

Wiederaufarbeitung deutscher Brennelemente im Ausland

(Studie erstellt im Auftrag von Robin Wood e.V.)

Mai/Juni 2005

Hintergrund

Der Betrieb von Atomkraftwerken erzeugt bestrahlte Brennelemente. Diese Brennelemente besitzen ein hohes Gefahrenpotenzial. Ein Teil der beim Betrieb eines Reaktors in großer Zahl entstehenden Spaltprodukte (vor allem Cs-137) verursacht eine starke radioaktive Direktstrahlung, die im unabgeschirmten Fall nach kurzer Zeit zum Tod eines in der Nähe befindlichen Menschen führen würde. Darüber hinaus sind in den bestrahlten Brennelementen Aktinide enthalten, die bereits in sehr geringen Mengen stark giftig sind (z.B. ist schon ein Millionstel Gramm Plutonium Krebs erregend). Neben diesen direkten gesundheitlichen Gefahren ist ein Teil der in bestrahlten Brennelementen enthaltenen Stoffe, bestimmte Uran- und Plutonium"sorten", zum Bau von Atombomben geeignet.

Weltweit werden in der zivilen Nutzung der Atomenergie zwei Pfade verfolgt mit diesem gefährlichen Stoff umzugehen:

- *Wiederaufarbeitung*: Die chemische Auflösung in einzelne Bestandteile (Uran, Plutonium, Abfälle verschiedener Kategorien) und der teilweise Wiedereinsatz in neuen Brennelementen.
- *Direkte Endlagerung*: Die längerfristige oberirdische Zwischenlagerung und spätere Endlagerung in tiefen geologischen Formationen.

In der Bundesrepublik Deutschland wurde in der Vergangenheit der Pfad Wiederaufarbeitung verfolgt. Dazu wurde die erforderliche Technik entwickelt und eine Versuchs-Wiederaufarbeitungsanlage in Karlsruhe (WAK) betrieben. Bis zu ihrer Stilllegung im Jahr 1990 wurden in ihr 208 Mg Schwermetall (SM = Uran + Plutonium) bearbeitet. Mit dem Bau einer großen kommerziellen Anlage wurde Mitte der 1980er Jahre in Wackersdorf begonnen. Aus ökonomischen und politischen Gründen wurde dieser Bau 1989 eingestellt und damit auf eine zukünftige Wiederaufarbeitung in der Bundesrepublik Deutschland verzichtet.

Parallel zur Entwicklung in der Bundesrepublik wurden Verträge zur Wiederaufarbeitung in Frankreich und Großbritannien abgeschlossen. Damit sollte ursprünglich die Zeit bis zur Inbetriebnahme der Wiederaufarbeitungsanlage in Wackersdorf überbrückt werden.

Im Jahr 1994 wurde durch Änderung des Atomgesetzes die politische Vorgabe zur Wiederaufarbeitung – der sogenannten schadlosen Verwertung – aufgehoben und die Direkte Endlagerung gleichberechtigt. Eine erneute Gesetzesänderung 2002 schränkte die sogenannte Entsorgung bestrahlter Brennelemente auf die Direkte Endlagerung ein.

Gegenwärtige rechtliche Situation

Auf Grundlage einer Vereinbarung zwischen der Bundesregierung und den Elektrizitätsversorgungsunternehmen (EVU) wurde im Jahr 2002 das Atomgesetz (AtG) novelliert. Nach § 9a Abs. 1 AtG dürfen ab dem 01.07.2005 keine bestrahlten Brennelemente mehr zur Wie-

deraufarbeitung ins Ausland verbracht werden. Die dort zu diesem Zeitpunkt befindlichen Brennelemente dürfen jedoch auch danach noch wiederaufgearbeitet werden.

Für das bei der Wiederaufarbeitung abgetrennte Plutonium muss nach § 9a Abs. 1c ein Verwertungsnachweis geführt werden. Das heißt, es muss von den EVU dargelegt werden, dass genügend Kapazitäten für den Einsatz des Plutoniums in deutschen Atomkraftwerken besteht. Für das Uran ist nach § 9a Abs. 1d AtG ein Verbleibnachweis (Zwischenlagermöglichkeit) erforderlich. Für die bei der Wiederaufarbeitung angefallenen Abfälle muss nach § 9a Abs. 1a und 1b AtG rechtzeitig vor deren Annahme der Nachweis ausreichender Zwischenlagerkapazitäten in der Bundesrepublik Deutschland geführt werden.

Alle Brennelemente, die bisher nicht zur Wiederaufarbeitung oder zentralen Zwischenlagerung verbracht wurden, sind nach § 9a Abs. 2 AtG bis zur Möglichkeit für die Endlagerung an den Standorten der Atomkraftwerke in Behältern trocken zwischenzulagern.

Wiederaufarbeitungsverträge und Sachstand

Die EVU der Bundesrepublik Deutschland haben in drei Phasen Verträge zur Aufarbeitung von bestrahlten Brennelementen im Ausland abgeschlossen. Vertragspartner sind die Anlage der COGEMA in La Hague (Frankreich) und die Anlage von British Nuclear Group, früher BNFL, in Sellafield (Großbritannien):

WA-Verträge	La Hague	Sellafield
vor 1976	290	-
1976 - 1989	4.360	884
nach 1989	1.130	302
Summe	5.780	1.186

Tabelle 1: Zur Wiederaufarbeitung vereinbarte Vertragsmengen in Mg Schwermetall (Stand Ende 2000)

Die abgeschlossenen Verträge haben in Bezug auf die tatsächliche Durchführung der Wiederaufarbeitung eine unterschiedliche Verbindlichkeit. Vor allem für die Verträge nach 1989 ist ein Verzicht auf die Wiederaufarbeitung möglich. Erste Kündigungen von einzelnen Kraftwerksbetreibern gab es bereits nach der ersten Atomgesetzänderung 1994. Im Weiteren wurde je nach Zugriff auf Zwischenlagermöglichkeiten für die Brennelemente von einem teilweisen Verzicht Gebrauch gemacht. Über die bisher tatsächlich zu den Wiederaufarbeitungsanlagen transportierten Mengen liegen keine aktuell veröffentlichten Zahlen vor. Die Zahlen müssen daher aus verschiedenen Veröffentlichungen von Bundesregierung/-behörden und Betreiberorganisationen abgeschätzt werden. Die Auswertung ergab folgendes Bild:

ins Ausland verbracht	La Hague	Sellafield
bis 31.12.2001	4.703,8	691,4
2002	241,8	106,4
2003	306,7	60,6
2004	110,3	5,1
2005	22,3	-
Summe	5.384,9	863,5

Tabelle 2: Abschätzung der zur Wiederaufarbeitung gelieferten Mengen bestrahlter Brennelemente in Mg Schwermetall

Ein für Anfang Juni 2005 vorgesehener Transport von Krümmel nach Sellafield wurde kurzfristig abgesagt, da es in der dortigen Wiederaufarbeitungsanlage einen schweren Störfall gab.

Der Vergleich der Zahlen zwischen dem Vertragsstand Ende 2000 und den zur Wiederaufarbeitung angelieferten Brennelemente legt nahe, dass nach der 2002 vorgenommenen Atomgesetzänderung die Wiederaufarbeitungsmenge gering reduziert wurde. Allerdings sind Ungenauigkeiten bei der Ermittlung der angelieferten Brennelemente zu berücksichtigen. Gegenüber dem Stand von vor 1998 (6.400 MgSM La Hague und 1.734 MgSM Sellafield) ist die Reduzierung jedoch deutlich.

Die Wiederaufarbeitung der angelieferten Brennelemente findet in Kampagnen statt. Unter anderem deshalb wird sie mit einer Zeitverzögerung zur Anlieferung durchgeführt. Aktuelle Zahlen, wieviel Brennelemente in La Hague und Sellafield bisher wiederaufgearbeitet sind, liegen nicht vor. Für La Hague ist bekannt, dass bis zum 31.12.2003 etwa 4.816 MgSM aus deutschen Brennelementen wiederaufgearbeitet wurden. Zum 31.12.2004 lagerten dort nach COGEMA-Angaben noch 369 MgSM in bestrahlten Brennelementen. Bis Juli 2005 kommen 22,3 MgSM hinzu, insgesamt sind demnach noch 391,3 MgSM wiederaufzuarbeiten. In Sellafield waren bis 31.12.1999 etwa 56 MgSM deutscher Brennelemente wiederaufgearbeitet. Aktuellere Daten sind nicht verfügbar. Die Wiederaufarbeitungsanlage hat ihre Zielkapazität von 900 bis 1.000 MgSM pro Jahr bisher nicht erreicht. Der Anteil deutscher Brennelemente am Gesamtauftragsvolumen für Sellafield beträgt etwas über 10 %. Auf dieser Basis könnten in den letzten vier Jahren in grober Abschätzung maximal 250 MgSM aufgearbeitet worden sein. Das bedeutet es würden sich noch bestrahlte Brennelemente mit über 500 MgSM zur Wiederaufarbeitung in Sellafield befinden.

Wiederaufarbeitungsprodukte

Bei der Wiederaufarbeitung entstehen im Wesentlichen fünf radioaktive Stoffströme:

- Plutonium,
- Uran,
- Abfälle,
- Ableitungen mit dem Abwasser,
- Ableitungen mit der Abluft.

Plutonium

Durch die Wiederaufarbeitung deutscher Brennelemente fallen insgesamt knapp 70 Mg Plutonium verschiedener Radionuklidsorten an. Davon sind knapp 42 Mg im Leichtwasserreaktor spaltbare Plutonium-Nuklide (Pu_{fiss}). Auf Grundlage obiger Abschätzung werden in La Hague und Sellafield noch ca. 9 Mg Plutonium aus bestrahlten Brennelementen abgetrennt.

Das bei der Wiederaufarbeitung abgetrennte Plutonium soll vollständig zu Mischoxid(MOX)-Brennelementen verarbeitet und in den deutschen Reaktoren wieder eingesetzt werden. Für das in den zu den Wiederaufarbeitungsanlagen verbrachten Brennelementen enthaltene Plutonium müssen die EVU einen Nachweis erbracht haben, dass der Reaktoreinsatz möglich ist. Dieser Nachweis ist jedoch aus heutiger Sicht keineswegs sicher. Das größte Problem stellen gegenwärtig die zur Verfügung stehenden Fertigungskapazitäten für MOX-Brennelemente dar. Die MOX-Brennelement-Fabrik in Sellafield ist wegen zahlreicher Probleme bei der Inbetriebnahme nach wie vor nicht in kommerziellem Betrieb. Die Anlage in Cadarache (bisher hauptsächlich für den deutschen Markt genutzt) muss aus Erdbebensicherheitsgründen stillgelegt werden. Bleiben momentan nur die Anlage in Marcoule (MELOX), in der bisher nur für den französischen Markt produziert wurde, und die Anlage in Dessel-Belgien (COMMEX). Letztere soll allerdings 2006 geschlossen werden.

Die in den deutschen Reaktoren eingesetzten MOX-Brennelemente müssen nach ihrem Einsatz in den Reaktoren zwischengelagert und später in ein Endlager gebracht werden. Es handelt sich um etwa 1.000 Mg Schwermetall.

MOX-Brennelemente sind unter sicherheitstechnischen Aspekten, aus Strahlenschutzgründen und bezüglich Proliferationsgefahren noch kritischer zu bewerten als Uran-Brennelemente:

- Mögliche Freisetzung von Plutonium (hohe Giftigkeit) durch Störfälle bei
 - Wiederaufarbeitung, Lagerung, Transport und Verarbeitung von Plutonium,
 - Herstellung von MOX, Fertigung und Transport von MOX-Brennelementenund im Normalbetrieb vor allem bei der Wiederaufarbeitung und der Herstellung von MOX.
- Verringerung der technischen Sicherheitsabstände im Betrieb von Reaktoren. Durch das erhöhte Plutoniuminventar der MOX-Brennelemente verschiebt sich das Neutronenspektrum im Reaktor, wodurch er schwieriger zu steuern und im Störfall schwieriger abzuschalten ist. Darüber hinaus wird das Inventar an langlebigen Radionukliden des Reaktorkerns erhöht, was zu größeren radiologischen Auswirkungen führt als bei Uran-Brennelementen.
- Erhöhung des Anteils der Neutronenstrahlung und der Wärmeentwicklung bei Transport, Zwischenlagerung und endlerfähige Konditionierung von bestrahlten MOX-Brennelementen.
- Erhöhung der Probleme durch Wärmeentwicklung, Neutronenstrahlung und mit der Kritikalitätssicherheit im Endlager.
- Von Abtrennung des Plutoniums bei der Wiederaufarbeitung bis zum Einsatz im Reaktor erhöhte Abzweigungs- und Diebstahlgefahr. Sechs Transportbehälter für Plutonium oder auch ein bis zwei unbestrahlte MOX-Brennelement enthalten die Plutoniummenge für eine Atombombe.

Uran

Uran macht etwa 99 % der Schwermetallmasse in bestrahlten Brennelementen aus. Daher entsprechen die Zahlen für die angefallenen Uranmengen etwa der Angabe der bestrahlten Brennelemente.

Für das bisher aus deutschen Brennelementen angefallene bzw. noch anfallende Uran gibt es folgende Optionen zum Verbleib:

- Uran verbleibt vertraglich vereinbart zur Verwendung bei der COGEMA (betrifft vermutlich nur eine relativ geringe Menge).
- Uran wird nach Russland transportiert, dort mit hoch angereichertem Uran aus der Waffenproduktion vermischt, zu Brennelementen verarbeitet und dann zum Einsatz in die Bundesrepublik transportiert (betrifft gegenwärtig den größten Teil des Urans).
- Uran wird verkauft.
- Uran wird von den EVU zurückgenommen, muss in der Bundesrepublik zwischengelagert und später endgelagert werden (kann in Zukunft einen größeren Teil betreffen).

Für die eventuelle Endlagerung des Urans existieren gegenwärtig keine Einlagerungskonzepte und die Auswirkungen für die Langzeitsicherheit des Endlagers sind noch nicht geprüft.

Abfälle

Bei der Wiederaufarbeitung entstehen unterschiedliche Abfallarten. Sie besitzen teilweise sehr hohe Aktivitätsinventare und sind stark Wärme entwickelnd. Laut vertraglicher Vereinbarung müssen die Abfälle, entsprechend der in den wiederaufzuarbeitenden Brennelementen enthaltenen Aktivität, in die Bundesrepublik zurückgenommen werden. Die im Folgenden genannten Abfallmengen bzw. Behälterzahlen sind auf Vorhersagen beruhende Abschätzungen der EVU für die vertraglich vereinbarte Gesamtmenge. Sie können sich durch die konkreten Brennelementdaten in bestimmten Grenzen verändern.

La Hague:

Verglaste hochaktive Abfälle (HAW-Kokillen)	127 Behälter (u.a. CASTOR HAW) mit je 28 Kokillen.
In Kokillenform mit Hochdruck verpresste Abfälle	309 Behälter mit je 28 Kokillen.
Bituminierte Abfälle	652 Gusscontainer Typ VII.

Sellafield:

Verglaste hochaktive Abfälle (HAW-Kokillen)	34 (40)* Behälter mit je 28 Kokillen.
Zementierte Wärme entwickelnde Abfälle*	509 MOSAIK 90TB mit je 4 Fässern.
Nicht Wärme entwickelnde Abfälle*	316 Gussbehälter Typ II und 218 Container Typ V.

* Es wird über eine Substitution der nicht verglasten Abfälle durch verglaste Abfälle verhandelt. Sind die Verhandlungen erfolgreich, werden statt der nicht verglasten Abfälle zusätzlich 6 Behälter mit verglasten Abfälle zurückgenommen.

Ableitungen

Beim Zerlegen und Auflösen der Brennelemente, beim Abtrennen von Plutonium und Uran, beim Behandeln der Abfälle sowie beim Umgang mit den Stoffen werden Radionuklide in die umgebenden Medien freigesetzt. Trotz Filterung bzw. anderer Rückhalteeinrichtungen wird ein Teil dieser Radionuklide aus den Anlagen in La Hague und Sellafield mit der Abluft in die Umgebung bzw. mit dem Abwasser in das Küstenwasser (Atlantik bzw. Irische See) abgegeben. Beispiele für Emissionen aus den Anlagen (verfügbare Jahresdaten):

Radio-nuklid	La Hague 1992 - 1996		Sellafield 1994 - 1998	
	Abwasser	Abluft	Abwasser	Abluft
I-129	1,1 E11 – 6,5 E11	1,0 E10 – 3,8 E10	1,6 E11 – 5,5 E11	2,0 E10 – 2,7 E10
Cs-137	2,4 E12 – 1,1 E13	1,4 E5 – 3,9 E5	7,5 E12 – 1,4 E13	4,4 E8 – 8,4 E8
Pu (α)	4,6 E9 – 1,5 E10	1,2 E4 – 2,4 E4	1,4 E11 – 6,6 E11	3,4 E7 – 1,1 E8

Tabelle 3: Minimale und maximale Jahreswerte in Bq für radioaktive Ableitungen aus den Anlagenkomplexen in den angegebenen Zeiträumen.

Die Emissionen verursachen radioaktive Kontaminationen von Boden und Pflanzen in der Umgebung der Anlagen sowie Sedimenten am Meeresboden. Menschen werden durch Direktstrahlung vom Boden und durch Verzehr von direkt oder indirekt belasteten Nahrungsmitteln aus der Umgebung der Anlagen. In einem vom Bundesamt für Strahlenschutz beauftragten Gutachten wurden, unter Berücksichtigung deutscher Vorschriften und der tatsächlichen Ableitungen der beiden Anlagen, Strahlenbelastungen berechnet. Die Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung für die effektive Dosis und die Schilddrüsendosis wurden zum Teil bis zum mehr als das 20-fache überschritten. Die Anlagen wären danach in der Bundesrepublik Deutschland nicht genehmigungsfähig.

In der Umgebung von La Hague und Sellafield wurden trotz behaupteter Einhaltung der französischen und britischen Grenzwerte hohe Belastungen verschiedener Medien festgestellt. In Königskrabben aus dem Meeresbereich vor La Hague wurden 6,4 Bq/g gemessen. Tauben aus der Umgebung von Sellafield waren sogar mit 280 Bq/g belastet (Vergleich: EU-Grenzwert für Einfuhr ist 1 Bq/g).

An den Standorten wurde eine Erhöhung der Leukämierate bei Kindern um den Faktor 3 (La Hague) und 10 (Sellafield) im Vergleich zum jeweiligen Landesdurchschnitt festgestellt. Der Zusammenhang mit dem Anlagenbetrieb konnte zwar bisher nicht eindeutig bewiesen aber auch nicht widerlegt werden.

Vorteile einer sofortigen Beendigung der Wiederaufarbeitung

Die Fortsetzung der Wiederaufarbeitung deutscher Brennelemente trägt zur weiteren Belastung von Mensch und Umwelt bei. Durch eine sofortige Beendigung der Wiederaufarbeitung deutscher Brennelemente könnten die Anlagen um mehr als ein Jahr früher, als gegenwärtig vorgesehen, stillgelegt werden.

Durch die Fortführung der Wiederaufarbeitung sind im Vergleich zur Direkten Endlagerung viele zusätzliche Transporte radioaktiver Stoffe erforderlich. Abgesehen von den bereits erfolgten Transporten der bestrahlten Brennelemente nach La Hague und Sellafield sowie der wegen des anhaltenden Betriebes der Atomkraftwerke erforderlichen Antransporte frischer Brennelemente sind dies:

- Plutonium-Transporte von La Hague (Normandie, Nordwestfrankreich) nach Marcoule (Provence, Südostfrankreich).
- Plutonium-Transporte von La Hague (Normandie, Nordwestfrankreich) nach Dessel (Belgien). Diese Transporte finden statt bis die Brennelementfabrik in Sellafield in Betrieb ist.
- Plutonium-Transporte von Sellafield (Großbritannien) nach Dessel (Belgien).
- MOX-Transporte von Marcoule (Provence, Südostfrankreich) nach Dessel (Belgien).
- Uran-Transporte von La Hague bzw. Sellafield nach Russland, zu einem anderen Abnehmer oder zur Zwischen- und Endlagerung in die Bundesrepublik.
- Transporte der verglasten Abfälle von La Hague und Sellafield nach Gorleben.
- Transporte der schwach- und mittelaktiven Abfälle von La Hague und ggf. Sellafield nach Ahaus und evtl. Gorleben und von diesen Standorten später zum Endlager.

Durch eine sofortige Einstellung der Wiederaufarbeitung könnte eine Vielzahl von Transporten über jeweils mehrere 100 km bis einige 1.000 km vermieden werden. Allein in Bezug auf die Plutonium- und Abfalltransporte würde dies eine Verringerung um mehr als 450 Transporteinheiten bedeuten.

In älteren Studien wurden die Auswirkungen eines LKW-Unfalles mit Plutonium abgeschätzt. Als Behälter wurde der auch heute noch benutzte Typ FS-51 unterstellt. Die französische Studie kam zu dem Ergebnis, dass die Kritikalitätsgrenze überschritten werden könnte. In der bundesdeutschen Studie wurden in Bezug auf Strahlenbelastungen für Menschen Grenzwertüberschreitungen in Entfernungen bis zu 25 km und tödliche Dosen bis 100 m Entfernung ermittelt.

Durch die Wiederaufarbeitung wird das Inventar der bestrahlten Brennelemente auf viele Stoffströme aufgeteilt. Nach gegenwärtigem Stand müssen außer Plutonium alle anderen Stoffströme (Uran nur zum Teil) bis zur Endlagerung zwischengelagert werden. Daraus ergibt sich in der Bundesrepublik eine längere integrale Lagerzeit sowie die Aufteilung in verschiedene Zwischenlager. Beides erhöht das Störfallrisiko und die Strahlenbelastungen im bestimmungsgemäßen Betrieb.

Die sofortige Einstellung der Wiederaufarbeitung deutscher Brennelemente würde zu einem früheren Stilllegungszeitpunkt für die Wiederaufarbeitungsanlagen in La Hague und Sellafield führen. Für die örtliche Bevölkerung würde dies

- eine Reduzierung der radioaktiven Ableitungen über Luft und Wasser und der damit verbundenen Strahlenbelastung,
- die Vermeidung des Störfallrisikos und
- die Vermeidung des Risikos terroristischer Angriffe

bedeuten.

Verwendete Unterlagen

Länderumfragen der Bundesregierung bis zum Stand 31.12.2001.

Bundestagsdrucksache 14/6655

www.bfs.de

www.cogemalahague.com

Deutsches Atomforum e.V.: „Kernenergie in Deutschland“, Jahresberichte 2002 und 2003

Weekly Reports Areva

Mykle Schneider Consulting / wise paris, persönliche Mitteilungen

Kunz, Jahrestagung Kerntechnik 2004

Gruppe Ökologie e.V.: „Analyse der entsorgungssituation in der Bundesrepublik Deutschland und Ableitungen von Handlungsoptionen unter der Prämisse des Ausstiegs aus der Atomenergie“; erstellt im Auftrag der Heinrich Böll Stiftung, August 1998

Öko-Institut e.V.: „Ermittlung der möglichen Strahlenexpositionen der Bevölkerung aufgrund der Emissionen der Wiederaufarbeitungsanlagen in Sellafield und La Hague“; erstellt im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz, Auftragsnummer StSch 4243, Februar 2000

Nuclear Fuel, Vol. 29 No. 15, 19.07.2004

Cepn, P. Hubert und P. Pages: „Risk Analysis of the Transportation of Plutonium Dioxide“; Rapport n°49, Contract CCE-CEA XVII-322-80.2, November 1981

Batelle Institute.V. Frankfurt, D. Flothmann et al.: „Schwachstellen und Risikoabschätzung bei Transport radioaktiver Materialien“; Bericht BF-R.62891.2, Teile 1 und 2 (Rev.1), 1981

Süddeutsche Zeitung: „Britische Tauben landen im Atommüll“; 15.04.1998