

**Status zur Wiederaufarbeitung  
bundesdeutscher Brennelemente  
in Sellafield**

Auftraggeber:

Greenpeace e.V.

Auftragnehmer:

*intac* - Beratung · Konzepte · Gutachten  
zu Technik und Umwelt GmbH

Ansprechpartner: Dipl.-Phys. Wolfgang Neumann

Hannover, Dezember 2012

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>2</b>
<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Einleitung und Hintergrund .....</b>	<b>6</b>
<b>2. Wiederaufarbeitung .....</b>	<b>8</b>
2.1 Wiederaufarbeitungsprodukte.....	8
2.2 Gegenwärtige rechtliche Situation bezüglich Wiederaufarbeitung .....	11
<b>3. Wiederaufbereitungsverträge mit BNFL .....</b>	<b>13</b>
<b>4 In Sellafield abgetrenntes Plutonium und Uran.....</b>	<b>16</b>
4.1 Plutonium.....	16
4.2 Uran .....	19
<b>5. Wiederaufarbeitungsabfälle Sellafield .....</b>	<b>21</b>
5.1 Abfallarten, Abfallmengen, Konditionierungszustand.....	21
5.2 Modalitäten zu HAW-Lieferungen .....	24
5.3 Zwischen-und Endlagerung von HAW in BRD .....	26
5.3 Sicherheitstechnische Probleme mit den Abfällen .....	27
5.4 In Sellafield bleibende Abfälle.....	30
<b>6. Radioaktive Abgaben in die Umgebung von Sellafield .....</b>	<b>32</b>
<b>Verwendete Unterlagen und Literatur.....</b>	<b>34</b>

## Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 1	Zur Wiederaufarbeitung vereinbarte und genutzte Vertrags-.....14 mengen in Mg Schwermetall
Tabelle 2	Wiederaufarbeitungsmengen in MgSM, aufgeschlüsselt .....15 nach Atomkraftwerksstandorten
Tabelle 3	Aktueller Stand für die an bundesdeutsche Kunden zur .....23 Lieferung vorgesehenen Abfälle aus der Wiederaufarbei- tung in Sellafield

## Zusammenfassung

Die Wiederaufarbeitung bestrahlter Brennelemente aus der Bundesrepublik Deutschland wurde mit der Novellierung des Atomgesetzes 2002 auf die bis 1.07.2005 an die Wiederaufarbeitungsanlage in Sellafield (Großbritannien) gelieferten Brennelemente beschränkt. Bis zu diesem Zeitpunkt waren 851 MgSM in Brennelementen dorthin geliefert. Das ist knapp die Hälfte der Menge, für die zwischen der dortigen Betreiberfirma und den bundesdeutschen Energieversorgungsunternehmen (EVU) ursprünglich Verträge oder Optionen zur Wiederaufarbeitung bestanden. Die Wiederaufarbeitung der Brennelemente wurde im Jahr 2011 abgeschlossen.

In Sellafield wurden bis Ende 2012 insgesamt ca. 7.000 MgSM bestrahlte Brennelemente aus britischen und nichtbritischen Atomkraftwerken wiederaufgearbeitet. Diese Menge wurde wegen diverser sicherheitstechnisch bedingter Anlagenstillständen und dem aus technischen Gründen nicht erreichten Nominaldurchsatz mit mehrjähriger Verspätung erreicht. Die beabsichtigte Stilllegung der Wiederaufarbeitungsanlage wurde deshalb von 2011 auf 2018 verschoben.

Das in Sellafield aus bundesdeutschen bestrahlten Brennelementen abgetrennte Plutonium sollte in den dort betriebenen Brennelementefabriken zu Mischoxid-Brennelementen verarbeitet werden. Auch in diesen Anlagen gab es viele technische Probleme und der Nominaldurchsatz wurde ebenfalls nicht erreicht. Wegen der vorzeitigen Außerbetriebnahme dieser Anlagen konnte dort nicht das gesamte in Sellafield angefallene bundesdeutsche Plutonium (ca. 8,5 Mg) in Brennelementen verarbeitet werden. Durch einen Plutonium-“Swap“ geht das bis 2011 nicht verarbeitete Plutonium (ca. 4 Mg) in das Eigentum der Betreiberfirma in Sellafield über. Die bundesdeutschen EVU erhalten dafür die gleiche Plutonium-Menge aus der Wiederaufarbeitungsanlage in Frankreich und lassen die Brennelemente nun dort fertigen. Aus Sellafield ist kein Transport von Mischoxid-Brennelementen in die Bundesrepublik mehr zu erwarten.

Nach gegenwärtigem Stand wird der Einsatz aller Mischoxid-Brennelemente in der verbleibenden Laufzeit der bundesdeutschen Atomkraftwerke möglich sein. Allerdings wird das Plutonium dann nicht vollständig in den Atomkraftwerken eingesetzt

worden sein, aus denen die bestrahlten Brennelemente zur Wiederaufarbeitung stammen. Gründe hierfür sind eine nicht vorhandene Genehmigung für den Einsatz von Mischoxid-Brennelementen oder die früher als ursprünglich geplante Abschaltung einiger dieser Atomkraftwerke.

Das bei der Wiederaufarbeitung in Sellafield aus bundesdeutschen Brennelementen abgetrennte Uran wird nur begrenzt in Reaktoren eingesetzt werden. In den letzten Jahren ist ein Teil des Urans in Russland wieder angereichert worden und dort zu Uran-Brennelementen für bundesdeutsche Atomkraftwerke verarbeitet worden. Es ist möglich, dass ein Teil des noch in Sellafield lagernden Urans als Oxid in die Bundesrepublik gebracht und hier zu Abfall erklärt wird. Das Uran muss dann zunächst zwischen- und später endgelagert werden. Hierfür existiert gegenwärtig kein Einlagerungskonzept und die Auswirkungen für die Langzeitsicherheit des Endlagers sind noch nicht geprüft.

Bei der Wiederaufarbeitung fallen radioaktive Abfälle an. Für den größten Teil der abgearbeiteten Wiederaufarbeitungsvertragsmengen müssen diese radioaktiven Abfälle in die Bundesrepublik zurückgenommen werden. Es wurde die ausschließliche Lieferung von hochradioaktiven Abfällen in verglaste Form (HAW-Kokillen) vereinbart. Die anderen Abfälle bleiben zur Endlagerung in Großbritannien und wurden radiologisch äquivalent auf die hochradioaktiven Abfälle umgerechnet. Ebenso wird wahrscheinlich mit bei der Wiederaufarbeitung bundesdeutscher Forschungsreaktor-Brennelemente in Dounreay verfahren, was zu einer zusätzlichen HAW-Kokille aus Sellafield führt.

In der Bundesrepublik Deutschland werden die HAW-Kokillen dann für mindestens 20 Jahre zwischengelagert, bis sie hinsichtlich ihrer Wärmeleistung den Anforderungen an die Einlagerung in ein Endlager entsprechen und ein solches Endlager auch zur Verfügung steht. Die Zwischenlagerung ist im Transportbehälter-Lager Gorleben geplant. Die Anlieferung soll zwischen 2015 und 2018 in 21 Behältern vom Typ CASTOR<sup>®</sup> HAW 28M erfolgen, 10 Jahre später als ursprünglich vorgesehen.

Auch bei der Bearbeitung der hochradioaktiven Abfälle gab und gibt es technische Probleme in Sellafield. In einer Vorbehandlungsstufe zur Verglasung steht nicht ausreichend Kapazität zur Verfügung.

In der Umgebung von Sellafield wurden in zurückliegenden Jahren immer wieder erhöhte Radioaktivitätswerte festgestellt. Dies ist in selteneren Fällen auch jetzt noch der Fall. Allerdings ist das Radioaktivitätsniveau in diesen Fällen deutlich geringer als früher. Die radioaktiven Abgaben mit Abluft und Abwasser haben in den letzten Jahren auch deutlich abgenommen.

## 1. Einleitung und Hintergrund

Die Betreiber bundesdeutscher Atomkraftwerke haben zwecks so genannter Entsorgung der in ihren Leistungsreaktoren angefallenen bestrahlten Brennelemente in den 1970er und 1980er Jahren Verträge zu deren Wiederaufarbeitung u.a. mit der britischen Firma BNFL (später BN GS, jetzt Sellafield Limited)<sup>1</sup> in Sellafield abgeschlossen. Aufgrund von Atomgesetzänderungen in der Bundesrepublik Deutschland (1994 und 2002) wurden die vertraglich vereinbarten Brennelementmengen nicht ausgeschöpft.

Für den aus den Brennelementen abgetrennten („wiederaufgearbeiteten“) Kernbrennstoff Plutonium wurde eine Fertigung von so genannten Mischoxid(MOX)-Brennelementen in Sellafield vereinbart. Die Brennelemente sind für den Einsatz in bundesdeutschen Reaktoren bestimmt. Der Einsatz dieser Brennelemente ist aus sicherheitstechnischer Sicht problematisch und auch deren Transport in die Bundesrepublik ist in den letzten Jahren heftig umstritten.

Von den vorstehenden Aspekten abgesehen ist die Frage relevant, ob der in Sellafield abgetrennte Kernbrennstoff tatsächlich vollständig in deutschen Reaktoren eingesetzt werden kann. Dies gilt in Bezug auf die gegenwärtige rechtliche Situation und verstärkt für den Fall einer früheren Abschaltung der noch in Betrieb befindlichen Atomkraftwerke als nach der 13. Atomgesetznovelle von 2011 vorgesehen ist.

Bei der Wiederaufarbeitung fallen radioaktive Abfälle an, die vertragsgemäß nach ihrer Konditionierung in die Bundesrepublik gebracht werden müssen. Die Art und damit auch die Menge der Abfälle sowie die beabsichtigten Rückführungszeiträume haben sich im Laufe der Zeit immer wieder stark verändert. Der jetzige Status ist im Hinblick auf Sellafield inzwischen jedoch soweit konsolidiert, dass wesentliche Änderungen nicht mehr zu erwarten sind.

---

<sup>1</sup> In dieser Studie wird weiter der Name BNFL benutzt, da mit dieser Firma alle Verträge abgeschlossen wurden.

Es ist darauf hinzuweisen, dass die vertraglichen Vereinbarungen zwischen der GNS und BNFL nicht öffentlich zugänglich sind. Es können hier daher nicht alle Detailspekte referiert werden.

In dem hier vorgelegten Bericht zum Status der Wiederaufarbeitung in Sellafield wird schwerpunktmäßig auf die Wiederaufarbeitung der bundesdeutschen Brennelemente eingegangen. Es wird in den Kapiteln aber auch auf für die dortigen Anlagen und andere Kunden grundsätzlich geltende Aspekte hingewiesen.

*intac* GmbH

Dezember 2012

## 2. Wiederaufarbeitung

Die Wiederaufarbeitung dient zur Rückgewinnung von Uran und Plutonium aus den bestrahlten Brennelementen. Nach gegenwärtigem Stand der Technik können ca. 99 % des Urans und Plutoniums aus den zerlegten bestrahlten Brennelementen abgetrennt werden. Der in die Abfälle übergehende Rest des Kernbrennstoffs ist wegen der sehr hohen Toxizität dennoch sicherheitstechnisch relevant.

Beim Wiederaufarbeitungsprozess werden die Brennelemente in Brennstäbe zerlegt, die Brennstäbe zerkleinert und die entstandenen Bruchstücke in Säure aufgelöst. Danach werden Uran und Plutonium in einem mehrstufigen chemischen Verfahren aus der Lösung abgetrennt, die beiden Stofffraktionen ihrerseits voneinander getrennt und gereinigt. Anschließend werden die Kernbrennstoffe für den weiteren Umgang bearbeitet.

### 2.1 Wiederaufarbeitungsprodukte

Bei der Wiederaufarbeitung entstehen im Wesentlichen fünf radioaktive Stoffströme:

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

#### Plutonium

Etwa 1 % der in den bestrahlten Brennelementen zur Wiederaufarbeitung gebrachten Schwermetallmenge ist Plutonium verschiedener Isotope. Dieses Plutonium soll vollständig zu Mischoxid(MOX)-Brennelementen verarbeitet und in den deutschen Reaktoren wieder eingesetzt werden. Für das in den zu den Wiederaufarbeitungsanlagen gebrachten Brennelementen enthaltene Plutonium müssen die EVU einen Nachweis erbracht haben, dass dessen Reaktoreinsatz möglich ist.

## Uran

Uran macht etwa 96 % der Schwermetallmasse in bestrahlten Brennelementen aus. Daher entsprechen die Zahlen für die angefallenen Uranmengen etwa der Angabe der bestrahlten Brennelemente. Das abgetrennte Uran hat einen Spaltstoffgehalt (U-235) von ca. 0,7 %. Während des Einsatzes im Reaktor haben im Isotopenvektor von Uran die Anteile von U-232, U-234 und U-236 zugenommen. Diese Isotope verursachen im Vergleich zu Natururan einen höheren Strahlenschutz Aufwand beim Umgang (bspw. Fertigung neuer Brennelemente) mit dem wiederaufgearbeiteten Uran. Außerdem ist U-236 neutronenabsorbierend was die Notwendigkeit einer höheren Anreicherung von U-235 für den Einsatz in Brennelementen bedeutet. Aus diesen Gründen hat ein Wiedereinsatz des wiederaufgearbeiteten Urans nicht in dem vorgesehenen Umfang stattgefunden.

Für das aus deutschen Brennelementen angefallene Uran gibt es folgende Möglichkeiten zum Verbleib:

- Uran ist vertraglich vereinbart zur Verwendung durch die Wiederaufarbeitungsfirma an deren Standort verblieben.
- Uran wurde nach Russland transportiert, dort mit hoch angereichertem Uran aus der Waffenproduktion vermischt, zu Brennelementen verarbeitet und dann zum Einsatz in die Bundesrepublik transportiert.
- Uran wurde zur beliebigen Verwendung an Dritte verkauft.
- Uran wurde in Oxid überführt und wird bis zur endgültigen Entscheidung über Verbleib/Verwendung in der Wiederaufarbeitungsanlage zwischengelagert.
- Uran wird von den EVU zurückgenommen, muss in der Bundesrepublik zwischengelagert und später endgelagert werden.

## Radioaktive Abfälle

Die bei der Wiederaufarbeitung entstandenen Abfälle lassen sich in die Kategorien Primärabfälle und Sekundärabfälle unterscheiden.

Primärabfälle direkt aus den Brennelementen:

- Spaltprodukte und Aktinide in salpetersaurem Konzentrat (hochradioaktiv).
- Auflöserrückstände und Feedklärschlämme (schwach- und mittelradioaktiv).

- Hülsen und Endstücke der Brennstäbe und Brennelementstrukturteile (mittelradioaktiv).

Bei den Sekundärabfällen handelt es sich um Betriebsabfälle und technologische Abfälle sehr unterschiedlicher Art, die auch Abfälle aus Instandhaltungs- und Reparaturmaßnahmen in der Anlage sowie aus der späteren Stilllegung enthalten:

- Feste, meist metallische Abfälle (schwach- und mittelradioaktiv).
- Betriebsabwässer/Fällschlämme (schwach- und mittelradioaktiv).
- Ionentauscherharze (schwach- und mittelradioaktiv).
- Organische Flüssigabfälle (schwachradioaktiv).

Die entstandenen Abfälle werden zunächst am Standort der Wiederaufarbeitungsanlage gesammelt und müssen dann konditioniert werden. Sind die Abfälle konditioniert, müssen sie innerhalb eines vertraglich festgelegten Zeitraumes entsprechend der wiederaufgearbeiteten Brennelementmenge in die Bundesrepublik geliefert und von den Wiederaufarbeitungskunden zum weiteren Verbleib angenommen werden.

Aus Praktikabilitätsgründen – vor allem beim Wiederaufarbeiter, aber auch beim Kunden – bekommt der Kunde weder genau die Abfälle, die bei der Wiederaufarbeitung seiner Brennelemente angefallen sind, noch bekommt er alle angefallenen Abfallarten geliefert. Vielmehr ist nur ein Teil der Abfallarten zur Lieferung festgelegt. Auf diese Abfallarten werden alle nicht zur Lieferung vorgesehenen Abfallarten nach einem festgelegten Äquivalenzprinzip umgerechnet. Prinzipiell gilt bei dieser Umrechnung, dass außer den in den Brennelementen enthaltenen Kernbrennstoffen die Menge an Radionukliden (Spaltprodukten, Aktinide usw.) nach Deutschland zurück geliefert werden müssen, die in den zur Wiederaufarbeitung vorgesehenen Brennelementen angeliefert wurden. Weitere Ausführungen zum Äquivalenzprinzip sind in Kapitel 5 dieses Berichtes enthalten.

Die zur Lieferung vorgesehenen Abfälle müssen den bundesdeutschen Anforderungen für den Transport und die Zwischenlagerung entsprechen und in einer dementsprechend konditionierten und verpackten Form sein.

## **Ableitungen mit Abwasser und Abluft**

Beim Zerlegen und Auflösen der Brennelemente, beim Abtrennen von Plutonium und Uran, beim Umgang mit diesen Stoffen und beim Behandeln der Abfälle werden Radionuklide in die umgebenden Medien freigesetzt. Trotz Filterung bzw. anderer Rückhalteeinrichtungen wird ein Teil dieser Radionuklide aus der Anlage mit der Abluft in die Umgebung bzw. mit dem Abwasser in das Küstenwasser abgegeben. Die Emissionen verursachen radioaktive Kontaminationen von Boden und Pflanzen sowie direkt oder indirekt radioaktive Belastungen von Tieren in der Umgebung der Anlagen sowie Sedimenten am Meeresboden und Tieren, die sich im Wasser aufhalten. Menschen sind durch Direktstrahlung vom Boden und durch Verzehr von direkt oder indirekt belasteten Nahrungsmitteln aus der Umgebung der Anlagen betroffen. In einem vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) beauftragten Gutachten wurden, unter Berücksichtigung bundesdeutscher Vorschriften und der tatsächlichen Ableitungen von ausländischen 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 gewesen.

## **2.2 Gegenwärtige rechtliche Situation bezüglich Wiederaufarbeitung**

Auf Grundlage einer Vereinbarung zwischen der Bundesregierung und den Energieversorgungsunternehmen (EVU) wurde im Jahr 2002 das Atomgesetz (AtG) novelliert. Eine wesentliche Änderung betraf die Wiederaufarbeitung. Nach § 9a Abs. 1 AtG dürfen seit dem 01.07.2005 keine bestrahlten Brennelemente mehr zur Wiederaufarbeitung ins Ausland verbracht werden. Die dort zu diesem Zeitpunkt befindlichen Brennelemente dürfen jedoch auch danach noch wiederaufgearbeitet werden.

Voraussetzung für diese Wiederaufarbeitung ist nach § 9a Abs. 1c ein Verwertungsnachweis für das abgetrennte Plutonium. Das heißt, es muss von den EVU dargelegt werden, dass genügend Kapazitäten für den Einsatz des Plutoniums in bundesdeutschen Atomkraftwerken bestehen.

Für das Uran ist nach § 9a Abs. 1d AtG ein Verbleibnachweis (Zwischenlagermöglichkeit) erforderlich. Allerdings muss dieser erst vorgelegt werden, wenn das Uran in die Bundesrepublik gebracht werden soll.

Für die bei der Wiederaufarbeitung angefallenen Abfälle wurden zwischen der Bundesregierung und den Regierungen in den Wiederaufarbeitungsländern völkerrechtlich verbindliche Verträge abgeschlossen, nach denen die Abfälle in die Bundesrepublik verbracht und dort zwischen- und endgelagert werden müssen. Für diese 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 nicht zur Wiederaufarbeitung oder in zentrale Zwischenlager verbracht wurden, sind nach § 9a Abs. 2 AtG bis zur Möglichkeit für die Endlagerung an den Standorten der Atomkraftwerke in Behältern trocken zwischenzulagern.

### 3. Wiederaufbereitungsverträge mit BNFL

Die Energieversorgungsunternehmen (EVU) der Bundesrepublik Deutschland haben mit der BNFL in zwei Phasen Verträge zur Wiederaufarbeitung von bestrahlten Brennelementen in der britischen Thermal Oxide Reprocessing Plant (THORP) abgeschlossen. Die erste Phase diente zum Nachweis der rechtlich vorgeschriebenen „Entsorgungsvorsorge“ für den Betrieb der Atomkraftwerke bis eine kommerzielle bundesdeutsche Wiederaufbereitungsanlage in Betrieb gehen sollte. In der zweiten Phase nach Aufgabe der Errichtung der Wiederaufbereitungsanlage in Wackersdorf wurden 1989/90 mit BNFL für die 7 Atomkraftwerke KRB B und C, KKE, KMK, KKI 1, KKP 2, und KKK Wiederaufbereitungsverträge abgeschlossen [NW 1990]. Zu den Vertragsmengen gibt es für unterschiedliche Zeitpunkte unterschiedliche Angaben. Auf der Jahrestagung Kerntechnik 1992 wurde lediglich angegeben, dass zwischen EVU und BNFL insgesamt Verträge über eine Option zur Wiederaufarbeitung von knapp 1.400 MgSM bestehen [DIBBERT 1992]. Aus verschiedenen britischen Quellen geht hervor, dass für die erste Phase von Wiederaufbereitungsverträgen 969 MgSM vorgesehen waren und für die zweite Phase eine Option für 1.500 MgSM bestand [SCHNEIDER 2010].

Die abgeschlossenen Verträge haben in Bezug auf die tatsächliche Durchführung der Wiederaufarbeitung eine unterschiedliche Verbindlichkeit. Die nach 1989 abgeschlossenen Neuverträge mussten nicht ausgeschöpft werden. Sie konnten gegen Zahlung einer „Non-Performance-Charge“ gekündigt werden. Die Höhe der Zahlung war von dem Zeitpunkt abhängig, zu dem die entsprechende Menge an Brennelementen aus dem Wiederaufbereitungsvertrag gekündigt wurde [FABIAN 1995].

Kündigungen von Wiederaufarbeitungsmengen gab es bereits nach der Atomgesetzänderung 1994 (Gleichstellung von Wiederaufarbeitung und Direkter Endlagerung in der Bundesrepublik). Die erste Kündigung sprach der damalige Betreiber des KKK (HEW) mit 125 MgSM aus. Im Weiteren wurde je nach Zugriff auf Zwischenlagermöglichkeiten für die Brennelemente auch von RWE und E.ON von einem teilweisen Verzicht Gebrauch gemacht. Der Tabelle 1 sind die vor dem Zeitpunkt der gesetzlichen Festlegung des Verbotes der Wiederaufarbeitung (13. AtG-Novelle) und die

nach Beendigung der Wiederaufarbeitung öffentlich genannten Gesamtmengen der jeweiligen Vertragsperioden zu entnehmen.

<b>WA-Verträge mit BNFL</b>	<b>Stand 2000</b>	<b>Stand 2012</b>
1976 – 1989	884	k.A.
nach 1989	302*	k.A.
<b>Summe</b>	<b>1.186</b>	<b>851</b>

\* Fest vereinbarte Mengen, ohne Berücksichtigung von Optionen

**Tabelle 1: Zur Wiederaufarbeitung vereinbarte [BRÖSKAMP 2000] und genutzte [GRS 2012] Vertragsmengen in Mg Schwermetall**

Der Vergleich der Zahlen in Tabelle 1 zwischen dem Vertragsstand Ende 2000 und den zur Wiederaufarbeitung angelieferten Brennelemente zeigt, dass offensichtlich auch nach der 2002 vorgenommenen Atomgesetzänderung zum Verbot der Wiederaufarbeitung weitere Mengen gekündigt wurden.

Bis zum nach § 9a AtG Abs. 1 zulässigen Termin 30.06.2005 wurden 851 MgSM in Brennelementen aus Leistungsreaktoren [GRS 2012] und zusätzlich 10,7 MgSM aus Prototyp-Reaktoren [GRS 2008] zur Wiederaufbereitungsanlage in Sellafield transportiert. Die Menge von 851 MgSM ist die letztendlich offiziell verbindliche für den Wiedereinsatz des abgetrennten Plutoniums in bundesdeutschen Reaktoren. Die Aufschlüsselung nach Atomkraftwerkstandorten ist der Tabelle 2 zu entnehmen. Am 31.12.2011 lagerten keine Brennelemente in Sellafield, das heißt alle waren wiederaufgearbeitet.

<b>AKW</b>	<b>KKK</b>	<b>KBR</b>	<b>KKU</b>	<b>KWG</b>	<b>KKE</b>	<b>KWB- A</b>	<b>KWB- B</b>	<b>GKN 1</b>	<b>KRB- A</b>	<b>KRB- B</b>	<b>KRB- C</b>	<b>KWL</b>	<b>VAK</b>	<b>MZFR</b>
Menge	86	55	244	45	113	21	6	111	20	6	78	66	0,1	10,6

**Tabelle 2: Wiederaufarbeitungsmengen in MgSM, aufgeschlüsselt nach Atomkraftwerksstandorten [GRS 2012].**

Die Wiederaufarbeitung bundesdeutscher Brennelemente dauerte einige Jahre länger als beabsichtigt. Abgesehen von Problemen bei der Inbetriebnahme der Wiederaufarbeitungsanlage 1994, wurde auch im späteren Betrieb nie der vorgesehene Durchsatz von 1.200 MgSM/a erreicht. Ferner war die Wiederaufarbeitung ab April 2005 wegen eines schweren Störfalls unterbrochen. Aus einem Prozessbehälter traten – über mehrere Monate unbemerkt – 83.000 l gelöster Kernbrennstoff aus bestrahlten Brennelementen (Plutonium und Uran) aus. Bis mindestens März 2007 war die Wiederaufarbeitung in Sellafield aus diesem Grund unterbrochen. Der vorgesehene Schließungszeitpunkt für THORP wurde deshalb von 2011 auf 2018 verschoben. Dieses Datum hat offenbar nach wie vor Bestand [NF 2012a].

Bis zum 4. Dezember 2012 wurden in THORP insgesamt (in- und ausländischen Kunden) 7.000 MgSM aus bestrahlten Brennelementen wiederaufgearbeitet. Damit wurde das gesamte „Baseload-Programm“ abgearbeitet [SL 2012].<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Diese Angabe der Wiederaufarbeitungsfirma widerspricht scheinbar der Aussage in [GRS 2012], alle bundesdeutschen Brennelemente seien Ende 2011 wiederaufgearbeitet gewesen. Denn ein Teil dieser Brennelemente gehörte nach bisherigen Angaben der post-baseload-phase.

## 4 In Sellafield abgetrenntes Plutonium und Uran

Die bei der Wiederaufarbeitung aus den bestrahlten Brennelementen abgetrennten und ihrerseits separierten Stoffe Plutonium und Uran enthalten in Leichtwasserreaktoren gut spaltbare Isotope, also Kernbrennstoffe. Nach dem Scheitern der Schnelle-Brüter-Technologie sollten Plutonium und Uran in den bundesdeutschen Leichtwasserreaktoren in Mischoxid(MOX)--Brennelementen wieder eingesetzt werden. Der Wiedereinsatz erfolgte im vorgesehenen Umfang jedoch nur für Plutonium. Uran aus der Wiederaufarbeitung ist – soweit bekannt – in relativ geringem Umfang wieder eingesetzt worden.

### 4.1 Plutonium

Im Jahr 2012 wurden in Großbritannien 118 Mg ziviles Plutonium gelagert. Der überwiegende Teil befindet sich in Sellafield [MRWS 2012]. Davon sind 28 Mg aus der Wiederaufarbeitung ausländischer Brennelemente. Von diesen 28 Mg sind wiederum ca. 4 Mg bundesdeutschen EVU zugeordnet [DECC 2012].<sup>3</sup>

Das in Sellafield abgetrennte Plutonium sollte in den dort betriebenen Brennelementefabriken MOX-Demonstration Facility (MDF) und Sellafield MOX Plant (SMP) zu MOX-Brennelementen verarbeitet werden.

Die MDF ging 1993 mit einem vorgesehenen Durchsatz von 8 Mg MOX pro Jahr in Betrieb. Im Jahr 1999 wurden Fälschungen im Rahmen der Qualitätssicherung bei der Fertigung von Brennstoffpellets für Brennelemente festgestellt, die in japanischen und bundesdeutschen Atomkraftwerken eingesetzt werden sollten [RSK 2002]. Wenig später wurde MDF als Produktionsanlage geschlossen und 2001 als „Testanlage“ wieder in Betrieb genommen [SCHNEIDER 2010].

Die Inbetriebnahme der SMP erfolgte über einen längeren Zeitraum ab 1999 bis 2002. Es gab von Beginn Zweifel, dass die Anlage wirtschaftlich zu betreiben ist

---

<sup>3</sup> Für die vorstehenden Mengenangaben ist in den beiden Unterlagen nicht vermerkt, ob es sich um das Gesamtplutonium oder nur um den spaltbaren Plutoniumanteil handelt. Es ist davon auszugehen, dass es das Spaltbare ist.

[SCHNEIDER 2010]. Der geplante Durchsatz für diese Anlage betrug 120 MgSM/a. Wegen erheblicher Probleme wurde diese Kapazität 2006 auf 40 MgSM/a verringert. Wegen anhaltender Probleme – auch technischer Art – und wegen der Katastrophe in Fukushima Daiichi wurde die Anlage im August 2011 aus wirtschaftlichen Gründen endgültig geschlossen. Zu diesem Zeitpunkt gab es noch mindestens mit Japan [NF 2011a] und der Bundesrepublik Deutschland Verträge zur Herstellung von MOX-Brennelementen.

Die britische Regierung hat trotz der aufgetretenen Probleme das Ziel, das in Sellafield gelagerte UK-eigene Plutonium in künftigen britischen Leichtwasserreaktoren einzusetzen. Deshalb wird auch die Errichtung einer neuen MOX-Brennelementfabrik in Großbritannien erwogen. Hierüber soll aber erst später, nach Kenntnis von Zahl und Typen neuer Reaktoren, entschieden werden [DECC 2011].

Für das den bundesdeutschen EVU zugeordnete Plutonium bestünde nach diesen Randbedingungen keine Verwertungsmöglichkeit mehr, da wegen der im Atomgesetz festgelegten Laufzeit ihrer Atomkraftwerke die letzten MOX-Brennelemente bis 2019 eingesetzt sein müssen.<sup>4</sup> Deshalb können die MOX-Brennelemente nur in Frankreich gefertigt werden, um sie rechtzeitig zur Verfügung zu haben.

Die den bundesdeutschen EVU zugeordneten ca. 4.000 kg Plutonium sollen jedoch zur Vermeidung von Plutonium-Transporten in Großbritannien bleiben und sind in das Eigentum der Nuclear Decommissioning Authority (NDA) übergegangen. Die bundesdeutschen EVU haben stattdessen Plutonium in gleicher Menge von Areva übernommen.<sup>5</sup> EURATOM hat diesem „Plutonium-Swap“ zugestimmt [MRWS 2012].

Verträge zur Fertigung in Sellafield für ab 2012 einzusetzende MOX-Brennelemente, die nicht dort gefertigt werden, haben KKI 2, KWG, KKK und KBR [GRS 2012]. Bereits vor dem „Plutonium-Swap“ hat Areva 2008 die Fertigung von MOX-Brennelementen übernommen. Damals wurde das Plutonium allerdings nach Frankreich

---

<sup>4</sup> Nach dem Beschluss der britischen Regierung SMP zu schließen hätten die EVU die Möglichkeit prüfen können, die Verträge zur Wiederaufarbeitung der zu diesem Zeitpunkt noch nicht behandelten Brennelemente zu günstigen Konditionen zu kündigen. Aktivitäten in diese Richtung sind nicht bekannt.

<sup>5</sup> Nach gültigem Atomgesetz (§ 9a Abs. 1c) hätte das Plutonium auch an NDA oder sonst innerhalb der Europäischen Union bzw. der Schweiz verkauft werden können. Warum diese Möglichkeit nicht genutzt wurde und ob das überhaupt geprüft wurde, ist nicht bekannt.

transportiert. Wahrscheinlich handelt es sich um alle für KBR gefertigten 36 MOX-Brennelemente mit 1.300 kg Pu<sup>6</sup> [DBT 2012].

### MOX-Einsatz in der Bundesrepublik Deutschland

Zur Wiederaufarbeitung in Sellafield wurden bestrahlte Brennelemente aus den Leistungsreaktoren KWL, KBR, KWG, KKE, KRB (A, B und C), KKK, KKV, KWB (A und B) und GKN (1) gebracht. Die in Sellafield wiederaufgearbeiteten Kernbrennstoffe bzw. die mit diesen Kernbrennstoffen hergestellten MOX-Brennelemente können nicht alle jeweils in diesen Reaktoren wieder eingesetzt werden. Dafür gibt es zwei Gründe:

- Die Reaktoren KKK und KWB (A und B) haben keine Genehmigung zum Einsatz von MOX-Brennelementen.
- Die Reaktoren KWL, KRB A und KKV wurden abgeschaltet, bevor alle MOX-Brennelemente mit ihnen zuzurechnendem Plutonium zur Verfügung standen. Das gilt auch für GKN 1, hier kann aber sein, dass der Einsatz des Plutoniums in GKN 2 schon seit längerer Zeit vorgesehen war.

In welchem Reaktor die entsprechenden Plutoniummengen aus Sellafield eingesetzt worden sind bzw. noch werden, ist aus den zugänglichen Informationen nicht quantitativ zu ermitteln. In den jährlich erstellten GRS-Berichten werden meistens nur Gesamt mengen (Plutonium aus La Hague, Sellafield und WAK) betrachtet. Bekannt ist, dass das Plutonium aus dem KKK im KWG und anderen E.ON-AKW eingesetzt werden sollen. Nach Ansicht der Entsorgungskommission des Bundesumweltministeriums ist der Einsatz des gesamten Plutoniums in bundesdeutschen Reaktoren im Rahmen der nach AtG befristeten Laufzeiten möglich [ESK 2011].

Nach grober Abschätzung wird die Gesamtmenge an spaltbarem Plutonium ( $Pu_{fiss}$ ) aus der Wiederaufarbeitung bundesdeutscher Brennelemente in Sellafield bei durchschnittlichen 0,6 %  $Pu_{fiss}$ -Anteil in bestrahlten Brennelementen etwa 5.100 kg betragen. In Bezug auf die entsprechende Gesamtmenge von etwa 8.500 kg  $Pu_{gesamt}$  sind davon im Jahr 2008 die oben bereits genannten 1.300 kg  $Pu_{gesamt}$  nach Frankreich abtransportiert worden. Bis zum 31.12.2010 sind etwa 500 kg  $Pu_{gesamt}$  in Sellafield zu

---

<sup>6</sup> Aus der Unterlage geht nicht hervor, ob es sich bei der Mengenangabe um Gesamtplutonium oder spaltbares Plutonium handelt. Vermutlich ist es Gesamtplutonium.

MOX-Brennelementen verarbeitet worden: 100 kg  $Pu_{\text{gesamt}}$  in 4 MOX-Brennelementen für das KKK (Unterweser) und weitere 400 kg  $Pu_{\text{gesamt}}$  in 16 MOX-Brennelemente für KWG (Grohnde) [DBT 2012]. Die dann noch übrigen 6.700 kg  $Pu_{\text{gesamt}}$  (4.000 kg  $Pu_{\text{fiss}}$ ) sind der Swap nach Frankreich.

Die 4 MOX-Brennelemente für das KKK wurden dort bereits in der Vergangenheit eingesetzt. Im Jahr 2012 sind die 16 für das KWG gefertigten MOX-Brennelementen an das KWG geliefert worden. Ihr Einsatz soll bei der nächsten Revision erfolgen.

Die 4 MOX-Brennelemente für KKK wurden 1998 in der MDF, die 16 MOX-Brennelemente für KWG 2007 bis 2010 in der SMP gefertigt [SCHNEIDER 2010].

## 4.2 Uran

Das bei der Wiederaufarbeitung in Sellafield abgetrennte Uran ist bisher nur begrenzt (mindestens in Bezug auf bundesdeutsche Kunden) für die Fabrikation von neuen Brennelementen zum Wiedereinsatz in Reaktoren genutzt worden. In vorliegenden Unterlagen gibt es für eine entsprechende Nutzung nur Hinweise für GKN 1 [GRS 2008]. Bekannt ist der Einsatz von wiederaufgearbeitetem Uran auch für GKN 2, KBR und KKK, hier ist aber unklar, ob dieses Uran aus La Hague oder Sellafield gekommen ist.

Am 31.12.2011 lagerten 85,5 Mg Uran in Sellafield, die dem KKK zugeordnet sind. Darüber hinaus 106,5 Mg, die noch nicht zugeteilt sind [GRS 2012]. Das heißt, den bundesdeutschen EVU zugeordnetes Uran ist in den letzten Jahren aus Sellafield abtransportiert oder an NDA verkauft worden. Am 31.12.2009 lagerten nämlich noch knapp 550 Mg Uran aus bundesdeutschen Brennelementen in Sellafield. Davon sind ca. 150 Mg im Juli 2010 zur Wiederanreicherung und anschließender Fertigung von Brennelementen nach Russland transportiert worden [GRS 2010]. Das dabei angefallene abgereicherte Uran sowie die entstandenen radioaktiven Abfälle verbleiben in Russland.

Bei den bundesdeutschen Behörden liegen über den Verbleib von Uran aus der Wiederaufarbeitung keine statistischen Informationen vor. Entsprechende Kenntnisse existieren lediglich zum aktuellen Bestand des in den Wiederaufarbeitungsanlagen

lagernden abgetrennten Urans und des in den nächsten zwei Jahren dort anfallenden Urans. Dies beruht auf § 9a Abs. 1d AtG, nach dem Planzahlen dazu von den Betreibern angegeben werden müssen, um für den Fall der Lieferung in die Bundesrepublik ausreichend Zwischenlagerkapazität nachzuweisen. Aussagen über den weiteren Verbleib sind dann nach § 9a Abs. 1d Satz 2 AtG erst dann erforderlich, wenn das wiederaufgearbeitete Uran aus der Zwischenlagerung verbracht werden soll. Der Entsorgungsweg für das aus der Zwischenlagerung zu verbringende Uran bleibt dadurch im Unklaren.

Es ist durchaus möglich, dass das Uran zu einem späteren Zeitpunkt als radioaktiver Abfall behandelt und in ein Endgelagerung werden muss. Für eine Endlagerung kommt Schacht Konrad nicht infrage, da aufgrund der Langzeitsicherheit das maximal zulässige Einlagerungsinventar für Uranisotope relativ gering ist.

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

## 5. Wiederaufarbeitungsabfälle Sellafield

Die bei der Wiederaufarbeitung angefallenen radioaktiven Abfälle müssen vertragsgemäß nach ihrer Konditionierung für Transport und Zwischenlagerung aus Sellafield in die Bundesrepublik gebracht werden. Dabei entsprechen Art und Menge der zu liefernden Abfälle nicht dem tatsächlichen Anfall bei der Bearbeitung der angelieferten bestrahlten Brennelemente, sondern werden mittels Umrechnung über ein Äquivalenzprinzip festgelegt. Diesem Vorgehen haben die Regierungen von Großbritannien und der Bundesrepublik Deutschland in einem völkerrechtlichen Vertrag zugestimmt. Die Verhandlungen über in den Verträgen nicht direkt bzw. endgültig festgelegte Modalitäten bezüglich der Abfälle wurden zwischen der Wiederaufarbeitungsfirma und der von den Betreibern dazu beauftragten Deutschen Gesellschaft für die Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen (DWK), später der Gesellschaft für Nuclear-Service (GNS), geführt.

### 5.1 Abfallarten, Abfallmengen, Konditionierungszustand

Zum Zeitpunkt der Vertragsabschlüsse wurde die Wiederaufarbeitungsanlage in Sellafield von BNFL betrieben. Aus der Wiederaufarbeitung in Sellafield sollten ursprünglich vier Abfallarten mit knapp 20.000 m<sup>3</sup> Gebindevolumen an die Kunden geliefert werden:

- Hochradioaktive verglaste Abfälle,
- zementierte Hülsen, Endstücke und Feedklärschlämme,
- zementiertes Ba-Carbonat und Crud und
- kompaktierter technologischer Abfall.

Nicht spezifizierte Abfallarten wurden mittels Äquivalenzüberlegungen auf die spezifizierten Abfallarten umgerechnet.

Für die aufgeführten Abfallarten wurden von BNFL Spezifikationen erstellt, deren Werte bei der Konditionierung eingehalten werden müssen. Diese Spezifikationen wurden von der zuständigen britischen Behörde genehmigt. Anschließend wurden

sie von den bundesdeutschen EVU den zuständigen bundesdeutschen Behörden zur Zustimmung vorgelegt. Für die hochradioaktiven Abfälle erfolgte die Zustimmung 1988 und für die anderen Abfallkategorien 1993. Theoretisch könnten also alle dieser Abfälle zur Zwischenlagerung in die Bundesrepublik gebracht werden.

Bereits 1992 hat der damalige Betreiber der Wiederaufarbeitungsanlage in Sellafield BNFL der britischen Regierung vorgeschlagen, statt der schwach- und mittelradioaktiven Abfälle, zusätzlich eine äquivalente Menge hoch radioaktiver Abfälle an die Wiederaufarbeitungskunden weiter zu geben. Als Gründe wurden mit dem geringeren Volumen zusammenhängende Kosteneinsparungen sowie Risikoverminderungen für den Transport der Abfälle genannt [RWMAC 1994]. Als technische Grundlage für die Ermittlung äquivalenter Abfälle wurde das integrierte radiotoxische Potenzial eingeführt. Zum Vergleich von Abfällen dient als radiotoxisches Potenzial das Wasservolumen in dem 1 m<sup>3</sup> Abfall komplett aufgelöst ist, ohne die Trinkwassergrenzwerte zu überschreiten.

Die Substitution der schwachradioaktiven Abfälle wurde von der britischen Regierung 1995 zugestimmt [WP 1995]. Als Voraussetzung für die Substitution der mittelradioaktiven Abfälle wurde von der britischen Regierung zum gleichen Zeitpunkt die zeitgerechte Inbetriebnahme eines Endlagers für diese Abfälle genannt sowie ein Rückhaltepotenzial für Radionuklide in diesem Endlager, das eine Ausbreitungszeit bis in die Biosphäre von mehr als 100.000 Jahre gewährleistet [RWMAC 2003].

In einer von der Regierung beauftragten Studie wurden für die Substitution mittelradioaktiver Abfälle die Vorteile weniger Transporte, frühere Ablieferung der Aktivität an Kunden und Kostenersparnisse, die in Stilllegungsprogramme investiert werden können, genannt. Nachteile durch Auswirkungen auf die Umwelt werden nicht gesehen, da das Aktivitätsinventar bzw. das Volumen (1,4%) gering gegenüber den sonstigen vergleichbaren Abfällen in GB ist. Das soll explizit auch für Plutonium gelten [DTI 2004].

Die Substitution aller schwach- und mittelradioaktiven Abfälle durch hochradioaktive Glaskokillen wurde zwischen der Wiederaufarbeitungsfirma und GNS vereinbart [BFS 2007].

Von den in Kapitel 3, Tabelle 1 genannten, zur Wiederaufarbeitung gebrachten 851 MgSM besteht für die bundesdeutschen EVU für 768 MgSM die vertragliche Verpflichtung zur Annahme von Abfällen [GRS 2012]. Tabelle 3 enthält die daraus folgenden, für die Lieferung der hochradioaktiven Abfälle in die Bundesrepublik Deutschland wichtigen Daten. In den dort angegebenen 21 Transport- und Lagerbehältern sollten sich nach Stand 2011 bei Berücksichtigung der Substitution schwach- und mittelradioaktiver Abfälle 565 Kokillen befinden [ENGERING 2011].

Abfallart	Behälter	Anzahl	Anlieferungszeitraum
HAW	CASTOR® HAW 28M	21	2015-2018

**Tabelle 3: Aktueller Stand für die an bundesdeutsche Kunden zur Lieferung vorgesehenen Abfälle aus der Wiederaufarbeitung in Sellafield [GRS 2012].**

Im Laufe von nach Vertragsabschluss geführten Verhandlungen einigten sich BNFL und Kunden über einen Schlüssel, wie die angelieferte Brennelementmenge auf die zum damaligen Zeitpunkt zur Lieferung vorgesehenen Abfallarten umgerechnet werden sollten. Abfälle, die Spaltprodukte und Aktinide beinhalten, werden entsprechend den mit Abbrandrechnungen für die angelieferten Brennelemente ermittelten Aktivitäten zugeordnet. Dies sind die hochradioaktiven Abfälle. [PASSIG 1996].

Die hochradioaktive Abfallkategorie (verglaste Spaltprodukt-/Aktinidenlösung) setzt sich aus Abfällen von Leichtwasserreaktoren (unter anderem aus der Bundesrepublik Deutschland) und aus Abfällen von Magnox-Reaktoren zusammen. Die stoffliche Zusammensetzung ist im Vergleich zu den Abfällen in La Hague trotzdem weitgehend vergleichbar. Nicht vernachlässigbare, weil sicherheitstechnisch relevante Ausnahmen sind eine höhere Wärmeleistung und ein höherer Plutonium-Gehalt (bei gleichzeitig geringerem Uran und Curium-Inventar) [HECK 2007].

Es ist möglich dass sich die Zahl der in die Bundesrepublik zu liefernden HAW-Kokillen durch eine weitere Substitution geringfügig erhöht. Bei der Wiederaufarbeitung von Brennelementen aus bundesdeutschen Forschungsreaktoren in Dounreay (Schottland) sind ebenfalls radioaktive Abfälle angefallen. Ursprünglich war vorgesehen, die dabei angefallenen Spaltproduktlösungen (mit geringerem Radioaktivitätsinventar und geringerer Wärmeentwicklung als die in Sellafield anfallenden Lösungen) zu zementieren und ab 2018 in 157 Behältern in die Bundesrepublik zu liefern [THOLEN 2010]. Inzwischen wird vom Betreiber der Wiederaufarbeitungsanlage in Dounreay (UKAEA) mit Zustimmung der britischen und der schottischen Regierungen die Substitution dieser Abfälle durch radiologisch äquivalente HAW-Kokillen aus Sellafield vorgeschlagen [NF 2011d]. Eine Entscheidung hierzu ist bisher nicht bekannt geworden. Die Zahl der HAW-Kokillen würde sich um eine erhöhen. Die aus Sellafield gelieferte Behälterzahl (siehe Tabelle 3) bliebe trotzdem gleich.

## 5.2 Modalitäten zu HAW-Lieferungen

In Sellafield werden nach Abarbeitung aller mit ausländischen Kunden abgeschlossenen Wiederaufarbeitungsverträge etwa 1.850 HAW-Kokillen zu diesen Kunden zu liefern sein [NF 2009a]. Davon kommen zwischen 560 und 580 in die Bundesrepublik.<sup>7</sup>

Nach den Wiederaufarbeitungsverträgen müssen die konditionierten Abfälle spätestens 25 Jahre nach ihrem Anfall an die Kunden geliefert sein [RWAMC 2004]. BNFL interpretiert den Beginn der Zählung ein Jahr nach Beendigung der „baseload“-Wiederaufarbeitung [DTI 2004]. Trifft diese Interpretation noch zu,<sup>8</sup> wäre der Beginn der Zählung 2013, da die „baseload-Verträge nach jüngsten Veröffentlichungen erst 2012 abgearbeitet waren (siehe Kapitel 3). Dieser Zeitraum soll offenbar nicht ausgenutzt werden. Alle Kokillen ausländischer Kunden sollen innerhalb von 10 Jahren an diese ausgeliefert sein [NF 2009a].

Für die Vorbereitung der Lieferung von HAW-Kokillen gibt es in Sellafield eine eigene Anlage, die „Residue Export Facility (REF)“. Sie besteht aus den drei Anlagenteilen

---

<sup>7</sup> Die endgültige Zahl von Kokillen wurde bisher nicht veröffentlicht.

<sup>8</sup> Es sind keine gegenteiligen Aussagen bekannt.

Säuberungs- und Prüfungszelle, Inspektionszelle und Behälterzelle (Beladung der Behälter mit den Kokillen). Während der Tätigkeiten in der Inspektionszelle können Vertreter der jeweiligen Kunden anwesend sein. Mit der Inbetriebnahme der REF wurde 2008 mit einer Verzögerung von 2 Jahren begonnen.

Die ersten aus der Wiederaufarbeitung ausländischer Brennelemente in Sellafield stammenden HAW-Kokillen wurden Anfang 2010 (mit ca. 15-jähriger Verspätung) nach Japan geliefert [NF 2010a]. Ebenfalls 2010 wurden HAW-Kokillen in die Niederlande transportiert. Dieser Schiffstransport (Atlantic Osprey) dauerte 5 Tage und bleibt der einzige in die Niederlande [NF 2010b]. Bei beiden Transporten wurde jeweils ein Behälter befördert. Bei einem weiteren Transport (mit der Pacific Grebe) wurden 2011 drei Behälter nach Japan gebracht [NF 2011b].

Die Lieferung aller ursprünglich vorgesehenen Abfallkategorien in die Bundesrepublik sollte 2000 – 2004 erfolgen [JANBERG 1992]. Dem gegenüber ist eine erhebliche Verzögerung eingetreten. Der Beginn der nunmehr wegen der Substitution (siehe Kapitel 5.1) nur noch vorgesehenen Lieferungen von HAW-Kokillen wird gegenwärtig mit 2015 angegeben [GRS 2012].

Ob dieser Terminplan haltbar ist, muss hinterfragt werden. Es ist nicht bekannt, wie viel der bei der Wiederaufarbeitung angefallenen und den bundesdeutschen EVU zuzuordnenden hochradioaktiven Abfalllösung bereits verlastet ist. Sollte dies noch nicht in vollem Umfang erfolgt sein, könnte es Probleme mit der Konditionierungseinrichtung geben. Die drei existierenden Produktlinien (zwei für die MAGNOX-Wiederaufarbeitungsanlage, eine für THORP) sind seit längerer Zeit in Betrieb und deshalb sind unter anderem die Verdampfer (Vorstufe zur Verglasungseinrichtung) an inneren Oberflächen von Korrosion betroffen. Wegen Problemen mussten die MAGNOX-Linien mehrere Male abgeschaltet werden und konnten teilweise nicht mehr mit voller Kapazität betrieben werden. Wegen Anzeichen für interne Undichtheiten und deshalb notwendiger Prüfungen an dem Verdampfer für THORP musste 2009 sogar die Wiederaufarbeitung für 7 Monate unterbrochen werden [CORE 2009]. Eine geplante neue Produktlinie sollte 2010 in Betrieb gehen, die Inbetriebnahme musste zunächst auf 2014 [NF 2009b] und zuletzt auf 2016 verschoben werden. Anfang 2012 wurde bestätigt, dass sie noch nicht in Betrieb ist [CORE 2012]. Ohne weitere

Informationen können deshalb Verzögerungen bei der Lieferung der HAW-Kokillen aus Sellafield nicht ausgeschlossen werden.

Für die Lieferung der HAW-Kokillen aus Sellafield zu den Kunden müssen die vereinbarten Spezifikationen und die Transportbestimmungen eingehalten werden. Beispiele hierfür sind die Oberflächenkontaminationen sowohl für die einzelnen Kokillen als auch für die Behälter.

Bei dem Transport von HAW-Kokillen nach Japan in 2011 sind erneut deutliche Überschreitungen der Oberflächenkontaminationen auf 3 Kokillen festgestellt worden. In einem Fall wurde der zulässige Wert 50-fach überschritten. In Sellafield wurden die erhöhten Werte vor der Beladung nicht festgestellt.<sup>9</sup> [CORE 2011]

### **5.3 Zwischen-und Endlagerung von HAW in BRD**

Durch die vereinbarte Substitution werden aus der Wiederaufarbeitung in Sellafield nur hochradioaktive Abfälle in die Bundesrepublik geliefert. Dadurch sparen die bundesdeutschen EVU in erheblichem Umfang die Einrichtung von Zwischenlagerkapazität für schwach- und mittelradioaktive Abfälle.

Die HAW-Kokillen aus Sellafield sollen nach gegenwärtigem Stand – wie die aus La Hague – zentral im Transportbehälter-Lager Gorleben (TBL) zwischengelagert werden. Hierfür existiert gegenwärtig noch keine Genehmigung. Der Zwischenlagerungsgenehmigungsantrag für die HAW-Kokillen aus Sellafield befindet sich zurzeit in Vorbereitung. Gegenwärtig (Dezember 2012) stehen 108 Behälter mit jeweils 28 HAW-Glaskokillen im TBL (aus La Hague). Davon sind 21 Behälter vom Typ CASTOR<sup>®</sup> HAW 28M. In diesem Behältertyp sollen auch die HAW-Kokillen aus Sellafield transportiert und zwischengelagert werden.

Am Sinn dieser Vorgehensweise wird schon seit langer Zeit gezweifelt. Da der Standort für das Endlager nicht feststeht (siehe unten), in dem die HAW-Kokillen nach der notwendigen Abklingzeit von mindestens 15 Jahren eingelagert werden sollen, werden unnötig viel Transportkilometer produziert. Bereits 1998 wurde vorgeschlagen, die aus der Wiederaufarbeitung im Ausland anzunehmenden hochradioak-

---

<sup>9</sup> Das war beim Kontaminationsskandal bezüglich Behälteroberflächen 1998 auch so.

tiven Abfälle den Abfallverursachern, das heißt dem die Brennelemente ursprünglich abgebenden AKW, zuzuordnen und in die aus damaliger Sicht noch zu errichtenden dezentralen Standort-Zwischenlagern einzulagern [GÖK 1998]. Greenpeace Deutschland hat 2011 gefordert die ankommenden Behälter<sup>10</sup> grenznah, bevorzugt im Standort-Zwischenlager Philippsburg, zwischenzulagern [GP 2011].

21 Behälter mit je 28 Kokillen sollen aus Sellafield geliefert werden. Die Zahl der pro Jahr gelieferten Behälter ist gegenwärtig zwischen den bundesdeutschen EVU und der britischen Wiederaufarbeitungsfirma in der endgültigen Abstimmung. In früheren Jahren wurden 6 Behälter genannt [GRS 2008].

Für die Endlagerung dieser hochradioaktiven Abfälle steht noch kein Standort fest. Eine Endlagerung im geplanten Endlager Konrad (Salzgitter) ist durch den Planfeststellungsbeschluss nicht abgedeckt. Mit dem für Konrad geführten Langzeitsicherheitsnachweis würden sich bei Berücksichtigung der Einlagerung von hochradioaktiven Abfällen Grenzwertüberschreitungen ergeben. Es ist nach gegenwärtigem politischen und fachlichen Stand nicht zu erwarten, dass diesbezüglich eine Planänderung angestrebt wird. Als Standort war von der Bundesregierung und den EVU bisher Gorleben vorgesehen. Sollte in der Bundesrepublik ein neues Standortsuchverfahren für ein Endlager durchgeführt werden, kämen die Kokillen in das sich daraus ergebende Endlager.

Eine Endlagerung der ersten Kokillen aus Sellafield wäre allerdings erst nach 2030 möglich, da bis dahin die Wärmeentwicklung im Abfall zu stark ist und das umgebende Wirtsgestein geschädigt werden könnte.

Gegenwärtig ist als Endlagerkonzept in Salz die übereinander gestapelte Einlagerung einer bestimmten Anzahl von Kokillen in vertikalen Bohrlöchern vorgesehen.

### **5.3 Sicherheitstechnische Probleme mit den Abfällen**

Aus der Wiederaufarbeitung in Sellafield werden nur hochradioaktive Glaskokillen (HAW-Kokillen) in die Bundesrepublik Deutschland geliefert. Vor allem durch die

---

<sup>10</sup> Nach gegenwärtigem Kenntnisstand sollen die Transporte der HAW-Kokillen von Sellafield nach Frankreich und dann auf der gleichen Strecke wie die aus La Hague erfolgen.

vollständige Substitution von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen, aber auch wegen der Nichtausschöpfung der Wiederaufbereitungsverträge hat sich die Zahl der für die Zwischenlagerung in der Bundesrepublik benötigten Behälter von ca. 1.000 auf 21 verringert. Demzufolge ist auch die Zahl der Transporte deutlich niedriger. Aufgrund der für Transporte radioaktiver Stoffe gültigen Sicherheitsphilosophie der IAEA (die Sicherheitsanforderungen an den Behälter richten sich nach dem Aktivitätsinventar) ist damit die Wahrscheinlichkeit für Transportunfälle mit größeren Aktivitätsfreisetzungen deutlich verringert.

In Bezug auf die Zwischenlagerung ist ebenfalls von einer Verringerung des Gefahrenpotenzials auszugehen. Für die ehemals vorgesehen zementierten Abfälle wäre eine Freisetzung radioaktiver Stoffe bereits bei mittelschweren Störfällen möglich gewesen. Bei sehr schweren Unfällen wie Flugzeugabsturz wurden von Behörden-gutachtern in der Vergangenheit für zementierte Abfälle deutlich größere Freisetzungsraten für radioaktive Stoffe ermittelt als beispielsweise für verglaste Abfälle. Das Gesamtgefahrenpotenzial dürfte sich aus den vorstehenden Gründen in grober Einschätzung insgesamt verringert haben.

Unabhängig von der vorstehend beschriebenen Verringerung des Gesamtgefahrenpotenzials für die in die Bundesrepublik gelieferten Wiederaufbereitungsabfälle sind bei sehr schweren Stör- bzw. Unfällen nach wie vor hohe Freisetzungsraten nicht auszuschließen. Dies bedingt ein Versagen der Behälterintegrität (bzw. der Dichtungen). In Bezug auf die bisher für Transporte von HAW-Kokillen aus La Hague eingesetzten CASTOR<sup>®</sup> HAW 20/28 CG ist dies möglich [INTAC 1996]. Für den Behältertyp CASTOR<sup>®</sup> HAW 28M gibt es von unserer Seite bisher keine Untersuchungen.

Für die HAW-Kokillen gibt es bei mechanischen Belastungen durch die relativ geringe Bruchfestigkeit bzw. große Sprödigkeit des Glases die Möglichkeit zu erhöhten Freisetzungen radioaktiver Stoffe. Bei thermischen Belastungen nimmt die Diffusionsrate bestimmter Radionuklide ab Temperaturen von 500°C schnell zu. Da die Temperatur der HAW-Kokillen bei Transport und in den ersten Jahren der Zwischenlagerung bereits in diesem Temperaturbereich sein darf, sind bei zusätzlicher Erwärmung durch einen Brand auch hier erhöhte Freisetzungen möglich. Für den Fall von Freisetzungen reicht wegen des großen Aktivitätsinventars der Kokillen bereits ein geringer Bruchteil zur Überschreitung von Grenzwerten.

Von Freisetzungen nach Unfällen abgesehen, haben die Wiederaufarbeitungsabfälle noch weitere Gefahrenpotenziale. Als Folge des großen Aktivitätsinventars treten hohe Ortsdosisleistungen an der Oberfläche der HAW-Glaskokillen und in ihrer Nähe auf.

Beim Umgang mit den HAW-Kokillen ist die durch das Cs-137 und weitere  $\gamma$ -Strahler verursachte Dosisleistung der abgegebenen Strahlung von Bedeutung. Eine unabgeschirmte HAW-Glas-Kokille kann an ihrer Oberfläche eine Ortsdosisleistung bis zu 14.000.000 mSv/h (Millisievert pro Stunde) bzw. in 1 m Entfernung bis zu 420.000 mSv/h besitzen. D.h. etwa eine Minute Aufenthalt in 1 m Entfernung von einer unabgeschirmten (also nicht im Behälter befindlichen) HAW-Kokille würde beim Menschen eine tödliche Dosis verursachen.

Auch wenn sich die HAW-Kokillen in den dickwandigen Transport- und Lagerbehältern befinden, treten noch hohe Ortsdosisleistungen an der Behälteroberfläche und in ihrer Nähe auf. Während des Transports und der Zwischenlagerung wird der größte Teil der Strahlung zwar durch die Behälter abgeschirmt, es ist aber davon auszugehen, dass für die Kokillen aus Sellafield die diesbezüglichen Grenzwerte des Gefahrgutrechts weitgehend ausgeschöpft werden. Dies kann zu höheren Strahlenbelastungen von Personen während eventueller Transportunterbrechungen und in unmittelbarer Nähe der Zwischenlager führen.

Die Einlagerung in das Endlager soll nach gegenwärtigem Konzept ohne Behälter erfolgen, was zu höheren Strahlenbelastungen des umgebenden Gesteins führt. Die möglichen Auswirkungen sind wissenschaftlich nicht abschließend geklärt.

Außer der hohen Ortsdosisleistung sind für die Endlagerung weitere Gefahrenpotenziale zu beachten. Aufgrund der starken Wärmeentwicklung müssen die HAW-Kokillen 15 bis 30 Jahre oberirdisch zwischengelagert werden, bevor sie in ein Endlager kommen können. Andernfalls kann es zu nachteiligen Veränderungen der Eigenschaften des direkt umgebenden Wirtsgesteins kommen. Darüber hinaus besitzen einige in den HAW-Glaskokillen in erheblichem Umfang enthaltene Radionuklide Halbwertszeiten bis 2 Millionen Jahre. Dies ist für die Langzeitsicherheit des Endlagers von Bedeutung, da über lange Zeiträume von einem Auslaugen der Abfallgebinde ausgegangen werden muss [GÖK 2001].

## 5.4 In Sellafield bleibende Abfälle

Für einen großen Teil der Abfälle aus der Wiederaufarbeitung war von Anfang an ihr Verbleib in Großbritannien vorgesehen. Von BNFL wurden nur für etwa 50% der nicht hochradioaktiven Abfälle Spezifikationen erstellt. Bezüglich des insgesamt anfallenden Abfallvolumens macht das nur 8% aus [RWMAC 1994]. Durch die inzwischen vereinbarte Substitution verbleiben als einzige Abfallart die Spaltproduktlösungen nicht in Großbritannien.

Für die Endlagerung der schwachradioaktiven Abfälle war und ist das Endlager Drigg vorgesehen. Im Jahr 2002 hatte das noch eine verbleibende Kapazität von 800.000 m<sup>3</sup> [RWMAC 2003]. Diese Kapazität soll für alle schwachradioaktiven Abfälle aus dem Betrieb britischer Atomanlagen und mindestens eines Teils ihrer Stilllegungsabfälle ausreichen [RWMAC 2004]. Dem Verbleib aller schwachradioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung ausländischer Brennelemente in Großbritannien bzw. ihrer Endlagerung in Drigg wurde von der Regierung zugestimmt, da sich durch sie das radioaktive Inventar des Endlagers nicht wesentlich erhöht und es im Vergleich zu den anderen in Großbritannien anfallenden Abfällen nicht zu relevanten zusätzlichen Umweltauswirkungen kommt [RWMAC 1994]. Bis 2004 waren bereits 10.000 m<sup>3</sup> konditionierter Abfälle von ausländischen Kunden in Drigg eingelagert [DTI 2004].

Von der in Großbritannien zuständigen Organisation NIREX wurden umfangreiche Untersuchungen zur Endlagerung von mittelradioaktiven Abfällen in tiefen geologischen Formationen durchgeführt. Das NIREX-Programm zur Planung eines Endlagers in der Nähe von Sellafield wurde jedoch 1997 aufgegeben, nachdem die zuständige (lokale) Genehmigungsbehörde die Genehmigung für die Errichtung eines Untertagelabors versagte.

Für den weiteren Umgang mit mittelradioaktiven Abfällen wurden daraufhin Konditionierungsvorschriften erlassen, die eine längerfristige oberirdische Zwischenlagerung zulassen sollen. Die Abfälle werden konditioniert und am Entstehungsort ca. 50 – 70 Jahre zwischengelagert [RWMAC 2002]. Die Entwicklung der Konditionierungsmethoden scheint aber zumindest 2000 noch nicht abgeschlossen gewesen zu sein. Daher befindet sich ein Großteil noch unkonditioniert in Lagern. Im Jahr 1998 waren

es noch 88% der Abfälle [RWMAC 2002]. Dort wird zwar nicht direkt auf die Wiederaufarbeitungsabfälle ausländischer Kunden eingegangen, aber es ist davon auszugehen, dass alle mittelradioaktiven Abfälle in GB gemeint sind.

Eine von der britischen Regierung eingesetzte Kommission hat nach Prüfung verschiedener Optionen zum Umgang mit mittelradioaktiven Abfällen 2006 die längerfristige Zwischenlagerung und anschließende Endlagerung in tiefen geologischen Formationen vorgeschlagen [NWR 2006]. Die Endlagersuche wurde neu aufgenommen, nachdem die britische Regierung 2008 eine 6-Schritte-Strategie für Suche und Errichtung eines Endlagers für bestrahlte Brennelemente, hoch- und mittelradioaktive sowie eines geringen Teiles der schwachradioaktiven Abfälle vorgegeben hat. Sie soll nach Möglichkeit weiterhin im Distrikt Cumbria erfolgen, in dem auch Sellafield liegt. Für eine Entscheidung über den Standort wird gegenwärtig von einem Zeitraum von 12 bis 15 Jahren ausgegangen [NF 2012b].

Für die rechtliche Situation zum Verbleib der Abfälle in Großbritannien gilt, dass den in den Wiederaufarbeitungsverträgen enthaltenen grundsätzlichen Regelungen durch völkerrechtliche Verträge der beiden Regierungen zugestimmt wurde. Ein Gesetz zu dieser Problematik gibt es in Großbritannien nicht. Die britische Regierung hat darüber hinaus der weitgehenden Substitution explizit zugestimmt.

## 6. Radioaktive Abgaben in die Umgebung von Sellafield

In einem vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) beauftragten Gutachten wurden, unter Berücksichtigung bundesdeutscher Vorschriften und der tatsächlichen Ableitungen aus den Anlagen in Sellafield sowie Messungen der Immission in der Umgebung, Strahlenbelastungen berechnet. Für die effektive Dosis wurden die bundesdeutschen Grenzwerte (damals § 45 StrlSchV) für Referenzpersonen zum Teil um mehr als das 20-fache und die Schilddrüsendosis um mehr als das 10-fache überschritten [ÖKOINST 2000]. Die Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung werden auch überschritten, wenn nur Emissionen aus den Anlagenteilen in Sellafield berücksichtigt werden, die für die bundesdeutschen Kunden genutzt werden. Die Anlagen wären danach in der Bundesrepublik Deutschland nicht genehmigungsfähig gewesen [BFS 2000]. Diese Aussage wurde vom BfS später relativiert indem darauf hingewiesen wurde, dass die Anlage ja schon länger in Betrieb sei und sich die Frage deshalb nicht stellen würde [BFS 2003].

Im Rahmen der Recherche für diesen Bericht konnten für die aktuelle Situation nur Angaben für die Auswirkung von Abgaben radioaktiver Stoffe der gesamten Anlage von Sellafield ermittelt werden. Das heißt die folgenden Ausführungen beziehen sich nicht nur auf die Anlagen, in denen auch bundesdeutsche Materialien behandelt wurden.

Nach offiziellen Angaben ist die Strahlenbelastung von Personen aus der Bevölkerung durch Abgaben radioaktiver Stoffe mit Abwasser und Abluft in den letzten Jahren zurückgegangen. Dies wird mit der Verringerung der Abgaben und Veränderungen von Verzehrsgewohnheiten erklärt [CEFAS 2011].

In den Jahren 2010 und 2011 war die höchste ermittelte Gesamtdosis für Personen aus der Bevölkerung über alle Belastungspfade 0,18 mSv [CEFAS 2011 und 2012]. Damit wird der Grenzwert nach § 47 StrlSchV zu über 50 % ausgeschöpft. Im Jahr 2003 waren es noch 0,66 mSv, also eine Überschreitung. Die Hauptursache für diese Belastung wird mit Verzehren von Meeresfrüchten angegeben. Die Vorgehensweise bei der Ermittlung der genannten Dosiswerte weicht jedoch wahrschein-

lich von der nach bundesdeutscher Strahlenschutzverordnung ab. Es ist deshalb nicht auszuschließen, dass bei Ermittlung nach Strahlenschutzverordnung auch heute noch der bundesdeutsche Grenzwert überschritten wird. Dem kann im Rahmen dieses Berichts nicht weiter nachgegangen werden.

Auch die Belastung von Tieren in der Umgebung von Sellafield hat nach den offiziellen Messungen abgenommen. 1998 wurden mit bis 110.000 Bq/kg sehr hohe Cs-137-Konzentrationen in Tauben festgestellt. Der Verzehr von 20 Taubenbrüsten hätte die insgesamt maximal zulässige Strahlenbelastung von Personen in der Umgebung von Sellafield von 1mSv verursacht. Die Belastung der Tauben soll durch das Abstreifen von Kontaminationen auf den Dächern von Anlagen erfolgt sein. 2010 wurde eine maximale Cs-137-Konzentrationen in Tauben von 16 Bq/kg gemessen [CEFAS 2011].

Im Jahr 2010 waren deutlich erhöhte Werte für Cs-137, Pu-Isotope, Am-241 und Sr-90 bei Sedimenten in Straßengullis (guter Indikator für Kontamination der Umgebung) auffällig. 2011 nahmen sie wieder leicht ab. Die hohen Werte werden mit ungewöhnlichen Wetterbedingungen 2010 erklärt [CEFAS 2012].

## Verwendete Unterlagen und Literatur

- BFS 2000 Bundesamt für Strahlenschutz:  
[www.bfs.de/de/ion/papiere/oekoinstitut02.pdf](http://www.bfs.de/de/ion/papiere/oekoinstitut02.pdf)
- BFS 2003 Bundesamt für Strahlenschutz: „Bewertung der Ergebnisse der Studie des Öko-Instituts zu Sellafield und La Hague durch das BfS“; [www.bfs.de/ion/papiere/oekoinstitut.html](http://www.bfs.de/ion/papiere/oekoinstitut.html), Stand 26.05.2003
- BFS 2007 Bundesamt für Strahlenschutz (K. Kugel und P. Brennecke): „Anfall radioaktiver Abfälle in Deutschland – Abfallerhebung für das Jahr 2004 ...“; atw 52. Jg. (2007) Heft 11 - November, S. 749 ff
- BRÖSKAMP 2000 H. Bröskamp und M. Etzmuß (PreussenElektra Kernkraft): „Status und Perspektiven der Plutoniumverwertung in Deutschland durch den Einsatz von MOX-Brennelementen“; Workshop Optionen bei der Verwertung und Entsorgung von Plutonium, Jülich, 13.-14. Januar 2000
- CEFAS 2011 Centre for Environment, Fisheries and Aquaculture Science: “Radioactivity in Food and the Environment, RIFE 16, 2010”; October 2011
- CEFAS 2012 Centre for Environment, Fisheries and Aquaculture Science: “Radioactivity in Food and the Environment, RIFE 17, 2011”; October 2012
- CORE 2009 Cumbrian Opposed to a Radioactive Environment: “THORP to close for seven months”; Press Release, 2 June 2009
- CORE 2011 Cumbrian Opposed to a Radioactive Environment: “Sellafield High Level Waste shipment under investigation in Japan”; Press Release, 16 October 2011
- CORE 2012 Cumbrian Opposed to a Radioactive Environment: “NDA’s Evaporator D Project”; Press Release, 4 January 2012

- DECC 2011 Department of Energy and Climate Change: "Management of the UK's Plutonium Stocks"; a consultation response on the long-term management of UK-owned separated civil plutonium, 01 December 2011
- DECC 2012 Department of Energy and Climate Change: Statement given to the West Cumbria MRWS Partnership Meeting 19 July 2012
- DIBBERT 1992 H.-J. Dibbert und E. Passig: „Zum Stand der Entsorgung deutscher Kernkraftwerke durch Verträge mit COGEMA und BNFL“; Jahrestagung Kerntechnik, Karlsruhe, 05.-07.05.1992;
- DTI 2004 Department of Trade and Industry: „Consultation Paper on Proposals for Intermediate Level Radioactive Waste Substitution“, January 2004
- DBT 2012 Deutscher Bundestag: „Stand der Wiederaufarbeitung deutscher Brennelemente im Ausland und des deutschen Plutonium-Inventares“; Antwort der Bundesregierung auf die Große Anfrage von Bündnis 90 / Die Grünen, Drucksache 17/8527 vom 31.01.2012
- ENGERING 2011 J. Engering (GNS mbH) et al.: „Rückführung von verglasten mittelaktiven Abfällen von La Hague nach Gorleben“; Jahrestagung Kerntechnik, Berlin, 17.-19. Mai 2011
- ESK 2011 Entsorgungskommission beim Bundesumweltministerium: „Anforderung an bestrahlte Brennelemente aus entsorgungstechnischer Sicht“; Stellungnahme vom 27.05.2011
- FABIAN 1995 H.-U. Fabian: „Die Entsorgung deutscher Kernkraftwerke“; Jahrestagung Kerntechnik, Nürnberg, 16.05.1995
- GÖK 1998 Gruppe Ökologie e.V.: „Analyse der Entsorgungssituation in der Bundesrepublik Deutschland ...“; erstellt im Auftrag der Heinrich Böll Stiftung, Hannover, August 1998

- GÖK 2001 Gruppe Ökologie e.V.: „Hochaktiver Abfall (HAW) aus der Wiederaufarbeitung“; erstellt im Auftrag von Greenpeace e.V., Hannover, März 2001
- GP 2011 Greenpeace: „Atommüll-Zwischenlager: Philippsburg sicherer als Gorleben“; Presseerklärung vom 19.10.2011
- GRS 2008 Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH: „Entsorgung abgebrannter Brennelemente aus den Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland“; Länderumfrage Stand 31.12.2007, Köln, September 2008
- GRS 2012 Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH: „Entsorgung abgebrannter Brennelemente aus den Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland“; Länderumfrage Stand 31.12.2011, Köln, Juni 2012
- HECK 2007 M. Heck und U. Warias: „Genehmigungsverfahren zur Aufbewahrung neuer Behälterbauarten für die HAW-Rückführung aus Frankreich und England im Transportbehälterlager Gorleben“; Jahrestagung Kerntechnik, Karlsruhe, 23.05.2007
- INTAC 1996 intac GmbH: „Studie zu Gefahren beim Transport von HAW-Kokillen zur Zwischenlagerung in der BRD“; erstellt im Auftrag von Greenpeace, Hannover, Februar 1996
- JANBERG 1992 K. Janberg et al.: „Rücknahme der Abfälle aus Wiederaufarbeitungsverträgen“; Jahrestagung Kerntechnik, Karlsruhe, 05.-07.05.1992
- MRWS 2012 West Cumbria MRWS Partnership (United Kingdom): “Questions and responses to Plutonium issues”, September 2012
- NF 2009a Nuclear Fuel: “Canisters of HLW being inspected in preparation for return to Japan”; Volume 34 / Number 23 / November 16, 2009
- NF 2009b Nuclear Fuel: “Contract awarded for long-delayed evaporator at Sellafield complex”; Volume 34 / Number 14 / July 13, 2009

- NF 2010a Nuclear Fuel: "First shipment of repatriated HLW leaves Sellafield bound for Japan"; Volume 35 / Number 2 / January 25, 2010
- NF 2010b Nuclear Fuel: "UK returns reprocessing waste from shutdown Dutch reactor"; Volume 35 / Number 6 / March 22, 2010
- NF 2011a Nuclear Fuel: "NDA closing Sellafield MOX plant, says commercial risk too big"; Volume 36 / Number 16 / August 8, 2011
- NF 2011b Nuclear Fuel: "UK and Japan launch inquiry into contaminated containers"; Volume 36 / Number 22 / October 31, 2011
- NF 2011d Nuclear Fuel: "Waste substitution proposed for Dounreay reprocessing clients"; Volume 36 / Number 3 / February 7, 2011
- NF 2012a Nuclear Fuel: "NDA: Thorp will complete reprocessing contracts, close by 2018"; Volume 37 / Number 13 / June 25, 2012
- NF 2012b Nuclear Fuel: "Decision on Cumbria repository up to 15 years away, NDA says"; Volume 37 / Number 25 / December 10, 2012
- NW 1990 Nucleonics Week: "BNFL signs reprocessing deals with seven West German Utilities "; August 23, 1990
- NWR 2006 Nuclear Waste Review, Volume 2, Number 4, May 2006
- ÖKOINST 2000 Öko-Institut e.V.: „Ermittlung der möglichen Strahlenexpositionen der Bevölkerung aufgrund der Emissionen der Wiederaufarbeitungsanlagen in Sellafield und La Hague“; im Auftrag des Bundesamt für Strahlenschutz, Darmstadt, Februar 2000
- PASSIG 1996 E. Passig: „Rückführung der Wiederaufarbeitungsabfälle“; Jahrestagung Kerntechnik 1996
- RSK 2002 Reaktor-Sicherheitskommission: „Stellungnahme zum Qualitätsmanagement bei der Beschaffung von Brennelementen hinsichtlich sicherheitstechnischer Anforderungen“; 10.10.2002

- RWMAC 1994      Radioactive Waste Management Advisory Committee: „Fourteenth Annual Report of the Radioactive Waste Management Advisory Committee“, June 1994
- RWMAC 2002      Radioactive Waste Management Advisory Committee: „Current Arrangements and Requirements for the Conditioning, Packaging and Storage of Intermediate Level Radioactive Waste“, June 2002
- RWMAC 2003      Radioactive Waste Management Advisory Committee: „Twenty-Third Annual Report of the Radioactive Waste Management Advisory Committee“, June 2003
- RWMAC 2004      Radioactive Waste Management Advisory Committee: „Review of Current Issues and Priorities in Radioactive Waste Management“, September 2004
- SCHNEIDER 2010      Mycle Schneider Consulting: „Plutonium: Reflexionen über Entsorgungsstrategien eines Rohstoffs mit negativem Marktwert“; Vortrag im Carl-Friedrich von Weizsäcker-Zentrum für Naturwissenschaft und Friedensforschung, Universität Hamburg am 1. Juli 2010
- SL 2012              Sellafield Ltd: “Major milestone achieved as THORP completes baseload contract”; [www.sellafieldsites.com](http://www.sellafieldsites.com), 19. December 2012
- THOLEN 2010      M.Tholen (dbe TECH GmbH): ”Rücklieferung radioaktiver Abfälle aus Dounreay, Schottland“; Symp. Lagerung und Transport radioaktiver Stoffe, TÜV NORD, Hannover, 2./3. November 2010
- WP 1995              British Government: White Paper, CM 2919: “Review of Radioactive Waste Management Policy”, Final Conclusions, July 1995