



Bundesamt für Strahlenschutz

# Deckblatt

GZ: SE 6.2 - 9KE 2211

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev.	Seite: I
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

Titel der Unterlage:

ÜBERPRÜFUNG DES RADIONUKLIDSPEKTRUMS AUS DEN ENDLAGERUNGSBEDINGUNGEN  
 KONRAD, STAND: DEZEMBER 1995 - STAND: ~~OKTOBER 2010~~ -  
 BFS-BERICHT SE-IB-32/08-REV-3 SEPTEMBER 2013 18.11.14

Ersteller:

[Redacted]

Stempelfeld:

Freigabe durch bergrechtlich verantwortliche Person:

[Redacted]

14.1.14

Datum und Unterschrift

Freigabe durch atomrechtlich verantwortliche Person:

[Redacted]

16.1.14

Datum und Unterschrift

Freigabe im Projekt/Betrieb:

17.1.2014 /

[Redacted]

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.



Bundesamt für Strahlenschutz

# Revisionsblatt

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: II.1
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	00	Stand: 05.11.2008

**Titel der Unterlage:**  
**ÜBERPRÜFUNG DES RADIONUKLIDSPEKTRUMS AUS DEN ENDLAGERUNGSBEDINGUNGEN**  
**KONRAD VOM DEZEMBER 1995 - STAND: SEPTEMBER 2013 -**  
**BFS-BERICHT SE-IB-32/08-REV-3**

Rev.	Rev.-Stand Datum	UVST	Prüfer (Zeich n.)	Rev. Seite	Kat	Erläuterung der Revision
01	16.02.2009	SE 3	Br			siehe 9KE/2211/MAO/RE/0001/01
02	29.10.2010	SE 2.2	Ku			siehe 9KE/2211/MAO/RE/0001/02
03	15.09.2013	SE 6.2	Ku	1-102	R	Aktualisierung von Angaben in der Kopfzeile
				1	R	Überarbeitung des Titels; Aktualisierung von Datum und Berichtsnummer
				2	R	Ergänzung eines Hinweises zur Berichtserarbeitung
				3, 4	R	Überarbeitung des Titels; Aktualisierung des Datums
				3	R	Ersatz von ‚weitere‘ durch ‚zusätzliche‘
				4	R	Ersatz von ‚further‘ durch ‚additional‘
				5	R	Ergänzung der Überschriften für Kap. 4.2.3 und 6.3; Anpassung der Seitenangaben (soweit zutreffend)
				6	R	Ergänzung der Überschriften für Kap. 7.1, 7.2 und 7.3; Anpassung der Seitenangaben (soweit zutreffend)
				7	R	Ersatz von ‚weitere‘ durch ‚zusätzliche‘; Ergänzung der Überschriften für Tab. 15 und 16; Anpassung der Seitenangaben (soweit zutreffend)
				8	R	Ergänzung der Abkürzungen DECC, DERA, HLUG, LLWR und LSSt; Ergänzung eines Hinweises zu FZK
				9	R	Ergänzung der Abkürzungen WAK und WWER
				10	R	Ergänzung der Überschrift für Anhang 4; Anpassung der Seitenangaben (soweit zutreffend)
				14	R	Ersatz von ‚Sicherstellung‘ durch ‚Einhaltung‘
				17	R	Ersatz von ‚haben‘ durch ‚hatten‘
					V	Ergänzung eines Hinweises zur ausschließlichen Verwendung der Karlsruher Nuklidkarte für die Angabe von Halbwertszeiten
					R	Korrektur von Halbwertszeiten (soweit zutreffend)
				18	R	Korrektur von Halbwertszeiten (soweit zutreffend); Streichung eines Literaturzitats
					V	Ergänzung von weiteren Angaben über das natürlich vorkommende Radionuklid K-40 und seine sicherheitstechnische Bedeutung

\*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur  
 Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung  
 Kategorie S = substantielle Revision  
 mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden



Bundesamt für Strahlenschutz

# Revisionsblatt

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev	Seite: II.2 Stand: 05.11.2008
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	00	

Titel der Unterlage:  
**ÜBERPRÜFUNG DES RADIONUKLIDSPEKTRUMS AUS DEN ENDLAGERUNGSBEDINGUNGEN  
 KONRAD VOM DEZEMBER 1995 - STAND: SEPTEMBER 2013 -  
 BFS-BERICHT SE-IB-32/08-REV-3**

Rev.	Rev.-Stand Datum	UVST	Prüfer (Zeichn.)	Rev. Seite	Kat. )	Erläuterung der Revision
				19	R	Präzisierungen im Text des 1. Absatzes; Ersatz von ‚weitere‘ durch ‚zusätzliche‘, Streichung von zwei Literaturziten; Korrektur von Halbwertszeiten (soweit zutreffend)
				20	V	Np-236 anstatt von Np-236m
					R	Ergänzung der Überschrift von Tab. 2 (Fortsetzung); Korrektur von Halbwertszeiten (soweit zutreffend)
					V	Streichung eines Absatzes über die unterschiedliche Zuordnung von Halbwertszeiten zum Grundzustand und zum metastabilen Zustand des Isotops Np-236
				22	R	Ersatz von ‚weitere‘ durch ‚zusätzliche‘
				25	R	Np-236 anstatt von Np-236m
				26	R	Streichung eines Literaturzitats; Korrektur von Halbwertszeiten (soweit zutreffend)
				28	V	Ergänzung einer Erläuterung zur Bildung des Radionuklids K-40 im Betrieb von WWER
				29	R	Ersatz von ‚Abfallverursacher‘ durch ‚Ablieferungspflichtige/Abführungspflichtige‘; Korrekturen und Präzisierungen im Text des 2. und 3. Absatzes
				30	V	Ergänzung eines Beispiels für das Auftreten von Sb-124 in Betriebsabfällen aus Kernkraftwerken; Ergänzung eines Beispiels für das Auftreten von Sb-124 und Ce-141 in Betriebsabfällen aus Kernkraftwerken
				31	V	Ergänzung eines Beispiels für das Auftreten von Sb-124, Ce-141 und Ir-192 in Betriebsabfällen aus Kernkraftwerken
					R	Präzisierung im Text des vorletzten Absatzes von Kap.4.2.1
					V	Ergänzung eines Hinweises auf das Auftreten von Pt-193 in Kernbauteilen aus Kernkraftwerken
				34	R	Ergänzung der Überschrift von Tab. 9 (Fortsetzung)
				35	R	Ergänzung der Überschrift von Tab. 10 (Fortsetzung)
					V	Ergänzung eines Hinweises zur vorsorglichen Überprüfung von Herkunft und Aktivitäten des Radionuklids K-40 in radioaktiven Abfällen aus dem FZK

\*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur  
 Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung  
 Kategorie S = substantielle Revision  
 mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden



Bundesamt für Strahlenschutz

# Revisionsblatt

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: II.3
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	00	Stand: 05.11.2008

**Titel der Unterlage:**  
**ÜBERPRÜFUNG DES RADIONUKLIDSPEKTRUMS AUS DEN ENDLAGERUNGSBEDINGUNGEN**  
**KONRAD VOM DEZEMBER 1995 - STAND: SEPTEMBER 2013 -**  
**BFS-BERICHT SE-IB-32/08-REV-3**

Rev.	Rev.-Stand Datum	UVST	Prüfer (Zeichn.)	Rev. Seite	Kat. *)	Erläuterung der Revision
				36	S	Ergänzung von Kap. 4.2.3 mit erstmaligen Angaben zum Auftreten von Lu-176 in LSSt-Abfällen und von Si-32 in Abfällen der Fa. Siemens
				36, 37	S	Ergänzung von Kap. 4.3 durch erstmalige Angaben zur Deklaration von Bi-205, Cd-113, Cm-241, Hf-178m, Lu-173, Si-32, Te-121m, Te-123 und Tm-171 in vorhandenen Abfalldokumentationen der WAK/HDB
				37	R	Korrekturen und Präzisierungen im Text (2. Spiegelstrich; 1. Absatz; 3. Absatz)
					S	Ergänzung von Tab. 11 mit Bi-205, Cm-241, Hf-178m, Lu-173, Si-32, Te-121m und Tm-171, die bei der Überprüfung von vorhandenen Abfalldokumentationen identifiziert wurden
					V	Ergänzungen zur Zuordnung der zusätzlichen Radionuklide zur Gruppe der Metalle, Actinoide, Übergangsmetalle, Lanthanoide und Halbmetalle
				38	R	Ersatz von ‚weitere‘ durch ‚zusätzliche‘; Präzisierungen im Text
				38-42	R	Präzisierungen in der Überschrift von Tab. 12; Ergänzung der Überschrift für Tab.12 (S. 42)
				38-42	S	Ergänzung von Tab.12 durch Bi-205, Cm-241, Hf-178m, Lu-173, Lu-176, Pt-193, Si-32, Te-121m und Tm-171; Np-236 anstatt von Np-236m
				39	V	Korrektur der Angaben, dass Cf-251, Cf-254 und Cm-250 in radioaktiven Abfällen aus dem FZK enthalten sind (Anmerkung: diese Angaben wurden versehentlich im internen Bericht SE-IB-32/08-REV-2 gemacht)
				42	R	Präzisierungen im Text; Ersatz von ‚weitere‘ durch ‚zusätzliche‘
				42-43	S	Ergänzung von Tab.13 durch Bi-205, Cm-241, Hf-178m, Lu-173, Lu-176, Pt-193, Si-32, Te-121m und Tm-171; Np-236 anstatt von Np-236m
				43	R	Ergänzung der Überschrift für Tab.13; Präzisierungen im Text; Ersatz von ‚weitere‘ durch ‚zusätzliche‘
				44	R	Korrektur im Text

\*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur  
 Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung  
 Kategorie S = substantielle Revision  
 mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden





Bundesamt für Strahlenschutz

# Revisionsblatt

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: II.4
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	00	Stand: 05.11.2008

Titel der Unterlage:  
 ÜBERPRÜFUNG DES RADIONUKLIDSPEKTRUMS AUS DEN ENDLAGERUNGSBEDINGUNGEN  
 KONRAD VOM DEZEMBER 1995 - STAND: SEPTEMBER 2013 -  
 BFS-BERICHT SE-IB-32/08-REV-3

Rev.	Rev.-Stand Datum	UVST	Prüfer (Zeichn.)	Rev. Seite	Kat. *)	Erläuterung der Revision
				44	V	Ergänzung eines Hinweises auf das Programm DERA; Ergänzung von Angaben zu den berücksichtigten Radionukliden in den Programmen ReVK, KADABRA und DERA
				45	R	Präzisionierungen im Text
				46	R	Ersatz von ‚weitere‘ durch ‚zusätzliche‘
				47	R	Ersatz von ‚weitere‘ durch ‚zusätzliche‘; Aktualisierung der Anzahl von zusätzlichen Radionukliden; Ergänzung von Bi-205, Cm-241, Hf-178m, Lu-173, Lu-176, Pt-193, Si-32, Te-121m und Tm-171
				48	R	Ersatz von ‚weitere‘ durch ‚zusätzliche‘; Korrektur von Halbwertszeiten (soweit zutreffend)
					V	Ergänzung von Angaben zum Vorliegen der meisten zusätzlichen Radionuklide (feste Form, nicht flüchtig)
				49, 50	R	Streichung eines Literaturzitats; Ersatz von ‚weitere‘ durch ‚zusätzliche‘
					S	Ergänzung von physikalischen Eigenschaften der zusätzlichen Radionuklide und ihrer Tochternuklide; Ergänzung von Tab. 15; Bewertung der sicherheitstechnischen Bedeutung von Bi-205, Cm-241, Hf-172, Hf-178m, Lu-173, Lu-176, Pm-145, Pt-193, Pu-246, Si-32, Te-121m und Tm-171 aus Sicht der unterstellten Störfälle (Sicherheitsanalyse Konrad)
				51	R	Ersatz von ‚weitere‘ durch ‚zusätzliche‘; Korrektur von Kapitel- und Anhang-Nummerierungen
				51-53	S	Ergänzung von Zerfallsenergien/-wärmern für ausgewählte Leitnuklide (Wärme) und Bi-205, Cm-241, Hf-172, Hf-178m, Lu-173, Lu-176, Pm-145, Pt-193, Pu-246, Si-32, Te-121m und Tm-171 ; Ergänzung von Tab. 16; Bewertung der sicherheitstechnischen Bedeutung von Bi-205, Cm-241, Hf-172, Hf-178m, Lu-173, Lu-176, Pm-145, Pt-193, Pu-246, Si-32, Te-121m und Tm-171 aus Sicht der thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins (Sicherheitsanalyse Konrad)

\*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur  
 Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung  
 Kategorie S = substantielle Revision  
 mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden



Bundesamt für Strahlenschutz

# Revisionsblatt

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: II.5
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	00	Stand: 05.11.2008

Titel der Unterlage:  
 ÜBERPRÜFUNG DES RADIONUKLIDSPEKTRUMS AUS DEN ENDLAGERUNGSBEDINGUNGEN  
 KONRAD VOM DEZEMBER 1995 - STAND: SEPTEMBER 2013 -  
 BFS-BERICHT SE-IB-32/08-REV-3

Rev.	Rev.-Stand Datum	UVST	Prüfer (Zeichn.)	Rev. Seite	Kat. *)	Erläuterung der Revision
				53	R	Ersatz von ‚weitere‘ durch ‚zusätzliche‘; Präzisierungen im Text; Anpassung der Tabellen-Nummerierung
				54	R	Np-236 anstatt von Np-236m; Präzisierungen im Text; Anpassung der Tabellen-Nummerierung; Korrektur von Halbwertszeiten (soweit zutreffend)
				55	S	Ergänzung von Bi-205, Cm-241, Hf-178m, Lu-173, Pt-193, Si-32, Te-121m und Tm-171
					R	Ergänzung der Überschrift für Tab. 18 (Fortsetzung); Korrektur von Halbwertszeiten (soweit zutreffend)
				56	S	Ergänzung von Lu-176 mit Halbwertszeit in Tab. 18; Ergänzung von Angaben über das natürlich vorkommende Radionuklid Lu-176 und Bewertung seiner Langzeit-sicherheitstechnischen Bedeutung; Bewertung der Langzeit-sicherheitstechnischen Bedeutung von Th-229
					R	Anpassung der Tabellen-Nummerierung; Np-236 anstatt von Np-236m; Präzisierung im Text; Ergänzung eines Literaturzitats
					S	Bewertung der Langzeit-sicherheitstechnischen Bedeutung von Pb-205
				57	V	Streichung von Angaben über das natürlich vorkommende Radionuklid K-40 und seine sicherheitstechnische Bedeutung (verschoben auf S.18)
					R	Anpassung von Tabellen-Nummerierungen; Np-236 anstatt von Np-236m; Ersatz von ‚weitere‘ durch ‚zusätzliche‘
					S	Ergänzung von Lu-176
				58	V	Ergänzung eines Hinweises zu K-40 und Lu-176
					R	Anpassung von Tabellen-Nummerierungen; Ersatz von ‚weitere‘ durch ‚zusätzliche‘
					V	Ergänzung von Angaben zum Auftreten von Bi-208, Kr-81, Mn-53, Nb-92, Tc-97, Bi-210m, K-40, Al-26 und Np-236 in britischen schwach- und mittelradioaktiven Abfällen
					R	Ersatz von ‚weitere‘ durch ‚zusätzliche‘

\*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur  
 Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung  
 Kategorie S = substantielle Revision  
 mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden



Bundesamt für Strahlenschutz

# Revisionsblatt

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: II.6
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	00	Stand: 05.11.2008

**Titel der Unterlage:**  
**ÜBERPRÜFUNG DES RADIONUKLIDSPEKTRUMS AUS DEN ENDLAGERUNGSBEDINGUNGEN**  
**KONRAD VOM DEZEMBER 1995 - STAND: SEPTEMBER 2013 -**  
**BFS-BERICHT SE-IB-32/08-REV-3**

Rev.	Rev.-Stand Datum	UVST	Prüfer (Zeichn.)	Rev. Seite	Kat. *)	Erläuterung der Revision
				59	R	Korrektur der Anzahl von zusätzlichen Radionukliden; Anpassung der Tabellen-Nummerierung; Ersatz von ‚weitere‘ durch ‚zusätzliche‘
					S	Ergänzung von Bi-205, Hf-178m, Lu-173, Lu-176, Pt-193, Si-32, Te-121m und Tm-171 in Tab. 20
				60	R	Ersatz von ‚weitere‘ durch ‚zusätzliche‘; Np-236 anstatt von Np236m; Anpassung der Tabellen-Nummerierung
					V	Ergänzung der Überschrift von Kap. 7.1
				61	R	Ersatz von ‚weitere‘ durch ‚zusätzliche‘; Streichung des letzten Satzes von Kap. 7.1 (Wiederholung von Sachverhalten aus Kap. 6.3.1 und 6.3.5)
					V	Ergänzung der Überschrift von Kap. 7.2
				62	R	Ersatz von ‚weitere‘ durch ‚zusätzliche‘
				63	R	Ersatz von ‚weitere‘ durch ‚zusätzliche‘; Aktualisierung der Anzahl von zusätzlichen Radionukliden
					V	Ergänzung der Überschrift von Kap. 7.3
				64	R	Ersatz von ‚weitere‘ durch ‚zusätzliche‘; Aktualisierung der Anzahl von zusätzlichen Radionukliden
				67	R	Ergänzung eines Literaturzitats
				69	R	Ergänzung von zwei Literaturzitaten
				70	R	Streichung eines Literaturzitats (verschoben auf S. 69; Ergänzung von fünf Literaturzitaten
				71	R	Ergänzung von zwei Literaturzitaten
				72	R	Ergänzung von fünf Literaturzitaten
				87, 88	V	Ergänzung von Anhang 4 mit der Radionuklidliste zum Programm DERA
				89-102	R	Anpassung der Tabellen-Nummerierungen

\*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur  
 Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung  
 Kategorie S = substantielle Revision  
 mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 1 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Stand: 15.09.2013
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	

# Überprüfung des Radionuklid- spektrums aus den Endlagerungsbedingungen Konrad vom Dezember 1995

**-Stand: September 2013-**

**Fachbereich  
Sicherheit nuklearer Entsorgung**

SE-IB-32/08-REV-3



Bundesamt für Strahlenschutz



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 2 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

## HINWEIS

Die Erarbeitung dieses internen Berichts wurde von [REDACTED] im Rahmen des Vertrages „Beratung und Unterstützung des Fachbereichs SE auf dem Gebiet der Entsorgung radioaktiver Abfälle“, BfS-Bestell-Nr. [REDACTED], durchgeführt.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 3 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAA	AA	NNNN	NN		Stand: 15.09.2013
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		

## KURZFASSUNG

Verfasser: XXXXXXXXXX

**Titel:** Überprüfung des Radionuklidspektrums aus den Endlagerungsbedingungen Konrad vom Dezember 1995 - Stand: September 2013 -

**Stand:** 15. September 2013

**Stichworte:** Endlager Konrad, radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung, Endlagerungsbedingungen, Radionuklidspektrum, Aktivitätsbegrenzungen, Deklarationsgrenzen

Der standortspezifischen Sicherheitsanalyse für das Endlager Konrad lag ein Radionuklidspektrum zugrunde, das 156 verschiedene Radionuklide umfasste. Aus den durchgeführten Untersuchungen zum bestimmungsgemäßen Betrieb, zu den unterstellten Störfällen, zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins, zur Kritikalitätssicherheit und zu den radiologischen Auswirkungen in der Nachbetriebsphase wurden 108 Radionuklide abgeleitet, die mit ihren jeweiligen Aktivitätsbegrenzungen in die Endlagerungsbedingungen Konrad, Stand: Dezember 1995 umgesetzt wurden.

In der Zwischenzeit hat sich der Kenntnisstand über die in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung enthaltenen Radionuklide erweitert. Vor dem Hintergrund neuerer Erkenntnisse ist das Radionuklidspektrum in den Endlagerungsbedingungen Konrad, Stand: Dezember 1995 zu überprüfen und im Hinblick auf eine etwaig gebotene Erweiterung zu bewerten. Die durchgeführten Arbeiten werden dargestellt und ein Vorschlag unterbreitet, auf welche Weise zusätzliche Radionuklide, die von den Abfallverursachern deklariert wurden und über das bisherige Radionuklidspektrum hinaus gehen, in den Endlagerungsbedingungen Konrad berücksichtigt werden sollen.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 4 von 100	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Stand: 15.09.2013	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		

## ABSTRACT

Author : XXXXXXXXXX

Title: Examination of the Radionuclide Spectrum of the Konrad Waste Acceptance Requirements December 1995 - as of September 2013 -

Status: September 15, 2013

Key words: Konrad repository, radioactive waste with negligible heat generation, waste acceptance requirements, radionuclide spectrum, activity limitations, declaration limits

The site-specific safety assessment for the Konrad repository was based on a radionuclide spectrum comprising 156 different radionuclides. Of this, limitations on 108 radionuclides resulted from the specific analyses on the normal operation, assumed incidents, thermal impact upon the host rock, criticality safety und radiological impacts in the post-closure phase. These radionuclides and their activity limitations were transferred into the Konrad Waste Acceptance Requirements as of December 1995.

In the meantime the knowledge on radionuclides being included in radioactive waste with negligible heat generation has been expanded. Having this in mind the radionuclide spectrum of the Konrad Waste Acceptance Requirements is to be examined and evaluated with respect to a possibly required extension. The work carried out is described and a proposal made in which way additional radionuclides, declared by the waste generators and exceeding the present radionuclide spectrum, should be considered in the Konrad Waste Acceptance Requirements.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 5 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>KURZFASSUNG</b> .....	<b>3</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>4</b>
<b>INHALTSVERZEICHNIS</b> .....	<b>5</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b> .....	<b>7</b>
<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>8</b>
<b>ANHANGVERZEICHNIS</b> .....	<b>10</b>
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	<b>11</b>
<b>2 ENDLAGERUNGSBEDINGUNGEN KONRAD, STAND: DEZEMBER 1995</b> .....	<b>12</b>
2.1    SICHERHEITSANALYSEN UND ENDLAGERUNGSBEDINGUNGEN .....	12
2.2    RADIONUKLIDSPEKTRUM KONRAD .....	13
2.3    ÜBERPRÜFUNG DER EINHALTUNG VON AKTIVITÄTSBEGRENZUNGEN .....	16
<b>3 ERGÄNZUNGEN ZUM RADIONUKLIDSPEKTRUM</b> .....	<b>17</b>
3.1    ABFALLDATENBASIS GORLEBEN 1990.....	17
3.2    KORIGEN-PROGRAMMBIBLIOTHEK .....	19
<b>4 ERFAHRUNGEN MIT REALEN RADIONUKLIDSPEKTREN</b> .....	<b>21</b>
4.1    ENDLAGERUNG RADIOAKTIVER ABFÄLLE IM ERAM .....	21
4.2    LAUFENDE ARBEITEN ZUR PRODUKTKONTROLLE .....	28
4.2.1 <i>Radioaktive Abfälle aus Kernkraftwerken</i> .....	28
4.2.2 <i>Radioaktive Abfälle aus Forschungseinrichtungen</i> .....	30
4.2.3 <i>Radioaktive Abfälle aus Landessammelstellen und der kerntechnischen Industrie</i> .....	30
4.3    ÜBERPRÜFUNG VON ENDLAGERDOKUMENTATIONEN .....	35
<b>5 DEKLARIERTE RADIONUKLIDSPEKTREN</b> .....	<b>37</b>
<b>6 ÜBERPRÜFUNG DES RADIONUKLIDSPEKTRUMS KONRAD</b> .....	<b>44</b>
6.1    SACHSTAND ZUM PLANFESTSTELLUNGSBESCHLUSS .....	44
6.2    ZUSÄTZLICHE SICHERHEITSANALYTISCHE UNTERSUCHUNGEN .....	44
6.3    SICHERHEITSTECHNISCHE BEWERTUNG VON ZUSÄTZLICHEN RADIONUKLIDEN .....	46
6.3.1 <i>Bestimmungsgemäßer Betrieb</i> .....	46
6.3.2 <i>Unterstellte Störfälle</i> .....	47
6.3.3 <i>Thermische Beeinflussung des Wirtsgesteins</i> .....	50
6.3.4 <i>Kritikalitätssicherheit</i> .....	52
6.3.5 <i>Radiologische Langzeitauswirkungen</i> .....	53
6.4    VERGLEICH MIT AUSLÄNDISCHEN MODELLINVENTAREN FÜR ENDLAGERPLANUNGS- ARBEITEN .....	56
<b>7 ERGÄNZUNG DER ENDLAGERUNGSBEDINGUNGEN KONRAD</b> .....	<b>57</b>
7.1    BEWERTUNG DER SICHERHEITSTECHNISCHEN RELEVANZ .....	58

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 6 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Stand: 15.09.2013
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	

7.2	EINHALTUNG VON AKTIVITÄTSBEGRENZUNGEN.....	59
7.3	AKTIVITÄTSBEGRENZUNGEN FÜR ZUSÄTZLICHE RADIONUKLIDE.....	61
<b>8</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>63</b>
	<b>ANHÄNGE.....</b>	<b>71</b>

Gesamtseitenzahl: 100



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 7 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

## TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1:	Zusätzliche Radionuklide mit Halbwertszeiten größer 10 Tage in radioaktiven Abfällen aus Landessammelstellen. ....	17
Tab. 2:	Zusätzliche Radionuklide mit Halbwertszeiten größer 10 Tage, die in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung enthalten sein können. ....	19
Tab. 3:	Deklarationspflichtige Radionuklide und zugehörige Summenaktivitäten, die im ERAM von 1994 bis 1998 endgelagert wurden und nicht im Radionuklidspektrum Konrad enthalten sind. ....	22
Tab. 4:	Nichtdeklarationspflichtige Radionuklide und zugehörige Summenaktivitäten, die im ERAM von 1994 bis 1998 endgelagert wurden und nicht im Radionuklidspektrum Konrad enthalten sind. ....	23
Tab. 5:	Aufgeschlüsselte Summenaktivität von radioaktiven Abfällen aus der Landessammelstelle Berlin, die im ERAM endgelagert wurden. ....	24
Tab. 6:	Nichtdeklarationspflichtige Radionuklide mit Halbwertszeiten größer 10 Tage, die in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung enthalten sind. ....	25
Tab. 7:	Modellbetrachtung zur Ausschöpfung von Grenzwerten. ....	26
Tab. 8:	Deklarierte Radionuklide im Abfallgebinde FZK2000004 der Abfallcharge G/99/V 0321, die nicht im Radionuklidspektrum Konrad enthalten sind. ....	31
Tab. 9:	Abfallchargen mit hochdruckkompaktierten radioaktiven Abfällen. ....	32
Tab. 10:	Deklarierte Radionuklide und zugehörige Summenaktivitäten in verschiedenen Abfallchargen, die nicht im Radionuklidspektrum Konrad enthalten sind. ....	33
Tab. 11:	Radionuklide mit Halbwertszeiten größer 10 Tage, die bei der Überprüfung von vorhandenen Endlagerdokumentationen identifiziert wurden. ....	36
Tab. 12:	Überblick über zusätzliche Radionuklide, die in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung enthalten sein können bzw. deklariert wurden. ....	37
Tab. 13:	Deklarierte Radionuklide in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung, die nicht in den Endlagerungsbedingungen Konrad, Stand: Dezember 1995 enthalten bzw. begrenzt sind. ....	42
Tab. 14:	Zusätzliche Radionuklide, die für den bestimmungsgemäßen Betrieb relevant sein können. ....	47
Tab. 15:	Zusätzliche Radionuklide und Tochternuklide, Zerfallsarten und zugehörige Halbwertszeiten. ....	47
Tab. 16:	Ausgewählte Leitnuklide zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins, zusätzliche Radionuklide und zugehörige Zerfallsenergien / -wärmen. ....	51
Tab. 17:	Zusätzliche Radionuklide, die für die Kritikalitätssicherheit relevant sind. ....	52
Tab. 18:	Zusätzliche Radionuklide, die für die Langzeitsicherheit relevant sein können. Fehler! Textmarke nicht de	
Tab. 19:	Langzeitsicherheitsrelevante Radionuklide. ....	55
Tab. 20:	Zusätzliche Radionuklide in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung. ....	57

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 8 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

<b>ASME</b>	The American Society of Mechanical Engineers
<b>AtG</b>	Atomgesetz
<b>AVK</b>	Abfluss-Verfolgungs- und Produkt-Kontrollsystem
<b>BfS</b>	Bundesamt für Strahlenschutz
<b>BMI</b>	Bundesministerium des Innern
<b>CAO</b>	Carlsbad Area Office
<b>CFR</b>	Code of Federal Regulation
<b>DECC</b>	Department of Energy & Climate Change
<b>defra</b>	Department for Environment, Food and Rural Affairs
<b>DERA</b>	Deklaration radioaktiver Abfallgebinde
<b>DOE</b>	U.S. Department of Energy
<b>ERAM</b>	Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben
<b>EWN</b>	Energiewerke Nord GmbH
<b>FZK</b>	Forschungszentrum Karlsruhe GmbH (heute: KIT - Karlsruher Institut für Technologie)
<b>FZJ</b>	Forschungszentrum Jülich GmbH
<b>GNS</b>	Gesellschaft für Nuklear-Service mbH
<b>GRS</b>	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH
<b>HDB</b>	Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe
<b>HLUG</b>	Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie
<b>ISTec</b>	Institut für Sicherheitstechnologie GmbH
<b>KADABRA</b>	Karlsruher Datenbank für radioaktive Abfälle
<b>KGG</b>	Kernkraftwerk Gundremmingen Block B/C
<b>KKW</b>	Kernkraftwerk
<b>KWW</b>	Kernkraftwerk Würgassen
<b>LBE</b>	Landessammelstelle Berlin
<b>LLWR</b>	Low Level Waste Repository
<b>LSSt</b>	Landessammelstelle

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 9 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

<b>NAGRA</b>	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle
<b>NDA</b>	Nuclear Decommissioning Authority
<b>NMU</b>	Niedersächsisches Umweltministerium (heute: Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz)
<b>OECD/NEA</b>	Organisation for Economic Co-operation and Development / Nuclear Energy Agency
<b>OPG</b>	Ontario Power Generation
<b>ReVK</b>	Reststoff-Verfolgungs- und -Kontroll-System
<b>SKB</b>	Svensk Kärnbränslehantering AB
<b>StrISchV</b>	Strahlenschutzverordnung
<b>TÜV</b>	Technischer Überwachungs-Verein
<b>UK</b>	United Kingdom
<b>WAK</b>	Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (heute: Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe Rückbau- und Entsorgungs-GmbH)
<b>WWER</b>	Wasser-Wasser-Energie-Reaktor
<b>WIPP</b>	Waste Isolation Pilot Plant
<b>WTI</b>	Wissenschaftlich-Technische Ingenieurberatung GmbH

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 10 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

## ANHANGVERZEICHNIS

Anhang 1:	Abfalldatenblatt mit Radionukliden aus AVK 3.0 (GNS 2003).	73
Anhang 2:	Radionuklidumfang eines modernen ReVK-Systems (ISTec 2007).	76
Anhang 3:	Radionuklidtabelle aus KADABRA (TH-23), Stand: 20. März 2008 (FZK-HDB 2008).	77
Anhang 4:	Radionuklidliste zum Programm DERA (██████████ 2012).	84
Anhang 5:	Aktivitätsgrenzwerte für Leitnuklide und nicht spezifizierte sonstige $\alpha$ - und $\beta$ - $\gamma$ -Strahler, die aus der Störfallanalyse resultieren. Angaben in Bq pro Abfallgebinde (██████████ 1995).	86
Anhang 6:	Aktivitätswerte für Leitnuklide und nicht spezifizierte sonstige $\alpha$ - und $\beta$ - $\gamma$ -Strahler, die aus der Analyse zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren. Angaben in Bq pro Abfallgebinde (██████████ 1995).	87
Anhang 7:	Aktivitätswerte für weitere Radionuklide, die aus der Analyse zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren. Angaben in Bq pro Abfallgebinde (██████████ 1995).	89
Anhang 8:	Aktivitätswerte für Leitnuklide und sonstige nicht spezifizierte Alpha- und Beta-/Gammastrahler, die aus der Analyse zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren. Angaben in Bq pro Abfallgebinde (██████████ 1995).	93
Anhang 9:	Aktivitätswerte für weitere Radionuklide, die aus der Analyse zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren. Angaben in Bq pro Abfallgebinde (██████████ 1995).	95

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 11 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

# 1 EINLEITUNG

Die Endlagerbarkeit von radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung im Endlager Konrad wurde im Rahmen einer standortspezifischen Sicherheitsanalyse untersucht. Dieser Analyse lag ein Radionuklidinventar zugrunde, das auf Angaben der Ablieferungspflichtigen/Abführungspflichtigen<sup>1)</sup> aus den 1980er Jahren beruhte. In nachfolgenden Endlagerplanungsarbeiten ist diese Datenbasis fortgeschrieben und weiter detailliert worden. Der sich vergrößernde Kenntnisstand über die Radionuklidinventare der verschiedenen Abfallströme spiegelte sich zunächst in der Abfalldatenbasis Gorleben 1990 wieder. Hier sind abdeckende Planungsdaten für alle Arten endzulagernder radioaktiver Abfälle - mit Ausnahme von abgebrannten Brennelementen, die der direkten Endlagerung zugeführt werden sollen - zusammengestellt worden. Die Einlagerung radioaktiver Abfälle im Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) im Zeitraum vom 13. Januar 1994 bis 28. September 1998 und die laufenden Arbeiten zur Produktkontrolle radioaktiver Abfälle lieferten mit den vorgelegten Abfalldokumentationen detaillierte Istdaten über in den Abfallgebinden tatsächlich enthaltene Radionuklidinventare. Weitere Angaben resultieren aus Arbeiten zur Überprüfung von vorhandenen Endlagerdokumentationen zu radioaktiven Abfällen, Zwischenprodukten und Abfallgebinden, die im Hinblick auf die Vorbereitung der Einlagerung im Endlager Konrad von den Ablieferungspflichtigen/Abführungspflichtigen aufgenommen worden sind.

Das Niedersächsische Umweltministerium (NMU; heute: Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz) hat den Planfeststellungsbeschluss für das Endlager Konrad am 22. Mai 2002 erteilt (NMU 2002). Der Beschluss wurde von Kommunen und Privatpersonen beklagt. Das Oberverwaltungsgericht Lüneburg hat mit der Entscheidung vom 08. März 2006 die Klagen abgewiesen und eine Revision vor dem Bundesverwaltungsgericht nicht zugelassen. Die Kläger erhoben Beschwerde gegen die Nichtzulassung der Revision. Die Beschwerden wurden am 26. März 2007 vom Bundesverwaltungsgericht zurückgewiesen. Der Rechtsweg der Verwaltungsgerichtsbarkeit ist damit erschöpft und ein bestandskräftiger und unanfechtbarer Planfeststellungsbeschluss zum Endlager Konrad liegt vor. Darauf hin hat das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) mit Schreiben vom 30. Mai 2007 das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) beauftragt, mit der Errichtung des Endlagers Konrad zu beginnen.

Die Errichtungsarbeiten schließen auch die Anpassung der Endlagerungsbedingungen Konrad mit ein. Bei einer Revision dieser Endlagerungsbedingungen, die mit Stand: Dezember 1995 vorliegen (BRENNECKE 1995), müssen insbesondere die abfallspezifischen Nebenbestimmungen aus dem verfügbaren Teil A (hier: III. 1.2 Nebenbestimmungen betr. Abfälle; III. 1.3 Nebenbestimmungen betr. Bau- und Anlagentechnik; III. 1.6 Nebenbestimmungen betr. Störfälle) und aus Anhang 4 (Gehobene wasserrechtliche Erlaubnis zur Endlagerung von radioaktiven Abfällen im Endlager Konrad) des Planfeststellungsbeschlusses Konrad umgesetzt werden. Darüber hinaus ist das Radionuklidinventar aufgrund des heutigen Kenntnisstandes über die in endzulagernden radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung enthaltenen Radionuklide zu überprüfen und im Hinblick auf eine etwaig gebotene Erweiterung zu bewerten. Die hierzu durchgeführten Arbeiten werden nachfolgend dargestellt.

<sup>1)</sup> Ablieferungspflicht gemäß § 9a Abs. 2 Satz 1 Atomgesetz (AtG) in Verbindung mit § 76 Abs. 1 bis 5 StrlSchV; Abführungspflicht gemäß § 76 Abs. 6 StrlSchV.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 12 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

## 2 ENDLAGERUNGSBEDINGUNGEN KONRAD, STAND: DEZEMBER 1995

Die Planungsarbeiten für das Endlager Konrad orientierten sich u. a. an den „Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk“, die das Bundesministerium des Innern (BMI) auf Empfehlung der Reaktor-Sicherheitskommission 1983 festgelegt hat (BMI 1983). Danach ist im Rahmen einer standortspezifischen Sicherheitsanalyse der Nachweis zu erbringen, dass der Schutz von Mensch und Umwelt vor der Schädigung durch ionisierende Strahlung der in den Abfällen enthaltenen Radionuklide langfristig gewährleistet ist.

### 2.1 SICHERHEITSANALYSEN UND ENDLAGERUNGSBEDINGUNGEN

In das Endlager Konrad sollen feste bzw. verfestigte radioaktive Abfälle aus

- Forschungseinrichtungen,
- Kernkraftwerken,
- Stilllegung und Rückbau von kerntechnischen Anlagen,
- Wiederaufarbeitungsanlagen,
- der kerntechnischen Industrie,
- Landessammelstellen und von
- sonstiger Herkunft

eingelagert werden. Dabei muss u. a. der Randbedingung genügt werden, dass die Temperaturerhöhung am Kammerstoß, die durch die Zerfallswärme der in den Abfallgebinden enthaltenen Radionuklide verursacht wird, im Mittel nicht mehr als 3 K beträgt. Die Endlagerbarkeit dieser radioaktiven Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung wurde in einer umfassenden standortspezifischen Sicherheitsanalyse geprüft, wobei die durchgeführten sicherheitsanalytischen Untersuchungen insbesondere folgende Auswirkungen umfassten:

- Die Strahlenexposition des Betriebspersonals und in der Umgebung der Anlage durch Direkt- und Streustrahlung sowie durch freigesetzte radioaktive Stoffe aus den Abfallgebinden, die über den Abwetter- bzw. Abwasserpfad abgeleitet werden (bestimmungsgemäßer Betrieb).
- Die Strahlenexposition des Betriebspersonals und in der Umgebung der Anlage durch freigesetzte radioaktive Stoffe infolge mechanischer und/oder thermischer Einwirkungen auf die Abfallgebinde in der Betriebsphase (unterstellte Störfälle).
- Der Einfluss der Zerfallswärme der in den Abfällen enthaltenen Radionuklide auf das umgebende Gestein (thermische Beeinflussung des Wirtsgesteins).
- Die Verhinderung von kritischen Anordnungen spaltbarer Stoffe (Einhaltung der Unterkritikalität).
- Die Strahlenexposition durch freigesetzte radioaktive Stoffe über den Wasserpfad (radiologische Langzeitauswirkungen).

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 13 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

Die Grundlage für derartige Arbeiten bildeten standortspezifische geologische, hydrogeologische, geochemische und geomechanische Daten, das Anlagenkonzept einschließlich der geplanten betrieblichen Abläufe sowie Angaben über Art, Menge und Eigenschaften der zur Einlagerung vorgesehenen Abfallgebinde. Aus den sicherheitsanalytischen Untersuchungen resultierten sowohl Anforderungen an die Auslegung von Komponenten und Systemen des Endlagers Konrad als auch Anforderungen an die endzulagernden radioaktiven Abfälle. Diese Anforderungen bilden den wesentlichen Teil der „Endlagerungsbedingungen, Stand: Dezember 1995, - Schachanlage Konrad -“ (BRENNECKE 1995), die wie folgt aufgebaut und strukturiert sind:

- Grundanforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle
- Anforderungen an Abfallgebinde
- Anforderungen an Abfallprodukte
  - Grundanforderungen
  - Abfallproduktgruppen
  - Qualitätsmerkmale der Abfallproduktgruppen
  - Ausschöpfung von Aktivitätsgrenzwerten
  - Befüllung von Abfallbehältern
- Anforderungen an Abfallbehälter
  - Grundanforderungen
  - Abfallbehälterklassen
  - Störfallfeste Verpackung
  - Innenbehälter
- Aktivitätsbegrenzungen
  - Zulässige Aktivitäten
  - Deklaration von Radionukliden
- Anlieferung von Abfallgebinden

## 2.2 RADIONUKLIDSPEKTRUM KONRAD

Die Durchführung der standortspezifischen Sicherheitsanalyse setzte u. a. detaillierte abfallspezifische Angaben voraus. Für die radiologische Charakterisierung der endzulagernden Abfallgebinde und damit für die Ermittlung der erforderlichen Angaben zu Radionuklidinventaren waren (und sind) die Ablieferungspflichtigen/Abführungspflichtigen zuständig. Ihre Angaben wurden in der Abfalldatenbasis 1984 zusammengefasst ( [REDACTED] ), durch weitere

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 14 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

Angaben ergänzt ( [REDACTED] BERG 1989) und als Eingangsdaten für die sicherheitsanalytischen Untersuchungen zum bestimmungsgemäßen Betrieb, zu den unterstellten Störfällen, der thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins, der Einhaltung der Unterkritikalität und den radiologischen Langzeitauswirkungen verwendet.

Damit lag den standortspezifischen Sicherheitsanalysen ein Radionuklidenspektrum zugrunde, das 156 verschiedene Radionuklide umfasste. Aus den durchgeführten Teilanalysen wurden für 108 Radionuklide Aktivitätsbegrenzungen abgeleitet; diese Radionuklide sind mit ihren jeweiligen Begrenzungen in den Endlagerungsbedingungen Konrad, Stand: Dezember 1995 angegeben (BRENNECKE 1995).

Für folgende 48 Radionuklide wurden keine Aktivitätsbegrenzungen abgeleitet:

- Die Halbwertszeiten von 44 Radionukliden sind kleiner oder gleich 10 Tage; diese sind

Bi-211	At-217	Y-90	In-111	Tl-207	Fr-223
Po-211	Rn-219	Nb-95m	Sb-126m	Tl-208	U-237
Po-212	Rn-220	Mo-99	I-131	Tl-209	U-240
Po-213	Fr-221	Tc-99m	Ba-137m	Pb-209	Np-238
Po-214	Ac-225	Rh-103m	Pr-144	Pb-211	Np-239
Po-215		Rh-106	Pr-144m	Pb-212	Np-240m
Po-216		Ag-108	Hg-197	Bi-212	Am-242
Po-218		Ag-110	Tl-201	Bi-213	

- Die Halbwertszeiten von 4 Radionukliden sind größer als  $10^{11}$  Jahre; diese sind die primordialen Radionuklide Nd-144, Sm-147, Sm-148 und Gd-152.

Bei Radionukliden mit Halbwertszeiten kleiner oder gleich 10 Tage ist die Aktivität bei Ablieferung der Abfallgebinde an das Endlager Konrad bereits abgeklungen, die primordialen Radionuklide sind aufgrund ihrer sehr langen Halbwertszeiten und geringen Anzahl an Zerfällen pro Zeiteinheit nicht von radiologischer Relevanz.

Die zulässigen Aktivitäten von Radionukliden und Radionuklidgruppen (nicht spezifizierte Alpha- und Beta-/Gammastrahler) pro Abfallgebinde sind in den Endlagerungsbedingungen Konrad (BRENNECKE 1995) in tabellarischer Form getrennt nach Anforderungen aus

- dem bestimmungsgemäßen Betrieb,
- den unterstellten Störfällen,
- der thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins und
- der Einhaltung der Unterkritikalität (Kritikalitätssicherheit)

angegeben. Ferner sind zulässige Aktivitäten bzw. Massen von höheren spaltbaren Aktiniden aus ergänzenden Untersuchungen zur Kritikalitätssicherheit angegeben. In den sicherheitsanalytischen Untersuchungen zur Strahlenexposition in der Umgebung des Endlagers Konrad in der Nachbetriebsphase (radiologische Langzeitauswirkungen) sind keine Aktivitätsbegrenzungen für Radionuklide und Radionuklidgruppen pro Abfallgebinde abgeleitet worden. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen führten zu

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 15 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

Angaben für maximal einlagerbare Aktivitäten von zehn relevanten Radionukliden und zwei relevanten Radionuklidgruppen am Ende der Betriebsphase des Endlagers Konrad ( ), die in die Endlagerungsbedingungen Konrad umgesetzt wurden.

Die sicherheitsanalytischen Untersuchungen mit den höheren spaltbaren Aktiniden umfassten auch Cf-249 und Cf-251, aber nur im Hinblick auf die Einhaltung der Unterkritikalität. Sicherheitsanalytische Untersuchungen mit Cf-249 und Cf-251 zum bestimmungsgemäßen Betrieb, zu unterstellten Störfällen, zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins und zu den radiologischen Langzeitauswirkungen wurden nicht durchgeführt.

Das der standortspezifischen Sicherheitsanalyse zugrunde liegende und in den Endlagerungsbedingungen Konrad, Stand: Dezember 1995 angegebene Radionuklidspektrum wurde durch das NMU als Planfeststellungsbehörde und durch den Technischen Überwachungs-Verein (TÜV) Hannover/Sachsen-Anhalt als seinem Sachverständigen begutachtet. Aus der Begutachtung der einschlägigen Verfahrensunterlagen einschließlich der Endlagerungsbedingungen haben sich jedoch keine Nachforderungen zur Erweiterung des Radionuklidspektrums über die berücksichtigten 156 Radionuklide hinaus ergeben. Die Begrenzungen für Cf-249 und Cf-251 aus kritikalitätssicherheitlicher Sicht sind hierbei eingeschlossen. Im Einzelnen führen TÜV und NMU aus:

- In seinem Gutachten (TÜV 1997) setzt sich der TÜV Hannover/Sachsen-Anhalt mit der Abfalldatenbasis Konrad 1984 ( ), den Aktivitäten relevanter Radionuklide und Radionuklidgruppen am Ende der Betriebsphase des Endlagers Konrad ( ) und den Änderungen im Abfallspektrum auseinander, die aus dem Verzicht auf die Wiederaufarbeitungsanlage Wackersdorf und stattdessen aus der Nutzung der Wiederaufarbeitung in ausländischen Anlagen resultieren ( ). In seiner Begutachtung zieht der TÜV die Schlussfolgerung (Kap. 2.5.1.1), dass „der Antragsteller ... ausreichend belastbare und abdeckende Daten zu den Abfallarten, den Abfallmengen und den Aktivitätsinventaren vorgelegt hat. Diese Daten sind als Planungsgrundlage für das Endlager Grube Konrad aus sicherheitstechnischer Sicht geeignet“ (TÜV 1997).
- Im Planfeststellungsbeschluss Konrad (NMU 2002) führt das NMU aus, dass „der Antragsteller auf der Basis von Erhebungen über Art und Menge der vorhandenen und der entstehenden radioaktiven Abfälle, die zur Endlagerung im Endlager Konrad infrage kommen, ein Modellnuklidspektrum für die schwach wärmeentwickelnden Abfälle ermittelt hat“ (Kap. B III.1) .... „Auf der Grundlage der für das Planfeststellungsverfahren durchgeführten standortspezifischen Sicherheitsanalyse hat der Antragsteller Endlagerungsbedingungen für das Endlager Konrad erstellt (/EU 117/) [Anmerkung: Bei der erläuternden Unterlage /EU 117/ handelt es sich um die Endlagerungsbedingungen Konrad, Stand: Dezember 1995 (BRENNECKE 1995)]. Sie beinhalten allgemeine Anforderungen an Abfallgebinde wie auch spezifische Anforderungen an Abfallprodukte und Abfallbehälter sowie Aktivitätsbegrenzungen für einzelne Radionuklide .... Die Endlagerungsbedingungen /EU 117/ enthalten in den Anhängen II und III.4 die aus den Sicherheitsanalysen abgeleiteten Aktivitätsgrenzwerte für die unterschiedlichen Abfallgebindetypen. Den Analysen liegt ein Radionuklidspektrum aus 156 verschiedenen Radionukliden zugrunde. Hieraus sind Aktivitätsbegrenzungen für 108 Radionuklide, wobei Halbwertszeiten größer als 10 Tage berücksichtigt wurden, abgeleitet worden“ (Kap. B III.1.2) .... „Als Planungsgrundlage für das Endlager Konrad hat der Antragsteller der Planfeststellungsbehörde belastbare und abdeckende Daten hinsichtlich der Abfallarten, der Abfallmengen und der Aktivitätsinventare (s. a. Kap. B III.1) vorgelegt, die zur Beurteilung des Vorhabens aus sicherheitstechnischer Sicht geeignet sind“ (Kap. C II.2.1.2.2.1).

Im Rahmen der Begutachtung der einschlägigen Verfahrensunterlagen wie auch im Rahmen der Planfeststellung wurde weder

- die Forderung nach einer Erweiterung des Radionuklidspektrums Konrad erhoben noch



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 16 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

- die Vorgehensweise, für Radionuklide mit Halbwertszeiten kleiner oder gleich 10 Tage und größer als  $10^{11}$  Jahre keine Aktivitätsbegrenzungen abzuleiten, infrage gestellt.

Zusammen mit den o. a. Ausführungen folgt daraus, dass das Radionuklidspektrum Konrad alle sicherheitstechnisch wesentlichen Radionuklide aus den radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung umfasst, die im Endlager Konrad eingelagert werden sollen.

## 2.3 ÜBERPRÜFUNG DER EINHALTUNG VON AKTIVITÄTS-BEGRENZUNGEN

Die Überprüfung der Einhaltung von Aktivitätsbegrenzungen, d. h. die praktische Anwendung der Tabellen mit den radionuklidspezifischen Begrenzungen, ist ausführlich in den Endlagerungsbedingungen Konrad (BRENNECKE 1995) beschrieben. In diesem Zusammenhang muss die Deklaration von Radionukliden und Radionuklidgruppen beachtet werden. In diesen Bedingungen ist genau ausgewiesen, in welchen Fällen radionuklidspezifische Aktivitätsangaben unabhängig von einem Deklarationswert oder erst nach Überschreiten des Deklarationswertes von 1 % anzugeben sind. Zu den deklarationspflichtigen Radionukliden und Radionuklidgruppen (nicht spezifizierte Alpha- und Beta-/Gammastrahler) zählen z. B. die sog. Leitnuklide, die sich in den Störfallanalysen und in den Untersuchungen zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins als relevant erwiesen haben.

In den endzulagernden Abfallgebinden sind in der Regel keine einzelnen Radionuklide, sondern Radionuklidgemische enthalten. Zur Erleichterung der Nachweisführung, dass die Aktivitäten der in einem Radionuklidgemisch enthaltenen Radionuklide die jeweils zulässigen Begrenzungen einhalten, ist ein Summenkriterium eingeführt worden. Dieses Kriterium gilt als erfüllt, wenn die Summe der Verhältniszahlen (Quotienten) aus den tatsächlich im Abfallgebinde enthaltenen Aktivitäten einzelner Radionuklide bzw. Radionuklidgruppen und den jeweiligen sicherheitsanalytisch abgeleiteten zulässigen Aktivitäten kleiner 1 ist. Aus Störfallsicht muss der Summenwert  $S_s$  ( $s$  = Index für Störfall) immer kleiner 1 sein. Aus Sicht der thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins und der Einhaltung der Unterkritikalität (Kritikalitätssicherheit) wird für die Summenwerte  $S_w$  ( $w$  = Index für Wärme) und  $S_k$  ( $k$  = Index für Kritikalität) gefordert, dass sie kleiner 1 sind. Dies gilt nicht für die gemischte Einlagerung; in diesem Fall können die Summenwerte  $S_w$  und  $S_k$  auch gleich oder größer 1 sein. Die Einlagerung von Abfallgebinden mit Summenwerten gleich oder größer 1 ist möglich, wenn sie mit Abfallgebinden gemischt werden, die entsprechend geringere Summenwerte besitzen.

Mit dieser Vorgehensweise, die in (BRENNECKE 1995) unter Berücksichtigung von weiteren Einzelheiten ausführlich dargestellt ist, wird der Nachweis der Einhaltung von Aktivitätsbegrenzungen geführt. Er basiert damit auf dem der standortspezifischen Sicherheitsanalyse Konrad zugrunde liegenden Radionuklidspektrum und den darin enthaltenen 108 Radionukliden, für die Aktivitätsbegrenzungen abgeleitet wurden. Zusätzlich sind Cf-249 und Cf-251 aus kritikalitätssicherheitlicher Sicht zu berücksichtigen. Abfallgebinde, deren Radionuklidgemische sich aus Radionukliden zusammensetzen, die im Radionuklidspektrum Konrad enthalten sind (BRENNECKE 1995), und die die Anforderungen aus den Endlagerungsbedingungen Konrad nachweislich einhalten ( ), können im Endlager Konrad eingelagert werden.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 17 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

### 3 ERGÄNZUNGEN ZUM RADIONUKLIDSPEKTRUM

#### 3.1 ABFALLDATENBASIS GORLEBEN 1990

Die Abfalldatenbasis 1984 und ergänzende Angaben der Ablieferungspflichtigen/Abführungspflichtigen gaben zunächst den Kenntnisstand über die in endzulagernden Abfallgebinden enthaltenen Radionuklide mit ihren jeweiligen Aktivitäten wieder. Bei der Präsentation und Diskussion der ersten Fassungen der Endlagerungsbedingungen Konrad wie auch speziell bei der Fortschreibung der Abfalldatenbasis 1984 zur Abfalldatenbasis Gorleben 1990 wurde die Vollständigkeit des Radionuklidspektrums hinterfragt und - soweit erforderlich - um entsprechende Ergänzungen gebeten. Gemäß der Vorgehensweise bei der Charakterisierung von endzulagernden radioaktiven Abfällen und der Bereitstellung von radiologischen Eingangsdaten für sicherheitsanalytische Untersuchungen (BRENNECKE & WARNECKE 1985; [REDACTED]) wurden von den Ablieferungspflichtigen/Abführungspflichtigen gegen Ende der 1980er Jahre umfangreiche Angaben in aktualisierter Form gemacht, die in die Abfalldatenbasis Gorleben 1990 umgesetzt wurden. In diesem Zusammenhang hatten die Betreiber der Landessammelstellen über das bisherige Radionuklidspektrum hinaus 28 zusätzliche Radionuklide mit Halbwertszeiten größer 10 Tage deklariert, die - wenn auch voraussichtlich nur mit sehr geringen Aktivitäten und unregelmäßigem Anfall - für zukünftige Planungsarbeiten für das Endlagerprojekt Gorleben bestimmt waren. Hierbei handelte es sich um abdeckende Planungsdaten und nicht um Angaben über tatsächliche Radionuklidinventare in radioaktiven Abfällen aus Landessammelstellen ([REDACTED]). Diese Radionuklide sind zusammen mit ihren Halbwertszeiten in Tab. 1 angegeben.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass bei der Angabe von Halbwertszeiten nicht auf die Strahlenschutzverordnung (STRLSCHV 2001), sondern im Hinblick auf den neuesten wissenschaftlichen Stand ausschließlich auf die Karlsruher Nuklidkarte (MAGILL, PFENNIG & GALY 2006) zurückgegriffen wird.

Tab. 1: Zusätzliche Radionuklide mit Halbwertszeiten größer 10 Tage in radioaktiven Abfällen aus Landessammelstellen.

Radionuklid	Halbwertszeit	Radionuklid	Halbwertszeit
Al-26	$7,1 \cdot 10^5$ a	Sb-124	60,3 d
As-73	80,3 d	Se-75	119,6 d
Au-195	186,1 d	Sm-145	340,0 d
Ce-141	32,5 d	Sn-113	115,1 d
Cf-252	2,6 a	Sn-119m	293,0 d
Cs-136	13,1 d	Sr-82	25,3 d
Gd-153	239,4 d	Sr-85	64,9 d
Ge-68	270,8 d	Tb-160	72,3 d
Ir-192	73,8 d	Tc-97	$4,0 \cdot 10^6$ a

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 18 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	

**Tab. 1:** Zusätzliche Radionuklide mit Halbwertszeiten größer 10 Tage in radioaktiven Abfällen aus Landessammelstellen (Fortsetzung).

K-40	$1,2 \cdot 10^9$ a	Tl-204	3,7 a
Lu-174	3,3 a	W-181	121,2 d
Mn-53	$3,7 \cdot 10^5$ a	W-185	75,1 d
P-32	14,2 d	Y-88	106,6 d
Po-208	2,8 a	Yb-169	32,0 d

Die Halbwertszeiten der überwiegenden Anzahl der in Tab. 1 angegebenen Radionuklide liegen im Bereich von Tagen, und zwar

- 11 Radionuklide mit Halbwertszeiten zwischen 13,1 Tagen und 80,3 Tagen (As-73, Ce-141, Cs-136, Ir-192, P-32, Sb-124, Sr-82, Sr-85, Tb-160, W-185, Yb-169) und
- 9 Radionuklide mit Halbwertszeiten zwischen 106,6 Tagen und 340,0 Tagen (Au-195, Gd-153, Ge-68, Se-75, Sm-145, Sn-113, Sn-119m, W-181, Y-88).

Bei 4 Radionukliden liegen die Halbwertszeiten im Bereich von Jahren, und zwar zwischen 2,6 Jahren und 3,7 Jahren (Cf-252, Lu-174, Po-128, Tl-204).

Bei 4 Radionukliden sind die Halbwertszeiten wesentlich länger und liegen im Bereich zwischen  $7,1 \cdot 10^5$  Jahren und  $1,2 \cdot 10^9$  Jahren (Al-26, K-40, Mn-53, Tc-97).

Diese Radionuklide sind in der für das Endlager Konrad durchgeführten standortspezifischen Sicherheitsanalyse nicht berücksichtigt worden.

Bei den in Tab. 1 angegebenen Radionukliden ist eine Besonderheit zu berücksichtigen. Das Radionuklid K-40 zählt zu den natürlich vorkommenden Radionukliden, die nicht beschränkt sind (StrlSchV 2001). Gleichwohl ist Kalium in endzulagernden radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung enthalten; gemäß der Gehobenen wasserrechtlichen Erlaubnis zur Endlagerung radioaktiver Abfälle im Endlager Konrad (hier: Anhang 4 zum Planfeststellungsbeschluss Konrad) ist die Endlagerung von 3.480 Mg Kalium und 11,6 Mg Kaliumpyrophosphat zulässig (NMU 2002). Vor diesem Hintergrund ist die Aktivität von K-40 in radioaktiven Abfällen zu deklarieren, und zwar für die Fälle, in denen K-40 z. B. als Aktivierungsprodukt gebildet wird, bei Forschungs- und Entwicklungsarbeiten anfällt oder einem genehmigten Umgang entstammt.

Darüber hinaus ist zu beachten, dass Kalium - und mit seiner natürlichen Zusammensetzung auch das Isotop K-40 - im menschlichen Körper vorhanden ist. Seine Menge - und damit die Aktivität des K-40 - wird homöostatisch kontrolliert (Falbe & Regitz 1990), d. h. eine erhöhte Ingestion von Kalium in der natürlichen Zusammensetzung führt nicht zu einer Erhöhung der Aktivität von K-40 im menschlichen Körper. Dagegen kann die Ingestion von K-40 bzw. von Kalium, das nicht der natürlichen Zusammensetzung entspricht, zu einer Erhöhung der Aktivität von K-40 im menschlichen Körper führen. Dieser Sachverhalt ist bei der sicherheitstechnischen Bedeutung von K-40 einschließlich der Bewertung von Aktivitätsangaben zu berücksichtigen.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 19 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

### 3.2 KORIGEN-PROGRAMMBIBLIOTHEK

Da grundsätzlich nicht auszuschließen war, dass über das bisherige Radionuklidspektrum hinaus noch weitere Radionuklide in Abfallgebinden enthalten sein können, die sowohl in zukünftigen Endlagerplanungsarbeiten zu verwenden sind als auch zukünftig an das Endlager Konrad abgeliefert werden sollen, wurde geprüft, ob über die o. a. 28 Radionuklide hinaus noch weitere Radionuklide zusätzlich berücksichtigt werden müssten. Ziel dieser Vorgehensweise war es, zum damaligen Zeitpunkt abfallverursacherseitig nicht deklarierte Radionuklide zu identifizieren, bereits vorsorglich in ergänzenden sicherheitsanalytischen Untersuchungen zu berücksichtigen und mit den ermittelten Aktivitätsbegrenzungen ihre sicherheitstechnische Relevanz zu bewerten.

In diesem Zusammenhang bot sich eine Auswertung der Bibliothek zum Programm KORIGEN (FISCHER & WIESE 1983) an. Bei der Auswahl der aus dieser Bibliothek zu berücksichtigenden Radionuklide wurde folgendermaßen vorgegangen ( [REDACTED] ):

- In einem ersten Schritt wurden alle Radionuklide mit Halbwertszeiten größer 10 Tage zusammengestellt, die in der Bibliothek zum Programm KORIGEN enthalten sind.
- In einem zweiten Schritt wurden in dieser Zusammenstellung alle bisher in den standortspezifischen Sicherheitsanalysen Konrad berücksichtigten 156 Radionuklide und die in Tab. 1 angegebenen zusätzlichen 28 Radionuklide gestrichen.
- In einem dritten Schritt wurden stabile Radionuklide wie Ce-142, Sm-149 und V-50 wie auch künstlich erzeugte Radionuklide mit Halbwertszeiten größer als  $10^{11}$  Jahre und geringen spezifischen Aktivitäten wie Gd-152, In-115, La-138, Nd-144, Sm-147, Sm-148, Ta-180 und Te-123 gestrichen.

Die Beschränkung auf Radionuklide mit Halbwertszeiten größer 10 Tage und kleiner  $10^{11}$  Jahre stand im Einklang mit der Vorgehensweise bei den standortspezifischen Sicherheitsanalysen Konrad; dies wurde weder von der Planfeststellungsbehörde noch von ihrem Gutachter in Frage gestellt (Kap. 2.2).

Damit verbleiben 35 zusätzliche Radionuklide für ergänzende sicherheitsanalytische Untersuchungen; diese Radionuklide sind zusammen mit ihren Halbwertszeiten in Tab. 2 aufgeführt.

**Tab. 2:** Zusätzliche Radionuklide mit Halbwertszeiten größer 10 Tage, die in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung enthalten sein können.

Radionuklid	Halbwertszeit	Radionuklid	Halbwertszeit
Ar-37	35,0 d	Nd-147	10,9 d
Ba-140	12,7 d	Np-236	$1,5 \cdot 10^5$ a
Bi-208	$3,6 \cdot 10^5$ a	P-33	25,3 d
Bi-210m	$3,0 \cdot 10^5$ a	Pm-148m	41,3 d
Bk-249	320,0 d	Pr-143	13,5 d
Cd-115m	44,8 d	Ra-225	14,8 d
Cf-249	350,6 a	Rb-86	18,7 d

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 20 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	

Tab. 2: Zusätzliche Radionuklide mit Halbwertszeiten größer 10 Tage, die in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung enthalten sein können (Fortsetzung).

Cf-250	13,0 a	Sb-126	12,4 d
Cf-251	898,0 a	Sn-117m	13,6 d
Cf-253	17,8 d	Sn-121m	50 a
Cf-254	60,5 d	Sn-123	129,2 d
Cm-250	$9,7 \cdot 10^3$ a	Te-123m	119,7 d
Es-253	20,4 d	Te-127m	109,0 d
Eu-156	15,2 d	Te-129m	33,6 d
Ho-166m	$1,2 \cdot 10^3$ a	Th-229	$7,8 \cdot 10^3$ a
In-114m	49,5 d	Xe-131m	11,9 d
Kr-81	$2,3 \cdot 10^5$ a	Y-91	58,5 d
Nb-92	$3,6 \cdot 10^7$ a		

Die Halbwertszeiten der überwiegenden Anzahl der in Tab. 2 angegebenen Radionuklide liegen im Bereich von Tagen, und zwar

- 19 Radionuklide mit Halbwertszeiten zwischen 10,9 Tagen und 60,5 Tagen (Ar-37, Ba-140, Cd-115m, Cf-253, Cf-254, Es-253, Eu-156, In-114m, Nd-147, P-33, Pm-148, Pr-143, Ra-225, Rb-86, Sb-126, Sn-117m, Te-129m, Xe-131m, Y-91) und
- 4 Radionuklide mit Halbwertszeiten zwischen 109,0 und 320,0 Tagen (Bk-249, Sn-123, Te-123m, Te-127m).

Bei 4 Radionukliden liegen die Halbwertszeiten im Bereich von Jahren, und zwar zwischen 13,0 Jahren und 898,0 Jahren (Cf-249, Cf-250, Cf-251, Sn-121m).

Bei 8 Radionukliden sind die Halbwertszeiten deutlich länger und liegen im Bereich zwischen  $1,2 \cdot 10^3$  Jahren und  $3,6 \cdot 10^7$  Jahren (Bi-208, Bi-210m, Cm-250, Ho-166m, Kr-81, Nb-92, Np-236, Th-229).

Diese Radionuklide sind mit Ausnahme von Cf-249 und Cf-251 in der für das Endlager Konrad durchgeführten standortspezifischen Sicherheitsanalyse nicht berücksichtigt worden (Kap. 2.2). Für beide Radionuklide wurden ausschließlich in ergänzenden Untersuchungen zur Kritikalitätssicherheit Aktivitätsbegrenzungen ermittelt und in die Endlagerungsbedingungen Konrad (BRENNECKE 1995) aufgenommen.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 21 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

## 4 ERFAHRUNGEN MIT REALEN RADIONUKLID-SPEKTREN

Die von den Betreibern der Landessammelstellen genannten zusätzlichen 28 Radionuklide und die zusätzlichen 35 Radionuklide, die der Programmbibliothek KORIGEN entnommen wurden und nicht auf Angaben der Ablieferungspflichtigen/Abführungspflichtigen beruhen, sind als abdeckende Planungsdaten und vorsorglich zu berücksichtigende Radionuklide angegeben worden. Da diese 63 Radionuklide im Rahmen der Erarbeitung der Abfalldatenbasis 1984 ( [REDACTED] ) von den Abfallverursachern nicht deklariert wurden, werden sie voraussichtlich nur mit vergleichsweise sehr geringen Aktivitäten in nicht regelmäßig und relativ gleichförmig anfallenden Abfallströmen enthalten sein. Dieser Sachverhalt wird nachfolgend am Beispiel realer Radionuklidspektren geprüft und bewertet.

### 4.1 ENDLAGERUNG RADIOAKTIVER ABFÄLLE IM ERAM

Am 13. Januar 1994 hatte das BfS die Abfalleinlagerung im Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) wieder aufgenommen. In den zur Dauerbetriebsgenehmigung vom 22. April 1986 ergänzend durchgeführten sicherheitsanalytischen Untersuchungen wurden auch die o. a. 63 Radionuklide berücksichtigt. Danach ist festzuhalten, dass

- diese Radionuklide für den bestimmungsgemäßen Betrieb, die thermische Beeinflussung des Wirtsgesteins Salz und die Einhaltung der Unterkritikalität (Kritikalitätssicherheit) nicht von Relevanz sind,
- die Radionuklide Al-26, Cf-249, Cf-251, Cf-252, Cf-254, Cm-250, Ho-166m, K-40 und Th-229 als sog. Störfall-Leitnuklide eingestuft wurden,
- in den durchgeführten Störfallanalysen mit Ausnahme von Ar-37, Bi-208, Cf-250, Nb-92, Np-236 und Po-208 für alle übrigen Radionuklide Grenzwerte für die Aktivitätskonzentrationen abgeleitet wurden und
- die Untersuchungen zu den radiologischen Langzeitauswirkungen nur zur Aufnahme bzw. Begrenzung von Th-229 führten.

Die Ergebnisse der ergänzenden Sicherheitsanalysen wurden im Rahmen der Fortschreibung der Endlagerungsbedingungen Morsleben berücksichtigt und in die Endlagerungsbedingungen Morsleben, Stand: August 1996 ( [REDACTED] ) umgesetzt. Es wurden 66 deklarationspflichtige Radionuklide abgeleitet, wobei das Radionuklid Ir-192 nur für umschlossene Strahlenquellen relevant war.

Für die im ERAM vom 13. Januar 1994 bis 28. September 1998 endgelagerten radioaktiven Abfälle, die aus dem gesamten Bundesgebiet stammten, liegen detaillierte Angaben zu den Radionukliden und ihren Aktivitäten vor. Die Ablieferungspflichtigen/Abführungspflichtigen haben die Radionuklidinventare auf Abfalldatenblättern gemäß den Anforderungen der Endlagerungsbedingungen Morsleben deklariert. Danach setzt sich die im ERAM endgelagerte Gesamtaktivität aus den Summen der Aktivitäten der deklarationspflichtigen Alpha- und Beta-/Gammastrahler, den Summen der Aktivitäten der nichtdeklarationspflichtigen Alpha- und Beta-/Gammastrahler sowie den Restaktivitäten von Alpha- und Beta-/Gammastrahlern zusammen, die von den Abfallverursachern nicht näher spezifiziert wurden. Die Angaben zu den radionuklidspezifischen Aktivitäten umfassen sowohl die festen Abfälle der Abfallart A1 als auch die umschlossenen Strahlenquellen der Abfallart A 3. Die endgelagerten Strahlenquellen enthalten als deklarationspflichtige Radionuklide lediglich Co-60, Cs-137, Ir-192 und Sr-90.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 22 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Stand: 15.09.2013
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	

Einen Überblick über das im ERAM von 1994 bis 1998 eingelagerte Radionuklidinventar ist in ( [REDACTED] ) enthalten. Insgesamt wurden 135 Radionuklide deklariert. Dabei haben die Ablieferungspflichtigen/Abführungspflichtigen bei den deklarationspflichtigen Radionukliden die Aktivitäten von 30 Alphastrahlern (Summenaktivität:  $6,2 \cdot 10^{10}$  Bq) und 35 Beta-/Gammastrahlern (Summenaktivität:  $7,2 \cdot 10^{13}$  Bq) angegeben, während zu den Aktivitäten der nichtdeklarationspflichtigen Radionuklide 3 Alphastrahler (Summenaktivität:  $1,0 \cdot 10^9$  Bq) und 67 Beta-/Gammastrahler (Summenaktivität:  $1,0 \cdot 10^{13}$  Bq) beitragen. Die nichtspezifizierte Restaktivität der Alphastrahler beläuft sich auf  $1,6 \cdot 10^{10}$  Bq, die der Beta-/Gammastrahler auf  $9,0 \cdot 10^{12}$  Bq.

Diese Aktivitätsangaben basieren auf den jeweiligen Einzelaktivitäten, die die Abfallverursacher auf den Abfalldatenblättern dokumentiert haben. Sie berücksichtigen nicht das Abklingverhalten von Radionukliden mit kurzen Halbwertszeiten wie Mn-54, Fe-55 oder Cs-134, deren Aktivitäten einen wesentlichen Beitrag zur Gesamtaktivität der im o. a. Zeitraum im ERAM endgelagerten radioaktiven Abfälle liefern.

Der Vergleich zwischen dem Radionuklidspektrum Konrad (156 Radionuklide) und den in ( [REDACTED] ) genannten Radionukliden zeigt, dass von den Abfallverursachern 45 Radionuklide deklariert wurden, die nicht im Radionuklidspektrum Konrad enthalten sind. Diese Radionuklide sind mit ihren Summenaktivitäten in Tab. 3 und 4 zusammengestellt.

**Tab. 3:** Deklarationspflichtige Radionuklide und zugehörige Summenaktivitäten, die im ERAM von 1994 bis 1998 endgelagert wurden und nicht im Radionuklidspektrum Konrad enthalten sind.

Radionuklid	Summenaktivität [Bq]
Al-26	$8,6 \cdot 10^5$
Cf-249	$5,9 \cdot 10^5$
Cf-251	$2,3 \cdot 10^4$
Cf-252	$6,2 \cdot 10^5$
Cf-254	$3,3 \cdot 10^2$
Cm-250	$3,3 \cdot 10^2$
Ho-166m	$3,4 \cdot 10^4$
K-40	$2,3 \cdot 10^{10}$
Np-236	$4,5 \cdot 10^3$
Th-229	$3,0 \cdot 10^5$

Die in Tab. 3 angegebenen Radionuklide Cf-249 und Cf-251 sind zwar in den Endlagerungsbedingungen Konrad (BRENNECKE 1995) enthalten, wurden allerdings nur im Rahmen von ergänzenden Untersuchungen zur Kritikalitätssicherheit betrachtet. Für die Endlagerung radioaktiver Abfälle im ERAM war die Kritikalitätssicherheit aufgrund der Beschränkung der zulässigen Aktivität von Alphastrahlern auf  $4,0 \cdot 10^8$  Bq/m<sup>3</sup> nicht von Bedeutung ( [REDACTED] ).

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 23 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

**Tab. 4:** Nichtdeklarationspflichtige Radionuklide und zugehörige Summenaktivitäten, die im ERAM von 1994 bis 1998 endgelagert wurden und nicht im Radionuklidspektrum Konrad enthalten sind.

Radionuklid	Summenaktivität [Bq]	Radionuklid	Summenaktivität [Bq]
Au-195	$6,4 \cdot 10^2$	Rh-102	$5,5 \cdot 10^7$
Ba-140	$1,3 \cdot 10^4$	Rh-102m	$2,0 \cdot 10^6$
Be-7	$1,4 \cdot 10^5$	Sb-124	$4,3 \cdot 10^7$
Bi-207	$5,5 \cdot 10^7$	Sb-126	$2,1 \cdot 10^5$
Cd-115m	$4,1 \cdot 10^4$	Se-75	$1,4 \cdot 10^8$
Ce-139	$1,2 \cdot 10^3$	Sn-113	$4,3 \cdot 10^8$
Ce-141	$6,2 \cdot 10^5$	Sn-119m	$3,9 \cdot 10^4$
Co-56	$6,2 \cdot 10^4$	Sn-121m	$2,6 \cdot 10^5$
Gd-153	$1,2 \cdot 10^7$	Sr-85	$2,9 \cdot 10^6$
Ge-68	$3,0 \cdot 10^3$	Ta-179	$5,9 \cdot 10^6$
In-114m	$4,5 \cdot 10^5$	Tb-160	$3,8 \cdot 10^3$
Ir-192	$6,5 \cdot 10^7$	Tc-95m	$2,0 \cdot 10^3$
P-32	$1,1 \cdot 10^7$	Tl-204	$1,6 \cdot 10^7$
Pm-146	$6,2 \cdot 10^3$	Tm-170	$1,5 \cdot 10^4$
Rb-83	$1,0 \cdot 10^5$	V-48	$4,1 \cdot 10^5$
Rb-84	$1,2 \cdot 10^5$	Y-88	$2,7 \cdot 10^5$
Rb-86	$3,0 \cdot 10^5$	Yb-169	$3,1 \cdot 10^6$
Rh-101	$5,5 \cdot 10^7$		

Im Zusammenhang mit den nichtdeklarationspflichtigen Radionukliden sei noch auf das folgende Beispiel verwiesen: Für radioaktive Abfälle aus der Landessammelstelle Berlin, die in 38 Stück 200-l-Fässer verpackt waren, wurde eine Summenaktivität von  $1,9 \cdot 10^9$  Bq angegeben. Hierzu tragen folgende (nichtdeklarationspflichtige) Radionuklide bei (LBE 1995):



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 24 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

Tab. 5: Aufgeschlüsselte Summenaktivität von radioaktiven Abfällen aus der Landessammelstelle Berlin, die im ERAM endgelagert wurden.

Radionuklid	Summenaktivität [%]
Pm-147	99,9
Ru-106	0,1
Rh-101	< 0,1
Rh-102	< 0,1
Rh-102m	< 0,1
Sb-125	< 0,1
Zn-65	< 0,1
Summenaktivität: $1,9 \cdot 10^9$ Bq	

Wie die Aufschlüsselung der Summenaktivität zeigt, sind im Radionuklidinventar dieser LBE-Abfälle die nichtdeklarationspflichtigen Radionuklide Rh-101, Rh-102 und Rh-102m mit Aktivitäten von jeweils weniger als  $10^6$  Bq enthalten.

Die 45 Radionuklide, die die Ablieferungspflichtigen/Abführungspflichtigen auf den Abfalldatenblättern für das Endlager Morsleben über das Radionuklidspektrum Konrad hinaus deklariert haben, können wie folgt aufgeteilt werden:

- Der Vergleich zwischen den o. a. 63 Radionukliden mit den in ( [REDACTED] ) genannten Radionukliden zeigt, dass 31 der 63 Radionuklide von den Abfallverursachern deklariert wurden:

Al-26	Cf-251	Ho-166m	Rb-86	Sn-121m	Yb-169
Au-195	Cf-252	In-114m	Sb-124	Sr-85	
Ba-140	Cf-254	Ir-192	Sb-126	Tb-160	
Cd-115m	Cm-250	K-40	Se-75	Th-229	
Ce-141	Gd-153	Np-236	Sn-113	Tl-204	
Cf-249	Ge-68	P-32	Sn-119m	Y-88	

Dabei sind 18 Radionuklide den zusätzlichen Radionukliden zuzuordnen, die die Betreiber von Landessammelstellen genannt hatten (Tab. 1), während 13 Radionuklide denjenigen zuzuordnen sind, die der Bibliothek des Programms KORIGEN entnommen wurden (Tab. 2).

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 25 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

- Neben diesen 31 Radionukliden sind noch 14 Radionuklide zu berücksichtigen, die nicht zu den o. a. 63 Radionukliden zählen, sondern über sie hinaus für die vom 13. Januar 1994 bis 28. September 1998 im ERAM endgelagerten radioaktiven Abfälle deklariert wurden. Diese Radionuklide sind zusammen mit ihren Halbwertszeiten in Tab. 6 angegeben.

**Tab. 6:** Nichtdeklarationspflichtige Radionuklide mit Halbwertszeiten größer 10 Tage, die in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung enthalten sind.

Radionuklid	Halbwertszeit	Radionuklid	Halbwertszeit
Be-7	53,2 d	Rh-101	3,3 a
Bi-207	31,5 a	Rh-102	207,0 d
Ce-139	137,6 d	Rh-102 m	2,9 a
Co-56	77,2 d	Ta-179	665,0 d
Pm-146	5,5 a	Tc-95 m	60,0 d
Rb-83	86,2 d	Tm-170	128,6 d
Rb-84	32,8 d	V-48	15,9 d

Die Halbwertszeiten der überwiegenden Anzahl der in Tab. 6 angegebenen Radionuklide liegen im Bereich von Tagen, und zwar

- 6 Radionuklide mit Halbwertszeiten zwischen 32,8 Tagen und 86,2 Tagen (Be-7, Co-56, Rb-83, Rb-84, Tc-95 m und V-48) und
- 4 Radionuklide mit Halbwertszeiten zwischen 128,6 Tagen und 665,0 Tagen (Ce-139, Rh-102, Ta-179 und Tm-170).

Bei vier Radionukliden liegen die Halbwertszeiten im Bereich von Jahren, und zwar 2,9 Jahren und 31,5 Jahren (Bi-207, Pm-146, Rh-101, Rh-102m).

Die Halbwertszeiten lassen sofort erkennen, dass diese 14 Radionuklide für die Langzeitsicherheit des Endlagers Konrad ohne Bedeutung sind.

Um die Relevanz der 45 im Radionuklidinventar des ERAM angegebenen, aber nicht im Radionuklidspektrum Konrad enthaltenen Radionuklide bewerten zu können, wird folgende Modellbetrachtung durchgeführt:

- In einem ersten Schritt werden die Summenaktivitäten dieser Radionuklide aus den im ERAM von 1994 bis 1998 endgelagerten radioaktiven Abfällen herangezogen ( [REDACTED] ).
- In einem zweiten Schritt werden die zugehörigen Grenzwerte der Aktivitätskonzentrationen für diese Radionuklide aus den Endlagerungsbedingungen Morsleben ( [REDACTED] ) entnommen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Radionuklide Be-7, Bi-207, Ce-139, Co-56, Pm-146, Rb-83, Rb-84, Rh-101, Rh-102, Rh-102m und Ta-179 als nichtdeklarations-

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 26 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 15.09.2013
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		

pflichtige Radionuklide weder in den Endlagerungsbedingungen Morsleben enthalten noch in ihnen begrenzt sind.

- In einem dritten Schritt werden die Summenaktivitäten mit den jeweiligen Störfallgrenzwerten verglichen, und zwar mit den restriktivsten Grenzwerten der Strahlenschutzgruppe S1. Da die o. a. 11 Radionuklide aus dem Vergleich herausfallen, beschränkt er sich auf 34 Radionuklide.

Damit wird modellmäßig unterstellt bzw. so vorgegangen, als ob die Summenaktivitäten aller hier betrachteten 34 Radionuklide jeweils in einem einzigen Abfallgebinde von 1 m<sup>3</sup> Volumen enthalten wären, das der Strahlenschutzgruppe S1 zugeordnet ist. Das Ergebnis dieser sehr konservativen Modellbetrachtung gibt Tab. 7 wieder.

Tab. 7: Modellbetrachtung zur Ausschöpfung von Grenzwerten.

Radionuklid	Summenaktivität [Bq]	Grenzwert S 1 [Bq/m <sup>3</sup> ]	Ausschöpfungsgrad [%]
Al-26	8,6 · 10 <sup>5</sup>	3,6 · 10 <sup>9</sup>	0,0238
Au-195	6,4 · 10 <sup>2</sup>	4,5 · 10 <sup>12</sup>	0,0000
Ba-140	1,3 · 10 <sup>4</sup>	1,8 · 10 <sup>12</sup>	0,0000
Cd-115m	4,1 · 10 <sup>4</sup>	2,9 · 10 <sup>12</sup>	0,0000
Ce-141	6,2 · 10 <sup>5</sup>	1,8 · 10 <sup>13</sup>	0,0000
Cf-249	5,9 · 10 <sup>5</sup>	8,5 · 10 <sup>8</sup>	0,0694
Cf-251	2,3 · 10 <sup>4</sup>	8,5 · 10 <sup>8</sup>	0,0027
Cf-252	6,2 · 10 <sup>5</sup>	1,2 · 10 <sup>9</sup>	0,0516
Cf-254	3,3 · 10 <sup>2</sup>	3,4 · 10 <sup>8</sup>	0,0000
Cm-250	3,3 · 10 <sup>2</sup>	3,1 · 10 <sup>7</sup>	0,0010
Gd-153	1,2 · 10 <sup>7</sup>	2,7 · 10 <sup>12</sup>	0,0004
Ge-68	3,0 · 10 <sup>3</sup>	2,5 · 10 <sup>11</sup>	0,0000
Ho-166m	3,4 · 10 <sup>4</sup>	5,2 · 10 <sup>9</sup>	0,0006
In-114m	4,5 · 10 <sup>5</sup>	1,8 · 10 <sup>12</sup>	0,0000
Ir-192	6,5 · 10 <sup>7</sup>	9,2 · 10 <sup>11</sup>	0,0070
K-40	2,3 · 10 <sup>10</sup>	6,3 · 10 <sup>9</sup>	365,0793
Np-236	4,5 · 10 <sup>3</sup>	2,7 · 10 <sup>9</sup>	0,0001
P-32	1,1 · 10 <sup>7</sup>	2,5 · 10 <sup>11</sup>	0,0044

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 27 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 15.09.2013
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		

Tab. 7: Modellbetrachtung zur Ausschöpfung von Grenzwerten (Fortsetzung).

Rb-86	$3,0 \cdot 10^5$	$2,1 \cdot 10^{12}$	0,0000
Sb-124	$4,3 \cdot 10^7$	$5,5 \cdot 10^{11}$	0,0078
Sb-126	$2,1 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^{12}$	0,0000
Se-75	$1,4 \cdot 10^8$	$1,2 \cdot 10^{11}$	0,1166
Sn-113	$4,3 \cdot 10^8$	$1,5 \cdot 10^{12}$	0,0286
Sn-119m	$3,9 \cdot 10^4$	$2,4 \cdot 10^{12}$	0,0000
Sn-121m	$2,6 \cdot 10^5$	$9,2 \cdot 10^{10}$	0,0002
Sr-85	$2,9 \cdot 10^6$	$1,7 \cdot 10^{12}$	0,0001
Tb-160	$3,8 \cdot 10^3$	$7,2 \cdot 10^{11}$	0,0000
Tc-95m	$2,0 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^{12}$	0,0000
Th-229	$3,0 \cdot 10^5$	$2,2 \cdot 10^8$	0,1363
Tl-204	$1,6 \cdot 10^7$	$7,7 \cdot 10^{11}$	0,0020
Tm-170	$1,5 \cdot 10^4$	$6,4 \cdot 10^{12}$	0,0000
V-48	$4,1 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^{12}$	0,0000
Y-88	$2,7 \cdot 10^5$	$2,4 \cdot 10^{11}$	0,0001
Yb-169	$3,1 \cdot 10^6$	$5,6 \cdot 10^{12}$	0,0000

Aus Tab. 7 ist unmittelbar ersichtlich, dass die in den ergänzenden Störfallbetrachtungen abgeleiteten Grenzwerte für die Strahlenschutzgruppe S1 durch die jeweiligen Summenaktivitäten der hier betrachteten 34 Radionuklide - mit Ausnahme von K-40 - zu weniger als 0,15 % ausgeschöpft werden. Damit kommt diesen Radionukliden unter Störfallgesichtspunkten keine Bedeutung zu.

Der Grenzwert für das Radionuklid K-40 wird um den Faktor 3,65 überschritten. Diese Überschreitung muss jedoch vor dem Hintergrund der hier vorgenommenen Aktivitätsermittlung bewertet werden. K-40 wurde fast nur durch radioaktive Abfälle aus Kernkraftwerken (hier: WWER) der EWN in das ERAM eingebracht. Beim Betrieb dieser Anlagen ist Kaliumhydroxid (Kalilauge) dem Primärkühlmittel zur Einstellung des pH-Werts zugesetzt worden; im Bereich des Reaktorkerns (hier: im Neutronenfeld der Spaltzone) wurde das im Primärkühlmittel enthaltene Kalium zu K-40 aktiviert. Zur Bestimmung der K-40 - Aktivitäten wurde die höchste Aktivitätskonzentration (bzw. Nachweisgrenze) aus den vorhandenen Analysen von festen Verdampferkonzentraten mit der Abfallmasse des schwersten Abfallgebundes der jeweiligen Prüfcharge multipliziert und der resultierende Wert für alle Abfallgebunde der betreffenden Prüfcharge deklariert (TÜV 1998). Auf diese Weise wurden sehr konservative Aktivitätswerte für K-40 ermittelt; die tatsächlich im ERAM vorhandene Aktivität dieses Radionuklids ist deutlich geringer.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 28 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

Die Relevanz der 45 nicht im Radionuklidspektrum Konrad enthaltenen Radionuklide kann aus Störfallsicht nicht abschließend bewertet werden, da - wie oben ausgeführt - 11 Radionuklide nicht in den Endlagerungsbedingungen Morsleben enthalten bzw. begrenzt sind.

Zusammenfassend ist festzustellen:

Die Ablieferungspflichtigen/Abführungspflichtigen haben in ihren radioaktiven Abfällen, die vom 13. Januar 1994 bis 28. September 1998 im ERAM endgelagert wurden, 45 Radionuklide deklariert, die nicht im Radionuklidspektrum Konrad enthalten sind. Sie finden sich in etwa einem Drittel der in diesem Zeitraum eingelagerten 95.444 Abfallgebinde, wobei sie in der Regel nur einzeln mit jeweils sehr kleinen Aktivitäten in den betroffenen Abfallgebinden verteilt sind. Als Beispiele seien hier die beiden Radionuklide K-40 und Th-229 genannt: K-40 ist in ca. 7.000 Abfallgebinden und Th-229 in ca. 4.000 Abfallgebinden enthalten. Gemäß Tab. 7 liegen ihre Summenaktivitäten - mit der deklarationsbedingten Ausnahme von K-40 - im Größenordnungsbereich zwischen  $10^2$  Bq und  $10^8$  Bq. In einer sehr konservativen Modellbetrachtung ist der Ausschöpfungsgrad der jeweiligen Störfallgrenzwerte ermittelt worden. Die Ausschöpfung dieser Werte von weniger als 0,15 % gibt einen deutlichen Hinweis darauf, dass diese Radionuklide nicht von sicherheitstechnischer Relevanz sind. Dies gilt umso mehr, wenn nicht die sehr konservativen Annahmen der durchgeführten Modellbetrachtung verwendet werden, sondern auf tatsächliche Aktivitätsinventare pro Abfallgebinde abgestellt wird.

## 4.2 LAUFENDE ARBEITEN ZUR PRODUKTKONTROLLE

Im Hinblick auf die Einlagerung in einem Bundesendlager melden die Abfallverursacher seit Jahren ihre radioaktiven Abfälle beim BfS zur Produktkontrolle an. Als Prüfmaßstab dienten früher insbesondere die Endlagerungsbedingungen Konrad (BRENNECKE 1995) und in Einzelfällen auch die Endlagerungsbedingungen Morsleben (■■■■■■■■■■); heute werden die revidierten Endlagerungsbedingungen Konrad herangezogen (BRENNECKE 2011). Im Rahmen der laufenden Produktkontrollarbeiten werden insbesondere die Angaben zum Radionuklidinventar eines Abfallgebundes oder einer Abfallcharge überprüft und im Hinblick auf die Einhaltung der Begrenzungen aus den Endlagerungsbedingungen bewertet (■■■■■■■■■■).

### 4.2.1 Radioaktive Abfälle aus Kernkraftwerken

Bei der Deklaration von Radionukliden in Betriebsabfällen aus Kernkraftwerken sind in den letzten Jahren in einigen wenigen Fällen auch Radionuklide deklariert worden, die nicht im Radionuklidspektrum Konrad enthalten bzw. nicht durch die Endlagerungsbedingungen Konrad abgedeckt sind:

- In Betriebsabfällen aus Kernkraftwerken ist das Radionuklid Sb-124 (Tab. 1) enthalten, und zwar
  - im Stahlblechcontainer Typ V BBG 6500128-GNSMEYVS00111 mit 117 Stück Presslinge mit hochdruckverpressten radioaktiven Abfällen aus dem Kernkraftwerk Biblis, für den im Abfalldatenblatt GNS B060/03 REV 00 (GNS 2004) das Radionuklid Sb-124 mit einer Aktivität von  $1,9 \cdot 10^4$  Bq ausgewiesen wird;
  - in 92 Stück 200-l-Fässer mit Ionenaustauscherharzen aus dem Kernkraftwerk Gundremmingen Block A, für die in den zugehörigen Produktabfalldatenblättern G3KGG0085-010, G3KGG0085-011, G3KGG0085-012 und G3KGG0085-013 (KGG 2009) die Aktivität von Sb-124 im Bereich von  $1,2 \cdot 10^3$  Bq bis  $6,1 \cdot 10^3$  Bq - jeweils auf ein Fass bezogen - angegeben ist;



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 29 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

- im Container KKS6500068 mit 86 Stück Presslinge mit verpressten Mischabfällen aus dem Kernkraftwerk Stade, die in der Konditionierungskampagne KKS 025157 verarbeitet wurden, mit einer Aktivität von  $2,0 \cdot 10^{-14}$  Bq (KKS 2011).
- Für den Stahlblechcontainer Typ V KKB 6506370 (GNS 2006), in den 39 Presslinge mit Asche/Filterstaub/Sekundärabfall und 51 Presslinge mit Mischabfall verpackt sind, enthält die Gesamtaktivität der Alphastrahler von  $5,6 \cdot 10^6$  Bq auch die Aktivität der Radionuklide Cf-249, Cf-251, Cf-252, Cf-254, Cm-250 und Th-229, die der Beta-/Gammastrahler von  $4,1 \cdot 10^9$  Bq auch die Aktivität der Radionuklide Al-26 und K-40. Radionuklidspezifische Aktivitätsangaben werden hierzu jedoch nicht gemacht. Die Radionuklide Al-26, Cf-252 und K-40 sind in Tab. 1, die übrigen in Tab. 2 enthalten.
- Für zwei 200-l-Fässer mit verpressten Abfällen aus dem Kernkraftwerk Isar 1 sind in den zugehörigen Abfalldatenblättern KI 10304517 und KI 10304518 (GNS 2007) die Radionuklide Sb-124 mit  $2,7 \cdot 10^{-4}$  Bq bzw.  $3,3 \cdot 10^{-5}$  Bq und Ce-141 mit  $5,8 \cdot 10^{-11}$  Bq bzw.  $1,1 \cdot 10^{-11}$  Bq angegeben. Beide Radionuklide sind in Tab. 1 enthalten.
- Die beiden Radionuklide Sb-124 und Ce-141 sind auch in den Betriebsabfällen anderer Kernkraftwerke enthalten, und zwar
  - im Stahlblechcontainer Typ V KKP 6700146 (GNS 2008a), in den 66 Presslinge mit Verbrennungsrückständen und 2 Presslinge mit Sekundärabfällen verpackt sind (Aktivität von Sb-124:  $3,3 \cdot 10^{-3}$  Bq; Aktivität von Ce-141:  $6,3 \cdot 10^{-14}$  Bq);
  - in 7 Stück 200-l-Fässer mit formstabil kompaktierten Aschen, für die im Abfalldatenblatt GNS B 051/08 Rev 00 (GNS 2008b) die Summenaktivität des Radionuklids Sb-124 mit  $2,4 \cdot 10^1$  Bq angegeben ist;
  - in 4 Stück 200-l-Fässer aus dem Kernkraftwerk Gundremmingen Block B/C, die im Rahmen der Kampagne KGB030085 (KGG 2008) mit Ionenaustauschern befüllt wurden und deren Aktivitäten von Sb-124 zwischen  $1,3 \cdot 10^5$  Bq und  $2,8 \cdot 10^5$  Bq bzw. von Ce-141 zwischen  $2,7 \cdot 10^5$  Bq und  $5,1 \cdot 10^5$  Bq - jeweils auf ein Fass bezogen - liegen;
  - in 26 Stück 400-l-Edelstahlfässer mit Ionenaustauschern, Filterhilfsmitteln, Salz und festen Abfällen, für die im Abfalldatenblatt GNS B 107/07 Rev 02 (GNS 2008c) die Summenaktivitäten für Sb-124 mit  $3,2 \cdot 10^6$  Bq und für Ce-141 mit  $4,8 \cdot 10^6$  Bq angegeben sind;
  - in 18 Stück 400-l-Edelstahlfässer mit getrocknetem Verdampferkonzentrat aus dem Kernkraftwerk Isar 2, für die im Abfalldatenblatt GNS B114/99 Rev 02 (GNS 2008d) die Aktivitäten von Sb-124 zwischen  $9,2 \cdot 10^{-7}$  Bq und  $1,9 \cdot 10^{-6}$  Bq bzw. von Ce-141 zwischen  $6,5 \cdot 10^{-27}$  Bq und  $2,4 \cdot 10^{-26}$  Bq - jeweils auf ein Fass bezogen - angegeben sind;
  - in 9 Stück 200-l-Edelstahlfässer mit getrocknetem Verdampferkonzentrat aus dem Kernkraftwerk Neckarwestheim, für die im Abfalldatenblatt GNS B054/09 REV 00 (GNS 2009a) die Aktivitäten von Sb-124 zwischen  $4,0 \cdot 10^1$  Bq und  $8,2 \cdot 10^1$  Bq bzw. von Ce-141 zwischen  $6,4 \cdot 10^3$  Bq und  $1,1 \cdot 10^2$  Bq - jeweils auf ein Fass bezogen - angegeben sind
  - in 6 Stück Betonbehälter Typ II (hier: Bauart SBA 400/2 mit Innenbehältern FS14) mit verpressten Mischabfällen aus dem Kernkraftwerk Unterweser, für die im Abfalldatenblatt GNS B152/07 REV 01 (GNS 2011) für den Behälter KKU9529 die Aktivitäten von Sb-124 mit  $1,3 \cdot 10^{-1}$  Bq bzw. von Ce-141 mit  $1,6 \cdot 10^{-12}$  Bq angegeben sind.
- Darüber hinaus sind die beiden Radionuklide Sb-124 und Ce-141 zusammen mit Ir-192 in Betriebsabfällen aus den Kernkraftwerken Würgassen im Behälter KWW 6300022 (Aktivität von Sb-



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 30 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

124:  $3,0 \cdot 10^{-28}$  Bq; Aktivität von Ce-141:  $2,1 \cdot 10^{-58}$  Bq; Aktivität von Ir-192: kleiner Deklarationsgrenze), Brokdorf im Behälter KBR 6500002 (Aktivität von Sb-124:  $6,5 \cdot 10^{-14}$  Bq; Aktivität von Ce-141:  $3,8 \cdot 10^{-32}$  Bq; Aktivität von Ir-192: kleiner Deklarationsgrenze) und Stade im Behälter KKS5200504 (Aktivität von Sb-124:  $2,2 \cdot 10^{-3}$  Bq; Aktivität von Ce-141:  $2,2 \cdot 10^{-13}$  Bq; Aktivität von Ir-192: kleiner Deklarationsgrenze) angegeben worden (KWW 2009; GNS 2009b; GNS 2010).

- Im Gussbehälter KKK 5200001 (GNS 2008e), der 6 Brennelementkästen und 14 Kastenbefestiger enthält, sind die Aktivitäten von Sn-119m mit  $1,0 \cdot 10^9$  Bq und von Sn-121m mit  $1,5 \cdot 10^{10}$  Bq angegeben. Sn-119m ist in Tab. 1, Sn-121m in Tab. 2 aufgeführt.
- Für 25 Stück 580-l-Fässer mit Ionenaustauscherharzen aus dem Kernkraftwerk Greifswald sind in dem zugehörigen Sammeldatenblatt G1KGR009709-065 (EWN 2007) die Radionuklide K-40 mit einer Summenaktivität von  $3,3 \cdot 10^8$  Bq, Ho-166m mit einer Summenaktivität von  $8,5 \cdot 10^1$  Bq und Th-229 mit einer Summenaktivität von  $3,4 \cdot 10^3$  Bq angegeben. Das Radionuklid K-40 ist in Tab. 1, die beiden übrigen Radionuklide Ho-166m und Th-229 sind in Tab. 2 enthalten.

Diese Beispiele belegen, dass in Tab. 1 angegebene Radionuklide nicht nur in den radioaktiven Abfällen aus Landessammelstellen enthalten sein können, sondern in Betriebsabfällen aus Kernkraftwerken vorhanden sind. Sie belegen ferner, dass aus der Bibliothek zum Programm KORIGEN entnommene Radionuklide (Tab. 2) auch in diesen Abfällen enthalten sind. Hier zeigt sich, dass die vorsorgliche Betrachtung weiterer Radionuklide richtig war. Dies kommt auch in Anfragen nach Grenzwerten für das Radionuklid Cf-252 in Betriebsabfällen aus Kernkraftwerken zum Ausdruck (██████████). Ergänzend sei darauf hingewiesen, dass das Radionuklid Sn-121m auch in Betriebsabfällen aus amerikanischen Kernkraftwerken identifiziert wurde (THOMAS, ROBERTSON & THOMAS 1993).

Die zugehörigen Aktivitäten der nicht durch die Endlagerungsbedingungen Konrad abgedeckten Radionuklide liegen im Größenordnungsbereich zwischen  $10^{-27}$  Bq pro Fass (Kernkraftwerk Isar 2) und  $10^5$  Bq pro Fass (Kernkraftwerk Gundremmingen Block B/C), zwischen  $10^8$  Bq pro Gussbehälter und  $10^{10}$  Bq pro Gussbehälter (Kernkraftwerk Krümmel) oder zwischen  $10^{-32}$  Bq pro Container Typ V (Kernkraftwerk Brokdorf) und  $10^4$  Bq pro Container Typ V (Kernkraftwerk Biblis). Als Summenaktivität liegen sie - mit der deklarationsbedingten Ausnahme von K-40 - im Bereich zwischen  $10^{-58}$  Bq pro 15 Stück 200-l-Fässer (Kernkraftwerk Würgassen) und  $10^5$  Bq pro 26 Stück 400-l-Fässer (Kernkraftwerk Gundremmingen Block B/C). Mit diesen Werten ist eindeutig belegt, dass diese Radionuklide nur in sehr wenigen Abfallgebinden mit sehr kleinen, z. T. äußerst geringen Aktivitäten anfallen. Dies gilt umso mehr, wenn nicht die Summenaktivitäten betrachtet, sondern auf abfallgebändebezogene Aktivitäten abgestellt wird.

Im Hinblick auf die Aktivitätsangaben für K-40 ist es dringend geboten, die Vorgehensweise bei der Aktivitätsbestimmung (Kap. 4.1) zu überprüfen und zukünftig realitätsnahe Angaben zu deklarieren.

Im Rahmen der Vorbereitung auf die Entsorgung von Kernbauteilen aus Kernkraftwerken ist erstmals das Radionuklid Pt-193 - bedingt durch die Verwendung aktueller Datenbanken und Bibliotheken bei Aktivierungsberechnungen - rechnerisch ausgewiesen worden (GNS 2012). Messwerte oder konkrete Aktivitätsangaben pro Abfallgebände liegen nicht vor. Pt-193 liegt in fester (metallischer) Form vor, ist nicht flüchtig und zählt nicht zu den Spaltstoffen. Die Halbwertszeit von 50,0 a lässt sofort erkennen, dass Pt-193 für die Langzeitsicherheit des Endlagers Konrad ohne Bedeutung ist.

#### 4.2.2 Radioaktive Abfälle aus Forschungseinrichtungen

Außer in Betriebsabfällen aus Kernkraftwerken werden Radionuklide, die über das Radionuklidspektrum Konrad hinausgehen und nicht in den Endlagerungsbedingungen Konrad enthalten sind, auch in Ein-

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 31 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

zelfällen in radioaktiven Abfällen aus Forschungseinrichtungen deklariert. Für den Stahlblechcontainer mit Betonauskleidung FZK2000004 der Abfallcharge G/99/V 0321, der vergossenen Bauschutt enthält, werden im zugehörigen Abfalldatenblatt (FZK 2006) folgende Radionuklide deklariert, die nicht im Radionuklidspektrum Konrad enthalten sind:

**Tab. 8:** Deklarierte Radionuklide im Abfallgebäude FZK2000004 der Abfallcharge G/99/V 0321, die nicht im Radionuklidspektrum Konrad enthalten sind.

Radionuklid	Aktivität [Bq]
Cf-249	$9,8 \cdot 10^{-1}$
Gd-153	$4,3 \cdot 10^0$
Ge-68	$3,7 \cdot 10^{-3}$
Ho-166m	$2,6 \cdot 10^{-1}$
K-40	$4,7 \cdot 10^{-1}$
Sb-126	$4,2 \cdot 10^3$
Se-75	$4,3 \cdot 10^0$
Sn-113	$3,2 \cdot 10^0$
Sn-119m	$3,7 \cdot 10^0$
Sn-121m	$2,7 \cdot 10^3$
Sn-123	$4,2 \cdot 10^{-1}$
Te-127m	$1,7 \cdot 10^{-1}$
Tl-204	$3,6 \cdot 10^{-2}$

Die Radionuklide Gd-153, Ge-68, K-40, Se-75, Sn-113, Sn-119m und Tl-204 sind in Tab. 1, die übrigen mit Ausnahme von Sn-123 und Te-127m in Tab. 2 enthalten. Diese beiden Radionuklide wurden bisher nicht deklariert.

Als weitere Beispiele sollen die Abfalldatenblätter für Abfallprodukte verschiedener Abfallchargen mit hochdruckkompaktierten und in 200-l-Fässern verpackten radioaktiven Abfällen ausgewertet werden. Hierzu werden die Abfallchargen S/98/V 0089 (FZK 2007a), S/98/V 0049 (FZK 2007b), S/99/V 0048 (FZK 2007c), S/98/V 0155 (FZK 2007d), S/98/V 0045 (FZK 2008a), S/98/V 0041 (FZK 2008b), S/03/V 0044 (FZK 2008c), S/98/V 0149 (FZK 2008d), S/00/V 0032 (FZK 2008e), S/03/V 0012 (FZK 2008f), S/01/V 0064 (FZK 2008g), S/01/V 0131 (FZK 2008h), S/00/V 0106 (FZK 2008i), S/00/V 0112 (FZK 2008j), S/04/V 0046 (FZK 2008k), S/97/V 0169 (FZK 2009a) und S/03/V 0002 (FZK 2009b) herangezogen. Einzelheiten zu diesen Abfallchargen finden sich in Tab. 9.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 32 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

Tab. 9: Abfallchargen mit hochdruckkompaktierten radioaktiven Abfällen.

Abfallcharge	Abfallart (kompaktiert mit Kartusche)	Stückzahl 200-l-Fässer	Anzahl deklarerter und nicht im Radionuklidspektrum Konrad enthaltener Radionuklide
S/98/V 0089	Metalle, Nichtmetalle, Kunststoffe	2	15
S/98/V 0049	Zellstoff, Folie	17	5
S/99/V 0048	Metalle, Nichtmetalle, Kunststoffe	21	25
S/98/V 0049	Zellstoff, Folie	17	5
S/99/V 0048	Metalle, Nichtmetalle, Kunststoffe	21	25
S/98/V 0155	Metalle, Nichtmetalle, Kunststoffe	4	2
S/98/V 0045	Zellstoff, Folie	17	16
S/98/V 0041	Zellstoff, Folie	16	6
S/03/V 0044	Filter, Luftfilterelemente	25	23
S/98/V 0149	Luftfilterelemente	20	21
S/00/V 0032	Metalle, Nichtmetalle, Kunststoffe	13	6
S/03/V 0012	unsortierter Abfall, Metalle, Nichtmetalle, Kunststoffe	8	5
S/00/V 0106	Metalle, Nichtmetalle, Kunststoffe	17	7
S/01/V 0064	Metalle, ferritische Metalle	10	4

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 33 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

Tab. 9: Abfallchargen mit hochdruckkompaktierten radioaktiven Abfällen (Fortsetzung).

S/01/V 0131	unsortierter Abfall, Metalle, Nichtmetalle, Kunststoffe	9	20
S/00/V 0106	Metalle, Nichtmetalle, Kunststoffe	17	7
S/00/V 0112	unsortierter Abfall, Metalle, Nichtmetalle, Kunststoffe	6	15
S/04/V 0046	Metalle, Leichtmetalle	7	23
S/97/V 0169	Metalle, Nichtmetalle, Kunststoffe	4	2
S/03/V 0002	Metalle, Nichtmetalle, Kunststoffe	13	7

Je nach radioaktivem Abfall werden 2 bis 25 Radionuklide deklariert, die über das Radionuklidspektrum Konrad hinausgehen. Diese Radionuklide und ihre zugehörigen Summenaktivitäten sind in Tab. 10 zusammengestellt. Beim Auftreten von Radionukliden in mehreren Abfallchargen ist die jeweilige Bandbreite der Summenaktivität angegeben worden.

Tab. 10: Deklarierte Radionuklide und zugehörige Summenaktivitäten in verschiedenen Abfallchargen, die nicht im Radionuklidspektrum Konrad enthalten sind.

Radionuklid	Summenaktivität [Bq]	Radionuklid	Summenaktivität [Bq]
Al-26	$7,8 \cdot 10^{-3} - 1,6 \cdot 10^0$	Rh-101	$4,3 \cdot 10^{-2}$
Be-7	$2,4 \cdot 10^2$	Rh-102m	$1,5 \cdot 10^2$
Bi-207	$2,7 \cdot 10^{-3} - 6,0 \cdot 10^0$	Sb-124	$4,5 \cdot 10^{-2} - 3,3 \cdot 10^4$
Ce-141	$5,3 \cdot 10^2 - 4,2 \cdot 10^4$	Sb-126	$2,0 \cdot 10^{-2} - 4,5 \cdot 10^3$
Cf-249	$1,1 \cdot 10^{-1} - 1,5 \cdot 10^1$	Se-75	$9,3 \cdot 10^{-2} - 4,6 \cdot 10^5$
Cf-252	$4,5 \cdot 10^{-3} - 2,2 \cdot 10^{-2}$	Sn-113	$1,6 \cdot 10^{-1} - 4,0 \cdot 10^5$
Es-254	$3,4 \cdot 10^{-3} - 3,6 \cdot 10^{-3}$	Sn-119m	$3,4 \cdot 10^{-2} - 1,4 \cdot 10^2$
Gd-153	$1,7 \cdot 10^{-1} - 4,8 \cdot 10^5$	Sn-121m	$1,2 \cdot 10^{-1} - 7,2 \cdot 10^3$
Ge-68	$2,3 \cdot 10^{-3} - 1,7 \cdot 10^3$	Sn-123	$8,3 \cdot 10^{-2} - 1,6 \cdot 10^3$

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 34 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

Tab. 10: Deklarierte Radionuklide und zugehörige Summenaktivitäten in verschiedenen Abfallchargen, die nicht im Radionuklidspektrum Konrad enthalten sind (Fortsetzung).

Ho-166m	$3,0 \cdot 10^{-3} - 1,3 \cdot 10^1$	Sr-85	$6,2 \cdot 10^{-2} - 4,9 \cdot 10^5$
In-114m	$8,0 \cdot 10^2$	Ta-179	$1,1 \cdot 10^{-1} - 9,6 \cdot 10^2$
Ir-192	$5,5 \cdot 10^{-2} - 4,2 \cdot 10^2$	Tb-160	$1,3 \cdot 10^3 - 1,0 \cdot 10^5$
K-40	$4,1 \cdot 10^{-2} - 2,6 \cdot 10^5$	Te-127m	$1,2 \cdot 10^{-2}$
P-32	$6,5 \cdot 10^{-2} - 2,8 \cdot 10^5$	Th-229	$2,4 \cdot 10^{-3} - 1,1 \cdot 10^0$
Pm-146	$2,0 \cdot 10^{-3} - 8,7 \cdot 10^1$	Ti-44	$1,3 \cdot 10^{-2} - 5,3 \cdot 10^2$
Po-208	$2,9 \cdot 10^{-3} - 2,5 \cdot 10^1$	Tl-204	$1,1 \cdot 10^{-1} - 4,6 \cdot 10^6$
Ra-225	$2,4 \cdot 10^{-3} - 1,1 \cdot 10^0$	V-48	$7,4 \cdot 10^2 - 2,4 \cdot 10^5$
Rb-83	$1,8 \cdot 10^2$	W-181	$2,1 \cdot 10^0 - 6,3 \cdot 10^0$
Rb-84	$2,1 \cdot 10^2 - 3,1 \cdot 10^3$	Y-88	$6,1 \cdot 10^{-1}$
Rb-86	$5,4 \cdot 10^2$	Yb-169	$5,6 \cdot 10^1 - 5,5 \cdot 10^3$

Von den in Tab. 10 genannten Radionukliden zählen Be-7, Bi-207, Pm-146, Rb-83, Rb-84, Rh-102m, Ta-179 und V-48 zu den nichtdeklarationspflichtigen Radionukliden, die in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung vorkommen (Tab. 6). Die Radionuklide Es-254 und Ti-44 sind erstmals in radioaktiven Abfällen aus dem Forschungsbereich deklariert worden und müssen zusätzlich berücksichtigt werden. Alle anderen Radionuklide sind in Tab. 1 und 2 enthalten.

Zusammenfassend ist festzustellen:

Die in Tab. 8 und 10 genannten, in radioaktiven Abfällen aus dem Forschungszentrum Karlsruhe vorhandenen Radionuklide sind mit Ausnahme von Es-254 und Ti-44 in Tab. 1, 2 und 6 aufgeführt. Damit ist der Beleg erbracht, dass diese Radionuklide nicht nur in Abfällen aus Landessammelstellen enthalten sein können bzw. zu den Radionukliden zählen, die vorsorglich der Bibliothek zum Programm KORIGEN entnommen wurden, sondern tatsächlich in radioaktiven Abfällen aus dem Forschungsbereich auftreten (und im ERAM endgelagert wurden). Zusätzlich sind die beiden Radionuklide Es-254 und Ti-44 zu berücksichtigen. Die zugehörigen, in Tab. 8 und 10 genannten radionuklidspezifischen Summenaktivitäten pro Abfallgebinde bzw. pro Abfallcharge liegen hauptsächlich im Bereich von  $10^{-3}$  Bq bis  $10^2$  Bq, einige zwischen  $10^3$  Bq und  $10^5$  Bq. Mit diesen Werten ist nochmals eindeutig belegt, dass diese Radionuklide nur in sehr wenigen Abfallgebänden mit überwiegend sehr kleinen Aktivitäten anfallen. Dies gilt umso mehr, wenn nicht auf die Abfallchargen, sondern auf die einzelnen, zu einer Charge zählenden Abfallgebinde und deren Aktivitäten abgestellt wird (Tab. 8).

Die Aktivitäten des Radionuklids K-40 sind im Bereich von  $4,1 \cdot 10^{-2}$  Bq bis  $2,6 \cdot 10^5$  Bq deklariert worden (Tab.10). Vor dem Hintergrund der Berücksichtigung von K-40 (Kap. 3.1) und der Vorgehensweise bei der Deklaration von K-40 in Betriebsabfällen aus Kernkraftwerken (Kap. 4.1) sollten die Herkunft und Aktivitäten des K-40 in den o. a. radioaktiven Abfällen aus dem FZK vorsorglich überprüft werden.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 35 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

### 4.2.3 Radioaktive Abfälle aus Landessammelstellen und der kerntechnischen Industrie

Radionuklide, die nicht im Radionuklidspektrum Konrad enthalten sind, fallen sehr vereinzelt und mit sehr geringen Aktivitäten auch im Bereich der Landessammelstellen und der kerntechnischen Industrie an. Nachfolgend sind zwei Beispiele genannt.

Aus dem Bereich der Landessammelstellen ist das Radionuklid Lu-176 zu berücksichtigen; im vorliegenden Fall handelt es sich um 1,07 kg Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in einem Abfallkollektiv (■■■■■■■■■■). Lu-176 zählt zu den natürlich vorkommenden Radionukliden (StrlSchV 2001) und kommt zusammen mit dem stabilen Radionuklid Lu-175 vor, wobei Lu-175 mit einem Anteil von 97,41 % in der natürlichen Isotopenzusammensetzung überwiegt. Lu-176 liegt in fester Form (typischerweise als Oxid oder Salz) vor, ist nicht flüchtig und zählt nicht zu den Spaltstoffen. Die Halbwertszeit von  $3,8 \cdot 10^{10}$  a lässt sofort erkennen, dass Lu-176 für die Langzeitsicherheit des Endlagers Konrad von Bedeutung sein könnte. Hierauf wird in Kap. 6.3.5 eingegangen. Aktivitätsangaben zu Lu-176 im radioaktiven Abfall liegen nicht vor.

Aus dem Bereich der kerntechnischen Industrie ist das Radionuklid Si-32 zu berücksichtigen. Bei der Verpressung von metallischen Mischabfällen, metallischen Komponenten, Filtern und Aschen der Siemens AG bei der HDB in Karlsruhe ist es zu Querkontaminationen mit dem Radionuklid Si-32 gekommen (Siemens 2011). Si-32 ist ein Halbmetall, liegt in fester Form vor, ist nicht flüchtig und zählt nicht zu den Spaltstoffen. Seine Halbwertszeit beträgt 172,0 a, d. h. Si-32 ist für die Langzeitsicherheit des Endlagers Konrad ohne Bedeutung. Die Herkunft ‚Querkontamination‘ ist bereits ein deutlicher Hinweis darauf, dass nur mit geringen Aktivitäten zu rechnen ist. Dies zeigen unmittelbar die festgestellten Querkontaminationen, die im Bereich von  $4,8 \cdot 10^{-1}$  Bq bis  $7,3 \cdot 10^{-1}$  Bq pro 200-l-Fass liegen.

## 4.3 ÜBERPRÜFUNG VON ENDLAGERDOKUMENTATIONEN

Parallel zu der Errichtung des Endlagers Konrad und Anpassung der Endlagerungsbedingungen Konrad durch das BfS haben die Ablieferungspflichtigen/Abführungspflichtigen damit begonnen, die in ihrer Zuständigkeit liegenden Arbeiten zur Vorbereitung der Ablieferung von Abfallgebinden an das Endlager Konrad aufgenommen. Die übergeordnete Zielsetzung dieser Arbeiten ist die rechtzeitige Bereitstellung von produktkontrollierten und zur Einlagerung im Endlager Konrad freigegebenen Abfallgebinden.

Gemäß dieser Zielsetzung haben die Ablieferungspflichtigen/Abführungspflichtigen damit begonnen, vorhandene Endlagerdokumentationen zu radioaktiven Abfällen, Zwischenprodukten und Abfallgebinden bzw. Abfallgebinderchargen zu sichten, auf Belastbarkeit und Vollständigkeit der Angaben zu überprüfen, offene Punkte zu identifizieren sowie erforderliche Schritte zu ihrer Fortschreibung bzw. Vervollständigung und endgültigen Erstellung einzuleiten und voranzutreiben.

Im Zusammenhang mit der Überprüfung von vorhandenen Endlagerdokumentationen sind Radionuklide festgestellt worden, die nicht im Radionuklidspektrum Konrad enthalten bzw. nicht durch die Endlagerungsbedingungen Konrad abgedeckt sind. Hierbei handelt es sich um radioaktive Abfälle aus der Forschung und aus der kerntechnischen Industrie:

- In Dokumentationen über Beschleunigerabfälle aus dem Forschungszentrum Jülich (FZJ 2009) ist das Radionuklid Hf-172 enthalten.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 36 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

- In Dokumentationen über Abfallprodukte aus der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe (HDB) der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe Rückbau- und Entsorgungs-GmbH sind die Radionuklide Bi-205, Cd-113, Cm-241, Hf-178m, Lu-173, Si-32, Te-121m, Te-123 und Tm-171 mit einer mittleren Aktivität größer 100 Bq je Abfallprodukt deklariert (WAK 2011). Die Halbwertszeiten von Cd-113 mit  $9,0 \cdot 10^{15}$  a und von Te-123 mit  $1,2 \cdot 10^{13}$  a sind größer als  $10^{11}$  a und brauchen daher nicht weiter betrachtet zu werden (Kap. 2.2).
- In Dokumentationen über radioaktive Abfälle der Siemens AG (Siemens 2009) sind 19 Radionuklide enthalten, die teilweise aus Querkontaminationen aus ihrer Konditionierung in der HDB des FZK stammen bzw. Tochternuklide aus Zerfallsreihen sind. Von diesen 19 Radionukliden haben nur Pm-145 und Pu-246 eine Halbwertszeit größer 10 Tage, während die Halbwertszeiten der übrigen Radionuklide kleiner sind und damit nicht weiter betrachtet werden müssen (Kap. 2.2).

Angaben zu Aktivitäten pro Abfallgebinde wurden nicht gemacht. In Tab. 11 sind diese Radionuklide mit ihren Halbwertszeiten angegeben.

**Tab. 11:** Radionuklide mit Halbwertszeiten größer 10 Tage, die bei der Überprüfung von vorhandenen Endlagerdokumentationen identifiziert wurden.

Radionuklid	Halbwertszeit
Bi-205	15,3 d
Cm-241	32,8 d
Hf-172	1,8 a
Hf-178m	31,0 a
Lu-173	1,3 a
Pm-145	17,7 a
Pu-246	10,8 d
Si-32	172,0 a
Te-121m	154,0 d
Tm-171	1,9 a

Die Radionuklide Bi-205, Cm-241, Hf-172, Hf-178m, Lu-173, Pm-145, Pu-246, Si-32, Te-121m und Tm-171 liegen in fester Form vor (Bismut: Metall; Curium, Plutonium: Actinoid; Hafnium: Übergangsmetall; Lutetium, Promethium, Thulium: Lanthanoid; Silicium, Tellur: Halbmetall), sind nicht flüchtig und zählen nicht zu den Spaltstoffen. Ihre Halbwertszeiten lassen sofort erkennen, dass sie für die Langzeitsicherheit des Endlagers Konrad ohne Bedeutung sind.

Die Herkunft ‚Querkontamination‘ bei den beiden Radionukliden Pm-145 und Pu-246 ist bereits ein deutlicher Hinweis darauf, dass hier nur mit geringen Aktivitäten zu rechnen ist.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 37 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

## 5 DEKLARIERTE RADIONUKLIDSPEKTREN

Für die Diskussion des Radionuklidspektrums Konrad gibt Tab. 12 einen Überblick über die 91 zusätzlichen Radionuklide, die nach heutigem Kenntnisstand in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung enthalten sein können (Spalte ‚Abfalldatenbasis Gorleben 1990‘ (Tab. 1) und Spalte ‚Programmbibliothek KORIGEN‘ (Tab. 2)) bzw. die in diesen Abfällen deklariert wurden (Spalte ‚ERAM 1994-1998‘ (Kap. 4.1), Spalte ‚KKW-Abfälle‘ (Kap. 4.2.1), Spalte ‚FZK-Abfälle‘ (Kap. 4.2.2), Spalte ‚LSSt/kerntechnische Industrie‘ (Kap. 4.2.3) und Spalte ‚Überprüfung Endlagerdokumentationen‘ (Kap. 4.3)). Von diesen 91 Radionukliden sind entsprechend dem heutigem Kenntnisstand

- in den von 1994 bis 1998 im ERAM eingelagerten radioaktiven Abfällen 45 Radionuklide,
- in den Betriebsabfällen aus Kernkraftwerken 15 Radionuklide,
- in den radioaktiven Abfällen aus dem Forschungszentrum Karlsruhe (einschl. WAK) 47 Radionuklide,
- in den radioaktiven Abfällen aus dem Forschungszentrum Jülich ein Radionuklid,
- in den radioaktiven Abfällen aus Landessammelstellen ein Radionuklid und
- in den radioaktiven Abfällen der Siemens AG drei Radionuklide

deklariert worden, die nicht in den Endlagerungsbedingungen Konrad (BRENNECKE 1995) enthalten sind.

**Tab. 12:** Überblick über zusätzliche Radionuklide, die in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung enthalten sein können bzw. deklariert wurden.

- 1 Abfalldatenbasis Gorleben; 2 Programmbibliothek KORIGEN; 3 ERAM 1994-1998  
4 KKW-Abfälle; 5 FZK-Abfälle (einschl. WAK); 6 LSSt/kerntechnische Industrie;  
7 Überprüfung Endlagerdokumentationen.

Radionuklid	1	2	3	4	5	6	7
Al-26	X		X	X	X		
Ar-37		X					
As-73	X						
Au-195	X		X				
Ba-140		X	X				
Be-7			X		X		
Bi-205							X
Bi-207			X		X		
Bi-208		X					

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 38 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

**Tab. 12:** Überblick über zusätzliche Radionuklide, die in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung enthalten sein können bzw. deklariert wurden (Fortsetzung).  
1 Abfalldatenbasis Gorleben; 2 Programmbibliothek KORIGEN; 3 ERAM 1994-1998  
4 KKW-Abfälle; 5 FZK-Abfälle (einschl. WAK); 6 LSST/kerntechnische Industrie;  
7 Überprüfung Endlagerdokumentationen (Fortsetzung).

Radionuklid	1	2	3	4	5	6	7
Bi-210m		X					
Bk-249		X					
Cd-115m		X	X				
Ce-139			X				
Ce-141	X		X	X	X		
Cf-249		X	X	X	X		
Cf-250		X					
Cf-251		X	X	X			
Cf-252	X		X	X	X		
Cf-253		X					
Cf-254		X	X	X			
Cm-241							X
Cm-250		X	X	X			
Co-56			X				
Cs-136	X						
Es-253		X					
Es-254					X		
Eu-156		X					
Gd-153	X		X		X		
Ge-68	X		X		X		
Hf-172							X
Hf-178m							X
Ho-166m		X	X	X	X		

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 39 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

Tab. 12: Überblick über zusätzliche Radionuklide, die in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung enthalten sein können bzw. deklariert wurden (Fortsetzung).

- 1 Abfalldatenbasis Gorleben; 2 Programmbibliothek KORIGEN; 3 ERAM 1994-1998  
 4 KKW-Abfälle; 5 FZK-Abfälle (einschl. WAK); 6 LSSt/kerntechnische Industrie;  
 7 Überprüfung Endlagerdokumentationen (Fortsetzung).

Radionuklid	1	2	3	4	5	6	7
In-114m		X	X		X		
Ir-192	X		X	X	X		
K-40	X		X	X	X		
Kr-81		X					
Lu-173							X
Lu-174	X						
Lu-176						X	
Mn-53	X						
Nb-92		X					
Nd-147		X					
Np-236		X	X				
P-32	X		X		X		
P-33		X					
Pm-145						X	X
Pm-146			X		X		
Pm-148m		X					
Po-208	X				X		
Pr-143		X					
Pt-193				X			
Pu-246						X	X
Ra-225		X			X		
Rb-83			X		X		
Rb-84			X		X		

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 40 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

Tab. 12: Überblick über zusätzliche Radionuklide, die in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung enthalten sein können bzw. deklariert wurden (Fortsetzung).

- 1 Abfalldatenbasis Gorleben; 2 Programmbibliothek KORIGEN; 3 ERAM 1994-1998  
4 KKW-Abfälle; 5 FZK-Abfälle (einschl. WAK); 6 LSST/kerntechnische Industrie;  
7 Überprüfung Endlagerdokumentationen (Fortsetzung).

Radionuklid	1	2	3	4	5	6	7
Rb-86		X	X		X		
Rh-101			X		X		
Rh-102			X				
Rh-102m			X		X		
Sb-124	X		X	X	X		
Sb-126		X	X		X		
Se-75	X		X		X		
Si-32						X	X
Sm-145	X						
Sn-113	X		X		X		
Sn-117m		X					
Sn-119m	X		X	X	X		
Sn-121m		X	X	X	X		
Sn-123		X			X		
Sr-82	X						
Sr-85	X		X		X		
Ta-179			X		X		
Tb-160	X		X		X		
Tc-95m			X				
Tc-97	X						
Te-121m							X
Te-123m		X					
Te-127m		X			X		



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 41 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 15.09.2013
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		

**Tab. 12:** Überblick über zusätzliche Radionuklide, die in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung enthalten sein können bzw. deklariert wurden (Fortsetzung).

- 1 Abfalldatenbasis Gorleben; 2 Programmbibliothek KORIGEN; 3 ERAM 1994-1998  
 4 KKW-Abfälle; 5 FZK-Abfälle (einschl. WAK); 6 LSSt/kerntechnische Industrie;  
 7 Überprüfung Endlagerdokumentationen (Fortsetzung).

Radionuklid	1	2	3	4	5	6	7
Te-129m		X					
Th-229		X	X	X	X		
Ti-44					X		
Tl-204	X		X		X		
Tm-170			X				
Tm-171							X
V-48			X		X		
W-181	X				X		
W-185	X						
Xe-131m		X					
Y-88	X		X		X		
Y-91		X					
Yb-169	X		X		X		

Radioaktive Abfälle aus Kernkraftwerken, Forschungseinrichtungen, Landessammelstellen oder der kerntechnischen Industrie fallen nach wie vor an. Daher ist davon auszugehen, dass die o. a. Radionuklide auch zukünftig in diesen Abfällen tatsächlich vorhanden sein können. Gemäß den Spalten ‚ERAM 1994-1998‘, ‚KKW-Abfälle‘, ‚FZK-Abfälle (einschl. WAK)‘, ‚LSSt/kerntechnische Industrie‘ und ‚Überprüfung Endlagerdokumentationen‘ aus Tab. 12 handelt es sich um 64 zusätzliche Radionuklide, die in den Endlagerungsbedingungen Konrad, Stand: Dezember 1995 nicht berücksichtigt sind. Diese Radionuklide sind in Tab. 13 zusammengestellt.

**Tab. 13:** Deklarierte Radionuklide in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung, die nicht in den Endlagerungsbedingungen Konrad, Stand: Dezember 1995 enthalten bzw. begrenzt sind.

Al-26	Cm-241	Lu-176	Rh-102	Tc-95m
Au-195	Cm-250	Np-236	Rh-102m	Te-121m
Ba-140	Co-56	P-32	Sb-124	Te-127m



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 42 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

**Tab. 13:** Deklarierte Radionuklide in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung, die nicht in den Endlagerungsbedingungen Konrad, Stand: Dezember 1995 enthalten bzw. begrenzt sind (Fortsetzung).

Be-7	Es-254	Pm-145	Sb-126	Th-229
Bi-205	Gd-153	Pm-146	Se-75	Ti-44
Bi-207	Ge-68	Po-208	Si-32	Tl-204
Cd-115m	Hf-172	Pt-193	Sn-113	Tm-170
Ce-139	Hf-178m	Pu-246	Sn-119m	Tm-171
Ce-141	Ho-166m	Ra-225	Sn-121m	V-48
Cf-249	In-144m	Rb-83	Sn-123	W-181
Cf-251	Ir-192	Rb-84	Sr-85	Y-88
Cf-252	K-40	Rb-86	Ta-179	Yb-169
Cf-254	Lu-173	Rh-101	Tb-160	

Als einzige Radionuklide, die in Abfällen aus dem Forschungszentrum Karlsruhe über die in Tab. 1, 2 und 6 angegebenen Radionuklide hinaus deklariert wurden, sind Es-254 mit einer Halbwertszeit von 275,7 d und Ti-44 mit einer Halbwertszeit von 60,4 a zu nennen. Beide Radionuklide sind nicht in der Abfalldatenbasis Gorleben 1990 enthalten, wurden nicht der Bibliothek des Programms KORIGEN entnommen und sind nicht im ERAM endgelagert worden. Dies gilt auch für das Radionuklid Lu-176, das in radioaktiven Abfällen aus Landessammelstellen enthalten ist.

Nach den Ausführungen in Kap. 4 zählen die in Tab. 13 angegebenen Radionuklide nicht zu denjenigen, die in regelmäßig und relativ gleichförmig anfallenden Abfallströmen vorhanden sind. Diese Radionuklide fallen unregelmäßig und vereinzelt mit vergleichsweise sehr geringen Aktivitäten pro Abfallcharge oder -gebände an. Mit der deklarationsbedingten Ausnahme von K-40 (Kap. 4.1 und 4.2.1) liegen ihre deklarierten Summenaktivitäten

- bei den im ERAM von 1994 bis 1998 endgelagerten schwach- und mittelradioaktiven Abfällen im Größenordnungsbereich zwischen  $10^2$  Bq und  $10^8$  Bq (Tab. 3 und 4),
- bei Kernkraftwerksbetriebsabfällen fassbezogen überwiegend im Größenordnungsbereich zwischen  $10^1$  Bq und  $10^6$  Bq, einige sehr deutlich darunter bis zu  $10^{-58}$  Bq (Kap. 4.2.1) und
- in Abfallchargen aus dem Forschungszentrum Karlsruhe im Größenordnungsbereich zwischen  $10^{-3}$  Bq und  $10^2$  Bq, einige zwischen  $10^3$  Bq und  $10^5$  Bq (Kap. 4.2.2).

Deklarierte Einzelaktivitäten in Betriebsabfällen aus Kernkraftwerken liegen im Größenordnungsbereich zwischen  $10^{-27}$  Bq pro 200-l-Fass und  $10^5$  Bq pro 200-l-Fass (Kap. 4.2.1), in Abfällen aus dem Forschungszentrum Karlsruhe im Bereich von  $10^{-3}$  Bq pro Abfallgebände bis  $10^3$  Bq pro Abfallgebände (Kap. 4.2.2, Tab. 8).

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 43 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

Die Aktivität der zusätzlichen Radionuklide, die vom 13. Januar 1994 bis zum 28. September 1998 im ERAM eingelagert wurden, ist in etwa einem Drittel der in diesem Zeitraum endgelagerten 95.444 Abfallgebände verteilt, und zwar mit sehr kleinen Werten in den betroffenen Abfallgebänden.

Dies gilt auch für radioaktive Abfälle, die im Rahmen der Produktkontrolle geprüft wurden bzw. werden. Seit Anfang der 1990er Jahre sind z. B. nach dem Verfahren der kampagnenabhängigen Verfahrensqualifikationen ca. 1000 Kampagnen angemeldet und durchgeführt worden ( [REDACTED] ). Die Anzahl der kontrollierten Abfallgebände pro Kampagne schwankt zwischen einem und mehreren hundert Gebänden. Auch hier fallen die im Radionuklidspektrum Konrad nicht enthaltenen Radionuklide nur in wenigen Abfallgebänden mit jeweils sehr geringen Aktivitäten an.

Die Deklaration der Radionuklide beruht nur zu einem geringen Teil auf Messungen. Für die Angabe von Radionuklidinventaren stehen den Abfallverursachern heute sehr leistungsfähige Programmsysteme (Buchführungssysteme mit integrierten Berechnungsmodulen) zur Verfügung. Diese Systeme ermöglichen nicht nur die detaillierte Erfassung und Verwaltung von abfallspezifischen Daten, sondern auch den kontinuierlichen Nachweis über den Verbleib der erzeugten Reststoff- oder Abfallgebände.

Mit dem Dokumentations-, Auswerte- und Betriebssystem AVK 3.0 stehen vielfältige Methoden zur Aktivitätsbestimmung zur Verfügung. Derzeit sind etwa 120 zu deklarierende, in der Praxis schwer messbare Radionuklide, Erwartungs- und Prognosewerte sowie Kernbrennstoffmassen berechenbar (GNS 2003). Eine Auswahl aus diesen 120 Radionukliden ist auf einem Datenblatt angegeben, das heute für die Erstellung von Abfallgebändedokumentationen verwendet wird (Anhang 1). Das Programmsystem ReVK (Reststoff-Verfolgungs- und -Kontroll-System) dient zur Dokumentation, Verfolgung und Verwaltung von radioaktiven Reststoffen und Abfällen, die bei Betrieb und Rückbau von kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen anfallen. Es erlaubt die Berechnung von radionuklid-spezifischen Aktivitäten, wobei als Schlüsselgrößen gemessene Leitnuklidaktivitäten oder Dosisleistungen dienen (ISTec 2007). Der Radionuklidumfang eines modernen ReVK-Systems mit 222 Radionukliden ist in Anhang 2 wiedergegeben. Das Buchführungssystem KADABRA (Karlsruher Datenbank für radioaktive Abfälle) ist von der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe des Forschungszentrum Karlsruhe entwickelt worden (STEGMAIER 1990). Es wird insbesondere als Entscheidungshilfe für die Konditionierung von Rohabfällen und für die Dokumentation der für die Endlagerung radioaktiver Abfälle erforderlichen Angaben genutzt. Der Radionuklidumfang in der Datenbank KADABRA (FZK-HDB 2008) beläuft sich auf 302 Radionuklide; er ist in Anhang 3 angegeben. Das Forschungszentrum Jülich verwendet das Programm DERA zur Deklaration radioaktiver Abfallgebände ( [REDACTED] ). Die Radionuklidliste zu diesem Programm umfasst 77 Radionuklide (Anhang 4).

Mit Hilfe dieser Programmsysteme werden Radionuklidinventare in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung berechnet und dokumentiert. Die in Tab. 13 angegebenen Radionuklide, die über das Radionuklidspektrum Konrad hinausgehen, finden sich bis auf Au-195, Bi-205, Cm-241, Hf-172, Hf-178m, Lu-173, Lu-176, Pt-193, Si-32, Te-121m und Tm-171 im ReVK, während KADABRA bis auf Lu-176 alle in Tab. 13 genannten Radionuklide enthält. Da in Anhang 1 nur eine Auswahl aus den 120 Radionukliden aus dem Programmsystem AVK 3.0 angegeben ist, kann eine entsprechende Aussage hier nicht gemacht werden. Dies gilt auch für das Programm DERA, da zusätzlich angegebene oder analysierte Aktivitäten anderer als der angegebenen 77 Radionuklide angefügt werden.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 44 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

## 6 ÜBERPRÜFUNG DES RADIONUKLIDSPEKTRUMS KONRAD

Wie in Kap. 3 und 4 näher ausgeführt wurde, können radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung zusätzliche Radionuklide enthalten, die weder durch die Abfalldatenbasis 1984 noch durch die Endlagerungsbedingungen Konrad, Stand: Dezember 1995 abgedeckt sind.

### 6.1 SACHSTAND ZUM PLANFESTSTELLUNGSBESCHLUSS

Zum Nachweis der Sicherheit des Endlagers Konrad in der Betriebs- und Nachbetriebsphase wurde eine standortspezifische Sicherheitsanalyse durchgeführt, die sich in die Teilanalysen

- zum bestimmungsgemäßen Betrieb,
- zu unterstellten Störfällen,
- zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins,
- zur Einhaltung der Unterkritikalität und
- zu den radiologischen Langzeitauswirkungen

untergliedert (Kap. 2.1). Die aus diesen Teilanalysen resultierenden Anforderungen an die endzulagernden Abfallgebinde wurden in die Endlagerungsbedingungen Konrad, Stand: Dezember 1995 (BRENNECKE 1995) umgesetzt. Die Endlagerungsbedingungen wurden begutachtet, planfestgestellt und im verfügbaren Teil des Planfeststellungsbeschlusses Konrad vom 22. Mai 2002 (NMU 2002) unter A II Genehmigungsunterlagen festgeschrieben.

Einen wesentlichen Teil der Endlagerungsbedingungen bilden die radionuklidspezifischen Aktivitätsbegrenzungen. Sie sind für den bestimmungsgemäßen Betrieb, die unterstellten Störfälle, die thermische Beeinflussung des Wirtsgesteins und die Kritikalitätssicherheit in umfangreichen Tabellen im Anhang II Aktivitätsbegrenzungen der Endlagerungsbedingungen Konrad zusammengestellt. Zusätzlich sind im Anhang III. 4 Kritikalitätssicherheit die zulässigen Aktivitäten bzw. Massen von zehn höheren spaltbaren Aktiniden angegeben, die sich aus ergänzenden Analysen zur Kritikalitätssicherheit ergeben haben. Aus der Teilanalyse zu den radiologischen Langzeitauswirkungen sind keine Aktivitätsbegrenzungen pro Abfallgebinde abgeleitet worden; die Ergebnisse der hier durchgeführten Untersuchungen führten zu Angaben für maximal einlagerbare Aktivitäten von zehn relevanten Radionukliden und zwei relevanten Radionuklidgruppen.

Die Begutachtung und Planfeststellung der radionuklidspezifischen Aktivitätsbegrenzungen hat zu keinen Forderungen nach einer Erweiterung des Radionuklidspektrums Konrad geführt (Kap. 2.2). Daraus folgt, dass die Endlagerungsbedingungen Konrad, Stand: Dezember 1995 alle sicherheitstechnisch wesentlichen Radionuklide aus den radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung abdecken, die im Endlager Konrad eingelagert werden sollen.

### 6.2 ZUSÄTZLICHE SICHERHEITSANALYTISCHE UNTERSUCHUNGEN

Neben den laufenden Arbeiten zur standortspezifischen Sicherheitsanalyse für das Endlager Konrad wurden im Rahmen von Arbeiten zur Fortschreibung der Abfalldatenbasis 1984 gegen Ende der 1980er

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 45 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

Jahre zusätzliche Radionuklide benannt, die in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung enthalten sein können (Kap. 3.1). Hierbei handelte es sich um 28 Radionuklide, die einschließlich ihrer Aktivitätswerte pro Abfallgebinde als abdeckende Planungsdaten (hier: radioaktive Abfälle aus Landessammelstellen) für zukünftige Planungsarbeiten für das Endlagerprojekt Gorleben deklariert wurden. Weiter handelte es sich um 35 Radionuklide, die im Hinblick auf ihr mögliches Auftreten in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung vorsorglich aus der Bibliothek für das Programm KORIGEN entnommen wurden.

Da grundsätzlich nicht auszuschließen war, dass diese 63 Radionuklide möglicherweise auch in den für das Endlager Konrad vorgesehenen radioaktiven Abfällen enthalten sein könnten, wurden parallel zu der standortspezifischen Sicherheitsanalyse für das Endlager Konrad zusätzliche Untersuchungen initiiert, um ihre sicherheitstechnische Bedeutung bewerten zu können. Dies umfasste insbesondere die Ermittlung von radiologischen und thermischen Auswirkungen der zusätzlichen Radionuklide, die Ableitung von Aktivitätsbegrenzungen und die Bewertung ihrer Relevanz für die Sicherheit des Endlagers Konrad. Dabei wurde so vorgegangen, dass für diese Radionuklide Störfallanalysen wie auch Analysen zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins durchgeführt und daraus radionuklidspezifische Aktivitätsgrenzwerte bzw. Aktivitätswerte abgeleitet wurden.

Bezüglich dieser 63 Radionuklide, die über die Abfalldatenbasis Konrad 1984 hinausgingen, war nur bekannt, dass 28 Radionuklide einschließlich von Aktivitätsangaben als Eingangsdaten mit abdeckendem Charakter für zukünftige Endlagerplanungsarbeiten genannt und vorsorglich 35 Radionuklide der KORIGEN-Programmbibliothek entnommen wurden. Tatsächlich in den Abfällen vorhandene Radionuklidinventare (Radionuklide und Aktivitäten) wurden mit diesen Angaben nicht beschrieben. Zu ihrer sicherheitstechnischen Bewertung konnte daher nur der gewählte Weg beschritten werden, sie im Rahmen von Störfallanalysen wie auch von Analysen zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins zu untersuchen und daraus radionuklidspezifische Aktivitätsgrenzwerte bzw. Aktivitätswerte zu ermitteln.

Erste sicherheitsanalytische Untersuchungen mit möglichen zusätzlichen Radionukliden zu den unterstellten Störfällen wurden 1990/1991 durchgeführt ( [REDACTED] ). In den radiologischen Rechnungen wurden 60 der in Tab. 1 und 2 genannten Radionuklide berücksichtigt. Weitere Untersuchungen mit allen in Tab. 1 und 2 genannten 63 Radionukliden schlossen sich später an ( [REDACTED] ), die auch die Selbstbeschränkung des BfS auf einen Störfallplanungswert für die effektive Dosis in Höhe von 20 mSv mit einschlossen. Weiter wurden zusätzliche sicherheitsanalytische Untersuchungen zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins durchgeführt. In den thermischen Rechnungen wurden 60 der in Tab. 1 und 2 genannten Radionuklide berücksichtigt ( [REDACTED] ).

Die zusätzlichen Untersuchungen wurden mit dem gleichen sicherheitstechnischen Instrumentarium durchgeführt, das im Rahmen der standortspezifischen Sicherheitsanalyse für das Endlager Konrad angewendet wurde. Dies gilt insbesondere für die Rechenverfahren und Rechenprogramme. Dabei waren lediglich die zusätzlichen 63 Radionuklide und die für die Durchführung der sicherheitsanalytischen Untersuchungen erforderlichen, bereits vorhandenen bzw. veröffentlichten Daten zu ergänzen. Auf diese Weise beruhte die Ermittlung der Aktivitätsbegrenzungen für die zusätzlichen Radionuklide auf von der Planfeststellungsbehörde und ihrem Gutachter geprüften Verfahren und Vorgehensweisen, die somit nicht neu begutachtet und bewertet werden mussten. Darüber hinaus waren keine weiteren sicherheitstechnischen Untersuchungen mit spezifischen Anforderungen oder unter Beachtung besonderer Randbedingungen erforderlich.

Die vorgenommenen Untersuchungen umfassten auch entsprechende Korrekturfaktoren, so dass für die nunmehr zusätzlich zu berücksichtigenden Radionuklide die Summenkriterien  $S_s$  und  $S_w$  aus den Endlagerungsbedingungen Konrad (Kap. 2.3) zum Nachweis der Einhaltung der zulässigen



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 46 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

Aktivitätsbegrenzungen unverändert weiter angewendet werden konnten. Diese Vorgehensweise stellte sicher, dass sich die zusätzlichen 63 Radionuklide problemlos in die Nachweisführung einpassten, keine diesbezüglichen Änderungen zu besorgen und insbesondere keine zusätzlichen sicherheitstechnischen Nachweise beizubringen waren.

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Aktivitätsgrenzwerte bzw. Aktivitätswerte für die zusätzlichen 63 Radionuklide auf Basis der o. a. Angaben zu ihrer Herkunft ermittelt wurden. Ein direkter Bezug zu abfallverursacherseitig deklarierten realen Inventaren in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung bestand nicht. Aus Sicht der damaligen Untersuchungen blieb es abzuwarten, welche der möglichen zusätzlichen Radionuklide mit welchen Aktivitätswerten tatsächlich in den radioaktiven Abfällen für das Endlager Konrad enthalten sein würden.

Die Ergebnisse von allen zusätzlich durchgeführten radiologischen und thermischen Untersuchungen, d. h. die neu berechneten Aktivitätsgrenzwerte (unterstellte Störfälle) und Aktivitätswerte (thermische Beeinflussung des Wirtsgesteins), sind jedoch nicht im Rahmen einer Fortschreibung der Endlagerungsbedingungen Konrad umgesetzt worden. Während des Planfeststellungsverfahrens wurde eine diesbezügliche Revision der Endlagerungsbedingungen aus verfahrenstechnischen Gründen nicht vorgenommen. Auch nach Erteilung des Planfeststellungsbeschlusses am 22. Mai 2002 erfolgte keine Revision, da der Beschluss beklagt wurde und das BfS keine vorbereitenden Arbeiten zur Endlagerung vor Erreichen der Rechtskraft dieses Beschlusses beginnen wollte (BMU 2006; PRINTZ 2006).

## 6.3 SICHERHEITSTECHNISCHE BEWERTUNG VON ZUSÄTZLICHEN RADIONUKLIDEN

Im Hinblick auf die zukünftige Ablieferung und Einlagerung von Abfallgebinden im Endlager Konrad ist es erforderlich, die sicherheitstechnische Bedeutung der zusätzlichen Radionuklide zu überprüfen und zu bewerten, um auf dieser Grundlage über eine etwaig gebotene Anpassung oder Erweiterung der Endlagerungsbedingungen Konrad entscheiden zu können. In diesem Zusammenhang sei angemerkt, dass nach heutigem Kenntnisstand hierbei 91 Radionuklide (Tab. 12) zu berücksichtigen sind. Von diesen 91 Radionukliden wurden für 63 Radionuklide zusätzliche sicherheitsanalytische Untersuchungen durchgeführt (Kap. 6.2). Die übrigen 28 Radionuklide, die von den Ablieferungspflichtigen/Abführungspflichtigen deklariert wurden, sind Be-7, Bi-205, Bi-207, Ce-139, Cm-241, Co-56, Es-254, Hf-172, Hf-178m, Lu-173, Lu-176, Pm-145, Pm-146, Pt-193, Pu-246, Rb-83, Rb-84, Rh-101, Rh-102, Rh-102m, Si-32, Ta-179, Tc-95m, Te-121m, Ti-44, Tm-170, Tm-171 und V-48. Hier ist allerdings darauf hinzuweisen, dass es sich bei diesen Radionukliden mit der Ausnahme von Es-254 und Ti-44 um die nichtdeklarationspflichtigen Radionuklide (Tab. 6) handelt, die in den Endlagerungsbedingungen Morsleben nicht enthalten bzw. begrenzt sind (Kap. 4.1), das Radionuklid Lu-176 aus dem Bereich der Landessammelstellen stammt und die Radionuklide Bi-205, Cm-241, Hf-172, Hf-178m, Lu-173, Pm-145, Pt-193, Pu-246, Si-32, Te-121m und Tm-171 bei der Überprüfung von vorhandenen Endlagerdokumentationen identifiziert wurden (Kap. 4.3). Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich auf die insgesamt zu berücksichtigenden 91 zusätzlichen Radionuklide.

### 6.3.1 Bestimmungsgemäßer Betrieb

Für den bestimmungsgemäßen Betrieb des Endlagers Konrad sind nur flüchtige Radionuklide und Radionuklide mit flüchtigen Zerfallsprodukten relevant. Von den zusätzlichen Radionukliden liegt die überwiegende Anzahl in fester Form vor (z. B. als Metall, Halbmetall, Übergangsmetall, Nichtmetall, Alkalimetall, Erdalkalimetall, Actinoid oder Lanthanoid) und ist nicht flüchtig; daher kommen nur fünf Radionuklide in Betracht, die zusammen mit ihren Halbwertszeiten und Summenaktivitäten aus einzelnen Abfallchargen in Tab. 14 angegeben sind.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 47 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 15.09.2013
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		

Tab. 14: Zusätzliche Radionuklide, die für den bestimmungsgemäßen Betrieb relevant sein können.

Radionuklid	Halbwertszeit	Summenaktivität [Bq]
Ar-37	35,0 d	
Kr-81	$2,3 \cdot 10^5$ a	
Ra-225	14,8 d	$2,4 \cdot 10^{-3} - 1,1 \cdot 10^0$
Th-229	$7,8 \cdot 10^3$ a	$2,4 \cdot 10^{-3} - 1,1 \cdot 10^0$
Xe-131m	11,9 d	

Die Radionuklide Ar-37, Kr-81 und Xe-131m sind der Bibliothek des Programms KORIGEN entnommen; sie wurden bisher in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung nicht deklariert (Tab. 12).

Nach den angegebenen Halbwertszeiten klingen Ar-37, Ra-225 und Xe-131m in vergleichsweise kurzen Zeiten (etwa ein Jahr bzw. etwa vier Monate) ab. Diese Zeiten sind vor dem Hintergrund der Abfallvoranmeldung zu bewerten. Die Abfallvoranmeldung dient zur längerfristigen Planung der Anlieferung und Einlagerung von Abfallgebinden (BRENNECKE 1995). Hierzu müssen die Abfallverursacher Angaben zu den Abfallgebinden machen, die im folgenden Kalenderjahr eingelagert werden sollen. Der Zeitraum von der Abfallvoranmeldung bis zur Anlieferung der Abfallgebinde reicht aus, damit die Aktivität von diesen drei Radionukliden auf ein unbedenkliches Maß abklingen kann. Eine sicherheitstechnische Bedeutung kommt Ar-37, Ra-225 und Xe-131m aufgrund der Festlegungen zur Abfallvoranmeldung in den Endlagerungsbedingungen Konrad nicht zu.

Kr-81, dessen Halbwertszeit  $2,3 \cdot 10^5$  Jahre beträgt, ist durch das in den Endlagerungsbedingungen Konrad enthaltene Kr-85 mit einem Garantiewert von  $3,0 \cdot 10^{10}$  Bq pro Abfallgebinde abgedeckt. Im Übrigen dürfen die Abfallprodukte bis auf sinnvoll erreichbare und vermeidbare Restgehalte keine Gase in Ampullen, Flaschen oder sonstigen Behältern enthalten bzw. keine Gase unter üblichen Lagerungs- und Handhabungsbedingungen freisetzen (BRENNECKE 1995).

Bei Th-229 geben die in Tab. 14 aufgeführten äußerst geringen Summenaktivitäten aus einzelnen Abfallchargen keinen Anlass, dass signifikanten Auswirkungen zu besorgen wären. Dies gilt analog auch für die angegebenen Summenaktivitäten des Ra-225. Beim Zerfall dieser beiden Radionuklide tritt das flüchtige Edelgasisotop Rn-217 auf. Seine Halbwertszeit von 0,54 ms ist jedoch so kurz, dass eine Freisetzung aus den betroffenen Abfallgebinden nicht zu besorgen ist.

Aus Sicht des bestimmungsgemäßen Betriebes ist damit festzuhalten, dass durch die in Tab. 14 angegebenen flüchtigen Radionuklide keine nennenswerten Beiträge zur Strahlenexposition des Personals und der Umgebung der Anlage verursacht werden und ihnen damit keine sicherheitstechnische Bedeutung für das Endlager Konrad zukommt.

### 6.3.2 Unterstellte Störfälle

Die aus der Teilanalyse zu den unterstellten Störfällen resultierenden Aktivitätsgrenzwerte finden sich in Tab. 3 und 4 im Anhang II der Endlagerungsbedingungen Konrad. Bei einer Gegenüberstellung von

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 48 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Stand: 15.09.2013
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	

Aktivitätsgrenzwerten (Anhang 3) mit den deklarierten zusätzlichen Radionukliden im Abfallgebände FZK 2000004 der Abfallcharge G/99/V 0321 (Tab. 8) fällt unmittelbar der große Unterschied zwischen den Aktivitätsangaben auf. Während die Grenzwerte zum überwiegenden Anteil im Größenordnungsbereich von  $10^{10}$  Bq pro Abfallgebände bis  $10^{13}$  Bq pro Abfallgebände liegen, sind für die zusätzlichen Radionuklide im Abfallgebände FZK 2000004 Aktivitäten zwischen  $10^{-3}$  Bq und  $10^3$  Bq deklariert worden. Derartige Verhältnisse liegen auch vor, wenn die Aktivitätsangaben zum Abfallgebände FZK 2000004 mit den Ergebnissen der zusätzlichen Untersuchungen zu den unterstellten Störfällen ( ) verglichen werden. Dieser Sachverhalt gilt auch, wenn die deklarierten Radionuklide und ihre zugehörigen Summenaktivitäten für Abfallchargen aus dem Forschungszentrum Karlsruhe (Tab. 10) oder Angaben zu Betriebsabfällen aus Kernkraftwerken herangezogen werden (Kap. 4.2.1).

Bei den zusätzlichen Radionukliden Bi-205, Cm-241, Hf-172, Hf-178m, Lu-173, Lu-176, Pm-145, Pt-193, Pu-246, Si-32, Te-121m und Tm-171 (Kap. 4.2.3 und 4.3) ist zunächst festzuhalten, dass es sich dabei nicht um Alpha-Strahler handelt. Damit dürften schädliche Auswirkungen bei möglicher Inkorporation (Inhalation, Ingestion) nur vergleichsweise gering sein. Diese Radionuklide, ihre Zerfallsart und die entstehenden Tochternuklide einschl. ihrer Halbwertszeiten sind in Tab. 15 angegeben.

**Tab. 15:** Zusätzliche Radionuklide und Tochternuklide, Zerfallsarten und zugehörige Halbwertszeiten.

Zusätzliches Radionuklid	Halbwertszeit	Zerfallsart	Tochternuklid	Halbwertszeit
Bi-205	15,3 d	$\epsilon$	Pb-205	$1,5 \cdot 10^7$ a
Cm-241	32,8 d	$\epsilon$	Am-241	432,2 a
Hf-172	1,8 a	$\epsilon$	Lu-172	6,7 d
Hf-178m	31,0 a	$\epsilon$	Hf-178	stabil
Lu-173	1,3 a	$\epsilon$	Yb-173	stabil
Lu-176	$3,8 \cdot 10^{10}$ a	$\epsilon$	Hf-176	stabil
Pm-145	17,7 a	$\epsilon$	Nd-145	stabil
Pt-193	50,0 a	$\epsilon$	Ir-193	stabil
Pu-246	10,8 d	$\beta^-$	Am-246	39 m
Si-32	172,0 a	$\beta^-$	P-32	14,2 d
Te-121m	154,0 d	$\epsilon$	Te-121	16,8 d
Tm-171	1,9 a	$\beta^-$	Yb-171	stabil

Hf-178m fällt unter Gamma-Emission in den Grundzustand zurück. Te-121m zerfällt entweder zum stabilen Sb-121 oder fällt unter Gamma-Emission in den Grundzustand zurück. Lu-173, Lu-176, Pm-145, Pt-193 und Tm-171 zerfallen zu stabilen Radionukliden. Die Radionuklide Hf-172, Pu-246 und Si-

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 49 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

32 zerfallen zu Tochternuklidern mit kürzeren Halbwertszeiten. Da die deklarierten Aktivitätswerte jedoch sehr gering sind (bei Si-32 bis zu  $7,3 \cdot 10^1$  Bq pro 200-l-Fass (Kap. 4.2.3) und mittlere Aktivitäten größer als 100 Bq je Abfallprodukt (Kap. 4.3); für Hf-172 und Pu-246 keine Angaben (Kap. 4.3)), können bei den Tochternuklidern keine Aktivitäten von sicherheitstechnischer Relevanz erwartet werden. Bi-205 und Cm-241 zerfallen zu Tochternuklidern mit deutlich längeren Halbwertszeiten im Vergleich zu ihren Mutternuklidern; dies gilt insbesondere für das durch Zerfall von Bi-205 gebildete Pb-205 mit der Halbwertszeit von  $1,5 \cdot 10^7$  a. Aufgrund der geringen Aktivitäten der Mutternuklide (hier: mittlere Aktivitäten jeweils größer als 100 Bq je Abfallprodukt (Kap. 4.3)) liegen die beiden langlebigen Tochternuklide dann mit noch sehr viel geringeren Aktivitäten vor und sind damit sicherheitstechnisch nicht relevant.

Die Halbwertszeit von  $1,5 \cdot 10^7$  a lässt unmittelbar erkennen, dass Pb-205 für die Langzeitsicherheit des Endlagers Konrad von Bedeutung sein könnte. Hierauf wird in Kap. 6.3.5 eingegangen.

Weiter ist zu beachten, dass die Radionuklide Cm-241, Hf-172, Hf-178m, Pm-145, Pu-246 und Te-121m (Kap. 4.3) bezüglich ihres Freisetzungsverhaltens bei mechanischer und/oder thermischer Belastung durch die in der Störfallanalyse Konrad betrachteten Radionuklide

- Cm-242, Cm-243, Cm-244, Cm-245, Cm-246 und Cm-247 mit zulässigen Aktivitäten im Größenordnungsbereich von  $10^8$  Bq bis  $10^{14}$  Bq pro Abfallgebinde,
- Hf-175 und Hf-181 mit zulässigen Aktivitäten im Größenordnungsbereich von  $10^{11}$  Bq bis  $10^{14}$  Bq pro Abfallgebinde,
- Pm-147 mit zulässigen Aktivitäten im Größenordnungsbereich von  $10^{12}$  Bq bis  $10^{17}$  Bq pro Abfallgebinde,
- Pu-236, Pu-238, Pu-239, Pu-241, Pu-242 und Pu-244 mit zulässigen Aktivitäten im Größenordnungsbereich von  $10^8$  Bq bis  $10^{14}$  Bq pro Abfallgebinde und
- Te-125m mit zulässigen Aktivitäten im Größenordnungsbereich von  $10^{11}$  Bq bis  $10^{15}$  Bq pro Abfallgebinde

abgedeckt werden.

Aufgrund der angegebenen größenordnungsmäßigen Unterschiede verursachen die bisher von den Ablieferungspflichtigen/Abführungspflichtigen deklarierten zusätzlichen Radionuklide nur vernachlässigbare Beiträge zur gesamten zulässigen Strahlenexposition. Damit kommt ihnen aus Störfallsicht keine sicherheitstechnische Bedeutung für das Endlager Konrad zu.

Hierfür spricht auch das Ergebnis der Modellbetrachtung zur Ausschöpfung von Grenzwerten der Strahlenschutzgruppe S1 durch die Aktivität von Radionuklidern, die im ERAM von 1994 bis 1998 eingelagert wurden (Kap. 4.1; Tab. 7). In dieser Modellbetrachtung wurde gezeigt, dass die hier untersuchten 34 zusätzlichen Radionuklide mit einer Ausschöpfung der Störfallgrenzwerte von weniger als 0,15 % ohne sicherheitstechnische Bedeutung sind. Die Ausnahme stellt das Radionuklid K-40 dar; hier sind aber die relativierenden Anmerkungen zur Aktivitätsdeklaration in Kap. 3.1 und 4.1 zu beachten. Da Es-254 mit einer Summenaktivität von  $3,4 \cdot 10^{-3}$  Bq und Ti-44 mit Summenaktivitäten im Bereich von  $2,5 \cdot 10^{-2}$  Bq bis  $5,3 \cdot 10^2$  Bq deklariert wurden (Tab. 10), sind aufgrund dieser geringen Aktivitätswerte keine radiologischen Auswirkungen im Störfall zu erwarten.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 50 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

### 6.3.3 Thermische Beeinflussung des Wirtsgesteins

Die im Rahmen der standortspezifischen Sicherheitsanalyse für das Endlager Konrad ermittelten Aktivitätswerte aus der thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins sind in den Anhängen 6 und 7 wiedergegeben. Die Ergebnisse von darüber hinaus durchgeführten Untersuchungen mit 60 zusätzlichen Radionukliden ( ) finden sich in den Anhängen 8 und 9.

Der Vergleich der Aktivitätswerte aus den Anhängen 6 und 7 (Endlagerungsbedingungen Konrad, Stand: Dezember 1995) mit den entsprechenden Aktivitätswerten aus den Anhängen 6 und 7 (Berücksichtigung von zusätzlichen 60 Radionukliden) zeigt überwiegend nur geringe Unterschiede auf, die in einzelnen Fällen etwa eine Größenordnung betragen können. Diese geringen Unterschiede bedeuten unmittelbar, dass die Berücksichtigung der zusätzlichen Radionuklide in den zusätzlichen Untersuchungen zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins keinen signifikanten Einfluss hat und nicht zu größeren Abweichungen bei den Aktivitätswerten führt. Dieser Sachverhalt wird noch deutlicher, wenn die deklarierten Aktivitäten der zusätzlichen Radionuklide im Abfallgebäude FZK 2000004 der Abfallcharge G/99/V 0321 (Tab. 8) mit den Aktivitätswerten aus den sicherheitsanalytischen Untersuchungen verglichen werden. Hier zeigt sich, dass die Aktivitätswerte aus den Analysen zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins zum überwiegenden Anteil im Größenordnungsbereich von  $10^{10}$  Bq pro Abfallgebäude bis  $10^{14}$  Bq pro Abfallgebäude liegen, während die deklarierten radionuklidspezifischen Aktivitäten des Abfallgebäudes FZK 2000004 im Bereich zwischen  $10^{-3}$  Bq und  $10^3$  Bq liegen. Derartige Verhältnisse liegen auch vor, wenn die Angaben zu verschiedenen Abfallchargen aus dem Forschungszentrum Karlsruhe (Tab. 10) oder Angaben zu Betriebsabfällen aus Kernkraftwerken (Kap. 4.2.1) herangezogen werden. Die hier genannten radionuklidspezifischen Summenaktivitäten pro Abfallcharge (und nicht pro Abfallgebäude) liegen hauptsächlich im Bereich zwischen  $10^{-3}$  Bq und  $10^5$  Bq.

Bei der Untersuchung der thermischen Einwirkung auf das Wirtsgestein wurde davon ausgegangen, dass die gesamte Strahlung, die beim radioaktiven Zerfall entsteht, im Bereich einer Einlagerungskammer oder in deren unmittelbarer Umgebung (mit der Ausnahme von Neutrinostrahlung) in Wärme umgesetzt wird (PIEFKE 1986). Dabei gilt, dass die Wärmeleistung beim Zerfall eines Radionuklids dem Produkt aus Aktivität und Wärmeenergiefreisetzung je Zerfall proportional ist. Die Aktivitätswerte für Leitnuklide, die in der Analyse zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins abgeleitet wurden, sind in Tab. 5 der Endlagerungsbedingungen Konrad (BRENNECKE 2011) angegeben. In dieser Tabelle sind die Radionuklide nach absteigender Wärmeleistung angeordnet, d.h. die am Anfang stehenden Leitnuklide leisten den größten Beitrag zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins, die am Ende stehenden Leitnuklide einen vergleichsweise kleineren Beitrag. Die Zerfallsenergien / -wärmen von ausgewählten Leitnukliden aus Tab. 5 und von den zusätzlichen Radionukliden Bi-205, Cm-241, Hf-172, Hf-178m, Lu-173, Lu-176, Pm-145, Pt-193, Pu-246, Si-32, Te-121m und Tm-171 (Kap. 4.2.3 und 4.3) sind in Tab. 16 zusammengestellt (HAYNES & LIDE 2010). Dabei wurde bei Th-232, Pa-231, Pu-244, Am-242m und Cm-241 nur der jeweils größte Beitrag berücksichtigt; die durch Spontanspaltung, isomere Übergänge und Elektroneneinfang z.T. erheblich kleineren Beiträge wurden nicht mit aufgenommen.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 51 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 15.09.2013
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		

**Tab. 16:** Ausgewählte Leitnuklide zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins, zusätzliche Radionuklide und zugehörige Zerfallsenergien / -wärmen.

Leitnuklid (Wärme)	Zerfallsenergie / -wärme [MeV]	Zusätzliches Radionuklid	Zerfallsenergie / -wärme [MeV]
Th-232	4,081 ( $\alpha$ -Zerfall)	Bi-205	2,71
Pa-231	5,148 ( $\alpha$ -Zerfall)	Cm-241	6,184 ( $\alpha$ -Zerfall)
Pu-244	4,665 ( $\alpha$ -Zerfall)	Hf-172	0,35
Am-242m	5,62 ( $\alpha$ -Zerfall)	Hf-178m	keine Angaben
Ca-41	0,4214	Lu-173	0,671
Rb-87	0,283	Lu-176	keine Angaben
Fe-55	0,2314	Pm-145	0,163
		Pt-193	0,0566
		Pu-246	0,40
		Si-32	0,224
		Te-121m	keine Angaben
		Tm-171	0,096

Der Vergleich der Zerfallsenergien / -wärmen zeigt unmittelbar, dass die angegebenen Werte für die zusätzlichen Radionuklide überwiegend den Werten für die Leitnuklide Ca-41, Rb-87 und Fe-55 entsprechen bzw. kleiner als diese Werte sind. Dies deutet bereits darauf hin, dass durch die zusätzlichen Radionuklide kein signifikanter Beitrag zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins geleistet werden kann. Dieser Sachverhalt wird noch sehr viel deutlicher, wenn die in Kap. 4.2.3 und Kap. 4.3 genannten sehr geringen Aktivitätswerte berücksichtigt werden. Bei den hier genannten Werten können die zusätzlichen Radionuklide mit ihren Wärmeleistungen beim Zerfall nur in einem sehr geringen Ausmaß zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins beitragen. Dies gilt auch für ihre durch radioaktiven Zerfall gebildete Tochternuklide, deren Aktivitätswerte und kleinen Zerfallswärmeleistungen. Weiter ist zu beachten, dass die Radionuklide Bi-205, Cm-241, Hf-172, Hf-178m, Pm-145, Pu-246 und Te-121m (Kap. 4.3) bezüglich der thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins durch die in der standortspezifischen Sicherheitsanalyse Konrad betrachteten Radionuklide

- Bi-210 und Bi-214 mit zulässigen Aktivitäten im Größenordnungsbereich von  $10^{13}$  Bq bis  $10^{14}$  Bq pro Abfallgebinde,
- Cm-242, Cm-243, Cm-244, Cm-245, Cm-246, Cm-247 und Cm-248 im Größenordnungsbereich von  $10^9$  Bq bis  $10^{13}$  Bq pro Abfallgebinde,



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 52 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	

- Hf-175 und Hf-181 mit zulässigen Aktivitäten im Größenordnungsbereich von  $10^{13}$  Bq bis  $10^{14}$  Bq pro Abfallgebinde,
  - Pm-147 mit zulässigen Aktivitäten im Größenordnungsbereich von  $10^{13}$  Bq bis  $10^{15}$  Bq pro Abfallgebinde,
  - Pu-236, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241, Pu-242 und Pu-244 mit zulässigen Aktivitäten im Größenordnungsbereich von  $10^{10}$  Bq bis  $10^{13}$  Bq pro Abfallgebinde und
  - Te-125m im Größenordnungsbereich von  $10^{14}$  Bq bis  $10^{15}$  Bq pro Abfallgebinde
- abgedeckt werden.

Aus Sicht der thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins ist damit festzustellen, dass durch die bisher von den Ablieferungspflichtigen/Abführungspflichtigen deklarierten zusätzlichen Radionuklide nur vernachlässigbare Beiträge zur gesamten zulässigen Temperaturerhöhung verursacht werden und ihnen damit keine sicherheitstechnische Bedeutung für das Endlager Konrad zukommt.

### 6.3.4 Kritikalitätssicherheit

Für die Einhaltung der Unterkritikalität (Kritikalitätssicherheit) sind nur die zusätzlichen Radionuklide Cf-249 und Cf-251 von Bedeutung, die zusammen mit ihren Halbwertszeiten und Summenaktivitäten aus einzelnen Abfallchargen in Tab. 17 angegeben sind.

Tab. 17: Zusätzliche Radionuklide, die für die Kritikalitätssicherheit relevant sind.

Radionuklid	Halbwertszeit	Summenaktivität [Bq]
Cf-249	350,6 a	$1,5 \cdot 10^1 - 5,9 \cdot 10^5$
Cf-251	898,0 a	$2,3 \cdot 10^4$

Beide Radionuklide wurden bereits im Rahmen von ergänzenden Analysen zur Einhaltung der Unterkritikalität (Kritikalitätssicherheit) von höheren spaltbaren Aktiniden untersucht (Kap. 2.2) und in den Endlagerungsbedingungen Konrad (BRENNECKE 1995) berücksichtigt. Danach beträgt die zulässige Aktivität von Cf-249  $3,0 \cdot 10^{10}$  Bq pro Abfallgebinde und die vom Cf-251  $5,8 \cdot 10^9$  Bq pro Abfallgebinde.

Aus Sicht der Kritikalitätssicherheit sind über Cf-249 und Cf-251 hinaus noch folgende Radionuklide zu berücksichtigen und im Hinblick auf die sichere Einhaltung der Unterkritikalität zu bewerten: Bk-249, Cf-250, Cf-252, Cf-253, Cf-254, Cm-250, Es-253 und Np-236.

Von diesen Radionukliden sind Bk-249, Cf-250, Cf-253 und Es-253 bisher nicht deklariert worden. Das Radionuklid Cf-252 tritt in radioaktiven Abfällen aus dem Forschungszentrum Karlsruhe mit Summenaktivitäten im Bereich von  $7,1 \cdot 10^{-3}$  Bq bis  $1,4 \cdot 10^{-2}$  Bq auf (Tab. 10). Die Radionuklide Cf-252, Cf-254 und Cm-250 wurden bisher in einem Fall für Betriebsabfälle aus Kernkraftwerken angegeben (Kap. 4.2.1), allerdings nur im Rahmen der Gesamtaktivität von Alphastrahlern in Höhe von  $5,6 \cdot 10^6$  Bq (d. h. keine radionuklidspezifischen Angaben). Nach Tab. 3 sind die Radionuklide Cf-252 mit  $6,2 \cdot 10^5$  Bq, Cf-254 mit  $3,3 \cdot 10^2$  Bq, Cm-250 mit  $3,3 \cdot 10^2$  Bq und Np-236 mit  $4,5 \cdot 10^3$  Bq - jeweils angegeben

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 53 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

als Summenaktivitäten - im ERAM vorhanden. Diese geringen Aktivitäten lassen erkennen, dass die kritischen Massen für die Radionuklide Cf-252, Cf-254, Cm-250 und Np-236 nicht erreicht werden. Nach gegenwärtigem Kenntnisstand ist damit die Einhaltung der Unterkritikalität (Kritikalitätssicherheit) im Endlager Konrad ausreichend gewährleistet.

### 6.3.5 Radiologische Langzeitauswirkungen

Nach den Modellrechnungen zur Grundwasserbewegung, die im Rahmen der Teilsicherheitsanalyse radiologische Langzeitauswirkungen für das Endlager Konrad durchgeführt wurden, liegen die kürzesten Fließzeiten für die charakteristischen Ausbreitungswege im Bereich von 330.000 Jahren bis zu 38,8 Millionen Jahren (BfS 1990 a). Zum Nachweis der Langzeitsicherheit des Endlagers Konrad sind daher numerische Ausbreitungsrechnungen nur für solche Radionuklide durchgeführt worden, die aufgrund ihres Verhältnisses von Halbwertszeit zu Transportzeit im Gebirge die Biosphäre in merklichen Konzentrationen erreichen können. In den Rechnungen wurde der radioaktive Zerfall während des Transportes vom Grubengebäude bis in die Biosphäre berücksichtigt. Für die Transportzeit des Grundwassers wurden 300.000 Jahre mit entsprechender Verlängerung durch die Sorption angesetzt (BfS 1990 b).

Vor diesem Hintergrund entfallen von den in Tab. 1, 2 und 6 genannten 77 Radionukliden aufgrund ihrer Halbwertszeit bereits 69 zusätzliche Radionuklide, die langzeitsicherheitslich nicht relevant sind. Dies gilt auch für Es-254 und Ti-44 (Kap. 5) sowie für Bi-205, Cm-241, Hf-172, Hf-178m, Lu-173, Pm-145, Pt-193, Pu-246, Si-32, Te-121m und Tm-171 (Kap. 4.3). Für die Langzeitsicherheit des Endlagers Konrad kommen allein aufgrund ihrer Halbwertszeit die in Tab. 18 zusammengestellten zusätzlichen Radionuklide in Betracht und sind damit einer Überprüfung und Bewertung zu unterziehen.

Tab. 18: Zusätzliche Radionuklide, die für die Langzeitsicherheit relevant sein können.

Radionuklid	Halbwertszeit	Summenaktivität [Bq]
Al-26	$7,1 \cdot 10^5 \text{ a}$	$4,4 \cdot 10^{-2} - 8,6 \cdot 10^5$
Bi-208	$3,6 \cdot 10^5 \text{ a}$	
Bi-210m	$3,0 \cdot 10^6 \text{ a}$	
K-40	$1,2 \cdot 10^9 \text{ a}$	$4,1 \cdot 10^{-2} - 2,3 \cdot 10^{10}$
Kr-81	$2,3 \cdot 10^5 \text{ a}$	
Lu-176	$3,8 \cdot 10^{10} \text{ a}$	
Mn-53	$3,7 \cdot 10^6 \text{ a}$	
Nb-92	$3,6 \cdot 10^7 \text{ a}$	
Np-236	$1,5 \cdot 10^5 \text{ a}$	$4,5 \cdot 10^3$
Tc-97	$4,0 \cdot 10^6 \text{ a}$	

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 54 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

Die Radionuklide Bi-208, Bi-210m, Kr-81, Mn-53, Nb-92 und Tc-97 sind von den Betreibern der Landessammelstellen genannt bzw. der Bibliothek des Programms KORIGEN entnommen (Tab. 1 und 2); sie wurden bisher in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung nicht deklariert (Tab. 12). Aktuell ist dagegen der Hinweis auf Lu-176 in radioaktiven Abfällen aus Landessammelstellen, wobei jedoch keine Aktivitätsangaben gemacht wurden (HUCKFELDT 2012). Bei diesem Radionuklid ist die Besonderheit zu berücksichtigen, dass es wie K-40 zu den natürlich vorkommenden Radionukliden zählt, die nicht beschränkt sind (StrlSchV 2001). Lu-176 kommt zusammen mit dem stabilen Radionuklid Lu-175 vor, wobei Lu-176 nur einen Anteil von 2,59 % in der natürlichen Isotopenzusammensetzung hat. Lutetium zählt zu den seltensten Seltenerdmetallen und hat aufgrund der schwierigen Abtrennung von den anderen Lanthanoiden keine wirtschaftliche Bedeutung. Da metallisches Lutetium in der Regel nur in geringen Mengen für wissenschaftliche Zwecke verwendet wird, ist davon auszugehen, dass Lu-176 in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung nur vereinzelt mit sehr geringen Aktivitäten enthalten ist.

Bei Th-229 geben die in Tab. 14 aufgeführten äußerst geringen Summenaktivitäten aus einzelnen Abfallchargen keinen Anlass, dass signifikanten Auswirkungen zu besorgen wären

Die in Tab. 18 angegebenen Summenaktivitäten für Al-26, K-40 und Np-236 sind für radioaktive Abfälle, die im ERAM von 1994 bis 1998 endgelagert wurden (Tab. 3), für Betriebsabfälle aus Kernkraftwerken (Kap. 4.2.1) und in fünf Abfallchargen des Forschungszentrums Karlsruhe (FZK 2007a, FZK 2007c, FZK 2008c, FZK 2008d, FZK 2008h) deklariert worden. Mit Ausnahme des oberen Wertes für K-40 sind sie vergleichsweise sehr gering. Bei K-40 sind allerdings die Anmerkungen zur Deklaration dieses Isotops zu berücksichtigen (Kap. 3.1 und 4.1). In diesem Zusammenhang sei auf die im Endlager Konrad maximal einlagerbaren Aktivitäten von zehn relevanten Radionukliden (z. B.  $2,0 \cdot 10^{11}$  Bq für U-235 oder  $2,0 \cdot 10^{17}$  Bq für Pu-241) und den beiden relevanten Radionuklidgruppen Gesamt-Alphastrahler ( $1,5 \cdot 10^{17}$  Bq) und Gesamt-Beta-/Gammastrahler ( $5,0 \cdot 10^{18}$  Bq) verwiesen (BRENNECKE 1995; BRENNECKE 2011).

In Kap. 6.3.2 wurde darauf hingewiesen, dass das durch Zerfall von Bi-205 gebildete Pb-205 mit der Halbwertszeit von  $1,5 \cdot 10^7$  a für die Langzeitsicherheit des Endlagers Konrad von Bedeutung sein könnte. Hierbei ist aber zu beachten, dass aufgrund der sehr kleinen Aktivitäten dem Tochternuklid Pb-205 keine Bedeutung für die Langzeitsicherheit des Endlagers Konrad zukommt.

Vor diesem Hintergrund sind von den in Tab. 18 angegebenen Radionukliden keine signifikanten radiologischen Langzeitauswirkungen zu erwarten. Dies gilt auch im Hinblick darauf, dass die Radionuklide Al-26, Bi-208, Bi-210m, Kr-81, Lu-176, Mn-53, Nb-92, Np-236 und Tc-97 nicht zu denjenigen Radionukliden zählen, die für die Langzeitsicherheit eines Endlagers für schwach- und mittelradioaktive Abfälle bzw. für langlebigen „mixed waste“ in tiefen geologischen Formationen von Bedeutung sind. In Tab. 19 sind wesentliche langzeitsicherheitsrelevante Radionuklide zusammengestellt, die im Rahmen diesbezüglicher standortspezifischer Sicherheitsanalysen und -nachweise berücksichtigt wurden (DOE 1996; DOE 2004; DOE 2009; NAGRA 1993; NAGRA 1994; [REDACTED] RIGGARE & JOHANSSON 2001). Es sei hier darauf hingewiesen, dass die Bedeutung eines Radionuklids für die Langzeitsicherheit neben der Halbwertszeit durch weitere Eigenschaften wie Löslichkeit, Komplexbildung bzw. Komplexbildungsverhalten und Sorptions-/Desorptionsverhalten bestimmt wird.

Tab. 19: Langzeitsicherheitsrelevante Radionuklide.

Am-241	Cs-135	Pu-240	Th-229
Am-243	I-129	Pu-241	Th-230

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 55 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

Tab. 19: Langzeitsicherheitsrelevante Radionuklide (Fortsetzung).

C-14	Mo-93	Pu-242	Th-232
Ca-41	Nb-94	Pu-244	U-232
Cl-36	Ni-59	Ra-226	U-233
Cm-244	Ni-63	Rb-87	U-234
Cm-245	Np-237	Se-79	U-235
Cm-246	Pa-231	Sm-151	U-236
Cm-247	Pd-107	Sn-126	U-238
Cm-248	Pu-239	Tc-99	Zr-93

In dieser Tabelle ist kein einziges der zusätzlichen Radionuklide enthalten, die allein aufgrund ihrer Halbwertszeit für die Langzeitsicherheit des Endlagers Konrad von Bedeutung sein könnten. Für K-40 und Lu-176 ist zu berücksichtigen, dass beide Radionuklide zu den natürlich vorkommenden Radionukliden zählen und damit nicht beschränkt sind (StrlSchV 2001); für sie gelten die o. a. relativierenden Hinweise.

Aus Sicht der radiologischen Langzeitauswirkungen ist damit festzuhalten, dass den in Tab. 18 angegebenen zusätzlichen Radionukliden keine sicherheitstechnische Bedeutung für das Endlager Konrad zukommt.

Diese Bewertung wird auch durch folgende Sachverhalte gestützt:

In Angaben zum Radionuklidinventar belgischer schwachradioaktiver Abfälle sind die o. a. Radionuklide nicht enthalten ( [REDACTED] ).

Im Rahmen von generischen Planungsarbeiten zur Entsorgung von radioaktiven Abfällen in Großbritannien wurden die in Tab. 18 genannten Radionuklide Bi-208, Bi-210m, K-40, Kr-81, Mn-53, Nb-92 und Tc-97 als sicherheitstechnisch relevant eingestuft (HARRIS, UPSHALL, WISBEY & JOWETT 2003; NIREX 2004). Ihre Bedeutung relativiert sich jedoch, wenn auf entsprechende Angaben aus dem britischen Abfallinventar 2007 und 2010 zurückgegriffen wird (NDA/defra 2008; NDA/DECC 2010). Die genannten Radionuklide sind in schwach- und mittelradioaktiven Abfällen enthalten; aus der aktuellen Erhebung von 2010 lassen sich aus den angegebenen Gesamtaktivitäten und den Gesamtvolumina gemittelte Aktivitätskonzentrationen ableiten, die

- in schwachradioaktiven Abfällen

- für Bi-208, Kr-81, Mn-53, Nb-92 und Tc-97 im Bereich von  $0 \text{ Bq/m}^3$  und  $\ll 1 \text{ Bq/m}^3$  liegen,
- für Bi-210m  $4,5 \cdot 10^1 \text{ Bq/m}^3$  und für K-40  $9,4 \cdot 10^1 \text{ Bq/m}^3$  betragen;

- in mittelradioaktiven Abfällen

- für Bi-208, Bi-210m, Kr-81, Mn-53, Nb-92 und Tc-97 im Bereich von  $1,5 \cdot 10^{-2} \text{ Bq/m}^3$  und  $6,3 \cdot 10^1 \text{ Bq/m}^3$  liegen,



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 56 von 100
NAAN	NNNNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

- für K-40  $3,5 \cdot 10^4$  Bq/m<sup>3</sup> betragen.

Ergänzend sei angemerkt, dass Angaben zu den beiden Radionukliden Al-26 und Np-236 im britischen Abfallinventar weder für schwachradioaktive noch für mittelradioaktive Abfälle gemacht wurden (NDA/DECC).

Für das britische oberflächennahe Endlager LLWR, das sich in der Nähe der Orte Drigg und Sellafield befindet, wurden im Jahr 2011 die Ergebnisse einer Umweltverträglichkeitsüberprüfung veröffentlicht. Die hierzu erhobenen Daten zum vorhandenen radioaktiven Inventar enthalten zwar die in Tab. 18 aufgeführten Radionuklide, jedoch mit der Ausnahme von K-40 ohne Aktivitätswerte. Es wird darauf hingewiesen, dass solche Radionuklide nicht von Bedeutung sind (HARPER 2011; LLW Repository Ltd. 2011). Die vorhandene Aktivität des K-40 wird mit  $2,99 \cdot 10^8$  Bq angegeben. Damit wird zusätzlich belegt, dass die Radionuklide Al-26, Bi-208, Bi-210m, Mn-53, Nb-92, Np-236 und Tc-97 keine sicherheitstechnische Bedeutung für das Endlager Konrad haben - sie werden in den o. a. realen Abfallinventaren entweder nicht oder nur mit vergleichsweise geringen Aktivitätswerten angegeben.

## 6.4 VERGLEICH MIT AUSLÄNDISCHEN MODELLINVENTAREN FÜR ENDLAGERPLANUNGSARBEITEN

In Kap. 6.3 ist gezeigt worden, dass in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung vereinzelt und mit geringen Aktivitäten auftretende zusätzliche Radionuklide keine sicherheitstechnische Bedeutung für das Endlager Konrad haben. Dieser Sachverhalt wird durch ausländische Planungsarbeiten für Endlager in tiefen geologischen Formationen zusätzlich untermauert:

- In der Schweiz ist die Endlagerung von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen in tiefen geologischen Formationen geplant. Die in Tab. 12 genannten zusätzlichen Radionuklide sind weder in Abfallmodellinventaren für schweizerische Endlagerprojekte (ALDER & MCGINNES 1994; NAGRA 2009a) noch in Modellinventaren für aus der Wiederaufarbeitung zurückzunehmende schwach- und mittelradioaktive Abfälle (MCGINNES 2002) und für in der Schweiz vorhandene und zukünftig anfallende radioaktive Abfälle (NAGRA 2008b) enthalten, die als Eingangsdaten für standort-spezifische Sicherheitsanalysen vorgesehen sind.
- In Kanada sind die Betreiber von Kernkraftwerken für die Entsorgung (einschließlich Endlagerung) der Betriebs- und Stilllegungsabfälle verantwortlich. Vor diesem Hintergrund plant das kanadische Energieversorgungsunternehmen Ontario Power Generation (OPG) die Errichtung und den Betrieb eines Endlagers für schwach- und mittelradioaktive Abfälle in tiefen geologischen Formationen (OPG 2008a). Die in Tab. 12 genannten zusätzlichen Radionuklide werden nicht in dem Referenzradionuklidinventar aufgeführt, das den aktuellen Planungsarbeiten für diese Anlage zugrunde liegt (OPG 2008b).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 57 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

## 7 ERGÄNZUNG DER ENDLAGERUNGSBEDINGUNGEN KONRAD

Die Ablieferungspflichtigen/Abführungspflichtigen haben in ihren radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung 64 Radionuklide deklariert; darüber hinaus können gemäß Tab. 12 noch zusätzliche 27 Radionuklide in diesen Abfällen enthalten sein, die insgesamt nicht in den Endlagerungsbedingungen Konrad, Stand: Dezember 1995 enthalten und begrenzt sind.

Diese 91 Radionuklide sind in Tab. 20 zusammengefasst.

Tab. 20: Zusätzliche Radionuklide in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung.

Radionuklid			
Al-26	Cs-136	Pm-146	Sr-82
Ar-37	Es-253	Pm-148m	Sr-85
As-73	Es-254	Po-208	Ta-179
Au-195	Eu-156	Pr-143	Tb-160
Ba-140	Gd-153	Pt-193	Tc-95m
Be-7	Hf-172	Pu-246	Tc-97
Bi-205	Hf-178m	Ra-225	Te-121m
Bi-207	Ge-68	Rb-83	Te-123m
Bi-208	Ho-166m	Rb-84	Te-127m
Bi-210m	In-114m	Rb-86	Te-129m
Bk-249	Ir-192	Rh-101	Th-229
Cd-115m	K-40	Rh-102	Ti-44
Ce-139	Kr-81	Rh-102m	Tl-204
Ce-141	Lu-173	Sb-124	Tm-170
Cf-249	Lu-174	Sb-126	Tm-171
Cf-250	Lu-176	Se-75	V-48
Cf-251	Mn-53	Si-32	W-181
Cf-252	Nb-92	Sm-145	W-185
Cf-253	Nd-147	Sn-113	Xe-131m
Cf-254	Np236	Sn-117m	Y-88

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 58 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

**Tab. 20:** Zusätzliche Radionuklide in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung (Fortsetzung).

Cm-241	P-32	Sn-119m	Y-91
Cm-250	P-33	Sn-121m	Yb-169
Co-56	Pm-145	Sn-123	

Da grundsätzlich nicht auszuschließen ist, dass über die in Tab. 20 genannten Radionuklide hinaus noch zusätzliche Radionuklide in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung enthalten sein können, ist für derartige Radionuklide eine Einzelfallprüfung (gesonderte sicherheitstechnische Prüfung) gemäß Kap. 6.3 erforderlich.

Das Auftreten weiterer Radionuklide muss in den Endlagerungsbedingungen Konrad berücksichtigt werden. Der Planfeststellungsbeschluss vom 22. Mai 2002 (NMU 2002) wie auch die Endlagerungsbedingungen Konrad (BRENNECKE 1995; BRENNECKE 1993; [REDACTED]) sehen keine Regelungen vor, wie mit Radionukliden zu verfahren ist, die von einem Ablieferungspflichtigen/Abführungspflichtigen deklariert werden, aber nicht zu den Radionukliden des Radionuklidspektrums Konrad zählen und damit auch nicht in den Endlagerungsbedingungen Konrad angegeben und in ihrer Aktivität pro Abfallgebinde begrenzt sind. In diesen Fällen kann von der Produktkontrolle des BfS keine abschließende Aussage über die Endlagerfähigkeit des (oder der) betreffenden Abfallgebundes (Abfallgebinde) gemacht werden. In ihren Stellungnahmen zur Endlagerfähigkeit von Abfallgebunden bzw. Abfallchargen wird dann regelmäßig darauf hingewiesen, dass abschließende Aussagen erst nach Festlegung diesbezüglich noch ausstehender Anforderungen erfolgen können.

Die Ablieferung und Einlagerung von Abfallgebunden mit Radionukliden, die über das der standortspezifischen Sicherheitsanalyse Konrad zugrunde liegende Radionuklidspektrum hinausgehen, muss daher geregelt werden. Im Hinblick auf eine solche Regelung wird der nachfolgende Vorschlag unterbreitet.

## 7.1 BEWERTUNG DER SICHERHEITSTECHNISCHEN RELEVANZ

Die in Kap. 6.2 beschriebenen zusätzlichen sicherheitsanalytischen Untersuchungen basierten auf abdeckenden Angaben zu möglichen zusätzlichen Radionukliden aus Landessammelstellenabfällen und vorsorglich der Bibliothek des Programms KORIGEN entnommenen Radionukliden. Ein Bezug zu tatsächlichen Radionuklidinventaren bestand zum damaligen Zeitpunkt nicht.

Mit der Einlagerung von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen im Endlager Morsleben von 1994 bis 1998 und mit den Kontrollen bzw. Überprüfungen im Rahmen der laufenden Produktkontrolle radioaktiver Abfälle wurden erstmals umfangreiche Kenntnisse über tatsächliche Radionuklidinventare (d. h. Istdaten) in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung gewonnen. Nach den hier gesammelten Erfahrungen fallen die nicht in der Abfalldatenbasis 1984 bzw. den Endlagerungsbedingungen Konrad, Stand: Dezember 1995 enthaltenen Radionuklide unregelmäßig und mit sehr kleinen, z. T. geringsten Aktivitäten in einzelnen Abfallgebunden, Fässern oder Abfallchargen an (Kap. 4). Dieser Sachverhalt lässt bereits erwarten, dass den zusätzlichen Radionukliden keine signifikante sicherheitstechnische Bedeutung zukommen kann. Die Modellbetrachtung zur Ausschöpfung von Grenzwerten im ERAM (Kap. 4.1) wie auch die Darlegungen und Bewertungen aus Sicht der fünf verschiedenen Teilsicherheitsanalysen (Kap. 6.3) und der Vergleich mit ausländischen

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 59 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

Modellinventaren für Endlagerplanungsarbeiten (Kap. 6.4) bestätigen diese Einschätzung. Danach ist festzuhalten, dass die deklarierten zusätzlichen Radionuklide (Tab. 13) in Bezug auf den bestimmungsgemäßen Betrieb, die unterstellten Störfälle, die thermische Beeinflussung des Wirtsgesteins, die Einhaltung der Unterkritikalität und die radiologischen Langzeitauswirkungen nicht von sicherheitstechnischer Relevanz sind.

## 7.2 EINHALTUNG VON AKTIVITÄTSBEGRENZUNGEN

Der Nachweis der Einhaltung von Aktivitätsbegrenzungen in Abfallgebinden, die ein Radionuklidgemisch enthalten, ist nach den Endlagerungsbedingungen Konrad mit Hilfe eines Summenkriteriums zu führen (Kap. 2.3). Im Falle der unterstellten Störfälle ist das Summenkriterium  $S_s$  ( $s$  = Index für Störfall) erfüllt, wenn die Summe der Verhältniszahlen (Quotienten) aus der Aktivität einzelner Radionuklide bzw. Radionuklidgruppen und dem jeweiligen Aktivitätsgrenzwert kleiner 1 ist. Dies gilt auch für das Summenkriterium  $S_w$  ( $w$  = Index für Wärme) im Falle der thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins.

Bei der Anwendung des Summenkriteriums gilt (BRENNECKE 1995):

- Übersteigt die Aktivität eines Leitnuclids oder die Aktivität nicht spezifizierter sonstiger Alpha- und Beta-/Gammastrahler im Abfallgebinde 1 % des zugehörigen Aktivitätsgrenzwertes bzw. Aktivitätswertes, ist diese Aktivität anzugeben und bei Anwendung des Summenkriteriums zu berücksichtigen.
- Bei Unterschreitung des 1 % - Wertes muss die Aktivität des betreffenden Leitnuclids oder die Aktivität nicht spezifizierter sonstiger Alpha- und Beta-/Gammastrahler im Abfallgebinde weder angegeben noch bei Anwendung des Summenkriteriums berücksichtigt werden.

Es sei darauf hingewiesen, dass unabhängig von einer Unterschreitung der 1 %-Werte die dann nicht anzugebenden Radionuklide bzw. Radionuklidgruppen nach Maßgabe der durchgeführten Teilsicherheitsanalysen (unterstellte Störfälle, thermische Beeinflussung des Wirtsgestein) und den dabei zugrunde gelegten Randbedingungen sicherheitstechnisch abgedeckt sind.

Unabhängig von dieser Vorgehensweise erfolgt die Überprüfung des von den Abfallverursachern deklarierten Radionuklidinventars in einem Abfallgebinde bzw. einer Abfallcharge durch unabhängige Gutachter im Auftrag des BfS:

Die Einhaltung der Endlagerungsbedingungen wird durch die Produktkontrolle sichergestellt (■■■■■■■■■■). Hierzu wurden 14 endlagerrelevante Eigenschaften identifiziert und geeignete Kenngrößen zu deren Überprüfung quantifiziert. Als eine dieser endlagerrelevanten Eigenschaften ist die Aktivität relevanter Radionuklide im Rahmen der Produktkontrolle nach den Vorgaben der Endlagerungsbedingungen (BRENNECKE 1995) zu überprüfen. Dies beinhaltet auch die Prüfung, ob alle Radionuklide oder Radionuklidgruppen, deren Aktivität den Deklarationsschwellenwert überschreitet, im Rahmen der geforderten Genauigkeit korrekt deklariert sind.

Daher wird zunächst überprüft, ob die Gesamtaktivität bzw. die Aktivität relevanter Radionuklide bei den hergestellten Abfallgebinden durch eines oder notwendigenfalls durch mehrere der nachfolgenden Ermittlungsverfahren mit hinreichender Genauigkeit gemäß (■■■■■■■■■■) an Rohabfall- oder Abfallproduktproben, an Zwischenprodukten oder an Abfallgebinden durch den Abfallverursacher bzw. Konditionierer bestimmt wurde:

- Berechnung oder Abschätzung aufgrund bekannter dokumentierter Daten der Abfälle (z. B. Aktivierungsrechnungen für Corebauteile).

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 60 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

- Messung der Ortsdosisleistung und Berechnung oder Abschätzung nach anerkannten Berechnungsverfahren bei hinreichend bekannter, gleich bleibender Zusammensetzung der Radionuklide im Abfall.
- Messung der nuklidspezifischen Aktivität charakteristischer Radionuklide und Berechnung oder Abschätzung nach anerkannten Berechnungsverfahren. Als charakteristische Radionuklide oder Schlüsselnuclide werden Radionuklide bezeichnet, die zu anderen in den Abfällen enthaltenen Radionukliden in festen Verhältnissen stehen, so dass die Gesamtaktivität oder die Aktivität relevanter Radionuklide rechnerisch bei bekannter Aktivität dieser charakteristischen Radionuklide bestimmbar ist.
- Messung der Gesamtaktivität bzw. der Aktivität relevanter Radionuklide mit geeigneten Messverfahren. Diese Messungen sind notwendigenfalls an Rohabfall- oder Abfallproduktproben durchzuführen.

Als Messverfahren werden nach heutigem Stand zerstörungsfreie Dosisleistungs-, Gamma- bzw. Neutronenmessungen und nach geeigneter chemischer Aufbereitung von Abfallproben die Aktivitätsbestimmung von Alphastrahlern mit Sperrschichtzählern an dünnen Proben und von Beta-Strahlern mittels Flüssigkeitsszintillation angewendet.

Zur Überprüfung der deklarierten Radionuklidinventare vollzieht der Gutachter des BfS die vom Abfallverursacher bzw. Konditionierer vorgenommene Ermittlung des radionuklidspezifischen Aktivitätsinventars durch eigene Betrachtungen nach. Grundlagen für diese Betrachtungen sind z. B.:

- Vergleich mit Vorgängerkampagnen bzw. Abfällen ähnlicher Herkunft und Art,
- Auswertung von Analysen- und Messergebnissen (z.B.  $\gamma$ -Spektren),
- Durchführung von Aktivierungsrechnungen auf Grundlage der Materialzusammensetzung und des Neutronenflusses,
- Abbrandrechnungen auf Basis der Kernbrennstoffzusammensetzung und der Betriebsbedingungen,
- Durchführung von Abschirmrechnungen und Vergleich mit der gemessenen Dosisleistung und
- Berücksichtigung des Abklingverhaltens der Radionuklide.

Durch diese in der Produktkontrolle radioaktiver Abfälle beschriebenen, im Planfeststellungsverfahren Konrad begutachteten und im Planfeststellungsbeschluss festgeschriebenen Maßnahmen zur Überprüfung der Aktivitätsbestimmung ist sichergestellt, dass alle relevanten Radionuklide (d. h. auch über das Radionuklidspektrum Konrad hinausgehende Radionuklide) mit ausreichender Genauigkeit erfasst werden.

Wie in Kap. 6.3.2 und 6.3.3 dargelegt wurde, liegen deklarierte Aktivitäten von zusätzlichen Radionukliden hauptsächlich im Bereich von  $10^{-3}$  Bq pro Abfallgebinde bis  $10^3$  Bq pro Abfallgebinde (Tab. 8) bzw.  $10^{-3}$  Bq pro Abfallcharge bis  $10^5$  Bq pro Abfallcharge. Diesen Aktivitätswerten stehen z.B. in den Anhängen 6 und 7 um mehrere Größenordnungen (Zehnerpotenzen) höhere Aktivitätsbegrenzungen gegenüber, die sicherheitsanalytisch abgeleitet wurden. Damit ist es mehr als offensichtlich, dass die 1%-Deklarationswerte weder erreicht noch überschritten werden. Die hier betroffenen Radionuklide müssen nicht angegeben werden; sie sind weder von sicherheitstechnischer Bedeutung noch tragen sie zu einer Ergänzung des Radionuklidspektrums Konrad bzw. der Endlagerungsbedingungen Konrad, Stand; Dezember 1995 bei.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 61 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

Der Sachverhalt, dass die zusätzlichen Radionuklide einschließlich ihrer deklarierten Aktivitäten sicherheitstechnisch nicht relevant sind, ist so eindeutig, dass sich die Durchführung von weitergehenden Prüfungen über die bisherigen Überprüfungen und ihre Ergebnisse hinaus erübrigt.

### 7.3 AKTIVITÄTSBEGRENZUNGEN FÜR ZUSÄTZLICHE RADIONUKLIDE

Aufgrund des heutigen Kenntnisstandes über das Auftreten und tatsächliche Vorhandensein von möglichen zusätzlichen Radionukliden einschließlich ihrer Aktivitätswerte in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung bietet sich daher für die erforderliche Ergänzung der Endlagerungsbedingungen Konrad, Stand Dezember 1995 unmittelbar an, nicht die in Anhang II Aktivitätsbegrenzungen dieser Bedingungen enthaltenen Störfalltabellen mit Aktivitätsgrenzwerten und Tabellen zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins mit Aktivitätswerten umfangreich zu erweitern, sondern auf die Aktivitätsgrenzwerte bzw. Aktivitätswerte der sonstigen Alpha-Strahler und sonstigen Beta-/Gamma-Strahler aus diesen Tabellen zurückzugreifen. Die in den Endlagerungsbedingungen Konrad enthaltenen Störfalltabellen und Tabellen zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins (hier: Anhänge 3 und 4) sind so aufgebaut, dass die Aktivitätsbegrenzungen der sonstigen Alphastrahler und sonstigen Beta-/Gammastrahler für alle Radionuklide abdeckend sind, die in diesen Analysen jeweils berücksichtigt und in diesen Tabellen vorstehend nicht explizit aufgeführt sind. Die hier genannten Aktivitätsangaben sollen herangezogen werden, und zwar als 1 %-Deklarationswerte (unterhalb derer gemäß den Endlagerungsbedingungen Konrad keine Angaben gefordert werden), die ihrerseits im Rahmen einer Selbstbeschränkung noch auf jeweils 1/100 reduziert werden.

Durch diese Ergänzung wird sichergestellt, dass während des Betriebes und am Ende der Betriebszeit des Endlagers Konrad die Aktivitätsinventare der zusätzlichen 91 Radionuklide im Vergleich zu den Aktivitäten der in den Endlagerungsbedingungen Konrad angegebenen Radionuklide und Radionuklidgruppen so begrenzt werden, dass ihnen keine sicherheitstechnische Bedeutung für diese Anlage zukommt.

Die obigen Darlegungen basieren auf dem heutigen Kenntnisstand über deklarierte Aktivitäten von möglichen zusätzlichen Radionukliden (Kap. 4). Da grundsätzlich nicht ausgeschlossen werden kann, dass diese Radionuklide auch mit höheren Aktivitätswerten deklariert werden könnten, ist eine weitere Regelung erforderlich. Hier bietet sich unmittelbar an, zunächst derartige (bisher nicht aufgetretene) Deklarationen abzuwarten und vorbehaltlich zukünftiger Festlegungen solche Abfallgebinde nicht zur Endlagerung anzunehmen.

Damit wird die Aufnahme der folgenden Ergänzungen für die Endlagerungsbedingungen Konrad, Stand: Dezember 1995 vorgeschlagen:

In Anhang II werden die zusätzlichen 91 Radionuklide als „Tabelle 10: Zusätzliche Radionuklide, die in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung enthalten sein können“ explizit angegeben.

Weiter werden die folgenden Ausführungen als jeweils letzter Absatz in den genannten Anhängen angefügt:

- Anhang II Aktivitätsbegrenzungen

„Danach können die zusätzlichen 91 Radionuklide gemäß Anhang II / Tabelle 10, die über die in Anhang II / Tabelle 2 bis 7 b und Anhang III.4 genannten Radionuklide hinausgehen, zur Endlagerung angenommen werden, wenn ihre Aktivitätswerte jeweils



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 62 von 100
NAAN	NNNNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

- das  $10^{-4}$ -fache der Aktivitätsgrenzwerte der nicht spezifizierten sonstigen Alpha- und Beta-/Gammastrahler aus Anhang II / Tabelle 3 (Störfallanalyse) unterschreiten und
- das  $10^{-4}$ -fache der Aktivitätswerte der nicht spezifizierten sonstigen Alpha- und Beta-/Gammastrahler aus Anhang II / Tabelle 5 (Analyse zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins) unterschreiten.

Bei Überschreitung dieser Werte erfolgt keine Annahme zur Endlagerung.

Für Radionuklide, die über die in Anhang II / Tabellen 2 bis 7b und 10 und in Anhang III.4 genannten Radionuklide hinaus in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung enthalten sein können, ist eine Einzelfallprüfung (gesonderte sicherheitstechnische Prüfung) durch das BfS erforderlich."

- Anhang III.2 Unterstellte Störfälle

„Zusätzliche Radionuklide, die in Anhang II / Tabelle 10 angegeben sind und über die in Anhang II / Tabellen 3 und 4 genannten Radionuklide hinausgehen, müssen jeweils das  $10^{-4}$ -fache der Aktivitätsgrenzwerte der nicht spezifizierten sonstigen Alpha- und Beta-/Gammastrahler aus Anhang II / Tabelle 3 unterschreiten."

- Anhang III.3 Thermische Beeinflussung des Wirtsgesteins

„Zusätzliche Radionuklide, die in Anhang II / Tabelle 10 angegeben sind und über die in Anhang II / Tabellen 5 und 6 genannten Radionuklide hinausgehen, müssen jeweils das  $10^{-4}$ -fache der Aktivitätswerte der nicht spezifizierten sonstigen Alpha- und Beta-/Gammastrahler aus Anhang II / Tabelle 5 unterschreiten."

Mit diesen Ergänzungen wird letztlich eine Vorgehensweise vorgeschlagen, die für die im Radionuklid-spektrum der Endlagerungsbedingungen Konrad enthaltenen und nicht enthaltenen Radionuklide gleich ist und keine unterschiedliche Behandlung bezüglich der Deklaration darstellt.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 63 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

## 8 LITERATURVERZEICHNIS

ALDER, J. C. & MCGINNES, D. F. (1994): Model Radioactive Waste Inventory for Swiss Waste Disposal Projects, Volume 1: Main report. Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Technical Report 93-21, Wettingen, June 1994

[REDACTED]: Erfahrungen mit der Produktkontrolle radioaktiver Abfälle und Vorschläge zur Optimierung der Abwicklung. In: TÜV Akademie GmbH (Hrsg.), BfS/TÜV NORD - Seminar Endlagerung radioaktiver Abfälle - Herausforderungen und Lösungen bei der Produktkontrolle radioaktiver Abfälle -, Hannover, 11.-12. Juni 2008. Berichtsband, Beitrag 9, 15 S., TÜV, Hannover, Juni 2008

[REDACTED]: Berücksichtigung zusätzlicher Radionuklide. E-Mail an [REDACTED] BfS. Siemens AG. Karlstein am Main, 27. Februar 2009

BERG, H. P. (1989): Aktivitätsbegrenzungen in Abfallgebinden aus Landessammelstellen. In: H. P. Berg / P. Brennecke (Hrsg.) Konditionierung und Endlagerung von radioaktiven Abfällen aus Landessammelstellen - Vorträge des Seminars vom 21. Oktober 1988 in der PTB. Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bericht PTB-SE-23, S. 57-71, Braunschweig, März 1989

[REDACTED]: Auswirkungen des veränderten Abfallspektrums aufgrund des Wegfalls der Wiederaufarbeitungsanlage Wackersdorf auf die Aussagen zur statistischen Aktivitätsverteilung im geplanten Endlager Konrad. Bundesamt für Strahlenschutz, interner Bericht ET-IB-27, Salzgitter, Mai 1990

[REDACTED]: Auswahl weiterer Radionuklide zur Überprüfung in den Sicherheitsanalysen für das geplante Endlager Konrad. Bundesamt für Strahlenschutz, interner Bericht ET-IB-17-REV-2, Salzgitter, Mai 1991

[REDACTED]: Ergebnisse der Überprüfung weiterer Radionuklide aufgrund der durchgeführten Störfallanalysen für das geplante Endlager Konrad. Bundesamt für Strahlenschutz, interner Bericht ET-IB-50, Salzgitter, Juni 1991

[REDACTED]: Daten radioaktiver Abfälle für Sicherheitsanalysen zum Endlager Konrad unter Berücksichtigung von Berechnungen der Ortsdosisleistung von Abfallgebinden. Physikalisch-Technische Bundesanstalt, interner Bericht PTB-SE-IB-3, Braunschweig, Dezember 1984

[REDACTED]: Ableitung einer Gesamtaktivität für  $\alpha$ - und  $\beta/\gamma$ -Strahler sowie für einzelne relevante Radionuklide aus den Sicherheitsanalysen zum geplanten Endlager Konrad. Physikalisch-Technische Bundesanstalt, interner Bericht PTB-SE-IB-40, Braunschweig, Oktober 1988

[REDACTED]: Vorgehensweise bei der Ableitung von Aktivitätsbegrenzungen für Radionuklide, die nicht in der Datenerhebung der PTB, Stand 1984, enthalten sind. Bundesamt für Strahlenschutz, interner Bericht ET-IB-24, Salzgitter, April 1990

[REDACTED]: Vorgehensweise bei der Ableitung von Aktivitätsbegrenzungen für zusätzliche Radionuklide unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Störfallrechnungen gemäß AVV 1990. Bundesamt für Strahlenschutz, interner Bericht ET-IB-40, Salzgitter, März 1991

BfS (1990a): Plan, Endlager für radioaktive Abfälle, Schachanlage Konrad, Salzgitter. Textband 1, 9/86 in der Fassung 4/90, Kap. 3.1.10.4 Modellrechnungen zur Grundwasserbewegung, S. 3.1.10.4-29 (Tab. 3.1.10.4/4). Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter, April 1990

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 64 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

BfS (1990b): Plan, Endlager für radioaktive Abfälle, Schachanlage Konrad, Salzgitter. Textband 2, 9/86 in der Fassung 4/90, Kap. 3.9.5 Ausbreitung von Radionukliden in der Geosphäre, S. 3.9-36 und S. 3.9-38 (Tab. 3.9.5/2). Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter, April 1990

BMI (1983): Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk. Bundesanzeiger 35 (1983) Nr. 2, S. 45-46

BMU (2006): Bundesumweltminister Sigmar Gabriel zum OVG-Urteil zum Schacht Konrad. BMU-Pressericht Nr. 040/06, Berlin, 08. März 2006

BRENNECKE, P. (Hrsg.) (1993): Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle (Vorläufige Endlagerungsbedingungen, Stand: April 1990 in der Fassung Oktober 1993) - Schachanlage Konrad -, Bundesamt für Strahlenschutz, Bericht BfS-ET-3/90-REV-2, Salzgitter, Oktober 1993

BRENNECKE, P. (Hrsg.) (1995): Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle (Endlagerungsbedingungen, Stand: Dezember 1995) - Schachanlage Konrad - . Bundesamt für Strahlenschutz, interner Bericht ET-IB-79, Salzgitter, Dezember 1995

BRENNECKE, P. (Hrsg.) (2011): Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle (Endlagerungsbedingungen, Stand: Oktober 2010) - Endlager Konrad - . Bundesamt für Strahlenschutz, interner Bericht SE-IB-29/08-REV-1, Salzgitter, Januar 2011

[REDACTED]: Abfalldatenbasis Gorleben - Radioaktive Abfälle aus Landes-sammelstellen. Bundesamt für Strahlenschutz, interner Bericht ET-IB-6, Salzgitter, Juni 1990

BRENNECKE, P. & WARNECKE, E. (1985): Waste Acceptance Requirements: Procedure and Basic Data. In: E. Merz / R. Odoj / E. Warnecke (Hrsg.), Proceedings of the International Seminar on Radioactive Waste Products - Suitability for Final Disposal -, Jülich, 10.-13.06.1985. Berichte der Kernforschungsanlage Jülich, Jül-Confer-54, S. 497-511, Jülich, Juni 1985

[REDACTED]: Erfassung und Charakterisierung von endzulagernden radioaktiven Abfällen. In: Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Hrsg.), Anforderungen an radioaktive Abfälle für das Endlager Konrad und Produktkontrolle, Vorträge des 62. PTB-Seminars am 29.10.1985 in der PTB. Physikalisch-Technische Bundesanstalt, PTB-Bericht SE-8, S. 81-101, Braunschweig, April 1986

[REDACTED]: Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle (Vorläufige Endlagerungsbedingungen, Stand: November 1986) - Schachanlage Konrad -. Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bericht PTB-ET-16, Braunschweig, Januar 1987

[REDACTED]: Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle (Vorläufige Endlagerungsbedingungen, Stand: April 1990) - Schachanlage Konrad -. Bundesamt für Strahlenschutz, Bericht ET-3/90, Salzgitter, April 1990

[REDACTED]: The Inventory of Radioactive Waste as an Integrated Part of a Low-level Radioactive Waste Management System. In: The American Society of Mechanical Engineers, ICEM '05 / DECOM '05, Proceedings of The 10<sup>th</sup> International Conference on Environment, Remediation and Radioactive Waste Management, Glasgow, 04.-08.09.2005, CD-ROM, Paper 29-19, 4 S., ASME, New York (2005)

DOE (1996): Title 40 CFR Part 191 Compliance Certification Application, Chapter 4.0 Waste Description, DOE/CAO 1996-2184, U.S. Department of Energy, Carlsbad/N.M., October 1996

DOE (2004): Title 40 CFR Part 191 Subparts B and C Compliance and Recertification Application 2004, Chapter 4.0 Waste Description, DOE/WIPP 2004-3231, U.S. Department of Energy, Carlsbad/N.M., March 2004

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 65 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

DOE (2009): Title 40 CFR Part 191 Subparts B and C Compliance Recertification Application for the Waste Isolation Pilot Plant, Section 24.0 Waste Characterization (40 CFR § 194.24), DOE/WIPP-09-3424, United States Department of Energy, Waste Isolation Pilot Plant, Carlsbad Field Office, Carlsbad/N.M. (2009)

EWN (2007): Sammeldatenblatt-Nr.: G1KGR009709-065. Sammeldatenblatt für radioaktive Abfälle, Abfallart A1 (feste Abfälle), 25 Gebinde (580-l-Fässer). Energiewerke Nord GmbH, Lubmin, 01. Juni 2007

FALBE, J. & REGITZ, M. (Hrsg.) (1990): Römpf Chemie Lexikon, Band 3: H-L. Georg Thieme Verlag, Stuttgart/New York (1990).

Systemanalyse Konrad, Teil 3 - Ermittlung der potentiellen Strahlenexposition des Menschen in der Umgebung der Anlage bei Störfällen unter Berücksichtigung der Novelle der Strahlenschutzverordnung Bundesrats-Drucksache Nr. 207/01 vom 16.03.2001 - Zusätzliche Radionuklide. Gesellschaft für Reaktor- und Anlagensicherheit (GRS) mbH, Bericht GRS-A-2920, Köln, Juni 2001

FISCHER, U. & WIESE, H. W. (1983): Verbesserte konsistente Berechnung des nuklearen Inventars abgebrannter DWR-Brennstoffe auf der Basis von Zell-Abbrand-Verfahren mit KORIGEN. Kernforschungszentrum Karlsruhe, Bericht KfK 3014, Karlsruhe, Januar 1983

FZK (2006): Abfalldatenblatt FZK2000004, Kennung: \_E/FZK/2006/K/000715, Behälter-Nr.: MS740 400, HDB-Nr.: 5010330. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Eggenstein-Leopoldshafen, 19. Dezember 2006

FZK (2007a): Abfalldatenblatt für Abfallprodukte der Charge S/98/V 0089. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Eggenstein-Leopoldshafen, 16. Juli 2007

FZK (2007b): Abfalldatenblatt für Abfallprodukte der Charge S/98/V 0049. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Eggenstein-Leopoldshafen, 06. Dezember 2007

FZK (2007c): Abfalldatenblatt für Abfallprodukte der Charge S/99/V 0048. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Eggenstein-Leopoldshafen, 17. Dezember 2007

FZK (2007d): Abfalldatenblatt für Abfallprodukte der Charge S/98/V 0155. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Eggenstein-Leopoldshafen, 18. Dezember 2007

FZK (2008a): Abfalldatenblatt für Abfallprodukte der Charge S/98/V 0045. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Eggenstein-Leopoldshafen, 14. Januar 2008

FZK (2008b): Abfalldatenblatt für Abfallprodukte der Charge S/98/V 0041. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Eggenstein-Leopoldshafen, 14. Januar 2008

FZK (2008c): Abfalldatenblatt für Abfallprodukte der Charge S/03/V 0044. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Eggenstein-Leopoldshafen, 10. Februar 2008

FZK (2008d): Abfalldatenblatt für Abfallprodukte der Charge S/98/V 0149. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Eggenstein-Leopoldshafen, 13. März 2008

FZK (2008e): Abfalldatenblatt für Abfallprodukte der Charge S/00/V 0032. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Eggenstein-Leopoldshafen, 09. April 2008

FZK (2008f): Abfalldatenblatt für Abfallprodukte der Charge S/03/V 0012. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Eggenstein-Leopoldshafen, 21. April 2008

FZK (2008g): Abfalldatenblatt für Abfallprodukte der Charge S/01/V 0064. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Eggenstein-Leopoldshafen, 07. Mai 2008



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 66 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

- FZK (2008h): Abfalldatenblatt für Abfallprodukte der Charge S/01/V 0131. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Eggenstein-Leopoldshafen, 07. Mai 2008
- FZK (2008i): Abfalldatenblatt für Abfallprodukte der Charge S/00/V 0106. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Eggenstein-Leopoldshafen, 20. Mai 2008
- FZK (2008j): Abfalldatenblatt für Abfallprodukte der Charge S/00/V 0112. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Eggenstein-Leopoldshafen, 21. Mai 2008
- FZK (2008k): Abfalldatenblatt für Abfallprodukte der Charge S/04/V 0046. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Eggenstein-Leopoldshafen, 01. September 2008
- FZK (2009a): Abfalldatenblatt für Abfallprodukte der Charge S/97/V 0169. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Eggenstein-Leopoldshafen, 18. September 2009
- FZK (2009b): Abfalldatenblatt für Abfallprodukte der Charge S/03/V 0002. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Eggenstein-Leopoldshafen, 11. Dezember 2009
- FZK-HDB (2008): Radionuklidtabelle aus der Datenbank KADABRA (TH-23), Stand: 20. März 2008. E-Mail von Sindy Bening, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH - Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe, Eggenstein-Leopoldshafen, 27. März 2008
- GNS (2003): AVK Abfallfluss-Verfolgungs- und Produkt-Kontrollsystem, Stand 03/2003. Gesellschaft für Nuklear-Service mbH, Essen, März 2003
- GNS (2004): Abfalldatenblatt GNS B 060/03 Rev 00 zum Stahlblechcontainer BBG 6500128-GNSMEYVS00. Gesellschaft für Nuklear-Service mbH, Essen, 06. Oktober 2004
- GNS (2006): Abfalldatenblatt GNS B 003/06 Rev 01 zum Abfallgebinde KKB 6506370. Gesellschaft für Nuklear-Service mbH, Essen, 23. Oktober 2006
- GNS (2007): Abfalldatenblatt GNS B 104/07 Rev 00 zu den Abfallbehältern KI1 0304517 und KI1 0304518. Gesellschaft für Nuklear-Service mbH, Essen, 01. August 2007
- GNS (2008a): Abfalldatenblatt GNS B 061/07 Rev 01 zum Abfallgebinde KKP 6700146. Gesellschaft für Nuklear-Service mbH, Essen, 25. Februar 2008
- GNS (2008b): Abfalldatenblatt GNS B 051/08 Rev 00 (KGA/KGG-Datenblatt-Nr.: A3 KGA 030122-002). Gesellschaft für Nuclear-Service mbH, Essen, 27. August 2008
- GNS (2008c): Abfalldatenblatt GNS B 107/07 Rev 02 (KGG-Datenblatt-Nr.: A3 KKG 024081-001). Gesellschaft für Nuklear-Service mbH, Essen, 10. September 2008
- GNS (2008d): Abfalldatenblatt GNS B 114/99 Rev 02 zum Abfallbehälter KI 20400001. Gesellschaft für Nuklear-Service mbH, Essen, 15. Oktober 2008
- GNS (2008e): Abfalldatenblatt GNS B 118/96 Rev 05 zum Abfallgebinde KKK 5200001. Gesellschaft für Nuklear-Service mbH, Essen, 23. Oktober 2008
- GNS (2009a): Abfalldatenblatt GNS B 054/09 Rev 00 zu den Abfallgebinden GKN 16439, GKN 16530, GKN 16564, GKN 16565, GKN 16613, GKN 16629, GKN 16630, GKN 16692 und GKN 16693. Gesellschaft für Nuklear-Service mbH, Essen, 13. August 2009
- GNS (2009b): Abfalldatenblatt GNS B 003/01 Rev 02 zum Abfallbehälter KBR 6500002. Gesellschaft für Nuklear-Service mbH, Essen, 09. Oktober 2009
- GNS (2010): Abfalldatenblatt GNS B124/10 Rev 00 zum Abfallbehälter KKS5200504. Gesellschaft für Nuklear-Service mbH, Essen, 22. Oktober 2010
- GNS (2011): Abfalldatenblatt GNS B152/07 Rev 01 zum Abfallbehälter KKV9529. Gesellschaft für Nuklear-Service mbH, Essen, 23. November 2011



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 67 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

GNS (2012): Schreiben EK/Ber/5706003/120396 vom 21. Dezember 2012

HARPER, A. (2011): ESC 2011: The disposal and forward inventory of LLWR. Serco Technical Consulting Services, Report SERCO/E003756/12, Issue 2, Didcot, April 2011  
HARRIS, A. W., UPSHALL, I. R., WISBEY, S. J. & JAWETT, J. (2003): The Identification of Radionuclides Relevant to Long-term Radioactive Waste Management in the UK. In: ODOJ, R., BAIER, J., BRENNECKE, P. & KÜHN, K. (Hrsg.), Radioactive Waste Products 2002: Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Seminar on Radioactive Waste Products held in Würzburg (Germany) from 22 to 26 September 2002, Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Energietechnik/Energy Technology, Volume 27, S. 359-362, FZJ, Jülich (2003)

HAYNES, W. M. & LIDE, D. R. (Eds.) (2010): CRC Handbook of Chemistry and Physics. 91<sup>st</sup> Edition. CRC Press - Taylor & Francis Group, Boca Raton/London/New York (2010)

[REDACTED]: Klärung inhaltlicher Aspekte für den Stoffvektor "Mischabfälle Landessammelstellen", Aktenzeichen: Hu – 53h 228.8.1. HLOG, Kassel, 18. Januar 2012

[REDACTED]: Aktivität sicherheitstechnisch relevanter Radionuklide am Ende der Betriebsphase des Endlagers Konrad und zeitliche Entwicklung der Aktivität und Masse von Radionukliden in der Nachbetriebsphase. Bundesamt für Strahlenschutz, interner Bericht ET-IB-18-REV-1, Salzgitter, April 1991

ISTEC (2007): Erfassung und Verfolgung radioaktiver Reststoffe und Abfälle - ReVK-Produktbeschreibung, Basisversion, Stand 10/2007. Institut für Sicherheitstechnologie (ISTec) GmbH, Köln, Oktober 2007

[REDACTED]: Berücksichtigung des Radionuklids Hf-172. E-Mail an [REDACTED] BfS. Forschungszentrum Jülich, 27. Februar 2009

KGG (2008): Abfalldatenblätter zu den Behältern KGG 0305676, KGG 0305677, KGG 0305680 und KGG 0305681, Kampagne KGB 030085. Kernkraftwerk Gundremmingen Block B/C, Gundremmingen, 08. September 2008

KKS (2011): Abfalldatenblatt zum Behälter KKS6500068, Kampagne KKS 025157. Kernkraftwerk Stade, 16. November 2011

KGG (2009): Produktabfalldatenblätter G3KGG0085-010, G3KGG0085-011, G3KGG0085-012 und G3KGG0085-013. Kernkraftwerk Gundremmingen Block A, Gundremmingen, 24. Februar 2009

[REDACTED]: Überarbeitung des Kategorisierungsschemas und Ergänzung zur Abfalldatenbasis. Wissenschaftlich-Technische Ingenieurberatung GmbH, Arbeitsbericht WT/ITB/02/84 Rev. 0, Titz-Rödingen, Dezember 1984

[REDACTED]: Entsorgung radioaktiver Abfälle im Endlager Morsleben (ERAM), Eingelagerte Aktivitäten - Einlagerungszeitraum 1994 bis 1998 -, Bundesamt für Strahlenschutz, interner Bericht ET-IB-106, Salzgitter, Dezember 1998

[REDACTED]: Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle und Maßnahmen zur Produktkontrolle radioaktiver Abfälle - Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) - Teil I: Endlagerungsbedingungen, Stand: August 1996. Bundesamt für Strahlenschutz, interner Bericht ET-IB-85, Salzgitter, August 1996

KWW (2009): Abfalldatenblatt zum Behälter KWW 6300022, Kampagne KWW 026512. Kernkraftwerk Würgassen, Würgassen, 09. Juli 2009

LBE (1995): Sammeldatenblatt-Nr.: A1LBE199506-001, Sammeldatenblatt für radioaktive Abfälle, Abfallart A1 (feste Abfälle). Landessammelstelle Berlin, 24. Juli 1995

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 68 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

LLW Repository Ltd. (2011): The 2011 Environmental Safety Case - Inventory - . LLW Repository Ltd., Report LLWR/ESC/R(11)10019, Holmrook, May 2011

MAGILL, J., PFENNIG, G. & GALY, J. (2006): Karlsruher Nuklidkarte - 7. Auflage 2006 - European Commission - Joint Research Centre/Forschungszentrum Karlsruhe, Report EUR 22276 EN, Luxembourg (2006)

[REDACTED]: Produktkontrolle radioaktiver Abfälle - Schachtanlage Konrad - Stand: Dezember 1995. Bundesamt für Strahlenschutz, interner Bericht ET-IB-45-REV-3, Salzgitter, Dezember 1995

MCGINNES, D. F. (2002): Model Radioactive Waste Inventory for Reprocessing Waste and Spent Fuel. Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Technical Report 01-01, Wettingen, December 2002

NAGRA (1993): Endlager für kurzlebige schwach- und mittelaktive Abfälle (Endlager SMA) - Beurteilung der Langzeitsicherheit des Endlagers SMA am Standort Wellenberg (Gemeinde Wolfenschiessen, NW). Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Technischer Bericht 93-26, Wettingen, September 1993

NAGRA (1994a): Endlager für kurzlebige schwach- und mittelaktive Abfälle (Endlager SMA) - Bericht zur Langzeitsicherheit des Endlagers SMA am Standort Wellenberg (Gemeinde Wolfenschiessen, NW). Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Technischer Bericht 94-06, Wettingen, Juni 1994

NAGRA (2008a): Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager - Begründung der Abfallzuteilung, der Barrierensysteme und der Anforderungen an die Geologie - Bericht zur Sicherheit und technischen Machbarkeit. Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Technischer Bericht 08-05, Wettingen, Oktober 2008

NAGRA (2008b): Modellhaftes Inventar für radioaktive Materialien - MIRAM 08. Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Technischer Bericht 08-06, Wettingen, Juli 2008

NDA/DECC (2011): The 2010 UK Radioactive Waste Inventory - Main Report. Nuclear Decommissioning Authority/Department of Energy & Climate Change, Report URN 10D/985 - NDA/ST/STY(11)0004, Moor Row, February 2011

NDA/defra (2008): The 2007 UK Radioactive Waste Inventory - Main Report. Nuclear Decommissioning Authority/Department for Environment, Food and Rural Affairs, Report Defra/RAS/08.002 - NDA/RWMD/004, Moor Row, March 2008

Nirex (2004): The Identification of Radionuclides Relevant to Long-Term Waste Management in the United Kingdom. United Kingdom Nirex Limited, Nirex Report no. N/105, Harwell, November 2004

NMU (2002): Planfeststellungsbeschluss für die Errichtung und den Betrieb des Bergwerks Konrad in Salzgitter als Anlage zur Endlagerung fester oder verfestigter radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung vom 22. Mai 2002, Az.: 41-40326/3/10, Hannover, Mai 2002

OPG (2008a): OPG's Deep Geologic Repository for Low & Intermediate Level Waste - Conceptual Design Report. Ontario Power Generation, Report OPG 00216-REP-03902-00004-R01, Toronto, August 2008

OPG (2008b): OPG's Deep Geologic Repository for Low & Intermediate Level Waste - Reference Low and Intermediate Level Waste Inventory for the Deep Geologic Repository. Ontario Power Generation, Report OPG 00216-REP-03902-00003-R01 (Preliminary), Toronto, August 2008

PIEFKE, F. (1986): Berechnungen zur thermischen Einwirkung von schwach-wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen auf das Wirtsgestein in der Schachtanlage Konrad. Physikalisch-Technische Bundesanstalt, PTB-Bericht SE-10, Braunschweig, Februar 1986

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 69 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

PRINTZ, F. (2006): Schachanlage Konrad. Bundesamt für Strahlenschutz, Jahresbericht 2005, S. 45, Salzgitter (2006)

RIGGARE, P. & JOHANSSON, C. (2001): Project SAFE - Low and intermediate level waste in SFR-1 - Reference Waste Inventory. Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB Rapport R-01-03, Stockholm, Juni 2001

[REDACTED]: Erfassung und Kategorisierung von radioaktiven Abfällen aus der Stilllegung von Forschungsreaktoren. Wissenschaftlich-Technische Ingenieurberatung GmbH, Arbeitsbericht WTI/PTB/01/84 Rev. 1, Titz-Rödingen, Dezember 1984

SIEMENS (2011): Schreiben DP/WB-11/091 vom 17. Juni 2011

STEGMAIER, W. (1990): Einsatz des Buchführungssystems KADABRA. Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Bericht KfK 4726, Karlsruhe, Juli 1990

[REDACTED]: Liste der vom Deklarationsverfahren DERA eingeschlossenen Nuklide. E-Mail an [REDACTED] BfS. Forschungszentrum Jülich, 13. Dezember 2012

[REDACTED]: Stellungnahme zur Einlagerbarkeit von Cf-252 im geplanten Endlager für radioaktive Abfälle - Schachanlage Konrad -. E-Mail an [REDACTED] GNS. Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter, 16. Oktober 2006

[REDACTED]: Produktkontrolle radioaktiver Abfälle, radiologische Aspekte, - Endlager Konrad -, Stand: Oktober 2010. Bundesamt für Strahlenschutz, interner Bericht SE-IB-30/08-REV-1, Salzgitter, Oktober 2010

STRLSCHV (2001): Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 20. Juli 2001. Bundesgesetzblatt, Jahrgang 2001, Teil I, Nr. 38, S. 1714-1836

THOMAS, V. W., ROBERTSON, D. E. & THOMAS, C. W. (1993): Low-level Radioactive Waste from Nuclear Power Generating Stations: Characterization, Classification and Assessment of Activated Metals and Waste Streams. In: Post, R. G. (Ed.): WM '93 - Working Towards a Cleaner Environment- Waste Processing, Transportation, Storage and Disposal, Technical Programs and Public Education-Technology and Programs for Radioactive Waste Management and Environmental Restoration, Proceedings of the Symposium on Waste Management, Tucson, February 28 to March 04, 1993, Vol. 1, pages 391-394, WM Symposia Inc., Tucson (1993)

TÜV (1997): Endlager für radioaktive Abfälle, Schachanlage Konrad, Salzgitter - Gutachten, Teil 1: Standort, Bau- und Anlagentechnik (GK-SBA). TÜV Hannover/Sachsen-Anhalt e.V., Hannover, Juli 1997

TÜV (1998): Prüfbericht PK/222-09 ETR-Dr. ZI Einlagerung von 200-l-Fässern mit konditionierten Abfällen aus dem Kernkraftwerke Greifswald in das Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben - Kampagne KR 95.03, Sammeldatenblatt-Nr.: G1KGR044G08-025. TÜV Hannover/Sachsen-Anhalt e.V., Hannover, 10. Februar 1998

WAK (2011): Schreiben HDB-S1G2\_dko010 vom 05. April 2011

[REDACTED]: Anforderungen an Abfallgebinde aufgrund der thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins der Schachanlage Konrad: Berechnungen für weitere Radionuklide. Bundesamt für Strahlenschutz, interner Bericht ET-IB-76, Salzgitter, Januar 1995

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 70 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 71 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

## ANHÄNGE



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 72 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09,2013

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 73 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

Abfalldatenblatt Seite 1 von 3			
1	Behälter:	Kampagne:	Ablaufplan:
2	Ablieferer:	4	Konditionierer:
3	Anschrift:	5	Anschrift:
6	Konditionierungsverfahren:	8	Konditionierungsdatum:
9	Abfallart (Rohabfall):	10	Fixierungsmittel:
11	Abfallprodukt:	12	Abfallbehälter:
14	Innenbehälter:	15	Innenauskleidung:
16	Jährlicher Durchlässigkeitsfaktor des Abfallgebindes:		
17	Wassergeh./Restfeuchte %:	18	Konz.spaltb.Stoffe g/0,1m <sup>3</sup> :
19	Anreicherungsgrad U-233 %: ≤ 5 % <input type="checkbox"/>	20	Anreicherungsgrad U-235 %: ≤ 5 % <input type="checkbox"/>
21	Brennb. Abf. Smp. < 300°C %:	22	Pressdruck MPa:
23	Druckfestigkeit N/mm <sup>2</sup> :	24	Abfallproduktgruppe:
25	Abfallbehälterklasse:	26	Gesamt-α Bq/Geb.:
27	Gesamt-β/γ <sub>(inkl. Fe-55)</sub> Bq/Geb.:	28	Bezugsdat. Aktivitätsangaben:
31	Radionuklidspezifische Aktivitäten in Bq pro Abfallgebinde (** = Wert < Deklarationsgrenze)		
	α-Strahler		β/γ-Strahler
	Ra-224 Ra-226 Th-228 Th-230 Th-232 Pa-231 U-232 U-233 U-234 U-235 U-236 U-238 Np-237 Pu-238 Pu-239 Pu-240 Pu-242 Pu-244 Am-241 Am-243 Cm-242 Cm-243 Cm-244 Cm-245 Cm-246 Cm-247	Cm-248 Sonst-α	H-3 Be-10 C-14 Na-22 Cl-36 Ca-41 Mn-54 Fe-55 Fe-59 Co-58 Co-60 Ni-59 Ni-63 Zn-65 Se-79 Kr-85 Rb-87 Sr-90 Zr-93 Zr-95 Nb-94 Nb-95 Mo-93 Tc-99 Ru-103 Ru-106
			Pd-107 Ag-108m Ag-110m Cd-113m Sn-126 Sb-124 Sb-125 J-125 J-129 Cs-134 Cs-135 Cs-137 Ba-133 Ce-141 Sm-151 Eu-152 Eu-154 Eu-155 Ir-192 Pb-210 Ra-228 Ac-227 Ac-228 Pu-241 Am-242m Sonst-β/γ

Anhang 1: Abfalldatenblatt mit Radionukliden aus AVK 3.0 (GNS 2003).

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 74 von 100
NAAN 9KE	NNNNNNNNNN 2211	AAAA MAO	AA RE	NNNN 0001	NN 03	
						Stand: 15.09.2013

Abfalldatenblatt Seite 2 von 3						
1	Behälter:	Kampagne:			Ablaufplan:	
32	Ausschöpfung der Garantiewerte für bestimmungsgemäßen Betrieb:					
	H-3:	C-14:	Kr-85:		Ra-226:	
	J-129:	Sonstige $\alpha$ -Strahler <small>und Pu-241</small>			Sonstige $\beta/\gamma$ -Strahler <small>außer Pu-241</small>	
33	Faktor F:			34	Ss:	
35	Sw:			36	Sk:	
37	Ortsdosisleistung an der Oberfläche:					mSv/h
38	Ortsdosisleistung in 1 m Abstand:					mSv/h
39	Ortsdosisleistung in 2 m Abstand:					mSv/h
40	Neutronenanteil an der Ortsdosisleistung in 1 m bzw. 2 m Abstand:					mSv/h
	Datum:					
42	Kontamination Alpha:				Bq/cm <sup>2</sup>	
	Kontamination Beta/Gamma:				Bq/cm <sup>2</sup>	
	Datum:					
44	Masse des Abfallgebindes:					kg
	Masse des Abfalls:					kg
Bemerkungen:						
<p>Die Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle für die deklarierte Abfallproduktgruppe gemäß den "Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle - Endlager Konrad -" werden eingehalten. Wir versichern, dass die angegebenen Abfalldaten korrekt und vollständig sind.</p> <p>_____ Datum, Unterschrift</p> <p>Abfallableferer / Konditionierer, Ort</p>						
<p>Die Angaben wurden entsprechend den im Prüfbericht (Az: _____) aufgeführten Anforderungen überprüft. Das o.g. Gebinde genügt entsprechend den Festlegungen im Prüfbericht den Anforderungen für endzulagernde Abfallgebände - Endlager Konrad -.</p> <p>_____ Datum, Unterschrift</p> <p>Produktkontrolle, Ort</p>						
<p>BfS-Stellungnahme zur Endlagerfähigkeit: Die Abfallprodukte/Abfallgebände erfüllen die Endlagerungsbedingungen (ETB-IB-79, Stand: Dez. 95) entsprechend dem Schreiben _____ des BfS vom _____.</p> <p>_____ Datum, Unterschrift</p>						

Anhang 1: Abfalldatenblatt mit Radionukliden aus AVK 3.0 (GNS 2003).  
(Fortsetzung)

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 75 von 100
NAAN 9KE	NNNNNNNNNN 2211	AAAA MAO	AA RE	NNNN 0001	NN 03		Stand: 15.09.2013

Abfalldatenblatt Seite 3 von 3		
1	Behälter:	Kampagne:
Ablaufplan:		
<p><b>LEGENDE</b></p> <p>Pkt. 5: ausgeführtes Konditionierungsverfahren</p> <p>Code            Bezeichnung</p> <hr/> <p>Pkt. 9: Abfallart (Rohabfall)</p> <p>Code            Bezeichnung</p> <hr/> <p>Pkt. 11: Abfallprodukt</p> <p>Code            Bezeichnung</p> <hr/> <p>Pkt. 12: Abfallbehälter</p> <p>Code            Bezeichnung</p> <hr/>		

Anhang 1: Abfalldatenblatt mit Radionukliden aus AVK 3.0 (GNS 2003).  
(Fortsetzung)

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 76 von 100
NAAN 9KE	NNNNNNNNNN 2211	AAAA MAO	AA RE	NNNN 0001	NN 03	
						Stand: 15.09.2013

Beta/Gamma-Strahler				
Ac-227	Cl-36	Lu-174	Pu-241	Sr-89
Ac-228	Co-56	Mn-54	Pu-243	Sr-90
Ag-108	Co-57	Mo-93	Pu-246	Ta-179
Ag-108m	Co-58	Na-22	Ra-225	Ta-182
Ag-110	Co-60	Na-24	Ra-228	Tb-160
Ag-110m	Cr-51	Nb-95	Rb-83	Tc-99
Al-26	Cs-134	Nb-93m	Rb-84	Tc-95m
Am-242	Cs-135	Nb-94	Rb-86	Te-123
Am-244	Cs-137	Nb-95m	Rb-87	Te-125m
Am-244m	Eu-152	Nd-147	Re-186	Te-123m
Am-246m	Eu-154	Ni-59	Rh-101	Te-127m
Ar-39	Eu-155	Ni-63	Rh-102	Th-231
Ba-133	Fe-55	Np-236	Rh-102m	Th-234
Ba-137m	Fe-59	Np-238	Rh-106	Ti-44
Ba-140	Fr-223	Np-239	Ru-103	Tl-204
Be-7	Ge-68	Np-240	Ru-106	Tl-207
Be-10	Gd-153	Np-240m	S-35	Tl-208
Bi-207	H-3	P-32	Sb-122	Tl-209
Bi-210	Hf-175	P-33	Sb-124	Tm-170
Bi-213	Hf-181	Pa-233	Sb-125	U-240
Bi-214	Hg-203	Pa-234	Sb-126	U-237
Bk-250	Ho-166m	Pa-234m	Sc-44	V-48
Br-82	I-125	Pb-209	Sc-44m	V-49
C-14	I-129	Pb-210	Sc-46	W-181
Ca-45	I-131	Pb-211	Se-75	W-185
Ca-41	In-111	Pb-212	Se-79	Y-88
Cd-109	In-114m	Pb-214	Sm-151	Y-90
Cd-113	Ir-192	Pd-107	Sn-126	Y-91
Cd-113m	Ir-195	Pm-145	Sn-113	Yb-169
Cd-115m	Ir-195m	Pm-146	Sn-119m	Zn-65
Ce-139	K-40	Pm-147	Sn-121m	Zr-93
Ce-141	Kr-85	Pr-144	Sn-123	Zr-95
Ce-144	La-140	Pr-144m	Sr-85	
Alpha-Strahler				
Ac-225	Cm-242	Po-208	Pu-240	Th-228
Am-241	Cm-243	Po-210	Pu-242	Th-229
Am-242m	Cm-244	Po-211	Pu-244	Th-230
Am-243	Cm-245	Po-212	Ra-223	Th-232
At-217	Cm-246	Po-213	Ra-224	Th-227
Bi-211	Cm-247	Po-214	Ra-226	U-232
Bi-212	Cm-248	Po-215	Ra-226f	U-233
Cf-249	Cm-250	Po-216	Ra-226u	U-234
Cf-250	Fr-221	Po-218	Rn-219	U-235
Cf-251	Es-254	Pu-236	Rn-220	U-236
Cf-252	Np-237	Pu-238	Rn-222	U-238
Cf-254	Pa-231	Pu-239		

Anhang 2: Radionuklidumfang eines modernen ReVK-Systems (ISTec 2007).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 77 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

Nuklid	alpha- (A) oder beta / gamma- (B) Strahler	Leitnuklid	Eram	Konrad	Halbwertszeit in Sekunden	Spezifische Aktivität in Bq/g
AC-225	A				8,64E+05	2,15E+15
AC-227	B	L	E	K	6,87E+08	2,68E+12
AC-228	B	L	E		2,21E+04	8,28E+16
AG-108	B				1,45E+02	2,67E+19
AG-108M	B	L	E	K	1,32E+10	2,93E+11
AG-109M	B				3,96E+01	9,67E+19
AG-110	B				2,46E+01	1,54E+20
AG-110M	B				2,16E+07	1,76E+14
AG-111	B				6,44E+05	5,84E+15
AL-26	B	L	E		2,26E+13	7,10E+08
AM-241	A	L	E	K	1,36E+10	1,27E+11
AM-242	B				5,76E+04	2,99E+16
AM-242M	B	L	E	K	4,45E+09	3,88E+11
AM-243	A	L	E	K	2,32E+11	7,40E+09
AM-244	B				3,64E+04	4,70E+16
AM-245	B				7,38E+03	2,31E+17
AM-246M	B				1,50E+03	1,13E+18
AR-37	B				3,02E+06	3,74E+15
AR-39	B	L		K	8,48E+09	1,26E+12
AS-73	B				6,94E+06	8,24E+14
AT-217	A				3,23E-02	5,96E+22
AT-218	A				2,00E+00	9,57E+20
AT-219	A				5,40E+01	3,53E+19
AU-195	B				1,61E+07	1,33E+14
BA-133	B	L	E		3,31E+08	9,48E+12
BA-136M	B				3,06E-01	1,00E+22
BA-137M	B				1,53E+02	1,99E+19
BA-140	B				1,10E+06	2,71E+15
BE-10	B	L		K	5,05E+13	8,27E+08
BE-7	B				4,60E+06	1,30E+16
BI-205	B				1,32E+06	1,54E+15
BI-207	B				9,95E+08	2,03E+12
BI-208	B				1,16E+13	1,73E+08
BI-210	B				4,33E+05	4,59E+15
BI-210M	A				9,46E+13	2,10E+07
BI-211	A				1,30E+02	1,52E+19
BI-212	A				3,64E+03	5,41E+17
BI-213	B				2,74E+03	7,15E+17
BI-214	B				1,19E+03	1,64E+18
BI-215	B				4,56E+02	4,26E+18
BK-249	B				2,76E+07	6,07E+13
BK-250	B				1,16E+04	1,44E+17
BR-82	B				1,27E+05	4,01E+16

Anhang 3: Radionuklidtabelle aus KADABRA (TH23), Stand: 20. März 2008 (FZK-HDB 2008).

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 78 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

C-14	B	L	E	K	1,81E+11	1,65E+11
CA-41	B	L	E	K	3,25E+12	3,13E+09
CA-45	B				1,41E+07	6,58E+14
CA-47	B				3,92E+05	2,27E+16
CD-109	B				4,00E+07	9,57E+13
CD-111M	B				2,94E+03	1,28E+18
CD-113	B				2,84E+23	1,30E-02
CD-113M	B	L	E	K	4,60E+08	8,03E+12
CD-115M	B				3,87E+06	9,38E+14
CE-139	B				1,19E+07	2,52E+14
CE-141	B				2,81E+06	1,05E+15
CE-142	A				1,58E+24	0,00E+00
CE-144	B				2,46E+07	1,18E+14
CF-248	A				2,88E+07	5,84E+13
CF-249	A	L	E	K	1,11E+10	1,51E+11
CF-250	A				4,12E+08	4,05E+12
CF-251	A	L	E	K	2,83E+10	5,88E+10
CF-252	A	L	E		8,34E+07	1,99E+13
CF-253	B				1,54E+06	1,07E+15
CF-254	A	L	E		5,23E+06	3,14E+14
CL-36	B	L	E	K	9,46E+12	1,23E+09
CM-241	B				2,83E+06	6,12E+14
CM-242	A				1,41E+07	1,22E+14
CM-243	A	L		K	9,18E+08	1,87E+12
CM-244	A	L	E	K	5,71E+08	3,00E+12
CM-245	A	L	E	K	2,68E+11	6,36E+09
CM-246	A	L	E	K	1,49E+11	1,14E+10
CM-247	A	L	E	K	4,92E+14	3,43E+06
CM-248	A	L	E	K	1,07E+13	1,57E+08
CM-249	B				3,84E+03	4,37E+17
CM-250	A	L	E		3,06E+11	5,46E+09
CO-56	B				6,68E+06	1,12E+15
CO-57	B				2,35E+07	3,12E+14
CO-58	B				6,12E+06	1,18E+15
CO-60	B	L	E	K	1,66E+08	4,19E+13
CR-51	B				2,39E+06	3,42E+15
CS-132	B				5,59E+05	5,66E+15
CS-134	B	L	E		6,50E+07	4,79E+13
CS-135	B	L	E		6,31E+13	4,90E+07
CS-136	B				1,14E+06	2,69E+15
CS-137	B	L	E	K	9,51E+08	3,20E+12
ER-169	B				8,12E+05	3,04E+15
ES-253	A				1,77E+06	9,32E+14
ES-254	A				2,38E+07	6,91E+13
EU-150	B				1,16E+09	2,40E+12
EU-152	B	L	E	K	4,20E+08	6,54E+12

Anhang 3: Radionuklidtabelle aus KADABRA (TH23), Stand: 20. März 2008 (FZK-HDB 2008).  
(Fortsetzung)

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 79 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

EU-154	B	L	E			2,78E+08	9,75E+12
EU-155	B	L	E			1,50E+08	1,80E+13
EU-156	B					1,31E+06	2,04E+15
FE-55	B	L	E	K		8,61E+07	8,81E+13
FE-59	B					3,85E+06	1,84E+15
FR-221	A					2,94E+02	6,42E+18
FR-223	B					1,31E+03	1,43E+18
GA-68	B					4,06E+03	1,51E+18
GD-152	A					3,47E+21	7,91E-01
GD-153	B					2,07E+07	1,32E+14
GE-68	B					2,34E+07	2,62E+14
GE-73M	B					5,00E-01	1,14E+22
H-3	B	L	E	K		3,89E+08	3,58E+14
HF-172	B					5,90E+07	4,11E+13
HF-174	A					6,31E+22	3,80E-02
HF-175	B					6,05E+06	3,94E+14
HF-178M	B					9,78E+08	2,40E+12
HF-179M	B					1,87E+01	1,25E+20
HF-181	B					3,66E+06	6,30E+14
HG-203	B					4,03E+06	5,10E+14
HO-166M	B	L	E			3,78E+10	6,65E+10
IN-111	B					2,40E+05	1,57E+16
IN-114M	B					4,28E+06	8,56E+14
IN-115	B					1,39E+22	2,61E-01
IR-192	B	L	E			6,38E+06	3,41E+14
IR-195	B					1,50E+02	1,43E+19
J-125	B	L	E	K		5,13E+06	6,51E+14
J-129	B	L	E	K		4,95E+14	6,54E+06
J-131	B					6,93E+05	4,60E+15
K-40	B	L	E			4,04E+16	2,58E+05
KR-81	B					7,25E+12	7,11E+08
KR-85	B	L	E	K		3,39E+08	1,45E+13
LA-140	B					1,45E+05	2,06E+16
LU-172	B					5,76E+05	4,21E+15
LU-173	B					4,32E+07	5,59E+13
LU-174	B					1,04E+08	2,31E+13
MN-52	B					4,84E+05	1,66E+16
MN-53	B					1,17E+14	6,73E+07
MN-54	B	L	E			2,70E+07	2,86E+14
MO-93	B	L	E			1,10E+11	4,08E+10
MO-99	B					2,38E+05	0,00E+00
NA-22	B	L	E	K		8,21E+07	2,31E+14
NB-92	B					1,14E+15	3,98E+06
NB-92M	B					8,77E+05	5,17E+15
NB-93M	B					5,09E+08	8,82E+12
NB-94	B	L	E	K		6,31E+11	7,04E+09
NB-95	B	L	E			3,02E+06	1,45E+15

Anhang 3: Radionuklidtabelle aus KADABRA (TH23), Stand: 20. März 2008 (FZK-HDB 2008).  
(Fortsetzung)

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 80 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

NB-95M	B					3,12E+05	1,41E+16
ND-144	A					7,22E+22	4,01E-02
ND-147	B					9,49E+05	2,99E+15
NI-59	B	L	E			2,37E+12	2,99E+09
NI-63	B	L	E	K		3,15E+09	2,10E+12
NP-235	B					3,42E+07	5,19E+13
NP-236	B	L	E			4,86E+12	3,64E+08
NP-237	A	L	E	K		6,76E+13	2,61E+07
NP-238	B					1,83E+05	9,58E+15
NP-239	B					2,03E+05	8,60E+15
NP-240M	B					4,33E+02	4,02E+18
OS-186	A					6,31E+22	3,56E-02
P-32	B					1,23E+06	1,06E+16
P-33	B					2,19E+06	5,78E+15
PA-231	A	L	E	K		1,03E+12	1,75E+09
PA-232	B					1,13E+05	1,59E+16
PA-233	B					2,33E+06	7,69E+14
PA-234	B					2,41E+04	7,40E+16
PA-234M	B					7,02E+01	2,54E+19
PB-205	B					4,73E+14	4,30E+06
PB-209	B					1,17E+04	1,71E+17
PB-210	B	L	E	K		7,03E+08	2,83E+12
PB-211	B					2,17E+03	9,12E+17
PB-212	B					3,83E+04	5,14E+16
PB-214	B					1,61E+03	1,21E+18
PD-107	B	L	E			2,05E+14	1,90E+07
PM-144	B					3,15E+07	9,20E+13
PM-145	B					5,58E+08	5,16E+12
PM-146	B					1,74E+08	1,64E+13
PM-147	B					8,26E+07	3,44E+13
PM-148	B					4,64E+05	6,08E+15
PM-148M	B					3,57E+06	7,90E+14
PO-208	A					9,14E+07	2,20E+13
PO-210	A					1,20E+07	1,66E+14
PO-211	A					5,16E-01	3,83E+21
PO-212	A					3,00E-07	6,56E+27
PO-213	A					4,20E-06	4,67E+26
PO-214	A					1,64E-04	1,19E+25
PO-215	A					1,78E-03	1,09E+24
PO-216	A					1,50E-01	1,29E+22
PO-218	A					1,83E+02	1,05E+19
PR-143	B					1,17E+06	2,49E+15
PR-144	B					1,04E+03	2,79E+18
PR-144M	B					4,32E+02	6,71E+18
PT-193	B					1,58E+09	1,37E+12
PU-236	A					9,01E+07	1,96E+13
PU-237	B					3,91E+06	4,50E+14

Anhang 3: Radionuklidtabelle aus KADABRA (TH23), Stand: 20. März 2008 (FZK-HDB 2008).  
(Fortsetzung)

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 81 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

PU-238	A	L		K	2,77E+09	6,33E+11
PU-239	A	L	E	K	7,60E+11	2,30E+09
PU-240	A	L	E		2,07E+11	8,40E+09
PU-241	B	L	E	K	4,53E+08	3,82E+12
PU-242	A	L	E		1,18E+13	1,46E+08
PU-243	B				1,78E+04	9,65E+16
PU-244	A	L	E	K	2,52E+15	6,79E+05
PU-246	B				9,37E+05	1,81E+15
RA-223	A				9,88E+05	1,89E+15
RA-224	A	L	E		3,16E+05	5,90E+15
RA-225	B				1,28E+06	1,45E+15
RA-226	A	L	E	K	5,05E+10	3,66E+10
RA-228	B	L	E	K	1,81E+08	1,01E+13
RB-82	B				7,62E+01	6,68E+19
RB-83	B				7,45E+06	6,75E+14
RB-84	B				2,83E+06	1,76E+15
RB-86	B				1,62E+06	3,00E+15
RB-87	B	L	E	K	1,51E+18	3,18E+03
RE-183	B				6,13E+06	3,72E+14
RE-186	B				3,21E+05	6,99E+15
RE-186M	B				6,31E+12	3,56E+08
RH-101	B				1,04E+08	3,97E+13
RH-102	B				1,79E+07	2,29E+14
RH-102M	B				9,15E+07	4,47E+13
RH-103M	B				3,40E+03	1,19E+18
RH-106	B				3,00E+01	1,31E+20
RN-217	A				5,40E-04	3,56E+24
RN-218	A				3,50E-02	5,47E+22
RN-219	A				3,96E+00	4,81E+20
RN-220	A				5,56E+01	3,41E+19
RN-222	A				3,30E+05	5,70E+15
RU-103	B				3,40E+06	1,19E+15
RU-106	B				3,23E+07	1,22E+14
S-35	B				7,56E+06	1,58E+15
SB-120M	B				4,98E+05	6,98E+15
SB-122	B				2,33E+05	1,47E+16
SB-124	B				5,21E+06	6,46E+14
SB-125	B				8,74E+07	3,82E+13
SB-126	B				1,07E+06	3,10E+15
SB-126M	B				1,14E+03	2,91E+18
SB-127	B				3,33E+05	9,87E+15
SC-44	B				1,41E+04	6,73E+17
SC-46	B				7,24E+06	1,25E+15
SC-47	B				2,89E+05	3,07E+16
SC-48	B				1,57E+05	5,54E+16
SE-75	B				1,03E+07	5,40E+14
SE-79	B	L	E	K	2,05E+12	2,58E+09
SI-32	B				5,04E+09	2,59E+12

Anhang 3: Radionuklidtabelle aus KADABRA (TH23), Stand: 20. März 2008 (FZK-HDB 2008).  
(Fortsetzung)



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 82 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

SM-145	B					2,94E+07	9,79E+13
SM-146	A					3,25E+15	8,80E+05
SM-147	A					3,34E+18	8,50E+02
SM-148	A					2,21E+23	1,28E-02
SM-151	B	L	E			2,93E+09	9,43E+11
SN-113	B					9,94E+06	3,72E+14
SN-117M	B					1,18E+06	3,02E+15
SN-119M	B					2,53E+07	1,39E+14
SN-121M	B					1,58E+09	2,18E+12
SN-123	B					1,12E+07	3,03E+14
SN-125	B					8,33E+05	4,01E+15
SN-126	B	L	E	K		3,15E+12	1,05E+09
SR-82	B					2,19E+06	2,32E+15
SR-85	B					5,61E+06	8,75E+14
SR-89	B					4,36E+06	1,08E+15
SR-90	B	L	E	K		9,03E+08	5,14E+12
TA-179	B					5,75E+07	4,06E+13
TA-180	B					2,93E+04	0,00E+00
TA-182	B					9,89E+06	2,32E+14
TA-183	B					4,32E+05	0,00E+00
TB-160	B					6,25E+06	4,17E+14
TB-161	B					5,96E+05	4,35E+15
TC-95M	B					5,18E+06	8,48E+14
TC-97	B					1,26E+14	3,42E+07
TC-98	B					1,32E+14	3,23E+07
TC-99	B	L	E			6,62E+12	6,37E+08
TE-121M	B					1,33E+07	2,59E+14
TE-123	B					3,91E+20	8,68E+00
TE-123M	B					1,03E+07	3,29E+14
TE-125M	B					4,96E+06	6,73E+14
TE-127	B					3,37E+04	9,75E+16
TE-127M	B					9,42E+06	3,49E+14
TE-129	B					4,20E+03	7,70E+17
TE-129M	B					2,90E+06	1,12E+15
TH-227	A					1,62E+06	1,14E+15
TH-228	A	L	E	K		6,03E+07	3,04E+13
TH-229	A	L	E			2,49E+11	7,32E+09
TH-230	A	L	E	K		2,38E+12	7,63E+08
TH-231	B					9,18E+04	1,97E+16
TH-232	A	L	E	K		4,43E+17	4,06E+03
TH-234	B					2,08E+06	8,58E+14
TI-44	B					1,49E+09	6,37E+12
TL-204	B					1,19E+08	1,72E+13
TL-206	B					2,52E+02	8,04E+18
TL-207	B					2,86E+02	7,05E+18
TL-208	B					1,83E+02	1,10E+19
TL-209	B					1,30E+02	1,54E+19
TL-210	B					7,80E+01	2,55E+19

Anhang 3: Radionuklidtabelle aus KADABRA (TH23), Stand: 20. März 2008 (FZK-HDB 2008).  
(Fortsetzung)

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 83 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

TM-170	B					1,11E+07	2,21E+14
TM-171	B					6,05E+07	4,03E+13
U-232	A	L		E	K	2,17E+09	8,29E+11
U-233	A	L		E	K	5,02E+12	3,57E+08
U-234	A	L		E	K	7,74E+12	2,30E+08
U-235	A	L		E	K	2,22E+16	8,00E+04
U-236	A	L		E	K	7,39E+14	2,39E+06
U-237	B					5,83E+05	3,02E+15
U-238	A	L		E	K	1,41E+17	1,24E+04
U-240	B					5,08E+04	3,42E+16
V-48	B					1,38E+06	6,30E+15
V-49	B					2,85E+07	2,99E+14
V-50	B					4,42E+24	0,00E+00
W-181	B					1,05E+07	2,20E+14
W-185	B					6,49E+06	3,48E+14
XE-131M	B					1,03E+06	3,09E+15
Y-88	B					9,21E+06	5,15E+14
Y-90	B					2,31E+05	2,01E+16
Y-91	B					5,05E+06	9,08E+14
YB-169	B					2,76E+06	8,95E+14
ZN-65	B					2,11E+07	3,04E+14
ZR-93	B	L		E		4,73E+13	9,49E+07
ZR-95	B	L		E		5,53E+06	7,95E+14

Anhang 3: Radionuklidtabelle aus KADABRA (TH23), Stand: 20. März 2008 (FZK-HDB 2008).  
(Fortsetzung)

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 84 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

$\alpha$ -Strahler:

$\beta,\gamma$ -Strahler:

Nuklid

Nuklid

Am 241	Ac 227
Am 243	Ac 228
Cf 249	Ag 108m
Cf 251	Al 26
Cf 252	Am 242m
Cf 254	Ba 133
Cm 242	C 14
Cm 244	Ca 41
Cm 245	Cd 113m
Cm 246	Cl 36
Cm 247	Co 60
Cm 248	Cs 134
Cm 250	Cs 135
Np 237	Cs 137
Pa 231	Eu 152
Pu 239	Eu 154
Pu 240	Eu 155
Pu 242	Fe 55
Pu 244	H 3
Ra 224	Ho 166m
Ra 226	I 125
Th 228	I 129
Th 229	K 40
Th 230	Mn 54
Th 232	Mo 93
U 232	Na 22
U 233	Nb 94
U 234	Nb 95
U 235	Ni 59
U 236	Ni 63
U 238	Np 236
Pu 238	Pb 210
	Pd 107
$\Sigma$ Restl. $\alpha$	Pu 241
	Ra 228
	Rb 87
	Se 79
	Sm 151
	Sn 126

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 85 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

Sr 90

Tc 99

Zr 93

Zr 95

$\Sigma$  Restl.  $\beta$

Zusätzlich angegebene oder analysierte Aktivitäten anderer Nuklide werden angefügt.

Anhang 4: Radionuklidliste zum Programm DERA ( XXXXXXXXXX )  
 (Fortsetzung)

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 86 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

Radionuklid / Radionuklidgruppe	Abfallbehälterklasse I						Abfallbehälterklasse II
	Abfallproduktgruppe						Abfallproduktgruppe
	01	02	03	04	05	06	
I-129	4,3E+08	4,3E+08	4,3E+08	4,3E+08	4,3E+08	4,3E+08	1,1E+10
Cl-36	6,0E+09	6,0E+09	6,0E+09	6,0E+09	6,0E+09	6,0E+09	1,4E+11
I-125	2,1E+10	2,1E+10	2,1E+10	2,1E+10	2,1E+10	2,1E+10	5,1E+11
Ac-227	5,1E+07	2,6E+09	6,4E+09	1,6E+10	5,1E+10	5,1E+10	1,3E+12
Pb-210	1,4E+08	5,0E+09	1,7E+10	4,3E+10	1,4E+11	1,4E+11	3,4E+12
Se-79	7,0E+08	2,4E+10	8,7E+10	2,1E+11	7,0E+11	7,0E+11	1,7E+13
Sn-126	7,3E+08	2,6E+10	9,1E+10	2,1E+11	7,3E+11	7,3E+11	1,9E+13
Cd-113m	7,3E+08	2,6E+10	9,1E+10	2,1E+11	7,3E+11	7,3E+11	1,9E+13
Ra-228	7,3E+08	2,7E+10	9,1E+10	2,1E+11	7,3E+11	7,3E+11	1,9E+13
Sr-90	8,6E+08	3,0E+10	1,1E+11	2,7E+11	8,6E+11	8,6E+11	2,1E+13
Ag-108m	9,6E+08	3,4E+10	1,2E+11	3,0E+11	9,6E+11	9,6E+11	2,3E+13
Am-242m	7,0E+08	3,6E+10	8,7E+10	2,1E+11	7,0E+11	7,0E+11	1,7E+13
Nb-94	1,1E+09	3,9E+10	1,4E+11	3,6E+11	1,1E+12	1,1E+12	2,7E+13
Na-22	2,3E+09	8,0E+10	2,9E+11	7,3E+11	2,3E+12	2,3E+12	5,7E+13
Rb-87	3,4E+09	1,2E+11	4,1E+11	1,1E+12	3,4E+12	3,4E+12	8,4E+13
Eu-152	4,4E+09	1,6E+11	5,4E+11	1,4E+12	4,4E+12	4,4E+12	1,1E+14
Co-60	5,0E+09	1,7E+11	6,1E+11	1,6E+12	5,0E+12	5,0E+12	1,2E+14
Cs-137	5,1E+09	1,9E+11	6,4E+11	1,7E+12	5,1E+12	5,1E+12	1,3E+14
Ra-226	6,3E+07	2,1E+09	7,9E+09	2,0E+10	6,3E+10	6,3E+10	1,6E+12
Pa-231	6,0E+07	3,0E+09	7,4E+09	1,9E+10	6,0E+10	6,0E+10	1,4E+12
Th-232	1,4E+08	5,1E+09	1,7E+10	4,3E+10	1,4E+11	1,4E+11	3,4E+12
Cm-248	1,3E+08	6,4E+09	1,6E+10	4,0E+10	1,3E+11	1,3E+11	3,3E+12
Np-237	2,1E+08	7,9E+09	2,7E+10	6,9E+10	2,1E+11	2,1E+11	5,4E+12
U-232	3,1E+08	1,6E+10	4,0E+10	9,9E+10	3,1E+11	3,1E+11	7,9E+12
Th-228	7,0E+08	3,6E+10	8,7E+10	2,1E+11	7,0E+11	7,0E+11	1,7E+13
Cm-245	7,3E+08	3,6E+10	9,1E+10	2,1E+11	7,3E+11	7,3E+11	1,9E+13
Cm-246	7,6E+08	3,7E+10	9,3E+10	2,3E+11	7,6E+11	7,6E+11	1,9E+13
Am-243	7,6E+08	3,7E+10	9,3E+10	2,3E+11	7,6E+11	7,6E+11	1,9E+13
Am-241	7,6E+08	3,7E+10	9,3E+10	2,3E+11	7,6E+11	7,6E+11	1,9E+13
Pu-239	8,3E+08	4,1E+10	1,0E+11	2,6E+11	8,3E+11	8,3E+11	2,1E+13
Sonstige $\alpha$ -Strahler	8,3E+08	4,1E+10	1,0E+11	2,6E+11	8,3E+11	8,3E+11	2,1E+13
Sonstige $\beta/\gamma$ -Strahler	5,1E+09	1,9E+11	6,4E+11	1,7E+12	5,1E+12	5,1E+12	1,3E+14

Anhang 5: Aktivitätsgrenzwerte für Leitnuklide und nicht spezifizierte sonstige  $\alpha$ - und  $\beta/\gamma$ -Strahler, die aus der Störfallanalyse resultieren. Angaben in Bq pro Abfallgebinde (BRENNECKE 1995).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 87 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

Radionuklid / Radionuklidgruppe	Betonbehälter		Gußbehälter			
	Typ I	Typ II	Typ I	Typ II	Typ II *)	Typ III
Th-232	6,8E+09	7,4E+09	4,3E+09	7,4E+09	6,8E+09	5,8E+09
U-235	7,4E+09	8,1E+09	4,7E+09	8,1E+09	7,4E+09	6,3E+09
U-233	9,0E+09	9,8E+09	5,7E+09	9,8E+09	9,0E+09	7,7E+09
Th-230	9,7E+09	1,1E+10	6,1E+09	1,1E+10	9,7E+09	8,3E+09
Pa-231	1,0E+10	1,1E+10	6,5E+09	1,1E+10	1,0E+10	8,7E+09
U-234	1,3E+10	1,4E+10	8,3E+09	1,4E+10	1,3E+10	1,1E+10
Cm-248	1,5E+10	1,7E+10	9,7E+09	1,7E+10	1,5E+10	1,3E+10
Np-237	1,7E+10	1,8E+10	1,1E+10	1,8E+10	1,7E+10	1,4E+10
Cm-247	1,8E+10	1,9E+10	1,1E+10	1,9E+10	1,8E+10	1,5E+10
Pu-244	2,4E+10	2,6E+10	1,5E+10	2,6E+10	2,4E+10	2,0E+10
Ra-226	2,4E+10	2,6E+10	1,5E+10	2,6E+10	2,4E+10	2,0E+10
U-238	2,7E+10	2,9E+10	1,7E+10	2,9E+10	2,7E+10	2,3E+10
Cm-245	4,6E+10	5,0E+10	2,9E+10	5,0E+10	4,6E+10	3,9E+10
Ac-227	1,3E+11	1,4E+11	8,1E+10	1,4E+11	1,3E+11	1,1E+11
Am-242m	1,8E+11	2,0E+11	1,2E+11	2,0E+11	1,8E+11	1,6E+11
Ra-228	1,9E+11	2,1E+11	1,2E+11	2,1E+11	1,9E+11	1,6E+11
Nb-94	2,5E+11	2,8E+11	1,6E+11	2,8E+11	2,5E+11	2,2E+11
Pu-238	4,5E+11	4,9E+11	2,8E+11	4,9E+11	4,5E+11	3,8E+11
Pb-210	7,5E+11	8,1E+11	4,7E+11	8,1E+11	7,5E+11	6,4E+11
Ca-41	8,5E+11	9,2E+11	5,4E+11	9,2E+11	8,5E+11	7,2E+11
Ag-108m	1,3E+12	1,4E+12	8,3E+11	1,4E+12	1,3E+12	1,1E+12
Cl-36	1,3E+12	1,4E+12	8,3E+11	1,4E+12	1,3E+12	1,1E+12
Be-10	1,3E+12	1,4E+12	8,3E+11	1,4E+12	1,3E+12	1,1E+12
Sn-126	1,7E+12	1,8E+12	1,1E+12	1,8E+12	1,7E+12	1,4E+12
Rb-87	1,9E+12	2,1E+12	1,2E+12	2,1E+12	1,9E+12	1,6E+12
Co-60	2,6E+12	2,9E+12	1,7E+12	2,9E+12	2,6E+12	2,2E+12
Ar-39	2,7E+12	2,9E+12	1,7E+12	2,9E+12	2,7E+12	2,3E+12
Cs-137	4,5E+12	4,9E+12	2,8E+12	4,9E+12	4,5E+12	3,8E+12
Ni-63	3,8E+13	4,1E+13	2,4E+13	4,1E+13	3,8E+13	3,2E+13
Fe-55	1,5E+15	1,6E+15	9,4E+14	1,6E+15	1,5E+15	1,3E+15
sonstige $\alpha$ -Strahler	6,2E+10	6,8E+10	4,0E+10	6,8E+10	6,2E+10	5,3E+10
sonstige $\beta$ - $\gamma$ -Strahler	3,4E+12	3,7E+12	2,1E+12	3,7E+12	3,4E+12	2,9E+12

Anhang 6: Aktivitätswerte für Leitnuklide und nicht spezifizierte sonstige  $\alpha$ - und  $\beta$ - $\gamma$ -Strahler, die aus der Analyse zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren. Angaben in Bq pro Abfallgebinde (BRENNECKE 1995).

\*) Typ KfK

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 88 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 15.09.2013
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		

Radionuklid / Radionuklidgruppe	Container					
	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV	Typ V	Typ VI
Th-232	2,0E+10	2,2E+10	4,8E+10	4,0E+10	5,6E+10	2,8E+10
U-235	2,2E+10	2,4E+10	5,3E+10	4,4E+10	6,2E+10	3,1E+10
U-233	2,7E+10	2,9E+10	6,4E+10	5,3E+10	7,5E+10	3,7E+10
Th-230	2,9E+10	3,1E+10	6,9E+10	5,7E+10	8,0E+10	4,0E+10
Pa-231	3,0E+10	3,3E+10	7,2E+10	6,0E+10	8,4E+10	4,2E+10
U-234	3,9E+10	4,2E+10	9,3E+10	7,7E+10	1,1E+11	5,4E+10
Cm-248	4,5E+10	5,0E+10	1,1E+11	9,1E+10	1,3E+11	6,3E+10
Np-237	5,0E+10	5,4E+10	1,2E+11	9,9E+10	1,4E+11	7,0E+10
Cm-247	5,3E+10	5,8E+10	1,3E+11	1,1E+11	1,5E+11	7,4E+10
Pu-244	7,0E+10	7,7E+10	1,7E+11	1,4E+11	2,0E+11	9,8E+10
Ra-226	7,1E+10	7,8E+10	1,7E+11	1,4E+11	2,0E+11	9,9E+10
U-238	7,8E+10	8,6E+10	1,9E+11	1,6E+11	2,2E+11	1,1E+11
Cm-245	1,3E+11	1,5E+11	3,2E+11	2,7E+11	3,8E+11	1,9E+11
Ac-227	3,8E+11	4,1E+11	9,1E+11	7,6E+11	1,1E+12	5,3E+11
Am-242m	5,4E+11	5,9E+11	1,3E+12	1,1E+12	1,5E+12	7,6E+11
Ra-228	5,6E+11	6,1E+11	1,3E+12	1,1E+12	1,6E+12	7,8E+11
Nb-94	7,5E+11	8,2E+11	1,8E+12	1,5E+12	2,1E+12	1,1E+12
Pu-238	1,3E+12	1,5E+12	3,2E+12	2,7E+12	3,7E+12	1,9E+12
Pb-210	2,2E+12	2,4E+12	5,3E+12	4,4E+12	6,2E+12	3,1E+12
Ca-41	2,5E+12	2,7E+12	6,0E+12	5,0E+12	7,0E+12	3,5E+12
Ag-108m	3,9E+12	4,2E+12	9,3E+12	7,8E+12	1,1E+13	5,4E+12
Cl-36	3,9E+12	4,2E+12	9,3E+12	7,8E+12	1,1E+13	5,4E+12
Be-10	3,9E+12	4,3E+12	9,3E+12	7,8E+12	1,1E+13	5,5E+12
Sn-126	5,0E+12	5,4E+12	1,2E+13	1,0E+13	1,4E+13	7,0E+12
Rb-87	5,6E+12	6,1E+12	1,3E+13	1,1E+13	1,6E+13	7,8E+12
Co-60	7,8E+12	8,5E+12	1,9E+13	1,6E+13	2,2E+13	1,1E+13
Ar-39	8,0E+12	8,7E+12	1,9E+13	1,6E+13	2,2E+13	1,1E+13
Cs-137	1,3E+13	1,4E+13	3,2E+13	2,6E+13	3,7E+13	1,8E+13
Ni-63	1,1E+14	1,2E+14	2,7E+14	2,2E+14	3,1E+14	1,6E+14
Fe-55	4,4E+15	4,8E+15	1,1E+16	8,8E+15	1,2E+16	6,2E+15
sonstige $\alpha$ -Strahler	1,8E+11	2,0E+11	4,4E+11	3,7E+11	5,2E+11	2,6E+11
sonstige $\beta$ -/ $\gamma$ -Strahler	1,0E+13	1,1E+13	2,4E+13	2,0E+13	2,8E+13	1,4E+13

Anhang 6: Aktivitätswerte für Leitnuklide und nicht spezifizierte sonstige  $\alpha$ - und  $\beta$ -/ $\gamma$ -Strahler, die aus der Analyse zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren. Angaben in Bq pro Abfallgebinde (BRENNECKE 1995).  
(Fortsetzung)

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 89 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	

Radionuklid	Betonbehälter		Gußbehälter			
	Typ I	Typ II	Typ I	Typ II	Typ II *)	Typ III
Ac-228	8,2E+13	8,9E+13	5,2E+13	8,9E+13	8,2E+13	7,0E+13
Ag-110m	5,0E+12	5,4E+12	3,2E+12	5,4E+12	5,0E+12	4,3E+12
Am-241	2,2E+11	2,4E+11	1,4E+11	2,4E+11	2,2E+11	1,9E+11
Am-243	8,4E+10	9,1E+10	5,3E+10	9,1E+10	8,4E+10	7,1E+10
Am-244	1,4E+14	1,5E+14	8,6E+13	1,5E+14	1,4E+14	1,2E+14
Ba-133	1,0E+13	1,1E+13	6,6E+12	1,1E+13	1,0E+13	8,9E+12
Bi-210	1,0E+14	1,1E+14	6,4E+13	1,1E+14	1,0E+14	8,6E+13
Bi-214	5,6E+13	6,0E+13	3,5E+13	6,0E+13	5,6E+13	4,7E+13
C-14	1,1E+13	1,2E+13	7,2E+12	1,2E+13	1,1E+13	9,7E+12
Ca-45	2,2E+14	2,3E+14	1,4E+14	2,3E+14	2,2E+14	1,8E+14
Cd-109	1,0E+14	1,1E+14	6,6E+13	1,1E+14	1,0E+14	8,8E+13
Cd-113m	1,7E+13	1,9E+13	1,1E+13	1,9E+13	1,7E+13	1,5E+13
Ce-144	9,8E+12	1,1E+13	6,2E+12	1,1E+13	9,8E+12	8,3E+12
Cm-242	3,1E+12	3,4E+12	2,0E+12	3,4E+12	3,1E+12	2,6E+12
Cm-243	6,5E+11	7,0E+11	4,1E+11	7,0E+11	6,5E+11	5,5E+11
Cm-244	8,0E+11	8,7E+11	5,0E+11	8,7E+11	8,0E+11	6,8E+11
Cm-246	1,1E+11	1,1E+11	6,7E+10	1,1E+11	1,1E+11	9,0E+10
Co-57	1,6E+13	1,8E+13	1,0E+13	1,8E+13	1,6E+13	1,4E+13
Co-58	2,4E+13	2,6E+13	1,5E+13	2,6E+13	2,4E+13	2,0E+13
Cr-51	1,1E+15	1,2E+15	6,8E+14	1,2E+15	1,1E+15	9,1E+14
Cs-134	5,5E+12	6,0E+12	3,5E+12	6,0E+12	5,5E+12	4,7E+12
Cs-135	4,7E+12	5,1E+12	3,0E+12	5,1E+12	4,7E+12	4,0E+12
Eu-152	3,9E+12	4,3E+12	2,5E+12	4,3E+12	3,9E+12	3,4E+12
Eu-154	3,9E+12	4,2E+12	2,5E+12	4,2E+12	3,9E+12	3,3E+12
Eu-155	5,7E+13	6,2E+13	3,6E+13	6,2E+13	5,7E+13	4,9E+13
Fe-59	1,9E+13	2,1E+13	1,2E+13	2,1E+13	1,9E+13	1,6E+13
H-3	9,1E+14	9,9E+14	5,8E+14	9,9E+14	9,1E+14	7,8E+14
Hf-175	4,0E+13	4,3E+13	2,5E+13	4,3E+13	4,0E+13	3,4E+13
Hf-181	3,0E+13	3,3E+13	1,9E+13	3,3E+13	3,0E+13	2,6E+13
Hg-203	6,0E+13	6,5E+13	3,8E+13	6,5E+13	6,0E+13	5,1E+13
I-125	1,5E+14	1,6E+14	9,3E+13	1,6E+14	1,5E+14	1,2E+14
I-129	3,4E+12	3,7E+12	2,2E+12	3,7E+12	3,4E+12	2,9E+12
Kr-85	2,2E+13	2,3E+13	1,4E+13	2,3E+13	2,2E+13	1,8E+13
Mn-54	1,5E+13	1,7E+13	9,7E+12	1,7E+13	1,5E+13	1,3E+13
Mo-93	4,0E+13	4,4E+13	2,5E+13	4,4E+13	4,0E+13	3,4E+13
Na-22	3,6E+12	4,0E+12	2,3E+12	4,0E+12	3,6E+12	3,1E+12
Nb-93m	1,7E+14	1,8E+14	1,1E+14	1,8E+14	1,7E+14	1,4E+14
Nb-95	4,2E+13	4,6E+13	2,7E+13	4,6E+13	4,2E+13	3,6E+13

Anhang 7: Aktivitätswerte für weitere Radionuklide, die aus der Analyse zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren. Angaben in Bq pro Abfallgebinde (BRENNECKE 1995).

\*) Typ KfK

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 90 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

Radionuklid	Container					
	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV	Typ V	Typ VI
Ac-228	2,4E+14	2,7E+14	5,8E+14	4,9E+14	6,8E+14	3,4E+14
Ag-110m	1,5E+13	1,6E+13	3,5E+13	3,0E+13	4,1E+13	2,1E+13
Am-241	6,6E+11	7,3E+11	1,6E+12	1,3E+12	1,9E+12	9,3E+11
Am-243	2,5E+11	2,7E+11	5,9E+11	5,0E+11	6,9E+11	3,5E+11
Am-244	4,0E+14	4,4E+14	9,6E+14	8,0E+14	1,1E+15	5,6E+14
Ba-133	3,1E+13	3,4E+13	7,4E+13	6,2E+13	8,7E+13	4,3E+13
Bi-210	3,0E+14	3,3E+14	7,1E+14	5,9E+14	8,3E+14	4,2E+14
Bi-214	1,6E+14	1,8E+14	3,9E+14	3,3E+14	4,6E+14	2,3E+14
C-14	3,4E+13	3,7E+13	8,1E+13	6,7E+13	9,4E+13	4,7E+13
Ca-45	6,4E+14	7,0E+14	1,5E+15	1,3E+15	1,8E+15	8,9E+14
Cd-109	3,1E+14	3,4E+14	7,4E+14	6,1E+14	8,6E+14	4,3E+14
Cd-113m	5,1E+13	5,6E+13	1,2E+14	1,0E+14	1,4E+14	7,2E+13
Ce-144	2,9E+13	3,2E+13	6,9E+13	5,8E+13	8,1E+13	4,0E+13
Cm-242	9,1E+12	1,0E+13	2,2E+13	1,8E+13	2,6E+13	1,3E+13
Cm-243	1,9E+12	2,1E+12	4,6E+12	3,8E+12	5,4E+12	2,7E+12
Cm-244	2,4E+12	2,6E+12	5,7E+12	4,7E+12	6,6E+12	3,3E+12
Cm-246	3,1E+11	3,4E+11	7,5E+11	6,2E+11	8,7E+11	4,4E+11
Co-57	4,8E+13	5,3E+13	1,2E+14	9,6E+13	1,3E+14	6,7E+13
Co-58	7,0E+13	7,7E+13	1,7E+14	1,4E+14	2,0E+14	9,8E+13
Cr-51	3,2E+15	3,5E+15	7,6E+15	6,3E+15	8,9E+15	4,4E+15
Cs-134	1,6E+13	1,8E+13	3,9E+13	3,2E+13	4,5E+13	2,3E+13
Cs-135	1,4E+13	1,5E+13	3,4E+13	2,8E+13	3,9E+13	2,0E+13
Eu-152	1,2E+13	1,3E+13	2,8E+13	2,3E+13	3,3E+13	1,6E+13
Eu-154	1,1E+13	1,3E+13	2,8E+13	2,3E+13	3,2E+13	1,6E+13
Eu-155	1,7E+14	1,8E+14	4,0E+14	3,4E+14	4,7E+14	2,4E+14
Fe-59	5,6E+13	6,2E+13	1,4E+14	1,1E+14	1,6E+14	7,9E+13
H-3	2,7E+15	3,0E+15	6,5E+15	5,4E+15	7,6E+15	3,8E+15
Hf-175	1,2E+14	1,3E+14	2,8E+14	2,3E+14	3,3E+14	1,6E+14
Hf-181	8,9E+13	9,7E+13	2,1E+14	1,8E+14	2,5E+14	1,2E+14
Hg-203	1,8E+14	1,9E+14	4,2E+14	3,5E+14	4,9E+14	2,5E+14
I-125	4,3E+14	4,7E+14	1,0E+15	8,7E+14	1,2E+15	6,1E+14
I-129	1,0E+13	1,1E+13	2,4E+13	2,0E+13	2,8E+13	1,4E+13
Kr-85	6,4E+13	7,0E+13	1,5E+14	1,3E+14	1,8E+14	8,9E+13
Mn-54	4,5E+13	5,0E+13	1,1E+14	9,1E+13	1,3E+14	6,3E+13
Mo-93	1,2E+14	1,3E+14	2,9E+14	2,4E+14	3,3E+14	1,7E+14
Na-22	1,1E+13	1,2E+13	2,6E+13	2,2E+13	3,0E+13	1,5E+13
Nb-93m	5,0E+14	5,4E+14	1,2E+15	1,0E+15	1,4E+15	7,0E+14
Nb-95	1,2E+14	1,4E+14	3,0E+14	2,5E+14	3,5E+14	1,7E+14

Anhang 7: Aktivitätswerte für weitere Radionuklide, die aus der Analyse zur thermischen  
 (Fortsetzung) Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren. Angaben in Bq pro Abfallgebinde  
 (BRENNECKE 1995).



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 91 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	Stand: 15.09.2013

Radionuklid	Betonbehälter		Gußbehälter			
	Typ I	Typ II	Typ I	Typ II	Typ II *)	Typ III
Ni-59	4,9E+13	5,4E+13	3,1E+13	5,4E+13	4,9E+13	4,2E+13
Pa-233	1,7E+14	1,8E+14	1,1E+14	1,8E+14	1,7E+14	1,4E+14
Pa-234m	1,4E+14	1,6E+14	9,1E+13	1,6E+14	1,4E+14	1,2E+14
Pa-234	4,9E+13	5,4E+13	3,1E+13	5,4E+13	4,9E+13	4,2E+13
Pb-214	2,2E+14	2,4E+14	1,4E+14	2,4E+14	2,2E+14	1,9E+14
Pd-107	2,7E+13	2,9E+13	1,7E+13	2,9E+13	2,7E+13	2,3E+13
Pm-147	1,4E+14	1,6E+14	9,1E+13	1,6E+14	1,4E+14	1,2E+14
Po-210	3,3E+12	3,6E+12	2,1E+12	3,6E+12	3,3E+12	2,8E+12
Pu-236	1,4E+12	1,5E+12	8,7E+11	1,5E+12	1,4E+12	1,2E+12
Pu-239	8,1E+10	8,8E+10	5,1E+10	8,8E+10	8,1E+10	6,9E+10
Pu-240	1,0E+11	1,1E+11	6,5E+10	1,1E+11	1,0E+11	8,8E+10
Pu-241	6,7E+12	7,3E+12	4,3E+12	7,3E+12	6,7E+12	5,7E+12
Pu-242	6,4E+10	7,0E+10	4,1E+10	7,0E+10	6,4E+10	5,5E+10
Ra-223	4,7E+12	5,1E+12	3,0E+12	5,1E+12	4,7E+12	4,0E+12
Ra-224	1,1E+13	1,2E+13	7,2E+12	1,2E+13	1,1E+13	9,7E+12
Rn-222	1,5E+13	1,7E+13	9,8E+12	1,7E+13	1,5E+13	1,3E+13
Ru-103	5,7E+13	6,2E+13	3,6E+13	6,2E+13	5,7E+13	4,8E+13
Ru-106	7,2E+12	7,9E+12	4,6E+12	7,9E+12	7,2E+12	6,2E+12
S-35	1,3E+14	1,4E+14	8,2E+13	1,4E+14	1,3E+14	1,1E+14
Sb-125	1,3E+13	1,4E+13	8,0E+12	1,4E+13	1,3E+13	1,1E+13
Sc-46	1,0E+13	1,1E+13	6,6E+12	1,1E+13	1,0E+13	8,9E+12
Se-79	8,8E+12	9,6E+12	5,6E+12	9,6E+12	8,8E+12	7,5E+12
Sm-151	1,3E+14	1,4E+14	8,2E+13	1,4E+14	1,3E+14	1,1E+14
Sr-89	4,9E+13	5,3E+13	3,1E+13	5,3E+13	4,9E+13	4,1E+13
Sr-90	3,4E+12	3,7E+12	2,1E+12	3,7E+12	3,4E+12	2,9E+12
Ta-182	1,3E+13	1,4E+13	8,1E+12	1,4E+13	1,3E+13	1,1E+13
Tc-99	3,9E+12	4,3E+12	2,5E+12	4,3E+12	3,9E+12	3,3E+12
Te-125m	1,9E+14	2,0E+14	1,2E+14	2,0E+14	1,9E+14	1,6E+14
Th-227	2,6E+12	2,8E+12	1,6E+12	2,8E+12	2,6E+12	2,2E+12
Th-228	2,7E+11	2,9E+11	1,7E+11	2,9E+11	2,7E+11	2,3E+11
Th-231	1,3E+15	1,4E+15	8,0E+14	1,4E+15	1,3E+15	1,1E+15
Th-234	2,8E+13	3,1E+13	1,8E+13	3,1E+13	2,8E+13	2,4E+13
U-232	6,5E+10	7,1E+10	4,1E+10	7,1E+10	6,5E+10	5,5E+10
U-236	6,2E+10	6,8E+10	4,0E+10	6,8E+10	6,2E+10	5,3E+10
V-49	2,9E+15	3,2E+15	1,9E+15	3,2E+15	2,9E+15	2,5E+15
Zn-65	2,4E+13	2,6E+13	1,5E+13	2,6E+13	2,4E+13	2,0E+13
Zr-93	5,4E+12	5,9E+12	3,4E+12	5,9E+12	5,4E+12	4,6E+12
Zr-95	2,9E+13	3,2E+13	1,9E+13	3,2E+13	2,9E+13	2,5E+13

Anhang 7: Aktivitätswerte für weitere Radionuklide, die aus der Analyse zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren. Angaben in Bq pro Abfallgebinde (BRENNECKE 1995).

\*) Typ KfK



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 92 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	

Radionuklid	Container					
	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV	Typ V	Typ VI
Ni-59	1,5E+14	1,6E+14	3,5E+14	2,9E+14	4,1E+14	2,0E+14
Pa-233	4,9E+14	5,4E+14	1,2E+15	9,9E+14	1,4E+15	6,9E+14
Pa-234m	4,2E+14	4,6E+14	1,0E+15	8,5E+14	1,2E+15	5,9E+14
Pa-234	1,5E+14	1,6E+14	3,5E+14	2,9E+14	4,1E+14	2,1E+14
Pb-214	6,6E+14	7,2E+14	1,6E+15	1,3E+15	1,8E+15	9,2E+14
Pd-107	7,9E+13	8,6E+13	1,9E+14	1,6E+14	2,2E+14	1,1E+14
Pm-147	4,2E+14	4,6E+14	1,0E+15	8,5E+14	1,2E+15	5,9E+14
Po-210	9,8E+12	1,1E+13	2,3E+13	2,0E+13	2,7E+13	1,4E+13
Pu-236	4,1E+12	4,5E+12	9,8E+12	8,2E+12	1,1E+13	5,7E+12
Pu-239	2,4E+11	2,6E+11	5,7E+11	4,8E+11	6,7E+11	3,4E+11
Pu-240	3,1E+11	3,3E+11	7,3E+11	6,1E+11	8,5E+11	4,3E+11
Pu-241	2,0E+13	2,2E+13	4,8E+13	4,0E+13	5,6E+13	2,8E+13
Pu-242	1,9E+11	2,1E+11	4,5E+11	3,8E+11	5,3E+11	2,7E+11
Ra-223	1,4E+13	1,5E+13	3,3E+13	2,8E+13	3,9E+13	1,9E+13
Ra-224	3,4E+13	3,7E+13	8,1E+13	6,7E+13	9,4E+13	4,7E+13
Rn-222	4,6E+13	5,0E+13	1,1E+14	9,2E+13	1,3E+14	6,4E+13
Ru-103	1,7E+14	1,8E+14	4,0E+14	3,4E+14	4,7E+14	2,3E+14
Ru-106	2,1E+13	2,3E+13	5,1E+13	4,3E+13	6,0E+13	3,0E+13
S-35	3,8E+14	4,2E+14	9,2E+14	7,7E+14	1,1E+15	5,4E+14
Sb-125	3,8E+13	4,1E+13	9,0E+13	7,5E+13	1,1E+14	5,3E+13
Sc-46	3,1E+13	3,4E+13	7,4E+13	6,2E+13	8,7E+13	4,3E+13
Se-79	2,6E+13	2,9E+13	6,3E+13	5,2E+13	7,3E+13	3,7E+13
Sm-151	3,8E+14	4,2E+14	9,2E+14	7,7E+14	1,1E+15	5,4E+14
Sr-89	1,4E+14	1,6E+14	3,4E+14	2,9E+14	4,0E+14	2,0E+14
Sr-90	1,0E+13	1,1E+13	2,4E+13	2,0E+13	2,8E+13	1,4E+13
Ta-182	3,8E+13	4,2E+13	9,1E+13	7,6E+13	1,1E+14	5,3E+13
Tc-99	1,2E+13	1,3E+13	2,8E+13	2,3E+13	3,2E+13	1,6E+13
Te-125m	5,5E+14	6,0E+14	1,3E+15	1,1E+15	1,5E+15	7,7E+14
Th-227	7,6E+12	8,3E+12	1,8E+13	1,5E+13	2,1E+13	1,1E+13
Th-228	8,0E+11	8,8E+11	1,9E+12	1,6E+12	2,2E+12	1,1E+12
Th-231	3,7E+15	4,1E+15	9,0E+15	7,5E+15	1,0E+16	5,2E+15
Th-234	8,3E+13	9,1E+13	2,0E+14	1,7E+14	2,3E+14	1,2E+14
U-232	1,9E+11	2,1E+11	4,6E+11	3,9E+11	5,4E+11	2,7E+11
U-236	1,8E+11	2,0E+11	4,4E+11	3,7E+11	5,2E+11	2,6E+11
V-49	8,7E+15	9,5E+15	2,1E+16	1,7E+16	2,4E+16	1,2E+16
Zn-65	7,1E+13	7,8E+13	1,7E+14	1,4E+14	2,0E+14	9,9E+13
Zr-93	1,6E+13	1,7E+13	3,8E+13	3,2E+13	4,5E+13	2,2E+13
Zr-95	8,7E+13	9,5E+13	2,1E+14	1,7E+14	2,4E+14	1,2E+14

Anhang 7: Aktivitätswerte für weitere Radionuklide, die aus der Analyse zur thermischen  
 (Fortsetzung) Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren. Angaben in Bq pro Abfallgebinde  
 (BRENNECKE 1995).

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 93 von 100	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 15.09.2013	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03			

Nr.	Radio-nuklid	Längen- bezogener Aktivitäts- grenzwert in Bq/m	Aktivitätswert					
			Betonbehälter			Gußbehälter		
			Typ I	Typ II	Typ III	Typ I	Typ II	Typ II*
1	Cm-250	6.0E+10	3.0E+09	3.3E+09	7.0E+09	1.9E+09	3.3E+09	3.0E+09
2	Np-236m	1.1E+11	5.8E+09	6.3E+09	1.3E+10	3.7E+09	6.3E+09	5.8E+09
3	Th-232	1.2E+11	6.3E+09	6.9E+09	1.5E+10	4.0E+09	6.9E+09	6.3E+09
4	U -235	1.4E+11	7.0E+09	7.6E+09	1.6E+10	4.4E+09	7.6E+09	7.0E+09
5	U -233	1.7E+11	8.5E+09	9.2E+09	2.0E+10	5.4E+09	9.2E+09	8.5E+09
6	Th-230	1.8E+11	9.1E+09	9.9E+09	2.1E+10	5.8E+09	9.9E+09	9.1E+09
7	Pa-231	1.9E+11	9.5E+09	1.0E+10	2.2E+10	6.0E+09	1.0E+10	9.5E+09
8	U -234	2.4E+11	1.2E+10	1.3E+10	2.8E+10	7.8E+09	1.3E+10	1.2E+10
9	Th-229	2.8E+11	1.4E+10	1.6E+10	3.3E+10	9.1E+09	1.6E+10	1.4E+10
10	Cm-248	2.8E+11	1.4E+10	1.6E+10	3.3E+10	9.1E+09	1.6E+10	1.4E+10
11	Np-237	3.1E+11	1.6E+10	1.7E+10	3.6E+10	9.9E+09	1.7E+10	1.6E+10
12	Cm-247	3.3E+11	1.7E+10	1.8E+10	3.9E+10	1.1E+10	1.8E+10	1.7E+10
13	Pu-244	4.4E+11	2.2E+10	2.4E+10	5.1E+10	1.4E+10	2.4E+10	2.2E+10
14	Ra-226	4.4E+11	2.2E+10	2.4E+10	5.2E+10	1.4E+10	2.4E+10	2.2E+10
15	U -238	4.9E+11	2.5E+10	2.7E+10	5.7E+10	1.6E+10	2.7E+10	2.5E+10
16	Cm-245	8.4E+11	4.3E+10	4.6E+10	9.9E+10	2.7E+10	4.6E+10	4.3E+10
17	Bi-210m	9.2E+11	4.6E+10	5.1E+10	1.1E+11	2.9E+10	5.1E+10	4.6E+10
18	Al- 26	1.6E+12	8.0E+10	8.7E+10	1.8E+11	5.1E+10	8.7E+10	8.0E+10
19	Cf-254	2.3E+12	1.1E+11	1.3E+11	2.7E+11	7.3E+10	1.3E+11	1.1E+11
20	Ac-227	2.4E+12	1.2E+11	1.3E+11	2.8E+11	7.6E+10	1.3E+11	1.2E+11
21	Am-242m	3.4E+12	1.7E+11	1.9E+11	4.0E+11	1.1E+11	1.9E+11	1.7E+11
22	Ra-228	3.5E+12	1.8E+11	1.9E+11	4.1E+11	1.1E+11	1.9E+11	1.8E+11
23	Nb- 94	4.7E+12	2.4E+11	2.6E+11	5.5E+11	1.5E+11	2.6E+11	2.4E+11
24	K - 40	7.2E+12	3.7E+11	4.0E+11	8.5E+11	2.3E+11	4.0E+11	3.7E+11
25	Pu-238	8.3E+12	4.2E+11	4.6E+11	9.7E+11	2.7E+11	4.6E+11	4.2E+11
26	Ho-166m	8.5E+12	4.3E+11	4.7E+11	1.0E+12	2.7E+11	4.7E+11	4.3E+11
27	Pb-210	1.4E+13	7.0E+11	7.6E+11	1.6E+12	4.4E+11	7.6E+11	7.0E+11
28	Ca- 41	1.6E+13	7.9E+11	8.6E+11	1.8E+12	5.0E+11	8.6E+11	7.9E+11
29	Ag-108m	2.4E+13	1.2E+12	1.3E+12	2.8E+12	7.8E+11	1.3E+12	1.2E+12
30	Cl- 36	2.4E+13	1.2E+12	1.3E+12	2.8E+12	7.8E+11	1.3E+12	1.2E+12
31	Be- 10	2.4E+13	1.2E+12	1.3E+12	2.8E+12	7.8E+11	1.3E+12	1.2E+12
32	Sn-126	3.1E+13	1.6E+12	1.7E+12	3.6E+12	1.0E+12	1.7E+12	1.6E+12
33	Rb- 87	3.5E+13	1.8E+12	1.9E+12	4.1E+12	1.1E+12	1.9E+12	1.8E+12
34	Ra-225	3.9E+13	2.0E+12	2.2E+12	4.6E+12	1.3E+12	2.2E+12	2.0E+12
35	Co- 60	4.9E+13	2.5E+12	2.7E+12	5.7E+12	1.6E+12	2.7E+12	2.5E+12
36	Ar- 39	5.0E+13	2.5E+12	2.8E+12	5.8E+12	1.6E+12	2.8E+12	2.5E+12
37	Cs-137	8.2E+13	4.2E+12	4.5E+12	9.6E+12	2.6E+12	4.5E+12	4.2E+12
38	Ni- 63	7.0E+14	3.5E+13	3.9E+13	8.2E+13	2.2E+13	3.9E+13	3.5E+13
39	Fe- 55	2.7E+16	1.4E+15	1.5E+15	3.2E+15	8.8E+14	1.5E+15	1.4E+15
40	Alpha	1.2E+12	5.8E+10	6.4E+10	1.3E+11	3.7E+10	6.4E+10	5.8E+10
41	Bet/Gam	6.2E+13	3.1E+12	3.4E+12	7.3E+12	2.0E+12	3.4E+12	3.1E+12

Anhang 8: Aktivitätswerte für Leitnuklide und sonstige nicht spezifizierte Alpha- und Beta-/Gamma-Strahler, die aus der Analyse zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren. Angaben in Bq pro Abfallgebände ( )

\* Typ FZK

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 94 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 15.09.2013
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		

Nr.	Radio- Nuklid	A k t i v i t ä t s w e r t						
		Gußbeh. Typ III	Typ I	Typ II	Container			Typ VI
					Typ III	Typ IV	Typ V	
1	Cm-250	2.6E+09	8.9E+09	9.8E+09	2.1E+10	1.8E+10	2.5E+10	1.2E+10
2	Np-236m	5.0E+09	1.7E+10	1.9E+10	4.1E+10	3.4E+10	4.8E+10	2.4E+10
3	Th-232	5.4E+09	1.9E+10	2.0E+10	4.5E+10	3.7E+10	5.2E+10	2.6E+10
4	U -235	5.9E+09	2.1E+10	2.2E+10	4.9E+10	4.1E+10	5.8E+10	2.9E+10
5	U -233	7.2E+09	2.5E+10	2.7E+10	6.0E+10	5.0E+10	7.0E+10	3.5E+10
6	Th-230	7.7E+09	2.7E+10	2.9E+10	6.4E+10	5.4E+10	7.5E+10	3.8E+10
7	Pa-231	8.1E+09	2.8E+10	3.1E+10	6.8E+10	5.6E+10	7.9E+10	4.0E+10
8	U -234	1.0E+10	3.6E+10	4.0E+10	8.7E+10	7.2E+10	1.0E+11	5.1E+10
9	Th-229	1.2E+10	4.2E+10	4.6E+10	1.0E+11	8.5E+10	1.2E+11	5.9E+10
10	Cm-248	1.2E+10	4.2E+10	4.6E+10	1.0E+11	8.5E+10	1.2E+11	5.9E+10
11	Np-237	1.3E+10	4.6E+10	5.1E+10	1.1E+11	9.3E+10	1.3E+11	6.5E+10
12	Cm-247	1.4E+10	5.0E+10	5.4E+10	1.2E+11	9.9E+10	1.4E+11	6.9E+10
13	Pu-244	1.9E+10	6.6E+10	7.2E+10	1.6E+11	1.3E+11	1.8E+11	9.2E+10
14	Ra-226	1.9E+10	6.6E+10	7.3E+10	1.6E+11	1.3E+11	1.9E+11	9.3E+10
15	U -238	2.1E+10	7.3E+10	8.0E+10	1.8E+11	1.5E+11	2.1E+11	1.0E+11
16	Cm-245	3.6E+10	1.3E+11	1.4E+11	3.0E+11	2.5E+11	3.5E+11	1.8E+11
17	Bi-210m	4.0E+10	1.4E+11	1.5E+11	3.3E+11	2.8E+11	3.9E+11	1.9E+11
18	Al- 26	6.8E+10	2.4E+11	2.6E+11	5.7E+11	4.7E+11	6.6E+11	3.3E+11
19	Cf-254	9.8E+10	3.4E+11	3.7E+11	8.2E+11	6.8E+11	9.5E+11	4.8E+11
20	Ac-227	1.0E+11	3.5E+11	3.9E+11	8.5E+11	7.1E+11	9.9E+11	5.0E+11
21	Am-242m	1.5E+11	5.1E+11	5.6E+11	1.2E+12	1.0E+12	1.4E+12	7.1E+11
22	Ra-228	1.5E+11	5.2E+11	5.7E+11	1.3E+12	1.0E+12	1.5E+12	7.3E+11
23	Nb- 94	2.0E+11	7.0E+11	7.7E+11	1.7E+12	1.4E+12	2.0E+12	9.9E+11
24	K - 40	3.1E+11	1.1E+12	1.2E+12	2.6E+12	2.2E+12	3.0E+12	1.5E+12
25	Pu-238	3.6E+11	1.2E+12	1.4E+12	3.0E+12	2.5E+12	3.5E+12	1.7E+12
26	Ho-166m	3.7E+11	1.3E+12	1.4E+12	3.1E+12	2.6E+12	3.6E+12	1.8E+12
27	Pb-210	6.0E+11	2.1E+12	2.3E+12	5.0E+12	4.1E+12	5.8E+12	2.9E+12
28	Ca- 41	6.8E+11	2.3E+12	2.6E+12	5.6E+12	4.7E+12	6.6E+12	3.3E+12
29	Ag-108m	1.0E+12	3.6E+12	4.0E+12	8.7E+12	7.3E+12	1.0E+13	5.1E+12
30	Cl- 36	1.0E+12	3.6E+12	4.0E+12	8.7E+12	7.3E+12	1.0E+13	5.1E+12
31	Be- 10	1.0E+12	3.6E+12	4.0E+12	8.7E+12	7.3E+12	1.0E+13	5.1E+12
32	Sn-126	1.3E+12	4.7E+12	5.1E+12	1.1E+13	9.3E+12	1.3E+13	6.5E+12
33	Rb- 87	1.5E+12	5.2E+12	5.7E+12	1.3E+13	1.0E+13	1.5E+13	7.3E+12
34	Ra-225	1.7E+12	5.9E+12	6.4E+12	1.4E+13	1.2E+13	1.6E+13	8.2E+12
35	Co- 60	2.1E+12	7.3E+12	8.0E+12	1.8E+13	1.5E+13	2.0E+13	1.0E+13
36	Ar- 39	2.2E+12	7.5E+12	8.2E+12	1.8E+13	1.5E+13	2.1E+13	1.0E+13
37	Cs-137	3.6E+12	1.2E+13	1.3E+13	3.0E+13	2.5E+13	3.5E+13	1.7E+13
38	Ni- 63	3.0E+13	1.0E+14	1.1E+14	2.5E+14	2.1E+14	2.9E+14	1.5E+14
39	Fe- 55	1.2E+15	4.1E+15	4.5E+15	9.9E+15	8.2E+15	1.2E+16	5.8E+15
40	Alpha	5.0E+10	1.7E+11	1.9E+11	4.2E+11	3.5E+11	4.8E+11	2.4E+11
41	Bet/Gam	2.7E+12	9.3E+12	1.0E+13	2.2E+13	1.9E+13	2.6E+13	1.3E+13

Anhang 8: Aktivitätswerte für Leitnuklide und sonstige nicht spezifizierte Alpha- und Beta-/Gamma-Strahler, die aus der Analyse zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren. Angaben in Bq pro Abfallgebilde ( ).

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 95 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

Nr.	Radio- nuklid	Längen- bezogener Aktivitäts- grenzwert in Bq/m	A k t i v i t ä t s w e r t					
			Betonbehälter			Gußbehälter		
			Typ I	Typ II	Typ III	Typ I	Typ II	Typ II*
1	Ac-228	1.5E+15	7.7E+13	8.4E+13	1.8E+14	4.9E+13	8.4E+13	7.7E+13
2	Ag-110m	9.2E+13	4.7E+12	5.1E+12	1.1E+13	3.0E+12	5.1E+12	4.7E+12
3	Am-241	4.1E+12	2.1E+11	2.3E+11	4.8E+11	1.3E+11	2.3E+11	2.1E+11
4	Am-243	1.5E+12	7.8E+10	8.5E+10	1.8E+11	5.0E+10	8.5E+10	7.8E+10
5	Am-244	2.5E+15	1.3E+14	1.4E+14	2.9E+14	8.0E+13	1.4E+14	1.3E+14
6	Ar- 37	2.9E+17	1.5E+16	1.6E+16	3.4E+16	9.2E+15	1.6E+16	1.5E+16
7	As- 73	5.5E+15	2.8E+14	3.0E+14	6.4E+14	1.8E+14	3.0E+14	2.8E+14
8	Au-195	2.2E+15	1.1E+14	1.2E+14	2.5E+14	6.9E+13	1.2E+14	1.1E+14
9	Ba-133	1.9E+14	9.8E+12	1.1E+13	2.3E+13	6.2E+12	1.1E+13	9.8E+12
10	Ba-140	3.4E+14	1.7E+13	1.9E+13	4.0E+13	1.1E+13	1.9E+13	1.7E+13
11	Bi-210	1.9E+15	9.4E+13	1.0E+14	2.2E+14	6.0E+13	1.0E+14	9.4E+13
12	Bi-214	1.0E+15	5.2E+13	5.7E+13	1.2E+14	3.3E+13	5.7E+13	5.2E+13
13	Bk-249	6.6E+14	3.3E+13	3.6E+13	7.7E+13	2.1E+13	3.6E+13	3.3E+13
14	C - 14	2.1E+14	1.1E+13	1.2E+13	2.5E+13	6.7E+12	1.2E+13	1.1E+13
15	Ca- 45	4.0E+15	2.0E+14	2.2E+14	4.6E+14	1.3E+14	2.2E+14	2.0E+14
16	Cd-109	1.9E+15	9.7E+13	1.1E+14	2.2E+14	6.2E+13	1.1E+14	9.7E+13
17	Cd-113m	3.2E+14	1.6E+13	1.8E+13	3.7E+13	1.0E+13	1.8E+13	1.6E+13
18	Cd-115m	9.0E+14	4.6E+13	5.0E+13	1.1E+14	2.9E+13	5.0E+13	4.6E+13
19	Ce-141	2.7E+15	1.4E+14	1.5E+14	3.1E+14	8.6E+13	1.5E+14	1.4E+14
20	Ce-144	1.8E+14	9.1E+12	1.0E+13	2.1E+13	5.8E+12	1.0E+13	9.1E+12
21	Cf-249	3.9E+12	2.0E+11	2.2E+11	4.6E+11	1.3E+11	2.2E+11	2.0E+11
22	Cf-250	1.6E+12	7.9E+10	8.6E+10	1.8E+11	5.0E+10	8.6E+10	7.9E+10
23	Cf-251	2.9E+12	1.4E+11	1.6E+11	3.3E+11	9.2E+10	1.6E+11	1.4E+11
24	Cf-252	4.1E+12	2.1E+11	2.3E+11	4.8E+11	1.3E+11	2.3E+11	2.1E+11
25	Cf-253	1.7E+14	8.7E+12	9.5E+12	2.0E+13	5.5E+12	9.5E+12	8.7E+12
26	Cm-242	5.7E+13	2.9E+12	3.1E+12	6.7E+12	1.8E+12	3.1E+12	2.9E+12
27	Cm-243	1.2E+13	6.1E+11	6.6E+11	1.4E+12	3.8E+11	6.6E+11	6.1E+11
28	Cm-244	1.5E+13	7.4E+11	8.1E+11	1.7E+12	4.7E+11	8.1E+11	7.4E+11
29	Cm-246	1.9E+12	9.9E+10	1.1E+11	2.3E+11	6.3E+10	1.1E+11	9.9E+10
30	Co- 57	3.0E+14	1.5E+13	1.7E+13	3.5E+13	9.6E+12	1.7E+13	1.5E+13
31	Co- 58	4.4E+14	2.2E+13	2.4E+13	5.1E+13	1.4E+13	2.4E+13	2.2E+13
32	Cr- 51	2.0E+16	1.0E+15	1.1E+15	2.3E+15	6.4E+14	1.1E+15	1.0E+15
33	Cs-134	1.0E+14	5.1E+12	5.6E+12	1.2E+13	3.3E+12	5.6E+12	5.1E+12
34	Cs-135	8.7E+13	4.4E+12	4.8E+12	1.0E+13	2.8E+12	4.8E+12	4.4E+12
35	Cs-136	4.8E+14	2.4E+13	2.7E+13	5.6E+13	1.5E+13	2.7E+13	2.4E+13
36	Es-253	1.3E+14	6.5E+12	7.0E+12	1.5E+13	4.1E+12	7.0E+12	6.5E+12
37	Eu-152	7.3E+13	3.7E+12	4.0E+12	8.5E+12	2.3E+12	4.0E+12	3.7E+12
38	Eu-154	7.2E+13	3.6E+12	3.9E+12	8.4E+12	2.3E+12	3.9E+12	3.6E+12
39	Eu-155	1.1E+15	5.3E+13	5.8E+13	1.2E+14	3.4E+13	5.8E+13	5.3E+13
40	Eu-156	5.8E+14	2.9E+13	3.2E+13	6.8E+13	1.9E+13	3.2E+13	2.9E+13
41	Fe- 59	3.5E+14	1.8E+13	1.9E+13	4.1E+13	1.1E+13	1.9E+13	1.8E+13
42	Gd-153	1.8E+15	8.9E+13	9.7E+13	2.1E+14	5.7E+13	9.7E+13	8.9E+13
43	Ge- 68	1.4E+14	7.2E+12	7.9E+12	1.7E+13	4.6E+12	7.9E+12	7.2E+12
44	H - 3	1.7E+16	8.5E+14	9.3E+14	2.0E+15	5.4E+14	9.3E+14	8.5E+14
45	Hf-175	7.3E+14	3.7E+13	4.0E+13	8.6E+13	2.3E+13	4.0E+13	3.7E+13
46	Hf-181	5.6E+14	2.8E+13	3.1E+13	6.5E+13	1.8E+13	3.1E+13	2.8E+13
47	Hg-203	1.1E+15	5.6E+13	6.1E+13	1.3E+14	3.5E+13	6.1E+13	5.6E+13
48	I -125	2.7E+15	1.4E+14	1.5E+14	3.2E+14	8.7E+13	1.5E+14	1.4E+14
49	I -129	6.3E+13	3.2E+12	3.5E+12	7.4E+12	2.0E+12	3.5E+12	3.2E+12
50	In-114m	5.3E+14	2.7E+13	2.9E+13	6.2E+13	1.7E+13	2.9E+13	2.7E+13

Anhang 9: Aktivitätswerte für weitere Radionuklide, die aus der Analyse zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren. Angaben in Bq pro Abfallgebände

\* Typ FZK

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 96 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

Nr.	Radio- Nuklid	A k t i v i t ä t s w e r t						
		Gußbeh.		Container				
		Typ III	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV	Typ V	Typ VI
1	Ac-228	6.5E+13	2.3E+14	2.5E+14	5.5E+14	4.5E+14	6.4E+14	3.2E+14
2	Ag-110m	4.0E+12	1.4E+13	1.5E+13	3.3E+13	2.8E+13	3.9E+13	1.9E+13
3	Am-241	1.8E+11	6.2E+11	6.8E+11	1.5E+12	1.2E+12	1.7E+12	8.7E+11
4	Am-243	6.7E+10	2.3E+11	2.5E+11	5.6E+11	4.6E+11	6.5E+11	3.2E+11
5	Am-244	1.1E+14	3.7E+14	4.1E+14	9.0E+14	7.5E+14	1.0E+15	5.2E+14
6	Ar- 37	1.2E+16	4.3E+16	4.7E+16	1.0E+17	8.6E+16	1.2E+17	6.0E+16
7	As- 73	2.4E+14	8.2E+14	9.0E+14	2.0E+15	1.6E+15	2.3E+15	1.2E+15
8	Au-195	9.3E+13	3.2E+14	3.5E+14	7.8E+14	6.5E+14	9.1E+14	4.5E+14
9	Ba-133	8.4E+12	2.9E+13	3.2E+13	7.0E+13	5.8E+13	8.1E+13	4.1E+13
10	Ba-140	1.5E+13	5.1E+13	5.6E+13	1.2E+14	1.0E+14	1.4E+14	7.2E+13
11	Bi-210	8.0E+13	2.8E+14	3.0E+14	6.7E+14	5.6E+14	7.8E+14	3.9E+14
12	Bi-214	4.4E+13	1.5E+14	1.7E+14	3.7E+14	3.1E+14	4.3E+14	2.2E+14
13	Bk-249	2.8E+13	9.9E+13	1.1E+14	2.4E+14	2.0E+14	2.8E+14	1.4E+14
14	C - 14	9.0E+12	3.1E+13	3.4E+13	7.5E+13	6.3E+13	8.8E+13	4.4E+13
15	Ca- 45	1.7E+14	6.0E+14	6.5E+14	1.4E+15	1.2E+15	1.7E+15	8.3E+14
16	Cd-109	8.3E+13	2.9E+14	3.1E+14	6.9E+14	5.8E+14	8.1E+14	4.0E+14
17	Cd-113m	1.4E+13	4.8E+13	5.3E+13	1.2E+14	9.6E+13	1.3E+14	6.7E+13
18	Cd-115m	3.9E+13	1.3E+14	1.5E+14	3.2E+14	2.7E+14	3.8E+14	1.9E+14
19	Ce-141	1.2E+14	4.0E+14	4.4E+14	9.6E+14	8.0E+14	1.1E+15	5.6E+14
20	Ce-144	7.8E+12	2.7E+13	3.0E+13	6.5E+13	5.4E+13	7.6E+13	3.8E+13
21	Cf-249	1.7E+11	5.9E+11	6.4E+11	1.4E+12	1.2E+12	1.6E+12	8.2E+11
22	Cf-250	6.7E+10	2.3E+11	2.6E+11	5.6E+11	4.7E+11	6.5E+11	3.3E+11
23	Cf-251	1.2E+11	4.3E+11	4.7E+11	1.0E+12	8.6E+11	1.2E+12	6.0E+11
24	Cf-252	1.8E+11	6.2E+11	6.8E+11	1.5E+12	1.2E+12	1.7E+12	8.7E+11
25	Cf-253	7.4E+12	2.6E+13	2.8E+13	6.2E+13	5.2E+13	7.2E+13	3.6E+13
26	Cm-242	2.5E+12	8.5E+12	9.3E+12	2.1E+13	1.7E+13	2.4E+13	1.2E+13
27	Cm-243	5.2E+11	1.8E+12	2.0E+12	4.3E+12	3.6E+12	5.0E+12	2.5E+12
28	Cm-244	6.3E+11	2.2E+12	2.4E+12	5.3E+12	4.4E+12	6.2E+12	3.1E+12
29	Cm-246	8.4E+10	2.9E+11	3.2E+11	7.0E+11	5.8E+11	8.2E+11	4.1E+11
30	Co- 57	1.3E+13	4.5E+13	4.9E+13	1.1E+14	9.0E+13	1.3E+14	6.3E+13
31	Co- 58	1.9E+13	6.6E+13	7.2E+13	1.6E+14	1.3E+14	1.8E+14	9.2E+13
32	Cr- 51	8.6E+14	3.0E+15	3.2E+15	7.1E+15	5.9E+15	8.3E+15	4.2E+15
33	Cs-134	4.4E+12	1.5E+13	1.7E+13	3.6E+13	3.0E+13	4.3E+13	2.1E+13
34	Cs-135	3.8E+12	1.3E+13	1.4E+13	3.1E+13	2.6E+13	3.7E+13	1.8E+13
35	Cs-136	2.1E+13	7.2E+13	7.9E+13	1.7E+14	1.4E+14	2.0E+14	1.0E+14
36	Es-253	5.5E+12	1.9E+13	2.1E+13	4.6E+13	3.8E+13	5.4E+13	2.7E+13
37	Eu-152	3.1E+12	1.1E+13	1.2E+13	2.6E+13	2.2E+13	3.1E+13	1.5E+13
38	Eu-154	3.1E+12	1.1E+13	1.2E+13	2.6E+13	2.1E+13	3.0E+13	1.5E+13
39	Eu-155	4.5E+13	1.6E+14	1.7E+14	3.8E+14	3.2E+14	4.4E+14	2.2E+14
40	Eu-156	2.5E+13	8.7E+13	9.5E+13	2.1E+14	1.7E+14	2.4E+14	1.2E+14
41	Fe- 59	1.5E+13	5.3E+13	5.8E+13	1.3E+14	1.1E+14	1.5E+14	7.4E+13
42	Gd-153	7.6E+13	2.6E+14	2.9E+14	6.3E+14	5.3E+14	7.4E+14	3.7E+14
43	Ge- 68	6.1E+12	2.1E+13	2.3E+13	5.1E+13	4.3E+13	6.0E+13	3.0E+13
44	H - 3	7.3E+14	2.5E+15	2.8E+15	6.1E+15	5.1E+15	7.1E+15	3.5E+15
45	Hf-175	3.2E+13	1.1E+14	1.2E+14	2.6E+14	2.2E+14	3.1E+14	1.5E+14
46	Hf-181	2.4E+13	8.3E+13	9.1E+13	2.0E+14	1.7E+14	2.3E+14	1.2E+14
47	Hg-203	4.8E+13	1.7E+14	1.8E+14	4.0E+14	3.3E+14	4.6E+14	2.3E+14
48	I -125	1.2E+14	4.0E+14	4.4E+14	9.7E+14	8.1E+14	1.1E+15	5.7E+14
49	I -129	2.7E+12	9.4E+12	1.0E+13	2.3E+13	1.9E+13	2.6E+13	1.3E+13
50	In-114m	2.3E+13	8.0E+13	8.7E+13	1.9E+14	1.6E+14	2.2E+14	1.1E+14

Anhang 9: Aktivitätswerte für weitere Radionuklide, die aus der Analyse zur thermischen  
(Fortsetzung) Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren. Angaben in Bq pro Abfallbinde



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 97 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	03	

Nr.	Radio- nuklid	Längen- bezogener Aktivitäts- grenzwert in Bq/m	A k t i v i t ä t s w e r t					
			Betonbehälter			Gußbehälter		
			Typ I	Typ II	Typ III	Typ I	Typ II	Typ II*
51	Ir-192	4.2E+14	2.1E+13	2.3E+13	4.9E+13	1.4E+13	2.3E+13	2.1E+13
52	Kr- 81	3.6E+14	1.8E+13	2.0E+13	4.2E+13	1.2E+13	2.0E+13	1.8E+13
53	Kr- 85	4.0E+14	2.0E+13	2.2E+13	4.7E+13	1.3E+13	2.2E+13	2.0E+13
54	Lu-174	8.8E+14	4.5E+13	4.9E+13	1.0E+14	2.8E+13	4.9E+13	4.5E+13
55	Mn- 53	9.1E+14	4.6E+13	5.0E+13	1.1E+14	2.9E+13	5.0E+13	4.6E+13
56	Mn- 54	2.8E+14	1.4E+13	1.6E+13	3.3E+13	9.1E+12	1.6E+13	1.4E+13
57	Mo- 93	7.4E+14	3.8E+13	4.1E+13	8.7E+13	2.4E+13	4.1E+13	3.8E+13
58	Na- 22	6.7E+13	3.4E+12	3.7E+12	7.9E+12	2.2E+12	3.7E+12	3.4E+12
59	Nb- 93m	3.1E+15	1.6E+14	1.7E+14	3.6E+14	1.0E+14	1.7E+14	1.6E+14
60	Nb- 95	7.7E+14	3.9E+13	4.3E+13	9.1E+13	2.5E+13	4.3E+13	3.9E+13
61	Nd-147	3.0E+15	1.5E+14	1.7E+14	3.6E+14	9.8E+13	1.7E+14	1.5E+14
62	Ni- 59	9.1E+14	4.6E+13	5.0E+13	1.1E+14	2.9E+13	5.0E+13	4.6E+13
63	P - 32	1.5E+15	7.7E+13	8.4E+13	1.8E+14	4.9E+13	8.4E+13	7.7E+13
64	P - 33	9.8E+15	5.0E+14	5.4E+14	1.1E+15	3.1E+14	5.4E+14	5.0E+14
65	Pa-233	3.1E+15	1.6E+14	1.7E+14	3.6E+14	9.9E+13	1.7E+14	1.6E+14
66	Pa-234m	2.6E+15	1.3E+14	1.5E+14	3.1E+14	8.5E+13	1.5E+14	1.3E+14
67	Pa-234	9.1E+14	4.6E+13	5.0E+13	1.1E+14	2.9E+13	5.0E+13	4.6E+13
68	Pb-214	4.1E+15	2.1E+14	2.3E+14	4.8E+14	1.3E+14	2.3E+14	2.1E+14
69	Pd-107	4.9E+14	2.5E+13	2.7E+13	5.8E+13	1.6E+13	2.7E+13	2.5E+13
70	Pm-147	2.6E+15	1.3E+14	1.5E+14	3.1E+14	8.5E+13	1.5E+14	1.3E+14
71	Pm-148m	1.7E+14	8.7E+12	9.4E+12	2.0E+13	5.5E+12	9.4E+12	8.7E+12
72	Po-210	6.1E+13	3.1E+12	3.4E+12	7.1E+12	2.0E+12	3.4E+12	3.1E+12
73	Pr-143	3.5E+15	1.8E+14	1.9E+14	4.0E+14	1.1E+14	1.9E+14	1.8E+14
74	Pu-236	2.6E+13	1.3E+12	1.4E+12	3.0E+12	8.2E+11	1.4E+12	1.3E+12
75	Pu-239	1.5E+12	7.6E+10	8.2E+10	1.7E+11	4.8E+10	8.2E+10	7.6E+10
76	Pu-240	1.9E+12	9.7E+10	1.1E+11	2.2E+11	6.1E+10	1.1E+11	9.7E+10
77	Pu-241	1.2E+14	6.3E+12	6.9E+12	1.5E+13	4.0E+12	6.9E+12	6.3E+12
78	Pu-242	1.2E+12	6.0E+10	6.5E+10	1.4E+11	3.8E+10	6.5E+10	6.0E+10
79	Ra-223	8.7E+13	4.4E+12	4.8E+12	1.0E+13	2.8E+12	4.8E+12	4.4E+12
80	Ra-224	2.1E+14	1.1E+13	1.2E+13	2.5E+13	6.7E+12	1.2E+13	1.1E+13
81	Rb- 86	1.2E+15	5.9E+13	6.5E+13	1.4E+14	3.8E+13	6.5E+13	5.9E+13
82	Rn-222	2.9E+14	1.4E+13	1.6E+13	3.3E+13	9.2E+12	1.6E+13	1.4E+13
83	Ru-103	1.0E+15	5.3E+13	5.8E+13	1.2E+14	3.4E+13	5.8E+13	5.3E+13
84	Ru-106	1.3E+14	6.8E+12	7.4E+12	1.6E+13	4.3E+12	7.4E+12	6.8E+12
85	S - 35	2.4E+15	1.2E+14	1.3E+14	2.8E+14	7.7E+13	1.3E+14	1.2E+14
86	Sb-124	2.2E+14	1.1E+13	1.2E+13	2.5E+13	7.0E+12	1.2E+13	1.1E+13
87	Sb-125	3.0E+14	1.5E+13	1.6E+13	3.5E+13	9.6E+12	1.6E+13	1.5E+13
88	Sb-126	7.1E+14	3.6E+13	3.9E+13	8.3E+13	2.3E+13	3.9E+13	3.6E+13
89	Sc- 46	1.9E+14	9.8E+12	1.1E+13	2.3E+13	6.2E+12	1.1E+13	9.8E+12
90	Se- 75	8.6E+14	4.3E+13	4.7E+13	1.0E+14	2.8E+13	4.7E+13	4.3E+13
91	Se- 79	1.6E+14	8.3E+12	9.0E+12	1.9E+13	5.2E+12	9.0E+12	8.3E+12
92	Sm-145	2.3E+15	1.2E+14	1.3E+14	2.7E+14	7.4E+13	1.3E+14	1.2E+14
93	Sm-151	2.4E+15	1.2E+14	1.3E+14	2.8E+14	7.7E+13	1.3E+14	1.2E+14
94	Sn-113	8.5E+14	4.3E+13	4.7E+13	1.0E+14	2.7E+13	4.7E+13	4.3E+13
95	Sn-117m	3.3E+15	1.7E+14	1.8E+14	3.9E+14	1.1E+14	1.8E+14	1.7E+14
96	Sn-119m	2.9E+15	1.5E+14	1.6E+14	3.4E+14	9.4E+13	1.6E+14	1.5E+14
97	Sn-121m	3.8E+14	1.9E+13	2.1E+13	4.4E+13	1.2E+13	2.1E+13	1.9E+13
98	Sn-123	6.4E+14	3.3E+13	3.6E+13	7.5E+13	2.1E+13	3.6E+13	3.3E+13
99	Sr- 82	3.1E+14	1.5E+13	1.7E+13	3.6E+13	9.8E+12	1.7E+13	1.5E+13
100	Sr- 85	8.9E+14	4.5E+13	4.9E+13	1.0E+14	2.9E+13	4.9E+13	4.5E+13

Anhang 9: Aktivitätswerte für weitere Radionuklide, die aus der Analyse zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren. Angaben in Bq pro Abfallgebinde

\* Typ FZK

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 98 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

Nr.	Radio- Nuklid	Aktivitätswert						
		Gußbeh.		Container				
		Typ III	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV	Typ V	Typ VI
51	Ir-192	1.8E+13	6.3E+13	6.9E+13	1.5E+14	1.3E+14	1.8E+14	8.9E+13
52	Kr- 81	1.6E+13	5.4E+13	5.9E+13	1.3E+14	1.1E+14	1.5E+14	7.6E+13
53	Kr- 85	1.7E+13	6.0E+13	6.5E+13	1.4E+14	1.2E+14	1.7E+14	8.4E+13
54	Lu-174	3.8E+13	1.3E+14	1.4E+14	3.2E+14	2.6E+14	3.7E+14	1.8E+14
55	Mn- 53	3.9E+13	1.4E+14	1.5E+14	3.3E+14	2.7E+14	3.8E+14	1.9E+14
56	Mn- 54	1.2E+13	4.2E+13	4.6E+13	1.0E+14	8.5E+13	1.2E+14	5.9E+13
57	Mo- 93	3.2E+13	1.1E+14	1.2E+14	2.7E+14	2.2E+14	3.1E+14	1.6E+14
58	Na- 22	2.9E+12	1.0E+13	1.1E+13	2.4E+13	2.0E+13	2.8E+13	1.4E+13
59	Nb- 93m	1.3E+14	4.7E+14	5.1E+14	1.1E+15	9.3E+14	1.3E+15	6.5E+14
60	Nb- 95	3.3E+13	1.2E+14	1.3E+14	2.8E+14	2.3E+14	3.2E+14	1.6E+14
61	Nd-147	1.3E+14	4.6E+14	5.0E+14	1.1E+15	9.1E+14	1.3E+15	6.4E+14
62	Ni- 59	3.9E+13	1.4E+14	1.5E+14	3.3E+14	2.7E+14	3.8E+14	1.9E+14
63	P - 32	6.5E+13	2.3E+14	2.5E+14	5.5E+14	4.5E+14	6.4E+14	3.2E+14
64	P - 33	4.2E+14	1.5E+15	1.6E+15	3.5E+15	2.9E+15	4.1E+15	2.1E+15
65	Pa-233	1.3E+14	4.6E+14	5.0E+14	1.1E+15	9.2E+14	1.3E+15	6.5E+14
66	Pa-234m	1.1E+14	4.0E+14	4.3E+14	9.5E+14	7.9E+14	1.1E+15	5.6E+14
67	Pa-234	3.9E+13	1.4E+14	1.5E+14	3.3E+14	2.7E+14	3.8E+14	1.9E+14
68	Pb-214	1.8E+14	6.2E+14	6.7E+14	1.5E+15	1.2E+15	1.7E+15	8.6E+14
69	Pd-107	2.1E+13	7.4E+13	8.1E+13	1.8E+14	1.5E+14	2.1E+14	1.0E+14
70	Pm-147	1.1E+14	4.0E+14	4.3E+14	9.5E+14	7.9E+14	1.1E+15	5.5E+14
71	Pm-148m	7.4E+12	2.6E+13	2.8E+13	6.1E+13	5.1E+13	7.2E+13	3.6E+13
72	Po-210	2.6E+12	9.1E+12	1.0E+13	2.2E+13	1.8E+13	2.6E+13	1.3E+13
73	Pr-143	1.5E+14	5.2E+14	5.7E+14	1.2E+15	1.0E+15	1.5E+15	7.3E+14
74	Pu-236	1.1E+12	3.8E+12	4.2E+12	9.2E+12	7.7E+12	1.1E+13	5.4E+12
75	Pu-239	6.5E+10	2.2E+11	2.5E+11	5.4E+11	4.5E+11	6.3E+11	3.1E+11
76	Pu-240	8.2E+10	2.9E+11	3.1E+11	6.9E+11	5.7E+11	8.0E+11	4.0E+11
77	Pu-241	5.4E+12	1.9E+13	2.0E+13	4.5E+13	3.7E+13	5.2E+13	2.6E+13
78	Pu-242	5.1E+10	1.8E+11	1.9E+11	4.3E+11	3.5E+11	5.0E+11	2.5E+11
79	Ra-223	3.7E+12	1.3E+13	1.4E+13	3.1E+13	2.6E+13	3.6E+13	1.8E+13
80	Ra-224	9.1E+12	3.2E+13	3.4E+13	7.6E+13	6.3E+13	8.8E+13	4.4E+13
81	Rb- 86	5.1E+13	1.8E+14	1.9E+14	4.2E+14	3.5E+14	4.9E+14	2.5E+14
82	Rn-222	1.2E+13	4.3E+13	4.7E+13	1.0E+14	8.6E+13	1.2E+14	6.0E+13
83	Ru-103	4.5E+13	1.6E+14	1.7E+14	3.8E+14	3.1E+14	4.4E+14	2.2E+14
84	Ru-106	5.8E+12	2.0E+13	2.2E+13	4.8E+13	4.0E+13	5.6E+13	2.8E+13
85	S - 35	1.0E+14	3.6E+14	3.9E+14	8.6E+14	7.2E+14	1.0E+15	5.0E+14
86	Sb-124	9.4E+12	3.3E+13	3.6E+13	7.8E+13	6.5E+13	9.1E+13	4.6E+13
87	Sb-125	1.3E+13	4.5E+13	4.9E+13	1.1E+14	8.9E+13	1.3E+14	6.3E+13
88	Sb-126	3.1E+13	1.1E+14	1.2E+14	2.6E+14	2.1E+14	3.0E+14	1.5E+14
89	Sc- 46	8.3E+12	2.9E+13	3.2E+13	7.0E+13	5.8E+13	8.1E+13	4.1E+13
90	Se- 75	3.7E+13	1.3E+14	1.4E+14	3.1E+14	2.6E+14	3.6E+14	1.8E+14
91	Se- 79	7.0E+12	2.4E+13	2.7E+13	5.9E+13	4.9E+13	6.8E+13	3.4E+13
92	Sm-145	9.9E+13	3.5E+14	3.8E+14	8.3E+14	6.9E+14	9.7E+14	4.8E+14
93	Sm-151	1.0E+14	3.6E+14	3.9E+14	8.6E+14	7.2E+14	1.0E+15	5.0E+14
94	Sn-113	3.7E+13	1.3E+14	1.4E+14	3.1E+14	2.6E+14	3.6E+14	1.8E+14
95	Sn-117m	1.4E+14	5.0E+14	5.5E+14	1.2E+15	1.0E+15	1.4E+15	7.0E+14
96	Sn-119m	1.3E+14	4.4E+14	4.8E+14	1.1E+15	8.8E+14	1.2E+15	6.1E+14
97	Sn-121m	1.6E+13	5.7E+13	6.2E+13	1.4E+14	1.1E+14	1.6E+14	8.0E+13
98	Sn-123	2.8E+13	9.7E+13	1.1E+14	2.3E+14	1.9E+14	2.7E+14	1.4E+14
99	Sr- 82	1.3E+13	4.6E+13	5.0E+13	1.1E+14	9.2E+13	1.3E+14	6.4E+13
100	Sr- 85	3.8E+13	1.3E+14	1.5E+14	3.2E+14	2.7E+14	3.7E+14	1.9E+14

**Anhang 9:** Aktivitätswerte für weitere Radionuklide, die aus der Analyse zur thermischen  
(Fortsetzung) Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren. Angaben in Bq pro Abfallbinde

( )

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 99 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

Nr.	Radio- nuklid	Längen- bezogener Aktivitäts- grenzwert in Bq/m	A k t i v i t ä t s w e r t					
			Betonbehälter			Gußbehälter		
			Typ I	Typ II	Typ III	Typ I	Typ II	Typ II*
101	Sr- 89	9.0E+14	4.5E+13	4.9E+13	1.0E+14	2.9E+13	4.9E+13	4.5E+13
102	Sr- 90	6.2E+13	3.1E+12	3.4E+12	7.3E+12	2.0E+12	3.4E+12	3.1E+12
103	Ta-182	2.4E+14	1.2E+13	1.3E+13	2.8E+13	7.6E+12	1.3E+13	1.2E+13
104	Tb-160	3.2E+14	1.6E+13	1.8E+13	3.7E+13	1.0E+13	1.8E+13	1.6E+13
105	Tc- 97	2.9E+14	1.5E+13	1.6E+13	3.4E+13	9.3E+12	1.6E+13	1.5E+13
106	Tc- 99	7.2E+13	3.7E+12	4.0E+12	8.4E+12	2.3E+12	4.0E+12	3.7E+12
107	Te-123m	1.4E+15	7.2E+13	7.8E+13	1.7E+14	4.6E+13	7.8E+13	7.2E+13
108	Te-125m	3.4E+15	1.7E+14	1.9E+14	4.0E+14	1.1E+14	1.9E+14	1.7E+14
109	Te-127m	1.1E+15	5.8E+13	6.3E+13	1.3E+14	3.7E+13	6.3E+13	5.8E+13
110	Te-129m	7.3E+14	3.7E+13	4.0E+13	8.5E+13	2.3E+13	4.0E+13	3.7E+13
111	Th-227	4.7E+13	2.4E+12	2.6E+12	5.5E+12	1.5E+12	2.6E+12	2.4E+12
112	Th-228	5.0E+12	2.5E+11	2.8E+11	5.8E+11	1.6E+11	2.8E+11	2.5E+11
113	Th-231	2.3E+16	1.2E+15	1.3E+15	2.7E+15	7.5E+14	1.3E+15	1.2E+15
114	Th-234	5.2E+14	2.6E+13	2.9E+13	6.1E+13	1.7E+13	2.9E+13	2.6E+13
115	Tl-204	5.9E+14	3.0E+13	3.3E+13	6.9E+13	1.9E+13	3.3E+13	3.0E+13
116	U -232	1.2E+12	6.1E+10	6.6E+10	1.4E+11	3.9E+10	6.6E+10	6.1E+10
117	U -236	1.2E+12	5.8E+10	6.4E+10	1.3E+11	3.7E+10	6.4E+10	5.8E+10
118	V - 49	5.4E+16	2.7E+15	3.0E+15	6.3E+15	1.7E+15	3.0E+15	2.7E+15
119	W -181	6.8E+15	3.4E+14	3.7E+14	7.9E+14	2.2E+14	3.7E+14	3.4E+14
120	W -185	3.4E+15	1.7E+14	1.9E+14	4.0E+14	1.1E+14	1.9E+14	1.7E+14
121	Xe-131m	1.3E+16	6.8E+14	7.4E+14	1.6E+15	4.3E+14	7.4E+14	6.8E+14
122	Y - 88	1.4E+14	6.9E+12	7.6E+12	1.6E+13	4.4E+12	7.6E+12	6.9E+12
123	Y - 91	8.0E+14	4.1E+13	4.4E+13	9.4E+13	2.6E+13	4.4E+13	4.1E+13
124	Yb-169	1.5E+15	7.7E+13	8.4E+13	1.8E+14	4.9E+13	8.4E+13	7.7E+13
125	Zn- 65	4.4E+14	2.2E+13	2.4E+13	5.2E+13	1.4E+13	2.4E+13	2.2E+13
126	Zr- 93	2.5E+14	1.3E+13	1.4E+13	2.9E+13	8.0E+12	1.4E+13	1.3E+13
127	Zr- 95	5.4E+14	2.8E+13	3.0E+13	6.4E+13	1.7E+13	3.0E+13	2.8E+13

**Anhang 9:** Aktivitätswerte für weitere Radionuklide, die aus der Analyse zur thermischen  
(Fortsetzung) Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren. Angaben in Bq pro Abfallgebinde

(██████████)

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 100 von 100
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	03		Stand: 15.09.2013

Nr.	Radio- nuklid	A k t i v i t ä t s w e r t						
		Gußbeh.		Container				
		Typ III	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV	Typ V	Typ VI
101	Sr- 89	3.9E+13	1.3E+14	1.5E+14	3.2E+14	2.7E+14	3.8E+14	1.9E+14
102	Sr- 90	2.7E+12	9.3E+12	1.0E+13	2.2E+13	1.9E+13	2.6E+13	1.3E+13
103	Ta-182	1.0E+13	3.6E+13	3.9E+13	8.5E+13	7.1E+13	1.0E+14	5.0E+13
104	Tb-160	1.4E+13	4.8E+13	5.2E+13	1.1E+14	9.6E+13	1.3E+14	6.7E+13
105	Tc- 97	1.3E+13	4.4E+13	4.8E+13	1.0E+14	8.7E+13	1.2E+14	6.1E+13
106	Tc- 99	3.1E+12	1.1E+13	1.2E+13	2.6E+13	2.2E+13	3.0E+13	1.5E+13
107	Te-123m	6.1E+13	2.1E+14	2.3E+14	5.1E+14	4.3E+14	6.0E+14	3.0E+14
108	Te-125m	1.5E+14	5.2E+14	5.6E+14	1.2E+15	1.0E+15	1.4E+15	7.2E+14
109	Te-127m	4.9E+13	1.7E+14	1.9E+14	4.1E+14	3.4E+14	4.8E+14	2.4E+14
110	Te-129m	3.2E+13	1.1E+14	1.2E+14	2.6E+14	2.2E+14	3.1E+14	1.5E+14
111	Th-227	2.0E+12	7.1E+12	7.8E+12	1.7E+13	1.4E+13	2.0E+13	9.9E+12
112	Th-228	2.2E+11	7.5E+11	8.2E+11	1.8E+12	1.5E+12	2.1E+12	1.0E+12
113	Th-231	1.0E+15	3.5E+15	3.8E+15	8.4E+15	7.0E+15	9.8E+15	4.9E+15
114	Th-234	2.3E+13	7.8E+13	8.5E+13	1.9E+14	1.6E+14	2.2E+14	1.1E+14
115	Tl-204	2.6E+13	8.9E+13	9.7E+13	2.1E+14	1.8E+14	2.5E+14	1.2E+14
116	U -232	5.2E+10	1.8E+11	2.0E+11	4.3E+11	3.6E+11	5.1E+11	2.5E+11
117	U -236	5.0E+10	1.7E+11	1.9E+11	4.2E+11	3.5E+11	4.8E+11	2.4E+11
118	V - 49	2.3E+15	8.1E+15	8.9E+15	2.0E+16	1.6E+16	2.3E+16	1.1E+16
119	W -181	2.9E+14	1.0E+15	1.1E+15	2.4E+15	2.0E+15	2.9E+15	1.4E+15
120	W -185	1.5E+14	5.1E+14	5.6E+14	1.2E+15	1.0E+15	1.4E+15	7.2E+14
121	Xe-131m	5.8E+14	2.0E+15	2.2E+15	4.9E+15	4.0E+15	5.7E+15	2.8E+15
122	Y - 88	5.9E+12	2.1E+13	2.2E+13	4.9E+13	4.1E+13	5.8E+13	2.9E+13
123	Y - 91	3.5E+13	1.2E+14	1.3E+14	2.9E+14	2.4E+14	3.4E+14	1.7E+14
124	Yb-169	6.5E+13	2.3E+14	2.5E+14	5.5E+14	4.5E+14	6.4E+14	3.2E+14
125	Zn- 65	1.9E+13	6.6E+13	7.3E+13	1.6E+14	1.3E+14	1.9E+14	9.3E+13
126	Zr- 93	1.1E+13	3.8E+13	4.1E+13	9.0E+13	7.5E+13	1.1E+14	5.3E+13
127	Zr- 95	2.3E+13	8.1E+13	8.9E+13	2.0E+14	1.6E+14	2.3E+14	1.1E+14

**Anhang 9:** Aktivitätswerte für weitere Radionuklide, die aus der Analyse zur thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins resultieren. Angaben in Bq pro Abfallgebinde

( )