

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 33 von 88
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	01	Stand: 16.02.2009

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

Po-208	$2,9 \cdot 10^{-3} - 2,5 \cdot 10^1$	V-48	$7,4 \cdot 10^2 - 2,4 \cdot 10^5$
Ra-225	$2,4 \cdot 10^{-3} - 1,1 \cdot 10^0$	W-181	$6,3 \cdot 10^0$
Rb-83	$1,8 \cdot 10^2$	Y-88	$6,1 \cdot 10^{-1}$
Rb-84	$2,1 \cdot 10^2 - 3,1 \cdot 10^3$	Yb-169	$5,6 \cdot 10^1 - 5,5 \cdot 10^3$
Rb-86	$5,4 \cdot 10^2$		

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 Abfallgebände und deren Aktivitäten abgestellt wird (Tab. 8).

### 4.2.3 Deklarierte Radionuklidspektren

Für die Diskussion der Radionuklidspektren gibt Tab. 11 einen Überblick über die weiteren Radionuklide, die nach heutigem Kenntnisstand in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung enthalten sein können (Spalte ‚Abfalldatenbasis Gorleben 1990‘ (Tab. 1) und Spalte ‚Programm-Bibliothek KORIGEN‘ (Tab. 2)) bzw. die in diesen Abfällen deklariert wurden (Spalte ‚ERAM 1994-1998‘ (Kap. 4.1), Spalte ‚KKW-Abfälle‘ (Kap. 4.2.1) und Spalte ‚FZK-Abfälle‘ (Kap. 4.2.2)). Danach sind entsprechend dem heutigen Kenntnisstand

- in den radioaktiven Abfällen, die von 1994 bis 1998 im ERAM eingelagert wurden, 45 Radionuklide
- in den Betriebsabfällen aus Kernkraftwerken 13 Radionuklide
- in den radioaktiven Abfällen aus dem Forschungszentrum Karlsruhe 39 Radionuklide

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 34 von 88
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	01	Stand: 16.02.2009

**Tab. 11:** Überblick über weitere Radionuklide, die in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung enthalten sein können bzw. deklariert wurden.

Radionuklid	Abfalldatenbasis Gorleben 1990	Programmbibliothek KORIGEN	ERAM 1994-1998	KKW- Abfälle	FZK- Abfälle
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-207			X		X
Bi-208		X			
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-250		X	X	X	
Co-56			X		
Cs-136	X				
Es-253		X			

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 35 von 88
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	01	Stand: 16.02.2009

Tab. 11: Überblick über weitere Radionuklide, die in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung enthalten sein können bzw. deklariert wurden (Fortsetzung).

Es-254						X
Eu-156			X			
Gd-153	X			X		X
Ge-68	X			X		X
Ho-166m			X	X	X	X
In-114m			X	X		X
Ir-192	X			X		X
K-40	X			X	X	X
Kr-81			X			
Lu-174	X					
Mn-53	X					
Nb-92			X			
Nd-147			X			
Np-236m			X	X		
P-32	X			X		X
P-33			X			
Pm-146				X		X
Pm-148m			X			
Po-208	X					X
Pr-143			X			
Ra-225			X			X
Rb-83				X		X
Rb-84				X		X
Rb-86			X	X		X
Rh-101				X		
Rh-102				X		

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 36 von 88
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	01		Stand: 16.02.2009

**Tab. 11:** Überblick über weitere Radionuklide, die in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung enthalten sein können bzw. deklariert wurden (Fortsetzung).

Rh-102m				X		X
Sb-124	X			X	X	X
Sb-126			X	X		X
Se-75	X			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-123m			X			
Te-127m			X			X
Te-129m			X			
Th-229			X	X	X	X
Ti-44						X
Tl-204	X			X		X
Tm-170				X		
V-48				X		X
W-181	X					X
W-185	X					

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 37 von 88
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	01	Stand: 16.02.2009

Tab. 11: Überblick über weitere Radionuklide, die in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung enthalten sein können bzw. deklariert wurden (Fortsetzung).

Xe-131m		X			
Y-88	X		X		X
Y-91		X			
Yb-169	X		X		X

Radioaktive Abfälle aus Kernkraftwerken, Forschungseinrichtungen oder Landessammelstellen 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' und 'FZK-Abfälle' aus Tab. 11 handelt es sich um 52 weitere Radionuklide, die in den Endlagerungsbedingungen Konrad, Stand: Dezember 1995 nicht berücksichtigt sind. Diese Radionuklide sind in Tab. 12 zusammengestellt.

Tab. 12: Deklarierte Radionuklide in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung, die nicht in den Endlagerungsbedingungen Konrad, Stand: Dezember 1995 enthalten bzw. begrenzt sind.

Al-26	Cf-254	P-32	Sb-126	Th-229
Au-195	Cm-250	Pm-146	Se-75	Ti-44
Ba-140	Co-56	Po-208	Sn-113	Tl-204
Be-7	Es-254	Ra-225	Sn-119m	Tm-170
Bi-207	Gd-153	Rb-83	Sn-121m	V-48
Cd-115m	Ge-68	Rb-84	Sn-123	W-181
Ce-139	Ho-166m	Rb-86	Sr-85	Y-88
Ce-141	In-144m	Rh-101	Ta-179	Yb-169
Cf-249	Ir-192	Rh-102	Tb-160	
Cf-251	K-40	Rh-102m	Tc-95m	
Cf-252	Np-236m	Sb-124	Te-127m	

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 (StrlSchV 2001) und Ti-44 mit einer Halbwertszeit von 47,3 a (StrlSchV 2001) zu nennen. Diese Radionuklide sind nicht in der Abfalldatenbasis Gorleben 1990 enthalten, wurden nicht der Bibliothek des Programms KORIGEN entnommen und sind nicht im ERAM endgelagert worden. Ihre

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 38 von 88
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Stand: 16.02.2009
9KE	2211	MAO	RE	0001	01	

Halbwertszeiten lassen unmittelbar erkennen, dass Es-254 und Ti-44 für die Langzeitsicherheit des Endlagers Konrad ohne Bedeutung sind.

Nach den Ausführungen in Kap. 4 zählen die in Tab. 12 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 -gebilde 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 im Größenordnungsbereich zwischen  $10^1$  Bq und  $10^6$  Bq (Kap. 4.2.1),
- 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  $10^{-11}$  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 Abfallgebilde bis  $10^3$  Bq pro Abfallgebilde (Kap. 4.2.2, Tab. 8).

Die Aktivität der weiteren 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 Abfallgebilde verteilt, und zwar mit sehr kleinen Werten in den betroffenen Abfallgebilden.

Dies gilt auch für radioaktive Abfälle, die im Rahmen der Produktkontrolle geprüft wurden. Seit Anfang der 1990er Jahre sind z. B. nach dem Verfahren der kampagnenabhängigen Verfahrensqualifikationen ca. 1000 Kampagnen angemeldet und durchgeführt worden (BANDT, SPICHER & KRÖGER 2008). Die Anzahl der kontrollierten Abfallgebilde pro Kampagne schwankte zwischen einem und mehreren hundert Gebilden. Auch hier fallen die im Radionuklidspektrum Konrad nicht enthaltenen Radionuklide nur in wenigen Abfallgebilden 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 Abfallgebilde.

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 Abfallgebindedokumentationen verwendet wird (Anlage 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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 39 von 88
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 16.02.2009
9KE	2211	MAO	RE	0001	01		

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.

Mit Hilfe dieser Programmsysteme werden Radionuklidinventare in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung berechnet und dokumentiert. Die in Tab. 12 angegebenen Radionuklide, die über das Radionuklidspektrum Konrad hinausgehen, finden sich bis auf Au-195 im ReVK, während KADABRA alle in Tab. 12 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.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 40 von 88
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	01		Stand: 16.02.2009



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 41 von 88
NAAN	NNNNNNNNNN	AAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	01	Stand: 16.02.2009

## 5 ÜBERPRÜFUNG DES RADIONUKLIDSPEKTRUMS KONRAD

Wie in Kap. 3 und 4 näher ausgeführt wurde, können radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung Radionuklide enthalten, die weder durch die Abfalldatenbasis 1984 noch durch die Endlagerungsbedingungen Konrad, Stand: Dezember 1995 abgedeckt sind. Diese Radionuklide werden nachfolgend als „weitere Radionuklide“ bezeichnet.

### 5.1 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 Sicherstellung 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.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 42 von 88
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	01	Stand: 16.02.2009

## 5.2 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 Jahre weitere 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 als abdeckende Planungsdaten 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 weiteren 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 sie als Eingangsdaten mit abdeckendem Charakter für zukünftige Endlagerungsarbeiten genannt und vorsorglich 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 weiteren Radionukliden zu den unterstellten Störfällen wurden 1990/1991 durchgeführt (BERG & LANGE 1990; BERG & LANGE 1991; BERG 1991 b). 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 (FETT & LANGE 2001), 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 (WOLLRATH 1995).

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 weiteren 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 weiteren 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.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 45 von 88
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	01	Stand: 16.02.2009

### 5.3.2 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 Aktivitätsgrenzwerten (Anhang 3) mit den deklarierten weiteren Radionukliden im Abfallgebäude 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 Abfallgebäude bis  $10^{13}$  Bq pro Abfallgebäude liegen, sind für die weiteren Radionuklide im Abfallgebäude FZK 2000004 Aktivitäten zwischen  $10^{-3}$  Bq und  $10^3$  Bq deklariert worden. Derartige Verhältnisse liegen auch vor, wenn die Aktivitätsangaben zum Abfallgebäude FZK 2000004 mit den Ergebnissen der zusätzlichen Untersuchungen zu den unterstellten Störfällen (FETT & LANGE 2001) 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).

Aufgrund dieser größenordnungsmäßigen Unterschiede verursachen die bisher von den Ablieferungspflichtigen/Abführungspflichtigen deklarierten weiteren 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 Radionukliden, die im ERAM von 1994 bis 1998 eingelagert wurden (Kap. 4.1; Tab. 7). In dieser Modellbetrachtung wurde gezeigt, dass die hier untersuchten 34 weiteren 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. 4.1 und 4.2.1 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.

### 5.3.3 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 4 und 5 wiedergegeben. Die Ergebnisse der zusätzlich durchgeführten Untersuchungen mit 60 weiteren Radionukliden (WOLLRATH 1995) finden sich in den Anhängen 6 und 7.

Der Vergleich der Aktivitätswerte aus den Anhängen 4 und 5 (Endlagerungsbedingungen Konrad, Stand: Dezember 1995) mit den entsprechenden Aktivitätswerten aus den Anhängen 6 und 7 (Berücksichtigung von weiteren 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 weiteren 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 weiteren 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 Karls-

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 46 von 88
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	01	Stand: 16.02.2009

ruhe (Tab. 10) oder Angaben zu Betriebsabfällen aus Kernkraftwerken (Kap. 4.2.1) herangezogen werden. Die hier genannten radionuklidspezifischen Summenaktivitäten pro Abfallcharge (und nicht pro Abfallgebinde) liegen hauptsächlich im Bereich zwischen  $10^{-3}$  Bq und  $10^5$  Bq.

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

### 5.3.4 Kritikalitätssicherheit

Für die sichere Einhaltung der Unterkritikalität sind nur die weiteren Radionuklide Cf-249 und Cf-251 von Bedeutung, die zusammen mit ihren Halbwertszeiten und Summenaktivitäten aus einzelnen Abfallchargen in Tab. 14 angegeben sind.

Tab. 14: Weitere 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 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-236m.

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-236m mit  $4,5 \cdot 10^3$  Bq - jeweils angegeben 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-236m nicht erreicht werden. Nach gegenwärtigem Kenntnisstand ist damit die sichere Einhaltung der Unterkritikalität im Endlager Konrad ausreichend gewährleistet.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 47 von 88
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	01	Stand: 16.02.2009

### 5.3.5 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 weitere Radionuklide, die langzeitsicherheitslich nicht relevant sind. Dies gilt auch für Es-254 und Ti-44 (Kap. 4.2.3). Für die Langzeitsicherheit des Endlagers Konrad kommen allein aufgrund ihrer Halbwertszeit die in Tab. 15 zusammengestellten weiteren Radionuklide in Betracht und sind damit einer Überprüfung und Bewertung zu unterziehen.

**Tab. 15:** Weitere Radionuklide, die für die Langzeitsicherheit relevant sein können.

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

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 würden bisher in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung nicht deklariert (Tab. 11).

Die in Tab. 15 angegebenen Summenaktivitäten für Al-26, K-40 und Np-236m 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,

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 48 von 88
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 16.02.2009
9KE	2211	MAO	RE	0001	01		

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. 4.1 und 4.2.1), d. h. die tatsächlich im ERAM vorhandene Aktivität dieses Radionuklids ist deutlich geringer. 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).

Kalium - und mit seiner natürlichen Zusammensetzung auch das Isotop K-40 - ist im menschlichen Körper vorhanden. 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 Aktivitätserhöhung 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 deklarierten Summenaktivität zu beachten.

Vor diesem Hintergrund sind von den in Tab. 15 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, Mn-53, Nb-92, Np-236m 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. 16 sind wesentliche langzeitsicherheitsrelevante Radionuklide zusammengestellt, die im Rahmen diesbezüglicher standortspezifischer Sicherheitsanalysen berücksichtigt wurden (DOE 1996; DOE 2004; NAGRA 1993; NAGRA 1994; KUGEL, NOACK, GILLER, MARTENS & BRENNECKE 1996; 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. Weiter sind die o. a. Radionuklide auch nicht in dem Referenzradionuklidinventar aufgeführt, das aktuellen kanadischen Planungsarbeiten für ein Endlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle in tiefen geologischen Formationen zugrunde liegt (OPG 2008).

Tab. 16: Langzeitsicherheitsrelevante Radionuklide.

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 49 von 88
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	Stand: 16.02.2009
9KE	2211	MAO	RE	0001	01	

Tab. 16: Langzeitsicherheitsrelevante Radionuklide (Fortsetzung).

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 weiteren Radionuklide enthalten, die allein aufgrund ihrer Halbwertszeit für die Langzeitsicherheit des Endlagers Konrad von Bedeutung sein könnten. Für K-40 gelten die o. a. relativierenden Hinweise.

Aus Sicht der radiologischen Langzeitauswirkungen ist damit festzuhalten, dass den in Tab. 15 angegebenen weiteren 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 (COSEMANS, BRAECKVELDT & DE PRETER 2005).

Im Rahmen von generischen Planungsarbeiten zur Entsorgung von radioaktiven Abfällen in Großbritannien wurden die in Tab. 15 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 zurückgegriffen wird (NDA/defra 2008). Die genannten Radionuklide sind in schwach- und mittelradioaktiven Abfällen enthalten; aus den angegebenen Gesamtaktivitäten und den Gesamtvolumina dieser Abfälle lassen sich gemittelte Aktivitätskonzentrationen ableiten, die

- für Bi-208, Bi-210m, Mn-53, Nb-92, Tc-97 und Kr-81 in schwachradioaktiven Abfällen im Bereich zwischen  $1,2 \cdot 10^{-6} \text{ Bq/m}^3$  und  $1,9 \cdot 10^2 \text{ Bq/m}^3$  liegen,
- für K-40 im Bereich von  $1,7 \cdot 10^4 \text{ Bq/m}^3$  bis  $3,6 \cdot 10^{10} \text{ Bq/m}^3$  und K-81 in mittelradioaktiven Abfällen  $2,9 \cdot 10^3 \text{ Bq/m}^3$  betragen.

Damit wird zusätzlich belegt, dass die Radionuklide Bi-208, Bi-210m, Mn-53, Nb-92 und Tc-97 keine sicherheitstechnische Bedeutung für das Endlager Konrad haben. Kr-81 ist bisher nicht deklariert worden; der obere Aktivitätswert von K-40 entspricht größenordnungsgemäß dem oberen Wert der in Tab. 15 genannten Summenaktivität.

## 5.4 ERGÄNZUNG DER ENDLAGERUNGSBEDINGUNGEN KONRAD

Die Ablieferungspflichtigen/Abführungspflichtigen haben in ihren radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung 52 Radionuklide deklariert; darüber hinaus können gemäß Tab. 11 noch weitere 27 Radionuklide in diesen Abfällen enthalten sein; die insgesamt nicht in den Endlagerungsbedingungen Konrad, Stand: Dezember 1995 enthalten und begrenzt sind.

Diese 79 Radionuklide sind in Tab. 17 zusammengefasst.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 50 von 88
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	01	Stand: 16.02.2009

Tab. 17: Weitere Radionuklide in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung.

Radionuklid			
Al-26	Cs-136	Pr-143	Tc-95m
Ar-37	Es-253	Ra-225	Tc-97
As-73	Es-254	Rb-83	Te-123m
Au-195	Eu-156	Rb-84	Te-127m
Ba-140	Gd-153	Rb-86	Te-129m
Be-7	Ge-68	Rh-101	Th-229
Bi-207	Ho-166m	Rh-102	Ti-44
Bi-208	In-114m	Rh-102m	Tl-204
Bi-210m	Ir-192	Sb-124	Tm-170
Bk-249	K-40	Sb-126	V-48
Cd-115m	Kr-81	Se-75	W-181
Ce-139	Lu-174	Sm-145	W-185
Ce-141	Mn-53	Sn-113	Xe-131m
Cf-249	Nb-92	Sn-117m	Y-88
Cf-250	Nd-147	Sn-119m	Y-91
Cf-251	Np-236m	Sn-121m	Yb-169
Cf-252	P-32	Sn-123	
Cf-253	P-33	Sr-82	
Cf-254	Pm-146	Sr-85	
Cm-250	Pm-148m	Ta-179	
Co-56	Po-208	Tb-160	

Da grundsätzlich nicht auszuschließen ist, dass über die in Tab. 17 genannten Radionuklide hinaus noch weitere Radionuklide in radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung enthalten sein können, ist für derartige Radionuklide eine Einzelfallprüfung (gesonderte sicherheitstechnische Prüfung) gemäß Kap. 5.3 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; BRENNECKE & WARNECKE 1990; BRENNECKE & WARNECKE 1987) sehen keine Regelungen vor, wie mit Radionukliden zu verfahren ist,



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 51 von 88
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	01	Stand: 16.02.2009

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:

Die in Kap. 5.2 beschriebenen zusätzlichen sicherheitsanalytischen Untersuchungen basierten auf abdeckenden Angaben zu möglichen weiteren 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 weiteren 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. 5.3) bestätigen diese Einschätzung. Danach ist festzuhalten, dass die weiteren Radionuklide (Tab. 12) 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. Dies gilt auch für Ar-37, Kr-81 und Xe-131m (Kap. 5.3.1) und für Bi-208, Bi-210m, Kr-81, Mn-53, Nb-92 und Tc-97 (Kap. 5.3.5).

Der Nachweis der Einhaltung von Aktivitätsbegrenzungen in Abfallgebunden, 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 Leitnuklids 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 Leitnuklids oder die Aktivität nicht spezifizierter sonstiger Alpha- und Beta-/Gammastrahler im Abfallgebinde weder angegeben noch bei Anwendung des Summenkriteriums berücksichtigt werden.

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 52 von 88
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	01	Stand: 16.02.2009

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 (MARTENS 1995). 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 Abfallgebänden durch eines oder notwendigenfalls durch mehrere der nachfolgenden Ermittlungsverfahren mit hinreichender Genauigkeit gemäß (MARTENS 1995) an Rohabfall- oder Abfallproduktproben, an Zwischenprodukten oder an Abfallgebänden durch den Abfallverursacher bzw. Konditionierer bestimmt wurde:

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 53 von 88
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	01	Stand: 16.02.2009

- 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. 5.3.2 und 5.3.3 dargelegt wurde, liegen deklarierte Aktivitäten von weiteren 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.

Der Sachverhalt, dass die weiteren 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.

Aufgrund des heutigen Kenntnisstandes über das Auftreten und tatsächliche Vorhandensein von möglichen weiteren 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 (siehe Anhänge 3 und 4) wiedergegebenen Tabellen sind so aufgebaut, dass die Aktivitätswerte 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 weiteren 79 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 weiteren Radionukliden (Kap. 4). Da grundsätzlich nicht ausgeschlossen werden kann, dass

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 54 von 88
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	01		Stand: 16.02.2009

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 weiteren 79 Radionuklide als „Tabelle 9: Weitere 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

„Die weiteren 79 Radionuklide gemäß Anhang II / Tabelle 9, die über die in Anhang II / Tabelle 2 bis 7 b und Anhang III.4 genannten Radionuklide hinausgehen, können zur Endlagerung angenommen werden, wenn ihre Aktivitätswerte jeweils

- 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 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

„Weitere Radionuklide, die in Anhang II / Tabelle 9 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

„Weitere Radionuklide, die in Anhang II / Tabelle 9 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: 55 von 88
NAAN 9KE	NNNNNNNNNN 2211	AAAA MAO	AA RE	NNNN 0001	NN 01	
						Stand: 16.02.2009

## 6 LITERATURVERZEICHNIS

- BANDT, G., SPICHER, G. & KRÖGER, H. (2008): 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
- 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
- BERG, H. P. (1990): 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
- BERG, H. P. (1991a): 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
- BERG, H. P. (1991b): 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
- BERG, H. P., EHRLICH, D., FISCHER, S., ILLI, H., THEIS, K.-P. & THOMASKE, B. (1984): 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
- BERG, H. P., EHRLICH, D. & ILLI, H. (1988): 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
- BERG, H. P. & LANGE, F. (1990): 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
- BERG, H. P. & LANGE, F. (1991): 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
- 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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 56 von 88
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	01		Stand: 16.02.2009

- BMU (2006): Bundesumweltminister Sigmar Gabriel zum OVG-Urteil zum Schacht Konrad. BMU-Pressebericht 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) - Schachtanlage 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) - Schachtanlage Konrad - Bundesamt für Strahlenschutz, interner Bericht ET-IB-79, Salzgitter, Dezember 1995
- BRENNECKE, P. & SCHUMACHER, J. (1990): 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-Conf-54, S. 497-511, Jülich, Juni 1985
- BRENNECKE, P. & WARNECKE, E. (1986): 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
- BRENNECKE, P. & WARNECKE, E. (1987): Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle (Vorläufige Endlagerungsbedingungen, Stand: November 1986) - Schachtanlage Konrad - Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bericht PTB-ET-16, Braunschweig, Januar 1987
- BRENNECKE, P. & WARNECKE, E. (1990): Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle (Vorläufige Endlagerungsbedingungen, Stand: April 1990) - Schachtanlage Konrad - Bundesamt für Strahlenschutz, Bericht ET-3/90, Salzgitter, April 1990
- COSEMANS, C., BRAECKEVELDT, M. & DE PRETER, P. (2005): 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
- 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).
- FETT, H. J. & LANGE, F. (2001): 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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 57 von 88
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	01	Stand: 16.02.2009

- 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 KIK 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
- 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-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 (2006): Abfalldatenblatt GNS B 003/06 Rev 01 zum Abfallgebäude KKB 6506370. Gesellschaft für Nuklear-Service mbH, Essen, 23. Oktober 2006

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 58 von 88
NAAN	NNNNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9KE	2211	MAO	RE	0001	01		Stand: 16.02.2009

- GNS (2007): Abfalldatenblatt GNS B 104/07 Rev 00 zu den Abfallbehältern K11 0304517 und K11 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 118/96 Rev 05 zum Abfallgebinde KKK 5200001. Gesellschaft für Nuclear-Service mbH, Essen, 23. Oktober 2008
- 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)
- ILLI, H. & FISCHER, S. (1991): 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
- 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
- KLÖCKNER, F., KRAFF, P. & SCHLÖSSER, K. H. (1984): Überarbeitung des Kategorisierungsschemas und Ergänzung zur Abfalldatenbasis. Wissenschaftlich-Technische Ingenieurberatung GmbH, Arbeitsbericht WTI/TB/02/84 Rev. 0, Titz-Rödingen, Dezember 1984
- KUGEL, K., BRENNECKE, P. & STEYER, S. (1998): Entsorgung radioaktiver Abfälle im Endlager Morsleben (ERAM), Eingelagerte Aktivitäten - Einlagerungszeitraum 1994 bis 1998 -. Bundesamt für Strahlenschutz, interner Bericht ET-IB-106, Salzgitter, Dezember 1998
- KUGEL, K., NOACK, W., GILLER, H., MARTENS, B.-R. & BRENNECKE, P. (Bearb.) (1996): 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
- LBE (1995): Sammeldatenblatt-Nr.: A1LBE199506-001, Sammeldatenblatt für radioaktive Abfälle, Abfallart A1 (feste Abfälle). Landessammelstelle Berlin, 24. Juli 1995
- 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)
- MARTENS, B.-R. (Hrsg.) (1995): Produktkontrolle radioaktiver Abfälle - Schachanlage Konrad - Stand: Dezember 1995. Bundesamt für Strahlenschutz, interner Bericht ET-IB-45-REV-3, Salzgitter, Dezember 1995



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 59 von 88
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	01	Stand: 16.02.2009

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 NTB 93-26, Wettingen, September 1993

NAGRA (1994): 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 NTB 94-06, Wettingen, Juni 1994

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. Niedersächsisches Umweltministerium, Hannover, 22. Mai 2002

OPG (2008): 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

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

SCHLÖSSER, K. H. & KRAFF, P. (1984): 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

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

STEYER, S. (2006): Stellungnahme zur Einlagerbarkeit von Cf-252 im geplanten Endlager für radioaktive Abfälle - Schachanlage Konrad - E-Mail an Frank Deveer/GNS. Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter, 16. Oktober 2006

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

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

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 60 von 88
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	2211	MAO	RE	0001	01	Stand: 16.02.2009

WOLLRATH, J. (1995): 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