



Bundesamt für Strahlenschutz

# Deckblatt

GZ: SE 4.2.3-9A 25100000

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev.	Seite: I
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	25100000	MAL	RA	0006	00	Stand: 05.11.2013

Titel der Unterlage:

SCHACHTANLAGE ASSE II - BERICHT ZUR ÜBERPRÜFUNG DES ABFALLINVENTARS - 3.  
EINZELBEAUFTRAGUNG: ÜBERPRÜFUNG DER SONSTIGEN ABFALLDATEN

Ersteller:

TÜV SÜD INDUSTRIE SERVICE GMBH

Stempelfeld:

Freigabe durch bergrechtlich verantwortliche Person:

---

Datum und Unterschrift

Freigabe durch atomrechtlich verantwortliche Person:

---

Datum und Unterschrift

Freigabe im Projekt/Betrieb:

---

Datum und Unterschrift

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung des BfS.





Industrie Service

# **Schachtanlage Asse II**

## **Bericht**

### **zur Überprüfung des Abfallinventars**

### **3. Einzelbeauftragung: Überprüfung der sonstigen Abfalldaten**

**Bericht ETS4-43/2011**

**Rev. 1**

**November 2013**

---

Erstellt im Auftrag des  
Bundesamtes für Strahlenschutz  
von der TÜV SÜD Industrie Service GmbH  
Energie und Technologie

---



## Inhaltsverzeichnis:

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Durchgeführte Prüfungen und Prüfumfang.....</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Recherche und Bewertung der in den Betriebsdokumenten deklarierten Aktivitätsdaten von Abfällen.....</b>	<b>10</b>
3.1	Abfälle ausgewählter Ablieferer .....	10
3.1.1	Forschungszentrum Karlsruhe (GfK/KfK).....	10
3.1.2	Forschungszentrum Jülich (KFA).....	33
3.1.3	Forschungszentrum Geesthacht (GKSS) / Amersham-Buchler (AB).....	43
3.1.4	Kernkraftwerke (KKW) .....	46
3.2	Abfälle ausgewählter Zusammensetzung .....	48
3.2.1	Radiumhaltige Abfälle .....	48
3.2.2	Thoriumhaltige Abfälle .....	50
3.2.3	Uranhaltige Abfälle.....	55
<b>4</b>	<b>Abgleich der Rechercheergebnisse mit den von HMGU bei den Ablieferern nachrecherchierten Aktivitätsdaten .....</b>	<b>61</b>
<b>5</b>	<b>Abgleich der deklarierten und nachrecherchierten Aktivitätsdaten mit den in der Datenbank ASSEKAT eingetragenen Aktivitätsdaten .....</b>	<b>65</b>
<b>6</b>	<b>Überprüfung der Bestimmung des LAW-Aktivitätsinventars mit der Datenbank ASSEKAT/PAI.....</b>	<b>71</b>
6.1	Abfälle ausgewählter Ablieferer .....	71
6.1.1	Forschungszentrum Karlsruhe (GfK/KfK).....	71
6.1.2	Forschungszentrum Jülich (KFA).....	77
6.1.3	Forschungszentrum Geesthacht (GKSS).....	83
6.1.4	Kernkraftwerke (KKW) .....	84
6.2	Abfälle ausgewählter Zusammensetzung .....	88
6.2.1	Radiumhaltige Abfälle .....	88
6.2.2	Thoriumhaltige Abfälle .....	92
6.2.2.1	HMI-Abfälle: Glühkörper .....	92
6.2.2.2	HMI-Abfälle: sonstige thoriumhaltige Abfälle .....	105
6.2.2.3	Abfälle der Fa. Transnuklear und der NUKEM.....	111
6.2.3	Uranhaltige Abfälle.....	112
6.3	Abfälle ohne Aktivitätsbestimmung .....	116
<b>7</b>	<b>Plausibilitätsprüfung des LAW-Inventars.....</b>	<b>120</b>
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>128</b>



<b>9</b>	<b>Empfehlungen .....</b>	<b>130</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>132</b>
<b>I</b>	<b>Verzeichnis der verwendeten Unterlagen.....</b>	<b>133</b>
<b>II</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>144</b>
<b>III</b>	<b>Aktivitätsinventar der Asse gemäß ASSEKAT/PAI 9.2 .....</b>	<b>148</b>
<b>IV</b>	<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>156</b>
<b>V</b>	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>160</b>



## Revisionsstand

Revision	Datum	Grund der Änderung
0	19.12.2011	Ersterstellung
1	29.10.2013	<p>Redaktionelle Änderungen</p> <p>Konkretisierung der Datenbank-Version ASSEKAT/PAI, Ergänzung von Literaturstellen, Ergänzung des Abkürzungsverzeichnisses</p> <p>Kap. 3.1.1 Präzisierung der GfK/KfK-Aussagen zur Beziehung zwischen Dosisleistung/Aktivität und ergänzende Bewertung</p> <p>Kap. 3.1.2 Vereinheitlichung der Bezeichnung der in der Asse eingelagerten Behältertypen (200-I-Fass mit allseitiger Betonauskleidung anstelle von Betonring)</p> <p>Vereinheitlichung und Präzisierung der Abbildungen und der Bildunterschriften</p> <p>Korrektur der Gebindeanzahl und der Aktivitätssummen in Tabelle 7 und im dazugehörigen Text (Kap. 6.1.2)</p> <p>Ergänzung von zwei Tabellen mit Übersicht zu den KFA-Begleitlisten für 200-I-Fässer bzw. 400-I-Fässer und NB-VBA.</p> <p>Korrektur der Begleitliste ID-Nr. 1623</p> <p>Kap. 3.1.3 Korrektur der Anzahl von Gebinden und Aktivität für die von GKSS abgelieferten Abfallgebände (analog Kap. 6.1.3)</p> <p>Vereinheitlichung und Präzisierung der Abbildungen und der Bildunterschriften</p>



		<p>Kap. 3.2.3 Ergänzung und Präzisierung der Tabelle 10; Korrektur der Zahlen auf einheitliche Zahlenformate und Aufteilung der Zeilen zu einzelnen Begleitlisten</p> <p>Ergänzende Bewertung und Rücknahme der Empfehlung für 1000 Abfallgebinde des Ablieferers NUKEM</p> <p>Kap. 6.2.1, Kap. 6.2.2.1 und Kap. 6.2.2.2 Vereinheitlichung und Farbgebung der Abbildungen</p> <p>Kap. 6.2.2.1 Korrektur der Aktivitäts-Unterschätzung für Pb-210 von knapp 40 auf knapp 30 %</p> <p>Kap. 6.2.3 Präzisierung der Aussagen zur Zusammensetzung der Uranisotope in Natururan und in abgereicherem Uran und der daraus resultierenden Empfehlung</p> <p>Kap. 6.3 Präzisierung der Aussagen zu Abfällen ohne Aktivitätsbestimmung und Anpassung der daraus resultierenden Empfehlung</p> <p>Kap. 7 Runden der Aktivitätsangaben in Bq in Tabelle 30</p> <p>Kap. 9 Anpassung der Tabellen entsprechend den o. a. Änderungen</p>
--	--	---



## 1 Einleitung

Mit Schreiben des Bundesamts für Strahlenschutz (BfS) vom 18.11.2009 /U-1/, Az. Z 4.5 9A 251 8728-9, wurde zwischen dem BfS und der TÜV SÜD Industrie Service GmbH (TÜV SÜD) ein Vertrag zur Überprüfung des Abfallinventars der Schachtanlage Asse II geschlossen. Im Rahmen dieses Vertrages wurde TÜV SÜD bislang mit der Bearbeitung folgender Aufgaben beauftragt:

- Recherche der Betriebsdokumente hinsichtlich der Kernbrennstoffe, die von der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK) geliefert wurden.
- Recherche der Betriebsdokumente hinsichtlich der Kernbrennstoffe anderer Ablieferer.
- Recherche der Betriebsdokumente hinsichtlich sonstiger Abfälle.

Die Erbringung der o. a. Leistungen erfolgte mittels Einzelbeauftragungen, in denen die jeweiligen Arbeiten/Aufgaben zwischen dem BfS und TÜV SÜD abgestimmt wurden. Mit dem BfS-Schreiben vom 20.10.2010 /U-2/, Az. SE 2.1 9A 2511, wurde TÜV SÜD mit der 3. Einzelaufgabe beauftragt, Daten zu sonstigen Abfällen (schwach-radioaktive bzw. LAW-Abfälle), die in der Schachtanlage Asse II eingelagert wurden, auf Plausibilität zu prüfen. Die Zielsetzung bzw. der Inhalt der durchzuführenden Arbeiten der 3. Einzelaufgabe ist nachfolgend aufgeführt:

1. Recherche der Betriebsdokumente hinsichtlich sonstiger radioaktiver Abfälle, die an die Asse abgeliefert wurden.
2. Abgleich der Rechercheergebnisse mit den vom Helmholtz Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (HMGU) bei den Abfallverursachern nachrecherchierten Daten.
3. Abgleich der Ergebnisse mit den in der Datenbank ASSEKAT eingetragenen Daten.
4. Plausibilitätsprüfung des LAW-Inventars.

Grundlage unserer durchgeführten Prüfungen bilden hierbei die uns mit /U-5/ bis /U-15/ vorgelegten Unterlagen.



Der vorliegende Bericht „Überprüfung der sonstigen Abfalldaten“ fasst die Ergebnisse der Arbeiten bzw. Prüfungen zu den o. a. Punkten zusammen und baut, insbesondere für in die Schachtanlage Asse eingelagerte Kernbrennstoffe und bei der programmtechnischen Bestimmung des Aktivitätsinventars mit der Datenbank ASSEKAT/PAI Version 9.2, auf folgende Berichte der ersten beiden Einzelbeauftragungen auf:

- Überprüfung der Kernbrennstoffdaten,  
Teil A: Recherche der Betriebsdokumente,  
Bericht ETS4-55/2010 Rev. 1 vom April 2011 /U-3/
- Überprüfung der Kernbrennstoffdaten, Teil B,  
Bericht ETS4-16/2011 vom April 2011 /U-3/
- Überprüfung des Programms zur Aktualisierung des Asse-Inventars,  
Bericht ETS4-54/2010 vom Februar 2011 /U-4/.



## 2 Durchgeführte Prüfungen und Prüfumfang

Aufgrund der hohen Anzahl von in die Asse eingelagerten Gebinden mit schwachradioaktiven Abfällen (124486 Stück /U-21/), einem sehr breiten Spektrum an Abfallarten und den vielen verschiedenen Abfallverursachern (34 Ablieferer /U-21/) erfolgte die Überprüfung des Abfallinventars (vgl. Anlage III, Tabelle 33 und Tabelle 34) am Beispiel ausgewählter Ablieferer und Abfallarten. Als Abfallablieferer wurden das Forschungszentrum Karlsruhe (GfK/KfK), die Kernforschungsanlage Jülich (KFA), die Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schifffahrt (GKSS) und die Kernkraftwerke näher betrachtet. Als Abfallarten wurden radium-, thorium- und uranhaltige Abfälle überprüft. In die Asse eingelagerte mittelradioaktive Abfälle und das H-3-Aktivitätsinventar waren hierbei ausgenommen /U-1/.

Der Umfang der stichprobenweisen Prüfung wurde in Bezug auf die Ablieferer und Abfallarten so gewählt, dass Aussagen zur Plausibilität des in die Asse eingelagerten Aktivitätsinventars von schwachradioaktiven Abfällen von uns getroffen werden können.

Die primären Betriebsdokumente aus der Zeit der Einlagerung der Abfallgebinde und die nachträglichen Auswertungen der Betriebsdokumente zur Deklaration der eingelagerten Abfälle haben wir hinsichtlich der Aktivitätsangaben gesichtet und auf ihre Übereinstimmung hin stichprobenweise überprüft. Ergänzend haben wir eigene Recherchen zur Deklaration radioaktiver Abfälle möglichst für den Zeitraum der Einlagerung in die Asse von 1967 bis 1978 durchgeführt. Des Weiteren haben wir zur Überprüfung der Plausibilität der Aktivitätsangaben modellhafte Abschirmrechnungen und vergleichende Auswertungen durchgeführt.

Die Ergebnisse der Nachrecherche zum Abfallinventar in der Schachtanlage Asse II sind im Abschlussbericht „AG Asse Inventar – Abschlussbericht“ des Helmholtz Zentrums München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (HMGU) vom 31.08.2010 /U-13/ (HMGU-Bericht) zusammengefasst. Diese nachrecherchierten Daten /U-13/ haben wir hinsichtlich des Aktivitätsinventars mit den Ergebnissen aus unserer Überprüfung der primären Betriebsdokumente und mit den erfassten Werten in der Datenbank ASSEKAT stichprobenweise verglichen.



Des Weiteren haben wir die Bestimmung des Aktivitätsinventars mit der Datenbank ASSEKAT/PAI Version 9.2 /U-8/ überprüft. Hierzu haben wir Analogschlüsse auf Basis bekannter Nuklidzusammensetzungen getroffen, eigene Berechnungen (u. a. mit dem Programm AVK der Fa. GNS /U-26/) und Versuche mit thorierten Glühkörpern durchgeführt, auf nachrecherchierte Daten zurückgegriffen /U-13/ und Bewertungen Dritter /U-27/ /U-37/ berücksichtigt. Darüber hinaus haben wir zur Überprüfung des Aktivitätsinventars unsere Erkenntnisse und Erfahrungen aus unserer Tätigkeit im Rahmen des atomrechtlichen Aufsichts- und Genehmigungsverfahrens herangezogen.

Die Ergebnisse der o. a. Prüfungen haben wir zusammengefasst und hinsichtlich der Plausibilität des Aktivitätsinventars von in die Asse eingelagerten schwachradioaktiven Abfällen bewertet.

Um die Nachvollziehbarkeit unserer Prüfungen hinsichtlich der Primärdokumentation zu gewährleisten, haben wir die Aktivitäts- und Dosisleistungsangaben häufig in den damals verwendeten Einheiten Curie (Ci) und rem/h beibehalten. 1 Ci entspricht hierbei  $3,7 \cdot 10^{10}$  Bq und 1 rem/h entspricht 10 mSv/h.



### **3 Recherche und Bewertung der in den Betriebsdokumenten deklarierten Aktivitätsdaten von Abfällen**

#### **3.1 Abfälle ausgewählter Ablieferer**

##### **3.1.1 Forschungszentrum Karlsruhe (GfK/KfK)**

Die vom Forschungszentrum Karlsruhe (GfK/KfK) in die Asse eingelagerten 59924 Stück Abfallgebinde mit LAW-Abfällen stellen ca. 48 % aller eingelagerten Abfallgebinde dar. Die von GfK/KfK zum Zeitpunkt der Einlagerung deklarierte Aktivität an LAW-Abfällen beträgt ca. 2,1 E15 Bq (56000 Ci) und stellt damit gemäß den Angaben der Datenbank ASSEKAT ca. 27 % der in die Asse eingelagerten Gesamtaktivität dar. Bei den von GfK/KfK in die Asse eingelagerten Abfällen wurden 10219 Gebinde mit einer verlorenen Betonabschirmung (VBA) eingelagert. Zur Aktivitätsdeklaration der Abfallgebinde, die von GfK/KfK an die Asse zur Einlagerung abgeliefert wurden, finden sich in den uns vorliegenden Unterlagen /U-5/ bis /U-15/ folgende Erläuterungen:

- GfK-Schreiben vom 12.07.1972 /U-5/: Entgegen den ursprünglichen Erwartungen war die Dosisleistung der in Bitumen fixierten Konzentrate so hoch, dass alle Behälter im Bereich der schwach-mittelaktiven Abfälle lagen. Als Alternative zum Abtransport dieser Abfallgebinde mittels E 1- und V 7-Behältern, der aus damaliger Sicht zeitnah nicht durchzuführen war, wurden für die schwach-mittelaktiven Bitumenfässer verlorene Betonabschirmungen (VBA) gewählt. Aus Wirtschaftlichkeitsgründen war eine Erstellung der Abschirmung in zwei Kategorien vorgesehen, aus Normal- und Barytbeton. Dem o. a. Schreiben ist eine detaillierte Skizze zum Verpackungskonzept einer verlorenen Betonabschirmung (VBA) zur Aufnahme einer Blechtrommel mit entsprechender Bemaßung beigelegt. Des Weiteren sind dem Schreiben Ergebnisse von Abschirmberechnungen von bituminierten Abfällen in Normalbeton- und Barytbeton-VBA beigelegt.
- GfK-Schreiben vom 15.08.1972 /U-5/: Die in Bitumen fixierten Abfälle wurden grundsätzlich in 175 I-Blechtrommeln abgefüllt. Die Blechtrommeln konnten entweder direkt in die Betonabschirmungen eingesetzt werden oder auch mit



einem 200 l-Rollreifenfass als zusätzliches Containment. Der Ringraum zwischen Abfallfass und Betonabschirmung wurde mit Beton aufgefüllt. Dem o. a. Schreiben ist eine detaillierte Skizze zum Verpackungskonzept einer verlorenen Betonabschirmung zur Aufnahme von Rollreifenfässern mit entsprechender Bemaßung beigelegt.

- GfK-Schreiben vom 29.10.1974 /U-16/ in /U-5/: Anlässlich der mit Schreiben vom 02.09.1974 von der GSF beanstandeten fehlenden Meldung von Aktivitäts- und Kernbrennstoffangaben fanden am 24.09.1974 an der Asse und am 14.10.1974 bei der GSF in Neuherberg Besprechungen statt. Bei der Besprechung am 14.10.1974 wurden Verfahrensweisen für die Ermittlung der Aktivität in den Abfällen festgelegt und in einem Besprechungsprotokoll vom 24.10.1974 /U-16/ festgehalten.

Gemäß /U-16/ wurde die • / $\gamma$ -Gesamtaktivität pro Abfallfass von GfK/KfK bis dato über die Oberflächendosisleistung der Abfallfässer ermittelt, wobei  $\frac{1}{4}$  der Oberflächendosisleistung gleich der Aktivität pro Fass gesetzt wurde. Dementsprechend hätte ein beispielhaftes Fass mit einer Oberflächendosisleistung von 100 mrem/h (1 mSv/h) eine • / $\gamma$ -Gesamtaktivität von 25 mCi (9,25 E8 Bq) zugeteilt bekommen. Aufgrund der Forderungen der Einlagerungsbedingungen der Asse für schwachaktive Abfallstoffe entschied sich die Abteilung Dekontaminationsbetriebe (ADB), in den Begleitlisten der Abfallgebinde nur mehr eine maximale Aktivität anzugeben, die Mitteilungen der • -Aktivität sowie der Kernbrennstoffmengen und -arten sollten bis zum Aufbau eines geeigneten Betriebslabors bzw. entsprechenden betrieblichen Maßnahmen unterbleiben.

Ausgehend vom Anfall an radioaktiven Abfällen im 1. Halbjahr 1974 wurde gemäß /U-16/ für die Bestimmung der • / $\gamma$ -Aktivität in radioaktiven Abfallfässern folgende Verfahrensweise als gangbar angesehen. Ca. 40 bis 50 % des endlagerfähigen Abfalls im Kernforschungszentrum Karlsruhe waren mit Spaltprodukten kontaminiert. Das Alter der Spaltprodukte war bekannt oder konnte zumindest überschlägig bestimmt werden. Desgleichen war die Konditionierung, d. h. die Fixierung der Abfälle bekannt. Aufgrund dieser Kenntnisse konnte aus der Messung der Dosisleistung an der Oberfläche bzw. in 1 m Abstand die Aktivität eines Fasses rechnerisch ermittelt werden.



Gemäß /U-16/ bestanden weitere 30 % der radioaktiven Abfälle aus aktivierten Reaktorbauteilen bzw. Korrosionsprodukten aus Kernreaktoren. Da es sich hierbei vorwiegend um  $\gamma$ -Strahler handelte, konnte gemäß dem Besprechungsprotokoll die Aktivitätsbestimmung durch Messung der Dosisleistung und anschließende Umrechnung erfolgen. Auch in diesem Falle musste die Konditionierung des Abfalls als Randbedingung in die Aktivitätsbestimmung hineingenommen und bei der Umrechnung berücksichtigt werden.

Die Aktivitätsbestimmung von Abfällen mit sogenannter „Mischaktivität“ wie z. B. Gemischen von Spaltprodukten, Korrosionsprodukten und speziellen  $\alpha$ - oder  $\beta$ -Strahlern, stellte gemäß /U-16/ das größte Problem dar. Diese Abfälle machten mengenmäßig ca. 20 % des endlagerfähigen Abfalls aus. Die Gesamtaktivität dieser Abfälle lag jedoch gegenüber den anderen Abfällen nur bei einem sehr kleinen Prozentsatz. Die Ermittlung der Aktivität pro Fass konnte auch hier nur über die Dosisleistung erfolgen. Ausgesprochene  $\alpha$ -Aktivität konnte /U-16/ zufolge nicht ermittelt werden. Diese war nur bei speziellen Ablieferungen von  $\alpha$ -Aktivität, z. B. von Uhrenfabriken oder anderen kleineren Ablieferern, möglich. Eine Messung der Aktivität pro Fass war praktisch nur bei der Asche des Verbrennungsofens möglich. Auch hier wurde bei der Messung bzw. Angabe der rechnerischen Aktivität wegen der großen Inhomogenität der Asche von sehr großen Bandbreiten ausgegangen. Da die Gesamtaktivität dieser Abfälle gemäß /U-16/ jedoch als relativ gering eingestuft wurde, sah man diese Messung als noch zufriedenstellende Lösung an. In jedem Fall sollte bei diesen Abfällen gemäß /U-16/ die Aktivitätsangabe so erfolgen, dass sie konservativ war.

Die Messmethoden zur Bestimmung der  $\alpha/\gamma$ -Aktivität in radioaktiven Abfallfässern wurden in Tabelle 1 gemäß /U-16/ in Tabellenform zusammengefasst.

Verlorene Betonabschirmungen wurden gemäß den Betriebsdokumenten zur Einlagerung (hier: Begleitlisten) erstmals am 22.03.1973 in die Asse eingelagert. Als Behälterart in der Spalte „200 l-Behälter Art“ der Begleitlisten wurde zunächst immer RR für Rollreifentässer angegeben, was mit Schreiben vom 22.05.1973 von der GSF beanstandet wurde. Beginnend mit dem 04.10.1973 wurde in der Spalte „200 l-Behälter Art“ entsprechend „verlorene Abschirmung“ angegeben. Unabhängig hier-



von wurde in einer separaten Zeile der Begleitliste immer vermerkt, bei welcher Position der einzulagernden Abfallgebinde es sich um verlorene Betonabschirmungen bzw. Abschirmungen handelt. Beginnend mit dem 24.01.1974 wurden von GfK/KfK gemäß den Begleitlisten auch Abfälle in verlorenen Barytbetonabschirmungen in die Asse eingelagert. Dies wurde von GfK/KfK mit Schreiben vom 17.12.1973 und 15.01.1974 angekündigt.

Den o. a. Unterlagen zufolge war für die Deklaration der Aktivität die Ortsdosisleistung an den Abfallgebinden von besonderer Bedeutung.

Tabelle 1: Messmethoden zur Bestimmung der  $\bullet/\gamma$ -Aktivität in radioaktiven Abfallfässern von GfK/KfK gemäß /U-16/.

<b>Aktivitätsursprung</b>	<b>Spaltprodukte</b>	<b>Aktivierte Reaktorbauteile und Korrosionsprodukte</b>	<b>„Mischaktivität“</b>
Anteil	ca. 50 %	ca. 30 %	ca. 20 %
Beispiele	-	-	Asche, paketierbare Abfälle, Schrott
Messmethode	Dosisleistung am Fass	Dosisleistung am Fass	Dosisleistung am Fass, evtl. chemische Analyse
Randbedingungen	Spaltproduktalter, Fassinhalt	$\gamma$ -Strahlungs-Energie, Fassinhalt	$\gamma$ -Strahlungs-Energie, Ursprung d. Fassinhalts

Um eine Aussage zur Plausibilität der in den Begleitlisten gemachten Aktivitätsangaben anhand einer gemessenen Ortsdosisleistung an den Abfallgebinden treffen zu können, haben wir beispielhaft für Abfälle in verlorenen Normalbeton (NB)- und Baryt- bzw. Schwerbeton (SB)-Abschirmungen für die Abfallchargen der Begleitlisten das Verhältnis der mittleren Aktivitätsangabe in Ci zur maximalen Ortsdosisleistung (ODL) in 1 m Abstand in mrem/h gebildet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 1 bis Abbildung 6 (Seite 20 bis 22) dargestellt. Des Weiteren haben wir zur Verifizierung dieser von GfK/KfK deklarierten radiologischen Daten eigene ausgewählte Abschirmrechnungen mit dem Programm MCNP /U-17/ durchgeführt. Hierbei sind wir von den in Tabelle 2 und Tabelle 3 zusammengefassten Randbedingungen ausgegangen. Als Abfallalter der Nuklidverteilungen wurde in Anlehnung an das GfK-Schreiben vom 12.07.1972 /U-5/ bzw. /U-19/ jeweils 180 d nach Reaktorentnahme angenommen.



Tabelle 2: Nuklidvektoren, die zur Überprüfung der aus den GfK/KfK-Begleitlisten resultierenden Verhältnisse von Aktivität zu Ortsdosisleistung herangezogen wurden (angenommenes Abfallalter 180 d nach Reaktorentnahme).

Nuklidvektor	Spaltprodukte (abgeleitet aus /U-20/)	Aktivierung Stahlschrott (abgeleitet aus /U-21/)	Aktivierung Schrott / Zirkaloy (abgeleitet aus /U-21/)
Nuklid	Aktivitätsanteil in %		
Mn-54	-	2	2
Fe-55	-	62	47
Co-60	-	31	23
Ni-63	-	5	4
Sr-89	2,36		-
Sr-90	2,51		-
Y-90	2,51		-
Y-91	4,15		-
Zr-95	6,30		-
Nb-95m	8,7E-09		-
Nb-95	4,69		-
Ru-103	1,19		-
Ru-106	7,31		-
Rh-103m	1,19		-
Rh-106	7,31		-
Sn-119m	-		1
Sb-125	0,24		23
Cs-134	6,46		-
Cs-137	3,05		-
Ba-137m	3,05		-
Ba-140	2,5E-03		-
La-140	2,5E-03		-
Ce-141	0,90		-
Ce-144	21,95		-
Pr-144	21,95		-
Pm-147	2,70		-
Eu-154	0,18		-

Tabelle 3: Randbedingungen, die für die Modell-MCNP-Abschirmrechnungen zur Bestimmung des Verhältnisses von Aktivität zu Ortsdosisleistung für Abfälle in verlorenen Normalbeton- und Barytbetonabschirmungen herangezogen wurden.

	<b>Bituminierte Abfälle</b>	<b>Zementierte Abfälle</b>	
Abfallart	Verdampferkonzentrate/ -austrag; Konzentrate	Verdampferkonzentrate/ -austrag; Konzentrate	Schrott
Innenbehälter-Typ	175-l-Fass in 200-l-Fass lose eingestellt bzw. zementiert	200-l-Fass	200-l-Fass
Innenbehälter-Maße 175-l-Fass 200-l-Fass	ID 507 mm, AD 510 mm ID 567 mm, AD 570 mm	ID 567 mm, AD 570 mm	ID 567 mm, AD 570 mm
Innenbehälter-Dichte	7,7 g cm <sup>-3</sup>	7,7 g cm <sup>-3</sup>	7,7 g cm <sup>-3</sup>
Abfallprodukt-dichte	1,45 g cm <sup>-3</sup>	2,0 g cm <sup>-3</sup>	3,4 g cm <sup>-3</sup>
Abstand Fass / VBA	40 mm	40 mm	40 mm
Zwischenraum-Dichte	1,95 g cm <sup>-3</sup>	1,95 g cm <sup>-3</sup>	1,95 g cm <sup>-3</sup>
VBA-Typ	Normal- / Schwerbeton	Normal- / Schwerbeton	Normal- / Schwerbeton
VBA-Maße	ID 650 mm, AD 1060 mm	ID 650 mm, AD 1060 mm	ID 650 mm, AD 1060 mm
VBA-Dichte	2,3 / 3,5 g cm <sup>-3</sup>	2,3 / 3,5 g cm <sup>-3</sup>	2,3 / 3,5 g cm <sup>-3</sup>
Nuklidvektor	Spaltprodukte	Spaltprodukte	Aktivierung

### Bituminierte Abfallkonzentrate in NB-VBA und SB-VBA

Für bituminierte Abfallkonzentrate in NB-VBA und SB-VBA ist in Abbildung 1 und Abbildung 2 (s. Seite 22) das Verhältnis der mittleren Aktivität pro Behälter in Ci zur maximalen Ortsdosisleistung in 1 m Abstand in mrem/h in Abhängigkeit vom Einlagerungsdatum dargestellt. Hierbei sind folgende Punkte festzustellen:

Die für die Abfallchargen der Begleitlisten bestimmten Verhältnisse der mittleren Aktivitätsangabe in Ci zur maximalen Ortsdosisleistung in 1 m Abstand in mrem/h – kurz: Aktivitäts/ODL-Verhältnis – variieren in der Regel um bis zu eine Größenordnung. Eine naheliegende Erklärung hierfür ist, dass die mittlere Aktivität pro Abfallbinde einer Charge jeweils in das Verhältnis zur maximalen Dosisleistung gesetzt wird. Je nach Chargenbildung kann dies grundsätzlich um ca. eine Größenordnung variieren. Dies steht im Einklang mit Betriebserfahrungen der Bituminierungsanlage



Tabelle 4: Ergebnisse der modellhaften MCNP-Abschirmrechnungen für das Verhältnis von Aktivität zu Ortsdosisleistung in 1 m Abstand für bituminierte und betonierte Konzentrate/Verdampferkonzentrate sowie betonierten Metallschrott des Ablieferers GfK/KfK in verlorenen Normalbeton- und Schwerbetonabschirmungen

Abfallprodukt	Behältertyp	Zwischenraum 175-l zu 200-l- Fass	Modellrechnung	
			Bq / ( $\mu\text{Sv h}^{-1}$ )	Ci / ( $\text{mrem h}^{-1}$ )
Bituminierte bzw. bituminierte/betonierte Verdampferkonzentrate	NB-VBA	Luft	3,1E+09	0,8
	NB-VBA	Zement	4,3E+09	1,2
	SB-VBA	Luft	1,6E+10	4,4
	SB-VBA	Zement	2,3E+10	6,1
Zementierte Verdampferkonzentrate/ Konzentrate	NB-VBA	-	5,4E+09	1,5
	SB-VBA	-	3,5E+10	9,4
Zementierter Metallschrott	NB-VBA	-	4,1E+08	0,1
	SB-VBA	-	1,5E+09	0,4

bei GfK/KfK /U-23/, denen zufolge die spezifische  $\alpha/\gamma$ -Aktivität im Bitumenprodukt ebenfalls um ca. eine Größenordnung variierte. Eine Überprüfung von in die Asse eingelagerten Chargen mit nur einem Abfallgebinde zeigt jedoch, dass auch für diese Abfallgebinde das Aktivitäts/ODL-Verhältnis um einen Faktor von ca. 5 variiert. Somit ist ein Heranziehen verschiedener Nuklidvektoren bzw. –zusammensetzungen für die bituminierten Abfallkonzentrate in Betracht zu ziehen.

Für bituminierte Abfallkonzentrate in NB-VBA (s. Abbildung 1) wurden bis Ende 1973 Abfallgebinde mit einem um ca. einer Größenordnung niedrigeren Aktivitäts/ODL-Verhältnis eingelagert. Mit dem GfK-Schreiben vom 18.03.1974<sup>1</sup> wurden die Aktivitätswerte für einen Teil der vom 17.01. bis 14.03.1974 abgelieferten schwachaktiven Abfallgebinde nachträglich korrigiert. Die Aktivitätsangaben zur mittleren Aktivität in Curie (Ci) pro Behälter wurden hierbei um bis zu einen Faktor 667 hochgesetzt<sup>2</sup>. Bei

<sup>1</sup> GfK-Schreiben vom 18.03.1974 (abgelegt bei den Begleitlisten, File-Name 1221-1.tif): Korrektur der Curie-Zahlen von abgelieferten Abfällen

<sup>2</sup> Begleitliste ID-Nr. 1223 vom 04.03.1974, Pos. 1-2 und 3-12: Erhöhung von 0,01 auf 6,67 Ci/Behälter



der Überprüfung der entsprechenden Begleitlisten haben wir festgestellt, dass die Aktivitätserhöhung ausschließlich für Abfallgebinde mit verlorenen Betonabschirmungen und Baryt-Betonabschirmungen erfolgte. Eine plausible Erklärung für diese nachträgliche Aktivitätserhöhung ist aus unserer Sicht, dass bei der ursprünglichen Aktivitätsangabe die zusätzlichen Betonabschirmungen bei der Umrechnung von der Dosisleistung auf die Aktivität nicht berücksichtigt wurden.

Für die bis Ende 1973 eingelagerten Abfallgebinde finden sich in den Unterlagen keine Hinweise auf eine nachträgliche Änderung des Aktivitätsinventars. Entsprechend den Betriebserfahrungen der Bituminierungsanlage bei GfK/KfK /U-23/ lag die spezifische  $\cdot/\gamma$ -Aktivität im Bitumenprodukt in den Jahren 1972 bis September 1974 zwischen 0,01 und 0,50 Ci/l. Als Mittelwert wird in /U-23/ 0,1 Ci/l  $\cdot/\gamma$ -Aktivität im Bitumenprodukt angegeben. Bei einer unterstellten vollständigen Befüllung der Blechtrommeln mit 175 l Bitumenprodukt resultiert gemäß /U-23/ eine rechnerische Mindestaktivität von ca. 2 Ci pro Abfallgebinde. Von bituminierten Abfallkonzentraten mit höheren Aktivitäten ist eine Zuordnung zu den MAW-Abfällen auszugehen. Demgegenüber beträgt die bis Ende 1973 in den Begleitlisten deklarierte mittlere Aktivität pro Abfallbehälter ca. 0,2 Ci und liegt damit um mindestens eine Größenordnung unter der nach /U-23/ berechneten Mindestaktivität von ca. 2 Ci. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass sich das angenommene Alter des Spaltproduktgemisches nach Reaktorentnahme zwischen den Aktivitätsangaben auf den Begleitlisten und dem Bericht /U-23/ ggf. unterscheiden kann. Jedoch lässt sich damit alleine nicht diese hohe Diskrepanz erklären. Aufgrund der o. a. Prüfung der Unterlagen ist das vergleichsweise niedrige Aktivitätsinventar insbesondere für die bis Ende 1973 eingelagerten bituminierten Abfallkonzentrate in NB-VBA (ca. 300 Stück) nicht nachvollziehbar. Für die Durchführung einer Sicherheitsanalyse empfehlen wir daher, aus konservativen Gesichtspunkten für die bis Ende 1973 in NB-VBA (ca. 300 Stück) verpackten bituminierten Abfallkonzentrate mindestens von einer um einen Faktor 10 höheren Aktivität auszugehen (Empfehlung E 1).

Eigene Modell-MCNP-Abschirmrechnungen zeigen bei Zugrundelegung eines Spalt nuklidvektors (Tabelle 2 und Tabelle 3) für in NB-VBA verpackte bituminierte Abfallkonzentrate (s. Abbildung 1) ein Aktivitäts/ODL-Verhältnis (s. Tabelle 4), das verglichen mit den radiologischen Daten der Begleitlisten an der Obergrenze liegt. Eine Unterschätzung des tatsächlichen Aktivitätsinventars aufgrund der in den Begleitlis-



ten deklarierten Aktivitäten kann aufgrund dieser Ergebnisse jedoch nicht zwangsläufig abgeleitet werden. Plausible Erklärungen, die gegenüber den Modellrechnungen zu niedrigeren Aktivitäts/ODL-Verhältnissen in den Begleitlisten führen können, sind z. B.

- Stark variierende Aktivitätsinventare der Abfallgebinde einer Charge.
- Max. Dosisleistung einer Charge von Abfallgebinden ggf. als Grenzwert (z.B. 10 mrem/h in 1 m Abstand) und nicht als Messwert angegeben.
- Zwischen Rechenmodell und damaliger Deklaration abweichende Berücksichtigung von Spaltnukliden, d. h. kurzlebige Töchter (z. B. Y-90, Rh-106, Ba-137m und Pr-144) oder  $\alpha$ -Strahler ohne bedeutenden Dosisleistungsbeitrag (z. B. Pm-147) wurden ggf. nicht berücksichtigt.
- Zwischen Rechenmodell und damaliger Deklaration abweichende Nuklidzusammensetzung der Abfälle (z. B. Einfluss von Nukliden aus der Aktivierung wie z. B. Co-60).
- Zwischen Rechenmodell und damaliger Deklaration abweichendes Abfallalter.
- Möglicherweise zusätzliche eingebrachte Abschirmmaterialien im VBA<sup>3</sup> (bei bituminierten Abfallkonzentraten aus unserer Sicht jedoch wenig wahrscheinlich).
- Verbessertes Programm mit aktuellen kontinuierlichen Wirkungsquerschnitten und Konversionsfaktoren der ICRP 74 zu Berechnung der Abschirmwirkung für ionisierende Strahlung.

Die von uns in den Modell-MCNP-Abschirmrechnungen getroffenen Annahmen sind aus unserer Sicht in Bezug auf die Abschätzung des Aktivitätsinventars der bituminierten Abfallkonzentrate als konservativ zu bewerten. Nuklidspezifische Daten zum Aktivitätsinventar einzelner Abfallgebinde bzw. definierter Chargen an Abfallgebinden sind uns nicht bekannt. Eine mit dem Programm MicroShield /U-18/ stichprobenweise durchgeführte Variation der Modellparameter wie z. B. ein unterstelltes Abfallalter von 2 Jahren oder auch ein Aktivitätsanteil von 3 % Co-60 /U-22/ zeigt, dass diese das berechnete Aktivitäts/ODL-Verhältnis um bis zu einen Faktor von ca. 2 erniedrigen können. Unter Berücksichtigung dieser Unsicherheiten sind die Aktivitätsangaben in den Begleitlisten gegenüber den Ergebnissen der Modell-Abschirm-

---

<sup>3</sup> Brief der GfK an die GSF Neuherberg vom 24.06.1975 (Änderungswünsche der GfK zum Entwurf der Annahmebedingungen vom Mai 1975), Anlage zum HMGU-Bericht /U-13/



rechnungen nicht zwangsläufig als auffällig - jedoch auch nicht als konservativ - zu bewerten. Die in den Begleitlisten deklarierte mittlere Aktivität der im Zeitraum von 1974 bis 1978 in die Asse eingelagerten ca. 1200 Stück NB-VBA mit bituminierten Abfallkonzentraten liegt bei ca. 1,35 Ci pro Abfallgebinde. Dieser Wert liegt unterhalb der gemäß /U-23/ bestimmten rechnerischen Mindestaktivität von ca. 2 Ci pro Abfallgebinde und kann ggf. auf einen zwischenzeitlichen Zerfall zurückgeführt werden. Für die Durchführung einer Sicherheitsanalyse empfehlen wir, aus konservativen Gesichtspunkten für die ab 1974 eingelagerten in NB-VBA (ca. 1200 Stück) verpackten bituminierten Abfallkonzentrate mindestens von einer um einen Faktor 2 höheren Aktivität auszugehen (vgl. Empfehlung E 1).

Modell-MCNP-Abschirmrechnungen zur Bestimmung des Verhältnisses von Aktivität zu Ortsdosisleistung für bituminierte Abfallkonzentrate in SB-VBA (s. Abbildung 2) zeigen, dass sich die Aktivität in den SB-VBA gegenüber den NB-VBA bei gleicher ODL in 1 m Abstand um einen Faktor 5,3 erhöht. Die in den Begleitlisten deklarierte mittlere Aktivität der in die Asse eingelagerten ca. 400 Stück SB-VBA mit bituminierten Abfallkonzentraten liegt bei ca. 6,1 Ci pro Abfallgebinde und liegt damit um einen Faktor 4,5 über dem entsprechenden Mittelwert der NB-VBA von ca. 1,35 Ci pro Abfallgebinde. Diesbezüglich besteht zwischen den Abschirmrechnungen und den deklarierten Aktivitäten eine weitgehende Übereinstimmung. Der in Abbildung 2 für die SB-VBA gegenüber den NB-VBA (s. Abbildung 1) zu beobachtende deutlichere Unterschied in den Aktivitäts/ODL-Verhältnissen zwischen den Abschirmrechnungen und den Angaben in den Begleitlisten ist u. a. auf die Zusammenstellung der Chargen hinsichtlich Abfallgebindeanzahl und mittlerem Aktivitätsinventar zurückzuführen. Für die Durchführung einer Sicherheitsanalyse empfehlen wir, aus konservativen Gesichtspunkten für die in SB-VBA (ca. 400 Stück) verpackten bituminierten Abfallkonzentrate mindestens von einer um einen Faktor 2 höheren Aktivität auszugehen (vgl. Empfehlung E 1).



## **Betonierte Abfallkonzentrate in NB-VBA und SB-VBA**

Für betonierte Abfallkonzentrate in NB-VBA (s. Abbildung 3) ist eine größere Variation der Aktivitäts/ODL-Verhältnisse für die einzelnen Chargen festzustellen. Dies kann mit einer variierenden Nuklidzusammensetzung und einer höheren Streuung des Aktivitätsinventars der einzelnen Abfallgebinde innerhalb einer Charge erklärt werden. Mit den in Tabelle 2 und Tabelle 3 getroffenen Randbedingungen zeigen die Modell-MCNP-Abschirmrechnungen insbesondere für zwei im Jahr 1973 und des Weiteren bis Ende 1976 eingelagerte Chargen in der Regel deutliche höhere Werte, d. h. unter Berücksichtigung eines Spaltnuklidvektors resultieren für eine gemessene ODL höhere Aktivitäten als aus den Begleitlisten unmittelbar abgeleitet werden können. Die möglichen Ursachen hierfür wurden bereits für bituminierte Abfallkonzentrate diskutiert.

Für zwischen 1976 und 1978 eingelagerte Chargen an betonierten Abfallkonzentraten in NB-VBA werden verglichen mit den Modell-Abschirmrechnungen in den Begleitlisten teilweise auch höhere Aktivitätsinventare deklariert. Die beiden im Jahr 1973 eingelagerten Abfallchargen Nr. 4654 (Begleitliste ID-Nr. 1240) und Nr. 4730 (Begleitliste ID-Nr. 1266) zeigen hingegen ein auffällig niedriges Aktivitäts/ODL-Verhältnis. Die in den Begleitlisten deklarierte mittlere Aktivität der in die Asse eingelagerten ca. 3200 Stück NB-VBA mit betonierten Abfallkonzentraten liegt bei ca. 4,5 Ci pro Abfallgebinde und liegt damit deutlich höher als für die bituminierten Abfallkonzentrate. Damit wird der höheren Abschirmwirkung der betonierten Abfallmatrix gegenüber den bituminierten Abfällen entsprechend Rechnung getragen. Zusammenfassend ist festzustellen, dass unter Berücksichtigung der o. a. Unsicherheiten die Aktivitätsangaben in den Begleitlisten gegenüber den Ergebnissen der Modell-Abschirmrechnungen analog den bituminierten Abfällen nicht zwangsläufig als auffällig - jedoch auch nicht als konservativ - zu bewerten sind. Für die Durchführung einer Sicherheitsanalyse empfehlen wir, bei einem zugrunde liegenden Spaltnuklidvektor aus konservativen Gesichtspunkten für die bis 1973 in NB-VBA (11 Stück) verpackten betonierten Abfallkonzentrate der im Jahr 1973 eingelagerten Abfallchargen Nr. 4654 (Begleitliste ID-Nr. 1240) und Nr. 4730 (Begleitliste ID-Nr. 1266) mindestens von einer um einen Faktor 100 höheren Aktivität auszugehen (vgl. Empfehlung E 1).



Modell-MCNP-Abschirmrechnungen zur Bestimmung des Verhältnisses von Aktivität zu Ortsdosisleistung für betonierte Abfallkonzentrate in SB-VBA (s. Abbildung 4) zeigen gegenüber den NB-VBA-Verpackungen ein höheres Aktivitäts/ODL-Verhältnis als den Angaben auf den Begleitlisten zu entnehmen ist. Unter Berücksichtigung der in Tabelle 2 und Tabelle 3 getroffenen Randbedingungen erhöht sich entsprechend den MCNP-Modellrechnungen in den SB-VBA gegenüber den NB-VBA das Aktivitätsinventar bei gleicher ODL in 1 m Abstand um ca. einen Faktor 6,5 (s. Tabelle 4). Die in den Begleitlisten deklarierte mittlere Aktivität der in die Asse eingelagerten ca. 2500 Stück SB-VBA mit betonierten Abfallkonzentraten liegt bei ca. 12 Ci pro Abfallgebinde und liegt damit bei vergleichbaren max. Chargen-ODL-Werten in 1 m Abstand um einen Faktor 2,6 höher als für die entsprechenden in NB-VBA verpackten Abfallkonzentrate. Für die Durchführung einer Sicherheitsanalyse empfehlen wir daher, aus konservativen Gesichtspunkten für die in SB-VBA (ca. 2500 Stück) verpackten betonierten Abfallkonzentrate mindestens von einer um einen Faktor 2 höheren Aktivität auszugehen (vgl. Empfehlung E 1).

### **Betonierte Schrottabfälle in NB-VBA und SB-VBA**

Für betonierte Schrottabfälle in NB-VBA (s. Abbildung 5) und SB-VBA (s. Abbildung 6) ist für die einzelnen Chargen eine Variation der Aktivitäts/ODL-Verhältnisse über zwei Größenordnungen festzustellen. Die möglichen Ursachen hierfür wurden bereits für bituminierte Abfallkonzentrate diskutiert. Die Ergebnisse der Modell-Abschirmrechnungen zeigen gegenüber den Angaben in den Begleitlisten keine Auffälligkeiten. Die in den Begleitlisten deklarierte mittlere Aktivität der in die Asse eingelagerten ca. 650 Stück NB-VBA mit betonierten Schrottabfällen liegt bei ca. 1,6 Ci und bei den ca. 200 Stück SB-VBA mit betonierten Schrottabfällen bei 5,5 Ci pro Abfallgebinde. Damit erhöht sich das Aktivitätsinventar in den Begleitlisten entsprechend den Ergebnissen der Modell-Abschirmrechnungen um ca. einen Faktor 3,5.

### **Abfälle in NB-VBA und SB-VBA des Genehmigungsvorgangs vom 09.07.1976**

Im Rahmen des Genehmigungsvorgangs zur Sondereinlagerung von 109 älteren GfK-Abfällen in verlorener Betonabschirmung (Bergamt Goslar-Schreiben G. Nr. 3477/76-FI vom 09.07.1976 /U-12/) wurden von GfK/KfK für Abfälle in Normal- und

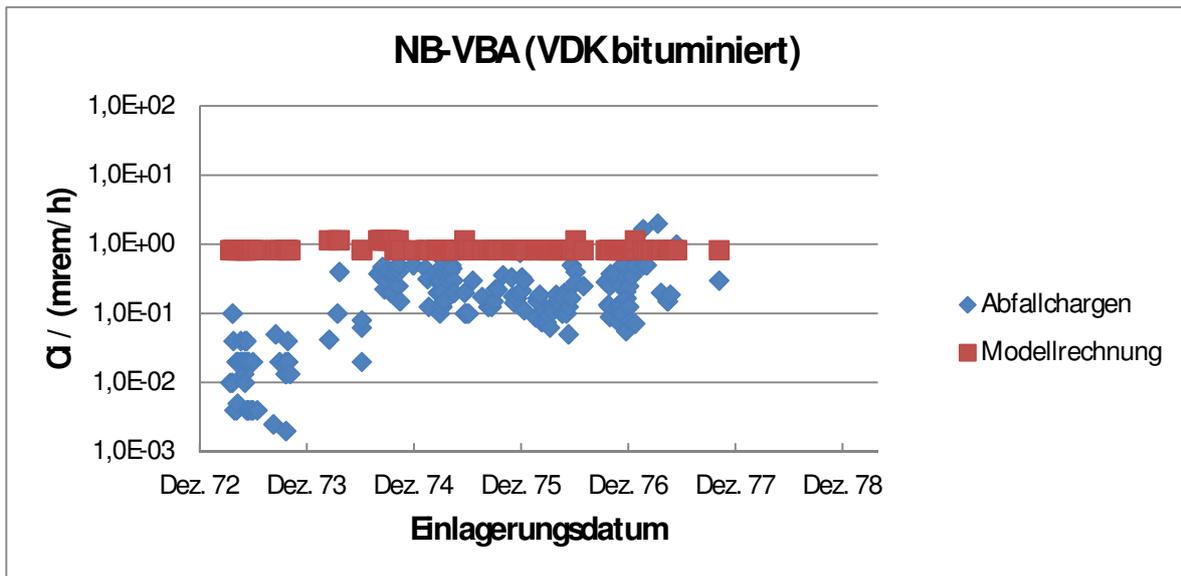


Abbildung 1: Verhältnis von mittlerer Aktivität pro Behälter und der max. Dosisleistung in 1 m Abstand für bituminierte Abfallkonzentrate des Ablieferers GfK/KfK in verlorenen Normalbetonabschirmungen entsprechend den chargenspezifischen Angaben in den Begleitlisten und einer modellhaften MCNP-Abschirmrechnung.

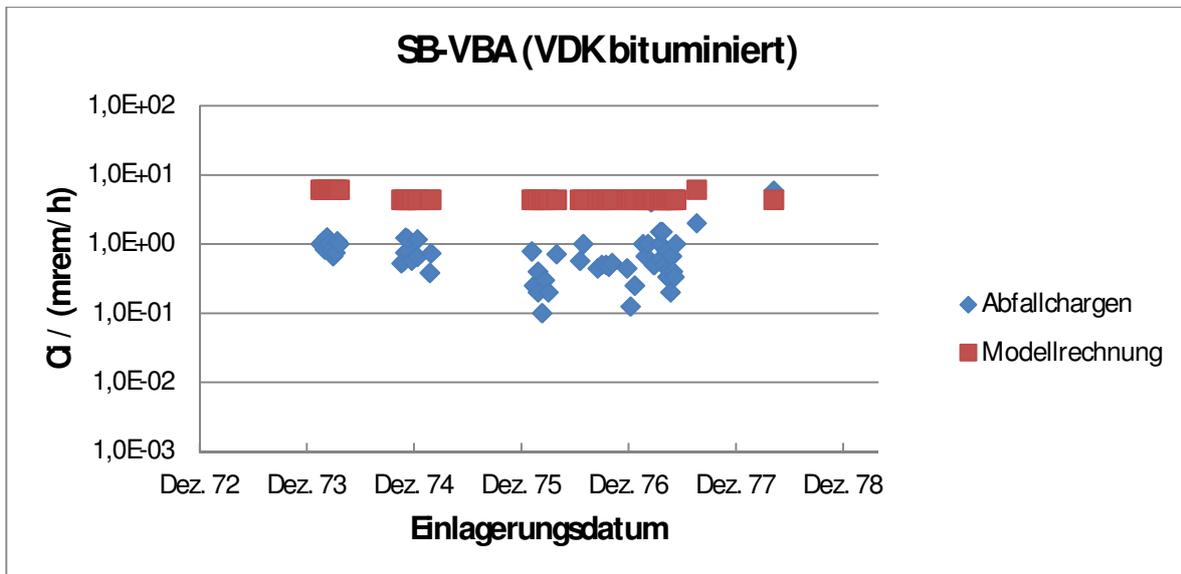


Abbildung 2: Verhältnis von mittlerer Aktivität pro Behälter und der max. Dosisleistung in 1 m Abstand für bituminierte Abfallkonzentrate des Ablieferers GfK/KfK in verlorenen Schwerbetonabschirmungen entsprechend den chargenspezifischen Angaben in den Begleitlisten und einer modellhaften MCNP-Abschirmrechnung.

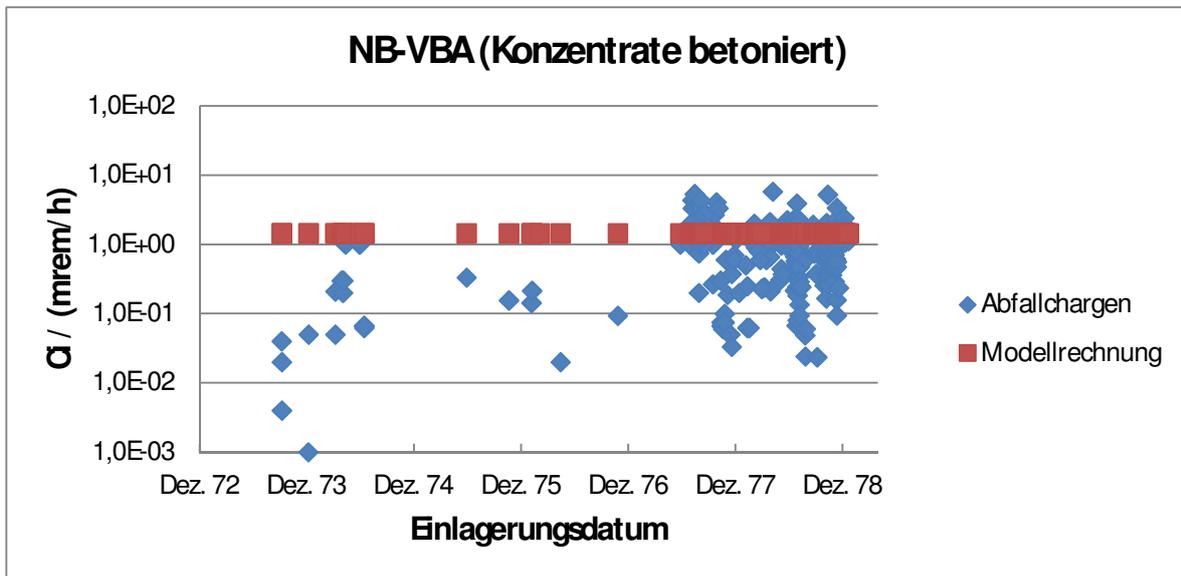


Abbildung 3: Verhältnis von mittlerer Aktivität pro Behälter und der max. Dosisleistung in 1 m Abstand für betonierte Abfallkonzentrate des Ablieferers GfK/KfK in verlorenen Normalbetonabschirmungen entsprechend den chargenspezifischen Angaben in den Begleitlisten und einer modellhaften MCNP-Abschirmrechnung.

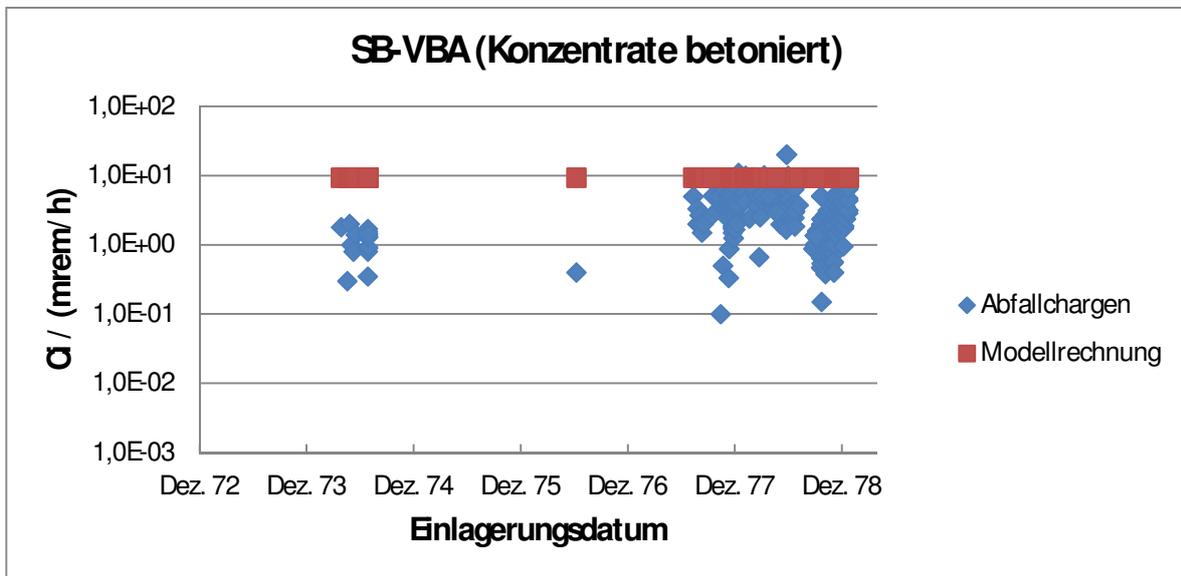


Abbildung 4: Verhältnis von mittlerer Aktivität pro Behälter und der max. Dosisleistung in 1 m Abstand für betonierte Abfallkonzentrate des Ablieferers GfK/KfK in verlorenen Schwerbetonabschirmungen entsprechend den chargenspezifischen Angaben in den Begleitlisten und einer modellhaften MCNP-Abschirmrechnung.

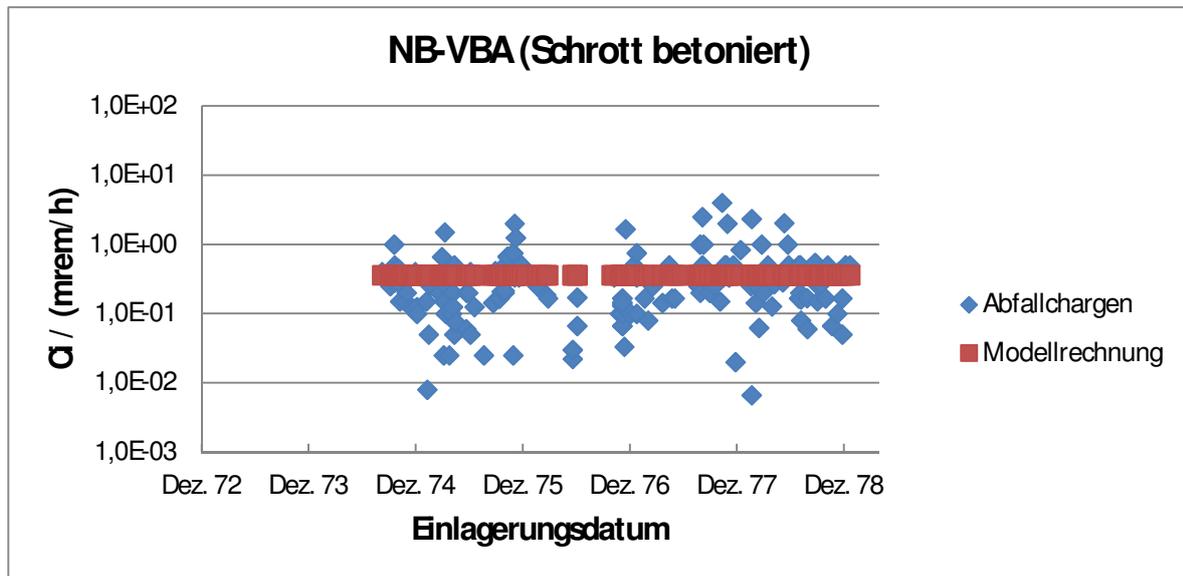


Abbildung 5: Verhältnis von mittlerer Aktivität pro Behälter und der max. Dosisleistung in 1 m Abstand für betonierten Schrott des Ablieferers GfK/KfK in verlorenen Normalbetonabschirmungen entsprechend den chargenspezifischen Angaben in den Begleitlisten und einer modellhaften MCNP-Abschirmrechnung.

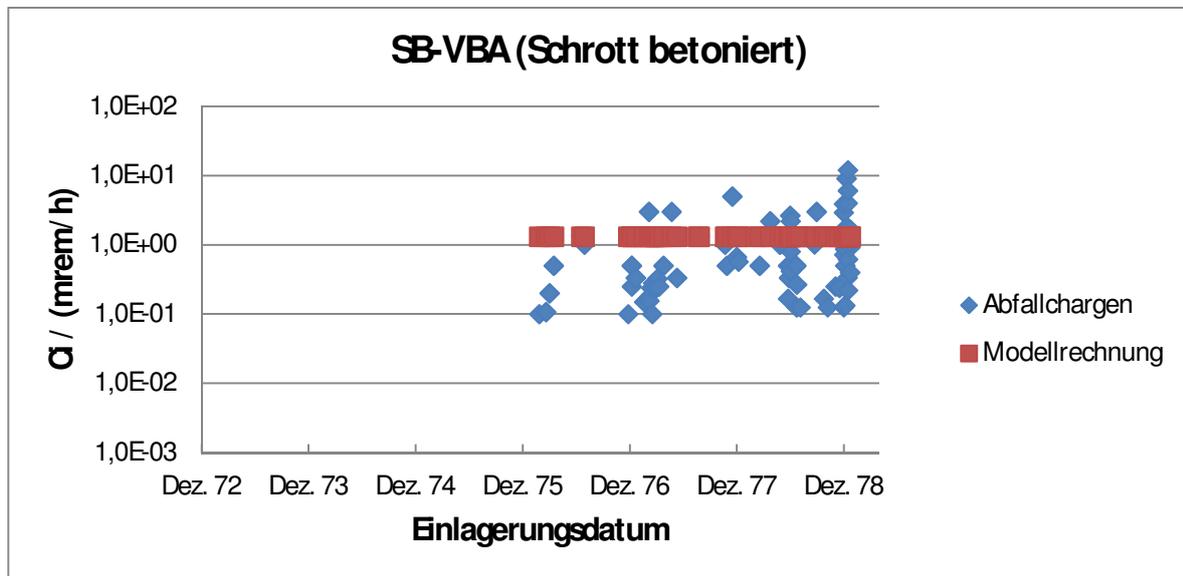


Abbildung 6: Verhältnis von mittlerer Aktivität pro Behälter und der max. Dosisleistung in 1 m Abstand für betonierten Schrott des Ablieferers GfK/KfK in verlorenen Schwerbetonabschirmungen entsprechend den chargenspezifischen Angaben in den Begleitlisten und einer modellhaften MCNP-Abschirmrechnung.

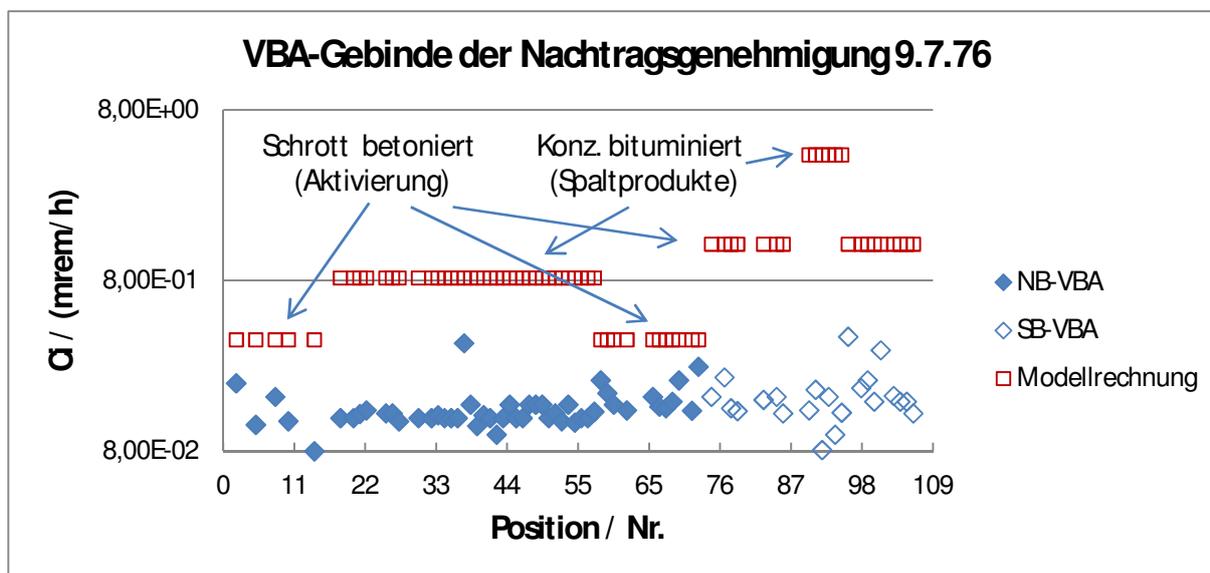


Abbildung 7: Verhältnis von Aktivität zu max. Ortsdosisleistung in 1 m Abstand für betonierten Schrott des Ablieferers GfK/KfK für ausgewählte NB-VBA und SB-VBA des Genehmigungsvorgangs zur Sondereinlagerung von 109 VBA /U-12/. Zusätzlich sind die Ergebnisse von modellhaften MCNP-Abschirmrechnungen von Abfallgebänden dargestellt, für die hinsichtlich Abfallart, Nuklidzusammensetzung, Abfallbehandlung und -verpackung vergleichbare Randbedingungen unterstellt wurden.

Schwerbetonabschirmungen u. a. gebindespezifische Angaben zur Abfallart, Abfallvolumen, Aktivität (Höhe und Art) und Dosisleistung in Kontakt und 1 m Abstand gemacht. Aufgrund der gebindespezifischen Angabe der Aktivität und der gemessenen ODL kann bei der Bildung der entsprechenden Aktivitäts/ODL-Verhältnisse die Variation, die auf die Chargenbildung von Abfallgebänden in den Begleitlisten zurückzuführen ist, ausgeblendet werden. Abbildung 7 zeigt für ausgewählte in NB- und SB-VBA verpackte Abfälle das Aktivitäts/ODL-Verhältnis entsprechend den Angaben im o. a. Genehmigungsvorgang. Zusätzlich sind die Ergebnisse von modellhaften MCNP-Abschirmrechnungen zu den entsprechenden Abfallgebänden dargestellt, für die hinsichtlich Abfallart, Nuklidzusammensetzung, Abfallbehandlung und -verpackung vergleichbare Randbedingungen unterstellt wurden. Hierbei sind folgende Punkte festzustellen:

- Das Aktivitäts/ODL-Verhältnis der ausgewählten Abfallgebände des Genehmigungsvorgangs variiert deutlich weniger als entsprechende Angaben für zusam-



- mengestellte Abfallgebindechargen auf den Begleitlisten. Dies bestätigt die o. a. Annahme, dass die größere Variation der Aktivitäts/ODL-Verhältnisse in den Begleitlisten unter anderem auf eine chargenspezifische maximale ODL bei gleichzeitiger Angabe einer mittleren Aktivität zurückzuführen ist.
- Das weitgehend konstante Aktivitäts/ODL-Verhältnis der Abfallgebinde belegt die Vorgehensweise zur Aktivitätsbestimmung über eine gemessene ODL und eine bekannte bzw. angenommene Nuklidzusammensetzung.
  - Es fällt auf, dass das Aktivitäts/ODL-Verhältnis für Abfälle in SB-VBA mit dem für NB-VBA vergleichbar ist. Dies ist nicht plausibel, da aufgrund der stärkeren Abschirmung der SB-VBA bei gleicher ODL in 1 m Abstand und sonst vergleichbaren Randbedingungen ein deutlich höheres Aktivitätsinventar zu erwarten ist. Dies wird auch durch die Ergebnisse der MCNP-Modellrechnungen verdeutlicht. Im HMGU-Abschlussbericht /U-13/ dargestellte Ergebnisse von exemplarisch für drei Fallbeispiele durchgeführten Abschirmberechnungen bestätigen die möglicherweise Unterschätzung der deklarierten Aktivität ebenfalls.
  - Wird in den MCNP-Modellrechnungen für in NB-VBA betonierte Schrott als Aktivierungsnuklid ausschließlich Co-60 berücksichtigt, reduziert sich das Aktivitätsinventar um ca. einen Faktor 3 (s. Tabelle 2) und es liegt zwischen den Ergebnissen der Abschirmrechnungen und den Angaben der radiologischen Daten im Genehmigungsverfahren eine weitgehende Übereinstimmung vor (in Abbildung 7 nicht dargestellt). Im HMGU-Abschlussbericht /U-13/ dargestellte Ergebnisse von exemplarisch für drei Fallbeispiele durchgeführten Abschirmberechnungen bestätigen dies ebenfalls.
  - Für 15 in NB-VBA verpackte Abfallfässer wurde mit GfK-Schreiben vom 25.03.1975 /U-12/ dokumentiert, dass über die darin enthaltenen Nuklide keine genauen Angaben gemacht werden konnten, da es sich hierbei um seit dem Jahr 1962 lagernde Abfälle handelte, die zum Teil aus verschiedenen Instituten bzw. von der Landessammelstelle stammten. Aufgrund der identischen Lagernummer der Abfallgebinde ist davon auszugehen, dass ein Teil dieser Abfälle zur Sondereinlagerung der 109 älteren GfK-Abfälle in verlorener Betonabschirmung gehörte und auch eingelagert wurde (z. B. Behälter mit der Lager-Nr. 20148,



20455, 22982, 26712, 26713 und 50493). Ob zwischen dem GfK-Schreiben vom 25.03.1975 und der Genehmigung des Bergamts Goslar vom 09.07.1976 noch genauere Angaben über die darin enthaltenen Nuklide gemacht wurden, ist uns nicht bekannt. Aufgrund der Ergebnisse der MCNP-Modellrechnungen und den Ausführungen im GfK-Schreiben vom 25.03.1975 ist eher davon auszugehen, dass die von GfK/KfK gewählte Vorgehensweise zur Aktivitätsbestimmung der 109 älteren GfK-Abfälle in verlorener Betonabschirmung einen pauschalen Charakter besaß und im Einzelfall das tatsächliche Aktivitätsinventar nur abgeschätzt wiedergegeben wurde.

- Aus konservativen Gesichtspunkten ist für NB-VBA mit betoniertem Metallschrott von einer um einen Faktor 2 höheren Aktivität und für SB-VBA mit betoniertem Metallschrott um einen Faktor 6 höheren Aktivität auszugehen. Analog ist für NB-VBA mit bituminierten Abfallkonzentraten von einer um einen Faktor 6 höheren Aktivität und für SB-VBA mit bituminierten Abfallkonzentraten der Sondereinlagerung um einen Faktor 30 höheren Aktivität auszugehen. Jedoch durften entsprechend dem Genehmigungsschreiben des Bergamts Goslar vom 09.07.1976 von den beantragten 109 Abfallbinden nur 44 Stück in die Asse eingelagert werden. Von den oben von uns betrachteten Abfällen durften hierbei nur NB-VBA und SB-VBA mit betoniertem Metallschrott eingelagert werden. Für die Durchführung einer Sicherheitsanalyse empfehlen wir daher, aus konservativen Gesichtspunkten für NB-VBA mit betoniertem Metallschrott von einer um einen Faktor 2 höheren Aktivität und für SB-VBA mit betoniertem Metallschrott um einen Faktor 6 höheren Aktivität auszugehen (vgl. Empfehlung E 1). Inwiefern es zu einem späteren Zeitpunkt möglicherweise auch zu einer Einlagerung der VBA mit bituminierten Abfallkonzentraten gekommen ist, ist uns nicht bekannt.

### **Abfälle in verlorenen Betonabschirmungen: Zusammenfassung**

Die Ergebnisse unserer Überprüfung der Plausibilität der in den Begleitlisten sowie in o. a. Genehmigungsvorgang gemachten Aktivitätsangaben am Beispiel von Abfällen in verlorenen Normalbeton (NB)- und Baryt- bzw. Schwerbeton (SB)-Abschirmungen können wie folgt zusammengefasst werden. Der Abgleich der in den Begleitlisten deklarierten radiologischen Daten mit den in den sonstigen Unterlagen beschriebenen Vorgehensweisen zur Aktivitätsbestimmung führt bei Zugrundelegung abfallspe-

zifischer Nuklidverteilungen (Spaltnuklidvektor bzw. Aktivierungsvektor) und Behälterabschirmungen (NB- und SB-VBA) teilweise zu nicht nachvollziehbaren Aktivitätsinventaren. Da die Bestimmung des Aktivitätsinventars von mehreren Parametern abhängig ist, die für die in die Asse eingelagerten Abfälle nicht alle detailliert vorliegen, sind belastbare Aussagen zum Aktivitätsinventar größerer Abfallchargen aus unserer Sicht nur bedingt und für einzelne Abfallgebilde nicht möglich.

Tabelle 5: Von GfK/KfK in die Asse eingelagerte Abfälle in VBA, für die aus konservativen Gesichtspunkten eine Erhöhung der deklarierten Aktivitäten hinsichtlich einer Sicherheitsanalyse plausibel erscheint.

Abfallgebilde	Gebindeanzahl	Deklar. Aktivität (Ci)	Deklar. Aktivität (Bq)	Erhöhung (Faktor)	Zusätzl. Aktivität (Bq)	Nuklide
bis 1973 bituminierte Konzentrate in NB-VBA	316	4,95E+01	1,8E+12	10	1,6E+13	Spaltvektor
1974-78 eingelagerte bituminierte Konzentrate in NB-VBA	1213	1,64E+03	6,1E+13	2	6,1E+13	Spaltvektor
bituminierte Konzentrate in SB-VBA	393	2,38E+03	8,8E+13	2	8,8E+13	Spaltvektor
bis 1973 betonierte Konzentrate in NB-VBA	11	2,00E-01	7,4E+09	100	7,3E+11	Spaltvektor
betonierte Konzentrate in SB-VBA	2533	3,00E+04	1,1E+15	2	1,1E+15	Spaltvektor
Betonierter Metallschrott in NB-VBA (Genehmigungsvorgang 109 VBA)	16	1,17E+02	4,3E+12	2	4,3E+12	Spaltvektor
Betonierter Metallschrott in SB-VBA (Genehmigungsvorgang 109 VBA)	16	8,80E+01	3,3E+12	6	1,6E+13	Spaltvektor

Sofern zwischenzeitlich keine weiteren Erkenntnisse zum Aktivitätsinventar ermittelt werden, halten wir aufgrund der Prüfergebnisse und konservativer Gesichtspunkte hinsichtlich einer durchzuführenden Sicherheitsanalyse der Schachtanlage Asse II für ausgewählte Abfallgebilde eine Erhöhung des Aktivitätsinventars für empfehlenswert (Empfehlung E 1). Hierbei handelt es sich um die in Tabelle 5 aufgelisteten in die Asse eingelagerten Abfallgebilde. Die in den Begleitlisten von GfK/KfK gemachten Aktivitätsangaben zu den in VBA verpackten LAW-Abfällen sind aufgrund der o. a. Ergebnisse zusammenfassend nicht als konservativ zu bewerten.



## Zementierte Abfälle in 200-l-Fässern der Abfallkategorie „C“

Die in /U-16/ beschriebene Vorgehensweise zur Berechnung der  $\bullet/\gamma$ -Gesamtaktivität pro Abfallfass von GfK/KfK über die Oberflächendosisleistung der Abfallfässer, wobei  $\frac{1}{4}$  der Oberflächendosisleistung gleich der Aktivität pro Fass gesetzt wurde, ist mit bestimmten Randbedingungen in Bezug auf die Verpackung (z. B. 200-l-Fassgeometrie, Abfalldichte von ca.  $2 \text{ g/cm}^3$ , keine zusätzlichen Abschirmungen) und die Aktivitätszusammensetzung (Abfälle bspw. aus aktivierten Reaktorbauteilen bzw. Korrosionsprodukten aus Kernreaktoren mit einem dominierenden Aktivitätsanteil an  $\gamma$ -Strahlern wie Co-60) als plausibel zu bewerten. Dementsprechend hätte ein beispielhaftes 200-l-Fass mit einer Oberflächendosisleistung von  $100 \text{ mrem/h}$  ( $1 \text{ mSv/h}$ ) eine  $\bullet/\gamma$ -Gesamtaktivität von  $25 \text{ mCi}$  ( $9,25 \text{ E}8 \text{ Bq}$ ) zugeteilt bekommen.

Belastbare Aussagen zur Plausibilität der in den Begleitlisten für einzelne Abfallchargen gemachten Aktivitätsangaben für 200-l-Fässer anhand der angegebenen Ortsdosisleistungen sind für den Ablieferer GfK/KfK jedoch kaum möglich. Dies verdeutlicht beispielhaft die Abbildung 8, die für an die Asse abgelieferte Chargen an zementierten 200-l-Fässern der Abfallkategorie „C“ das Verhältnis der mittleren Aktivität zur maximalen Ortsdosisleistung in 1 m Abstand zeigt. Das Verhältnis variiert um bis zu mehrere Größenordnungen von ca.  $10^{-4}$  bis ca.  $7 \text{ Ci pro mrem/h}$ . Eine Variation ist zudem sowohl zwischen den verschiedenen Abfallarten als auch innerhalb einer Abfallart zu erkennen. Hieraus lassen sich folgende Aussagen ableiten:

- Die Angabe der mittleren Aktivität der Abfallgebinde einer Charge auf den Begleitlisten erfolgte nicht ausschließlich über ein festes Verhältnis zur maximalen Ortsdosisleistung an der Fassoberfläche (hier nicht gezeigt) oder in 1 m Abstand. Es ist naheliegend und plausibel, dass die mittlere Aktivität der Abfallgebinde einer Charge über die einzelnen fassspezifischen Dosisleistungsmesswerte und nicht über das Fass mit der höchsten Ortsdosisleistung der gesamten Charge bestimmt wurde. So findet eine Unterschreitung des in /U-16/ angegebenen Umrechnungsfaktors ( $\frac{1}{4}$  der Oberflächendosisleistung gleich der Aktivität pro Fass) für Chargen mit nur einem Abfallgebinde in vergleichsweise wenigen Fällen statt, während der Umrechnungsfaktor für Chargen mit mehreren Abfallbinden häufig unterschritten wird.



- Für die Aktivitätsbestimmung der Abfallgebinde wurden, sofern diese über die gemessene Ortsdosisleistung und nicht buchhalterisch über die Angaben des Ablieferers an die ADB erfolgte, offensichtlich abfallstromspezifische Nuklidvektoren herangezogen. Dies wird bspw. für zementierte plutoniumhaltige Abwässer und Schlämme<sup>4</sup> deutlich, deren Aktivitätsangabe offensichtlich über die in den Abfällen enthaltene Plutoniummenge erfolgte. Dies erklärt auch die für diese Abfallgebinde hinsichtlich der deklarierten mittleren Aktivität vergleichsweise niedrigen maximalen Dosisleistungswerte.

In diesem Zusammenhang haben wir festgestellt, dass beispielhaft für die Begleitlisten ID-Nr. 981, 1097 und 1155 die Massenangaben von Plutonium mit den entsprechenden Aktivitätsangaben bei einem unterstellten Pu-241-Massenanteil von wenigstens 1 % an der Plutoniumgesamtmasse nicht plausibel sind. Die Aktivität müsste allein bei einem Plutoniumgehalt von 1 g pro Abfallgebinde und einem Pu-241-Massenanteil von 1 % ohne weitere Aktivitätsbeiträge bei ca. 1 Ci pro Abfallgebinde liegen. In den o. a. Begleitlisten ID-Nr. 981 und ID-Nr. 1097 liegt aufgrund der deklarierten Pu-Massen pro Charge die durchschnittliche Pu-Masse pro Abfallgebinde rechnerisch bei 6,6 g, 7,7 g bzw. 11 g Pu. Demzufolge müsste die mittlere Aktivität pro Abfallgebinde anstelle der deklarierten 0,5 bzw. 0,8 Ci wenigstens bei ca. 10 Ci (bei einem Massenanteil von 1 % Pu-241) bis zu ca. 50 Ci oder mehr (bei einem Massenanteil von > 5 % Pu-241) liegen. Gemäß dem Lieferschein/Versandschein für Kernbrennstoffe wurde für diese Abfälle pauschal ein Massenanteil von 10 % Pu-241 angegeben. Plutoniumhaltige Abfälle aus der Wiederaufarbeitung der HDR-Brennelemente mit einem sehr geringen Abbrand von 300 MWd/tU und einem Pu-241-Massenanteil am Plutonium von ca. 0,01 % würden mit der Aktivitätsdeklaration der o. a. beiden Begleitlisten in Einklang stehen. Da jedoch allein die in den beiden Begleitlisten deklarierte Pu-Masse von insgesamt 260,172 g die gesamte Masse an Plutonium in den Abfällen

---

<sup>4</sup> Z. B. Begleitlisten ID-Nr. 981 vom 14.09.1976 mit Pos. 129 bis 144 (Pu-Wasser betonierte, u. a. 175,472 g Pu, 0,8 Ci mittlere Aktivität/Behälter), ID-Nr. 1097 vom 29.08.1975 mit Pos. 62 bis 72 (Schlamm betonierte, u. a. 84,7 g Pu, 0,5 Ci mittlere Aktivität/Behälter) und ID-Nr. 1155 vom 28.11.1974 mit Pos. 50 bis 51 und 52 bis 55 (jeweils betonierte Pu-Wasser, u. a. 6,642 g Pu/Fass, 0,4 Ci mittlere Aktivität/Behälter)



der HDB-Kampagne von ca. 177 g /U-5/ übersteigt, kann dies nicht als ausschließliche Erklärung herangezogen werden. In den uns zur Verfügung stehenden Unterlagen haben wir keine Hinweise auf den Anfall von größeren Mengen an weitgehend Pu-241 freien Plutonium. Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Aktivitäten in den Begleitlisten bei Abfällen mit höherem Kernbrennstoffgehalt möglicherweise deutlich unterschätzt wurden. Bei der Berechnung des Aktivitätsinventars mit Hilfe der Datenbank ASSEKAT/PAI kommt diese mögliche Aktivitätsunterschätzung jedoch nicht zum Tragen, da die Berechnung der Aktivitäten der einzelnen Plutoniumisotope anhand der in den Begleitlisten bzw. Kernbrennstoffmeldungen deklarierten Plutoniumgesamtmasse und separater in ASSEKAT/PAI hinterlegter Plutonium-Isotopenzusammensetzungen erfolgt.

Ein anderes Kriterium, das zur Plausibilität der Aktivitätsangaben herangezogen werden kann, ist neben dem Verhältnis der Aktivität zur Ortsdosisleistung das Aktivitätsinventar selbst. Hierbei kann näherungsweise anhand von Erfahrungswerten eine Orientierung erfolgen. Die oben betrachteten an die Asse in 395 Chargen abgelieferten ca. 4000 zementierten 200-l-Fässer der Abfallkategorie „C“ besitzen im Mittel ca. 0,17 Ci bzw. ca. 6 E9 Bq pro Fass. Im Rahmen eines KfK-Forschungsvorhabens zur möglichen Eignung der Schachtanlage Konrad für die Abfälle aus dem Betrieb von Kernkraftwerken, Forschungszentren, Landessammelstellen, der Industrie und aus der Stilllegung von Kernkraftwerken /U-22/ wurde für ein Jahr alte zementierte Abfälle aus Forschungszentren und Landessammelstellen eine spezifische Aktivität von 2,6 E-7 Ci/g Abfallprodukt angegeben. Unterstellt man für ein zementiertes 200-l-Fass mit einer Dichte von 2,3 g/cm<sup>3</sup> eine Masse von 460 kg, ergibt sich mit dieser spezifischen Aktivität eine berechnete Aktivität von ca. 0,12 Ci bzw. ca. 4 E9 Bq pro Fass. Dieser Wert deckt sich nahezu mit dem von uns berechneten Mittelwert von 0,17 Ci pro Fass. Auch wenn davon ausgegangen werden kann, dass in dem Forschungsvorhaben /U-22/ die Daten der o. a. betrachteten 4000 zementierten 200-l-Fässer der Abfallkategorie „C“ mit berücksichtigt wurden und es sich daher um keinen völlig unabhängigen Wert handelt, kann dies wenigstens als nachträgliche Bestätigung der von GfK/KfK für diese Abfallkategorie deklarierten Gesamtaktivität gewertet werden.

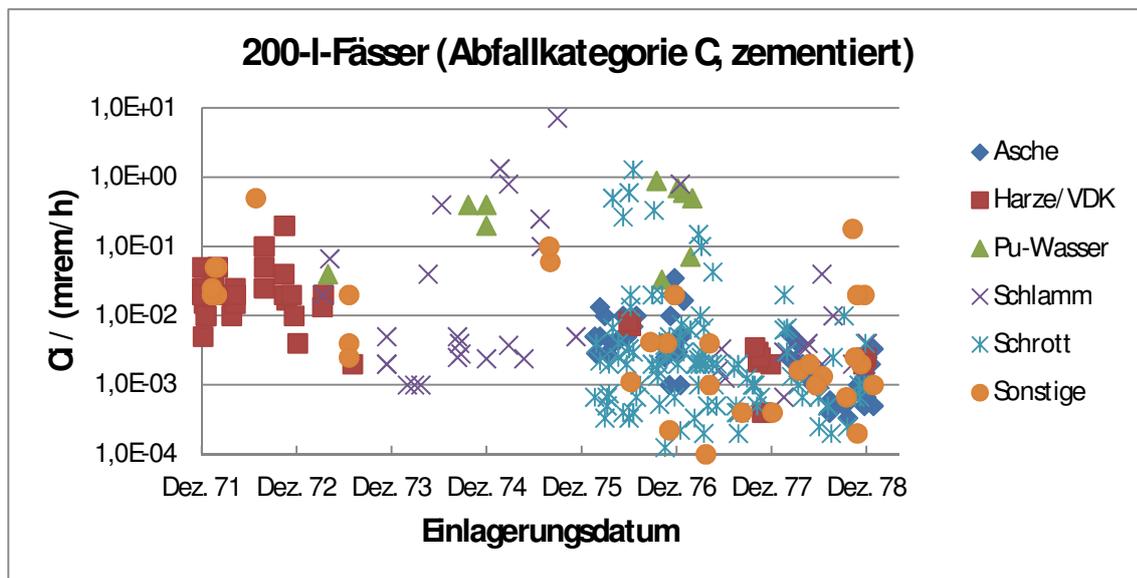


Abbildung 8: Verhältnis von Aktivität zu Ortsdosisleistung in 1 m Abstand in Abhängigkeit von der Abfallart für zementierte 200-I-Fässer der Abfallkategorie C entsprechend den Angaben in den Begleitlisten.



### 3.1.2 Forschungszentrum Jülich (KFA)

Von KFA wurden insgesamt 13325 Abfallgebinde mit einer Gesamtaktivität von 1,23 E14 Bq (3320 Ci) an die Asse abgegeben. Acht Stück dieser Abfallgebinde mit einer Aktivität von 3,8 E13 Bq (1030 Ci) wurden als MAW-Abfall in der Einlagerungskammer 8a/511m eingelagert /U-21/. Die von KFA abgelieferten Abfälle enthalten gemäß /U-21/ eine nicht näher spezifizierte Mischung von Kernbrennstoffen, Spalt- und Aktivierungsprodukten sowie Radionukliden, die zu Markierungszwecken eingesetzt wurden (z. B. H-3, C-14).

In den uns vorliegenden Unterlagen /U-5/ bis /U-15/ befinden sich für die KFA-Abfälle keine Hinweise, wie die auf den Begleitlisten angegebene Gesamtaktivität bestimmt wurde und um welche Nuklidzusammensetzung es sich handelt. Auf den Begleitlisten werden nur einzelne Radionuklide genannt. Entsprechend dem GSF-Bericht-2002 /U-21/ stammen mit einer Ausnahme alle an die Asse abgelieferten Abfallchargen mit mehr als sieben deklarierten Radionukliden von KFA.

Auf den Fragenbögen der Versuchseinlagerung wurden neben der Fasskennzeichnung, die Bruttomasse sowie die Dosisleistung an der Oberfläche und die Aktivität für jedes Abfallgebinde einzeln angegeben. Nach der Versuchseinlagerung wurden von den Ablieferern für einzelne oder mehrere Abfallgebinde auf den Begleitlisten Angaben zum Behälter (Art des Behälters, Abfallkategorie, Gewicht und Dosisleistungskategorie) gemacht. Des Weiteren erfolgte eine Beschreibung der Abfälle (Art der Abfälle, Art der Behandlung, Nuklide, Masse und Art der Kernbrennstoffe) und die Angabe der mittleren Aktivität sowie die maximale Dosisleistung an der Außenseite und in 1 m Abstand.

In der nachfolgenden Tabelle 6 haben wir die KFA-Abfälle für die zwei Behältertypen „200-l-Fass betonierte“ und „200-l-Fass mit allseitiger Betonauskleidung“, die Chargenanzahl und Abfallgebindeanzahl sowie die auf den Begleitlisten/Fragebögen genannte Abfallart zusammengestellt. Grundlage für die Aufteilung waren die in der Datenbank ASSEKAT erfassten Daten zum Behältertyp sowie die Daten zur erst genannten Abfallart und Behandlungsart. Abfallchargen mit Grafit oder Grafitkugeln haben wir separat betrachtet.

Tabelle 6: KFA-Abfälle abhängig vom Behältertyp, Anzahl der Chargen und Gebinde sowie die auf den Begleitlisten/Fragebögen genannte Abfallart

Behältertyp	Chargen-anzahl	Gebinde-anzahl	Abfallarten
200-I-Fass beto- niert <sup>1)</sup>	193	2022	Abdampfrückstände, Asche, Bauschutt, betonierte Harze, Cu-Schlacke, Erde, Filter, Folie, Geräteteile, Harze, Holz, Holzabfälle, Laborabfälle, Laub, Metall, Metallteile, Papier, PE-Material, PE-Rohre, PVC-Folie, PVC-Rohre, PVC-Teile, Sand, Schlamm, Stahlfilter, verfestigter Klärschlamm, verfestigte Abdampfrückstände, verfestigte Asche, verfestigte Flüssigkeiten, verfestigte Harze, verfestigte Ionenaustauscher, verfestigte Schlämme, Vorfilter, Vulcathene, Zellenfilter,
200-I-Fass mit allseitiger Beton- auskleidung <sup>2)</sup>	82	1092	Abdampfrückstände, Abluftfilter, Asche, Bauschutt, Filter, Filtermatten, Folie, Geräteteile, Grafit, Gummi, Harze, Holz, Laborabfälle, Metall, Metallteile, mumifizierte Tierkadaver, Papier, PE-Material, PVC-Material, PVC-Rohre, Stahlabfälle, Textilien, verfestigte Flüssigkeiten, verfestigte Schlämme

- 1) 200-I-Fasstypen wie Blechtrommel (BT), Rollreifenfass (RR) oder Rollsickenfass (RS), bei denen auf der Begleitliste als Behandlungsart Beton, betoniert, Zement oder zementiert (bzw. mit Beton vergossen oder einbetoniert) angegeben wurde
- 2) 200-I-Fasstypen wie Blechtrommel (BB) oder Rollsickenfass (RS) unabhängig von der auf der Begleitliste angegebenen Behandlungsart

Zur Plausibilitätsprüfung der Daten auf den Begleitlisten bzw. Fragebögen haben wir in Abbildung 9 und Abbildung 10 für Abfälle mit den Behältertypen „200-I-Fass betoniert“ und „200-I-Fässer mit allseitiger Betonauskleidung“ das Verhältnis der Aktivität (Ci) zur Dosisleistung in 1 m Abstand (mrem/h) unabhängig von der Abfallart für die einzelnen Chargen grafisch dargestellt. Bei dem Behältertyp „200-I-Fass betoniert“ handelt es sich um verschiedene Abfälle in unterschiedlichen 200-I-Fasstypen wie Blechtrommel (BT), Rollreifenfass (RR) oder Rollsickenfass (RS), bei denen auf der Begleitliste als Behandlungsart Beton, betoniert, Zement oder zementiert angegeben wurde. Beim Behältertyp „200-I-Fässer mit allseitiger Betonauskleidung“ handelt es sich um verschiedene Abfälle in unterschiedlichen 200-I-Fasstypen wie Blechtrommel mit Betonauskleidung (BB) oder Rollsickenfass mit Betonauskleidung (RB).

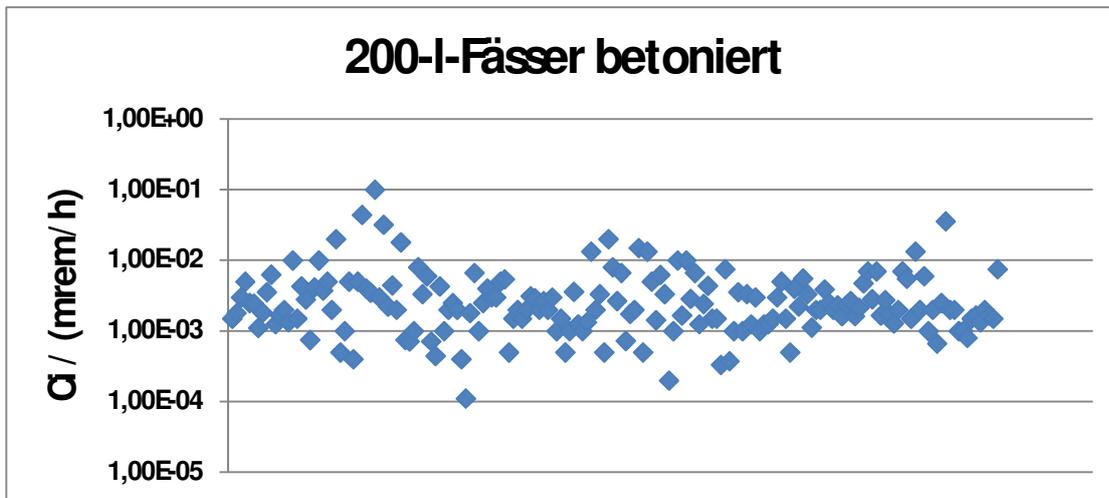


Abbildung 9: Chargenspezifische Verhältnisse zwischen der auf den Begleitlisten angegebenen mittleren Aktivität pro Behälter [Ci/Behälter] und der max. Dosisleistung in 1 m Abstand [mrem/h] für 200-I-Fässer mit verschiedenen betonierte oder zementierte KFA-Abfällen (193 Chargen).

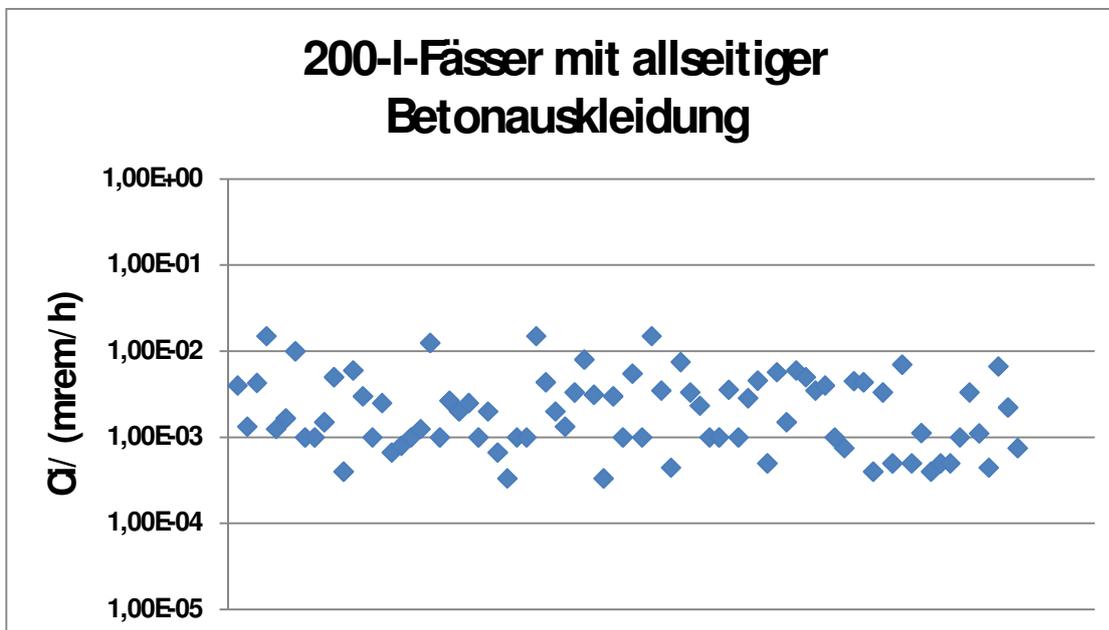


Abbildung 10: Chargenspezifische Verhältnisse zwischen der auf den Begleitlisten angegebenen mittleren Aktivität [Ci/Behälter] und der max. Dosisleistung in 1 m Abstand [mrem/h] für verschiedene KFA-Abfälle in 200-I-Fässern mit allseitiger Betonauskleidung (82 Chargen).



Aus Abbildung 9 und Abbildung 10 wird ersichtlich, dass das Aktivitäts-/ODL-Verhältnis um mehrere Größenordnungen variiert. Ein konstanter Wert für die Umrechnung zwischen der gemessenen Dosisleistung in 1 m Abstand und der Aktivität ist in den Abbildungen nicht erkennbar.

Für KFA-Abfälle in den o. g. Behältertypen finden sich in /U-32/ Angaben zu den Umrechnungsfaktoren zwischen der gemessenen Dosisleistung in 1 m Abstand und der Aktivität. Nachfolgende Werte werden in /U-32/ auf Grund von Erfahrungen für die Umrechnungsfaktoren zwischen Dosisleistung in 1 m Abstand und der Spaltprodukt- bzw. der Gesamtaktivität für Abfälle aus den Heißen Zellen angegeben:

Spaltprodukte	1 mSv/h = 4 E10 Bq	entspricht: 1,0 E-2 Ci/mrem/h
Stahl	1 mSv/h = 4 E10 Bq	entspricht: 1,0 E-2 Ci/mrem/h
Grafit, Keramik	1 mSv/h = 4 E09 Bq	entspricht: 1,0 E-3 Ci/mrem/h
Allgemeiner Abfall	1 mSv/h = 4 E09 Bq	entspricht: 1,0 E-3 Ci/mrem/h
Filter	1 mSv/h = 4 E11 Bq	entspricht: 1,0 E-1 Ci/mrem/h

Für den überwiegenden Teil der in Abbildung 9 und Abbildung 10 dargestellten Abfallchargen ergibt sich ein Aktivitäts/ODL-Verhältnis zwischen ca. 1 E-2 bis 1 E-3 Ci/mrem/h. Vergleicht man die Werte mit den Umrechnungsfaktoren aus /U-32/ erkennt man, dass diese in der gleichen Größenordnung liegen und diesbezüglich keine Auffälligkeit zeigen.

Chargen mit einem Aktivitäts/ODL-Verhältnis größer 1 E-2 Ci/mrem/h haben wir stichprobenweise auf ihre Plausibilität geprüft. Die Einsichtnahme in die Begleitlisten hat gezeigt, dass es sich z. B. bei den Begleitlisten ID-Nr. 1674, 1676 und 2145 um Chargen mit Tritium oder anderen Betastrahlern ohne relevanten Dosisleistungsbeitrag handelt. Damit können die höheren Aktivitäts/ODL-Verhältnisse dieser KFA-Abfälle erklärt werden.

Schwankungen des Aktivitäts/ODL-Verhältnisses kommen u. a. auch dadurch zustande, dass die mittlere Aktivität pro Abfallgebinde einer Charge in das Verhältnis zur maximalen Dosisleistung der Charge gesetzt wird. Da KFA Abfälle mit unterschiedlicher Herkunft, Nuklidzusammensetzung und variierendem Abfallalter an die Asse abgegeben hat, ist eine weitergehende Bewertung nicht möglich.



Als weiteres Kriterium zur Plausibilitätsprüfung der Angaben auf den Fragebögen/Begleitlisten haben wir neben dem Verhältnis der Aktivität zur Ortsdosisleistung die absolute Höhe der Aktivität in Abhängigkeit von der Abfallart betrachtet. Abgesehen von den in NB-VBA verpackten Abfällen oder 200-l-Fässern mit Präparaten wurden auf den Begleitlisten die höchsten Aktivitätswerte für Abfallgebinde mit verfestigtem Schlamm (bis zu 5 Ci pro Abfallgebinde) und Grafitkugeln (bis zu 1,1 Ci pro Abfallgebinde) angegeben. Für den überwiegenden Teil der Abfallgebinde wurden Aktivitäten von kleiner 0,1 Ci (3,7 E09 Bq) angegeben. Diese Aktivitätswerte sind für Betriebsabfälle aus Forschung und Industrie nicht untypisch, so dass die deklarierten Aktivitäten plausibel erscheinen.

Als spezieller KFA-Abfall wurden 160 Abfallgebinde mit Grafit und Grafitkugeln mit einer Gesamtaktivität von 137 Ci an die Asse abgeliefert (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Anzahl an 200-l-Fässern bzw. 400-l-Fässer und NB-VBA mit Grafit oder Grafitkugeln und die auf den Begleitlisten angegebenen Gesamtaktivitäten.

Abfallart	200-l-Fässer / 400-l-Fässer		NB-VBA		Summe	
	Anzahl	Aktivität [Ci]	Anzahl	Aktivität [Ci]	Anzahl	Aktivität [Ci]
Grafit	54	14,9	5	1,3	59	16,2
Grafitkugeln	35	10,5	66	110,3	101	120,8
Summe	89	25,4	71	111,6	160	137,0

Die einzelnen KFA-Begleitlisten, bei denen Grafit oder Grafitkugeln als Abfallart genannt wird, sind in der Tabelle 8 und Tabelle 9 aufgelistet.

Tabelle 8: Liste der KFA-Begleitlisten für 200-I- und 400-I-Fässer, bei denen Grafit oder Grafitkugeln als Abfallart genannt wird, mit der jeweiligen Gebindeanzahl, der mittleren Aktivität und der Gesamtaktivität pro Charge.

Behältertyp	BL-ID	Lfd.Nr.	Anzahl Gebinde	mittlere Aktivität	Gesamtaktivität
200-I Grafit	1646	139-140	2	0,25	0,5
	1648	13	1	0,001	0,001
	1651	138-139	2	0,2	0,4
	1662	139-140	2	0,25	0,5
	1664	127-140	14	0,1	1,4
	1672	185-192	8	0,26	2,08
		193-204	12	0,31	3,72
		205-210	6	0,5	3
2791	10619-10910*	2	0,002	0,004	
400-I Grafit	3003	121136-121139	4	0,7	2,8
		121140	1	0,45	0,45
<b>Summe</b>			<b>54</b>		<b>14,9</b>
200-I Grafitkugeln	1585	6679	1	0,2	0,2
	1588	6501	1	0,05	0,05
	1596	61121-61125	5	0,042	0,21
		61126	1	0,045	0,045
	1597	60137	1	0,015	0,015
	1601	5917-5921	5	0,13	0,65
	1603	5878-5880	3	0,16	0,48
	1606	5677-5680	4	0,18	0,72
	1608	5511-5512	2	0,18	0,36
	1614	5111-5112	2	0,63	1,26
	1622	4575-4580	6	1,05	6,3
1626	4375-4378	4	0,05	0,2	
<b>Summe</b>			<b>35</b>		<b>10,5</b>

Bei den Grafitkugeln handelt es sich um nicht-kernbrennstoffhaltige Grafit- und Absorberkugeln aus dem Erstkern des AVR /U-13/. Über Art und Herkunft des Grafits in den Abfallgebinden liegen uns keine Unterlagen vor. Für die 200-I-Fässer mit Grafit oder Grafitkugeln sowie für die NB-VBA mit Grafit ergibt sich eine mittlere Aktivität von ca. 0,3 Ci pro Behälter. Demgegenüber besitzen die in NB-VBA verpackten Grafitkugeln eine mittlere Aktivität von 1,67 Ci pro Behälter. Damit wurde mit den VBA mit Grafitkugeln durchschnittlich um den Faktor 5,6 mehr Aktivität als in den 200-I-Fässern eingelagert. Durch die Bestrahlung der Grafitkugeln entstehen aus den Verunreinigungen des Grafits, die im ppm-Bereich liegen, Aktivierungsprodukte. Abhängig von der Grafitsorte können hierbei Aktivitätsschwankungen um einen Faktor von 2 bis 3 auftreten /U-32/.



Tabelle 9: Liste der KFA-Begleitlisten für NB-VBA bei denen Grafit oder Grafitkugeln als Abfallart genannt wird unter Angabe der Gebindeanzahl, der mittleren Aktivität und der Gesamtaktivität pro Charge.

Behältertyp	BL-ID	Lfd.Nr.	Anzahl Gebinde	mittlere Aktivität	Gesamtaktivität
NB-VBA Grafit	2997	12514	1	0,25	0,25
	3002	12209	1	0,25	0,25
	3006	11908-11910	3	0,25	0,75
<b>Summe</b>			<b>5</b>		<b>1,25</b>
NB-VBA  Grafit- kugeln	1601	5902	1	2,95	2,95
	1605	5701-5703	3	1,65	4,95
	1608	5501-5503	3	1,84	5,52
	1609	5410	1	1,25	1,25
		5411-5413	3	0,175	0,525
	1610	5310	1	1,8	1,8
	1612	5203	1	1,9	1,9
	1614	5102-5104	3	2,15	6,45
	1615	5004	1	1,57	1,57
		5005	1	2,1	2,1
	1617	4901-4902	2	2,18	4,36
	1618	4810	1	2,16	2,16
	1620	4708-4710	3	1,4	4,2
	1621	4601	1	1,09	1,09
		4602	1	1,1	1,1
		4603	1	1,05	1,05
		4604	1	0,77	0,77
	1623	4505-4510	6	2,1	12,6
	1625	4402-4403	2	2,09	4,18
	1626	4310	1	2,2	2,2
	1627	4202	1	2,22	2,22
	1632	3901	1	2,24	2,24
		3902	1	2,14	2,14
		3903	1	2,24	2,24
		3904	1	2,22	2,22
		3905	1	2,13	2,13
		3906	1	2,13	2,13
		3907	1	2,24	2,24
		3908	1	2,14	2,14
		3909	1	2,07	2,07
		3910	1	2,11	2,11
	1633	38/01	1	2,08	2,08
		38/02	1	2,18	2,18
		38/03	1	2,2	2,2
		38/04	1	2,16	2,16
		38/05	1	2,2	2,2
		38/06	1	2,19	2,19
		38/07	1	2,24	2,24
		38/08	1	2,18	2,18
		38/09	1	2,06	2,06
		38/10	1	2,22	2,22
	2796	10371-10374	4	0,25	1
3007	11805-11808	4	0,25	1	
<b>Summe</b>			<b>66</b>		<b>110,3</b>



Zur Plausibilitätsprüfung der von KFA auf den Begleitlisten für Abfälle mit Grafit und Grafitkugeln deklarierten Aktivität haben wir in Abbildung 11 und Abbildung 12 für die Behältertypen „200-I-Fässer“ und für die „NB-VBA“ das chargenspezifische Verhältnis der auf den Begleitlisten angegebenen mittleren Aktivität pro Behälter (Ci/Behälter) zur max. Dosisleistung in 1 m Abstand (mrem/h) grafisch dargestellt.

Vergleicht man die in Abbildung 11 für „Grafit/Grafitkugeln in 200-I-Fässern“ dargestellten Aktivitäts/ODL-Verhältnisse mit dem in /U-32/ angegebenen Wert von  $1,0 \text{ E-3 Ci/mrem/h}$  für Abfälle mit Grafit/Keramik, zeigt sich, dass dieser Wert für KFA-Chargen mit 200-I-Fässern nicht unterschritten wird. Die in den Begleitlisten deklarierte Aktivität ist damit gegenüber den Angaben in /U-32/ als konservativ einzustufen.

Wie der Abbildung 12 zu entnehmen ist, zeigen die Abfallchargen mit in NB-VBA verpacktem Grafit/Grafitkugeln bis auf drei Chargen (Begleitlisten ID-Nr. 1609, 2796 und 3007) relativ konstante Aktivitäts/ODL-Verhältnisse. Das Aktivitätsinventar der NB-VBA mit Grafitkugeln ist hierbei um ca. eine Größenordnung höher als für die NB-VBA mit Grafit.

Bei der Charge mit einem Aktivitäts-/ODL-Verhältnis von  $3,5 \text{ E-3 Ci/mrem/h}$  (Begleitliste ID-Nr. 1609) hat unsere Prüfung gezeigt, dass es sich bei den drei Abfallgebinden der Charge mit der Lfd.Nr. 5411 bis 5413 nicht, wie in der Datenbank ASSEKAT eingetragen, um NB-VBA, sondern um 200-I-Fässer handelt. Ein Indiz hierfür sind neben der auf den Begleitlisten angegebenen Aktivität und Dosisleistung auch die Eintragungen in das Fasskontrollbuch. Damit ist diese Charge hinsichtlich des Aktivitäts/ODL-Verhältnisses der Abbildung 11 mit in 200-I-Fässern verpackten Grafit/Grafitkugeln zuzuordnen.

Für die beiden anderen Chargen mit einem Aktivitäts-/ODL-Verhältnis von  $2,7 \text{ E-2 Ci/mrem/h}$  (Begleitliste ID-Nr. 2796) und  $5 \text{ E-2 Ci/mrem/h}$  (BL ID-Nr. 3007) wurde für die in NB-VBA verpackten Grafitkugeln in den Begleitlisten eine vergleichsweise geringe Aktivität deklariert. Dies gilt auch für die drei Chargen (BL ID-Nr. 2997, 3002 und 3006) mit in NB-VBA verpacktem Grafit. Eine Erklärung hierfür war den uns zur Verfügung stehenden Unterlagen nicht zu entnehmen.

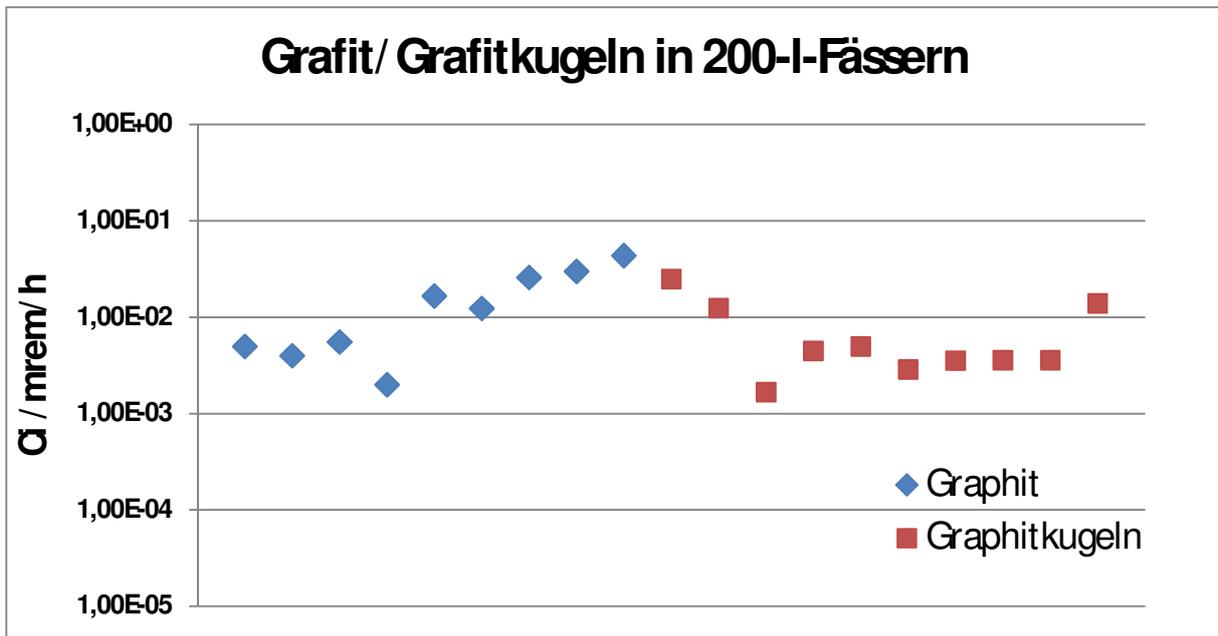


Abbildung 11: Chargenspezifische Verhältnisse zwischen der auf den Begleitlisten angegebenen mittleren Aktivität pro Behälter [ $\bar{C}_i$ /Behälter] und der max. Dosisleistung in 1 m Abstand [mrem/h] für 200-l-Fässer mit Graphit und Graphitkugeln.

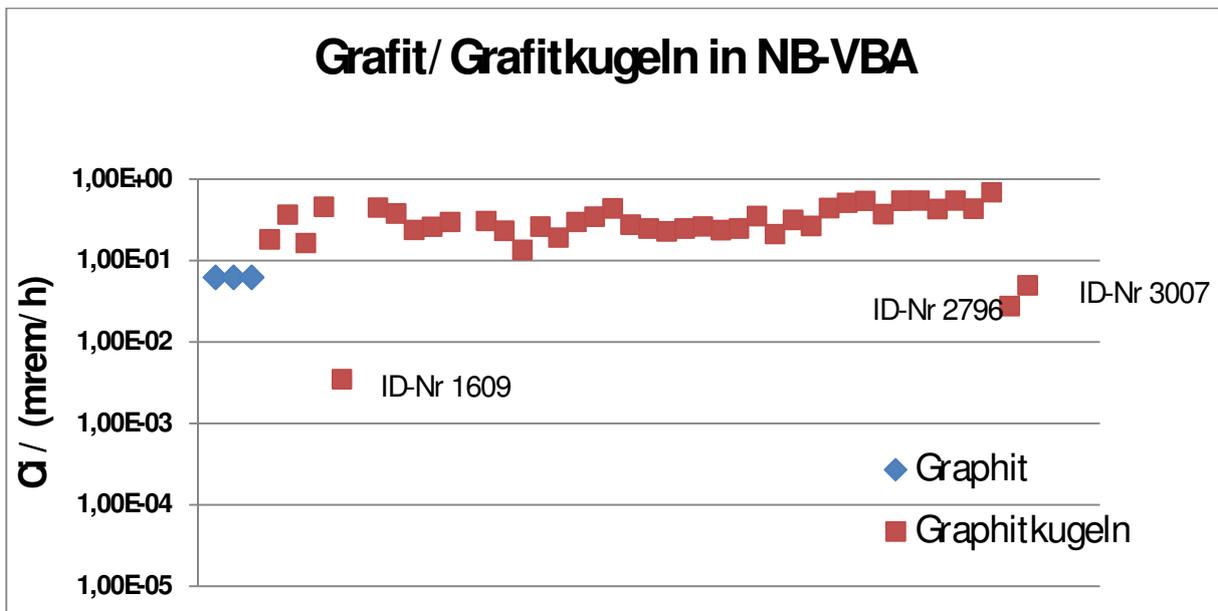


Abbildung 12: Chargenspezifische Verhältnisse zwischen der auf den Begleitlisten angegebenen mittleren Aktivität pro Behälter [ $\bar{C}_i$ /Behälter] und der max. Dosisleistung in 1 m Abstand [mrem/h] für NB-VBA mit Graphit und Graphitkugeln.



Als weiteres Kriterium zur Plausibilitätsprüfung der Angaben auf den Fragebögen/Begleitlisten haben wir die absolute Höhe der Aktivität in Abhängigkeit von der Abfallart betrachtet. Bei den NB-VBA mit Grafitkugeln wurden im Durchschnitt um einen Faktor 5,6 mehr Aktivität deklariert als in den 200-l-Fässern. Die mittleren Aktivitäten von ca. 0,3 Ci pro Abfallgebinde für 200-l-Fässer mit Grafit/Grafitkugeln und die mittlere Aktivität von 1,67 Ci pro Behälter für NB-VBA mit Grafitkugeln sind nicht untypisch, so dass die deklarierten Aktivitäten plausibel erscheinen.

Bei der stichprobenweisen Prüfung der KFA-Begleitlisten mit der Abfallart „Grafit“ ist uns aufgefallen, dass für die Art der Radionuklide unterschiedliche Nennungen erfolgen. So wurden z. B. in der Begleitliste ID-Nr. 1623 Lfd.Nr. 4505 bis 4510 die Radionuklide Se, Fe und Co und in der Begleitliste ID-Nr. 1626 Lfd.Nr. 4375 bis 4378 die Radionuklide Sc, Fe und Co genannt. Wir gehen davon aus, dass es sich bei der Angabe von Se um einen Übertragungsfehler handelt. Da diese Chargen mit der Datenbank ASSEKAT/PAI unabhängig von den auf den Begleitlisten angegebenen Radionukliden berechnet werden, hat dies keinen Einfluss auf die Berechnung des Aktivitätsinventars.

Aufgrund der Überprüfung der in den Begleitlisten gemachten Angaben wie z. B. das o. a. Aktivitäts-/ODL-Verhältnis in Abbildung 11 und die Radionuklid-Nennungen lassen sich aus unserer Sicht keine eindeutigen Hinweise ableiten, dass es sich bei den Abfallarten „Grafit“ und „Grafitkugeln“ hinsichtlich der Aktivitätszusammensetzung um prinzipiell unterschiedliche Abfälle handelt. Auch erfolgte in keiner der Begleitlisten eine gleichzeitige Nennung von Grafit und Grafitkugeln, die auf das Vorliegen verschiedenartiger Abfälle hinweist.

Zusammenfassend hat unsere Prüfung gezeigt, dass die für KFA auf den Begleitlisten deklarierten Aktivitäten, Dosisleistungen und Abfallarten für Betriebsabfälle aus Forschung und Industrie nicht untypisch sind und somit die deklarierten Aktivitäten plausibel erscheinen.



### 3.1.3 Forschungszentrum Geesthacht (GKSS) / Amersham-Buchler (AB)

Die von GKSS abgegebenen Abfälle stammen überwiegend aus der Zentralabteilung Forschungsreaktoren. Als LAW wurden ca. 1872 Abfallgebinde mit einer Aktivität von ca. 1,2 E12 Bq (32 Ci) in die Asse eingelagert. Davon konnten 1647 Abfallgebinden mit einer Gesamtaktivität von ca. 1 E12 Bq (27,4 Ci) keine Radionuklide zugeordnet werden. Entsprechend werden diese Abfallgebinde in der Datenbank ASSEKAT/PAI nicht ausgewertet. /U-21/. Des Weiteren wurden 21 Abfallgebinde mit ca. 6,5 E13 Bq (1760 Ci) als MAW eingelagert. Diese sind nicht Gegenstand der vorliegenden Überprüfung.

Im HMGU-Bericht /U-13/ wurden u. a. von GKSS die Ergebnisse aus der Untersuchung/Nachqualifizierung von 155 Alt-Abfallgebinden in der dortigen Landessammelstelle dargestellt. Bei den Abfallgebinden, die durch die Firma Amersham-Buchler (AB) in konditionierter Form an die dortige Landessammelstelle abgegeben worden waren, wurde festgestellt, dass bei neun Abfallgebinden die tatsächliche Aktivität fehlerhaft deklariert worden war und bei 13 Abfallgebinden die vorgefundenen Flüssigkeiten der seinerzeit gültigen Benutzungsordnung der Landessammelstelle widersprachen. Etwa 2/3 der untersuchten Abfallgebinde waren ursprünglich für die Einlagerung in die Asse vorgesehen. Inwieweit diese festgestellten Abweichungen bzw. Auffälligkeiten für die Deklaration von GKSS bzw. AB an die Asse abgelieferten Abfälle repräsentativ sind, konnte gemäß HMGU-Bericht nicht beurteilt werden /U-13/.

Bei den von GKSS abgegebenen Abfallgebinden wurden auf den Fragebögen/Begleitlisten als Radionuklide oftmals Beta und Gamma bzw. teilweise Einzelnuclide wie C-14, Co-58 und Co-60 angegeben. In den uns vorliegenden Unterlagen /U-5/ bis /U-15/ befinden sich keine näheren Angaben zur Herkunft und zur Nuklidzusammensetzung der Abfallgebinde von GKSS.

Zur Plausibilitätsprüfung der Daten auf den Begleitlisten haben wir in der Abbildung 13 für 200-l-Fässer das chargenspezifische Verhältnis der mittleren Aktivität (Ci/Behälter) zur Dosisleistung in 1 m Abstand (mrem/h) unabhängig von Abfallart und Behandlungsart grafisch dargestellt.

Das Aktivitäts/ODL-Verhältnis der GKSS-Abfälle in 200-l-Fässern mit verschiedenen Abfall- und Behandlungsarten variiert, wie in der Abbildung 13 ersichtlich, um mehrere Größenordnungen. Für den überwiegenden Teil der Abfallchargen ergibt sich ein Aktivitäts/ODL-Verhältnis zwischen  $1 \text{ E-2}$  bis  $1 \text{ E-3 Ci/mrem/h}$  und ist daher hinsichtlich der Verhältnisse zwischen Aktivität und Dosisleistung in 1 m Abstand als unauffällig zu beurteilen.

Die stichprobenweise Prüfung der Chargen mit einem Aktivitäts/ODL-Verhältnis größer als  $1 \text{ E-1 Ci/mrem/h}$  zeigt, dass es sich hierbei um Chargen mit C-14, Sr-90 oder anderen Betastrahlern ohne relevanten Dosisleistungsbeitrag handelt (Begleitlisten ID-Nr. 1932, 1933, 1966, 1967, 1971 und 1980). Des Weiteren wurden Chargen mit Prüfstrahlern in zusätzlicher Bleiabschirmung (z. B. Begleitlisten ID-Nr. 1942, 1952) eingelagert. Damit könnten die höheren Aktivitäts/ODL-Verhältnisse dieser GKSS-Abfälle ebenfalls erklärt werden.

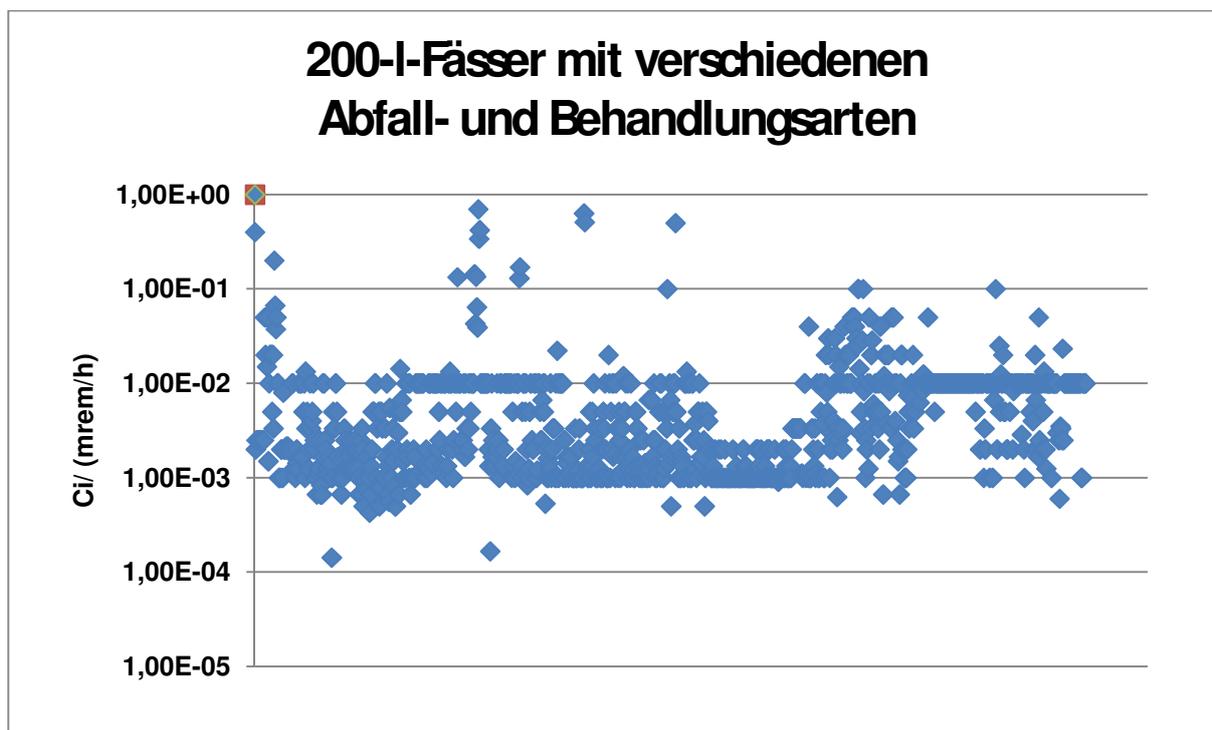


Abbildung 13: Chargenspezifisches Verhältnis zwischen der auf den Begleitlisten angegebenen mittleren Aktivität pro Behälter [Ci/Behälter] und der Dosisleistung in 1 m Abstand [mrem/h] für 200-l-Fässer unabhängig von Abfall- und Behandlungsart.



Als weiteres Kriterium zur Plausibilitätsprüfung der Angaben auf den Fragebögen/Begleitlisten haben wir neben dem Verhältnis der Aktivität zur Ortsdosisleistung die absolute Höhe der Aktivität in Abhängigkeit von der Abfallart betrachtet. Abgesehen von den 200-l-Fässern, die im MAW-Lager eingelagert und den Abfällen in NB-VBA wurden auf den Begleitlisten für einige Abfallgebinde mit Strukturmaterial eine Gesamtaktivität von 1 Ci angegeben. Für den überwiegenden Teil der Abfallgebinde wurden mittlere Aktivitäten von kleiner 0,1 Ci (4 E9 Bq) angegeben.

Diese Aktivitätswerte sind für Betriebsabfälle aus Forschung bzw. Abfälle, die an die Landessammelstellen abgeliefert werden, nicht untypisch, so dass die absolute Höhe der Aktivitäten sowie das Aktivitäts/ODL-Verhältnis plausibel erscheinen. Eine weitergehende Bewertung der angegebenen Aktivitätswerte ist anhand der pauschalen Angaben zu den Radionukliden (Beta, Gamma) auf den Begleitlisten ohne genauere Kenntnis der Herkunft der radioaktiven Abfälle nicht möglich.

Des Weiteren hat unsere Prüfung der vorliegenden Primärdokumentation zur Einlagerung der Abfälle in die Asse keine Hinweise ergeben, dass die im HMGU-Bericht /U-13/ dargestellten Auffälligkeiten bei der Deklaration der sog. Alt-Abfallgebinde auf die in die Asse eingelagerten Abfallgebinde ohne weitere Kenntnisse übertragbar sind.



### 3.1.4 Kernkraftwerke (KKW)

Entsprechend den Einlagerungsdokumenten bzw. den Angaben in der Datenbank ASSEKAT können Kernkraftwerken 28613 Abfallgebinde eindeutig zugeordnet werden. Diese Abfälle wurden von den Kernkraftwerken Biblis (KWB), Brunsbüttel (KKB), Gundremmingen (KRB), Lingen (KWL), Neckarwestheim (GKN), Obrigheim (KWO), Stade (KKS), Unterweser (KKU), Würgassen (KWW) und dem Versuchsatomkraftwerk Kahl (VAK) direkt oder indirekt über AEG, GNS, KWU, NUKEM, Steag und TN in die Asse eingelagert. Die Kernkraftwerksabfälle stellen damit ca. 23 % aller eingelagerten Abfallgebinde dar. Die von den Ablieferern zum Zeitpunkt der Einlagerung deklarierte Aktivität beträgt ca. 2,3 E14 Bq (6327 Ci) und stellt damit gemäß den Angaben der Datenbank ASSEKAT ca. 3 % der in die Asse eingelagerten Gesamtaktivität dar. Es ist davon auszugehen, dass indirekt über kraftwerksunabhängige Ablieferer wie z. B. die o. a. AEG, GNS, KWU, NUKEM, Steag und TN weitere Abfallgebinde mit Herkunft von Kernkraftwerken in die Asse eingelagert wurden. Zur Aktivitätsdeklaration der Abfallgebinde, die von den Kernkraftwerken an die Asse zur Einlagerung abgeliefert wurden, finden sich in den uns vorliegenden Unterlagen /U-5/ bis /U-15/ insbesondere folgende Informationen:

- Im Rahmen des Schriftwechsels im Jahr 1976 zu den Übergangsregelungen für die Einlagerung von schwachaktiven Abfällen in die Schachtanlage Asse /U-6/ bzw. /U-24/ anlässlich der zum Dezember 1975 neu in-Kraft-getretenen Annahmebedingungen findet sich für ausgewählte Kernkraftwerke ein Überblick über die anfallenden Abfälle mit den entsprechenden Nuklidspektren. Bei Abfällen aus Abwasserdekontaminationsanlagen (z. B. Filtrerrückstände, Verdampferkonzentrate, Metaborate) wird demzufolge das Nuklidinventar insbesondere durch Aktivierungsprodukte bestimmt. Für die Dosisleistung ist Co-60 maßgebend. Bezüglich der langlebigen Radionuklide dominiert den Angaben zufolge das Cs-137. Hinsichtlich der Radionuklidzusammensetzung der Abfälle werden insbesondere Cr-51, Mn-54, Co-58/60, Zn-65, Nb-95, Ag-110m und Cs-134/137 genannt.
- Die Abfälle enthalten den Angaben /U-6/ bzw. /U-24/ zufolge bei einer Gesamtaktivität von ca. 0,5 Ci pro Fass • -Strahler von weniger als 5 mCi (KKS) bzw. im Mittel weniger als 0,1 mCi (KWO) oder der Gehalt an • -Strahlern wird



mit vernachlässigbaren Spuren beschrieben. Dementsprechend wurden von den Kernkraftwerken auf den Fragebögen bzw. Begleitlisten mit einer Ausnahme (Fragebogen ID-Nr. 341 vom 22.03.1971 mit 0,1 % Transurane) •-Strahler nicht explizit deklariert.

- Das Vorliegen von •-Strahlern in den Abfällen kann insbesondere mit Hüllrohrschäden erklärt werden, die gemäß /U-25/ z. B. für KKS auch für den erhöhten Cs-137-Aktivitätsanteil als Erklärung herangezogen werden.

Aus den o. a. Informationen zur Aktivitätsdeklaration von KKW-Abfällen in den uns vorliegenden Unterlagen /U-5/ bis /U-15/ ergeben sich keine Hinweise, dass insbesondere die reinen EC- bzw.  $\beta$ -Strahler wie Fe-55 und Ni-63 bei der Aktivitätsangabe in den Einlagerungsdokumenten der Kernkraftwerke berücksichtigt wurden. Wir gehen daher davon aus, dass es zu der damaligen Zeit der Einlagerung von Abfällen in die Asse nicht üblich war, diese messtechnisch schwerer nachweisbaren Radionuklide, die zur Ortsdosisleistung an den Abfallbinden keinen signifikanten Beitrag liefern, mit zu deklarieren. Dementsprechend wurde die mittlere Aktivität pro Abfallbehälter für KKW-Abfälle möglicherweise nicht abdeckend angegeben. Dies ist insbesondere für DWR-Abfälle in Betracht zu ziehen, bei denen die Radionuklide Fe-55 und Ni-63 in den Abfällen durchaus einen Aktivitätsanteil von ca. der Hälfte einnehmen können (bei einem angenommenen Abfallalter von zwei Jahren, s. a. GNS-Bericht B 013/2001 /U-9/). Mit einer überschlägigen Erhöhung der von den KKW deklarierten Aktivitäten um einen Faktor 2 für DWR-Abfälle und Faktor 1,25 für SWR-Abfälle würde dem Rechnung getragen werden. Die Vernachlässigung von Angaben in den Einlagerungsdokumenten zur Aktivität von •-Strahlern in den Abfällen ist hierbei in Bezug auf die Deklaration der Gesamtaktivität plausibel. Die Berücksichtigung von Radionukliden wie z. B. Fe-55 und Ni-63 in den KKW-Abfällen würde die zum Zeitpunkt der Einlagerung für die Asse deklarierte Gesamtaktivität um ca. 3 % erhöhen. Für die Durchführung einer Sicherheitsanalyse empfehlen wir, daher aus konservativen Gesichtspunkten für DWR-Abfälle eine um einen Faktor 2 und für SWR-Abfälle eine um Faktor 1,25 höhere eingelagerte Aktivität zu berücksichtigen (vgl. Empfehlung E 1). Dies könnte beispielsweise über eine Änderung der in der Datenbank ASSEKAT/PAI erfassten Aktivitäten oder pauschal im Rahmen einer Unsicherheitsbetrachtung erfolgen.



## **3.2 Abfälle ausgewählter Zusammensetzung**

### **3.2.1 Radiumhaltige Abfälle**

Im GSF-Bericht 2002 /U-21/ werden als Gesamtinventar 5,515 g Ra-226 (ca. 2 E11 Bq) ausgewiesen. Knapp die Hälfte (2,5 g) entfällt dabei auf den Ablieferer „Amersham-Buchler“, welcher im Folgenden näher betrachtet wird. Zusätzlich wird der Ablieferer „Bundeswehr“ (0,248 g) überprüft.

#### **Amersham-Buchler-Abfälle**

Die Überprüfung der Begleitlisten zeigt, dass von Amersham-Buchler insgesamt 253 radiumhaltige Gebinde mit einer deklarierten Aktivität von 9,16 E10 Bq Ra-226 (entspricht 2,50 g Ra-226 bzw. 2,51 g Radium) abgeliefert worden sind, wovon 131 Gebinde sortenrein nur radiumhaltige Abfälle und 122 Gebinde Abfälle enthalten, bei denen neben Ra-226 auch andere Radionuklide deklariert wurden (Mischabfälle). Die Begleitlisten wurden von Amersham-Buchler sorgfältig und gut lesbar ausgefüllt. Es wurde stets das Radionuklid Ra-226 angegeben, so dass davon auszugehen ist, dass sich die Aktivitätsangaben auch nur auf dieses beziehen.

Eine Auswertung der Begleitlisten ergab, dass für 246 der insgesamt 253 Gebinde (ca. 97 %) eine Aktivität von jeweils 0,01 Ci (entspricht 3,7 E8 Bq Ra-226 bzw. 1,0 E-2 g Radium) pro Gebinde deklariert wurde. Die restlichen Gebinde weisen deklarierte Aktivitäten zwischen 0,001 und 0,008 Ci auf. Es scheint unwahrscheinlich, dass 246 Fässer aus insgesamt 56 verschiedenen Chargen mit teilweise verschiedenen Abfallarten jeweils den gleichen Aktivitätsinhalt besitzen.

Den größten Anteil der von Amersham-Buchler eingelagerten Abfälle bilden kontaminiertes Papier und Geräte, des Weiteren befinden sich Präparate, Eternit, Ba-Bromid, kontaminierte Teile, Metall, Kunststoffe und Erzurückstände in den Fässern. Aufgrund der nicht näher spezifizierten Abfallarten ist eine unabhängige Verifizierung der deklarierten Aktivitäten, und dies nur bedingt, allein bei den 122 Fässern mit Erzurückständen aus der BL ID-Nr. 2718 (Chargen-Nr. 16402) gegeben. Eine Möglichkeit besteht in der Bezugnahme auf eine Anlage des HMGU-Berichtes /U-13/ „Abschlussbericht zu den Sicherungsmaßnahmen an Abfallgebinden der Landes-



sammelstelle im Heißen Labor des Forschungszentrums Geesthacht“, TÜV NORD vom 22.03.2002. Darin wird ausgeführt, dass ein Fass (von insgesamt 19 Fässern der Fa. Amersham Buchler mit der Deklaration „Erzkonzentrat, Radium“) einen 100-l-Behälter mit Uranerz natürlicher Isotopenzusammensetzung und einem festgestellten Uran-Anteil von 25 % U-nat enthielt. Unsere Berechnung ergab, dass dies einer Aktivität von 3087 Bq U-238 pro g Erz entspricht und damit für ein Uranerz bzw. Uranerzkonzentrat eine plausible Größenordnung darstellt (vgl. /U-62/). Legt man ein radioaktives Gleichgewicht im Erz zugrunde und geht von einer Dichte von 5 g/cm<sup>3</sup> für den Inhalt des 100-l-Fasses aus (je nach Zustand fanden wir in der Literatur Dichten zwischen ca. 2 und ca. 10 g/cm<sup>3</sup>), ergibt sich eine Aktivität von ca. 1,5 E9 Bq Ra-226 pro Fass, was ca. 0,04 Ci entspricht.

Unter Berücksichtigung der hohen Variationsbreite der Erz- und Erzkonzentrat-Aktivitäten und der Tatsache, dass es sich bei den Inhaltsstoffen der 122 Fässer auch um Erzaufbereitungsrückstände mit normalerweise deutlich niedrigeren Aktivitätsinhalten (vgl. /U-62/) handeln kann, erscheinen die deklarierten Aktivitäten für die Gebinde mit Erzurückständen, zumindest bzgl. ihrer Größenordnung, plausibel.

### **Bundeswehr-Abfälle**

Die Bundeswehr hat laut GSF-Bericht 2002 /U-21/ mit knapp 4,5 % des Ra-226-Aktivitätsinventars der in die Schachtanlage Asse eingelagerten radioaktiven Abfälle den viertgrößten Anteil. Die 49 sortenreinen Gebinde, für welche allein Ra-226 deklariert ist, beinhalten Armaturen, Libellen und Kompassse.

Die Begleitlisten wurden von der Bundeswehr sorgfältig und gut lesbar ausgefüllt. Es wurde stets das Radioisotop Ra-226 angegeben, so dass davon auszugehen ist, dass sich die Aktivitätsangaben auch nur auf dieses beziehen. Für jedes der Gebinde wurde eine Aktivität von 1,85 E8 Bq Ra-226 deklariert. Im Vergleich hierzu betrug die ermittelte Ra-226-Aktivität eines von der Technischen Universität München untersuchten 200-l-Fasses mit radiolumineszierenden Zifferblättern, Leuchtkörpern und weiteren aktivitätstragenden Metallteilen 3 E6 Bq Ra-226 /U-63/. Wie bereits beim Ablieferer Amersham-Buchler, erscheinen vor diesem Hintergrund die deklarierten Aktivitäten konservativ abgeschätzt worden zu sein, zumal für jedes der 49 Fässer der gleiche Aktivitätswert angegeben wurde.



### 3.2.2 Thoriumhaltige Abfälle

Gemäß GSF-Bericht 2002 /U-21/ tragen die Ablieferer Hahn-Meitner-Institut für Kernforschung Berlin GmbH (HMI) mit ca. 51 Mg Th-232, Transnuklear mit ca. 26 Mg und NUKEM mit ca. 6 Mg zu nahezu 99 % der Thoriummasse und damit des Th-232-Aktivitätsinventars der in der Schachtanlage Asse eingelagerten Abfälle bei. Im Folgenden werden diese drei Hauptablieferer betrachtet. Zu den Abfällen des HMI liegen die umfangreichsten Informationen vor.

#### HMI-Abfälle: Glühkörper

Der bedeutendste Ablieferer für thoriumhaltige Abfälle war das HMI. Laut GSF-Bericht 2002 /U-21/ beträgt dessen Anteil an der in die Asse eingelagerten Th-232-Masse 61 %. Davon machen die eingelagerten 1381 Abfallgebinde mit Glühkörpern (sortenrein oder als Mischabfälle) allein 88 % aus. Gemäß /U-21/ entspricht dies einem Th-232-Aktivitätsinventar von ca. 5 Ci bzw. 1,8 E11 Bq. Vom HMI wurden die Begleitlisten im Allgemeinen sorgfältig und nachvollziehbar ausgefüllt. In der Spalte „Art des radioaktiven Abfalls“ wurde für Glühkörper in sämtlichen Begleitlisten des HMI jeweils der Terminus „Glühstrümpfe“ verwendet.

Im Allgemeinen jedoch wird begrifflich zwischen Glühstrümpfen und Glühkörpern unterschieden (vgl. /U-39/), wobei erstere vorrangig im privaten Bereich zum Einsatz kamen (z. B. in Campinggaslampen) und letztere vorrangig einer gewerblichen Nutzung unterlagen (z. B. Straßenleuchten, Signalleuchten für Eisenbahn und Wasserstraßen). Da davon auszugehen ist, dass allein im gewerblichen Bereich eine Beseitigung thoriumhaltiger Abfälle und Rückstände stattfand (vgl. hierzu /U-40/), wird im Folgenden der Begriff Glühkörper (GK) verwendet. Hinzu kommt, dass besonders im Handel auch für den Glühstrumpf die Bezeichnung Glühkörper verwendet wurde. Herstellungstechnisch gesehen ist ein Glühkörper ein abgeflammtes (initialisiertes, veraschtes), stabilisiertes Glühstrumpfgewebe.

Eine aus radiologischer Sicht genauere Deklaration für die in Glühkörpern aufgrund der Thorierung enthaltenen Radionuklide der Begleitlisten-Spalte „Nuklide“ wäre folgende gewesen: Th-232 + Tochternuklide, Th-230 + Tochternuklide. Stattdessen



findet man folgende Angaben: Th, ThO<sub>2</sub>, nat. Th, nat. ThO<sub>2</sub> (vgl. auch Tabelle 18 im Kapitel 6.2.2.1).

Der Begriff Th-nat ist eine Begrifflichkeit der alten Strahlenschutzverordnung /U-64/ (Definition Th(nat) in Anlage IV von /U-64/) und wird dort für chemisch abgetrenntes Thorium in der natürlichen Isotopenzusammensetzung ( $A_{\text{Th-232}} = A_{\text{Th-228}}$ ) verwendet. Diese Zusammensetzung liegt im GK-Abfall praktisch erst nach ca. 50 Jahren nach der Th-Abtrennung vor (s. Kap. 6).

Chemisch gesehen können GK-Abfälle folgende Th-Verbindungen enthalten:

- Gewebe bis zum Fertigungsstadium „imprägnierter Rohschlauch“: Th(NO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>
- Gewebe bis zum Fertigungsstadium „geformt und ringbefestigt“: Th(OH)<sub>4</sub>
- Gewebe bis zum Fertigungsstadium „verascht, stabilisiert, lackiert“: ThO<sub>2</sub>.

Es ist nicht davon auszugehen, dass beim HMI nach diesen Kriterien deklariert wurde und es sich somit bei der Angabe ThO<sub>2</sub> zwangsläufig um veraschte GK handelt bzw. nicht veraschte GK vorliegen, wenn nicht ThO<sub>2</sub> angegeben wurde.

In der Datenbank ASSEKAT werden alle Nuklidangaben in den Begleitlisten, die sich auf Thorium beziehen, in Th-232 transferiert. Wie man anhand der Ausführungen in Kap. 6 sieht, ist dieses Vorgehen folgerichtig.

In der Begleitlistenspalte „mittlere Aktivität“ (Angabe von Ci pro Behälter einer abgelieferten Charge) war von den Ablieferern jeweils die Gesamtaktivität aller Nuklide anzugeben. Für sortenreine Behälter streuen die Angaben zwischen 0,01 und 50 mCi/Behälter (< 200 mCi/Behälter sind ebenfalls deklariert). Nach unseren Abschätzungen liegen die Th-232-Aktivitäten je nach Abfallsorte zwischen 1,9 und 16 mCi/Behälter (vgl. Tabelle 17 im Kapitel 6.2.2.1). Zieht man in Betracht, dass die Gesamtaktivität um ca. einen Faktor 10 (variiert entsprechend der Th-Abtrennzeit) über der Th-232-Aktivität liegt, so deuten die Angaben in den Begleitlisten darauf hin, dass sich die Aktivitätsangaben auf Th-232 beziehen. Hinweise, auf welche Weise die auf den Begleitlisten angegebene Gesamtaktivität bestimmt wurde, liegen in den uns vorliegenden Unterlagen nicht vor. Aus dieser Situation heraus ist für die Aufteilung der Thorium-Gesamtaktivität auf die Isotope Th-230 und Th-232 im PAI-Modul



der Datenbank ASSEKAT eine Aktivitätsberechnung erforderlich (s. Kap. 6), die von den Aktivitätsangaben in den Begleitlisten unabhängig ist.

### **HMI-Abfälle: sonstige thoriumhaltige Abfälle**

Unter „sonstige thoriumhaltige Abfälle“ des Ablieferers HMI werden alle thoriumhaltigen Abfälle außer Glühkörper verstanden. Berechnet man mit der Datenbank ASSEKAT/PAI Version 9.2 die Th-232-Aktivität der sonstigen thoriumhaltigen Abfälle, die vom HMI abgegeben wurden, so ergeben sich 0,7 Ci (2,6 E10 Bq), was 12,5 % des durch HMI eingelagerten Th-Inventars ausmacht.

Vom HMI wurden die Begleitlisten im Allgemeinen sorgfältig und nachvollziehbar ausgefüllt. Bezüglich der Spalte „Nuklide“ gilt entsprechend das oben unter „HMI-Abfälle: Glühkörper“ Gesagte. Bezüglich der Aktivitätsangaben zu den Glühkörpern wurde geschlussfolgert, dass es sich um die Th-232-Aktivität handelt (vgl. oben). Deshalb ist auch bei den sonstigen thoriumhaltigen Abfällen davon auszugehen, dass jeweils die Th-232-Aktivität deklariert wurde.

Die höchste deklarierte Aktivität in den Begleitlisten beträgt 1,85 E9 Bq/Gebinde bzw. 3,7 E8 Bq/Gebinde für Chargen, bei denen die Th-Aktivität explizit ausgewiesen ist. Ein 200-l-Behälter mit reinem Thorium bzw. Thoriumdioxid besitzt nach unseren Berechnungen ein Aktivitätsinventar von ca. 9,5 E9 Bq bzw. 7 E9 Bq Th-232. Vor diesem Hintergrund erscheinen die deklarierten Aktivitäten plausibel bzw. abdeckend.

### **Thoriumhaltige Abfälle der Fa. Transnuklear (TN)**

Entsprechend dem GSF-Bericht 2002 /U-21/ beläuft sich der Anteil an Th-232 in den von der TN abgelieferten Abfällen auf ca. 26 Mg. Dies entspricht gemäß /U-21/ ca. 31 % der in die Asse eingelagerten Th-232-Masse bzw. Th-232-Aktivität. Bei TN hat es sich um ein Transportunternehmen gehandelt, dass die radioaktiven Abfälle anderer Ablieferer zur Asse transportiert hat. Die ursprünglichen Ablieferer sind aus den Begleitlisten nicht mehr ersichtlich. Die Begleitlisten wurden von TN im Allgemeinen sorgfältig und nachvollziehbar ausgefüllt (z. B. die Angaben zu den Behäl-



tern, der Art des Abfalls und der Behandlung). Da TN nicht mehr existiert, sind dort auch keine zusätzlichen Informationen mehr abfragbar.

Bezüglich des Inventars an Thorium wird in den Begleitlisten für uran- und thoriumhaltige Abfälle für beide Elemente häufig nur eine Gesamtaktivität angegeben. Eine Aufteilung auf einzelne Isotope wird nicht vorgenommen. Typische Angaben zum radioaktiven Inventar an Uran und Thorium für ein Fass belaufen sich auf 0,005 Ci bis 0,09 Ci (3,3 E9 Bq).

In technischem Maßstab wurde in den 60er und 70er Jahren insbesondere in der NUKEM mit Thorium umgegangen. In den Begleitschreiben zu den Begleitlisten von TN werden Abfallarten genannt, die für Hersteller von Brennelementen wie z. B. NUKEM plausibel sind. Zusammenfassend liegen uns zu den Thorium-Angaben der abgelieferten Abfälle der TN nur wenige Dokumente vor. Diese sind plausibel. Gegenteilige Informationen sind uns nicht bekannt.

Die Verteilung der deklarierten Aktivität auf die unterschiedlichen Radionuklide mit dem Modul ASSEKAT/PAI wird in Kap. 6 bewertet.

### **NUKEM-Abfälle**

Mit ca. 6 Mg Th-232 stellt der Ablieferer NUKEM gemäß /U-21/ knapp 7 % der in die Asse eingelagerten Th-232-Masse dar. I. d. R. wird auf den Begleitlisten eine Aktivität für Uran und Thorium angegeben. Häufig ist < 100 mCi (< 3,7 E9 Bq) deklariert. Eine Aufteilung auf einzelne Nuklide wurde nicht vorgenommen.

Das frühere Unternehmen NUKEM war eine Produktionsstätte zur Verarbeitung, Verwendung und Lagerung von Kernbrennstoffen. Insbesondere wurden auf dem Gelände der NUKEM-A in der Vergangenheit MTR-Brennelemente (Material-Test-Reaktor) und HTR-Brennstoffkerne (Hoch-Temperatur-Reaktor) gefertigt. In frühen Jahren wurde im „Alten Uran-Betrieb“ incl. Prozesswasseraufbereitung und Schrottaufbereitung Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Brennelemente-Technologie incl. Uran- und Thorium-Chemie betrieben. Bei diesen Tätigkeiten fielen Reststoffe und Abfälle mit Thorium, angereichertem und abgereichertem Uran an. Letzteres wurde aus ökonomischen Gründen bei rein chemischen Fragestellungen verwendet



oder zum sog. Blending, dem gezielten Mischen von Uran verschiedener Anreicherungsgrade, eingesetzt.

Im Rahmen des Betriebs und des Rückbaus der Produktionsanlagen der NUKEM haben wir Kenntnis über viele dort angewandte Prozesse und Technologien gewonnen. Die Angaben über die „Natur der Abfälle“ auf den Begleitlisten sind diesbezüglich plausibel. Bezüglich der Angaben auf den Begleitlisten liegen uns keine gegenteiligen Informationen vor. Die Verteilung der deklarierten Aktivität auf die unterschiedlichen Nuklide wird in Kap. 6 bewertet.



### 3.2.3 Uranhaltige Abfälle

Je nachdem, ob die Ablieferer mit Natururan, abgereichertem, angereichertem, bestrahlten (und damit plutoniumhaltigen) oder wiederaufgearbeitetem Uran umgegangen waren, bestimmt dies die Einstufung der an die Asse abgelieferten radioaktiven Abfälle als kernbrennstoffhaltiger Abfall und damit auch die Höhe des Kernbrennstoffinventars bzw. des Uraninventars in der Asse. Zu den Kernbrennstoffdaten und damit zur U-235-Masse als Kernbrennstoff haben wir in unseren Berichten „Überprüfung der Kernbrennstoffdaten“ Teil A und Teil B /U-3/ Stellung genommen.

Im Folgenden betrachten wir nur uranhaltige Abfallgebinde der Ablieferer (ohne KfK/GfK), die gemäß ihren Angaben Uran in der natürlichen Isotopenzusammensetzung und/oder abgereichertes Uran mit einem U-235-Anteil von  $< 0,72$  Massen-% beinhalten.

In der Regel wurden die Massen für Uran in der natürlichen Isotopenzusammensetzung und/oder abgereichertes Uran mit einem U-235-Anteil von  $< 0,72$  Massen-% auf den Einlagerungsdokumenten nicht angegeben, da dies gemäß den Einlagerungsbedingungen nicht gefordert wurde. Von den Ablieferern wurde deshalb überwiegend auf den Begleitlisten/Fragebögen eine mittlere Aktivität (oftmals mit „<“) und als Radionuklid „U-nat“, „U-abg.“, „UO<sub>2</sub>“ oder „U“ angegeben.

Um eine Aussage zur Plausibilität der in den Begleitlisten gemachten Angaben zur Uranmasse bzw. -aktivität treffen zu können, haben wir für unsere Prüfung Begleitlisten mit Abfällen herangezogen, für die die Uranmasse bzw. einzelne Uranisotopenmassen und die mittlere Gesamtaktivität angegeben wurden.

Für einige Begleitlisten der Ablieferer KFA, NUKEM und RBU haben wir nachfolgend geprüft, inwieweit die Angaben zur Uranmasse bzw. Uranisotopenmasse mit der deklarierten Gesamtaktivität übereinstimmen bzw. die Gesamtaktivitäten konservativ deklariert wurden.



## KFA-Abfälle

In den Anhängen der KFA-Begleitlisten ID-Nr. 1631, 1648, 1649, 2144, 2157 und 2158 wurden für jedes einzelne Abfallgebilde die Thorium- und/oder die Uranmassen bzw. Uranisotopenmassen angegeben. Wir haben anhand der angegebenen Massen die mittlere Aktivität pro Charge berechnet und mit den Aktivitätsangaben auf den Begleitlisten verglichen. Hierbei sind wir für das angereicherte Uran von einem U-235-Anteil von 0,2 Massen-% U-235 ausgegangen und für Th-nat haben wir das Radionuklid Th-232 angenommen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10: Massen- und Aktivitätsangaben auf den Begleitlisten ID-Nr. 1631, 1648, 1649, 2144, 2157 und 2158 für Thorium und Uran. Chargen mit einer höheren berechneten als entsprechend deklarierten Aktivität sind grau hinterlegt.

Ablieferer BL ID-Nr.	Lfd-Nr.	Anzahl Gebinde	Mittlere Aktivität Begleit- liste [Ci]	Th-232 [kg]	U-235 [kg]	U-238 [kg]	U-nat [kg]	U-abg. [kg]	Mittlere Aktivität . berechnet TÜV [Ci]
KFA 1631	2801	1	0,001	0,03	0,003	< 0,001	0,15	-	0,0001
	2802 - 2850	49	0,001	42,5	0,021	0,008	261,5	3,9	0,0038
	2851 – 2865	15	0,006	42,6	0,020	0,193	31,4	14,0	0,0021
	2866 - 2870	5	0,010	33,2	0,211	1,597	17,1	13,6	0,0043
KFA 1648 1649	*)	20	0,001 bis 0,04	12,2	-	-	6,479	-	0,0002
KFA 2144	8101 - 8102	2	< 0,001	-	-	-	0,012	-	< 0,0001
	8103 – 8106	4	0,015	-	-	-	14,4	-	0,0014
	8107 - 8117	11	0,003	0,012	0,057	0,460	35,1	6,7	0,0013

\*) Die in der Anlage zur BL Nr. 1648 und 1649 aufgelisteten Massenangaben zum U-nat und Th-nat können keiner bestimmten Charge zugeordnet werden. Daher erfolgte die Auswertung nicht chargenspezifisch, sondern über die Gesamtmenge an U-nat und Th-nat. In der Datenbank ASSEKAT wurden die Massen gleichmäßig auf die betroffenen Chargen verteilt.

Tabelle 10: Fortsetzung: Massen- und Aktivitätsangaben auf den Begleitlisten ID-Nr. 1631, 1648, 1649, 2144, 2157 und 2158 für Thorium und Uran. Chargen mit einer höheren berechneten als entsprechend deklarierten Aktivität sind grau hinterlegt.

Ablieferer BL ID-Nr.	Lfd-Nr.	Anzahl Gebinde	Mittlere Aktivität Begleit- liste [Ci]	Th-232 [kg]	U-235 [kg]	U-238 [kg]	U-nat [kg]	U-abg. [kg]	Mittlere Aktivität . berechnet TÜV [Ci]
KFA 2157	1	1	0,003	0,206			33,2		0,0234
	2 bis 7	6	0,004	0,443			20,9		0,0024
	90 - 92	3	< 0,001	0,873	0,026	0,002	1,1	0,035	0,0003
	93 - 109	17	0,001	11,6	0,002	< 0,001	21,9	0,006	0,0009
	110 - 112	3	0,015	0,933	< 0,001	< 0,001	3,9		0,0009
KFA 2158	8 bis 24	17	0,002	12,7	0,188	0,417	9,4	2,5	0,0005
	25	1	0,040	5,99	0,003	0,014	5,8	3,0	0,0052
	26 - 27	2	< 0,001	3,72			0,2		< 0,0001
	28 - 46	19	< 0,001	7,84	0,222	0,560	3,0	0,15	0,0006
	47 - 48	2	0,070	0,135	0,026	0,034	0,024		0,0007
	49 - 89	41	< 0,001	8,91			153,2		0,0026

Für die Chargen der Begleitlisten ID-Nr. 1631 Lfd.Nr. 02 bis 50 und ID-Nr. 2158 Lfd.Nr. 1 und 49 bis 89 (in Tabelle 10 grau hinterlegt) ergab unsere Berechnung über die Massenangaben eine höhere mittlere Aktivität pro Abfallgebilde als auf den Begleitlisten entsprechend ausgewiesen wurde. Die Ergebnisse zeigen, dass die Angaben zur mittleren Aktivität für die in der Tabelle 10 aufgelisteten KFA-Abfälle nicht in jedem Fall abdeckend sind. Für das Gesamtinventar der Asse spielen die von KFA deklarierten Thorium- und Uran-Abfälle eine untergeordnete Rolle.



## NUKEM-Abfälle

Zu den Uranangaben der Abfallgebände, die von NUKEM an die Asse zur Einlagerung abgeliefert wurden, finden sich in den uns vorliegenden Unterlagen folgende Angaben:

- Im NUKEM-Schreiben vom 29.09.1978 /U-65/ wird zur Begleitliste ID-Nr. 3050 vom 25.09.1978 erläutert, dass es sich im Gegensatz zu den Einlagerungsbedingungen bei den 100 Abfallgebänden mit Uranoxid um 100-l- bzw. 130-l-Fässer eingestellt in 400-l-Fässer mit einer Gesamtaktivität von 5,4 Ci und einer Gesamtmasse von 18741,8 kg handelt. Die mittlere Aktivität pro Fass beträgt 0,054 Ci. Diese Angabe wurde handschriftlich auf der Begleitliste unterhalb der Angabe „< 0,1 Ci“ ergänzt.

Im o. g. Schreiben vom 29.09.1978 wird u. a. auf das NUKEM-Schreiben vom 06.06.1978 /U-65/ Bezug genommen. Darin wird für das abgereicherte Uranoxid (0,3 % U-235) eine spezifische Aktivität von 0,29 mCi/kg U angegeben.

Unsere Berechnung ergibt für eine Isotopenmassenzusammensetzung von U-234 von 1,1 E-3 %, U-235 von 0,3 % und U-238 von 99,7 % eine spezifische Aktivität von 0,41 mCi/kg U. Unter Berücksichtigung der molekularen Masse des Uranoxids ( $U_3O_8$ ) resultiert eine spezifische Aktivität von 0,35 mCi/kg U. Unsere Ergebnisse und die handschriftlichen Anmerkungen auf dem Schreiben vom 06.06.1978 weisen daraufhin, dass die spezifische Aktivität im Schreiben vom 06.06.1978 ohne die Berücksichtigung der U-234-Aktivität angegeben wurde.

Damit ergibt sich für die Begleitlisten ID-Nr. 3049 Lfd-Nr. 1681 bis 1696 und ID-Nr. 3050 Lfd-Nr. 1563 bis 1662 ein Hinweis darauf, dass die Gesamtaktivitäten bei der Einlagerung möglicherweise zu niedrig deklariert wurden. Dies hat allerdings in Bezug auf das Aktivitätsinventar, dass derzeit mit der ASSEKAT/PAI berechnet wird, keine Auswirkungen, da die Uranaktivität anhand der angegebenen Uranmassen berechnet wird.



- Zum Fragebogen ID-Nr. 309 wurden im Rahmen der Versuchseinlagerung von der NUKEM Listen mit abfallgebundespezifischen Angaben zur Abfallart, Nettomasse, Aktivität und Dosisleistung in 10 cm und 1 m Abstand erstellt. Unsere stichprobenweise Überprüfung der Daten zeigt, dass die aus der Aktivität bestimmte Masse an Natururan zur angegebenen Nettomasse des Abfallgebundes und zur angegebenen Abfallart passt und plausibel ist.
- Auf den Begleitlisten ID-Nr. 2823 bis 2829 wurde die U-235-Masse und die mittlere Aktivität mit „<“-Zeichen angegeben. Unsere stichprobenweise Überprüfung der Daten zeigt, dass diese beiden Angaben nicht in Widerspruch zueinander stehen.

## **RBÜ-Abfälle**

Zu den Uranangaben der Abfallgebunde, die von RBÜ an die Asse zur Einlagerung abgeliefert wurden, finden sich in den uns vorliegenden Unterlagen folgende Angaben:

- Auf der Begleitliste ID-Nr. 2380 wird eine mittlere Aktivität von 15 mCi und eine Masse des angereicherten Urans von 50,5 kg pro Behälter angegeben. Daraus ergibt sich eine spezifische Uranaktivität von 0,291 mCi/kg Uran.

Die von uns ermittelte spezifische Aktivität von 0,41 mCi/kg Uran (s. o.) deutet darauf hin, dass auf der Begleitliste ID-Nr. 2380 Lfd-Nr. 1 bis 45 das Aktivitätsinventar in Bezug auf das Uran möglicherweise zu niedrig deklariert wurde. Wie oben beschrieben, weist das Ergebnis daraufhin, dass die spezifische Aktivität ohne die Berücksichtigung von U-234 bestimmt und auf den Begleitlisten deklariert wurde. Dies hat allerdings in Bezug auf das Aktivitätsinventar, dass derzeit mit der ASSEKAT/PAI berechnet wird, keine Auswirkungen, da die Uranaktivität anhand der angegebenen Uranmassen berechnet wird.

- Auf den Begleitlisten ID-Nr. 3090 bis 3099 wurden neben der mittleren Aktivität auch die Massen von U-235 und U-238 angegeben. Die Prüfung zeigt, dass die auf den Begleitlisten deklarierte Aktivität auch unter Berücksichtigung



des Aktivitätsanteils von U-234 für die angegebenen U-235- und U-238-Massen abdeckend ist.

### **Transnuklear-Abfälle**

Für Abfälle, die von Transnuklear an die Asse abgeliefert wurden, wurden auf den Begleitlisten keine Uranmassen angegeben. Stattdessen wurden neben der Angabe „U-nat“ als Radionuklid häufig „U + Th“ aufgeführt. Anhand der Angaben ist nicht ersichtlich, auf welche Isotope sich die angegebene Aktivität bezieht. Eine Plausibilitätsprüfung der angegebenen Aktivitäten ist daher ohne Weiteres nicht möglich. Ebenso ist unklar, für welchen Abfallverursacher die Firma Transnuklear diese Abfälle an die Asse abgeliefert hat.

### **Zusammenfassung**

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Überprüfung der auf den Begleitlisten ID-Nr. 3049 Lfd-Nr. 1681 bis 1696, ID-Nr. 3050 Lfd-Nr. 1563 bis 1662 (NUKEM) und ID-Nr. 2380 Lfd-Nr. 1 bis 45 (RBU) deklarierten Aktivitäten zeigt, dass diese möglicherweise nicht abdeckend sind. Dies ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass U-234 bei der Bestimmung der mittleren Gesamtaktivität bzw. bei der spezifischen Aktivität nicht berücksichtigt wurde. Dies hat allerdings in Bezug auf das Aktivitätsinventar keine Auswirkungen, da die Uranaktivität in der ASSEKAT/PAI anhand der angegebenen Uranmasse berechnet wird.

Eine konkrete Aussage, inwieweit dies auf die anderen Abfälle der Ablieferer NUKEM bzw. auf andere Ablieferer übertragbar ist, kann anhand der uns vorliegenden Unterlagen nicht getroffen werden.



#### **4 Abgleich der Rechercheergebnisse mit den von HMGU bei den Ablieferern nachrecherchierten Aktivitätsdaten**

##### **GfK/KfK-Abfälle**

Im HMGU-Bericht /U-13/ wurden für den Ablieferer GfK/KfK beispielhaft für drei in verlorenen Betonabschirmungen (VBA) verpackte Abfälle die Aktivitätsdaten überprüft. Dies erfolgte mit Hilfe von Abschirmungsberechnungen. Für zwei Abfallgebinde in einer Normalbeton-VBA konnte gemäß /U-13/ abgeleitet werden, dass die Berechnung für NB-VBA mit der hohen Kontaktdosisleistung eine Übereinstimmung zu den Aktivitätsangaben auf den Listen ergab. Für SB-VBA aus Barytbeton erhielt man für das Fass gegenüber der Angabe auf der Liste eine Erhöhung um den Faktor 5.

Des Weiteren wird in /U-13/ eine Besprechungsnotiz der ADB vom 24.10.1974 (s. a. /U-5/) zitiert, der zufolge in Abfallgebinden mit Aktivitätsangaben von 0,2 bis 1 Ci eine Genauigkeit von  $\pm 100\%$  und bei 5 Ci eine solche von  $\pm 20\%$  toleriert wird. Zitiert wird zudem ein Brief der GfK an die GSF Neuherberg vom 24.06.1975 (Änderungswünsche der GfK zum Entwurf der Annahmebedingungen vom Mai 1975) demzufolge es möglich sein sollte, in die Betonabschirmungen auch kleinere Behälter einzubringen unter gleichzeitiger Auffüllung der Abschirmung mit Beton oder anderen Abschirmmaterialien. Diese Maßnahme würde dem Schreiben entsprechend bewirken, dass Abfälle, die Nuklide mit sehr hoher Energie enthalten und die bei der Dosisleistungsmessung in 1 m Abstand zu Schwierigkeiten führen, in den Betonabschirmungen befördert und eingelagert werden können.

Die von HMGU in /U-13/ festgestellte Abweichung zwischen den überprüften Aktivitätsangaben einer VBA aus Schwerbeton mit den entsprechenden Angaben auf der Begleitliste können wir aufgrund unserer Überprüfung bestätigen. Demgegenüber stellen wir fest, dass die von HMGU in /U-13/ festgestellte Übereinstimmung zwischen den überprüften Aktivitätsangaben von VBA aus Normalbeton mit den entsprechenden Angaben auf den Begleitlisten nur bei ausschließlichem Vorliegen von Co-60 plausibel ist. Im vorliegenden Fall für die Abfallart „Schrott, feste Gegenstände betonierte“ ist dies aus unserer Sicht nicht zwangsläufig zu erwarten. Hierbei sind aus unserer Sicht insbesondere die Nuklide Fe-55 und Ni-63 ebenfalls mit zu berücksichtigen.



Die in der Besprechungsnotiz der ADB vom 24.10.1974 (s. a. /U-5/) genannte Genauigkeit in Abfallbinden mit Aktivitätsangaben von 0,2 bis 1 Ci von  $\pm 100\%$  und bei 5 Ci von  $\pm 20\%$  ist aufgrund der großen Erfahrung der GfK/KfK hinsichtlich der messtechnischen Bestimmung des Aktivitätsinventars als plausibel zu bewerten. Systematische Abweichungen, wie aus heutiger Sicht zusätzlich zu berücksichtigende Radionuklide oder fehlerhaft angewandte Umrechnungsfaktoren, sind in diesen genannten Genauigkeiten nicht zwingend enthalten, wie die Ergebnisse unserer Prüfungen zeigen.

Zur detaillierten Bewertung des Aktivitätsinventars von in verlorenen Betonabschirmungen verpackten Abfällen des Ablieferers GfK/KfK verweisen wir auf das Kapitel 3.1.1. der vorliegenden Stellungnahme.

### **KFA-Abfälle**

Wie im HMGU-Bericht /U-13/ beschrieben, wurde die im Zusammenhang mit der Ablieferung der radioaktiven Abfälle an die Asse erstellte Dokumentation bezüglich der Anzahl der abgegebenen Gebinde, der Deklaration sowie des Gesamtaktivitätsinventars einer Überprüfung unterzogen. Hierbei ergaben sich neben H-3 insbesondere für C-14 Abweichungen gegenüber den seinerzeit an die Asse gemeldeten Aktivitätsangaben. Zur detaillierten Bewertung der nachrecherchierten Daten zum C-14-Inventar sei auf das Kap. 6.1.2 der vorliegenden Stellungnahme verwiesen.

In der Anlage zum HMGU-Bericht /U-13/ wurde von KFA im Anhang eine Tabelle aus den Daten der damaligen Transportdokumentation zusammengestellt. In dieser Zusammenstellung werden H-3, C-14, U, U-nat und Grafitkugeln als Sonderabfälle genannt. Bei der stichprobenweisen Prüfung ist uns aufgefallen, dass bei den Transportterminen „3.+10.02.1972“ (BL ID-Nr. 1674 bis 1676) und „20.04.+04.05.1972“ (BL ID-Nr 1670 und 1671) in der Zusammenstellung „U“ und „Th“ genannt, nicht aber auf den Begleitlisten aufgeführt sind. Die Deklaration von Uran und Thorium in den Transportdokumenten dieser Abfallgebände deutet darauf hin, dass neben den auf den Begleitlisten ausgewiesenen Radionukliden möglicherweise zusätzlich Thorium und Uran an die Asse abgeliefert wurden.



## **KKW-Abfälle**

Im HMGU-Bericht /U-13/ wurde von der Fa. GNS in koordinierender Funktion stellvertretend für E.ON, EnBW, RWE, Vattenfall, STEAG mitgeteilt, dass von den Kraftwerken Würgassen, Stade, Unterweser, Isar, Gundremmingen, Biblis, Lingen, Kahl, Obrigheim und Brunsbüttel keine über die in den Begleitlisten hinausgehenden Informationen vorliegen. Der im Auftrag der GSF von der GNS im Jahr 2001 erstellte Bericht B0310/2001 (Berechnung von nuklidspezifischen Aktivitäten in radioaktiven Abfällen aus Kernkraftwerken im Forschungsbergwerk Asse) wurde an die Energieversorgungsunternehmen weitergeleitet. Es wurden der GNS keine Einwände hinsichtlich der in dem Bericht gewählten Vorgehensweise sowie der Ergebnisse mitgeteilt. Der o. a. Bericht spiegelt daher für die Bewertung des Aktivitätsinventars der von den Kernkraftwerken in die Asse abgegebenen Abfälle den aktuellen Kenntnisstand wider.

## **GKSS-Abfälle**

Zu den GKSS-Abfällen wurden im Rahmen der Recherchen bei den Ablieferern keine neuen Erkenntnisse gewonnen /U-13/.

## **Thoriumhaltige Abfälle**

Zu thoriumhaltigen Abfällen konnten im Rahmen der Recherchen bei den Ablieferern keine neuen Erkenntnisse gewonnen werden. Es wird lediglich vermerkt, dass die thoriumhaltigen Abfälle des Ablieferers HMI auch in den Jahren nach dem Einlagerungszeitraum einen erheblichen Anteil am Gesamtaufkommen radioaktiver Abfälle darstellten und dass davon ausgegangen wird, dass die bei der ASSE gemeldeten Inventare insgesamt plausibel sind. Hierfür verantwortlich sind vorwiegend Produktionsabfälle aus der im Land Berlin konzentrierten industriellen Lampen- und Glühkörper-Fertigung.



## **Radiumhaltige Abfälle**

Zu radiumhaltigen Abfällen konnten im Rahmen der Recherchen bei den Ablieferern keine neuen Erkenntnisse gewonnen werden. In /U-13/ heißt es wörtlich „Bezüglich des Radiuminventars konnten keine neuen Erkenntnisse gewonnen werden“.

## **Uranhaltige Abfälle**

Gemäß /U-13/ konnten zu uranhaltigen Abfällen im Rahmen der Recherchen bei den Ablieferern keine neuen Erkenntnisse gewonnen werden. Auf Grund von Insolvenzen oder Auflösungen konnten bei den Firmen NUKEM und Transnuklear keine Nachrecherche durchgeführt werden.

## 5 Abgleich der deklarierten und nachrecherchierten Aktivitätsdaten mit den in der Datenbank ASSEKAT eingetragenen Aktivitätsdaten

### GfK/KfK-Abfälle

Der Übertrag der Abfalldaten Gebindeanzahl (Lfd.Nr. pro Charge), Abfallart, mittlere Aktivität pro Behälter und maximale Dosisleistung in die ASSEKAT-Tabelle „Chargen-mod“ wurde stichprobenweise geprüft. Hierbei haben wir festgestellt, dass es bei folgenden Begleitlisten zu Abweichungen mit den in der Datenbank ASSEKAT eingetragenen Daten kommt (s. Tabelle 11):

Tabelle 11: Zusammenstellung von abweichenden Daten zwischen den Begleitlisten und der Datenbank ASSEKAT, Tabelle „Chargen-mod“ für den Ablieferer GfK/KfK.

BL-Nr.	Ch.-Nr.	Abfallart	abweichende Datenerfassung
474	2385	Konzentrate	Fehlende Aktivitätsangabe der Begleitliste in ASSEKAT mit 0,7 Ci festgelegt
623	2672	Konzentrate	Fehlende Aktivitätsangabe der Begleitliste in ASSEKAT mit 15 Ci festgelegt
805	3783	Konzentrate	Charge der Begleitliste wegen Einlagerung der Gebinde in zwei Kammern aufgeteilt: In ASSEKAT mit 17,5 Ci anstelle 10 Ci in der Begleitliste festgelegt, Dosisleistungswerte wurden nicht in ASSEKAT eingetragen
843	3253	Verdampferkonzentrate	Fehlende Aktivitätsangabe der Begleitliste in ASSEKAT mit 17,5 Ci festgelegt
1043	3901	PVC+TPB	Aktivitätsangabe wurde in ASSEKAT mit 0,02 Ci anstelle 0,04 Ci in der Begleitliste festgelegt, Dosisleistungswerte wurden nicht in ASSEKAT eingetragen
1190	4473	Asche	Fehlende Aktivitätsangabe der Begleitliste in ASSEKAT mit 0,05 Ci festgelegt
	4474	Schrott	Fehlende Aktivitätsangaben der Begleitliste in ASSEKAT mit 2 Ci festgelegt
	4475		
	4477		
4478			

Wie der Tabelle 11 zu entnehmen ist, wurden von der GSF insbesondere bei in den Begleitlisten fehlenden Aktivitätsdaten in der ASSEKAT-Tabelle „Chargen-mod“ ersatzweise Aktivitäten festgelegt. Die festgelegten Aktivitäten orientieren sich dabei am Aktivitätsinventar anderer vergleichbarer in die Asse eingelagerter Abfälle. Diese



Vorgehensweise ist plausibel. Demgegenüber ist die für die Begleitliste ID-Nr. 1043 abweichend festgelegte Aktivität in der Datenbank ASSEKAT nicht nachvollziehbar. Wir empfehlen, dies in der Datenbank ASSEKAT zu überprüfen und ggf. zu korrigieren (Empfehlung E 2). Die fehlenden Dosisleistungswerte in der Datenbank ASSEKAT/PAI haben keinen Einfluss auf die Aktivitätsbestimmung, da die Dosisleistungswerte nicht für die Berechnung der Aktivität herangezogen werden.

### **KFA-Abfälle**

Der Übertrag der Abfalldaten Gebindeanzahl (Lfd.Nr. pro Charge), Abfallart, mittlere Aktivität pro Behälter und maximale Dosisleistung in die ASSEKAT-Tabelle „Chargen-mod“ wurde stichprobenweise geprüft. Hierbei haben wir festgestellt, dass es sich bei der Begleitliste ID-Nr. 1609 Lfd.Nr. 5410 (Ch.-Nr. 6955) um den Behältertyp „200-l-Fass“ handelt und nicht wie in der Datenbank ASSEKAT eingetragen um den Behältertyp „NB-VBA“. Ein Indiz für die fehlerhafte Übernahme sind neben der auf den Begleitlisten angegebenen Aktivität und Dosisleistung auch die Eintragungen in das Fasskontrollbuch. Wir empfehlen, dies in der Datenbank ASSEKAT zu überprüfen und ggf. zu korrigieren (vgl. Empfehlung E 2).

### **GKSS-Abfälle**

Der Übertrag der Abfalldaten Gebindeanzahl (Lfd.Nr. pro Charge), Abfallart, mittlere Aktivität pro Behälter und maximale Dosisleistung in die ASSEKAT-Tabelle „Chargen-mod“ wurde stichprobenweise geprüft. Hierbei ist uns aufgefallen, dass die Dosisleistung in 1 m Abstand der Begleitliste ID-Nr. 1964 nicht wie in der Datenbank ASSEKAT mit 0,015 mrem/h, sondern mit 0,15 mrem/h angegeben ist. Der abweichende Dosisleistungswert in der Datenbank ASSEKAT/PAI hat keinen Einfluss auf die Aktivitätsbestimmung, da die Dosisleistungswerte nicht für die Berechnung der Aktivität herangezogen werden.

### **KKW-Abfälle**

Der Übertrag der Abfalldaten Gebindeanzahl (Lfd.Nr. pro Charge), Abfallart, mittlere Aktivität pro Behälter und maximale Dosisleistung in die ASSEKAT-Tabelle „Chargen-mod“ wurde stichprobenweise geprüft. Hierbei haben wir festgestellt, dass für



die Begleitliste ID-Nr. 2741 die Lfd.Nr. 444/445, 449/450 und 453/454 (Ablieferer KKB) jeweils in einer gemeinsamen Charge zusammengefasst wurden. Die zusammengefassten Lfd.Nr. unterscheiden sich geringfügig von den in den Begleitlisten angegebenen Dosisleistungswerten. In der Datenbank ASSEKAT wurde jeweils der höhere Dosisleistungswert eingegeben. Des Weiteren wurde für die Begleitliste ID-Nr. 1882 die Lfd.Nr. 529/530 (KKS) zu einer Charge zusammengefasst. In diesem Fall wurde der geringere Dosisleistungswert in die Datenbank eingetragen. Da die Dosisleistungswerte nicht für die Berechnung der Aktivität herangezogen werden, hat die Zusammenfassung einzelner Positionen der Begleitlisten mit unterschiedlichen Dosisleistungen keinen Einfluss auf die Aktivitätsbestimmung in der Datenbank ASSEKAT/PAI.

## **Radiumhaltige Abfälle**

### Amersham-Buchler-Abfälle

Bei der stichprobenhaften Überprüfung der Übertragung von Daten aus den Begleitlisten in die Datenbank ASSEKAT haben wir eine Abweichung bemerkt.

Die Gebindeanzahl der Begleitliste ID-Nr. 2718, Charge-Nr. 16402 beträgt gemäß Begleitliste 123. In den Tabelle „Chargen-mod“ u. „Radium“ ist die Gebindeanzahl mit 122 ausgewiesen, was mit den Angaben im Fasskontrollbuch korrespondiert (60 Stück am 02.05.1977 und 62 Stück am 04.05.1977).

### Bundeswehr-Abfälle

Bei der stichprobenhaften Überprüfung der Übertragung von Daten aus den Begleitlisten in die Datenbank ASSEKAT haben wir keine Abweichungen festgestellt.

## **Thoriumhaltige Abfälle**

Bei der stichprobenweisen Überprüfung der Übertragung von Daten aus den Begleitlisten in die Datenbank ASSEKAT haben wir die in Tabelle 12 (Glühkörper) und Tabelle 13 (sonstige thoriumhaltige Abfälle) aufgelisteten Abweichungen festgestellt.

## HMI-Abfälle: Glühkörper

Tabelle 12: Zusammenstellung abweichender Datenerfassungen: Übertragungen von den Begleitlisten in die Datenbank ASSEKAT, Tabelle „Chargen-mod“ und Tabelle „Thorium“, für Glühkörper des Ablieferers HMI

BL-Nr.	Ch.-Nr.	Abfallart	abweichende Datenerfassung
1570	6781	Glasbruch, Glühstrümpfe	in Tab. „Chargen-mod“ u. „Thorium“ zusätzlich „Probefläschchen“ als Abfallart eingetragen (57 Gebinde)
	6782	Probefläschchen aus Polyäthylen	in Tab. „Chargen-mod“ u. „Thorium“ zusätzlich „Glasbruch“ u. „Glühstrümpfe“ als Abfallart eingetragen (20 Gebinde)
1574	6789 6790	Glasbruch, Laborgeräte, Glühstrümpfe, Brandschutt	in Tab. „Chargen-mod“ fehlerhafte Aufspaltung in 28 Behälter mit Glasbruch, Laborgeräte u. 50 Behälter mit Glühstrümpfen und Brandschutt; 50 Behälter (Ch.-Nr. 6790) in Tab. „Thorium“ nicht erfasst
1575 1576 1577 1578	6791/2 6793 6794 6795	Glühstrümpfe, gepresstes Papier, Laborgeräteteile, Glasbruch, Filter	als Nuklid nat. Th (Thorium) in Begleitliste deklariert, als Nuklid Th-nat in Tab. „Thorium“ erfasst*
2137	12213	Glühstrümpfe	9 Behälter in Tab. „Thorium“ nicht erfasst
2138	12223	veraschte Glühstr.	40 Behälter in Tab. „Thorium“ nicht erfasst
2980 2984 2137	19257 19284 19285 12210	veraschte Glühstr.	als Nuklid ThO <sub>2</sub> in Begleitliste deklariert, als Nuklid ThO <sub>2</sub> -nat in Tab. „Thorium“ erfasst
2140	12226 12227	Glühstrümpfe, Ionenaustauscher, gepresstes Papier, Glasbruch, Probenfläschchen aus Polyäthylen	53 Behälter in Tab. „Thorium“ nicht erfasst; in Tab. „Chargen-mod“ fehlen Glühstrümpfe, Ionenaustauscher, Glasbruch als Abfallart (25 Gebinde)
2141	12228 12229		53 Behälter in Tab. „Thorium“ nicht erfasst

\*Erläuterung : Nat. Th ist Th in der nat. Isotopenzusammensetzung, Th-nat ist ein definierter Begriff aus der alten StrlSchV /U-64/ und bedeutet abgetrenntes Th in der nat. Isotopenzusammensetzung. Mit Ersterem kann auch Th innerhalb eines Erzes, Rückstandes usw. gemeint sein (Erz mit nat. Th), beim zweiten Begriff ist das Th immer abgetrennt (also Glühkörper mit Th-nat).



Eine Analyse der Auswirkungen der in Tabelle 12 gelisteten Abweichungen auf die ASSEKAT/PAI-Berechnungsergebnisse ergab, dass sich lediglich der abweichende Abfallart-Eintrag von Begleitliste ID-Nr. 1570 (Ch.-Nr. 6782) auswirkte: 20 Gebinde wurden bei der Berechnung des GK-Aktivitätsinventars zu viel berücksichtigt. Wir empfehlen, dies in der Datenbank ASSEKAT zu korrigieren (vgl. Empfehlung E 2).

Die in den Begleitlisten (BL) verwendeten Nuklid-Bezeichnungen „ThO<sub>2</sub>“ und „nat. Th“ werden in der ASSEKAT-Tabelle „Thorium“ allesamt in „ThO<sub>2</sub>-nat“ und „Th-nat“ umbenannt. Somit sind in der Tabelle „Nuklide“ die Bezeichnungen „ThO<sub>2</sub>“ und „nat. Th“ nicht vorhanden. Letztendlich werden die verschiedenen Thorium-Bezeichnungen der BL-Spalte „Nuklide“ in der ASSEKAT-Tabelle „Thorium“ ausnahmslos in die richtige Radionuklidbezeichnung „Th-232“ umgewandelt.

In den Begleitlisten ID-Nr. 2582 und 2583 ist neben der Gesamtaktivität von 0,08 Ci/Behälter die Th-Aktivität von 8 E-6 Ci/Behälter angegeben. Dies wurde in der ASSEKAT-Tabelle „Thorium“ richtig berücksichtigt.

HMI-Abfälle: sonstige thoriumhaltige Abfälle:

Tabelle 13: Zusammenstellung abweichender Datenerfassungen: Übertragungen von den Begleitlisten in die Datenbank ASSEKAT, Tabelle „Chargen-mod“ und Tabelle „Thorium“, für sonstige thoriumhaltige Abfälle des Ablieferers HMI

BL-Nr.	Ch.-Nr.	Abfallart	abweichende Datenerfassung
2137	12211	Glasbruch, Metallteile	in Tab. „Chargen-mod“ deklarierter „Glasbruch“ als „Glasbehälter“ bezeichnet; 17 Behälter (Ch.-Nr. 12211) in Tab. „Thorium“ nicht erfasst
2138	12219	gepresstes Papier	0,02 Ci/Behälter bzgl. ThO <sub>2</sub> in BL deklariert, 0,002 Ci/Behälter in Tab. „Chargen-mod“ u. Tab. „Thorium“ erfasst
	12220 20252	Glasbruch + Metall	23 Behälter deklariert; 15 Behälter in Tab. „Thorium“ erfasst (in Tab. „Chargen-mod“ restliche 8 Behälter unter Ch.-Nr. 12220 erfasst)
2138 2978 2979	12219 19238 19251 19252	gepresstes Papier Filter Filter Filter	als Nuklid ThO <sub>2</sub> in BL deklariert; als Nuklid ThO <sub>2</sub> -nat in Tab. „Thorium“ erfasst
2979	19251	Filter	als Lfd.Nr. 29-31 u. 41-43 deklariert; als Lfd.Nr. 1-6 in Tab. „Chargen-mod“ erfasst
2986 2987	19300- 19306 19310	Thorium-Abfälle	In Tab. „thoriumhaltige Chargen“ erfasst (nicht in Tab. „Thorium“)



Auswirkungen der in Tabelle 13 gelisteten Abweichungen auf die PAI-Berechnungsergebnisse bestehen nicht. Auch der abweichende Aktivitäts-Eintrag von der Begleitliste ID-Nr. 2138 (Ch.-Nr. 12219) hatte keinen Einfluss auf die Berechnungsergebnisse, da wegen der auf eine Kontamination hinweisenden Abfallart nicht die deklarierte Aktivität, sondern lediglich eine Kontaminationsmasse von 50 g Th-232 angesetzt wurde.

In den Begleitlisten ID-Nr. 2983 und 2582 ist neben der Gesamtaktivität von 0,01 Ci/Behälter bzw. 0,08 Ci/Behälter die Th-Aktivität von 4,9 E-3 Ci/Behälter bzw. 8,0 E-6 Ci/Behälter angegeben. Dies wurde in der ASSEKAT-Tabelle „Thorium“ richtig berücksichtigt. Die Datenbank ASSEKAT/PAI rechnet mit der entsprechenden Th-Aktivität aus der ASSEKAT-Tabelle „Thorium“.

### **Uranhaltige Abfälle**

Der Übertrag der Abfalldaten Gebindeanzahl (Lfd.Nr. pro Charge), Abfallart, mittlere Aktivität pro Behälter und maximale Dosisleistung in die ASSEKAT-Tabelle „Chargen-mod“ wurde stichprobenweise geprüft. Mit Ausnahme unserer Empfehlung E 7 aus dem Bericht ETS4-54/2010 vom Februar 2011 „Überprüfung des Programms zur Aktualisierung des Asse-Inventars“ /U-4/ haben wir hierbei keine Übertragungsfehler festgestellt.



## **6 Überprüfung der Bestimmung des LAW-Aktivitätsinventars mit der Datenbank ASSEKAT/PAI**

Die prinzipielle Vorgehensweise bei der Bestimmung des Aktivitätsinventars mit der Datenbank ASSEKAT/PAI Version 9.2 wurde von uns geprüft und die Ergebnisse im Bericht ETS4-54/2010 /U-4/ zusammengefasst. Darin erfolgte keine Bewertung der Plausibilität der erfassten Originaldokumentationen (Primärdaten) bzw. der modifizierten Daten (z. B. Tabelle „Kernbrennstoffe-mod“) und der verwendeten Nuklidvektoren. Sofern nachfolgend nicht anderes angegeben, haben wir die Ergebnisse der Datenbank ASSEKAT/PAI in der Version 9.2 herangezogen.

### **6.1 Abfälle ausgewählter Ablieferer**

#### **6.1.1 Forschungszentrum Karlsruhe (GfK/KfK)**

Für die von GfK/KfK an die Asse abgelieferten radioaktiven Abfälle gehen aus den uns vorliegenden Unterlagen zur Einlagerung /U-5/ bis /U-15/ keine detaillierten Angaben zur Nuklidzusammensetzung vor. Üblicherweise wurde von GfK/KfK in den Begleitlisten zur Einlagerung schwachradioaktiver Abfälle in der Spalte Nuklide lediglich „• +• + $\gamma$ “ angegeben.

Für die Bestimmung des Aktivitätsinventars der von GfK/KfK an die Asse abgelieferten radioaktiven Abfälle werden gemäß dem GSF-Bericht 2002 /U-21/ Nuklidvektoren herangezogen, die von den einzelnen Wiederaufarbeitungskampagnen der Gesellschaft für Wiederaufarbeitung (GWK) bzw. Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe GmbH (WAK) abgeleitet wurden. Tatsächlich wurden an die damalige ADB bzw. HDB jedoch nicht nur Abfälle der WAK, sondern auch Abfälle von am Standort GfK/KfK vorhandenen Forschungsreaktoren und Instituten abgegeben. In /U-31/ wurde dies beispielhaft für plutoniumhaltige Abfälle dargestellt. Von einer Mischverarbeitung der von den einzelnen Abfallverursachern an die ADB abgelieferten Abfälle ist auszugehen.

Da die Wiederaufarbeitungskampagnen erst mit dem Stichtag 01.01.1970 beginnen, erfolgt für 5086 Abfallgebinde mit einer deklarierten Gesamtaktivität von ca. 107 Ci, die von GfK im Rahmen der Versuchseinlagerung bis einschließlich zum Fragebogen



ID-Nr. 324 mit dem Ausfertigungsdatum 12.01.1970 in die Asse abgeliefert wurden, in der Datenbank ASSEKAT/PAI aufgrund fehlender Informationen zur Nuklidzusammensetzung keine Berechnung des Aktivitätsinventars. Hierzu sei auf Kap. 6.3 verwiesen.

Da gemäß dem GSF-Bericht 2002 /U-21/ vom Forschungszentrum Karlsruhe genaue Angaben zur Lagerzeit der Abfallgebinde bis zu Ihrem Abtransport nicht gemacht werden konnten, wurde in der Datenbank ASSEKAT/PAI für die Zuordnung der Abfallgebinde zu einer Wiederaufarbeitungskampagne eine Lagerzeit von 30 Tagen angesetzt. Aufgrund dieser durchgeführten Zuordnung der abgelieferten Abfallgebinde zu Wiederaufarbeitungskampagnen lässt sich nicht ableiten, dass tatsächlich auch alle mit einem definierten Kampagnenvektor deklarierten Abfallgebinde mengen- bzw. volumenmäßig aus den entsprechenden Wiederaufarbeitungskampagnen stammen. Dies trifft beispielsweise für die 109 älteren GfK-Abfälle in verlorener Betonabschirmung zu, die im Rahmen des Genehmigungsvorgangs zur Sondereinlagerung (Bergamt Goslar-Schreiben G. Nr. 3477/76-FI vom 09.07.1976 in /U-12/) behandelt wurden, und eine deutlich abweichende Lagerzeit hatten. Eine eindeutige Zuordnung der Abfallgebinde zu den Verursachern der Rohabfälle ist auf Basis der uns zur Verfügung stehenden Dokumentation nicht mehr möglich.

Aufgrund der o. a. Vorgehensweise zur Bestimmung des Aktivitätsinventars von GfK/KfK-Abfällen mittels Nuklidvektoren von Wiederaufarbeitungskampagnen kann davon ausgegangen werden, dass in der Datenbank ASSEKAT/PAI für einzelne Abfallgebinde und Abfallgebindechargen gegenüber dem tatsächlichen Aktivitätsinventar deutlich abweichende Inventare bestimmt werden. Aufgrund der Datenlage zu den Abfallgebinden bewerten wir diese Vorgehensweise zur Bestimmung des Aktivitätsinventars dennoch für zweckmäßig. Dies gilt insbesondere für das Gesamtaktivitätsinventar der in die Asse eingelagerten schwachradioaktiven Abfälle. Für die Durchführung einer Sicherheitsanalyse kann aus konservativen Gesichtspunkten ggf. ein abdeckender Nuklidvektor der verschiedenen Wiederaufarbeitungskampagnen in Betracht gezogen werden, wobei die HDR-Kampagne aufgrund ihres deutlich abweichenden Nuklidspektrums und dem verhältnismäßig geringen Abfallanfall separat zu betrachten ist. Aufgrund des in Bezug auf die Gesamt  $\bullet/\gamma$ -Aktivität dominierenden Aktivitätsbeitrags aus den Wiederaufarbeitungsabfällen ist die Verwendung der Nuk-



lidvektoren der Wiederaufarbeitungskampagnen ebenfalls als zweckmäßig zu bewerten.

Die TÜV NORD EnSys Hannover kommt in ihrer Stellungnahme 2008 zum MAW-Aktivitätsinventar in der Asse /U-5/ zu dem Ergebnis, dass die Nuklidvektoren der Wiederaufarbeitungskampagnen in Bezug auf die Spaltprodukte, Aktivierungsprodukte und Aktiniden als plausibel angesehen werden können. Dies wird durch einen eigenen Vergleich eines gemittelten Nuklidvektors der WAK-Wiederaufarbeitungskampagnen mit anderen dokumentierten Nuklidzusammensetzungen (z. B. Spaltproduktzusammensetzung radioaktiver Bitumen- und Zementprodukte /U-20/, Aktivitätsinventare in der ehemals geplanten Wiederaufarbeitungs-Anlage Bayern /U-30/) der keine Auffälligkeiten zeigt, bestätigt.

Die Berechnung der Aktivitäten der Uran- und Plutoniumisotope erfolgt in der Datenbank ASSEKAT/PAI gemäß dem GSF-Bericht 2002 /U-21/ über separate Uran- und Plutoniumvektoren. Die entsprechenden Uran- und Plutonium-Aktivitäten werden hierbei nicht über die auf den Begleitlisten deklarierten mittleren Aktivitäten, sondern zusätzlich über die separat angegebenen Massen an Uran und Plutonium berechnet. Damit wird gewährleistet, dass die bei den auf den Begleitlisten deklarierten mittleren Aktivitäten die zunächst offensichtlich unberücksichtigte Pu-241-Aktivität mit berücksichtigt wird. Hierzu sei auch auf das Kap. 3.1.1 des vorliegenden Berichts verwiesen. Analog den o. a. Nuklidvektoren der einzelnen Wiederaufarbeitungskampagnen der GWK/WAK werden auch die Uran- und Plutoniumvektoren den Wiederaufarbeitungskampagnen zugeordnet. Eine Plausibilitätsprüfung der Uran- und Plutoniumvektoren der Wiederaufarbeitungskampagnen im GSF-Bericht 2002 /U-21/ und von der TÜV NORD EnSys Hannover in der Stellungnahme 2008 zum MAW-Aktivitätsinventar in der Asse /U-5/ kommt zu dem Ergebnis, dass diese hinsichtlich der in den Kampagnen wiederaufgearbeiteten Brennelemente als plausibel zu bewerten sind. Diese Bewertung wird von uns geteilt.

Da die Wiederaufarbeitungskampagnen der GWK/WAK nur einen Teil der Abfallströme darstellten, die im GfK/KfK über die ADB an die Asse abgeliefert wurden, und bei GfK/KfK bearbeitete Projekte (z. B. SNEAK) und bei der SBR- und LWR-MOX-Brennstoff-Herstellung bei der ALKEM für Plutonium und Uran deutlich abweichende Nuklidvektoren vorlagen, haben wir in unserem vorausgegangenen Bericht zur Über-



prüfung der Kernbrennstoffdaten /U-3/ eine Anpassung der Nuklidzusammensetzung bzw. Vorgehensweise zur Aktivitätsbestimmung empfohlen. Es ist darauf hinzuweisen, dass diese Empfehlung im Hinblick auf eine realistischere Angabe der Kernbrennstoffmassen erfolgte. Hinsichtlich des Aktivitätsinventars würde sich aufgrund dieser empfohlenen Anpassung in Einzelfällen, wie z. B. für das Plutoniumisotop Pu-241, auch das Aktivitätsinventar verringern.

Eigene mit der Datenbank ASSEKAT/PAI durchgeführte stichprobenweise Rechnungen von GfK/KfK-Abfallchargen zeigen folgende Ergebnisse:

- Die Aktivitätsbestimmung erfolgt gemäß der Beschreibung im GSF-Bericht 2002 /U-21/.
- Wie bereits in unserem vorausgegangenen Bericht zur Überprüfung der Kernbrennstoffdaten /U-3/ festgestellt, werden Massenangaben von Kernbrennstoffen nicht immer entsprechend den chargenspezifischen Angaben in den Begleitlisten aufgeteilt. Dies liegt daran, dass ausgehend von den Kernbrennstoffmeldungen unter Berücksichtigung der Anzahl der abgelieferten Abfallgebinde zunächst die Kernbrennstoffmasse pro Fass berechnet und in die ASSEKAT-Tabelle „Kernbrennstoff-mod“ eingetragen wurde. Dementsprechend können die mit der Datenbank ASSEKAT/PAI berechneten Uran- und Plutoniumaktivitäten für einzelne Chargen von den auf den Begleitlisten angegebenen Uran- und Plutoniummassen abweichen. Dies kann auch dazu führen, dass für einzelne Chargen (z. B. Begleitliste ID-Nr. 1213, Pos. 13-19 und 31-36) trotz fehlender Deklaration Uran- und Plutoniumaktivitäten berechnet werden. Für die Gesamtanzahl der Chargen, die in einer Kernbrennstoffmeldung zusammengefasst wurden, besteht jedoch zwischen den berechneten Aktivitäten und dem gemeldeten Kernbrennstoffinventar eine Übereinstimmung.
- Sofern für Abfallgebindechargen keine Uran- und Plutoniummassen angegeben wurden, werden gemäß dem GSF-Bericht 2002 /U-21/ auch keine Uran- und Plutoniumaktivitäten berechnet. Hierbei ist darauf hinzuweisen, dass auch durch den Zerfall von höheren Aktiniden (z. B. Pu-238 aus Cm-242) keine Berechnung von Plutonium- und Uranaktivitäten erfolgt. Eine Abschätzung zeigt,



dass die durch den zwischenzeitlichen Zerfall höherer Aktiniden gebildeten Uran- und Plutoniumaktivitäten gegenüber den aus den deklarierten Massen berechneten Aktivitätswerten vernachlässigt werden können.

- Die Berechnung von GfK/KfK-Abfallgebindechargen mit bituminieren Abfallkonzentraten, die in Jahren 1973 und 1974 in die Asse eingelagert wurden, ergeben zum Stichtag 01.01.1980 einen Anteil der  $\alpha$ -Strahler von ca. 3,2 % an der Gesamtaktivität. Entsprechend den Betriebserfahrungen im GfK/KfK /U-23/ lag die mittlere spezifische Aktivität der mit der Betriebsanlage hergestellten Bitumenprodukte mit radioaktiven Abfallkonzentraten bis 1974 bei ca.  $4 \text{ E-}03 \text{ Ci/l}$  ( $1,5 \text{ E+}08 \text{ Bq/l}$ ). Dies entsprach einem Anteil der  $\alpha$ -Strahler von ca. 4 % an der  $\alpha/\gamma$ -Gesamtaktivität. Unter Berücksichtigung eines zwischenzeitlichen Zerfalls von ca. 6 Jahren kann überschlägig eine Erhöhung des Anteils der  $\alpha$ -Strahler um bis zu einem Faktor 2 auf ca. 8 % abgeschätzt werden. Unter den gegebenen Randbedingungen bewerten wir die in der Datenbank ASSEKAT/PAI durchgeführten Berechnungen damit als hinreichend genau, jedoch nicht als konservativ. Für die Durchführung einer Sicherheitsanalyse empfehlen wir daher, aus konservativen Gesichtspunkten für die bituminierten Abfallkonzentrate bei den berechneten Aktivitätsinventaren von einem mindestens ca. Faktor 2,5 höheren Anteil der  $\alpha$ -Aktivität auszugehen (Empfehlung E 3).

Aufgrund unserer Prüfungen ist zusammenfassend festzustellen, dass die Bestimmung des Aktivitätsinventars schwachradioaktiver Abfälle des Ablieferers GfK/KfK mit der Datenbank ASSEKAT/PAI unter den gegebenen Randbedingungen für die Gesamtheit der von GfK/KfK an die Asse abgelieferten Abfallgebinde als hinreichend plausibel bewertet werden kann. Hierbei sind folgende Anmerkungen zu beachten:

- Die Plausibilität der Aktivitätsbestimmung kann nicht auf das Aktivitätsinventar einzelner Abfallgebindechargen oder einzelner Abfallgebinde übertragen werden.
- Hinsichtlich der zur Aktivitätsbestimmung verwendeten Uran- und Plutoniumvektoren sind die Ergebnisse unserer Stellungnahme zur Überprüfung der Kernbrennstoffdaten /U-3/ zu berücksichtigen.



- 5086 Abfallgebinde mit einer deklarierten Gesamtaktivität von ca. 107 Ci, die von GfK im Rahmen der Versuchseinlagerung in die Asse eingelagert wurden, sind von der Plausibilität der Aktivitätsbestimmung ausgenommen, da für diese mit der Datenbank ASSEKAT/PAI kein Aktivitätsinventar berechnet wird. Hierzu sind die Ergebnisse in Kap. 6.3 zu beachten.
- Für die Durchführung einer Sicherheitsanalyse empfehlen wir, aus konservativen Gesichtspunkten für die bituminierten Abfallkonzentrate bei den berechneten Aktivitätsinventaren von einem mindestens ca. Faktor 2,5 höheren Anteil der • -Aktivität auszugehen (Empfehlung E 3).



### 6.1.2 Forschungszentrum Jülich (KFA)

Gemäß dem GSF-Bericht 2002 /U-21/ handelt es sich bei den Abfällen von KFA um eine nicht näher spezifizierte Mischung von Aktivitäten aus Kernbrennstoffen, Spalt- und Aktivierungsprodukten sowie Radionukliden, die zu Markierungszwecken eingesetzt wurden (H-3, C-14). Aufgrund der Häufigkeit und Zusammensetzung der deklarierten Nuklide konnte gemäß /U-21/ davon ausgegangen werden, dass anstelle von Einzelnucliden umfangreichere Nuklidgemische insbesondere aus Spaltprodukten vorlagen. Diese Abfälle wurden daher hinsichtlich ihrer Bestimmung des Aktivitätsinventars wie Abfälle aus Kernkraftwerken behandelt. In der Datenbank ASSEKAT/PAI werden die Aktivitäten der KFA-Abfälle generell durch die Anwendung des Nuklidvektors für KKW-Abfälle unbekanntem Reaktortyps berechnet /U-21/.

Entsprechend dem HMGU-Bericht /U-13/ handelt es sich bei KFA um radioaktive Abfälle, die

- im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten angefallen sind,
- auf Grund vertraglicher Verpflichtungen von den Anliegern auf dem Forschungsgelände (Betriebsabfälle z. B. der AVR GmbH) sowie
- von der Landessammelstelle des Landes Nordrhein-Westfalen stammen.

Die KFA bestand/besteht aus einer Vielzahl von Instituten wie z. B. dem Institut für Radiochemie, Institut für Reaktorbauelemente, Institut für Reaktorentwicklung, Zentralinstitut für Reaktorexperimente und dem Institut für Reaktorwerkstoffe (Laboratorium und Heiße Zellen). Die radioaktiven Abfälle aus den Instituten wurden zentral gesammelt und danach an die Asse abgegeben. Anhand der Angaben auf den Begleitlisten ist eine Zuordnung zu den o. g. internen Abfallverursachern nicht möglich.

Generell ist die Nuklidzusammensetzung von Abfällen aus der Forschung und Industrie auf Grund der unterschiedlichen Abfallverursacher und dem oftmals nicht bekannten Alter der Abfälle großen Unsicherheiten bzw. Schwankungen unterworfen. Von KFA wurde auf den Begleitlisten eine Vielzahl von Radionukliden angegeben, die auf die heterogene Nuklidzusammensetzung der Abfälle hinweisen.



Tabelle 14: Beispiele für Nuklidzusammensetzungen (Aktivitätsanteil in [%]) von Abfällen aus der Heißen Zelle in Jülich entsprechend /U-32/.

Nuklid	Grafit	Spaltprodukt			Stahl		AVR-Abfälle
	1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)
Sc-46	25						
Cr-51					12	22	
Mn-54	5				10	1	
Fe-55					40	20	
Fe-59					22	1	
Co-58					6	5	
Co-60	25					11	
Sr-90		8	17	22			97,3
Y-90		8	17	22			
Ru-106		5	1				
Rh-106		5	1				
Cs-134		2	8	1			
Cs-137		9	17	23			1,5
Ba-137m		8	16	22			
Ce-144		16	5				
Pr-144		16	5				
Pm-147		11	6	3			
Eu-154	10	0	1	1			0,5
Ta-182	20					30	
Pa-233	15						
Summe	100	88	94	94	90	90	99,3
Rest	0	12	6	6	10	10	0,7

- 1) Charakteristische Aktivierungsprodukte in bestrahltem Reaktorgrafit nach 2 Monaten Abklingzeit
- 2) Spaltproduktzusammensetzung (HTR-LEU-Brennelement ca. 2-4 Jahre alt)
- 3) Spaltproduktzusammensetzung (HTR-Brennelement 3-8 Jahre alt, vornehmlich U/Th)
- 4) Spaltproduktzusammensetzung (HTR-Brennelement 5-13 Jahre alt, U/Th)
- 5) Charakteristische Aktivierungsprodukte in Druckbehälterstahl 20 MnMoNi 55 nach ca. 200 Tagen Neutronenbestrahlung und ca. 100 Tagen Abklingzeit
- 6) Charakteristische Aktivierungsprodukte in austenitischem Material 1.4981 nach ca. 200 Tagen Neutronenbestrahlung und ca. 100 Tagen Abklingzeit
- 7) Feste oder flüssige AVR-Rohabfälle



In den uns vorliegenden Unterlagen /U-5/ bis /U-15/ befinden sich zu einer detaillierten Nuklidzusammensetzung der KFA-Abfälle keine Angaben. Für verschiedene Abfallströme aus der Heißen Zelle in Jülich und den AVR-Abfällen finden sich Angaben zur Nuklidzusammensetzung in /U-32/ (siehe Tabelle 14).

Der Vergleich der Nuklidvektoren für KKW-Abfälle (s. Tabelle 15 für SWR 1 und DWR 1) mit den in Tabelle 14 dargestellten Nuklidzusammensetzungen für Spaltprodukte und AVR-Abfälle zeigt speziell für den Anteil des Radionuklids Sr-90 an der Gesamtaktivität einen deutlichen Unterschied. Während für die KKW-Abfälle SWR 1 bis SWR 4 und DWR 1 bis DWR 4 ein maximaler Anteil von 1,4 % Sr-90 (SWR 1) an der Gesamtaktivität zur Berechnung angesetzt wird, kann Sr-90 in ausgewählten KFA-Abfällen - insbesondere für AVR-Abfälle – einen dominierenden Aktivitätsanteil einnehmen. Gemäß /U-32/ liegt die Kontamination der AVR-Rohabfälle in Form von sehr feinem Grafitstaub vor. Die Kontamination der Rohabfälle, unabhängig ob fest oder flüssig, wird hierbei zu über 95 % von dem Isotop Sr-90 geprägt. Die TÜV NORD EnSys Hannover kommt in ihrer Stellungnahme 2008 zum MAW-Aktivitätsinventar in der Asse /U-5/ für AVR-Brennelemente zu dem Ergebnis, dass hinsichtlich der Sr-90-Aktivitätsanteile die Verwendung eines AVR-typischen Nuklidvektors zu realistischeren Werten führen würde.

Gemäß /U-32/ nahm Ende der 80er Jahre Sr-90 auch bei den im KFA zentral behandelten flüssigen Abfällen die Hauptaktivität ein. Wir gehen hierbei für den Zeitraum der in die Asse eingelagerten Abfälle von einer vergleichbaren Situation aus. Es ist daher davon auszugehen, dass bei der Berechnung des Aktivitätsinventars von KFA-Abfällen mit der Datenbank ASSEKAT/PAI bei Zugrundelegung der KKW-Vektoren das Radionuklid Sr-90 als Hauptnuklid der Betriebsabfälle des AVR nicht ausreichend berücksichtigt wird.

Wie im HMGU-Bericht /U-13/ beschrieben, wurden von KFA auch Abfälle aus dem Betrieb des AVR an die Asse abgeliefert. Anhand der Angaben zu den angefallenen konditionierten Abfallgebinden aus 21 Jahren Reaktorbetrieb des AVR /U-32/ haben wir überschlägig abgeschätzt, dass maximal 10 % der KFA-Abfälle vom AVR stammen können. Bei einer mittleren Gesamtaktivität von ca. 4 E9 Bq pro Abfallgebinde in den LAW-Kammern ergibt sich für ca. 1300 Abfallgebinde mit einem Anteil von 97 % Sr-90 eine Sr-90-Aktivität von ca. 5 E12 Bq. Mit der Datenbank ASSEKAT/PAI wurde



für die KFA-Abfälle in den LAW-Kammern zum Stichtag 01.01.1980 eine Sr-90-Aktivität von insgesamt 3 E11 Bq berechnet. Anhand der konservativen Abschätzung würde sich das Sr-90-Inventar der KFA-Abfälle in den LAW-Kammern entsprechend um den Faktor 17 erhöhen. Insgesamt würde dies für die Gesamtheit der in die Asse eingelagerten schwachradioaktiven Abfälle zu einer Zunahme des Sr-90-Inventars von ca. 2 % führen.

C-14-haltige feste Abfälle sollten gemäß /U-32/ im AVR-Normalbetrieb nicht auftreten. Als Folge von Störungen können diese Abfälle jedoch in Filterabfällen auftreten. Da diese Art von Abfällen in den von KFA an die Asse abgelieferten Abfällen deklariert wurde, sind C-14-haltige Grafitstaub enthaltende Abfälle demzufolge nicht auszuschließen. Die Durchsicht der Begleitlisten zeigt, dass C-14 für verschiedene Abfallarten auf den Begleitlisten in der Regel als „C“ deklariert wurde. C-14 wurde für die Abfallarten Grafitkugeln, Grafit, Schlämme, Laborabfälle, Geräteteile etc. deklariert. Grafit und Grafitkugeln wurden in 160 Abfallgebinden mit einer Gesamtaktivität von 137 Ci (5,1 E12 Bq) an die Asse abgeliefert (siehe Tabelle 7 in Kapitel 3.1.2). Bei den Grafitkugeln handelt es sich gemäß /U-36/ um nicht-kernbrennstoffhaltige Grafit- und Absorberkugeln aus dem Erstkern des AVR-Reaktors. Gemäß /U-36/ wurden ca. 52520 Grafit- und Absorberkugeln in 101 Fässern in die Asse eingelagert. Über Art und Herkunft des Grafits in den anderen 59 Abfallgebinden liegen uns keine Unterlagen vor.

Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe ASSE der ESK und der SSK kam in ihren Beratungsergebnissen /U-37/ zu der Empfehlung, dass für grafithaltige Abfälle wegen herstellungsbedingter Verunreinigungen das Inventar von C-14 (neben Cl-36 und Ca-41) zu überprüfen ist.

Der C-14-Gehalt in bestrahltem Grafit des AVR war seit der Einlagerung in die Asse Gegenstand mehrerer Untersuchungen (z. B. /U-33/ /U-34/ /U-35/) und wurde in /U-36/ vom Forschungszentrum Jülich hinsichtlich der in die Asse eingelagerten Grafit- und Absorberkugeln bewertet. Die in 101 Fässern in die Asse eingelagerten 52520 Grafit- und Absorberkugeln besitzen demzufolge eine C-14-Gesamtaktivität von 3,9 E11 Bq. Demgegenüber wurde in den Begleitlisten für diese 101 Fässer mit Grafit- und Absorberkugeln eine Gesamtaktivität von ca. 121 Ci bzw. 4,5 E12 Bq



deklariert. D. h. ca. 8,7 % der in den Begleitlisten deklarierten Aktivität für Grafit- und Absorberkugeln ist allein für C-14 hinzuzurechnen.

Mit der Datenbank ASSEKAT/PAI wird das nuklidspezifische Aktivitätsinventar der Abfallgebinde mit Grafit/Grafitkugeln mit der Nuklidzusammensetzung für metallische Kernkraftwerksabfälle unbekanntem Reaktortyps (URT 2) wie z. B. Metall, Schrott, Blech, Strukturteile berechnet. Entsprechend der hierbei zugrundegelegten Nuklidverteilung wird mit der Datenbank ASSEKAT/PAI ein C-14-Aktivitätsanteil von ca. 0,5 % an der deklarierten Aktivität berechnet. Damit wird die C-14-Aktivität für die Grafit- und Absorberkugeln gegenüber den in /U-36/ bestimmten Werten um ca. einen Faktor 17 unterschätzt. Dies allein führt zu einer Erhöhung des mit der Datenbank ASSEKAT/PAI berechneten C-14-Aktivitätsinventars für den Ablieferer KFA um ca. 70 % (hiervon die LAW-Abfälle um ca. 120 %) und für die Asse um ca. 15 %.

Eine Überprüfung des CI-36-Inventars für grafithaltige Abfälle, wie von der ESK/SSK ebenfalls empfohlen /U-37/, zeigt, dass auf Basis der Analysen von Kohlestein und Grafit aus dem Core-Bereich des AVR /U-33/ gegenüber der in der Datenbank ASSEKAT/PAI verwendeten Nuklidzusammensetzung für metallische Kernkraftwerksabfälle unbekanntem Reaktortyps (URT 2) überschlägig von einem um ca. einer Größenordnung höheren CI-36-Inventar ausgegangen werden kann. Für Ca-41 sind uns keine Messwerte oberhalb der Nachweisgrenze bekannt.

Sofern in den von KFA an die Asse abgelieferten Abfällen Grafitkugeln und Grafit deklariert wird, empfehlen wir, die Bestimmung des Aktivitätsinventars in der Datenbank ASSEKAT/PAI für C-14 entsprechend anzupassen. Sofern das Vorhandensein von C-14-haltigen grafitstaubhaltigen Abfällen in den weiteren von KFA abgelieferten Abfällen nicht sicher ausgeschlossen werden kann, empfehlen wir, für die Durchführung einer Sicherheitsanalyse aus konservativen Gesichtspunkten auch hierfür einen höheren C-14-Aktivitätsanteil anzunehmen. Die nicht realistische Annahme, alle KFA-Abfälle hinsichtlich ihres C-14-Gehalts entsprechend den AVR-Grafitkugeln zu behandeln, würde zu einer maximalen Erhöhung des C-14-Aktivitätsinventars der Asse um einen Faktor 4 führen.

Zusammenfassend zeigt die Überprüfung des mit der Datenbank ASSEKAT/PAI bestimmten Aktivitätsinventars der in die Asse eingelagerten schwachradioaktiven



KFA-Abfällen, dass eine AVR-spezifische Nuklidverteilung nicht berücksichtigt wurde und damit Nuklide wie Sr-90 und C-14 nicht abdeckend bestimmt werden. Für die Durchführung einer Sicherheitsanalyse empfehlen wir daher, in der Datenbank ASSEKAT/PAI bei dem für KFA-Abfälle zugrundegelegten Nuklidvektor den Einfluss von AVR-spezifischen Nukliden mit zu berücksichtigen (vgl. Empfehlung E 3).



### 6.1.3 Forschungszentrum Geesthacht (GKSS)

Die von der GKSS abgegebenen Abfälle stammten überwiegend aus der Zentralabteilung Forschungsreaktoren. Als LAW wurden 1872 Abfallgebinde mit einer Gesamtaktivität von 32 Ci in die Asse eingelagert. Davon konnten gemäß dem GSF-Bericht 2002 /U-21/ für 1647 Abfallgebinde mit 27,4 Ci keine Radionuklide zugeordnet werden (s. a. Kapitel 6.3). In der Spalte Nuklide wurde hierbei insbesondere „ $\alpha$ “, „ $\beta$ “, „ $\gamma$ “ angegeben. Entsprechend wird für diese Abfallgebinde mit der Datenbank ASSEKAT/PAI kein Aktivitätsinventar bestimmt. Zur Bewertung dieser Vorgehensweise verweisen wir auf Kap. 6.3.

Für Abfallgebinde mit Radionuklidnennungen in den Begleitlisten wird in der Datenbank ASSEKAT/PAI die deklarierte Aktivität entsprechend der Anzahl der Radionuklide gleichmäßig aufgeteilt. D. h. bei zwei genannten Radionukliden wie z. B. Co-58 und Co-60 erhält jedes Radionuklid die Hälfte der deklarierten Aktivität. Die TÜV NORD EnSys Hannover kommt in ihrer Stellungnahme 2008 zum MAW-Aktivitätsinventar in der Asse /U-5/ zu dem Ergebnis, dass eine gleichmäßige Aufteilung der deklarierten Gesamtaktivitäten auf die angegebenen Einzelnuclide nicht abdeckend ist. Diese Bewertung wird von uns geteilt. Wir empfehlen, für eine realistische Bestimmung des Aktivitätsinventars mit der Datenbank ASSEKAT/PAI geeignete Nuklidvektoren zu verwenden (vgl. Empfehlung E 3). Für die Berechnung des Aktivitätsinventars von Chargen mit den beiden Nukliden Co-58 und Co-60 könnte aus unserer Sicht beispielsweise ein Aktivierungsvektor herangezogen werden. Zudem ist für diese Chargen in Betracht zu ziehen, dass insbesondere der Aktivitätsanteil von Fe-55 bei der deklarierten mittleren Aktivität nicht berücksichtigt wurde.

Für Abfallgebinde mit in den Begleitlisten deklarierten Uran-Gesamtaktivitäten werden mit der Datenbank ASSEKAT/PAI über einen Natururan-Nuklidvektor die Einzelaktivitäten der Uranisotope U-234, U-235 und U-238 berechnet. Diese Vorgehensweise ist aus unserer Sicht nachvollziehbar und plausibel.



#### 6.1.4 Kernkraftwerke (KKW)

Zur Bestimmung des Aktivitätsinventars der Abfälle aus Kernkraftwerken wurden in der Datenbank ASSEKAT/PAI für vier verschiedene Abfallarten jeweils für die Reaktortypen SWR und DWR spezifische Nuklidvektoren bestimmt /U-21/. Hierzu wurden neben den von den Ablieferern deklarierten Daten auch Daten über radioaktive Abfälle, die im Endlager Morsleben (ERAM) eingelagert wurden, ausgewertet und unter Verwendung des Berechnungsmoduls MOPRO des Programms AVK der Fa. GNS /U-9/ für Referenzgebilde der Abfallströme bzw. -arten SWR 1 bis SWR 4 und DWR 1 bis DWR 4 die Radionuklidaktivitäten berechnet.

Das Heranziehen von spezifischen Nuklidvektoren in der Datenbank ASSEKAT/PAI zur Bestimmung des Aktivitätsinventars der KKW-Abfälle aus Kernkraftwerken /U-21/ für vier verschiedene Abfallarten jeweils für die Reaktortypen SWR und DWR ist aus unserer Sicht unter den gegebenen Randbedingungen als zweckmäßig zu bewerten. Anhand eigener stichprobenweise durchgeführten Rechnungen mit dem derzeit aktuellen Berechnungsmodul MOPRO des Programms AVK in der Version 3.1.49 /U-26/ /U-28/ /U-29/ haben wir die von der Fa. GNS in /U-9/ berechneten und in der Datenbank ASSEKAT/PAI verwendeten Nuklidvektoren SWR 1 bis SWR 4 und DWR 1 bis DWR 4 verifiziert.

In Tabelle 15 sind für die Nuklidvektoren SWR 1 und DWR 1 die Ergebnisse der Überprüfung zusammengefasst. Die Überprüfung zeigt, dass die in /U-9/ berechneten Aktivitätsanteile für die meisten Radionuklide im Rahmen der bekannten Streuung in Kraftwerksabfällen hinreichend übereinstimmen. Änderungen zwischen den Nuklidverteilungen basieren insbesondere auf einer zwischenzeitlich verbesserten Datenbasis an Messwerten von radioaktiven Abfällen, die zu einer Aktualisierung der einzelnen Nuklidkorrelationen zu Schlüsselnucliden führte. Gegenüber unseren Berechnungen sind für die Nuklide Co-58 und Sb-124 z. T. deutlich niedrigere Aktivitätsanteile festzustellen, doch besitzen diese Nuklide aufgrund ihres geringen Anteils und ihrer kurzen Halbwertszeit für eine Sicherheitsanalyse keine bedeutende radiologische Relevanz. Die Nuklide Eu-152, Eu-154, Ra-228, Th-232 (SWR und DWR) und Cd-113m (DWR) werden hingegen mit den in der Datenbank ASSEKAT/PAI implementierten Nuklidverteilungen gegenüber unseren Berechnungen deutlich höher und damit konservativ deklariert.



Des Weiteren haben wir festgestellt, dass in den von der Fa. GNS in /U-9/ berechneten und in der Datenbank ASSEKAT/PAI verwendeten Nuklidvektoren SWR 1 bis SWR 4 und DWR 1 bis DWR 4 Radionuklide wie z. B. Ni-59, Zn-65, Zr-93, Tc-99 und Ce-144 nicht berücksichtigt bzw. separat aufgeführt sind. Für die Durchführung einer Sicherheitsanalyse empfehlen wir, in der Datenbank ASSEKAT/PAI insbesondere Radionuklide mit längerer Halbwertszeit wie z. B. Ni-59 und Tc-99 mit zu berücksichtigen (vgl. Empfehlung E 3).

Der Anteil an  $\alpha$ -Strahlern liegt in den von der Fa. GNS in /U-9/ berechneten abfallstromspezifischen Nuklidvektoren bei ca.  $1 \text{ E-}5$  bis  $5 \text{ E-}5$  der Gesamtaktivität. Dies deckt sich mit unseren eigenen stichprobenweise durchgeführten Rechnungen mit dem derzeit aktuellen Berechnungsmodul MOPRO des Programms AVK. Dieser Gehalt an  $\alpha$ -Strahlern ist als realistischer Mittelwert anzusehen, der in einzelnen Fällen auch deutlich höher sein kann. Dies wird durch die Angaben im Schriftwechsel /U-6/ bzw. /U-24/ mit einem Anteil an  $\alpha$ -Strahlern an der Gesamtaktivität von ca.  $8 \text{ E-}3$  für KKS und  $2 \text{ E-}4$  für KWO, der aus unserer Sicht bei einem angenommenen Abfallalter von 2 Jahren als konservativer Wert betrachtet werden kann, bestätigt. Das Vorliegen von  $\alpha$ -Strahlern in den Abfällen kann insbesondere mit Hüllrohrschäden erklärt werden, die gemäß /U-25/ z. B. für KKS auch für den erhöhten Cs-137-Aktivitätsanteil als Erklärung herangezogen werden. Zusammenfassend ist festzustellen, dass die in /U-9/ berechneten Nuklidverteilungen hinsichtlich ihres Gehalts an  $\alpha$ -Strahlern als realistisch, nicht jedoch als konservativ abdeckend, zu bewerten sind.

Die Überprüfung der Implementierung der von der Fa. GNS /U-9/ berechneten Nuklidvektoren SWR 1 bis SWR 4 und DWR 1 bis DWR 4 in die Datenbank ASSEKAT/PAI zeigt, dass nur die nuklidspezifischen  $\alpha$ -Strahler übernommen werden. Bis zu ca. 45 % der Gesamt- $\alpha$ -Aktivität wird in den von der Fa. GNS /U-9/ berechneten Nuklidvektoren als sonstige  $\alpha$ -Strahler „SA $\alpha$ “ angegeben. Da diese sonstigen  $\alpha$ -Strahler im PAI nicht berücksichtigt werden, wird in der Datenbank ASSEKAT/PAI die Gesamtaktivität an  $\alpha$ -Strahlern für an die Asse abgelieferte KKW-Abfälle gegenüber den von der GNS /U-9/ berechneten verwendeten Nuklidvektoren systematisch niedriger ausgegeben. Für die Durchführung einer Sicherheitsanalyse empfehlen wir, in der Datenbank ASSEKAT/PAI den Aktivitätsanteil der sonstigen  $\alpha$ -Strahler „SA $\alpha$ “ gemäß /U-9/ mit zu berücksichtigen (vgl. Empfehlung E 3).

Tabelle 15: Ergebnis der Überprüfung von in der Datenbank ASSEKAT/PAI zur Aktivitätsdeklaration von KKW-Abfällen verwendeten Nuklidvektoren für die Abfallarten SWR 1 und DWR 1 /U-9/ /U-21/. Die Aktivitätsanteile in den Nuklidvektoren sind in Prozent angegeben. Radionuklide mit einem Aktivitätsanteil > 0,1 % sind fett markiert.

	Nuklidvektor SWR 1 PAI /U-9/ /U-21/	Nuklidvektor SWR 1 TÜV MOPRO 3.1.49	Verhältnis SWR 1 PAI zu TÜV	Nuklidvektor DWR 1 PAI /U-9/ /U-21/	Nuklidvektor DWR 1 TÜV MOPRO 3.1.49	Verhältnis DWR 1 PAI zu TÜV
<b>C-14</b>	<b>2,38E-01</b>	<b>4,77E-02</b>	4,98	<b>4,10E-01</b>	<b>4,30E-01</b>	0,95
Al-26		2,24E-14			3,47E-14	
Cl-36	1,51E-04	1,58E-04	0,96	1,51E-03	1,81E-03	0,83
K-40		9,63E-10			1,49E-09	
Ca-41	4,92E-07	5,15E-07	0,95	6,66E-07	7,98E-07	0,83
<b>Mn-54</b>	<b>7,74E-01</b>	<b>6,48E-01</b>	1,19	<b>4,25E-01</b>	<b>4,60E-01</b>	0,92
<b>Fe-55</b>	<b>9,10E+00</b>	<b>1,11E+01</b>	0,82	<b>2,96E+01</b>	<b>1,87E+01</b>	1,58
Fe-59	1,45E-05	1,75E-05	0,82	4,70E-05	2,94E-05	1,60
Co-58	1,48E-04	2,62E-03	0,06	9,23E-03	7,46E-03	1,24
<b>Co-60</b>	<b>2,14E+01</b>	<b>2,24E+01</b>	0,96	<b>2,90E+01</b>	<b>3,47E+01</b>	0,83
<b>Ni-59</b>		1,09E-02			<b>2,24E-01</b>	
<b>Ni-63</b>	<b>1,02E+00</b>	<b>1,33E+00</b>	0,77	<b>2,46E+01</b>	<b>2,68E+01</b>	0,92
<b>Zn-65</b>		<b>1,86E+00</b>			<b>3,06E-01</b>	
Se-79	2,00E-04	1,83E-04	1,09	3,76E-05	4,63E-05	0,81
Rb-87	9,13E-09	1,17E-08	0,78	1,72E-09	2,83E-09	0,61
<b>Sr-90</b>	<b>1,40E+00</b>	<b>1,47E+00</b>	0,95	<b>2,43E-01</b>	<b>1,05E-01</b>	2,31
Zr-93		2,50E-06			6,14E-06	
Zr-95	4,35E-04	2,06E-04	2,11	1,31E-03	5,07E-04	2,59
Nb-94	5,72E-03	9,11E-03	0,63	1,58E-02	2,81E-02	0,56
Nb-95	9,57E-04	4,54E-04	2,11	2,89E-03	1,11E-03	2,60
Mo-93		5,23E-06			8,78E-06	
<b>Tc-99</b>		4,57E-02			<b>1,15E-01</b>	
Ru-103	9,98E-06	1,12E-05	0,89	2,27E-05	3,05E-05	0,74
<b>Ru-106</b>	<b>4,57E-01</b>	<b>4,39E-01</b>	1,04	<b>1,04E+00</b>	<b>1,15E+00</b>	0,91
Pd-107		4,84E-07			1,26E-06	
Ag-108m	2,63E-03	2,31E-03	1,14	5,06E-03	4,27E-02	0,12
<b>Ag-110m</b>	<b>2,63E-01</b>	<b>2,31E-01</b>	1,14	<b>5,06E-01</b>	<b>4,55E-01</b>	1,11
Cd-113m	1,04E-04	5,88E-04	0,18	3,10E-02	5,27E-05	589,19
Sn-126	8,49E-05	9,81E-05	0,87	1,35E-04	2,05E-04	0,66
Sb-124	2,76E-06	6,80E-05	0,04	3,75E-06	1,60E-03	0,002
<b>Sb-125</b>	<b>7,72E-01</b>	<b>6,13E-01</b>	1,26	<b>1,23E+00</b>	<b>1,28E+00</b>	0,96
I-129	1,63E-05	1,12E-05	1,46	3,65E-06	3,24E-06	1,13
Ba-133		1,78E-07			2,99E-07	
<b>Cs-134</b>	<b>7,51E+00</b>	<b>8,92E+00</b>	0,84	<b>1,94E+00</b>	<b>2,10E+00</b>	0,93
Cs-135		2,56E-04			5,54E-05	
<b>Cs-137</b>	<b>5,70E+01</b>	<b>5,07E+01</b>	1,12	<b>1,07E+01</b>	<b>1,29E+01</b>	0,83
Ce-141		4,44E-08			1,21E-07	
Ce-144		3,23E-02			8,82E-02	
Sm-151		1,10E-04			3,00E-04	
Eu-152	5,88E-05	1,94E-06	30,2	1,10E-04	5,30E-06	20,7

Tabelle 15: Fortsetzung: Ergebnis der Überprüfung von in der Datenbank ASSEKAT/PAI zur Aktivitätsdeklaration von KKW-Abfällen verwendeten Nuklidvektoren.

	Nuklidvektor SWR 1 PAI /U-9/ /U-21/	Nuklidvektor SWR 1 TÜV MOPRO 3.1.49	Verhältnis SWR 1 PAI zu TÜV	Nuklidvektor DWR 1 PAI /U-9/ /U-21/	Nuklidvektor DWR 1 TÜV MOPRO 3.1.49	Verhältnis DWR 1 PAI zu TÜV
Eu-154	2,80E-02	2,59E-03	10,8	5,22E-02	8,83E-03	5,91
Eu-155		1,94E-03			5,30E-03	
Pb-210		1,05E-11			2,57E-11	
Ra-224		2,29E-06			5,61E-06	
Ra-226		1,05E-11			2,57E-11	
Ra-228	9,74E-11	7,00E-15	13913	1,57E-10	1,71E-14	9146
Ac-227	2,41E-09	3,18E-09	0,76	3,87E-09	7,79E-09	0,50
Ac-228		7,00E-15			1,71E-14	
Th-227		3,14E-09			7,68E-09	
Th-228		2,29E-06			5,61E-06	
Th-229		6,36E-11			1,56E-10	
Th-230	2,55E-09	6,68E-09	0,38	4,10E-09	1,64E-08	0,25
Th-232	9,74E-11	7,00E-15	13905	1,57E-10	1,71E-14	9141
Pa-231	2,41E-09	3,18E-09	0,76	3,87E-09	7,79E-09	0,50
U-232	1,83E-06	4,77E-06	0,38	2,95E-06	1,17E-05	0,25
U-233	6,30E-09	2,67E-09	2,36	1,01E-08	6,54E-09	1,55
U-234	6,87E-05	6,09E-05	1,13	1,11E-04	1,16E-04	0,96
U-235	1,06E-06	1,78E-06	0,59	1,70E-06	4,36E-06	0,39
U-236		3,18E-05			7,79E-05	
U-238	2,86E-05	3,18E-05	0,90	4,61E-05	7,79E-05	0,59
Np-237	2,64E-05	4,77E-05	0,55	4,24E-05	1,17E-04	0,36
Pu-238	4,17E-04	6,32E-04	0,66	1,40E-03	1,58E-03	0,89
Pu-239	7,79E-05	1,19E-04	0,65	3,61E-04	4,36E-04	0,83
Pu-240	1,74E-04	1,88E-04	0,92	8,02E-04	7,40E-04	1,08
<b>Pu-241</b>	4,06E-02	6,48E-02	0,63	<b>1,68E-01</b>	<b>1,98E-01</b>	0,85
Pu-242	1,25E-06	9,22E-07	1,35	5,78E-06	5,29E-06	1,09
Pu-244		2,31E-13			2,94E-12	
Am-241	1,25E-04	1,73E-04	0,72	1,42E-03	1,71E-03	0,83
Am-242m	3,00E-06	2,93E-06	1,02	3,42E-05	2,91E-05	1,18
Am-243		2,11E-06			5,00E-06	
Cm-242		5,85E-06			1,86E-05	
Cm-243		1,77E-06			4,20E-06	
Cm-244	3,04E-04	2,11E-04	1,45	6,93E-04	5,00E-04	1,39
Cm-245	7,00E-08	2,53E-08	2,77	1,59E-07	6,00E-08	2,66
Cm-246	1,25E-08	9,47E-09	1,32	2,84E-08	2,25E-08	1,26
Cm-247		5,26E-14			1,25E-13	
Cm-248		1,89E-13			4,50E-13	
Cm-250		1,62E-20			3,84E-20	
Cf-249		6,32E-13			7,50E-12	
Cf-251		2,74E-14			3,75E-13	
Cf-252		3,16E-12			7,00E-11	
Cf-254		1,25E-18			4,94E-17	



## 6.2 Abfälle ausgewählter Zusammensetzung

### 6.2.1 Radiumhaltige Abfälle

Gemäß /U-38/ erfolgt die Berechnung des Aktivitätsinventars mittels der Datenbank ASSEKAT/PAI Version 9.2 wie folgt:

- Zuordnung von 10  $\mu\text{Ci}$ /Gebinde bei Chargen mit dem Vermerk „Spuren“ oder radiumhaltig
- Zuordnung von 10 mCi/Gebinde bei Chargen, bei denen die Ra-226-Aktivität nicht explizit ausgewiesen und deren mittlere Gesamtaktivität pro Gebinde 10 mCi übersteigt
- Zuordnung der deklarierten mittleren Gesamtaktivität pro Gebinde bei Chargen, bei denen die Ra-226-Aktivität nicht explizit ausgewiesen ist und deren mittlere Gesamtaktivität pro Gebinde 10 mCi unterschreitet
- Zuordnung der deklarierten Ra-226-Aktivität pro Gebinde bei Chargen, bei denen die Ra-226-Aktivität explizit ausgewiesen wurde.

#### Amersham-Buchler-Abfälle

Da für die 63 Amersham-Buchler-Chargen die Ra-226-Aktivität jeweils explizit in den Begleitlisten ausgewiesen wurde, erfolgte die Berechnung mittels ASSEKAT/PAI analog dem Vorgehen, welches unter dem letzten obigen Aufzählungszeichen beschrieben ist.

Da Informationen aus den Begleitlisten keine genauere Bestimmung der Art des radioaktiven Abfalls zulassen, woraus weitere Schlüsse zur Aktivität gezogen werden könnten, ist die realisierte Vorgehensweise plausibel. Bereits in Kapitel 3.2.1 wurde festgestellt, dass die so berechneten Aktivitäten nicht unrealistisch sind.

Die Überprüfung der Umsetzung der Vorgaben zur Aktivitäts-Berechnung von Ra-226 und des Tochternuklids Pb-210 mit der Datenbank ASSEKAT/PAI erfolgt am

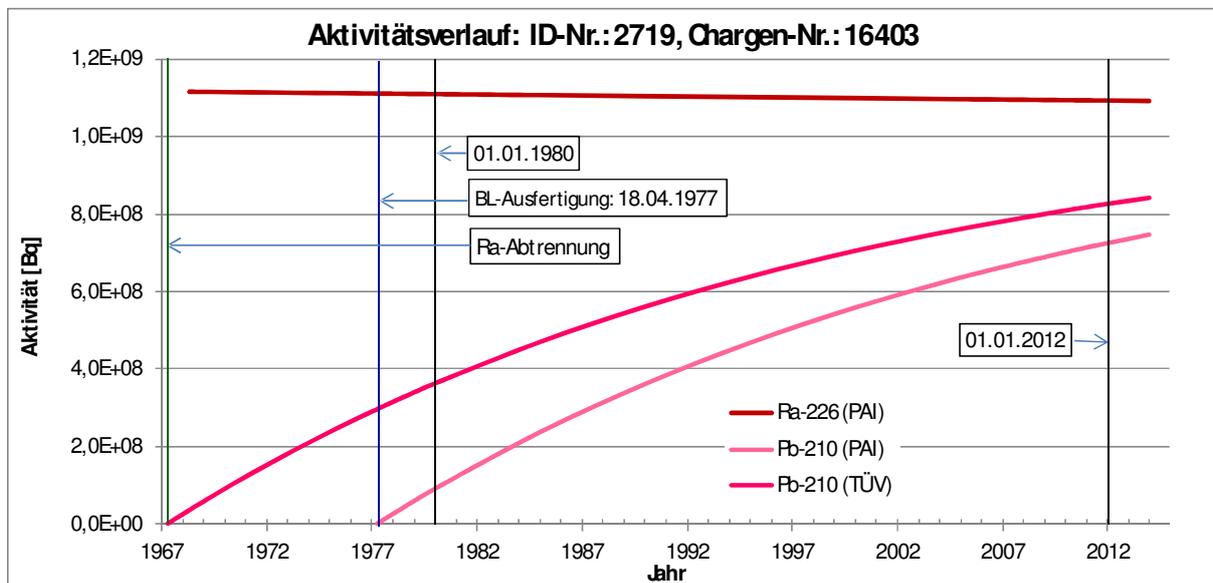


Abbildung 14: Der mit ASSEKAT/PAI 9.2 ermittelte Aktivitätsverlauf der Radionuklide Ra-226 und Pb-210 für radiumhaltige Abfälle des Ablieferers Amersham-Buchler (zur Aktivitätsberechnung vor dem 01.01.1979 -dem frühesten Berechnungsdatum der ASSEKAT/PAI- wurden zusätzliche Daten eingefügt) sowie zum Vergleich die TÜV-Berechnung des Pb-210-Aktivitätsverlaufs

Beispiel der drei Gebinde mit Papier und Geräten der Begleitliste ID-Nr. 2719; Ch-Nr. 16403 (Ausfertigungstag: 18.04.1977; Einlagerung am 21.04.77). Die mittels ASSEKAT/PAI 9.2 ermittelten Berechnungsergebnisse sind in Abbildung 14 dargestellt. Aus Abbildung 14 wird deutlich, dass der abklingende Ra-226-Verlauf in der Datenbank ASSEKAT/PAI berücksichtigt wurde.

Der Aktivitätsaufbau des Tochternuklids Pb-210 (bei Vernachlässigung der kurzlebigen Tochternuklide) startet gemäß ASSEKAT/PAI am Ausfertigungstag der Begleitliste mit Null beginnend. Real beginnt der Aktivitätsaufbau des Pb-210 jedoch bereits mit dem Zeitpunkt der Abtrennung des Ra-226 von seinem Erz. Dieser Aktivitätsverlauf wurde in Abbildung 14 als zusätzliche Kurve aufgenommen (TÜV-Berechnung). Aus Erfahrungswerten bei der Thorium-Abtrennung wurde ein Zeitraum von 10 Jahren von Beginn der Ra-Abtrennung bis zur Begleitlisten-Ausfertigung zugrundegelegt.

Anhand Abbildung 14 wird deutlich, dass die mit der Datenbank ASSEKAT/PAI berechneten Pb-210-Aktivitäten zu niedrig sind, die Differenzen sich jedoch mit fort-



schreitender Zeit immer mehr verringern. Tabelle 16 untermauert dies anhand eines Zahlenvergleiches für das Berechnungsdatum 01.01.1980 und 01.01.2012. Beträgt die Unterschätzung zum 01.01.1980 einen Faktor 4, so verringert sich der Unterschied zum 01.01.2012 auf einen Faktor von ca. 1,1.

Tabelle 16: Vergleich von Berechnungsergebnissen des Aktivitätsinventars von Ra-226 und Pb-210 für radiumhaltige Abfälle des Ablieferers Amersham-Buchler (ID-Nr.: 2719, Chargen-Nr.: 16403) zu unterschiedlichen Bezugszeitpunkten.

Methode	Bezugsdatum	Aktivität [Bq]	
		Ra-226	Pb-210
PAI, Vers. 9.2	01.01.1980	1,11 E09	8,95 E07
TÜV		1,11 E09	3,63 E08
PAI, Vers. 9.2	01.01.2012	1,09 E09	7,26 E08
TÜV		1,09 E09	8,27 E08

Bei der Begleitliste ID-Nr. 2718 handelt es sich laut Deklaration um „Erzrückstände“. In diesem speziellen Fall liegt kein abgetrenntes Radium vor und die Radionuklide der natürlichen Zerfallsreihen befinden sich im annähernd radioaktiven Gleichgewicht. Gleichgewichtsstörungen kommen bei Erz-Aufbereitungsrückständen vor, wobei die Pb-210-Aktivität auch um Faktoren oberhalb der Ra-226 liegen kann (vgl. /U-62/). Hinzukommt bei Erz- oder Erzaufbereitungsrückständen, dass sämtliche Radionuklide aus den drei natürlichen Zerfallsreihen in den Gebinden enthalten sind, obwohl allein Ra-226 deklariert und im Aktivitätsinventar berücksichtigt wurde. Inwiefern dieser nachgeprüfte Einzelfall (vgl. /U-13/) auch bei weiteren Gebinden, bei denen weitere Radionuklide der natürlichen Zerfallsreihen vorliegen und allein Ra-226 deklariert ist, sich als zutreffend erweist, kann anhand der uns vorliegenden Unterlagen nicht ohne Weiteres beantwortet werden.

Die Vernachlässigung von Ra-228 und Ra-224 im PAI-Ansatz ist gerechtfertigt, da die Radionuklide der Th-Reihe gegenüber der U-Reihe in der Pechblende, aus welcher Radium gewöhnlicher Weise gewonnen wird, eine weitaus niedrigere Aktivität besitzen und darüber hinaus Ra-228 und Ra-224 viel schneller abklingen als Ra-226.



Zusammenfassend stellen wir fest, dass aufgrund unrealistischer Anfangsbedingungen im PAI-Formelansatz zur Berechnung des Aktivitätsverlaufes des Tochternuklids Pb-210 für die ersten Einlagerungsjahre deutlich zu niedrige Werte resultieren, die berechneten Aktivitätsinventare sich im Laufe der Zeit jedoch immer mehr an die realen Verhältnisse angleichen. Wir empfehlen, dies aus konservativen Gesichtspunkten bei einer Sicherheitsanalyse entsprechend zu berücksichtigen (vgl. Empfehlung E 3).

### **Bundeswehr-Abfälle**

Wie bei den Amersham-Buchler-Chargen ist die Ra-226-Aktivität jeweils explizit in den Begleitlisten ausgewiesen, so dass bei der Berechnung mittels ASSEKAT/PAI die deklarierte Aktivität herangezogen wurde.

Die Überprüfung der Umsetzung der Vorgaben zur Aktivitätsberechnung von Ra-226 und des Tochternuklids Pb-210 mit der Datenbank ASSEKAT/PAI erfolgt am Beispiel der 12 Gebinde mit Armaturen, Libellen, Kompassen der Begleitliste ID-Nr. 2911; Ch-Nr. 18749 (Ausfertigungstag: 31.08.1978; Einlagerungstag: 17.10.78). Analog dem obigen Amersham-Buchler-Beispiel sind die ASSEKAT/PAI-Berechnungsergebnisse für Ra-226 korrekt und fallen für Pb-210, aufgrund unrealistischer Anfangsbedingungen, zu niedrig aus. Wir empfehlen, dies aus konservativen Gesichtspunkten bei einer Sicherheitsanalyse entsprechend den Amersham-Buchler-Abfällen zu berücksichtigen (vgl. Empfehlung E 3).

Zur möglichen Überschätzung der Ra-226- und Pb-210-Aktivitäten bei Abfällen, die Ra-226 und Th-232 enthalten, verweisen wir auf Kapitel 6.2.2.2 und hier auf die Begleitliste ID-Nr. 303, Ch-Nr. 1408.



## 6.2.2 Thoriumhaltige Abfälle

### 6.2.2.1 HMI-Abfälle: Glühkörper

#### Th-232-Aktivitätsinventar

Zur Vermeidung einer Inventar-Überschätzung gehen die Berechnungsroutinen des PAI-Moduls in der Datenbank ASSEKAT bei der Berechnung der Th-232-Aktivität für Glühkörper enthaltende Gebinde des Ablieferers HMI nicht von den auf den Begleitlisten deklarierten Aktivitäten aus, sondern benutzen die Annahme von 3,6 mCi/Gebinde. Dabei ist es unerheblich, ob die Gebinde komplett oder lediglich teilweise Glühkörper als Abfallart enthalten. Der Wert 3,6 mCi/Gebinde wird im GSF-Bericht 2002 /U-21/ diskutiert und als abdeckend betrachtet (mit Verweis auf die Begleitlisten ID-Nr. 2980 und 2984).

Die anforderungsgerechte Umsetzung des festgelegten Berechnungsalgorithmus im PAI wurde stichprobenweise überprüft. Die Überprüfung ergab, dass die Vorgaben korrekt umgesetzt wurden.

Als nächstes wurde überprüft, inwieweit der Ansatz von 3,6 mCi/Gebinde abdeckend ist. Dazu wurden alle HMI-Chargen (Begleitlisten ID-Nr. 2135, 2137, 2138, 2980, 2982 und 2984) ausgewählt, bei denen als Abfallart allein Glühkörper deklariert sind (keine Mischabfälle), da sich hier die entsprechenden Aktivitätsangaben auch ausschließlich auf die Glühkörper beziehen. Das mit der Gebindeanzahl gewichtete arithmetische Mittel liegt mit ca. 24 mCi deutlich über dem angesetzten Wert von 3,6 mCi.

Das Ergebnis zeigt, dass die Annahme in /U-21/ von 3,6 mCi/Gebinde nicht ohne weitere Betrachtung als abdeckend bewertet werden kann. Deshalb wurde die Aktivität eines mit Glühkörpern gefüllten 200-l-Fasses auf der Basis eigener unabhängiger Überlegungen und Annahmen abgeschätzt.

Die Dichte der nicht veraschten Glühkörper (auch als Glühstrumpf bezeichnet) wurde als Mittelwert anhand von sieben verschiedenen GK-Modellen bestimmt. Zur Ermittlung der Dichte veraschter Glühkörper wurde von uns GK-Gewebe verascht.



Zur Bestimmung der massenbezogenen Th-232-Aktivität der nicht veraschten Glühkörper wurden Daten aus /U-39/ herangezogen. Es ergab sich aus insgesamt 37 Einzelmesswerten unter Berücksichtigung gleicher Modelle ein Mittelwert für die Th-232-Aktivität von 707 Bq/g.

Wie bereits erwähnt, ist davon auszugehen, dass allein im gewerblichen Bereich eine Beseitigung thoriumhaltiger Abfälle und Rückstände stattfand. Nach /U-39/ und /U-41/ war die Fa. Auergesellschaft mbH (Oranienburg, nach 1945 Berlin-Wedding und später Neukölln) mit einer Stückzahl im Millionenbereich einziger bundesdeutscher GK-Hersteller, dessen Absatz sich hauptsächlich auf gewerbliche Anwender erstreckte und dessen Produktionsabfälle und -rückstände gemäß /U-40/ ab Mitte der siebziger Jahre dem HMI zugeführt wurden. Auch im Briefverkehr zwischen dem HMI und der GSF wird einzig die Fa. Auer als GK-Entsorger erwähnt /U-42/. Weiter untermauert wird dies durch Aussagen gemäß /U-13/.

Aus /U-43/ wurden massenbezogene Th-232-Aktivitäten imprägnierter  $\text{Th}(\text{OH})_4$ -Gewebeplatten verschiedenen Typs (zur Herstellung von GK für Bahn, Strassenbeleuchtung, Campingbereich) der Auergesellschaft entnommen. Es ergibt sich hierbei ein arithmetisches Mittel für die Th-232-Aktivität von 704 Bq/g. Die imprägnierten Gewebeplatten können für nicht veraschte Produktionsabfälle (z. B. abgeschnittenes Gewebematerial, vgl. /U-43/) als repräsentativ angesehen werden.

Angaben zu massenbezogenen Th-232-Aktivitäten veraschter GK, die bei der Fa. Auergesellschaft in Berlin gefertigt wurden, befinden sich in /U-39/, /U-43/ bis /U-45/, /U-47/ und /U-60/. Nicht veraschtes GK-Material wurde mit der in unserem Veraschungs-Versuch erhaltenen Massenreduktion beim Veraschen von GK-Gewebe von ca. einem Faktor 5 und unter der Voraussetzung, dass beim Entflammen die Th-232-Aktivität im GK verbleibt (vgl. /U-46/), umgerechnet. Die Berechnung der Th-232-Aktivität eines GK mit 99 %  $\text{ThO}_2$  mit Hilfe der molaren Massen geht von einer spezifischen Aktivität von 4056 Bq/g Th aus. Die Berechnung der Th-232-Aktivität aus der vorgegebenen Ra-228-Aktivität erfolgte mit Aktivitätsverhältnissen, die bei Untersuchungen während der laufenden Produktion bei der Fa. Auergesellschaft ermittelt wurden.



Bei einer Streubreite für die Th-232-Aktivität von 2000 bis ca. 4000 Bq/g Th-232 orientierten wir uns bei der Festlegung der massenspezifischen Th-232-Aktivität veraschter Glühkörper am arithmetischen Mittel und nahmen eine mittlere Th-232-Aktivität von 3000 Bq/g an.

Die aus den gewählten Parametern gemäß den oben dargelegten Annahmen resultierenden Berechnungsergebnisse zum Aktivitätsinventar eines mit thorierten Glühkörpern gefüllten 200-l-Fasses sind in Tabelle 17 dargestellt.

Tabelle 17: Berechnungsergebnisse zum Th-232-Aktivitätsinventar eines mit thorierten Glühkörpern gefüllten 200-l-Behälters.

<b>Th-232-Aktivität pro Gebinde</b>	<b>Bemerkung</b>
1,89 mCi	Nicht veraschte Produktionsabfälle (z. B. Seide, Staub, Fusseln, GK-Reste etc.) ggf. bei Th-Rückgewinnung niedrigere Aktivität /U-47/
8,11 mCi	Produktionsabfälle und Rückführungen veraschter GK-Reste
16,22 mCi	Gepresste veraschte GK-Reste

Auch unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse sind die gemäß ASSEKAT/PAI angesetzten 3,6 mCi/Gebinde nicht für alle Arten möglichen GK-Gebinde abdeckend. Deshalb wurde anhand aller in den HMI-BL aufgeführten GK-Gebinde eine detailliertere Abschätzung mit nachfolgendem Ansatz vorgenommen:

- nur veraschte GK in einem Behälter
- Berücksichtigung „gepresst“ nur in Fällen mit expliziten diesbzgl. Angaben
- Volumenanteils-Faktor für Mischabfälle in einem Behälter: 0,5

Der Ansatz, allein von veraschten GK auszugehen, ist konservativ (vgl. Tabelle 17). Auch der Volumenanteils-Faktor tendiert anhand der mannigfaltigen Begleitabfälle in diesen Gebinden (vgl. Tabelle 18) in die konservative Richtung.

Tabelle 18: Zusammenstellung von Daten aus den Begleitlisten aller Gebinde mit Glühkörpern des Ablieferers HMI sowie eigene Berechnungen (TÜV).

Nr. Begleitschein	Anzahl Gebinde	Art des radioaktiven Abfalls	Th-232-Aktivität [mCi]		
			pro Gebinde (BL)	pro Charge (TÜV)	pro Charge (PAI)
1567	53	Glühstrümpfe, gepresstes Papier, Glasbruch, Probenfläschchen aus Polyäthylen	< 100	215	191
1568	80	Glühstrümpfe, gepresstes Papier, Glasbruch, Probenfläschchen aus Polyäthylen	< 100	324	288
1569	80	Glühstrümpfe, gepresstes Papier, Glasbruch, Probenfläschchen aus Polyäthylen	< 100	324	288
1570	57	Glühstrümpfe, Glasbruch	< 100	231	205
1571	28	Glühstrümpfe, gepresstes Papier, Laborgeräte	< 200	114	101
	4	Glühstrümpfe,	< 200	32	14
	45	Glühstrümpfe, gepresstes Papier, Laborgeräte	< 200	182	162
1572	78	Glühstrümpfe, Glasbruch, Brandschutt	< 100	316	281
1573	78	Glühstrümpfe, Glasbruch, Brandschutt	< 100	316	281
1574	78	Glühstrümpfe, Glasbruch, Brandschutt, Laborgeräteteile	< 100	316	281
1575	78	Glühstrümpfe, gepresstes Papier, Glasbruch, Laborgeräteteile	< 100	316	281
1576	78	Glühstrümpfe, gepresstes Papier, Laborgeräteteile	< 100	316	281
1577	78	Glühstrümpfe, gepresstes Papier, Filter, Laborgeräteteile	< 100	316	281
1578	77 (78 gem BL)	Glühstrümpfe, gepresstes Papier, Laborgeräteteile, Glasbruch	< 100	312	277
2135	46	Glühstrümpfe, Glasbruch, Metallteile	20	186	166
	14	veraschte Glühstrümpfe	50	114	50
	10	Glühstrümpfe	40	81	36
2136	21	Veraschte Glühstrümpfe, Glasbruch, Metallteile	50	85	76
2137	14	veraschte Glühstrümpfe	50	114	50
	9	Glühstrümpfe	20	73	32
2138	40	veraschte Glühstrümpfe	50	324	144
2139	78	Glühstrümpfe, gepresstes Papier, Glasbruch, Fällschlamm	< 200	316	281
2140	53	Glühstrümpfe, Ionenaustauscher, gepresstes Papier, Glasbruch, Probenfläschchen aus Polyäthylen	< 100	215	191
2141	53	Glühstrümpfe, gepresstes Papier, Glasbruch, Filter	< 100	215	191
2980	10	veraschte Glühstrümpfe	3,3	81	36
2982	16	gepresste Glühstrümpfe	0,01	259	58
2984	27	veraschte Glühstrümpfe	3,4	219	97
	30	veraschte Glühstrümpfe	0,01	243	108
<b>gesamt:</b>	<b>1313</b>		<b>gesamt:</b>	<b>6158</b>	<b>4727</b>



Durch Division des für die Gebinde abgeschätzten Th-232-Aktivitätsinventars von insgesamt 6158 mCi durch die zugehörige Gebindeanzahl von 1313 Stück ergibt sich das mittlere Th-232-Aktivitätsinventar von 4,7 mCi/Gebinde für GK. Dies liegt oberhalb der für die Berechnungsalgorithmen des PAI verwendeten Annahme von 3,6 mCi/Gebinde.

Wie bereits erwähnt, wurde bei unserer Abschätzung gemäß Tabelle 18 konservativ davon ausgegangen, dass sich hinter dem Begriff „Glühstrumpf“ veraschte GK verbergen, d. h. es wurde mit den Aktivitäten 8,11 bzw. 16,22 mCi/Gebinde gerechnet. Weiterhin enthält die Aktivitäts-Abschätzung gemäß Tabelle 18 folgende Konservativitäten:

- in einigen Fällen beträgt das Abfallvolumen weniger als 200 l (vgl. HMI-Schreiben JF/z vom 26.6.78 an GSF /U-5/);
- gemeinsam mit den GK-Resten können sich außer dem thorierten Gewebe auch andere GK-Bestandteile im Abfallbehälter befinden, wie z. B. Keramik- oder Holzsockel,
- der Volumenanteils-Faktor ist konservativ (s. o.).

Nach diesem Ansatz ergibt sich ein Th-232-Aktivitätsinventar von ca. 4,727 Ci (3,6 mCi/Gebinde x 1313 Gebinde - vgl. auch Tabelle 18) bzw. 1,75 E11 Bq. Die daraus berechnete Th-232-Masse beträgt entsprechend 43,11 Mg (43,12 Mg Thorium bei  $A_{Th-230} = A_{Th-232}$ ). Demgegenüber erscheint der Wert von 128,475 Ci, der sich aus den in den Begleitlisten deklarierten Aktivitäten ableitet, als deutlich überschätzt.

Daher stellen wir zusammenfassend fest, dass wir auf der Basis eigener unabhängiger Recherchen, Berechnungen und Messungen den Ansatz in der Datenbank ASSEKAT/PAI von 3,6 mCi/Gebinde bezüglich des Th-232-Aktivitätsinventars bei GK-Gebinden des Ablieferers HMI als realistisch bewerten. Von einer abdeckenden Aktivitäts-Abschätzung kann jedoch bei Verwendung dieses Ansatzes nicht ausgegangen werden.

Aufgrund eines fehlerhaften Eintrages bei der Datenerfassung in die ASSEKAT-Tabelle „Chargen-mod“ (Begleitliste ID-Nr. 1570, vgl. Kap. 5) und von weiteren Fehlern in der Datenbank ASSEKAT/PAI, Vers. 8.0 wurden bei der Berechnung



insgesamt 68 Gebinde zu viel berücksichtigt (BL ID-Nr. 1570: 20 Stück, ID-Nr. 2137: 19 Stück, ID-Nr. 2138: 8 Stück, ID-Nr. : 2980: 21 Stück). Bei der Berechnung mit der Datenbank ASSEKAT/PAI Vers. 9.2 wurden dann wiederum die 78 Gebinde der Begleitliste ID-Nr. 2139 zu wenig berücksichtigt. Die Ergebnisse der verschiedenen Berechnungsweisen zeigt Tabelle 19. Wir empfehlen, die diesbezüglich korrekte Gebindeanzahl in der Datenbank ASSEKAT/PAI entsprechend zu erfassen (vgl. Empfehlung E 3).

Tabelle 19: Vergleich des Th-232-Aktivitätsinventars für Glühkörper des Ablieferers HMI nach verschiedenen Berechnungsweisen.

	Th-232 [mCi]	Th-232 [Bq]	Th-232 [Mg]	GK [Mg]*	Anzahl Gebinde
<b>TÜV-Berechnung</b>	4727	1,75E+11	43,1	49,6	1313
<b>PAI, Vers. 8.0</b>	4972	1,84E+11	45,3	52,1	1381
<b>PAI, Vers. 9.2</b>	4691	1,74E+11	42,8	49,2	1303

\* Berechnet unter der Annahme veraschter GK mit 99 % ThO<sub>2</sub>-Anteil;  
 mit steigendem Anteil an nicht veraschtem GK-Gewebe erhöht sich die GK-Masse

### **Ra-228- und Th-228-Aktivitätsinventar**

In der Datenbank ASSEKAT/PAI Version 9.2 werden bez. der Tochternuklidaktivitäten Feststellungen der ESK/SSK-Stellungnahme vom 25.9.2008 /U-5/ berücksichtigt und damit die Nachbildung von Ra-228 und Th-228 aus Th-232 etabliert.

Die Berechnung der Tochternuklidaktivitäten Ra-228 und Th-228 mit dem PAI-Modul 9.2 wurde von uns anhand eines Beispiels überprüft. Für die 27 GK-Gebinde der Begleitliste ID-Nr. 2984 (Ausfertigungstag: 03.04.78; Einlagerungstag: 26.04.78; Ch-Nr. 19284) sind die mittels PAI ermittelten Berechnungsergebnisse in Abbildung 15 dargestellt.

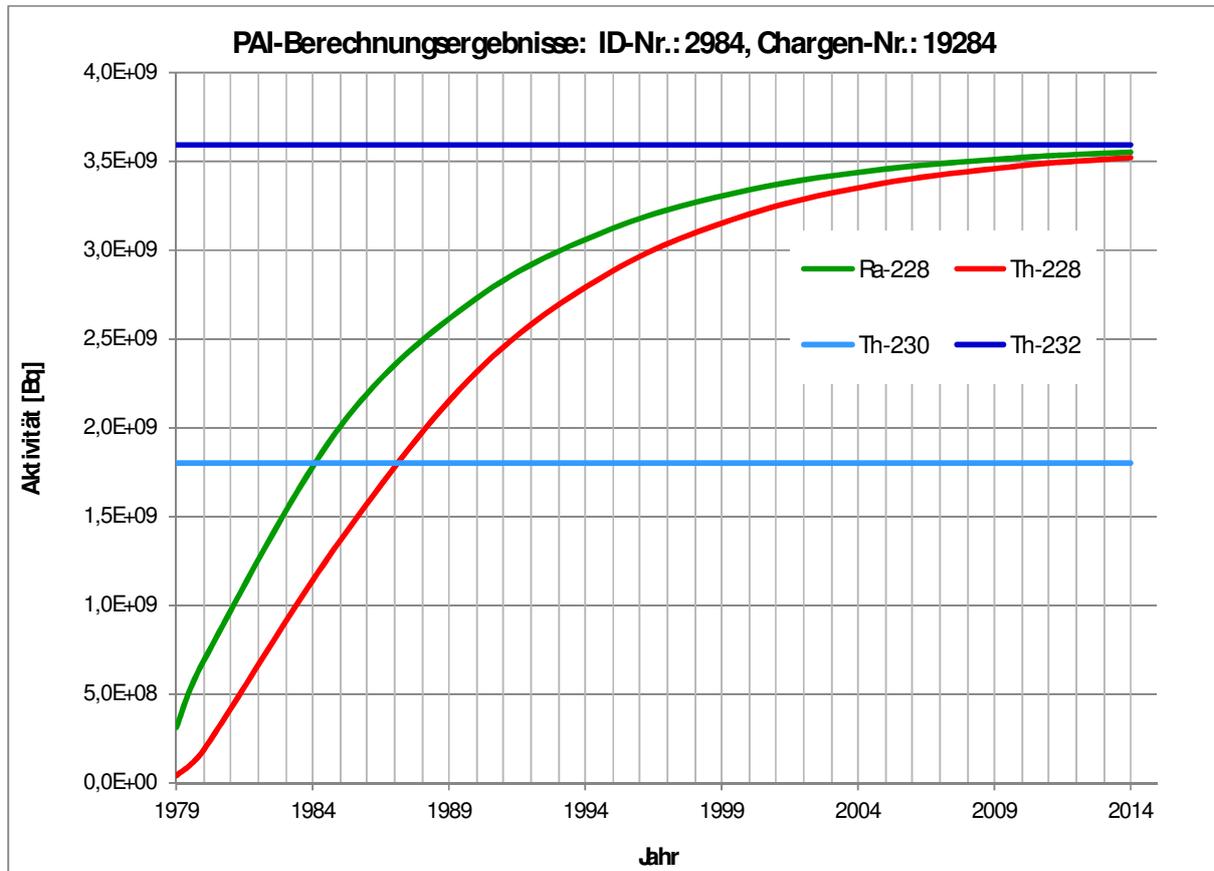


Abbildung 15: Mit dem PAI-Berechnungsmodul 9.2 ermittelter Aktivitätsverlauf der Radionuklide Th-232, Ra-228, Th-228 und Th-230 für GK des Ablieferers HMI (zum Th-230-Aktivitätsinventar siehe unten).

Die Berechnungen in der Datenbank ASSEKAT/PAI erfolgen analog der im GSF-Bericht 2002 /U-21/ auf Seite 13 angegebenen Formeln zur Berechnung von Einzelnuclidaktivitäten. Diese Formeln beschreiben den zeitlichen Aktivitätsverlauf von genetisch aufeinanderfolgenden Radionukliden ( $A_1 \rightarrow A_2 \rightarrow A_3$ ) bis zum dritten Glied (Enkeltochter) mit folgenden Anfangsbedingungen:  $A_2 = 0$ ;  $A_3 = 0$ .

In Abbildung 16 ist der Aktivitätsverlauf von chemisch abgetrenntem Th-232 und Th-228 sowie Ra-228 nach /U-48/ dargestellt ( $Th-232 \rightarrow Ra-228 \rightarrow Th-228$ ). Während die Aktivität von Th-232 aufgrund seiner großen Halbwertszeit nahezu zeitlich konstant ist, zerfällt das zunächst aktivitätsgleiche Th-228 (radioaktives Gleichgewicht im Erz vorausgesetzt), um dann über den Aktivitätsaufbau durch den Ra-228-Zerfall wieder anzusteigen.

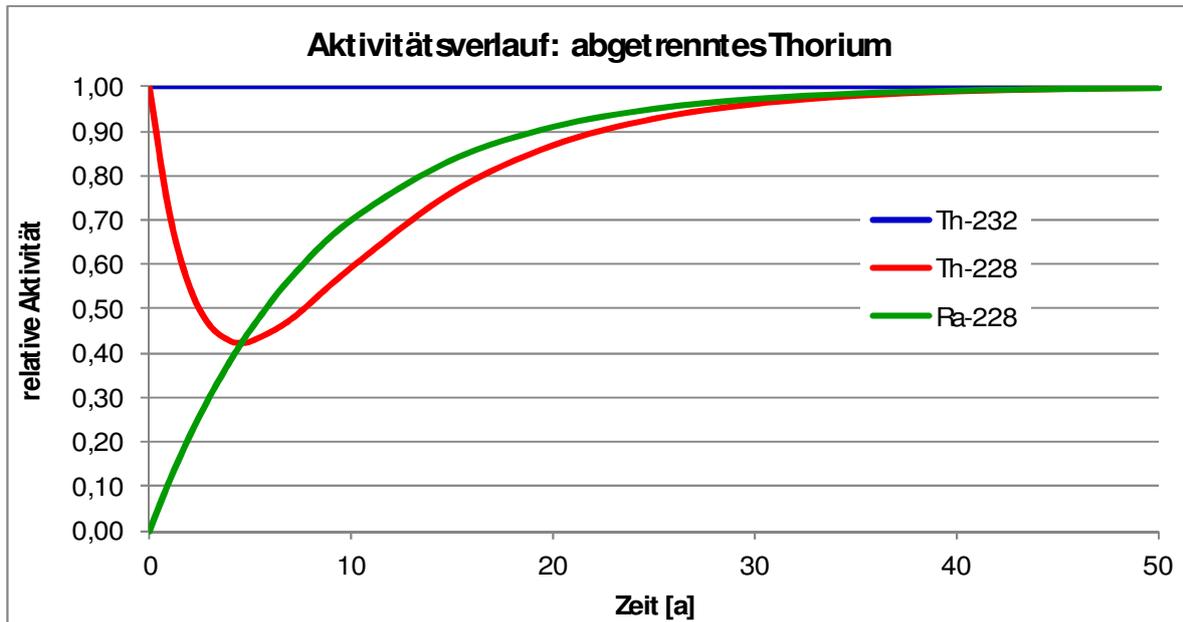


Abbildung 16. Aktivitätsverlauf von chemisch aus seinen Erzen abgetrenntem Thorium (Th-232 und Th-228) sowie dem Tochternuklid Ra-228.

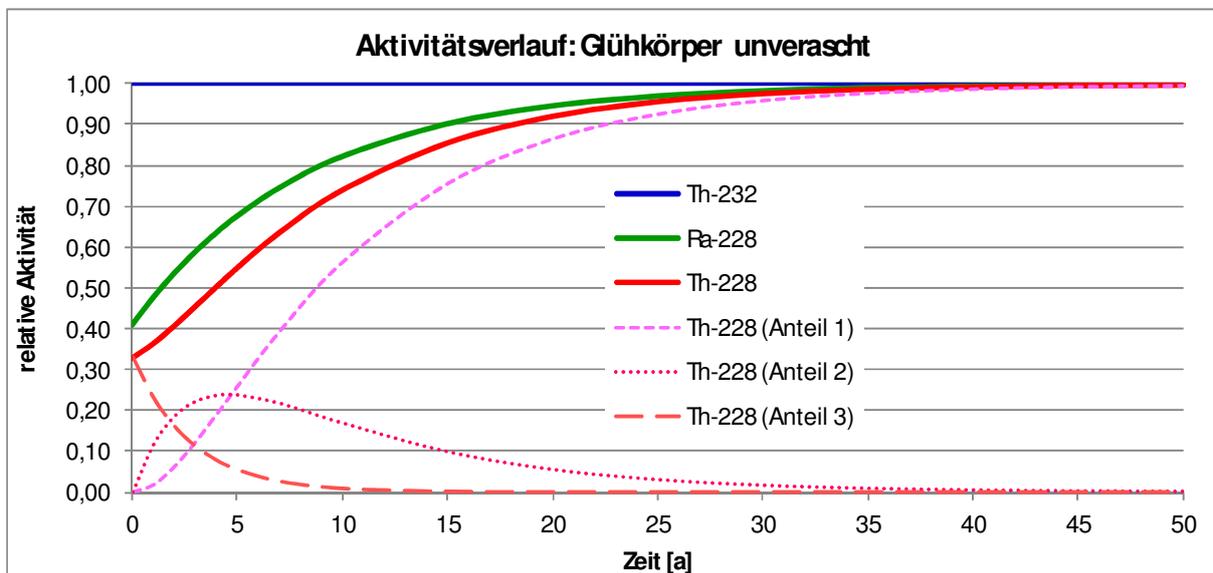


Abbildung 17: Relativer Aktivitätsverlauf von Th-232, Ra-228, Th-228 frisch gefertigter nicht veraschter Glühkörper (Zeitpunkt 0 entspricht Fertigungsende).

Anteil 1: Aufbau Th-228 (Enkeltochter) infolge des anfangs vorhandenen Th-232

Anteil 2: Aufbau Th-228 (Tochter) infolge des anfangs vorhandenen Ra-228

Anteil 3: Zerfall des anfangs vorhandenen Th-228

Bis zu seiner Verarbeitungszeit im Glühkörper vergehen, vom Abtrennungszeitpunkt aus gerechnet, in der Regel einige Jahre. Chemische Prozesse während der Th-Verarbeitung können den in Abbildung 16 dargestellten Kurvenverlauf verändern. In Abbildung 17 ist beispielhaft ein Aktivitätsverlauf dargestellt, wie er sich gemäß /U-43/ aus Messergebnissen von frisch produziertem nicht veraschten GK-Gewebe der Fa. Auergesellschaft ergibt. Die über mehrere Messungen gemittelten Aktivitäten am Fertigungsende der GK kennzeichnen die Anfangsbedingungen zum Zeitpunkt Null der Zerfallskurven.

Bezüglich der Produktionsabfälle nicht veraschter GK wurden die Aktivitätsverläufe nach Abbildung 17 auf das Beispiel von Abbildung 15 (27 GK-Gebinde der Begleitliste ID-Nr. 2984, Ch-Nr. 19284) angewendet. Abbildung 18 zeigt das Ergebnis. Das Ende der GK-Fertigung wurde dabei 2 Jahre vor den Einlagerungstermin gelegt.

Ein Vergleich von Abbildung 15 und Abbildung 18 zeigt, dass die mit der Datenbank ASSEKAT/PAI berechneten Ra-228 und Th-228-Aktivitäten zum Zeitpunkt der Einlagerung in die Asse um bis zu einer Größenordnung niedriger sind. Tabelle 20 zeigt einen Zahlenvergleich für das Berechnungsdatum 01.01.1980 und 01.01.2012.

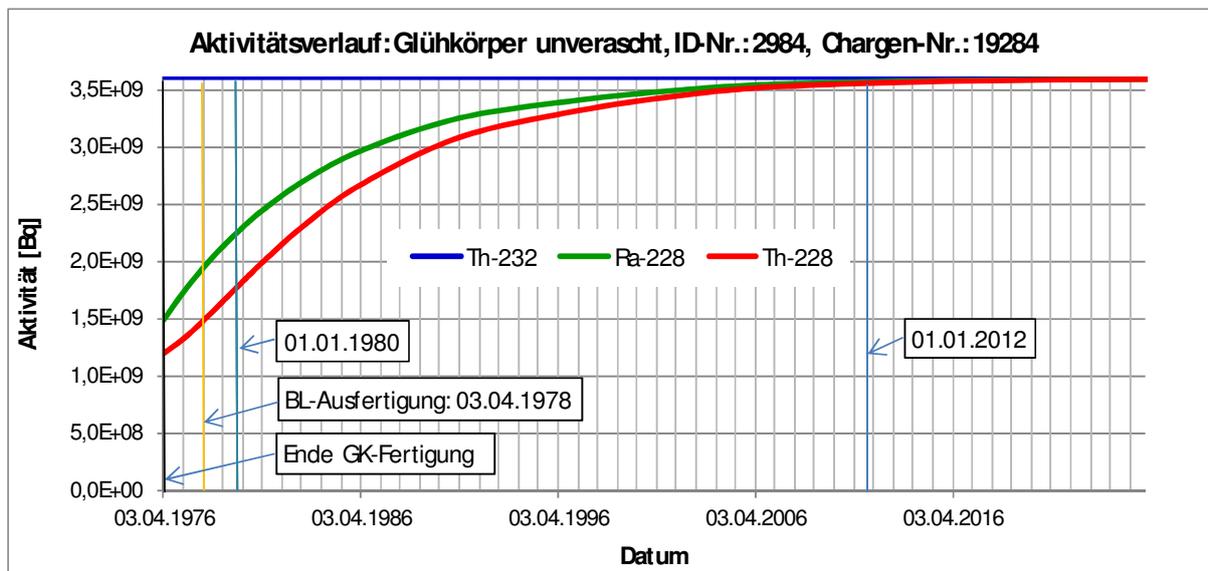


Abbildung 18: Ermittelter Aktivitätsverlauf der Radionuklide Th-232, Ra-228, Th-228 (TÜV-Berechnung) für GK des Ablieferers HMI.



Tabelle 20: Vergleich von Berechnungsergebnissen des Aktivitätsinventars von Th-232 und seinen Töchtern Ra-228 und Th-228 für Glühkörper des Ablieferers HMI (ID-Nr.: 2984, Chargen-Nr.: 19284) zu unterschiedlichen Bezugszeitpunkten.

Methode	Bezugsdatum	Aktivität [Bq]		
		Th-232	Ra-228	Th-228
PAI, Vers. 9.2	01.01.1980	3,6 E09	6,83 E08	1,82 E08
TÜV		3,6 E09	2,25 E09	1,77 E09
PAI, Vers. 9.2	01.01.2012	3,6 E09	3,53 E09	3,50 E09
TÜV		3,6 E09	3,57 E09	3,55 E09

Entsprechend den durchgeführten Berechnungen ist zu erkennen, dass aufgrund der großen Halbwertszeit des Mutternuklides Th-232 (säkulares Gleichgewicht) sich der unzureichende PAI-Ansatz zur Bestimmung der Tochternuklidaktivitäten Ra-228 und Th-228 mit fortschreitender Zeit immer weniger auf das Ergebnis auswirkt. So ist mit Datum 01.01.2012 die Abweichung der PAI-Berechnung vernachlässigbar.

Als Fazit folgt aus den obigen Betrachtungen, dass aufgrund unzureichender Anfangsbedingungen im Formelansatz des PAI /U-21/ zur Berechnung des Aktivitätsverlaufes der Tochternuklide Ra-228 und Th-228 für die ersten Einlagerungsjahre deutlich zu niedrige Aktivitätswerte berechnet werden, sich die berechneten Werte im Laufe der Zeit jedoch immer mehr an die realen Verhältnisse angleichen. Da die Radionuklide der Th-Reihe dem säkularen Gleichgewicht zustreben, sind die Berechnungsfehler in der Langzeitprognose vernachlässigbar.

### Th-230-Aktivitätsinventar

Bei der chemischen Abtrennung von Thorium aus seinen Erzen (i. d. R. Monazit) wird bei Vorhandensein von Th-230 aus der Uran-Reihe stets auch dieses Radionuklid mit extrahiert, so dass Thorium terrestrischen Ursprungs stets Th-230-Anteile in variablen lagerstättenspezifischen Mengen aufweist.

Der ESK/SSK-Stellungnahme vom 25.9.2008 /U-49/ bzw. /U-5/ folgend, wurde die Th-230-Aktivität in thoriumhaltigen Abfällen mit 50 % der Th-232-Aktivität (vgl. Abbil-

dung 15) abgeschätzt und die Nachbildung von Ra-226 aus Th-230 im PAI-Modul berücksichtigt. In /U-49/ werden Th-230/Th-232-Verhältnisse gemäß /U-50/ von 0,2 bis 0,5 zitiert, so dass die entsprechende Implementierung in der Datenbank ASSEKAT/PAI entsprechend /U-49/ nach konservativen Gesichtspunkten erfolgte. Literaturzitate (/U-39/, /U-43/ bis /U-45/, /U-51/ bis /U-58/) belegen hingegen, dass die Variationsbreite der Th-230/Th-232- Aktivitätsverhältnisse viel größer ist, als in /U-5/ dargestellt und auch Verhältnisse  $> 1$  nicht nur singulären Charakter besitzen.

In /U-43/ /U-44/ /U-45/ und /U-58/ sind Th-230/Th-232-Aktivitätsverhältnisse von Glühkörpermaterial der Fa. Auergesellschaft enthalten, von der, wie bereits beschrieben, auszugehen ist, dass sie den Hauptanteil der vom HMI an die Asse abgegebenen Glühkörper stellt. Danach liegt im Mittel ein Th-230/Th-232-Aktivitätsverhältnis von 0,26 vor. Nach dem Veröffentlichungsdatum betreffen die Messungen jedoch Thorium, das in den 90er Jahren verarbeitet wurde. Deshalb kann nicht ohne Weiteres auf die Zusammensetzung des Thoriums aus früheren Produktionsjahren geschlossen werden, da letzteres von der Erzgewinnungsstätte abhängt. Die von uns recherchierten Daten widersprechen nicht dem PAI-Ansatz, Th-230/Th-232 = 0,5 zur Abschätzung des in den HMI-GK-Behältern befindlichen Th-230-Aktivitätsinventars anzusetzen. Jedoch kann der Ansatz anhand der Literaturwerte nicht mehr als konservativ angesehen werden.

Die bereits bei der Bewertung des Th-232-Inventars diskutierten Unterschiede bezüglich der Erfassung der GK-Gesamtgebändeanzahl ergeben für das Th-230-Aktivitätsinventar die in Tabelle 21 dargestellten Differenzen. Hinsichtlich des Gesamtinventars an Th-230 sind die Unterschiede gering.

Tabelle 21: Vergleich des Th-230-Aktivitätsinventars für Glühkörper des Ablieferers HMI nach verschiedenen Berechnungsweisen.

	Th-230 [mCi]	Th-230 [Bq]	Anzahl Gebinde
<b>TÜV-Berechnung</b>	2364	8,75E+10	1313
<b>PAI, Vers. 8.0</b>	2486	9,20E+10	1381
<b>PAI, Vers. 9.2</b>	2346	8,68E+10	1303



## **Ra-226- und Pb-210-Aktivitätsinventar**

Der Aktivitätsverlauf der dem Th-230 nachfolgenden Radionuklide Ra-226 und Pb-210 wurde mit der Datenbank ASSEKAT/PAI beispielhaft für die 27 GK-Gebinde der Begleitliste ID-Nr. 2984, Ch-Nr. 19284 berechnet (s. Abbildung 19). Sofern zum Einlagerungszeitpunkt noch kein Ra-226 und Pb-210 vorhanden ist, sind die Aktivitätsverläufe bei Vernachlässigung der kurzlebigen Zerfallzwischenprodukte nachvollziehbar.

Wie bereits o. erläutert, liegen zwischen dem Th-Abtrennungszeitpunkt und der Th-Verarbeitung in der Regel einige Jahre. In /U-39/ werden für Glühkörper Thoriumabtrennzeiten von 1,1 bis 7,4 Jahren genannt. Aus dem Th-228/Th-232-Verhältnis einer von der PTB vermessenen Thoriumnitratprobe der Fa. Auergesellschaft /U-58/ kann aus den Radionuklidverhältnissen der Zeitraum seit der Th-Abtrennung zu ca. 5 Jahren bestimmt werden.

Mit dieser Vorgabe wurden für das o. a. Beispiel der 27 GK-Gebinde der Begleitliste ID-Nr. 2984 (Ausfertigungstag: 03.04.78; Einlagerungstag: 26.04.78) die Aktivitätsverläufe für Ra-226 und Pb-210 berechnet. Das Ende der GK-Fertigung wurde dabei 2 Jahre vor dem Einlagerungstermin gelegt. In Abbildung 19 ist das Ergebnis der Aktivitätsberechnungen zusammen mit den ASSEKAT/PAI-Ergebnissen dargestellt.

Man erkennt aus Abbildung 19, dass die mit der Datenbank ASSEKAT/PAI berechneten Ra-226- und Pb-210-Aktivitäten bis zu einer Größenordnung niedriger sind. Tabelle 22 zeigt einen entsprechenden Vergleich der Aktivitätswerte für das Berechnungsdatum 01.01.1980 und 01.01.2012.

Anhand der Tabelle 22 wird deutlich, dass sich aufgrund der Annäherung an das säkulare Gleichgewicht (große Halbwertszeit des Mutternuklides Th-230 im Vergleich zu Ra-226/Pb-210) der unzureichende PAI-Ansatz zur Bestimmung der Tochternuklidaktivitäten Ra-226 und Pb-210 mit fortschreitender Zeit immer weniger auf das Ergebnis auswirkt. So beträgt mit Datum 01.01.2012 die Aktivitäts-Unterschätzung in diesem Beispiel für Ra-226 ca. 20 % und für Pb-210 knapp 30 %. Würde dies auf alle HMI-Abfälle übertragen werden, läge die Unterschätzung für diese beiden Nuklide

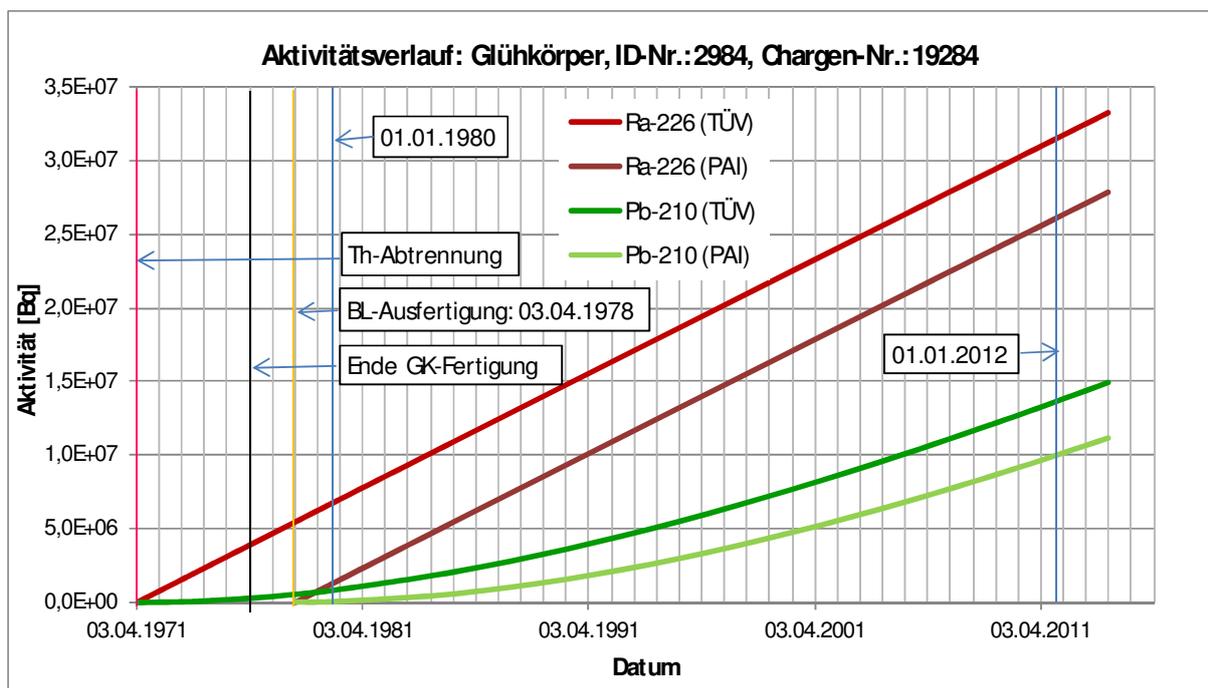


Abbildung 19: Ermittelter Aktivitätsverlauf der Radionuklide Ra-226 und Pb-210 (TÜV-Berechnung im Vergleich zu PAI-Ergebnis) für GK des Ablieferers HMI.

unterhalb von einem Prozent des jeweiligen Asse-Gesamtinventars. Wir empfehlen, für die Radionuklide Pb-210 und Ra-226 aus konservativen Gesichtspunkten bei einer Sicherheitsanalyse den Gewinnungszeitpunkt des Thoriums/Radiums (Abtrennzeit) entsprechend zu berücksichtigen (vgl. Empfehlung E 3).

Tabelle 22: Vergleich von Berechnungsergebnissen des Aktivitätsinventars von Ra-226 und Pb-210 für Glühkörper des Ablieferers HMI (BL ID-Nr. 2984, Chargen-Nr. 19284) zu unterschiedlichen Bezugszeitpunkten.

Methode	Bezugsdatum	Aktivität [Bq]	
		Ra-226	Pb-210
PAI, Vers. 9.2	01.01.1980	1,36 E06	3,63 E04
TÜV		6,81 E06	8,48 E05
PAI, Vers. 9.2	01.01.2012	2,61 E07	9,96 E06
TÜV		3,15 E07	1,37 E07



### 6.2.2.2 HMI-Abfälle: sonstige thoriumhaltige Abfälle

In Tabelle 23 haben wir für die sonstigen thoriumhaltigen HMI-Abfälle die in Begleitlisten und Fragebögen aufgeführten Gebinde zusammengestellt, bei denen die mittels der Datenbank ASSEKAT/PAI Version 9.2 berechneten Th-232-Aktivitäten mit den von uns berechneten Aktivitäten nicht übereinstimmen.

Tabelle 23: Zusammenstellung von Daten aus den Begleitlisten aller Gebinde mit sonstigen thoriumhaltigen Abfällen des Ablieferers HMI sowie eigene Berechnungen (TÜV).

FB/ BL ID-Nr.	Anzahl Gebinde	Art des radioaktiven Abfalls	Nuklide	Aktivität	Th-232-Aktivität	
				[mCi]	[Bq]	
				pro Gebinde (BL)	pro Charge (TÜV)*	pro Charge (PAI)
303	1	Abluftfilter, gepresstes Papier	Ra, Th	10	3,70E+08	0
2137	17	Metallteile, Glasbruch	Pm-147, ThO <sub>2nat</sub>	50	3,15E+10	2,26E+09
	2	Probefläschchen, Gelter	H-3, C-14, nat. Th	20	1,48E+09	2,66E+08
2138	15	Metall, Glasbruch	Pm-147, ThO <sub>2nat</sub>	50	2,78E+10	1,39E+10
	8				1,48E+10	1,07E+09
	5	gepresstes Papier	ThO <sub>2</sub> , Tl-204, Co-60, Ba-133	20	3,70E+09	2,03E+05

\* berechnet entsprechend den Aktivitätsangaben in den Begleitlisten

Zur Abfallart der sonstigen thoriumhaltigen HMI-Abfälle liegen keine Informationen vor, um eine unabhängige Abschätzung des Th-232-Inventars vorzunehmen zu können. Aus unserer Sicht ist die ASSEKAT/PAI-Berechnung der Th-232-Aktivität auf Basis der deklarierten mittleren Aktivitäten pro Charge plausibel und gerechtfertigt.

Die Aktivitätsverläufe des Ra-228 und Th-228 gemäß den Berechnungsergebnissen der Datenbank ASSEKAT/PAI folgen hierbei nicht denen von abgetrenntem Thorium. Wie bereits bei den Glühkörpern wird die Aktivität zum Ausfertigungszeitpunkt - entsprechend dem Abtrennalter - ignoriert und stattdessen mit den Anfangsbedingungen  $A_2 = 0$  bzgl. Tochter (Ra-228) und  $A_3 = 0$  bzgl. Enkeltochter (Th-228) kalkuliert. Die Ra-228- und Th-228-Aktivitäten werden mit der Datenbank ASSEKAT/PAI für die



ersten Einlagerungsjahre entsprechend zu niedrig bestimmt. Wie bereits bei den Glühkörpern zeigt sich, dass sich aufgrund des säkularen Gleichgewichts der falsche PAI-Ansatz zur Bestimmung der Tochternuklidaktivitäten Ra-228 und Th-228 mit fortschreitender Zeit immer weniger auf das Ergebnis auswirkt. So sind auch hier mit Datum 01.01.2012 die Berechnungsfehler nicht mehr gravierend.

Bei den Begleitlisten und Fragebögen in der Tabelle 23 wird das Aktivitätsinventar nicht durch direkte Umrechnung der in den Begleitlisten deklarierten Aktivitäten (Aktivität x Anzahl der Gebinde) gewonnen. Bei diesen Chargen ist zunächst festzustellen, dass die mit der Datenbank ASSEKAT/PAI berechnete Th-232-Aktivität im Vergleich zu der über die Aktivitätsangaben in den Begleitlisten berechneten Aktivität niedriger ist. Im Einzelnen bewerten wir die verschiedenen Berechnungsweisen wie folgt:

#### **Fragebogen ID-Nr. 303 (Ch-Nr. 1408):**

Bei konservativem Vorgehen würde die für Thorium und Radium deklarierte Aktivität vollständig auf Th-232 bezogen werden, d. h. mit dem in der Tabelle 23 angegebenen Ergebnis von  $3,7 \text{ E}8 \text{ Bq}$ . Mittels ASSEKAT/PAI wird hingegen die deklarierte Aktivität ausschließlich auf Ra-228 und Ra-226 umgelegt und die Th-232-Aktivität ebenso wie die Th-230-Aktivität Null gesetzt. Die Tochternuklide Th-228 und Pb-210 folgen dann entsprechend dem radioaktiven Zerfall mit den Anfangsbedingungen:  $A_{\text{Th-228}} = 0$ ;  $A_{\text{Pb-210}} = 0$ .

Abbildung 20 zeigt die entsprechenden Aktivitätsverläufe nach dem PAI-Algorithmus. Da das früheste Berechnungsdatum mit der Datenbank ASSEKAT/PAI der 01.01.1979 ist, wurden zur Verdeutlichung die Kurvenverläufe bis zum Ausfertigungsdatum des Fragebogens (16.01.68) verlängert.

Vergleichend dazu sind in Abbildung 21 die von uns berechneten Aktivitätsverläufe nach konservativem Ansatz (deklarierte Aktivität vollständig auf Th-232 bezogen) dargestellt. Die Th-230-Aktivität wurde mit dem gemäß /U-15/ für thoriumhaltige Abfälle zu berücksichtigenden Verhältnis von Th-230/Th-232 = 0,5 angesetzt sowie ein Th-Abtrennzeitpunkt von zehn Jahren vor FB-Ausfertigung angenommen und somit die Anfangsbedingungen entsprechend berücksichtigt.

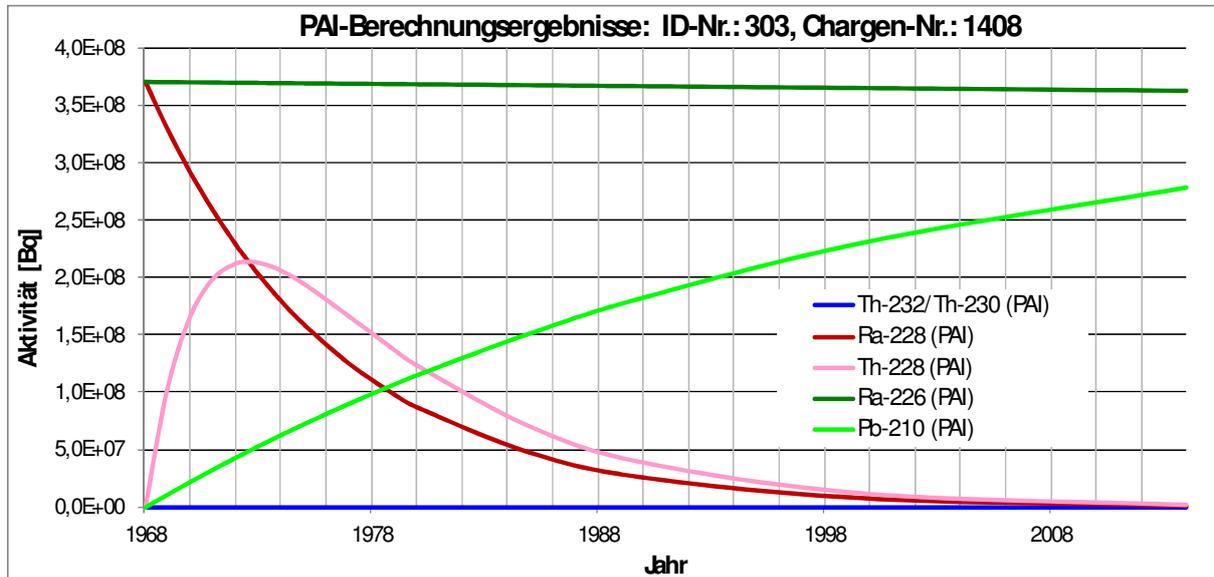


Abbildung 20: Mit ASSEKAT/PAI 9.2 ermittelter Aktivitätsverlauf der Radionuklide Th-232, Th-230, Ra-228, Th-228, Ra-226 und Pb-210 für sonstige thoriumhaltige Abfälle des Ablieferers HMI (für den Zeitraum vom Ausfertigungsdatum 16.01.68 bis zum 01.01.1979 wurden zusätzliche Daten eingefügt).

Der von uns gemäß Abbildung 21 ermittelte Aktivitätsverlauf zeigt Th-232 und Th-230 als Mutternuklide. Die Tochter- und Enkeltochternuklide Ra-228, Th-228, Ra-226 und Pb-210 sind gemäß dem angenommenen Th-Abtrennzeitpunkt 16.01.1958 berücksichtigt. Demgegenüber fehlen gemäß Abbildung 20 den Ergebnissen der ASSEKAT/PAI-Aktivitätsberechnungen zufolge die Mutternuklide Th-232 und Th-230 vollständig. Stattdessen werden Ra-226 und Ra-228 als Mutternuklide mit jeweils gleicher Anfangsaktivität betrachtet und Th-228 und Pb-210 bilden die jeweiligen Töchter.

Der von uns gewählte Ansatz, die für Thorium und Radium deklarierte Aktivität allein auf Thorium zu beziehen, ist im Hinblick auf die Bestimmung des Aktivitätsinventars konservativ. Dieses Vorgehen schließt eine Aktivitätsunterschätzung aus, impliziert jedoch auch eine hohe Wahrscheinlichkeit einer Überbewertung. Bei gleichzeitiger

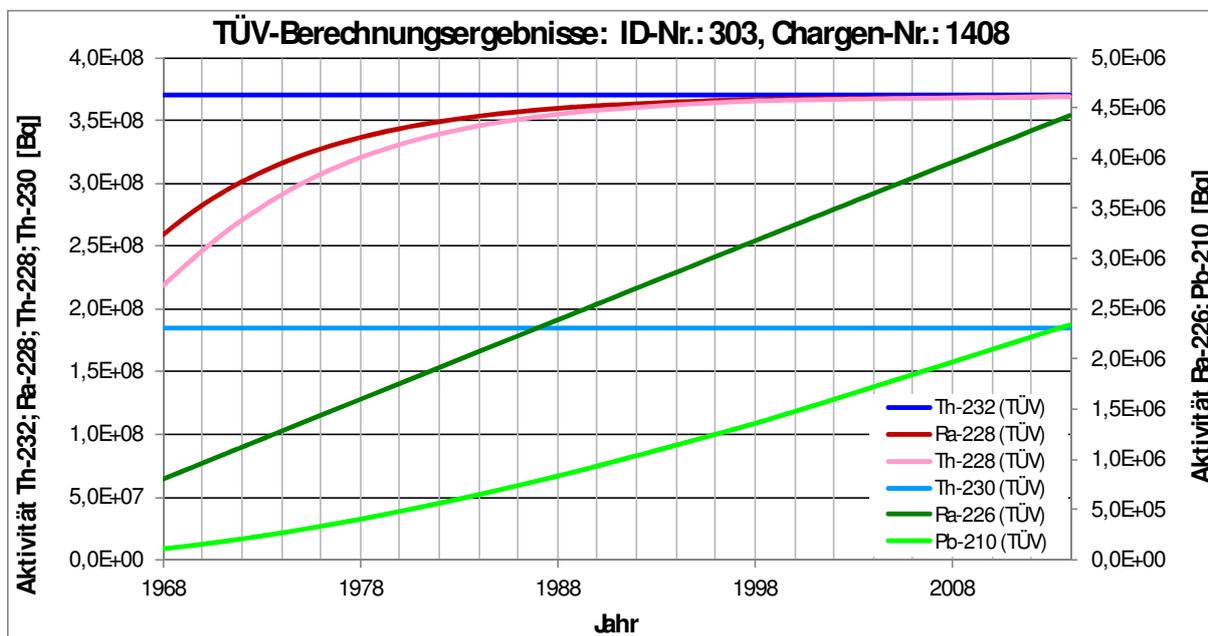


Abbildung 21: Ermittelter Aktivitätsverlauf der Radionuklide Th-232, Th-230, Ra-228, Th-228, Ra-226 und Pb-210 (TÜV-Berechnung) für sonstige thoriumhaltige Abfälle des Ablieferers HMI (Th-Abtrennzeitpunkt: 16.01.1958; Ausfertigungsdatum 16.01.68).

Deklaration von Ra-226 und Th-232 und konservativem Ansatz für beide Radionuklide bei der Aktivitätsaufteilung sollte zur Vermeidung von Doppelkonservativitäten die Aufbaureaktion des Ra-226 und Pb-210 als Tochternuklide des Th-230 in der Datenbank ASSEKAT/PAI nicht berücksichtigt werden. Dies würde sich insbesondere bei einer Sicherheitsanalyse zu längeren Zeiträumen hin auswirken. Aufgrund des vergleichsweise geringen Aktivitätsinventars der vorliegenden Charge kann dies jedoch vernachlässigt werden.

### Begleitlisten ID-Nr. 2137 (Ch-Nr. 12211 und 12216) und ID-Nr. 2138 (Ch-Nr. 12220)

Die Datenbank ASSEKAT/PAI ermittelt die Th-232-Aktivität mit dem Ansatz von 3,6 mCi/Gebinde, die Th-230-Aktivität mit 1,8 mCi/Gebinde und die Tochternuklide Ra-228 und Th-228 entsprechend dem radioaktiven Zerfall, jedoch mit den nicht korrekten Anfangsbedingungen  $A_{Ra-228} = 0$ ;  $A_{Th-228} = 0$ . Der Ansatz von 3,6 mCi/Gebinde wurde für Glühkörper verwendet (s. o.) und ist bei den sonstigen thoriumhaltigen Abfällen unzutreffend. Auch für die Ra-226-Aktivität wird der Ansatz



3,6 mCi/Gebinde herangezogen und die Pb-210-Aktivität mit den nicht korrekten Anfangsbedingungen  $A_{\text{Pb-210}} = 0$  errechnet.

Berechnet man bei Berücksichtigung geeigneter Anfangsbedingungen die Aktivitäten konservativ, d. h. die Th-232-Aktivität ist gleich der deklarierten Aktivität, so ergeben sich gegenüber den mit der Datenbank ASSEKAT/PAI berechneten Aktivitätswerten jeweils höhere Werte. Aus konservativer Sicht empfehlen wir, für die Begleitlisten ID-Nr. 2137 (Ch-Nr. 12211 und 12216) und ID-Nr. 2138 (Ch-Nr. 12220) in der Datenbank ASSEKAT/PAI die Aktivitätsbestimmung zu überprüfen und ggf. das Aktivitätsinventar entsprechend anzupassen (Empfehlung E 3).

### **Begleitliste ID-Nr. 2138 (Ch-Nr. 20252)**

Die Datenbank ASSEKAT/PAI berechnet die Th-232-Aktivität zu 50 % der für  $\text{ThO}_{2\text{nat}}$  und Pm-147 gemeinsam deklarierten Aktivität. Ra-228 und Th-228 werden entsprechend dem radioaktiven Zerfall, jedoch mit den nicht korrekten Anfangsbedingungen  $A_{\text{Ra-228}} = 0$ ;  $A_{\text{Th-228}} = 0$  berechnet. Th-230 und dessen Folgenuklide Ra-226 und Pb-210 werden gleich Null gesetzt.

Der Ansatz, bei mehreren in den Begleitlisten deklarierten Radionukliden, die deklarierte Aktivität entsprechend der Anzahl der Radionuklide äquivalent aufzuteilen, ist hinsichtlich der Deklaration der angegebenen Einzelnuklide als nicht abdeckend zu bewerten. Aus konservativer Sicht empfehlen wir, die angegebene Aktivität jeweils auf die Einzelnuklide aufzuteilen (vgl. Empfehlung E 3).

Unzureichend bleibt das Nullsetzen der Th-230-Aktivität und das Nichtbeachten von Null verschiedener Anfangsbedingungen (s. u.).

### **Begleitliste ID-Nr. 2138 (Ch-Nr. 12219)**

Die Datenbank ASSEKAT/PAI berechnet für Th-232 eine Aktivität von 2,03 E5 Bq. Dieser Wert entspricht 50 g reinem Th-232. Dies bedeutet, dass die im GSF-Bericht 2002 /U-21/ beschriebene „Kontaminationsmasse“ von 50 g Th-232 pro Gebinde zum Ansatz gebracht wurde, ohne jedoch diese mit der Gebindeanzahl fünf zu multiplizieren.



Vor dem Hintergrund der Angaben in der Begleitliste ID-Nr. 2138 sehen wir keine stichhaltige Begründung für das in der Datenbank ASSEKAT/PAI gewählte Vorgehen. In Tabelle 24 haben wir für Th-232 die Aktivität unter Zugrundelegung konservativer Annahmen (deklarierte Aktivität allein Th-232 zugewiesen) und der Annahme einer ggf. nicht abdeckenden gleichmäßigen Aufteilung der deklarierten Nuklide berechnet.

Tabelle 24: Vergleich von Berechnungsergebnissen des Aktivitätsinventars von Th-232 für sonstige thoriumhaltige Abfälle des Ablieferers HMI (Begleitliste ID-Nr. 2138, Chargen-Nr. 12219).

Methode	Bezugsdatum	Th-232-Aktivität [Bq]
PAI, Vers. 9.2	01.01.1980	2,03E+05
TÜV, konservativ		3,70E+09
TÜV, aufgeteilte Nuklide		9,25E+08

Der Unterschied zwischen unseren Berechnungsergebnissen und den ASSEKAT/PAI-Ergebnissen beträgt vier Größenordnungen. Wir empfehlen, für die Begleitliste ID-Nr. 2138 (Ch-Nr. 12219) in der Datenbank ASSEKAT/PAI die höhere Aktivität entsprechend zu berücksichtigen (vgl. Empfehlung E 3).

Die Th-230-Aktivität wurde dem PAI zufolge mit 50 % der Th-232-Aktivität angesetzt. Auch die Folgenuklide sind in der Datenbank ASSEKAT/PAI 9.2 berücksichtigt, jedoch alle mit zu Null gesetzten Anfangsbedingungen (s. u.).

### Th-230-Aktivität

Eine Th-230-Aktivität wird lediglich für die Begleitlisten ID-Nr. 2137 (Ch-Nr. 12211, 12216) und ID-Nr. 2138 (Ch-Nr. 12219, 12220, nicht für 20252) ausgewiesen. Die Th-230-Aktivität beträgt jeweils 50 % der Th-232-Aktivität (analog GK). Die Realitätsnähe dieses Ansatzes wurde bereits oben diskutiert. Wir empfehlen, für die Begleitlisten, für die mit der Datenbank ASSEKAT/PAI kein Th-230-Aktivitätsanteil berechnet wird, diesen einschließlich der Tochternuklide Ra-226 und Pb-210 entsprechend zu berücksichtigen (vgl. Empfehlung E 3).



Mit der Implementierung des Th-230 werden auch die Aktivitäten der Töchter Ra-226 und Pb-210 berechnet. Analog zur Berechnung bei den GK wurde der Aktivitätsaufbau seit der Thoriumabtrennung nicht beachtet. Die zu Null gesetzten Anfangsbedingungen der Radionuklide Ra-226 und Pb-210 entsprechen somit nicht der Realität. Bereits bei der Bewertung der berechneten GK-Aktivitätsinventare wurden die Auswirkungen falscher Anfangsbedingungen auf die Tochternuklidaktivitätsverläufe des Ra-226 und Pb-210 diskutiert (vgl. oben).

Im Beispiel der Abbildung 19 beträgt der Zeitraum zwischen der Th-Abtrennung und der Abfalleinlagerung 7 Jahre. Bei den hier betrachteten thoriumhaltigen Abfällen kann dieser Aufbauzeitraum durchaus größer sein, so dass größere Aktivitätsdifferenzen zwischen berechneter und tatsächlicher Aktivität resultieren. In /U-39/ wurden z. B. für Glühkörper Abtrennzeiten bis zu 7,4 Jahren und für WIG-Schweißelektroden bis zu 9,2 Jahren ermittelt, in /U-61/ werden für eine thorierte optische Linse und für thorierte Al-Mg-Legierungen 15 Jahre Abtrennzeit angegeben. Wie bereits oben bei der GK-Betrachtung dargestellt, wirkt sich der diesbezüglich falsche PAI-Ansatz zur Bestimmung der Tochternuklidaktivitäten Ra-226 und Pb-210 mit fortschreitender Zeit immer weniger auf das Ergebnis aus.

### **6.2.2.3 Abfälle der Fa. Transnuklear und der NUKEM**

Hinsichtlich der ca. 26 Mg bzw. ca. 6 Mg Thorium, die von der Fa. Transnuklear bzw. NUKEM an die Asse abgeliefert worden, haben wir ebenfalls keine Unterlagen mit Angaben zur Isotopenzusammensetzung. Wir halten die Erkenntnisse zu den Isotopenverhältnissen, die wir bezüglich der Abfälle des HMI dargelegt haben, auf die Thorium-Abfälle der Firmen Transnuklear und NUKEM für übertragbar. Wählt man, wie für die HMI-Abfälle dargelegt, für die Thorium-Inventarberechnung mit der ASSEKAT/PAI oder einem anderen Programm einen konservativen Ansatz unter Berücksichtigung der natürlichen Zerfallsreihen, so kann das radioaktive Inventar des Thoriums und seiner Tochternuklide von Beginn der Einlagerung an angemessen berechnet werden. Nach ca. 50 Jahren nach der Thoriumabtrennung ist der Unterschied gegenüber der aktuellen Version der ASSEKAT/PAI kaum noch relevant.



### 6.2.3 Uranhaltige Abfälle

In Tabelle 25 haben wir die auf Grundlage der zwischenzeitlich aktualisierten Datenbank ASSEKAT/PAI Version 9.2 ermittelten Uranmassen und isotopenspezifischen Aktivitäten für die verschiedenen Ablieferer ohne GfK/KfK aufgelistet. Mehr als 90 % der ermittelten Uranmasse wurden demnach von den Ablieferern NUKEM und Transnuklear an die Asse abgeliefert.

Für den Ablieferer GfK/KfK erfolgte die Berechnung des Aktivitätsinventars der Uranisotope über spezifische Uranvektoren der verschiedenen Wiederaufarbeitungskampagnen. Zur Bewertung verweisen wir hierzu auf Kap. 6.1.1 des vorliegenden Berichts und auf die Ergebnisse in unserer Stellungnahme zur Überprüfung der Kernbrennstoffdaten /U-3/.

Tabelle 25: Auf Grundlage der Datenbank ASSEKAT/PAI Version 9.2 ermittelte Uranmassen und isotopenspezifische Aktivitäten (Bezugsdatum 01.01.1980) für die verschiedenen Ablieferer mit einer berechneten Uranmasse größer 1 kg ohne GfK/KfK.

Ablieferer	Uran [Mg]	U-234 [Bq]	U-235 [Bq]	U-238 [Bq]
FRM	0,002	1,10E+09	1,20E+06	1,87E+04
GKSS	0,155	2,20E+09	9,31E+07	1,91E+09
GNS	0,002	5,45E+07	8,40E+05	2,27E+07
GSF-Hannover	0,010	2,96E+05	4,57E+03	1,23E+05
GSF-Neuherberg	0,207	1,29E+08	5,85E+06	1,26E+08
HMI	0,738	2,60E+09	2,42E+08	2,53E+09
KFA	1,059	1,30E+10	4,25E+08	9,12E+09
KRT	0,910	1,37E+10	6,66E+08	1,31E+10
KWO	0,002	2,07E+10	2,18E+08	1,13E+10
KWU-Erlangen	0,016	2,38E+07	1,20E+07	1,98E+08
KWU-Karlstein	0,006	7,63E+07	3,26E+06	7,03E+07
MP	0,143	1,81E+09	8,22E+07	1,76E+09
NUKEM	60,126	7,41E+11	2,83E+10	7,43E+11
RBU	2,471	2,73E+10	7,81E+08	3,06E+10
Steag	0,005	1,48E+08	2,28E+06	6,17E+07
Transnuklear	33,256	4,21E+11	1,91E+10	4,11E+11
Summe	98,047	1,25E+12	5,00E+10	1,22E+12



Die Berechnung der in Tabelle 25 zusammengefassten Aktivitäten der Uranisotope U-234, U-235 und U-238 uranhaltiger Abfallgebinde von Ablieferern (ohne KfK/GfK), die in den Fragebögen/Begleitlisten Angaben über Uran in der natürlichen Isotopenzusammensetzung und/oder abgereichertes Uran machten, erfolgt im PAI 9.2 im Modul „Aktivitätsberechnung Kernbrennstoff“ auf verschiedene Berechnungsroutinen:

- Uranisotopenmassen aus der U-235-Masse bzw. der Urangesamtmasse (natürliches Isotopenverhältnis oder Isotopenverhältnis von 0,3 % U-235)
- Uranisotopenmassen aus der angegebenen Chargen-Aktivität
- Aktivität der Uranisotope aus den berechneten Uranisotopenmassen
- Uranisotopenmassen aus der maximalen Urankontamination oder der maximalen Uranmasse (g/Gebinde).

In Abhängigkeit von der Isotopenzusammensetzung der deklarierten Uranmassen bzw. der Uran-Aktivitäten ergeben sich bei der Berechnung der isotopenspezifischen Uran-Aktivitäten Unterschiede. Natururan besteht aus den Isotopen U-234, U-235 und U-238, wohingegen bei bestrahltem Uran zusätzlich die Isotope U-233 und U-236 zu berücksichtigen sind. Bei der nachfolgenden Betrachtung sind wir davon ausgegangen, dass es sich bei dem in den Primärdokumenten angegebenen abgereicherten Uran und Natururan nicht um bestrahltes oder wiederaufgearbeitetes Uran handelt.

Zur Bewertung der Bestimmung des Inventars an angereichertem Uran der sonstigen Ablieferer ohne GfK/KfK verweisen wir auf die Ergebnisse in unserer Stellungnahme zur Überprüfung der Kernbrennstoffdaten /U-3/.

Beim Natururan handelt es sich um Uran in der Isotopenzusammensetzung, wie es in der Natur vorkommt. Die Prozentangaben der Uranisotope für Natururan in Lehrbüchern oder anderen Veröffentlichungen schwanken geringfügig. Im PAI wird für die Isotopenverteilung von Natururan ein Massenanteil von 0,72 % U-235, 0,0057 % U-234 und 99,27 % U-238 verwendet.

Die Angabe „abgereichertes Uran“ ist in den Primärdokumenten nicht näher spezifiziert. Beim Anreicherungsprozess entsteht neben dem angereicherten Uran zudem

abgereichertes Uran. Der Anteil von U-235 ist im abgereicherten Uran typischerweise auf 0,2 bis 0,3 % reduziert /U-66/ bzw. /U-67/. Im PAI werden für die Isotopenverteilung von abgereichertem Uran die Massenanteile von 0,005 % U-234, 0,3 % U-235 und 99,7 % U-238 herangezogen.

In der Tabelle 26 haben wir die massenspezifische und die aktivitätsspezifische Zusammensetzung der Uranisotope für Natururan und abgereichertes Uran dargestellt. Hierbei haben wir die in /U-67/ angegebenen Massenverhältnisse verwendet.

Tabelle 26: Zusammensetzung der Uranisotope in Natururan und in abgereichertem Uran aus der Anreicherung von Natururan (Anreicherung auf 3,5 %, Abreicherung auf 0,2 %). Die Anzahl der verwendeten signifikanten Stellen wurde zur nachvollziehbaren Darstellung nicht vereinheitlicht.

<b>Natururan</b>				
	U-234	U-235	U-238	Gesamt
Massen-%	0,0054 %	0,72 %	99,3 %	
Aktivität-%	49 %	2,3 %	49 %	
Aktivität in 1 g Natururan	1,2 E4 Bq	5,8 E2 Bq	1,2 E4 Bq	2,5 E4 Bq
<b>Abgereichertes Uran</b>				
	U-234	U-235	U-238	Gesamt
Massen-%	0,0009 %	0,20 %	99,8 %	
Aktivität-%	14 %	1,1 %	85 %	
Aktivität in 1 g abgereichertem Uran	2,1 E3 Bq	1,6 E2 Bq	1,2 E4 Bq	1,5 E4 Bq

Vergleicht man die Gesamtaktivität von 1 g Natururan mit der von 1 g abgereichertem Uran, sieht man, dass die Aktivität von abgereichertem Uran nur noch etwa 60 % von Natururan beträgt (siehe Tabelle 26).

Sofern von den Ablieferern in den Primärdokumenten zur Einlagerung der Abfallgebinde beispielsweise für Natururan / abgereichertes Uran nur Uran genannt wurde und keine weiteren isotopenspezifischen Angaben erfolgten oder spezielle Kenntnis-



se über den Ablieferer vorlagen, ist eine Aktivitätsberechnung anhand der deklarierten Uranmasse mit der ASSEKAT/PAI unter Berücksichtigung einer Isotopenzusammensetzung von Natururan als konservativ (U-234, U-235) bzw. geringfügig unterschätzend (U-238) zu bewerten (vgl. Tabelle 26). Dies gilt analog, wenn für in die Asse eingelagerte Abfallgebinde in der ASSEKAT/PAI eine Uranmasse in Form einer Kontamination unterstellt wird (50 g pro Gebinde gemäß /U-21/).

Erfolgt eine Aktivitätsberechnung mit der ASSEKAT/PAI anhand der deklarierten Uranaktivität und liegen keine weiteren isotopenspezifischen Angaben oder spezielle Kenntnisse über den Ablieferer vor, ist unter Berücksichtigung einer Isotopenzusammensetzung von Natururan im Falle von tatsächlich eingelagertem abgereicherten Uran die Aktivitätsberechnung als konservativ (U-234, U-235) bzw. deutlich unterschätzend (U-238) zu bewerten (vgl. Tabelle 26).

Für den Fall, dass durch die Ablieferer die eingelagerte Aktivität zu niedrig deklariert wurde (z. B. durch Vernachlässigung des U-234-Aktivitätsanteils, vgl. Kap. 3.2.3) hat die Aktivitätsberechnung mit der ASSEKAT/PAI im Folgenden keinen weiteren Einfluss, so dass das berechnete Aktivitätsinventar ebenfalls zu niedrig ist. Entsprechend würde eine Berücksichtigung von Töchteraktivitäten durch die Ablieferer zu einer konservativen Berechnung der Uranaktivität führen.

Aus den o. a. Ausführungen wird ersichtlich, dass der Anreicherungsgrad von Uran in den Abfallgebinden von wesentlicher Bedeutung für die korrekte Berechnung der einzelnen Uranisotopenaktivitäten besitzt. Hierzu ist es erforderlich, die Informationen aus den primären Einlagerungsdokumenten, soweit vorhanden, bei der Aktivitätsberechnung möglichst genau zu berücksichtigen. In diesem Zusammenhang sei auf die Ergebnisse in unserer Stellungnahme zur Überprüfung der Kernbrennstoffdaten /U-3/ und der darin formulierten Empfehlung verwiesen.

In allen Fällen, in denen der Anreicherungsgrad von Uran in den in der Asse eingelagerten Abfallgebinden in den primären Einlagerungsdokumenten nicht eindeutig dokumentiert ist, empfehlen wir, für die Durchführung einer Sicherheitsanalyse aus konservativen Gesichtspunkten den Aktivitätsanteil von U-238 an der Urangesamaktivität abdeckend zu berechnen (vgl. Empfehlung E 3).



### 6.3 Abfälle ohne Aktivitätsbestimmung

Abfallgebinden einiger Ablieferer wurden entsprechend dem GSF-Bericht 2002 /U-21/ auf Grund mangelnder Informationen zur Nuklidzusammensetzung keine Berechnungsroutinen zugewiesen. Damit werden diese Abfallgebinde bei der Bestimmung des Aktivitätsinventars mit der Datenbank ASSEKAT/PAI nicht berücksichtigt.

In der Tabelle 27 sind für die Ablieferer mit Chargen ohne Berechnungsroutinen die von der Datenbank ASSEKAT/PAI nicht ausgewerteten Aktivitäten und die Anzahl der Abfallgebinde dargestellt. Hierzu haben wir die einzelnen Abfallgebinde einer Charge addiert, die im Feld „Bemerkung“ der Tabelle „ISS-Kataster“ entweder die Worte „Charge vernachlässigt“ beinhalten oder dessen Feld „Bemerkung“ leer ist. Ausnahme hiervon sind die 78 Abfallgebinde, der BL Nr. 2139 (Charge 12224 und 12225) vom Ablieferer HMI. Hier erfolgt in der Datenbank ASSEKAT/PAI Version 9.2 durch einen gegenüber der Vorgängerversion geänderten Programmcode im Bemerkungsfeld kein Eintrag, obwohl eine Aktivitätsberechnung durchgeführt wird.

Insgesamt werden 10311 Abfallgebinde (insgesamt 1619 Chargen) mit ca. 307 Ci bzw.  $1,13 \text{ E}13 \text{ Bq}$  (siehe Tabelle 27) bei der Berechnung des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars in der Datenbank ASSEKAT/PAI nicht berücksichtigt. Dies entspricht ca. 8 % der insgesamt 125787 in die Asse eingelagerten Abfallgebinde. In Bezug auf das Gesamtaktivitätsinventar der in der Asse eingelagerten Abfallgebinde ( $2,1 \text{ E}5 \text{ Ci}$  bzw.  $7,8 \text{ E}15 \text{ Bq}$  gemäß Primärdokumenten) werden entsprechend ca. 0,15 % nicht ausgewertet.

Zusätzlich zu den o. a. 10311 Abfallgebinden ohne Aktivitätsberechnung zeigt das Ergebnis der ASSEKAT/PAI-Aktivitätsberechnung weitere 2106 Gebinde mit einem Aktivitätswert „0“ in der Tabelle „ISS-Kataster“. Diese können unterschieden werden in

- 228 Gebinde (ca. 105 Ci bzw.  $3,89 \text{ E}12 \text{ Bq}$ ), die aufgrund eines zwischenzeitlichen Zerfalls zu einer Aktivität  $<1 \text{ Bq}$  oder der fehlenden Berücksichtigung kurzlebiger Radionuklide mit Halbwertszeiten  $<2,73$  Jahren in der Aktivitätsergebnistabelle „ISS-Kataster“ nicht aufgeführt werden und



- 1878 Gebinde (ca. 445 Ci bzw. 1,65 E13 Bq), für die die ausgewählte Berechnungsroutine zu keinem Ergebnis führt. In aller Regel ist dies damit zu erklären, dass die entsprechenden Randbedingungen der Berechnungsroutine mit den Einlagerungsdaten nicht übereinstimmen (z. B. Uranberechnungsroutine bei gleichzeitig fehlenden Uranangaben auf der Begleitliste).

Tabelle 27: In der Datenbank ASSEKAT/PAI nicht ausgewertete Aktivitäten und Anzahl der Abfallgebände für die Ablieferer mit Chargen ohne Berechnungsroutinen.

Ablieferer	Nicht ausgewertete Aktivität*		Anzahl der Abfallgebände	Anzahl der Chargen
	Ci	Bq		
Asse	-	-	14	8
FRM	5,25	1,94E+11	137	10
GfK	107,50	3,98E+12	5086	34
GKSS	27,41	1,01E+12	1647	941
GSF, Han	1,99	7,37E+10	107	55
GSF, Nhg	12,42	4,59E+11	863	146
HMI	66,55	2,43E+12	826	94
Hoechst	10,22	3,78E+11	310	80
KFA	3,63	1,34E+11	498	26
MP	2,96	1,09E+11	80	37
NUKEM	10,06	3,72E+11	178	157
RBU	0,02	6,66E+08	18	1
Siemens	13,55	5,01E+11	41	8
TN	45,96	1,70E+12	506	22
Summe	306,5	1,13E+13	10311	1619

\* Aktivität bezogen auf den jeweiligen Einlagerungszeitraum (mittlere Aktivität gemäß Tabelle „Chargen-mod“).

- Bei den von der Schachtanlage Asse selbst eingelagerten Abfallgebänden handelt es sich um radioaktive Betriebsabfälle, die aufgrund von Dekontaminations- und Behandlungsmaßnahmen im Rahmen der Einlagerung erforderlich waren. Des Weiteren wurden von der Schachtanlage Asse auch einige Fässer mit nicht-radioaktiven Abfällen eingelagert.

Tabelle 28: Anzahl der Abfallgebinde in der Datenbank ASSEKAT/PAI in den verschiedenen Einlagerungskammern der Asse für die Ablieferer mit Chargen ohne Berechnungsroutinen und Chargen, für die die ausgewählte Berechnungsroutine zu keinem Ergebnis führt.

Kürzel	1/750m	10/750m	11/750m	12/750m	2/750m	2/750mNA2	4/750m	5/750m	6/750m	7/725m	7/750m	8/750m	8a/511m	Summe
AB												1		1
Asse	2						12							14
FRM												137		137
GFK	1989						4820							6809
GKSS	366		198	103		372	200	21	51	52	107	186	1	1657
GSF, Han	27	10		12		36	14					8		107
GSF, Nhg	411	42	7	41	99	180	17	28	51	66	6	9		957
HMI	214		40			440	6	63	62			1		826
Hoechst	39					152	119							310
KFA	425					1	72							498
KRB												1		1
KWO	21													21
KWU, GWhm			2											2
KWW			1					2				2		5
MP			30			59			11					100
NUKEM						28	150							178
RBÜ						18								18
Siemens	19						22							41
TN	95	10		167		51				89		95		507
Summe	3608	62	278	323	99	1337	5432	114	175	207	113	440	1	12189

Für die Durchführung einer Sicherheitsanalyse empfehlen wir, in der Datenbank ASSEKAT/PAI auch den o. a. 10311 in der Tabelle 27 aufgeführten Abfallgebänden und den 1878 Gebänden, für die die ausgewählte Berechnungsroutine zu keinem Ergebnis führt, ausgehend von den Angaben in den Fragebögen/Begleitlisten ein Aktivitätsinventar zuzuweisen (vgl. Empfehlung E 3). Dies ist aus unserer Sicht - trotz der gegenüber dem Gesamtaktivitätsinventar der Asse verhältnismäßig geringen Aktivität dieser Abfallgebinde - insbesondere für eine kammerspezifische Sicherheitsanalyse als auch für eine mögliche Rückholung der Abfallgebinde von möglicher



sicherheitstechnischer Relevanz. Hinsichtlich der Nuklidzusammensetzung dieser Abfälle wäre angesichts der fehlenden Informationen die Verwendung von bereits bekannten abliefererspezifischen Nuklidvektoren und/oder eines abdeckenden Nuklidvektors resultierend aus Reaktorabfällen ein möglicher pragmatischer Ansatz.

Tabelle 28 zeigt für die 12189 Abfallgebinde, die in der Datenbank ASSEKAT/PAI keine Berechnungsroutine besitzen bzw. für die die ausgewählte Berechnungsroutine zu keinem Berechnungsergebnis führt, die jeweilige Einlagerungskammer in der Asse.



## 7 Plausibilitätsprüfung des LAW-Inventars

Das von den verschiedenen Ablieferern an die Asse in den Einlagerungsdokumenten deklarierte Aktivitätsinventar, bezogen auf das jeweilige Einlagerungsdatum, beträgt gemäß /U-21/ 7,81 E15 Bq (s. Tabelle 29). Eigene mit der Datenbank ASSEKAT/PAI Version 9.2 /U-8/ durchgeführte Berechnungen ergeben zum Stichtag 01.01.1980 für die in die Asse eingelagerten Abfälle eine Gesamtaktivität von ca. 1,13 E16 Bq (s. Tabelle 29). Entsprechend den Berechnungen mit der Datenbank ASSEKAT/PAI Version 9.2 können damit zum Stichtag 01.01.1980 ca. 70 % der Aktivität den LAW-Abfällen und 30 % den MAW-Abfällen zugeordnet werden.

Tabelle 29: Von den Ablieferern deklariertes und der Datenbank ASSEKAT/PAI berechnetes Aktivitätsinventar der Asse.

	Von Ablieferern deklarierte Aktivität		ASSEKAT 7.0*	ASSEKAT 9.2†	ASSEKAT 9.2†
	Ci	Bq	01.01.1980	01.01.1980	01.01.2012
			Bq	Bq	Bq
LAW	7,50E+04	2,78E+15	3,64E+15	8,16E+15	2,17E+15
MAW	1,36E+05	5,03E+15	3,31E+15	3,13E+15	5,36E+14
Gesamt	2,11E+05	7,81E+15	6,95E+15	1,13E+16	2,71E+15

\* Summe aus /U-21/

† Summe aller Nuklide, Eigene Rechnung, Gewählte Parameter:

- Lagerzeit der WAK-Abfälle: 30 d
- Aktivitätsanteil der Aktivierungsprodukte: 0,9 (FZK-Schrott) und 1,0 (FZK Hülsenabfälle)
- Max. U/Th-Kontamination: jeweils 50 g/Gebinde
- Max. U/Th-Gehalt: jeweils 1 E5 g/Gebinde
- Th-232-Aktivität in Glühstrumpf-Abfällen: 3,6 mCi/Gebinde

Das mit der Datenbank ASSEKAT/PAI Version 9.2 /U-8/ bestimmte radionuklidspezifische Aktivitätsinventar ist im Einzelnen in Tabelle 33 (Stichtag 01.01.1980) und Tabelle 34 (Stichtag 01.01.2012) im Anhang aufgelistet.

Die Bestimmung der mit der Datenbank ASSEKAT/PAI in Tabelle 29 berechneten Aktivitäten basiert im Wesentlichen auf folgenden drei Schritten:

- Die Deklaration der Radionuklide und Aktivitäten von den Ablieferern in den Primärdokumenten zur Einlagerung der Abfälle (insbesondere Fragebögen und Begleitlisten)



- Die Übernahme der radiologischen Daten von den Primärdokumenten in die Datenbank ASSEKAT
- Die nuklidspezifische Berechnung des Aktivitätsinventars in der Datenbank ASSEKAT mit dem Modul PAI unter Berücksichtigung von verschiedenen abliefererspezifischen Annahmen (z. B. Nuklidzusammensetzungen, spezifischen Nuklidaktivitäten, Abfallalter, Kontaminations- bzw. Aktivierungsanteilen etc.) und dem radioaktiven Zerfall.

Unsere Überprüfung der Plausibilität des in die Asse eingelagerten Aktivitätsinventars der LAW-Abfälle orientierte sich an den o. a. drei Schritten unter Berücksichtigung der zwischenzeitlich nachrecherchierten Sachverhalte /U-13/.

Eine belastbare Aussage zur Plausibilität der von den Ablieferern deklarierten Aktivitäten ist für einzelne Abfallgebände oder Chargen von Abfallgebänden in der Regel nicht möglich. Gründe hierfür sind insbesondere:

- Die zum Zeitpunkt der Einlagerung zugrunde liegende Nuklidzusammensetzung ist im Detail nicht bekannt.
- Inwiefern kurzlebige im radioaktiven Gleichgewicht stehende Nuklide im Einzelnen berücksichtigt wurden, ist nicht bekannt.
- Das zum Zeitpunkt der Einlagerung vorliegende Alter der Abfälle ist nicht bekannt.
- Die genaue Abfallmatrix (z. B. Dichte, Material) ist oftmals nicht bekannt.
- Ggf. zusätzlich verwendete Abschirmmaterialien im Abfallbehälter sind nicht bekannt.
- Häufige Zuordnung einer max. ODL zu mittlerer Aktivität einer Charge.

Aufgrund von Analogieschlüssen unter Zugrundelegung typischer Nuklidverteilung von definierten Abfallströmen/-behandlungen, Reaktoren und Ablieferern ist jedoch die Möglichkeit einer Plausibilitätsbetrachtung für eine größere Zahl der in die Asse eingelagerten Abfallchargen gegeben.

Bei der von uns für einzelne Ablieferer und Abfallarten durchgeführten stichprobenweisen Prüfung der Primärdokumente zur Einlagerung in die Asse (s. Kapitel 3) haben wir hinsichtlich der Plausibilität der deklarierten Aktivitäten weitgehend konserva-



tive Randbedingungen, d. h. zu höheren Aktivitätsinventaren führende, gewählt. Die Ergebnisse unserer Prüfungen zeigen einerseits, dass die von den Ablieferern deklarierten Aktivitäten weitgehend plausibel sind und eine Unterschätzung der Höhe des deklarierten Aktivitätsinventars nicht unterstellt werden kann. Andererseits kann unter Zugrundelegung von heutigen Randbedingungen ein ggf. höheres Aktivitätsinventar auch nicht sicher ausgeschlossen werden. Unsere Prüfergebnisse stellen daher weniger das von den Ablieferern in die Asse eingelagerte deklarierte Aktivitätsinventar in Frage, sondern bewerten in erster Linie das Aktivitätsinventar, wie es aus heutiger Sicht unter Berücksichtigung konservativer Gesichtspunkte für eine Sicherheitsanalyse herangezogen werden kann.

Bei unseren in Kapitel 3 und Kapitel 4 durchgeführten Prüfungen zur Plausibilität der Aktivitätsangaben in den Primärdokumenten von in die Asse eingelagerten LAW-Abfällen sind wir zu den in Tabelle 30 zusammengefassten Ergebnissen gekommen, die aus konservativen Gesichtspunkten eine Erhöhung der deklarierten Aktivitäten hinsichtlich einer Sicherheitsanalyse plausibel erscheinen lassen.

Entsprechend den in Tabelle 30 zusammengefassten Ergebnissen würde sich das in die Asse von den Ablieferern deklarierte eingelagerte Aktivitätsinventar von LAW-Abfällen um bis zu ca. 50 % erhöhen. Dies ist zum überwiegenden Teil auf betonierte Abfallkonzentrate in verlorenen Betonabschirmungen aus Schwerbeton des Ablieferers GfK/KfK zurückzuführen. Wir empfehlen, die in Tabelle 30 aufgeführten höheren Aktivitäten aus konservativen Gesichtspunkten bei einer Sicherheitsanalyse zu berücksichtigen (Empfehlung E 1).

Aufgrund unserer Prüfergebnisse können wir die im GSF-Bericht 2002 /U-21/ getroffene Aussage, dass die Aktivitätsangaben der Abfallablieferer in den Einlagerungsdokumenten insgesamt abdeckend sind, nicht uneingeschränkt bestätigen. Diese sind unseren Prüfergebnissen zufolge oftmals als realistisch, nicht jedoch als abdeckend zu bewerten. Dies betrifft insbesondere auch das Gesamtaktivitätsinventar der in die Asse eingelagerten LAW-Abfälle.



Tabelle 30: Von den Ablieferern in die Asse eingelagerte Abfälle, für die aus konservativen Gesichtspunkten eine Erhöhung der deklarierten Aktivitäten hinsichtlich einer Sicherheitsanalyse plausibel erscheint.

Ablief.	Abfallgebinde	Gebindeanzahl	Deklarierte Aktivität		Erhöhung (Faktor)	Zusätzl. Aktivität
			Ci	Bq		
					Faktor	Bq
GfK/KfK	bis 1973 bituminierte Konzentrate in NB-VBA	316	4,95E+01	1,8E+12	10	1,6E+13
GfK/KfK	1974-78 eingelagerte bituminierte Konzentrate in NB-VBA	1213	1,64E+03	6,1E+13	2	6,1E+13
GfK/KfK	bituminierte Konzentrate in SB-VBA	393	2,38E+03	8,8E+13	2	8,8E+13
GfK/KfK	bis 1973 betonierte Konzentrate in NB-VBA	11	2,00E-01	7,4E+09	100	7,3E+11
GfK/KfK	betonierte Konzentrate in SB-VBA	2533	3,00E+04	1,1E+15	2	1,1E+15
GfK/KfK	Betonierter Metallschrott in NB-VBA (Genehmigungsvorgang 109 VBA)	16	1,17E+02	4,3E+12	2	4,3E+12
GfK/KfK	Betonierter Metallschrott in SB-VBA (Genehmigungsvorgang 109 VBA)	16	8,80E+01	3,3E+12	6	1,6E+13
KKW	SWR-Abfälle	16259	3,02E+03	1,1E+14	1,25	2,8E+13
KKW	DWR-Abfälle	12354	3,31E+03	1,2E+14	2	1,2E+14

Die stichprobenweise Prüfung der Übertragung der von den Ablieferern in den primären Einlagerungsdokumenten deklarierten Daten in die Datenbank ASSEKAT (s. Kapitel 5) zeigte mit Ausnahme weniger Abweichungen keine Auffälligkeiten. Diese wirken sich auf die Berechnung des Aktivitätsinventars nicht relevant aus. In Tabelle 31 sind die Einlagerungsdokumente zusammengefasst, für die wir in der Datenbank ASSEKAT abweichende Daten festgestellt haben. Wir empfehlen, die in Tabelle 31 gegenüber den Einlagerungsdokumenten aufgeführten Abweichungen in der Datenbank ASSEKAT zu korrigieren (Empfehlung E 2). Die festgestellten Abweichungen haben eine vernachlässigbare Auswirkung auf das Aktivitätsinventar der in die Asse eingelagerten LAW-Abfälle.

Tabelle 31: Von den Ablieferern in den Einlagerungsdokumenten angegebene Daten, die in die Datenbank ASSEKAT abweichend übertragen wurden.

Ablieferer	Einlagerungsdokument	Anzahl
GfK/KfK	BL ID-Nr. 1043, Ch. 3901 (Aktivität)	1
KFA	BL ID-Nr. 1609, Ch. 6955 (Fasstyp)	1
HMI	BL ID-Nr. 1570, Ch. 6782 (20 Fässer zuviel mit GK)	20

Die nuklidspezifische Berechnung des Aktivitätsinventars in der Datenbank ASSEKAT mit dem Modul PAI basiert zunächst auf den Angaben der Ablieferer in den Einlagerungsdokumenten. Ausgehend hiervon kann mit der Datenbank ASSEKAT/PAI unter Berücksichtigung von verschiedenen abliefererspezifischen Annahmen (z. B. Nuklidzusammensetzungen, spezifischen Nuklidaktivitäten, Abfallalter, Kontaminations- bzw. Aktivierungsanteilen etc.) und dem radioaktiven Zerfall das Aktivitätsinventar zu einem Stichdatum berechnet werden. Häufig wird mit der Datenbank ASSEKAT/PAI die von den Ablieferern in den Einlagerungsdokumenten deklarierte mittlere Aktivität pro Gebinde auf verschiedene Radionuklide aufgeteilt. D. h. es wird die Nuklidzusammensetzung bei gleichbleibender Gesamtaktivität des Gebindes bzw. der Charge von Abfallgebinden berechnet. Diesem Schritt kommt eine besondere Bedeutung zu, da hiermit bspw. auch radiologisch relevante  $\alpha$ -Strahler und andere langlebige Radionuklide der deklarierten Gesamtaktivität zugeordnet werden, obwohl diese zum Zeitpunkt der Einlagerung hinsichtlich ihres Aktivitätsanteils nur eine untergeordnete Rolle spielten. Aussagen, die hinsichtlich der Plausibilität der von den Ablieferern deklarierten Aktivitäten und möglichen Abweichungen auf die Kurzlebigkeit der zum Zeitpunkt der Einlagerung dominierenden Radionuklide wie z. B. Co-60 hinweisen, vernachlässigen diesen radiologisch relevanten Aktivitätsanteil von  $\alpha$ -Strahlern und anderen langlebigen Radionukliden. Darüber hinaus werden aufgrund von Massenangaben insbesondere für die Elemente Thorium, Uran und Plutonium radionuklidspezifische Aktivitäten berechnet, die den von den Ablieferern deklarierten Aktivitäten konservativ hinzugerechnet werden. U. a. damit sind die mit der Datenbank ASSEKAT/PAI berechneten Aktivitäten höher als diese ursprünglich von den Ablieferern deklariert wurden.

Bei unseren im Kapitel 6 durchgeführten Prüfungen zur Plausibilität der Aktivitätsbestimmung mit der Datenbank ASSEKAT/PAI Version 9.2 haben wir festgestellt, dass

die generelle Vorgehensweise plausibel ist. Für einige der im GSF-Bericht 2002 /U-21/ und in /U-8/ für die Datenbank ASSEKAT/PAI getroffenen Annahmen kommen wir jedoch zu dem Ergebnis, diese insbesondere aus konservativen Gesichtspunkten zu ändern bzw. bei einer Sicherheitsanalyse zu berücksichtigen. In Tabelle 32 sind die LAW-Abfälle zusammengefasst, für die aus unserer Sicht eine Anpassung bzw. Korrektur der Aktivitätsberechnung mit der Datenbank ASSEKAT/PAI plausibel erscheint. Wir empfehlen, für die in Tabelle 32 in die Asse eingelagerten LAW-Abfälle, aus konservativen Gesichtspunkten die Aktivitätsberechnung mit der Datenbank ASSEKAT/PAI zu korrigieren (Empfehlung E 3).

Tabelle 32: In die Asse eingelagerte Abfälle, für die aus konservativen Gesichtspunkten eine Änderung der berechneten Aktivitäten hinsichtlich einer Sicherheitsanalyse plausibel erscheint.

<b>Ablief.</b>	<b>Abfälle</b>	<b>Empfohlene Änderung bzw. Berücksichtigung</b>
GfK/KfK	Bituminierte Abfälle	Erhöhung des Anteils der $\alpha$ -Strahler um Faktor 2,5
KFA	Alle Abfälle, insbesondere jedoch grafithaltige und Grafitkugel-Abfälle	Berücksichtigung von AVR-spezifischen Nukliden (z. B. C-14, Sr-90)
GKSS	Abfallchargen mit Nennung mehrerer Radionuklide	Berücksichtigung einer Nuklidverteilung
KKW	Alle	Berücksichtigung längerlebiger Radionuklide (z. B. Ni-59 und Tc-99)
		Berücksichtigung der Aktivität „Sonstige Alpha“ der zugrundegelegten von der Fa. GNS bestimmten Nuklidvektoren
AB BW	Radiumhaltige Abfälle	Erhöhung der Pb-210-Aktivität für zeitnahe Sicherheitsanalyse
HMI	Thoriumhaltige Abfälle der BL ID-Nr. 2139	Korrektur der Gebindeanzahl
HMI	Thoriumhaltige Abfälle	Erhöhung der Pb-210- und Ra-226-Aktivität für zeitnahe Sicherheitsanalyse
HMI	BL ID-Nr. 2137, Ch-Nr. 12211 und 12216 BL ID-Nr. 2138, Ch-Nr. 12220	Berücksichtigung der deklarierten Aktivität anstelle einer Kontaminationsmasse
HMI	BL ID-Nr. 2138, Ch. 20252	Aufteilung der angegebenen Aktivität jeweils auf die Einzelnuclide
HMI	BL ID-Nr. 2138, Ch-Nr. 12219	Berücksichtigung der höheren Aktivität
HMI	Alle BL ohne Th-230-Aktivitätsberechnung	Berücksichtigung der Th-230-Aktivität inkl. der Tochternuklide Ra-226 und Pb-210
Alle	Uranhaltige Abfälle mit nicht eindeutiger Dokumentation des Anreicherungsgrades	Konservative Berücksichtigung der U-238-Aktivität
Alle	Abfälle ohne Aktivitätsberechnung in ASSEKAT/PAI	Durchführung einer Aktivitätsbestimmung



Bei den in Tabelle 32 aufgelisteten empfohlenen Änderungen zur Aktivitätsbestimmung mit der Datenbank ASSEKAT/PAI ist anzumerken, dass diese teilweise nur für eine zeitnahe Sicherheitsanalyse, eine Langzeitsicherheitsanalyse oder auch für eine kammer spezifische Sicherheitsanalyse von Bedeutung sind. Da die Randbedingungen einer Sicherheitsanalyse uns nicht vorliegen, haben wir die in Tabelle 32 aufgelisteten empfohlenen Änderungen entsprechend ohne einen konkreten Zeithorizont einer durchzuführenden Sicherheitsanalyse formuliert.

Wie in /U-21/ dargestellt, sollten die in der Datenbank ASSEKAT/PAI implementierten Aufbaureaktionen ausschließlich eine ausreichend genaue Berechnung für die betrachteten Zeiträume zwischen der Einlagerung in die Asse und dem Stichtag 01.01.1980 ermöglichen. Des Weiteren wurden im nuklidspezifischen Aktivitätsinventar der Asse, dessen Nuklide in der ASSEKAT/PAI über das sogenannte Kataster festgelegt werden, ausschließlich Nuklide berücksichtigt, deren Halbwertszeiten größer als die von Fe-55 (2,73 Jahre) sind /U-21/. Kurzlebige Radionuklide, wie sie beispielsweise in der Thorium- und Uran-Radium-Familie auftreten, werden zwar in der Datenbank ASSEKAT/PAI berücksichtigt, bei der Ausgabe des berechneten Aktivitätsinventars im Kataster jedoch nicht ausgewiesen. Inwiefern kurzlebige Tochternuklide, die mit ihren Mutternukliden im radioaktiven Gleichgewicht stehen, bei der Bestimmung des Aktivitätsinventars von in die Asse eingelagerten LAW-Abfällen zu berücksichtigen sind, ergibt sich aus den Randbedingungen einer Sicherheitsanalyse. Dies gilt aus unserer Sicht entsprechend auch für die in der Datenbank ASSEKAT/PAI implementierten Aufbaureaktionen. Für die Durchführung einer Sicherheitsanalyse mit längeren zu betrachtenden Zeiträumen, sind die in der ASSEKAT/PAI 9.2 implementierten Aufbaureaktionen aus unserer Sicht nicht ausreichend, um das Aktivitätsinventar abdeckend berechnen zu können (z. B. Th-230-Aufbau aus dem U-234-Zerfall). Wir empfehlen, entsprechend den Randbedingungen einer Sicherheitsanalyse die Ausgabe aller mit der Datenbank ASSEKAT/PAI berechneten Radionuklide im Kataster auf entsprechende Berücksichtigung der erforderlichen Aufbaureaktionen und auf ausreichende Vollständigkeit der Radionuklide hin zu überprüfen (Empfehlung E 4).

Die Empfehlungen E 1 bis E 4 können alle in der Datenbank ASSEKAT/PAI umgesetzt oder auch fallweise pauschal in einer Sicherheitsanalyse als Unsicherheit betrachtet werden.



Zusammenfassend ist festzustellen, dass anhand der uns vorgelegten Unterlagen /U-5/ bis /U-15/ und den derzeitig uns verfügbaren Informationen mehr als 30 Jahre nach Beendigung der Einlagerung, das mit der Datenbank ASSEKAT/PAI Version 9.2 bestimmte Aktivitätsinventar von in die Asse eingelagerten Abfällen weitgehend als realistisch, nicht jedoch als abdeckend zu bewerten ist. Zu einer in Einzelfällen realistischeren und aus konservativen Gesichtspunkten auch abdeckenden Bestimmung des Aktivitätsinventars von in die Asse eingelagerten LAW-Abfällen haben wir die Empfehlungen E 1 bis E 4 formuliert. Unter Berücksichtigung der Empfehlungen E 1 bis E 4 sowie den Empfehlungen aus unserer Überprüfung der Kernbrennstoffdaten /U-3/ und des Programms zur Aktualisierung des Asse-Inventars (PAI) /U-4/ bewerten wir das Aktivitätsinventar als ausreichend plausibel, um es für eine Sicherheitsanalyse heranziehen zu können.



## 8 Zusammenfassung

Im Rahmen unserer Überprüfung des Abfallinventars der Schachtanlage Asse II haben wir im vorliegenden Bericht „Überprüfung der sonstigen Abfalldaten“ die Betriebsdokumente zur Einlagerung /U-5/ bis /U-15/, die zwischenzeitlich nachrecherchierten Ergebnisse (Abschlussbericht des Helmholtz Zentrums München vom 31.08.2010 /U-13/) und das mit der Datenbank ASSEKAT/PAI /U-5/ /U-8/ /U-21/ berechnete Aktivitätsinventar für in die Asse eingelagerten schwachradioaktiven (ehemals: LAW) Abfall miteinander verglichen und auf Plausibilität hin geprüft.

Die Überprüfung der Betriebsdokumente erfolgte insbesondere durch stichprobenweise Einsichtnahme in Betriebsdokumente und sonstigen Schriftverkehr aus der Zeit der Einlagerung der Abfallgebinde. Dies gilt auch für die von der GSF erstellte Datenbank ASSEKAT, in die die verfügbaren radiologischen Daten der in die Asse eingelagerten Abfallgebinde eingetragen sind und das Aktivitätsinventar kammer-spezifisch berechnet wird. Für die Plausibilitätsbetrachtung des Aktivitätsinventars von in die Asse eingelagerten LAW-Abfällen haben wir zudem eigene Recherchen hinsichtlich des Anfalls von schwachradioaktiven Abfällen im Zeitraum der Einlagerung in die Asse angestellt und unsere Erkenntnisse und Erfahrungen aus unserer Tätigkeit im Rahmen des atomrechtlichen Aufsichts- und Genehmigungsverfahrens herangezogen.

Die Prüfung der uns vorgelegten Unterlagen erfolgte unter der Randbedingung, dass eine weitere Nachrecherche der Aktivitätsdaten schwachradioaktiver Abfälle von den damaligen Ablieferern zu keinen neuen Kenntnissen führen wird, d. h. die uns vorliegenden Unterlagen wurden als abschließend angesehen. Es ist anzumerken, dass der Umfang der primären Betriebsdokumente zur Einlagerung der radioaktiven Abfälle in die Asse den damaligen Anforderungen entsprach, jedoch werden aus heutiger Sicht zusätzliche Anforderungen an die Endlagerung radioaktiver Abfälle gestellt. Sofern sich bei unserer Prüfung der sonstigen Abfalldaten Unstimmigkeiten ergaben, haben wir eine entsprechende Empfehlung zur Anpassung der Aktivitätsdaten formuliert.

Aufgrund unserer durchgeführten Überprüfung stellen wir zusammenfassend fest, dass anhand der uns vorgelegten Unterlagen /U-5/ bis /U-15/ und den derzeit uns



verfügbaren Informationen mehr als 30 Jahre nach Beendigung der Einlagerung, das mit der Datenbank ASSEKAT/PAI Version 9.2 bestimmte Aktivitätsinventar (vgl. Anlage III, Tabelle 33 und Tabelle 34) von in die Asse eingelagerten LAW-Abfällen bei Zugrundelegung üblicher Ablieferer- und abfallstromspezifischer Daten weitgehend als realistisch, nicht jedoch als abdeckend zu bewerten ist. Diese Bewertung beschränkt sich auf das gesamte Aktivitätsinventar der LAW-Abfälle. Eine belastbare Aussage zur Plausibilität der von den Ablieferern deklarierten Aktivitäten ist für einzelne Abfallgebände oder Chargen von Abfallgebänden in der Regel nicht möglich. Zu einer in Einzelfällen realistischeren und aus konservativen Gesichtspunkten für eine Sicherheitsanalyse abdeckenden Bestimmung des Aktivitätsinventars von in die Asse eingelagerten LAW-Abfällen haben wir die Empfehlungen E 1 bis E 4 formuliert.

Unter Berücksichtigung der Empfehlungen E 1 bis E 4 sowie den Empfehlungen aus unserer Überprüfung der Kernbrennstoffdaten /U-3/ und des Programms zur Aktualisierung des Asse-Inventars (PAI) /U-4/ bewerten wir das Aktivitätsinventar als ausreichend plausibel, um es für eine Sicherheitsanalyse heranziehen zu können.

München, den 05.11.2013

Energie und Technologie

Hauptabteilung

Strahlenschutz und Entsorgung

Die Sachverständigen:



## 9 Empfehlungen

**E 1** Wir empfehlen, für die in nachfolgender Tabelle aufgelisteten in die Asse eingelagerten schwachradioaktiven Abfälle aus konservativen Gesichtspunkten bei einer Sicherheitsanalyse höhere Aktivitäten zu berücksichtigen.

Ablief.	Abfallgebinde	Gebindeanzahl	Deklarierte Aktivität		Erhöhung (Faktor)	Zusätzl. Aktivität
			Ci	Bq		
GfK/KfK	bis 1973 bituminierte Konzentrate in NB-VBA	316	4,95E+01	1,8E+12	10	1,6E+13
GfK/KfK	1974-78 eingelagerte bituminierte Konzentrate in NB-VBA	1213	1,64E+03	6,1E+13	2	6,1E+13
GfK/KfK	bituminierte Konzentrate in SB-VBA	393	2,38E+03	8,8E+13	2	8,8E+13
GfK/KfK	bis 1973 betonierte Konzentrate in NB-VBA	11	2,00E-01	7,4E+09	100	7,3E+11
GfK/KfK	betonierte Konzentrate in SB-VBA	2533	3,00E+04	1,1E+15	2	1,1E+15
GfK/KfK	Betonierter Metallschrott in NB-VBA (Genehmigungsvorgang 109 VBA)	16	1,17E+02	4,3E+12	2	4,3E+12
GfK/KfK	Betonierter Metallschrott in SB-VBA (Genehmigungsvorgang 109 VBA)	16	8,80E+01	3,3E+12	6	1,6E+13
KKW	SWR-Abfälle	16259	3,02E+03	1,1E+14	1,25	2,8E+13
KKW	DWR-Abfälle	12354	3,31E+03	1,2E+14	2	1,2E+14

**E 2** Wir empfehlen, für die in nachfolgender Tabelle aufgelisteten Einlagerungsdokumente die diesbezüglichen Abweichungen in der Datenbank ASSEKAT zu korrigieren.

Ablieferer	Einlagerungsdokument	Anzahl
GfK/KfK	BL ID-Nr. 1043, Ch. 3901 (Aktivität)	1
KFA	BL ID-Nr. 1609, Ch. 6955 (Fasstyp)	1
HMI	BL ID-Nr. 1570, Ch. 6782 (20 Fässer zuviel mit GK)	20

**E 3** Wir empfehlen, für die in nachfolgender Tabelle aufgelisteten in die Asse eingelagerten schwachradioaktiven Abfälle aus konservativen Gesichtspunkten die Aktivitätsberechnung mit der Datenbank ASSEKAT/PAI zu korrigieren.

<b>Ablief.</b>	<b>Abfälle</b>	<b>Empfohlene Änderung bzw. Berücksichtigung</b>
GfK/KfK	Bituminierte Abfälle	Erhöhung des Anteils der $\alpha$ -Strahler um Faktor 2,5
KFA	Alle Abfälle, insbesondere jedoch grafithaltige und Grafitkugel-Abfälle	Berücksichtigung von AVR-spezifischen Nukliden (z. B. C-14, Sr-90)
GKSS	Abfallchargen mit Nennung mehrerer Radionuklide	Berücksichtigung einer Nuklidverteilung
KKW	Alle	Berücksichtigung längerlebiger Radionuklide (z. B. Ni-59 und Tc-99)
		Berücksichtigung der Aktivität „Sonstige Alpha“ der zugrundegelegten von der Fa. GNS bestimmten Nuklidvektoren
AB BW	Radiumhaltige Abfälle	Erhöhung der Pb-210-Aktivität für zeitnahe Sicherheitsanalyse
HMI	Thoriumhaltige Abfälle der BL ID-Nr. 2139	Korrektur der Gebindeanzahl
HMI	Thoriumhaltige Abfälle	Erhöhung der Pb-210- und Ra-226-Aktivität für zeitnahe Sicherheitsanalyse
HMI	BL ID-Nr. 2137, Ch-Nr. 12211 und 12216 BL ID-Nr. 2138, Ch-Nr. 12220	Berücksichtigung der deklarierten Aktivität anstelle einer Kontaminationsmasse
HMI	BL ID-Nr. 2138, Ch. 20252	Aufteilung der angegebenen Aktivität jeweils auf die Einzelnuclide
HMI	BL ID-Nr. 2138, Ch-Nr. 12219	Berücksichtigung der höheren Aktivität
HMI	Alle BL ohne Th-230-Aktivitätsberechnung	Berücksichtigung der Th-230-Aktivität inkl. der Tochternuklide Ra-226 und Pb-210
Alle	Uranhaltige Abfälle mit nicht eindeutiger Dokumentation des Anreicherungsgrades	Konservative Berücksichtigung der U-238-Aktivität
Alle	Abfälle ohne Aktivitätsberechnung in ASSEKAT/PAI	Durchführung einer Aktivitätsbestimmung

**E 4** Wir empfehlen, aus konservativen Gesichtspunkten bei einer Sicherheitsanalyse, die Ausgabe aller mit der Datenbank ASSEKAT/PAI berechneten Radionuklide im Kataster auf entsprechende Berücksichtigung der erforderlichen Aufbaureaktionen und auf ausreichende Vollständigkeit der Radionuklide hin zu überprüfen.



## **Anhang**

- I Verzeichnis der verwendeten Unterlagen
- II Abkürzungsverzeichnis
- III Aktivitätsinventar der Asse gemäß ASSEKAT/PAI 9.2
- IV Tabellenverzeichnis
- V Abbildungsverzeichnis



## I Verzeichnis der verwendeten Unterlagen

- /U-1/ BfS  
Schreiben vom 18.11.2009, Az. Z 4.5 9A 251 8728-9  
Schachtanlage Asse II  
Überprüfung des Abfallinventars der Schachtanlage Asse II
- /U-2/ BfS  
Schreiben vom 20.10.2010, Az. SE 2.1 9A 2511  
Überprüfung des Abfallinventars der Schachtanlage Asse II  
Einzelbeauftragung Nr. 3  
Prüfung der Daten zu sonstigen Abfällen (LAW-Abfällen)
- /U-3/ TÜV SÜD  
Schachtanlage Asse II  
Zwischenbericht zur Überprüfung des Abfallinventars  
1. Einzelbeauftragung:  
Überprüfung der Kernbrennstoffdaten, Teil A: Recherche der Betriebsdokumente, Bericht ETS4-55/2010 Rev. 1 vom April 2011  
Überprüfung der Kernbrennstoffdaten, Teil B, Bericht ETS4-16/2011 vom April 2011
- /U-4/ TÜV SÜD  
Schachtanlage Asse II  
Zwischenbericht zur Überprüfung des Abfallinventars  
2. Einzelbeauftragung: Überprüfung des Programms zur Aktualisierung des Asse-Inventars  
Bericht ETS4-54/2010 vom Februar 2011
- /U-5/ BfS  
Überprüfung des Abfallinventars der Schachtanlage Asse II  
Startgespräch am 09.12.2009 beim BfS  
Übergabe folgender Unterlagen:
- Eine CD mit folgenden elektronischen Dateien:
    - Datenbank ASSEKAT ISS 8.0\_BfS
    - GSF-Bericht: „Bestimmung des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars der Schachtanlage Asse“ (Gerstmann, Meyer und Tholen, August 2002)
    - GSF-Bericht: „Bestimmung des Inventars an chemischen und chemotoxischen Stoffen in den eingelagerten radioaktiven Abfällen der Schachtanlage Asse (Buchheim, Meyer und Tholen, März 2004)
    - TÜV NORD EnSys: „Schachtanlage Asse - Gutachtliche Stellungnahme



zum Ist-Zustand des Betriebes hinsichtlich der strahlenschutzrelevanten Aspekte und zum vorhandenen radioaktiven Inventar“ vom September 2008

- Fasskontrollbücher: „Fasskontrolle Abbau 4 750mS“ (April 1967 bis März 1970), „Kontrollbuch ohne Titel“ (Februar 1971 bis Dezember 1978) und „Mittelaktiveinlagerung“ (August 1972 bis Januar 1977)
- Zwei DVD´s mit tif-Dateien von Fragebögen, Begleitlisten, Fasskontrollbuchseiten, Kernbrennstoffmeldungen, Lieferscheinen/Versandscheinen für Kernbrennstoffe und Materialbegleitscheinen für Kernbrennstoffe
- Zwei Ordner mit Kopien der Fasskontrollbücher (Betriebsbücher)
- Vier Ordner mit Kopien zum Schriftverkehr zwischen der Gesellschaft für Strahlenforschung- und Umweltforschung mbH und den einzelnen Ablieferern
- Interner BfS-Bericht, Zeichen SE 2.3/ , vom 18.03.2009 zu den Annahmebedingungen der Asse
- Gemeinsame Stellungnahme der ESK und der SSK zur Schachtanlage Asse II - Plausibilitätsprüfungen der Angaben des Betreibers vom 25.09.2008
- Fünf Sekundärliteraturstellen (Schriftverkehr und Protokolle aus den Jahren 1998 bis 2000) zum GSF-Bericht: „Bestimmung des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars der Schachtanlage Asse“ (Gerstmann, Meyer und Tholen, August 2002)
- Tischvorlage für die 2. Sitzung der ESK-Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Asse
- E-Mail des Forschungszentrums Jülich vom 24.02.2009, zum Tritium-Inventar in AVR-Grafit- und Absorberkugeln, die vom FZ-Jülich an die Asse abgegeben wurden
- Schreiben des Helmholtz-Zentrums München vom 27.08.2009 zur HGF Arbeitsgruppe Asse, Statussitzung am 26.08.2009 im BMBF

/U-6/ BfS

Schreiben SE 4.2 9A 251 vom 14.12.2009

Überprüfung des Abfallinventars der Schachtanlage Asse II

Übergabe weiterer Unterlagen:

- Zwei CD´s mit tif-Dateien von Begleitlisten
- Zwei DVD´s mit pdf-Dateien von Unterlagen zu den vier Phasen der Versuchseinlagerung, Begleitlisten, Schriftverkehr zur Einlagerung und KKW-Übergangsregelung sowie pdf-Dateien zu folgenden Berichten
  - : Bericht NRG 20995/05.67276/I „Projekt Langzeitsicherheit Asse, Transportmodellierung Fluid- und Radionuklidtransport am Standort Asse“ Rev. 2 vom 27.07.2005
  - : Bericht GRS-A-3350, Colenco-Bericht 3762/01 „Gesamtbewertung der Langzeitsicherheit für den



Standort Asse (Konsequenzanalyse)“ Rev. 0 vom Dezember 2006

- /U-7/ HMGU  
E-Mail vom 18.01.2010  
Anlage: : Interner Bericht Nr. 1/2000 des  
Forschungsbergwerks Asse der GSF „Erstellung einer Datenbank  
Aktualisierung des Radionuklidinventars im Forschungsbergwerk zur  
Asse“ aus dem Jahr 2000
- /U-8/ BfS  
Überprüfung des Abfallinventars der Schachtanlage Asse II  
Statusgespräch am 04.02.2010 bei TÜV SÜD  
Übergabe folgender Unterlagen:
- Eine CD mit der Datenbank ASSEKAT ISS 9.2 vom 02.02.2010 inkl. In-  
formationen zu den erfolgten Änderungen
  - Eine DVD mit pdf-Dateien von Fassbegleitscheinen und –karten sowie  
zwei Heften mit Handaufzeichnungen
  - Eine DVD mit pdf-Dateien von Begleitscheinen für radioaktive Stoffe des  
Ablieferers GfK/KfK
  - Euratom-Meldung für die Schachtanlage Asse II vom Dezember 2009  
(Papierform)
- /U-9/ BfS  
E-Mail vom 15.02.2010  
Anlage: GNS-Bericht B 013/2001 Rev. 1 „Berechnung von nuklidspezifischen  
Aktivitäten in radioaktiven Abfällen aus Kernkraftwerken im  
Forschungsbergwerk Asse“ vom Februar 2001
- /U-10/ BfS  
Persönliche Übergabe folgender Unterlagen am 05.03.2010:  
Eine CD mit Unterlagen zum Schriftverkehr mit dem Bergamt Goslar
- /U-11/ BfS  
E-Mail vom 26.05.2010  
Anlagen: Unterlagen zum Schriftwechsel zwischen Euratom und der Asse  
sowie einigen Ablieferern
- /U-12/ BfS  
Schreiben SE 3.1 9A 251 vom 26.05.2010  
Überprüfung des Abfallinventars der Schachtanlage Asse II  
Übergabe weiterer Unterlagen  
Anlage: Eine CD mit Unterlagen zum Schriftverkehr mit dem Bergamt Goslar



- /U-13/ BfS  
Schreiben SE 3.1 9A 251 vom 17.09.2010  
Überprüfung des Abfallinventars der Schachtanlage Asse II  
Übergabe weiterer Unterlagen  
Anlage: Eine CD mit dem HMGU-Bericht „AG Asse Inventar – Abschlussbericht“ vom 31.08.2010 sowie weiterer darin zitierter Unterlagen
- /U-14/ BfS  
E-Mail vom 19.10.2010  
Anlagen: Interne Stellungnahmen des BfS zum HMGU-Bericht „AG Asse Inventar - Abschlussbericht“ vom 31.08.2010 und zu einem internen Bericht der U-AG ASSE INVENTAR der ESK/SSK-Ad-hoc-Arbeitsgruppe ASSE
- /U-15/ BfS  
E-Mail vom 27.10.2010  
Anlage: , Bericht „Beratung und Unterstützung bei der Fortentwicklung und Programmdokumentation der Datenbank ASSEKAT“ vom 28.02.2010
- /U-16/ Gesellschaft für Kernforschung m. b. H. Karlsruhe  
Schreiben Az. ADB/Dr. Höh/bi vom 29.10.1974  
Anlage: Besprechungsnotiz zur Besprechung bei der GSF in Neuherberg am 14. Oktober 1974  
Anlage zu /U-5/
- /U-17/ Monte Carlo N-Particle Transport Code System Including MCNP5 1.60 and MCNPX 2.6.0 and Data Libraries. Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, New Mexico, USA. <http://mcnp-green.lanl.gov/>
- /U-18/ Grove Software Inc.  
Programm MicroShield, Version 8.01
- /U-19/ Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMBF) (Hrsg.)  
Zielsetzungen, Konzepte und Strategien für die Behandlung und Lagerung Radioaktiver Abfallstoffe aus Kernenergieprogrammen (Waste Management)  
Bericht einer Expertengruppe der Kernenergieagentur (NEA) der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD), September 1977
- /U-20/ Kernforschungszentrum Karlsruhe  
E Smailos, W. Diefenbacher, E. Korthaus, W. Comper:  
Berechnungen zur Radiolysegasbildung und Wärmentwicklung bei der Einlagerung von radioaktiven Bitumen- und Zementprodukten in unterirdischen



Lagerräumen  
Bericht KFK 2076 vom März 1978

- /U-21/ GSF  
U. Gerstmann, H. Meyer und M. Tholen: Bestimmung des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars der Schachtanlage Asse  
Abschlussbericht vom August 2002  
Anlage zu /U-5/
- /U-22/ Kernforschungszentrum Karlsruhe  
W. Bechthold, W. Hauser, P. Johnson, B. Kienzler, W. Kluger, R. Köster, G. Rudolph, M. Torres, E. Smailos und P. Vejmelka: Kerntechnische Untersuchungen im Rahmen des Forschungsvorhabens „Eignungsprüfung der Schachtanlage Konrad für die Endlagerung radioaktiver Abfälle“  
Bericht KFK 3428 vom März 1983
- /U-23/ Kernforschungszentrum Karlsruhe  
W. Kluger, W. Hild, R. Köster, G. Meier und H. Krause: Bituminierung radioaktiver Abfallkonzentrate aus Wiederaufarbeitung, Kernforschungseinrichtungen und Kernkraftwerken  
Bericht KFK 2975 vom Mai 1980
- /U-24/ GfK/GSF  
: Übergangsregelungen zu den Einlagerungsbedingungen für schwachradioaktive Abfälle  
Bericht vom 14.09.1976 mit Anlagen einzelner Kernkraftwerke  
Anlage zu /U-6/
- /U-25/ GSF  
: Übergangsregelungen zu den Einlagerungsbedingungen für schwachradioaktive Abfälle  
Aktennotiz vom 21.09.1976 mit Anlagen einzelner Kernkraftwerke  
Anlage zu /U-6/
- /U-26/ GNS  
Abfallfluss-Verfolgungs- und Produkt-Kontrollsystem (AVK)  
Version AVK 3.1.57 / MOPRO 3.1.49 vom Januar 2011
- /U-27/ TÜV NORD EnSys  
Schachtanlage Asse - Gutachtliche Stellungnahme zum Ist-Zustand des Betriebes hinsichtlich der strahlenschutzrelevanten Aspekte und zum vorhandenen radioaktiven Inventar“ vom September 2008  
Anlage zu /U-5/



- /U-28/ TÜV SÜD  
Gutachtliche Stellungnahme zur Aktivitätsbestimmung in radioaktiven Abfällen und Reststoffen mit dem AVK-Modul MOPRO 3.0, Bericht 52/2004 vom Dezember 2004
- /U-29/ TÜV SÜD  
Prüfbericht zu den Änderungen im Jahr 2010 (Update der Version AVK 3.1.49 zu 3.1.57), Bericht ETS4-04/2011 vom Januar 2011
- /U-30/ Technischer Überwachungs-Verein Bayern e.V.  
Dokumentation zur Wiederaufarbeitungs-Anlage Bayern, Konzeptgutachten 5/1985  
Kapitel 4.2.5 Aktivitätsinventar und -einschluss, Hauptprozessgebäude, Teil 1
- /U-31/ WAK  
Beitrag der WAK zur Vorbereitungsklausur Asse beim BMBF, Folienpräsentation vom 19.08.2009  
Anlage zum HMGU-Bericht „AG Asse Inventar – Abschlussbericht“ vom 31.08.2010 erhalten mit /U-13/
- /U-32/ Forschungszentrum Jülich GmbH (KFA)  
Tagungsband zum Seminar „Kontrolle Radioaktiver Abfälle“  
23.-24.10.1990 in Jülich
- /U-33/ Institut für Radiochemie der Technischen Universität München  
Untersuchungen an Strukturmaterialien aus dem Core-Bereich des Versuchsreaktors AVR, Jülich  
Bericht RCM-BGT-AVR-1-10/99 vom September 1999
- /U-34/ B. Bisplinghoff, M. Lochny, J. Fachinger und H. Brücher  
Radiochemical Characterization of Graphite from Jülich Experimental Reactor (AVR), Nuclear Energy, 39 (5), 305, 2000
- /U-35/  
Inventory of Reactor Graphite and Treatment for Disposal  
International Seminar on Radioactive Waste Products (RADWAP),  
27.-31.10.2008, Würzburg
- /U-36/ Forschungszentrum Jülich  
Zusammenfassung der Ergebnisse der erneuten Überprüfung der Kenndaten (Aktivitätsinventare, Kernbrennstoffe) der von der ehemaligen Kernforschungsanlage Jülich an das Forschungsbergwerk Asse in den Jahren 1968 bis 1978 abgegebenen radioaktiven Abfälle



Abschlussbericht Rev. 1 vom 19.01.2010  
Anlage zu /U-13/

- /U-37/ ESK und SSK  
Radioaktives Inventar in der Schachtanlage ASSE II  
Beratungsergebnisse und Empfehlungen der Ad-hoc-Arbeitsgruppe ASSE  
der ESK und der SSK  
Anlage zum Schreiben an das BMU vom 02.11.2009
- /U-38/ GSF  
Interner Bericht Nr. I/2000 „Erstellung einer Datenbank zur Aktualisierung  
des Radionuklidinventars“
- /U-39/ Reichelt, A.; Lehmann, K.-H.  
Anthropogene Stoffe und Produkte mit natürlichen Radionukliden, Teil 2: Un-  
tersuchungen zur Strahlenexposition beim beruflichen Umgang, Studie des  
TÜV Bayern Sachsen im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für  
Landesentwicklung und Umweltfragen, München, November 1993
- /U-40/ Reichelt, A., Niedermayer, M., Sitte, B., Hamel, P.  
Erfassung und radiologische Bewertung von Hinterlassenschaften mit  
NORM-Materialien aus früheren Tätigkeiten und Arbeiten einschließlich der  
modellhaften Untersuchung branchentypischer Rückstände, Teil 1: Histori-  
sche Recherche zur Ermittlung der radiologischen Relevanz von NORM-  
Rückständen und Konzepte zur Standortidentifikation, Abschlussbericht über  
das Forschungsvorhaben StSch 4386 Teil 1, im Auftrag des Bundesministers  
für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, erstellt von der TÜV Industrie  
Service GmbH, TÜV SÜD Gruppe, Abteilung Umweltradioaktivität und radio-  
logische Altlasten, München, Juni 2005
- /U-41/ Becker, D. E.; Reichelt, A.  
Anthropogene Stoffe und Produkte mit natürlichen Radionukliden, Teil 1:  
Überblick über die wichtigsten Expositionspfade, Studie des TÜV Bayern e.  
V. im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung  
und Umweltfragen, München, Juni 1991
- /U-42/ HMI  
Schreiben vom 20.05.1976 des Hahn-Meitner-Institutes an die  
Ges. f. Strahlen- und Umweltforschung
- /U-43/ TÜV Bayern Sachsen  
Auergesellschaft mbH, Ermittlung der Strahlenexposition für Beschäftigte der  
Gasglühkörperproduktion, Untersuchungsbericht, erstellt vom TÜV Bayern  
Sachsen im Auftrag des TÜV Berlin Brandenburg, April 1995



- /U-44/ TÜV Energie und Systeme  
Strahlenexposition beim Wechseln von thorierten Gasglühkörpern in einem Propanwartungszug der Deutschen Bahn AG, Untersuchungsbericht, April 1997
- /U-45/ TÜV Süddeutschland  
Strahlenexposition beim Umgang mit thorierten Gasglühkörpern in den Propanwartungszügen der Deutschen Bahn AG, Untersuchungsbericht, September 2000
- /U-46/ Becker, D. E.; Eder, E.; Reichelt, A.  
Radiation Exposure by Man-Modified Materials Containing Natural Radionuclides. In: Proceedings of IRPA 8, Eighth International Congress of the International Radiation Protection Association, Montréal, Canada, May 17 - 22, 1992. Vol. 2, 1351 - 1354; ISBN 1-55048-657-8. Available from: International Radiation Protection Association, 2155 rue Guy, Bureau 820, Montréal, Québec, Canada, H3H 2R9.
- /U-47/  
Gutachten über die Strahlengefährdung und den Strahlenschutz bei der Herstellung von Thorium-Glühkörpern in der Glühkörperfabrik der Auergesellschaft GmbH, Berlin, erstattet im Auftrag des Senators für Arbeit und Sozialwesen des Landes Berlin, Hahn-Meitner-Institut, 18. März 1963
- /U-48/ Reichelt, A.  
Gammasspektrometrisches Meß- und Auswerteverfahren zur Bestimmung der Aktivität von Th 232 und dessen Tochternukliden bei Proben, die abgetrenntes terrestrisches Thorium enthalten, In: Tagungsband zur 26. Jahrestagung des Fachverbandes Strahlenschutz, Strahlenschutz: Physik und Meßtechnik, Karlsruhe, 24. - 26. Mai 1994, S. 320 – 325
- /U-49/ ESK und SSK  
Gemeinsame Stellungnahme der ESK und der SSK zur Schachtanlage Asse II - Plausibilitätsprüfungen der Angaben des Betreibers vom 25.09.2008 Anlage zu /U-5/
- /U-50/ Gellermann, R., Schulz, H., Weiß, D., Schellenberger, A., Müller, A.  
Methodische Weiterentwicklung des Leitfadens zur radiologischen Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten und Erweiterung des Anwendungsbereichs, Teil B: Erweiterung des Anwendungsbereichs auf NORM-Rückstände, Bericht I: Vorkommen und Entstehung von radiologisch relevanten Bodenkontaminationen aus bergbaulichen und industriellen Prozessen, Hrsg.: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, BMU – 2007-697, 2006



- /U-51/ Natürliche radioaktive Substanzen als Aktivitätsnormale, PTB-Bericht, PTB-Ra-23, Braunschweig, November 1989
- /U-52/ Benedict .N  
Nuclear Chemical Engineering, Mc-Graw-Hill Inc., New York 1981, 284
- /U-53/ Eine neue thermoionische Drahtkathode mit hoher Emissionsstromdichte auf der Basis: Molybdän-Kohlenstoff-Platin, Dissertation ETH Zürich, Zürich 1978
- /U-54/ Konzept für die Sanierung des Freigeländes am Standort des ehemaligen Fertigungsgebäudes der Leuchtstoffwerke Bad Liebenstein, Betriebsteil Schweina, Bericht der TÜV Süddeutschland Bau und Betrieb GmbH, HA Strahlenschutz und Entsorgung, Nov. 2002
- /U-55/ Kugel- und Rollenfabrik Schweina GmbH i. L., Ermittlung des Kontaminationsumfanges und des radiologischen Status, Untersuchungsbericht, erstellt vom TÜV Bayern Sachsen im Auftrag der Kugel- und Rollenfabrik Schweina GmbH i. L., März 1995
- /U-56/ Sanierung des ehemaligen Fertigungsgebäudes der Leuchtstoffwerke Bad Liebenstein (TLG Objekt Nr. 78973), Bahnhofstr. 18, 36448 Schweina, Abschlussbericht, erstellt im Auftrag des Landesamtes für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Thüringen von der TÜV Süddeutschland Bau und Betrieb GmbH, Hauptabteilung Strahlenschutz und Entsorgung, August 1999
- /U-57/ Prüfbericht zu den Entscheidungsmessungen im Freigabeverfahren des Oxidraumes im Gebäude Y 2, Glas- und Holzinventar, Bericht ETS 2 - 12/2010
- /U-58/ PTB-Bericht Nr. 6.301-969  
Alphaspektrometrische Untersuchung an Thoriumnitrat der Auergesellschaft GmbH, Braunschweig, 19.07.1991
- /U-59/ Determination of the radon production of a barrel containing sealed radium sources, 2nd Dresden Symposium on Radiation Protection, Dresden, Germany, September 10-14, 2000



- /U-60/ PTB-Bericht 6.301-969-1  
Gammasspektrometrische Untersuchungen an zwei Gasglühkörpertypen der Auergesellschaft GmbH, Braunschweig, 19.07.1991
- /U-61/  
Thorium - Anwendung und Umgang, In: Thorium, Probleme der Inkorporationsüberwachung - Anwendung, Messung, Interpretation -, Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Strahlenhygiene, BfS-ISH-161/93
- /U-62/  
Erarbeitung von praktischen Vorgaben zur Probenahme und Probenaufbereitung von überwachungsbedürftigen Rückständen gemäß Strahlenschutzverordnung – StrlSchV, Anlage XII (zu §§ 97 bis 102), und von Baustoffen, Teil 2: Erarbeitung von speziellen Empfehlungen für NORM-Stoffe bezüglich Probenahme und –aufbereitung, Bericht ETS1-18/2009, Bericht über Teil 2 des Forschungsvorhabens StSch 4573, im Auftrag des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, erstellt von der TÜV Industrie Service GmbH, Hauptabteilung Strahlenschutz und Entsorgung, München, März 2009
- /U-63/ Institut für Radiochemie der TU München  
Untersuchungsbericht, Abfallgebinde, KGB00171S2, gemäß Kampagne, KGG 030032, 15.06.2004
- /U-64/ Strahlenschutzverordnung vom 1976  
Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 13.10.1976 (BGBl. I S. 2905, ber. 1977 S. 184 und S. 269) in der Fassung der 2. Änderungsverordnung vom 18.5.1989 (BGBl. I S. 943) und neu bekanntgemacht am 30.6.89 (BGBl. I, Nr. 50, S. 1321 vom 12.07.1989) und berichtigt am 16.10.89 (BGBl. I, Nr. 50, S. 1926 vom 31.10.89), zuletzt geändert durch die Verordnung vom 25.7.1996 zur Änderung der Strahlenschutzverordnung und der Röntgenverordnung (BGBl. I, Nr. 39, S. 1172 vom 31.07.1996)
- /U-65/ BfS  
Schriftverkehr schwachaktiv, Anlage NUKEM Hanau  
Übergabe der Unterlagen zum Startgespräch am 09.12.2009 beim BfS  
Anlage zu /U-5/



- /U-66/ B.J. Lederer, D. W. Wildberg  
Reaktorhandbuch – Kerntechnische Grundlagen für Personal in Kernkraft-  
werken, Verlag Karl Thiemig, München 1981
- /U-67/ A. Bleise et al.  
Properties, use and health effects of depleted uranium (DU): A general over-  
view, Journal of Environmental Radioactivity 64 (2003) 93-112



## II Abkürzungsverzeichnis

AB	Amersham-Buchler
AD	Außendurchmesser
ADB	Abteilung Dekontaminationsbetriebe der Gesellschaft für Kernforschung mbH (GfK) bzw. des Kernforschungszentrums Karlsruhe (KfK), heute HDB und seit 1.07.2009 zur WAK gehörend
AEG	Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft
ALKEM	Alpha-Chemie und –Metallurgie, Hanau
ASSEKAT	Access-Datenbank zur Erfassung der Daten von in der Asse eingelagerten Abfällen
ASSEKAT/PAI	Datenbank zur Erfassung der Daten von in der Asse eingelagerten Abfällen mit anschließender Berechnung des Aktivitätsinventars
AVK	Abfallfluss-Verfolgungs- und Produkt-Kontrollsystem
AVR	Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor
BB	200-I-Blechtrommel + Betonauskleidung
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BL	Begleitliste
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BT	Blechtrommel
BW	Bundeswehr
Ch	Charge
Ci	Curie; ehemalige Einheit der Aktivität, 1 Ci = 3,7 E10 Bq
DWR	Druckwasserreaktor
E	Empfehlung
EC	Elektroneneinfang engl. electron capture
EnBW	Energie Baden-Württemberg AG, Karlsruhe
E.ON	E.ON Energie AG, Düsseldorf
ERAM	Endlager radioaktiver Abfälle Morsleben
ESK	Entsorgungskommission
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule
FRM	Forschungsreaktor München
FB	Fragebogen
FZ	Forschungszentrum
GfK	Gesellschaft für Kernforschung mbH, Karlsruhe, später:



	Kernforschungszentrum Karlsruhe, dann: Forschungszentrum Karlsruhe, heute: Karlsruher Institut für Technologie KIT
GK	Glühkörper
GKN	Kernkraftwerk Neckarwestheim
GKSS	Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schifffahrt, Geesthacht, heute: Helmholtz-Zentrum Geesthacht – Zentrum für Material- und Küstenforschung, HZG
GNS	Gesellschaft für Nuklearservice, Essen
GSF	Gesellschaft für Strahlenforschung, später: Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung – Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH, Neuherberg, heute: Helmholtz Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt GmbH, Neuherberg
GSF-Han	GSF Hannover
GSF-Nhg	GSF Neuherberg
GWK	Gesellschaft für Wiederaufarbeitung (heute WAK-GmbH)
HDB	Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe (früher ADB), seit 1.07.2009 zur WAK gehörend
HDR	Heißdampfreaktor Großwelzheim
HMI	Hahn-Meitner-Institut für Kernforschung, Berlin, heute: Helmholtz Zentrum Berlin
HMGU	Helmholtz Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt, München (Neuherberg)
HTR	Hochtemperaturreaktor
ICRP 74	Annals of the ICRP (International Commission on Radiation Protection, Internationale Strahlenschutzkommission), Kanada, Publication 74: Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation
ID	Innendurchmesser
ID-Nr.	Identifikations-Nummer
KaNr	Einlagerungskammer-Nr.
KFA	Kernforschungszentrum Jülich, heute Forschungszentrum Jülich (FZJ)
KfK bzw. KFK	Kernforschungszentrum Karlsruhe, später Forschungszentrum Karlsruhe, heute: Karlsruher Institut für Technologie KIT
KKB	Kernkraftwerk Brunsbüttel
KKS	Kernkraftwerk Stade
KKU	Kernkraftwerk Unterweser



KRB	Kernkraftwerk RWE-Bayernwerk (heute Kernkraftwerk Gundremmingen GmbH)
KRT	Kernreaktorteile GmbH
KKW	Kernkraftwerk
KWB	Kernkraftwerk Biblis
KWL	Kernkraftwerk Lingen
KWO	Kernkraftwerk Obrigheim
KWU	Kraftwerk Union
KWW	Kernkraftwerk Würgassen
LAW	Low-level radioactive waste – schwachradioaktiver Abfall
LEU	Low enriched uranium
Lfd.Nr.	Laufende Nummer
LWR	Leichtwasserreaktor
LWR-MOX	U-Pu-Oxidbrennstoff für Leichtwasserreaktoren
MAW	Medium-level radioactive waste – mittelradioaktiver Abfall
MCNP	Monte Carlo N-Particle Transport-Code
MOPRO	Modul zur Produktkontrolle im Abfallfluss-Verfolgungs- und Produkt-Kontrollsystem
MOX	Mischoxid
MP	Mess- und Prüfstelle für die Gewerbeaufsichtsverwaltung des Landes Hessen
MTR	Materialtestreaktor
Nat. Th	Thorium mit natürlicher Isotopenzusammensetzung
NB-VBA	Verlorene Beton-Abschirmung aus Normalbeton
NRG	Nuclear Research and Consultancy Group, Netherlands
NUKEM	Nuklear-Chemie und –Metallurgie GmbH
ODL	Ortsdosisleistung
PAI	Programm zur Aktualisierung des Asse-Inventars
PE	Polyethylen
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt
PVC	Polyvinylchloride
RB	200-l-Rollsickenfass + Betonauskleidung
RBU	Reaktor-Brennelemente Union
Rem	Roentgen equivalent in men, ehemalige Einheit der Strahlungsdosis, 1 rem = 10 mSv
RR	Rollreifenfass
RS	Rollsickenfass



RWE	Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerke AG, Essen
SB-VBA	Verlorene Beton-Abschirmung aus Schwerbeton
SBR	Schneller Brutreaktor
SBR-MOX	U-Pu-Oxidbrennstoff für Schnelle Brutreaktoren
SNEAK	Schnelle-Null-Energie-Anordnung-Karlsruhe
SSK	Strahlenschutzkommission
Steag	Steinkohlen-Elektrizität AG
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung
SWR	Siedewasserreaktor
Th-nat	Abgetrenntes Thorium in der natürlichen Isotopenzusammensetzung gemäß der alten StrlSchV /U-64/
TN	Transnuklear
TÜV NORD EnSys	TÜV NORD EnSys Hannover GmbH & Co. KG, Hannover
TÜV SÜD	TÜV SÜD Industrie Service GmbH, München
U-nat	Uran mit natürlicher Isotopenzusammensetzung
U-abger	Uran mit abgereichertem U-235-Istopengehalt
URT	Unbekannter Reaktortyp
VAK	Versuchsatomkraftwerk Kahl
VBA	Verlorene Betonabschirmung
VDK	Verdampferkonzentrat
WAK	Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe GmbH (früher GWK, heute WAK-GmbH)
WIG	Wolfram-Inertgasschweißen

### III Aktivitätsinventar der Asse gemäß ASSEKAT/PAI 9.2

Tabelle 33: Mit der Datenbank ASSEKAT/PAI 9.2 zum Stichtag 1.1.1980 bestimmtes nuklidspezifisches Aktivitätsinventar der Asse in Bq.

KaNr	1/750m	2/750m	2/750mNA2	4/750m	5/750m	6/750m	7/725m
H-3	7,33E+10	7,95E+09	1,08E+11	6,47E+09	4,12E+10	6,86E+11	4,41E+10
Be-10	3,43E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,28E+01	4,62E+02	1,16E+01
C-14	3,77E+10	6,34E+10	3,88E+11	1,49E+09	2,42E+11	3,56E+11	4,09E+10
Cl-36	1,21E+08	1,61E+08	6,10E+08	2,38E+06	7,72E+08	1,02E+09	6,36E+07
Ca-41	5,47E+04	9,29E+04	1,83E+05	1,17E+03	3,90E+05	5,42E+05	1,92E+04
Mn-54	1,19E+08	5,55E+08	5,22E+10	8,18E+05	1,91E+10	3,68E+11	1,74E+09
Fe-55	3,04E+11	5,78E+11	3,93E+12	5,07E+09	6,38E+12	3,81E+13	3,61E+11
Co-60	1,70E+12	4,68E+12	7,90E+12	1,58E+10	1,10E+13	1,36E+14	1,28E+12
Ni-59	3,47E+08	1,03E+08	5,47E+07	0,00E+00	1,43E+09	2,32E+10	2,09E+08
Ni-63	1,25E+12	2,35E+12	4,83E+12	3,25E+10	1,18E+13	1,89E+13	5,34E+11
Se-79	2,50E+07	2,03E+07	2,53E+07	1,02E+05	1,08E+08	8,43E+08	1,60E+07
Kr-85	9,12E+03	2,45E+03	4,91E+03	0,00E+00	8,12E+04	2,54E+05	3,92E+04
Rb-87	1,42E+03	1,00E+03	9,11E+02	2,84E+00	4,83E+03	3,92E+04	7,05E+02
Sr-90	5,08E+12	1,57E+12	9,74E+11	7,12E+08	6,37E+12	1,11E+14	2,12E+12
Zr-93	1,28E+08	4,50E+07	1,50E+07	0,00E+00	4,51E+08	7,54E+09	6,52E+07
Nb-94	1,27E+09	1,96E+09	3,81E+09	2,88E+07	8,56E+09	1,30E+10	4,47E+08
Mo-93	1,41E+06	4,18E+05	2,23E+05	0,00E+00	5,82E+06	9,41E+07	8,51E+05
Tc-99	1,53E+09	3,07E+08	4,00E+09	0,00E+00	1,29E+09	2,57E+10	9,33E+08
Pd-107	6,29E+06	1,90E+06	7,78E+05	0,00E+00	8,90E+06	2,09E+08	3,12E+06
Ag-108m	3,00E+08	5,96E+08	1,21E+09	7,18E+06	2,82E+09	3,74E+09	1,18E+08
Cd-113m	1,89E+09	2,03E+09	5,12E+09	2,94E+07	1,43E+10	5,57E+10	1,38E+09
Sn-126	4,37E+07	2,87E+07	3,95E+07	2,44E+05	1,25E+08	1,15E+09	2,08E+07
Sb-125	5,02E+10	4,60E+10	2,21E+11	2,37E+08	6,18E+11	1,34E+13	6,32E+10
I-129	2,41E+06	1,82E+06	2,05E+06	9,37E+03	8,36E+06	6,60E+07	1,14E+06
Cs-134	1,21E+11	1,26E+11	5,78E+11	2,24E+08	1,28E+12	1,51E+13	2,65E+11
Cs-135	2,32E+07	8,75E+06	3,80E+06	0,00E+00	3,82E+07	9,69E+08	1,21E+07
Cs-137	7,82E+12	1,18E+13	7,40E+12	2,44E+10	2,60E+13	1,87E+14	4,46E+12
Ba-133	0,00E+00	0,00E+00	2,26E+07	0,00E+00	7,31E+08	0,00E+00	0,00E+00
Pm-147	8,82E+11	5,69E+11	3,99E+13	0,00E+00	2,24E+12	1,28E+14	7,67E+11
Sm-151	3,60E+10	1,58E+10	3,86E+09	0,00E+00	4,29E+10	1,54E+12	1,17E+10
Eu-152	2,93E+08	1,12E+08	7,95E+07	1,30E+05	5,06E+08	1,75E+10	1,31E+08
Eu-154	1,56E+11	5,38E+10	4,38E+10	4,74E+07	4,23E+11	4,43E+12	1,70E+11
Eu-155	5,95E+10	2,71E+10	1,50E+10	0,00E+00	1,60E+11	4,23E+12	6,07E+10
Ho-166m	5,65E+03	1,34E+03	1,16E+03	0,00E+00	1,76E+04	1,17E+05	7,87E+03
Tl-204	0,00E+00	0,00E+00	5,15E+10	0,00E+00	4,27E+08	0,00E+00	0,00E+00
Pb-210	1,18E+10	1,21E+09	6,64E+09	4,80E+08	7,19E+08	4,11E+08	1,25E+09
Ra-226	5,63E+10	6,13E+09	9,77E+10	1,57E+09	3,07E+09	1,23E+10	3,03E+09
Ra-228	1,69E+10	1,14E+10	1,50E+10	9,93E+09	6,61E+08	5,94E+08	5,43E+09
Ac-227	4,09E+05	2,54E+03	4,30E+09	3,38E+05	4,51E+03	5,38E+03	3,20E+05
Th-228	1,78E+10	7,66E+09	7,23E+09	7,95E+09	4,71E+08	1,13E+08	3,33E+09
Th-229	1,19E+03	8,84E+01	1,14E+05	0,00E+00	5,04E+03	2,81E+00	1,38E+05
Th-230	5,57E+09	1,03E+10	6,93E+09	7,17E+09	5,33E+08	1,23E+05	6,50E+09



Tabelle 33: Fortsetzung: Mit der Datenbank ASSEKAT/PAI 9.2 zum Stichtag 1.1.1980 bestimmtes nuklidspezifisches Aktivitätsinventar der Asse in Bq.

KaNr	1/750m	2/750m	2/750mNA2	4/750m	5/750m	6/750m	7/725m
Th-232	1,12E+10	2,07E+10	1,83E+10	1,43E+10	1,51E+09	4,88E+09	1,30E+10
Pa-231	2,92E+06	2,08E+04	7,10E+08	2,15E+06	2,96E+04	2,23E+04	2,83E+06
U-232	1,08E+08	9,02E+06	7,19E+07	5,33E+03	1,36E+08	1,24E+07	5,21E+08
U-233	1,68E+06	1,62E+05	3,63E+08	1,88E+01	7,80E+06	1,22E+05	3,59E+08
U-234	3,26E+11	5,03E+09	2,59E+11	2,20E+11	1,08E+10	3,92E+09	1,24E+11
U-235	1,42E+10	1,36E+08	6,26E+09	9,28E+09	2,52E+08	1,50E+08	4,86E+09
U-236	4,85E+09	5,88E+08	1,03E+09	0,00E+00	2,11E+09	5,23E+08	7,05E+09
U-238	2,96E+11	3,89E+09	2,68E+11	2,06E+11	4,18E+09	4,80E+09	1,01E+11
Np-237	3,36E+07	2,48E+07	1,27E+07	8,37E+04	4,85E+07	2,77E+08	1,38E+07
Pu-238	8,04E+12	7,65E+12	1,66E+12	2,33E+06	7,97E+12	2,66E+12	1,30E+13
Pu-239	6,37E+12	8,65E+12	7,55E+11	5,83E+05	2,72E+12	3,69E+12	3,28E+12
Pu-240	5,92E+12	8,85E+12	8,36E+11	1,30E+06	3,27E+12	5,01E+12	4,25E+12
Pu-241	8,16E+14	9,37E+14	1,33E+14	1,65E+08	5,15E+14	5,56E+14	7,35E+14
Pu-242	8,34E+09	9,42E+09	1,73E+09	9,33E+03	7,74E+09	6,62E+09	1,24E+10
Pu-244	6,07E+02	5,15E+02	1,04E+02	0,00E+00	1,07E+03	1,05E+02	1,93E+03
Am-241	1,20E+13	1,27E+13	6,37E+11	5,00E+06	4,16E+12	2,67E+12	5,33E+12
Am-242m	1,61E+08	3,93E+07	4,26E+07	4,87E+04	3,64E+08	6,74E+09	1,16E+08
Am-243	2,04E+08	4,98E+07	5,49E+07	0,00E+00	7,73E+08	5,41E+09	3,51E+08
Cm-242	1,05E+05	9,77E+04	1,90E+07	0,00E+00	6,63E+06	5,80E+09	2,56E+06
Cm-243	1,11E+08	2,60E+07	4,55E+07	0,00E+00	5,71E+08	2,52E+09	2,55E+08
Cm-244	5,70E+09	1,60E+09	2,87E+09	9,55E+05	4,59E+10	1,33E+11	2,21E+10
Cm-245	3,80E+05	1,16E+05	2,70E+05	3,07E+02	3,98E+06	5,03E+06	1,93E+06
Cm-246	2,04E+05	6,33E+04	2,48E+05	5,44E+01	4,33E+06	1,55E+06	2,19E+06
Cm-247	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Cm-248	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Cm-250	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Cf-249	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,09E+01	0,00E+00	1,57E+01
Cf-251	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Cf-252	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,09E+00	0,00E+00	6,08E+00
Alpha	3,31E+13	3,79E+13	4,54E+12	4,51E+11	1,82E+13	1,42E+13	2,62E+13
Beta/Gamma	8,32E+14	9,57E+14	1,54E+14	9,22E+10	5,71E+14	1,03E+15	7,44E+14

Tabelle 33: Fortsetzung: Mit der Datenbank ASSEKAT/PAI 9.2 zum Stichtag 1.1.1980 bestimmtes nuklidspezifisches Aktivitätsinventar der Asse in Bq.

KaNr	7/750m	8/750m	10/750m	11/750m	12/750m	8a/511m	LAW	Gesamt
H-3	6,71E+11	1,26E+11	2,84E+10	2,60E+11	7,38E+10	7,65E+11	2,13E+12	2,89E+12
Be-10	7,98E+02	0,00E+00	4,71E+00	2,09E+02	2,74E+01	1,11E+03	1,54E+03	2,65E+03
C-14	1,55E+11	2,05E+11	3,87E+10	7,53E+11	1,47E+11	2,23E+11	2,43E+12	2,65E+12
Cl-36	4,59E+08	1,41E+08	5,45E+07	3,37E+09	4,20E+08	3,73E+07	7,20E+09	7,23E+09
Ca-41	2,42E+05	6,05E+04	2,80E+04	1,12E+06	2,03E+05	5,05E+05	2,93E+06	3,44E+06
Mn-54	1,57E+11	1,91E+09	1,07E+09	1,06E+11	2,67E+09	9,16E+11	7,10E+11	1,63E+12
Fe-55	1,61E+13	6,24E+11	3,39E+11	2,33E+13	1,60E+12	7,22E+14	9,17E+13	8,13E+14
Co-60	1,61E+13	1,63E+12	1,07E+12	6,11E+13	4,51E+12	7,19E+14	2,47E+14	9,66E+14
Ni-59	1,28E+10	6,87E+07	1,31E+08	1,24E+10	9,87E+08	1,71E+12	5,17E+10	1,76E+12
Ni-63	5,23E+12	1,18E+12	6,95E+11	3,50E+13	4,12E+12	2,40E+14	8,60E+13	3,26E+14
Se-79	6,90E+08	9,85E+06	9,96E+06	4,43E+08	7,52E+07	1,10E+09	2,26E+09	3,36E+09
Kr-85	1,75E+06	6,79E+03	2,30E+03	6,05E+05	8,00E+12	2,59E+06	8,00E+12	8,00E+12
Rb-87	3,99E+04	3,37E+02	5,96E+02	2,30E+04	4,94E+03	5,41E+04	1,17E+05	1,71E+05
Sr-90	1,15E+14	8,91E+11	1,77E+12	4,12E+13	1,25E+13	1,51E+14	2,98E+14	4,50E+14
Zr-93	4,07E+09	2,48E+07	5,48E+07	4,20E+09	4,19E+08	5,28E+11	1,70E+10	5,45E+11
Nb-94	5,50E+09	1,37E+09	6,21E+08	2,61E+10	4,46E+09	1,10E+11	6,71E+10	1,77E+11
Mo-93	5,22E+07	2,79E+05	5,32E+05	5,05E+07	4,00E+06	6,96E+09	2,10E+08	7,17E+09
Tc-99	2,48E+10	1,67E+08	2,10E+09	8,52E+09	3,00E+09	3,36E+10	7,23E+10	1,06E+11
Pd-107	1,86E+08	1,08E+06	2,71E+06	5,88E+07	2,08E+07	2,42E+08	4,99E+08	7,41E+08
Ag-108m	1,28E+09	3,16E+08	1,68E+08	7,65E+09	1,07E+09	3,46E+09	1,93E+10	2,27E+10
Cd-113m	4,64E+10	1,31E+09	9,70E+08	4,81E+10	6,22E+09	5,05E+10	1,83E+11	2,34E+11
Sn-126	1,02E+09	1,84E+07	1,99E+07	5,46E+08	1,51E+08	1,39E+09	3,17E+09	4,56E+09
Sb-125	6,21E+12	4,99E+10	3,89E+10	4,23E+12	2,48E+11	4,04E+14	2,52E+13	4,29E+14
I-129	6,09E+07	7,93E+05	1,01E+06	3,66E+07	7,71E+06	7,81E+07	1,89E+08	2,67E+08
Cs-134	3,51E+13	1,06E+11	6,56E+10	1,17E+13	3,81E+11	1,68E+13	6,47E+13	8,16E+13
Cs-135	7,82E+08	6,03E+06	1,17E+07	2,71E+08	8,96E+07	9,70E+08	2,21E+09	3,19E+09
Cs-137	1,79E+14	2,83E+12	3,37E+12	1,11E+14	2,11E+13	2,17E+14	5,62E+14	7,79E+14
Ba-133	0,00E+00	1,20E+11	2,99E+09	3,74E+06	2,80E+10	0,00E+00	1,51E+11	1,51E+11
Pm-147	9,55E+13	4,14E+11	8,86E+11	2,32E+13	5,94E+12	5,56E+13	2,98E+14	3,54E+14
Sm-151	9,41E+11	9,72E+09	2,72E+10	3,57E+11	2,15E+11	1,12E+12	3,20E+12	4,32E+12
Eu-152	1,11E+10	6,39E+07	1,32E+08	2,97E+09	1,02E+09	1,05E+10	3,38E+10	4,43E+10
Eu-154	1,01E+13	4,07E+10	3,95E+10	3,29E+12	2,60E+11	1,17E+13	1,90E+13	3,07E+13
Eu-155	5,20E+12	1,91E+10	3,65E+10	1,49E+12	2,73E+11	4,48E+12	1,16E+13	1,61E+13
Ho-166m	4,05E+05	1,55E+03	1,35E+03	1,36E+05	8,29E+03	5,36E+05	7,03E+05	1,24E+06
Tl-204	0,00E+00	5,93E+10	0,00E+00	3,80E+08	0,00E+00	0,00E+00	1,12E+11	1,12E+11
Pb-210	4,63E+08	3,47E+08	4,73E+08	3,93E+08	8,63E+08	2,89E+02	2,51E+10	2,51E+10
Ra-226	8,13E+09	9,66E+08	4,46E+09	3,15E+09	5,18E+09	6,61E+03	2,02E+11	2,02E+11
Ra-228	6,23E+01	6,94E+10	5,57E+09	1,91E+10	2,15E+10	3,71E+06	1,75E+11	1,75E+11
Ac-227	7,81E+03	1,28E+08	1,14E+09	1,78E+04	1,52E+08	1,52E+04	5,72E+09	5,72E+09
Th-228	6,09E+07	4,06E+10	3,19E+09	1,18E+10	1,37E+10	7,14E+07	1,14E+11	1,14E+11
Th-229	1,68E+02	4,92E+02	8,34E+01	3,50E+02	8,18E+05	6,84E+05	1,08E+06	1,76E+06
Th-230	9,28E+04	6,86E+10	6,33E+09	1,96E+10	2,10E+10	4,68E+06	1,53E+11	1,53E+11

Tabelle 33: Fortsetzung: Mit der Datenbank ASSEKAT/PAI 9.2 zum Stichtag 1.1.1980 bestimmtes nuklidspezifisches Aktivitätsinventar der Asse in Bq.

KaNr	7/750m	8/750m	10/750m	11/750m	12/750m	8a/511m	LAW	Gesamt
Th-232	6,23E+01	1,51E+11	1,27E+10	3,93E+10	4,20E+10	1,18E+07	3,29E+11	3,29E+11
Pa-231	4,48E+04	1,68E+06	1,23E+08	1,10E+05	8,85E+04	8,11E+04	8,43E+08	8,43E+08
U-232	1,02E+08	1,12E+07	6,72E+07	2,02E+08	3,31E+06	8,68E+07	1,24E+09	1,33E+09
U-233	5,77E+05	1,13E+06	2,77E+05	1,02E+06	1,40E+09	2,36E+09	2,13E+09	4,49E+09
U-234	6,72E+09	3,56E+11	1,59E+10	2,53E+10	1,63E+10	7,80E+09	1,37E+12	1,38E+12
U-235	1,36E+08	1,55E+10	7,48E+08	7,64E+08	6,79E+08	2,54E+08	5,30E+10	5,32E+10
U-236	1,48E+09	2,00E+08	9,00E+08	3,20E+09	2,70E+08	1,32E+09	2,22E+10	2,35E+10
U-238	3,21E+09	3,48E+11	1,30E+10	1,42E+10	1,59E+10	3,45E+09	1,28E+12	1,28E+12
Np-237	4,44E+08	8,24E+06	5,54E+06	2,32E+08	8,31E+07	6,43E+08	1,18E+09	1,83E+09
Pu-238	2,16E+13	3,34E+12	7,97E+10	8,47E+12	1,27E+12	8,42E+12	7,58E+13	8,42E+13
Pu-239	5,76E+12	1,38E+12	4,30E+10	4,50E+12	3,72E+12	3,24E+12	4,09E+13	4,41E+13
Pu-240	7,90E+12	1,32E+12	3,79E+10	4,60E+12	3,88E+12	3,71E+12	4,59E+13	4,96E+13
Pu-241	1,36E+15	2,05E+14	5,53E+12	6,28E+14	3,24E+14	5,64E+14	6,21E+15	6,78E+15
Pu-242	2,01E+10	3,27E+09	8,12E+07	8,51E+09	2,89E+09	8,46E+09	8,11E+10	8,96E+10
Pu-244	2,99E+03	4,75E+02	1,09E+01	1,05E+03	4,89E+01	1,11E+03	8,91E+03	1,00E+04
Am-241	5,45E+12	1,63E+12	5,42E+10	4,86E+12	3,61E+12	5,98E+12	5,32E+13	5,91E+13
Am-242m	6,74E+09	3,65E+07	3,96E+07	2,09E+09	2,80E+08	8,46E+09	1,66E+10	2,51E+10
Am-243	1,68E+10	6,68E+07	4,31E+07	5,60E+09	2,31E+08	2,36E+10	2,95E+10	5,32E+10
Cm-242	1,79E+10	4,87E+05	1,54E+05	4,42E+09	3,92E+05	1,52E+08	2,82E+10	2,83E+10
Cm-243	1,34E+10	4,68E+07	1,79E+07	4,51E+09	6,03E+07	1,71E+10	2,16E+10	3,87E+10
Cm-244	9,41E+11	3,90E+09	1,35E+09	3,30E+11	3,49E+09	1,46E+12	1,49E+12	2,95E+12
Cm-245	1,00E+08	3,42E+05	9,94E+04	3,40E+07	1,54E+05	1,26E+08	1,46E+08	2,72E+08
Cm-246	1,33E+08	3,70E+05	9,53E+04	4,34E+07	3,08E+04	1,43E+08	1,86E+08	3,28E+08
Cm-247	0,00E+00							
Cm-248	1,47E+02	0,00E+00	0,00E+00	3,04E+01	0,00E+00	4,19E+00	1,77E+02	1,81E+02
Cm-250	0,00E+00							
Cf-249	1,72E+03	0,00E+00	0,00E+00	4,95E+02	0,00E+00	1,22E+03	2,25E+03	3,47E+03
Cf-251	0,00E+00							
Cf-252	2,91E+03	0,00E+00	0,00E+00	7,62E+02	0,00E+00	4,39E+02	3,68E+03	4,12E+03
Alpha	4,17E+13	8,55E+12	2,64E+11	2,29E+13	1,26E+13	2,29E+13	2,21E+14	2,43E+14
Beta/Gamma	1,69E+15	2,12E+14	1,26E+13	8,85E+14	3,67E+14	2,31E+15	7,46E+15	9,77E+15

Tabelle 34: Mit der Datenbank ASSEKAT/PAI 9.2 zum Stichtag 1.1.2012 bestimmtes nuklidspezifisches Aktivitätsinventar der Asse in Bq.

KaNr	1/750m	2/750m	2/750mNA2	4/750m	5/750m	6/750m	7/725m
H-3	1,21E+10	1,31E+09	1,78E+10	1,07E+09	6,81E+09	1,14E+11	7,30E+09
Be-10	3,43E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,28E+01	4,62E+02	1,16E+01
C-14	3,75E+10	6,31E+10	3,86E+11	1,48E+09	2,41E+11	3,55E+11	4,08E+10
Cl-36	1,21E+08	1,61E+08	6,10E+08	2,38E+06	7,72E+08	1,02E+09	6,36E+07
Ca-41	5,47E+04	9,28E+04	1,82E+05	1,17E+03	3,89E+05	5,42E+05	1,92E+04
Mn-54	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Fe-55	9,00E+07	1,71E+08	1,16E+09	1,50E+06	1,89E+09	1,13E+10	1,07E+08
Co-60	2,53E+10	6,97E+10	1,17E+11	2,35E+08	1,64E+11	2,03E+12	1,90E+10
Ni-59	3,47E+08	1,03E+08	5,47E+07	0,00E+00	1,43E+09	2,32E+10	2,09E+08
Ni-63	1,00E+12	1,88E+12	3,87E+12	2,60E+10	9,49E+12	1,52E+13	4,27E+11
Se-79	2,50E+07	2,03E+07	2,52E+07	1,02E+05	1,07E+08	8,42E+08	1,60E+07
Kr-85	1,13E+03	2,86E+02	5,38E+02	0,00E+00	1,03E+04	3,23E+04	4,97E+03
Rb-87	1,42E+03	1,00E+03	9,11E+02	2,84E+00	4,83E+03	3,92E+04	7,05E+02
Sr-90	2,35E+12	7,24E+11	4,50E+11	3,30E+08	2,95E+12	5,12E+13	9,80E+11
Zr-93	1,28E+08	4,50E+07	1,50E+07	0,00E+00	4,51E+08	7,54E+09	6,52E+07
Nb-94	1,27E+09	1,96E+09	3,80E+09	2,88E+07	8,55E+09	1,30E+10	4,46E+08
Mo-93	1,40E+06	4,16E+05	2,22E+05	0,00E+00	5,79E+06	9,36E+07	8,47E+05
Tc-99	1,53E+09	3,07E+08	4,00E+09	0,00E+00	1,29E+09	2,57E+10	9,33E+08
Pd-107	6,29E+06	1,90E+06	7,78E+05	0,00E+00	8,90E+06	2,09E+08	3,12E+06
Ag-108m	2,84E+08	5,65E+08	1,15E+09	6,81E+06	2,67E+09	3,55E+09	1,12E+08
Cd-113m	3,93E+08	4,22E+08	1,06E+09	6,09E+06	2,96E+09	1,15E+10	2,86E+08
Sn-126	4,37E+07	2,87E+07	3,95E+07	2,44E+05	1,25E+08	1,15E+09	2,08E+07
Sb-125	1,61E+07	1,48E+07	7,10E+07	7,64E+04	1,99E+08	4,32E+09	2,03E+07
I-129	2,41E+06	1,82E+06	2,05E+06	9,37E+03	8,36E+06	6,60E+07	1,14E+06
Cs-134	2,57E+06	2,68E+06	1,23E+07	4,77E+03	2,72E+07	3,22E+08	5,64E+06
Cs-135	2,32E+07	8,75E+06	3,80E+06	0,00E+00	3,82E+07	9,69E+08	1,21E+07
Cs-137	3,74E+12	5,66E+12	3,54E+12	1,16E+10	1,24E+13	8,93E+13	2,13E+12
Ba-133	0,00E+00	0,00E+00	2,75E+06	0,00E+00	8,87E+07	0,00E+00	0,00E+00
Pm-147	1,88E+08	1,21E+08	8,49E+09	0,00E+00	4,76E+08	2,73E+10	1,63E+08
Sm-151	2,81E+10	1,23E+10	3,02E+09	0,00E+00	3,36E+10	1,21E+12	9,14E+09
Eu-152	5,70E+07	2,17E+07	1,55E+07	2,52E+04	9,84E+07	3,39E+09	2,55E+07
Eu-154	1,18E+10	4,07E+09	3,32E+09	3,59E+06	3,20E+10	3,35E+11	1,29E+10
Eu-155	5,64E+08	2,57E+08	1,42E+08	0,00E+00	1,52E+09	4,01E+10	5,75E+08
Ho-166m	5,55E+03	1,32E+03	1,14E+03	0,00E+00	1,73E+04	1,15E+05	7,73E+03
Tl-204	0,00E+00	0,00E+00	1,46E+08	0,00E+00	1,21E+06	0,00E+00	0,00E+00
Pb-210	3,96E+10	4,33E+09	6,36E+10	1,19E+09	2,19E+09	7,87E+09	2,39E+09
Ra-226	5,56E+10	6,18E+09	9,65E+10	1,65E+09	3,04E+09	1,22E+10	3,08E+09
Ra-228	1,13E+10	2,05E+10	1,82E+10	1,42E+10	1,49E+09	4,79E+09	1,29E+10
Ac-227	5,60E+06	4,85E+04	2,01E+09	3,83E+06	8,41E+04	5,41E+04	3,15E+06
Th-228	1,14E+10	2,04E+10	1,82E+10	1,42E+10	1,58E+09	4,76E+09	1,32E+10
Th-229	6,24E+03	5,83E+02	1,21E+06	0,00E+00	2,86E+04	3,04E+02	1,22E+06
Th-230	5,57E+09	1,03E+10	6,92E+09	7,17E+09	5,33E+08	1,23E+05	6,50E+09



Tabelle 34: Fortsetzung: Mit der Datenbank ASSEKAT/PAI 9.2 zum Stichtag 1.1.2012 bestimmtes nuklidspezifisches Aktivitätsinventar der Asse in Bq.

KaNr	1/750m	2/750m	2/750mNA2	4/750m	5/750m	6/750m	7/725m
Th-232	1,12E+10	2,07E+10	1,83E+10	1,43E+10	1,51E+09	4,88E+09	1,30E+10
Pa-231	1,26E+07	1,13E+05	7,14E+08	8,42E+06	2,00E+05	1,24E+05	6,11E+06
U-232	7,84E+07	6,54E+06	5,21E+07	3,86E+03	9,84E+07	9,01E+06	3,78E+08
U-233	1,68E+06	1,62E+05	3,63E+08	1,88E+01	7,80E+06	1,22E+05	3,59E+08
U-234	3,26E+11	5,03E+09	2,59E+11	2,20E+11	1,08E+10	3,92E+09	1,24E+11
U-235	1,42E+10	1,36E+08	6,26E+09	9,28E+09	2,52E+08	1,50E+08	4,86E+09
U-236	4,85E+09	5,88E+08	1,03E+09	0,00E+00	2,11E+09	5,23E+08	7,05E+09
U-238	2,96E+11	3,89E+09	2,68E+11	2,06E+11	4,18E+09	4,80E+09	1,01E+11
Np-237	2,90E+08	3,09E+08	4,12E+07	8,38E+04	1,76E+08	3,96E+08	1,90E+08
Pu-238	6,25E+12	5,94E+12	1,29E+12	1,81E+06	6,19E+12	2,07E+12	1,01E+13
Pu-239	6,36E+12	8,65E+12	7,54E+11	5,83E+05	2,72E+12	3,69E+12	3,28E+12
Pu-240	5,90E+12	8,82E+12	8,33E+11	1,29E+06	3,26E+12	5,00E+12	4,24E+12
Pu-241	1,74E+14	2,00E+14	2,83E+13	3,51E+07	1,10E+14	1,19E+14	1,57E+14
Pu-242	8,34E+09	9,42E+09	1,72E+09	9,33E+03	7,74E+09	6,62E+09	1,24E+10
Pu-244	6,07E+02	5,15E+02	1,04E+02	0,00E+00	1,07E+03	1,05E+02	1,93E+03
Am-241	3,21E+13	3,58E+13	3,96E+12	8,91E+06	1,70E+13	1,66E+13	2,37E+13
Am-242m	1,38E+08	3,36E+07	3,64E+07	4,16E+04	3,11E+08	5,76E+09	9,89E+07
Am-243	2,04E+08	4,96E+07	5,47E+07	0,00E+00	7,71E+08	5,39E+09	3,50E+08
Cm-242	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Cm-243	5,19E+07	1,21E+07	2,12E+07	0,00E+00	2,66E+08	1,18E+09	1,19E+08
Cm-244	1,67E+09	4,70E+08	8,42E+08	2,80E+05	1,35E+10	3,90E+10	6,48E+09
Cm-245	3,79E+05	1,16E+05	2,69E+05	3,06E+02	3,97E+06	5,02E+06	1,92E+06
Cm-246	2,03E+05	6,30E+04	2,47E+05	5,41E+01	4,31E+06	1,55E+06	2,18E+06
Cm-247	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Cm-248	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Cm-250	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Cf-249	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,86E+01	0,00E+00	1,37E+01
Cf-251	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Cf-252	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Alpha	5,13E+13	5,92E+13	7,49E+12	4,51E+11	2,92E+13	2,74E+13	4,16E+13
Beta/Gamma	1,81E+14	2,08E+14	3,67E+13	5,63E+10	1,35E+14	2,78E+14	1,60E+14

Tabelle 34: Fortsetzung: Mit der Datenbank ASSEKAT/PAI 9.2 zum Stichtag 1.1.2012 bestimmtes nuklidspezifisches Aktivitätsinventar der Asse in Bq.

KaNr	7/750m	8/750m	10/750m	11/750m	12/750m	8a/511m	LAW	Gesamt
H-3	1,11E+11	2,09E+10	4,70E+09	4,30E+10	1,22E+10	1,27E+11	3,52E+11	4,78E+11
Be-10	7,98E+02	0,00E+00	4,71E+00	2,09E+02	2,74E+01	1,11E+03	1,54E+03	2,65E+03
C-14	1,54E+11	2,04E+11	3,85E+10	7,50E+11	1,47E+11	2,22E+11	2,42E+12	2,64E+12
Cl-36	4,59E+08	1,41E+08	5,45E+07	3,37E+09	4,20E+08	3,73E+07	7,19E+09	7,23E+09
Ca-41	2,42E+05	6,04E+04	2,80E+04	1,12E+06	2,02E+05	5,05E+05	2,93E+06	3,44E+06
Mn-54	0,00E+00							
Fe-55	4,76E+09	1,85E+08	1,00E+08	6,91E+09	4,74E+08	2,14E+11	2,71E+10	2,41E+11
Co-60	2,39E+11	2,42E+10	1,60E+10	9,09E+11	6,71E+10	1,07E+13	3,68E+12	1,44E+13
Ni-59	1,28E+10	6,87E+07	1,31E+08	1,24E+10	9,86E+08	1,71E+12	5,17E+10	1,76E+12
Ni-63	4,19E+12	9,45E+11	5,57E+11	2,80E+13	3,30E+12	1,92E+14	6,89E+13	2,61E+14
Se-79	6,90E+08	9,84E+06	9,96E+06	4,43E+08	7,52E+07	1,10E+09	2,26E+09	3,36E+09
Kr-85	2,23E+05	8,42E+02	2,82E+02	7,69E+04	1,02E+12	3,29E+05	1,02E+12	1,02E+12
Rb-87	3,99E+04	3,37E+02	5,96E+02	2,30E+04	4,94E+03	5,41E+04	1,17E+05	1,71E+05
Sr-90	5,32E+13	4,12E+11	8,20E+11	1,91E+13	5,77E+12	7,01E+13	1,38E+14	2,08E+14
Zr-93	4,07E+09	2,48E+07	5,48E+07	4,20E+09	4,19E+08	5,28E+11	1,70E+10	5,45E+11
Nb-94	5,50E+09	1,37E+09	6,21E+08	2,60E+10	4,45E+09	1,10E+11	6,71E+10	1,77E+11
Mo-93	5,19E+07	2,78E+05	5,29E+05	5,03E+07	3,98E+06	6,92E+09	2,09E+08	7,13E+09
Tc-99	2,48E+10	1,67E+08	2,10E+09	8,52E+09	3,00E+09	3,36E+10	7,23E+10	1,06E+11
Pd-107	1,86E+08	1,08E+06	2,71E+06	5,88E+07	2,08E+07	2,42E+08	4,99E+08	7,41E+08
Ag-108m	1,21E+09	3,00E+08	1,60E+08	7,25E+09	1,01E+09	3,28E+09	1,83E+10	2,15E+10
Cd-113m	9,63E+09	2,72E+08	2,01E+08	9,97E+09	1,29E+09	1,05E+10	3,80E+10	4,85E+10
Sn-126	1,02E+09	1,84E+07	1,99E+07	5,46E+08	1,51E+08	1,39E+09	3,17E+09	4,56E+09
Sb-125	2,00E+09	1,61E+07	1,25E+07	1,36E+09	7,97E+07	1,30E+11	8,10E+09	1,38E+11
I-129	6,09E+07	7,93E+05	1,01E+06	3,66E+07	7,71E+06	7,81E+07	1,89E+08	2,67E+08
Cs-134	7,47E+08	2,25E+06	1,40E+06	2,48E+08	8,12E+06	3,58E+08	1,38E+09	1,74E+09
Cs-135	7,82E+08	6,03E+06	1,17E+07	2,71E+08	8,96E+07	9,70E+08	2,21E+09	3,19E+09
Cs-137	8,58E+13	1,35E+12	1,61E+12	5,30E+13	1,01E+13	1,04E+14	2,69E+14	3,72E+14
Ba-133	0,00E+00	1,45E+10	3,63E+08	4,54E+05	3,40E+09	0,00E+00	1,84E+10	1,84E+10
Pm-147	2,03E+10	8,81E+07	1,89E+08	4,93E+09	1,26E+09	1,18E+10	6,35E+10	7,54E+10
Sm-151	7,36E+11	7,59E+09	2,13E+10	2,79E+11	1,68E+11	8,73E+11	2,50E+12	3,38E+12
Eu-152	2,15E+09	1,24E+07	2,58E+07	5,78E+08	1,99E+08	2,04E+09	6,58E+09	8,61E+09
Eu-154	7,67E+11	3,08E+09	2,99E+09	2,49E+11	1,97E+10	8,86E+11	1,44E+12	2,33E+12
Eu-155	4,93E+10	1,81E+08	3,46E+08	1,42E+10	2,58E+09	4,24E+10	1,10E+11	1,52E+11
Ho-166m	3,98E+05	1,52E+03	1,32E+03	1,33E+05	8,14E+03	5,26E+05	6,90E+05	1,22E+06
Tl-204	0,00E+00	1,68E+08	0,00E+00	1,08E+06	0,00E+00	0,00E+00	3,16E+08	3,16E+08
Pb-210	5,26E+09	1,08E+09	3,00E+09	2,22E+09	3,67E+09	2,76E+04	1,36E+11	1,36E+11
Ra-226	8,02E+09	1,90E+09	4,49E+09	3,38E+09	5,40E+09	9,09E+04	2,01E+11	2,01E+11
Ra-228	6,23E+01	1,49E+11	1,25E+10	3,88E+10	4,16E+10	1,16E+07	3,26E+11	3,26E+11
Ac-227	6,57E+04	5,12E+07	4,91E+08	2,69E+05	5,53E+07	1,21E+05	2,62E+09	2,62E+09
Th-228	7,58E+07	1,49E+11	1,25E+10	3,88E+10	4,14E+10	7,63E+07	3,25E+11	3,25E+11
Th-229	1,93E+03	3,89E+03	9,21E+02	3,42E+03	5,03E+06	7,79E+06	7,51E+06	1,53E+07
Th-230	9,28E+04	6,86E+10	6,32E+09	1,96E+10	2,10E+10	4,68E+06	1,53E+11	1,53E+11

Tabelle 34: Fortsetzung: Mit der Datenbank ASSEKAT/PAI 9.2 zum Stichtag 1.1.2012 bestimmtes nuklidspezifisches Aktivitätsinventar der Asse in Bq.

KaNr	7/750m	8/750m	10/750m	11/750m	12/750m	8a/511m	LAW	Gesamt
Th-232	6,23E+01	1,51E+11	1,27E+10	3,93E+10	4,20E+10	1,18E+07	3,29E+11	3,29E+11
Pa-231	1,37E+05	1,22E+07	1,24E+08	6,27E+05	5,48E+05	2,53E+05	8,79E+08	8,79E+08
U-232	7,37E+07	8,10E+06	4,87E+07	1,46E+08	2,40E+06	6,29E+07	9,02E+08	9,65E+08
U-233	5,77E+05	1,13E+06	2,77E+05	1,02E+06	1,40E+09	2,36E+09	2,13E+09	4,49E+09
U-234	6,72E+09	3,56E+11	1,59E+10	2,53E+10	1,63E+10	7,80E+09	1,37E+12	1,38E+12
U-235	1,36E+08	1,55E+10	7,48E+08	7,64E+08	6,79E+08	2,54E+08	5,30E+10	5,32E+10
U-236	1,48E+09	2,00E+08	9,00E+08	3,20E+09	2,70E+08	1,32E+09	2,22E+10	2,35E+10
U-238	3,21E+09	3,48E+11	1,30E+10	1,42E+10	1,59E+10	3,45E+09	1,28E+12	1,28E+12
Np-237	7,25E+08	5,86E+07	7,00E+06	3,85E+08	1,73E+08	7,97E+08	2,75E+09	3,55E+09
Pu-238	1,68E+13	2,59E+12	6,19E+10	6,58E+12	9,88E+11	6,54E+12	5,88E+13	6,54E+13
Pu-239	5,76E+12	1,38E+12	4,30E+10	4,49E+12	3,71E+12	3,24E+12	4,08E+13	4,41E+13
Pu-240	7,87E+12	1,31E+12	3,77E+10	4,58E+12	3,87E+12	3,70E+12	4,57E+13	4,94E+13
Pu-241	2,90E+14	4,36E+13	1,18E+12	1,34E+14	6,90E+13	1,20E+14	1,32E+15	1,44E+15
Pu-242	2,01E+10	3,26E+09	8,12E+07	8,51E+09	2,89E+09	8,46E+09	8,11E+10	8,96E+10
Pu-244	2,99E+03	4,75E+02	1,09E+01	1,05E+03	4,89E+01	1,11E+03	8,91E+03	1,00E+04
Am-241	3,96E+13	6,72E+12	1,91E+11	2,05E+13	1,16E+13	2,00E+13	2,08E+14	2,28E+14
Am-242m	5,76E+09	3,11E+07	3,38E+07	1,79E+09	2,39E+08	7,23E+09	1,42E+10	2,15E+10
Am-243	1,67E+10	6,66E+07	4,30E+07	5,58E+09	2,30E+08	2,36E+10	2,94E+10	5,30E+10
Cm-242	0,00E+00							
Cm-243	6,25E+09	2,18E+07	8,37E+06	2,10E+09	2,82E+07	8,00E+09	1,01E+10	1,81E+10
Cm-244	2,76E+11	1,14E+09	3,97E+08	9,69E+10	1,02E+09	4,28E+11	4,38E+11	8,65E+11
Cm-245	9,97E+07	3,41E+05	9,92E+04	3,39E+07	1,54E+05	1,26E+08	1,46E+08	2,72E+08
Cm-246	1,32E+08	3,68E+05	9,48E+04	4,32E+07	3,07E+04	1,42E+08	1,85E+08	3,27E+08
Cm-247	0,00E+00							
Cm-248	0,00E+00							
Cm-250	0,00E+00							
Cf-249	1,61E+03	0,00E+00	0,00E+00	4,58E+02	0,00E+00	1,13E+03	2,10E+03	3,23E+03
Cf-251	0,00E+00							
Cf-252	0,00E+00							
Alpha	7,03E+13	1,29E+13	3,82E+11	3,64E+13	2,03E+13	3,39E+13	3,57E+14	3,91E+14
Beta/Gamma	4,35E+14	4,67E+13	4,27E+12	2,36E+14	8,86E+13	5,02E+14	1,81E+15	2,31E+15



#### IV Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Messmethoden zur Bestimmung der $\alpha/\gamma$ -Aktivität in radioaktiven Abfallfässern von GfK/KfK gemäß /U-16/.....	13
Tabelle 2:	Nuklidvektoren, die zur Überprüfung der aus den GfK/KfK-Begleitlisten resultierenden Verhältnisse von Aktivität zu Ortsdosisleistung herangezogen wurden (angenommenes Abfallalter 180 d nach Reaktorentnahme).....	14
Tabelle 3:	Randbedingungen, die für die Modell-MCNP-Abschirmrechnungen zur Bestimmung des Verhältnisses von Aktivität zu Ortsdosisleistung für Abfälle in verlorenen Normalbeton- und Barytbetonabschirmungen herangezogen wurden. ....	15
Tabelle 4:	Ergebnisse der modellhaften MCNP-Abschirmrechnungen für das Verhältnis von Aktivität zu Ortsdosisleistung in 1 m Abstand für bituminierte und betonierte Konzentrate/Verdampferkonzentrate sowie betonierten Metallschrott des Ablieferers GfK/KfK in verlorenen Normalbeton- und Schwerbetonabschirmungen .....	16
Tabelle 5:	Von GfK/KfK in die Asse eingelagerte Abfälle in VBA, für die aus konservativen Gesichtspunkten eine Erhöhung der deklarierten Aktivitäten hinsichtlich einer Sicherheitsanalyse plausibel erscheint.....	28
Tabelle 6:	KFA-Abfälle abhängig vom Behältertyp, Anzahl der Chargen und Gebinde sowie die auf den Begleitlisten/Fragebögen genannte Abfallart .....	34
Tabelle 7:	Anzahl an 200-l-Fässern bzw. 400-l-Fässer und NB-VBA mit Grafit oder Grafitkugeln und die auf den Begleitlisten angegebenen Gesamtaktivitäten.....	37
Tabelle 8:	Liste der KFA-Begleitlisten für 200-l- und 400-l-Fässer, bei denen Grafit oder Grafitkugeln als Abfallart genannt wird, mit der jeweiligen Gebindeanzahl, der mittleren Aktivität und der Gesamtaktivität pro Charge.....	38
Tabelle 9:	Liste der KFA-Begleitlisten für NB-VBA bei denen Grafit oder Grafitkugeln als Abfallart genannt wird unter Angabe der	



	Gebindeanzahl, der mittleren Aktivität und der Gesamtaktivität pro Charge. ....	39
Tabelle 10:	Massen- und Aktivitätsangaben auf den Begleitlisten ID-Nr. 1631, 1648, 1649, 2144, 2157 und 2158 für Thorium und Uran. Chargen mit einer höheren berechneten als entsprechend deklarierten Aktivität sind grau hinterlegt.....	56
Tabelle 11:	Zusammenstellung von abweichenden Daten zwischen den Begleitlisten und der Datenbank ASSEKAT, Tabelle „Chargen-mod“ für den Ablieferer GfK/KfK.....	65
Tabelle 12:	Zusammenstellung abweichender Datenerfassungen: Übertragungen von den Begleitlisten in die Datenbank ASSEKAT, Tabelle „Chargen-mod“ und Tabelle „Thorium“, für Glühkörper des Ablieferers HMI .....	68
Tabelle 13:	Zusammenstellung abweichender Datenerfassungen: Übertragungen von den Begleitlisten in die Datenbank ASSEKAT, Tabelle „Chargen-mod“ und Tabelle „Thorium“, für sonstige thoriumhaltige Abfälle des Ablieferers HMI .....	69
Tabelle 14:	Beispiele für Nuklidzusammensetzungen (Aktivitätsanteil in [%]) von Abfällen aus der Heißen Zelle in Jülich entsprechend /U-32/. ....	78
Tabelle 15:	Ergebnis der Überprüfung von in der Datenbank ASSEKAT/PAI zur Aktivitätsdeklaration von KKW-Abfällen verwendeten Nuklidvektoren für die Abfallarten SWR 1 und DWR 1 /U-9/ /U-21/. Die Aktivitätsanteile in den Nuklidvektoren sind in Prozent angegeben. Radionuklide mit einem Aktivitätsanteil > 0,1 % sind fett markiert.....	86
Tabelle 16:	Vergleich von Berechnungsergebnissen des Aktivitätsinventars von Ra-226 und Pb-210 für radiumhaltige Abfälle des Ablieferers Amersham-Buchler (ID-Nr.: 2719, Chargen-Nr.: 16403) zu unterschiedlichen Bezugszeitpunkten. ....	90
Tabelle 17:	Berechnungsergebnisse zum Th-232-Aktivitätsinventar eines mit thorierten Glühkörpern gefüllten 200-l-Behälters.....	94
Tabelle 18:	Zusammenstellung von Daten aus den Begleitlisten aller Gebinde mit Glühkörpern des Ablieferers HMI sowie eigene Berechnungen (TÜV). ....	95



Tabelle 19:	Vergleich des Th-232-Aktivitätsinventars für Glühkörper des Ablieferers HMI nach verschiedenen Berechnungsweisen. ....	97
Tabelle 20:	Vergleich von Berechnungsergebnissen des Aktivitätsinventars von Th-232 und seinen Töchtern Ra-228 und Th-228 für Glühkörper des Ablieferers HMI (ID-Nr.: 2984, Chargen-Nr.: 19284) zu unterschiedlichen Bezugszeitpunkten. ....	101
Tabelle 21:	Vergleich des Th-230-Aktivitätsinventars für Glühkörper des Ablieferers HMI nach verschiedenen Berechnungsweisen.....	102
Tabelle 22:	Vergleich von Berechnungsergebnissen des Aktivitätsinventars von Ra-226 und Pb-210 für Glühkörper des Ablieferers HMI (BL ID-Nr. 2984, Chargen-Nr. 19284) zu unterschiedlichen Bezugszeitpunkten.....	104
Tabelle 23:	Zusammenstellung von Daten aus den Begleitlisten aller Gebinde mit sonstigen thoriumhaltigen Abfällen des Ablieferers HMI sowie eigene Berechnungen (TÜV).....	105
Tabelle 24:	Vergleich von Berechnungsergebnissen des Aktivitätsinventars von Th-232 für sonstige thoriumhaltige Abfälle des Ablieferers HMI (Begleitliste ID-Nr. 2138, Chargen-Nr. 12219).....	110
Tabelle 25:	Auf Grundlage der Datenbank ASSEKAT/PAI Version 9.2 ermittelte Uranmassen und isotopenspezifische Aktivitäten (Bezugsdatum 01.01.1980) für die verschiedenen Ablieferer mit einer berechneten Uranmasse größer 1 kg ohne GfK/KfK.....	112
Tabelle 26:	Zusammensetzung der Uranisotope in Natururan und in abgereichertem Uran aus der Anreicherung von Natururan (Anreicherung auf 3,5 %, Abreicherung auf 0,2 %). Die Anzahl der verwendeten signifikanten Stellen wurde zur nachvollziehbaren Darstellung nicht vereinheitlicht.....	114
Tabelle 27:	In der Datenbank ASSEKAT/PAI nicht ausgewertete Aktivitäten und Anzahl der Abfallgebände für die Ablieferer mit Chargen ohne Berechnungsroutinen. ....	117
Tabelle 28:	Anzahl der Abfallgebände in der Datenbank ASSEKAT/PAI in den verschiedenen Einlagerungskammern der Asse für die Ablieferer mit Chargen ohne Berechnungsroutinen und Chargen, für die die ausgewählte Berechnungsroutine zu keinem Ergebnis führt. ....	118



Tabelle 29:	Von den Ablieferern deklariertes und der Datenbank ASSEKAT/PAI berechnetes Aktivitätsinventar der Asse. ....	120
Tabelle 30:	Von den Ablieferern in die Asse eingelagerte Abfälle, für die aus konservativen Gesichtspunkten eine Erhöhung der deklarierten Aktivitäten hinsichtlich einer Sicherheitsanalyse plausibel erscheint.....	123
Tabelle 31:	Von den Ablieferern in den Einlagerungsdokumenten angegebene Daten, die in die Datenbank ASSEKAT abweichend übertragen wurden. ....	124
Tabelle 32:	In die Asse eingelagerte Abfälle, für die aus konservativen Gesichtspunkten eine Änderung der berechneten Aktivitäten hinsichtlich einer Sicherheitsanalyse plausibel erscheint. ....	125
Tabelle 33:	Mit der Datenbank ASSEKAT/PAI 9.2 zum Stichtag 1.1.1980 bestimmtes nuklidspezifisches Aktivitätsinventar der Asse in Bq.....	148
Tabelle 34:	Mit der Datenbank ASSEKAT/PAI 9.2 zum Stichtag 1.1.2012 bestimmtes nuklidspezifisches Aktivitätsinventar der Asse in Bq.....	152



## V **Abbildungsverzeichnis**

- Abbildung 1: Verhältnis von mittlerer Aktivität pro Behälter und der max. Dosisleistung in 1 m Abstand für bituminierte Abfallkonzentrate des Ablieferers GfK/KfK in verlorenen Normalbetonabschirmungen entsprechend den chargenspezifischen Angaben in den Begleitlisten und einer modellhaften MCNP-Abschirmrechnung. ....22
- Abbildung 2: Verhältnis von mittlerer Aktivität pro Behälter und der max. Dosisleistung in 1 m Abstand für bituminierte Abfallkonzentrate des Ablieferers GfK/KfK in verlorenen Schwerbetonabschirmungen entsprechend den chargenspezifischen Angaben in den Begleitlisten und einer modellhaften MCNP-Abschirmrechnung. ....22
- Abbildung 3: Verhältnis von mittlerer Aktivität pro Behälter und der max. Dosisleistung in 1 m Abstand für betonierte Abfallkonzentrate des Ablieferers GfK/KfK in verlorenen Normalbetonabschirmungen entsprechend den chargenspezifischen Angaben in den Begleitlisten und einer modellhaften MCNP-Abschirmrechnung. ....23
- Abbildung 4: Verhältnis von mittlerer Aktivität pro Behälter und der max. Dosisleistung in 1 m Abstand für betonierte Abfallkonzentrate des Ablieferers GfK/KfK in verlorenen Schwerbetonabschirmungen entsprechend den chargenspezifischen Angaben in den Begleitlisten und einer modellhaften MCNP-Abschirmrechnung. ....23
- Abbildung 5: Verhältnis von mittlerer Aktivität pro Behälter und der max. Dosisleistung in 1 m Abstand für betonierten Schrott des Ablieferers GfK/KfK in verlorenen Normalbetonabschirmungen entsprechend den chargenspezifischen Angaben in den Begleitlisten und einer modellhaften MCNP-Abschirmrechnung. ....24
- Abbildung 6: Verhältnis von mittlerer Aktivität pro Behälter und der max. Dosisleistung in 1 m Abstand für betonierten Schrott des Ablieferers GfK/KfK in verlorenen Schwerbetonabschirmungen



	entsprechend den chargenspezifischen Angaben in den Begleitlisten und einer modellhaften MCNP-Abschirmrechnung. ....	24
Abbildung 7:	Verhältnis von Aktivität zu max. Ortsdosisleistung in 1 m Abstand für betonierten Schrott des Ablieferers GfK/KfK für ausgewählte NB-VBA und SB-VBA des Genehmigungsvorgangs zur Sondereinlagerung von 109 VBA /U-12/. Zusätzlich sind die Ergebnisse von modellhaften MCNP-Abschirmrechnungen von Abfallgebinden dargestellt, für die hinsichtlich Abfallart, Nuklidzusammensetzung, Abfallbehandlung und -verpackung vergleichbare Randbedingungen unterstellt wurden.....	25
Abbildung 8:	Verhältnis von Aktivität zu Ortsdosisleistung in 1 m Abstand in Abhängigkeit von der Abfallart für zementierte 200-l-Fässer der Abfallkategorie C entsprechend den Angaben in den Begleitlisten.....	32
Abbildung 9:	Chargenspezifische Verhältnisse zwischen der auf den Begleitlisten angegebenen mittleren Aktivität pro Behälter [Ci/Behälter] und der max. Dosisleistung in 1 m Abstand [mrem/h] für 200-l-Fässer mit verschiedenen betonierten oder zementierten KFA-Abfällen (193 Chargen). ....	35
Abbildung 10:	Chargenspezifische Verhältnisse zwischen der auf den Begleitlisten angegebenen mittleren Aktivität [Ci/Behälter] und der max. Dosisleistung in 1 m Abstand [mrem/h] für verschiedene KFA-Abfälle in 200-l-Fässern mit allseitiger Betonauskleidung (82 Chargen).....	35
Abbildung 11:	Chargenspezifische Verhältnisse zwischen der auf den Begleitlisten angegebenen mittleren Aktivität pro Behälter [Ci/Behälter] und der max. Dosisleistung in 1 m Abstand [mrem/h] für 200-l-Fässer mit Grafit und Grafitkugeln. ....	41
Abbildung 12:	Chargenspezifische Verhältnisse zwischen der auf den Begleitlisten angegebenen mittleren Aktivität pro Behälter [Ci/Behälter] und der max. Dosisleistung in 1 m Abstand [mrem/h] für NB-VBA mit Grafit und Grafitkugeln.....	41
Abbildung 13:	Chargenspezifisches Verhältnis zwischen der auf den Begleitlisten angegebenen mittleren Aktivität pro Behälter	



	[Ci/Behälter] und der Dosisleistung in 1 m Abstand [mrem/h] für 200-l-Fässer unabhängig von Abfall- und Behandlungsart.....	44
Abbildung 14:	Der mit ASSEKAT/PAI 9.2 ermittelte Aktivitätsverlauf der Radionuklide Ra-226 und Pb-210 für radiumhaltige Abfälle des Ablieferers Amersham-Buchler (zur Aktivitätsberechnung vor dem 01.01.1979 -dem frühesten Berechnungsdatum der ASSEKAT/PAI- wurden zusätzliche Daten eingefügt) sowie zum Vergleich die TÜV-Berechnung des Pb-210-Aktivitätsverlaufs.....	89
Abbildung 15:	Mit dem PAI-Berechnungsmodul 9.2 ermittelter Aktivitätsverlauf der Radionuklide Th-232, Ra-228, Th-228 und Th-230 für GK des Ablieferers HMI (zum Th-230-Aktivitätsinventar siehe unten).....	98
Abbildung 16:	Aktivitätsverlauf von chemisch aus seinen Erzen abgetrenntem Thorium (Th-232 und Th-228) sowie dem Tochternuklid Ra- 228. ....	99
Abbildung 17:	Relativer Aktivitätsverlauf von Th-232, Ra-228, Th-228 frisch gefertigter nicht veraschter Glühkörper (Zeitpunkt 0 entspricht Fertigungsende). ....	99
Abbildung 18:	Ermittelter Aktivitätsverlauf der Radionuklide Th-232, Ra-228, Th-228 (TÜV-Berechnung) für GK des Ablieferers HMI. ....	100
Abbildung 19:	Ermittelter Aktivitätsverlauf der Radionuklide Ra-226 und Pb- 210 (TÜV-Berechnung im Vergleich zu PAI-Ergebnis) für GK des Ablieferers HMI.....	104
Abbildung 20:	Mit ASSEKAT/PAI 9.2 ermittelter Aktivitätsverlauf der Radionuklide Th-232, Th-230, Ra-228, Th-228, Ra-226 und Pb- 210 für sonstige thoriumhaltige Abfälle des Ablieferers HMI (für den Zeitraum vom Ausfertigungsdatum 16.01.68 bis zum 01.01.1979 wurden zusätzliche Daten eingefügt). ....	107
Abbildung 21:	Ermittelter Aktivitätsverlauf der Radionuklide Th-232, Th-230, Ra-228, Th-228, Ra-226 und Pb-210 (TÜV-Berechnung) für sonstige thoriumhaltige Abfälle des Ablieferers HMI (Th- Abtrennzeitpunkt: 16.01.1958; Ausfertigungsdatum 16.01.68).....	108