

Bestandsaufnahme Atommüll 2011

1. Einleitung

In der Bundesrepublik Deutschland werden seit über 40 Jahren Atomkraftwerke zur Stromerzeugung betrieben. Nach Stand von August 2011 scheint diese Ära 2023 zu Ende zu gehen. Bis dahin ist durch die Atomkraftwerke und durch andere Atomanlagen eine große Menge Atommüll angefallen. Die Stilllegung verursacht weiteren Atommüll. Für den Umgang mit dem Atommüll gab es zwar von Anfang an Überlegungen, aber durchführbare Konzepte, deren sicherheitstechnische Randbedingungen eine schadlose Verwertung oder sichere Endlagerung zulassen, gab es zur damaligen Zeit nicht und gibt es trotz des Fortschritts in Technik und Wissenschaft bis heute nicht. Dies liegt in der Natur der Sache, da die zum Betrieb der Reaktoren in großen Mengen aus der Geosphäre (Erdgestein) in die Biosphäre (menschlicher Lebensraum) gebrachten Urannuklide, und vor allem die bei der Spaltung von Uran im Reaktor künstlich erzeugten Radionuklide, nicht einfach ihrer Radioaktivität entledigt werden können. Bisher bekannte physikalische Umwandlungsmethoden (Transmutation) können nicht auf alle Radionuklidsorten angewendet werden, erzeugen ihrerseits wieder andere Radionuklide in einer großen Menge radioaktiver Abfälle und beinhalten eigene Sicherheitsrisiken. Unabdingbare Vorstufe zur Transmutation ist die Trennung der einzelnen, im Reaktor entstandenen Radionuklidsorten (Partitioning). Dies sind in der Regel mit der bisherigen Wiederaufarbeitung der Kernbrennstoffe vergleichbare Prozesse mit hohen Sicherheitsrisiken. Ob Abtrennung und Transmutation überhaupt im für die Entschärfung des Endlagerproblems notwendigen Umfang möglich ist, wird kontrovers diskutiert. Klar ist bisher nur, dass auch bei Einsatz dieser Technologien ein Endlager erforderlich ist. Außerdem steht die Einsatzfähigkeit von Abtrennung und Umwandlung wegen der noch auszuräumenden naturwissenschaftlichen und technischen Probleme und den sehr hohen Kosten in den Sternen.

Das einzige, was Atommüll ungefährlicher macht, ist die Zeit. Genauer gesagt die Halbwertszeit, in der jeweils die Hälfte der vorhandenen Radionuklide in einem physikalischen Prozess zerfällt. Die Dauer der Halbwertszeit ist von der Sorte der Radionuklide abhängig. Ein beträchtlicher Teil der im Atommüll enthaltenen Radionuklidsorten besitzt Halbwertszeiten von Tausenden (z.B. Pu-239) bis zu vielen Millionen Jahren (z.B. Np-237, U-235). Daraus wird klar, dass auch die Verbringung dieser Abfälle in tiefe geologische Schichten wegen der vorhandenen Stoffkreisläufe keinen endgültigen Abschluss der radioaktiven Stoffe von der Biosphäre garantiert. Das heißt, eine Entsorgung im eigentlichen Sinne des Wortes ist für den Atommüll aus Atomanlagen nicht möglich.

Die Probleme beim Umgang mit radioaktiven Abfällen sind jedoch auch in den ersten 100 Jahren nach ihrem Anfall nicht kleiner. In diesem Zeitraum beinhalten die Abfälle aufgrund der ionisierenden Strahlung beim Zerfall von Radionukliden mit Halbwertszeiten zwischen ein und fünfzig Jahren (z.B. Sr-90, Cs-137) ein zusätzliches Gefahrenpotenzial.

Die Überlegungen von Betreibern und Bundesregierungen zum Umgang mit dem Atommüll, von ihnen meist Entsorgungskonzept genannt, hatten seit den 1970er Jahren nie lange Bestand. Das hatte in der Regel weniger mit Sicherheit, sondern mit aktueller Zugriffsmöglichkeit auf bestimmte Anlagen und betriebswirtschaftlichen Aspekten zu tun. Dies gilt sowohl für die bestrahlten Brennelemente als auch für die anderen radioaktiven Abfälle. Die wichtigsten, hier zu nennenden „Konzept“wechsel sind die Schlingercurse beim Umgang mit den schwach- und mittelradioaktiven Abfällen (Konditionierung bzw. Zwischenlagerung am Standort oder extern), bei der Endlagerung (ein Endlager für schwach-, mittel- und hochradioaktive Abfälle oder getrennte Endlager) und bei der so genannten Wiederaufarbeitung bestrahlter Brennelemente (ja oder nein, im In- oder Ausland).

Die 1998 von SPD und Bündnis 90 / Die Grünen gebildete Bundesregierung hat zumindest in Teilbereichen Fortschritte erreicht (endgültige Aufgabe der Wiederaufarbeitung und Verringerung der Transportzahlen), ist aber zum Beispiel bei der Endlagerung in positiven Ansätzen (Ein-Endlager-Konzept und Endlagerstandortsuchverfahren) stecken geblieben und hat mit der drastischen Ausweitung der Möglichkeit zur Freigabe schwachradioaktiver Stoffe aus dem kerntechnischen Bereich in den alltäglichen Lebensbereich der Bevölkerung auch negative Akzente gesetzt.

Die nachfolgenden Regierungen haben dann das Rad in der Endlagerfrage wieder zurück gedreht, so dass sich für den hochradioaktiven Müll wieder alles auf Gorleben konzentriert. Der Druck für eine systematische, auf wissenschaftlichen Grundlagen beruhende und unter Beteiligung der Öffentlichkeit durchzuführende Endlager-Standortsuche nimmt inzwischen zwar wieder zu, ob er aber für die Realisierung ausreicht bleibt abzuwarten. In diesem Zusammenhang ist auch bemerkenswert, dass die Forschung in Deutschland nach wie vor überwiegend auf Salz als Endlagermedium fixiert ist. Endlagerung in Ton wird nur in begrenztem Umfang untersucht und Hartgestein spielt praktisch keine Rolle. Vor dem Hintergrund des Desasters im „Versuchsendlager“ des Asse-Salzstockes ist das nicht nachvollziehbar.

In diesem Beitrag soll der Hintergrund der Diskussion um die „Entsorgung“, nämlich die Mengen des anfallenden Atommülls und die Konsequenzen für die derzeitigen Entsorgungsprojekte (Zwischenlager, Konditionierungsanlagen, Endlager), dargestellt werden. Eine solche Darstellung beinhaltet zwangsweise zu einem Teil die Entsorgungsstrategien und Sichtweisen der Betreiber- bzw. Behördenseite. Das heißt jedoch nicht, dass diese hier generell als akzeptabel bewertet werden.

2. Bestand von radioaktiven Abfällen

In den über 40 Jahren der kommerziellen Nutzung der Atomkraft zur Stromerzeugung sind in der Bundesrepublik Deutschland (alte und neue Länder) unter Berücksichtigung aller Kategorien und Bearbeitungszustände inzwischen über 225.000 m³ radioaktive Abfälle angefallen. Das beinhaltet schwach-, mittel- und hochradioaktive Betriebs- und Stilllegungsabfälle, Forschungsabfälle, bestrahlte Brennelemente sowie in der Bundesrepublik entstandene und aus dem Ausland angelieferte Wiederaufarbeitungsabfälle. Nicht darin enthalten sind radioaktive Abfälle, die beim Abbau und der Aufbereitung des Uranerzes für die Herstellung der in der Bundesrepublik eingesetzten Brennelemente in den jeweiligen Abbauländern entstehen. Ebenfalls nicht enthalten ist wiederaufgearbeitetes und abgereichertes Uran, das bisher zum größten Teil in andere Länder verkauft bzw. nach Russland gebracht worden ist. Gegenwärtig noch vorhandenes Uran wird wahrscheinlich zu einem größeren Teil zu Abfall erklärt werden.

In diesem Kapitel werden alle radioaktiven Abfälle berücksichtigt, die durch die Nutzung der Atomenergie entstanden sind und in der Bundesrepublik endgelagert werden sollen.

2.1 Bestand in der Bundesrepublik Deutschland

Nachfolgend werden die entstandenen radioaktiven Abfälle nach ihrem Zustand (Rohabfälle/Reststoffe und bereits teilweise oder vollständig konditionierte Abfälle) und nach der Höhe der in ihnen durch den radioaktiven Zerfall erzeugten Wärmeentwicklung aufgegliedert. Die hier als Roh- bzw. bearbeiteten Abfall aufgeführten Volumina werden sich - mit Ausnahme der bereits im Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) lagernden Abfälle - durch zukünftige Konditionierung noch verändern. Die Unterscheidung zwischen gering wärmeentwickelnde und wärmeentwickelnde Abfälle wird hier benutzt, da dies der in Deutschland für die Aufteilung auf die Endlager üblichen Abgrenzung entspricht.

In Tabelle 1 sind alle radioaktiven Abfälle aufgeführt, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten seit 2006 gelagert wurden. Die unterschiedlichen Zeitpunkte sind auf die unzureichende Veröffentlichung der Abfalldaten in der Bundesrepublik Deutschland zurückzuführen. Von den AKW-Betreibern werden keine Abfallzahlen veröffentlicht und die Veröffentlichung einer detaillierteren Übersicht zu den Abfalldaten durch das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) wurde mit den Daten für 2004 eingestellt. Seit dem werden im Internetauftritt des BfS in größeren Abständen Gesamtzahlen genannt. Aktuellere als die in der Tabelle 1 aufgeführten Zahlen sind bisher (September 2011) nicht veröffentlicht.

Abfallart	gering wärme- entwickelnde konditionierte Abfälle am 31.12.2006	gering wärme- entwickelnde konditionierte Abfälle am 31.12.2008	gering wärme- entwickelnde Roh- und bear- beitete Abfälle am 31.12.2008	wärme- entwickelnde Roh- und bear- beitete Abfälle am 31.12.2008	wärmeent- wickelnde konditionierte Abfälle am 31.12.2008
Wiederaufarbeitu- ng	14.162 m ³				
Betriebsabfälle AKW	15.048 m ³				
Stilllegungs- abfälle AKW	10.622 m ³				
kerntechnische Industrie ²⁾	6.196 m ³				
Forschungs- abfälle	38.947 m ³				
sonstige Abfälle	3.541 m ³				
gesamt	88.516 m ³	93.929 m ³	27.518 m ^{3 1)}	1.316 m ³	598 m ³
Abfallart	gering wärme- entwickelnde konditionierte Abfälle	gering wärme- entwickelnde Rohabfälle	wärme- entwickelnde Rohabfälle	Wärmeent- wickelnde konditionierte Abfälle	
ERAM am 31.12.2010 (seit 1998)	28.493 m ³ und 6.617 Quellen	8.260 m ^{3 3)}	-	467 Quellen	
Asse am 31.12.2010 (seit 1978)	52.450 m ³	-	-	-	
bestrahlte Brennelemente am 31.12.2009	-	-	ca. 6.545 tSM	-	

¹⁾ In diesen Zahlen können auch Reststoffe enthalten sein, die zum Teil wiederverwertet werden sollen.

²⁾ In diesen Mengen sind auch Stilllegungsabfälle enthalten.

³⁾ Diese Abfälle wurden in flüssigem Zustand in das Endlager eingebracht und dort zum größten Teil verfestigt.

Tabelle 1: Bestand von Atommüll in der Bundesrepublik Deutschland

Bis Ende 2009 sind ca. 13.100 Mg Schwermetall (tSM) in bestrahlten Leichtwasserreaktor-Brennelementen angefallen. Zusätzlich sind 171 tSM in bestrahlten Brennelementen aus Versuchs- und Prototypreaktoren angefallen. Über die Menge angefallener Forschungsreaktor-Brennelemente liegen keine Angaben vor, es dürfte sich aber um etwa 10 tSM handeln. Diese Brennelemente sind in der Regel zum Verbleib in die USA oder zur Wiederaufarbeitung nach Dounreay in Großbritannien gebracht worden. In Tabelle 1 sind ca. 2 tSM aus dem Forschungsreaktor in Rossendorf berücksichtigt, die sich im Zwischenlager in Ahaus befinden.

Von dieser Menge lagerten ca. 3.424 tSM in kraftwerksinternen Lagern (einschl. Nasslager in Obrigheim), ca. 2.331 tSM in den Standort-Zwischenlagern sowie ca. 677 tSM in den externen Lagern in Greifswald (ZLN), Ahaus (BZA) und Gorleben (TBL). Darüber hinaus wurden etwa 208 tSM aus Leistungs-, Prototyp und Forschungsreaktoren zur Wiederaufarbeitung in Karlsruhe (WAK) abgeliefert. Diese Wiederaufarbeitung ist seit längerer Zeit abgeschlossen und die Anlage stillgelegt, so dass die aus diesen Brennelementen resultierenden Abfälle in der Tabelle 1 berücksichtigt sind.

Bei den hier wegen der wahrscheinlichen Endlagerung im gegenwärtigen Zustand als konditioniert geführten Brennelementen handelt es sich um die Kugel-Graphitbrennelemente aus den stillgelegten Hochtemperaturreaktoren in Hamm (THTR) und Jülich (AVR). Die 8,4 tSM in HTR-Brennelementen befinden sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt im Brennelement-Zwischenlager Ahaus (6,9 tSM) bzw. im Forschungszentrum Jülich (1,5 tSM). Die Brennelemente in Ahaus sind in Tabelle 1 bei den wärmeentwickelnden Zwischenprodukten berücksichtigt.

Die in der Tabelle angegebenen Abfälle aus der Wiederaufarbeitung enthalten, mit einer Ausnahme, nur die in Karlsruhe angefallenen Abfälle. Das heißt, ein größerer Teil bereits angefallener Wiederaufarbeitungsabfälle befindet sich noch im Ausland (siehe Kapitel 2.2). Die Ausnahme bilden die in den konditionierten wärmeentwickelten Abfällen enthaltenen 485 m³ (2.716 Kokillen ohne Lagerbehälter) verglaster hochradioaktiver Abfall aus La Hague. Mit der Lieferung dieser wärmeentwickelnden Abfälle in das TBL Gorleben wurde 1996 begonnen. Die Kokillen werden in 97 Behältern gelagert Stand (August 2011).

Die Betriebsabfälle der Atomkraftwerke enthalten auch die bei Reparaturen angefallenen Abfälle. Die Stilllegungsabfälle enthalten die abgerissenen Strukturen und Komponenten sowie die dadurch betrieblich bedingten Abfälle.

Die Forschungsabfälle stammen hauptsächlich aus den Zentren in Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht und Berlin (firmieren heute alle als Helmholtz-Zentren).

Die sonstigen Abfälle stammen hauptsächlich aus der medizinischen und industriellen Anwendung von Radionukliden und lagern in den Landessammelstellen der Bundesländer.

Im Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) und im so genannten Versuchsendlager Asse sind bereits Abfälle endgelagert. In das ERAM werden seit 1999 und in die Asse seit 1979 keine Abfälle mehr eingelagert. Bei den in Tabelle 1 angegebenen 467 Strahlenquellen im ERAM wird die Wärmeentwicklung durch das relativ kurzlebige Nuklid Co-60 hervorgerufen, so dass ihre Einordnung in diese Kategorie in einigen Jahren teilweise revidiert werden muss. Gegenwärtig wird für das Endlager das Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung durchgeführt. Im Oktober 2011 findet der Erörterungstermin im Rahmen der Öffentlichkeitsbeteiligung statt. Die Abfälle aus der Asse sollen wegen des nicht führbaren Langzeitsicherheitsnachweises für das Lager rückgeholt werden. Hierfür laufen die Vorbereitungen. Die rückgeholtten Abfälle müssen konditioniert und anschließend auf unbestimmte Zeit zwischengelagert werden. Für diese schwach- und mittelradioaktiven Abfälle gibt es derzeit keine Möglichkeit der Zuordnung zu einem der verfolgten Endlagerprojekte Konrad und Gorleben.

2.2 Bestand bundesdeutscher Abfälle im Ausland

Von den in Kapitel 2.1 genannten 13.100 tSM wurden ca. 6.244 tSM zur Wiederaufarbeitung in Frankreich und England, eine nicht bekannte Menge aus Forschungsreaktoren zur Wiederaufarbeitung nach Schottland sowie ca. 341 tSM zum sonstigen Verbleib im Ausland abgeliefert. Für die weiteren Betrachtungen sind nur die zur COGEMA (heute AREVA) in Frankreich, zu BNFL (heute Sellafield Lt.)

in England und zu UKAEA in Schottland transportierten Brennelemente relevant. Die anderen Brennelemente haben keine Auswirkungen auf die in der Bundesrepublik endzulagernden Atommüllmengen.

Von den zur Wiederaufarbeitung abgelieferten Brennelementen waren Anfang 2010 in La Hague die gesamten 5.393 tSM und in Sellafield 598 von 851 tSM wiederaufgearbeitet. Die dabei angefallenen Abfälle lagern noch überwiegend in den Anlagen. Die Teile des abgetrennten Urans und Plutoniums, die noch nicht in MOX-Brennelementen wieder eingesetzt oder verkauft wurden, lagern ebenfalls in den Wiederaufarbeitungsanlagen. Diese Kernbrennstoffe sind nicht als Abfälle deklariert.

Der Bestand an bundesdeutschen bestrahlten Brennelementen im Eingangslager der Wiederaufarbeitungsanlage Sellafield (Lagerbecken) betrug 2010 etwa 253 tSM.

Von den hochradioaktiven und damit wärmeentwickelnden Wiederaufarbeitungsabfällen waren Anfang September 2011 in La Hague bereits sechs Behälter CASTOR HAW 28M mit jeweils 28 Kokillen beladen, fünf weitere Standen noch zur Beladung aus. Sie sollten im November 2011 in die Bundesrepublik transportiert werden. Das entspricht einem Nettovolumen (Kokillen ohne Behälter) von ca. 55 m³. Wenn dieser Transport durchgeführt worden ist, befinden sich alle hochradioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung in La Hague in Deutschland.

Die restlichen bisher angefallenen und in La Hague lagernden schwach- und mittelradioaktiven Abfälle sind mindestens teilweise noch unkonditioniert. Inwieweit schon eine konkrete Zuordnung zu den bundesdeutschen AKW-Betreibern gegeben ist, ist nicht bekannt. Weitere Informationen zu diesen Abfällen, die in die Bundesrepublik geliefert werden sollen, enthält das folgende Kapitel 3.

Die bei der bisherigen, noch nicht abgeschlossenen Wiederaufarbeitung bundesdeutscher Brennelemente in Sellafield angefallenen Abfälle lagern dort – soweit bekannt – unkonditioniert. Über die aktuelle Menge liegen keine Angaben vor. Den deutschen AKW-Betreibern werden mittels eines Äquivalenzprinzips nur hochradioaktive Abfälle zugeordnet, die zum Verbleib in die Bundesrepublik transportiert werden müssen. Die schwach- und mittelradioaktiven Abfälle, und damit der mengenmäßig deutlich größere Teil, bleiben in Großbritannien.

In Dounreay lagern aus der Wiederaufarbeitung bundesdeutscher Forschungsreaktor-Brennelemente etwa 86 m³ konditionierte schwachradioaktive Abfälle in Fässern.

Kleinere, aber nicht vernachlässigbare Mengen deutschen Atommülls (schwach- und möglicherweise auch mittelradioaktiv) befinden sich in ausländischen Konditionierungseinrichtungen. Beispiel hierfür ist die Metallschmelzanlage in Studsvik (Schweden). Hierzu sind keine Zahlen veröffentlicht.

3. Prognose für den künftigen Anfall radioaktiver Abfälle

Für den zukünftigen Anfall von Atommüll werden hier nur die radioaktiven Abfälle (einschließlich bestrahlter Brennelemente) berücksichtigt, für die nach gegenwärtigem Stand eine Endlagerung in der Bundesrepublik Deutschland vorgesehen ist. Als Grundlage werden die in der Novellierung des Atomgesetzes von Juli 2011 festgelegten Laufzeiten sowie von Bundesregierung und Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) veröffentlichte Zahlen benutzt. Die Abfälle werden für die weiteren Betrachtungen in zwei Kategorien unterteilt: Wärmeentwickelnde und gering wärmeentwickelnde Abfälle. Zu den wärmeentwickelnden Abfällen zählen hier z.B. bestrahlte Brennelemente, bestimmte Abfälle aus der Wiederaufarbeitung sowie Kernbauteile aus den Reaktoren. Die Betriebsabfälle aus den Atomanlagen, der größte Teil der Stilllegungsabfälle und die übrigen Wiederaufarbeitungsabfälle sind radioaktive Abfälle mit geringer Wärmeentwicklung.

Für den künftigen Anfall von bestrahlten Brennelementen und radioaktiven Abfällen in der Bundesrepublik Deutschland sind bezüglich Menge und Zeitpunkt des Anfalls drei Aspekte entscheidend:

1. **Laufzeiten:** Die in der Atomgesetznovelle Juli 2011 festgelegten Laufzeiten der Reaktoren.
2. **Wiederaufarbeitung:** Vereinbarung über die Lieferzeitpunkte der Abfälle.
3. **Stilllegungsstrategie:** Die Demontage von Komponenten und der Abriss der Gebäude bei stillgelegten Atomkraftwerken kann zügig, das heißt im Laufe von 10 bis 15 Jahren nach deren Abschaltung oder nach "Sicherem Einschluss" (mindestens 30 Jahre) erfolgen.

Die **Laufzeit** jedes Reaktors ist im Atomgesetz festgelegt. Die verbliebenen neun Reaktoren werden spätestens wie folgt abgeschaltet: Grafenrheinfeld am 31.12.2015, Gundremmingen B am 31.12.2017, Philippsburg 2 am 31.12. 2019, Grohnde, Gundremmingen C und Brokdorf am 31.12.2021, sowie Isar 2, Emsland und Neckarwestheim 2 am 31.12.2022.

Nach Abschluss der Lieferung von hochradioaktiven Abfällen aus der **Wiederaufarbeitung** in La Hague Ende 2011 sind die Zeitpunkte zur Lieferung der übrigen dort anfallenden Abfälle und der Wiederaufarbeitungsabfälle aus Sellafield und Dounreay noch nicht endgültig festgelegt. Aus La Hague ist geplant, mit der Lieferung der mittlradioaktiven kompaktierten Abfälle nach Ahaus (BZA) 2014 und der mittlradioaktiven verglasten Abfälle nach Gorleben (TBL) 2015 zu beginnen. Ebenfalls ab 2014 sollen die Transporte der HAW-Kokillen aus Sellafield in das TBL beginnen.

Die derzeit von den AKW-Betreibern favorisierte **Stilllegungstrategie** ist der zügige Abriss der stillgelegten Anlagen. Früher wurde der „Sichere Einschluss“ verfolgt. Der zügige Abriss der Anlagen (vor allem bei Atomkraftwerken) sorgt im Schnitt für ein etwas höheres Abfallaufkommen und vor allem zu einem um ca. 30 Jahre früheren Anfall der Abfälle zur Zwischen- oder Endlagerung.

3.1 Abfälle mit Wärmeentwicklung

Zu den radioaktiven Abfällen mit Wärmeentwicklung zählen die für die direkte Endlagerung vorgesehenen bestrahlten Brennelemente, die hoch- und ein Teil der mittlradioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung sowie stark aktivierte und nicht dekontaminierbare Komponenten aus der Brennelementkonditionierung und Reaktoreinbauten. Zu den Reaktoreinbauten bzw. auch zum Verbleib der Reaktordruckbehälter können hier keine Angaben gemacht werden, da sie in der Prognose des BfS nicht berücksichtigt werden.

In Tabelle 2 sind die prognostizierten Mengen anfallender konditionierter Abfälle mit Wärmeentwicklung aufgeführt, die in der Bundesrepublik Deutschland endgelagert werden müssen.

Abfallherkunft	wärmeentwickelnde konditionierte Abfälle
Brennelemente aus Leistungs-, Versuchs- und Prototypreaktoren	ca. 19.500 m ³
Brennelemente aus Hochtemperaturreaktoren	ca. 1.900 m ³
Brennelemente aus Forschungsreaktoren	ca. 130 m ³
Wiederaufarbeitungsanlagen	ca. 1.540 m ³
Brennelementkonditionierungsanlage (Stilllegung)	ca. 3.400 m ³
gesamt	26.500 m ³

Tabelle 2: Prognostizierter Anfall wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle zur Endlagerung in der Bundesrepublik Deutschland

3.1.1 Bestrahlte Brennelemente

Ausgehend von den Angaben in Kapitel 2.1 und unter Berücksichtigung der Laufzeitbegrenzung nach Atomgesetz beträgt die Gesamtmenge der in der Bundesrepublik anfallenden und zu entsorgenden bestrahlten Brennelemente aus Leistungsreaktoren ca. 17.300 tSM. Eine Aufgliederung dieser Brennelemente nach Atomkraftwerksstandorten ist der Tabelle 3 zu entnehmen. Neben den Leistungsreaktoren sind dort auch Versuchs-, Prototyp- und Forschungsreaktoren aufgeführt. Die in Tabelle 3 genannten Schwermetallmengen aus den Brennelementen sind grob abgeschätzt, da die Brennelementstrategie der Betreiber für die letzten 2 bis 3 Betriebsjahre nicht bekannt ist. Deshalb können sich Differenzen zu den nach Stilllegung der Atomkraftwerke tatsächlich angefallenen Zahlen geben.

Der jeweils genannte „Brennelementanfall“ für die Laufzeit beinhaltet den Anfall bis 31.12.2009, die abgeschätzten jährlichen Entlademengen für die folgenden Betriebsjahre und die Kernladung des Reaktors zum Abschaltzeitpunkt. In der Spalte „Wiederaufarbeitung“ sind die Mengen aufgeführt, die bei COGEMA, bei BNFL und in der WAK wiederaufgearbeitet worden sind oder bei BNFL noch wiederaufgearbeitet werden sollen. In der Spalte „Direkte Endlagerung“ sind die Mengen aufgeführt, die in der Bundesrepublik zunächst zwischengelagert werden müssen und dann endgelagert werden sollen. Bei der Subtraktion der beiden Spalten Wiederaufarbeitung und Direkte Endlagerung von der zugehörigen Gesamtbrennelementmenge kann es zu Differenzen kommen. Die Differenzmengen wurden entweder zur Wiederaufarbeitung, zur Endlagerung oder zur Weiternutzung nach Belgien, Russland, Schweden und Ungarn gebracht.

Kraftwerksstandort	Brennelementanfall		Wiederauf- arbeitung	Direkte Endlagerung
	bis 31.12.2009	ges. Laufzeit		
Atomkraftwerke in Betrieb				
Brockdorf (KBR)	580	1.003	198	805
Grohnde (KWG)	665	1.056	288	768
Emsland (KKE)	598	1.014	113	901
Philippsburg (KKP 2)	659	965	208	757
Neckarwestheim (GKN 2)	522	908	0	908
Gundremmingen (KBR-B)	699	1.017	195	822
Gundremmingen (KBR-C)	669	1.091	185	906
Isar (KKI 2)	550	947	179	768
Grafenrheinfeld (KKG)	734	960	391	569
Atomkraftwerke abgeschaltet				
Brunsbüttel (KKB)	371	464	296	168
Krümmel (KKK)	545	689	324	365
Unterweser (KKU)	796	920	536	384
Biblis (KWB-A)	770	893	427	466
Biblis (KWB-B)	823	946	420	526
Philippsburg (KKP 1)	523	647	391	256
Neckarwestheim (GKN 1)	577	656	447	209
Isar (KKI 1)	596	719	339	380
Atomkraftwerke stillgelegt				
Stade (KKS)	539	539	539	0
Obrigheim (KWO)	352	352	246	100
Mülheim-Kärlich (KMK)	96	96	96	0
Würgassen (KWW)	346	346	346	0
Gundremmingen (KRB-A)	124	124	102	0
Lingen (KWL)	66	66	66	0
Greifswald+Rheinsberg	893	893	283	583
Jülich (AVR), Hamm (THTR)	8	8	0	8

Versuchs-/Prototypreaktoren	171	171	108	0,5
Forschungsreaktoren	?	14,8 (bis 2025)	4,5	8,1
gesamt	13.272	17.504,8	6.727,5	10.657,6

Tabelle 3: Anfall und Entsorgungspfad für bestrahlte Brennelemente in tSM (Schätzung).

Wird das gegenwärtige Referenzkonzept zur endlagerfähigen Konditionierung bestrahlter Leichtwasserreaktor-Brennelemente herangezogen, so entspricht 1 tSM einem Pollux-Gebinde-volumen von 1,83 m³. Das endzulagernde Volumen für diese bestrahlten Brennelemente beträgt dann 19.474 m³. Dazu kommt ein Volumen von etwa 1.900 m³ für die endlagerfähig verpackten Brennelemente aus den beiden Hochtemperaturreaktoren. Das BfS gibt als Volumen für die Forschungsreaktor-Brennelemente 130 m³ an. Dabei kann es sich aber nicht um das Endlagervolumen handeln, da mindestens ein Teil der Brennelemente in den Zwischenlagerbehältern endlagert werden sollen und diese ein erheblich größeres Volumen darstellen.

3.1.2 Wärmeentwickelnde Abfälle aus der Wiederaufarbeitung

Aus Frankreich und Großbritannien sind von der dortigen Wiederaufarbeitung bundesdeutschen Kernbrennstoffes hochradioaktive verglaste Abfälle (HAW-Kokillen) in der Bundesrepublik anzunehmen. Es handelt sich um etwa 3.024 Kokillen aus La Hague und 588 Kokillen aus Sellafield. In der Zahl der Kokillen aus Sellafield ist die Substitution von schwach- und mittelradioaktiven durch hochradioaktive Abfälle berücksichtigt. In der Bundesrepublik wurden bestrahlte Brennelemente in der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe wiederaufgearbeitet. Die dabei angefallenen hochradioaktiven Abfälle wurden 2010 verglast. Es entstanden dabei 140 Kokillen. Das Gesamtkokillenvolumen aus der Wiederaufarbeitung im In- und Ausland beträgt etwa 675 m³.

Die konditionierten Hülsen und Strukturteile aus den für die Wiederaufarbeitung zerlegten Brennelementen zählen nach gegenwärtigem Kenntnisstand ebenfalls zu den wärmeentwickelnden Abfällen. Das Konditionierungsverfahren für diese Abfälle wurde in La Hague umgestellt. Sie sollen jetzt mit Hochdruck in Kokillenform verpresst werden. Die Kokillen sind in Form und Volumen gleich den HAW-Kokillen. Ebenfalls umgestellt wurde das Konditionierungsverfahren für die technologischen Abfälle. Sie wurden bisher zu den gering wärmeentwickelnden Abfällen gezählt. Da sie nunmehr auch, gemeinsam mit den Hülsen und Strukturteilen, mit Hochdruck verpresst werden sollen und damit eine Konzentrierung der Radionuklide stattfindet, ändert sich diese Zuordnung und sie gehören nunmehr zu den wärmeentwickelnden Abfällen. Die Hülsen, Strukturteile und technologischen Abfälle sind nach gegenwärtigem Stand in 5.436 Kokillen (Gesamtkokillenvolumen ca. 755 m³) enthalten, die zur Zwischen- und Endlagerung in 151 Behältern vom Typ TGC 36 in die Bundesrepublik kommen. Die Lieferung dieser Abfälle nach Ahaus (BZA) soll nach neueren Angaben ab 2014 erfolgen.

Die dritte Abfallkategorie aus der Wiederaufarbeitung in La Hague sind verglaste mittelradioaktive Abfälle. Das BfS zählt in einer Veröffentlichung 2010 auch diese Abfälle zu den wärmeentwickelnden. Unabhängig davon, ob dies so zutrifft, sollen diese Abfälle wegen der Konditionierung in Kokillen auf jeden Fall mit den anderen Wiederaufarbeitungsabfällen in das Endlager für hochradioaktive Abfälle eingelagert werden. Gegenwärtig wird von 616 Kokillen mit einem Volumen von 110 m³ ausgegangen. Sie sollen ab 2015 zur Zwischenlagerung nach Gorleben transportiert werden.

3.1.3 Sonstige wärmeentwickelnde Abfälle

Für die nicht wiederaufarbeitungsbedingten wärmeentwickelnden Abfälle wurde vom BfS im Jahr 2010 für die Zukunft ohne Brennelemente ein Anfall von ca. 3.400 m³ prognostiziert. Dabei handelt

es sich um Abfälle, die durch die Konditionierung der Brennelemente in Pollux-Behälter entstehen. Nicht nachvollziehbarer Weise werden vom BfS keine Volumina für hochradioaktive Abfälle angegeben, die beim Abbau des Reaktordruckbehälters und den Kerneinbauten im Rahmen der Stilllegung anfallen.

3.2 Abfälle mit geringer Wärmeentwicklung

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hat bis für das Jahr 2000 jährlich eine relativ detaillierte Abfallerhebung in Form eines Berichtes veröffentlicht. Seitdem erfolgen nur noch unzureichende Veröffentlichungen im Internetauftritt, die keine Analyse zulassen. Im Folgenden können deshalb nur Angaben aus verschiedenen Vorträgen auf Fachtagungen zusammengestellt und die Prognosen des BfS aus dem Internet zugrundegelegt werden.

In Tabelle 4 sind die bis zu den Jahren 2040 bzw. 2080 prognostizierten Mengen angefallener konditionierter Abfälle mit geringer Wärmeentwicklung aufgeführt.

Abfallherkunft	gering wärmeentwickelnde konditionierte Abfälle	
	bis 2040	bis 2080
Atomkraftwerke (Betrieb und Stilllegung)	175.000 m ³	184.000 m ³
Wiederaufarbeitungsanlagen	21.200 m ³	21.600 m ³
kerntechnische Industrie	12.000 m ³	13.000 m ³
Forschungsanlagen	59.000 m ³	62.000 m ³
Landessammelstellen	6.000 m ³	10.700 m ³
gesamt	273.000 m ³	291.000 m ³
Asse	> 100.000 m ³	> 100.000 m ³
Urananlagen	?	?

Tabelle 4: Prognostizierter Anfall gering wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle für die Bundesrepublik Deutschland

3.2.1 Gering wärmeentwickelnde Abfälle aus Atomkraftwerken

Die Prognose des BfS für die aus Atomkraftwerken anfallenden Abfälle beruht noch auf den im Atomgesetz 2002 festgelegten Laufzeiten der Atomkraftwerke. Nach neuem Atomgesetz 2011 dürfen die Reaktoren Grafenrheinfeld, Gundremmingen B, Philippsburg 2, Grohnde, Gundremmingen C, Brokdorf, Isar 2, Emsland und Neckarwestheim 2 zwischen einigen Monaten und vier Jahren länger in Betrieb sein als 2002 vorgesehen. Dem stehen lediglich eine deutlich verkürzte Betriebszeit für Krümmel und eine geringfügig verkürzte Betriebszeit für Unterweser und Philippsburg 1 gegenüber. Die für die Atomkraftwerke prognostizierten Zahlen dürften deshalb eher etwas zu gering sein. Die angegebenen Abfallvolumina enthalten sowohl die Betriebs- als auch die Stilllegungsabfälle.

3.2.2 Gering wärmeentwickelnde Abfälle aus der Wiederaufarbeitung

Die in Tabelle 4 angegebene Abfallmenge für die Wiederaufarbeitung enthält Abfälle aus den Wiederaufarbeitungsanlagen in Karlsruhe und Dounreay. Für die Wiederaufarbeitung bundesdeutscher Brennelemente in La Hague und Sellafield wurde vereinbart, dass keine gering wärmeentwickelnden Abfälle angenommen werden müssen.

Mehr als 99 % der angegebenen Abfälle stammen aus Karlsruhe. In Dounreay lagern zurzeit etwa 86 m³ konditionierte radioaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung von Forschungsreaktor-Brennelementen. Um die Endlagerfähigkeit dieser Abfälle zu erreichen, müssen sie zusätzlich verpackt werden. Möglich wäre die Nutzung von MOSAIK-Behältern. Dabei würde ein Endlagervolumen von ca. 200 m³ entstehen.

3.2.3 Sonstige gering wärmeentwickelnde Abfälle

Die vom BfS prognostizierten Volumina von nicht aus der Wiederaufarbeitung stammenden Abfällen sind in Tabelle 4 verursacherspezifisch aufgeführt.

Neben den Atomkraftwerken könnte der größte Abfallverursacher die Asse werden. Kann die aus Sicherheitsgründen geplante Rückholung der radioaktiven Abfälle durchgeführt werden, fallen über 100.000 m³ neu konditionierter gering wärmeentwickelnder Abfälle an.

Die im ERAM bereits eingelagerten Abfälle sind hier nicht berücksichtigt. Es ist jedoch nicht ausgeschlossen, dass ein Teil der dort bisher nur zwischengelagerten Abfälle zurückgeholt werden müssen. Ggf. handelt es sich aber um ein geringes Volumen.

Nicht bekannt ist bisher das Volumen von uranhaltigen Stoffen oder Uran aus der Brennelementfabrik Lingen, der Urananreicherungsanlage Gronau und den Wiederaufarbeitungsanlagen La Hague und Sellafield, die zu einem späteren Zeitpunkt als radioaktiver Abfall deklariert werden müssen. Es dürfte sich dabei um mehrere 10.000 m³ konditionierten Abfalls handeln.

4. Auswirkungen des Abfallanfalls auf die „Entsorgungs“anlagen

Bei den folgenden Betrachtungen wird der offizielle gegenwärtige Planungsstand für den Umgang mit den radioaktiven Abfällen zugrundegelegt. Für die Genehmigungssituation der einzelnen Anlagen ist der Sachstand im August 2011 berücksichtigt.

4.1 Bestrahlte Brennelemente

In der Bundesrepublik sind bestrahlte Brennelemente aus vier Reaktortypen zu entsorgen. Dabei handelt es sich um ca. 10.100 tSM in Form von nicht der Wiederaufarbeitung zugeführten Leichtwasserreaktor-Brennelementen, 583 tSM aus WWER-Reaktoren, ca. 8 tSM in Form von Kugelbrennelementen aus Hochtemperaturreaktoren und ca. 8 tSM aus Forschungsreaktoren.

4.1.1 Konditionierungsanlage für bestrahlte Brennelemente

Für die Endlagerung der bestrahlten Brennelemente ist nach gegenwärtigem Konzept eine Konditionierung mit Handhabung der Brennelemente erforderlich. Leichtwasserreaktor-Brennelemente können unbearbeitet oder in Brennstäbe zerlegt in Büchsen eingebracht werden. Die Büchsen kommen dann je nach Endlagerkonzept entweder in Pollux-Behälter oder in BSK-3-Kokillen. Behälter bzw. Kokille werden verschweißt. In der Entwicklung ist ein Konzept zur Endlagerung der Brennelemente in den Transport- und Lagerbehältern (überwiegend CASTOR). Hier wäre voraussichtlich nur die Verfüllung der Hohlräume im Behälter als Konditionierungsmaßnahme erforderlich. Das bisherige Referenzkonzept

ist die Zerlegung in Brennstäbe, die in Büchsen und diese wiederum in Pollux-Behälter eingebracht werden.

Für die genannten Arbeiten mit Handhabung der Brennelemente wurde die Pilot-Konditionierungsanlage in Gorleben (PKA) errichtet. Diese Anlage erhielt zwar in vollem Umfang eine Betriebsgenehmigung, der Betrieb ist allerdings gegenwärtig mindestens bis ein Endlagerstandort feststeht durch eine Auflage auf die Reparatur von beladenen Brennelement-Behältern beschränkt. Durch eine spätere Genehmigungsergänzung und entsprechender Nachrüstung könnte in der PKA auch die Verfüllung von CASTOR erfolgen.

Prinzipiell kann die Konditionierung von bestrahlten Leichtwasserreaktor-Brennelementen im gesamten Zeitraum der Zwischenlagerung (also nach einer gewissen Abklingzeit auch vor der Behälterlagerung im Lagerbecken des Atomkraftwerkes) bis zur Endlagerung (in einer Heißen Zelle am Endlagerstandort) durchgeführt werden. Bisher ist die Konditionierung nach einer längeren Behälterlagerung in der PKA am vermeintlichen Endlagerstandort Gorleben vorgesehen. Es ist gegenwärtig nicht von einem baldigen Beginn der Konditionierung auszugehen.

Für die WWER-Brennelemente ist bisher kein Konditionierungsverfahren entwickelt worden, bzw. ist es zumindest auch in der Fachöffentlichkeit nicht bekannt. Die Hochtemperaturreaktor-Brennelemente befinden sich in Kannen in Transport- und Lagerbehältern und sollen nach derzeitigem Stand nicht weiter konditioniert werden. Die Forschungsreaktor-Brennelemente befinden sich ebenfalls in Transport- und Lagerbehältern oder sollen in diese geladen werden. Über eine weitergehende Konditionierung ist – soweit bekannt – noch nicht entschieden. Die Konditionierung aller drei Brennelementtypen könnte, nach entsprechender Genehmigungsergänzung, in der PKA erfolgen.

Die PKA ist für die Konditionierung von 35 tSM pro Jahr genehmigt. Die Kapazität könnte allenfalls auf 100 – 150 tSM erhöht werden. Für die zur direkten Endlagerung vorgesehene Menge von mehr als 10.000 tSM in Brennelementen (siehe Kapitel 3.1) würde damit ein Zeitraum von über 100 Jahre für deren Konditionierung benötigt. Deshalb ist die Errichtung einer größeren Konditionierungsanlage wahrscheinlich. Dies wird ggf. aber erst nach endgültiger Festlegung des Endlagerstandorts und in Abhängigkeit von der Weiterentwicklung des Einlagerungskonzepts in das Endlager geschehen.

4.1.2 Zwischenlager für bestrahlte Brennelemente

Für mehr als 10.000 tSM in Form von Brennelementen aus Leichtwasserreaktoren ist die Direkte Endlagerung in der Bundesrepublik Deutschland vorgesehen. Unabhängig vom Zeitpunkt der Inbetriebnahme eines Endlagers müssen die bestrahlten Brennelemente je nach Abbrand und eingesetztem Kernbrennstoff (Uran oder MOX) nach ihrer Entnahme aus dem Reaktorkern 30 bis 50 Jahre zwischengelagert werden. Die Notwendigkeit hierzu besteht auf Grund der durch den radioaktiven Zerfall bedingten hohen Wärmeentwicklung. Zur Einlagerung in ein Endlager dürfen aus geologischen Gründen (Erhalt der Barriereigenschaften des Gesteins) bestimmte Temperaturen nicht überschritten werden.

Die Brennelemente müssen nach ihrer Entladung aus dem Reaktorkern zunächst für wenige Jahre in den Lagerbecken der Reaktoren gelagert werden. Danach werden sie in Transport- und Lagerbehälter geladen und in Hallen trocken zwischengelagert. Gegenwärtig werden Behälter vom Typ CASTOR® V/19 für Brennelemente aus Druckwasserreaktoren und CASTOR® V/52 für Brennelemente aus Siedewasserreaktoren genutzt. Für diese Behältertypen beträgt die vorherige Lagerung in den Lagerbecken etwa fünf Jahre. Möglicherweise werden in Zukunft auch andere Behältertypen eingesetzt, für die aber ähnliche Randbedingungen gelten werden.

Die Behälterzwischenlagerung war ursprünglich in zentralen Zwischenlagern vorgesehen. Hierzu wurden das Transportbehälterlager in Gorleben (TBL) und das Brennelement-Zwischenlager in Ahaus (BZA) eingerichtet. In den Jahren 1995 bis 1998 wurden in das TBL fünf und in das BZA sechs CASTOR-Behälter mit Brennelementen eingelagert. Weitere Einlagerungen waren dann zunächst aufgrund eines von der Bundesregierung angewiesenen Transportstopps wegen des Skandals mit kontaminierten Brennelementbehältern nicht möglich.

Durch die im Jahr 2000 im Rahmen der Vereinbarung der damaligen Bundesregierung mit den Atomkraftwerksbetreibern beschlossene Aufgabe der Wiederaufarbeitung von bestrahlten Brennelementen war absehbar, dass die Kapazität dieser beiden Lager nicht ausreicht. Aus diesem Grund waren perspektivisch neue Zwischenlager erforderlich. Um die Transporte bestrahlter Brennelemente zu vermeiden, wurden diese neuen Zwischenlager direkt an den Standorten der Atomkraftwerke eingerichtet. Eine Ausnahme bildete der Standort Obrigheim, an dem ein externes Nasslager existiert. In diesem Nasslager befinden sich die verbliebenen Brennelemente auch noch 2011. Der Antrag für ein Behälterlager wurde erst verspätet gestellt und ist derzeit noch nicht genehmigt.

Die genehmigten Zwischenlagerkapazitäten reichen an allen Standorten für die im aktuellen Atomgesetz festgelegten Laufzeiten der Atomkraftwerke aus.

Die WWER-Brennelemente aus den Reaktoren in Greifswald und Rheinsberg lagern in 65 Transport- und Lagerbehältern vom Typ CASTOR[®] WWER 440/84 im Zwischenlager Nord in Greifswald (ZLN). Die genehmigte Zwischenlagerkapazität von 620 tSM ist ebenso wie die Stellplatzzahl für alle WWER-Brennelemente ausreichend.

Die Hochtemperaturreaktor-Brennelemente lagern in 457 Transport- und Lagerbehältern vom Typ CASTOR[®] AVR/THTR in den Zwischenlagern in Ahaus und Jülich. Die 305 im Brennelement-Zwischenlager Ahaus (BZA) befindlichen Behälter benötigen wegen ihrer Stapelbarkeit nur 50 Stellplätze. Wegen Auslaufen der Betriebsgenehmigung des Jülicher Lagers wird gegenwärtig überlegt, ob die dort gelagerten Kugelbrennelemente nach Ahaus in das dortige BZA umgelagert werden sollen oder die Genehmigung in Jülich verlängert wird. Da keine weiteren Brennelemente dieses Typs anfallen und im BZA keine Leichtwasserreaktor-Brennelemente mehr eingelagert werden sollen, sind in beiden Fällen keine Probleme mit der Zwischenlagerkapazität zu erwarten.

Die bereits angefallenen Forschungsreaktor-Brennelemente aus Rossendorf lagern in 18 Transport- und Lagerbehältern vom Typ CASTOR[®] MTR2 im BZA. Die noch in anderen Forschungsreaktoren anfallenden Brennelemente, die nicht zum Verbleib in die USA gebracht werden, sollen ebenfalls in diesen Behältern und wahrscheinlich auch im BZA zwischengelagert werden. Hierfür werden etwa 65 Behälter benötigt. Auch dieser Behälterttyp kann gestapelt werden (zwei Lagen). Wie viel Stellplätze benötigt werden, hängt von der Wärmeentwicklung und dem deshalb erforderlichen Abstand zwischen den Behältern ab. Es werden höchstens 42 Stellplätze sein. Auch mit diesen Behältern wäre die Kapazität des für Brennelemente vorgesehenen BZA-Teiles von 210 Stellplätzen noch nicht ausgelastet.

4.1.3 Endlager für bestrahlte Brennelemente

Die bestrahlten Brennelemente sollen nach der zum Abklingen erforderlichen Zwischenlagerung in ein geologisches Endlager eingebracht und so gut wie möglich von der Biosphäre isoliert werden. Von den bisher geplanten Endlagerstandorten ist der Salzstock von Gorleben nach dem Willen der AKW-Betreiber und der gegenwärtigen Bundesregierung für die Endlagerung von Brennelementen vorgesehen. Der Salzstock wird offiziell auf seine Eignung erkundet. Tatsächlich sind aber bereits große Teile eines Bergwerks zur Einlagerung des Atommülls errichtet.

Erst in letzter Zeit wird aufgrund politischer Veränderungen parallel zur Weitererkundung des Salzstockes Gorleben wieder der mögliche Beginn einer Suche nach anderen Standorten diskutiert. Dabei könnten auch die Empfehlungen des von der SPD/Grünen-Bundesregierung 1999 eingesetzten Arbeitskreises Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AkEnd) wieder aufgegriffen werden. Ein neues Standortsuchverfahren ist nach Meinung vieler Experten, nicht nur geologischer Fachrichtungen, erforderlich, da Gorleben in mehrfacher Hinsicht ungeeignet ist. Ein relevanter Bedarf zur Endlagerung von Brennelementen besteht erst in ca. 20 Jahren. Deshalb ist für eine Standortsuche genügend Zeit, wenn möglichst zeitnah damit begonnen wird.

Für die Einlagerung der Brennelemente in das Endlager gibt es gegenwärtig drei Konzepte:

- Streckeneinlagerung von Pollux-Behältern, in denen sich in Büchsen zerlegte oder unzerlegte Brennelemente befinden.
- Bohrlocheinlagerung von BSK-3-Kokillen, in denen sich zerlegte Brennelemente befinden.
- Streckeneinlagerung der CASTOR-Behälter, in denen die Brennelemente belassen und die Hohlräume verfüllt sind.

Für die beiden zuerst genannten Konzepte geht der zukünftige Betreiber des Endlagers, die Deutsche Gesellschaft für den Betrieb von Endlagern (DBE), davon aus, dass die sicherheitstechnische Machbarkeit nachgewiesen ist. Das CASTOR-Konzept wird gegenwärtig im Auftrag der Atomkraftwerksbetreiber von der Gesellschaft für Nuklearservice (GNS) bis zur Einsatzreife weiterentwickelt.

Die Bundesregierung geht davon aus, dass die zur Endlagerung vorgesehenen Salzgesteinsbereiche groß genug sind, um alle Brennelemente aufzunehmen.

Der Endlagerstandort, ob Gorleben oder ein anderer, wird außer vom Betrieb des Endlagers und ggf. vom Betrieb der Konditionierungsanlage auch durch Transporte erheblichen Belastungen ausgesetzt sein. Allein für die bestrahlten Brennelemente müssen mehr als 1.000 Transport- und Lagerbehälter zum Standort transportiert werden. Sollte die Konditionierung der Brennelemente an einem anderen als den Endlagerstandort erfolgen und Pollux-Behälter eingesetzt werden, ist mehr als eine Verdopplung der Transportzahl zu erwarten. Stehen Konditionierungsanlage und ein einzurichtendes Pufferlager wie in Gorleben nicht auf dem Gelände des Endlagers, ist unmittelbar vor der Einlagerung in das Endlager jeweils ein weiterer Transport über öffentliche Straßen erforderlich.

4.2 Abfälle mit Wärmeentwicklung

Aus der ausländischen Wiederaufarbeitung deutscher Brennelemente werden verglaste Abfälle mit einem Nettovolumen von etwa 650 m³ in die Bundesrepublik geliefert. Hinzu kommen ca. 25 m³ aus der Verglasung der hochradioaktiven Abfälle aus der vor längerer Zeit stillgelegten Wiederaufarbeitungsanlage in Karlsruhe.

Aus der Wiederaufarbeitung in La Hague ist zusätzlich mit ca. 755 m³ Kokillenvolumen für mit Hochdruck verpresste Hülsen, Strukturteile und technologische Abfälle sowie mit ca. 110 m³ Kokillenvolumen für mittelradioaktive verglaste Abfälle zu rechnen.

Das BfS gibt das Volumen sonstiger wärmeentwickelnder Abfälle mit 3.400 m³ an. Dabei sind aber offenbar noch keine entsprechenden Abfälle aus der Stilllegung von Atomkraftwerken (evtl. Teile von Reaktordruckbehältern und Kerneinbauten) berücksichtigt.

4.2.1 Konditionierungsanlage für wärmeentwickelnde Abfälle

Die hochradioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung im Ausland sind verglast und befinden sich in einer Stahkokille. Das heißt, sie sind bereits konditioniert. Für die entsprechenden Abfälle in der Wiederaufbereitungsanlage Karlsruhe wurde im Forschungszentrum Karlsruhe eine Verglasungsanlage errichtet. Der flüssige Abfall wurde mit ca. 50 t Glas in 140 Kokillen abgefüllt.

Die anderen wärmeentwickelnden Abfälle aus der Wiederaufarbeitung in La Hague (Hülsen, Strukturteile, technologische Abfälle und mittlradioaktive verglaste Abfälle) sind ebenfalls in Kokillenform konditioniert, wenn sie zur Zwischenlagerung in die Bundesrepublik geliefert werden.

Für alle Wiederaufbereitungsabfälle in Kokillenform sind zunächst keine weiteren Konditionierungsschritte vorgesehen. Es ist derzeit nicht festgelegt, ob sie in dieser Form endgelagert oder noch in Behälter verpackt werden sollen. Referenzkonzept ist momentan die direkte Einlagerung in tiefe Bohrlöcher im Endlager. Hierzu müssten die Kokillen jedoch zunächst in einen Abschirmbehälter geladen werden, in dem sie untertage gebracht werden.

In der PKA in Gorleben können sowohl Kokillen in Endlagerbehälter verpackt als auch in Abschirmbehälter eingebracht werden. Sollte Gorleben nicht Endlagerstandort werden, könnten sowohl Verpackung als auch Umladen in einen Abschirmbehälter in einer noch zu konzipierenden Heißen Zelle am neuen Endlagerstandort vorgenommen werden.

Zur Konditionierung anderer wärmeentwickelnder Abfälle liegen keine Angaben vor.

4.2.2 Zwischenlager für wärmeentwickelnde Abfälle

Eine Endlagerung der Glaskokillen mit hochradioaktiven Abfällen kann aus physikalischen und geologischen Gründen erst 30 bis 50 Jahre nach ihrer Herstellung erfolgen. Daher ist eine längerfristige Zwischenlagerung notwendig. Für die Kokillen mit Hochdruck verpressten Abfällen und mit mittlradioaktiven verglasten Abfällen ist keine so langfristige Zwischenlagerung erforderlich.

Für die verglasten hoch- und mittlradioaktiven Abfälle aus La Hague und Sellafield werden zur Zwischenlagerung 151 Transport- und Lagerbehälter verschieden Typs eingesetzt. Für die noch zu erwartenden 11 Behälter aus Frankreich und 21 Behälter mit hochradioaktiven Abfällen aus England wird das der Typ CASTOR[®] HAW 28 M sein. Für die mittlradioaktiven Abfälle wäre beispielsweise der Einsatz von dem CASTOR[®] 20/28 CG ähnlichen 22 Behältern möglich.

In der Bundesrepublik hat gegenwärtig nur das TBL in Gorleben eine Genehmigung zur Zwischenlagerung wärmeentwickelnder verglaster Abfälle. Die Genehmigung beschränkt sich bisher auf die hochradioaktiven Abfälle aus La Hague. Die Verfahren zur Ergänzung der Genehmigung für die anderen verglasten Abfälle werden zurzeit vorbereitet. Der erste Transport ist für 2014 geplant.

Die Lagerkapazität im TBL ist für alle verglasten Abfälle ausreichend. Allerdings existieren für das TBL Probleme mit der Einhaltung des Genehmigungswertes für die Neutronen- und Gammastrahlung am Zaun. Es gibt starke Hinweise darauf, dass der zulässige Wert bereits für 2011 nicht eingehalten werden kann. Sollte sich dies bestätigen, dürfen zunächst keine weiteren Behälter eingelagert werden. Ob es Abhilfemaßnahmen gibt, die keine sicherheitstechnischen Nachteile verursachen, ist zurzeit unklar.

Mit und ohne dem Problem der Einhaltung des Strahlungsgenehmigungswertes könnte das Verursacherprinzip besser erfüllt und der Tatsache, dass Gorleben nicht als Endlagerstandort feststeht, besser berücksichtigt werden, wenn die Abfälle jeweils dem Verursacher-AKW zugeordnet und im

entsprechenden Standort-Zwischenlager gelagert würden. Bei entsprechender Beantragung wäre nach der Genehmigung auch die Zwischenlagerung dieser Behälter an den Reaktorstandorten sicherheitstechnisch und kapazitätsmäßig möglich.

Die Zuordnung zu den Atomkraftwerken wäre auch für die verpressten mittelradioaktiven Abfälle aus La Hague möglich. Für diese ist allerdings die Zwischenlagerung in Ahaus (BZA) vorgesehen. Die ersten Behälter sollen 2014 angeliefert werden. Für Transport und Zwischenlagerung wurde der Behältertyp TGC 36 neu entwickelt. In 151 Behältern befinden sich dann jeweils 36 Kokillen. Die Zwischenlagerkapazität ist hierfür sowohl in Ahaus als auch bei einer Verteilung auf die AKW-Standort-Zwischenlager ausreichend.

Die hochradioaktiven und damit wärmeentwickelnden verglasten Abfälle aus der ehemaligen Wiederaufarbeitungsanlage im Forschungszentrum Karlsruhe wurden nach Greifswald transportiert und dort im Zwischenlager Nord (ZLN) eingelagert. Es handelt sich um fünf Behälter vom Typ CASTOR[®] 20/28 CG.

Aussagen zu Kapazitätsproblemen für die Zwischenlagerung von nicht aus der Wiederaufarbeitung stammenden wärmeentwickelnden Abfällen sind aufgrund der schlechten Informationslage nicht möglich.

4.2.3 Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle

Bezüglich des Endlagerstandortes gelten die gleichen Aussagen wie für die bestrahlten Brennelemente (Kapitel 4.1.3). Für die hochradioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung ist auch eine ähnliche Zeitperspektive zu berücksichtigen, bevor sie endgelagert werden können. Die übrigen wärmeentwickelnden Abfälle könnten auch vor Ablauf von 30 Jahren endgelagert werden. Bei ausreichender Zwischenlagerkapazität besteht hierzu aber keine Notwendigkeit.

Bei einem Endlagerstandort Gorleben müssten mit Stand August 2011 noch 59 CASTOR-Behälter und 151 Behälter vom Typ TGC 36 mit Abfällen aus der Wiederaufarbeitung in den Bereich TBL und PKA transportiert werden. Dazu kommen mehrere 100 Behälter mit den wärmeentwickelnden Abfällen aus anderen Anlagen. Ist das Endlager annahmefähig, müssen die genannten Behälter plus die 97 bereits im TBL lagernden Behälter über öffentliche Straßen vom Bereich TBL/PKA zum Endlager transportiert werden.

Wird ein anderer Endlagerstandort festgelegt, müssen dorthin alle oben genannten Behälter mit wärmeentwickelnden Abfällen antransportiert werden. An diesem Standort würde ein Pufferlager für den Antransport und ggf. die Konditionierungsanlage auf dem Endlagergelände errichtet werden, sodass am Standort kein zweiter Transport über öffentliche Straßen erforderlich wären.

4.3 Abfälle mit geringer Wärmeentwicklung

Nach Tabelle 4 fallen in der Bundesrepublik laut Prognose des BfS durch die Nutzung der Atomenergie und des damit verbundenen Betriebes von Anlagen insgesamt 291.000 m³ Abfälle mit geringer Wärmeentwicklung an. Für den Fall der Rückholung aller Abfälle aus der Asse kämen mehr als 100.000 m³ hinzu. Außerdem müssen mit großer Wahrscheinlichkeit auch uranhaltige Stoffe aus der Brennelementfertigung in Lingen, der Urananreicherung in Gronau sowie aus der Wiederaufarbeitung, die bisher noch nicht entsprechend deklariert sind, als radioaktive Abfälle angesehen werden. Es wird sich vermutlich um mehrere 10.000 m³ handeln.

4.3.1 Konditionierungsanlagen für Abfälle mit geringer Wärmeentwicklung

Zur Konditionierung von radioaktiven Abfällen mit geringer Wärmeentwicklung in der Bundesrepublik stehen zentrale und an den AKW-Standorten befindliche Anlagen zur Verfügung. Zentrale Konditionierungseinrichtungen unterschiedlicher Art befinden sich u.a. in den Forschungsanlagen Karlsruhe und Jülich, im ZLN in Greifswald, bei Siempelkamp in Krefeld sowie bei der GNS in Duisburg. Für die Verbrennung von radioaktiven Abfällen sowie für das Einschmelzen von aktivierten und/oder kontaminierten Metallkomponenten wird auch die Anlage in Studsvik (Schweden) genutzt.

Als weitere zentrale Konditionierungsanlage käme theoretisch die Pilot-Konditionierungsanlage in Gorleben in Betracht. Nach dem genehmigten Aufgabenkonzept ist allerdings nur die Konditionierung geringer Mengen externer Abfälle vorgesehen. Eine neue Anlage zur Nachkonditionierung von alten, in Gorleben gelagerten Abfällen soll dort gebaut werden.

Eine neue Konditionierungsanlage müsste im Falle der Rückholung für die Abfälle aus der Asse gebaut werden. Gleiches gilt ggf. für die uranhaltigen Abfälle.

4.3.2 Zwischenlager für Abfälle mit geringer Wärmeentwicklung

Die Zwischenlagerkapazitäten für radioaktive Abfälle mit geringer Wärmeentwicklung sind in den letzten Jahren stark vergrößert worden. Im BZA in Ahaus und bei der GNS in Duisburg wurden beispielsweise zentrale Möglichkeiten zur Zwischenlagerung von jeweils 10.000 m³ oder mehr geschaffen. An den AKW-Standorten, an denen Reaktoren stillgelegt werden, werden in der Regel neue Zwischenlager errichtet. In ihnen werden die noch am Standort vorhandenen Betriebsabfälle und die bei der Stilllegung anfallenden Abfälle gelagert.

Für den Fall der Rückholung soll für die Abfälle aus der Asse ein eigenes Zwischenlager mit ausreichender Kapazität errichtet werden. Für die uranhaltigen, noch nicht als Abfälle deklarierten Stoffe gibt es an den Standorten Lingen und Gronau Zwischenlager. Das, wenn nicht anders verwertbar, ebenfalls als Abfall zu deklarierende Uran aus der Wiederaufarbeitung lagert gegenwärtig in Frankreich und England.

Inwieweit die Zwischenlagerkapazität in der Bundesrepublik für die Abfälle mit geringer Wärmeentwicklung ausreicht, kann ohne aufwändige Recherchen nicht beurteilt werden. Das BfS hat Zahlen zu den bestehenden und in Planung befindlichen Zwischenlagerkapazitäten zuletzt für das Jahr 2000 veröffentlicht. Es gibt aber gegenwärtig keine Hinweise, dass es Probleme mit Zwischenlagerkapazitäten in größerem Umfang gibt. Diese können, abgesehen von Einzelfällen, nur auftreten, wenn an Stilllegungsstandorten kein neues Zwischenlager für gering wärmeentwickelnde Abfälle eingerichtet wird.

4.3.3 Endlager für Abfälle mit geringer Wärmeentwicklung

In der Bundesrepublik Deutschland ist für die Endlagerung von radioaktiven Abfällen mit geringer Wärmeentwicklung bisher nur das Endlager Konrad vorgesehen. Das ehemalige Erzbergwerk ist für die bisher angefallenen Abfallarten genehmigt und wird zurzeit dafür umgebaut. Gegen die Genehmigung bzw. Planfeststellung wurde geklagt. Die Klagen wurden im Wesentlichen aus formalen Gründen abgewiesen. Überhaupt nicht nachvollziehbar ist dabei insbesondere das Urteil des Bundesverfassungsgerichtes, dass gegen den aus Sicht der Kläger nicht erbrachten Nachweis der

Langzeitsicherheit nicht geklagt werden kann, da eine Familie kein Recht hätte stellvertretend für ihre Nachkommen zu klagen.

Der Zeitpunkt der Inbetriebnahme von Konrad wird gegenwärtig mit 2019 angegeben. Die genehmigte Kapazität beträgt 300.000 m³. Diese Kapazität ist für alle bisher zwischengelagerten und alle durch die Atomenergienutzung prognostizierten noch anfallenden radioaktiven Abfällen ausreichend.

Gegenwärtig wird davon ausgegangen, dass während der gesamten Betriebszeit des Endlagers wöchentlich etwa 50 Transporteinheiten (LKW- oder Bahnwaggonladungen) angeliefert werden. Insgesamt bedeutet die vom BFS bisher prognostizierte Abfallmenge knapp 67.000 Transporteinheiten, die zum Endlager Konrad transportiert werden müssen.

Für die rückzuziehenden Abfälle aus der Asse gilt die Genehmigung für Konrad aufgrund der Abfalleigenschaften und der großen Menge nicht. Diese Abfälle müssen in ein anderes Endlager eingebracht oder die Genehmigung für Konrad entsprechend geändert werden. Ob letzteres möglich ist, ist allerdings wegen der Zusammensetzung der Abfälle zweifelhaft. Werden für die Abfälle aus der Asse ähnliche Behälterkonzepte für die Endlagerung unterstellt, wie sie für Konrad vorgesehen sind, müssen weit über 20.000 Transporteinheiten zum Endlager gebracht werden.

Werden die uranhaltigen Stoffe aus der Brennelementherstellung, der Urananreicherung und/oder der Wiederaufarbeitung als radioaktive Abfälle deklariert, können diese nicht in Konrad endgelagert werden. Der Langzeitsicherheitsnachweis lässt die zusätzliche Einlagerung größerer Uranmengen nicht zu. Diese Abfälle müssen also in ein anderes Endlager kommen. Bisher wird als mögliches Endlager das für wärmeentwickelnde Abfälle genannt. Bei den endzulagernden Abfällen kann es sich um weit über 10.000 Transporteinheiten handeln.

Die Abfälle mit geringer Wärmeentwicklung könnten auch alle gemeinsam mit den wärmeentwickelnden Abfällen im dafür vorgesehenen Endlager endgelagert werden (Ein-Endlager-Konzept).

5. Zusammenfassung

Bis Ende 2008 sind in der Bundesrepublik Deutschland aus der kommerziellen Nutzung der Atomenergie zur Stromerzeugung unter Berücksichtigung aller Abfallkategorien ca. 225.000 m³ radioaktiver Abfälle angefallen. Knapp 90.000 m³ schwach- und mittelradioaktive Abfälle sind davon in der Asse und in Morsleben endgelagert worden. Nach der Katastrophe in Fukushima wurde 2011 vom Deutschen Bundestag die Beendigung der Nutzung der Atomenergie zur Stromproduktion beschlossen. Die daraufhin im Atomgesetz festgelegten Laufzeiten für die Reaktoren bedeuten, dass sich die Menge der bereits in der Bundesrepublik Deutschland zwischengelagerten bestrahlten Brennelemente noch um ca. zwei Drittel erhöhen wird. Insgesamt ist bis zum Jahr 2040 ein Anfall von ca. 27.000 m³ wärmeentwickelnder Abfälle (einschließlich Brennelemente) und knapp 300.000 m³ gering wärmeentwickelnde Abfälle zu prognostizieren, die endgelagert werden müssen. Dazu kommen im Falle der Rückholung der Abfälle aus der Asse und der Deklaration von uranhaltigen Stoffen als Abfälle vermutlich mehr als 150.000 m³ weitere gering wärmeentwickelnde Abfälle.

Von den bis zum Ende der Laufzeiten insgesamt angefallenen 17.500 tSM bestrahlter Brennelemente sind bzw. werden nach gegenwärtigem Stand ca. 6.700 tSM wiederaufgearbeitet. Eine Direkte Endlagerung in der Bundesrepublik wird für ca. 10.600 tSM notwendig sein. Die Brennelemente müssen jedoch zunächst aus physikalischen und geologischen Gründen 30 bis 50 Jahre zwischengelagert werden. Die gegenwärtig vorhandenen Kapazitäten an den Standorten sowie in Gorleben und Ahaus reichen hierzu aus.

Das Konditionierungskonzept für die Brennelemente ist noch nicht verbindlich festgelegt. Sollte für die Konditionierung eine zentrale Anlage sinnvoll sein, so sollte diese erst in Betrieb genommen werden, wenn das Wirtsgestein und der Standort für die Endlagerung feststehen. Bisher ist als Endlagerstandort Gorleben vorgesehen. Die Eignung wird jedoch kontrovers diskutiert. In der letzten Zeit hat sich deshalb die Diskussion um eine neue Standortsuche wieder verstärkt.

Die Abfälle mit Wärmeentwicklung, die aus der Wiederaufarbeitung stammen, sollen endlagerfähig konditioniert in die Bundesrepublik geliefert werden. Zwischenlagerkapazitäten sind hierfür in TBL und BZA vorhanden. Zu wärmeentwickelnden Abfällen aus anderen Bereichen können mangels Informationen keine Kapazitätsaussagen getroffen werden. Alle wärmeentwickelnden Abfälle sollen in das gleiche Endlager wie die Brennelemente eingelagert werden.

Erfolgt ein Zubau von Zwischenlagerkapazität für die gering wärmeentwickelnden Abfälle an den Standorten der AKW spätestens, wenn sie stillgelegt werden, reichen die Kapazitäten aus. Als Endlager für diese Abfälle ist gegenwärtig das ehemalige Eisenerzbergwerk Konrad vorgesehen. Die Inbetriebnahme dieses geplanten Endlagers Konrad erfolgt frühestens 2019. Die rückgeholten Abfälle aus der Asse und die ggf ebenfalls endzulagernden uranhaltigen Abfälle können nicht in Konrad endgelagert werden. Diese Abfälle müssen entweder mit in das Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle oder es muss ein weiteres Endlager gesucht werden.

Für den Transport des Atommülls zum Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle sind für mehr als 1.300 Großbehälter (z.B. vom Typ CASTOR) die gleiche Anzahl von LKW oder Eisenbahnwaggons erforderlich. Für die gering wärmeentwickelnden Abfälle sind insgesamt bereits ohne die Abfälle aus der Asse und den uranhaltigen Abfällen ca. 67.000 Transporteinheiten zu erwarten, das bedeutet mehrere 10.000 LKW und Eisenbahnwaggons.

Literatur

- Drucksachen aus Bundestag und Niedersächsischem Landtag der letzten Jahre.
- Vorträge auf der Jahrestagung Kerntechnik in den letzten Jahren.
- Veröffentlichungen und Internetauftritt des Bundesamt für Strahlenschutz.
- Berichte der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit zum Anfall von bestrahlten Brennelementen 2008 und 2009.

Das Abkürzungsverzeichnis müsste überprüft werden, wenn die anderen Beiträge für das Heft fertig sind. Ich habe nicht alle Abkürzungen drin.

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
AKEnd	Arbeitskreis Endlager des Bundesumweltministeriums
AKW	Atomkraftwerk
BAM	Bundesanstalt für Materialprüfung
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BGS	Bundesgrenzschutz
BNFL	British Nuclear Fuel Limited (Betreiberin der WAA Sellafield)
BRD	Bundesrepublik Deutschland
BUND	Bund für Umweltschutz und Naturschutz Deutschland
BZA	Brennelement-Zwischenlager Ahaus
COGEMA	Compagnie Generale des Materies Nucleaires (Betreiberin WAA LaHague)
Cs	Cäsium
ERAM	Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben
EVU	Energieversorgungs-Unternehmen
HAW	high active waste – hochradioaktiver Müll
KKR	Rheinsberg
m ³	Kubikmeter
MOX	Mischoxid
MW	Megawatt
Np	Neptunium
PKW	Pilot-Konditionierungsanlage
Pu	Plutonium
S.	Seite
SM	Schwermetall
SPD	Sozialdemokratische Partei Deutschlands
Sr	Strontium
t	Tonnen
THTR	Thorium-Hochtemperaturreaktor
TBL	Transportbehälterlager
U	Uran
WWER	russischer Reaktortyp, z. B. Greifswald
WAA	Wiederaufarbeitungsanlage
WAK	Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe
ZAB	Greifswald
z.B.	zum Beispiel
ZLN	Greifswald
z.T.	zum Teil
z. Zt.	Zur Zeit