England praktiziert wird. Bei der Verdoppelung würden z. B. zwei Reaktoren des Typs EdF 4 nur 180 % der Anlagekosten eines einzigen Reaktors erfordern. Die Verkoppelung würde gegenüber der Verdoppelung zusätzlich einige Prozent Kostenersparnis bringen. Weitere Einsparungen würde die gleichzeitige Erstellung von mehreren Kernkraftwerken auf einem gemeinsamen Gelände im Rahmen eines Generalplans ermöglichen.

Aufgrund der bisherigen Erfahrungen und der sich abzeichnenden Möglichkeiten wird die Entwicklung der Gas/Graphit-Reaktoren in Frankreich durch die EdF weiter vorangetrieben. Sobald sich andererseits kommerzielle Möglichkeiten der Brutreaktoren abzeichnen, gegenwärtig gestützt auf den demnächst in Betrieb gehenden Schnellen Brutreaktor «Rhapsodie» des Commissariat à l'Energie Atomique (CEA), Paris, wird sich die EdF auch dem Bau solcher Reaktoren zuwenden.

Das von der CEA und von Indatom entwickelte Prototyp-Kernkraftwerk EL-4 in Saclay mit einem schwerwassermoderierten und mit Kohlendioxyd gekühlten Reaktor steht ebenfalls kurz vor der Fertigstellung. Ziel der Errichtung des Kernkraftwerks EL-4 ist die Untersuchung der technologischen Schwierigkeiten, die an derartigen Reaktoren auftreten. Der Reaktor wurde mit der für einen Prototyp beachtlichen thermischen Leistung von 250 MW (70 MW_{el}) ausgelegt. Die im Juli 1962 begonnenen Arbeiten stehen kurz vor dem Abschluss. Die durch grosse Fertigungsschwierigkeiten im Herstellerwerk bedingten Terminverschiebungen konnten jedoch durch eine sorgfältige Vorbereitung der Montagearbeiten grösstenteils wieder aufgeholt werden. Die Hauptversuche ohne Brennstoff haben bereits begonnen. Anfang 1967 soll der Reaktor kritisch werden.

DRUCKWASSERREAKTOR

Der von Westinghouse entwickelte Druckwasserreaktor (PWR) hat seine Leistungsfähigkeit und wirtschaftliche Attraktivität über mehrere Generationen der Reaktorentwicklung hinweg demonstriert. Heutzutage gibt es in der Welt kommerziell betriebene Druckwasserreaktoren mit einer Gesamtkapazität von über 1 000 MW_{el}. Weitere 14 Anlagen mit einer Gesamtkapazität von über 7 500 MW_{el} befinden sich im Bau oder in der Planung. Ziel des dynamisch fortschreitenden Konzeptes ist es, diesen Reaktortyp in Wirkungsweise und Wirtschaftlichkeit so weit zu verbessern, dass er gegenüber den üblichen Wärmekraftwerken aller Grössenordnungen auf der ganzen Welt konkurrenzfähig wird.

Die modernen Druckwasserreaktoren arbeiten mit chemischer Brennstofftrimmung, dem sog. chemical shim. Sie verwenden dazu variable neutronenabsorbierende Borsäurekonzentrationen im Kühlmittel zur Kompensation von langzeitigen Reaktivitätsänderungen, die infolge von Brennstoffabbrand, Konversion und Vergiftung eintreten. Nur die kurzzeitigen Reaktivitätseffekte bei Leistungs- und Ladungsänderungen werden wie bisher durch Kontrollstäbe kompensiert. Die dadurch erzielte Einsparung an Kontrollstäben ist beträchtlich. Bei einem mit Borsäure geregelten Kern eines Reaktors für 1 000 MW_{el} würden nur etwa 30 bis 60 Kontrollstabbündel benötigt gegenüber 100 bis 150 Bündeln bei einem rein stabgeregelten Reaktorkern gleicher Leistung.

Neben der shim-Kontrolle haben die heutigen Reaktorkerne eine nicht gleichförmige multi-regionale Beladung. Diese Betriebsart bietet drei Hauptvorteile:

a) gleichförmige Leistungsverteilung,
b) reduzierte Brennstoffladung für einen vorgegebenen Abbrand,
c) verringerte Anforderung an die Regelung.

Bei erhöhtem Abbrand wird die zusätzlich erforderliche Kontrolle nur durch eine Erhöhung der Borsäurekonzentration in der Kühlflüssigkeit erzielt. Die Anzahl der Regelstäbe wird nicht verändert, es tritt lediglich infolge wachsender Borkonzentration eine leichte Wertminderung der Stäbe ein. Als Ergebnis sind viel höhere Abbrände möglich, was eine schnellere Abschreibung des eingesetzten Brennstoffs über mehr erzeugte kWh gestattet.

In mit chemical shim betriebenen Reaktoren erreicht man heute Abbrände von 27 000 MWd/t, die Anfänge lagen bei 8 000 MWd/t. Die Erzielung noch höherer Abbrände wird als möglich angesehen. Durch ständige Überwachung der Leistungsverteilung im Reaktorkern mit Hilfe der während des Reaktorbetriebs nicht erforderlichen Core-Instrumentierung ist es andererseits möglich, die erhöhte Leistungsfähigkeit eines Reaktors auszuschöpfen. Bei der Yankee-Rowe-Anlage konnte z. B. dadurch die Anlagenkapazität von ursprünglich 392 MW_{th} auf gegenwärtig 600 MW_{th} gesteigert werden.

Bei den R e a k t o r k o m p o n e n t e n, Hilfsanlagen und Kreisläufen sind bezüglich erhöhter Leistungsfähigkeit und Vereinfachung beträchtliche Fortschritte gemacht worden. Komponenten, die sich als unnötig herausgestellt hatten, wurden konsequent eliminiert. Ausserdem wird bei der Gesamtanlage (z. B. durch einheitliche Blockanordnung von Reaktor- und Maschinenanlage im gleichen Gebäude) und bei den Kreislaufkomponenten eine weitgehende Standardisierung angestrebt.

Obwohl das Bau- und Betriebsprinzip des D a m p f e r z e u g e r s beim Druckwasserreaktor nicht geändert

wurde, konnte seine Heizfläche von ursprünglich 1 200 m² auf 3 700 m² vergrössert werden; noch grössere Einheiten sind geplant. Um den Wirkungsgrad und die Lebensdauer der Sattdampfturbine zu verbessern, ist zwischen Hoch- und Niederdruckteil eine Wasserabscheidungs- und Zwischenerhitzungsstufe angeordnet worden.

Als eines der Hauptgebiete für die Kostenminderung sieht man die Abnahme der Brennstoffkosten durch Verwendung von Plutonium als Brennstoff für zukünftige Reaktoren an. Die wirtschaftliche Rückgewinnung des unverbrauchten Plutoniums aus dem erschöpften Brennstoff zur Wiederverwendung als Spaltmaterial in einem neuen Reaktorkern soll durch z. Z. laufende Entwicklungsprogramme demonstriert werden. Ein weiteres Ziel, die Brennstoffkosten zu senken, besteht darin, höhere Abbrände, d. h. höhere Energieausbeute je Gewichteinheit Brennstoff, zu erzielen. Die chemical-shim-Kontrolle der dazu erforderlichen erhöhten Überschussreaktivität wird als ideal und sicher angesehen gegenüber einer erhöhten Anzahl von Kontrollstäben mit ihren mechanischen Komplikationen.

Westinghouse bietet gegenwärtig PWR-Anlagen bis zu einer Leistung von 1 000 MW_{el} auf kommerzieller Grundlage an. Man ist davon überzeugt, dass im Laufe der nächsten 10 Jahre die grösste Einheit bei etwa 1 800 MW_{el} liegen wird.

SIEDEWASSERREAKTOR

USA

Der Siedewasserreaktor (BWR) der General Electric hat sich als eine wirtschaftliche und zuverlässige Energiequelle für Leistungskraftwerke erwiesen. Die Gesamtkapazität der in Betrieb, im Bau oder in Auftrag befindlichen Anlagen mit einem GE-Siedewasserreaktor betrug im Juli 1966 bereits 10 000 MW_{el}.

Der neueste Entwurf ist das Ergebnis eines gründlichen Entwicklungsprogramms der Firma zur fortgesetzten Verbesserung des BWR-Systems. Ein wesentlicher Faktor dieser Entwicklung war der Trend des Energiemarktes zu grösseren Kraftwerkeinheiten. Durch Erhöhung der Leistungsdichte des Reaktorkerns und durch Verwendung von Spannbetonbehältern ist man in der Lage, Reaktoren für 1 000 bis 1 500 MW_{el} zu bauen. Neuere Studien haben ausserdem gezeigt, dass durch erhöhte Leistungsdichten die Leistung eines Reaktors bis auf 2 000 MW_{el} und darüber ausgedehnt werden kann.

Aufgrund der für den BWR charakteristischen nuklearen Daten sieht der Hersteller keine greifbare Leistungsbegrenzung dieses Reaktortyps. Seine stark negativen, lokalen Leistungskoeffizienten, die vom Siedeprozess herrühren, bestehen durch den ganzen Reaktorkern hindurch, unabhängig von dessen Abmessungen. Dadurch ist die Stabilität und die Kontrollmöglichkeit der Leistungsverteilung auch bei grössten Einheiten gewährleistet. Die Verwendung von Spannbetonbehältern setzt der geometrischen Grösse eines Reaktors auf die Dauer ebenfalls keine Beschränkung.

Die Erhöhung der Leistungsdichte ermöglichte es, den Reaktorbehälter und das Reaktorgebäude kompakter zu gestalten, ebenso auch die gesamten Anlagenkomponenten, die gleichzeitig vereinfacht werden konnten. Die Verbesserung der Leistungsfähigkeit der einzelnen Komponenten bot dabei einen besonderen Anreiz, da vergrösserte Kapazität ohne entsprechende Vergrösserung der Anlagedimensionen ein wesentlicher Faktor für erhöhte Wirtschaftlichkeit ist.

Der optimale Abbrand liegt heute bei 20 900 MWd/t gegenüber 16 500 MWd/t im Jahr 1965. Neueste Studien haben gezeigt, dass Ersparnisse beim Brennstoffzyklus mit einer vergrösserten Brennstoffaussetzung bis zu einem Abbrand von 33 000 MWd/t zusammentreffen, die grössten Ersparnisse dürften sich indessen bei einem Abbrand von 27 500 MWd/t ergeben. Nach dem heutigen Wissensstand erscheinen derartige Werte realisierbar.

Grosse Fortschritte wurden auch erzielt in bezug auf eine gleichmässige Leistungsverteilung durch den Einsatz eines Ein-Weg-Prozessrechners, der an die lokalen Neutronenüberwachungsanzeigen angeschlossen wurde. Seine grundsätzliche Funktion besteht darin, die Leistungsverteilung im Reaktorkern schneller und genauer zu erfassen, um dadurch «aktuell» korrigieren zu können. Dies war bisher nicht möglich, weil die Berechnung der Leistungsverteilung ohne Rechner aufgrund ihrer Komplexibilität sehr zeitraubend ist und deshalb im allgemeinen nur angenähert durchgeführt werden kann.

Neben der Weiterentwicklung des BWR befasst sich die General Electric intensiv mit der Entwicklung von dampfgekühlten Reaktoren im Hinblick auf eine weitere Verringerung der Energieerzeugungskosten, die Verbesserung des thermischen Wirkungsgrads und die vergrösserte Plutoniumproduktion als unabhängige Energiequelle.

Schweden

Das im Bau befindliche Oskarshamn-Kernkraftwerk wird das erste rein kommerzielle Kernkraftwerk in Schweden sein. Es ist für 400 MW_{el} ausgelegt und wird mit einem Siedewasserreaktor ausgestattet.Dieses Projekt wird von sieben privaten Elektrizitätsgesellschaften getragen, die etwa ein Drittel der gesamten schwedischen Stromerzeugung repräsentieren und sich nach erschöpfenden Wirtschaftlichkeitsvergleichen zum Bau dieser Anlage entschlossen haben. Die Vergleiche haben gezeigt, dass bei einer Leistungsgrösse von 400 MW_{el} ein Kernkraftwerk der gewählten Art dieselben Produktionskosten haben wird wie Kohle- oder Ölkraftwerke, sogar unter Berücksichtigung der heute in Schweden herrschenden niedrigen Ölpreise.

Der Auftrag zur Erstellung der schlüsselfertigen Anlage mit vollen Garantien bezüglich Ausführung, Kosten usw. wurde der schwedischen Gesellschaft ASEA im Wettbewerb mit verschiedenen ausländischen Gesellschaften zuerkannt. Das Kernkraftwerk erhält einen Siedewasserreaktor nach eigenen Entwürfen der ASEA und eine Stal-Laval-Turbine des Radial/Axial-Typs. Die Hauptdaten der Anlage sind:

Thermische/elektrische Leistung	1246/420	MW
Abgase ins Netz	400	MW
Gesamtwirkungsgrad	32,1	%
Dampfdruck vor der Turbine	68	bar
Dampftemperatur	283	°C
Dampfleistung	583	kg/s
Speisewassertemperatur	160	°C
Kühlwassertemperatur (Meerwasser)	7,5	°C
Reaktordruckbehälter:		
Höhe	17	m
Durchmesser	5	m
Gewicht	300	t
Wanddicke	120	mm
Reaktorkern:		
Höhe des Reaktorkerns	3 650	mm
Anzahl der Brennstoffkanäle	448	
Ummantelungsmaterial	Zr-2	
Anzahl der Stäbe im Bündel	8 x 8	
Pelletdurchmesser	10,5	mm
Dicke der Brennstoffhülle	0,8	mm
Max. Wärmefluss an der Oberfläche des Brennelementes bei Nennleistung	100	W/cm^2
Anzahl der Regelstäbe	112	
Absorbermaterial	B_4C	

Brennstoffeinsatz	80,450 t U
Anreicherung	4 %
Mittlerer Abbrand im stationären Zustand	22 000 MWd/t

Der Reaktordruckbehälter wird von der Gutehoffnungshütte geliefert. Mit dem Bau dieser Anlage ist die ASEA heute in der Lage, Kernkraftwerke von 50 bis 600 MW_{el} anzubieten, und zwar mit Reaktoren sowohl des Siedewassertyps mit angereichertem Uran als auch des Schwerwassertyps mit Natururan, da die ASEA auch die zum offiziellen schwedischen Entwicklungsprogramm gehörenden Schwerwasserreaktoranlagen Agesta und Marviken gebaut hat.

Für die Erstellung des Oskarshamn-Kernkraftwerkes gilt folgender Zeitplan:

Entwurf des Kernreaktors	ab August 1965
Beginn der Baustellenarbeiten	Juni 1966
Beginn der Reaktormontage	Juli 1968
Beginn der Turbinenmontage	Ende 1968
Beginn der Systemprüfungen und Kritikalitätsversuche	Winter 1969
Anlage fertig zur Leistungsabgabe	August 1970

Die Anlage ist für folgende Bedingungen entworfen:

a) Einsatz als Grundlastkraftwerk;
b) Brennstoffaufnahme einmal im Jahr während einer Abschaltperiode im Sommer;
c) Starke Lastabsenkung über jedes Wochenende, bedingt durch die 40h-Woche;
d) Die Anlage soll täglich 8 h lang mit 70 % der Auslegungsleistung gefahren werden;
e) In Kauf genommen wird die verminderte Verfügbarkeit des Kernkraftwerks während der letzten Wochen vor dem Brennstoffwechsel infolge des niedrigen Reaktivitätsüberschusses, die sich darin äussert, dass bei einem Absinken des Leistungsniveaus unter 70 % der Reaktor erst nach 40 h wieder kritisch wird;
f) Bei einem vollständigen Lastabwurf des Generators soll das Schnellabschaltsystem des Reaktors nicht betätigt werden.

SCHWERWASSERREAKTOR

Die Kernkraftwerkentwicklung in Kanada stützt sich weiterhin auf die schwerwassermoderierten und schwerwassergekühlten Reaktoren des Druckrohrtyps, optimiert für Natururan als Brennstoff. Wie auch in anderen Ländern interessiert man sich in Kanada weiterhin für die relative Güte anderer Primärkühlmittel für schwerwassermoderierte Reaktoren. Eigene Entwicklungen in dieser Richtung sind der organisch gekühlte Versuchsreaktor WR-1, der bereits in Betrieb ist, sowie der Entwurf für einen Candu-BLW, einen mit siedendem Leichtwasser gekühlten schwerwassermoderierten Prototypreaktor, der demnächst gebaut werden soll.

Abgesehen von diesen Entwicklungen ist unter Druck stehendes Schwerwasser immer noch die Bezugskühlung für kommerziell angebotene Anlagen der kanadischen General Electric (CGE). Aufgrund von Projektvereinfachungen und verbesserten Kontrollmethoden für Schwerwasserverluste erwartet man, dass diese Anlagen gegenüber anderen Projekten, die andere Kühlmittel verwenden, besonders auch im Hinblick auf den langfristig fallenden Trend der Kosten für Schwerwasser wirtschaftlich konkurrenzfähig sind, wenn nicht sogar überlegen.

Um die Schwerwasserverluste gering zu halten, neigt man dazu, kleinere Ventile, die sich nur schwer doppelt abdichten lassen, einfach wegzulassen. Bei Instandsetzungen an Rohrleitungen werden die Leitungsenden an einer passenden Stelle eingefroren, so dass der sich bildende Eispfropfen die Rohrleitung verschliesst. Dieses Verfahren hat sich bei Rohrleitungen bis zu 10 cm Durchmesser als einfach und wirksam erwiesen.

FORTGESCHRITTENER GASGEKÜHLTER REAKTOR

In dem z. Z. in England im Bau befindlichen Kernkraftwerk Dungeness B wird erstmals der fortgeschrittene gasgekühlte Reaktor (AGR) auf kommerzieller Grundlage eingesetzt. Die Anlage ist für 1 200 MW_{el} ausgelegt und besteht aus zwei Einheiten mit je einem Reaktor und einem Turbosatz von 600 MW_{el}. Die Bauarbeiten haben im Januar 1966 begonnen. Die erste Einheit soll im Juli 1970 wirtschaftliche Energie liefern.

Die Anlagekosten sind im Vergleich mit den bestehenden britischen Kernkraftwerken bemerkenswert günstig. Man erwartet dieselbe hohe Verfügbarkeit wie beim Magnox-Vorgänger und dem Windscale-AGR-Prototyp. Nach britischer Ansicht enthält das grundlegende Projektkonzept von Dungeness B Entwicklungsmöglichkeiten für zukünftige Anlagen im Hinblick auf höhere Leistungsdichten und verringerte Anlagekosten.

Spezielle Anwendungsgebiete für Kernreaktoren

SCHIFFSANTRIEBE

Im Gegensatz zu der Entwicklung von grossen und mittleren Leistungsreaktoren und von Forschungsreaktoren ist die Entwicklung von Schiffsreaktoren nur sehr langsam vorangegangen. Bis jetzt existieren nur zwei Schiffe mit Druckwasserreaktoren, die «N. S. Savannah» in den USA und der sowjetische Eisbrecher «Lenin». Die Erfahrungen mit diesen Schiffen haben nach Ansicht der Verfechter dieser Entwicklungsrichtung gezeigt, dass es u. U. möglich wird, wirtschaftlich arbeitende Reaktoren für den Antrieb von Schiffen zu bauen.

Für solche Reaktoren gelten z. T. besondere Auslegungsprinzipien. Natürlich soll der Vorteil, dass der Reaktor keinen Raum für die Lagerung von Brennstoffen beansprucht, nicht durch grossräumige Bauweise wieder verloren gehen. Deswegen besteht bei allen Entwürfen die Tendenz zu kompakten oder zu integrierten Bauweisen, bei denen alle Komponenten des Primärkreislaufs, wie Umwälzpumpen, Dampferzeuger und Reaktorkern, in einem Druckbehälter zusammengefasst sind.

In Deutschland baut die Arbeitsgemeinschaft Babcock Interatom den Reaktor für das Kernenergie-Forschungsschiff «Otto Hahn», einen Fortschrittlichen Druckwasserreaktor (FDR) mit Selbstdruckhaltung in integrierter Bauweise. Seine Leistung beträgt 38 MW_{th}. Bei 63,5 at Primärdruck werden 64 t/h Dampf von 273 °C, 31 at erzeugt und eine maximale Antriebsleistung von 11 000 WPS erzielt. Der erste Kern des FDR ist für eine Lebensdauer von 500 Vollasttagen, entsprechend einem mittleren Abbrand von 7 200 MWd/t Uran, ausgelegt. Als Brennstoff wird Uranoxyd in Form von Pelletts verwendet. Bedingt durch die hohen Anforderungen bei Manöverfahrt beträgt die Laständerungsgeschwindigkeit 4 %/s. In seiner jetzigen Konzeption ist der FDR natürlich noch kein konkurrenzfähiger Schiffsantrieb, selbst eine einfache Erhöhung der Leistung kann noch nicht dahin führen. Nach Ansicht der Hersteller bietet er aber genug Möglichkeiten für eine solche Entwicklung.

Bezüglich der Lebensdauer der Brennstoffladung eines Schiffsreaktors hält man es für kaum lohnenswert, wesentlich über 1 000 Vollasttage hinaus zu gehen, da bei dem niedrigen mittleren Lastfaktor einer Schiffsanlage mit 1 000 Vollasttagen etwa vier Jahre gefahren werden kann, wonach sowieso eine längere Überholungszeit für jedes Schiff vorgeschrieben ist, mit der sich ein Brennelementwechsel verbinden lässt.

Besonders interessant erscheint der nukleare Schiffsantrieb bei mittelgrossen Schiffen, die mit hoher Geschwindigkeit leicht verderbliche Waren oder Stückgut über weite Strecken transportieren. Die Antriebsleistung würde dabei 80 bis 100 000 WPS betragen.

Auch in Holland bemüht man sich, die Entwicklung solcher Reaktoren voranzutreiben. Das von dem Reaktor-Centrum Nederland verfolgte Nereus-Projekt beruht weitgehend auf den Erfahrungen, die man mit dem seit 1961 laufenden Nero-Entwicklungsprogramm gewonnen hat, das durch eine Euratom-Beteiligung zustande kam und gegen Ende 1967 ausläuft. Der gewählte Druckwasserreaktor ist für eine Antriebleistung von 22 000 WPS ausgelegt, entsprechend einer thermischen Leistung von 63 MW. Er liefert 113 t/h leicht überhitzten Dampf von 280 °C und 40 at. Die Lebensdauer des Reaktorkerns beträgt 1 100 Vollasttage. Der Dampferzeuger ist ausserhalb des Reaktordruckgefässes angeordnet und befindet sich mit dem Reaktor und den Hilfsanlagen in einem kugelförmigen Stahlschutzbehälter von 9 m Durchmesser. Das Gesamtgewicht einschliesslich Abschirmung beträgt 1 200 t. Als Brennstoff wird gesintertes Urandioxyd verwendet, das als brennbares Gift UB_4 enthält. Als eine von den Regelstäben unabhängige Abschaltmöglichkeit ist eine chemische Abschaltung mit Hilfe von Borsäure vorgesehen.

ENTSALZUNG VON MEERWASSER

Dem Einsatz von Kernenergie für die Meerwasserentsalzung wird angesichts der in den vergangenen Jahren rasch abnehmenden Investitions- und Brennstoffkosten nuklearer Anlagen wachsende Bedeutung beigemessen, besonders im Zusammenhang mit Anlagen, die gleichzeitig der Stromerzeugung dienen. Diese Entwicklung geht von den USA aus, aber man hat jetzt auch in England und in Frankreich derartige Prototypanlagen projektiert, was die wachsende Bedeutung dieses Anwendungsgebiets für die Kernenergie nur unterstreicht.

In den USA hat man zunächst an einer Demonstrationsanlage die fünf fortgeschrittensten Konversionsprozesse — Eindampfung in Mehrkörperapparaten, Eindampfung mit Brüdenverdichtung, mehrstufige Entspannungsverdampfung, direkte Kontaktgefrierung mit einem nicht mischbaren Kühlmittel und Elektrodialyse — in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht erforscht. Die mehrstufige Entspannungsverdampfung scheint besonders gute Aussichten zu haben.

Nach den neuesten Studien über die Kosten für entsalztes Wasser kann mit einer Doppelzweckanlage (Wasser + Energie) im Vergleich mit einer Einzweckanlage (nur Wasser) billigeres Wasser produziert werden, wenn die in der Doppelzweckanlage erzeugte elektrische Energie zum selben Preis verkauft wird wie diejenige von einem gesonderten Kraftwerk derselben Grösse. Diese Methode der Kostenaufstellung verschafft dem Wasserwerk die grössten Kostenvorteile.

Den bei heutigen «Multiflash»-Anlagen benutzten Niederdruckdampf für die Wärmeversorgung der Salzwassererhitzer erhält man bei Doppelzweckanlagen als Gegendruckdampf von der Kraftwerkturbine zu einem geringen Preis. Da die Erzeugungskosten für Nieder- und Hochdruckdampf nahezu gleich sind, entfallen bei einer Einzweckanlage die gesamten Dampfkosten auf das produzierte Wasser. Hinzu kommt, dass bei gleicher Wasserproduktion die Einzweckanlage einen kleineren Primärdampferzeuger benötigt, der nicht so wirtschaftlich arbeitet wie der grössere Dampferzeuger einer Doppelzweckanlage. Aus diesen Gründen werden Entsalzungsanlagen sowohl in den USA als auch in England und Frankreich ausschliesslich als Doppelzweckanlagen projektiert.

Die 1965 von der Bechtel Corporation, San Francisco, durchgeführte Studie einer Gross-Entsalzungsanlage für den Metropolitan Water District von Süd-Kalifornien führte zu einer nuklearen Doppelzweckanlage mit 1 600 MW Nettoleistung und einer Wasserproduktion von 570 000 m³/Tag! Der Wasserpreis soll dabei rd. 5,8 cents/m³ betragen.

Von der General Electric Company wird eine Doppelzweckanlage von 300 MW_{el} verfügbarer elektrischer Leistung mit einer Wasserproduktion von 190 000 m³/Tag als repräsentativ für mittelgrosse, heute realisierbare Anlagen angesehen.

Aufgrund von Entwurfstudien wird von britischer Seite auf das höhere Energie/Wasser-Verhältnis von Anlagen mit hohem thermischen Wirkungsgrad (fossiler Brennstoff oder AGR) im Vergleich zu Anlagen von geringerem Wirkungsgrad (PWR; BWR) hingewiesen.

Schlussbemerkung

Die «Nuclex 66» war ein verheissungsvoller Auftakt für eine Gesamtschau der kommerziellen Kernenergietechnik in Ausstellung, Vortrag und Diskussion. Die Fachsitzungen und die zusammenfassenden Vorträge haben mit einer Fülle von Fakten und Gesichtspunkten in Verbindung mit der Fachmesse interessante Vergleichsmöglichkeiten geboten. Deshalb sollte die «Nuclex 66» in regelmässigen Abständen wiederholt werden.

Eine Verbindung mit den Foratom-Kongressen liegt nahe. Dies würde eine stärkere Konzentration des Stoffs ermöglichen und einer Versachlichung dienlich sein; beides kann ja nicht unbedingt gewährleistet werden, wenn die Themenwahl der Referate den Ausstellerfirmen anheimgegeben ist. Als weitere, indirekte Wirkung dürfte sich dabei auch eine bessere Ausgewogenheit der Ausstellungsgruppen ergeben, so dass die Messe ein möglichst getreues Spiegelbild des kerntechnischen Potentials der einzelnen Länder gibt.

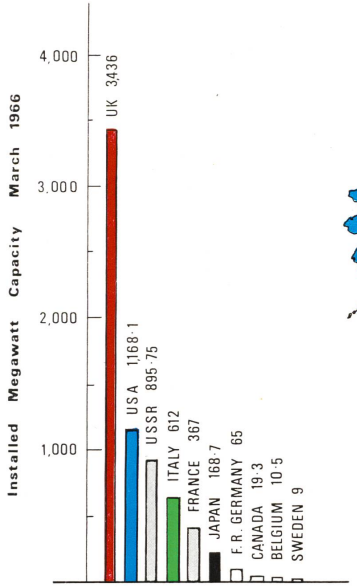
Unter den Ausstellern in Basel hatte die britische Atomenergiebehörde die glücklichste Hand, was Übersichtlichkeit und Geschlossenheit der Darstellung betraf. Nicht ganz im gleichen Masse hat Frankreich die Chance der einheitlichen Gestaltung genutzt. Die Leistung der amerikanischen Kernindustrie konnte wegen der Aufteilung in einzelne Firmengruppen leider nicht so weitgehend zur Geltung kommen, wie es ein geschlossenes Ausstellungsprogramm einer Behörde ermöglicht.

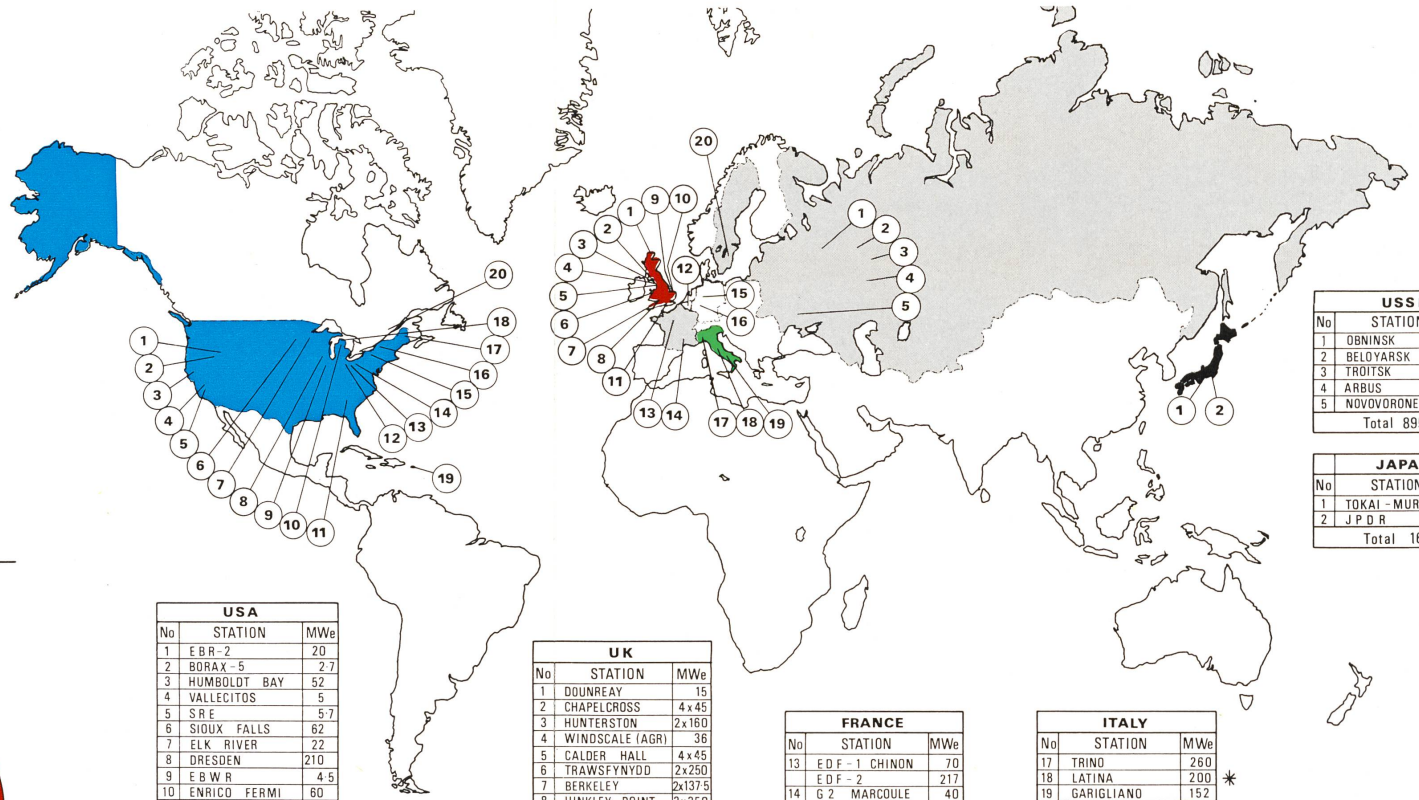
Vielfach bedauert wurde das farblose Auftreten der Bundesrepublik, die sich durch ihren späten Entschluss zur Teilnahme an den Rand des Messegeschehens manövriert hatte. So musste man auch eine angemessene deutsche Beteiligung bei den Fachreferaten vermissen. Es ist zu hoffen, dass bei künftigen Veranstaltungen dieser Art das beachtliche deutsche Potential auf kerntechnischem Gebiet wieder ins rechte Licht gerückt wird.

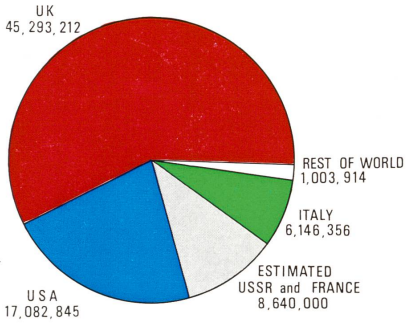
H. Bialuschewski

Carte de la Communauté européenne: L'industrie nucléaire

NUCLEAR POWER WORLD GENERATING OUTPUT







Cumulative Megawatt - Hours Generated to December 1965

USA		
No	STATION	MWe
1	EBR-2	20
2	BORAX-5	2·7
3	HUMBOLDT BAY	52
4	VALLECITOS	5
5	SRE	5·7
6	SIOUX FALLS	62
7	ELK RIVER	22
8	DRESDEN	210
9	EBWR	4·5
10	ENRICO FERMI	60
11	PARR	17
12	PIQUA	11·4
13	SHIPPINGPORT	100
14	SAXTON	4·3
15	PEACH BOTTOM	40
16	INDIAN POINT	275
17	YANKEE	185
18	BIG ROCK POINT	75
19	BONUS	16·5
Total		1,168·1

CANADA		
No	STATION	MWe
20	NPD	19·3

UK		
No	STATION	MWe
1	DOUNREAY	15
2	CHAPELCROSS	4x45
3	HUNTERSTON	2x160
4	WINDSCALE (AGR)	36
5	CALDER HALL	4x45
6	TRAWSFYNYDD	2x250
7	BERKELEY	2x137·5
8	HINKLEY POINT	2x250
9	BRADWELL	2x150
10	SIZEWELL	2x290
11	DUNGENESS 'A'	2x275
Total		3436

BELGIUM		
No	STATION	MWe
12	BR-3	10·5

FRANCE		
No	STATION	MWe
13	EDF-1 CHINON	70
	EDF-2	217
14	G2 MARCOULE	40
	G3	40
Total		367

F.R. GERMANY		
No	STATION	MWe
15	KAHL (VAK)	15
16	KARLSRUHE (MZFR)	50
Total		65

ITALY		
No	STATION	MWe
17	TRINO	260
18	LATINA	200 *
19	GARIGLIANO	152
Total		612

SWEDEN		
No	STATION	MWe
20	AGESTA	9

USSR		
No	STATION	MWe
1	OBNINSK	5
2	BELOYARSK	94
3	TROITSK	6x100
4	ARBUS	0·75
5	NOVOVORONEZH	196
Total		895·75

JAPAN		
No	STATION	MWe
1	TOKAI-MURA	157 *
2	JPDR	11·7
Total		168·7

* UK Designed and erected

Designed and Compiled by **Fairey** March 1966

References:

Nucleonics IAEA Reactor Card Index

Euronuclear Papers presented to 2nd Foratom Congress

See Britain's world lead in nuclear power generation-
British Nuclear Forum: Hall 23: Nuclex 66:

FEL 684