

**Geschäftsstelle**

Kommission  
Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe  
gemäß § 3 Standortauswahlgesetz

Arbeitsgruppe 3  
Entscheidungskriterien sowie Kriterien  
für Fehlerkorrekturen

---

**Bestand und Prognose hochradioaktiver Abfälle unter Berücksichtigung  
von Anforderungen der Endlagerung**

Literaturstudie / Empfehlungen des Niedersächsischen Ministeriums für  
Umwelt, Energie und Klimaschutz vom 6. Mai 2015

---

<p><b>Kommission</b> <b>Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe</b> <b>K-Drs. /AG3-18</b></p>
---



**Niedersächsisches Ministerium  
für Umwelt, Energie und Klimaschutz**

**Bestand und Prognose  
hochradioaktiver Abfälle  
unter Berücksichtigung von Anforderungen  
der Endlagerung**

**Literaturstudie / Empfehlungen**

Hannover, 6. Mai 2015

Bearbeiter: Joachim Bluth, Referat 41

**Gliederung**

1	Einleitung	4
2	Anlass und Zielsetzung der Literaturstudie	5
3	Verwendete Materialien	7
3.1	Nationales Entsorgungsprogramm (NaPro)	7
3.2	Verzeichnis radioaktiver Abfälle; Sicherheitsanforderungen des BMUB	9
3.4	Gemeinsames Übereinkommen (Joint Convention)	10
3.5	Veröffentlichte Berichte der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH und sonstige Literatur	11
3.6	Unterlagen der EVU und der GNS	12
4	Abgebrannte Brennelemente	12
4.1	Anforderungen der Endlagerung	12
4.2	Zusammenstellung der anforderungsgerechten Daten	16
4.2.1	Massen und Volumina	16
4.2.2	Radionuklide und metallische Bestandteile der LWR-BE	20
5	Hochradioaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung	24
5.1	Anforderungen der Endlagerung	24
5.2	Zusammenstellung der anforderungsgerechten Daten	25
6	Zwischenergebnis	26
7	Rechtsförmliche Grundlagen zur Erhebung endlagerrelevanter Daten für hochradioaktive Abfälle	27
8	Resümee	29
9	Handlungsempfehlungen	29
10	Quellen	31

## Kurzfassung

Im Rahmen der aktuellen Tätigkeit der Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe (Endlagerkommission) sowie für künftige Planungen für die Zwischen- und Endlagerung radioaktiver Abfallstoffe wird eine umfassende Abfallbilanz benötigt. Dabei liegt der Fokus auf den Wärme entwickelnden, hoch radioaktiven Abfällen, da das noch zu findende Endlager in erster Linie diese Abfallart aufnehmen soll.

In der Endlagerkommission gibt es aktuell eine Diskussion darüber, ob das vom BMUB kürzlich veröffentlichte Abfallverzeichnis sowie sonstige öffentlich zugängliche Berichte als Datenbasis für eine Entscheidung über das künftige Entsorgungskonzept sowie für die Entwicklung von Eignungs- und Auswahlkriterien für Endlager ausreichend sind. Darüber hinaus muss geklärt werden, ob die vorliegende Datenbasis für radioaktive Abfallstoffe für künftige Planungen zur Zwischen- und Endlagerung zu erweitern und entsprechende gesetzliche Regelungen vorzusehen sind. Es sollte auch festgelegt werden, wie eine künftige umfassende Datenerhebung zu dokumentieren ist und wer dafür verantwortlich sein soll.

In Form einer Literaturstudie wird versucht, zunächst die Anforderungen der Endlagerung in Bezug auf die erforderlichen Abfalldaten für abgebrannte Brennelemente und radioaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung zusammenzustellen. Sodann erfolgt ein Abgleich mit öffentlich und nicht öffentlich verfügbaren Daten, insbesondere aus Forschungsberichten. Hierbei wurden zwar kleinere Unstimmigkeiten vor allem bei den Daten der Brennelemente festgestellt. Grundsätzlich ist aber aus fachlicher Sicht zu konstatieren, dass die für die Arbeit der Endlagerkommission und für den noch zu erstellenden Bericht ad hoc benötigten Informationen vorliegen, wenn auch verstreut und teilweise nicht öffentlich zugänglich. Eine unmittelbare Gesetzesänderung zwecks kurzfristiger Beschaffung dieser Informationen wird nicht als notwendig erachtet.

Unbeschadet dessen werden zur Erstellung und Fortschreibung einer „Nuklearbilanz für Deutschland“ erheblich umfangreichere Daten benötigt als die, die z.Zt. verfügbar sind. Insbesondere muss eine Einigung darüber erzielt werden, welche Daten zu welchem Zeitpunkt und mit welchem Tiefgang benötigt werden, welche Stelle hierfür zuständig ist und nicht zuletzt auf welcher Rechtsgrundlage diese Datenerhebung künftig erfolgen soll. Der von der Bundesregierung vorgelegte Gesetzentwurf einer 14. Novelle des AtG reicht hierfür nicht aus, da er nur eingeschränkte Berichtspflichten gegenüber der EU-Kommission vorsieht.

Es wird empfohlen, dass die Arbeitsgruppe 3 der Endlagerkommission zunächst Empfehlungen für den Umfang der für die Endlagerplanung künftig benötigten Daten erarbeitet. Darauf aufbauend sollte die Arbeitsgruppe 2 Vorschläge für evtl. Änderungen des StandAG vorlegen, wie die Erhebung und Dokumentation der benötigten Daten auf eine gesicherte rechtliche Grundlage gestellt werden kann. Nach Beschluss durch die Endlagerkommission wäre eine Empfehlung zur Rechtsänderung an den Deutschen Bundestag zu richten.

## **1 Einleitung**

In die Endlagerdebatte ist infolge des in Deutschland gesetzlich geregelten Atomausstiegs Bewegung gekommen. Parteiübergreifend besteht seitdem der Konsens, dass die ergebnisoffene Suche nach einem Endlager für hochradioaktive, wärmeentwickelnde Abfälle auf eine neue Grundlage gestellt werden soll. Das dafür notwendige Standortauswahlgesetz trat am 27. Juli 2013 in Kraft.

Das Gesetz regelt u. a., dass zunächst zwei Jahre lang eine „Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe“ Auswahl- und Eignungskriterien für Endlagerstandorte entwickelt. Darüber hinaus kann die Kommission Vorschläge für eine Novellierung des Standortauswahlgesetzes machen.

Das Verhältnis zwischen Politik, Energiewirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft ist immer noch von gegenseitigem Misstrauen in Bezug auf die bislang ungelöste Frage der Entsorgung des hoch radioaktiven Abfalls geprägt. Dieses Misstrauen gilt es durch die Arbeit der Kommission abzubauen. Eine Grundvoraussetzung hierfür ist, dass die Glaubwürdigkeit des Prozesses durch die Schaffung von Transparenz und die Einbeziehung einer möglichst breiten Öffentlichkeit verbessert werden kann. Nur so können nachhaltige und auch ethisch verantwortbare Entscheidungen bei der Suche nach einem Standort zur dauerhaft sicheren Lagerung von Atommüll getroffen werden.

Eine wichtige Voraussetzung für die Suche nach einem Endlager ist eine möglichst aktuelle und vollständige Bilanzierung der in Deutschland vorhandenen und voraussichtlich noch entstehenden radioaktiven Abfälle, die für eine längerfristige Zwischenlagerung und/oder eine Endlagerung vorgesehen sind. Dabei liegt der Fokus auf den Wärme entwickelnden, hoch radioaktiven Abfällen, da das noch zu findende Endlager in erster Linie diese Abfallart aufnehmen soll. Aber auch alle sonstigen radioaktiven Abfälle, die aufgrund ihrer Zusammensetzung oder ihrer bloßen Menge nicht in das Endlager Konrad passen, müssen vollständig erfasst und für die Öffentlichkeit und die Fachwelt nachvollziehbar dokumentiert werden.

Mit anderen Worten: Deutschland benötigt eine Art „Nukleare Eröffnungsbilanz“ als eine wichtige Grundlage für die Suche nach den passenden Entsorgungsmöglichkeiten für alle Arten und Mengen radioaktiver Abfälle.

## 2 Anlass und Zielsetzung der Literaturstudie

In Fachkreisen wird Zusammenhang mit der Bilanzierung hochradioaktiver Abfälle gerne darauf verwiesen, dass diese Daten ja bereits grundsätzlich vorlägen, daher nicht nochmals gesondert erfasst werden müssten und zumindest für die Arbeit der Endlagerkommission völlig ausreichend seien. Das ist nur im Prinzip richtig. Es gibt zwar eine Vielzahl von Fachberichten, Datenblättern und sonstigen Unterlagen, in denen der Bestand der verschiedenen Arten radioaktiver Abfälle in unterschiedlichster Art und Weise erfasst bzw. prognostiziert ist. Es fehlt aber an einer geschlossenen, vollständigen, auch für fachliche Laien nachvollziehbaren Gesamtdarstellung aller für den Zweck der Zwischen- und Endlagerung relevanten Daten radioaktiver Abfälle, ihrer nuklearen und nicht nuklearen Inhaltsstoffe, der radiologischen Zerfallsdaten zu unterschiedlichen Zeitpunkten und der zusätzlichen Angaben, die für die Erfüllung der unterschiedlichen, sich aus der Zwischen- und Endlagerung ergebenden Schutz- und Sicherheitsanforderungen benötigt werden.

Die Erstellung dieser „Nuklearen Eröffnungsbilanz“ ist Aufgabe des Bundes, wobei die betroffenen Abfallverursacher und die für die Atomaufsicht zuständigen Länder mitwirken müssen. Einen ersten Schritt auf dem Weg zu einer solchen Eröffnungsbilanz ist das BMUB durch die Vorlage der Unterlagen „Nationales Entsorgungsprogramm“ (NaPro, s. Kap. 3.1) und „Verzeichnis radioaktiver Abfälle“ (vgl. Kap. 3.2) gegangen. Nach Aussage des BMUB dienen beide Unterlagen der Umsetzung der Berichtspflicht gegenüber der EU-Kommission im Rahmen der Richtlinie 2001/70/Euratom. Im Jahr 2015 soll noch ein Durchführungsbericht zum NaPro erstellt werden, der jedoch noch nicht vorliegt. Sowohl ein erster Entwurf des NaPro (Stand 06.01.2015) als auch das Verzeichnis radioaktiver Abfälle wurden vom BMUB der Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe zur Verfügung gestellt und vom Deutschen Bundestag als Drucksachen [K-Mat 17a und K-MAT-13] im Internet veröffentlicht.

In der 8. Sitzung der Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe am 19.01.2015 wurde das Abfallverzeichnis beraten. Im Ergebnis der Beratung waren sich die Beteiligten darin einig, dass die bislang vom BMUB vorgelegten Informationen noch nicht in allen Punkten den Anforderungen der Kommission entsprächen. Welche zusätzlichen Daten genau benötigt würden, solle durch die Arbeitsgruppe 3 beraten werden. BMUB sagte die Vorlage weiterer Informationen gegenüber der Kommission zu, wenn die Kommission möglichst präzise Fragen definiere. Im Übrigen verwies das BMUB darauf, bei der umfassenden Bilanzierung nuklidspezifischer Daten auf die Länder angewiesen zu sein.

Der niedersächsische Umweltminister Stefan Wenzel hat die Kritik am Verzeichnis des BMUB konkretisiert. Er hat die Anforderungen an eine Abfallbilanz und die Defizite des vorgelegten Verzeichnisses radioaktiver Abfälle wie folgt formuliert (vgl. Deutscher Bundestag, K-Drs. 58):

„Die Kommission benötigt für ihre Arbeit eine vollständige Abfallbilanz, die die radiologischen, chemischen, physikalischen und sonstigen Eigenschaften der zu lagernden Abfallstoffe so vollständig wie möglich abbildet. Die Festlegung und Definition der im StandAG genannten Kriterien und Anforderungen an eine sichere Lagerung ist ohne möglichst vollständige Kenntnis der Abfallstoffe nicht zu leisten. Die Bundesregierung wird daher gebeten eine vollständige Abfallbilanz vorzulegen. Daher sind die unten benannten fehlenden Daten zusätzlich erforderlich.

1. Das Verzeichnis enthält keine klare Klassifizierung radioaktiver Abfälle und schwankt zwischen verschiedenen Ansätzen hin und her.
2. Das Verzeichnis enthält nur rudimentäre Informationen zur Konditionierung der Abfälle und muss diesbezüglich ergänzt werden.
3. Die Auflistung des Bestands unter 2.3 und 2.4 ist irreführend und höchst unübersichtlich.
4. Die Angaben zu den Behälterttypen sind weitestgehend unspezifisch.
5. Die Angaben enthalten keine Daten zu den radioaktiven Inventaren und zu den Nukliden, auch Leitnuklide sind nicht genannt.
6. Die Angaben enthalten keine Angaben zur Menge der einzelnen Kernbrennstoffe.
7. Mengenangaben zu chemischen Zusatzstoffen der Abfälle fehlen.
8. Es fehlen weitestgehend Angaben zu Besitzern und Eigentümern der Abfallstoffe.
9. Die Liste der radioaktiven Abfälle ist nicht vollständig. (siehe auch Schreiben NRW)
10. Bei im Ausland gelagerten Abfällen ist ebenfalls nicht ersichtlich, wer Besitzer und wer Eigentümer ist.
11. Die Angaben zu Kosten und Finanzierung sind rudimentär und müssen entsprechend dem Beschluss des Bundesrates nachvollziehbar definiert werden.“

In den nachfolgenden Beratungen der Arbeitsgruppen 2 und 3 wurde auch die Frage erhoben, ob es notwendig sei, zwecks Zusammenstellung der für die Arbeit der Kommission benötigten Abfalldaten eine evtl. schnelle Rechtsänderung zu veranlassen oder ob es ausreiche, wenn die Kommission in ihrem Abschlussbericht entsprechende Empfehlungen zur Schaffung einer solchen Rechtsgrundlage für künftige Abfallerhebungen gebe.

Vor diesem Hintergrund ist es das Ziel dieses Berichtes, in einem ersten Schritt im Rahmen einer Auswertung der vorliegenden Literatur aus fachlicher Sicht erforderliche und vorliegende konkrete Daten für eine „Nukleare Eröffnungsbilanz“ zu ermitteln, offene Fragen und

Lücken in der Datenerhebung zu dokumentieren sowie Handlungsempfehlungen in Bezug auf eventuell notwendige Rechtsänderungen zu geben.

Somit soll die von Herrn Minister Wenzel erhobene Kritik an den bisher offiziell der Kommission vorgelegten Daten fachlich untermauert werden.

### **3 Verwendete Materialien**

#### **3.1 Nationales Entsorgungsprogramm (NaPro)**

Die Richtlinie 2011/70/Euratom gibt allen Mitgliedsstaaten auf, ein Nationales Entsorgungsprogramm (NaPro) aufzustellen, umzusetzen, regelmäßig zu überprüfen und fortlaufend zu aktualisieren. Das NaPro ist erstmalig spätestens zum 23. August 2015 und bei späteren wesentlichen Änderungen der Europäischen Kommission vorzulegen. Das NaPro muss die geplanten Strategien der Mitgliedsländer für die verantwortungsvolle und sichere Entsorgung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle darlegen. Das NaPro hat dabei keine Rechtsnormqualität, ist aber bei allen Entsorgungsplanungen und Verwaltungsverfahren von den beteiligten Akteuren im Bereich der Entsorgung zu berücksichtigen. Das BMUB hatte die Länder zwecks Erstellung eines ersten Entwurfs zum NaPro sowie zur Erhebung von Daten für die nachfolgenden Durchführungsberichte um fachliche Mitwirkung gebeten.

Ein erster Entwurf des NaPro ist mit Stand vom 06.01.2015 vom BMUB der Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe zur Verfügung gestellt worden /NAP 2015/<sup>1</sup>. Er wurde vom Deutschen Bundestag als Material K-MAT 17a im Internet veröffentlicht.

Aus Sicht des Bundes sind die tragenden Elemente des Nationalen Entsorgungsprogramms durch folgende Eckpunkte gekennzeichnet:

- „Die Entsorgung von radioaktiven Abfällen erfolgt grundsätzlich in nationaler Verantwortung. Die Endlagerung soll im Inland erfolgen. Bestrahlte Brennelemente aus Versuchs-, Demonstrations- und Forschungsreaktoren können in ein Land, in dem Brennelemente für Forschungsreaktoren bereitgestellt oder hergestellt werden, verbracht werden.
- Es sollen an zwei Standorten Endlager errichtet werden: Das Endlager Konrad für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung und ein Endlager nach dem Standortauswahlgesetz für insbesondere Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle.
  - Die radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II sollen zurückgeholt und vorsorglich bei der Planung des Endlagers nach dem Standortauswahlgesetz be-

---

<sup>1</sup> /XXX YYYY/ = Zitierweise der verwendeten Quellen



rücksichtigt werden; eine Erweiterung des Endlagers Konrad für geeignete Abfälle wird nicht ausgeschlossen und soll ggf. nach dessen Inbetriebnahme geprüft werden.

- Das in Deutschland angefallene und anfallende abgereicherte Uran aus der Urananreicherung soll für den Fall, dass eine weitere Verwertung nicht erfolgt, vorsorglich bei der Planung des Endlagers nach dem Standortauswahlgesetz berücksichtigt werden; eine Erweiterung des Endlagers Konrad für diese radioaktiven Stoffe wird nicht ausgeschlossen und soll ggf. nach dessen Inbetriebnahme geprüft werden.
- Der Rückbau aller Leistungsreaktoren sowie anderer kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen, die im Betrachtungszeitraum außer Betrieb gehen, soll in Abhängigkeit eines verfügbaren Endlagers so rechtzeitig erfolgen, dass die dabei entstehenden vernachlässigbar Wärme entwickelnden radioaktiven Abfälle in das Endlager Konrad eingelagert werden können.
- Das Endlager Konrad geht voraussichtlich im Jahr 2022 in Betrieb. Der Einlagerungsbetrieb für das planfestgestellte Abfallvolumen von 303.000 m<sup>3</sup> soll 40 Jahre nicht überschreiten.
- Der Standort für das Endlager für insbesondere Wärme entwickelnde Abfälle soll gemäß dem Standortauswahlgesetz bis zum Jahr 2031 festgelegt werden. Das Endlager soll um das Jahr 2050 in Betrieb gehen.
- Mit der ersten Teilgenehmigung für das Endlager für insbesondere Wärme entwickelnde Abfälle soll am Standort auch ein Eingangslager für alle bestrahlten Brennelemente und Abfälle aus der Wiederaufarbeitung genehmigt und damit die Voraussetzung für den Beginn der Räumung der bestehenden Zwischenlager geschaffen werden.
- Die bestrahlten Brennelemente und die Abfälle aus der Wiederaufarbeitung sollen bis dahin an vorhandenen Zwischenlagerstandorten aufbewahrt werden.
- Die Einlagerung von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen in das Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben ist beendet. Das Endlager soll stillgelegt und langfristig sicher verschlossen werden.“

Allerdings steht das NaPro nach Aussage des BMUB unter Revisionsvorbehalt, da sich auf Grundlage der Empfehlungen der Endlagerkommission wesentliche Änderungen ergeben können.

### **3.2 Verzeichnis radioaktiver Abfälle; Sicherheitsanforderungen des BMUB**

Zur Untersetzung des NaPro und zwecks Berichterstattung gegenüber der EU-Kommission hat das BMUB ein „Verzeichnis radioaktiver Abfälle“ /VER 2015/ erstellt. Danach fallen in der Bundesrepublik Deutschland radioaktive Abfälle an:

- beim Betrieb von Leistungs-, Versuchs-, Demonstrations- und Forschungsreaktoren,
- aus der Stilllegung von Leistungs-, Versuchs- und Demonstrationsreaktoren sowie von Forschungs- und Unterrichtsreaktoren und weiteren kerntechnischen Einrichtungen,
- bei der Urananreicherung sowie bei der Herstellung von Brennelementen (kerntechnische Industrie),
- bei der Grundlagenforschung und der angewandten Forschung,
- bei der Radioisotopenanwendung in sonstigen Forschungseinrichtungen, Universitäten, Gewerbe- und Industriebetrieben, Krankenhäusern oder Arztpraxen,
- bei sonstigen Abfallverursachern, wie z.B. im militärischen Bereich, zukünftig bei der Konditionierung bestrahlter Brennelemente, die der direkten Endlagerung zugeführt werden.

Das Verzeichnis radioaktiver Abfälle gebe einen Überblick über den Bestand der in Deutschland angefallenen endzulagernden, bzw. endgelagerten radioaktiven Abfälle und bestrahlten Brennelemente zum Stichtag 31. Dezember 2013 und eine Prognose über das erwartete Abfallaufkommen bis zum Jahr 2080. Es stelle eine der Grundlagen für die Entsorgungsplanung und für die Erstellung des Nationalen Entsorgungsprogramms dar. Mit der Zuordnung der radioaktiven Abfälle zu ihren Standorten erfülle das BMUB die geforderte Berichterstattung gegenüber der EU-Kommission im Rahmen der Richtlinie 2011/70/Euratom.

Der Bestand an radioaktiven Abfällen sei kontinuierlichen Veränderungen unterworfen, deshalb könne das Verzeichnis radioaktiver Abfälle nur den Stand zu einem bestimmten Stichtag darstellen und werde deshalb alle drei Jahre aktualisiert.

Das Verzeichnis radioaktiver Abfälle umfasse alle Arten radioaktiver Abfälle einschließlich der bestrahlten Brennelemente und der radioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung im europäischen Ausland, die zum Stichtag 31. Dezember 2013 bereits zurückgeführt wurden und die in der Bundesrepublik Deutschland endgelagert werden sollen. Radioaktive Abfälle aus Industrie, Medizin und Forschung, die nicht direkt an ein Endlager des Bundes, sondern

an eine Landessammelstelle abgeliefert werden müssen, würden erst nach Abgabe an eine Landessammelstelle berücksichtigt.

Für die Darstellung im Verzeichnis radioaktiver Abfälle werde grundsätzlich zwischen bestrahlten Brennelementen und Abfällen aus deren Wiederaufarbeitung sowie sonstigen radioaktiven Abfällen unterschieden. Erstere zählten auf Grund ihrer hohen Nachzerfallsleistung zu den Wärme entwickelnden Abfällen und könnten nach IAEA Klassifikation zum größten Teil den hochradioaktiven Abfällen zugeordnet werden. Die sonstigen radioaktiven Abfälle gehörten, bis auf wenige Ausnahmen, zu den Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung und zählten nach IAEA-Klassifikation zu den schwach- und mittelradioaktiven Abfällen.

Hinweis:

**In dieser Literaturstudie werden ausschließlich Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle entsprechend der o.g. Klassifizierung des BMUB behandelt.**

Zur Festlegung, welches Sicherheitsniveau zur Erfüllung der atomrechtlichen Anforderungen ein Endlager für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle in tiefen geologischen Formationen nachweislich einzuhalten hat, wurden vom BMUB nach vorheriger Abstimmung mit den Ländern am 30.10.2010 **Sicherheitsanforderungen** /SIA 2010/ erlassen. Die hier enthaltenen Anforderungen an die Langzeitsicherheit eines HAW-Endlagers entsprechen vorbehaltlich einer evtl. Revision im Zusammenhang mit den Arbeiten der Endlagerkommission dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik.

### **3.4            Gemeinsames Übereinkommen (Joint Convention)**

Das im Jahre 1997 verabschiedete Gemeinsame Übereinkommen über die Sicherheit der Behandlung abgebrannter Brennelemente und über die Sicherheit der Behandlung radioaktiver Abfälle - Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management (Joint Convention) verfolgt das Ziel, weltweit einen hohen Standard der Sicherheit der Einrichtungen zur Entsorgung von abgebrannten Brennelementen aus Kernkraftwerken sowie radioaktiver Abfälle zu schaffen und langfristig zu erhalten. Es soll ferner wirksame Vorkehrungen gegen mögliche Gefahren mit radiologischen Folgen durch solche Einrichtungen treffen. Der Anwendungsbereich des Übereinkommens erstreckt sich auf abgebrannte Brennelemente, radioaktive Abfälle und ausgediente umschlossene Strahlenquellen, auf die grenzüberschreitende Verbringung dieser Stoffe sowie auf Ableitungen aus nuklearen Einrichtungen.

Auf den im Dreijahresturnus stattfindenden Vertragsstaatenkonferenzen wird überprüft, inwieweit die Zielsetzungen des Gemeinsamen Übereinkommens erfüllt werden. Für diese Überprüfungs-konferenzen legen die Vertragsparteien jeweils einen eigenen Bericht vor, in

dem die nationalen Maßnahmen beschrieben werden. Alle Vertragsparteien haben die Möglichkeit, auf Grundlage dieser Berichte schriftliche Fragen an andere Staaten zu richten. Die deutsche Seite hatte diese Möglichkeit in der Vergangenheit stets genutzt. Umgekehrt haben andere Vertragsparteien zu den deutschen Berichten Fragen gestellt, die von der deutschen Seite schriftlich beantwortet wurden. Die Überprüfungskonferenzen werden am Sitz des Sekretariats des Gemeinsamen Übereinkommens, der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO), in Wien durchgeführt.

Die fünfte Überprüfungskonferenz wird im Mai 2015 stattfinden. Im Vorfeld der Konferenz hat die Bundesregierung einen Bericht mit dem Titel „Gemeinsames Übereinkommen über die Sicherheit der Behandlung abgebrannter Brennelemente und über die Sicherheit der Behandlung radioaktiver Abfälle - Bericht der Bundesrepublik Deutschland für die fünfte Überprüfungskonferenz im Mai 2015“ /JOI 2015/ erstellt. Der Bericht enthält verschiedenartige Angaben zum Bestand und der Prognose aller Arten radioaktiver Abfälle in Deutschland.

### **3.5 Veröffentlichte Berichte der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH und sonstige Literatur**

Für die Abfassung dieser Literaturstudie wurden folgende im Internet veröffentlichte Berichte der GRS herangezogen:

- GRS-247: Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in Deutschland (mit Anhängen) /GRS 2008/,
- GRS-278: Abfallspezifikation und Mengengerüst - Basis Ausstieg aus der Kernenergienutzung /GRS 2011/,
- GRS-294: Radionuclide Inventory of Vitrified Waste after Spent Nuclear Fuel Re-processing at La Hague /GRS 2012/,
- Radioactive Waste; Technical and Normative Aspects of its Disposal /RAD 2011/
- GRS A -3535: VerSi; Endlagerung im Tonstein /GRS 2010/

Für die Abfassung dieses Arbeitsberichtes wurde der folgende unveröffentlichte Bericht der GRS herangezogen:

- Entsorgung abgebrannter Brennelemente aus den Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland; Ergebnisse der Länderumfrage zum Stichtag 31.12.2013. Erstellt im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz (Auftrags-Nr. 856418) /GRS 2014/

### 3.6 Unterlagen der EVU und der GNS

Gem. § 9a Abs. 1a AtG haben die Betreiber von Anlagen zur Spaltung von Kernbrennstoffen zur gewerblichen Erzeugung von Elektrizität nachzuweisen, dass sie zur Erfüllung ihrer Pflichten nach § 9a Abs. 1 AtG für angefallene und in dem unter Berücksichtigung des § 7 Abs. 1a und 1b AtG vorgesehenen Betriebszeitraum noch anfallende bestrahlte Kernbrennstoffe einschließlich der im Falle der Aufarbeitung bestrahlter Kernbrennstoffe zurückzunehmenden radioaktiven Abfälle ausreichende Vorsorge getroffen haben („Entsorgungsvorsorgenachweis“). Der Nachweis ist jährlich zum 31. Dezember fortzuschreiben und bis spätestens 31. März des darauf folgenden Jahres den zuständigen Aufsichtsbehörden der Länder vorzulegen.

Die von den Unternehmen E.ON Kernkraft GmbH für die Kernkraftwerke Grohnde und Unterweser sowie von der Kernkraftwerke Lippe-Ems GmbH für das Kernkraftwerk Emsland vorgelegten Entsorgungsvorsorgenachweise /EVE 2015, EVL 2015/ mit dem Stand vom 31.12.2014 wurden berücksichtigt. Daneben wurde der unternehmensübergreifend von der Gesellschaft für Nuklear-Service mbH (GNS) erstellte Bericht „Darstellung der getroffenen Entsorgungsmaßnahmen für die nach Deutschland rückzuführenden radioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung bestrahlter Brennelemente in den Anlagen der AREVA NC in La Hague (F) und der NDA in Sellafield (UK) /GNS 2015-1/ herangezogen.

Darüber hinaus hat die GNS dem Verfasser Unterlagen zur Relevanz von BE- und WA-Abfalldaten für übergeordnete Endlagerplanungen /GNS 2015-2/ sowie einen Bericht zur Abschätzung des Endlagerinventars (Wärmeleistung, Aktivität) in Brennelementen nach der endgültigen Außerbetriebnahme deutscher LWR-Anlagen /GNS 2014/ zur Verfügung gestellt.

## 4 Abgebrannte Brennelemente

### 4.1 Anforderungen der Endlagerung

Für die Planung eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle wird davon ausgegangen, dass in Bezug auf den Abfallbestand folgende Daten vorhanden sein müssen:

Zur Dimensionierung der Größe des Endlagers und der Anzahl der für die Einlagerung erforderlichen Endlagerbehälter wird die **Anzahl** der vorhandenen und noch zu erwartenden abgebrannten Brennelemente aus Leichtwasserreaktoren (LWR-BE) benötigt. Daraus sind die **Massen** an Schwermetall und die **Volumina** abzuleiten.

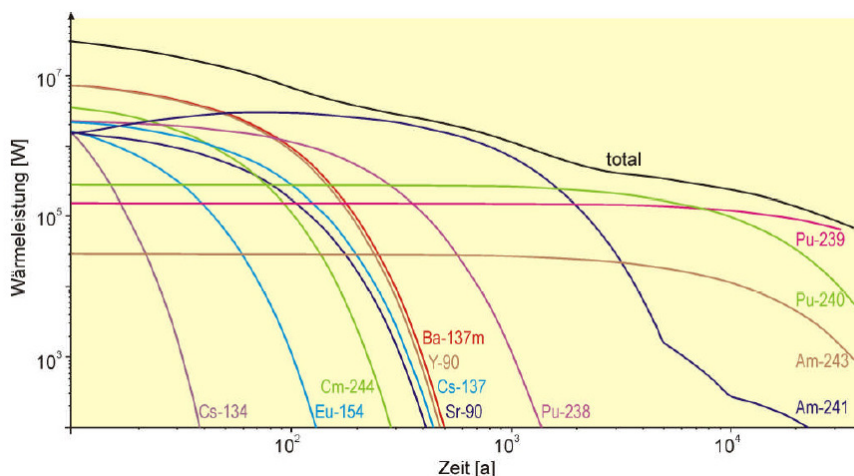
Im Hinblick auf die thermischen Bedingungen eines Endlagers muss die Aufheizung des Wirtsgesteins durch die Wärmeentwicklung der Abfälle berücksichtigt werden, die in den

ersten Jahrhunderten der Nachbetriebsphase am Kontakt des Gesteins bzw. Versatzmaterials zur Behälteroberfläche auftritt /GRS 2008/, /RAD 2011/. Insofern müssen die **Wärmeleistung** und die **Oberflächentemperatur** der LWR-BE zu unterschiedlichen Zeitpunkten bekannt sein. Für Modellrechnungen ist darüber hinaus die **Gesamtaktivität** relevant, die grundsätzlich mit der Wärmeleistung korrespondiert.

Aufgrund der notwendigen Abklingzeit ist zu erwarten, dass eine Endlagerung frühestens nach ca. 30 Jahren Lagerzeit eines LWR-BE erfolgt, gerechnet vom letzten Einsatz im Reaktorkern. Die größten Beiträge zur Gesamtaktivität liefern zu diesem Zeitpunkt die Radionuklide Strontium-90 und sein kurzlebigeres Tochterisotop Yttrium-90 zu etwa 30% (entsprechend einer Masse von 5,8 t) sowie Cäsium-137/Barium-137m zu etwa 50% (entsprechend einer Masse von 14,6 t). Beide Ausgangsnuklide zerfallen mit einer Halbwertszeit von ca. 30 Jahren über ihre jeweiligen kurzlebigen Folgenuklide in stabile Endprodukte. Nach dem Zerfallsgesetz ist nach 10 Halbwertszeiten noch ein Tausendstel der ursprünglichen Menge vorhanden, nach 20 Halbwertszeiten noch ein Millionstel.

Abgebrannte MOX-Brennelemente haben nach 30 Jahren Lagerzeit eine etwa 2,5-mal höhere Wärmeleistung als Uran-Brennelemente. Bei einem Anteil an endzulagernden MOX-Brennelementen von ca. 6,2% (berechnet aus der insgesamt in Deutschland durch Verarbeitung zu MOX-BE zu beseitigenden Plutoniummenge von 36 t spaltbarem Plutonium) an den insgesamt endzulagernden Brennelementen (direkt, ohne Wiederaufarbeitung) erhöht sich deren Anteil an der Wärmeleistung überproportional um knapp 10%.

Die Wärmeleistung über die Zeit in einem Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle für die wichtigsten Radionuklide einer Mischung aus direkt endgelagerten LWR-BE und Wiederaufarbeitungsabfällen kann anschaulich der nachfolgenden Abbildung entnommen werden /GRS 2008/:



Hieraus ist ersichtlich, dass Nuklide wie z.B. Cs-137 und Sr-90, die heute einen wesentlichen Teil der Strahlung ausmachen und somit Wärme entwickeln, nach wenigen hundert Jahren vollständig abgeklungen sind. Insgesamt betrachtet nimmt die Wärmeleistung innerhalb der ersten hundert Jahre bereits um eine Größenordnung ab (logarithmische Darstellung).

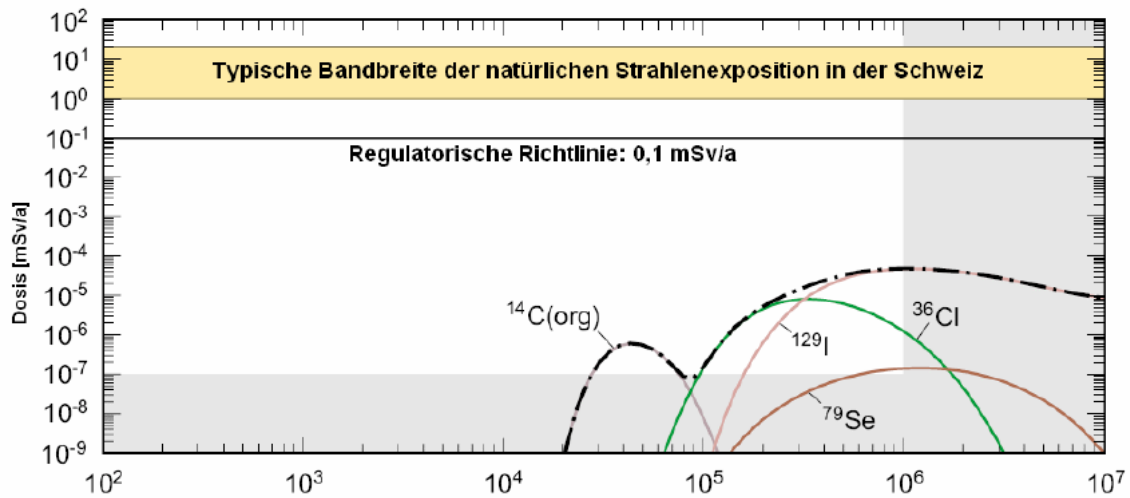
Gemäß /SIA 2010/ ist für die Nachverschlussphase eines Endlagers nachzuweisen, dass für wahrscheinliche Entwicklungen durch Freisetzung von Radionukliden, die aus den eingelagerten radioaktiven Abfällen stammen, für Einzelpersonen der Bevölkerung nur eine zusätzliche effektive Dosis im Bereich von 10 Mikrosievert im Jahr auftreten kann. Für weniger wahrscheinliche Entwicklungen in der Nachverschlussphase ist nachzuweisen, dass die durch Freisetzung von Radionukliden, die aus den eingelagerten radioaktiven Abfällen stammen, verursachte zusätzliche effektive Dosis für die dadurch betroffenen Menschen 0,1 Millisievert pro Jahr nicht überschreitet.

Im Rahmen der o.g. Nachweisführung für die Langzeitsicherheit des Endlagers sind Ausbreitungsszenarien für Radionuklide weit über 10.000 Jahre hinaus zu modellieren. Dabei sind nach bisherigen Erkenntnissen folgende Radionuklide besonders wichtig:

- Iod-129 mit einer Halbwertszeit von 15,7 Millionen Jahren,
- Selen-79 mit einer Halbwertszeit von 480.000 Jahren,
- Chlor-36 einer Halbwertszeit von 301.000 Jahren.

Ihr Radioaktivitätsanteil beträgt zu Anfang nur ein 100.000-stel der endgelagerten Gesamtaktivität. Aufgrund ihres langsameren Zerfalls sowie wegen ihrer hohen Löslichkeit und Mobilität können diese Radionuklide, falls sie den einschlusswirksamen Gebirgsbereich verlassen haben, auf dem weiteren Weg zur Biosphäre nicht oder wenig zurückgehalten werden. **In allen bisher durchgeführten in Deutschland durchgeführten Langzeitsicherheitsanalysen für die Wirtsgesteine Steinsalz und Tonstein liefern diese Radionuklide die größten Beiträge zur Strahlenexposition in der Biosphäre.**

Die nachfolgende Abbildung veranschaulicht beispielhaft und als Rechenmodell die Beiträge dieser Radionuklide an der Strahlenexposition (in mSv pro Jahr) aus endgelagerten abgebrannten Brennelementen in einem Endlager in Tonstein in der Schweiz über einen Zeitraum von etwa 10 Millionen Jahren. Ab einem Zeitraum von ca. 1 Million Jahren ist kein Anstieg der potentiellen Dosis mehr zu verzeichnen /GRS 2008/:



In /RAD 2011/ werden unter Bezugnahme auf Publikationen der ICRP generische, d.h. wirtgesteinsunabhängige Betrachtungen zur den langfristig relevanten Radionukliden angestellt. Dabei wird unter Berücksichtigung der Halbwertszeiten in konservativer Annäherung von „effektiven Ingestionsdosen“ ausgegangen. Diese Vorgehensweise entspricht zwar nicht den aktuellen Vorgaben des BMUB gemäß /SIA 2010/, die von einem Eintrag löslicher Radionuklide in nutzbare Grundwasserhorizonte und daran anschließender Ingestion über diskrete Nutzungsszenarien für Lebensmittel ausgehen (und nicht von der direkten Ingestion von Schwermetallen wie in /RAD 2011/ unterstellt). Dennoch können die hier zusammengestellten Radionuklide einen Beitrag zu den voraussichtlich benötigten endlagerrelevanten Angaben betreffend LWR-BE liefern. Sie sind in nachfolgender Tabelle zusammengestellt. In jedem Fall ist die Frage, welche Nuklide letztlich dosisrelevant im Rahmen von Langzeitsicherheitsanalysen sein werden, vom Wirtsgestein bzw. den zugrunde liegenden unterstellten Ausbreitungsszenarien abhängig.



**Tab. B.24:** Coefficients for committed effective dose (Sv/Bq) and committed effective dose (Sv) for radionuclides in a reference canister after storage of 40 years and one million years storage in a repository. Only those radionuclides are listed which would yield a total dose >1 Sv.

Radio-nuclide	Phys. Half-life $T_{1/2}$ (y)	Committed Effective Dose (CED) Coeff. Adult (Sv/Bq)	Inventories (4 PWR $UO_2$ 48 GWd/t 40 y) (Bq)	CED (Adult) (Sv)	Inventories after $10^6$ y (Bq)	Resulting CED after $10^6$ y (Sv)
$^{93}Zr$	1.53E+06	1.10E-09	1.50E+11	1.65E+02	9.54E+10	1.05E+02
$^{99}Tc$	2.11E+05	5.50E-11	1.10E+12	6.05E+01	4.12E+10	2.27E+00
$^{126}Sn$	2.30E+05	4.70E-09	3.00E+10	1.41E+02	1.47E+09	6.92E+00
$^{129}I$	1.57E+07	1.10E-07	2.60E+09	2.86E+02	2.49E+09	2.74E+02
$^{135}Cs$	2.30E+06	2.00E-09	3.90E+10	7.80E+01	2.89E+10	5.77E+01
$^{234}U$	2.46E+05	4.90E-08	1.00E+11	4.90E+03	5.97E+09	2.93E+02
$^{235}U$	7.04E+08	4.70E-08	1.10E+09	5.17E+01	1.10E+09	5.16E+01
$^{236}U$	2.34E+07	4.70E-08	2.00E+10	9.40E+02	1.94E+10	9.13E+02
$^{238}U$	4.47E+09	4.50E-08	1.70E+10	7.65E+02	1.70E+10	7.65E+02
$^{237}Np$	2.14E+06	1.10E-07	3.10E+10	3.41E+03	2.24E+10	2.47E+03
$^{242}Pu$	3.75E+05	2.40E-07	1.70E+11	4.08E+04	2.68E+10	6.43E+03

Quelle: /RAD 2011/

CED = Committed Effective Dose

Vor diesem Hintergrund müssen vor allem für Langzeitsicherheitsbetrachtungen mindestens alle relevanten **löslichen und langlebigen bzw. Dosis verursachenden Radionuklide** erfasst werden. Idealerweise sollte der **komplette Nuklidvektor** der LWR-BE bekannt sein. Darüber hinaus müssen die wesentlichen **stofflich relevanten Daten** vorliegen.

## 4.2 Zusammenstellung der anforderungsgerechten Daten

### 4.2.1 Massen und Volumina

Der Bericht /GRS 2014/ enthält aktuelle und umfassende Angaben zu den Massen an Schwermetall und der Anzahl der in allen deutschen Kernkraftwerken eingesetzten und für den Einsatz noch vorgesehenen Brennelemente, einschließlich des Anteils an MOX-BE.

Einen Überblick über die bis zum 31.12.2013 angefallene Brennelementmenge und der daraus (z.T. rechnerisch ermittelten) Masse an Schwermetall enthält die nachfolgende Tabelle /GRS 2014/:

**Tabelle 2:** Bis 31.12.2013 angefallene Brennelementmengen aus Leistungsreaktoren  
(bei in Betrieb befindlichen Anlagen ohne, bei stillgelegten Anlagen mit Kern)

Typ	Anlage	Standort	Menge	
			BE	tSM
DWR	KBR	Brokdorf	1.272	688
DWR	KWG	Grohnde	1.420	770
DWR	KKE	Emsland	1.284	691
DWR	KKP 2	Philippsburg 2	1.371	740
DWR	GKN II	Neckarwestheim II	1.149	615
SWR	KRB B	Gundremmingen B	4.448	775
SWR	KRB C	Gundremmingen C	4.289	746
DWR	KKI 2	Isar 2	1.208	646
DWR	KKG	Grafenrheinfeld	1.532	823
<b>Summe:</b>			<b>17.973</b>	<b>6.494</b>

**Stillgelegte Anlagen:**

SWR	KWL	Lingen	586	66
SWR	KRB A	Gundremmingen A	1.028	125
DWR	KKR	Rheinsberg	918	106
DWR	KGR 1-5	Greifswald 1-5	6.813 <sup>1)</sup>	787
SWR	KWW	Würgassen	1.989	346
DWR	KMK	Mülheim-Kärlich	209 <sup>2)</sup>	96
DWR	KKS	Stade	1.517 <sup>3)</sup>	539 <sup>3)</sup>
DWR	KWO	Obrigheim	1.235	352
SWR	KKB	Brunsbüttel	2.664	464
SWR	KKK	Krümmel	3.909 <sup>4)</sup>	693
DWR	KKU	Unterweser	1.717	922
DWR	KWBA	Biblis A	1.676	897
DWR	KWBB	Biblis B	1.824	976
SWR	KKP 1	Philippsburg 1	3.632	646
DWR	GKN I	Neckarwestheim I	1.830	654
SWR	KKI 1	Isar 1	4.072	723
<b>Summe:</b>			<b>35.619</b>	<b>8.392</b>
<b>Summe total:</b>			<b>53.592</b>	<b>14.886</b>

<sup>1)</sup> einschließlich 235 BE (27 t), die nach Paks/Ungarn transportiert wurden

<sup>2)</sup> Zusätzlich 1 Dummy aus abgereichertem Uran mit 2 defekten Brennstäben

<sup>3)</sup> Angabe E.ON vom 03.09.2008

<sup>4)</sup> Gegenüber dem Vorjahr wurde der Wert um 12 nach unten korrigiert. Bis dahin waren 12 im Nasslager befindliche frische Brennelemente versehentlich als bestrahlte Brennelemente geführt worden.

Auch das NaPro enthält unter Kapitel 2.1.1 eine Zusammenstellung der LWR-BE aus deutschen Leistungsreaktoren zum Stichtag 31.12.2013:

**Tabelle 2.1: Bestand bestrahlter Brennelementen aus deutschen Leistungsreaktoren, die zum Stichtag 31. Dezember 2013 in Deutschland lagerten**

Lagerort	Behälter	Brennelemente	Masse
Kernkraftwerk-Lagerbecken*		13.981 BE	4.292 Mg SM
Trockene Behälterlagerung in Standortzwischenlagern	332	9.225 BE	3.249 Mg SM
Trockene Behälterlagerung in den Zwischenlagern Ahaus, Gorleben und dem ZLN	76	5.343 BE	675 Mg SM
<b>Summe:</b>		<b>28.549 BE</b>	<b>8.216 Mg SM</b>

\* einschließlich des als Nasslager konzipierten Zwischenlagers Obrigheim, sowie dem Core des endgültig außer Betrieb genommenen Kernkraftwerks Brunsbüttel

Es ist evident, dass trotz des gleichen Bezugsdatums die Zahlen auf den ersten Blick **von-einander abweichen**. Während der Bericht /GRS 2014/ die zur Wiederaufarbeitung ins Ausland transportierten Brennelemente mit umfasst, sind diese im Bericht des BMUB /NAP 2015/ offenbar nicht enthalten. Allerdings nennt der Bericht des BMUB keine Quellen, so dass nicht nachvollzogen werden kann, wie diese Zahlen zustande gekommen sind. Hier muss fachlich geklärt werden, dass für künftige Berichte eine **Einigung auf einheitliche Stichtage, Bezugsgrößen und -grundlagen** erfolgt.

Der **zukünftig zu erwartende Brennelementanfall** aus den noch in Betrieb befindlichen Leistungsreaktoren wurde wie folgt abgeschätzt /GRS 2014/:

**Tabelle 3: Zukünftig zu erwartender Brennelementanfall aus den noch in Betrieb befindlichen Leistungsreaktoren**

Standort	Bestand im Core		Geschätzter Restanfall bis Stilllegung (ohne Kern)		Geschätzter Restanfall bis Stilllegung (mit Kern)	
	BE	tSM	BE	tSM	BE	tSM
Brokdorf	193	104	320	173	513	278
Grohnde	193	105	332	181	525	286
Emsland	193	104	368	198	561	302
Philippsburg 2	193	104	197	107	390	211
Neckarwestheim II	193	104	317	171	510	274
Gundremmingen B	784	136	484	84	1.268	221
Gundremmingen C	784	136	1.024	178	1.808	315
Isar 2	193	103	360	193	553	296
Grafenrheinfeld	193	104	40	21	233	125
<b>Summe</b>	<b>2.919</b>	<b>1.000</b>	<b>3.442</b>	<b>1.306</b>	<b>6.361</b>	<b>2.308</b>
<b>Stillgelegte Anlagen</b>	<b>517</b>	<b>90</b>				

Unter Verwendung dieser Angaben wurde der **gesamte bereits vorhandene und der künftige Brennelementanfall bis zum Ende der gesetzlichen Laufzeit** in /GRS 2014/ mit Stand vom 31.12.2013 wie folgt abgeschätzt:

<b>Stand der Erhebung</b>	<b>31.12.2013</b>
<b>Bisheriger Anfall BE</b>	<b>53.592</b>
<b>Bisheriger Anfall tSM</b>	<b>14.886</b>
<b>Künftiger Anfall BE (Prognose)</b>	<b>6.361</b>
<b>Künftiger Anfall tSM (Prognose)</b>	<b>2.308</b>
<b>Summe BE für Endlagerung</b>	<b>59.953</b>
<b>Summe tSM für Endlagerung</b>	<b>17.194</b>

Diese Menge setzt sich wie folgt zusammen:

- 6.670 tSM wurden bisher zur Wiederaufarbeitung (Cogema, BNFL, UdSSR, Eurochemic, WAK), zur dauerhaften Lagerung (CLAB/Schweden) oder zur Weiterverwendung (Paks/ Ungarn) abtransportiert.
- **10.524 tSM verbleiben für die direkte Endlagerung in Deutschland.**

Der Bericht des BMUB /NAP 2015/ geht vermutlich auf der Grundlage der Erhebungen in /GRS 2014/ ebenfalls von der Annahme aus, „dass etwa 10.500 Mg SM in Form bestrahlter Brennelemente aus Leistungsreaktoren (einschließlich der bereits angefallenen) anfallen werden, die endgelagert werden müssen“.

Unter Verwendung der Quellen /VER 2015/, /EVE 2015/, /EVL 2015/ können der Bestand und die Prognose für die niedersächsischen Kernkraftwerke zu einem Stichtag erhoben und der Gesamtbestand (s.o.) somit aktualisiert werden.

### **Anmerkung**

***Das KKE ist hier beispielhaft aufgeführt. Die Daten können analog für alle KKW-Blöcke aufgestellt werden. Beim Abgleich der aktuellen Zahlen mit dem Bericht /GRS 2014/ haben sich Unstimmigkeiten gezeigt, die noch bereinigt werden müssen.***

*Bestrahlte Brennelemente (Stand 31.12.2014)*

	<b>Anzahl BE (Anteil MOX-BE)</b>	<b>Richtwert Masse t SM</b>	<b>Anzahl Behälter CASTOR V/19</b>
<b>Bestand am 31.12.2014 Lagerbecken + Kern</b>	703 (132)	378	
<b>Prognose bis zum gesetzlichen En- de der Laufzeit am 31.12.2022</b>	324 (24)	172	
<b>Bestand am 31.12.2014 im SZL</b>	608 (?)	327	32
<b>Prognose Gesamtbestand im SZL</b>	1.635 (156) (geschätzt)	877 (geschätzt)	86 (geschätzt)

Die endlagerrelevanten Volumina und Massen an Schwermetall können aus der Anzahl der Castor-Behälter ermittelt bzw. entsprechend der Anzahl der LWR-BE auf Endlagerbehälter umgerechnet werden.

Unter der Voraussetzung, dass auch weiterhin eine regelmäßige Fortschreibung des Berichtes /GRS 2014/ auf der Basis der den Länder-Aufsichtsbehörden vorzulegenden Angaben der Betreiber erfolgt, kann die **gesetzliche Grundlage** zur Erhebung und Zusammenstellung der für die Endlagerung relevanten Daten zu Massen und Volumina von LWR-BE als **grundsätzlich ausreichend** angesehen werden. Die länderübergreifende Zusammenstellung und der Abgleich sind allerdings schwierig und führen offenkundig zu **Unstimmigkeiten** bei den aufsummierten Beständen. Diese gilt es, vorrangig auf Fachebene zu bereinigen.

#### **4.2.2 Radionuklide und metallische Bestandteile der LWR-BE**

Im Rahmen der Vorläufigen Sicherheitsanalyse Gorleben (VSG) wurden grundlegende Betrachtungen zur radiologischen Charakterisierung von bestrahlten LWR-BE angestellt.

Wird ein Brennelement nach einem Abbrandzyklus aus dem Reaktorkern entnommen, weist es im Hinblick auf das nuklidspezifische Aktivitätsinventar und die Wärmeleistung spezifische Eigenschaften auf. Diese werden durch

- den Reaktortyp,
- die Charakteristika der frischen Brennelemente und
- die Fahrweise des Reaktors

bestimmt.

Eine Einzelfallbetrachtung der bestrahlten Brennelemente war im Rahmen der VSG weder möglich, noch wurde sie im Hinblick auf die Erfordernisse einer Endlagerplanung sowie die Durchführung von Sicherheitsanalysen als erforderlich angesehen. Stattdessen wurden für die verschiedenen Reaktortypen und Brennstoffe **Modellbrennelemente** definiert, denen hinsichtlich ihrer Zusammensetzung und des Abbrands im Reaktor abdeckende Eigenschaften zugewiesen wurden.

Auf dieser Basis wurden anhand von etablierten Rechencodes Abbrandberechnungen für die Modellbrennelemente durchgeführt, die auch die nuklidspezifischen Aktivitäten zu verschiedenen Zeitpunkten beinhalten. Die Ergebnisse sind in /GRS 2011/ bzw. in den Anhängen umfassend dargestellt. Hier sind auch Angaben zur Materialzusammensetzung einschließlich der Hüll- und Strukturmaterialien sowie zu den stofflichen Bestandteilen unter Berücksichtigung potentieller Verunreinigungen, auch in Bezug auf die Endlagerbehälter, enthalten.

Zur **Veranschaulichung** ist auf der folgenden Seite auszugsweise der Nuklidvektor eines Urandioxid-Modellbrennelementes mit einem angenommenen Abbrand von 55 GWd/tSM zu verschiedenen Zeiten (80 ... 1 Mio Jahre) dargestellt. **Die in Kap. 4.1 genannten langzeitsicherheitsrelevanten Radionuklide I-129, Se-79 und Cl-36 sind ebenso wie die der generischen Betrachtung /RAD 2011/ aufgeführten dosisrelevanten Radionuklide in den entsprechenden Nuklidvektoren erfasst.**

Kernbrennstoff		Abklingzeit in Jahren															
DWR-UO <sub>2</sub>		Isotopenmasse [g/tSM]															
Abbrand 55 GWd/tSM																	
Isotope	80	85	90	95	100	200	500	1.000	5.000	10.000	50.000	100.000	500.000	1.000.000	1.000.000		
Cl-36	4,34E-01	4,34E-01	4,34E-01	4,34E-01	4,34E-01	4,34E-01	4,33E-01	4,33E-01	4,28E-01	4,24E-01	3,87E-01	3,45E-01	1,37E-01	1,000.000	1,000.000		
Cl-37	1,30E+00	1,30E+00	1,30E+00	1,30E+00	1,30E+00	1,30E+00	1,30E+00	1,30E+00	1,30E+00	1,30E+00	1,30E+00	1,30E+00	1,30E+00	1,30E+00	1,30E+00		
Ar-36	8,01E-05	8,50E-05	8,88E-05	9,48E-05	9,97E-05	1,98E-04	4,91E-04	9,80E-04	4,87E-03	9,88E-03	4,63E-02	8,75E-02	2,91E-01	3,83E-01	3,83E-01		
Ar-37																	
Ar-38	1,63E-03	1,63E-03	1,63E-03	1,63E-03	1,63E-03	1,63E-03	1,63E-03	1,63E-03	1,63E-03	1,63E-03	1,63E-03	1,63E-03	1,63E-03	1,63E-03	1,63E-03		
Ar-39	4,63E-03	4,57E-03	4,51E-03	4,45E-03	4,40E-03	3,40E-03	1,57E-03	4,33E-04	1,46E-08	3,73E-14							
Ar-40	9,81E-03	9,81E-03	9,81E-03	9,81E-03	9,81E-03	9,81E-03	9,81E-03	9,81E-03	9,81E-03	9,81E-03	9,81E-03	9,81E-03	9,81E-03	9,81E-03	9,81E-03		
Ar-42	7,29E-13	6,57E-13	5,91E-13	5,32E-13	4,79E-13	5,98E-14	1,08E-16	3,00E-21									
K-39	1,05E+01	1,05E+01	1,05E+01	1,05E+01	1,05E+01	1,05E+01	1,05E+01	1,05E+01	1,05E+01	1,05E+01	1,05E+01	1,05E+01	1,05E+01	1,05E+01	1,05E+01		
K-40	7,84E-02	7,84E-02	7,84E-02	7,84E-02	7,84E-02	7,84E-02	7,84E-02	7,84E-02	7,84E-02	7,84E-02	7,84E-02	7,84E-02	7,84E-02	7,84E-02	7,84E-02		
K-41	8,00E-01	8,00E-01	8,00E-01	8,00E-01	8,00E-01	8,00E-01	8,00E-01	8,00E-01	8,00E-01	8,00E-01	8,00E-01	8,00E-01	8,00E-01	8,00E-01	8,00E-01		
K-42	3,12E-17	2,81E-17	2,53E-17	2,28E-17	2,05E-17	2,51E-18	4,63E-21										
Ca-40	1,09E+01	1,09E+01	1,09E+01	1,09E+01	1,09E+01	1,09E+01	1,09E+01	1,09E+01	1,09E+01	1,09E+01	1,09E+01	1,09E+01	1,09E+01	1,09E+01	1,09E+01		
Ca-41	1,31E-02	1,31E-02	1,31E-02	1,31E-02	1,31E-02	1,31E-02	1,30E-02	1,22E-02	1,26E-02	1,22E-02	9,34E-03	6,67E-03	4,63E-04	1,57E-05	1,57E-05		
Ca-42	8,06E-02	8,06E-02	8,06E-02	8,06E-02	8,06E-02	8,06E-02	8,06E-02	8,06E-02	8,06E-02	8,06E-02	8,06E-02	8,06E-02	8,06E-02	8,06E-02	8,06E-02		
Ca-43	1,54E-02	1,54E-02	1,54E-02	1,54E-02	1,54E-02	1,54E-02	1,54E-02	1,54E-02	1,54E-02	1,54E-02	1,54E-02	1,54E-02	1,54E-02	1,54E-02	1,54E-02		
Ca-44	2,68E-01	2,68E-01	2,68E-01	2,68E-01	2,68E-01	2,68E-01	2,68E-01	2,68E-01	2,68E-01	2,68E-01	2,68E-01	2,68E-01	2,68E-01	2,68E-01	2,68E-01		
Ca-45																	
Ca-46	4,56E-04	4,56E-04	4,56E-04	4,56E-04	4,56E-04	4,56E-04	4,56E-04	4,56E-04	4,56E-04	4,56E-04	4,56E-04	4,56E-04	4,56E-04	4,56E-04	4,56E-04		
Ca-48	2,55E-02	2,55E-02	2,55E-02	2,55E-02	2,55E-02	2,55E-02	2,55E-02	2,55E-02	2,55E-02	2,55E-02	2,55E-02	2,55E-02	2,55E-02	2,55E-02	2,55E-02		
Sc-45	6,39E-04	6,39E-04	6,39E-04	6,39E-04	6,39E-04	6,39E-04	6,39E-04	6,39E-04	6,39E-04	6,39E-04	6,39E-04	6,39E-04	6,39E-04	6,39E-04	6,39E-04		
Sc-46																	
Ti-46	4,48E-01	4,48E-01	4,48E-01	4,48E-01	4,48E-01	4,48E-01	4,48E-01	4,48E-01	4,48E-01	4,48E-01	4,48E-01	4,48E-01	4,48E-01	4,48E-01	4,48E-01		
Ti-47	4,13E-01	4,13E-01	4,13E-01	4,13E-01	4,13E-01	4,13E-01	4,13E-01	4,13E-01	4,13E-01	4,13E-01	4,13E-01	4,13E-01	4,13E-01	4,13E-01	4,13E-01		
Ti-48	4,10E+00	4,10E+00	4,10E+00	4,10E+00	4,10E+00	4,10E+00	4,10E+00	4,10E+00	4,10E+00	4,10E+00	4,10E+00	4,10E+00	4,10E+00	4,10E+00	4,10E+00		
Ti-49	4,03E-01	4,03E-01	4,03E-01	4,03E-01	4,03E-01	4,03E-01	4,03E-01	4,03E-01	4,03E-01	4,03E-01	4,03E-01	4,03E-01	4,03E-01	4,03E-01	4,03E-01		
Ti-50	3,10E-01	3,10E-01	3,10E-01	3,10E-01	3,10E-01	3,10E-01	3,10E-01	3,10E-01	3,10E-01	3,10E-01	3,10E-01	3,10E-01	3,10E-01	3,10E-01	3,10E-01		
V-48																	
V-50	1,21E-02	1,21E-02	1,21E-02	1,21E-02	1,21E-02	1,21E-02	1,21E-02	1,21E-02	1,21E-02	1,21E-02	1,21E-02	1,21E-02	1,21E-02	1,21E-02	1,21E-02		
V-51	5,59E+00	5,59E+00	5,59E+00	5,59E+00	5,59E+00	5,59E+00	5,59E+00	5,59E+00	5,59E+00	5,59E+00	5,59E+00	5,59E+00	5,59E+00	5,59E+00	5,59E+00		
Cr-50	1,36E-01	1,36E-01	1,36E-01	1,36E-01	1,36E-01	1,36E-01	1,36E-01	1,36E-01	1,36E-01	1,36E-01	1,36E-01	1,36E-01	1,36E-01	1,36E-01	1,36E-01		
Cr-52	2,93E+00	2,93E+00	2,93E+00	2,93E+00	2,93E+00	2,93E+00	2,93E+00	2,93E+00	2,93E+00	2,93E+00	2,93E+00	2,93E+00	2,93E+00	2,93E+00	2,93E+00		
Cr-53	3,20E-01	3,20E-01	3,20E-01	3,20E-01	3,20E-01	3,20E-01	3,20E-01	3,20E-01	3,20E-01	3,20E-01	3,20E-01	3,20E-01	3,20E-01	3,20E-01	3,20E-01		
Cr-54	1,01E-01	1,01E-01	1,01E-01	1,01E-01	1,01E-01	1,01E-01	1,01E-01	1,01E-01	1,01E-01	1,01E-01	1,01E-01	1,01E-01	1,01E-01	1,01E-01	1,01E-01		
Mn-53	5,20E-08	5,20E-08	5,20E-08	5,20E-08	5,20E-08	5,20E-08	5,20E-08	5,20E-08	5,20E-08	5,20E-08	5,20E-08	5,20E-08	5,20E-08	5,20E-08	5,20E-08		
Mn-54																	
Mn-55	1,08E+00	1,08E+00	1,08E+00	1,08E+00	1,08E+00	1,08E+00	1,08E+00	1,08E+00	1,08E+00	1,08E+00	1,08E+00	1,08E+00	1,08E+00	1,08E+00	1,08E+00		
Fe-54	9,48E-01	9,48E-01	9,48E-01	9,48E-01	9,48E-01	9,48E-01	9,48E-01	9,48E-01	9,48E-01	9,48E-01	9,48E-01	9,48E-01	9,48E-01	9,48E-01	9,48E-01		
Fe-55	7,88E-12	2,19E-12	6,08E-13	1,71E-13	4,81E-14												
Fe-56	1,56E+01	1,56E+01	1,56E+01	1,56E+01	1,56E+01	1,56E+01	1,56E+01	1,56E+01	1,56E+01	1,56E+01	1,56E+01	1,56E+01	1,56E+01	1,56E+01	1,56E+01		
Fe-57	4,87E-01	4,87E-01	4,87E-01	4,87E-01	4,87E-01	4,87E-01	4,87E-01	4,87E-01	4,87E-01	4,87E-01	4,87E-01	4,87E-01	4,87E-01	4,87E-01	4,87E-01		
Fe-58	5,63E-02	5,63E-02	5,63E-02	5,63E-02	5,63E-02	5,63E-02	5,63E-02	5,63E-02	5,63E-02	5,63E-02	5,63E-02	5,63E-02	5,63E-02	5,63E-02	5,63E-02		
Fe-59																	
Fe-60	4,44E-06	4,44E-06	4,44E-06	4,44E-06	4,44E-06	4,44E-06	4,44E-06	4,44E-06	4,44E-06	4,44E-06	4,44E-06	4,44E-06	4,44E-06	4,44E-06	4,44E-06		



Kernbrennstoff		Abklingzeit in Jahren																
		80	85	90	95	100	200	500	1.000	5.000	10.000	50.000	100.000	500.000	1.000.000			
DWR-UO <sub>2</sub>	Abbrand 55 GWd/tSM	U-240	6,21E+04	6,21E+04	6,21E+04	6,21E+04	6,21E+04	6,21E+04	6,21E+04	6,21E+04	6,22E+04	6,22E+04	6,22E+04	6,22E+04	6,22E+04	6,21E+04		
		Np-235	3,05E+05	3,05E+05	3,05E+05	3,05E+05	3,04E+05	3,04E+05	3,04E+05	3,04E+05	2,98E+05	2,44E+05	1,85E+05	3,20E+04	3,98E+05			
		Np-236	2,89E+10	2,78E+10	2,80E+10	2,83E+10	2,83E+10	2,83E+10	2,83E+10	2,83E+10	2,83E+10	2,83E+10	2,83E+10	2,83E+10	2,83E+10			
		Np-237	1,24E+09	1,21E+09	1,18E+09	1,16E+09	1,13E+09	1,13E+09	1,13E+09	1,13E+09	1,13E+09	1,13E+09	1,13E+09	1,13E+09	1,13E+09			
		Np-238	1,87E+12	1,88E+12	1,86E+12	1,88E+12	1,88E+12	1,88E+12	1,88E+12	1,88E+12	1,88E+12	1,88E+12	1,88E+12	1,88E+12	1,88E+12			
		Np-239	6,21E+04	6,21E+04	6,21E+04	6,21E+04	6,21E+04	6,21E+04	6,21E+04	6,21E+04	6,21E+04	6,21E+04	6,21E+04	6,21E+04	6,21E+04			
		Np-240m	7,46E+01	7,46E+01	7,46E+01	7,46E+01	7,46E+01	7,46E+01	7,46E+01	7,46E+01	7,46E+01	7,46E+01	7,46E+01	7,46E+01	7,46E+01			
		Pu-236	2,71E+04	2,68E+04	2,68E+04	2,68E+04	2,68E+04	2,68E+04	2,68E+04	2,68E+04	2,67E+04	2,67E+04	2,67E+04	2,67E+04	2,67E+04			
		Pu-237	1,48E+14	1,42E+14	1,39E+14	1,31E+14	1,26E+14	1,20E+14	1,15E+14	1,09E+14	1,03E+14	9,73E+13	9,16E+13	8,52E+13	7,94E+13			
		Pu-238	1,42E+13	1,42E+13	1,42E+13	1,42E+13	1,42E+13	1,42E+13	1,42E+13	1,42E+13	1,42E+13	1,42E+13	1,42E+13	1,42E+13	1,42E+13			
		Pu-239	2,50E+13	2,50E+13	2,50E+13	2,50E+13	2,47E+13	2,47E+13	2,47E+13	2,47E+13	2,47E+13	2,47E+13	2,47E+13	2,47E+13	2,47E+13			
		Pu-240	1,52E+14	1,19E+14	9,38E+13	7,37E+13	5,79E+13	5,05E+13	4,09E+13	3,22E+13	2,27E+13	1,48E+13	8,78E+12	5,18E+12	3,05E+12			
		Pu-242	1,50E+11	1,50E+11	1,50E+11	1,50E+11	1,50E+11	1,50E+11	1,50E+11	1,48E+11	1,47E+11	1,47E+11	1,47E+11	1,47E+11	1,47E+11			
		Pu-243	4,58E+04	4,58E+04	4,58E+04	4,58E+04	4,58E+04	4,58E+04	4,58E+04	4,58E+04	4,58E+04	4,58E+04	4,58E+04	4,58E+04	4,58E+04			
		Pu-244	6,22E+04	6,22E+04	6,22E+04	6,22E+04	6,22E+04	6,22E+04	6,22E+04	6,22E+04	6,22E+04	6,22E+04	6,22E+04	6,22E+04	6,22E+04			
		Pu-246	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01			
		Am-241	2,19E+14	2,19E+14	2,18E+14	2,17E+14	2,16E+14	2,15E+14	2,14E+14	2,13E+14	2,12E+14	2,11E+14	2,10E+14	2,09E+14	2,08E+14			
		Am-242m	2,76E+11	2,70E+11	2,63E+11	2,57E+11	2,50E+11	2,43E+11	2,36E+11	2,29E+11	2,22E+11	2,15E+11	2,08E+11	2,01E+11	1,94E+11			
		Am-242	2,75E+11	2,68E+11	2,62E+11	2,56E+11	2,49E+11	2,42E+11	2,35E+11	2,28E+11	2,21E+11	2,14E+11	2,07E+11	2,00E+11	1,93E+11			
		Am-243	1,87E+12	1,86E+12	1,86E+12	1,86E+12	1,86E+12	1,86E+12	1,86E+12	1,86E+12	1,86E+12	1,86E+12	1,86E+12	1,86E+12	1,86E+12			
		Am-245	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01			
		Am-246	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01			
		Am-247	2,28E+11	2,22E+11	2,17E+11	2,12E+11	2,06E+11	2,00E+11	1,94E+11	1,88E+11	1,82E+11	1,76E+11	1,70E+11	1,64E+11	1,58E+11			
		Am-248	2,58E+11	2,28E+11	2,02E+11	1,79E+11	1,58E+11	1,39E+11	1,21E+11	1,04E+11	8,95E+10	7,78E+10	6,80E+10	5,99E+10	5,32E+10			
		Am-249	1,59E+13	1,31E+13	1,08E+13	8,95E+12	7,38E+12	6,16E+12	5,18E+12	4,38E+12	3,72E+12	3,16E+12	2,68E+12	2,27E+12	1,92E+12			
		Am-250	4,22E+10	4,22E+10	4,22E+10	4,22E+10	4,22E+10	4,22E+10	4,22E+10	4,22E+10	4,22E+10	4,22E+10	4,22E+10	4,22E+10	4,22E+10			
		Am-251	1,02E+10	1,02E+10	1,02E+10	1,02E+10	1,02E+10	1,02E+10	1,02E+10	1,02E+10	1,02E+10	1,02E+10	1,02E+10	1,02E+10	1,02E+10			
		Am-252	4,56E+04	4,56E+04	4,56E+04	4,56E+04	4,56E+04	4,56E+04	4,56E+04	4,56E+04	4,56E+04	4,56E+04	4,56E+04	4,56E+04	4,56E+04			
		Am-253	1,46E+05	1,46E+05	1,46E+05	1,46E+05	1,46E+05	1,46E+05	1,46E+05	1,46E+05	1,46E+05	1,46E+05	1,46E+05	1,46E+05	1,46E+05			
		Am-254	1,55E+00	1,55E+00	1,55E+00	1,55E+00	1,55E+00	1,55E+00	1,55E+00	1,55E+00	1,55E+00	1,55E+00	1,55E+00	1,55E+00	1,55E+00			
		Bk-247	8,12E-03	8,10E-03	8,08E-03	8,06E-03	8,04E-03	8,02E-03	8,00E-03	7,98E-03	7,96E-03	7,94E-03	7,92E-03	7,90E-03	7,88E-03			
		Bk-248	5,83E+01	5,83E+01	5,83E+01	5,83E+01	5,83E+01	5,83E+01	5,83E+01	5,83E+01	5,83E+01	5,83E+01	5,83E+01	5,83E+01	5,83E+01			
		Bk-249	2,17E-01	2,17E-01	2,17E-01	2,17E-01	2,17E-01	2,17E-01	2,17E-01	2,17E-01	2,17E-01	2,17E-01	2,17E-01	2,17E-01	2,17E-01			
		Bk-250	4,08E+01	4,08E+01	4,08E+01	4,08E+01	4,08E+01	4,08E+01	4,08E+01	4,08E+01	4,08E+01	4,08E+01	4,08E+01	4,08E+01	4,08E+01			
		Cf-248	1,82E+06	1,80E+06	1,56E+06	1,57E+06	1,56E+06	1,56E+06	1,56E+06	1,56E+06	1,56E+06	1,56E+06	1,56E+06	1,56E+06	1,56E+06			
		Cf-250	3,48E+05	2,67E+05	2,05E+05	1,57E+05	1,21E+05	9,06E+04	6,96E+04	5,38E+04	4,18E+04	3,22E+04	2,48E+04	1,92E+04	1,48E+04			
		Cf-251	1,32E+05	1,31E+05	1,31E+05	1,31E+05	1,31E+05	1,31E+05	1,31E+05	1,31E+05	1,31E+05	1,31E+05	1,31E+05	1,31E+05	1,31E+05			
		Cf-252	2,70E-02	2,26E-03	1,97E-03	5,32E-04	1,44E-04	3,87E-05	1,04E-05	2,87E-06	7,94E-07	2,22E-07	6,18E-08	1,73E-08	4,81E-09			
		Cf-254	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01	3,87E-01			





Auch im Rahmen eines Forschungsvorhabens zur Endlagerung im **Tonstein** (VerSi) wurden bereits nuklid- und stoffspezifische Inventare von LWR-BE als Grundlage für die generische Auslegung eines Endlagers ermittelt /GRS 2010/. Hier finden sich ähnliche tabellarische Zusammenstellungen wie im Bericht /GRS 2011/. Sämtliche Abbrandberechnungen, die die Abschätzung des Radionuklidinventars abgebrannter LWR-BE ermöglichen, gehen auf das Rechenprogramm OREST der GRS mbH zurück. Insoweit stützen sich die jüngsten Berichte der GRS teilweise auf ältere, bereits vorliegende Angaben.

## 5 Hochradioaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung

### 5.1 Anforderungen der Endlagerung

Für die Planung eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle wird davon ausgegangen, dass in Bezug auf den Abfallbestand folgende Daten vorhanden sein müssen:

Zur Dimensionierung der Größe des Endlagers und der Anzahl der für die Einlagerung erforderlichen Endlagerbehälter wird die **Anzahl** der vorhandenen Kokillen mit verglasten Spaltprodukten (CSD-V-Kokillen) benötigt.

Im Hinblick auf die thermischen Bedingungen eines Endlagers muss die Aufheizung des Wirtsgesteins durch die Wärmeentwicklung der Abfälle berücksichtigt werden, die in den ersten Jahrhunderten der Nachbetriebsphase zu einer Aufheizung am Kontakt zur Behälteroberfläche maximal 200°C bei Endlagern im Steinsalz bzw. 100°C in Tonstein und im Kristallingestein betragen darf /GRS 2008/, /RAD 2011/. Insofern müssen die **Wärmeleistung** und die **Oberflächentemperatur** der CSD-V-Kokillen zu unterschiedlichen Zeitpunkten bekannt sein. Für Modellrechnungen ist darüber hinaus die **Gesamtaktivität** relevant, die mit der Wärmeleistung korrespondiert.

Anders als bei Brennelementen sind die Spaltprodukte durch den physikalisch-chemischen Prozess der Wiederaufarbeitung mit Borosilikatglas zu einem so genannten HLW-Glas verschmolzen worden. Dieses Glas befindet sich in einem Edelstahlbehälter. Aufgrund der mechanisch stabilen Beschaffenheit des „Abfallprodukts“ aus Glasmatrix und Behälter kann von einer besseren Beständigkeit gegenüber Lösungsvorgängen im Endlager ausgegangen werden. Da auch Gläser langfristig einer chemischen Zersetzung unterworfen sein können, sind konservativ auch die für Langzeitsicherheitsbetrachtungen relevanten **löslichen und langlebigen Radionuklide** zu erfassen (analog der Betrachtung zu den Brennelementen). Idealerweise sollte der **komplette Nuklidvektor** der CSD-V-Kokillen bekannt sein /GRS-2012/. Darüber hinaus müssen die wesentlichen **stofflich relevanten Daten** vorliegen.

Ziel bei der (inzwischen abgeschlossenen) Herstellung der Glaskokillen war es, bereits bei der Entstehung des Abfallproduktes alle relevanten Daten zu erfassen. So sollten spätere

Untersuchungen an den Abfallbinden vermieden werden. Dementsprechend hatte der „Arbeitskreis HAW-Produkte“ bereits im Jahr 2001 die Angaben, die als endlagerrelevant zu betrachten sind, in seinen Empfehlungen zusammengefasst. Im Einzelnen handelt es sich um folgende Angaben bzw. Kenngrößen /GRS 2008<sup>2</sup>:

- Gesamtaktivität ( $\beta/\gamma$ - und  $\alpha$ -Aktivität, Neutronenquellstärke),
- Aktivitäten **relevanter Radionuklide**, dazu zählen Aktivierungsprodukte (Co-60, Cl-36 etc.), flüchtige Nuklide (Tritium, Kr-85, C-14, I-129, Rn-222 etc.), Spaltprodukte (Cs-137, Sr-90 etc.), Aktinide (Np-237, Am-241, Cm-244, Uran- und Plutonium-Isotope etc.),
- Kritikalitätssicherheit, dazu sind **Angaben zur Spaltstoffkonzentration** (U-233, U-235, Pu-239 und Pu-241) und zur **Konzentration spaltbarer Aktiniden** erforderlich,
- **Thermische Leistung** des Abfallprodukts.

## 5.2 Zusammenstellung der anforderungsgerechten Daten

Die hochradioaktiven Kokillen mit verglasten Spaltprodukten aus der Wiederaufarbeitung in Frankreich (CSD-V) wurden bereits produziert. Insgesamt 3.024 CSD-V werden in 108 Großbehältern im Transportbehälterlager Gorleben zwischengelagert. Weitere 571 HAW-Glaskokillen stehen in Sellafield (Großbritannien) zum Rücktransport in 21 Großbehältern nach Deutschland bereit. Insoweit kann die Ermittlung endlagerrelevanter Daten zu den insgesamt 3.595 CSD-V und HAW-Kokillen auf belastbarer Grundlage erfolgen, da im Gegensatz zu den LWR-BE keine Abschätzungen mehr vorgenommen werden müssen.

Einschlägige Fachberichte zur Abschätzung endlagerrelevanter Abfallmengen gehen noch von höheren Kokillenzahlen aus. So wird in /GRS 2011/ noch die Gesamtzahl von 3.735 HAW-Kokillen als Datenbasis der VSG genannt.

Grundlage für die Ermittlung von Daten zur radiologischen Charakterisierung der HAW-Kokillen bildet ebenso wie bei den LWR-BE der Rechencode OREST der GRS mbH. Auch in diesem Fall wurde für die Betrachtungen zur Endlagerauslegung und zur Langzeitsicherheit von einer **Modellkokille** ausgegangen, für die **abdeckende Annahmen** getroffen wurden.

---

<sup>2</sup> Angaben nur, soweit sie für eine Nuklidbilanz erforderlich sind. Angaben zum Endlagerbehälter sind ebenfalls erforderlich und erhoben worden; diese werden hier aber nicht genannt, da der Endlagerbehälter noch nicht feststeht.

Eine Zusammenstellung der berechneten Gesamtaktivität und der Wärmeleistung der Modellkokille zu unterschiedlichen Zeitpunkten enthält nachfolgende Tabelle /GRS 2011/:

Verglaste Spaltproduktlösung	Abklingzeit in Jahren nach Abfüllung											
	t1 = 0	10	20	30	40	50	100	500	1.000	10.000	100.000	1.000.000
Bq/Kokille	2,9E+16	1,3E+16	1,0E+16	8,1E+15	6,4E+15	5,1E+15	1,6E+15	2,5E+13	1,3E+13	2,1E+12	8,8E+11	3,7E+11
W/Kokille	3,1E+03	1,2E+03	9,2E+02	7,3E+02	5,8E+02	4,6E+02	1,6E+02	2,1E+01	1,0E+01	7,1E-01	1,1E-01	1,4E-01

Die durchschnittliche Wärmeleistung für den überwiegenden Anteil der CSD-V zum Zeitpunkt der Endlagerung wird etwa bei 550 W und die durchschnittliche Aktivität pro Kokille bei  $6,0E+15$  Bq liegen.

Ebenso wie bei den LWR-BE sind **umfassende Angaben zum Nuklidspektrum** unter Einschluss der langzeitsicherheitsrelevanten Nuklide in den **Anhängen** zu /GRS 2011/ enthalten. Allerdings wird hier nicht die einzelne Kokille, sondern die Summe aller (Modell)kokillen betrachtet. Darüber hinaus enthält der Bericht einige grundlegende Angaben zur **stofflichen Charakterisierung** von Kokillen.

Weitere **umfassende Betrachtungen** zur nuklidspezifischen Ableitung des Inventars der CSD-V finden sich im Bericht /GRS 2012/.

Anmerkung: Die z.T. noch nicht produzierten Kokillen mit verpressten Hüllrohrstücken, Strukturteilen und Technologieabfällen (CSD-C) und Kokillen mit verglasten Deko- und Spülwässern (CSD-B) werden hier nicht weiter betrachtet, da sie nicht zu den HAW gerechnet werden.

Im Zwischenlager Greifswald befinden sich 140 hochradioaktive Glaskokillen in 5 Großbehältern aus der deutschen Wiederaufarbeitungsanlage VEK /JOI 2015/. Es wird hier davon ausgegangen, dass die Daten für diese HAW umfassend vorliegen bzw. verfügbar gemacht werden können, da sie sich im Eigentum des Bundes befinden.

## 6 Zwischenergebnis

Auf der Grundlage der in den Kapiteln 4 und 5 vorgenommenen Betrachtungen kann konstatiert werden, dass endlagerrelevante Daten von LWR-BE und WA-Abfällen auf der Basis von veröffentlichten Berichten und Forschungsergebnissen grundsätzlich verfügbar sind.

Allerdings sind viele der voraussichtlich benötigten Daten in vielen Unterlagen „versteckt“ bzw. sie wurden zu unterschiedlichen Zwecken, mit nicht einheitlichem Tiefgang und unter-

schiedlicher Aktualität erhoben. Zudem konnten und können insbesondere die genaue Anzahl von Brennelementen sowie darüber hinaus gehende wichtige Angaben z.B. zum Abbrand, zum Nuklidvektor oder zur stofflichen Zusammensetzung nur aufgrund behördeninterner Unterlagen oder freiwilliger Angaben der Betreiber erhoben werden.

Dementsprechend war zunächst zu klären, ob eine eindeutige Rechtsgrundlage zur künftigen Erhebung der zur Erstellung einer „Nuklearen Eröffnungsbilanz“ benötigten umfassenden und aktuellen Angaben von den AKW-Betreibern vorhanden ist.

## **7 Rechtsförmliche Grundlagen zur Erhebung endlagerrelevanter Daten für hochradioaktive Abfälle**

Daten zu den LWR-BE und den WA-Abfällen werden den Aufsichtsbehörden der Länder von den jeweiligen Betreibern der AKW aufgrund der Rechtsverpflichtung des § 9a Abs. 1a - 1d AtG jährlich aktuell zur Verfügung gestellt (sog. „Entsorgungsvorsorgenachweis“). Diese Daten dienen allerdings primär nicht der Erfassung endlagerrelevanter Daten. Vielmehr sollen damit die ausreichende Verfügbarkeit von Zwischenlagern, die Verwertung des im WA-Prozess abgetrennten spaltbaren Plutoniums und des gewonnenen Urans nachgewiesen werden. Darüber hinaus sind Planungen für die Zwischenlagerung sämtlicher nach Deutschland zurückzuführender WA-Abfälle vorzulegen. Die Angaben der Betreiber werden im Auftrag des BfS jährlich in einem Bericht der GRS zusammengestellt und auf Plausibilität geprüft /GRS 2014/.

Gemäß § 72, 73 StrlSchV haben die Betreiber der AKW Planungen für Anfall und Verbleib radioaktiver Abfälle vorzulegen und in einem elektronischen Buchführungssystem zu erfassen. Diese Vorschrift gilt gem. § 72 Satz 4 allerdings nicht für bestrahlte LWR-BE. Ob die hochradioaktiven WA-Abfälle unter die Vorschrift fallen, ist fraglich. Sie sind zwar nicht definitiv ausgenommen, aber die StrlSchV enthält auch keine eindeutigen Regelungen zu deren Erfassung. § 73 StrlSchV verweist hierzu auf Anlage X der StrlSchV. Aus dem Kontext von Teil B der Anlage X könnte abgeleitet werden, dass auch die hochradioaktiven WA-Abfälle zu erfassen sind. So enthält Nr. 4 des Teils B der Anlage X Hinweise und Angaben zu „bestrahlten Kernbrennstoffen“. Die Fußnote 6 verweist auf „Abfallgebinde, die aus der Wiederaufarbeitung von ausgedienten Brennelementen aus Kernkraftwerken der Bundesrepublik Deutschland in Anlagen des Auslands stammen“. Somit könnte man sich auf den Standpunkt stellen, dass die Vorschriften der StrlSchV zur Erfassung von WA-Abfällen einschließlich des elektronischen Buchführungssystems (§ 73 Abs. 2) vollumfänglich anzuwenden sind.

In einem **Fachgespräch mit der GNS am 26.01.2015** wurde seitens des NMU hinterfragt, ob aus Sicht der Betreiber die vorliegenden und teilweise veröffentlichten Informationen für die aktuellen Arbeiten der Endlagerkommission relevant und ausreichend seien und somit

der Forderung nach einer umfassenden Abfallbilanz Rechnung tragen können. Insbesondere wurde auch erörtert, ob seitens der Betreiber über die vorliegenden Informationen hinaus weitere, evtl. zusätzlich benötigte Daten zu den LWR-BE und den WA-Abfällen vorliegen und ob bzw. auf welcher Rechtsgrundlage diese bereit gestellt werden könnten.

Ohne Anerkennung einer Rechtspflicht erklärte sich die GNS bereit, umfassende Auskünfte zu den WA-Abfällen zu erteilen. Auf die Frage nach einem elektronischen Buchführungssystem erklärte die GNS, dass ein solches betriebsintern zur Verfügung stehe. Auf Anfrage der Behörden könnten für jede einzelne CSD-V Kokille umfassende Abfalldaten bereit gestellt werden. Dies betreffe nicht nur die Masse, die Wärmeleistung und die Gesamtaktivität, sondern auch den kompletten Nuklidvektor, der für jedes beliebige Bezugsdatum elektronisch ermittelt werden könne. Gleiches gelte für sämtliche im TBL-Gorleben und in den Standortzwischenlagern befindlichen LWR-BE. Über diese Daten verfüge die GNS, da sie im Auftrag der AKW-Betreiber sämtliche Belade- und Einlagerungskampagnen für LWR-BE begleite. Beispielhaft wurden dazu Foliensätze ausgehändigt /GNS 2015-2/. Einer Weitergabe oder gar Veröffentlichung dieser Angaben könne aber ohne Einverständnis der betroffenen Abfallverursacher seitens der GNS nicht zugestimmt werden, da sich die GNS nur als Dienstleister betätige.

Mit E-Mail vom 07.04.2015 hat das BMUB einen Gesetzentwurf der Bundesregierung für ein Vierzehntes Gesetz zur Änderung des Atomgesetzes in die Länderanhörung gegeben. Er dient der Umsetzung der Richtlinie 2011/70/EURATOM in nationales Recht. § 2c Abs. 4 und § 9i des Entwurfs sehen Auskunftspflichten der Entsorgungspflichtigen in Bezug auf Bestand und die Prognose abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle vor. Diese Daten sollen künftig dem BMUB mitgeteilt werden. Besondere Regelungen in Bezug auf „endlagerrelevante“ Angaben sind bislang nicht vorgesehen. Vielmehr werden lediglich die „erforderlichen“ Auskünfte zur Erstellung und Fortschreibung der nationalen Bestandsaufnahme („Abfallverzeichnis“) genannt.

Die in dem Gesetzentwurf verwendeten Begriffe „Art“, „Eigenschaften“, „erforderliche Auskünfte“ sind für die Zwecke der Endlagerung zu unbestimmt. Gegenüber der EU geht es in erster Linie um eine statistische Erfassung der Mengen und der Standorte, die einen Vergleich zu anderen Mitgliedsstaaten und einen groben Überblick ermöglichen sollen. Die Erfassung möglichst umfassender Angaben zu allen radioaktiven Abfällen zu Zwecken der Zwischen- und Endlagerung entsprechend den in diesem Bericht genannten Anforderungen geht weit über diesen Überblick hinaus. Die vorgesehene 14. Novelle des AtG sollte daher auf ihren eigentlichen Zweck beschränkt werden. Zur Erfüllung der o.g. Anforderungen der Endlagerung sind darüber hinaus gehende Rechtsänderungen erforderlich (s. Kap. 9).

## 8 Resümee

Im Ergebnis liegen zwar in verschiedenen Fach- und Forschungsberichten verstreute, teilweise veröffentlichte umfassende Daten zur Bilanzierung der in Deutschland vorhandenen hochradioaktiven Abfälle mit Blick auf die Anforderungen eines Endlagers vor. Grundsätzlich können diese Angaben, evtl. ergänzt durch zusätzliche und aktuelle (freiwillige) Angaben der verantwortlichen Betreiber, aus fachlicher Sicht zunächst als ausreichend für die Erstellung von Auswahl- und Eignungskriterien für ein HAW-Endlager durch die Endlagerkommission angesehen werden. Da die Betreiber in der Endlagerkommission mitarbeiten, dürfte die eventuell erforderliche Bereitstellung fehlender oder bislang unveröffentlichter Daten kein grundlegendes Problem darstellen. **Eine unverzügliche Rechtsänderung zur Beschaffung der für die aktuelle Arbeit Endlagerkommission erforderlichen Daten wird aus fachlicher deshalb nicht für erforderlich gehalten.**

Unbeschadet dessen sind die von Herrn Minister Wenzel erhobenen **Forderungen nach einer Vervollständigung einer umfassenden „Nuklearen Eröffnungsbilanz“ auf bestehender Rechts- und Datenlage nicht zu erfüllen.** Dies liegt vor allem daran, dass es bislang keine Einigung dazu gibt, welche Daten zu welchem Zeitpunkt und mit welchem Tiefgang benötigt werden, welche Stelle hierfür zuständig ist und nicht zuletzt auf welcher Rechtsgrundlage diese Datenerhebung künftig erfolgen soll.

## 9 Handlungsempfehlungen

Aufgrund der z.Zt. unvollständigen, nicht einheitlichen und nicht aktuellen Datenlage wird in Bezug auf die LWR-BE und die WA-Abfälle empfohlen, wie folgt vorzugehen:

1. Es sollte auf **Fachebene** eine grundlegende **Verständigung** darüber erreicht werden, welche **Datenbasis** einer vollständigen Abfallbilanz zu Endlagerzwecken künftig zugrunde zu legen ist. Insbesondere ist zu klären, **welche Daten zu welchem Zeitpunkt und mit welchem Tiefgang benötigt werden, welche Stelle hierfür zuständig ist und wie die Dokumentation und Veröffentlichung dieser Daten erfolgen soll.** Hierbei sollte vor allem eine Klärung bezüglich der hochradioaktiven Abfälle (LWR-BE und WA-Abfälle) erfolgen. Im Nachgang könnte auch eine Festlegung zu den sonstigen „nicht konradgängigen“ radioaktiven Abfällen erfolgen. Damit sollte sich die **AG 3 der Endlagerkommission** beschäftigen. Das Ergebnis der Beratung könnte im Kapitel „Abfallbilanz“ des Berichtes der Endlagerkommission dokumentiert werden (Kapitel 2.7. der aktuellen Gliederung).

2. Nach Vorlage des Ergebnisses der Fachberatungen zu 1. sollten Vorschläge für eine **rechtliche Umsetzung der erweiterten Berichtspflichten** erarbeitet werden. Die **Berichtspflicht**, die von der Bundesregierung im Rahmen der **14. AtG-Novelle** eingeführt werden soll, ist für diesen Zweck **nicht ausreichend**. Daher ist eine **Ergänzung des StandAG in Bezug auf künftige Berichtspflichten zur Erstellung und Fortschreibung einer Abfallbilanz in Betracht zu ziehen**. Die Vorarbeiten hierzu sollten durch die **AG 2 der Endlagerkommission** geleistet werden.
3. Nach Beratung der erforderlichen Rechtsänderung in der Endlagerkommission ist eine Empfehlung zu einer **Ergänzung des StandAG** zu gegebener Zeit in das Gesetzgebungsverfahren des Deutschen Bundestages einzubringen.

## 10 Quellen

- /EVE 2015/ Entsorgungsvorsorgenachweis 31. Dezember 2014 Kernkraftwerke Grohnde, Stade und Unterweser. Schreiben E.ON Kernkraft GmbH vom 04.02.2015
- /EVL 2015/ Entsorgungsvorsorgenachweis 31. Dezember 2014 Kernkraftwerk Emsland. Schreiben Kernkraftwerke Lippe-Ems GmbH vom 04.02.2015
- /GNS 2014/ Abschätzung des Endlagerinventars (Wärmeleistung, Aktivität) in Brennelementen nach der endgültigen Außerbetriebnahme deutscher LWR-Anlagen. Bericht GNS B 281/2013
- /GNS 2015-1/ Darstellung der getroffenen Entsorgungsmaßnahmen für die nach Deutschland rückzuführenden radioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung bestrahlter Brennelemente in den Anlagen der AREVA NC in La Hague (F) und der NDA in Sellafield (UK), Stand 31.12.2014. Bericht GNS B 016/2015 vom 22.01.2015
- /GNS 2015-2/ Informationen zur Relevanz von BE- und WA-Abfalldaten für die übergeordneten Endlagerplanungen der Kommission nach StandAG. Foliensatz zum Fachgespräch am 26.01.2015 mit dem NMU.
- /GRS 2008/ Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in Deutschland September 2008, gemeinsam mit Öko-Institut; Arbeitsbericht GRS-247  
<http://www.grs.de/grs-247-endlagerung-waermeentwickelnder-radioaktiver-abfaelle-deutschland>
- /GRS 2010/ VerSi; Endlagerung im Tonstein; Arbeitsbericht GRS A - 3535  
<http://www.grs.de/publikation/grs-A-3535-1>
- /GRS 2011/ Abfallspezifikation und Mengengerüst - Basis Ausstieg aus der Kernenergienutzung (Juli 2011), gemeinsam mit iSTec und nse; Arbeitsbericht GRS-278; September 2011  
<http://www.grs.de/publication/grs-278-abfallspezifikation-und-mengengeruest-basis-ausstieg-kernenergienutzung>
- /GRS 2012/ Radionuclide Inventory of Vitrified Waste after Spent Nuclear Fuel Reprocessing at La Hague; Arbeitsbericht GRS-294, September 2012  
<http://www.grs.de/publication/grs-294-radionuclide-inventory-vitrified-waste-after-spent-nuclear-fuel-reprocessing-la-hague>



- /GRS 2014/ Entsorgung abgebrannter Brennelemente aus den Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland - Ergebnisse der Länderumfrage zum Stichtag 31.12.2013; interner Arbeitsbericht im Auftrag des BfS; August 2014
- /JOI 2015/ Gemeinsames Übereinkommen über die Sicherheit der Behandlung abgebrannter Brennelemente und über die Sicherheit der Behandlung radioaktiver Abfälle; Bericht der Bundesrepublik Deutschland für die fünfte Überprüfungskonferenz im Mai 2015 [K-MAT 14]  
[https://www.bundestag.de/blob/339898/c102c11dce90a25e3146b2a4a9f63d7b/kmat\\_14-data.pdf](https://www.bundestag.de/blob/339898/c102c11dce90a25e3146b2a4a9f63d7b/kmat_14-data.pdf)
- /NAP 2015/ Programm für eine verantwortungsvolle und sichere Entsorgung bestrahlter Brennelemente und radioaktiver Abfälle (Nationales Entsorgungsprogramm) ENTWURF vom 06. Januar 2015 ; BMUB  
[http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Nukleare\\_Sicherheit/nationales\\_entsorgungsprogramm\\_bf.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Nukleare_Sicherheit/nationales_entsorgungsprogramm_bf.pdf)
- /RAD 2011/ Gethmann et al. (Hrsg.): Radioactive Waste; Technical and Normative Aspects of its Disposal. Ethics of Science and Technology Assessment. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011
- /VER 015/ Verzeichnis radioaktiver Abfälle; Bestand zum 31. Dezember 2013 und Prognose; Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe: K-MAT 13  
[http://www.bundestag.de/blob/337852/7c57c8dc16bfc64f8ae86006964be6b2/kmat\\_13-data.pdf](http://www.bundestag.de/blob/337852/7c57c8dc16bfc64f8ae86006964be6b2/kmat_13-data.pdf)