

Zeitschrift: Energie & Umwelt : das Magazin der Schweizerischen Energie-Stiftung SES

Herausgeber: Schweizerische Energie-Stiftung

Band: 2 (1983)

Heft: 1: Wiederaufbereitung

Artikel: Schwierigkeiten ohne Ende bei der Wiederaufbereitung : Vorstoss in die Sackgasse

Autor: Koch, Ursula

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-586023>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 22.01.2025

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

VORSTOSS IN DIE SACKGASSE

Immer wieder hören wir das Lied von der «sauberen, sicheren und umweltfreundlichen Atomenergie». Mit diesem Motto wollen die interessierten Kreise dem skeptischen Volk noch mehr Atomanlagen in der Schweiz schmackhaft machen. Die Marktschreier der Atomenergie verschweigen aber tunlichst die traurigen Erfahrungen, die heute schon weltweit mit der Atomtechnologie gemacht wurden. Verschwiegen wird auch, dass

Atomkraftwerke einen ganzen Rattenschwanz von höchst unsicheren Technologien nachsichziehen, welche zwar den Schweizern selber vorläufig noch kaum zu schaffen machen, weil ausländische Firmen uns bis heute z. B. die Last der Wiederaufbereitung von abgebrannten Brennstäben abgenommen haben. Immer wieder hört man aber von Störfällen in solchen Anlagen und mit grosser Regelmässigkeit werden diese dann sofort

und voreilig von der Schweizerischen Vereinigung für Atomenergie (SVA) in Pressecommuniqués als völlig harmlos und ohne Folgen für Mensch und Umwelt dargestellt.

Stand und Entwicklung der Wiederaufbereitungsanlagen (WAA) in den verschiedenen Ländern ist mehr als bedenklich und wirft ein trübes Licht auf die Verharmlosungsversuche der Atomindustrie in diesem Land.

Wiederaufbereitung: Pferdefuss der Atomtechnologie!

Dass wir in unserem Lande diesen Pferdefuss kaum wahrnehmen, hängt damit zusammen, dass Menschen in anderen Ländern die negativen Folgen heute noch für uns zu tragen haben.

Die Geschichte der Wiederaufbereitung ist die typische Geschichte einer «Sackgassen-Technologie», eine Geschichte voll nicht abreissender Pannen und Probleme. Eine Übersicht über die kommerziellen Wiederaufbereitungsanlagen gibt einen ersten Eindruck von den auftretenden Schwierigkeiten (Tabelle 1).

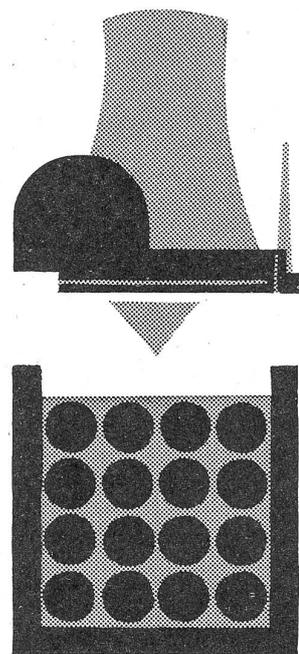
Meldungen über Unfälle in russischen Nuklearanlagen sind schwer zu erhalten, weisen eine starke zeitliche Verzögerung auf und die Quellen sind häufig sehr ungenau. Die Kritik am nuklearen Bauprogramm der Sowjetunion wird von russischer Seite einfach mit dem Argument «Antikommunismus» vom Tisch gewischt. Dennoch legen mehrere Hinweise auf eine grössere Atomkatastrophe 1958 in der UdSSR (Tscheljabinsk im Ural) den Schluss nahe, dass eine grössere Menge radioaktiver Stoffe aus einer WAA in die Umwelt abgegeben wurde. Das Ergebnis dieser Nuklearkatastrophe konnte nur aus indirekten Quellen rekonstruiert werden. Es wurden drei Seen von einigen km² Grösse verseucht, die durch Sperren ihrer Zu- und Abflüsse hydraulisch isoliert wurden und deren Zuflüsse durch Kanalsysteme um die Seen herumgeführt werden. Im *siehe Glossar, Seite 14*

sowjetischen Fischereikataster werden diese Seen nicht mehr aufgeführt. Aus Ortsregistern wurde eruiert, dass mehrere Ortschaften mit bis zu 2000 Einwohnern nicht mehr auf der Landkarte erscheinen, während Ortschaften in unmittelbarer Umgebung einen unnatürlichen Zuwachs aufweisen. Der Schluss einer totalen Evakuierung von ca. 1000 km² liegt nahe. Die Auswirkung auf die Bevölkerung ist nicht klar.

Vom Atomkraftwerk zur Wiederaufbereitungsanlage (WAA)

Ein Atomkraftwerk der 1000 MW Leistungsklasse (Gösgen) muss jedes Jahr ein Drittel der Brennelemente austauschen (24 Tonnen). Ein Brennstab besteht aus einer *Zirkonhülle*, in die der Brennstoff *Uranoxyd* eingebettet ist. Das Uran ist zusammengesetzt aus ca. 97 Prozent *Uran-238* und ca. 3 Prozent *Uran-235*. Natürliches Uran enthält nur ca. 0,7 Prozent *Uran-235*, sodass dieses zuerst auf ca. 3 Prozent angereichert werden muss, damit es als Brennstoff für Atomkraftwerke eingesetzt werden kann.

Nach drei Jahren gilt ein Brennstab als «ausgebrannt» und muss durch einen neuen ersetzt werden. Bei der Kernspaltung entstehen aus dem *Uran-235* neben beträchtlichen Mengen an Energie die hochradioaktiven, mittelschweren Spaltprodukte und aus dem *Uran-238* die in der Natur nicht vorkommenden *Transurane Plutonium, Americium und Curium*. Aus einem Atomkraftwerk wie



Gösgen können durch die Wiederaufbereitung jährlich ca. 200 kg Plutonium gewonnen werden. Die Brennstäbe werden ausgehoben und zunächst für ca. sechs Monate in einem «Abklingbecken» gelagert. Nach dieser Zeit ist die Radioaktivität soweit abgeklungen, dass die Brennelemente in ein Zwischenlager oder in das Eingangslager der Wiederaufbereitungsanlage (WAA) gebracht werden können. Die aus Schweizerischen Atomkraftwerken stammenden Brennelemente werden in die französische WAA in La Hague transportiert.

Tabelle 1:

Die Geschichte der Wiederaufarbeitung: Viele Pannen und Probleme

Eine Bestandsaufnahme mit zivilen Wiederaufarbeitungsanlagen für abgebrannte Brennelemente von Leichtwasserreaktoren (Ostblockanlagen sind nicht berücksichtigt) zeigt, dass keine Anlage von ernstern Problemen verschont wurde. Keine einzige WWA hat ihre Nennleistung auch nur annähernd erreicht. Die Mehrzahl der WAA wurde stillgelegt. In vielen Fällen traten radioaktive Stoffe aus.

Anlage/Verfahren	Betriebszeit	Insgesamt verarbeitete Menge	Durchschnittl. Jahresmenge	Probleme
West Valley (USA) PUREX	1966–1972	240 t	40 t geplant: 300 t	Radioaktive Austritte, hohe Strahlungsbelastung der Beschäftigten. Versuch, die Anlage zu vergrössern, scheiterte. 1976 endgültig aufgegeben.
Mol (Belgien) Aqua-Fluor	1968–1974	178 t	30 t geplant: 75 t	Auftreten grosser Temperaturprobleme. Plutoniumrückstände im Abfall zu hoch. Jetzt Versuchsanlage für Atom- müllverglasung.
Windscale (Engl.) BUTEX Soll erweitert werden	1969–1973	100 t	25 t geplant: 100 t	Zweig einer militärischen WAA. Schliessung nach schwerem Strahlenunfall, bei dem 1973 35 Arbeiter mit Ruthenium 106 verseucht wurden.
Karlsruhe (BRD) PUREX	1971–1980	117 t	12 t geplant: 40 t	Unfall durch Austritt verseuchter Salpetersäure aus Auflöser. Daraufhin Stilllegung. Reparatur wird durch Strahlung erschwert.
Morris (USA) Aqua-Fluor				Wegen zu grosser Schwierigkeiten mit der Aqua-Fluor-Technik noch vor der Betriebsgenehmigung nach dem Probe- lauf 1974 aufgegeben. Jetzt Zwischenlager für Atom- müll.
Barnwell (USA) PUREX			geplant: 1500 t	Erhielt 1977 keine Betriebserlaubnis, wird aber unter der Regierung Reagans gefördert.
La Hague (Frankr.) PUREX	1976	510 t	85 t geplant: 400 t	Zunehmende Verseuchung, Radioaktivitätsabgaben ins Meer, Brände und andere Unfälle. Ist in Betrieb. Soll er- weitert werden.
Tokai-Mura (Japan) PUREX	1978	140 t	35 t geplant: 200 t	Mitte 1979 Störfall wie in Karlsruhe. 15 Monate Stillstand. Arbeitet seit Oktober 1980 mit verminderter Leistung.
Tarapur (Indien)			geplant: 180 t	Noch in der Testphase.
Gesamtleistung: 1285 t			(Stand Juli 1982)	

Aus «Natur» Nr. 12/82

Wie eine Wiederaufbereitungsanlage funktionieren sollte

Nach Ankunft werden die Brennelemente zuerst in einem Kühltank gelagert. Die Aufarbeitung erfolgt dann hinter dicken Beton- und Glasmauern vollautomatisch und ferngesteuert. Zuerst werden die Brennelemente vom Wasserbecken in denen sie lagern, in eine Kammer gebracht, wo die äusseren Hüllen entfernt werden. Die freiliegenden Brennstäbe werden in kleine Stücke geschnitten und in siedender Salpetersäure aufgelöst. Brennstoff und radioaktive

Abfälle lösen sich dabei auf und werden anschliessend durch verschiedene Kammern geleitet. In mehreren Extraktionsstufen werden Uran und Plutonium zuerst von den Spaltprodukten getrennt und nachher je separat behandelt.

Bei der Zerkleinerung der Brennstäbe wird das radioaktive Isotop Krypton frei und der grösste Teil des Tritiums bleibt im Wasser zurück. Besondere Probleme bietet auch das radioaktive und langlebige Jod-129. Dieses Element kann durch die verschiedenen Prozessschritte mitgeschleppt und als elementares Jod oder chemisch gebunden entweichen.

Eine grosse Gefahr für die Sicherheit der Anlagen sind *Kritikalitätsstörfälle*-Kettenreaktionen durch lokal erhöhte Plutoniumkonzentration. In den Extraktoren bilden sich unlösliche Niederschläge (Crud). Korrosion, mangelhafte Löslichkeit der Brennelemente, Rückhaltung der gasförmigen radioaktiven Abgaben, chemische Veränderungen durch Strahleneinwirkungen und die Möglichkeit der Bildung instabiler, explosiver Stoffe im Prozessverlauf sind einige der noch existierenden ungelösten Probleme, die auch immer wieder zu Schwierigkeiten geführt haben.

Nach der Wiederaufbereitung werden die hochradioaktiven Abfälle in eine Form gebracht, in der sie zwischen- und falls einmal möglich - endgelagert werden sollten.

Krieg ist der Vater aller Dinge

Grundsätzlich wären zwei Wege denkbar, um den hochradioaktiven Abfall aus Atomkraftwerken los zu werden. Der eine führt über den komplizierten und gefährlichen Weg der Wiederaufbereitung und der andere über die direkte Endlagerung der Brennstäbe. Diese würden nach einer längeren Abklingzeit vorbehandelt und dann direkt in ein nicht rückholbares Endlager in tiefen geologischen Schichten gebracht oder im Meereshoden vergraben, wenn es diese Lösungen tatsächlich gäbe. In keinem Land wurde bisher das Problem der Endlagerung gelöst. Weshalb die europäische Atomkraftwerksbetreiber den Weg über die Wiederaufbereitung wählen, hat seine Hintergründe. Wie bereits gezeigt, kann bei der Wiederaufbereitung das von den Militärs heiss begehrte Plutonium gewonnen werden, Ausgangsmaterial für die Herstellung von Atombomben, die heute weltweit offenbar drin-

gen benötigt werden. Plutonium bildet auch die Grundlage für die noch zu entwickelnde Brütertechnologie. Zudem kann durch die Wiederaufbereitung ein Teil des nicht gebrauchten Urans zurückgewonnen, wieder angereichert und in die Leichtwasserreaktoren zurückgeführt werden. Dadurch lässt sich das Uran um 20 Prozent besser ausnützen. Die Entwicklung der Atomtechnologie wurde vor allem durch die militärischen Interessen, die Bombe zu bauen, dominiert. Zwischen 1942 und 1945 wurde das Manhattan-Projekt realisiert, das mit dem Abwurf der ersten Atombomben über Hiroshima und Nagasaki als «erfolgreich abgeschlossen» galt. Die «friedliche Nutzung» der Atomenergie entstand sozusagen als «Abfallprodukt» aus diesem heute noch sehr grossen militärischen Interesse. Die ersten Wiederaufbereitungsanlagen (WAA) dienen ausschliesslich der Gewinnung von Plutonium für militärische Zwecke. Weltweit stellt denn auch heute noch die Plutoniumgewinnung den Hauptzweck der Wiederaufbereitung dar. Plutonium ist demnach das Bindeglied zwischen der friedlichen und der militärischen Nutzung der Atomenergie. (Siehe Kasten) In den USA kam es unter

Präsident Carter zu einem *Moratorium* für Wiederaufbereitungsanlagen und zu einer drastischen Kürzung der finanziellen Mittel für die Entwicklung der «Schnellen Brüter». Eine Studie der *Ford-Foundation*, welche den Entscheid der Carter-Administration stark beeinflusste, argumentierte vor allem mit Wirtschaftlichkeitsberlegungen. Die Studie kam zum Schluss, dass die Brüterentwicklung nicht vordringlich sei, weil die Brennstoffeinsparung nur gering, die Wirtschaftlichkeit nicht gegeben und die Risikoerhöhung für die Umwelt und die Gesundheit der Menschen durch WAA-Anlagen zu hoch sei. Das wohl wichtigste Argument für die Regierung Carters war die Angst vor der Weiterverbreitung der Atomtechnologie und des Bombenausgangsmaterials Plutonium. Man wollte eine «Plutoniumwirtschaft» auf alle Fälle verhindern. Die Reagan-Regierung hat das Ruder nun vollständig herumgeworfen. Sie steht der Entwicklung des «Schnellen Brüters» positiv gegenüber und befürwortet demzufolge auch die Wiederaufbereitung von Atombrennelementen. Für die Entwicklung des «Schnellen Brüters» in Clinch-River hat die Regierung 1982 einen staatlichen Beitrag von 727 Millionen Dollar freigegeben. Die Exxon erhielt grünes Licht für den Bau einer WAA in Oak Ridge im Bundesstaat Tennessee. Die Erfahrung mit europäischen Anlagen soll an den Beispielen Windscale und La Hague aufgezeigt werden.

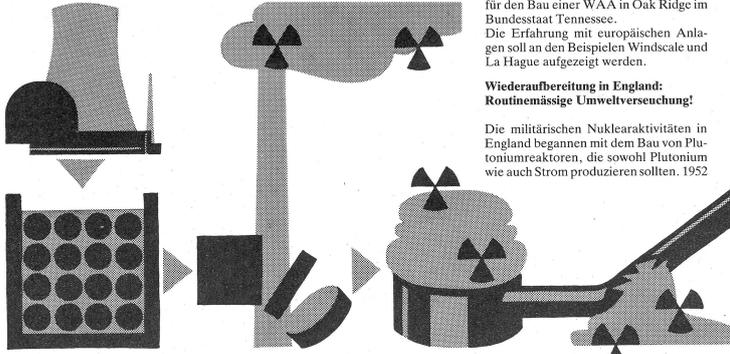
Wiederaufbereitung in England: Routinemässige Umweltverschmutzung!

Die militärischen Nuklearaktivitäten in England begannen mit dem Bau von Plutoniumreaktoren, die sowohl Plutonium wie auch Strom produzieren sollten. 1952

wurde die militärische Wiederaufbereitungsanlage in Windscale zur Gewinnung des Plutoniums in Betrieb genommen. 1964 folgte eine zweite Anlage zur Aufbereitung von *Magnox-Brennelementen*. Der rein militärische Charakter der Anlage wurde teilweise zur kommerziellen Nutzung freigegeben. Zwischen 1969 und 1973 wurden in der Anlage neben den leichter zu verarbeitenden *Magnox-Brennelementen* auch 100 Tonnen Brennelemente aus Leichtwasserreaktoren aufbereitet. Geplant war aber eine Leistung von 100 Tonnen pro Jahr. Somit wurde lediglich eine Auslastung der Anlage von ca. 20 bis 25 Prozent erreicht. Ab 1970 traten erhebliche Schwierigkeiten auf. Die *Magnox-Brennelemente* haben die Eigenschaft, bei der Lagerung im Wasser leicht zu korrodieren. Bei Beschädigung des Brennelementmantels trat laufend das hochradioaktive *Cäsium 134/137* aus. Das verseuchte Wasser des Lagerbeckens wurde routinemässig durch eine 2,5 km lange Rohrleitung in die irische See abgelassen. Erst 1977 wurde eine *Cäsiumfilteranlage* eingebaut. Die Umweltbelastung in Windscale war enorm und wurde systematisch betrieben. Die Anlage in Windscale kann als einer der grössten Verschmutzer

durch Radioaktivität im Bereich der friedlichen Nutzung der Atomenergie angesehen werden. Ein Teil der Anlage wurde 1973 nach einem Unfall für die Verarbeitung von Leichtwasserbrennelementen geschlossen. 35 Arbeiter wurden dabei innerlich und äusserlich bestrahlt und erlitten erhebliche Strahlendosen. Die innere Verseuchung bestand aus einer Lungenkontamination mit *Ruthenium-106*. Die Strahlenbelastung wurde wie folgt angegeben: 34 Personen atmeten zwischen 0,01 bis 5 μ Ci ein und eine Person erhielt 40 μ Ci. Die Strahlendosen lagen bei 4 Personen unter 15 rem, bei 20 Personen zwischen 15-30 rem, bei 10 Personen zwischen 36 und 155 rem und bei einer Person bei 1025 rem (40 μ Ci Ruthenium-106) Lungenbelastung. Die unmittelbare Gesundheitsgefährdung der Arbeiter wurde als sehr gering eingestuft. Die Langzeitwirkung hingegen kann nicht abgeschätzt werden. In diesem Zusammenhang sei auf die erst kürzlich veröffentlichte Studie des britischen Regierungsausschusses für Reaktorsicherheit hingewiesen. Vor 26 Jahren ereignete sich in einem der in Windscale stehenden Plutoniumreaktor ein Brand, wobei grosse Mengen an Radioaktivität an die Umwelt gelangten. Dies könnte die Ursache für die erst jetzt zu Tage tre-

tenden Fälle von Schilddrüsenkrebs sein. Offenbar ist diese Krebsart in Nordengland etwa drei mal häufiger als in den übrigen Gebieten. Nach Aussagen von Personen in jenem Gebiet sollen auch besonders häufig Personen an Rückenmarkkrebs leiden. Im Lichte der Verseuchung der Gegend um Windscale kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Erkrankungen auch auf die Wiederaufbereitungsanlage zurückzuführen sind. Zu fürchten ist, dass das eigentliche Ausmass der Gesundheitsgefährdung erst nach weiteren 10 bis 15 Jahren voll sichtbar wird. Die 1964 gebaute Anlage wurde nach dem Unfall von 1973 geschlossen. Die alte Anlage wurde weiterhin zur Ausarbeitung von *Magnox-Brennelementen* benutzt. Ab 1970 stieg die Umweltbelastung erheblich an, was auf den schlechten Zustand der Anlage schliessen lässt. Die niedrigaktiven Flüssigkeiten, die regelmässig in die Irische See geleitet werden, führten zur Verseuchung von Algen, Fischen usw. mit Strontium-90, Ruthenium 106, Cäsium 137 und Plutonium 238/240. Diese Nukleide kann man bis nach Norwegen nachweisen. Die Verseuchung der Nordsee liegt zwar erheblich unter den von der Internationalen Strahlenschutzkommission (900 u Ci/l)

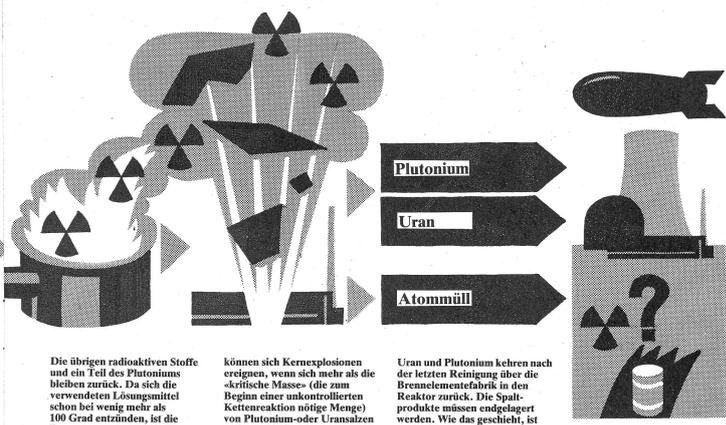


Einführung in eine problem-beladene Technologie

In der Wiederaufbereitungsanlage werden die Brennstäbe nach Ende der Lagerung im Kühlkreislauf in kleine Stücke zerlegt. Dabei werden gasförmige radioaktive Spaltprodukte wie das Edelgas Krypton, Tritium sowie andere Substanzen frei. Ein Teil wird routinemässig durch hohe Schornsteine in die Umwelt abgelassen. Nach im Gorbelen-Hearing vorgelegten Schätzungen gibt eine WAA bereits im Normalbetrieb zehn- bis tausendmal mehr Radioaktivität ab als ein Kernkraftwerk.

Der nächste Schritt ist das Auflösen der Brennstäbe in heisser Salpetersäure - einem äusserst aggressiven Stoff. Wie die Unfälle in Karlsruhe und Tokai-Mura gezeigt haben, können sich in Rohrleitungen und Behältern Lecks bilden, durch die die in der Salpetersäure gelösten hochradioaktiven Stoffe austreten können.

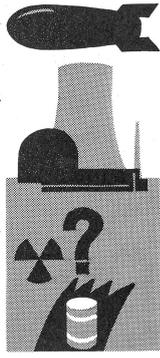
Die Uran- und Plutoniumsalze werden jetzt mit Hilfe des PUREX-Verfahrens von den anderen Stoffen getrennt. Dazu wird die Lösung mit einer Mischung von Tributylphosphat (TBP) und Kerosin verfrachtet. Dabei entstehen diese «Extraktionsmittel» der Plutonium.



Die übrigen radioaktiven Stoffe und ein Teil des Plutoniums bleiben zurück. Da sich die verwendeten Lösungsmittel schon bei wenig mehr als 100 Grad entzünden, ist die Feuersgefahr gross. Bei grösseren Bränden können hochradioaktive Stoffe in die Umwelt gelangen. Die endgültige Trennung und Reinigung von Uran und Plutonium ist ebenfalls mit Risiken behaftet, die nicht unterschätzt werden sollten: Durch Konstruktionsmängel oder menschliches Versagen

können sich Kernexplosionen ereignen, wenn sich mehr als die «kritische Masse» (die zum Beginn einer unkontrollierten Kettenreaktion nötige Menge) von Plutonium- oder Uransalzen in einem Gefäss ansammelt. Derartige Unfälle, die in Fachkreisen gewöhnlich mit dem beschönigenden Begriff «nukleare Leistungsakzidents» umschrieben werden, haben sich bereits mehrfach in militärischen Wiederaufbereitungsanlagen ereignet.

Uran und Plutonium kehren nach der letzten Reinigung über die Brennelementefabrik in den Reaktor zurück. Die Spaltprodukte müssen endgelagert werden. Wie das geschieht, ist noch nicht klar.



Schema 1

Tabelle 2:

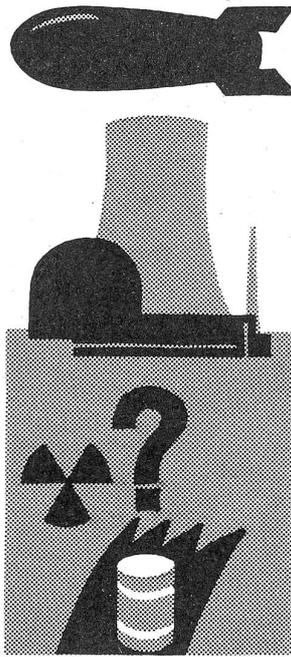
**Die radioaktiven Ableitungen aus EWG-Wiederaufarbeitungsanlagen:
Windscale**

Windscale /51/	erlaubt. Grenzwert Ci/Jahr	freigesetzte Aktivität in Ci					Gesamtmenge Ci
		1972	1973	1974	1975	1976	
Kr-85		1200.000	800.000	800.000	1200.000	1200.000	5200.000
α-Aerosole		0,13	0,18	0,18	0,076	0,052	0,456
β-Aerosole		3,1	19,0	2,8	1,9	3,4	30,2
Tritium/Luft	250.000	12.000	8.000	8.000	12.000	12.000	52.000
Tritium/Wasser		33.570	20.100	32.400	38.000	32.500	157.000
α/flüssig	6.000	3.860	4.900	4.570	2.300	1.600	17.200
β/flüssig ohne Tritium	300.000	140.000	127.000	107.000	245.000	183.000	900.000
Sr-90	30.000	15.200	7.440	10.600	12.600	10.300	56.100
Ru-106	60.000	30.500	37.800	29.200	20.600	20.700	139.000
Cr-137		311.700	207.700	109.770	141.380	115.900	519.000
α-Plutonium		1.548	1.776	1.248	1.200	1.272	7.044
Am-241		2.171	2.952	2.192	984	324	8.624

Quelle: «Bericht Wiederaufbereitung» (siehe Literaturhinweis).

festgelegten Grenzwerte. Immerhin kann gezeigt werden, dass radioaktive Substanzen über weite Strecken (bis zu 2000km) getragen werden. Neben der täglichen Freisetzung von Radionukleiden durch Abluftkammine wurden auch erhebliche Mengen von Plutonium in die Umwelt abgegeben. Durch den Wechsel von Aufarbeitung von Magox- und Leichtwasserbrennelementen musste die Anlage jedesmal eine Reinigungsspülung mit Wasser durchgeführt werden. 40 bis 150kg (je nach Herkunft und Art der Berechnungen) der hochgiftigen Plutoniums wurden gesamthaft bis zur Schließung der Anlage in die See gelassen und setzten sich auf den küstennahen Sedimenten ab. Im ganzen wurden ca. 10 Tonnen Plutonium aus Leichtwasserreaktoren extrahiert. Ca. 1 Prozent davon gelangen also in die Umwelt. Von den 10 Tonnen lagern heute noch ca. 7,5 Tonnen in Windscale. Der Verbleib des Restes ist nicht bekannt, könnte aber für die Herstellung der britischen Kernwaffen oder für die Testprogramme für den «Schnellen Brüter» verwendet werden. Tabelle 2 zeigt die Abgabe von Nukleiden aus der Wiederaufbereitungsanlage in Windscale. Dabei fällt auf, dass für die Nukleide Krypton, Cäsium, Plutonium und Americium gar keine Grenzwerte festgesetzt wurden.

Die «Nuclear Fuel Service», Betreiberin der WAA in Windscale, will diese Anlage ebenfalls vergrößern. Obgleich die Anlage in Windscale heute keine Brennstoffe aus Leichtwasserreaktoren mehr aufarbeitet, ist damit die Freisetzung radioaktiver Substanzen nicht endgültig vorbei. Immer wieder hört man in Pressemeldungen von Lecks und dem Ausströmen von radioaktiven Flüssigkeiten. Ein solches Leck wurde erst kürzlich nach 8 Jahren entdeckt. Die hochradioaktive Flüssigkeit gelangte dabei in die Umwelt und sickerte bis zum Grundwasser.



**Wiederaufbereitung in Frankreich:
Technologische Sackgasse!**

Mindestens in der Namensgebung sind die Franzosen zuverlässig. Die WAA heisst dort schlicht und einfach «Usine Plutonium» (UP), Plutoniumfabrik. Die WAA in La Hague ist die einzig halbwegs funktionierende Anlage in Europa, welche Brennelemente kommerziell aufarbeiten kann. Das Nuklearzentrum in La Hague liegt in der Normandie, 25 km von Cherbourg entfernt. 1966 ging die Anlage in Betrieb. Geplant war die Aufarbeitung von Magnox-Brennelementen von 800 Tonnen pro Jahr. Das Verfahren lief unter erheblichen Schwierigkeiten ab. Die Auslastung der Anlage lag bei etwa 30 Prozent. Die Strahlenbelastung der Umwelt und des Personals stieg laufend an. Pannen und Unfälle ereignen sich jedes Jahr.

Im folgenden werden die bisher veröffentlichten Betriebsunterbrechungen und Unfälle des Jahres 1980 stichwortartig wiedergegeben.

15. 1. 1980

Neuerliche Verseuchung durch einen kleineren Riss ca. 10 m vor der Küste.

Beide Verseuchungen waren nur auf die Bucht, in die eingeleitet wird, lokalisiert. Die Risse sollen durch Leckschlagen an Felsen infolge stürmischen Seegangs entstanden sein. Installation einer Ersatzkanalisation von ca. 1200 m Länge.

15. 4. 1980

Ein Kurzschluss in der zentralen Trafostation (90 und 15 kW) führt zu einem Brand, der die Trafostation zerstört. Nach zwei Stunden wird Brandschluss gemeldet. Notstromaggregate wurden sicherheitshalber herbeigeschafft. 15 Stunden später herrschte wieder normaler Betrieb (dieser Unfall wird noch aus anderen Quellen beschrieben). Die Untersuchung ergab keine Klärung der Unfallursache und zeigte, dass die Stromversorgung der UP-2 nicht redundant ausgelegt war. Im Plutonium-Bereich fiel zwei Stunden die Zwangsbelüftung aus. Es wurde keine Radioaktivitätsfreisetzung berichtet.

4. 6. 1980

Zweistündiger Stromausfall wegen einer Trafoüberhitzung, da der Abschaltpunkt zu niedrig eingestellt war – Umstellung auf Notstromversorgung.

21. 5. 1980

Im Bereich der Plutoniumrückwäsche liefen ca. 200 Liter Lösung aus, da der Überlaufbehälter schon voll war. Das unkontrollierte Auslaufen erfolgte über das Siphonprinzip durch einen Spannungsabfall an einem Mischabsetzer.

10. 6. 1980

Auflösung von DWR-Brennelementen gestoppt, da zwischen dem HAO und der Extraktionsanlage ein Leitungsbruch auftrat (4 Jahre alte Schweisstelle) – kein med. Befund.

29. 10. 1980

Absturz eines DWR-Brennelementes auf den Lagerbeckengrund infolge Abrutschens aus der Kranzange. Keine Beckenwasserkontamination trotz Brennelementbruchs. Entweichen von leicht verseuchtem Dampf aus Wassereindampfer der Beckenwasseraufbereitung.

Dies sind nur Unfälle des Jahres 1980.

Ebensoviele oder noch mehr sind für die Jahre 81 und 82 zu verzeichnen.

Als typisches Beispiel für den Hergang eines Unfalls in La Hague und dessen Behandlung in der Presse seien die Ereignisse vom 6. 1. 1981 geschildert. An diesem Tag wurde laut Angaben der Cogema, Betreiberfirma der WAA in La Hague, gegen 13.00 Uhr ein Schwelbrand in einem Silo entdeckt mit ca. 2000m³ Volumen zur Trockenlagerung abgemandelter Magnox-Brennelementenhüllen. Es kam zum Entweichen von Cäsium-137. Der Brand wurde mit flüssigem Stickstoff gelöscht. Die Cogema berichtete zwei Tage später, dass nur innerhalb des Silos Radioaktivität freigesetzt wurde und die Verseuchung der Atmosphäre äusserst gering sei. Zwei Monate später erschien in einer Fachzeitschrift eine kurze Darstellung des Unfallhergangs wobei zugegeben wurde, dass drei Personen mit Verstrahlungsverdacht untersucht wurden und auch mindestens eine Person eine Dosis

von einigem rem, weniger aber als die zulässige Grenzdosis erhalten habe.

Einige Zeit später konnte man Einblick erhalten in ein internes vertrauliches Dossier der Cogema, welches den Unfallhergang genau beschrieb.

Schon um 4.00 Uhr gab es an diesem Tag Hinweise für die Freisetzung von Radioaktivität. Um 9.15 Uhr wurde festgestellt, dass vor allem Cäsium-137 entwich. Um 11.30 Uhr wurde dann das Feuer entdeckt und hohe Dosen von Radioaktivität gemessen. Dann wurde Alarm ausgelöst. Zu diesem Zeitpunkt wurde eine Evakuierung erwogen, später aber wieder davon abgesehen. Ein erster Löschversuch mit Wasser misslang. Um 16.00 Uhr wurden die ersten Bestrahlungen vom Belegschaftsmitgliedern gemeldet. Parkende Autos wurden durch radioaktiven Regen verstrahlt. Die meisten Arbeiter, welche zu hohe Dosen aufwiesen, haben sich an ihren eigenen Autos verseucht. Um 22.00 Uhr begann man, den Brand mit flüssigem Stickstoff zu löschen. Es wurden ca. 40m³ Stickstoff pro Stunde in den Silo gepumpt. 48 Stunden nach Brandausbruch wurden die Löscharbeiten beendet. Erst am 10. 1., also vier Tage später wurden die Journalisten zugelassen. Vorher war man auf die verharmlosenden Communiqués der Cogema angewiesen.

Fünf Wartungsarbeiter wurden direkt bestrahlt, einer mit 5,7 rem (Höchstgrenze 5 rem/Jahr), die übrigen mit Dosen von 200 bis 400 mrem. Die Bodenkontamination erreichte innerhalb von 200m vom Silo entfernt 100 n Ci/m². Dieser Wert übersteigt die üblichen Dosen um das 100 bis 500 fache. Die Gegenüberstellung des tatsächlichen Unfallhergangs mit den offiziellen Presseverlautbarungen lässt die Verharmlosungstendenz solcher Communiqués klar erkennen.

Deren Aussagenwert unmittelbar nach einem Ereignis ist meist gleich null.

Aus Berichten der für die Wiederaufbereitungsanlage zuständigen Gewerkschaften geht hervor, dass der Zustand der Anlage sich von Jahr zu Jahr verschlechtert. Es ist Routine, alle nicht rückhaltbaren Nukleide wie *Krypton-85*, *Kohlenstoff-14*, *Jod-129/131* entweder über den Schornstein in die Luft oder durch die 5km lange Leitung in den Ärmelkanal abzulassen. Dabei gelangen grosse Mengen *Tritium* ins Meer. Nach den selben Quellen liegt die Verseuchung der Meeresflora- und Fauna bereits jenseits der zulässigen Grenzwerte. (Siehe auch Tabelle 3)

Robert Jungk schreibt in einem Artikel in der deutschen Zeitschrift «Stern» schon 1977: «Am 2. Oktober 1968 musste La Hague die gesamte Milch der benachbarten Bauern aufkaufen, weil von dem für die Schilddrüsen gefährlichen Jod-131 mehr als normalerweise in die Atmosphäre gewichen ist. Zwei Strahlenphysiker aus Paris stellten Messungen an in

der Umgebung des Atomzentrums und stellten fest, dass die Strahlung an vielen Stellen das acht- bis siebzehnfache der natürlichen Werte aufweist. Sprecher der Atombehörden bestritten dies. Eine Wiederholung im Beisein eines Notars bestätigte jedoch die Messresultate.

Über die Wasserleitung gelangten allein im Jahre 1975 rund 11 000 *Curie Tritium*, 23 000 *Curie Ruthenium*, 2000 *Curie Cäsium 134/137* und vor allem eine erhebliche Menge von radioaktivem *Strontium*, welches Knochenkrebs hervorrufen kann, und etwas *Plutonium*, ins Meer. Dazu kommt, dass die Leitungen, in denen die radioaktiven Abwässer abfließen, nach offiziellen Angaben bereits mehr als 30 mal leck wurden. Oft dauerte es Tage, ehe man herausfand, dass die giftige Flüssigkeit in den Boden eingedrungen und in einigen Fällen bereits ins Trinkwasser durchgesickert ist.»

Man fragt sich angesichts der radioaktiven Verseuchung der Umgebung von La Hague, ob nach 20 bis 30 Jahren nicht ebenfalls Meldungen über ein vermehrtes Auftreten von Schilddrüsen-, Bauchspeicheldrüsen- und Rückenmarkkrebs zu erwarten sind.

aus Leichtwasser-Reaktoren übernehmen konnte. Um für andere Länder die Wiederaufbereitung gegen Bezahlung leisten zu können, wurde eine zweite Anlage, die UP-2 gebaut. Die Cogema rechnete damit, dass diese Anlage ab 1977 400 Tonnen pro Jahr und ab 1979 800 Tonnen pro Jahr aufarbeiten könne. Sie schloss deshalb mit ausländischen Betreibern Verträge ab und sicherte die Aufarbeitung langfristig zu. Dabei stellte sich heraus, dass die zu erwartenden Brennelemente die Kapazität der Anlage bei weitem übertreffen werden. Deshalb wurde eine Erweiterung der Plutoniumfabrik geplant. Die UP-3A und die UP-3B sollten beide je 800 Tonnen jährlich aufarbeiten, sodass ab 1986 eine Kapazität von 2400 Tonnen vorhanden wäre. Diese ursprüngliche Planung der Cogema erwies sich bald als unrealistisch und musste aufgegeben werden. Die Bewilligung für den Ausbau der UP-2 von 400 auf 800 Tonnen wurde erst 1981 erteilt und wird ihren Betrieb im günstigsten Fall 1986 aufnehmen, die volle Leistung – wenn überhaupt – erst ab 1988 erfüllen können. Die neuen Anlagen UP-3A und UP-3B werden ihren Betrieb

Tabelle 3:

Die radioaktiven Ableitungen aus EWG-Wiederaufbereitungsanlagen

Cap de la Hague /51/	erlaubt. Grenzwert Ci/Jahr ¹	freigesetzte Aktivität in Ci					Gesamtmenge Ci
		1972	1973	1974	1975	1976	
Kr-85		240.000	230.000	720.000	660.000	350.000	2200.000
α-Aerosole							0,0001
β-Aerosole	0,013	0,11		0,013	0,014	0,009	0,159
Tritium/Luft	82	71		190	88	49	480
Tritium/Wasser*	—	—		—	—	—	—
α/flüssig	3,1	3,6		27,0	13,3	9,9	56,9
β/flüssig ohne Tritium		11.600	13.700	25.300	31.900	19.300	102.000
Sr-90	868	1.020		2.820	2.030	1.080	7.820
Ru-106	7.570	7.100		14.500	22.400	15.000	66.570

* Die Tritiumableitungen ins Wasser werden nicht ausgewiesen. Man kann davon ausgehen, dass sie ungefiltert in die Vorfluter (Rhone und Ärmelkanal) eingeleitet werden.

¹ Zum Vergleich seien die vom Bundesrat bewilligten Grenzwerte für das AKW Gösgen angegeben:

	erlaubte Grenzwerte Ci/Jahr
Edelgase (Kr-85)	30.000
Aerosole (β/γ)	0,25
Jod-131	0,2 Ci
Tritium/Wasser	2000 Ci
Abwasser ohne Tritium	5 Ci

La Hague: Der Abfallberg wächst!

Bei der nachfolgenden Betrachtung wird allein die Brennelementaufarbeitung aus Leichtwasserreaktoren berücksichtigt. Die Schweiz liefert nur solche Brennelemente nach La Hague und uns interessiert vor allem, ob die Schweiz ihren hochaktiven Atom Müll weiterhin nach La Hague schicken kann.

Nach der Schliessung der Wiederaufbereitungsfabrik für Leichtwasser-Reaktoren-Brennelemente in Windscale 1973 blieb La Hague die einzige Anlage, die die Aufbereitung von Brennelementen

frühestens in den neunziger Jahren aufnehmen.

Bis heute wurden in der UP-2 (Kapazität 400 Tonnen/Jahr) von 1976 bis 1981 ca. 336 Tonnen aufgearbeitet, dies entspricht einer Auslastung von rund 14 Prozent!

Dabei steigt weltweit der Berg an nicht aufgearbeiteten Brennelemente an. Ein Blick in die Zukunft zeigt auf, in welche Schwierigkeiten die europäischen Atomkraftwerksbetreiber kommen werden. Die Cogema muss damit rechnen, dass zwischen den Jahren 1980 und 1993 rund 18000 Tonnen Brennelemente nach La Hague geschickt werden, was der totalen

Entsorgung in diesem Zeitraum von 50 AKW's à 1000 MW entspricht. Sollten die eher unwahrscheinlichen Cogema-Prognosen für ihre Wiederaufbereitungskapazität zutreffen, (UP-2/800 ab 1988 in Betrieb, 1992 volle Kapazität, UP-3 ab 1987 in Betrieb und ab 1991 volle Kapazität), würden 1993 ca. 8500 Tonnen nicht aufbereitete Brennelemente lagern. Die Cogema plant deshalb auch, ihre Lagerkapazität bis 1986 auf 6000 Tonnen zu erhöhen. Dennoch wären auch in diesem günstigsten Falle 2500 Tonnen nicht lagerfähige Brennelemente vorhanden.

bereitungsanlage erörtert wurde, erachtete man ein Lager von 3000 Tonnen als zu grosses Sicherheitsrisiko. Eine Lagerkapazität von 300 Tonnen wurde als angemessen angesehen.

Aus dieser Sicht werden denn auch die höchst eigenartigen Verträge, welche die Atomkraftwerksbetreiber mit der Cogema abschliessen mussten und welche als absolut geheim und vertraulich eingestuft wurden, verständlich:

«Wenn durch grössere technische Hindernisse die Wiederaufbereitung oder Lagerung beeinträchtigt werden, und/oder Sicherheitsauflagen der Behörden

selbst (unbearbeitet) zurückgegeben werden.»

Die von der Cogema selbst veröffentlichten Szenarien zeigen auf, dass ab 1986 mit einem grossen Überhang an nicht lagerfähigen Brennelementen zu rechnen ist. Dies bedeutet, dass ab diesem Zeitpunkt die Wahrscheinlichkeit, dass die Schweiz nicht aufgearbeitete Brennelemente zurücknehmen müssen, jedes Jahr grösser wird. Bei den ehrgeizigen Brüterplänen der Franzosen ist anzunehmen, dass die ausländischen Lieferanten die Auswirkungen dieser Fehlplanung zuerst zu spüren bekommen werden.

Und die Kosten?

1976 stellte die amerikanische Energiebehörde ERDA fest: «Weder in den USA noch in Übersee befinden sich heute Wiederaufbereitungsanlagen in Betrieb, die abgebrannte Brennelemente aus Leichtwasserreaktoren auf einer wirtschaftlichen Basis wiederaufbereiten können.»

Die Situation ist 1983 noch nicht besser. Dabei stellte man sich in den Anfangsphasen der friedlichen Nutzung der Atomenergie alles so einfach vor. Für die Wiederaufbereitung rechnete man mit einem Preis, der höchstens einen Bruchteil eines Rappens pro kWh betragen würde. Die Schätzungen der Schweizerischen Elektrizitätswirtschaft lagen bei 5 bis 10 Prozent der Stromkosten (bei einem Strompreis von 7Rp/kWh). 1975 wurden die Wiederaufbereitungskosten von Prof. Resnikoff wie folgt geschätzt (Tabelle 4).

In den Jahren 1976 waren sich die Befürworter wie Gegner der WAA einig, dass die Kosten für die Wiederaufbereitung schliesslich viel höher liegen würden. Man rechnete mit einem Preis von 200 bis 300 Dollar pro kg Brennelemente. Im Bericht der Ford Foundation schreiben die Autoren über die Wiederaufbereitung (1977).

«... liegen die meisten Abschätzungen (der Kosten) im Bereich von 200 bis 400 Dollar pro kg, wobei die grosse Spanne die möglichen Ungewissheiten aufzeigt, die noch immer existieren. Die Eskalation der Wiederaufbereitungspreise war in der Vergangenheit sehr hoch. Es gibt keine Anzeichen dafür, dass dieser Prozess ein Ende hat.»

Wie recht die Autoren hatten, zeigt sich erst heute. Die Cogema schloss mit der Schweizerischen Elektrizitätswirtschaft Verträge ab, wonach der Preis für die Wiederaufbereitung in den Jahren zwischen 1980 und 1990 bei ca. 275 Dollar/kg liegen würde. Allerdings behielt sich die Cogema das Recht vor, diese Preise jederzeit willkürlich zu erhöhen, wenn es die Umstände erfordern. Diese Preis Anpassungen erfolgten dann auch postwendend. Eine Analyse der Jahres- und Energiegestehungskosten 1980 und 1981 des AKW Gösgen gibt Aufschluss über



Wohin damit? Die Lieferländer, darunter auch die Schweiz, riskieren also, ihre nicht aufgearbeiteten Brennstäbe wieder zurücknehmen zu müssen oder diese nicht mehr nach La Hague schicken zu können. Es bliebe der Schweiz nichts anderes übrig, als selber Zwischenlager für hochradioaktive Atommüll zu bauen. Ein solches ist in Lucens geplant, und zwar gegen den ausdrücklichen Willen der Bevölkerung.

Was aber; wenn die optimistischen Prognosen der Cogema nicht zutreffen, wie in der Vergangenheit üblich? Was, wenn die Cogema die heute übliche Kapazitätsausnutzung von 30 Prozent nicht steigern kann? Was, wenn ein grösserer Unfall die Cogema zwingen würde, die Anlage stillzulegen, wie es in Windscale bereits geschehen ist? Die Folgen für die Schweiz wären unabsehbar. Nicht nur muss die Schweizerische Elektrizitätswirtschaft nach der Wiederaufbereitung anfallenden hochradioaktiven Abfälle ab ca. 1990 wieder zurücknehmen. Auch die Fortschaffung der abgebrannten Brennstäbe würde zunehmend schwierig werden.

Noch ein Wort zur Lagerkapazität von 6000 Tonnen nicht aufgearbeiteter Brennelemente. In den Gorleben-Hearings in Deutschland, bei welchen die Lagergrössen für eine geplante Wiederauf-

die Verfügbarkeit von Lagermöglichkeiten berühren ist der Wiederaufbereiter berechtigt, nach eigenem Gutdünken und ohne Kosten oder sonstige Verpflichtungen für ihn die Aufnahme von Brennsätzen jederzeit zu verschieben». Diese Vertragsklausel verpflichtet also die Cogema zu überhaupt nichts, die Lieferanten von Brennelementen sind ihr völlig ausgeliefert.

Die Antwort des Bundesrates auf eine kleine Anfrage von Nationalrat Chr. Grobet im Jahre 1979 lautet wie folgt:

«Die Bernischen Kraftwerke AG (Mühleberg), die Nordostschweizerischen Kraftwerke AG (Beznau I und II), die KKW Gösgen-Däniken AG und die KKW Leibstadt AG haben im Frühjahr 1978 je einen gleichlautenden Vertrag mit der französischen Firma Cogema unterzeichnet. Die Verträge regeln Abfallbeseitigung der betreffenden Atomkraftwerke in den Jahren zwischen 1980 und 1990 und enthalten neben den technischen, administrativen und finanziellen Bedingungen eine Klausel in Form eines Optionsrechtes, wonach die Firma Cogema die entstehenden radioaktiven Abfälle den Werken zurückgeben, d.h. in die Schweiz zurückbefördern kann. Wenn die Wiederaufbereitungsanlage La Hague frühzeitig stillgelegt werden müsste, können auch die Brennelemente

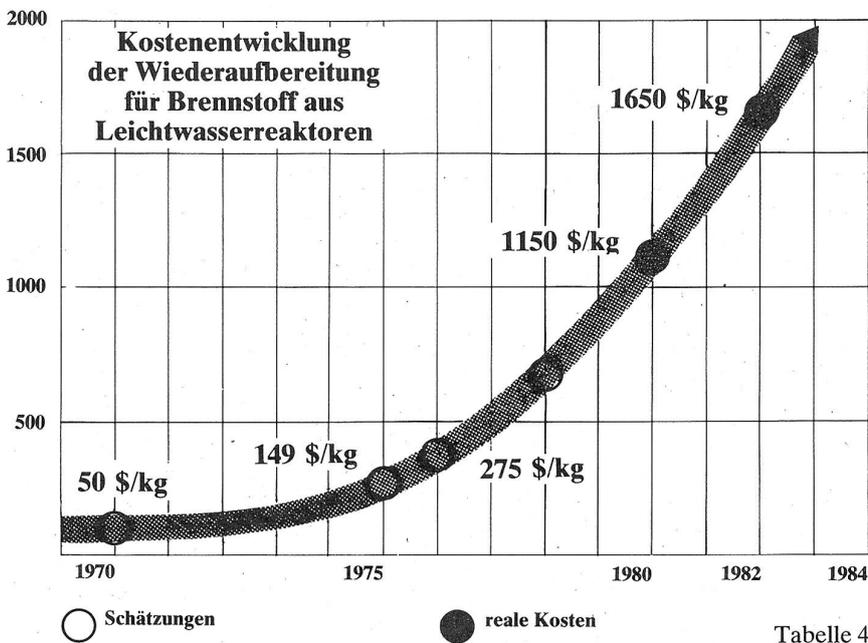


Tabelle 4

Bereich	Dollar/kg Brennstoff
Transport ausgebrannter Brennstäbe	7,5
Wiederaufbereitung	103.-
Abfalltransport (hochaktiv)	2.-
Transport von Alpha-Abfällen	2.-
Lagerkosten für hochaktive Abfälle	24.-
Lagerkosten für Alpha-Abfälle	4,5
Bewachung	6.-
Gesamtkosten	149.-

nochmals 400 bis 500 Millionen Franken bezahlen.

Ein Blick in die Zukunft lässt nichts Gutes erahnen. Für die in Hessen geplante Wiederaufbereitungsanlage mit einer Jahresleistung von 350 Tonnen sollen 4 bis 5 Milliarden DM bereitgestellt werden. Die Cogema rechnet sogar mit einem Betrag von mehr als 10 Milliarden DM für die neue Anlage in La Hague (UP-3A). Die Kostenexplosion für die Wiederaufbereitung ist demnach nicht zu Ende. Dies alles wird sich auf den Endpreis der Elektrizität auswirken. Das AKW Gösgen produziert noch zu einem Preis von 7 Rp./kWh ab Werk. Wenn Leibstadt seinen Betrieb 1984 aufnimmt, muss mit einem Preis von 12 bis 14 Rp./kWh gerechnet werden. Dies wird der ohnehin mit Schwierigkeiten kämpfenden Wirtschaft noch schwer zu schaffen

Tabelle 5

KKW Gösgen:

Übersicht über die Jahres- und Energiegestehungskosten

Kostenarten	Rechnung 1980		Budget 1981		Rechnung 1981	
	Mio.Fr.	Rp./kWh	Mio.Fr.	Rp./kWh	Mio.Fr.	Rp./kWh
1. Kernbrennstoffkosten						
1.1 - Abbrand	54,782	0,92	57,000	0,92	60,121	0,92
1.2 - Wiederaufarbeitung	55,000	0,92	63,000	1,02	113,000	1,72
2. Kapitalkosten	126,474	2,13	124,375	2,00	121,451	1,85
3. Abschreibungen	66,394	1,12	68,000	1,10	70,445	1,07
4. Betriebskosten (Saldo der übrigen Aufwand- und Ertragspositionen)	52,750	0,89	63,740	1,03	59,083	0,90
5. Rückstellungen						
5.1 - Endlagerung der Abfälle aus Betrieb und Brennstoff	13,000	0,22	14,140	0,23	14,970	0,23
5.2 - Endlagerung Stilllegungsabfall	2,450	0,04	2,670	0,04	2,830	0,04
5.3 - Stilllegung der Anlage	6,150	0,10	6,675	0,11	7,100	0,11
5.4 - Beseitigung abbrennbarer Gifte	0,400	—	0,400	—	0,400	—
6. Jahres- und Energiegestehungskosten	377,400	6,34	400,000	6,45	449,000	6,84
7. Produktion in GWII	5 950,337		6 200,000		6 572,946	

die enorm gestiegenen Kosten für die Wiederaufbereitung (Tabelle 5). Der Kostensprung zwischen 1980 und 1981 ist zum Teil auf einmalige Aufwendungen zurückzuführen. Die reinen Wiederaufbereitungskosten betragen 1982 ca. 80 Millionen Franken. Damit musste 1980 der Cogema ca. Fr. 2300/kg und 1982 Fr. 3300.-/kg pro kg Brennelement bezahlt werden (siehe Grafik 1).

Der ehemalige deutsche Forschungsminister Andreas schreibt in einem Artikel im «Spiegel» vom 7. März 1983:

«Für die Wiederaufbereitung und Endlagerung wurde mit 2200 Mark pro kg Brennstoff bei einer Preissteigerung von jährlich 6 Prozent gerechnet. Inzwischen werden aber Kosten der kommerziell für die Wiederaufbereitung tätigen französischen Cogema auf 3500 DM/kg allein für die Wiederaufarbeitung geschätzt. Bei der zusätzlich noch nötigen Endlagerung sind Mehrkosten von zum Teil mehreren hundert Prozent nicht auszuschliessen.» Die Schweizerische Elektrizitätswirtschaft wird aber von der Cogema noch weiter zur Kasse gebeten. Für die Erweiterung der Wiederaufbereitungsanlage UP-3A muss sie — gemäss ihrem Anteil an Aufbereitungsdienstleistungen —

machen. Sicher ist, dass das ökonomische Abenteuer der Atomgesellschaft erst anfängt und das technologische Abenteuer uns noch schwerwiegende Probleme schaffen wird.

Ursula Koch

Gefahren der Plutoniumwirtschaft: Verbreitung und Diebstahl

«Eine weltweite Plutoniumwirtschaft, die in etwa 25 Jahren Plutonium von ungefähr 1000 Leichtwasserreaktoren wiederaufzubereiten hat, würde einen jährlichen Handel mit 200000 kg Plutonium bedeuten. Diese Menge würde jedes Jahr aus verbrauchtem Brennstoff aus vielleicht einem Dutzend Staaten getrennt. Tausende von Sendungen abgetrennten Plutoniums würden unterwegs sein, von Wiederaufbereitungs- zur Herstellungsanlagen und als frischer Oxidgemisch-Brennstoff innerhalb und zwischen etwa 40 Ländern. Plutonium wäre dem Diebstahl, dem Verlust und dem Missbrauch allen Stationen ausgesetzt, die der Trennung in der Wiederaufbereitungsanlage folgen. Ladungen mit frischem Oxidgemisch-Brennstoff für die jährliche Speisung eines einzigen Reaktors enthielten genug Plutonium für 50 Nuklearwaffen. Die Trennung des Plutoniums aus frischem Oxidgemisch-Brennstoff wäre viel einfacher als die von bestrahltem Brennstoff, da sie nur einfache chemische Arbeiten benötigen und die Strahlengefahren gering sind.»

Quelle: Literaturhinweise 1

Worterklärungen

Zirkonhülle

Der Kernbrennstoff Uranoxid (UO_2) wird in Form von Tabletten in ein Metallrohr eingefüllt und eingeschmolzen. Die Hülle besteht zur Hauptsache (98 Prozent) aus dem Metall Zirkon und Zusätzen von Zinn, Eisen, Chrom und Nickel. Diese Metallegierung schmilzt erst bei 1860 Grad und ist sehr korrosionsbeständig.

Uranoxid

Der Kernbrennstoff Uran liegt in Form von Uranoxid vor. Uranoxid ist die Verbindung des Metalls Uran mit Sauerstoff. In natürlichem Uran ist das spaltbare Uran-Isotop U-235 nur zu 0,7 Prozent enthalten. Der Rest ist Uran-238. Um die Energieproduktion im Reaktor zu ermöglichen, wird der Anteil des Uran-235 auf physikalischem Weg auf ca. 3 Prozent erhöht.

Uran-235/238

Die dem Element Uran nachgestellte Zahl 235 oder 238 gibt die Massenzahl des Atoms an. Der Atomkern besteht aus den Protonen mit positiver elektrischer Ladung und aus den ungeladenen Neutronen. Die Summe von Neutronen und Protonen ergibt die Massenzahl. Uran hat also 235 oder 238 Neutronen plus Protonen.

Isotop

Isotope sind Atome gleicher Protonenzahl, aber unterschiedlicher Neutronenzahl. Uran hat immer 92 Protonen. Uran-235 hat demnach 143 Neutronen, und das Uranisotop-238 hat 146 Neutronen.

Transurane

Transurane sind «künstliche» Elemente mit mehr als 92 Protonen im Atomkern. Sie kommen auf der Erde unter natürlichen Bedingungen nicht vor. Im Reaktor entstehen sie aus Uran durch Neutroneneinfang und nachfolgender radioaktiver Kernumwandlung. Die wichtigsten Transurane sind Plutonium (94 Protonen), Americium (95 Protonen) und Curium (96 Protonen).

Radionuklide,

welche von einer Wiederaufbereitungsanlage an die Umwelt abgegeben werden.

Tritium (H-3): Tritium entsteht aus dem häufigsten Element, dem Wasserstoff. Tritium hat ein Proton und zwei Neutronen. Seine Halbwertszeit beträgt 12,3 Jahre. Über das Trinkwasser kann es in den Körper und über den Blutkreislauf in die Organe gelangen. Es kann die in allen Zellen vorhandenen Wasserstoffatome ersetzen und so zur internen Strahlenquelle werden.

Krypton-85 (Kr-85): Ein radioaktives Edelgas, welches durch die Abluft an die

Umwelt abgegeben wird. Seine Halbwertszeit beträgt 10,7 Jahre.

Jod-129 (J-129): Seine Halbwertszeit beträgt 17 Millionen Jahre. Die Freisetzung erfolgt über die Abluft und gelöst über das Abwasser. Jod-129 gelangt über kontaminierte Nahrungsmittel in den menschlichen Körper, wobei zur Hauptsache Milch und Blattgemüse Jod aufnehmen. Jod wird in den Schilddrüsen gespeichert und führt dort zur Strahlenbelastung dieses Organs.

Cäsium-134 und Cäsium-137: Halbwertszeit 2 bzw. 30 Jahre. Cäsium wird entweder durch die Abluft oder gelöst im Abwasser an die Umwelt abgegeben. Durch die Nahrungsmittelkette (Blattgemüse, Fleisch, Fisch, Milch) gelangen diese Radionuklide in den menschlichen Körper. 80 Prozent bleiben in den Muskeln und 8 Prozent in den Knochen. 10 Prozent der Radioaktivität wird sofort wieder ausgeschieden.

Strontium-90: gelangt über die Abluft in die Umwelt. Halbwertszeit: 28 Jahre. Wird in den Knochen gespeichert und ersetzt das chemisch ähnliche Kalzium. Strontium kann zu einer Strahlenbelastung des Rückenmarks führen und erhöht das Leukämierisiko.

mit einem millionstel Gramm angegeben (durch Einatmen). Es ist im Vergleich zu Arsen 60 000 bis 300 000 Mal und zu Zyanalkali 140 000 bis 200 000 Mal giftiger.

Halbwertszeit

Die Zeit, in der die Hälfte der Menge eines radioaktiven Stoffes sich in ein anderes Isotop oder Element umgewandelt und die Hälfte der Strahlenaktivität abgeklungen ist. Halbwertszeiten reichen von Sekundenbruchteilen bis zu Milliarden Jahren. Man spricht deshalb von kurzlebigen und von langlebigen radioaktiven Stoffen. Plutonium-239 hat eine Halbwertszeit von 24 400 Jahren, d. h. nach dieser Zeit sind von einem Kilogramm Plutonium noch nicht 500 Gramm radioaktiv und nach weiteren 24 400 Jahren noch 250 Gramm aktiv usw.

Schneller Brüter

Reaktortyp, in dem Plutonium als Kernbrennstoff verwendet wird. Plutonium ist in natürlichem Uran als Trägersubstanz fein verteilt. Der Hauptbestandteil des Natururans U-238 wird bei der Reaktion in Plutonium verwandelt. Durch diesen Prozess wird mehr Plutonium «erbrütet» als für die Energieerzeugung verbraucht wird.



Kritikalität

Bevor eine unkontrollierte Kettenreaktion ausgelöst wird, muss eine bestimmte Menge eines spaltbaren Materials, die «kritische Masse» vorhanden sein. Ein Kritikalitätsstörfall in einer Wiederaufbereitungsanlage ereignet sich dann, wenn sich beispielsweise lokal eine bestimmte Menge des Plutoniumsalzes ansammelt, so dass eine kleine unkontrollierte Reaktion ausgelöst wird. Dadurch kommt es zu einer explosionsartigen Verpuffung, die grössere Schäden anrichten kann.

Extraktion: «Purex-Verfahren»

Durch verschiedene Stufen eines Verfahrens werden Plutonium und Uran zuerst von anderen radioaktiven Elementen und schliesslich voneinander abgetrennt. Extraktion heisst herauslösen. Zu den in der Salpetersäure gelösten Salzen des Plutoniums und des Urans gibt man das «Extraktionsmittel» Tributylphosphat und Kerosin. Diese können Uran und Plutonium binden. Die übrigen Substanzen bleiben in der wässrigen Lösung zurück. Dieses Trennverfahren wird «Purex-Verfahren» genannt.

Plutonium: Halbwertszeit 24 400 Jahre. Die Abgabe an die Umwelt erfolgt ebenfalls über die Abluft und das Abwasser. Über die Nahrungsmittelkette gelangt es in den Magen-Darm-Trakt und in die Knochen. Besonders gefährlich ist das Einatmen von Plutoniumstaubteilchen. Das Lungenkrebsrisiko kann erheblich erhöht werden. Zudem ist Plutonium äusserst giftig. Die tödliche Dosis wird

Mischoxid-Brennstoff:

Brennstoff, welcher zu ca. 30 Prpzent aus Plutonium und zu ca. 70 Prozent aus Uran besteht. Dieser Brennstoff wird für die Schnellen Brüter und für Leichtwasserreaktoren verwendet.

Moratorium:

Baustop und «Denkpause» beim Bau von Atomkraftwerken und anderen Nuklearanlagen. In der Schweiz besteht faktisch ein «Moratorium» seit der Besetzung des Baugeländes in Kaiseraugst.



rem

(roentgen equivalent man) Einheit der biologischen Strahlendosis. Ergibt sich als Produkt der aufgenommenen Strahlendosis und der biologischen Wirksamkeit der Strahlung. Für Betriebsangehörige wurde ein Grenzwert von 5 rem pro Jahr festgelegt. mrem ist ein Tausendstel rem.

Magnox-Brennelemente:

In England und Frankreich wurde eine eigene Reaktorlinie entwickelt, die sog. Gas-Graphit-Reaktoren. In diesen Reaktoren werden Brennelemente eingesetzt, bei welchen nicht Hüllen aus Zirkon, sondern solche aus einer Magnesium-Legierung (Magnox) verwendet werden. Diese Hüllen sind weniger korrosionsbeständig als die Zirkonhüllen und können nur tiefere Temperaturen (ca. 460°) vertragen.

Bei diesen Reaktortypen entstehen weniger hochradioaktive Produkte als bei Leichtwasserreaktoren. Die Aufarbei-

tung solcher Brennelemente ist deshalb einfacher. Erfahrungen mit der Wiederaufbereitung von Magnox-Brennelementen können deshalb nicht einfach auf die Handhabung der Aufbereitung von Elementen aus Leichtwasserreaktoren übertragen werden.

Ford-Foundation

Berühmte amerikanische Stiftung, welche wichtige Forschungsprojekte und Studien von allgemeinem Interesse anregt und finanziert.

Curie (Ci) ($\mu\text{Ci} = 10^{-6} \text{Ci}$):

Masseinheit für die Radioaktivität eines Stoffes. Ein Curie entspricht dem Zerfall von 37 Milliarden Atomkernen pro Sekunde und ist gleich der Radioaktivität eines Gramms Radium-226. μCi ist ein Millionstel Curie.

Literaturhinweise und Quellen

1. Der Atombericht der Ford-Foundation, «Das Veto», Umschau-Verlag 1977.
2. «Bericht Wiederaufbereitung», Band 1, Darstellung und kritische Wertung der Technologie, Sicherheit und energiepolitische Bedeutung der Wiederaufbereitung, Naturwissenschaftlergruppe NG 350, Marburg, Gruppe Ökologie, Hannover, 1982.
3. «Schweizerisches Atomenergiegesetz», Herbert Rausch, Schulthess Polygraphischer Verlag, 1980.
4. «Wiederaufbereitung – eine technologische Sackgasse?», Fischer, Hirsch, Ellerbroek, Schriftenreihe der Max-Himmelheber-Stiftung, 1981.
5. «Natur», No. 12/1982.
6. «Der Spiegel», No. 10, 7. März 1983.
7. «Frieden in die Katastrophe», Holger Strohm, Verlag 2001, 1981.
8. «Bubble, Bubble, Toil, and Trouble: Reprocessing Nuclear Spent Fuel» Arjun Makhijani, Health an Energy Learning Project, July 1982.
9. «NZZ», 24. 4. 81.

VERANSTALTUNGSHINWEISE

Tagung im Gottlieb-Duttweiler-Institut

«Kohlendioxid – eine Gefahr für unsere Umwelt? Situation, Prävention, langfristige Lösungen.»

25. April 1983
im GDI, Rüschlikon

Kohlendioxid, Bestandteil des natürlichen Lebenszyklus, wird zu einem schwerwiegenden Umweltproblem, wenn das Gleichgewicht gestört wird und der CO_2 -Gehalt in der Atmosphäre ansteigt. In unserem Jahrhundert ist der CO_2 -Gehalt um 15 Prozent gestiegen, im nächsten könnte er sich sogar verdoppeln. Welche Auswirkungen hat dies auf die Atmosphäre, das Klima und die Umwelt?

Über diesen Problemkreis wird an der Tagung «Kohlendioxid – eine Gefahr für unsere Umwelt?» im GDI von Fachleuten und Politikern informiert, werden präventive Massnahmen skizziert und langfristige Lösungen diskutiert.

Tagungskosten: Fr. 185.–
Anmeldung: GDI, Rüschlikon,
Tel. 01/724 00 20.

Forum Grüne Wirtschaft:

«Werkstatt Grüne Wirtschaft»

30. April/1. Mai 1983
auf dem Rigi

Welchen Stellenwert soll die Arbeit in einer künftigen Gesellschaft haben? Wie wird die Arbeit organisiert sein? In welchem Umfang können neue Technologien eingesetzt werden? Lassen sich Wachstum und Ökologie vereinbaren? Was heisst «qualitatives Wachstum?»

Diese Fragen werden bei der Werkstatt «Grüne Wirtschaft» diskutiert und in Referaten und Workshops sollen mögliche ökologische Wirtschaftspositionen erarbeitet und aufgezeigt werden.

Referenten: Joseph Huber, H. A. Pestalozzi, H. H. Porst, Klaus Traube... und viele andere, die sich mit diesem Problemkreis konkret beschäftigen.

Programm erhältlich beim Sekretariat «Forum Grüne Wirtschaft», Oberdorfstrasse 20, 8800 Thalwil, Tel. 01/720 32 92.

Schweizerische Gesellschaft für Daseinsanalyse

Philosophische Gesellschaft Zürich

«Was heisst Umdenken?»

11./12. Juni 1983
im Schinzenhof, Horgen

Immer dringender ertönt der Ruf nach einem fundamentalen Umdenken angesichts der bedrohlichen ökologischen Situation. Was aber ist dieses Umdenken? Wie kann es geschehen? Wie kann es Folgen haben? Welche Hindernisse liegen ihm im Wege? Und was haben Philosophie und Psychologie dazu zu sagen? Solche Fragen sollen an der Tagung problembezogen und allgemeinverständlich erörtert werden.

Referenten: Prof. Pierre Fornallaz, Dr. med. Hans Padrutt, Dr. Alice Holzhey, Dr. Peter Müller-Locher, Dr. med. Ania Padrutt, Prof. Helmut Holzhey, Prof. Reinhart Mauer; Schlusswort: Prof. Medard Boss; Zwischengesänge: Franz Hohler.

Information: Frau Tina Schulz, Kirchgasse 17, 8001 Zürich, Tel. 01/252 06 07.