Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 68 (1977)

Heft: 19

Artikel: Standortbestimmung der Kernenergie

Autor: Weber, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915071

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: 02.07.2025

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

Standortbestimmung der Kernenergie

Notizen von der Internationalen Konferenz über die Kernenergie und ihren Brennstoffkreislauf, veranstaltet von der IAEO [1]) in Salzburg vom 2. bis 13. Mai 1977

Von R. Weber

Der Tenor dieser fünften, zwei Jahrzehnte Bestehen der IAEO markierenden Welt-Heerschau über die friedliche Nutzung der Kernenergie war ungleich realistischer als an den Veranstaltungen der Jahre 1955, 1958, 1964 und 1971 in Genf. Nachdem seine Hoffnungen dank dem Katalysator Ölschock '73 übertroffen worden sind, ist das Nuklear-Establishment dabei, sich vom Staunen darüber zu erholen und an die neuentstandenen Aufgaben heranzugehen: Die Kernenergie braucht den Brüter, und Elektrizität darf nicht ihr einziges Produkt bleiben. Da USA-Präsident Carter (im Mai 1977) anderer Meinung war, zogen sich denn die Meinungsverschiedenheiten zwischen seinen Sendboten und dem Rest der nuklearen Welt – und nicht das neu ins Programm genommene Thema «Öffentliche Meinung» – als roter Faden durch die 370 Referate. Wegen der vielen Parallelsitzungen konnte der Berichterstatter nur einen Teil davon besuchen; was er dort und in den Wandelgängen gehört hat, ist hier (zum Teil nach individuellen Gesichtspunkten) zusammengefasst.

Le ténor de ce cinquième tour d'horizon mondial sur l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire qui marquait les vingt ans d'existence de l'AIEA était incomparablement plus réaliste que lors des réunions de 1955, 1958, 1964 et 1971 à Genève. Après que ses espérances aient été dépassées grâce à la crise pétrolière de 1973 qui servit de catalyseur, l'establishment nucléaide se remet de cet étonnement et va au-devant des tâches nouvellement apparues: l'énergie nucléaire a besoin du surgénérateur et la production de courant électrique ne doit pas être sa seule fin. Comme le Président Carter était d'un autre avis (en mai 1977), les divergences d'opinion apparurent entre ses envoyés et le reste du monde nucléaire ainsi qu'en témoignèrent les 370 exposés – sauf dans le thème «opinion publique» qui venait d'être ajouté au programme. A cause des nombreuses séances parallèles, le rapporteur n'a pu être présent qu'à une partie d'entre elles; ce qu'il a entendu là-bas et dans les couloirs est résumé ici (en partie selon les points individuels).

1. Energieprognosen

Der Welt-Jahresverbrauch ist 6 Milliarden Tonnen Öläquivalent, zwei Drittel davon trägt das Öl bei; die Weltleistung beträgt 7,5 Terawatt (TW). Aus bekannten Gründen (Bevölkerungszunahme, Wachstum in Industrie- und Entwicklungsländern) wird der Energieverbrauch steigen. Bis zu welchem Wert?

Bis auf 50 Terawatt, eventuell sogar 70 – im Jahr 2000 (Häfele)! Woraus soll diese Leistung kommen? Der Grossteil sicherlich aus Öl, in den nächsten beiden Dekaden, schon wegen der langen Bauzeit für Wasser- und Kernkraftwerke.

Um das Jahr 2000 gibt es drei Möglichkeiten (Häfele): solar, Kohle, nuklear.

Solar: Das Sonnenturm-Kraftwerk kann nur Spitzenlast decken, es ist sehr kapitalintensiv, vor allem dann, wenn auch gespeichert werden soll; wollte man Bandenergie, bräuchte man drei Anlagen für die kontinuierliche Leistung einer einzigen.

Gleiches gilt für Solarzellen-Kraftwerke. Mit ihnen könnte man 70 oder auch 100 Terawatt bereitstellen – bei einer Solarzellen-«Landwirtschaft» und einer Fläche von 300000 und mehr km^2. Mit wesentlich verbesserten Solarzellen und viel Geld wäre das zu machen und, schätzungsweise, nur viermal so teuer wie Kernkraft.

Kohle: Die Vorräte werden auf $8{,}4 \times 10^{12}$ Tonnen geschätzt; davon sind $1{,}7 \times 10^{12}$ t gewinnbar, und zwar mit 'absehbaren' Methoden, nicht mit den heutigen. Mit Kohle als Hauptquelle von 50 TW gäbe es einige Transportprobleme, überregional sogar unüberwindliche, sehr viel mehr CO_2, und wenig Platz für die viele Asche.

Kernenergie: Sie könnte, ebenfalls theoretisch, den Löwenanteil der 50 TW liefern, mit Hilfe von Brütern, die Elektrizität und Prozesswärme erzeugen.

Eine Nachbetrachtung zu diesen Gedanken über die Welt-Energiezukunft stellte Prof. Weinberg in einem Abendvortrag an. Für nur 25 TW aus Kernenergie wären 25000 Brutreaktoren von je 1000 MW nötig; mit 5 Tonnen Plutonium in jedem Brüter enthielte das System die Kleinigkeit von 125000 Tonnen dieses Brennstoffs, und pro Tag müssten nicht weniger als 100 Tonnen davon wiederaufgearbeitet werden – nicht nur die 'Safeguards-People' der IAEO hätten dann Sorgen. Wie wär's mit Energie aus Bio-Kraut? Das ginge auch, lächerliche 13×10^6 km^2 müsste man damit bepflanzen, nicht mehr, als heute für die Versorgung der Menschheit mit Nahrungsmitteln benötigt werden. Und wenn die USA auf die Kernspaltung ganz verzichten wollten, bitte!, 5 Milliarden Tonnen Kohle im Jahr 2000 wären nur das Achtfache der heutigen Landesproduktion. Freilich, da ist noch das Klima. 173000 TW fängt die Erde von der Sonne ein, rund 1200 TW leistet der Welt-Klimamotor, mit natürlichen Schwankungen von 100 bis 200 TW. So gross darf der menschengemachte Beitrag nicht werden – derzeit beträgt er erst 1,7 TW ...

Wie man es auch dreht, 50 TW erscheinen kaum möglich, keinesfalls aus einer Quelle, aber auch nicht aus allen denkbaren, wenn sie nebeneinander eingesetzt würden.

Die 50-TW-Prognose betrachtet man wohl am besten als heilsames Gedankenexperiment; denn es wird schon schwierig genug sein, 10 oder 15 TW ohne Öl freizumachen. Wie schwierig mag man daraus ermessen, dass sogar Prof. Alfven, den man als Hecht in den Salzburger Karpfenteich geladen hatte, der Kernenergie eine Chance geben möchte: man solle ihr doch erlauben, in offenem Wettstreit mit den «Alternativen» zu konkurrieren! Er befürchtet allerdings – das kommt zu seinen alten Einwänden dazu – dass die besten Wissenschaftler sich den «Alternativen» zuwenden und daher der Kernenergietechnik bei der Lösung anstehender Aufgaben fehlen werden. Alfven sieht die Möglichkeit, mit Sparen, Kohle, Sonnenkollektoren und Öl bis 1990 über die Runden zu kommen, aber nur die Möglichkeit – angesichts der Hürden, die überwunden werden müssten: Zeitfaktor, Änderung der Lebensgewohnheiten und weniger emotionelles Reagieren des Nuklear-Establishments. Nicht nur der Professor ist ratlos.

Gezeitenkraftwerke im Bristol-Kanal, einem der günstigsten Plätze für derartige Vorhaben auf der Welt, könnten

[1]) Internationale Atomenergie-Organisation der UNO, Sitz in Wien.

maximal 1000 MW liefern, meldeten die Briten. Die Nutzung von Wind- und Wellen sei nicht nur kostspielig und eine langwierige Angelegenheit, die Auswirkungen auf die Natur würden weithin unterschätzt.

Pessimistisch gab sich auch die ERDA[2]): bis zur Anwendung der Sonnenenergietechnik in grossem Maßstab sei noch ein weiter Forschungs- und Entwicklungsweg zurückzulegen. Präsident Carters Programm sieht zwar, im Jahr 1985, die eindrucksvolle Zahl von 2,5 Millionen sonnenbeheizten US-Häusern vor, doch würde damit nur ¼ Prozent des US-Energiebedarfs gedeckt.

Ein Kernenergie-Moratorium würde die USA bis zum Jahr 2000 mehr als 300 Milliarden Dollar kosten. Die – anstelle der Kernkraftwerke – notwendigen 320 Kohlekraftwerke würden alljährlich mindestens 2300, wahrscheinlich aber 29000 Menschen das Leben kosten, allein durch die Abgase. Und der Vertreter der UN-Umweltschutzbehörde UNEP hielt ein Moratorium weder für klug noch für gerechtfertigt; Kernenergie sei keine Wahlmöglichkeit, sondern eine Notwendigkeit nicht nur für die Industriestaaten, sondern auch und vor allem für die Entwicklungsländer.

2. Kernenergieprogramme

Die erste Woche in Salzburg quoll über mit Zahlen von Plänen, die von Ägypten bis Zaire geschmiedet werden. Soweit der Berichterstatter sie erhalten konnte, sind sie in der Tabelle I (Seite 1006) zusammengefasst. Es mag interessieren, wie die Programme einiger der wichtigsten Staaten heute aussehen und begründet werden; Carters Programm und der Kritik daran ist ein Abschnitt am Schluss dieses Berichts gewidmet, die Entwicklungsländer werden ebenfalls gesondert abgehandelt.

Da ist einmal Frankreich. Wasserkräfte zu 100% ausgebaut, 3,2% des Welt-Energieverbrauchs, nur 0,1% der Weltreserven. Ziel: Energie-Autarkie. Der angestrebte Weg: Frankreichs 100000 Tonnen eigenen Urans, die zu Preisen bis 30 Dollar je Pfund gewonnen werden können, beinhalten doppelt soviel Energie wie die gesamten Ölvorräte des Nahen Ostens, vorausgesetzt, man setzt das Uran in Brutreaktoren ein. Und deshalb bauen die Franzosen Brüter. Zunächst werden noch die Leichtwasserreaktoren dominieren und bis 1985 nur elektrischen Strom liefern; danach aber soll ihre Wärme für alle denkbaren Anwendungen herangezogen werden. Das Nuklearprogramm sei zwar sehr teuer, koste jedoch nur halb so viel wie ein vergleichbares hydraulisches; die Ausgaben für den Aufbau des nationalen Brennstoffzyklus würden am Öl leicht gespart werden können.

Die Bundesrepublik Deutschland (die bis 1950 energieautark war!), hat im März 1977 ihr Energieprogramm den Bedingungen angepasst, die Rezession und Verzögerungen im Kernanlagenbau geschaffen haben. Geändert haben sich nur die Zahlen hinsichtlich Kraftwerkleistung und Zeitpunkten der Inbetriebnahme. Am Programm zur Schliessung des Brennstoffkreislaufs wird unverändert festgehalten: die grosse Wiederaufarbeitungsanlage soll Ende der 80er Jahre fertig sein, Lagerbecken zur Aufnahme der abgebrannten Elemente müssen vor 1985 zur Verfügung stehen, es bleibt beim Endlager im Salz unterhalb des Entsorgungsparks. Auf Wiederaufarbeitung könne man nicht verzichten, und der Brüter wie der Kugelhaufenreaktor seien wesentliche Bestandteile der deutschen Energiezukunft. Andere Länder (wer war wohl gemeint?) mit anderen Voraussetzungen in bezug auf Brennstoffvorräte und Bevölkerungsdichte könnten durchaus zu anderen Schlüssen kommen, das sei ihnen unbenommen.

Die Vertreter der Sowjetunion sprachen oft und meist überraschend offen, konkrete Zahlen nannten sie selten. Immerhin: Wasserkraft und fossile Brennstoffe gibt's dort genug, aber in Sibirien; und die Transportwege von dort nach dem europäischen Teil sind lang, zu lang. Also werde man hier die Nuklearkapazitäten rasch auf- und ausbauen und sich dabei auf thermische Reaktoren und Brüter stützen. Ja, Brüter würden in 15 bis 20 Jahren nicht mehr wegzudenken sein!

Mit den thermischen Reaktoren sei das so: der jetzige WWR-Typ sei zwar einfach und zuverlässig, aber unzugänglich für Wiederholungsprüfungen (!, an Erdbebenschutz denke man nur in bekannten Bebengebieten). Man arbeite an der Entwicklung eines graphit-moderierten, wassergekühlten Druckröhrenreaktors; da ohne Kessel und in Moduln vorfabriziert, werde die Montage am Bauplatz recht einfach sein, und dank der Moduln könne man Blöcke beliebiger Leistung erstellen – Pläne für Blockgrössen von 3000 MW existierten, als Standardgrösse strebe man 2400 MW (mit zwei Turbosätzen) an.

Nach nunmehr 25 Jahren Brüter-Erfahrung neige man dem Pool-Typ zu und arbeite an Plänen für einen N_2O_4-gekühlten Brutreaktor, der eine Verdopplungszeit von vier bis fünf Jahren haben soll. In einer Brüterwirtschaft komme es – das werde häufig übersehen – ganz entscheidend darauf an, dass die Verdopplungszeit sechs Jahre nicht übersteige! Auch Hochtemperaturreaktoren seien notwendig, könnten den Natriumbrüter aber nicht ersetzen. Selbstverständlich dürfe man die Nuklearpläne nicht nur auf die Erzeugung von Strom ausrichten, auf lange Sicht müssten 15 bis 20% der Primärenergie für andere Einsatzzwecke aufgebracht werden.

Wiederaufarbeitung und Endlagerung bedürften noch vieler Vorbereitungsarbeit, seien unbedingt nötig und sollten in Anbetracht der Kosten auf dem Wege internationaler Zusammenarbeit in Angriff genommen werden; man sieht auf diesem Gebiet keine unüberwindlichen Schwierigkeiten und gibt vor-

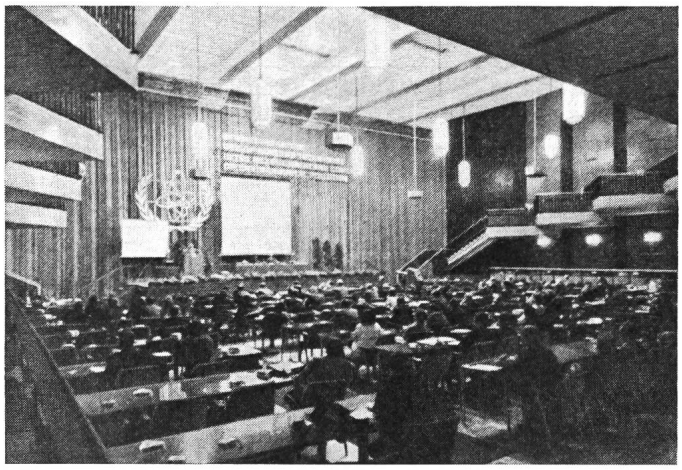

Fig. 1 Tagungssaal im Salzburger Kongresshaus (Europasaal)
Neben dem Grossen Festspielhaus war auch der Europasaal des Salzburger Kongresshauses Schauplatz einiger Hauptereignisse der IAEO-Konferenz. Unter anderem posierte hier der proliferationsgewisse Professor Robert Jungk mehrere Minuten lang in strammer Haltung und mit hocherhobenem Arm für das Österreichische Fernsehen, damit eine beachtliche sportliche Leistung vollbringend.

[2]) US-Energieforschungs- und Entwicklungsbehörde

erst der Verbesserung von Sicherheit und Zuverlässigkeit der Kernkraftwerke selbst den Vorrang. Es sei daran gedacht, Kernkraftwerke auch in Ballungsgebiete oder auf künstliche Inseln zu stellen.

Energiegewinn aus der Kernfusion erwarten die Russen um 2010 oder 2020, und vielleicht werde es dann an der Zeit sein, nicht jetzt, über Fissions-Fusions-Hybriden zu sprechen. Vorerst baue man in der Ukraine zwei Kraftwerkanlagen von je 4000 MW, die in einer 750-kV-Leitung Strom bis Ungarn liefern werden. Vorläufer von Nuklearparks, auf denen je eine Kapazität von 40 bis 50000 MW installiert sein könnte! Je nach Bedarf, denn feste Ausbaupläne gebe es nicht.

2.1 Uran-Bedarf

Nichts Neues – nach zurückhaltenden Schätzungen wird der Bedarf an Natururan in den kommenden 25 Jahren auf mehr als das Zehnfache des heutigen ansteigen. Und dazu wird es notwendig sein, die bestehenden Abbau- und Aufbereitungsanlagen zu modernisieren und zu erweitern und neue Betriebe zu eröffnen.

2.2 Thorium-Zyklus

Das Für- und Wider der Experten zum Thorium verlieh der Konferenz zeitweise Farbe: die USA, hiess es von offizieller Seite, steuerten auf den Th-U-Zyklus hin, und Kanadas graue Kernenergie-Eminenz Lewis legte sich so sehr dafür ins Zeug, dass er sich mitleidiges Lächeln sogar von seinen Thorium-Bundesgenossen einhandelte – ein paar kleine Änderungen am Schwerwasserreaktor, und Uran sei überflüssig.

Objektiver trug der Vertreter der Bundesrepublik das Thema vor: Thorium eignet sich vorzüglich für den Einsatz im HTR, etwas weniger gut für den Schwerwasserreaktor, mässig gut für den LWR und ein klein wenig noch für den Schnellen Brüter. Die Kosten steigen natürlich im umgekehrten Verhältnis zur Eignung; um einen eigenen Brennstoffkreislauf käme man wohl nicht herum und unter 20 Jahren wäre er nicht einzurichten. Ökologischer Vorteil der Thoriumnutzung: U-233 hat eine biologische Halbwertszeit von 10 Tagen, Plutonium eine solche von 50 Jahren.

Indien, das über grosse Vorräte an Thoriumerzen verfügt, forscht rege auf diesem Gebiet; die Sowjets schliesslich wollen aus Zeit- und Kostengründen vom Thorium nichts wissen und verweisen – wohl nicht zu Unrecht – darauf, dass es schwierig genug sein wird, einen, den U-Pu-Kreislauf, zufriedenstellend auszubauen.

3. Uran-Anreicherung und die französische Neuigkeit

Auch hier nichts Neues – die geplanten Kapazitäten, so wurde versichert, würden allemal ausreichen. Neu und doch nicht neu war aber, was die Franzosen im Rahmen einer gut geplanten PR-Kampagne als die Methode vorstellten, mit der man Uran nicht auf waffenträchtige Konzentration anreichern kann.

Nicht neu daran ist, dass es sich um Isotopentrennung mittels chemischer, isotopenabhängiger Austauschreaktionen handelt, von denen man weiss, dass sie sehr langsam vorsichgehen. Die Franzosen wollen aber 1958 herausgefunden haben, wie man die Methode trotzdem konkurrenzfähig macht. Wie, das verrieten sie natürlich nicht. 1970 beschlossen sie den Bau einer kleinen Versuchsanlage und nach dem gelungenen Nachweis des Funktionierens zwei weitere. Diese hätten 1975 und 1976 eine Verfügbarkeit von über 90% erreicht. Nunmehr gehe es darum, die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens zu verbessern und seine Technik. Keinesfalls werde das Verfahren bzw. die geplante Demonstrationsanlage mit EURODIF und COREDIF konkurrieren, denn es sei noch allerhand zu entwickeln, was zumindest viel Zeit in Anspruch nehme.

Warum nicht waffenträchtig? Kaskaden sind nicht möglich, in grösseren Behältern wird bei einer Konzentration von einigen Prozent U-235 die Uranlösung kritisch, und wenn man diese Gefahr auch eliminiert, dann dauert es runde 30 Jahre, ehe das Uran hoch genug konzentriert ist (zum Vergleich: ein Jahr bei der Gasdiffusion, einen Tag in der Ultrazentrifuge).

Vorteile des Verfahrens: geringer Energieverbrauch, weitgehend herkömmliche Chemietechnik, kleine Anlagen möglich. Wird man wieder davon hören?

4. Wiederaufarbeitung des Kernbrennstoffes

4.1 Wiederaufarbeitung von LWR-Brennstoff

In den frühen 60er Jahren habe man, so verlautete in Salzburg offiziell, Überkapazitäten in der Wiederaufarbeitung erwartet; der tatsächlich bevorstehende Engpass sei eine Folge der Ölkrise von 1973, die zu grösseren Kernkraftwerk-Kapazitäten Anlass gab. Beim Kaffee am Salzachufer wurde auch von technischen Schwierigkeiten mit hochabgebrannten Elementen gesprochen. Wie dem immer sei, die Briten gaben sich sehr optimistisch, und da sie zumindest mit-führend auf diesem Gebiet sind, seien ihre Aussagen hier zusammengefasst.

In Windscale blicken sie auf 24 Jahre Erfahrung zurück, in welcher Zeitspanne sie 18000 Tonnen Magnox-Brennstoff und 500 Tonnen Oxid-Brennstoff aufgearbeitet haben. Man verstehe nunmehr auch die Fehler in der Anlage, die zum Abschalten dieser Anlage führten; 1978 soll sie für Entwicklungsarbeiten wieder in Betrieb genommen werden.

Den europäischen Bedarf an Wiederaufarbeitung gibt man, ab 1985, mit 2000 Tonnen im Jahr an und richtet sich auf der Insel danach ein: British Nuclear Fuels Limited (BNFL) plant eine Anlage mit einer Kapazität von 1000 Tonnen pro Jahr, die 1987 fertiggestellt sein soll. Die bestehenden Lagerbecken für 1500 Tonnen sollen 1979/80 um weitere 1500 t erweitert sein, und die Bewilligung zum Bau von nochmals vier Becken für je 1000 t ist erteilt. La Hague (Frankreich), das zurzeit 400 t im Jahr aufarbeiten kann, soll ab 1981 den Durchsatz verdoppeln; COGEMA plant, eine grosse Anlage 1985 und die Lagerbecken vorher fertig zu haben und will dort innerhalb von 10 Jahren 6000 t Brennelemente aus dritten Ländern aufarbeiten.

Derzeit werden Verhandlungen über die Aufarbeitung von 6000 bis 7000 t in den Jahren 1981 bis 1988 geführt; die Elektrizitätswerke müssten die dann entstehenden tatsächlichen Kosten bezahlen – Festpreise gebe es nicht mehr – und den Abfall zurücknehmen. Wirtschaftlich sei eine Anlage erst bei einem Durchsatz von über 1400 t/Jahr. Man fragt sich, weshalb die Briten dann eine Anlage zu nur 1000 t bauen.

Die Deutschen erklärten frei heraus, dass die Wiederaufarbeitung keinen wirtschaftlichen Vorteil bringe. Aber aus den bekannten Gründen sei sie eben notwendig, und wenn Carter glaube, darauf verzichten zu können, dann schiebe er lediglich die Probleme vor sich her. Nach dem Stand der Dinge werde die deutsche 1400-t/Jahr-Anlage 1988/89 betriebsbereit sein – der Nachbar im Kaffeehaus glaubt nicht daran.

Trotzdem, auch die Franzosen sagten, es werde keine Engpässe in Europa geben, jedoch müsse man der Rückhaltung der Abgase aus den grossen Wiederaufarbeitungsbetrieben noch gehörig Aufmerksamkeit schenken. C-14 sei da nicht ohne Probleme; dieser Meinung ist auch Deutschland, während die Russen davon noch nichts gehört haben (wollen?). Sie sind stolz darauf, statt einer mechanischen Brennelementschere einen Laserstrahl zu benutzen.

Indien, das seit 1964 in Bombay Versuche anstellt, will dem Kernkraftwerk Tarapur eine Wiederaufarbeitungsanlage beigesellen. Und Japan, dessen Anlage 1969 fertig war und dann gegen schlechte Schweissarbeit ankämpfte, hat nun in Carter einen mächtigen Gegner.

Insgesamt verfügen, laut IAEO, nicht weniger als 24 Staaten über Wiederaufarbeitungsanlagen, oder zumindest sind sie im Besitz der notwendigen Kenntnisse und Mittel!

4.2 Wiederaufarbeitung von Brüter-Brennstoff

Ob Brüter oder nicht, der Einsatz von Plutonium spart Uran und Anreicherungsarbeit. Natürlich gibt es kein Plutonium ohne Wiederaufarbeitung, und Brüter wären nicht eben sinnvoll ohne Aufarbeitung ihres Brenn- und Brutstoffs. Hat die Entwicklung dieser Verfahren mit der Entwicklung der Brutreaktoren Schritt gehalten?

Frankreich ist nicht nur mit seinem Phénix vorne dran. Seit 1958 wurde Brüterbrennstoff in den Labors von Fontenay aufgearbeitet, in einem «nassen» Prozess. Die Erfahrungen daraus flossen in die Anlage in Marcoule ein, wo derzeit – mit einem Durchsatz von 2,5 kg im Tag – 2,5 t abgebrannter Brennelemente aus dem Phénix aufgearbeitet werden. Das wiederum soll Lehren für eine Anlage im industriellen Massstab vermitteln. Weit mehr Aufmerksamkeit als die Verkündigung der «chemischen» Anreicherung erregte unter den Fachleuten (bei der Presse war's umgekehrt) der Hinweis der Franzosen, sie hätten einen vielversprechenden, trockenen Aufarbeitungsprozess (wohl über Fluorid-Stufen) für ihren «schnellen» Brennstoff entwickelt; die Ausbeute gaben sie mit 99,9 % Pu an, erzielt bei Versuchen im Labor-Maßstab. Aber: die Apparatur könne so kompakt gehalten werden, dass die Wiederaufarbeitung im Brüterkraftwerk selbst durchführbar erscheine. Und das wäre fürwahr ein Schlager und würde neue Perspektiven eröffnen!

Die Briten, die seit 1961 Brennstoff aus Dounreay aufgearbeitet und dabei auf die Plutonium-Kontamination der Brennstabhüllen aufmerksam geworden sind, verwerten ihre Erfahrungen in einer grösseren Anlage, die schon 1978 in Betrieb genommen werden soll.

Die Russen brillierten zunächst mit der Empfehlung, Brüter-Brennstoff ja nicht länger als sechs Monate zu lagern; dann sei das Optimum zwischen Gamma-Zerfall und dem wachsenden Gehalt an Transuranen erreicht. Die Transurane erschwerten die Aufarbeitung ganz besonders. Übrigens verfüge man sowohl über den nassen als auch über einen trockenen Prozess. Auf gezielte Diskussionsfragen hin blätterte der Glanz schnell ab: die Prozesse laufen noch im Labor, und eine richtige Anlage ist erst im Stadium der Planung. Immerhin, man gestand den Ist-Zustand ein.

Das taten auch die US-Amerikaner. Sie haben 18000 Mischoxid-Brennstäbe Abbränden bis 150000 MWd/t und Temperaturen bis 700 °C ausgesetzt und in den sechziger Jahren auch etwas davon aufgearbeitet. Heutzutage allerdings scheint sich ihre diesbezügliche Forschung auf «Feasibility-Studies» zu beschränken (wie auf anderen Teilgebieten der Kernenergietechnik auch), mit Betonung beispielsweise auf «Fernbedienung bei der Herstellung von Pu-Brennstoff», auf dem Papier. Wie sagte doch der Franzose, der es eigentlich wissen sollte: Erfahrung aus Bau und Betrieb einer Plutonium-Anlage lässt sich durch nichts ersetzen.

Übrigens schätzten die Franzosen ihren Verbrauch an Plutonium im Jahr 2000 auf 4000 t jährlich, und 4000 t enthalten soviel Energie wie die gesamten Ölreserven Libyens.

5. Abfall-Verfestigung

Zement und Bitumen für schwach- und mittelaktiven Abfall stehen immer noch im Vordergrund, doch berichtete Belgien, Polyester sei als Matrix sehr vielversprechend und möglicherweise das beste Material. In die allseitigen Versicherungen, Bitumen sei auslaugbeständig, fiel ein bitterer Wermutstropfen in Form einer Diskussionsfrage: Ist das Zeug nicht brennbar? Betretenes Schweigen. Es scheint doch unvermeidlich, dass man bisweilen über dem Erfolg in einer Hinsicht die benachbarte Schwäche übersieht.

Die hochaktiven Abfälle sollen überall auf der Welt verglast werden (Carter-Amerika natürlich ausgenommen). Die Inder behaupteten, den einfachsten Verglasungsprozess entwickelt zu haben, ab 1981 soll er in Tarapur eingesetzt werden. Japan wird verglasen und verweist auf «vielversprechende» Auslaugversuche. Keinerlei Korrosion haben auch die Kanadier festgestellt, die ihre Gläser unter Wasser liegen haben; in den letzten 15 Jahren haben sie 1400 Curie (Ci) in Glas eingeschlossen. Die Sowjetunion berichtete, Phosphat- und Silikatgläser machen zu können, den Kubikmeter zu 1340 Rubel; eine Anlage mit einer Leistung von mehr als 600 cm^3 in der Stunde sei fertiggestellt. Ohne Kühlung zerfalle Phosphatglas, daher kühle man es.

Diese Auskunft war zugleich Teilantwort auf eine Zwischenfrage, wie lange das «heisse» Glas wohl hielte. Wenn es nämlich nicht beständig sei, dann dürfe man das Glas auch nicht in der Tiefe lagern. Den Rest der Antwort gab ein Brite: «Betrachten Sie sich doch ein einzelnes Pferdebein und fragen Sie sich einmal, ob das wohl von Salzburg nach Wien marschieren könnte.» «Ach», musste der Frager zugeben, «Sie meinen, ich dürfe die drei anderen Beine nicht ausser acht lassen?»

Den Glasvogel schossen, wie könnte es auch anders sein, die Franzosen ab. 12 t hochaktiven Abfalls mit insgesamt 5 Millionen Ci haben sie schon verglast, die Verglasungsanlage in Marcoule wird Ende 1977 fertiggestellt sein – Kapazität 900 t im Jahr – und innerhalb von 2 bis 3 Jahren «industriell» arbeiten.

Technische Probleme, sagten die Briten, habe es beim Abfall nie gegeben, doch habe die Industrie viel zu spät begriffen, dass man auch zeigen muss, was man kann.

6. Transmutation

Das Gros der Spaltprodukte, die im hochaktiven Abfall enthalten sind, zerfällt innerhalb 600 Jahren zu harmlosen Resten; dagegen bleiben die Aktiniden (Am, Np, Cm) und ein paar Spaltprodukte mehrere hunderttausend Jahre lang gefährlich. Daher die Idee, Aktiniden und langlebige Spaltprodukte vom Abfall abzutrennen und im Reaktor zu kurzlebigen und/oder stabilen Isotopen zu spalten (zu «verbrennen»). Wie in

Salzburg bekannt wurde, studieren mehrere Länder diese «Fraktionierung» des Abfalls mit anschliessender «Transmutation» der langlebigen Alpha-Strahler. Insbesondere in Oak Ridge läuft ein umfangreiches Forschungsprogramm, das innerhalb von vier Jahren Grundlagen für weiterreichende Entscheidungen liefern soll. Bereits heute weiss man, dass Natrium-Brüter nach geringfügigen Adaptierungen sich für die Transmutation eignen; die – chemische – Abtrennung der Aktiniden scheint weit schwieriger zu sein.

Die Befürworter der Transmutation führen ins Treffen, dass ihre Technik die Endlagerung vom Ewigkeits-Makel befreien würde, womit eine wesentliche Forderung der «öffentlichen Meinung» erfüllt wäre. Diese Einstellung wurde allerdings von mehreren Seiten als Effekthascherei gebrandmarkt. Warum, so fragten sie, die Aktiniden zerstören, wo es doch nicht von der Hand zu weisen ist, dass wir sie einmal als Rohstoffe notwendig brauchen? Ausserdem komme man um die Endlagerung so oder so nicht herum. Und der Russe mahnte: verschwendet nicht Zeit und Geld für die Entwicklung von Methoden, die sich als unsinnig und unbrauchbar herausstellen werden!

7. Endlagerung

Von der Öffentlichen Meinung scheinen sich einige Staaten in eine Hysterie treiben zu lassen, auch was die Endlagerung betrifft. Vordringliche «Lösungen» forderten sie auch in Salzburg wieder; gelassen gaben sich andere, beispielsweise die Briten. Wozu die Hast, meinten sie, die Volumina an hochaktivem Abfall sind so gering (verglast: ca. 1 m^3 pro Kernkraftwerk und Jahr), dass man sie noch auf Jahrzehnte hinaus sicher in Tanks lagern könne; dieweil würde man in aller Ruhe die optimalen Methoden für die Endlagerung ausarbeiten.

Was die Briten und andere unter «optimal» verstehen, wurde anhand ihrer Diskussion mit den Franzosen klar. Die Leute von Themse und Clyde verfolgen, unter anderen, die Idee, hochaktiven Abfall auf dem Meeresboden zu lagern – zuerst verglast, dann in eine Stahlhülle gepackt, darum herum ein Mantel aus Blei und ganz aussen eine Kiste aus Bronze. Vorteile: die Verpackung ist mindestens tausend Jahre lang dicht, und sollte sich danach – aus unerfindlichen Gründen – das Glas im Meereswasser auflösen, dann wären die Aktivitätsreste etwa so schlimm wie das von Natur aus im Meer enthaltene Radium; selbstverständlich nur mit internationaler Zustimmung könnte man die Pakete (aus allen Ländern) 3000 m tief versinken lassen – und sie bei Bedarf (nach Abtrennung der Aktiniden usw.) relativ leicht wieder heraufholen. Halt, sagten die Franzosen, wenn schon Meeresboden, dann nur im Boden und nicht darauf. Schön, konterten darauf die von der anderen Seite des Kanals, aber geeignete Löcher unter 3000 m Wasser zu bohren, das ist sehr schwierig; und was würde man dabei gewinnen? Ist denn «sicher», wie bei unseren Bronzekisten, nicht sicher genug? Die Erhöhung der Sicherheit muss auch in einem gesunden Verhältnis zum Mehraufwand stehen – warum einfach, wenn's kompliziert auch geht (und dabei unter Umständen die Sicherheit wieder abnimmt)?

Entschieden haben sich die Engländer noch nicht; nicht nur ihrer oben zitierten Philosophie wegen, sondern weil ihre Regierung 1978 das gesamte Energieprogramm überdenken will. Wahrscheinlich ist die Einrichtung eines nationalen zentralen Endlagers bis 1982. Daher beschäftigt man sich, neben der Lagerung auf dem Meeresgrund, mit der in Gesteinsschichten und mit der Transmutation. Vom Raketenversand in den Weltraum hält man gar nichts mehr, weil unpraktisch (= teuer) und gefährlich.

Lagerung im Meer und im Gestein sind Forschungsziele überall. Japan will ab 1978 das Meer benutzen und Ende der achtziger Jahre eine Gesteins-Lagerstätte fertiggestellt haben. Indien denkt ebenfalls daran, schwach- und mittelaktiven Anfall ins Meer zu werfen und ein zentrales Lager für den hochaktiven im Granit einer erdbebenfreien Zone einzurichten. Spanien lagert bereits schwach- und mittelaktiven Abfall in bestehenden Minen bei Cordoba ein und untersucht die Eignung von Salzstöcken und Gesteinsschichten für die Lagerung des «heissen» Mülls. Die USA setzen ihr Endlager-Programm ohne Abstriche fort, wobei der Platz Los Medanas in Neu-Mexiko als Bundes-Lagerstätte in Aussicht genommen ist. Die deutschen Erfahrungen und Pläne sind bekannt.

Weniger bekannt ist vielleicht, dass in Deutschland Versuche angestellt werden, Tritium-haltige Abwässer in porösem Boden zu lagern. Die Briten schaudert's bei dem Gedanken, aber die Sowjets haben seit 1972 schon 1500 m^3 im Sand und Ton uralter artesischer Becken «eingekellert». Das Wasser in den Poren des Bodens muss nach ihren Vorschriften älter als 40 Millionen Jahre sein, sie treiben es durch Aufheizen bis 180 ^{0}C aus und ersetzen es durch das Abwasser, das bis zu 25 Ci pro Liter haben darf.

Das Meer wollen die Sowjets offenbar nicht belasten – sie sprachen wiederholt von seiner künftigen Bedeutung als Nahrungsquelle; Tieflagerung erforschen sie mit Nachdruck. Hingegen scheinen die Franzosen zur Endlagerung auch des hochaktiven Abfalls in Betonbunkern an der Erdoberfläche zu tendieren, mit der nicht von der Hand zu weisenden Begründung, die zu versorgenden Volumina seien ja so gering. FORATOM schätzt sie, in Europa, auf 100 bis 200 m^3 im Jahr, und das nach weitgehendem Ausbau der Nuklearkapazitäten. Deshalb plädiert das Forum auch für internationale Lagerstätten und nennt die individuellen Bemühungen so vieler Nachbarländer eine Vergeudung von Geist und Mitteln; man solle die Staatsgrenzen vergessen und die bestgeeigneten Orte allgemein verfügbar machen. Ein Hoffnungsschimmer in dieser Richtung sei die Zusammenarbeit unter den Elektrizitätswerken, die sich abzeichne.

Bei allen Unterschieden der nationalen Pläne ist der gemeinsame Nenner die Tieflagerung im Gestein. Prof. Bethe zitierte dazu das Fazit der jüngsten Untersuchung der unabhängigen American Physical Society: die Tieflagerung kann bewerkstelligt werden und ist sicher – «kann» nicht im Sinne von «ist vielleicht möglich», sondern im Sinne einer Realität, die es nur anzupacken gilt.

Keinen gemeinsamen Nenner erzielten die Amerikaner und der Rest der Welt bezüglich des Wiederhervorholens («Retrievability») von abgebrannten Brennelementen oder auch von hochaktivem Abfall aus einem Endlager. Die Amerikaner wollen ja – zurzeit – ihre Brennelemente so verstauen, dass sie sie dereinst bei Bedarf wieder herausholen können. Dieser Auffassung setzten die anderen entgegen, dass man auch hier nicht alles haben könne: Endlagerung bedeute Isolierung für immer, Irreversibilität, und dieses Ziel widerspreche den US-Absichten (um nicht zu sagen Träumen).

Wozu, fragte ein Spanier in der abschliessenden Salzburger Diskussion, wozu verglasen, wo doch ein Tieflager «absolut»

sicher sei? Nur, wie auf anderen Teilgebieten, dem Publikum zuliebe? Die Frage machte Eindruck, ein Franzose bemühte schliesslich das Barrieren-Konzept à la Kernkraftwerk: erstens Matrix, zweitens Behälter, drittens Kaverne in der Tiefe ... Hatte der Spanier dumm gefragt?

8. Globale Strahlenbelastung

8.1 Allgemeines

So sehr das Gezänk der Endlagerungs-Experten zu Salzburg wohl ein Streit um des Kaisers Bart war, so wenig traf dies auf das Thema Strahlenbelastung zu, die sich mit dem Ausbau der Kernenergie in aller Welt einstellen könnte. Das Thema verdient zweifellos höchste Aufmerksamkeit – der Teufel könnte in der Masse von Kernkraftwerken und Wiederaufarbeitungsanlagen stecken. Die langlebigen, gasförmigen Spaltprodukte, die aus ihnen an die Luft abgegeben werden, breiten sich ziemlich homogen über die ganze Weltatmosphäre aus, innerhalb einer Zeitspanne von der Grössenordnung eines Jahres. Auch wer keine Kernanlagen hat, würde an der resultierenden Strahlung beteiligt. Würde – denn noch ist es nicht soweit. Noch gibt es eine verhältnismässig geringe Zahl von Kernkraftwerken, und noch sind wenige Aufarbeitungsanlagen in Betrieb (Fig. 2 und 3).

Aber: noch gibt es auch keine weltweite Einigkeit über die Definition der «globalen Kollektivdosis» und dementsprechend auch keine Empfehlungen über zulässige Werte. Die anerkannten Fachleute auf dem Gebiet der Strahlenbiologie drängten in Salzburg darauf, in die globale Kollektivdosis sowohl die Belastung der Allgemeinheit als auch die der beruflich strahlenexponierten Personen einzubeziehen und sowohl die somatische als auch die genetische Wirkung zu berücksichtigen. Wobei der Erforschung radioaktiver Anreicherungen in der Nahrungskette noch einige Aufmerksamkeit gewidmet werden müsse.

«So wenig wie praktikabel» ist die Devise der Techniker, wenn es um die Abgabe radioaktiver Stoffe beim Betrieb von Kernanlagen geht. Eine recht elastische Regel angesichts weitherziger gesetzlicher Grenzwerte. Auf ihrem Boden ist eine Pflanze herangewachsen, die sich «Strahlenbelastungs-Kosten-Nutzen-Analyse» nennt und in Salzburg zur Schau gestellt wurde; vielen Besuchern verursachte ihr Duft Atembeschwerden. Die Pflanze gedeiht in einem Bereich, wo versucht werden soll, zwar die Emissionen so gering wie «praktikabel» zu halten, dabei aber «übermässige» Kosten zu vermeiden.

Die Eminenz aus England, Pochin, sprach von Interessenkollision und forderte, auf Kosten keine Rücksicht zu nehmen. Man arbeite an der Entwicklung sehr wirksamer Rückhaltemethoden, und diese würden bald zur Verfügung stehen; «praktikabel» müsse durch «technisch möglich» ersetzt werden.

Pochin unterlegte seine Mahnung mit jüngsten Erkenntnissen, die auch in einem Bericht der Welt-Gesundheitsorganisation mitgeteilt werden: Es gibt Beweise dafür, dass die lineare Abhängigkeit zwischen Dosis und Wirkung die Risiken nicht «überschätzt»; und Versuchsreihen an Säugetieren lassen darauf schliessen, dass es auch beim Menschen keinen Schwellenwert gibt.

Auf derselben Linie lagen Warnungen aus den USA; nämlich, die Natur nicht allzusehr zu strapazieren. Die Gleichung «natürlich = gut» gelte sicher nicht für ionisierende Strahlung.

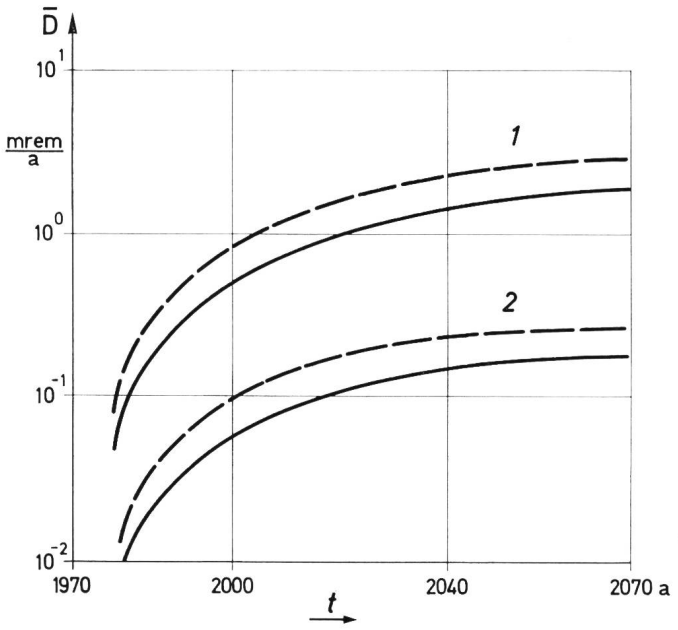

Fig. 2 Zu erwartende mittlere Ganzkörperdosen in der BRD

——— ohne Nachbarländer
— — — mit Nachbarländern

1 ohne Rückhaltung
2 mit Rückhaltung in den Wiederaufbereitungsanlagen (Tritium und Kr-85 zu je 99 %, C-14 zu 80 %)

Die Figur zeigt die auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland zu erwartende mittlere Ganzkörperdosis $\overline{D}$ (mrem/Jahr) als Folge der gasförmigen Emissionen Tritium, C-14, Kr-85 und Xe-133 aus Kernkraftwerken und Wiederaufarbeitungsanlagen, die sowohl in der Bundesrepublik selbst als auch im benachbarten Ausland stehen. Vorausgesetzt wird dabei, dass die deutsche Kernkraftwerkkapazität auf 200 GWe ausgebaut und die Ausbauprogramme der Nachbarländer in die Tat umgesetzt werden können. Bei gleichen Emissionsraten der deutschen wie der ausländischen Anlagen würden bis zu 70 % der Strahlenbelastung auf deutschem Boden von den landesfremden Emissionen verursacht! Da solches auch umgekehrt und für alle Welt gilt, sollte bald weltweite Einigkeit über die Rückhaltung radioaktiver Emissionen aus Kernenergieanlagen angestrebt und erzielt werden.

Was ist zu tun, abgesehen von der Anwendung der jeweils besten Technik zur Rückhaltung von Emissionen? Globale Kollektivdosis und Höchstwerte sollten so bald wie möglich definiert werden, und dann müssen die letzteren auch weltweit anerkannt, angewendet und überwacht werden – siehe Verbreitung der langlebigen Isotopen (10 und mehr Millirem bei vollem Ausbau der Kernenergie und Beibehaltung der heutigen Abgabepraktiken wurden genannt).

Gefahr droht aber nicht nur der Luft, sondern auch den Meeren (Fig. 4). Die Sowjetunion verfolgt seit einiger Zeit den Aktivitätspegel der Ostsee, des Schwarzen Meeres und der Donau. Die Ostsee, früher nur durch Bomben-Fallout angereichert, erhält seit 1976 Zustrom langlebiger Isotopen aus der Nordsee. Sie stammen aus La Hague und aus Windscale, ermöglichen einerseits, die Meeresströmungen zu verfolgen, andererseits beunruhigen sie. Immerhin seien (niemand widersprach) allein im Jahre 1976 runde 175000 m³ an Beta-Abfall in den Atlantik abgelassen worden! Die IAEO wurde aufgerufen, ihre diesbezüglichen Empfehlungen strenger zu fassen und dann messend zu überwachen. Es sei ratsam, zu Vergleichszwecken ein heute noch kerntechnisch jungfräuliches Flußsystem zu studieren.

8.2 Gasförmige Emissionen von Phénix

Was technisch möglich ist bei der Rückhaltung von Emissionen, und wie die Realität beim (demnach zu Unrecht verschrienen) Natrium-Brüter aussieht, zeigen die Werte von Phénix: Seit 1974 sind an Waschwasser 1110 m^3 mit insgesamt 261 Ci angefallen und in Marcoule aufbereitet worden. Als Gase wurden im Tagesdurchschnitt 0,5 Ci abgegeben, zusammen 530 Ci (5 % davon Tritium); der Grenzwert ist mit 230 Ci im Tag festgesetzt. 1976 wurde das 327 Kopf starke Personal mit 8,4 Mannrem bestrahlt, im Mittel je Kopf also mit 25 Millirem, und das war infolge der 1976 ausgeführten Reparaturen (am defekten Na-Na-Wärmetauscher) mehr als in den Jahren zuvor. Individuelle Höchstdosis 1976: 1,2 rem.

Sieben Monate nach dem Auftreten dieses Schadens am Wärmetauscher konnte der Pool-Kessel vom ihn umgebenden Ringraum aus inspiziert werden; Dosis je Inspektor 21 Millirem, Ergebnis der Inspektion: keine Mängel.

Das Verdienst an diesen zweifellos niedrigen Werten schreiben seine Väter dem Pool-Konzept zu.

9. Technische Sicherheit von Reaktoren

Rasmussen beherrscht nach wie vor die Szene. Einer, der's wissen muss, gebrauchte inoffiziell den Vergleich mit dem Transistorradio: diejenigen Kernkraftwerke mit Leichtwasserreaktoren, die von jetzt an gebaut werden, seien ebenso ausgereift und narrensicher wie die Radios. Die eine oder andere (10 Jahre alte) Anlage aber gehöre von Rechts wegen zugesperrt.

10. Die «öffentliche Meinung»

Die Konferenzregeln liessen keinen Zweifel zu: als Beobachter Zugelassenen war die aktive Teilnahme an den Vortragsdiskussionen nicht gestattet, sie brauchten jedoch in den Pressekonferenzen, welche im Anschluss an jede Sitzung stattfanden, ihrem Wissenshunger keinen Zwang anzutun. Prompt meldete sich in einer der drei Sitzungen zum Thema «Kernenergie und öffentliche Meinung» Herr Professor Jungk (er gibt an, an der Berliner Technischen Universität eine Professur für Planungswissenschaften innezuhaben) zu Wort, wurde vom Vorsitzenden aber an die Pressekonferenz verwiesen, stellte sich daraufhin zwischen Auditorium und Podium mit hoch erhobener Hand in Protest-Positur, die er – nicht mehr der Jüngste – gute fünf Minuten bis zum Ende der Diskussion durchhielt. Dann gab er sogar noch eine Minute zu, weil ihn das österreichische Fernsehen so und nicht anders auf dem Magnetband haben wollte. Am Abend desselben Tages Jungk gross in der Tagesschau mit dem Kommentar: seht, so lässt das Nuklear-Establishment einen Fachmann anderer Meinung nicht zu Wort kommen.

So wird öffentliche Meinung gemacht, das ist öffentliche Meinung. Alptraum vieler Energieplaner, aber auch nostalgischer Anknüpfungspunkt. Denn nicht nur einer von jenen Vortragenden, die sich von Berufs wegen für ein besseres Bild der Kernenergie in der Bürgerschaft einsetzen, gedachte laut und mit unverhüllter Wehmut jener gar nicht so weit zurückliegenden Zeiten, da die Naturschützer Kernkraftwerke verlangten.

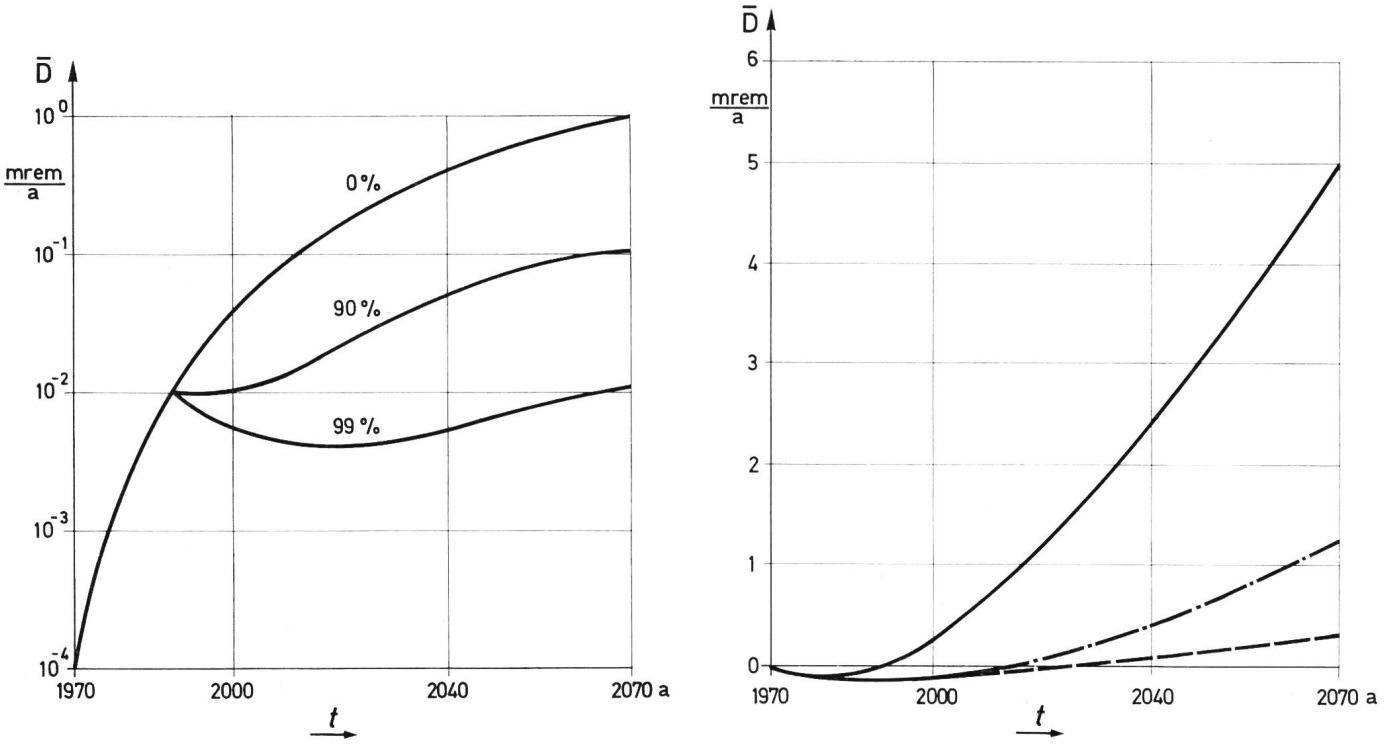

Fig. 3 Zu erwartende mittlere Ganzkörperdosen

Die Prozentzahlen geben die Rückhaltung des Kr-85 in den Wiederaufbereitungsanlagen an.

——— ohne Rückhaltung des C-14

— — — 80 % Rückhaltung in den Wiederaufbereitungsanlagen

—·—·— C-14 nur aus LWR ohne Rückhaltung

Die obigen Figuren zeigen die beim weltweit geplanten Ausbau der Kernenergieanlagen zu erwartende mittlere Ganzkörperdosen auf der nördlichen Hemisphäre, als Folge der globalen Ausbreitung von Kr-85 (links) und von C-14 (rechts) (einschliesslich der wahrscheinlichen Zunahme der CO_2-Konzentration in der Atmosphäre). Ohne Rückhaltung dieser Isotopen, deren Hauptmasse bei der Wiederaufarbeitung freigesetzt wird, würde die Strahlenbelastung in 100 Jahren Werte erreichen, die nach heutigen Maßstäben unzulässig sind. Nach dem jetzigen Stand der Rückhaltetechniken kann jedoch damit gerechnet werden, dass schon in absehbarer Zeit Kr-85 (wie auch Tritium) zu mindestens 85 % und C-14 zu 80 bis 90 % zurückgehalten werden.

Die Zeiten haben sich geändert, Regierungen und Industrie versuchen, die Bevölkerung zu informieren. Die Methoden ähneln einander, die Erfolge ... gibt es die? Der Vertreter der deutschen Regierung sprach von Erfolgen der Kampagne, gab sich dessen sicher, indes: der Brustton fehlte ihm. Die Vertreter Schwedens gaben unumwunden zu, die erste, wohlvorbereitete Aktion habe die Verwirrung in der Bevölkerung nicht geringer gemacht, sondern eher noch vergrössert. Der Feldzug der österreichischen Regierung war ein Schlag ins Wasser – die sorgsam ausgewählten unabhängigen Experten hatten ihre Referate vor allem zur Selbstbeweihräucherung benutzt –. Die Schweden und die Österreicher machen aufgrund ihrer ersten Erfahrungen weiter.

In den USA haben Industrieunternehmen die Sache in ihre Hände genommen, mit Methoden, die auf die amerikanische Mentalität zugeschnitten sind und daher keinen Exportwert besitzen. Immerhin deponierte einer der Vertreter Amerikas in Salzburg die an sich triviale, aber trotzdem überdenkenswerte Weisheit: ob gerechtfertigt oder nicht, die Kernkraftwerk-Gegnerschaft ist Tatsache.

Elitär angehaucht scheinen die französischen Proponenten – Protest? Unbelehrbares Volk! Ganz anders dagegen die Briten. Sie haben zwar mittlerweile eine zahlenmässig kleine Opposition, doch stösst sie bei der Bevölkerung eher auf Ablehnung denn auf Gehör. Erfolg einer Tradition, die viele Jahre zurückreicht, bis in die Tage der Kohlekraftwerke: keine PR-Kampagnen, man lädt die «local people» schon zu Beginn der Planung zur Aussprache, zeigt ihnen ähnliche Anlagen, vor allem aber kennt man keinerlei Geheimnistuerei, schildert die Dinge ungeschminkt und erhält sich die bewährte, offen-ehrlichen Beziehungen zu den Medien.

11. Nukleare Nicht-Fachleute und nicht-nukleare Fachleute

Der Norweger Doederlein beeindruckte Freund und Feind (als Beobachter waren etliche davon da, meist unschwer auszumachen) nicht nur mit seiner Experten-Definition. Die Öffentlichkeit sieht sich Fachleuten gegenüber, die gegensätzlicher Meinung sind. Welchen soll sie Glauben schenken? Doederlein: es gibt unter Fachleuten keine grundsätzlichen Meinungsverschiedenheiten. Entweder stimmen sie nämlich, obschon Kernfachleute, in Dingen nicht überein, die gar nicht in ihr Spezialgebiet fallen – das sind die Nuklearen Nicht-Experten – oder die Meinungsunterschiede bestehen zwischen Leuten, die gar keine Kernfachleute in irgendeinem Sinn sind – die nichtnuklearen Fachleute.

Schön, wie aber kann der Laie (und oft der Fachmann), auseinanderhalten, wer tatsächlich vom Fach ist und wer nicht? Hier sollten die echten Fachleute ruhig etwas weniger nobel sich geben und die Namen nennen (beispielsweise lässt in Österreich ein Professor und Anti-Atom-Aufklärer seine Zuhörerschaft tunlichst in dem Glauben, vom Fach zu sein; er hat den Titel ehrenhalber für sein belletristisches Werk verliehen bekommen).

Trotzdem: auch nukleare Fachleute divergieren bisweilen in ihren Auffassungen, siehe Alfven. Wem soll man dann glauben? Doederlein wandelte Cartesius ab (Nichts ist so absurd, als dass es nicht von diesem oder jenem Fachmann für die Wahrheit ausgegeben würde) und schloss daraus: nicht dem einzelnen Fach-Fachmann, wohl aber ihrer Mehrheit.

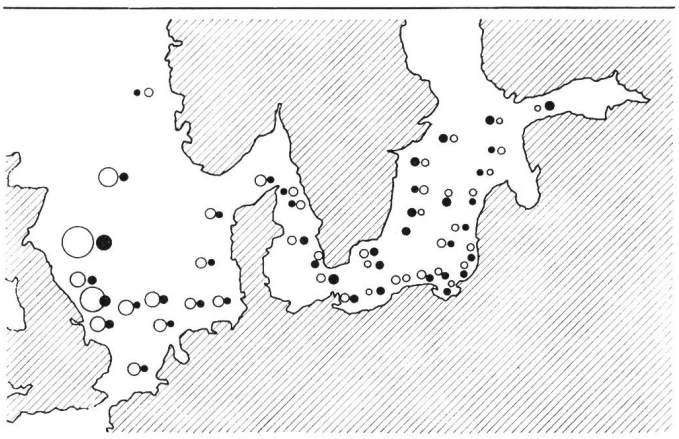

Fig. 4 Gehalt der Oberflächenwässer von Nord- und Ostsee im Jahre 1973 an Strontium-90 (●) und Cäsium-137 (○)

(Symboldurchmesser proportional zur Konzentration)

Die Sowjetunion beobachtet den Gehalt des Nordatlantiks und seiner Randmeere an radioaktiven Isotopen seit langem mit grosser Aufmerksamkeit. Vor allem die Ostsee bereitet ihren Wissenschaftlern Sorge: Bis vor wenigen Jahren konnten sie den Grossteil ihrer radioaktiven Verunreinigungen mit dem Fallout nach Waffenversuchen erklären. Seit einigen Jahren ist jedoch das Absinken beispielsweise der Strontium-90-Konzentration im Anschluss an den Höhepunkt der Waffenerprobung Mitte der 60er Jahre zum Stillstand gekommen, was ebenso wie die neuerliche Zunahme an Cäsium-137 und Tritium einwandfrei auf Zufluss aus der Nordsee zurückgeführt werden kann. In die Nordsee entleeren französische und britische Wiederaufarbeitungsanlagen ihre Abwässer – zwar innerhalb der Empfehlungen des ICRP, die jedoch nicht nur den Russen mittlerweile zu weitherzig sind.

Der Norweger analysierte die bestehende Energiekrise («wir bräuchten nicht dauernd von ihr zu sprechen, wenn sie nicht schon da wäre») als eine, die ihre Ursachen darin hat, dass die anstehenden Entscheidungen nicht getroffen werden. Wie wär's, schlug er ausserdem vor, auch einmal «environmental impact studies» von anderen Energiequellen anzufertigen, mit der gleichen Sorgfalt wie bei der Kernenergie?

12. Spaltstoffkontrolle (Safeguards)

Die Spaltstoffkontrolle wird von vielen als Achillesferse der Kernenergie angesehen. Sie war auch das Lieblingsthema von Jungk und Co.

Prof. Bethe weiss acht Wege, eine Bombe zu bauen. Jedes Land kann es, wenn es unbedingt will, mit und ohne Kernkraftwerk. Der leichteste Weg: Uran-235 anreichern; der weitaus schwierigste: Plutonium aus einem Leistungsreaktor – LWR oder Brüter – vom Isotop 240 befreien. Minimaler Personalbedarf: sechs erstklassige Fach-Fachleute, keine Studenten, aus ebenso vielen Spezialgebieten. Maximaler Erfolg: Sprengkraft einiger Tonnen TNT.

Die bekannten «Enthüllungen» über das verschwundene Uranschiff, gemacht auf der Gegner-Konferenz in Salzburg und naturgemäss ein gefundenes Fressen für die Medien, deckten doch eine weite Lücke im Kontrollsystem der IAEO auf – sie wird dem Rohmaterial mehr Beachtung schenken als bisher. Zu der Vergangenheit hat man sich auf das Plutonium konzentriert. Im Rahmen des Nichtverbreitungs-Vertrags arbeiten Betreiber, die Kontrollinstanzen des Signatar-Staates (State System of Accountancy and Control of Nuclear Materials) und das IAEO-Inspektorat zusammen, wobei sich die IAEO weitgehend auf die Staatsstellen verlässt (oder verlassen muss). 1976 wurden 34 Anlagen überwacht, 1977 sind es 60,

in 10 Jahren werden es einige Hundert, in 20 Jahren möglicherweise einige Tausend sein. Das gibt Personalprobleme; denn je Kernkraftwerk sind 15 Inspektor-Mann-Tage im Jahr aufzuwenden, und geeignete Inspektoren sind dünn gesät – man wird bei der IAEO bald und selbst ausbilden müssen.

Kontrolle im Kernkraftwerk ist verhältnismässig einfach. Schwieriger wird es in einer Wiederaufarbeitungsanlage. Man unterteilt in drei Bereiche und kontrolliert jeweils Ein- und Ausgang des Plutoniums. Im Bereich «Empfang und Lager» kommt es darauf an, die in den Brennstäben enthaltene Masse Plutonium hinreichend genau zu erfassen. Weil die chemische Anlage, der zweite Bereich, durchgehend arbeitet, müssen Inspektoren rund um die Uhr anwesend sein. Der Bereich drei, das Produktlager, ist vergleichsweise unproblematisch.

Ziel der IAEO ist, das Verschwinden von 8 kg Plutonium innerhalb von 10 Tagen zu entdecken. Die Schwierigkeiten beginnen mit der indirekten Messung der Eingangsmenge, deren Genauigkeit etwa $\pm 1\%$ erreicht; sie häufen sich im Bereich zwei, der ja zum Teil unzugänglich ist. Problem im dritten Bereich: dort dürfen beliebige Massen an Pu gestapelt werden, sagt das Abkommen, solange sie kontrolliert werden können. Das Verschwinden von 1% wird mit Sicherheit entdeckt – aber 1% kann sehr viel sein. Bisher allerdings, so IAEO-Rometsch, habe man alle rechnerischen «Verluste» erklären können; man solle den Einsatz des Plutoniums zuerst planen und dann die benötigte Masse aufarbeiten, um Pu-Lager zu vermeiden. Zwischenstaatliche Brennstoffzentren würden ebenfalls einen wichtigen Beitrag zur Sicherheit gegen Missbrauch bringen.

Welt-Kernenergiekapazitäten Tabelle I

Land	Geplante nukleare Kapazität (MW)		Geplanter nationaler Brennstoff-Kreislauf
	im Jahr 1985	im Jahr 2000	
Ägypten	600 (1983)	6 600	Back-End
Bangladesh	–	1 KKW (ca. 200)	–
Belgien		10 000	Back-End
Brasilien		75 000	komplett
Bundesrepublik Deutschland	30 000		Back-End
Frankreich	41 000	64 000 (1990)	komplett
Grossbritannien	(1990 evtl. 6×660 SGHWR)		komplett
Indien		20 000	komplett
Indonesien	1 KKW (Java)		
Israel	900 (?)		
Italien	20 000 (= 40% der Elektrizität)	70% der Elektrizität	Back-End
Japan	49 000	über 100 000	komplett
Jugoslawien		12 600	
Kanada	15 000 (1988)		komplett
Kuba		1 KKW	
Mexiko	2×900 (81/82)	ca. 20 000	komplett
Niederlande	(3×1000 zurückgestellt)		
Österreich		3×1000	
Pakistan	2. KKW (1983)		
USA		330–380 000	komplett
UdSSR	(je nach Bedarf!)		komplett

Der Beobachter konnte sich, und darin weiss er sich mit vielen einig, des Eindrucks nicht erwehren, dass die IAEO-Spaltstoffkontrolle, auch wenn sie und der Vertrag wesentlich verbessert würden, ehrenwerte, aber vergebliche Mühe am wenig tauglichen Objekt ist. Denn: wer will und Geld hat, der kann, und zwar ohne Kernenergietechnik. Schwächstes Glied in der Kette ist ohnehin die staatliche Kontrollinstanz. 24 Staaten verfügen über das Know-How der Wiederaufarbeitung.

Die Gefahren, die von einer kerntechnischen Bevormundung von Ländern ausgehen können, sind viel grösser als jene durch ungenügende IAEO-Kontrolle möglichen. Dass Vorenthalten und Misstrauen die technologische Lücke zwischen Nord und Süd zementieren und neue strategische Spannungen schaffen würden, scheinen bis jetzt nur Carter und Co. nicht zu glauben. Ein Japaner liess in seinem Vortrag keinen Zweifel verlauten, dass Kriege um das zur Neige gehende Öl unvermeidlich würden, sollte es nicht gelingen, innerhalb von zwei Jahrzehnten ausreichenden Ersatz bereitzustellen.

13. Die Entwicklungsländer und die Kernenergie

Der Wunsch, die Einkommenslücke zwischen «Nord» und «Süd» zu verringern, ist in den Entwicklungsländern übermächtig – diesen Eindruck hinterliessen ihre Vertreter in Salzburg. Der Weg soll (und kann wohl nur) über ein Mehr an Energie führen. Konkret sprach man davon, die Lücke bis zum Jahr 2000 im Vergleich zur jetzigen zu halbieren; dazu würde es notwendig sein, ein durchschnittliches jährliches Wirtschaftswachstum von 7,2% beizubehalten und einen Zuwachs von 9% im Jahr des Elektrizitätsverbrauchs. 1970 waren in den Entwicklungsländern 97 GWe installiert, nach der obigen Rechnung sollen es im Jahre 2000 nicht weniger als 1340 GWe sein. Einen guten Teil dieser Kapazität wird man aus Wasserkraft schöpfen können, deren Welt-Reserven zu 40% in diesen Ländern liegen; der – grössere – Rest soll überwiegend aus der Kernenergie kommen (Tabelle I). Welche Arten von Kraftwerken auch immer gebaut würden, der Finanzbedarf wäre (ist) in jedem Fall enorm: über 700 Milliarden Dollar auf der Preisbasis von 1974! Ohne massive Hilfe und Investitionen der Nord-Länder in den Süd-Ländern kann diese Finanz-Aufgabe nicht gelöst werden (was wiederum ein gesundes Wirtschaftswachstum im Norden voraussetzt!). Gespräche darüber und miteinander kamen noch in Salzburg in Gang.

Warum versteifen sich die Entwicklungsländer auf Kernenergie? Aus Not und Notwendigkeit, und nur vereinzelt – wenn überhaupt – aus dem Prestigedenken ihrer Eliten heraus.

Beispiel Bangladesh. 140000 km² und 76 Millionen Einwohner, weniger als arm. Eine Verbesserung der Lebensbedingungen ist nur über Ansätze zu einer Industrialisierung denkbar, und dazu bräuchte man Energie. Das Land hat weder Wasserkraft noch irgendwelche Brennstoffe. Auf Öl und Kohle wagt man nicht zu bauen in Erwartung von deren künftigen Preisen. Einziger Ausweg: Kernenergie.

Beispiel Indonesien: Mehr als 2% der Welt-Ölreserven, doch das Öl sei als Exportartikel zu wertvoll, um im Lande selbst verheizt zu werden. Die Anlaufzeit für eine Kohleindustrie sei zu lang, im übervölkerten Java fürchte man zudem Umweltprobleme. Also möchte man ab 1985 Kernenergie einsetzen. Ob Bangladesh oder Indonesien oder sonst ein Land: selbstverständlich werde man sich der IAEO-Kontrolle unterwerfen.

Neben der Finanzierung stehen auch Schwierigkeiten technischer und personeller Art an. Die technischen betreffen vor allem die bestehenden Netzkapazitäten, die den Einbau grosser Kraftwerkblöcke nicht erlauben. Israel wies zwar darauf hin, dass die Regel, die Blockleistung dürfe 10 % der Netzkapazität nicht überschreiten, ihre Begründung nur im Dezimalsystem habe (die Israelis haben schon mit 17 % erfolgreich operiert), doch können die Netze der meisten interessierten Länder auf absehbare Zeit nur Blöcke von 150 bis 300 MWe verkraften. Wer aber liefert solche Grössen?

In Salzburg klagten Vertreter der Entwicklungsländer zunächst, die grossen Reaktorbaufirmen hätten die Marktlücke für kleine Reaktoren noch immer nicht erkannt; die Behauptung, nur Blöcke von 1000 MWe aufwärts seien wirtschaftlich, entbehre der Grundlage – man brauche doch nur einen der Primärkreise eines Druckwasserreaktors zu nehmen!

Die Klage hatte schon Gehör gefunden, noch ehe sie ausgesprochen war: Babcock & Wilcox bietet einen 900-MWth-Reaktor auf der Basis des Reaktors des nuklear betriebenen Schiffes «Otto Hahn» an. General Electric plant sowohl einen Siedewasserreaktor von 1000 MWth als auch einen 500-MWth-Lizenz-Kugelhaufenreaktor. General Atomic hat Pläne für einen Reaktor von 850 MWth auf St.-Vrain-Basis. Die USSR scheint einem Export ihres «Bilibino»-Modells (10 bis 25 MW, nicht transportabel) nicht abgeneigt. Die Bundesrepublik Deutschland hat fertige Zeichnungen für kleine Reaktoren. Und wenn der Westen Bangladesh nicht Kredit und Vertrauen gibt, wird es sein Kernkraftwerk von 220 MWe aus Indien beziehen, schlüsselfertig und zum Preis von 762 Dollar je installiertem Kilowatt! Alsthom-Atlantique bietet weiterentwickelte Unterseeboot-Reaktoren in Form eines Kraft-Eies an: 16 m Durchmesser, 22 m hoch, 3000 t ohne Wasser und Uran, 3 Primärschleifen, 420 MWth, 125 MWe, Dampfdaten 140 Bar und 261 °C. Auch mit 2 Schleifen und dann 250 MWth erhältlich. Fertig aufgestellt soll das Ei in Frankreich 165 Mio. Dollar kosten, im Entwicklungsland 208 Mio. Dollar. Preis der Nachladung 7 Millionen Dollar – die Kilowattstunde somit zu 25,7 mil (etwas über 6 Rp./kWh).

Zu erwartende Engpässe bei der Bemannung von Nuklearanlagen sind durch frühzeitige Planung vermeidbar (beispielsweise hat Pakistan eine Ausbildungsstätte für Reaktorpersonal eingerichtet). Indien kann aus seinem reichen Reservoir an arbeitshungrigen Akademikern schöpfen. Ein (wohl nicht ganz uneigennützig gemeinter) Rat aus Frankreich: bei schlüsselfertiger Erstellung durch einen westlichen Generalunternehmer lernen Betreiber, lokale Kleinindustrie und Behörden zuwenig – westliche Beratungsfirmen machen es besser, über wichtige Erfahrungen kann man nicht in der Literatur nachlesen. Ein weiterer Tip der Franzosen: Nicht das Kernkraftwerk der Umgebung anpassen, sondern umgekehrt.

14. Fortgeschrittene Reaktorsysteme

Hier ist kaum Neues und nichts Aufregendes zu melden. Schweden und Finnen stellten ihr SECURE vor: 200 MWth, unterirdisch, soll eine Stadt mit 60000 Einwohnern mit Strom und Wärme versorgen.

Verschiedene Plädoyers für thermische Brüter in Salzschmelze verhallten mehr oder weniger unbeachtet.

Vom russischen Stickoxid-Schnellbrüter war schon die Rede. Es blieb ein russischer Abendvortrag über den BN-350 mit schönen Dias. Die Schwierigkeiten mit Naturumlauf-Dampferzeugern sind so weit überwunden, dass fünf von den sechs wieder in Betrieb sind (je 200 MWth) und zusammen 65 % der Höchstleistung des Brutreaktors abgeben. Bei einer Verfügbarkeit von 90 % versorgt der BN-350 die Stadt Schewtschenko, eine Oase in der Wüste von Kasachstan, mit Strom (120 MWe) und entsalztem Wasser (50000 t im Tag.)

15. Carters Vorstellungen

Ausser einer Grussbotschaft zur Eröffnung der Konferenz hatte Präsident Carter auch den stellv. Unterstaatssekretär Joseph Nye nach Salzburg geschickt. Wenn dies mit der Absicht geschah, den Rest der Welt zu beruhigen, so war ihr allem Anschein nach kein voller Erfolg beschieden. Obwohl nämlich Nye versuchte, Kritikern von vorneherein den Wind aus den Segeln zu nehmen, liess sich offensichtlich keiner abhalten, auf die vorbereiteten scharfen Worte zu verzichten.

Der Sendbote warb um die folgende Interpretation des Nuklearparts in Carters Energieplänen: Kernenergie ist notwendig, aber Uran reicht nicht ewig. Die nukleare Zukunft muss in zwei sorgfältig vorbereiteten Schritten angegangen werden.

Erster Schritt: Leichtwasserreaktoren sind sicher, zuverlässig und (ohne Wiederaufarbeitung) kein Waffenrisiko. Daher soll ihr Potential voll ausgeschöpft werden, was für die USA im Jahr 2000 eine Kapazität zwischen 330 und 380 GWe bedeutet.

Für die (reversible) Lagerung des Abfalls (= nicht-aufgearbeitete Brennelemente) stehen ausreichend sichere Methoden zur Verfügung; ab 1985 wird ein unterirdisches Endlager aufnahmebereit sein, ebenso eine Lagerstätte für Trockenabfall auf der Erdoberfläche.

Zweiter Schritt: Fortgeschrittene Reaktoren werden notwendig sein, doch Brüter erst nach 2000. Mit ihrer Einführung kann und muss man sich Zeit nehmen – eine Plutonium-Wirtschaft berge noch zu viele Gefahren in sich.

In der US-Praxis heisst das: das Clinch-River-Projekt soll nicht weiterverfolgt werden. Brüter-Testanlagen und das Forschungsprogramm für die Herstellung und die Wiederaufarbeitung «schneller» Brennstoffe müssen weiterlaufen, um Grundlagen für künftige Entscheidungen zu liefern. Die jetzt laufende Denkpause soll Ende 1978 von einer grossen Musterung abgeschlossen oder unterbrochen werden (bis zu jenem Zeitpunkt sind die Budgets, auch für Clinch River, ohnedies genehmigt).

Was die Wiederaufarbeitung von LWR-Brennstoff angeht, soll eine Entscheidung darüber erst fallen, wenn über das US-Schicksal des Natrium-Brüters entschieden worden ist. Carter lädt alle Welt ein, gemeinsam mit den USA den gesamten Uran-Plutonium-Kreislauf eingehend zu überdenken, bevor weitere Schritte gesetzt werden. Dafür würden die USA die jederzeit ausreichende Belieferung mit angereichertem Uran garantieren.

Die Salzburger Reaktionen sowohl aus dem US-Lager als auch von allen anderen Seiten zeugten davon, dass einmal verscherztes Vertrauen durch eine so wohl gesetzte Botschaft nicht gleich wiederherzustellen ist. An künftig ungestörte Belieferung mit Uran aus den USA schien niemand so recht glauben zu wollen, und das Nuklearprogramm selbst wurde, teils sogar heftig, unter Beschuss genommen. Der Verzicht auf eine friedliche Plutoniumwirtschaft sei keinerlei Garantie für

die Nicht-Verbreitung von Kernwaffen. Rückholen von Brennelementen aus einem Endlager und dessen optimale Isolierung von der Umwelt seien Widersprüche. Ein eklatanter Widerspruch in Carters Programm sei es auch, einerseits das Hauptaugenmerk auf Energie-Einsparungen zu legen, andererseits jedoch auf die Nutzung des Plutoniums zu verzichten (der Energiegehalt des Plutoniums, das bis zum Jahre 2000 in den angebrannten Brennelementen gespeichert würde, entspricht jenem der gesamten Ölreserven der USA!). Desgleichen: Carter will mehr Kohle verwenden, doch enthalten die US-Uran-Reserven zehnmal soviel Energie wie die Kohlevorräte, wenn es in Brüter eingesetzt wird. Die Kritik – weitere Ansatzpunkte sind weiter vorne erwähnt – gipfelte schliesslich in einer offiziellen Bemerkung von britischer Seite: Die USA handelten unverantwortlich, wenn sie tatsächlich einen grossen Teil des Natururans der Welt selbstsüchtig aufbrauchten.

16. Schlussbetrachtungen

Bestimmter als jemals zuvor in solchem Rahmen wurde auf der Salzburger Konferenz gesagt, dass es ohne Kernenergie, und zwar ohne Brüter und ohne nukleare Prozesswärme, nicht gehen wird. Anders als früher bei derlei Gelegenheiten legte das Kernenergie-Establishment den Finger auf die eigenen Wunden; auch wenn IAEO-Eklund mit seinem Schlusswort eine heile Kernenergiewelt zu zeichnen versuchte, so konnte er die Wunden nicht verdecken. Sie sind, bis auf geringfügige und mit gutem Willen leicht heilbare Kratzer, nicht technischer, sondern politischer Natur. Politisch im weltweiten und im nationalen Sinn. Die letzteren scheinen schwieriger zu überwinden als die ersteren, zumindest in den westlichen Demokratien, deren gegenwärtige Grenzen in der sog. Kernenergiediskussion sichtbar geworden sind. Dabei ist der Verdacht begründet, dass Energiepolitiker wie Kernfachleute einer Illusion nachhängen – der Vorstellung nämlich, die Volksstimme könne in der Kernenergiefrage klar entscheiden. J. Francis vom Welt-Kirchenrat in Salzburg: Auf keine Frage, die in aller Öffentlichkeit diskutiert wird, kann es jemals eine einstimmige Antwort geben.

Aber klare Entscheidungen können und müssen getroffen werden – es ist nicht mehr fünf vor Zwölf, sondern schon zwölf Uhr. Wenn sie bei uns nicht getroffen werden, so wird anderswo bestimmt, und zwar für die Kernenergie und dann mit aller Wahrscheinlichkeit zu unserem Nachteil.

Auch bei kritischster Betrachtung hat der Ausspruch des Franzosen Boiteux seine Gültigkeit:

– Kernenergie ist nicht sehr billig, sie ist nicht sauber, und sie ist gefährlich;

– aber noch ist sie die am wenigsten kostspielige, die sauberste und die am wenigsten gefährliche grosstechnische Energieform.

Wird er, mit der Masse, gültig bleiben?

Adresse des Autors
Dr. *R. Weber*, Beethovenstrasse 42, 3073 Gümligen

Erratum: Bulletin ASE/UCS 68(1977)11 du 4 juin 1977, page 522 (B 240)

Article de G. Wanser intitulé:

Les câbles d'énergie à l'époque actuelle et leurs perspectives d'avenir (traduction).

Le texte de la conférence donnée à l'occasion de la 59e Assemblée générale du VDE à Munich le 13 octobre 1976 par le professeur G. Wanser contient dans la traduction une erreur au sujet du développement actuel des câbles à isolation synthétiques en France.

Sous le titre du paragraphe 3.4: Les câbles de transport, il est indiqué au 5e alinéa en page 529: «En France, le réseau de l'EDF comporte environ 100 km de câbles à 225 kV depuis 1969, dont 18 km sont constitués par des câbles *isolés au polyéthylène réticulé.*»

En fait, il faut lire: dont 18 km de câbles isolés au polyéthylène *non-réticulé.*

Actuellement les câbles isolés au polyéthylène réticulé pour les tensions de 225 kV ou de 275 kV n'en sont encore qu'au stade de l'étude, tandis que le polyéthylène non-réticulé est déjà utilisé à la tension de 225 kV pour une quantité de 18 km et que son utilisation serait envisageable jusqu'à la tension de 400 kV, comme cela a été indiqué dans le bulletin SEV/VSE 67(1976)24 de décembre 1976 à la page (A 684) 1351 sous le point 2. «Câbles à isolation synthétique.»

Nos lecteurs voudront bien excuser cette erreur provenant uniquement des travaux de traduction en langue française.