

Strahlenschutzkommission

Geschäftsstelle der
Strahlenschutzkommission
Postfach 12 06 29
D-53048 Bonn

<http://www.ssk.de>

Freigabe von Stoffen zur Beseitigung

Empfehlung der Strahlenschutzkommission

Verabschiedet in der 213. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 06. Dezember 2006

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einleitung	5
2 Empfehlung	6
2.1 Schutzziele und Freigabewerte	6
2.2 Kriterien für die Freigabe zur Beseitigung	11
3 Wissenschaftliche Begründung	12
3.1 Bisher verwendete Modellbetrachtungen	12
3.2 Anlass der Überarbeitung	14
3.3 Modellanpassungen	16
3.3.1 Einleitung.....	16
3.3.2 Ausschöpfungsgrad der Freigabewerte.....	17
3.3.3 Abfallverursacher und Massenaufkommen	17
3.3.4 Jährliches Massenaufkommen und Größe der Referenzdeponie.....	18
3.3.5 Jährliches Massenaufkommen der Referenz-Müllverbrennungsanlage (MVA)	18
3.3.6 Jährliches Massenaufkommen der Referenz-Anlage für mechanisch- biologische Behandlung (MBA).....	18
3.3.7 Jährlicher Volumendurchsatz der Referenzkläranlage	18
3.3.8 Betrachtung der relevanten Radionuklide.....	18
3.3.9 Transport zur Deponie bzw. Verbrennungsanlage	19
3.3.10 Arbeitsabläufe	19
3.3.11 Verwertung von Stoffen aus der MVA.....	21
3.3.12 Emission einer Müllverbrennungsanlage.....	21
3.3.13 Ausbreitung der Radionuklide über das Oberflächenwasser	21
3.3.14 Betrachtung der Kläranlage	22
3.3.15 Ausbreitung der Radionuklide über den Grundwasserpfad	23
3.3.16 Ingestion kontaminierter Nahrungsmittel	24
3.3.17 Konservativität des Modells	25
3.4 Ergebnisse des neuen Modells	26
4 Ergänzende Betrachtungen zur Freisetzung	33
4.1 Langfristige Freisetzungen	33

4.2	Kurzfristige Freisetzungen	34
4.3	Schlussfolgerung	35
5	Vergleich der bisherigen und der hier empfohlenen Freigabewerte.....	35
6	Literaturverzeichnis	40

1 Einleitung

Die Strahlenschutzkommission (SSK) hat seit den achtziger Jahren eine Reihe von Empfehlungen zur Freigabe geringfügig radioaktiver Stoffe ausgesprochen, die in einer Gesamtempfehlung [SSK 98] zusammengefasst worden sind. Diese Empfehlungen basieren auf dem de-minimis-Konzept der IAEA [IAEA 88], welches für die Bevölkerung eine Dosisbegrenzung von einigen 10 μSv im Kalenderjahr für Stoffe vorsieht, die keiner Überwachung mehr unterliegen. Für die Modellierung der Beseitigung von freigegebenen Stoffen wurde in dieser Gesamtempfehlung ein Modell verwendet, das auf Untersuchungen von Poschner & Schaller [POS 95] basierte. Zusätzlich sind in der SSK-Gesamtempfehlung bei der Herleitung der Freigabewerte die Altersgruppen und die Dosiskoeffizienten der EU-Strahlenschutzgrundnormen [EU 96] berücksichtigt worden.

In der Zwischenzeit haben sich einige Randbedingungen geändert, die zum einen mit neueren Vorgaben des Abfallrechts zusammenhängen. Zum anderen hat sich der technische Stand der Deponietechnik weiter entwickelt. Änderungen im Abfallrecht ergaben sich insbesondere durch

- die Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen (AbfAbIV) vom 20. Februar 2001, BGBl I 2001, 305, sowie
- die Verordnung über Deponien und Langzeitlager, Deponieverordnung (DepV) vom 24. Juli 2002, BGBl I 2002, 2807,

wodurch die Regelungen der Technischen Anleitung Siedlungsabfall (TASi) [TASi 93] konkretisiert und verbindlich gemacht wurden.

Daraus ergaben sich bestimmte Anforderungen an weiterbetriebene und zukünftige Deponien und Entsorgungsanlagen sowie die damit verbundenen Arbeitsabläufe, die Einfluss auf die Dosisberechnung haben (insbesondere Bodenabdichtung, Abdeckung, Vorbehandlung der Abfälle). Die Folgerungen aus den neuen Anforderungen wurden in einem Forschungsvorhaben des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) untersucht [THI 04].

Die Strahlenschutzkommission wurde aus diesen Gründen vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) mit der Erarbeitung einer Empfehlung zur Ermittlung der Freigabewerte zur Beseitigung beauftragt. Neben den bereits genannten anzupassenden Randbedingungen wurde auch die zu unterstellende Größe (Jahreskapazität) der Entsorgungsanlagen neu bewertet. Außerdem wurde bei der jährlich angenommenen Masse freigegebener Abfälle, die einer einzelnen Entsorgungsanlage zugeführt werden, berücksichtigt, dass in Zukunft verstärkt Rückbauvorhaben mit großen Abfallströmen relevant werden können und durch die Modellierung abgedeckt sein sollen.

In Erweiterung des Ansatzes der SSK-Empfehlung von 1998 [SSK 98] sind Differenzierungen der Massenaufkommen und Beseitigungsarten für die Anwendung der ermittelten Freigabewerte getroffen worden, um der Praxis besser gerecht zu werden.

2 Empfehlung

2.1 Schutzziele und Freigabewerte

Voraussetzung für eine Freigabe von radioaktiven Stoffen aus dem genehmigungspflichtigen Umgang ist der Nachweis, dass für Einzelpersonen der Bevölkerung nur eine effektive Dosis im Bereich von 10 μSv im Kalenderjahr auftreten kann. Auf der Grundlage aktualisierter Modellrechnungen zur Freigabe von Stoffen zur Beseitigung empfiehlt die SSK die Anwendung der in Tabelle 1 aufgeführten Freigabewerte. Unter Zugrundelegung dieser Freigabewerte kann die zuständige Behörde davon ausgehen, dass das Schutzziel erfüllt ist, wenn für eine Freigabe von

- a) festen und flüssigen Stoffen zur Beseitigung in einer Verbrennungsanlage
 - bei einer zu erwartenden freizugebenden Jahresmenge von weniger als 100 Mg die Einhaltung der in Tabelle 1 Spalte 3 genannten Freigabewerte oder
 - bei einer zu erwartenden freizugebenden Jahresmenge von 100 bis 1.000 Mg die Einhaltung der in Tabelle 1 Spalte 5 genannten Freigabewerte,
- b) festen Stoffen zur Deponierung
 - bei einer zu erwartenden freizugebenden Jahresmenge von weniger als 100 Mg die Einhaltung der in Tabelle 1 Spalte 2 genannten Freigabewerte oder
 - bei einer zu erwartenden freizugebenden Jahresmenge von 100 bis 1.000 Mg die Einhaltung der in Tabelle 1 Spalte 4 genannten Freigabewerte

sowie die im Abschnitt 2.2 genannten Festlegungen und, sofern eine feste Oberfläche vorhanden ist, an denen eine Kontaminationsmessung mit üblichen Detektoren oder eine Kontaminationsbestimmung möglich und für die eine weitere Handhabung nach der Freigabe nicht auszuschließen ist, die Einhaltung der Werte der Oberflächenkontamination der Anlage III Tabelle 1 Spalte 4 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) nachgewiesen ist.

Das Schutzziel soll auch am Standort der Entsorgungsanlage eingehalten werden. Die zuständige Behörde kann aufgrund der Konservativität des Modells davon ausgehen, dass dieses Schutzziel eingehalten ist. Es ist daher aus Sicht der SSK nicht erforderlich, Parameter dieses Modells als Randbedingungen im Freigabeverfahren festzulegen.

Die oben und in § 29 Abs. 2 Satz 2 StrlSchV aufgeführten Freigabepfade können unabhängig voneinander genutzt werden. Hiervon ausgenommen ist die alternative Nutzung der uneingeschränkten Freigabe von Bauschutt und Bodenaushub entweder nach § 29 Abs. 2 Satz 2 Nr. 1 a) oder Nr. 1 c) StrlSchV sowie die Freigabe zur Beseitigung auf einer Deponie bzw. in einer Verbrennungsanlage nach § 29 Abs. 2 Satz 2 Nr. 2 a StrlSchV. Bei der Auswahl dieser Freigabepfade sind die entsprechenden Massenbeschränkungen zu beachten. Grundlage dieser Festlegung ist die zu erwartende Jahresmenge für Bauschutt und Bodenaushub.

Die Tabelle 1 enthält Freigabewerte für alle Materialarten für freigebbare Jahresmengen von bis zu 100 Mg/a und von 100 bis zu 1.000 Mg/a. In Abhängigkeit von der zu erwartenden Jahresmenge empfiehlt die SSK, die Werte der Spalte 2 bzw. 3 oder 4 bzw. 5 anzuwenden.

Die in Tabelle 1 dieser Empfehlung aufgeführten Freigabewerte stellen die Einhaltung einer maximalen effektiven Dosis von 10 μ Sv im Kalenderjahr sicher. Sie unterschreiten für wenige Nuklide die Freigabewerte zur uneingeschränkten Freigabe (s. Anlage III Tabelle 1 Spalten 5 und 6 StrlSchV).

Abfallmengen von deutlich mehr als 100 Mg/a stellen in der Praxis auch bei Stilllegungsprojekten lediglich einzelne Fälle dar. Die Freigaben von bis zu 100 Mg/a entsprechen dem Regelfall.

Die Freigabewerte zur uneingeschränkten Freigabe nach § 29 Abs. 2 Nr. 1 a) und b) StrlSchV sollten jedoch nach Einschätzung der SSK nicht die Freigabewerte nach § 29 Abs. 2 Nr. 2 StrlSchV überschreiten, da anderenfalls das Prinzip der uneingeschränkten Freigabe nicht eingehalten ist.

Tab. 1: *Freigabewerte einzelner Radionuklide für die Freigabe von festen und flüssigen Stoffen zur Beseitigung in einer Verbrennungsanlage sowie von festen Stoffen zur Deponierung in Bq/g*

Nuklid	Freigabewert in Bq/g			
	< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a	
	Deponie	MVA	Deponie	MVA
1	2	3	4	5
H-3	6E+4	1E+6	6E+3	1E+6
Be-7	3E+2	4E+2	9E+1	4E+1
C-14	4E+3	1E+4	4E+2	1E+4
Na-22	7E+0	9E+0	2E+0	2E+0
Si-32	1E+3	1E+3	4E+2	9E+2
P-32	1E+3	1E+3	1E+3	1E+3
P-33	1E+5	1E+5	2E+4	1E+5
S-35	5E+3	2E+4	5E+2	2E+3
Cl-36	3E+0	3E+0	3E-1	3E-1
Ca-41	2E+2	1E+3	2E+1	1E+2
Ca-45	5E+3	1E+4	5E+2	4E+3
Sc-46	8E+0	9E+0	2E+0	2E+0
V-48	6E+0	7E+0	2E+0	2E+0
Cr-51	5E+2	9E+2	1E+2	1E+2
Mn-53	6E+2	4E+3	6E+1	4E+2
Mn-54	1E+1	1E+1	6E+0	6E+0
Fe-55	1E+4	1E+4	7E+3	1E+4
Fe-59	1E+1	1E+1	4E+0	4E+0

Nuklid	Freigabewert in Bq/g			
	< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a	
	Deponie	MVA	Deponie	MVA
1	2	3	4	5
Co-56	4E+0	5E+0	1E+0	1E+0
Co-57	1E+2	1E+2	5E+1	5E+1
Co-58	1E+1	1E+1	5E+0	5E+0
Co-60	6E+0	7E+0	2E+0	2E+0
Ni-59	3E+3	1E+4	3E+2	3E+3
Ni-63	1E+4	6E+4	1E+3	6E+3
Zn-65	1E+1	1E+1	8E+0	3E+0
Ge-71	1E+4	1E+4	1E+4	1E+4
As-73	1E+3	1E+3	1E+3	1E+3
As-74	1E+1	1E+1	7E+0	3E+0
Se-75	4E+1	7E+1	1E+1	7E+0
Rb-86	1E+2	1E+2	6E+1	6E+1
Sr-85	3E+1	4E+1	9E+0	9E+0
Sr-89	1E+3	1E+3	1E+3	1E+3
Sr-90+	6E+0	4E+1	6E-1	4E+0
Y-91	1E+3	1E+3	1E+3	1E+3
Zr-93	8E+2	1E+3	8E+1	8E+2
Zr-93+	8E+2	1E+3	8E+1	8E+2
Zr-95	1E+1	1E+1	4E+0	4E+0
Nb-93m	1E+4	1E+4	4E+3	1E+4
Nb-94	1E+1	1E+1	3E+0	3E+0
Nb-95	1E+1	1E+1	6E+0	6E+0
Mo-93	4E+1	3E+2	4E+0	3E+1
Tc-97	7E+1	6E+1	7E+0	6E+0
Tc-97m	1E+3	1E+3	2E+2	3E+2
Tc-99	7E+0	6E+0	7E-1	6E-1
Ru-103+	3E+1	5E+1	1E+1	1E+1
Ru-106+	7E+1	1E+2	2E+1	2E+1
Pd-103+	1E+3	1E+3	1E+3	1E+3
Ag-105	3E+1	4E+1	9E+0	4E+0
Ag-108m+	9E+0	1E+1	1E+0	1E+0
Ag-110m+	6E+0	6E+0	2E+0	6E-1
Ag-111	7E+2	1E+3	2E+2	2E+2
Cd-109+	8E+2	4E+3	8E+1	4E+2
Cd-115m	7E+2	7E+2	2E+2	7E+1
Cd-115m+	7E+2	7E+2	2E+2	7E+1
In-114m+	1E+2	1E+2	4E+1	2E+1

Nuklid	Freigabewert in Bq/g			
	< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a	
	Deponie	MVA	Deponie	MVA
1	2	3	4	5
Sn-113+	6E+1	8E+1	2E+1	8E+0
Sn-125	6E+1	6E+1	2E+1	8E+0
Sb-124	9E+0	9E+0	3E+0	9E-1
Sb-125+	4E+1	4E+1	1E+1	4E+0
Te-123m	1E+2	1E+2	4E+1	3E+1
Te-125m	1E+3	1E+3	5E+2	1E+3
Te-127m+	3E+2	1E+3	3E+1	3E+2
Te-129m+	2E+2	3E+2	7E+1	3E+1
I-125	8E+2	1E+3	8E+1	1E+2
I-126	4E+1	5E+1	1E+1	5E+0
I-129	6E-1	6E-1	6E-2	6E-2
I-131	5E+1	7E+1	2E+1	9E+0
Cs-131	1E+3	1E+3	1E+3	1E+3
Cs-134	1E+1	1E+1	3E+0	1E+0
Cs-135	3E+2	3E+3	3E+1	3E+2
Cs-136	9E+0	9E+0	3E+0	1E+0
Cs-137+	1E+1	1E+1	8E+0	3E+0
Ba-131+	4E+1	6E+1	1E+1	1E+1
Ba-133	4E+1	8E+1	1E+1	1E+1
Ba-140+	1E+1	1E+1	3E+0	3E+0
Ce-139	1E+2	1E+2	4E+1	4E+1
Ce-141	1E+2	1E+2	8E+1	8E+1
Ce-144+	1E+2	1E+2	1E+2	1E+2
Pr-143	1E+4	1E+4	1E+4	1E+4
Nd-147	1E+2	1E+2	5E+1	5E+1
Pm-147	1E+4	1E+4	1E+4	1E+4
Sm-151	1E+4	1E+4	1E+4	1E+4
Eu-152	1E+1	1E+1	4E+0	4E+0
Eu-154	1E+1	1E+1	4E+0	4E+0
Eu-155	1E+2	1E+2	1E+2	1E+2
Gd-153	1E+2	1E+2	1E+2	1E+2
Tb-160	1E+1	1E+1	4E+0	4E+0
Er-169	1E+4	1E+4	1E+4	1E+4
Tm-170	1E+3	1E+3	1E+3	1E+3
Tm-171	1E+4	1E+4	1E+4	1E+4
Hf-181	1E+1	1E+1	9E+0	9E+0
Ta-182	1E+1	1E+1	4E+0	4E+0

Nuklid	Freigabewert in Bq/g			
	< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a	
	Deponie	MVA	Deponie	MVA
1	2	3	4	5
W-181	1E+3	1E+3	4E+2	4E+2
W-185	1E+4	1E+4	3E+3	1E+4
Os-185	1E+1	1E+1	7E+0	7E+0
Os-191	1E+2	1E+2	1E+2	1E+2
Ir-190+	6E+0	8E+0	2E+0	2E+0
Ir-192	1E+1	1E+1	6E+0	6E+0
Ir-194m	6E+0	9E+0	2E+0	2E+0
Hg-203	7E+1	1E+2	2E+1	1E+1
Tl-202	4E+1	6E+1	1E+1	7E+0
Tl-204	9E+2	9E+3	9E+1	9E+2
Pb-210+	1E+1	1E+1	3E+0	8E+0
Pb-210++	1E+1	1E+1	3E+0	8E+0
Bi-207	1E+1	1E+1	3E+0	1E+0
Po-210	1E+1	1E+1	3E+0	1E+1
Ra-223+	3E+1	6E+1	1E+1	2E+1
Ra-225	5E+1	9E+1	1E+1	3E+1
Ra-226+	4E-1	5E+0	4E-2	5E-1
Ra-226++	4E-1	5E+0	4E-2	5E-1
Ra-228+	5E+0	8E+0	2E+0	2E+0
Ac-227+	1E-1	1E-1	1E-1	1E-1
Ac-227++	1E-1	1E-1	1E-1	1E-1
Th-227	1E+1	1E+1	7E+0	1E+1
Th-228+	1E+0	1E+0	1E+0	1E+0
Th-229+	1E+0	1E+0	1E+0	1E+0
Th-230	5E-1	1E+0	5E-2	3E-1
Th-232	7E-1	5E+0	7E-2	7E-1
Th-232sec	7E-1	5E+0	7E-2	7E-1
Th-234+	9E+2	1E+3	3E+2	3E+2
Pa-230	1E+1	1E+1	8E+0	8E+0
Pa-231	1E-1	1E+0	1E-2	1E-1
Pa-233	8E+1	1E+2	2E+1	2E+1
U-230+	1E+1	1E+1	9E+0	1E+1
U-232	4E+0	3E+0	5E-1	2E+0
U-232+	1E+0	1E+0	5E-1	1E+0
U-233	5E+0	1E+1	5E-1	4E+0
U-234	6E+0	1E+1	6E-1	2E+0
U-235+	3E+0	4E+0	3E-1	4E-1

Nuklid	Freigabewert in Bq/g			
	< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a	
	Deponie	MVA	Deponie	MVA
1	2	3	4	5
U-236	6E+0	1E+1	6E-1	6E+0
U-238+	6E+0	1E+1	6E-1	5E+0
U-238sec	3E-1	1E+0	3E-2	3E-1
Np-237+	1E+0	1E+0	1E-1	1E+0
Pu-236	1E+1	1E+1	6E+0	1E+1
Pu-237	5E+2	1E+3	1E+2	1E+2
Pu-238	1E+0	1E+0	1E+0	1E+0
Pu-239	1E+0	1E+0	5E-1	1E+0
Pu-240	1E+0	1E+0	6E-1	1E+0
Pu-241	1E+2	1E+2	4E+1	1E+2
Pu-242	1E+0	1E+0	5E-1	1E+0
Pu-244+	1E+0	1E+0	3E-1	1E+0
Am-241	1E+0	1E+0	1E+0	1E+0
Am-242m+	1E+0	1E+0	1E+0	1E+0
Am-243+	1E+0	1E+0	9E-1	1E+0
Cm-242	8E+1	1E+2	2E+1	5E+1
Cm-243	1E+0	1E+0	1E+0	1E+0
Cm-244	1E+1	1E+1	5E+0	1E+1
Cm-245	1E+0	1E+0	6E-1	1E+0
Cm-246	1E+0	1E+0	1E+0	1E+0
Cm-247+	1E+0	1E+0	3E-1	1E+0
Cm-248	1E+0	1E+0	2E-1	1E+0
Bk-249	9E+2	1E+3	3E+2	7E+2
Cf-248	1E+1	1E+1	1E+1	1E+1
Cf-249	1E+0	1E+0	1E+0	1E+0
Cf-250	1E+1	1E+1	4E+0	8E+0
Cf-251	1E+0	1E+0	1E+0	1E+0
Cf-252	1E+1	1E+1	7E+0	1E+1
Cf-253+	1E+2	1E+2	7E+1	1E+2
Cf-254	1E+0	1E+0	1E+0	1E+0
Es-253	1E+2	1E+2	5E+1	1E+2
Es-254+	1E+1	1E+1	4E+0	5E+0

2.2 Kriterien für die Freigabe zur Beseitigung

Die SSK sieht für die praktische Anwendung der in Tabelle 1 aufgeführten Freigabewerte für die Freigabe zur Beseitigung die Anwendung der folgenden Kriterien als notwendig an.

Die in Anlage IV Teil A Nr. 1 StrlSchV aufgeführten Festlegungen sind bei der Freigabe zur Beseitigung weiterhin zu beachten. Eine Freigabe zur Beseitigung setzt voraus, dass die Stoffe, für die eine wirksame Feststellung nach § 29 Abs. 3 StrlSchV getroffen wurde, auf einer Deponie abgelagert oder eingebaut oder in einer Verbrennungsanlage beseitigt werden. Eine Verwertung oder Wiederverwendung außerhalb der Deponie oder Verbrennungsanlage muss ausgeschlossen sein. Als Deponien für die Beseitigung freigegebener Stoffe sind nur solche Entsorgungsanlagen geeignet, die mindestens die Anforderungen der Deponieklasse I erfüllen und eine Jahreskapazität von mindestens 10.000 Mg/a oder 7.600 m³/a für die eingelagerte Menge von Abfällen, gemittelt über die letzten 3 Jahre, erreichen.

Neben der formalen Anwendung der Freigabewerte nach Tabelle 1 sieht die SSK auch Einzelnachweise der Einhaltung des Schutzziels als sinnvoll an.

Im Hinblick auf die mögliche Überschreitung der festgelegten Jahresmengen stellt die SSK fest:

Soll mehr als die in Abschnitt 2.1 festgelegte Jahresmenge von 1.000 Mg an Stoffen mit einer spezifischen Aktivität, die in jedem Fall die entsprechenden Werte der Tabelle 1 dieser Empfehlung unterschreitet, in einem Kalenderjahr freigegeben und über eine Entsorgungsanlage beseitigt werden, so ist das Schutzziel z.B. auch dann eingehalten, wenn gilt

$$\sum_i \frac{C_i}{R_{i,n}} \cdot \frac{m}{M_n} \leq 1$$

- m: Masse der im laufenden Kalenderjahr freigegebenen und freizugebenden Stoffe in Mg,
- R_{i,n}: Freigabewert für das Nuklid i nach Tabelle 1 Spalte n in Bq/g, mit n=4/5,
- C_i: spezifische Aktivität des im laufenden Kalenderjahr freigegebenen und des freizugebenden Stoffes in Bq/g,
- M_n: maximale Jahresmenge, wobei die maximale Jahresmenge M_n bei Verwendung der Freigabewerte in Tabelle 1, Spalte 4 oder 5, auf 1.000 Mg zu begrenzen ist.

Wird das Kriterium aufgrund der freizugebenden Menge nicht eingehalten, ist eine Freigabe nur nach einem gesonderten Nachweis zur Einhaltung des Dosiskriteriums nach § 29 Abs. 2 StrlSchV möglich.

3 Wissenschaftliche Begründung

3.1 Bisher verwendete Modellbetrachtungen

Den Regelungen zur Freigabe von Stoffen zur Beseitigung (s. § 29 (2) StrlSchV i. V. m. Anlage III Tabelle 1 Spalte 9 und Anlage IV Teil C) liegen die radiologischen Betrachtungen gemäß Poschner & Schaller [POS 95] mit Modifikationen aus der Empfehlung der SSK [SSK 98] zugrunde.

Die Freigabe zur Beseitigung erfolgt mit der Einschränkung, dass die Stoffe in eine Deponie eingebaut oder in einer thermischen Behandlungsanlage (Müllverbrennungsanlage) verbrannt

werden. Die Schlacke aus der Verbrennung kann aus radiologischer Sicht anschließend verwertet oder deponiert werden, ohne dass das Schutzziel verletzt wird. Um die Einhaltung des Schutzzieles zu gewährleisten, wurden im Rahmen der radiologischen Betrachtungen folgende Pfade im Einzelnen betrachtet:

- Direktstrahlung und Inhalation für das Deponie- und Transportpersonal,
- Abluftpfad von der Müllverbrennungsanlage,
- Drainagewässer der Deponie, die im Klärwerk zu Klärschlämmen beitragen, deren Verwendung zur Düngung unterstellt wird,
- Nutzung des oberflächlichen Wasserablaufs für Trinkwasserbedarf, Viehtränke, Beregnung und Speisung eines Fischteichs,
- Grundwasserpfad, bei dem das Sickerwasser der Deponie über einen Defekt in der Basisabdichtung in den Grundwasserleiter gelangt, der von einem Wasserwerk bzw. einem Privatbrunnen genutzt wird (der Defekt liegt von Beginn an vor),
- Abgabe der Schlacke von der Müllverbrennungsanlage an eine Deponie.

In der Untersuchung von Poschner & Schaller [POS 95] wird von einfachen Grundannahmen für Abfallaufkommen und Deponiegröße ausgegangen. So wird die Annahme einer Jahresmenge von 100 Mg schwach radioaktiver Abfälle pro Deponie auf die Überlegung gestützt, dass in der Bundesrepublik Deutschland ohne die fünf neuen Bundesländer um 1988 ca. 5.000 m³ radioaktiver Abfall pro Kalenderjahr anfallen und sich die Hälfte hiervon prinzipiell für eine Freigabe eignet, was ca. 1.300 Mg/a entspricht. Diese Zahl wird der Anzahl der Deponien (zum genannten Zeitpunkt ca. 300) und Müllverbrennungsanlagen (MVA, zum genannten Zeitpunkt ca. 50) gegenübergestellt und geschlussfolgert, dass bei einer Quote von 5 % mit freigegebenen Abfällen beliefener Anlagen eine Jahresmenge von 100 Mg/a pro Deponie oder MVA ein repräsentativer Wert sei. Für die Gesamtjahreskapazitäten dieser Anlagen werden 40.000 Mg für Hausmülldeponien und 75.000 Mg für MVAs angenommen. Durch den Ansatz der Jahresmenge von 5.000 m³ schwach radioaktiver Abfälle in ganz Deutschland und den Ausschluss der Neuen Bundesländer wird deutlich, dass eine Stilllegung kerntechnischer Anlagen in größerem Maßstab durch die Untersuchung von Poschner & Schaller [POS 95] nicht abgedeckt ist.

Grundlage für die Empfehlung der SSK [SSK 98] waren u.a. auch die Konservativitätsanalysen bei Freigabewerten [DEC 97]. Das mittlere Massenaufkommen freigegebener Abfälle lag zum Zeitpunkt dieser Untersuchung bei ca. 8.000 Mg/a, wobei ca. 50 % dieser Abfälle Bauschutt darstellen (ohne Stilllegungsabfälle kerntechnischer Anlagen). In seltenen Fällen wird ein Jahresaufkommen von einigen 1.000 Mg kontaminierter Abfälle pro Deponie für möglich gehalten. Auf der Basis probabilistischer Betrachtungen wird gezeigt, dass selbst bei Unterstellung solch größerer Massenaufkommen das radiologische Schutzziel – der Bereich von 10 µSv im Kalenderjahr – eingehalten wird.

Bei den radiologischen Betrachtungen wurde eine biologische oder mechanische Vorbehandlung von Abfällen am Standort der Deponie nicht betrachtet. Diese Vorbehandlung wird daher in Anlage IV Teil C für Stoffe zur Freigabe zur Beseitigung ausgeschlossen.

3.2 Anlass der Überarbeitung

Ab Mitte 2005 wurde eine Reihe von Veränderungen im Abfallrecht, insbesondere für die Beseitigung auf Deponien, wirksam, die zum Teil nicht mehr mit den Randbedingungen kompatibel sind, die für die Modellierung bei der Herleitung der Freigabewerte nach Anlage III Tab. 1 Sp 9 StrlSchV (vgl. Abschnitt 2) verwendet wurden. Darüber hinaus waren bei der Ermittlung der Strahlenexposition die Festlegungen aus Anlage VII Teile A, B, C StrlSchV in Verbindung mit dem Entwurf der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift (AVV) zu § 47 StrlSchV mit Stand vom 21.01.2005 [AVV 05] zu berücksichtigen.

Im Einzelnen betrifft das folgende Sachverhalte:

Entsprechend der Freigabepaxis sollen die unterschiedlichen Entsorgungspfade für die freigegebenen verschiedenen Abfallarten, nämlich die Verbrennung brennbarer Abfälle in einer MVA sowie die Entsorgung fester, nicht brennbarer und – ggf. nach Vorbehandlung – im Wesentlichen inerter Abfälle, bei der Modellierung getrennt berücksichtigt werden.

Hinsichtlich der erfahrungsgemäß in der Praxis vorliegenden Verhältnisse soll zwischen geringen und hohen zu entsorgenden Massen unterschieden werden. Dadurch können nicht angemessene Konservativitäten vermieden werden, die bei einer Darstellung durch einen einzigen Modellansatz unvermeidlich wären. Die bei der Modellierung anzusetzenden jährlich zu entsorgenden Massen sollen sowohl den Kleinanwender (z.B. im Rahmen einer Genehmigung nach § 7 StrlSchV, kerntechnische Anlagen im Leistungsbetrieb), bei dem vergleichsweise geringe Massen zur Freigabe gelangen, als auch insbesondere die Stilllegungsphase kerntechnischer Anlagen mit hohem Massenanstieg – falls zweckmäßig durch getrennte Sätze von Freigabewerten – abdecken.

Die rückhaltende Wirkung einer Basisabdichtung der Deponie auf die Auslaugung der in den Deponiekörper eingebrachten Radionuklide und ihren Übertritt mit dem Sickerwasser in die grundwassergesättigte Zone wird nun berücksichtigt. Die Anforderungen an die Basis- und Oberflächenabdichtung sind stark von der Deponieklasse abhängig. Da das radiologische Modell den Einfluss von Basisabdichtung (Verhinderung des Sickerwasseraustritts in Grundwasser) und Oberflächenabdichtung (Verhinderung des Sickerwassereintrags in die Deponie) hinreichend berücksichtigen muss, war die Wahl der Deponieklasse somit ein grundlegender zu berücksichtigender Gesichtspunkt bei der Modellierung.

Um eine universelle Anwendbarkeit des zu entwickelnden Modells sicherzustellen, wurden die nach 2005 zu erwartenden Jahreskapazitäten von Deponien und Müllverbrennungsanlagen unter Berücksichtigung der gegenwärtig und zukünftig tatsächlich aus Stilllegungs- und Rückbauprojekten kerntechnischer Anlagen anfallenden Massen zugrunde gelegt.

Der Transport von freigegebenem Material zu einer Deponie bzw. Verbrennungsanlage wurde als Expositionsszenario in die Betrachtung mit einbezogen, da es insbesondere bei größeren Rückbauprojekten kerntechnischer Anlagen wahrscheinlich ist, dass die Transporte über einen längeren Zeitraum durch denselben Entsorgungsbetrieb und somit durch wenige Fahrer durchgeführt werden.

Der Gesamtprozess der Schritte von der Anlieferung des Abfalls an der Deponie bis zum Einbau wurde entsprechend der heutigen Arbeitsabläufe modelliert. Hierzu gehört insbesondere die Be-

rücksichtigung der Tatsache, dass der Einbau heutzutage weitgehend automatisiert bzw. mit Deponiefahrzeugen erfolgt und es keine Personengruppen mehr gibt, die den überwiegenden Teil der Arbeitszeit auf dem unabgedeckten Müllkörper verbringen, wie es bisher konservativ angenommen worden war. Diese Anpassungen der Modellierung an den heutigen Stand der Technik wurden auch bei der Modellierung der Beseitigung in Müllverbrennungsanlagen berücksichtigt.

Bei der Modellierung der weiteren Verwendung der Schlacken aus der Verbrennung des Abfalls in einer Verbrennungsanlage, die entweder auf einer Deponie beseitigt oder z.B. im Straßenbau verwertet werden können, wurden die in den letzten Jahren veränderten Anteile von verwerteten und deponierten Rückständen berücksichtigt.

Des Weiteren wurde berücksichtigt, dass die Abluftreinigungsanlagen der Müllverbrennungsanlagen erheblich leistungsfähiger geworden sind und den strengen Anforderungen insbesondere der 17. BImSchV [BIM 90] entsprechen müssen. Aus der Abluftreinigung fallen zusätzliche feste Rückstände an, die berücksichtigt wurden. Diese enthalten z.T. einen im Vergleich zum bisherigen Ansatz höheren Anteil solcher Elemente (und damit auch der entsprechenden Radionuklide), die im Modell bisher als vorwiegend über den Abluftpfad emittiert angenommen worden sind.

Durch die Tatsache, dass künftig nur noch vorbehandelte bzw. inerte Abfälle deponiert werden dürfen, verändern sich die chemischen und sonstigen Prozesse, welche in der Deponie möglich sind, gegenüber dem bisherigen Stand. Umsetzungen organischer Stoffe und Komplexbildung laufen nicht mehr oder nur in sehr viel geringerem Maße ab. Die Bindung von Kontamination insbesondere an Bauschutt und somit das Auslagerverhalten wird vor diesem Hintergrund weitgehend vom pH-Wert des Wassers, welcher durch Bauschutt stark in den alkalischen Bereich verschoben wird, bestimmt.

Hinsichtlich der Ausbreitung der Radionuklide über den Wasserpfad wurde der Einfluss der Oberflächen- und der Basisabdichtung der Deponie explizit im Modell berücksichtigt. Durch die Oberflächenabdichtung wird der Sickerwassereintrag in die Deponie gegenüber den bisherigen Annahmen verringert (verstärktes oberflächliches Abfließen des Wassers ohne Kontakt zum Abfall), so dass während der Funktionszeit der Abdichtung weniger Wasser die Deponie durchströmt. Die Basisabdichtung reduziert während ihrer Funktionszeit den Anteil des Sickerwassers, der ins Grundwasser übertritt. Für beide Abdichtungen wurde die zeitliche Entwicklung bis zu ihrem unterstellten endgültigen Versagen nach Einstellung des Betriebs der Deponie berücksichtigt.

Die Restriktionen der novellierten Klärschlammverordnung [KlärV 2003] wurden berücksichtigt, beispielsweise ist die Ausbringung von Klärschlamm auf Gemüse- und Obstanbauflächen verboten.

Bei der Ermittlung der Strahlenexposition wurden die in Anlage VII Teile A, B, C StrlSchV in Verbindung mit der AVV zu § 47 StrlSchV [AVV 05] dargestellten modifizierten Anforderungen, z.B. hinsichtlich des Muttermilchpfads, berücksichtigt.

Aufgrund des künftigen Rückbaus kerntechnischer Anlagen wurde von einem erhöhten Massenstrom ausgegangen.

3.3 Modellanpassungen

3.3.1 Einleitung

Die Veränderungen im Abfallrecht ab dem 1. Juni 2005 führen zu einer stofflichen Trennung von inerten, verrottbaren und brennbaren Abfällen. Für die Modellierung der Herleitung der Freigabewerte nach Anlage III Tab. 1 Sp. 9 StrlSchV sind die Szenarien für die Verbrennung, Verrottung und Deponierung betrachtet worden. Für die Verrottung ist kein eigener Wertesatz erstellt worden, da die Verrottung im Deponiemodell enthalten ist.

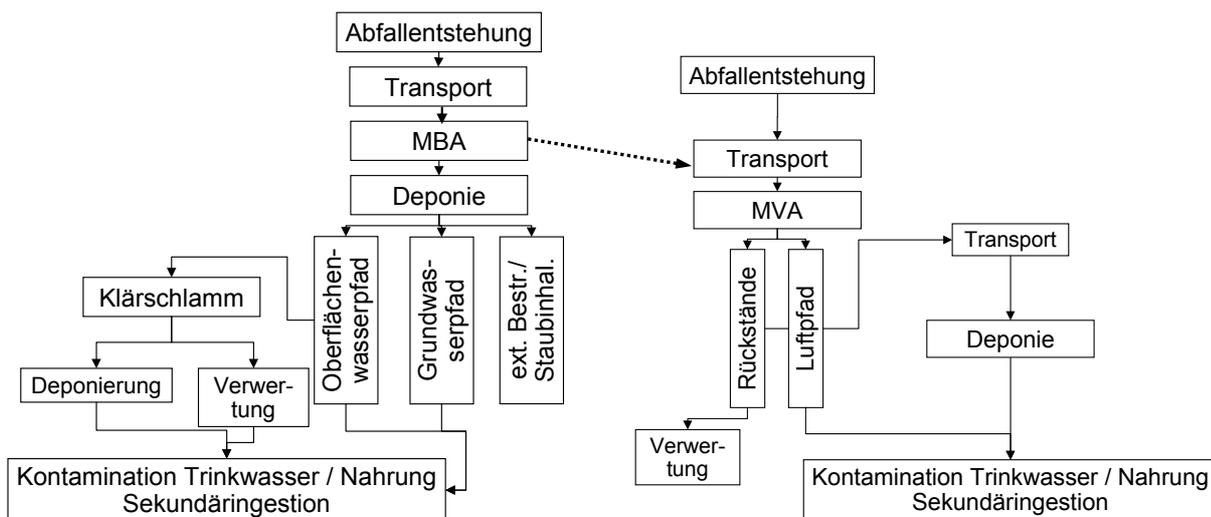


Abb. 1: Modellstruktur der Deponierung (links) und der Abgabe an eine MVA (rechts)

Massen inerer Deponieabfälle von deutlich mehr als 100 Mg pro Kalenderjahr sind nur bei Stilllegungsvorhaben erreichbar. Aus den Bereichen der Medizin und Forschung sowie bei den in Betrieb befindlichen Kernkraftwerken ist das Massenaufkommen deutlich kleiner und liegt im Mittel bei weniger als 100 Mg/a.

Unter der Beachtung des Ergebnisses aus der Untersuchung des Massenaufkommens [THI 04] der zur Beseitigung freigegebenen Abfälle und der Beseitigung auf einer Deponie oder in eine Müllverbrennungsanlage wurden Freigabewertesätze für Massenaufkommen bis zu 100 Mg/a und bis zu 1.000 Mg/a festgelegt.

Dadurch ergeben sich Freigabewertesätze für folgende Beseitigungsoptionen:

- Deponierung bis zu einer Masse von 100 Mg/a,
- Deponierung bis zu einer Masse von 1.000 Mg/a,
- Verbrennung bis zu einer Masse von 100 Mg/a,
- Verbrennung bis zu einer Masse von 1.000 Mg/a.

Nach der Deponieverordnung werden die Deponien entsprechend den Anforderungen an die Basis- und Oberflächenabdichtung in die Deponieklassen 0 bis IV eingeteilt. Bei den zukünftigen

Deponien kann überwiegend von einer Basisabdichtung zum Schutz des Grundwassers ausgegangen werden, was bei Deponien der Klasse 0 jedoch nicht gegeben ist. Da der Modellansatz von einer erhöhten Rückhaltung der Radionuklide im Deponiekörper ausgeht, wird die Ablagerung auf einer Deponie der Klasse 0 ausgeschlossen und bleibt Einzelfallbetrachtungen vorbehalten. Nach Einschätzung der SSK entspricht die Freigabe von Stoffen zur Beseitigung auf Deponien ohne Basisabdichtung nicht dem Stand der Technik.

Aufgrund des Modellansatzes für das Massenaufkommen auf der Referenzdeponie sind kleine Deponien mit einem Massenaufkommen von weniger als 10.000 Mg/a ausgeschlossen. Bei diesen seltenen Deponien ist die Variabilität der Parameter (z.B. Anzahl und Arbeitszeit der Beschäftigten) durch das hier verwendete generische Modell nicht mehr abbildbar. Freigaben auf solche Deponien unterliegen einer Einzelfallbetrachtung.

Für die Herleitung der nuklidspezifischen Freigabewerte sind die nachfolgenden, relevanten Expositionspfade betrachtet worden:

- externe Bestrahlung,
- Inhalation,
- Ingestion.

Die Dosiskoeffizienten für die externe Bestrahlung sind mit Abschirmrechnungen für die verschiedenen Szenarien ermittelt worden. Die Dosiskoeffizienten für die Inhalation und Ingestion wurden dem Bundesanzeiger 160 a und b vom 28.08.01 Teil I und II entnommen.

Der Transfer von Radionukliden in Nahrungsmittel und der Verzehr von Trinkwasser, die Ingestion über die Wasserpfade und die Berechnung der Ingestion über die Luftpfade erfolgten gemäß AVV zu § 47 StrlSchV [AVV 05].

3.3.2 Ausschöpfungsgrad der Freigabewerte

Abweichend zum Vorgehen im Forschungsvorhaben [THI 04] wurde hier zur Ableitung der Freigabewerte der Tabelle 1 ein Ausschöpfungsgrad von 100 % zugrunde gelegt. Dies erfolgte unter den Gesichtspunkten der notwendigen Rechtssicherheit bei der Anwendung der Freigabewerte und der fehlenden Voraussesbarkeit zukünftiger technischer Entwicklungen.

3.3.3 Abfallverursacher und Massenaufkommen

Massen inerte Deponieabfälle von deutlich mehr als 100 Mg pro Kalenderjahr sind nur bei Stilllegungsvorhaben erreichbar. Aus den Bereichen der Medizin und Forschung sowie bei den in Betrieb befindlichen Kernkraftwerken ist das Massenaufkommen deutlich kleiner und liegt im Mittel bei weniger als 100 Mg/a.

Den größten Massenanteil für die Deponierung stellen mineralische Abfälle (z.B. Bauschutt und Bodenaushub) dar. Thermisch verwertbare Abfälle (z.B. kunststoffhaltige Abfälle und Öle) werden der Verbrennung in einer MVA zugeführt.

Für die Bewertung des tatsächlichen Massenaufkommens zur Beseitigung aus strahlenschutzrechtlich genehmigten Tätigkeiten in Deutschland sind folgende Einrichtungen betrachtet worden:

- Kernkraftwerke in der Betriebs- und Stilllegungsphase,
- Anlagen des Brennstoffkreislaufes in der Betriebs- und Stilllegungsphase,
- Forschungsreaktoren in der Betriebs- und Stilllegungsphase,
- Abfallverursacher mit einer Genehmigung nach § 7 StrlSchV und nach §§ 6 und 9 des Atomgesetzes (AtG).

3.3.4 Jährliches Massenaufkommen und Größe der Referenzdeponie

Für die Referenzdeponie ist ein jährliches Massenaufkommen von 60.000 Mg Hausmüll zugrunde gelegt. Dieser Wert stellt den Mittelwert der nach 2005 zu erwartenden Kapazitätsverteilungen der Deponien in Deutschland [UBA 00] dar, extrem kleine Deponien mit Kapazitäten unter 10.000 Mg/a sind aus der Betrachtung herausgenommen worden. Die räumliche Ausdehnung der Referenzdeponie wird mit 300 m x 300 m angesetzt. Die Höhe der Deponie beträgt 25 m für die Deponieklassen I, II, und III.

3.3.5 Jährliches Massenaufkommen der Referenz-Müllverbrennungsanlage (MVA)

Für die Referenz-MVA wird ein jährliches Massenaufkommen von 240.000 Mg zugrunde gelegt. Dieser Wert entspricht dem durchschnittlichen Durchsatz je Anlage für 2005 gemäß Umweltbundesamt [UBA 04] und somit dem Mittelwert der Verteilung über alle Anlagen zur Abfallverbrennung. Aus dieser MVA fallen jährlich 60.000 Mg Schlacke an.

3.3.6 Jährliches Massenaufkommen der Referenz-Anlage für mechanisch-biologische Behandlung (MBA)

Für die MBA wird eine Jahreskapazität von 100.000 Mg zugrunde gelegt [LUA 03]. Dies ist kompatibel mit der angesetzten Jahreskapazität der Referenzdeponie und entspricht dem unteren Bereich der Kapazitätsverteilung von mechanisch-biologischen Behandlungsanlagen.

3.3.7 Jährlicher Volumendurchsatz der Referenzkläranlage

Der jährliche Volumendurchsatz der Referenzkläranlage wird konservativ mit 2.000.000 m³ Wasser und 1.000 Mg Klärschlamm pro Kalenderjahr angenommen, was der Kläranlage einer Kleinstadt entspricht [ESC 00, THI 04].

Die meisten Kläranlagen in Deutschland weisen größere Kapazitäten auf. In der Regel weisen kleinere Kläranlagen nicht die notwendigen Voraussetzungen auf, um mit konventionellen Schadstoffen hochbelastetes Deponiesickerwasser annehmen zu können.

3.3.8 Betrachtung der relevanten Radionuklide

Es sind die Radionuklide und Zerfallsketten, für welche in den Strahlenschutz-Grundnormen der EU Freigrenzen angegeben sind, betrachtet worden:

- Für Radionuklide mit Halbwertszeiten von mehr als 7 Tagen sind Freigabewerte berechnet worden.

- Radionuklide mit Halbwertszeiten von weniger als 7 Tagen sind nicht explizit betrachtet worden; hier sind die Freigrenzen aus Anlage III Tabelle 1 Spalte 3 StrlSchV angewandt worden.

3.3.9 Transport zur Deponie bzw. Verbrennungsanlage

Der Fahrer des LKWs wird durch die Ladung einer äußeren Strahlenexposition sowie bei Ladevorgängen einer Strahlenexposition durch Inhalation ausgesetzt. Die LKW-Ladung wird mit einer Dichte von 1 Mg/m^3 und einer Gesamtmasse von 20 Mg modelliert.

Es wird davon ausgegangen, dass bei einem jährlichen Massenaufkommen von 1.000 Mg drei Fahrer, bei einem jährlichen Massenaufkommen von 100 Mg ein Fahrer für die Abtransporte eingesetzt werden. Die Expositionszeiten werden aufgrund der geringen Entfernungen zu den Beseitigungsanlagen mit 33 bzw. 10 Stunden pro Kalenderjahr angenommen.

Für die Be- und Entladevorgänge im Eingangsbereich der Deponie ist unverändert eine Feinstaubkonzentration von $1,0 \text{ mg/m}^3$ und ein Aufkonzentrationsfaktor von 10 zugrunde gelegt worden [POS 95].

3.3.10 Arbeitsabläufe

3.3.1.1 Arbeitsabläufe bei der Deponierung

Zur Modellierung der Arbeitsabläufe von der Annahme und Wägung bis zum Einbau sind drei Teilszenarien betrachtet worden:

- Abfertigung im Eingangsbereich der Deponie,
- Behandlung in einer Anlage zur mechanisch biologischen Vorbehandlung (MBV),
- Einbau des Abfalls in einen Deponiekörper.

Bei Deponien mit Jahreskapazitäten von 60.000 Mg wird von drei Trupps à zwei Personen ausgegangen. Bei einer angenommenen freigegebenen Menge von 1.000 Mg/a und einer konservativ niedrig angesetzten Einbaurate dieses Materials von 20 Mg/h erhält man eine mittlere Expositionszeit von 17 Stunden pro Person und Jahr. Bei Annahme einer freigegebenen Menge von 100 Mg/a wird konservativ von kurzzeitigem Einbau durch einen Trupp ausgegangen. Dies ergibt eine mittlere Expositionszeit von 5 Stunden pro Person und Jahr.

Ausgehend von den vorliegenden Messdaten für die Gesamtstaubkonzentration ($< 100 \mu\text{m}$) im Bereich von $0,1$ bis $0,8 \text{ mg/m}^3$ wird für die radiologisch relevante Feinstaubkonzentration ($< 10 \mu\text{m}$) im Eingangsbereich der Deponie unter Verwendung der im Arbeitsbereich gemessenen Verhältnisse von Gesamt- zu Feinstaub von 1 bis 10 im vorliegenden Fall ein Wert von $0,2 \text{ mg/m}^3$ angesetzt (Abschnitt 2.3.7.1 von [THI 04]).

Sowohl bei der MBV als auch bei der Deponierung wird von modernen Einrichtungen und Spezialfahrzeugen ausgegangen, die über geschlossene Kabinen verfügen, und mit deren Hilfe sich hohe Materialdurchsätze und entsprechend niedrige Expositionszeiten realisieren lassen.

3.3.1.2 Arbeitsabläufe in einer mechanisch-biologischen Behandlungsanlage

Der Abfall wird mit Spezialfahrzeugen auf Mieten von der Anlieferung zur Intensivrotte, von der Intensivrotte zur Nachrotte gebracht. Hier erfolgt mittels Spezialfahrzeugen oder mit automatisierten Einrichtungen die regelmäßige Umlagerung.

Da sich keine Dauerarbeitsplätze im Bereich der Rotte und/oder der Tafelmiete befinden, wird von einer Arbeitszeit von 1.000 h/a ausgegangen.

Der Anteil des aus der Freigabe stammenden Materials, welches zur biologischen Vorbehandlung kommt, ist gering und wird mit 1 % des Massenanteils betrachtet.

Ausgehend von der Annahme, dass in freigegebenem Material in der Regel durch den biologischen Verrottungsprozess keine Volumenreduktion erfolgt, wird mit einem Aufkonzentrationsfaktor von 3 gerechnet.

Konservativ wird angenommen, dass die mechanisch-biologische Behandlung in einer geschlossenen Halle stattfindet. Für die in der Hallenluft vorliegende Staubkonzentration wurde analog zur Deponierung 1 mg/m^3 angenommen. Der Aufkonzentrationsfaktor beträgt hier 3, da dieser Effekt bei zu verrottendem Material geringer ist als bei mineralischen Stoffen.

Für die externe Bestrahlung wird die Intensivrotte mit typischen Abmessungen von $10 \times 10 \times 4 \text{ m}^3$ in einem Abstand von 2 m bei einer Dichte von $0,5 \text{ Mg/m}^3$ und einer Abschirmung von 1 mm Eisen (Laufsteg bzw. Fahrzeug) der Berechnung zugrunde gelegt. Zur Berücksichtigung des radioaktiven Zerfalls wird eine realistische Verweilzeit des Materials in der MBA von 3 Monaten angenommen.

3.3.1.3 Arbeitsabläufe bei der Müllverbrennung

Die relevanten Arbeitsschritte an einer Müllverbrennungsanlage sind betrachtet worden, diese sind:

- Arbeitsabläufe im Eingangsbereich der MVA,
- Arbeitsabläufe am Müllbunker und Beschickung des Verbrennungsofens,
- Arbeitsabläufe am Schlackebunker und Abtransport der Schlacken zur Deponierung bzw. zur Verwertung,
- Arbeitsabläufe am Staubbunker und Abtransport der Stäube zu einer Sondermülldeponie bzw. Untertagedeponie.

Die Staubkonzentration im Eingangsbereich der MVA wird konservativ mit $0,2 \text{ mg/m}^3$ angenommen.

Die Verbrennung in einer Müllverbrennungsanlage führt zu einer Auftrennung einzelner Elemente in die bei der Verbrennung entstehenden Stoffe, wie Schlacke, Schrott, Stäube, Gips, und in die Abluft. Das Verhalten der Elemente ist bei den verschiedenen Szenarien betrachtet worden.

3.3.11 Verwertung von Stoffen aus der MVA

Bei der Müllverbrennung entstehen heute vermehrt Stoffe, die einer Verwertung zugeführt werden.

Untersucht wurde der Einsatz der Schlacke im Straßen- und Wegebau und bei der Verwendung auf Parkplätzen mit hohen Aufenthaltszeiten.

Beim Verbrennungsprozess in der MVA werden Metalle ausgesondert, die dem Einschmelzen zugeführt werden. Das Szenario berücksichtigt aufgrund der niedrigen Qualität der Metalle einen Verdünnungsfaktor von 5.

In den Rauchgasreinigungsanlagen der MVA entsteht sog. REA-Gips, aus dem im Wesentlichen Leichtbauwände hergestellt werden. Die daraus abgeleiteten Szenarien sind der Innenausbau von Häusern mit Leichtbauwänden und die damit einhergehende Staubexposition und Inhalation seitens der Bauarbeiter sowie die Exposition der Personen, die in Häusern mit Leichtbauwänden leben (Details der Modellierung finden sich in Kapitel 3.6 von [THI 04]).

3.3.12 Emission einer Müllverbrennungsanlage

Die Verbrennung von Abfällen zur Beseitigung führt zu einer Emission von Radionukliden über den Luftpfad. Die Ausbreitung der Radionuklide über den Luftpfad wird bestimmt durch die Kaminhöhe, die Abgastemperatur und die damit einhergehende thermische Überhöhung, die Windgeschwindigkeit, die Windrichtung und die Diffusionsklasse.

Bei der Betrachtung ist konservativ von einer effektiven Emissionshöhe von 50 m einschließlich der thermischen Überhöhung für alle Diffusionsklassen und einer Windhäufigkeit von 30 % im häufigsten Sektor ausgegangen worden. In einer Entfernung von 300 m vom Kamin wird der Langzeitausbreitungsfaktor aus der AVV zu § 47 StrlSchV, Kapitel 4.1.4 [AVV 05], mit $2,1 \cdot 10^{-6} \text{ s/m}^3$ maximal. Die Ablagerungsgeschwindigkeit ist mit 1,5 mm/s angenommen worden.

Die aus der Luftausbreitung herrührende externe Strahlung (Bodenstrahlung) und die Inhalation sowie die Ingestion über die Pfade

- Blattgemüse und sonstige Pflanzen,
- Weidepflanzen – Milch,
- Weidepflanzen – Fleisch

wurde für alle Altersgruppen, wie im Entwurf der AVV zu § 47 StrlSchV [AVV 05] beschrieben, untersucht.

3.3.13 Ausbreitung der Radionuklide über das Oberflächenwasser

Die Radionuklide werden durch Niederschläge über Sickerwasser in die Sickerwassererfassung hin zur Kläranlage und ggf. von dort in das Trinkwasser transportiert. Besonders relevant ist dieser Pfad während der Betriebsphase der Deponie. In der Nachbetriebsphase wird von einer geringeren Infiltrationsrate ausgegangen, nachdem die Oberflächenabdichtung ausgebracht wor-

den ist. Gegenüber dem Modell gemäß Poschner & Schaller [POS 95] und der SSK-Empfehlung [SSK 98] ist damit berücksichtigt worden, dass durch die Oberflächenabdichtung der Sickerwassereintrag in die Deponie gegenüber den bisherigen Annahmen bei den Deponieklassen I, II und III verringert wird (verstärktes oberflächliches Abfließen des Wassers ohne Kontakt zum Abfall).

Die Kunststoffdichtungsbahn (KDB) insbesondere der Basisabdichtung wird nach heutigem Kenntnisstand 200 bis 500 Jahre halten [MUE 01].

Es wird von einem Versagen der Oberflächenabdichtung in drei Phasen ausgegangen:

1. anfängliche Zeitspanne vollständiger Funktion der Abdichtung über 100 Jahre (Rückhaltewirkung 100 %),
2. Zeitspanne abnehmender Wirkung über die folgenden 100 Jahre (Reduktion der Rückhaltewirkung von 100 % auf 0 %),
3. abschließende Zeitspanne vollständigen Versagens der Abdichtung nach 200 Jahren (Rückhaltewirkung 0 %).

3.3.14 Betrachtung der Kläranlage

Es wird davon ausgegangen, dass bei einer Abwasserbehandlung mindestens ein trennender Schritt stattfindet und so eine Partionierung der verschiedenen Radionuklide in den Klärschlamm bzw. Abwasserpfad erfolgt.

Für die Nutzung des Oberflächenwassers (Abwasser) sind die Szenarien

- Trinkwasser,
- Beregnung von Blattgemüse und sonstigen Pflanzen,
- Fischteich,
- Beregnung von Weidepflanzen – Fleisch,
- Viehtränke und
- Beregnung von Weidepflanzen – Milch

in Anlehnung an [AVV 05] betrachtet worden.

Der Volumenstrom des Vorfluters wird entsprechend den Bedingungen bei den meisten Kläranlagen in Deutschland mit 3 m³/s angenommen. Diese Annahme ist konsistent mit den Angaben in der SSK-Stellungnahme „Neuberechnung der zulässigen Aktivitätskonzentrationen in der Fortluft und im Abwasser im Rahmen der Novellierung der Strahlenschutzverordnung (§ 47 Abs. 4)“ [SSK 02]. Entsprechend der Jahreskapazität von 2.000.000 m³ sind für den Durchsatz von Klärschlämmen aus der Kläranlage 1.000 Mg/a angenommen worden.

Weiterhin ist eine erlaubte Ausbringung von Klärschlämmen auf landwirtschaftliche Flächen und die Verbrennung von Klärschlamm in einer Müllverbrennungsanlage betrachtet worden.

3.3.15 Ausbreitung der Radionuklide über den Grundwasserpfad

Die Ablagerung der Stoffe erfolgt nur auf Deponien der Deponiekategorie I und höher, um die Vorteile, die sich aus dem Rückhaltevermögen der höheren Deponieklassen ergeben, zu berücksichtigen.

Die Abbildung 2 stellt eine Übersicht über die gewählten Kompartimente einer Deponie dar.

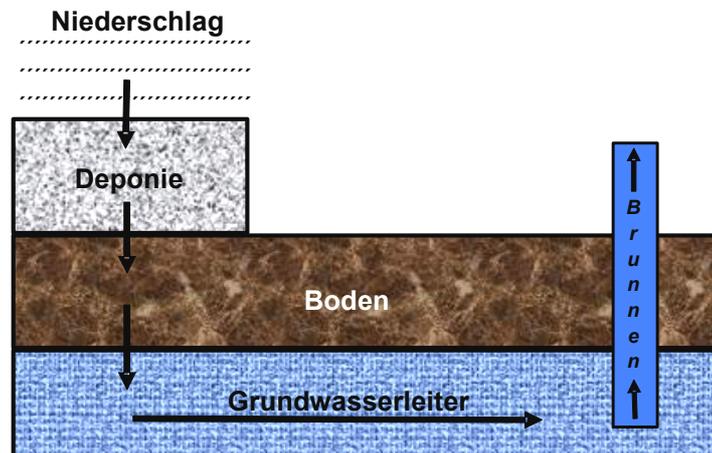


Abb. 2: Schema der Kompartimente Deponie, Boden, Grundwasserleiter und Brunnen

Über den Niederschlag dringt Sickerwasser in den Deponiekörper ein. Das Eindringen des Sickerwassers über die Oberfläche des Deponiekörpers ist für die unterschiedlichen Betriebsphasen und Deponieklassen von Deponien im Modellansatz berücksichtigt worden. Das Auslaugen der Radionuklide aus dem Deponiekörper erfolgt durch das Sickerwasser und wird durch separate K_d -Ansätze für die Deponie, den darunterliegenden Boden und den Grundwasserleiter betrachtet.

Für die Freisetzung und Migration der Radionuklide im Deponiekörper sind die im Rahmen des BfS-Modells [POS 95] bekannten und der SSK-Empfehlung [SSK 98] zugrundeliegenden Modellansätze und K_d -Werte übernommen worden.

Für die Migration im Boden und die Migration im Grundwasserleiter sind K_d -Werte und deren Wertebereiche im Rahmen einer umfangreichen Literaturrecherche abgeleitet worden (siehe [THI 04], Kapitel 4.9.5 und Anhang E).

Dabei wurden nachfolgende Elemente und Nuklidgruppen betrachtet:

- Elemente mit geringer Sorption: H, C, Cl, I, Tc,
- Uran,
- Transurane: Np, Pu, Am, Cm,
- Thorium,
- weitere Elemente, die langlebige, natürlich vorkommende Isotope besitzen: Ra, Pb, Po, Pa, Ac und

- weitere Elemente, von denen anthropogene Radionuklide mit Relevanz für den kerntechnischen Bereich und den strahlenschutzrechtlich genehmigten Umgang existieren: Cd, Co, Cr, Cs, Eu, Mo, Ni, Se, Sm, Sr, Zr.

Der Wasserübertritt aus dem Deponiekörper in den darunterliegenden Boden ist abhängig von der Dichtheit der Basisabdichtung, entsprechende Ansätze wurden im Modell berücksichtigt. Analog zur Modellierung des Versagens der Oberflächenabdichtung in Kapitel 3.3.13 wird auch hinsichtlich der Basisabdichtung bei den Deponieklassen I, II und III von drei Phasen ausgegangen:

1. vollständige Funktion über 100 Jahre (Rückhaltewirkung 100 %),
2. abnehmende Wirksamkeit über die folgenden 100 Jahre (Reduktion der Rückhaltewirkung von 100 % auf 0 %),
3. vollständiges Versagen nach 200 Jahren (Rückhaltewirkung 0 %).

Langlebige Paare von Mutter- und Tochternuklid sind bei der Modellierung der Radionuklid- ausbreitung in den Kompartimenten separat behandelt worden. Die Nachbildung der Radionuklide aus dem Mutternuklid und dessen Migration in unterschiedlichen Kompartimenten und mit unterschiedlichen K_d -Werten führt dazu, dass das Maximum der Aktivitätskonzentration einzelner Radionuklide gleichen Ursprungs zu unterschiedlichen Zeiten am Brunnen eintrifft (zu Details der Modellierung siehe [THI 04], Kapitel 4.9.6 und Anhang D).

Aus dem Grundwasserleiter wird mit dem Brunnen Grundwasser entnommen. Die sich daraus ergebenden relevanten radiologischen Pfade (siehe Kapitel 3.3.16) sind betrachtet worden. Für die Konzentration von Radionukliden im Trinkwasser ist die Konzentration, die im Grundwasser ermittelt worden ist, angesetzt worden.

3.3.16 Ingestion kontaminierter Nahrungsmittel

Das aus dem Privatbrunnen entnommene Wasser wird als Trink-, Tränk- und Beregnungswasser verwendet. Dadurch gelangen Radionuklide in die Nahrungskette und führen zu einer Exposition durch Ingestion.

Folgende Pfade wurden betrachtet:

- Trinkwasser,
- Verzehr von Milch und Milchprodukten,
- Verzehr von Fleisch und Fleischprodukten,
- Verzehr von pflanzlichen Produkten.

Grundlage für die Betrachtung war Anlage III Teil B Tab. 1 StrlSchV, die übrigen Parameter sind aus dem Entwurf der AVV zu § 47 StrlSchV vom 21.01.2005 [AVV 05] entnommen worden.

Bei der Ermittlung der Strahlenexposition wurden die in Anlage VII Teile A, B, C StrlSchV in Verbindung mit der AVV zu § 47 StrlSchV [AVV 05] dargestellten modifizierten Anforderungen, z.B. hinsichtlich der Verzehrsmengen, berücksichtigt.

3.3.17 Konservativität des Modells

Das radiologische Modell, das zur Herleitung der Freigabewerte diente, ist insgesamt als konservativ zu bezeichnen. Hierdurch ist sichergestellt, dass durch die Anwendung der berechneten Freigabewerte die hiermit verbundenen Dosen für Personen, die im Bereich der Abfallbeseitigung tätig sind, sowie für Personen der allgemeinen Bevölkerung nicht unterschätzt werden. Im Einzelnen wurden konservative Annahmen beispielsweise an folgenden Stellen getroffen:

- Jährliche freigegebene Abfallmenge von 1.000 Mg/a (gilt nur für Spalte 4 und 5 der Tabelle 1): Der Ansatz der jährlich freigegebenen Abfallmenge von 1.000 Mg auf eine Deponie bzw. in eine MVA ist als abdeckend anzusehen. Dies ist die Obergrenze, welche realistisch von einem einzelnen Abfallverursacher gem. Anlage III Tab. 1 Sp. 9 StrlSchV abgegeben werden kann, da Bauschutt und Erdaushub oberhalb von 1.000 Mg/a gem. Anlage III Tab. 1 Sp. 6 StrlSchV freizugeben sind.
- Ausschöpfungsgrad der Freigabewerte von 100 % im gesamten Material: Die bisherige Erfahrung kerntechnischer Rückbauprojekte lehrt, dass der mittlere Ausschöpfungsgrad von Stoffen, die zur Beseitigung freigegeben werden, im Bereich einiger Prozent bis weniger 10 Prozent liegt. Eine vollständige Ausschöpfung der Freigabewerte im gesamten freizugebenden Material kann hier messtechnisch nicht erreicht werden.
- Modellteil Transport: Die Annahme des Transports des gesamten Abfalls, der zu einer Deponie bzw. Verbrennungsanlage gelangt, im Falle von 1.000 Mg/a durch nur drei Fahrer kann als konservativ angesehen werden. Die Annahmen zur Inhalation des Fahrers (1 mg/m³ einatembare Staub in der Luft allein vom Abfall und Aufkonzentrationsfaktor 10) stellen ebenfalls konservative Annahmen dar.
- Modellteil Deponierung – Arbeitsabläufe: Im Modellteil, welcher die Einlagerung auf der Deponie beschreibt, tragen vor allem folgende Annahmen zur Konservativität bei:
 - Die Referenzperson hält sich während 25 % der Arbeitszeit auf der Abfallschicht und nicht im Fahrzeug auf,
 - die Referenzpersonen halten sich doppelt so lange wie für den Einbau benötigt auf der Abfallschicht auf,
 - die hohe Aufkonzentration im einatembaren Staub.

Insbesondere die Wahl einer realistischen bis abdeckenden einatembaren Staubkonzentration (1 mg/m³ außen bzw. 0,2 mg/m³ in der Fahrerkabine) in Verbindung mit dem Aufkonzentrationsfaktor 10 im Feinstaub stellen sicher, dass die Dosis durch Inhalation nicht unterschätzt wird.

- Modellteil Verwertung bzw. Deponierung der Verbrennungsrückstände: In diesem Modellteil tragen insbesondere die langen Expositionszeiten, die für die Nutzung von öffentlichen Flächen, für deren Herstellung Schlacke aus der MVA verwendet wurde, und für die Nutzung von Produkten angesetzt wurden, sowie die ungünstigen Expositionsgeometrien zur Konservativität bei.
- Modellteil Nuklidausbreitung über den Luftpfad der Müllverbrennungsanlage: Die Annahmen zum Ausbreitungsverhalten sind konservativ, wie z.B. die Annahme einer ungünstigen Diffusionsklasse und einer niedrigen Freisetzungshöhe. Ebenfalls konservativ sind die Annahmen zur externen Bestrahlung durch am Boden abgelagerte Nuklide, da hier

eine Akkumulation im Boden von 50 Jahren angesetzt wurde. Dasselbe gilt für die Inhalation, für welche ganzjährige Dauer unterstellt wurde. Ferner wird unterstellt, dass die exponierten Referenzpersonen ihre gesamten Nahrungsmittel am Ort der höchsten Kontamination in der Umgebung der MVA erzeugen.

- Modellteil Nuklidausbreitung über den Oberflächenwasserpfad: Der Modellteil zum Klärwerk ist so aufgebaut, dass die Aktivität im Klärschlamm sowie im Abwasser des Klärwerks jeweils nicht unterschätzt wird. Für Elemente, für die keine eindeutige Zuordnung möglich war, wurde unterstellt, dass diese jeweils zu 100 % in den Klärschlamm und ins Abwasser gehen, wodurch das Modell konservativer wird. Die weiteren Annahmen zur Ingestion über die direkte Nutzung des Oberflächengewässers, in welches die Abwässer des Klärwerks eingeleitet werden, sowie über die Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft beruhen auf den Annahmen gemäß AVV zu § 47 StrlSchV [AVV 05] und sind daher insgesamt als konservativ anzusehen. Dies gilt insbesondere für die Annahmen zur Eigenversorgung und zu den Verzehrsmengen.
- Modellteil Nuklidausbreitung über den Grundwasserpfad: Bei der Modellierung der Nuklidausbreitung über den Grundwasserpfad wird die Konzentration im Wasser eines Privatbrunnens im Grundwasserabstrom unterhalb der Deponie auf der Basis konservativer Annahmen berechnet. So wurde der Brunnen in einer Entfernung von nur 500 m zur Deponie sowie im Zentrum der Schadstofffahne angesetzt, ferner ist die Wahrscheinlichkeit für das Zusammentreffen aller Umstände, die erst zu diesem Szenario führen, extrem gering.
- Modellteil Kontamination der Nahrung und Ingestion: Die Annahmen zur Wassernutzung aus dem gerade genannten Privatbrunnen für Trinkwasser, Viehtränke und Beregnung von Gemüse und Blattgemüse orientieren sich an der AVV zu § 47 StrlSchV [AVV 05] und sind daher als konservativ anzusehen. Insbesondere die gleichzeitige Annahme des Vorliegens eines derart ungünstig stehenden Brunnens, der ausgedehnten Wassernutzung und zugleich der weitgehenden Verwendung der Nahrungsmittel zur Deckung des Eigenbedarfs ist sehr konservativ.
- Die Freigabewerte wurden auf der Basis der Einhaltung einer Dosis von max. 10 μSv im Kalenderjahr hergeleitet, während die Strahlenschutzverordnung eine Exposition „im Bereich von 10 μSv im Kalenderjahr“ für Einzelpersonen der Bevölkerung zulässt.
- Freigabewerte, die die Freigrenzen (s. Anlage III Tabelle 1 Spalte 3 StrlSchV) überschreiten, wurden auf die Werte der Freigrenzen reduziert.

Aufgrund der oben dargestellten Konservativität des radiologischen Modells sieht die SSK die Einhaltung des Schutzzieles bei der Freigabe zur Beseitigung in Deutschland insgesamt, und damit auch am Standort einer Beseitigungsanlage, die von mehreren Anlieferern genutzt werden kann, in der Regel für gegeben an.

3.4 Ergebnisse des neuen Modells

Mit den in Kapitel 3.3 beschriebenen Anpassungen der Modellierung und von Parameterwerten wurden Freigabewerte für die Beseitigung berechnet, die einer effektiven Dosis von 10 μSv im Kalenderjahr entsprechen. Die sich ergebenden restriktivsten Werte („Minimum“) sind in Tabelle 2, Spalten I bis IV, aufgelistet. Außerdem ist in Tabelle 2, Spalten V bis VIII, aufgeführt, für welches Expositionsszenario sich jeweils der restriktivste Wert ergeben hat.

Die Freigabewerte in Tabelle 2 Spalten 2-5 entsprechen in der Regel dem errechneten „Minimum“. Einzige Ausnahme sind die Fälle, in denen die Freigrenze nach Anlage III Tabelle 1 Spalte 3 StrlSchV restriktiver ist als das errechnete Minimum. In diesen Fällen ist entsprechend § 29 Abs. 2 Satz 2 StrlSchV die Freigrenze als „Freigabewert“ angegeben (Fettdruck in Spalten 2-5 Tabelle 2). Unterschieden wird zwischen der Freigabe zur Beseitigung an eine Deponie (DEP) und an eine Müllverbrennungsanlage (MVA) sowie jeweils zwischen einer Freigabe von weniger als 100 Mg und von weniger als 1.000 Mg im Kalenderjahr.

Die Bezeichnungen der Szenarien in Tabelle 2 bedeuten:

- T1: Transport (Exposition des Personals),
- D1: Deponie/Eingangsbereich (Exposition des Personals),
- D2: Deponie/MBV (Exposition des Personals),
- D3: Deponie/Einlagerung (Exposition des Personals),
- M1: MVA/Eingangsbereich (Exposition des Personals),
- M4: MVA/Staubbunker und Staubtransport (Exposition des Personals),
- S4: Verwertung von REA-Gips (Exposition des Personals),
- S5: Verwertung von REA-Gips (Exposition der Bevölkerung),
- L2: Luftpfad MVA – Inhalation (Exposition der Bevölkerung),
- L3: Luftpfad MVA – Ingestion (Exposition der Bevölkerung),
- O1: Nutzung von Oberflächenwasser (Exposition der Bevölkerung),
- O2: Verwertung von Klärschlamm (Exposition der Bevölkerung),
- GW: Grundwasser (Exposition der Bevölkerung).

In Kapitel 5 sind die Freigabewerte der Tabelle 2 den Werten für die Freigabe zur Beseitigung nach Anlage III Tabelle 1 Spalte 9 StrlSchV und für die uneingeschränkte Freigabe nach Anlage III Tabelle 1 Spalte 5 und 6 StrlSchV gegenübergestellt.

Die neu berechneten Werten für Deponie und MVA < 1.000 Mg/a müssen mit den Werten der Spalte 6 der Anlage III Tabelle 1 StrlSchV verglichen werden.

Die Freigabewerte zur uneingeschränkten Freigabe nach § 29 Abs. 2 Nr. 1 a) und b) StrlSchV sollten jedoch nach Einschätzung der SSK nicht die Freigabewerte nach § 29 Abs. 2 Nr. 2 StrlSchV überschreiten, da anderenfalls das Prinzip der uneingeschränkten Freigabe nicht eingehalten ist.

Tab. 2: Ermittelte Freigabewerte zur Beseitigung (Erläuterung im Text) [Fett: Deckelung durch Freigrenze]

Nuklid	Minimum in Bq/g				Szenario				Freigabewert in Bq/g (mit Freigrenzen)			
	< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a		< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a		< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a	
	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA
1	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	2	3	4	5
H-3	64.054	20.328.347	6.405	2.565.719	D2	T1	D2	L2	64.054	1.000.000	6.405	1.000.000
Be-7	308	388	92	39	D3	M4	D3	M4	308	388	92	39
C-14	3.696	720.824	370	72.082	GW	L2	GW	L2	3.696	10.000	370	10.000
Na-22	6,99	8,75	2,10	2,10	D3	T1	D3	D3	7	9	2	2
Si-32	4.463	8.655	446	865	O1	GW	O1	GW	1.000	1.000	446	865
P-32	31.393	273.411	9.418	61.327	D3	T1	D3	L3	1.000	1.000	1.000	1.000
P-33	172.762	611.607	17.873	158.991	D3	T1	O2	O2	100.000	100.000	17.873	100.000
S-35	4.928	19.431	493	1.943	O2	S4	O2	S4	4.928	19.431	493	1.943
Cl-36	3,03	2,79	0,30	0,28	GW	GW	GW	GW	3	3	0,3	0,3
Ca-41	156	1.081	16	108	GW	GW	GW	GW	156	1.081	16	108
Ca-45	5.348	41.272	535	4.127	O1	O1	O1	O1	5.348	10.000	535	4.127
Sc-46	7,95	9,19	2,38	2,39	D3	T1	D3	D3	8	9	2	2
V-48	6,16	6,64	1,85	1,85	D3	T1	D3	D3	6	7	2	2
Cr-51	493	871	148	148	D3	T1	D3	D3	493	871	148	148
Mn-53	628	4.348	63	435	GW	GW	GW	GW	628	4.348	63	435
Mn-54	18,54	22,74	5,56	5,56	D3	T1	D3	D3	10	10	6	6
Fe-55	73.044	697.133	7.304	69.713	O1	O1	O1	O1	10.000	10.000	7.304	10.000
Fe-59	13,91	15,36	4,17	4,17	D3	T1	D3	D3	10	10	4	4

Nuklid	Minimum in Bq/g				Szenario				Freigabewert in Bq/g (mit Freigrenzen)			
	< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a		< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a		< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a	
	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA
1	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	2	3	4	5
Co-56	4,40	5,00	1,32	1,32	D3	T1	D3	D3	4	5	1	1
Co-57	153	461	46,04	46,06	D3	D3	D3	D3	100	100	46	46
Co-58	16,21	20,10	4,86	4,86	D3	T1	D3	D3	10	10	5	5
Co-60	6,27	7,10	1,88	1,88	D3	T1	D3	D3	6	7	2	2
Ni-59	2.958	28.320	296	2.832	GW	GW	GW	GW	2.958	10.000	296	2.832
Ni-63	9.995	64.496	1.000	6.450	GW	GW	GW	GW	9.995	64.496	1.000	6.450
Zn-65	27,06	25,44	8,12	2,54	D3	M4	D3	M4	10	10	8	3
Ge-71	6.952.088	8.781.803	1.399.565	878.180	D3	L3	O1	L3	10.000	10.000	10.000	10.000
As-73	10.562	17.436	3.169	1.744	D3	S5	D3	S5	1.000	1.000	1.000	1.000
As-74	22,54	28,39	6,76	2,87	D3	T1	D3	M4	10	10	7	3
Se-75	40,25	71,82	12,08	7,18	D3	M4	D3	M4	40	72	12	7
Rb-86	186	199	55,88	56,20	D3	T1	D3	D3	100	100	56	56
Sr-85	30,08	42,63	9,03	9,03	D3	T1	D3	D3	30	43	9	9
Sr-89	11.679	101.872	1.168	10.187	O1	O1	O1	O1	1.000	1.000	1.000	1.000
Sr-90+	5,60	37,41	0,56	3,74	O2	O2	O2	O2	6	37	0,6	4
Y-91	3.763	4.809	1.129	1.328	D3	T1	D3	D3	1.000	1.000	1.000	1.000
Zr-93	766	7.710	77	771	GW	GW	GW	GW	766	1.000	77	771
Zr-93+	766	7.710	77	771	GW	GW	GW	GW	766	1.000	77	771
Zr-95	14,43	17,76	4,33	4,33	D3	T1	D3	D3	10	10	4	4

Nuklid	Minimum in Bq/g				Szenario				Freigabewert in Bq/g (mit Freigrenzen)			
	< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a		< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a		< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a	
	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA
1	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	2	3	4	5
Nb-93m	42.790	367.401	4.279	36.740	O2	M1	O2	M1	10.000	10.000	4.279	10.000
Nb-94	9,76	12,18	2,93	2,93	D3	T1	D3	D3	10	10	3	3
Nb-95	21,47	25,74	6,44	6,44	D3	T1	D3	D3	10	10	6	6
Mo-93	37	263	3,7	26,28	GW	GW	GW	GW	37	263	4	26
Tc-97	67	61,35	6,7	6,14	GW	GW	GW	GW	67	61	7	6
Tc-97m	2.211	2.873	221	287	O1	O1	O1	O1	1.000	1.000	221	287
Tc-99	6,6	6,08	0,66	0,61	GW	GW	GW	GW	7	6	0,7	0,6
Ru-103+	32,37	45,61	9,71	9,72	D3	T1	D3	D3	32	46	10	10
Ru-106+	72,49	98,63	21,75	21,96	D3	T1	D3	D3	72	99	22	22
Pd-103+	22.955	22.955	2.295	2.295	D1	M1	D1	M1	1.000	1.000	1.000	1.000
Ag-105	30,08	41,20	9,02	4,12	D3	M4	D3	M4	30	41	9	4
Ag-108m+	9,43	10,28	1,05	1,03	D3	M4	O2	M4	9	10	1	1
Ag-110m+	5,71	5,63	1,71	0,56	D3	M4	D3	M4	6	6	2	0,6
Ag-111	748	1.092	224	155	D3	T1	D3	M4	748	1.000	224	155
Cd-109+	849	3.839	84,90	384	O2	S5	O2	S5	849	3.839	85	384
Cd-115m	720	748	216	74,84	D3	M4	D3	M4	720	748	216	75
Cd-115m+	720	748	216	74,84	D3	M4	D3	M4	720	748	216	75
In-114m+	136	172	40,66	17,23	D3	M4	D3	M4	100	100	41	17
Sn-113+	57,31	77,81	17,19	7,78	D3	M4	D3	M4	57	78	17	8

Nuklid	Minimum in Bq/g				Szenario				Freigabewert in Bq/g (mit Freigrenzen)			
	< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a		< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a		< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a	
	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA
1	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	2	3	4	5
Sn-125	64,14	64,14	19,24	7,95	T1	T1	T1	M4	64	64	19	8
Sb-124	8,64	8,53	2,59	0,85	D3	M4	D3	M4	9	9	3	0,9
Sb-125+	35,91	41,95	10,77	4,19	D3	M4	D3	M4	36	42	11	4
Te-123m	124	298	37,14	29,80	D3	M4	D3	M4	100	100	37	30
Te-125m	5.228	13.097	523	1.310	O2	S5	O2	S5	1.000	1.000	523	1.000
Te-127m+	342	2.767,05	34,21	276,70	O2	O2	O2	O2	342	1.000	34	277
Te-129m+	245	295,41	73,56	29,54	D3	M4	D3	M4	245	295	74	30
I-125	768	1.037	76,80	103,74	O1	O1	O1	O1	768	1.000	77	104
I-126	39,40	48,45	11,82	5,32	D3	T1	D3	M4	39	48	12	5
I-129	0,62	0,59	0,06	0,06	GW	GW	GW	GW	0,6	0,6	0,06	0,06
I-131	50,96	69,32	15,29	9,31	D3	T1	D3	M4	51	69	15	9
Cs-131	25.610	77.997	7.683	7.800	D3	D3	D3	D3	1.000	1.000	1.000	1.000
Cs-134	9,86	10,21	2,96	1,02	D3	M4	D3	M4	10	10	3	1
Cs-135	316	3.024	32	302	GW	GW	GW	GW	316	3.024	32	302
Cs-136	8,55	9,45	2,57	1,04	D3	T1	D3	M4	9	9	3	1
Cs-137+	27,07	28,42	8,12	2,84	D3	M4	D3	M4	10	10	8	3
Ba-131+	41,69	58,77	12,51	12,51	D3	T1	D3	D3	42	59	13	13
Ba-133	42,10	78,37	12,63	12,64	D3	T1	D3	D3	42	78	13	13
Ba-140+	9,85	10,35	2,95	2,96	D3	T1	D3	D3	10	10	3	3

Nuklid	Minimum in Bq/g				Szenario				Freigabewert in Bq/g (mit Freigrenzen)			
	< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a		< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a		< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a	
	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA
1	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	2	3	4	5
Ce-139	123	343	36,83	36,86	D3	T1	D3	D3	100	100	37	37
Ce-141	253	760	75,76	76,02	D3	D3	D3	D3	100	100	76	76
Ce-144+	325	483	97,51	102	D3	T1	D3	D3	100	100	98	100
Pr-143	59.556	417.724	17.867	125.317	D3	T1	D3	T1	10.000	10.000	10.000	10.000
Nd-147	161	230	48,28	48,40	D3	T1	D3	D3	100	100	48	48
Pm-147	68.111	175.802	17.191	52.740	D3	T1	O1	T1	10.000	10.000	10.000	10.000
Sm-151	98.928	225.230	29.678	67.569	D3	T1	D3	T1	10.000	10.000	10.000	10.000
Eu-152	13,78	17,19	4,14	4,14	D3	T1	D3	D3	10	10	4	4
Eu-154	12,56	15,30	3,77	3,77	D3	T1	D3	D3	10	10	4	4
Eu-155	440	1.329	132	133	D3	D3	D3	D3	100	100	100	100
Gd-153	343	1.031	103	103	D3	D3	D3	D3	100	100	100	100
Tb-160	14,90	18,08	4,47	4,47	D3	T1	D3	D3	10	10	4	4
Er-169	183.811	902.435	55.143	270.730	D3	T1	D3	T1	10.000	10.000	10.000	10.000
Tm-170	5.614	20.029	1.684	2.003	D3	D3	D3	D3	1.000	1.000	1.000	1.000
Tm-171	59.699	235.860	17.910	23.586	D3	D3	D3	D3	10.000	10.000	10.000	10.000
Hf-181	29,69	46,77	8,91	8,91	D3	T1	D3	D3	10	10	9	9
Ta-182	12,68	15,04	3,80	3,81	D3	T1	D3	D3	10	10	4	4
W-181	1.187	3.566	356	357	D3	D3	D3	D3	1.000	1.000	356	357
W-185	32.225	271.463	3.222	27.146	O1	O1	O1	O1	10.000	10.000	3.222	10.000

Nuklid	Minimum in Bq/g				Szenario				Freigabewert in Bq/g (mit Freigrenzen)			
	< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a		< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a		< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a	
	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA
1	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	2	3	4	5
Os-185	23,24	30,37	6,97	6,97	D3	T1	D3	D3	10	10	7	7
Os-191	397	1.195	119	119	D3	D3	D3	D3	100	100	100	100
Ir-190+	6,23	8,17	1,87	1,87	D3	T1	D3	D3	6	8	2	2
Ir-192	18,42	30,53	5,53	5,53	D3	T1	D3	D3	10	10	6	6
Ir-194m	6,48	9,50	1,94	1,94	D3	T1	D3	D3	6	9	2	2
Hg-203	68,03	118	20,41	11,84	D3	M4	D3	M4	68	100	20	12
Tl-202	40,91	58,27	12,27	6,58	D3	T1	D3	M4	41	58	12	7
Tl-204	932	8.887	93	889	O2	O2	O2	O2	932	8.887	93	889
Pb-210+	29	82	2,9	8,2	O1	L3	O1	L3	10	10	3	8
Pb-210++	27	82	2,7	8,2	O1	L3	O1	L3	10	10	3	8
Bi-207	10,22	10,25	3,06	1,02	D3	M4	D3	M4	10	10	3	1
Po-210	28,00	98,67	2,80	9,87	O1	L3	O1	L3	10	10	3	10
Ra-223+	34,14	59,13	10,24	17,74	D3	T1	D3	T1	34	59	10	18
Ra-225	49,60	89,96	14,88	26,99	D3	T1	D3	T1	50	90	15	27
Ra-226+	0,40	4,6	0,04	0,46	GW	GW	GW	GW	0,4	5	0,04	0,5
Ra-226++	0,40	4,6	0,04	0,46	GW	GW	GW	GW	0,4	5	0,04	0,5
Ra-228+	5,21	7,83	1,55	2,35	D3	T1	O1	T1	5	8	2	2
Ac-227+	0,65	1,3	0,19	0,40	D3	T1	D3	T1	0,1	0,1	0,1	0,1
Ac-227++	0,60	1,3	0,18	0,38	D3	T1	D3	T1	0,1	0,1	0,1	0,1

Nuklid	Minimum in Bq/g				Szenario				Freigabewert in Bq/g (mit Freigrenzen)			
	< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a		< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a		< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a	
	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA
1	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	2	3	4	5
Th-227	23,14	45,21	6,94	13,56	D3	T1	D3	T1	10	10	7	10
Th-228+	5,01	7,68	1,50	2,30	D3	T1	D3	T1	1	1	1	1
Th-229+	5,04	10,35	1,51	3,10	D3	T1	D3	T1	1	1	1	1
Th-230	0,49	3,11	0,05	0,31	GW	GW	GW	GW	0,5	1	0,05	0,3
Th-232	0,71	4,7	0,07	0,71	GW	T1	GW	GW	0,7	5	0,07	0,7
Th-232sec	0,71	4,7	0,07	0,71	GW	T1	GW	GW	0,7	1	0,07	0,7
Th-234+	869	1.281	261	272	D3	T1	D3	D3	869	1.000	261	272
Pa-230	26,10	31,72	7,83	8,25	D3	T1	D3	D3	10	10	8	8
Pa-231	0,13	1,16	0,01	0,13	GW	T1	GW	GW	0,1	1	0,01	0,1
Pa-233	78,77	151	23,63	23,66	D3	T1	D3	D3	79	100	24	24
U-230+	28,96	55,52	8,69	16,66	D3	T1	D3	T1	10	10	9	10
U-232	3,7	6,2	0,47	1,8	D3	T1	GW	T1	4	6	0,5	2
U-232+	3,5	5,7	0,47	1,7	D3	T1	GW	T1	1	1	0,5	1
U-233	5,3	42,57	0,53	4,26	GW	GW	GW	GW	5	10	0,5	4
U-234	5,6	16,18	0,56	1,62	GW	GW	GW	GW	6	10	0,6	2
U-235+	2,7	3,88	0,27	0,39	GW	GW	GW	GW	3	4	0,3	0,4
U-236	6,1	59,39	0,61	5,94	GW	GW	GW	GW	6	10	0,6	6
U-238+	5,7	51,23	0,57	5,12	GW	GW	GW	GW	6	10	0,6	5
U-238sec	0,28	2,6	0,03	0,26	GW	GW	GW	GW	0,3	1	0,03	0,3

Nuklid	Minimum in Bq/g				Szenario				Freigabewert in Bq/g (mit Freigrenzen)			
	< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a		< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a		< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a	
	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA
1	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	2	3	4	5
Np-237+	1,1	10,15	0,11	1,01	GW	GW	GW	GW	1	1	0,1	1
Pu-236	18,36	36,26	5,51	10,88	D3	T1	D3	T1	10	10	6	10
Pu-237	493	1.480	148	148	D3	D3	D3	D3	493	1.000	148	148
Pu-238	9,43	19,38	2,83	5,81	D3	T1	D3	T1	1	1	1	1
Pu-239	5,2	17,73	0,52	5,25	GW	T1	GW	GW	1	1	0,5	1
Pu-240	5,6	17,73	0,56	5,32	GW	T1	GW	T1	1	1	0,6	1
Pu-241	138	416	41,38	125	D3	T1	D3	T1	100	100	41	100
Pu-242	5,2	18,94	0,53	5,25	GW	T1	GW	GW	1	1	0,5	1
Pu-244+	2,8	14,32	0,28	2,55	GW	T1	GW	GW	1	1	0,3	1
Am-241	10,35	21,35	3,11	6,41	D3	T1	D3	T1	1	1	1	1
Am-242m+	7,24	15,36	2,17	4,61	D3	T1	D3	T1	1	1	1	1
Am-243+	9,1	19,64	0,91	5,89	GW	T1	GW	T1	1	1	0,9	1
Cm-242	80,32	167	24,10	50,06	D3	T1	D3	T1	80	100	24	50
Cm-243	12,65	26,47	3,79	7,94	D3	T1	D3	T1	1	1	1	1
Cm-244	16,19	33,17	4,86	9,95	D3	T1	D3	T1	10	10	5	10
Cm-245	6,2	18,01	0,62	5,40	GW	T1	GW	T1	1	1	0,6	1
Cm-246	10,1	20,83	2,5	6,25	D3	T1	GW	T1	1	1	1	1
Cm-247+	2,8	14,23	0,28	1,42	GW	GW	GW	GW	1	1	0,3	1
Cm-248	1,5	5,95	0,15	1,59	GW	T1	GW	GW	1	1	0,2	1

Nuklid	Minimum in Bq/g				Szenario				Freigabewert in Bq/g (mit Freigrenzen)			
	< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a		< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a		< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a	
	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA	DEP	MVA
1	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	2	3	4	5
Bk-249	868	2.440	260	732	D3	T1	D3	T1	868	1.000	260	732
Cf-248	40,78	89,96	12,23	26,99	D3	T1	D3	T1	10	10	10	10
Cf-249	5,35	10,79	1,60	3,24	D3	T1	D3	T1	1	1	1	1
Cf-250	12,62	25,96	3,79	7,79	D3	T1	D3	T1	10	10	4	8
Cf-251	5,82	12,11	1,75	3,63	D3	T1	D3	T1	1	1	1	1
Cf-252	22,62	46,33	6,79	13,90	D3	T1	D3	T1	10	10	7	10
Cf-253+	229	418	68,56	125	D3	T1	D3	T1	100	100	69	100
Cf-254	11,08	22,78	3,33	6,83	D3	T1	D3	T1	1	1	1	1
Es-253	182	341	54,68	102	D3	T1	D3	T1	100	100	55	100
Es-254+	12,57	16,79	3,77	5,04	D3	T1	D3	T1	10	10	4	5

4 Ergänzende Betrachtungen zur Freisetzung

4.1 Langfristige Freisetzungen

Die Herleitung der in Tabelle 1 dargestellten Freigabewerte beruht auf Szenarien, die den Umgang mit Abfällen beschreiben. Darüber hinaus wurde von der SSK auch untersucht, inwiefern die bei der Beseitigungsanlage deponierte Aktivität kurzfristig freigesetzt werden kann. Diese Betrachtung schließt auch eine Untersuchung über die mögliche Nutzung von stillgelegten Deponien im Sinne der Nachhaltigkeit ein. Hierzu wird folgendes festgestellt:

Stillgelegte Deponien werden in ein Altlastenverdachtskataster aufgenommen, das bei den für den Bodenschutz zuständigen Ämtern geführt wird. Die Dauer der Einträge im Altlastenverdachtskataster ist unbegrenzt. Die Einträge werden nicht gelöscht. Eine Wohnbebauung oder direkte landwirtschaftliche Nutzung wird ausgeschlossen.

Die unwissentliche Nutzung eines Deponiekörpers selbst kann ausgeschlossen werden, da hierbei das deponierte Material zutage gefördert würde. Ebenso kann eine Nutzung des eventuell an der Deponiesohle angestauten Sickerwassers aufgrund seines Zustandes (Trübung, Geruch) ausgeschlossen werden.

Ein Durchströmen des Deponiekörpers durch Grundwasser ist nicht zu unterstellen, da Deponien mit entsprechendem Abstand zum Grundwasser errichtet werden und vom Grundwasserleiter mindestens durch die geologische Barriere, ab der entsprechenden Deponieklasse auch durch zusätzliche technische Barrieren getrennt sind. Daher ist eine Nutzung von Grundwasser, das im Deponiekörper ansteht, nicht zu unterstellen.

Die Kunststoffdichtungsbahn (KDB) insbesondere der Basisabdichtung wird nach heutigen Expertenschätzungen 200 bis 500 Jahre halten [MUE 01]. Danach tritt ein langsamer Degradationsprozess ein (Schweißnähte gehen auf, kleinere Freisetzungen können auftreten). Es ist nicht von einem schlagartigen großflächigen Versagen auszugehen. Bei Oberflächenabdichtungen ist eine etwas kürzere Lebensdauer anzunehmen, da hier die dichtenden Materialien (KDB) und die mineralische Abdichtung stärkeren Umwelteinflüssen ausgesetzt sein können.

Die Freisetzung über den Grundwasserpfad wurde im Modell vollständig ohne zeitliche Begrenzung betrachtet und ist daher konservativ. Es wurde ein Versagen der Abdichtung nach 100 Jahren angesetzt, das nach insgesamt 200 Jahren zu einem völligen Verlust der Rückhaltung führt. Die Dosisberechnung wurde für den Zeitpunkt der höchsten Konzentration am betrachteten Privatbrunnen durchgeführt, wobei dieser Zeitpunkt nicht beschränkt wurde, also für langsam migrierende Nuklide erst in Jahrhunderten oder Jahrtausenden auftreten kann.

Radionuklide, die bzgl. externer Exposition dosisrelevant sind (z.B. Co-60), sind nach wenigen Jahrzehnten bis Jahrhunderten so weit zerfallen, dass die Exposition durch externe Bestrahlung bei sämtlichen Szenarien, welche eine Nutzung des Deponiekörpers beinhalten, vernachlässigbar ist. Es kann als sicher angenommen werden, dass die Nutzung des Deponiekörpers erst nach einigen Jahrhunderten erfolgt, da

- das Wissen um die Deponie aufgrund der Einträge im Altlastenverdachtskataster bestehen bleibt und
- ohnehin vorhandene konventionelle Belastungen des Deponiekörpers eine vorherige Nutzung nicht unbemerkt lassen und somit verhindern.

Externe Strahlenexpositionen während des Aufenthaltes auf der Abdeckschicht einer Deponie sind aufgrund der Abschirmung durch diese Abdeckschicht vernachlässigbar. Dies gilt bereits ab Stilllegung der Deponie.

Als einzige mögliche langfristige Auswirkung bleibt der Austrag sehr langlebiger Radionuklide über Sicker- und Grundwasserpfade. Der im Modell betrachtete Brunnenpfad ist aufgrund der Nähe des Brunnens zur Deponie auch hier als abdeckend anzusehen. Bei langfristigem vollständigem Versagen der Basisabdichtung und Migration der langlebigen Radionuklide in tieferes Grundwasser ergeben sich höhere Verdünnungsfaktoren als im Falle des Brunnenpfades. Hinzu kommt, dass die hier relevanten langlebigen Radionuklide in der Regel nur einen Bruchteil der deponierten Aktivitäten ausmachen. Selbst bei einem vollständigen Versagen der Basisabdichtung ist die Möglichkeit, die gesamte Aktivität in vergleichsweise kurzem Zeitraum freizusetzen, nicht gegeben.

4.2 Kurzfristige Freisetzungen

An einigen Standorten von Beseitigungsanlagen (MVA, Deponie) werden Abfälle bis zur Verfügbarkeit von Kapazität in Behandlungsanlagen (MVA, MBV, Mitverbrennung) auf Freiflächen zwischengelagert. Bei MVAs kann dies auch beispielsweise während der Revision oder Reparatur der Anlage auftreten. Derartige Zwischenlager umfassen maximal einige 1.000 Mg Abfall. Da es sich überwiegend um heizwertreichen Abfall mit brennbaren Anteilen handelt, kann ein Brand nicht ausgeschlossen werden. Ein solcher Brand kann eine realistische Quelle für einen nennenswerten Aktivitätsaustrag aus Abfällen darstellen.

Die Praxis der Zwischenlagerung wird in den nächsten Jahren infolge der Anpassung der Behandlungskapazitäten an den Bedarf nach Einschätzung des UBA [UBA 06] rückläufig sein.

Als *Worst Case* werden daher folgende Szenarien betrachtet:

- A: Freisetzung aufgrund eines Brandes von Abfällen, die auf einer Freifläche einer MVA zwischengelagert werden, die zu Revisionszwecken abgeschaltet ist; aufgrund der Nähe der MVA zur Besiedelung und zu Industriebereichen wird ein Abstand der Referenzperson von 100 m zum Brandherd angenommen.
- B: Freisetzung aufgrund eines Brandes von angelieferten Abfällen, die auf einer Freifläche einer Deponie mit MBV zwischengelagert werden; aufgrund des Abstandes der Deponie zu Besiedelungen und Industriebereichen wird ein Abstand der Referenzperson von 300 m zum Brandherd angenommen.

Es wird weiterhin für beide Szenarien unterstellt, dass für einen Zeitraum von 3 Wochen Abfälle zwischengelagert werden müssen und in den Abfällen sich auch Abfälle von einem Ablieferer befinden, der 1.000 Mg freigegebene Abfälle im Jahr gleichmäßig abgibt. Nach 3 Wochen werden in diesen zwischengelagerten Abfällen somit ca. 6 Mg freigegebene Abfälle enthalten sein.

Abdeckend wird angenommen, dass diese freigegebenen Abfälle die vorgesehenen Freigabewerte für die radiologisch relevanten Radionuklide Sr-90 und Cs-137 jeweils zu 50 % ausschöpfen. Von dieser Aktivität werden 50 % freigesetzt, die anderen 50 % verbleiben in der Asche [GRS 87].

Die Berechnung der potentiellen Strahlenexposition wurde auf der Basis der Störfallberechnungsgrundlagen (SBG) [SSK 04] vorgenommen, wobei eine Emissionshöhe von 0 m und eine thermische Überhöhung von 50 m angenommen wurde [s.a. GRS 91]. Entgegen der SBG, die eine Niederschlagsintensität von 5 mm/h annehmen, wurde eine Niederschlags-

intensität von lediglich 0,5 mm/h angesetzt, da bei dem nach SBG zu betrachtenden starken Regen ein Feuer nicht unterstellt werden kann. Für die Dosisabschätzung wurden die mittleren Verzehrswerten nach Tabelle 1 in Anlage VII Teil B StrlSchV angenommen.

Als Ergebnis dieser Betrachtung folgt eine maximale potentielle Strahlenexposition für das Kleinkind (< 1 Jahr) von ca. 10 μSv für das Szenario A in 100 m Abstand. Das Schutzziel des de-minimis-Konzeptes wird somit auch bei Unterstellung eines *Worst-Case*-Szenarios eingehalten.

Ein Brand des Deponiekörpers kann als Unfallszenario ausgeschlossen werden, da dort nur inertisierte Materialien abgelagert werden und brennbare Bestandteile des Abfalls der MVA oder der MBV zugeführt werden müssen.

4.3 Schlussfolgerung

Abschließend ist festzustellen, dass sowohl im Hinblick auf die Nachhaltigkeit bei langfristigen Freisetzungen des Gesamtinventars als auch auf das Gefährdungspotential bei kurzfristiger Freisetzung des Gesamtinventars die Freigabe von Stoffen zur Beseitigung als radiologisch unproblematisch anzusehen ist.

5 Vergleich der bisherigen und der hier empfohlenen Freigabewerte

In Tabelle 3 sind die Freigabewerte der Tabelle 2 den Werten für die Freigabe zur Beseitigung nach Anlage III Tabelle 1 Spalte 9 StrlSchV und für die uneingeschränkte Freigabe nach Anlage III Tabelle 1 Spalte 5 StrlSchV gegenübergestellt.

Im Allgemeinen liegen die hier ermittelten Freigabewerte höher als die für die uneingeschränkte Freigabe nach Anlage III Tabelle 1 Spalte 5 StrlSchV.

In Tabelle 3 sind die hier abgeleiteten Freigabewerte, die kleiner sind als die Freigabewerte der Anlage III Tabelle 1 Spalte 5 StrlSchV zur uneingeschränkten Freigabe, hervorgehoben. Aus Gründen der Konsistenz müssen die Werte für eine uneingeschränkte Freigabe stets kleiner oder gleich den Werten für die Freigabe zur Beseitigung sein.

Berechnet wurden Freigabewerte zur Beseitigung für insgesamt 161 Radionuklide. Für sechs Radionuklide (Si-32, Ca-41, Cd-115m, Ir-194m, Hg-203, Ac-227+) enthält Anlage III Tabelle 1 Spalte 9 StrlSchV keinen Freigabewert. Für die restlichen, kurzlebigen Radionuklide dienen die massenbezogenen Freigrenzen gemäß Anlage III Tab. 1 Sp. 3 StrlSchV als Freigabewerte.

Bezogen auf den jeweils niedrigsten hier errechneten Freigabewert der vier Freigabepfade (Deponie 100 Mg bzw. 1.000 Mg und MVA 100 Mg bzw. 1.000 Mg) sind die Freigabewerte der Anlage III Tabelle 1 Spalte 9 StrlSchV für 122 Radionuklide größer, für 30 Radionuklide identisch und für 3 Radionuklide kleiner. Bezogen auf den höchsten Freigabewert der vier Freigabepfade ergibt sich für 9 Radionuklide ein kleinerer Wert als der Freigabewert der Anlage III Tabelle 1 Spalte 9 StrlSchV, für 99 Radionuklide ist er identisch und für 55 Radionuklide größer. Die hier neu errechneten Freigabewerte sind bei Massen kleiner 1.000 Mg im Kalenderjahr für 122 Radionuklide restriktiver als die bisherigen Freigabewerte nach Anlage III Tabelle 1 Spalte 9 StrlSchV, für Massen kleiner 100 Mg im Kalenderjahr sind sie für 28 Radionuklide restriktiver.

Ein niedrigerer Freigabewert als der Freigabewert der Anlage III Tabelle 1 Spalte 5 StrlSchV wurde hier für 15 Radionuklide berechnet, nämlich für Cl-36, Mn-53, Ni-59, As-74, Sr-90+, Mo-93, Tc-97, Tc-99, Sn-125, I-129, Cs-136, Ba-131+, Tl-202, U-235+ und Pu-237.

Tab. 3: Vergleich der hier abgeleiteten Freigabewerte mit den Freigabewerten der Anlage III Tabelle 1 Spalte 5, 6 und Spalte 9 StrlSchV (Radionuklide, bei denen ein hier empfohlener Freigabewert den Freigabewert nach Anlage III Tabelle 1 Spalte 5 StrlSchV zur uneingeschränkten Freigabe unterschreitet, sind hervorgehoben)

Nuklid	Freigabewert in Bq/g				Anl. III Tab. 1 Sp. 9 StrlSchV in Bq/g	Anl. III Tab. 1 Sp. 5 StrlSchV in Bq/g	Anl. III Tab. 1 Sp. 6 StrlSchV in Bq/g
	< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a				
	DEP	MVA	DEP	MVA			
1	2	3	4	5			
H-3	6 E+4	1 E+6	6 E+3	1 E+6	1E+3	1E+3	6E+1
Be-7	3 E+2	4 E+2	9 E+1	4 E+1	2E+2	3E+1	3E+1
C-14	4 E+3	1 E+4	4 E+2	1 E+4	2E+3	8E+1	1E+1
Na-22	7 E+0	9 E+0	2 E+0	2 E+0	4E+0	1E-1	1E-1
Si-32	1 E+3	1 E+3	4 E+2	9 E+2	-	-	-
P-32	1 E+3	1 E+3	1 E+3	1 E+3	1E+3	2E+1	2E+1
P-33	1 E+5	1 E+5	2 E+4	1 E+5	4E+4	2E+2	2E+2
S-35	5 E+3	2 E+4	5 E+2	2 E+3	2E+2	6E+1	1E+3
Cl-36	3 E+0	3 E+0	3 E-1	3 E-1	8E+0	8E+0	1E+0
Ca-41	2 E+2	1 E+3	2 E+1	1 E+2	-	-	-
Ca-45	5 E+3	1 E+4	5 E+2	4 E+3	7E+3	7E+1	4E+2
Sc-46	8 E+0	9 E+0	2 E+0	2 E+0	4E+0	3E-1	1E-1
V-48	6 E+0	7 E+0	2 E+0	2 E+0	3E+0	1E+0	8E-2
Cr-51	5 E+2	9 E+2	1 E+2	1 E+2	3E+2	1E+2	8E+0
Mn-53	6 E+2	4 E+3	6 E+1	4 E+2	1E+3	1E+3	1E+3
Mn-54	1 E+1	1 E+1	6 E+0	6 E+0	1E+1	4E-1	3E-1
Fe-55	1 E+4	1 E+4	7 E+3	1 E+4	1E+4	2E+2	2E+2
Fe-59	1 E+1	1 E+1	4 E+0	4 E+0	7E+0	1E+0	2E-1
Co-56	4 E+0	5 E+0	1 E+0	1 E+0	2E+0	2E-1	6E-2
Co-57	1 E+2	1 E+2	5 E+1	5 E+1	1E+2	2E+1	3E+0
Co-58	1 E+1	1 E+1	5 E+0	5 E+0	9E+0	9E-1	2E-1
Co-60	6 E+0	7 E+0	2 E+0	2 E+0	4E+0	1E-1	9E-2
Ni-59	3 E+3	1 E+4	3 E+2	3 E+3	5E+3	8E+2	8E+2
Ni-63	1 E+4	6 E+4	1 E+3	6 E+3	3E+3	3E+2	3E+2
Zn-65	1 E+1	1 E+1	8 E+0	3 E+0	1E+1	5E-1	4E-1
Ge-71	1 E+4	1 E+4	1 E+4	1 E+4	1E+4	4E+3	4E+3
As-73	1 E+3	1 E+3	1 E+3	1 E+3	1E+3	1E+2	1E+2
As-74	1 E+1	1 E+1	7 E+0	3 E+0	1E+1	5E+0	3E-1
Se-75	4 E+1	7 E+1	1 E+1	7 E+0	3E+1	3E+0	7E-1

Nuklid	Freigabewert in Bq/g				Anl. III Tab. 1 Sp. 9 StrlSchV in Bq/g	Anl. III Tab. 1 Sp. 5 StrlSchV in Bq/g	Anl. III Tab. 1 Sp. 6 StrlSchV in Bq/g
	< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a				
	DEP	MVA	DEP	MVA			
1	2	3	4	5			
Rb-86	1 E+2	2 E+2	6 E+1	6 E+1	9E+1	2E+1	2E+0
Sr-85	3 E+1	4 E+1	9 E+0	9 E+0	2E+1	1E+0	4E-1
Sr-89	1 E+3	1 E+3	1 E+3	1 E+3	1E+3	2E+1	2E+1
Sr-90+	6 E+0	4 E+1	6 E-1	4 E+0	2E+0	2E+0	2E+0
Y-91	1 E+3	1 E+3	1 E+3	1 E+3	1E+3	2E+1	2E+1
Zr-93	8 E+2	1 E+3	8 E+1	8 E+2	1E+3	1E+1	1E+1
Zr-93+	8 E+2	1 E+3	8 E+1	8 E+2	1E+3	1E+1	-
Zr-95	1 E+1	1 E+1	4 E+0	4 E+0	5E+0	5E-1	9E-2
Nb-93m	1 E+4	1 E+4	4 E+3	1 E+4	1E+4	4E+2	4E+2
Nb-94	1 E+1	1 E+1	3 E+0	3 E+0	6E+0	2E-1	1E-1
Nb-95	1 E+1	1 E+1	6 E+0	6 E+0	1E+1	2E+0	3E-1
Mo-93	4 E+1	3 E+2	4 E+0	3 E+1	4E+1	2E+1	2E+1
Tc-97	7 E+1	6 E+1	7 E+0	6 E+0	1E+2	1E+2	1E+1
Tc-97m	1 E+3	1 E+3	2 E+2	3 E+2	1E+3	8E+1	9E+0
Tc-99	7 E+0	6 E+0	7 E-1	6 E-1	1E+1	1E+1	1E+0
Ru-103+	3 E+1	5 E+1	1 E+1	1 E+1	2E+1	4E+0	4E+0
Ru-106+	7 E+1	1 E+2	2 E+1	2 E+1	4E+1	1E+0	1E+0
Pd-103+	1 E+3	1 E+3	1 E+3	1 E+3	1E+3	3E+2	3E+2
Ag-105	3 E+1	4 E+1	9 E+0	4 E+0	2E+1	4E+0	5E-1
Ag-108m+	9 E+0	1 E+1	1 E+0	1 E+0	6E+0	2E-1	1E-1
Ag-110m+	6 E+0	6 E+0	2 E+0	6 E-1	3E+0	1E-1	8E-2
Ag-111	7 E+2	1 E+3	2 E+2	2 E+2	4E+2	4E+1	9E+0
Cd-109+	8 E+2	4 E+3	8 E+1	4 E+2	4E+3	2E+1	2E+1
Cd-115m	7 E+2	7 E+2	2 E+2	7 E+1	-	-	1E+1
Cd-115m+	7 E+2	7 E+2	2 E+2	7 E+1	4E+2	2E+1	-
In-114m+	1 E+2	1 E+2	4 E+1	2 E+1	8E+1	1E+1	2E+0
Sn-113+	6 E+1	8 E+1	2 E+1	8 E+0	4E+1	2E+0	9E-1
Sn-125	6 E+1	6 E+1	2 E+1	8 E+0	3E+1	2E+1	7E-1
Sb-124	9 E+0	9 E+0	3 E+0	9 E-1	5E+0	5E-1	5E-1
Sb-125+	4 E+1	4 E+1	1 E+1	4 E+0	2E+1	8E-1	5E-1
Te-123m	1 E+2	1 E+2	4 E+1	3 E+1	9E+1	1E+1	2E+0
Te-125m	1 E+3	1 E+3	5 E+2	1 E+3	1E+3	6E+1	6E+1
Te-127m+	3 E+2	1 E+3	3 E+1	3 E+2	1E+3	2E+1	4E+1
Te-129m+	2 E+2	3 E+2	7 E+1	3 E+1	1E+2	2E+1	3E+0
I-125	8 E+2	1 E+3	8 E+1	1 E+2	1E+2	3E+0	3E+0
I-126	4 E+1	5 E+1	1 E+1	5 E+0	2E+1	2E+0	5E-1
I-129	6 E-1	6 E-1	6 E-2	6 E-2	4E-1	4E-1	1E-1

Nuklid	Freigabewert in Bq/g				Anl. III Tab. 1 Sp. 9 StrlSchV in Bq/g	Anl. III Tab. 1 Sp. 5 StrlSchV in Bq/g	Anl. III Tab. 1 Sp. 6 StrlSchV in Bq/g
	< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a				
	DEP	MVA	DEP	MVA			
1	2	3	4	5			
I-131	5 E+1	7 E+1	2 E+1	9 E+0	2E+1	2E+0	6E-6
Cs-131	1 E+3	1 E+3	1 E+3	1 E+3	1E+3	9E+2	2E+2
Cs-134	1 E+1	1 E+1	3 E+0	1 E+0	6E+0	2E-1	1E-1
Cs-135	3 E+2	3 E+3	3 E+1	3 E+2	7E+2	2E+1	2E+1
Cs-136	9 E+0	9 E+0	3 E+0	1 E+0	4E+0	2E+0	1E-1
Cs-137+	1 E+1	1 E+1	8 E+0	3 E+0	1E+1	5E-1	4E-1
Ba-131+	4 E+1	6 E+1	1 E+1	1 E+1	2E+1	2E+1	5E-1
Ba-133	4 E+1	8 E+1	1 E+1	1 E+1	3E+1	1E+0	-
Ba-140+	1 E+1	1 E+1	3 E+0	3 E+0	3E+0	2E+0	8E-2
Ce-139	1 E+2	1 E+2	4 E+1	4 E+1	8E+1	9E+0	2E+0
Ce-141	1 E+2	1 E+2	8 E+1	8 E+1	1E+2	7E+1	4E+0
Ce-144+	1 E+2	1 E+2	1 E+2	1 E+2	1E+2	9E+0	5E+0
Pr-143	1 E+4	1 E+4	1 E+4	1 E+4	1E+4	4E+1	4E+1
Nd-147	1 E+2	1 E+2	5 E+1	5 E+1	8E+1	5E+1	2E+0
Pm-147	1 E+4	1 E+4	1 E+4	1 E+4	1E+4	2E+2	2E+2
Sm-151	1 E+4	1 E+4	1 E+4	1 E+4	5E+3	5E+2	5E+2
Eu-152	1 E+1	1 E+1	4 E+0	4 E+0	8E+0	2E-1	2E-1
Eu-154	1 E+1	1 E+1	4 E+0	4 E+0	7E+0	2E-1	2E-1
Eu-155	1 E+2	1 E+2	1 E+2	1 E+2	1E+2	3E+1	8E+0
Gd-153	1 E+2	1 E+2	1 E+2	1 E+2	1E+2	2E+1	6E+0
Tb-160	1 E+1	1 E+1	4 E+0	4 E+0	9E+0	6E-1	2E-1
Er-169	1 E+4	1 E+4	1 E+4	1 E+4	1E+4	1E+2	1E+2
Tm-170	1 E+3	1 E+3	1 E+3	1 E+3	1E+3	4E+1	4E+1
Tm-171	1 E+4	1 E+4	1 E+4	1 E+4	1E+4	5E+2	5E+2
Hf-181	1 E+1	1 E+1	9 E+0	9 E+0	1E+1	4E+0	4E-1
Ta-182	1 E+1	1 E+1	4 E+0	4 E+0	7E+0	5E-1	2E-1
W-181	1 E+3	1 E+3	4 E+2	4 E+2	1E+3	6E+1	2E+1
W-185	1 E+4	1 E+4	3 E+3	1 E+4	1E+4	1E+2	1E+2
Os-185	1 E+1	1 E+1	7 E+0	7 E+0	1E+1	5E-1	3E-1
Os-191	1 E+2	1 E+2	1 E+2	1 E+2	1E+2	9E+1	7E+0
Ir-190+	6 E+0	8 E+0	2 E+0	2 E+0	3E+0	2E+0	8E-2
Ir-192	1 E+1	1 E+1	6 E+0	6 E+0	1E+1	1E+0	3E-1
Ir-194m	6 E+0	9 E+0	2 E+0	2 E+0	-	-	-
Hg-203	7 E+1	1 E+2	2 E+1	1 E+1	-	-	1E+0
Tl-202	4 E+1	6 E+1	1 E+1	7 E+0	2E+1	2E+1	5E-1
Tl-204	9 E+2	9 E+3	9 E+1	9 E+2	1E+4	4E+1	4E+1
Pb-210+	1 E+1	1 E+1	3 E+0	8 E+0	1E+1	3E-2	3E-2

Nuklid	Freigabewert in Bq/g				Anl. III Tab. 1 Sp. 9 StrlSchV in Bq/g	Anl. III Tab. 1 Sp. 5 StrlSchV in Bq/g	Anl. III Tab. 1 Sp. 6 StrlSchV in Bq/g
	< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a				
	DEP	MVA	DEP	MVA			
1	2	3	4	5			
Pb-210++	1 E+1	1 E+1	3 E+0	8 E+0	1E+1	2E-2	-
Bi-207	1 E+1	1 E+1	3 E+0	1 E+0	6E+0	2E-1	2E-1
Po-210	1 E+1	1 E+1	3 E+0	1 E+1	1E+1	4E-2	4E-2
Ra-223+	3 E+1	6 E+1	1 E+1	2 E+1	2E+1	5E-1	4E-1
Ra-225	5 E+1	9 E+1	1 E+1	3 E+1	9E+0	2E-1	2E-1
Ra-226+	4 E-1	5 E+0	4 E-2	5 E-1	1E-1	3E-2	3E-2
Ra-226++	4 E-1	5 E+0	4 E-2	5 E-1	1E-1	1E-2	-
Ra-228+	5 E+0	8 E+0	2 E+0	2 E+0	8E+0	7E-2	1E-1
Ac-227+	1 E-1	1 E-1	1 E-1	1 E-1	-	-	-
Ac-227++	1 E-1	1 E-1	1 E-1	1 E-1	3E-1	7E-3	-
Th-227	1 E+1	1 E+1	7 E+0	1 E+1	7E+0	2E-1	2E-1
Th-228+	1 E+0	1 E+0	1 E+0	1 E+0	1E+0	1E-1	7E-2
Th-229+	1 E+0	1 E+0	1 E+0	1 E+0	1E+0	2E-2	2E-2
Th-230	5 E-1	1 E+0	5 E-2	3 E-1	1E+0	5E-2	5E-2
Th-232	7 E-1	5 E+0	7 E-2	7 E-1	1E+0	3E-2	3E-2
Th-232sec	7 E-1	1 E+0	7 E-2	7 E-1	1E+0	2E-2	-
Th-234+	9 E+2	1 E+3	3 E+2	3 E+2	5E+2	1E+1	2E+1
Pa-230	1 E+1	1 E+1	8 E+0	8 E+0	1E+1	6E+0	4E-1
Pa-231	1 E-1	1 E+0	1 E-2	1 E-1	8E-2	7E-3	4E-3
Pa-233	8 E+1	1 E+2	2 E+1	2 E+1	5E+1	2E+1	1E+0
U-230+	1 E+1	1 E+1	9 E+0	1 E+1	1E+1	3E-1	2E-1
U-232	4 E+0	6 E+0	5 E-1	2 E+0	1 E+0	6 E-2	5E-2
U-232+	1 E+0	1 E+0	5 E-1	1 E+0	1E+0	4E-2	-
U-233	5 E+0	1 E+1	5 E-1	4 E+0	2E+0	4E-1	3E-1
U-234	6 E+0	1 E+1	6 E-1	2 E+0	9E+0	5E-1	4E-1
U-235+	3 E+0	4 E+0	3 E-1	4 E-1	3E+0	5E-1	3E-1
U-236	6 E+0	1 E+1	6 E-1	6 E+0	1E+1	5E-1	4E-1
U-238+	6 E+0	1 E+1	6 E-1	5 E+0	1E+1	6E-1	4E-1
U-238sec	3 E-1	1 E+0	3 E-2	3 E-1	1E-1	9E-3	-
Np-237+	1 E+0	1 E+0	1 E-1	1 E+0	1E+0	9E-2	2E-1
Pu-236	1 E+1	1 E+1	6 E+0	1 E+1	1E+1	1E-1	2E-1
Pu-237	5 E+2	1 E+3	1 E+2	1 E+2	3E+2	2E+2	9E+0
Pu-238	1 E+0	1 E+0	1 E+0	1 E+0	1E+0	4E-2	8E-2
Pu-239	1 E+0	1 E+0	5 E-1	1 E+0	1E+0	4E-2	8E-2
Pu-240	1 E+0	1 E+0	6 E-1	1 E+0	1E+0	4E-2	8E-2
Pu-241	1 E+2	1 E+2	4 E+1	1 E+2	1E+2	2E+0	2E+0
Pu-242	1 E+0	1 E+0	5 E-1	1 E+0	1E+0	4E-2	4E-2

Nuklid	Freigabewert in Bq/g				Anl. III Tab. 1 Sp. 9 StrlSchV in Bq/g	Anl. III Tab. 1 Sp. 5 StrlSchV in Bq/g	Anl. III Tab. 1 Sp. 6 StrlSchV in Bq/g
	< 100 Mg/a		< 1.000 Mg/a				
	DEP	MVA	DEP	MVA			
1	2	3	4	5			
Pu-244+	1 E+0	1 E+0	3 E-1	1 E+0	1E+0	4E-2	4E-2
Am-241	1 E+0	1 E+0	1 E+0	1 E+0	1E+0	5E-2	5E-2
Am-242m+	1 E+0	1 E+0	1 E+0	1 E+0	1E+0	5E-2	9E-2
Am-243+	1 E+0	1 E+0	9 E-1	1 E+0	1E+0	5E-2	9E-2
Cm-242	8 E+1	1 E+2	2 E+1	5 E+1	5E+1	8E-1	7E-1
Cm-243	1 E+0	1 E+0	1 E+0	1 E+0	1E+0	7E-2	1E-1
Cm-244	1 E+1	1 E+1	5 E+0	1 E+1	1E+1	8E-2	8E-2
Cm-245	1 E+0	1 E+0	6 E-1	1 E+0	1E+0	4E-2	4E-2
Cm-246	1 E+0	1 E+0	1 E+0	1 E+0	1E+0	5E-2	5E-2
Cm-247+	1 E+0	1 E+0	3 E-1	1 E+0	1E+0	5E-2	1E-1
Cm-248	1 E+0	1 E+0	2 E-1	1 E+0	1E+0	1E-2	3E-2
Bk-249	9 E+2	1 E+3	3 E+2	7 E+2	1E+3	3E+1	2E+1
Cf-248	1 E+1	1 E+1	1 E+1	1 E+1	1E+1	5E-1	4E-1
Cf-249	1 E+0	1 E+0	1 E+0	1 E+0	1E+0	7E-2	6E-2
Cf-250	1 E+1	1 E+1	4 E+0	8 E+0	8E+0	1E-1	1E-1
Cf-251	1 E+0	1 E+0	1 E+0	1 E+0	1E+0	7E-2	5E-2
Cf-252	1 E+1	1 E+1	7 E+0	1 E+1	1E+1	2E-2	2E-1
Cf-253+	1 E+2	1 E+2	7 E+1	1 E+2	1E+2	4E+0	1E-1
Cf-254	1 E+0	1 E+0	1 E+0	1 E+0	1E+0	1E-1	1E-1
Es-253	1 E+2	1 E+2	5 E+1	1 E+2	9E+1	2E+0	1E+0
Es-254+	1 E+1	1 E+1	4 E+0	5 E+0	8E+0	4E-1	3E-1

6 Literaturverzeichnis

- [AVV 05] Entwurf der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV in der Fassung vom 21. Januar 2005
- [BIM 90] 17. VERORDNUNG ZUM BUNDES-IMMISSIONSSCHUTZGESETZ
17. BImSchV – Verordnung über Verbrennungsanlagen für Abfälle und ähnliche brennbare Stoffe vom 23.11.1990
- [DEC 97] DECKERT, A.; THIERFELDT, S. (BRENK SYSTEMPLANUNG):
Konservativitätsanalysen bei Freigabegrenzwerten, Endbericht zum Forschungsvorhaben 02S 7635 5 des BMBF, Aachen, 1997

- [DEC 98] DECKERT, A.; THIERFELDT, S. (BRENK SYSTEMPLANUNG):
Berechnung massenspezifischer Freigabewerte für schwach radioaktive Reststoffe, Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, BMU-1998-520, 1998
- [ESC 00] ESCH, B.:
Reale Mengen und Qualitäten der in Deutschland anfallenden Klärschlämme, Artikel 3011, Lieferung 8/00 in: Müllhandbuch 3,
Hrsg.: Hösel, Bilitewski, Schenkel, Schnurer, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1964-2003
- [EU 96] EUROPÄISCHE UNION:
Richtlinie 96/29/Euratom des Rates vom 13. Mai 1996 zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlungen, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, Nr. L 159/1, 39. Jahrgang, 29. Juni 1996
- [GRS 87] GESELLSCHAFT FÜR REAKTORSICHERHEIT (GRS) MBH:
Systemanalyse Konrad Teil 3, Bestimmung störfallbedingter Aktivitätsfreisetzung
GRS-A-1389, November 1987
- [GRS 91] GESELLSCHAFT FÜR REAKTORSICHERHEIT (GRS) MBH:
Transportstudie Konrad, Sicherheitsanalyse des Transports radioaktiver Abfälle zum Endlager Konrad
GRS-84, Juli 1991
- [IAEA 88] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY:
Principles for the Exemption of Radiation Sources and Practices from Regulatory Control, Safety Series No. 89, Wien, 1988
- [KLÄRV 03] KLÄRSCHLAMMVERORDNUNG (ABFKLÄRV)
Vom 15. April 1992 (BGBl. I S. 912), geändert durch Verordnung vom 6. März 1997 (BGBl. I S. 446), durch Art. 3 Gesetz zur Neuregelung des Rechts des Naturschutzes und der Landschaftspflege und zur Anpassung anderer Rechtsvorschriften vom 25. März 2002 (BGBl. I S. 1193), durch Art. 2 Verordnung zur Änderung abfallrechtlicher Nachweisbestimmungen vom 25. April 2002 (BGBl. I S. 1488) und durch § 11 Düngemittelverordnung vom 26. November 2003 (BGBl. I S. 2373)
- [LUA 03] LANDESUMWELTAMT NORDRHEIN-WESTFALEN:
Umwelt NRW – Daten und Fakten – Bericht im Internet 2003
- [MUE 01] MÜLLER, W. W.; JAKOB, I.:
Handbuch der PE-HD-Dichtungsbahnen in der Geotechnik,
Birkhäuser Verlag, Basel, 2001

- [POS 95] POSCHNER, J.; SCHALLER, G.:
Richtwerte für die spezifische Aktivität von schwach radioaktiv kontaminierten Abfällen, die konventionell entsorgt werden.
Bundesamt für Strahlenschutz, Inst. f. Strahlenhygiene, Reihe BfS-ISH-Berichte, BfS-ISH-169/95 (ISSN 0937-4558), Neuherberg, Januar 1995
- [SSK 98] STRAHLENSCHUTZKOMMISSION:
Freigabe von Materialien, Gebäuden und Bodenflächen mit geringfügiger Radioaktivität aus anzeige- oder genehmigungspflichtigem Umgang, Empfehlung der SSK. Berichte der Strahlenschutzkommission (SSK) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Heft 16, Gustav Fischer Verlag, 1998
- [SSK 02] STRAHLENSCHUTZKOMMISSION:
Neuberechnung der zulässigen Aktivitätskonzentrationen in der Fortluft und im Abwasser im Rahmen der Novellierung der Strahlenschutzverordnung (§ 47 Abs. 4), Dokumentation der Ableitung der Grenzwerte, Stellungnahme der Strahlenschutzkommission. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission (SSK) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Band 50, Urban & Fischer Verlag, 2002
- [SSK 04] STRAHLENSCHUTZKOMMISSION:
Störfallberechnungsgrundlagen zu § 49 StrlSchV, Empfehlung der SSK. Berichte der Strahlenschutzkommission (SSK) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Heft 44, Urban & Fischer Verlag, 2004
- [TASi 93] TECHNISCHE ANLEITUNG ZUR VERWERTUNG, BEHANDLUNG UND SONSTIGEN ENTSORGUNG VON SIEDLUNGSABFÄLLEN (DRITTE ALLGEMEINE VERWALTUNGSVORSCHRIFT ZUM ABFALLGESETZ)
vom 14. Mai 1993 (BA nz. Nr. 99a vom 29.05.1993)
- [THI 04] THIERFELDT, S.; WÖRLEN, S. (BRENK SYSTEMPLANUNG):
Fortentwicklung des radiologischen Modells für die Berechnung von Freigabewerten für die Freigabe zur Beseitigung, Bericht zum BMU-Vorhaben StSch 4279, Brenk Systemplanung, Aachen, 2004
- [UBA 00] UMWELTBUNDESAMT (UBA):
Bericht Daten zur Umwelt 2000
- [UBA 04] UMWELTBUNDESAMT (UBA):
Zusammenstellung des UBA vom 26.07.2004
- [UBA 06] UMWELTBUNDESAMT (UBA):
Persönliche Mitteilung von Herrn Butz (UBA) auf der 28. Sitzung der SSK-Arbeitsgruppe „Freigabe“ am 08. Februar 2006