



Endbericht

**Einzelfallnachweis nach § 37 StrlSchV  
zur Freigabe von Reststoffen aus dem  
KKU zur Deponierung auf der  
Zentraldeponie Brake-Käseburg**

BS-Projekt-Nr. 1802-08  
Kundenbestellnummer  
4500327970/PC6/0701

erstellt im Auftrag der

PreussenElektra GmbH  
Kernkraftwerk Unterweser  
Dedesdorfer Str. 2  
26935 Stadland

durch die

Brenk Systemplanung GmbH  
Heider-Hof-Weg 23  
52080 Aachen

Rev. 3, Aachen, 23.09.2020

**Anmerkung:**

Dieser Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers (BS) wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers (PEL) übereinstimmen.



**AUTOREN**

Dieser Bericht wurde von folgenden Bearbeitern erstellt:

- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]

Es wird versichert, dass dieser Bericht nach bestem Wissen und Gewissen, unparteiisch und ohne Ergebnisweisung angefertigt worden ist.

**ERSTELLUNG, PRÜFUNG UND FREIGABE**

erstellt	geprüft	freigegeben
[REDACTED]		

## ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen des Rückbaus des Kernkraftwerks Unterweser (KKU) ist beabsichtigt, durch spezifische Freigaben gemäß § 36 Abs.1 Nr. 3 StrlSchV (StrlSchV) feste Reststoffe (z. B. Dämmmaterial, Beton, Bauschutt, im geringfügigen Umfang metallische Reststoffe u. ä.) freizugeben und im Rahmen dieser Freigabe auf der Zentraldeponie Brake-Käseburg zu entsorgen. Hierzu ist die Durchführung eines Einzelfallnachweises (EFN) nach § 37 StrlSchV bzgl. der spezifischen Freigabe zur Beseitigung von Reststoffen auf einer Deponie erforderlich, da einzelne Randbedingungen der Zentraldeponie Brake-Käseburg nicht mit den Annahmen übereinstimmen, die zur Herleitung der Freigabewerte (FGW) nach Anl. III Tab. 1 Sp. 9a bzw. 9c StrlSchV<sup>2001</sup> (der aktuelle rechtliche Bezug findet sich in Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8 bzw. 10 StrlSchV) getroffen wurden.

Die Zentraldeponie Brake-Käseburg besteht aus zwei Bauabschnitten (BA). Der BA-Süd wurde bis 1996 betrieben. Anschließend wurden bis 1999 Maßnahmen der Sicherung und Rekultivierung durchgeführt. 2001 wurde der BA-Süd in die Nachsorgephase überführt. Der BA-Nord wird seit 1996 betrieben. Von 1996 bis 2005 wurden im Wesentlichen nicht behandelte Siedlungsabfälle, Sperrmüll, Boden- und Baustellenabfälle sowie Produktionsrückstände und asbesthaltige Abfälle abgelagert. Im Zeitraum 2005 bis 2011 erfolgte die überwiegende Ablagerung mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfalls. Seit 2011 werden nahezu ausschließlich asbesthaltige Baustoffe, Betonreste und sonstige Bau/Abbruchabfälle sowie Strahlmittelabfälle, im Mittel derzeit ca. 490 Mg/a abgelagert. Das mit Stand April 2019 zur Verfügung stehende Restvolumen beträgt gemäß Angabe des Deponiebetreibers 58.126 m<sup>3</sup>, was ca. 17 % des gesamten Deponievolumens (ca. 350.000 m<sup>3</sup> mit Bezug Stand 1989) entspricht.

Ausgehend von den Planungsdaten für zur Deponierung vorgesehene Reststoffmassen im KKU werden in diesem EFN folgende abdeckende Annahmen als Berechnungsgrundlage über die aus dem KKU freizugehenden Massenströme getroffen:

- Freigabe unter Anwendung der FGW nach Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8 StrlSchV: 1.000 Mg
- Freigabe unter Anwendung der FGW nach Anl. 4 Tab. 1 Sp. 10 StrlSchV: 9.000 Mg

Die gesamte resultierende Freigabemasse, die für die Berechnungen im EFN berücksichtigt wird, beträgt damit 10.000 Mg. Dies entspricht bei einer Dichte von 1,2 Mg/m<sup>3</sup> einem Volumen des geplanten Freigabematerials von ca. 8.300 m<sup>3</sup>.

Der Beginn der spezifischen Freigabe soll ab 2020 erfolgen und sich über einen Zeitraum von ca. 15 Jahren erstrecken. Die tatsächlich geplanten Freigabemassen sind in Abschnitt 3 dargestellt.

Der Einbau des Materials erfolgt unter Anwendung der Vorgaben zum Einbau von asbesthaltigem Material. Dies beinhaltet den Einbau in Big-Bags und eine Überschüttung mit mindestens 0,1 m Bauschutt.

Unter den standortspezifischen Randbedingungen werden die einzelnen Szenarien, die für die Herleitung der FGW der Anl. III Tab. 1 Sp. 9a bzw. 9c StrlSchV<sup>2001</sup> herangezogen wurden und mit den Werten der Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8 bzw. 10 StrlSchV identisch sind, überprüft. Für einzelne Szenarien ergibt sich die Notwendigkeit, die aus der Freigabe potenziell resultierende

- Exposition des Personals der Deponie und
- Exposition der allgemeinen Bevölkerung



unter Berücksichtigung standortspezifischer Werte für einzelne Parameter zu berechnen.

Im Ergebnis der Berechnung wird festgestellt, dass die aus dem KKV geplanten spezifischen Freigaben von Reststoffen auf der Zentraldeponie Brake-Käseburg abgelagert werden können. Maßgeblich für diese Aussage ist die Anwendung der FGW nach Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8 bzw. 10 StrlSchV. Zur Einhaltung des Dosiskriteriums von  $10 \mu\text{Sv/a}$  ist es ferner erforderlich, dass die Ausschöpfung der jährlich freizugebenden bzw. der gesamten freizugebenden Aktivitäten für einige Nuklide begrenzt wird. Eine Bilanzierung ist erforderlich.

Eine Anwendung reduzierter FGW für Einzelchargen ist nicht erforderlich. Die bisher im Rahmen des Freigabekonzepts vorgesehenen Prozeduren für die Entscheidungsmessungen und Ermittlung der Ausschöpfung der FGW können daher im Hinblick auf diesen EFN weiter zur Anwendung kommen.

Durch die Einhaltung der FGW in den jeweiligen Mittelungsmassen und die zusätzliche Einhaltung der ermittelten Jahres- und Gesamtbegrenzungen der Aktivität einzelner Nuklide für die Ablagerung auf der Zentraldeponie Brake-Käseburg wird sichergestellt, dass durch die Ablagerungen des KKV für Mitarbeiter der Deponie und sonstige Personen der allgemeinen Bevölkerung keine Exposition zu besorgen ist, die  $10 \mu\text{Sv}$  pro Kalenderjahr (siehe § 31 Abs. 2 StrlSchV) übersteigt.



## INHALTSVERZEICHNIS

Seite:

### ZUSAMMENFASSUNG

<b>1. EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>2. BESCHREIBUNG DER DEPONIE .....</b>	<b>2</b>
2.1. Generelle Angaben.....	2
2.2. Basisabdichtung und Geologie (BA-Nord) .....	4
2.3. Sickerwasser und Klärschlamm .....	4
2.4. Bisherige Ablagerungen von Radionukliden.....	5
2.5. Potenzielle Erweiterungen der Deponie und Änderungen im Umfeld.....	6
2.5.1. Erweiterung der Deponie und Standortentwicklung .....	6
2.5.2. Ausbau der Rönnel.....	6
<b>3. FREIGABEPLANUNGEN.....</b>	<b>7</b>
<b>4. EXPOSITIONSBERECHNUNG.....</b>	<b>10</b>
4.1. Standardmodell.....	10
4.2. Bewertung und ggf. Neuberechnung der Szenarien .....	12
4.2.1. T1: Transport .....	12
4.2.2. D1: Deponie Eingangsbereich .....	12
4.2.3. D2: Deponie MBV .....	13
4.2.4. D3: Deponie Einlagerung.....	13
4.2.4.1. Vorgesehener Einbau.....	14
4.2.4.2. Erweiterte Abdeckung.....	35
4.2.4.3. Versagen von Big-Bags .....	37
4.2.5. O1: Nutzung von Oberflächenwasser .....	38
4.2.6. O2: Verwertung von Klärschlamm .....	43
4.2.7. G: Grundwasser .....	50
4.3. Zusätzliche Szenarien .....	60
4.3.1. Umgang mit Material bei der Deponieerweiterung.....	60
4.3.2. Entwässerung und Entsorgung von Klärschlamm.....	62
4.3.3. Beprobung und Reinigung von Behältern.....	62
4.3.4. Umgang mit Filtermaterialien.....	65
4.3.5. Entsorgung von Überschusswasser.....	67
4.3.6. Ausgasung aus dem Deponiekörper.....	67
<b>5. FAZIT .....</b>	<b>68</b>
<b>6. LITERATUR.....</b>	<b>74</b>



<b>A-1 TRANSPORTMODELL FÜR EXPOSITIONSSZENARIO G</b> .....	<b>79</b>
<b>A-1.1 Transportmodellierung</b> .....	<b>79</b>
<b>A-1.2 Dispersion</b> .....	<b>79</b>
<b>A-1.2.1 Dispersion im Standardmodell</b> .....	<b>80</b>
<b>A-1.2.2 Dispersion im vorliegenden EFN</b> .....	<b>81</b>
<b>A-2 K<sub>d</sub>-WERTE IM EXPOSITIONSSZENARIO G</b> .....	<b>82</b>
<b>A-2.1 K<sub>d</sub>-Wert-Konzept</b> .....	<b>82</b>
<b>A-2.1.1 Standardmodell</b> .....	<b>83</b>
<b>A-2.1.2 K<sub>d</sub>-Wert für C-14</b> .....	<b>83</b>

## TABELLENVERZEICHNIS

Seite:

Tabelle 3-1:	Freigabewerte (FGW) der Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8 bzw. 10 StrlSchV für relevante Nuklide. ....	9
Tabelle 4-1:	$K_d$ -Werte in Deponie, Abdichtung und Grundwasserleiter (GWL) [THI 04].....	11
Tabelle 4-2:	Parameter für die Berechnung der Exposition durch Direktstrahlung. ....	17
Tabelle 4-3:	Zeiten für LKW-Entladung, Transport zur Einlagerungsstelle und Einbau der Big-Bags.....	18
Tabelle 4-4:	Normierte Dosisfaktoren für die Teilszenarien 1a und 1b, Ablagerung von Bauschutt. ....	20
Tabelle 4-5:	Normierte Dosisfaktoren für die Teilszenarien 1a und 1b, Ablagerung von Isoliermaterial.....	20
Tabelle 4-6:	Normierte Dosisleistung [ $\mu\text{Sv/h}$ pro Bq/g] im Teilszenario 1c und 1d für die betrachteten Nuklide, keine vordere Abschirmung.....	23
Tabelle 4-7:	Normierte Dosisleistung [ $\mu\text{Sv/h}$ pro Bq/g] im Teilszenario 3b für die betrachteten Nuklide vordere Abschirmung 0,2 m. ....	23
Tabelle 4-8:	Normierte Dosisleistung [ $\mu\text{Sv/h}$ pro Bq/g] im Teilszenario 2 für die betrachteten Nuklide und verschiedene Abdeckungsdicken. ....	23
Tabelle 4-9:	Normierte Dosisleistung [ $\mu\text{Sv/h}$ pro Bq/g] im Teilszenario 3a für die betrachteten Nuklide, Abdeckungsdicke 0,1 m.....	24
Tabelle 4-10:	Aktivitätsberechnung, Ablagerung von Bauschutt (1.000 Mg pro Jahr). ....	24
Tabelle 4-11:	Aktivitätsberechnung, Ablagerung von Isoliermaterial 100 Mg pro Jahr.....	25
Tabelle 4-12:	Aktivitätsberechnung für die gesamte Einlagerungsschicht. ....	25
Tabelle 4-13:	Dosisleistungsfaktoren für den Radlader-Fahrer, Entladen des LKWs, Ablagerung von Bauschutt (1.000 Mg pro Jahr).....	26
Tabelle 4-14:	Dosisleistungsfaktoren für den Radlader-Fahrer, Entladen des LKWs, Ablagerung von Isoliermaterial (100 Mg pro Jahr).....	26
Tabelle 4-15:	Dosisleistungsfaktoren für den „Einschlauffer“, Entladen des LKWs, Ablagerung von Bauschutt (1.000 Mg pro Jahr).....	26
Tabelle 4-16:	Dosisleistungsfaktoren für den „Einschlauffer“, Entladen des LKWs, Ablagerung von Isoliermaterial (100 Mg pro Jahr).....	27
Tabelle 4-17:	Dosisleistungsfaktoren für den Radlader-Fahrer, Fahrt zur Einlagerungsstelle, Ablagerung von Bauschutt (1.000 Mg pro Jahr).....	27
Tabelle 4-18:	Dosisleistungsfaktoren für den Radlader-Fahrer, Fahrt zur Einlagerungsstelle, Ablagerung von Isoliermaterial (100 Mg pro Jahr).....	27



Tabelle 4-19:	Dosisleistungsfaktoren für die Ablagerung von Bauschutt (1.000 Mg pro Jahr).....	28
Tabelle 4-20:	Dosisleistungsfaktoren für die Ablagerung von Isoliermaterial (1.000 Mg pro Jahr).....	28
Tabelle 4-21:	Dosisleistungsfaktoren für die Überschüttung von Bauschutt (1.000 Mg pro Jahr).....	28
Tabelle 4-22:	Dosisleistungsfaktoren für die Überschüttung von Isoliermaterial (100 Mg pro Jahr).....	29
Tabelle 4-23:	Dosisermittlung für den Radlader-Fahrer, Entladen des LKWs, Ablagerung von Bauschutt (1.000 Mg pro Jahr).....	29
Tabelle 4-24:	Dosisermittlung für den Radlader-Fahrer, Entladen des LKWs, Ablagerung von Isoliermaterial (100 Mg pro Jahr).....	30
Tabelle 4-25:	Dosisermittlung für den Radlader-Fahrer, Transport der Big-Bags, Ablagerung von Bauschutt (1.000 Mg pro Jahr).....	30
Tabelle 4-26:	Dosisermittlung für den Radlader-Fahrer, Transport der Big-Bags, Ablagerung von Isoliermaterial (100 Mg pro Jahr).....	30
Tabelle 4-27:	Dosisermittlung für den „Einschlauffer“, Entladen des LKWs, Ablagerung von Bauschutt (1.000 Mg pro Jahr).....	31
Tabelle 4-28:	Dosisermittlung für den „Einschlauffer“, Entladen des LKWs, Ablagerung von Isoliermaterial (100 Mg pro Jahr).....	31
Tabelle 4-29:	Dosisermittlung für den Einbau, Ablagerung von Bauschutt (1.000 Mg pro Jahr).....	31
Tabelle 4-30:	Dosisermittlung für den Einbau, Ablagerung von Isoliermaterial (100 Mg pro Jahr).....	32
Tabelle 4-31:	Dosisermittlung für die Überschüttung, Ablagerung von Bauschutt (1.000 Mg pro Jahr).....	32
Tabelle 4-32:	Dosisermittlung für die Überschüttung, Ablagerung von Isoliermaterial (100 Mg pro Jahr).....	32
Tabelle 4-33:	Dosisermittlung für Teilszenario 2.....	33
Tabelle 4-34:	Dosisermittlung für Teilszenario 3b.....	33
Tabelle 4-35:	Dosisermittlung D3, Person arbeitet als Radlader-Fahrer, Werte der Jahresdosis in [ $\mu$ Sv/a].....	34
Tabelle 4-36:	Dosisermittlung D3, Person arbeitet als „Einschlauffer“, Werte der Jahresdosis in [ $\mu$ Sv/a].....	34
Tabelle 4-37:	Begrenzung der Ablagerung der jährliche Aktivität resultierend aus Szenario D3: Einlagerung auf der Deponie.....	35



Tabelle 4-38:	Begrenzung der Gesamtaktivität resultierend aus Szenario D3: Einlagerung auf der Deponie .....	35
Tabelle 4-39:	Dosisermittlung D3, Person arbeitet als Radlader-Fahrer, Werte der Jahresdosis in [ $\mu\text{Sv/a}$ ]. (Abdeckmächtigkeit 0,2 m, Ausschöpfung FGW 33 %). .....	36
Tabelle 4-40:	Dosisermittlung D3, Person arbeitet als „Einschlauffer“, Werte der Jahresdosis in [ $\mu\text{Sv/a}$ ]. (Abdeckmächtigkeit 0,2 m, Ausschöpfung FGW 33 %). .....	36
Tabelle 4-41:	Partitionierungsfaktoren gem. [SSK 06] für den Übergang in Klärschlamm und geklärtes Abwasser bei Szenario O1. ....	39
Tabelle 4-42:	Potenzielle Exposition berechnet für das Szenario O1. ....	42
Tabelle 4-43:	Potenzielle Aktivitätskonzentration im Klärschlamm. ....	44
Tabelle 4-44:	Parameter des Szenarios „Einsatz von Klärschlamm als Bauersatzstoff zum Bau einer Deponiestraße“ .....	47
Tabelle 4-45:	Dosiskonversionsfaktoren für die Verwertung von Klärschlamm als Bauersatzstoff im Deponiestraßenbau. ....	47
Tabelle 4-46:	Potenzielle Exposition bei der Verwertung von Klärschlamm als Bauersatzstoff im Straßen- und Wegebau, Bauphase .....	48
Tabelle 4-47:	Potenzielle Exposition bei der Verwertung von Klärschlamm als Bauersatzstoff im Straßen- und Wegebau, Befahrung .....	49
Tabelle 4-48:	Annahmen zu Parameterwerten für das Standortmodell zur Berechnung des Eintrags von Radionukliden in das Grundwasser. ....	55
Tabelle 4-49:	Potenzielle Exposition für das Szenario G. ....	59
Tabelle 4-50:	Normierte Dosisleistung [ $\mu\text{Sv/h}$ pro Bq/l] im Szenario „Beprobung des Ausgleichsbehälters“ .....	63
Tabelle 4-51:	Exposition im Szenario „Beprobung des Ausgleichsbehälters“, Behälterfüllung 1.400 m <sup>3</sup> .....	64
Tabelle 4-52:	Exposition im Szenario „Beckenreinigung“ .....	64
Tabelle 4-53:	Parameter für das Szenario „Umgang mit Filtermaterialien“ .....	66
Tabelle 4-54:	Ergebnisse für das Szenario „Umgang mit Filtermaterialien“ .....	66
Tabelle 4-55:	Potenzielle Exposition berechnet für die Entsorgung von Überschusswasser ....	67
Tabelle 5-1:	Begrenzung der Gesamtaktivität resultierend aus Szenario G: Nutzung von Grundwasser). ....	69
Tabelle 5-2:	Begrenzung der Ablagerung der jährliche Aktivität resultierend aus Szenario D3: Einlagerung auf der Deponie bzw. O2: Nutzung von Klärschlamm. ....	70



Tabelle 5-3:	Begrenzung der Gesamtaktivität resultierend aus Szenario D3: Einlagerung auf der Deponie bzw. O2: Nutzung von Klärschlamm. ....	71
--------------	---	----

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Seite:

Abbildung 2-1:	Zentraldeponie Brake-Käseburg, BA-Nord, bearbeitet nach [MEY 20] aus [PEL 20]. .....	3
Abbildung 3-1:	Abgeschätzte KKV-Reststoffmengen zur Deponierung aus der spezifischen Freigabe bis 2032 (Planungsstand 2018). .....	7
Abbildung 4-1:	Modell zur Ermittlung der Exposition durch Direktstrahlung, Seitenansicht (Zahlen kennzeichnen die Teilszenarien zu D3). .....	15
Abbildung 4-2:	Modell zur Ermittlung der Exposition durch Direktstrahlung, Draufsicht (Zahlen kennzeichnen die Teilszenarien zu D3). .....	16
Abbildung 4-3:	Entfernungsverlauf der Dosisleistung für Co-60 im Szenario 1c, 1d bzw. 3b. ....	21
Abbildung 4-4:	Entfernungsverlauf der Dosisleistung für Cs-137 im Szenario 1c, 1d bzw. 3b. .	21
Abbildung 4-5:	Entfernungsverlauf der Dosisleistung für Eu-152 im Szenario 1c, 1d bzw. 3b. .	22
Abbildung 4-6:	Entfernungsverlauf der Dosisleistung für Eu-154 im Szenario 1c, 1d bzw. 3b. .	22
Abbildung 4-7:	Modell zur Ermittlung der Aktivität im Oberflächenwasser. ....	40
Abbildung 4-8:	Aktivitätskonzentrationen (normiert) im Sickerwasser, Ergebnisse der Berechnungen mit ECOLEGO [FAC 17]. .....	40
Abbildung 4-9:	Jährlicher Aktivitätsaustrag (normiert) mit dem Sickerwasser, Ergebnisse der Berechnungen mit ECOLEGO [FAC 17]. .....	41
Abbildung 4-10:	Lage der Bohrpunkte und Schnitte im Bereich der Deponie (Daten aus [LBE 19A]). .....	51
Abbildung 4-11:	Bohrprofile entlang Schnitt A (West-Ost). .....	53
Abbildung 4-12:	Bohrprofile entlang Schnitt B (Nord-Süd). .....	53
Abbildung 4-13:	Modell zur Ermittlung der Aktivität im Grundwasser. ....	56
Abbildung 4-14:	Ergebnisse der Ausbreitungsberechnung des Sickerwasser-Grundwassermodells für die normierte Konzentration der Nuklide im Brunnenwasser bis 8.000 Jahre. ....	57
Abbildung 4-15:	Ergebnisse der Ausbreitungsberechnung des Sickerwasser-Grundwassermodells für die normierte Konzentration der Nuklide im Brunnenwasser (Detailansicht 100 bis 500 Jahre). ....	58

## **1. EINLEITUNG**

Im Rahmen des Rückbaus des Kernkraftwerks Unterweser (KKU) ist beabsichtigt, durch spezifische Freigaben feste Reststoffe (z. B. Dämmmaterial, Beton, Bauschutt, im geringfügigen Umfang metallische Reststoffe u. ä.) freizugeben und im Rahmen dieser Freigabe auf der Zentraldeponie Brake-Käseburg abzulagern. Dies soll unter Anwendung von § 36 Abs. 1 Nr. 3 StrlSchV, [SSV 18]) als spezifische Freigabe von festen Stoffen zur Beseitigung auf Deponien erfolgen.

Die Zentraldeponie Brake-Käseburg ist für die Einlagerung von asbesthaltigen oder sonst mit Schadstoffen belasteten Bau- und Abbruchabfällen ausgelegt. Die Einleitung der gereinigten Sickerwässer der Deponie erfolgt in die Weser.

Die Randbedingungen der Zentraldeponie Brake-Käseburg weichen von den Annahmen ab, die zur Herleitung der Freigabewerte nach Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8 bzw. 10 StrlSchV getroffen wurden. Insbesondere liegt die jährliche Gesamtmasse der Ablagerungen auf der Deponie unter den in Anlage 8 Teil C Nr. 3 StrlSchV geforderten Jahreskapazitäten.

Daher ist gemäß § 37 Abs. 1 Satz 2 Nr. 4 StrlSchV die Durchführung eines Einzelfallnachweises (EFN) nach § 37 Abs. 1 Satz 1 StrlSchV bzgl. der spezifischen Freigabe zur Beseitigung von festen Stoffen auf einer Deponie erforderlich. Dieser berücksichtigt auch schon auf der Zentraldeponie Brake-Käseburg abgelagerte Radionuklide aus bereits durchgeführten Freigabekampagnen des KKU.

Die vorliegende Revision 2 des Berichts berücksichtigt die seit Vorlegen der Revision 0 [BS 18] und Revision 1 [BS 19] erweiterte Datenlage hinsichtlich einzelner Parameter der Zentraldeponie Brake-Käseburg und die sich in dem Zusammenhang ergebenden zusätzlichen Szenarien (siehe [PEL 19] und [PEL 20]). Des Weiteren wird in der vorliegenden Revision auf die seit 31.12.2018 gültige StrlSchV Bezug genommen<sup>1</sup>.

Im Abschnitt 2 dieses EFN werden die Randbedingungen der für die Ablagerung vorgesehenen Deponie, die Auswirkungen auf die potenzielle Exposition durch diese Ablagerungen haben können, aufgeführt.

Im Abschnitt 3 werden die Planungen der spezifischen Freigaben von Reststoffen (festen Stoffen) zur Beseitigung auf Deponien aus dem KKU vorgestellt.

Für die Herleitung der Freigabewerte der Anl. III Tab. 1 Sp. 9a bzw. 9c StrlSchV<sup>2001</sup> [SSV 17], die mit den Werten der Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8 bzw. 10 StrlSchV identisch sind, ist das sogenannte Standardmodell von der Strahlenschutzkommission (SSK) angewendet worden. Im Abschnitt 4.1 wird das Standardmodell, zusammengefasst dargestellt und festgestellte Abweichungen bei der Deponie Brake-Käseburg werden zu den im Standardmodell enthaltenen Annahmen aufgeführt. In Abschnitt 4.2 werden die einzelnen Expositionsszenarien aus Abschnitt 4.1 dahingehend bewertet, ob die Berechnungen im Standardmodell abdeckend sind und es wird falls erforderlich eine standortspezifische

---

<sup>1</sup> In [BS 18] wurde auf die derzeit noch gültige StrlSchV<sup>2001</sup> [SSV 17] mit Verweis auf das Strahlenschutzgesetz [SSG 17] Bezug genommen. Inhaltlich ändert sich im aktuellen Regelwerk (StrlSchV [SSV 18]) für die in dieser Berichtsrevision dargelegten Sachverhalte nichts.

Berechnung durchgeführt. Dabei werden auch schon erfolgte Ablagerungen von Radionukliden aus dem KKV auf der Zentraldeponie Brake-Käseburg berücksichtigt. In Abschnitt 4.3 werden zusätzliche Szenarien beschrieben und, falls erforderlich, durch standortspezifische Berechnungen quantifiziert und bewertet.

In Abschnitt 5 werden die Randbedingungen zusammengestellt, unter denen eine Ablagerung von Reststoffen aus der spezifischen Freigabe aus dem KKV auf der Zentraldeponie Brake-Käseburg bei Einhaltung des Schutzziels für die effektive Individualdosis für Personen der Bevölkerung von 10  $\mu\text{Sv/a}$  möglich ist.

## **2. BESCHREIBUNG DER DEPONIE**

### **2.1. Generelle Angaben**

Die Zentraldeponie Brake-Käseburg besteht aus zwei Bauabschnitten (BA). Über den Zustand der beiden Bauabschnitte werden jährliche Berichte erstellt (siehe [AWW 19] für BA-Nord und [AWW 19A] für BA-Süd). Zusätzlich fließen Informationen ein, die in [PEL 19] und [PEL 20] zusammengefasst sind, insbesondere auch Angaben zum schon eingelagerten und zum noch für die Einlagerung<sup>2</sup> zur Verfügung stehenden Deponievolumen, falls nicht anders gekennzeichnet.

Der BA-Süd wurde bis 1996 betrieben. Anschließend wurden bis 1999 Maßnahmen der Sicherung und Rekultivierung durchgeführt. 2001 wurde der BA-Süd in die Nachsorgephase überführt.

Der BA-Nord wird seit 1996 betrieben. Von 1996 bis 2005 wurden im Wesentlichen nicht behandelte Siedlungsabfälle, Sperrmüll, Boden- und Baustellenabfälle sowie Produktionsrückstände und asbesthaltige Abfälle abgelagert (ca. 10.000 Mg/a bis 40.000 Mg/a). Im Zeitraum 2005 bis 2011 erfolgte überwiegend die Ablagerung mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfalls (ca. 7.000 Mg/a bis 12.000 Mg/a). Seit 2011 werden nahezu ausschließlich asbesthaltige Baustoffe, Betonreste und sonstige Bau/Abbruchabfälle sowie Strahlmittelabfälle abgelagert (mittlere jährliche Ablagerung im Zeitraum 2011 bis 2017: 360 Mg, 2018 1.422 Mg).

Der bis Ende 2017 im BA-Nord eingelagerte Abfall summiert sich auf 316.672 Mg bzw. 318.467 m<sup>3</sup>. Es ist daher von einer mittleren Dichte von 1,0 Mg/m<sup>3</sup> für das bisher im BA-Nord eingelagerte Material auszugehen. Für Januar 2019 wird ein Ablagerungsvolumen von ca. 319.156 m<sup>3</sup> angegeben [AWW 19], die Masse summiert sich auf 318.094 Mg.

Das mit Stand April 2019 für Anlieferungen von Abfällen zur Verfügung stehende Restvolumen beträgt 58.126 m<sup>3</sup> ([PEL 19], [IBH 19]), was ca. 17 % des gesamten Deponievolumens (ca. 350.000 m<sup>3</sup> mit Stand 1989) entspricht. Für die für die Freigabe zur Beseitigung aus dem KKV vorgesehenen Mengen, die im BA-Nord der Zentraldeponie Brake-Käseburg abgelagert werden sollen (siehe Abschnitt 2.2), steht demnach ausreichend Restvolumen zur Verfügung.

---

<sup>2</sup> Unter Einlagerung wird in diesem Bericht der Einbau von festen Stoffen in den Deponiekörper zur Beseitigung verstanden. Material, welches „eingebaut“ wird, steht damit dem Verwertungskreislauf nicht mehr zur Verfügung.

Insgesamt arbeiten derzeit in den Bereichen Büro, Recyclinghof und Deponie ca. 25 Personen in der Regel im Ein-Schichtbetrieb.

Die Abbildung 2-1 zeigt einen Plan des BA-Nord mit Stand Januar 2020 [PEL 20]. Hierin zusätzlich eingezeichnet sind auch die jeweiligen Flächen zur weiteren Expositionsrechnung in Szenario O1 „Nutzung von Oberflächenwasser“ (30.800 m<sup>2</sup>, Versickerung im aktuellen Betrieb auf den nicht mit einer Abdeckung versehenen Flächen) und Szenario G „Grundwasser“ (47.176 m<sup>2</sup>, Versickerung in der Zukunft während und nach dem vollständigen Versagen der Oberflächenabdeckung auf der gesamten Fläche).

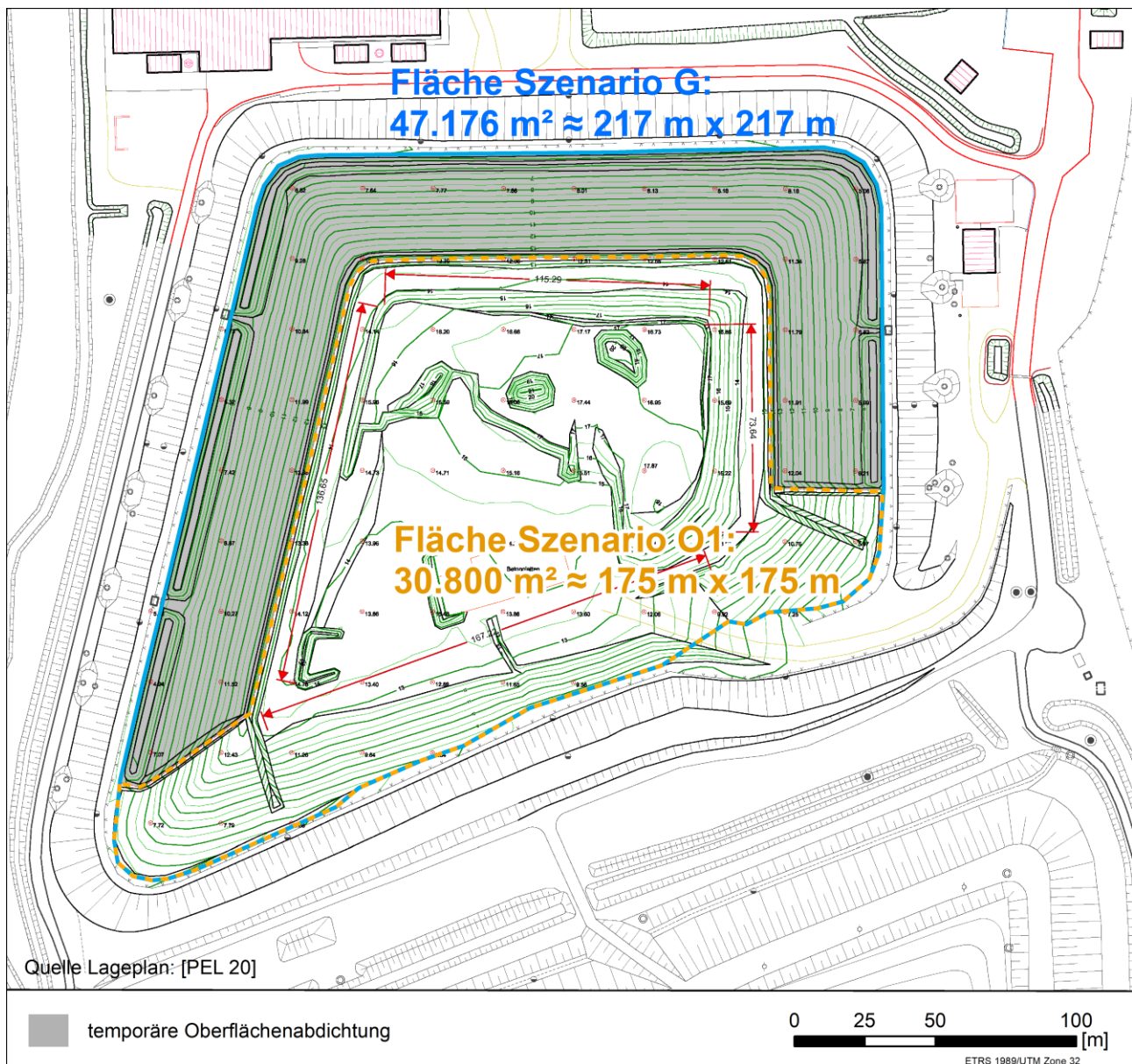


Abbildung 2-1: Zentraldeponie Brake-Käseburg, BA-Nord, bearbeitet nach [MEY 20] aus [PEL 20].



## **2.2. Basisabdichtung und Geologie (BA-Nord)**

Der BA-Nord verfügt an der Basis über eine Kombinationsabdichtung, bestehend aus einer mineralischen Dichtschicht und einer Kunststoffdichtungsbahn. Oberhalb der Dichtung befindet sich ein Drainagesystem aus einem flächig aufgetragenen Kies und in regelmäßigen Abständen angeordneten gelochten Kunststoffrohren.

In einem Gutachten zur baubegleitenden Beratung [IGB 88] wird die geologische und hydrogeologische Situation für den BA-Nord beschrieben. Demnach besteht der unmittelbare Untergrund der Deponie aus einer Wechsellagerung von Weichschichten (Klei und Torf) mit einer Gesamtmächtigkeit zwischen 7,9 m und 12,5 m. Unterhalb des Horizonts der Weichschichten folgen feine bis mittlere, teilweise auch grobe pleistozäne Sande. Diese bilden den oberen Grundwasserleiter (GWL) mit einer Mächtigkeit von ca. 5 m. Nach unten wird der GWL von geringdurchlässigen Schluffen und Tonen begrenzt.

In [IGB 88] wurde darauf hingewiesen, dass die generell in der Region und auch im Bereich der Zentraldeponie Brake-Käseburg anzutreffenden stark setzungsfähigen Weichschichten (Klei und Torf) dazu führen können, dass durch die im Betrieb der Deponie entstehende Auflast eine Setzung eintreten kann, wodurch das Niveau der Basisabdichtung unterhalb des permanenten Grundwasserspiegels zu liegen kommen könnte. Es wurden Maßnahmen vorgeschlagen (Austausch der Weichschichten oder Vorwegnahme der Setzung durch vorlaufende Auflasten), die die Anforderungen an eine Deponiebasisabdichtung mit Stand 1988 erfüllen sollen. Beim Bau des BA-Nord wurde als Abdichtung dann eine andere Lösung in Form einer Kombinationsabdichtung mit Kunststoffdichtungsbahn realisiert (entsprechend der bei Inbetriebnahme des BA-Nord geltenden TA Siedlungsabfall [TAS 93]). Die in [IGB 88] besorgte Durchströmung des Deponiekörpers mit Grundwasser wird so auch bei Setzungen verhindert. Die Überwachung der Setzungen findet regelmäßig statt [AWW 19].

## **2.3. Sickerwasser und Klärschlamm**

Für den Zeitraum 2011 bis 2018 wurde eine mittlere Sickerwassermenge von ca. 9.200 m<sup>3</sup>/a für den BA-Nord ermittelt [AWW 19]. Aus dem BA-Süd fallen im Mittel (2013 bis 2018) ca. 27.600 m<sup>3</sup> pro Jahr an (Menge schwankend) [AWW 19A], die aus dem Dichtwandtopf gefördert werden. Das gesamte Sickerwasser wird in einer anlageneigenen Kläranlage (Durchsatz bis ca. 50.000 m<sup>3</sup>/a) gereinigt und anschließend über ein Rohrleitungssystem in die Weser abgegeben. Diese Einleitung erfolgt nur bei einer tidenbedingten Überdeckung der Einleitstelle von mindestens 1,5 m und während der Monate Mai bis September nur im Zeitraum 21:00 bis 06:00 Uhr (sonst ganztägig). Eine Einleitung von Wasser aus der Kläranlage in den Vorfluter Südliche Rönnel im direkten Umfeld des Deponiegeländes wird nicht durchgeführt und ist gemäß wasserrechtlicher Erlaubnis auch nicht genehmigt [PEL 19]. Ebenso findet auch keine Ableitung von gesammelten Wässern nach Starkregenereignissen aus dem dafür vorgehaltenen Reservebecken in die Südliche Rönnel statt.

Für den sehr seltenen Fall, dass nach Starkregenereignissen und bei langandauernden Niederschlagsperioden Abwasser und Sickerwasser anfällt, das nicht in den Ausgleichsbehältern aufgefangen werden kann, erfolgt die Abgabe in Tankwagen an dafür zugelassene Entsorger (externe Kläranlagen). Derzeit ist dafür beispielsweise die Kläranlage der Deponie Tonnenmoor in Vechta vorgesehen. Dieser Fall ist in der Historie des Deponiebetriebs zweimal vorgekommen, so 2003 mit einem Anfall von

12.000 m<sup>3</sup> und 2012 mit einem Anfall von 1.000 m<sup>3</sup>, wobei das anfallende Abwasser und Sickerwasser jeweils wie beschrieben abgegeben wurde.

Weiterhin existiert eine Bypassleitung für die Einleitung in das Kanalnetz der Stadt Brake. Diese Einleitmöglichkeit in das Kanalnetz der Stadt Brake ist grundsätzlich vorgehalten, wird aber nur im Falle einer behördlichen Anordnung in einem Notfall (Ausfall der deponieeigenen Kläranlage bei gleichzeitigem Ausfall der Möglichkeit einer externen Entsorgung mit Tankwagen) genutzt werden [PEL 20]. Die Kläranlage der Stadt Brake ist für 34.000 Einwohner ausgelegt. Die Jahresabwassermenge der Kläranlage betrug 2019 1.473.365 m<sup>3</sup>. Die Einleitung aus der Kläranlage der Stadt Brake erfolgt in die Weser. Der anfallende Klärschlamm der Kläranlage Brake wird thermisch verwertet (alle Angaben gemäß [OOW 20]).

Die Kläranlage verfügt über diverse Becken zur Sickerwasserbehandlung und einen vorgeschalteten Sickerwasserausgleichsbehälter mit einem Füllvolumen von ca. 1.600 m<sup>3</sup>. Davon werden im Normalbetrieb 200 m<sup>3</sup> als Reserve für den Sickerwasseranfall nach Starkniederschlagsereignissen freigehalten.

Die bei der Sickerwasserreinigung anfallende Klärschlammmenge beträgt ca. 2.000 Mg pro Jahr (feucht, Feststoffgehalt ca. 2 %). Daraus resultiert eine anfallende Trockenmasse des Klärschlammes von ca. 40 Mg pro Jahr.

Der Klärschlamm aus der Sickerwasseraufbereitung der Zentraldeponie Brake-Käseburg wird auf der Deponie entwässert und anschließend an einen zertifizierten Entsorger abgegeben. Die Entwässerung kann ggf. auch in einer externen Anlage durchgeführt werden.

Zusätzlich zu dem Klärschlamm fallen Feststoffe aus den Filteranlagen der Kläranlage an. Dabei handelt es sich um ca. 0,5 Mg Filtermaterial (Aktivkohle) pro Jahr, sowie 1 Mg Quarzsande und Kiese pro Jahr, die zurzeit auf der Zentraldeponie Brake-Käseburg eingelagert werden. Der Filtertausch erfolgt jeweils jährlich [PEL 20]. Es gibt noch ein großes Aktivkohlefiltersystem (8 Mg Aktivkohle), das aber derzeit nicht notwendig ist und das dementsprechend nicht in Betrieb ist. Bei Bedarf ist das System wieder reaktivierbar.

## **2.4. Bisherige Ablagerungen von Radionukliden**

Die bisher (Stand 31.03.2020) aus dem KKU auf der Zentraldeponie Brake-Käseburg abgelagerten Aktivitäten aus der Freigabe zur Beseitigung gemäß § 29 Abs. 2 Satz 2 Nr. 2 StrlSchV<sup>2001</sup> bzw. aus unter Anwendung der einschlägigen Regelungen der StrlSchV von 1979 bzw. 1989 erfolgten Ablagerungen (im Folgenden unter dem Begriff freigabeäquivalente Ablagerungen zusammengefasst und gemäß [KKU 18] bilanziert) summieren sich (zerfallskorrigiert auf Stichtag 01.06.2018) auf  $3,2 \cdot 10^6$  Bq. Die Nuklidzusammensetzung (zerfallskorrigiert) beträgt 56,4 % Ni-63, 23,9 % Co-60, 9,2 % C-14, 8,1 % Cs-137, 2,0 % Fe-55, 0,3 % Pu-241 und 0,1 % Sb-125. Alle bisherigen Anlieferungen erfolgten bis einschließlich 13.05.2005.

Die freigabeäquivalente Ablagerung aus dem KKU auf der Zentraldeponie Brake-Käseburg umfasst dabei eine Masse von 229,1 Mg (BA-Süd und BA-Nord). Die Ablieferung der freigabeäquivalenten Ablagerung auf die Deponie Brake-Käseburg lässt sich wie folgt zusammenfassen:



- Die bis zum 18.08.1994 erfolgte freigabeäquivalente Ablagerung umfasst 42,2 Mg mit einer zerfallskorrigierten Aktivität von  $6,4 \cdot 10^5$  Bq (82,5 % Ni-63, 17,4 % Co-60, 0,1 % Fe-55). Gemäß Betriebsdokumentation der Deponie (siehe Abschnitt 2.1) ist diese Ablagerung im BA-Süd erfolgt.
- Weitere 186,9 Mg freigabeäquivalente Ablagerungen mit einer zerfallskorrigierten Aktivität von  $2,6 \cdot 10^6$  Bq erfolgten im Zeitraum 11.06.1996 bis 13.05.2005 (gemäß Betriebsdokumentation) im BA-Nord.

Weitere Ablagerungen aus der Freigabe zur Beseitigung gemäß § 29 Abs. 2 Satz 2 Nr. 2 StrlSchV<sup>2001</sup> bzw. Ablagerungen aus der spezifischen Freigabe gemäß § 36 Abs. 1 Nr. 3 StrlSchV sowohl durch KKV als auch durch andere Anlieferer erfolgten auf der Zentraldeponie Brake-Käseburg nicht [PEL 20].

## **2.5. Potenzielle Erweiterungen der Deponie und Änderungen im Umfeld**

### **2.5.1. Erweiterung der Deponie und Standortentwicklung**

Der 2. Teilabschnitt des BA-Nord ist planfestgestellt und zugelassen und umfasst weitere ca. 500.000 m<sup>3</sup> an Verfüllvolumen [PEL 19]. Bei einer ggf. stattfindenden Errichtung des 2. Teilabschnitts BA-Nord wird eine strikte Trennung des Wasserhaushalts von den bisherigen Abschnitten (BA-Süd und 1. Teilabschnitt BA-Nord) erfolgen. Die Sickerwasserbehandlung kann aber zusammen erfolgen.

Die tatsächliche Ausführung der genehmigten Erweiterung ist derzeit nicht geplant, kann aber nicht ausgeschlossen werden. Eine Umlagerung von Abfällen aus dem 1. Teilabschnitt BA-Nord in den 2. Teilabschnitt BA-Nord zur Herstellung erforderlicher Konturen kann nicht ausgeschlossen werden. Dies kann auch die Einlagerung von aus dem KKV freigegebenen Reststoffen betreffen.

Die Ablagerung von Reststoffen aus der spezifischen Freigabe des KKV im 2. Teilabschnitt des BA-Nord (Erweiterung) ist nicht vorgesehen und daher nicht Gegenstand dieses EFN.

Die aus der Standortentwicklung des Entsorgungszentrums Wesermarsch geplanten Baumaßnahmen der Zentraldeponie Brake-Käseburg (siehe [PEL 19]) betreffen keines der im EFN betrachteten Szenarien und haben daher keinen Einfluss auf den hier durchgeführten EFN.

### **2.5.2. Ausbau der Rönnel**

Der lokale Vorfluter Südliche Rönnel soll ab 2021 auf ca. 4,7 km Länge ausgebaut werden. Davon betroffen sind auch ca. 900 m im Bereich der Zentraldeponie Brake-Käseburg. Es ist vorgesehen, die Breite des Vorfluters im gesamten Profil und die Sohltiefe zu erhöhen [PEL 19].

Der Ausbau der Südlichen Rönnel erfolgt vorbehaltlich einer positiven Prüfung, dass die geplanten Maßnahmen keinen Einfluss auf die Standsicherheit der Zentraldeponie Brake-Käseburg haben und kein Grundbruch dadurch zu befürchten ist [PEL 19]. Die für die Deponie in den Szenarien des EFN zu Grunde gelegten Parameter sind daher im Durchführungsfall nicht betroffen.

Der Ausbau des Vorfluters führt nicht dazu, dass die bisherige Einleitung des Sickerwassers über das Rohrleitungssystem in die Weser geändert wird. Daher sind keine zusätzlichen Szenarien im EFN zu betrachten.

Die Einleitung von Radionukliden aus der geplanten Entsorgung von spezifisch freigegebenen Reststoffen des KKU in die Südliche Rönnel wird durch die bauliche Ausführung (gemäß [TAS 93]) der Zentraldeponie Brake-Käseburg verhindert.

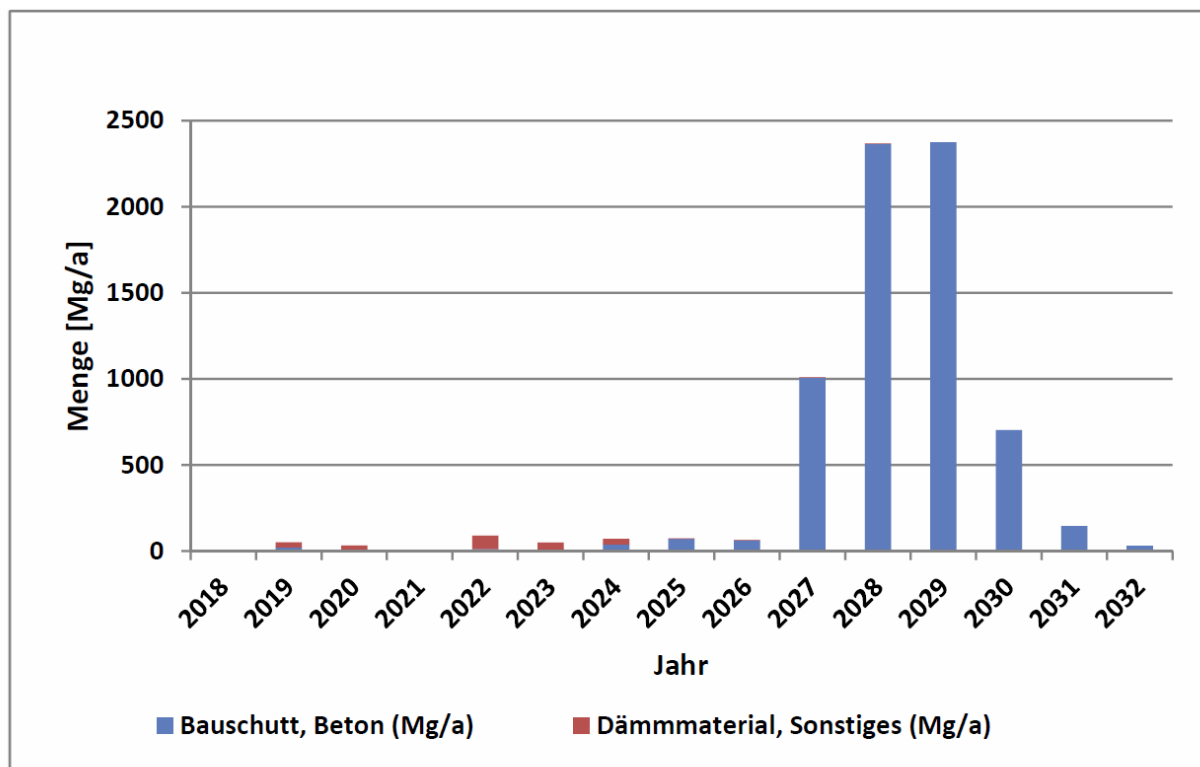
### 3. FREIGABEPLANUNGEN

Die Rückbauplanungen des KKU (Stand 2018) sehen vor, folgende Massen einer spezifischen Freigabe zur Beseitigung auf eine Deponie zuzuführen:

- 2018 bis 2026: im Mittel ca. 50 Mg/a (Dämmmaterial und sonstiges Material sowie Beton und Bauschutt) mit einer jährlichen Maximalmasse von weniger als 100 Mg (Anwendung der Freigabewerte nach Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8 StrlSchV), insgesamt ca. 450 Mg und
- 2027 bis 2032: Beton und Bauschutt mit einer jährlichen Maximalmasse von mehr als 100 Mg (Anwendung der Freigabewerte nach Anl. 4 Tab. 1 Sp. 10 StrlSchV), insgesamt ca. 6.550 Mg, maximale Jahresmasse ca. 2.400 Mg (Anwendung der Skalierung für die Freigabewerte nach Anl. 4 Tab. 1 Sp. 10 StrlSchV).

Insgesamt sind damit Freigabemassen von ca. 7.000 Mg geplant, die über einen Zeitraum von 15 Jahren abgelagert werden sollen.

Die Planungsdaten des KKU (mit Stand 2018) der spezifischen Freigabemassen über den Zeitraum von 2018 bis 2032 des KKU sind in Abbildung 3-1 dargestellt.



\*) Quelle: IGP-Plato 09/17 (9-Jahres-Scope)

Gesamtsumme ca. 7000 Mg

28.09.17 KKK-TSE/Tsch

Abbildung 3-1: Abgeschätzte KKK-Reststoffmengen zur Deponierung aus der spezifischen Freigabe bis 2032 (Planungsstand 2018).

Eine entsprechende Verschiebung des Beginns der Ablagerungen von Reststoffen aus dem KKU auf der Zentraldeponie Brake-Käseburg auf 2020 oder später hat keinen Einfluss auf die Betrachtungen in diesem EFN.

Es ist derzeit vorgesehen, Bau- und Abbruchabfälle gemäß Abfallschlüssel 17xx xx freizugeben. Der größte Anteil (mindestens 85 % der Masse) davon umfasst Material nach Abfallschlüssel 1701 xx (Beton, Ziegel, Fliesen und Keramik). Weitere vorgesehene Materialien sollen den Abfallschlüsseln 1704 xx, 1706 xx, 1708 xx und 1709 xx entsprechen. Eine Erweiterung der zu berücksichtigenden Abfallschlüssel ist ggf. erforderlich. Abfallrechtliche Anforderungen sind dabei zu betrachten, jedoch nicht Gegenstand dieses EFN.

Für die Berechnungen im vorliegenden EFN ist es erforderlich, die Gesamtmasse und das Gesamtvolumen der für die Freigabe vorgesehenen Materialien zu berücksichtigen. Ausgehend von den obigen Planungen werden daher folgende abdeckende Annahmen zur Freigabe getroffen:

- unter Anwendung der Freigabewerte nach Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8 StrlSchV: 1.000 Mg
- unter Anwendung der Freigabewerte nach Anl. 4 Tab. 1 Sp. 10 StrlSchV: 9.000 Mg

Die gesamte resultierende Freigabemasse, die für die Berechnungen im vorliegenden EFN berücksichtigt wird, beträgt damit 10.000 Mg und liegt damit über der von KKU geplanten Gesamtmasse. Es wird angenommen, dass das Gemisch aus Bauschutt und sonstigen abgelagerten Materialien (i. w. Dämmmaterial bzw. Isoliermaterial) eine mittlere effektive Dichte von 1,2 Mg/m<sup>3</sup> aufweist. Damit ergibt sich ein Volumen des Freigabematerials von ca. 8.300 m<sup>3</sup>.

Konservativ werden ggf. notwendige Skalierungen (Reduzierungen) der FGW (bei Freigabe von mehr als 1.000 Mg pro Jahr) im Weiteren nicht berücksichtigt.

Die hier aufgeführten Planungszahlen bezüglich Volumina und Massen stellen einen realistisch-konservativen Ansatz für die (radiologischen) Bewertungen im EFN dar und sind nicht für die technischen Planungen des Einbaus in die Deponie anzuwenden.

Der Beginn der spezifischen Freigabe erfolgt frühestens Ende 2020 und damit mehr als 9 Jahre nach Beendigung des Leistungsbetriebs in 2011.

Es wird angenommen, dass der Einbau des Materials unter Anwendung der Vorgaben zum Einbau von asbesthaltigem Material erfolgt. Entsprechende Details hierzu sind in Abschnitt 4.2.4.1 zusammengestellt.

Das anzuliefernde Dämmmaterial muss vor dem Einbau ggf. vorgepresst werden. Am Standort der Zentraldeponie Brake-Käseburg werden solche Arbeiten nicht durchgeführt [PEL 19]. Eine erforderliche Vorpressung von Materialien erfolgt bei Bedarf im und durch KKU und ist daher nicht Gegenstand des hier durchgeführten EFN, sondern Gegenstand der Ablaufplanung des KKU.

Diejenigen Nuklide, die bei einer vorgesehenen Freigabe aus dem KKU auf Basis der radiologischen Charakterisierung der Reststoffe zu berücksichtigen sind, die zugehörigen Halbwertszeiten und die entsprechenden Freigabewerte der Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8 und 10 StrlSchV [SSV 18] sind in Tabelle 3-1 dargestellt. Diese Auswahl erfolgt auf Basis der im Freigabeverfahren das KKU zu berücksichtigenden Radionuklide [KKU 17].

Weitere Radionuklide sind nicht zu berücksichtigen, da:

- deren Aktivität nicht in radiologisch zu berücksichtigenden Aktivitätsmengen bzw. Konzentrationen<sup>3</sup> durch Spalt- bzw. Aktivierungsprozesse im Leistungsbetrieb erzeugt werden konnte und/oder
- deren Halbwertszeit so kurz ist, dass zum gegenwärtigen Zeitpunkt und zukünftig keine radiologisch zu berücksichtigenden Aktivitätsmengen bzw. Konzentrationen<sup>3</sup> mehr vorhanden sein können.

Tabelle 3-1: Freigabewerte (FGW) der Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8 bzw. 10 StrlSchV für relevante Nuklide.

Nuklid	Halbwertszeit [a]	FGW (8) [Bq/g]	FGW (10) [Bq/g]
H-3	1,233E+01	6E+04	6E+03
C-14	5,729E+03	4E+03	4E+02
Cl-36	3,010E+05	3E+00	3E-01
Ca-41	1,030E+05	2E+02	2E+01
Mn-54	8,550E-01	1E+01	6E+00
Fe-55	2,730E+00	1E+04	7E+03
Co-60	5,273E+00	6E+00	2E+00
Ni-63	1,001E+02	1E+04	1E+03
Zn-65	6,686E-01	1E+01	8E+00
Sr-90	2,879E+01	6E+00	6E-01
Nb-94	2,030E+04	1E+01	3E+00
Ru-106	1,023E+00	7E+01	2E+01
Ag-108m	4,180E+02	9E+00	1E+00
Ag-110m	6,839E-01	6E+00	2E+00
Sb-125	2,758E+00	4E+01	1E+01
Ba-133	1,051E+01	4E+01	1E+01
Cs-134	2,065E+00	1E+01	3E+00
Cs-137	3,007E+01	1E+01	8E+00
Ce-144	7,799E-01	1E+02	1E+02
Eu-152	1,354E+01	1E+01	4E+00
Eu-154	8,594E+00	1E+01	4E+00
Eu-155	4,763E+00	1E+02	1E+02
Gd-153	2,730E+00	1E+02	1E+02
U-234	2,455E+05	6E+00	6E-01
U-235	7,038E+08	3E+00	3E-01
U-238	4,468E+09	6E+00	6E-01

<sup>3</sup> Als Maß für die radiologische Relevanz kann der FGW verwendet werden, je höher dieser, desto weniger relevant ist das Nuklid.

Nuklid	Halbwertszeit [a]	FGW (8) [Bq/g]	FGW (10) [Bq/g]
Pu-238	8,771E+01	1E+00	1E+00
Pu-239	2,411E+04	1E+00	5E-01
Pu-240	6,563E+03	1E+00	6E-01
Pu-241	1,435E+01	1E+02	4E+01
Am-241	4,322E+02	1E+00	1E+00
Cm-243	2,910E+01	1E+00	1E+00
Cm-244	1,810E+01	1E+01	5E+00

Für die einzelnen ausgewiesenen Expositionsszenarien werden diejenigen Nuklide betrachtet, für die jeweils nicht schon auf Grund der geringen Halbwertszeit, der geringen Mobilität in den betrachteten Medien oder radiologischen Eigenschaften ein (signifikanter) Dosisbeitrag direkt ausgeschlossen werden kann. Ggf. werden auch einzelne Nuklide nicht explizit betrachtet, wenn diese gesichert durch die Betrachtung anderer Nuklide abgedeckt sind (siehe Abschnitt 4.2.4 und Abschnitt 4.2.7).

In den Reststoffen natürlich vorkommende Nuklide (z. B. K-40, Th-232 und Zerfallsprodukte, Th-230/Ra-226 und Zerfallsprodukte), die nicht Gegenstand der Freigabe sind, sind im vorliegenden EFN nicht zu betrachten.

## 4. EXPOSITIONSBERECHNUNG

### 4.1. Standardmodell

Gemäß [SSK 06] werden für die Herleitung der Freigabewerte der Anl. III Tab. 1 Sp. 9a bzw. 9c StrlSchV<sup>2001</sup> (deren aktuell rechtlicher Bezug sich in Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8 bzw. 10 StrlSchV findet) folgende Szenarien berücksichtigt:

- T1: Transport
- D1: Deponie Eingangsbereich
- D2: Deponie mechanisch biologische Vorbehandlung (MBV)
- D3: Deponie Einlagerung
- O1: Nutzung von Oberflächenwasser
- O2: Verwertung von Klärschlamm
- G: Grundwasser

Die Szenarien lassen sich zu den drei Gruppen Expositionen durch direkten Umgang (Exposition des Personals bei Transport und auf der Deponie, T1, D1, D2, D3), Exposition der Bevölkerung über Oberflächenwasserpfade (O1, O2) und Exposition der Bevölkerung über Grundwasserpfad (G) zusammenfassen.

Die in [SSK 06] betrachtete Deponie (Deponieklasse mindestens DK I) weist einen Jahresdurchsatz von 60.000 Mg auf und wird mit einer Größe von 300 m × 300 m bei einer Höhe von 25 m angenommen. Es wird von einer mittleren Sickerwasserrate von 0,3 m/a ausgegangen. Es wird angenommen, dass das anfallende Sickerwasser in einer großen kommunalen Kläranlage gereinigt wird (2.000.000 m<sup>3</sup>/a).

In [SSK 06] wird angenommen, dass während des Deponiebetriebs (Annahme Betriebsdauer 54 a) durch die Sickerwasserfassung kein Sickerwasser ins Grundwasser gelangen kann. Es wird dort weiterhin davon ausgegangen, dass nach Abschluss der Einlagerung die Deponie mit einer Oberflächenabdeckung versehen wird, die einen Sickerwasserzutritt für 100 a abhält. Die Sickerwasserfassung wird für den Zeitraum des „Nachsickerns“ nach erfolgter Oberflächenabdeckung als wirksam angenommen. Nach Ablauf von 100 Jahren wird davon ausgegangen, dass die Oberflächenabdeckung allmählich versagt. Dazu wird von einer Durchsickerungsrate ausgegangen, die im Verlauf weiterer 100 Jahre von 0,0 m/a linear auf 0,2 m/a ansteigt und danach konstant 0,2 m/a beträgt. Die Porosität des durchsickerten Abfalls wird mit 25 % angenommen. Unter der Deponie befindet sich eine Dichtschicht mit mehr als 1 m Mächtigkeit, konservativ wird die Mächtigkeit 1 m angenommen mit einer Porosität von 20 %. In [SSK 06] wird unter diesen Bedingungen ein Eintrag ins Grundwasser modelliert und eine Nutzung des Grundwassers durch einen 500 m von der Deponie entfernt befindlichen Brunnen unterstellt.

Parameterwerte für die Berechnung des Eintrags von Radionukliden in das Grundwasser sind in Tabelle 4-48 (Abschnitt 4.2.7) angegeben. Die standortspezifischen Gegebenheiten sind dabei ebenso zu berücksichtigen, wie Werte die sich aus der Ausführung der Zentraldeponie Brake-Käseburg als DK II ergeben.

Die aus dem Standardmodell übernommenen Parameterwerte sind in Tabelle 4-48 mit [THI 04] gekennzeichnet. Standortsspezifische Werte werden in Abschnitt 4.2.7 erläutert.

Die Sorptionskoeffizienten ( $K_d$ -Werte) der Elemente für das Deponiematerial, die Abdichtung (Basisabdichtung und geologische Barriere) und den Grundwasserleiter (GWL), die den Berechnungen in [SSK 06] zu Grunde gelegt wurden (gemäß [THI 04]), sind in Tabelle 4-1 zusammengefasst.

Tabelle 4-1:  $K_d$ -Werte in Deponie, Abdichtung und Grundwasserleiter (GWL) [THI 04].

Element	$K_d$ -Wert [ $\text{cm}^3/\text{g}$ ]			Element	$K_d$ -Wert [ $\text{cm}^3/\text{g}$ ]		
	Deponie	Barriere	GWL <sup>a)</sup>		Deponie	Barriere	GWL <sup>a)</sup>
H	0,01	0	0	Ag	1	10	0,1
C	100 / 10 <sup>b)</sup>	0	0	Sb	1	10	0,1
Cl	0,01	0	0	Cs	10	100	1
Ca	1	10	0,1	Ba	1	10	0,1
Mn	1	10	0,1	Ce	10	1000	10
Fe	10	100	1	Eu	10	1000	10
Co	10	100	1	Gd	10	1000	10
Ni	10	10	0,1	Pu	100	100	1
Zn	1	10	0,1	Am	100	1000	10
Sr	1	10	0,1	Cm	100	1000	10
Nb	10	100	1	U	10	10	0,1
Ru	1	10	0,1				

<sup>a)</sup>  $K_d$ -Werte für GWL gelten auch für die ungesättigte Zone.

<sup>b)</sup> s. Anhang, Abschnitt A-2.

Auf Grund der von den Annahmen in [SSK 06] abweichenden Parameter der Zentraldeponie Brake-Käseburg, insbesondere

- jährliche Ablagerungsmengen,
- Sickerwassermenge,
- Einbauprozedur für asbesthaltige Baustoffe,
- Umgang mit dem Sickerwasser sowie Reinigung von Behältern,
- Umgang mit Klärschlamm,
- Umgang mit Filtermaterialien,
- Entnahme von Kontrollproben,
- Umgang mit Big-Bags,
- Ausgasung aus dem Deponiekörper und
- mögliche Umlagerung bei Deponieerweiterung

müssen die einzelnen Szenarien dahingehend analysiert werden, ob eine explizite Betrachtung im Rahmen des EFN erforderlich ist. Die Details dazu werden in den einzelnen Unterabschnitten von Abschnitt 4.2 beschrieben.

## **4.2. Bewertung und ggf. Neuberechnung der Szenarien**

### **4.2.1. T1: Transport**

In Szenario T1 wurde in [SSK 06] 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 mit 33 Stunden (1.000 Mg/a) bzw. 10 Stunden pro Kalenderjahr (100 Mg/a) angenommen.

Auf Grund der sehr kurzen Distanz (ca. 16 km) zwischen KKKU und der Deponie sind die Annahmen zu den Transportzeiten in [SSK 06] abdeckend gegenüber den Gegebenheiten des hier vorliegenden EFN. Ebenso ist beim geplanten Abtransport des Materials aus dem KKKU nicht von einer signifikanten Aerosolfreisetzung auszugehen (das Material ist in Big-Bags verpackt), so dass auch hier die Annahmen in [SSK 06] abdeckend gegenüber den Gegebenheiten des hier vorliegenden EFN sind. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Geometrien und ggf. Abschirmungen beim Transport im vorliegenden Fall nicht von den Annahmen, die im Modell gemäß [SSK 06] getroffen wurden, abweichen bzw. dass die reale Expositionsgeometrie weniger restriktiv ist als die Modellannahme. Daher ist eine explizite Betrachtung des Szenarios T1 im Rahmen des hier vorliegenden EFN nicht erforderlich. Die Berechnungen aus [SSK 06] sind hierfür abdeckend.

Die bisher auf der Zentraldeponie Brake-Käseburg erfolgten freigabeäquivalenten Ablagerungen sind für das hier betrachtete Szenario nicht relevant.

### **4.2.2. D1: Deponie Eingangsbereich**

Die Betriebsabläufe der Zentraldeponie Brake-Käseburg sehen für den Eingangsbereich folgende Prozeduren vor:

- Eingangskontrolle per Kamera,
- Wägung der Abfälle (durch Wägung des ankommenden Fahrzeugs),



- Eingangskontrolle am Fahrzeug,
- Kontrolle des Entsorgungsnachweises und
- Zuweisung des Ablagerungsorts.

Die dafür insgesamt vorgesehene Zeit umfasst ohne Wartezeit ca. 15 Minuten für ein ankommendes Fahrzeug. Der Abstand des Abfertigungsgebäudes im Eingangsbereich zur LKW-Ladung bei der Eingangskontrolle ist aufgrund der örtlichen Gegebenheiten mit 4,15 m festzusetzen. Realistische Anliefermenge von 15 Mg/LKW sind bei der Bewertung zu unterstellen [PEL 20].

Die hier anzusetzende längere Dauer im Vergleich zum Standardmodell (dort 10 Minuten) wird durch den größeren Abstand des Abfertigungsgebäudes im Eingangsbereich zur LKW-Ladung bei der Eingangskontrolle (4,15 m gegenüber 1 m) mehr als kompensiert (siehe [PEL 19]).

Die in [SSK 06] angenommenen Parameter sind durch die Gegebenheiten der Zentraldeponie Brake-Käseburg daher ausreichend abgedeckt.

Daher ist eine explizite Betrachtung des Szenarios D1 im Rahmen des hier vorliegenden EFN nicht erforderlich. Die Berechnungen aus [SSK 06] sind hierfür abdeckend.

Die bisher auf der Zentraldeponie Brake-Käseburg erfolgten freigabeäquivalenten Ablagerungen sind für das hier betrachtete Szenario nicht relevant.

#### **4.2.3. D2: Deponie MBV**

Eine mechanisch-biologische Vorbehandlung (MBV) findet bei den spezifisch freigegebenen Reststoffen, die durch die Zentraldeponie Brake-Käseburg angenommen werden, nicht statt. Dies gilt insbesondere auch für die Materialien, die aus dem KKV angeliefert werden sollen. Daher ist eine Betrachtung des Szenarios D2 im Rahmen des hier vorliegenden EFN nicht erforderlich.

#### **4.2.4. D3: Deponie Einlagerung**

Die Annahmen in [SSK 06] gehen davon aus, dass Deponiearbeiter beim Einbau potenziell durch Direktstrahlung und durch Inhalation sowie Direktiongestion von Staub exponiert werden. Dabei werden Abläufe für den Einbau angesetzt, deren Parametrisierung sich aus den umzuschlagenden Mengen einer Standarddeponie ergeben. Insbesondere kann dort davon ausgegangen werden, dass die aus der Freigabe einzubauenden Massen (100 Mg/a bzw. 1.000 Mg/a) im regulären Deponiebetrieb mit den sonstigen anfallenden Massen verfahrensbedingt vermischt und damit auch nach kurzer Zeit abschirmwirksam (bezüglich  $\gamma$ -Strahlung) überdeckt werden.

Für den vorliegenden EFN kann das Standardmodell aus [SSK 06] nur hinsichtlich der potenziellen Exposition durch Inhalation und Direktiongestion als abdeckend angesehen werden. Da die Anlieferung der Materialien aus der Freigabe aus dem KKV in geschlossenen Big-Bags erfolgt, ist die Staubentstehung bei der Einlagerung deutlich geringer als in [SSK 06] angesetzt. Daher ist für alle Nuklide, bei welchen Inhalation bzw. Direktiongestion im Expositionsszenario dominiert, keine explizite Berechnung der potenziellen Exposition im Szenario D3 erforderlich. Eine Betrachtung hinsichtlich des potenziellen Versagens einzelner Big-Bags bei Einbau erfolgt in Abschnitt 4.2.4.3.



Die bisher auf der Zentraldeponie Brake-Käseburg erfolgten freigabeäquivalenten Ablagerungen sind für das hier betrachtete Szenario nicht relevant, da diese durch den Einbau in die jeweiligen Deponiekörper soweit abgeschirmt sind, dass davon keine signifikante Ortsdosisleistung ausgeht.

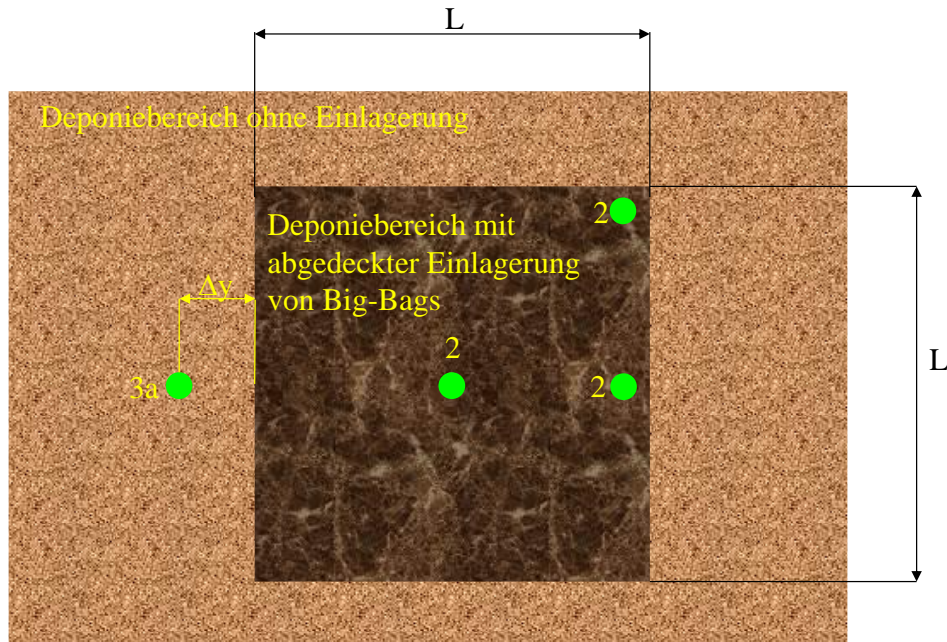
Für Nuklide der zukünftig zu deponierenden Materialien aus dem KKV, bei denen die Direktstrahlung im Expositionsszenario dominiert, muss dagegen eine explizite Berechnung der potenziellen Exposition im Szenario D3 unter Berücksichtigung der Randbedingungen der Zentraldeponie Brake-Käseburg erfolgen.

#### **4.2.4.1. Vorgesehener Einbau**

Für den Ablauf des Einbaus des Materials ist gemäß [PEL 19] und [PEL 20] von folgenden Abläufen (Planungsstand 31.03.2020) mit entsprechenden Randbedingungen auszugehen:

- Im Zeitraum bis ca. 2024 erfolgen vorwiegend Anlieferungen von Dämmmaterial aus dem KKV auf die Deponie (siehe Abbildung 3-1). Hierbei sind die Anlieferungsmengen auf 100 Mg pro Jahr begrenzt. Dabei kommen die Freigabewerte der Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8 StrlSchV [SSV 18] zur Anwendung.
- Nach 2024 erfolgen vorwiegend Anlieferungen von Bauschutt aus dem KKV auf die Deponie (siehe Abbildung 3-1). Hierbei können die Anlieferungsmengen in einzelnen Jahren auf 100 Mg pro Jahr begrenzt sein. Dabei kommen die Freigabewerte der Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8 StrlSchV zur Anwendung.
- Der größte Teil der Anlieferungen von Bauschutt aus dem KKV auf die Deponie (geplant ab ca. 2027, siehe Abbildung 3-1) erfolgt unter Anwendung der Freigabewerte der Anl. 4 Tab. 1 Sp. 10 StrlSchV (für bis zu 1.000 Mg pro Jahr, bei Anlieferungen noch größerer Jahresmengen sind die Freigabewerte entsprechend zu skalieren).
- Die Anlieferung aus dem KKV zur Deponie erfolgt grundsätzlich in geschlossenen Big-Bags, die einzeln vom anliefernden LKW entladen werden. Für Entladung und Transport wird ein Radlader verwendet, ein Mitarbeiter schlaucht die Big-Bags am Radlader ein (im Folgenden als sogenannter „Einschlaucher“ bezeichnet).
- Die Big-Bags werden auf der Deponie nach den Vorgaben für asbesthaltige Abfälle behandelt. Es erfolgt ein sofortiger Einbau in die Deponie und eine Überschüttung mit Abdeckmaterial (Bauschutt). Eine Einlagerungskampagne wird kontinuierlich innerhalb einiger Tage abgewickelt. Die tatsächliche Dauer ist dabei von der Anzahl der angelieferten Big Bags abhängig. Vorgeschrieben ist eine Überdeckung mit mindestens 0,1 m Bauschutt oder vergleichbarem Material. Die tatsächliche Mächtigkeit der Überschüttung der Ladekante beträgt dabei verfahrensbedingt (siehe [PEL 19]) im Mittel mehrere Dezimeter, eine Mindestüberdeckung der Ladekante mit 0,2 m Abdeckmaterial ist gesichert [PEL 20].
- Gemäß den Angaben des Deponiebetreibers in [PEL 19] und [PEL 20] halten sich Mitarbeiter ca. 1.000 h im Jahr auf der Deponiekante auf, wobei sie aber nur ca. 50 h im Jahr in unmittelbarer Umgebung des Einlagerungsbereichs und die restlichen 950 h im Jahr abseits dieses Bereichs (überschüttete Ladekante) befinden. Diese Aufenthaltszeiten betreffen nicht die Arbeitszeiten, die mit Abladen und Einbau der Big.-Bags verbunden sind.





**Abbildung 4-2:** Modell zur Ermittlung der Exposition durch Direktstrahlung, Draufsicht (Zahlen kennzeichnen die Teilszenarien zu D3).

Für die dargestellten Teilszenarien wurden Berechnungen der Exposition durch  $\gamma$ -Direktstrahlung mit Hilfe des Programms MicroShield® [GRO 09] durchgeführt. Dabei wurden die in Tabelle 4-2 aufgeführten Parameter verwendet.

Für die Dauer der Entladung (Sichtkontrolle und Einschlaufen), des Transports und des Einbaus eines Big-Bags auf der Deponie sind gemäß [PEL 20] in Summe 10 min anzusetzen.

Bei einer Anlieferung von 1.000 Mg Bauschutt pro Jahr aus dem KKV auf die Deponie ergeben sich mit den Parametern für die Masse im Big-Bag (1 Mg) und die Anzahl der Big-Bags pro LKW (15) gemäß Tabelle 4-2 insgesamt 67<sup>4</sup> erforderliche LKW-Fahrten und eine Gesamtzeit von 10.050 min (167,5 h) für die Handhabung von Big-Bags auf der Deponie.

Bei einer Anlieferung von 100 Mg Isoliermaterial pro Jahr aus dem KKV auf die Deponie ergeben sich mit den Parametern für Masse im Big-Bag (0,2 Mg) und Anzahl der Big-Bags pro LKW (24) gemäß Tabelle 4-2 insgesamt 21<sup>5</sup> erforderliche LKW-Fahrten und eine Gesamtzeit von ca. 5.040 min (84 h) für die Handhabung von Big-Bags auf der Deponie.

<sup>4</sup> Hier wird die berechnete „Anzahl“ 66,7 auf 67 aufgerundet, so dass sich bei den weiteren Berechnungen ggf. einige (konservative) Abweichungen (z. B. in der jährlich abgelagerten Anzahl an Big-Bags) ergeben.

<sup>5</sup> Hier wird die berechnete „Anzahl“ 20,8 auf 21 aufgerundet, so dass sich bei den weiteren Berechnungen ggf. einige (konservative) Abweichungen (z. B. in der jährlich abgelagerten Anzahl an Big-Bags) ergeben.

Tabelle 4-2: Parameter für die Berechnung der Exposition durch Direktstrahlung.

Parameter	Bezeichnung	Einheit	Wert(e)
Abstand im Szenario 1b, 1c und 3b von der Ladekante	$\Delta x$	m	1, 2, 5, 10, 30, 50
Dosisaufpunkt Abstand vom Boden	$\Delta h_B$	m	1,0
Dicke der Abschirmschicht oben	$\Delta B_o$	m	0,1 (0,2 und 0,3) <sup>a</sup>
Dicke der Abschirmschicht vorn	$\Delta B_v$	m	0 und 0,2
Mächtigkeit der Einlagerungsschicht	$\Delta h_E$	m	1,0
Länge und Breite des Einlagerungsbereichs <sup>b</sup>	L	m	106
Abstand vom Einlagerungsbereich im Szenario 3a	$\Delta y$	m	10
Dichte des Bauschutts aus KKU	$\rho_{BA}$	Mg/m <sup>3</sup>	1,2
Dichte des Isoliermaterials aus KKU	$\rho_I$	Mg/m <sup>3</sup>	0,24
Masse pro Big-Bag für Bauschutt	$m_{BA}$	Mg	1
Masse pro Big-Bag für Isoliermaterial	$m_I$	Mg	0,2
Anzahl Big-Bags pro LKW Bauschutt	$A_{BA}$	-	15
Anzahl Big-Bags pro LKW Isoliermaterial	$A_I$	-	24
Abmessungen Big-Bag		m <sup>3</sup>	0,9 × 0,9 × 0,9
Abstand Big-Bag – Radlader-Fahrer		m	2
Abstand Radlader-Fahrer – LKW		m	2
Abstand „Einschlauffer“ – LKW		m	0,5 und 2
Dichte des Abdeckmaterials	$\rho_B$	Mg/m <sup>3</sup>	1,3 <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Die Werte in Klammern wurden verwendet, um die Sensitivität der jeweiligen Abdeckmächtigkeit zu ermitteln und die Auswirkungen erweiterter Abdeckkonzepte (siehe Abschnitt 4.2.4.2) zu bewerten.

<sup>b</sup> Im Gegensatz zu den Szenarien O1 (Abschnitt 4.2.5) und G (Abschnitt 4.2.7) wird hier nur die Fläche betrachtet, die tatsächlich mit dem zur Freigabe aus dem KKU geplanten Material belegt werden kann (siehe auch Fußnote 7).

<sup>c</sup> Konservativ abdeckend niedrige Dichte gemäß [PEL 19].

Für beide Varianten ist eine detaillierte Aufgliederung der für die einzelnen Arbeitsabläufe benötigten Zeiten gemäß [PEL 20] in Tabelle 4-3 aufgeführt, wobei für Zeiten, in denen keine relevante Exposition durch Ablagerungen aus dem KKU stattfinden, keine Stundenwerte angegeben sind.

Die Arbeiten werden von einem Fahrer des Radladers und einem „Einschlauffer“ durchgeführt.

**Tabelle 4-3:** Zeiten für LKW-Entladung, Transport zur Einlagerungsstelle und Einbau der Big-Bags.

Vorgang	Radlader-Fahrer			„Einschläufer“		
	Zeit pro Big-Bag [min]	Zeit für Ablagerung von 1.000 Mg Bauschutt pro Jahr [h]	Zeit für Ablagerung von 100 Mg Isoliermaterial pro Jahr [h]	Zeit pro Big-Bag [min]	Zeit für Ablagerung von 1.000 Mg Bauschutt pro Jahr [h]	Zeit für Ablagerung von 100 Mg Isoliermaterial pro Jahr [h]
Sichtkontrolle am LKW und Einschlaufen des Big-Bags	4	67,0	33,6	2 min 0,5 m und 2 min 2 m Abstand	33,5 (0,5 m) und 33,5 (2 m)	16,8 (0,5 m) und 16,8 (2 m)
Transport zur Einlagerungsstelle	2	33,5	16,8	2	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>
Einbau	2	33,5	16,8	2	33,5	16,8
Rückfahrt	2	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	2	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>

<sup>a</sup> keine relevante Exposition

Die Dauer der Überschüttung von durch KKW abgelagertem Material wird bei 1.000 Mg pro Jahr (Bauschutt, 67 LKWs) mit 10 h im Jahr und bei 100 Mg pro Jahr (Isoliermaterial, 21 LKWs) mit 3 h im Jahr angesetzt<sup>6</sup>. Für diese Tätigkeiten wird ein Radlader mit vorderer Schaufel verwendet, die Arbeiten werden von einer Person vollständig vom Radlader aus durchgeführt.

Die Auswertung der Ergebnisse für die jeweiligen Dosispunkte erfolgte (außer Radlader beim Transport) unter Berücksichtigung einer sog. Rotationsgeometrie für die exponierte Person. Sowohl bei Tätigkeiten zu Fuß als auch bei Tätigkeiten im Fahrzeug (außer Radlader beim Transport) ergibt sich keine bevorzugte horizontale Positionierung der jeweiligen Person zur Strahlungsquelle. Vielmehr sind die Zeitdauern, in denen sich die Strahlungsquelle vor, hinter und seitlich zur betrachteten Person befindet, als gleichwertig anzusehen. Die Rotationsgeometrie bildet eine entsprechende Mittelung somit geeignet ab und wird für die vorliegende Situation als angemessen betrachtet. Für den Radlader beim Transport wird eine feste Positionierung des Fahrers in Bezug zum Transportgut unterstellt und die Bestrahlungsgeometrie AP (anterior-posterior, horizontale Positionierung der exponierten Person in Blickrichtung zur Strahlungsquelle) gewählt.

Für das Teilszenario 2 wurden drei verschiedene horizontale Lagen der Aufpunkte betrachtet (siehe Abbildung 4-2)<sup>7</sup>.

<sup>6</sup> Der tatsächliche Zeitbedarf wird niedriger sein, da es vorgesehen ist, das Material aus KKW in Kampagnen (mehrere LKW innerhalb eines oder weniger Arbeitstage) anzuliefern, wodurch sich der Zeitbedarf für die Überschüttung stark verringert.

<sup>7</sup> Anmerkung: Resultate für Szenario 2 sind nahezu identisch für alle drei eingezeichneten Aufpunktvarianten bei L = 106 m (Länge und Breite des Einlagerungsbereichs) und nahezu unabhängig von L für alle L ≥ 15 m für eine Lage des Aufpunkts 2 im Zentrum der betrachteten Fläche.

In einer zusätzlichen Berechnung wurde der Abschirmfaktor der Direktstrahlung ermittelt, der sich aus einem Aufenthalt in einer Fahrzeugkabine (effektive Abschirmung durch 5 mm Stahl insbesondere bei Verwendung einer Frontladerschaufel und hinsichtlich der Abschirmung nach unten) gegenüber dem Aufenthalt im Freien ergibt. Diese Abschirmfaktoren werden bei Tätigkeiten unter Anwendung von Fahrzeugen auf der Einlagerungsfläche, auf der Deponiekrone und beim Überschütten der Einlagerungsfläche / Ladekante berücksichtigt. Für den Transport der Big-Bags vom LKW zur Einlagerungsstelle wird dagegen kein Abschirmfaktor<sup>8</sup> berücksichtigt.

Gemäß der oben beschriebenen Vorgehensweise werden die Berechnungen für die in diesem Szenario relevanten Nuklide:

- Co-60,
- Cs-137,
- Eu-152 und
- Eu-154

durchgeführt. Durch die Betrachtung des Co-60 sind auch die Nuklide Nb-94, Ag-108m<sup>9</sup>, Sb-125 und Ba-133 implizit mit abgedeckt (Produkt aus  $\gamma$ -Dosisleistungsfaktor und Freigabewert ist für diese Nuklide annähernd gleich zu Co-60, der Anteil im Nuklidvektor dagegen deutlich geringer als beim Co-60).

Für weitere, bei der Freigabe aus dem KKV relevante Nuklide ist entweder das Szenario D3 nicht dosisrelevant (z. B. H-3, C-14, Sr-90) oder die Dosisrelevanz der Nuklide ergibt sich nahezu vollständig aus der potenziellen Exposition durch Inhalation und Direktiongestion (Pu-238, Pu-241, Am-241). Eine ggf. gegenüber den Annahmen aus [SSK 06] längere Zeit, in denen Personen auf der Zentraldeponie Brake-Käseburg einer Exposition aufgrund nicht auszuschließender Staubentwicklungen ausgesetzt sind, steht eine vernachlässigbare Staubkonzentration durch die Verwendung von Big-Bags und der Behandlung der Ablagerungen analog zu den asbesthaltigen Abfällen gegenüber. Daher ist keine explizite Berechnung einer potenziellen Exposition durch Inhalation und Direktiongestion für die Deponiearbeiter im Szenario D3 erforderlich. Die Berechnungen aus [SSK 06] sind hierfür abdeckend.

Für das Teilszenario 1 wird für folgende Situationen die Direktstrahlung mit Hilfe des Programms MicroShield<sup>®</sup> berechnet:

- Radlader-Fahrer am LKW (Abstand 2 m, Geometrie AP), Teilszenario 1a,
- „Einschlauffer“ am LKW (Abstand 0,5 m und 2 m, Rotationsgeometrie), Teilszenario 1a und
- Radlader-Fahrer mit geladenem Big-Bag (Abstand 2 m, Geometrie AP), Teilszenario 1b.

<sup>8</sup> Hier ist in direkter Linie zwischen Strahlungsquelle (Big-Bag) und betroffener Person (Fahrer) nur die Kabinenumschließung (Glas bzw. Plexiglas) zu finden, deren Abschirmwirkung für  $\gamma$ -Strahlung gering ist.

<sup>9</sup> Für Ag-108m wird theoretisch im Fall der Freigabe von Isoliermaterial (bis zu 100 Mg pro Jahr) bei Vollausschöpfung der FGW in einigen Szenarien eine gegenüber Co-60 leicht höhere Exposition berechnet. Da aber insbesondere bei Isoliermaterial und generell für alle freizugebenden Materialien der zu erwartende Anteil an Ag-108m am Nuklidvektor äußerst gering ist, ist hier keine explizite Betrachtung notwendig. Bei der Betrachtung von Ablagerungen auf der Deponie hat das Nuklid Ag-108m im Gegensatz zu den Betrachtungen in Zusammenhang mit Sickerwasser und Klärschlamm keine besondere Bedeutung.



Die Berechnungen werden mit den in Tabelle 4-2 ausgewiesenen Parametern und einer Einheitsaktivität von 1 Bq durchgeführt.

In Tabelle 4-4 sind die Ergebnisse der Berechnung für die Ablagerung von Bauschutt zusammengestellt.

Tabelle 4-4: Normierte Dosisfaktoren für die Teilszenarien 1a und 1b, Ablagerung von Bauschutt.

Nuklid	Dosisfaktor (normiert) für Teilszenario und Person [mSv/h pro Bq]			
	Radlader-Fahrer am LKW	„Einschlauber“ am LKW 0,5 m	„Einschlauber“ am LKW 2 m	Radlader-Fahrer Transport Big-Bag
Co-60	5,31E-12	1,57E-11	4,49E-12	1,93E-11
Cs-137	1,17E-12	3,32E-12	9,37E-13	4,35E-12
Eu-152	2,29E-12	6,62E-12	1,89E-12	8,40E-12
Eu-154	2,71E-12	7,89E-12	2,25E-12	9,90E-12

In Tabelle 4-5 sind die Ergebnisse der Berechnung für die Ablagerung von Isoliermaterial zusammengestellt.

Tabelle 4-5: Normierte Dosisfaktoren für die Teilszenarien 1a und 1b, Ablagerung von Isoliermaterial.

Nuklid	Dosisfaktor (normiert) für Teilszenario und Person [mSv/h pro Bq]			
	Radlader-Fahrer am LKW	„Einschlauber“ am LKW 0,5 m	„Einschlauber“ am LKW 2 m	Radlader-Fahrer Transport Big-Bag
Co-60	1,71E-11	4,55E-11	1,44E-11	4,22E-11
Cs-137	4,07E-12	1,03E-11	3,26E-12	1,07E-11
Eu-152	7,63E-12	1,99E-11	6,27E-12	1,96E-11
Eu-154	8,88E-12	2,34E-11	7,38E-12	2,25E-11

In Abbildung 4-3 bis Abbildung 4-6 sind die berechneten Dosisleistung-Werte für verschiedene Dicken ( $\Delta Bv$  in Abbildung 4-1) der (vorderen) Abdeckung dargestellt. Die Symbole kennzeichnen dabei Ergebnisse der MicroShield<sup>®</sup> Berechnungen, die Linien zeigen Interpolationen/Extrapolationen der Werte durch eine Potenzfunktion an. In Tabelle 4-6 und Tabelle 4-7 sind die Ergebnisse für den Fall ohne vordere Abdeckung bzw. mit einer vorderen Abdeckung  $\Delta Bv = 0,2$  m aufgeführt. Die jeweiligen Mittelwerte wurden als integrales Mittel mit Hilfe der eingezeichneten Potenzfunktionen berechnet.

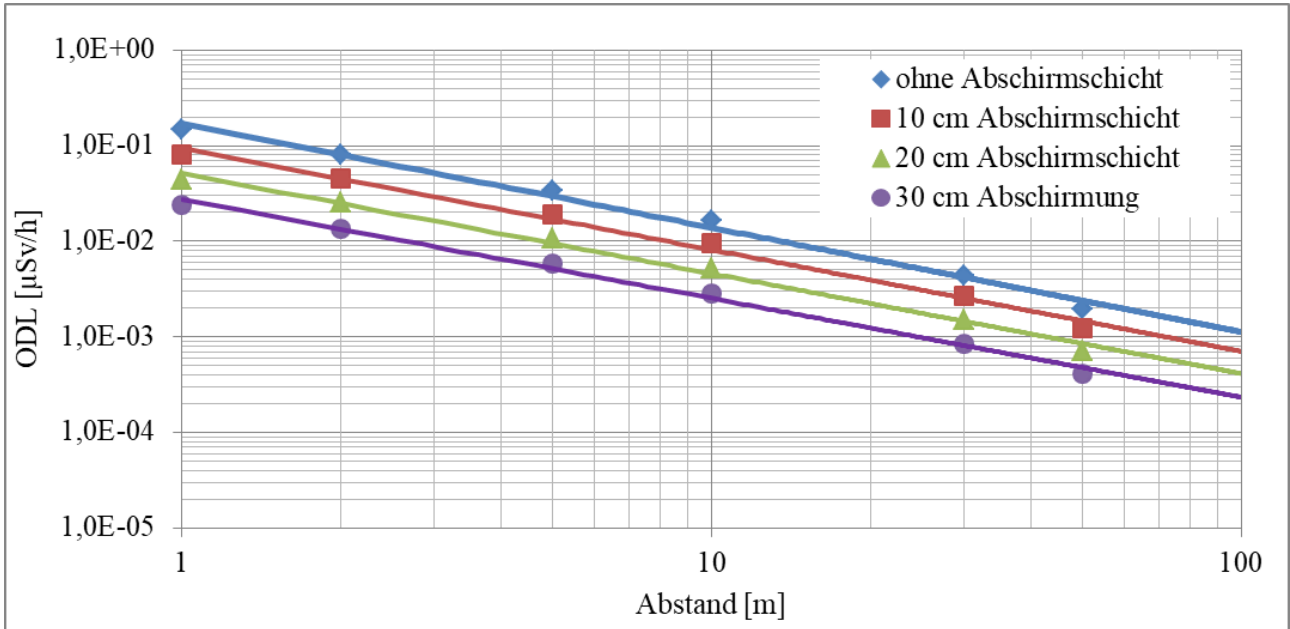


Abbildung 4-3: Entfernungsverlauf der Dosisleistung für Co-60 im Szenario 1c, 1d bzw. 3b.

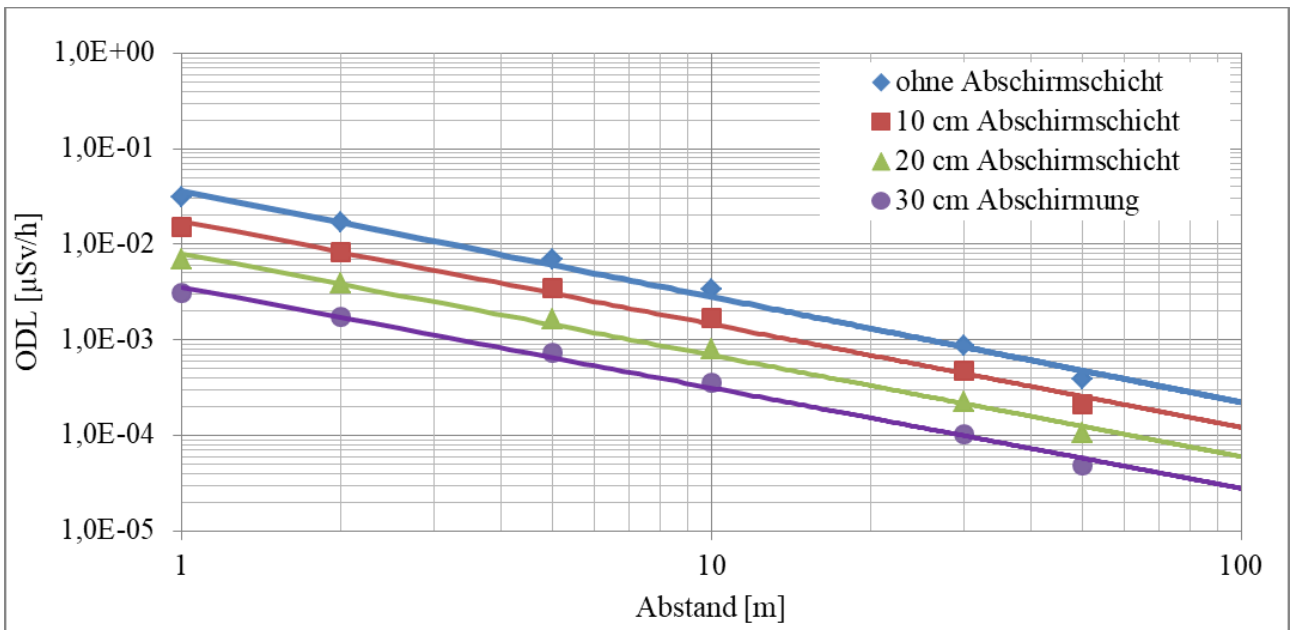


Abbildung 4-4: Entfernungsverlauf der Dosisleistung für Cs-137 im Szenario 1c, 1d bzw. 3b.



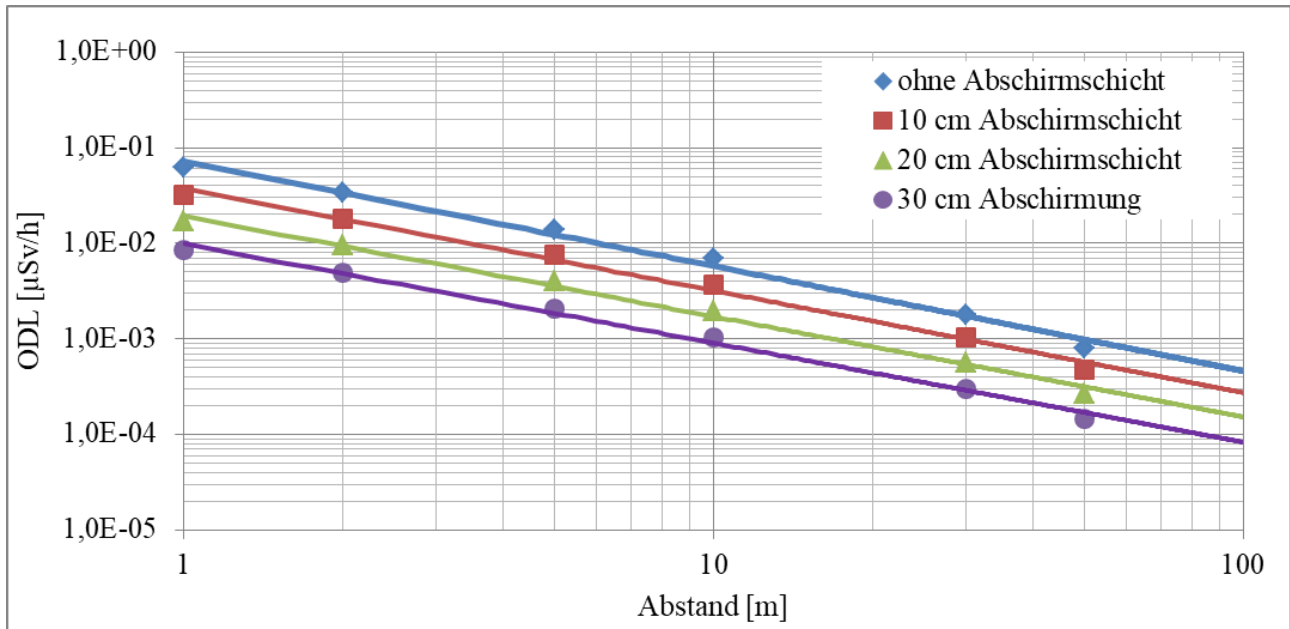


Abbildung 4-5: Entfernungsverlauf der Dosisleistung für Eu-152 im Szenario 1c, 1d bzw. 3b.

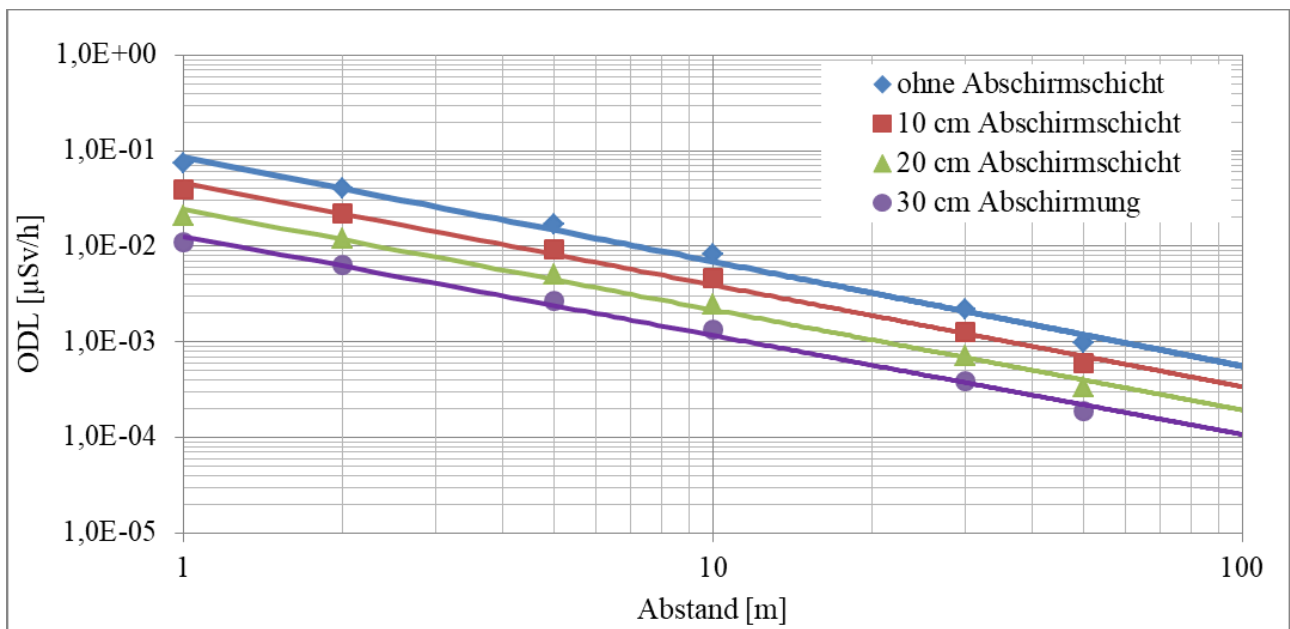


Abbildung 4-6: Entfernungsverlauf der Dosisleistung für Eu-154 im Szenario 1c, 1d bzw. 3b.

Tabelle 4-6: Normierte Dosisleistung [ $\mu\text{Sv/h}$  pro Bq/g] im Teilszenario 1c und 1d für die betrachteten Nuklide, keine vordere Abschirmung.

Abstand [m]	Co-60	Cs-137	Eu-152	Eu-154
1	1,47E-01	3,09E-02	6,20E-02	7,41E-02
2	8,11E-02	1,69E-02	3,41E-02	4,07E-02
5	3,38E-02	6,95E-03	1,41E-02	1,69E-02
10	1,65E-02	3,38E-03	6,88E-03	8,26E-03
30	4,39E-03	8,83E-04	1,81E-03	2,19E-03
50	1,98E-03	3,91E-04	8,10E-04	9,79E-04
Mittelwerte				
1 m bis 5 m	6,44E-02	1,34E-02	2,70E-02	3,27E-02
10 m bis 100 m	3,21E-03	6,44E-04	1,32E-03	1,61E-03

Tabelle 4-7: Normierte Dosisleistung [ $\mu\text{Sv/h}$  pro Bq/g] im Teilszenario 3b für die betrachteten Nuklide vordere Abschirmung 0,2 m.

Abstand [m]	Co-60	Cs-137	Eu-152	Eu-154
1	4,48E-02	6,93E-03	1,68E-02	2,12E-02
2	2,53E-02	3,90E-03	9,48E-03	1,19E-02
5	1,06E-02	1,62E-03	3,97E-03	5,01E-03
10	5,27E-03	7,96E-04	1,97E-03	2,48E-03
30	1,53E-03	2,26E-04	5,66E-04	7,17E-04
50	7,22E-04	1,05E-04	2,67E-04	3,39E-04
Mittelwerte				
1 m bis 5 m	1,99E-02	3,06E-03	7,45E-03	9,39E-03
10 m bis 100 m	1,11E-03	1,64E-04	4,13E-04	5,23E-04

In Tabelle 4-8 sind die berechneten Dosiskoeffizienten im Teilszenario 2 für verschiedene Mächtigkeiten der Abdeckschicht aufgeführt.

Tabelle 4-8: Normierte Dosisleistung [ $\mu\text{Sv/h}$  pro Bq/g] im Teilszenario 2 für die betrachteten Nuklide und verschiedene Abdeckungsdicken.

Abdeckung	Co-60	Cs-137	Eu-152	Eu-154
0,10 m	2,07E-01	3,51E-02	8,01E-02	9,93E-02
0,20 m	9,46E-02	1,33E-02	3,47E-02	4,43E-02
0,30 m	4,49E-02	5,18E-03	1,59E-02	2,07E-02
0,34 m	3,29E-02	3,52E-03	1,14E-02	1,50E-02

In Tabelle 4-9 sind die berechneten Dosiskoeffizienten im Szenario 3a für eine Mächtigkeit von 0,1 m der Abdeckschicht aufgeführt.

Tabelle 4-9: Normierte Dosisleistung [ $\mu\text{Sv/h}$  pro Bq/g] im Teilszenario 3a für die betrachteten Nuklide, Abdeckungsdicke 0,1 m.

Abdeckung	Co-60	Cs-137	Eu-152	Eu-154
0,1 m	3,65E-04	2,55E-05	1,22E-04	1,66E-04

Die für das Teilszenario 3a berechneten normierten Dosisleistungswerte zeigen, dass dieses Teilszenario immer niedrigere Expositionen als Teilszenario 3b erwarten lässt (siehe Tabelle 4-7), so dass in den weiteren Betrachtungen immer Teilszenario 3b herangezogen wird.

Auf Grund der standortspezifischen Besonderheiten der Zentraldeponie Brake-Käseburg im betrachteten Szenario D3 kann bei einer Vollausschöpfung der Freigabewerte nach Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8 StrlSchV für eine Freigabe von 100 Mg/a und nach Anl. 4 Tab. 1 Sp. 10 StrlSchV für eine Freigabe von 1.000 Mg/a für Nuklide mit signifikanter  $\gamma$ -Strahlung die Einhaltung des Dosiskriteriums 10  $\mu\text{Sv/a}$  nicht nachgewiesen werden.

Die Berechnung der potenziellen Dosis im Expositionsszenario D3 wird daher unter der Berücksichtigung einer **jährlich gemittelten Ausschöpfung** der Freigabewerte nach Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8 StrlSchV für eine Freigabe von 100 Mg/a und nach Anl. 4 Tab. 1 Sp. 10 StrlSchV für eine Freigabe von 1.000 Mg/a von jeweils **25 %** bei voller Ausschöpfung dieser jeweiligen Freigabemengen durchgeführt. Eine **Reduzierung der FGW** der einzelnen Nuklide in den jeweiligen Mittelungsmassen der Entscheidungsmessungen ist **nicht** erforderlich. Daraus ergeben sich **Begrenzungen** für die **jährliche Gesamtaktivitätsablagerung**. Außerdem wird davon ausgegangen, dass die maximal auf der Deponie insgesamt abgelagerte Aktivitätsmenge dem Zehnfachen der angenommenen jährlichen Gesamtaktivitätsablagerung entspricht.

In Tabelle 4-10 und Tabelle 4-11 sind die Berechnungen für die mittleren Aktivitäten pro LKW und pro Big-Bag zusammengefasst. Für den LKW wird dabei die Aktivität als zeitliches Mittel im Entladeprozess ermittelt, d. h. die Gesamtaktivität als Summe der Aktivitäten in den einzelnen Big-Bags (Vollbeladung) wird mit 0,5 multipliziert (im zeitlichen Mittel halbe Beladung).

Tabelle 4-10: Aktivitätsberechnung, Ablagerung von Bauschutt (1.000 Mg pro Jahr).

Nuklid	Ablagerung von Bauschutt (1.000 Mg pro Jahr)				
	FGW [Bq/g]	Masse pro Big-Bag [Mg]	Big-Bags pro LKW	Aktivität pro LKW [Bq], Ausschöpfung FGW 25 %, Beladung im zeitlichen Mittel 50 %	Aktivität pro Big-Bag [Bq], Ausschöpfung FGW 25 %
Co-60	2	1	15	3,75E+06	5,00E+05
Cs-137	8			1,50E+07	2,00E+06
Eu-152	4			7,50E+06	1,00E+06
Eu-154	4			7,50E+06	1,00E+06

Tabelle 4-11: Aktivitätsberechnung, Ablagerung von Isoliermaterial 100 Mg pro Jahr.

Nuklid	Ablagerung von Isoliermaterial (100 Mg pro Jahr)				
	FGW [Bq/g]	Masse pro Big-Bag [Mg]	Big-Bags pro LKW	Aktivität pro LKW [Bq], Ausschöpfung FGW 25 %, Beladung im zeitlichen Mittel 50 %	Aktivität pro Big-Bag [Bq], Ausschöpfung FGW 25 %
Co-60	6	0,2	24	3,60E+06	3,00E+05
Cs-137	10			6,00E+06	5,00E+05
Eu-152	10			6,00E+06	5,00E+05
Eu-154	10			6,00E+06	5,00E+05

In Tabelle 4-12 ist die Berechnung der mittleren Aktivität in der Einlagerungsschicht zusammengefasst. Dabei wird gemäß Abschnitt 3 folgendes angenommen:

- eine Freigabe unter Anwendung der Freigabewerte nach Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8 StrlSchV (mittlere Ausschöpfung 25 %) von insgesamt 1.000 Mg mit einer Beimischung von insgesamt 3.600 Mg (360 Mg pro Jahr, siehe Tabelle 4-10 und Tabelle 4-11) und
- eine Freigabe unter Anwendung der Freigabewerte nach Anl. 4 Tab. 1 Sp. 10 StrlSchV (mittlere Ausschöpfung von 25 %) von insgesamt 9.000 Mg ohne Beimischung

Eine Zerfallskorrektur wurde dabei nicht durchgeführt. Die Aktivität in der Einlagerungsschicht ist die Summe der einzelnen Teilergebnisse der getroffenen Annahmen.

Tabelle 4-12: Aktivitätsberechnung für die gesamte Einlagerungsschicht.

Nuklid	Anl. 4 Tab. 1 Sp. 10 StrlSchV			Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8 StrlSchV			Aktivität in Einlagerungsschicht [Bq/g]
	FGW [Bq/g]	Masse Einlagerung [Mg]	Aktivität Einlagerungsschicht [Bq] 25 % Ausschöpfung FGW	FGW [Bq/g]	Masse Einlagerung [Mg]	Aktivität Einlagerungsschicht [Bq] 25 % Ausschöpfung FGW	
Co-60	2	9.000	4,50E+09	6	1.000 + 3.600 (ohne Aktivität)	1,50E+09	0,44
Cs-137	8		1,80E+10	10		2,50E+09	1,51
Eu-152	4		9,00E+09	10		2,50E+09	0,85
Eu-154	4		9,00E+09	10		2,50E+09	0,85

In Tabelle 4-13 bis Tabelle 4-18 sind die für die jeweiligen Teilszenarien ermittelten Dosisleistungsfaktoren dargestellt.

Tabelle 4-13: Dosisleistungsfaktoren für den Radlader-Fahrer, Entladen des LKWs, Ablagerung von Bauschutt (1.000 Mg pro Jahr).

Nuklid	Ablagerung von Bauschutt (1.000 Mg pro Jahr)		
	Dosisleistung (normiert) [mSv/h pro Bq]	Aktivität pro LKW [Bq]	Dosisleistung [ $\mu$ Sv/h]
Co-60	5,31E-12	3,75E+06	1,99E-02
Cs-137	1,17E-12	1,50E+07	1,76E-02
Eu-152	2,29E-12	7,50E+06	1,72E-02
Eu-154	2,71E-12	7,50E+06	2,03E-02

Tabelle 4-14: Dosisleistungsfaktoren für den Radlader-Fahrer, Entladen des LKWs, Ablagerung von Isoliermaterial (100 Mg pro Jahr).

Nuklid	Ablagerung von Isoliermaterial (100 Mg pro Jahr)		
	Dosisleistung (normiert) [mSv/h pro Bq]	Aktivität pro LKW [Bq]	Dosisleistung [ $\mu$ Sv/h]
Co-60	1,71E-11	3,06E+06	6,14E-02
Cs-137	4,07E-12	6,00E+06	2,44E-02
Eu-152	7,63E-12	6,00E+06	4,58E-02
Eu-154	8,88E-12	6,00E+06	5,33E-02

Tabelle 4-15: Dosisleistungsfaktoren für den „Einschlaifer“, Entladen des LKWs, Ablagerung von Bauschutt (1.000 Mg pro Jahr).

Nuklid	Ablagerung von Bauschutt (1.000 Mg pro Jahr)				
	Dosisleistung (normiert) Abstand 2 m [mSv/h pro Bq]	Dosisleistung (normiert) Abstand 0,5 m [mSv/h pro Bq]	Aktivität pro LKW [Bq]	Dosisleistung Abstand 2 m [ $\mu$ Sv/h]	Dosisleistung Abstand 0,5 m [ $\mu$ Sv/h]
Co-60	4,49E-12	1,57E-11	3,75E+06	1,68E-02	5,87E-02
Cs-137	9,37E-13	3,32E-12	1,50E+07	1,41E-02	4,98E-02
Eu-152	1,89E-12	6,62E-12	7,50E+06	1,42E-02	4,97E-02
Eu-154	2,25E-12	7,89E-12	7,50E+06	1,69E-02	5,92E-02

Tabelle 4-16: Dosisleistungsfaktoren für den „Einschlauffer“, Entladen des LKWs, Ablagerung von Isoliermaterial (100 Mg pro Jahr).

Nuklid	Ablagerung von Isoliermaterial (100 Mg pro Jahr)				
	Dosisleistung (normiert) Abstand 2 m [mSv/h pro Bq]	Dosisleistung (normiert) Abstand 0,5 m [mSv/h pro Bq]	Aktivität pro LKW [Bq]	Dosisleistung Abstand 2 m [µSv/h]	Dosisleistung Abstand 0,5 m [µSv/h]
Co-60	1,44E-11	4,55E-11	3,60E+06	5,19E-02	1,64E-01
Cs-137	3,26E-12	1,03E-11	6,00E+06	1,96E-02	6,20E-02
Eu-152	6,27E-12	1,99E-11	6,00E+06	3,76E-02	1,19E-01
Eu-154	7,38E-12	2,34E-11	6,00E+06	4,43E-02	1,40E-01

Tabelle 4-17: Dosisleistungsfaktoren für den Radlader-Fahrer, Fahrt zur Einlagerungsstelle, Ablagerung von Bauschutt (1.000 Mg pro Jahr).

Nuklid	Ablagerung von Bauschutt (1.000 Mg pro Jahr)		
	Dosisleistung (normiert) [mSv/h pro Bq]	Aktivität pro Big-Bag [Bq]	Dosisleistung [µSv/h]
Co-60	1,93E-11	5,00E+05	9,66E-03
Cs-137	4,35E-12	2,00E+06	8,69E-03
Eu-152	8,40E-12	1,00E+06	8,40E-03
Eu-154	9,90E-12	1,00E+06	9,90E-03

Tabelle 4-18: Dosisleistungsfaktoren für den Radlader-Fahrer, Fahrt zur Einlagerungsstelle, Ablagerung von Isoliermaterial (100 Mg pro Jahr).

Nuklid	Ablagerung von Isoliermaterial (100 Mg pro Jahr)		
	Dosisleistung (normiert) [mSv/h pro Bq]	Aktivität pro Big-Bag [Bq]	Dosisleistung [µSv/h]
Co-60	4,22E-11	3,00E+05	1,27E-02
Cs-137	1,07E-11	5,00E+05	5,33E-03
Eu-152	1,96E-11	5,00E+05	9,78E-03
Eu-154	2,25E-11	5,00E+05	1,12E-02

In Tabelle 4-19 und Tabelle 4-20 sind die normierten Dosisleistungsfaktoren für den Einbau von Bauschutt bzw. Isoliermaterial dargestellt. Die normierten Dosisfaktoren  $[(\mu\text{Sv/h})/(\text{Bq/g})]$  wurden dabei gemäß Tabelle 4-6 ohne vordere Abschirmung als Mittelwert für eine Entfernung von 1 m bis 5 m für die Berechnungen verwendet.

Tabelle 4-19: Dosisleistungsfaktoren für die Ablagerung von Bauschutt (1.000 Mg pro Jahr).

Nuklid	Ablagerung von Bauschutt (1.000 Mg pro Jahr)		
	Dosisleistung (normiert) [( $\mu\text{Sv/h}$ ) pro (Bq/g)]	FGW [Bq/g]	Dosisleistung [ $\mu\text{Sv/h}$ ] (Ausschöpfung FGW 25 %)
Co-60	6,44E-02	2	3,22E-02
Cs-137	1,34E-02	8	2,68E-02
Eu-152	2,70E-02	4	2,70E-02
Eu-154	3,27E-02	4	3,27E-02

Tabelle 4-20: Dosisleistungsfaktoren für die Ablagerung von Isoliermaterial (1.000 Mg pro Jahr).

Nuklid	Ablagerung von Isoliermaterial (100 Mg pro Jahr)		
	Dosisleistung (normiert) [( $\mu\text{Sv/h}$ ) pro (Bq/g)]	FGW [Bq/g]	Dosisleistung [ $\mu\text{Sv/h}$ ] (Ausschöpfung FGW 25 %)
Co-60	6,44E-02	8	9,66E-02
Cs-137	1,34E-02	10	3,35E-02
Eu-152	2,70E-02	10	6,75E-02
Eu-154	3,27E-02	10	8,18E-02

In Tabelle 4-21 und Tabelle 4-22 sind die Dosisfaktoren für die Überschüttung der jeweiligen Big-Bags (Bauschutt bzw. Isoliermaterial) ausgewiesen. Die normierten Dosisfaktoren [( $\mu\text{Sv/h}$ )/(Bq/g)] berücksichtigen dabei die Zeit gemäß Tabelle 4-6 (keine vordere Abschirmung, als Mittelwert für eine Entfernung von 1 m bis 5 m) und Tabelle 4-7 (vordere Überschüttung mit 0,2 m, als Mittelwert für eine Entfernung von 1 m bis 5 m) zu gleichen Teilen.

Tabelle 4-21: Dosisleistungsfaktoren für die Überschüttung von Bauschutt (1.000 Mg pro Jahr).

Nuklid	Überschüttung von Bauschutt (1.000 Mg pro Jahr)				
	Dosisleistung (normiert) ohne Überschüttung [( $\mu\text{Sv/h}$ ) pro (Bq/g)]	Dosisleistung (normiert) mit 0,2 m Überschüttung [( $\mu\text{Sv/h}$ ) pro (Bq/g)]	FGW [Bq/g]	Abschirm- faktor Kabine	Dosisleistung [ $\mu\text{Sv/h}$ ] (Ausschöpfung FGW 25 %)
Co-60	6,44E-02	1,99E-02	2	0,80	1,69E-02
Cs-137	1,34E-02	3,06E-03	8	0,75	1,23E-02
Eu-152	2,70E-02	7,45E-03	4	0,78	1,34E-02
Eu-154	3,27E-02	9,39E-03	4	0,79	1,66E-02

Tabelle 4-22: Dosisleistungsfaktoren für die Überschüttung von Isoliermaterial (100 Mg pro Jahr).

Nuklid	Überschüttung von Isoliermaterial (100 Mg pro Jahr)				
	Dosisleistung (normiert) ohne Überschüttung [( $\mu\text{Sv/h}$ ) pro (Bq/g)]	Dosisleistung (normiert) mit 0,2 m Überschüttung [( $\mu\text{Sv/h}$ )pro (Bq/g)]	FGW [Bq/g]	Kabinenabschirmfaktor	Dosisleistung [ $\mu\text{Sv/h}$ ] (Ausschöpfung FGW 25 %)
Co-60	6,44E-02	1,99E-02	6	0,80	5,06E-02
Cs-137	1,34E-02	3,06E-03	10	0,75	1,54E-02
Eu-152	2,70E-02	7,45E-03	10	0,78	3,36E-02
Eu-154	3,27E-02	9,39E-03	10	0,79	4,16E-02

Zur Berechnung der Einzelexpositionen werden für den Radlader-Fahrer beim Entladen des LKWs und Transport der Big-Bags sowie für den „Einschläufer“ beim Entladen die in Tabelle 4-13 bis Tabelle 4-18 ausgewiesenen Dosisfaktoren unter Berücksichtigung der in Tabelle 4-3 festgelegten Expositionszeiten herangezogen. Es werden folgende (abdeckende) Annahmen unterschieden:

- Ablagerung von 1.000 Mg Bauschutt pro Jahr und
- Ablagerung von 100 Mg Isoliermaterial pro Jahr

Für die Gesamtbetrachtung potenzieller Expositionen im Szenario D3 wird das Maximum aus beiden Berechnungsergebnissen herangezogen.

Die Ergebnisse für die Dosis des Radlader-Fahrers beim Entladen des LKWs sind in Tabelle 4-23 und Tabelle 4-24 ausgewiesen.

Tabelle 4-23: Dosisermittlung für den Radlader-Fahrer, Entladen des LKWs, Ablagerung von Bauschutt (1.000 Mg pro Jahr).

Nuklid	Ablagerung von Bauschutt (1.000 Mg pro Jahr)		
	Dosisleistung Bauschutt [ $\mu\text{Sv/h}$ ]	Zeit [h/a]	Jahresdosis [ $\mu\text{Sv/a}$ ]
Co-60	1,99E-02	67	1,33
Cs-137	1,76E-02		1,18
Eu-152	1,72E-02		1,15
Eu-154	2,03E-02		1,36



Tabelle 4-24: Dosisermittlung für den Radlader-Fahrer, Entladen des LKWs, Ablagerung von Isoliermaterial (100 Mg pro Jahr).

Nuklid	Ablagerung von Isoliermaterial (100 Mg pro Jahr)		
	Dosisleistung Isoliermaterial [μSv/h]	Zeit [h/a]	Jahresdosis [μSv/a]
Co-60	6,14E-02	33,6	2,06
Cs-137	2,44E-02		0,82
Eu-152	4,58E-02		1,54
Eu-154	5,33E-02		1,79

Die Ergebnisse für die Dosis des Radlader-Fahrers beim Transport der Big-Bags sind in Tabelle 4-25 und Tabelle 4-26 dargestellt.

Tabelle 4-25: Dosisermittlung für den Radlader-Fahrer, Transport der Big-Bags, Ablagerung von Bauschutt (1.000 Mg pro Jahr).

Nuklid	Ablagerung von Bauschutt (1.000 Mg pro Jahr)		
	Dosisleistung Bauschutt [μSv/h]	Zeit [h/a]	Jahresdosis [μSv/a]
Co-60	9,66E-03	33,5	0,32
Cs-137	8,69E-03		0,29
Eu-152	8,40E-03		0,28
Eu-154	9,90E-03		0,33

Tabelle 4-26: Dosisermittlung für den Radlader-Fahrer, Transport der Big-Bags, Ablagerung von Isoliermaterial (100 Mg pro Jahr).

Nuklid	Ablagerung von Isoliermaterial (100 Mg pro Jahr)		
	Dosisleistung Isoliermaterial [μSv/h]	Zeit [h/a]	Jahresdosis [μSv/a]
Co-60	1,27E-02	16,8	0,21
Cs-137	5,33E-03		0,09
Eu-152	9,78E-03		0,16
Eu-154	1,12E-02		0,19

Die Ergebnisse für die Dosis des „Einschlaufers“ beim Entladen des LKWs sind in Tabelle 4-27 und Tabelle 4-28 aufgeführt.

Tabelle 4-27: Dosisermittlung für den „Einschlauffer“, Entladen des LKWs, Ablagerung von Bauschutt (1.000 Mg pro Jahr).

Nuklid	Ablagerung von Bauschutt (1.000 Mg pro Jahr)				
	Dosisleistung Bau- schutt Abstand 2 m [ $\mu\text{Sv/h}$ ]	Zeit Ab- stand 2 m [h/a]	Dosisleistung Bau- schutt Abstand 0,5 m [ $\mu\text{Sv/h}$ ]	Zeit Abstand 0,5 m [h/a]	Jahresdosis [ $\mu\text{Sv/a}$ ]
Co-60	1,68E-02	33,5	5,87E-02	33,5	2,53
Cs-137	1,41E-02		4,98E-02		2,14
Eu-152	1,42E-02		4,97E-02		2,14
Eu-154	1,69E-02		5,92E-02		2,55

Tabelle 4-28: Dosisermittlung für den „Einschlauffer“, Entladen des LKWs, Ablagerung von Isolierma-  
terial (100 Mg pro Jahr).

Nuklid	Ablagerung von Isoliermaterial (100 Mg pro Jahr)				
	Dosisleistung Isolier- material Abstand 2 m [ $\mu\text{Sv/h}$ ]	Zeit Ab- stand 2 m [h/a]	Dosisleistung Isolier- material Abstand 0,5 m [ $\mu\text{Sv/h}$ ]	Zeit Abstand 0,5 m [h/a]	Jahresdosis [ $\mu\text{Sv/a}$ ]
Co-60	5,19E-02	16,8	1,64E-01	16,8	3,62
Cs-137	1,96E-02		6,20E-02		1,37
Eu-152	3,76E-02		1,19E-01		2,63
Eu-154	4,43E-02		1,40E-01		3,10

In Tabelle 4-29 und Tabelle 4-30 sind die Ergebnisse der Dosisermittlung für den Einbau zusammen-  
gestellt.

Tabelle 4-29: Dosisermittlung für den Einbau, Ablagerung von Bauschutt (1.000 Mg pro Jahr).

Nuklid	Ablagerung von Bauschutt (1.000 Mg pro Jahr)		
	Dosisleistung Bauschutt [ $\mu\text{Sv/h}$ ]	Zeit [h/a]	Jahresdosis [ $\mu\text{Sv/a}$ ]
Co-60	3,22E-02	33,5	1,08
Cs-137	2,68E-02		0,90
Eu-152	2,70E-02		0,90
Eu-154	3,27E-02		1,10

Tabelle 4-30: Dosisermittlung für den Einbau, Ablagerung von Isoliermaterial (100 Mg pro Jahr).

Nuklid	Ablagerung von Isoliermaterial (100 Mg pro Jahr)		
	Dosisleistung Isoliermaterial [ $\mu\text{Sv/h}$ ]	Zeit [h/a]	Jahresdosis [ $\mu\text{Sv/a}$ ]
Co-60	9,66E-02	16,8	1,62
Cs-137	3,35E-02		0,56
Eu-152	6,75E-02		1,13
Eu-154	8,18E-02		1,37

In Tabelle 4-31 und Tabelle 4-32 sind die Ergebnisse der Dosisermittlung für die Überschüttung der eingebauten Chargen zusammengestellt.

Tabelle 4-31: Dosisermittlung für die Überschüttung, Ablagerung von Bauschutt (1.000 Mg pro Jahr).

Nuklid	Ablagerung von Bauschutt (1.000 Mg pro Jahr)		
	Dosisleistung Isoliermaterial [ $\mu\text{Sv/h}$ ]	Zeit [h/a]	Jahresdosis [ $\mu\text{Sv/a}$ ]
Co-60	1,69E-02	10	0,17
Cs-137	1,23E-02		0,12
Eu-152	1,34E-02		0,13
Eu-154	1,66E-02		0,17

Tabelle 4-32: Dosisermittlung für die Überschüttung, Ablagerung von Isoliermaterial (100 Mg pro Jahr).

Nuklid	Ablagerung von Isoliermaterial (100 Mg pro Jahr)		
	Dosisleistung Isoliermaterial [ $\mu\text{Sv/h}$ ]	Zeit [h/a]	Jahresdosis [ $\mu\text{Sv/a}$ ]
Co-60	5,06E-02	3	0,15
Cs-137	1,54E-02		0,05
Eu-152	3,36E-02		0,10
Eu-154	4,16E-02		0,12

In Tabelle 4-33 sind die ermittelten Dosiswerte der Exposition für das Szenario 2 zusammengefasst. Hierbei handelt es sich um eine potenzielle Exposition, die sich durch den Aufenthalt auf der eingebauten und überdeckten (Abdeckmächtigkeit 0,1 m) Ablagerung ergibt. Die spezifische Aktivität wurde unter Berücksichtigung der durch KKV abzulagernden Gesamtaktivität berechnet (siehe Tabelle 4-12), so dass hier Ablagerungen von Bauschutt und Ablagerungen von Isoliermaterial berücksichtigt sind. Für die zu betrachtenden Tätigkeiten im Szenario 2 wird angenommen, dass sich die Person vorwiegend im Radlader befindet (75 % Arbeit im Radlader und 25 % Arbeit im Freien).

Tabelle 4-33: Dosisermittlung für Teilszenario 2.

Nuklid	normierter Dosisleistungsfaktor ( $\mu\text{Sv/h}$ pro (Bq/g))	Spezif. Aktivität Bq/g	Aufenthaltsdauer [h]	Abschirmfaktor Kabine <sup>a</sup>	Anteil Kabine <sup>a</sup>	Jahresdosis [ $\mu\text{Sv/a}$ ]
Co-60	2,07E-01	0,44	50	0,80	75 %	3,88
Cs-137	3,51E-02	1,51		0,75		2,15
Eu-152	8,01E-02	0,85		0,78		2,83
Eu-154	9,93E-02	0,85		0,79		3,54

<sup>a</sup> Der Abschirmfaktor für die Kabine wird jeweils für den angegebenen Anteil (der Zeit) berücksichtigt, für den Rest der Zeit nicht.

Analog zur Expositionsermittlung für Teilszenario 2 wird die Exposition für Teilszenario 3 ermittelt. Mit Hilfe von Tabelle 4-7 und Tabelle 4-9 ist zu erkennen, dass dabei Teilszenario 3b (Aufenthalt vor der Ladekante, Überschüttung 0,2 m) zu einer höheren Exposition führt als Teilszenario 3a (Aufenthalt neben der Einlagerungsschicht). Entsprechend wird im weiteren hier immer Teilszenario 3b verwendet. Die Berechnungsergebnisse sind in Tabelle 4-34 zusammengestellt.

Tabelle 4-34: Dosisermittlung für Teilszenario 3b.

Nuklid	normierter Dosisleistungsfaktor [( $\mu\text{Sv/h}$ )/(Bq/g)]	Spezif. Aktivität Bq/g	Aufenthaltsdauer [h]	Abschirmfaktor Kabine <sup>a</sup>	Anteil Kabine <sup>a</sup>	Jahresdosis [ $\mu\text{Sv/a}$ ]
Co-60	1,11E-03	0,44	950	0,80	75 %	0,42
Cs-137	1,64E-04	1,51		0,75		0,19
Eu-152	4,13E-04	0,85		0,78		0,28
Eu-154	5,23E-04	0,85		0,79		0,35

<sup>a</sup> Der Abschirmfaktor für die Kabine wird jeweils für den angegebenen Anteil (der Zeit) berücksichtigt, für den Rest der Zeit nicht.

Für die Gesamtdosis im Szenario D3 werden die Einzelergebnisse addiert. Dabei ist zu berücksichtigen, dass im Teilszenario 1 eine Person nur als Radlader-Fahrer oder „Einschlauffer“ arbeiten kann. Für die weiteren Teilszenarios wird davon ausgegangen, dass dies dieselbe Person wie im Teilszenario 1 betrifft. Die Betrachtungen hier unterstellen damit konservativ, dass im Szenario D3 eine einzelne Person betroffen ist. Demnach spielt für die Berechnungen die Anzahl der Mitarbeiter der Deponie keine Rolle. Für die Teilszenarien, in welchen entweder die Ablagerung von 1.000 Mg pro Jahr Bauschutt oder die Ablagerung von 100 Mg pro Jahr Isoliermaterial zu unterscheiden ist, wird jeweils konservativ der Fall für die Summierung verwendet, der zur höheren Dosis führt.

Die Ergebnisse der Dosisermittlung durch Summation für Szenario D3 sind in Tabelle 4-35 und Tabelle 4-36 zusammengestellt.

Tabelle 4-35: Dosisermittlung D3, Person arbeitet als Radlader-Fahrer, Werte der Jahresdosis in [ $\mu\text{Sv/a}$ ].

Nuklide	Radlader LKW	Radlader Fahrt	Einbau Deponie	Überschüttung Ladekante	Aufenthalt Einlagerung	Aufenthalt restliche Arbeitszeit	Summe
Co-60	2,06	0,32	1,62	0,17	3,88	0,42	8,5
Cs-137	1,18	0,29	0,90	0,12	2,15	0,19	4,8
Eu-152	1,54	0,28	1,13	0,13	2,83	0,28	6,2
Eu-154	1,79	0,33	1,37	0,17	3,54	0,35	7,6

Tabelle 4-36: Dosisermittlung D3, Person arbeitet als „Einschlauffer“, Werte der Jahresdosis in [ $\mu\text{Sv/a}$ ].

Nuklide	„Einschlauffer“ LKW	Einbau Deponie	Überschüttung Ladekante	Aufenthalt Einlagerung	Aufenthalt restliche Arbeitszeit	Summe
Co-60	3,62	1,62	0,17	3,88	0,42	9,7
Cs-137	2,14	0,90	0,12	2,15	0,19	5,5
Eu-152	2,63	1,13	0,13	2,83	0,28	7,0
Eu-154	3,10	1,37	0,17	3,54	0,35	8,5

Das Dosiskriterium von  $10 \mu\text{Sv/a}$  wird für alle vier betrachteten Nuklide im Fall der Ausschöpfung der Freigabewerte nach Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8 StrlSchV bzw. nach Anl. 4 Tab. 1 Sp. 10 StrlSchV von jeweils 25 % im Mittel über alle freizugebenden Chargen eingehalten. Der größte Anteil der berechneten Exposition stammt aus dem Teilszenario 2 (Aufenthalt auf der eingebauten und überdeckten Ablagerung, Abdeckmächtigkeit 0,1 m). Die Arbeiten als Radlader-Fahrer bzw. „Einschlauffer“ verursachen ebenfalls einen hohen Anteil an der potenziellen Gesamtexposition.

Für die in diesem Szenario nicht explizit betrachteten Nuklide Nb-94, Ag-108m, Sb-125 und Ba-133, welche durch die Betrachtung von Co-60 abgedeckt sind, ergeben sich die jährlichen Aktivitätsbegrenzungen analog. Die maximalen Aktivitätsablagerungen ergeben sich aus der jährlichen Aktivitätsbegrenzungen (Ablagerung von 1.000 Mg, FGW nach Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8 StrlSchV und Ablagerung von 9.000 Mg, FGW nach Anl. 4 Tab. 1 Sp. 10 StrlSchV, Ausschöpfung der FGW jeweils von 25 %).

Eine entsprechende Bilanzierung der jeweiligen Jahres-Aktivitätsabgaben ist somit erforderlich und im Rahmen der üblichen Freigabeanforderungen ohne großen Zusatzaufwand möglich.

Die jährlich einzuhaltende Aktivitätsbegrenzung ergibt sich gemäß Tabelle 4-39.

Tabelle 4-37: Begrenzung der Ablagerung der jährliche Aktivität resultierend aus Szenario D3: Einlagerung auf der Deponie

Nuklid	Begrenzung der jährlichen Ablagerungsaktivität [Bq]	
	bei Freigabe von Isoliermaterial unter Anwendung Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8 (25 % Ausschöpfung FGW)	bei Freigabe von Bauschutt unter Anwendung Anl. 4 Tab. 1 Sp. 10 (25 % Ausschöpfung FGW)
Co-60	1,5E+08	5,0E+08
Nb-94	2,5E+08	7,5E+08
Ag-108m	2,3E+08	2,5E+08
Sb-125	1,0E+09	2,5E+09
Ba-133	1,0E+09	2,5E+09
Cs-137	2,5E+08	2,0E+09
Eu-152	2,5E+08	1,0E+09
Eu-154	2,5E+08	1,0E+09

Die gesamte Einlagerungsaktivität wird für die in Tabelle 4-38 aufgeführten Nuklide begrenzt:

Tabelle 4-38: Begrenzung der Gesamtaktivität resultierend aus Szenario D3: Einlagerung auf der Deponie

Nuklid	Begrenzung der Gesamtaktivität [Bq]
Co-60	6,0E+09
Nb-94	9,3E+09
Ag-108m	4,5E+09
Sb-125	3,3E+10
Ba-133	3,3E+10
Cs-137	2,1E+10
Eu-152	1,2E+10
Eu-154	1,2E+10

#### 4.2.4.2. Erweiterte Abdeckung

Es ist vorgesehen, dass das durch KKU angelieferte Material analog der für asbesthaltige Abfälle bestehenden Betriebsanweisung beim Einbau mit mindestens 0,1 m Bauschutt überdeckt wird. Unter dieser Randbedingung wurde die Dosisberechnung gemäß Abschnitt 4.2.4.1 für die Nuklide Co-60, Cs-137, Eu-152 und Eu-154 durchgeführt.

In diesem Abschnitt sollen die Auswirkungen von Abdeckungen verschiedener Dicke auf die potenzielle Exposition im Szenario D3 (Begrenzung der jährlichen und der Gesamtaktivitätseinlagerung)

betrachtet werden, wobei die Dicke der oberen Abdeckung mit Bauschutt mit 0,2 m betrachtet wird. Die Mächtigkeit der Überschüttung der Ladekante wird dagegen konstant mit 0,2 m angesetzt.

Gemäß Tabelle 4-8 reduziert die Erhöhung der Mächtigkeit der Bauschuttdeckung um 0,1 m (d. h. 0,2 m statt 0,1 m) die normierte Ortsdosisleistung im Teilszenario 2 um ca. den Faktor 2. Für Teilszenario 1 ergeben sich dagegen keine Reduktionen der normierten Ortsdosisleistungen, da hier keine Abdeckung berücksichtigt wird. Für das Teilszenario 3b wird generell von einer Überschüttungsmächtigkeit von 0,2 m ausgegangen, so dass sich hier ebenfalls keine Reduktion der normierten Ortsdosisleistung ergibt.

Für die Berechnung mit erhöhter Abdeckmächtigkeit in Teilszenario 2 wird eine Ausschöpfung der Freigabewerte nach Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8 StrlSchV für eine Freigabe von 100 Mg/a und nach Anl. 4 Tab. 1 Sp. 10 StrlSchV für eine Freigabe von 1.000 Mg/a von jeweils **33 %** bei voller Ausschöpfung dieser Freigabemengen angenommen. Dadurch erhöht sich in allen Teilszenarien (außer Teilszenario 2) die jeweils berechnete Exposition durch die höheren Aktivitätskonzentrationen.

Die Gesamtbetrachtung ist in Tabelle 4-39 und Tabelle 4-40 zusammengestellt.

Tabelle 4-39: Dosisermittlung D3, Person arbeitet als Radlader-Fahrer, Werte der Jahresdosis in [ $\mu\text{Sv/a}$ ]. (Abdeckmächtigkeit 0,2 m, Ausschöpfung FGW 33 %).

Nuklid	Radlader LKW	Radlader Fahrt	Einbau Deponie	Überschüttung Ladekante	Aufenthalt Einlagerung	Aufenthalt restliche Arbeitszeit	Summe
Co-60	2,72	0,43	2,14	0,22	2,34	0,52	8,4
Cs-137	1,55	0,38	1,19	0,16	1,08	0,25	4,6
Eu-152	2,03	0,37	1,50	0,18	1,62	0,37	6,1
Eu-154	2,36	0,44	1,81	0,22	2,08	0,47	7,4

Tabelle 4-40: Dosisermittlung D3, Person arbeitet als „Einschlauffer“, Werte der Jahresdosis in [ $\mu\text{Sv/a}$ ]. (Abdeckmächtigkeit 0,2 m, Ausschöpfung FGW 33 %).

Nuklid	„Einschlauffer“ LKW	Einbau Deponie	Überschüttung Ladekante	Aufenthalt Einlagerung	Aufenthalt restliche Arbeitszeit	Summe
Co-60	4,78	2,14	0,22	2,34	0,52	10,0
Cs-137	2,82	1,19	0,16	1,08	0,25	5,5
Eu-152	3,48	1,50	0,18	1,62	0,37	7,1
Eu-154	4,09	1,81	0,22	2,08	0,47	8,7

Es zeigt sich, dass bei einer höheren mittleren Ausschöpfung der FGW (33 % statt 25 %) die Erhöhung der Mächtigkeit der Abdeckschicht von 0,1 m auf 0,2 m erforderlich und auch ausreichend ist, um das Dosiskriterium 10  $\mu\text{Sv/a}$  einzuhalten.



Eine analoge Berechnung mit einer Ausschöpfung von 40 % der FGW zeigt, dass die Mächtigkeit der Abdeckschicht auf 0,34 m erhöht werden muss, um die Einhaltung des Dosiskriteriums rechnerisch zu gewährleisten.

#### **4.2.4.3. Versagen von Big-Bags**

Die Betrachtungen in den Abschnitten 4.2.4.1 und 4.2.4.2 gehen von Anlieferung und Einbau in intakten Big-Bags aus. Damit verbunden sind folgende Randbedingungen:

1. Es erfolgt eine zeitnahe Überschüttung mit mindestens 0,1 m Bauschutt.
2. Es kommt zu keiner signifikanten Staubfreisetzung bei Anlieferung und Einlagerung der Big-Bags.

In diesem Abschnitt soll betrachtet werden, inwieweit das Versagen einzelner Big-Bags zu zusätzlichen, nicht durch die bisherigen Betrachtungen abgedeckten potenziellen Expositionen führen kann.

Soweit eine Beschädigung des Big-Bags auf dem Weg zur Ablagerung erfolgt, wird gemäß den Vorgaben mit asbesthaltigen Abfällen vorgegangen: Mitarbeiter ziehen in diesem Fall persönliche Schutzkleidung (Einweg) mit partikelfiltrierenden Halbmasken an und befeuchten den Abfall bzw. den beschädigten Big-Bag. Anschließend kann der beschädigte Big-Bag entweder unter Verwendung von Dichtband/Dichtfolien verschlossen [TÜV 19] oder in einem Über-Big-Bag umverpackt und zur Ablagerung weitertransportiert werden [PEL 20].

Das Abladen eines versagenden Big-Bags führt zu Staubentstehungen, die bisher nicht in diesem EFN berücksichtigt wurden. Durch die anzuwendende Vorgehensweise analog zum Umgang mit asbesthaltigen Abfällen wird jedoch eine potenzielle Exposition der Mitarbeiter durch Inhalation bzw. Direktgestion durch defekte Big-Bags nahezu komplett unterbunden.

Gemäß [PEL 20] ist bei weniger als 1 % der Big-Bags von einer Beschädigung auszugehen, die einen direkten Einbau nicht erlauben<sup>10</sup>. In diesem Fall muss der beschädigte Big-Bag umverpackt werden. Dafür werden maximal 30 min pro beschädigten Big-Bag benötigt. Bei einer Anzahl von 1.000 Big-Bags pro Jahr (Bauschutt, bei Isoliermaterial entsprechend weniger) entspricht dies für 1 % der Big-Bags einer Gesamtzeit von 5 h im Jahr (Bauschutt) bzw. 2,5 h (Isoliermaterial). Die Dosisleistung, der die Mitarbeiter dabei durch den betroffenen Big-Bag ausgesetzt sind, ist vergleichbar groß mit der Dosisleistung, die für den Transport der Big-Bags mit dem Radlader berechnet wurde (siehe Tabelle 4-17 bzw. Tabelle 4-18). Die resultierende Exposition durch den betroffenen Big-Bag ist daher kleiner als 0,1  $\mu\text{Sv}$  pro Jahr. Es muss unterstellt werden, dass der Umgang mit dem beschädigten Big-Bag in der Nähe des LKWs stattfindet, der abgeladen wird [PEL 20]. Bei einem Abstand von 2 m vom LKW ergibt sich eine Dosisleistung entsprechend Tabelle 4-13 bzw. Tabelle 4-14. Die daraus resultierende potenzielle Exposition liegt im Bereich von 0,15  $\mu\text{Sv}$  pro Jahr.

---

<sup>10</sup> Es ist zu berücksichtigen, dass bei der Sichtkontrolle im Eingangsbereich bereits auf beschädigte Big-Bags kontrolliert wird. Bei dort festgestellten beschädigten Big-Bags wird kein Einlagerungsversuch unternommen und die beschädigten Big-Bags werden an das KKV zurückgeschickt [PEL 19]. Dadurch wird sichergestellt, dass der Anteil Big-Bags, deren Beschädigung erst beim Abladen bemerkt wird, sehr gering ist.

#### **4.2.5. O1: Nutzung von Oberflächenwasser**

Die Annahmen aus [SSK 06] bei der Ermittlung der potenziellen Exposition für das Expositionsszenario O1 aufgrund der lokalen Gegebenheiten für die Zentraldeponie Brake-Käseburg nicht vollständig anwendbar. Insbesondere ist hier ein deutlich geringerer Jahresdurchsatz der Zentraldeponie Brake-Käseburg zu vermerken. Außerdem ist im vorliegenden Fall zu berücksichtigen, dass ein sehr großer Teil des Deponiekörpers (83 %) schon belegt ist und die Ablagerungen aus der geplanten Freigabe zur Beseitigung nur auf den verbleibenden ca. 17 % Deponievolumen erfolgen werden. Daher ist eine explizite Betrachtung im vorliegenden EFN erforderlich.

Es wird folgendes konservativ-vereinfachendes Modell betrachtet:

- Die Flächenabmessung der Deponiekrone, die derzeit noch nicht mit einer Oberflächenabdichtung versehen ist, beträgt gemäß Abbildung 2-1 ca. 30.800 m<sup>2</sup>. Für das Modell wird diese Fläche durch ein Quadrat mit den Abmessungen 175 m × 175 m abgebildet.
- Auf die Deponie wird über die gesamte Fläche eine 1 m mächtige Schicht abgelagert, die die kompletten spezifischen Freigabemengen aus KKV beinhaltet:
  - Freigabe unter Anwendung der Freigabewerte nach Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8 StrlSchV: 1.000 Mg
  - Freigabe unter Anwendung der Freigabewerte nach Anl. 4 Tab. 1 Sp. 10 StrlSchV: 9.000 Mg
- Die für die spezifische Freigabe zur Beseitigung auf Deponien aus dem KKV vorgesehene Abfallmenge reicht nicht aus, um auf eine Fläche von 175 m × 175 m eine 1 m mächtige Schicht aufzubringen. Die Abmessungen der Deponie (siehe Abbildung 2-1) lassen aber den Schluss zu, dass die noch für eine Ablagerung zur Verfügung stehende Fläche in etwa diese Ausdehnung aufweist. Für Überlegungen, die eine Durchsickerung der Abfallschicht betrachten, wird daher von einer solchen Fläche ausgegangen, die dann zwangsläufig auch Material, das nicht aus der Freigabe des KKV stammt (sonstige Ablagerungen auf der Deponie, Überdeckungsmaterial, schon bestehende Ablagerung), beinhaltet. Eine Ablagerung des zur Freigabe aus dem KKV vorgesehenen Materials in einer dünneren Schicht ist auf Grund der Abmessungen der Big-Bags nicht möglich. Das aus einer oberen 1 m mächtigen und 175 m × 175 m ausgedehnten Schicht resultierende Volumen beträgt ca. 30.800 m<sup>3</sup> und ist damit mehr als dreimal größer als das vom KKV geplante Einlagerungsvolumen (ca. 8.300 m<sup>3</sup>). Die Annahme ist konservativ im Hinblick auf das tatsächlich verfügbare restliche Einlagerungsvolumen (siehe Abschnitt 2.1).
- In den jeweiligen Freigabemengen werden die Freigabewerte zu 100 % ausgeschöpft.<sup>11</sup> Die Berechnungen erfolgen für alle Nuklide gemäß Abschnitt 3. Die Darstellung von Ergebnissen beschränkt sich dagegen auf radiologisch relevante Nuklide.
- Es wird während der Betriebszeit der Deponie eine Sickerwasserrate gemäß [SKK 06] von 0,3 m/a angesetzt.

---

<sup>11</sup> Generell werden in den Betrachtungen zu einzelnen Szenarien Ausschöpfungen der FGW primär nicht eingeschränkt (Ausnahme Szenario D3), um komplexe und ggf. nicht mit endlichem Aufwand zu bilanzierende Einschränkungen nicht erforderlich zu machen. Bei der anschließenden Bewertung hinsichtlich der Einhaltung des Dosiskriteriums wird allerdings ggf. auf Einschränkungen, die sich aus der Betrachtung weiterer Szenarien ergeben, verwiesen.

- Das Sickerwasser durchströmt die Deponie und wird an der Basis gefasst und abgeleitet.
- Die Aktivitätskonzentration im Sickerwasser wird unter Verwendung der  $K_d$ -Werte (Tabelle 4-1, Deponie), die auch für die Berechnung in [SSK 06] verwendet wurden, mit Hilfe des Modells in ECOLEGO [FAC 17] für eine normierte Aktivitätskonzentration von 1 Bq/g in der Ablagerungsschicht berechnet. Die Verwendung eines numerischen Modells unter Berücksichtigung der Geometrie und Eigenschaften des Deponiematerials, zur Berechnung der Aktivitätskonzentration der relevanten Nuklide erlaubt eine detailliertere Betrachtung der Radionuklidmigration durch den Deponiekörper. Abweichend vom sonstigen Vorgehen (siehe auch Abschnitt 4.2.7) wird hier konservativ eine Restlaufzeit der Deponie (bis zur Installation der Oberflächenabdeckung) von 50 a angesetzt, um das Maximum der Sickerwasserkonzentration zu erfassen. Aus der Sickerwasserkonzentration (normiert) und der jährlich anfallenden Sickerwassermenge (ca. 30.800 m<sup>3</sup> Fläche und ca. 0,3 m/a Sickerwasserrate ergibt ca. 9.200 m<sup>3</sup>/a) ergibt sich der jährliche Aktivitätsaustrag (normiert) für jedes Nuklid. Die nuklidspezifische Sickerwasserkonzentration und der nuklidspezifische Aktivitätsaustrag wird aus den Annahmen gemäß Abschnitt 3 unter Ausschöpfung von jeweils 100 % der FGW für jedes Nuklid separat berechnet.
- Der anfallende Sickerwasserstrom wird über die Kläranlage geleitet. Dort werden die Partitionierungsfractionen für das Abwasser bzw. Klärschlamm gemäß [SSK 06] (siehe Tabelle 4-41) berücksichtigt.
- Der aus der Kläranlage anfallende Abwasserstrom wird in die Weser geleitet. Dort erfolgt eine Verdünnung mit 6,4 % des MQ der Weser (MQ Weser Pegel Intschede: 322 m<sup>3</sup>/s [NLW 17]). Dieser Ansatz unterstellt konservativ, dass eine Entnahme des Wassers aus der Weser für eine Nutzung (siehe unten) im unmittelbaren Abstrom erfolgt. Eine Verdünnung mit weniger als 6,4 % des MQ ist nicht möglich, da einerseits die Einleitung des Abwassers aus der Kläranlage der Deponie nicht direkt am Ufer erfolgt, andererseits eine Entnahme aber im Uferbereich erfolgen würde.

In Tabelle 4-41 sind die Partitionierungsfractionen entsprechend [SSK 06] zusammengestellt, wobei sich die Summe der Anteile in den einzelnen Kompartimenten konservativ zu > 100 % addiert.

Tabelle 4-41: Partitionierungsfaktoren gem. [SSK 06] für den Übergang in Klärschlamm und geklärtes Abwasser bei Szenario O1.

Radionuklid	Übergang	
	ins Abwasser	in Klärschlamm
H-3, Cl-36, Ca-41	100 %	10 %
C-14, Pu-Isotope, Am-241, Cm-243, Cm-244	10 %	100 %
Sonstige in diesem Bericht berücksichtigte Nuklide	100 %	100 %

Eine schematische Darstellung des Sickerwassermodells der Deponie ist in Abbildung 4-7 zu sehen.

In Abbildung 4-8 ist der mit ECOLEGO [FAC 17] berechnete Verlauf der normierten Sickerwasserkonzentration für ausgewählte Nuklide dargestellt. Abbildung 4-9 zeigt den daraus ermittelten normierten jährlichen Aktivitätsaustrag.

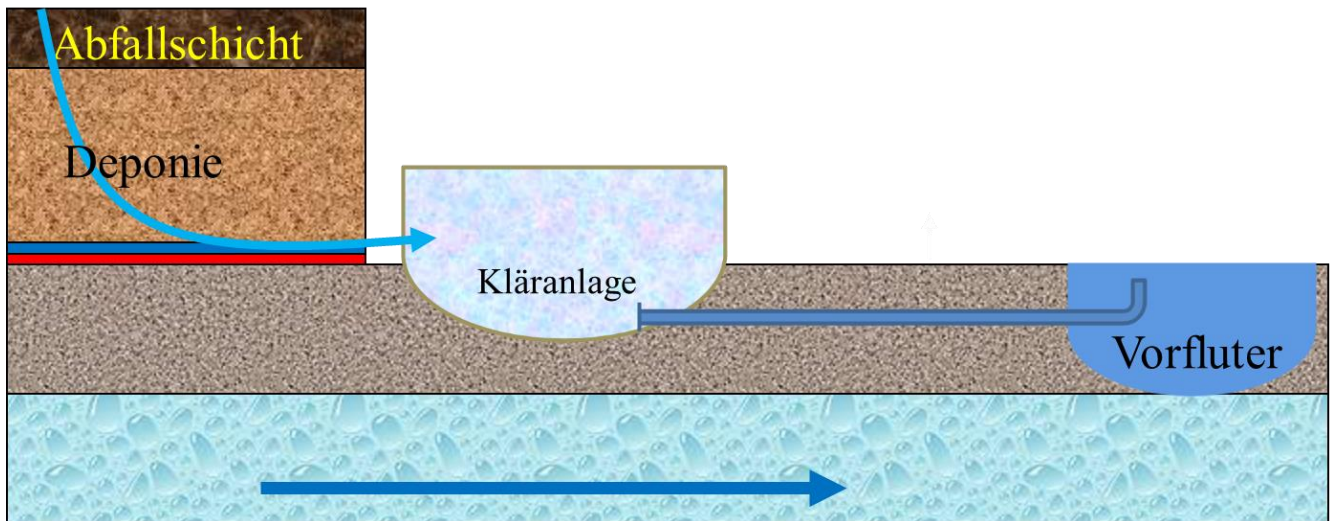


Abbildung 4-7: Modell zur Ermittlung der Aktivität im Oberflächenwasser.

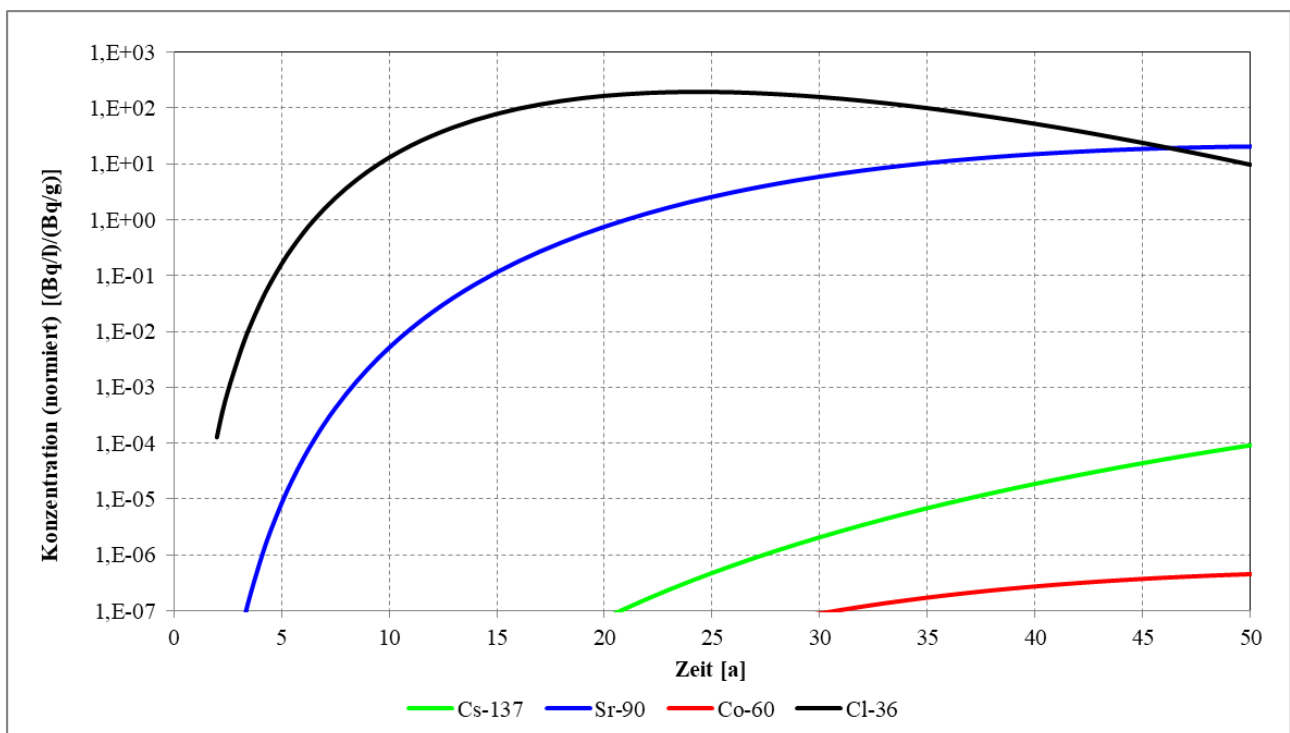
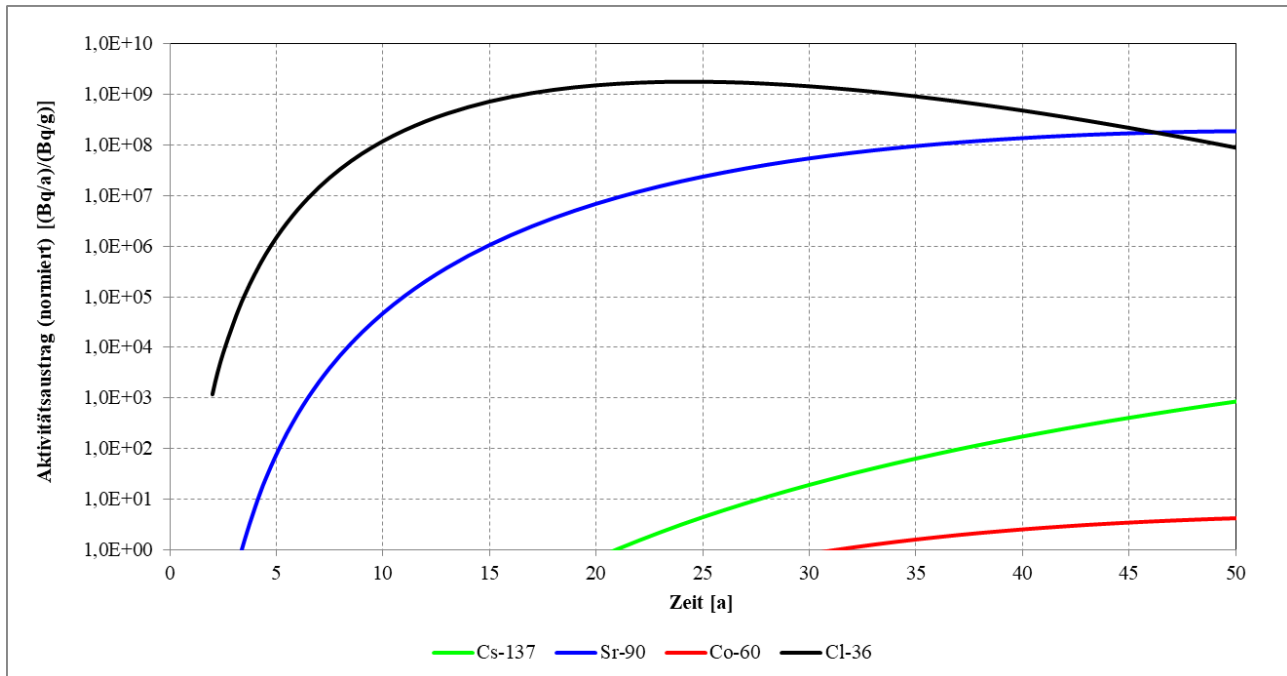


Abbildung 4-8: Aktivitätskonzentrationen (normiert) im Sickerwasser, Ergebnisse der Berechnungen mit ECOLEGO [FAC 17].



**Abbildung 4-9:** Jährlicher Aktivitätsausstrag (normiert) mit dem Sickerwasser, Ergebnisse der Berechnungen mit ECOLEGO [FAC 17].

Zur Dosisberechnung werden folgende Nutzungsarten des Oberflächenwassers gemäß [SSK 06] unterstellt:

- Trinkwassergewinnung,
- Beregnung von Feldern,
- Beregnung von Viehweiden,
- Tränke von Nutztieren und
- Befüllung von Fischteichen.

Die daraus jeweils für die am höchsten belastete Altersgruppe resultierenden Dosiskoeffizienten ( $\mu\text{Sv/a}$  pro  $\text{Bq/l}$ ) sind in Tabelle 4-42, Spalte 2 aufgeführt.

Die Ergebnisse der oben beschriebenen Berechnung der jährlichen Aktivitätsabgabe mit dem Sickerwasser sind in Tabelle 4-42, Spalte 3 aufgeführt. Diese Werte werden durch den berücksichtigten Abfluss des Vorfluters (6,4 % von  $322 \text{ m}^3/\text{s}$ , entspricht  $6,5 \cdot 10^{11} \text{ l/a}$ ) geteilt, so dass sich die Aktivitätskonzentration im Nutzwasser des Vorfluters ergibt (Tabelle 4-42, Spalte 4).

Die gesamte Aktivität in der Durchsickerungsschicht ergibt sich aus den FGW (Tabelle 4-42, Spalte 5 und Spalte 6) und den insgesamt angenommenen Freigabemengen (1.000 Mg gemäß Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8 StrlSchV und 9.000 Mg gemäß Anl. 4 Tab. 1 Sp. 10 StrlSchV). Dieser Wert wird durch die Gesamtmasse der Durchsickerungsschicht geteilt ( $175 \text{ m} \times 175 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ , Dichte  $1,2 \text{ Mg/m}^3$  entspricht ca.  $37.000 \text{ Mg}$ ). Damit erhält man die spezifische Aktivitätskonzentration der Durchsickerungsschicht, die in Tabelle 4-42, Spalte 7 angegeben ist.

Für diese Expositionsszenarien wird die potenzielle nuklidspezifische Exposition berechnet. Dabei werden jeweils die Spalten 2, 4 und 7 der Tabelle 4-42 multipliziert. Die resultierende potenzielle Jahresdosis ergibt sich für alle Nuklide, die bei der Freigabe aus dem KKKU relevant sein könnten mit Werten  $\ll 1 \mu\text{Sv/a}$ .

Tabelle 4-42: Potenzielle Exposition berechnet für das Szenario O1.

Nuklid	Dosiskoeffizient [ $\mu\text{Sv/a pro Bq/l}$ ]	Aktivitätsabgabe mit dem Sickerwasser [ $\text{Bq/a pro Bq/g}$ ]	Aktivitätskonzentration im Oberflächenwasser [ $\text{Bq/l pro Bq/g}$ ]	FGW (8) [ $\text{Bq/g}$ ]	FGW (10) [ $\text{Bq/g}$ ]	Spez. Aktivität in Durchsickerungsschicht [ $\text{Bq/g}$ ]	Resultierende Jahresdosis [ $\mu\text{Sv/a}$ ]
H-3	8,64E-02	5,03E+08	7,73E-04	6E+04	6E+03	3,10E+03	2,07E-01
C-14	1,61E+01	1,56E-06	2,40E-18	4E+03	4E+02	2,07E+02	7,98E-15
Cl-36	2,93E+02	1,80E+09	2,77E-03	3E+00	3E-01	1,55E-01	1,26E-01
Ca-41	3,47E+00	6,34E+08	9,76E-04	2E+02	2E+01	1,03E+01	3,50E-02
Mn-54	2,18E+00	4,00E+01	6,15E-11	1E+01	6E+00	1,74E+00	2,34E-10
Fe-55	3,45E+00	2,51E-02	3,86E-14	1E+04	7E+03	1,99E+03	2,64E-10
Co-60	2,39E+01	4,31E+00	6,63E-12	6E+00	2E+00	6,53E-01	1,03E-10
Ni-63	1,40E+00	2,18E+03	3,35E-09	1E+04	1E+03	5,17E+02	2,43E-06
Zn-65	4,52E+01	5,94E+00	9,14E-12	1E+01	8E+00	2,23E+00	9,22E-10
Sr-90	1,98E+02	1,90E+08	2,93E-04	6E+00	6E-01	3,10E-01	1,80E-02
Nb-94	4,54E+01	3,08E+03	4,73E-09	1E+01	3E+00	1,01E+00	2,16E-07
Ru-106	3,31E+01	1,54E+02	2,37E-10	7E+01	2E+01	6,80E+00	5,34E-08
Ag-108m	1,30E+02	5,84E+08	8,98E-04	9E+00	1E+00	4,90E-01	5,72E-02
Ag-110m	5,23E+01	7,09E+00	1,09E-11	6E+00	2E+00	6,53E-01	3,73E-10
Sb-125	6,08E+00	1,04E+05	1,60E-07	4E+01	1E+01	3,54E+00	3,44E-06
Ba-133	1,00E+01	2,75E+07	4,23E-05	4E+01	1E+01	3,54E+00	1,50E-03
Cs-134	8,28E+01	2,45E-03	3,77E-15	1E+01	3E+00	1,01E+00	3,14E-13
Cs-137	6,59E+01	9,74E+02	1,50E-09	1E+01	8E+00	2,23E+00	2,20E-07
Ce-144	2,59E+01	5,56E-07	8,56E-19	1E+02	1E+02	2,72E+01	6,03E-16
Eu-152	6,72E+00	2,38E+02	3,67E-10	1E+01	4E+00	1,25E+00	3,08E-09
Eu-154	1,05E+01	5,46E+01	8,41E-11	1E+01	4E+00	1,25E+00	1,10E-09
Eu-155	1,80E+00	2,13E+00	3,28E-12	1E+02	1E+02	2,72E+01	1,61E-10
U-234	1,72E+02	3,08E+03	4,74E-09	6E+00	6E-01	3,10E-01	2,53E-07
U-235	1,85E+02	3,08E+03	4,74E-09	3E+00	3E-01	1,55E-01	1,36E-07
U-238	1,54E+02	3,08E+03	4,74E-09	6E+00	6E-01	3,10E-01	2,27E-07
Pu-238	1,63E+03	1,06E-06	1,62E-18	1E+00	1E+00	2,72E-01	7,21E-16
Pu-239	1,71E+03	1,57E-06	2,41E-18	1E+00	5E-01	1,50E-01	6,16E-16
Pu-240	1,71E+03	1,56E-06	2,41E-18	1E+00	6E-01	1,74E-01	7,16E-16
Pu-241	6,76E+01	1,40E-07	2,16E-19	1E+02	4E+01	1,25E+01	1,82E-16



Nuklid	Dosiskoeffizient [ $\mu\text{Sv/a pro Bq/l}$ ]	Aktivitätsabgabe mit dem Sickerwasser [ $\text{Bq/a pro Bq/g}$ ]	Aktivitätskonzentration im Oberflächenwasser [ $\text{Bq/l pro Bq/g}$ ]	FGW (8) [ $\text{Bq/g}$ ]	FGW (10) [ $\text{Bq/g}$ ]	Spez. Aktivität in Durchsickerungsschicht [ $\text{Bq/g}$ ]	Resultierende Jahresdosis [ $\mu\text{Sv/a}$ ]
Am-241	1,52E+03	1,49E-06	2,30E-18	1E+00	1E+00	2,72E-01	9,49E-16
Cm-243	1,31E+03	4,77E-07	7,33E-19	1E+00	1E+00	2,72E-01	2,61E-16
Cm-244	1,19E+03	2,31E-07	3,56E-19	1E+01	5E+00	1,50E+00	6,33E-16

Damit resultiert aus der geplanten spezifischen Freigabe aus dem KKV bei der Deponierung des spezifisch freigegebenen Materials auf der Zentraldeponie Brake-Käseburg bei Einhaltung der FGW der StrlSchV über das Szenario O1 keine Exposition, die das Dosiskriterium  $10 \mu\text{Sv/a}$  erreicht oder überschreitet. Die teilweise sehr geringen jährlichen Aktivitätsausträge werden durch die Sorption am Feststoff der durchsickerten Schichten verursacht ( $K_d$ -Werte siehe Tabelle 4-1). Entsprechend werden hohe Aktivitätsausträge für Nuklide berechnet, denen gemäß Tabelle 4-1 hohe  $K_d$ -Werte in der Deponie zuzuordnen sind, und deren Halbwertszeit (siehe Tabelle 3-1) deutlich größer ist als die benötigte Zeit zum Durchsickern der Deponie (z. B. Cl-36, Sr-90, Ag-108m, Ba-133).

Die bisher auf der Zentraldeponie Brake-Käseburg erfolgten freigabeäquivalenten Ablagerungen (beide BA) summieren sich (zerfallskorrigiert auf Stichtag 01.06.2018) auf  $3,2 \cdot 10^6 \text{ Bq}$  und sind daher, unabhängig von der Nuklidzusammensetzung, nicht relevant bezüglich der oben angenommenen jährlichen Aktivitätsableitungen mit dem Sickerwasser.

Die auf dem BA-Süd der Zentraldeponie Brake-Käseburg erfolgten freigabeäquivalenten Ablagerungen betragen  $6,4 \cdot 10^5 \text{ Bq}$  (zerfallskorrigiert auf Stichtag 01.06.2018, Co-60 und Ni-63). Auf Grund der geringen Aktivität und der Nuklidzusammensetzung ist, unabhängig von der möglichen Rückhaltungswirkung der natürlichen Basisabdichtung des BA-Süd, nicht zu besorgen, dass ein signifikanter Nuklideintrag durch Sickerwasser aus dem BA-Süd in den Vorfluter Südliche Rönnel erfolgt.

Durch die technische und organisatorische Ausführung der Einleitung des Oberflächenwassers aus der anlageneigenen Kläranlage in den Vorfluter Weser (siehe Abschnitt 2.3) sind signifikante Expositionen, die über den hier im Szenario O1 betrachteten Umfang hinausgehen (z. B. Exposition durch Direktstrahlung oder Direktinhalation beim Baden im Bereich der Einleitstelle) ausgeschlossen.

Einleitungen des Sickerwassers der Zentraldeponie Brake-Käseburg in die Kläranlage der Stadt Brake erfolgen nur auf Grund behördlicher Anordnungen im Notfall (siehe Abschnitt 2.3).

Bezüglich der Einleitung in die Vorflut besteht kein Unterschied zwischen der Kläranlage der Zentraldeponie Brake-Käseburg und der Kläranlage der Stadt Brake. Daher sind alle Betrachtungen zum Szenario O1 für das Sickerwasser der Zentraldeponie Brake-Käseburg für den Fall einer Notfall-einleitung in die Kläranlage der Stadt Brake abgedeckt.

#### **4.2.6. O2: Verwertung von Klärschlamm**

Die Nutzung von Klärschlamm aus Deponiekläranlagen in der Landwirtschaft ist im Land Niedersachsen nicht vorgesehen. Der Klärschlamm der Zentraldeponie Brake-Käseburg wird somit nicht



auf landwirtschaftliche Flächen verbracht. Das damit verbundene Expositionsszenario O2 wird daher im vorliegenden EFN nicht betrachtet.

Der Klärschlamm aus der Sickerwasseraufbereitung der Zentraldeponie Brake-Käseburg wird entwässert und über die Abfallschlüsselnummer 19 0812 an zertifizierte Entsorger abgegeben [PEL 20]. Der Klärschlamm wird nicht auf der Zentraldeponie Brake-Käseburg abgelagert.

Bei der Entwässerung fällt hauptsächlich wassergesättigte Luft an. Bei diesem Prozess ist davon auszugehen, dass die eventuell im zu entwässernden Klärschlamm vorhandene Aktivität aus der Depositionierung durch KKK hauptsächlich in diesem Klärschlamm verbleibt (außer für die Nuklide H-3, C-14 und Cl-36). Die bei der anschließenden externen thermischen Entsorgung ggf. auftretenden Expositionsszenarien sind durch die Einhaltung der Werte der Anl. 4 Tab. 1 Sp. 9 StrlSchV (Freigabewerte für die Freigabe zur Beseitigung in Verbrennungsanlagen von bis zu 100 Mg/a) abgedeckt (siehe Tabelle 4-43 und Text unter der Tabelle). Dies gilt (außer für das Nuklid H-3) auch für ggf. über den Luftpfad direkt bei der Trocknung abgegebene Aktivitäten.

In Tabelle 4-43 sind die berechneten Aktivitätskonzentrationen im Klärschlamm (feucht bzw. trocken) aufgeführt. Für den Klärschlamm wurde dabei eine jährlich anfallende Masse von 2.000 Mg feucht und 40 Mg Trockenmasse angenommen.

Tabelle 4-43: Potenzielle Aktivitätskonzentration im Klärschlamm.

Nuklid	Aktivitätsabgabe mit dem Sickerwasser [Bq/a pro Bq/g]	FGW (8) [Bq/g]	FGW (10) [Bq/g]	Spez. Aktivität in der Durchsicherungsschicht [Bq/g]	FGW (3) [Bq/g]	Spez. Aktivität im Klärschlamm (feucht) [Bq/g]	FGW (9) [Bq/g]	Spez. Aktivität im Klärschlamm (trocken) [Bq/g]
H-3	5,03E+08	6E+04	6E+03	3,10E+03	1E+02	7,8E+01	1E+06	<sup>a</sup>
C-14	1,56E-06	4E+03	4E+02	2,07E+02	1E+00	1,6E-13	1E+04	8,1E-12
Cl-36	1,80E+09	3E+00	3E-01	1,55E-01	1E+00	1,4E-02	3E+00	7,0E-01
Ca-41	6,34E+08	2E+02	2E+01	1,03E+01	1E+02	3,3E-01	1E+03	1,6E+01
Mn-54	4,00E+01	1E+01	6E+00	1,74E+00	1E-01	3,5E-08	1E+01	1,7E-06
Fe-55	2,51E-02	1E+04	7E+03	1,99E+03	1E+03	2,5E-08	1E+04	1,2E-06
Co-60	4,31E+00	6E+00	2E+00	6,53E-01	1E-01	1,4E-09	7E+00	7,0E-08
Ni-63	2,18E+03	1E+04	1E+03	5,17E+02	1E+02	5,6E-04	6E+03	2,8E-02
Zn-65	5,94E+00	1E+01	8E+00	2,23E+00	1E-01	6,6E-09	1E+01	3,3E-07
Sr-90	1,90E+08	6E+00	6E-01	3,10E-01	1E+00	3,0E-02	4E+01	1,5E+00
Nb-94	3,08E+03	1E+01	3E+00	1,01E+00	1E+01	1,5E-06	1E+01	7,7E-05
Ru-106	1,54E+02	7E+01	2E+01	6,80E+00	1E-01	5,2E-07	1E+02	2,6E-05
Ag-108m	5,84E+08	9E+00	1E+00	4,90E-01	1E-01	1,4E-01	1E+01	7,2E+00
Ag-110m	7,09E+00	6E+00	2E+00	6,53E-01	1E-01	2,3E-10	6E+00	1,2E-08
Sb-125	1,04E+05	4E+01	1E+01	3,54E+00	1E-01	1,8E-04	4E+01	9,2E-03

Nuklid	Aktivitätsabgabe mit dem Sickerwasser [Bq/a pro Bq/g]	FGW (8) [Bq/g]	FGW (10) [Bq/g]	Spez. Aktivität in der Durchsicherungsschicht [Bq/g]	FGW (3) [Bq/g]	Spez. Aktivität im Klärschlamm (feucht) [Bq/g]	FGW (9) [Bq/g]	Spez. Aktivität im Klärschlamm (trocken) [Bq/g]
Ba-133	2,75E+07	4E+01	1E+01	3,54E+00	1E-01	4,9E-02	8E+01	2,4E+00
Cs-134	2,45E-03	1E+01	3E+00	1,01E+00	1E-01	1,2E-12	1E+01	6,2E-11
Cs-137	9,74E+02	1E+01	8E+00	2,23E+00	1E-01	1,1E-06	1E+01	5,4E-05
Ce-144	5,56E-07	1E+02	1E+02	2,72E+01	1E+01	7,6E-15	1E+02	3,8E-13
Eu-152	2,38E+02	1E+01	4E+00	1,25E+00	1E-01	1,5E-07	1E+01	7,5E-06
Eu-154	5,46E+01	1E+01	4E+00	1,25E+00	1E-01	3,4E-08	1E+01	1,7E-06
Eu-155	2,13E+00	1E+02	1E+02	2,72E+01	1E+02	2,9E-08	1E+02	1,4E-06
U-234	3,08E+03	6E+00	6E-01	3,10E-01	1E+00	4,8E-07	1E+01	2,4E-05
U-235	3,08E+03	3E+00	3E-01	1,55E-01	1E+00	2,4E-07	4E+00	1,2E-05
U-238	3,08E+03	6E+00	6E-01	3,10E-01	1E+00	4,8E-07	1E+01	2,4E-05
Pu-238	1,06E-06	1E+00	1E+00	2,72E-01	1E-01	1,4E-16	1E+00	7,2E-15
Pu-239	1,57E-06	1E+00	5E-01	1,50E-01	1E-01	1,2E-16	1E+00	5,9E-15
Pu-240	1,56E-06	1E+00	6E-01	1,74E-01	1E-01	1,4E-16	1E+00	6,8E-15
Pu-241	1,40E-07	1E+02	4E+01	1,25E+01	1E+01	8,8E-16	1E+02	4,4E-14
Am-241	1,49E-06	1E+00	1E+00	2,72E-01	1E+00	2,0E-16	1E+00	1,0E-14
Cm-243	4,77E-07	1E+00	1E+00	2,72E-01	1E+00	6,5E-17	1E+00	3,2E-15
Cm-244	2,31E-07	1E+01	5E+00	1,50E+00	1E+00	1,7E-16	1E+01	8,6E-15

<sup>a</sup> H-3 für trockenen Klärschlamm nicht relevant

Der Freigabewert für die spezifische Freigabe zur Beseitigung in Verbrennungsanlagen von bis zu 100 Mg/a gemäß Anl. 4 Tab. 1 Sp. 9 StrlSchV wird bei trockenem Klärschlamm sehr deutlich unterschritten. Bis auf die Nuklide Sr-90, Ag-108m und Ba-133 unterschreitet die für den trockenen Klärschlamm berechnete Aktivitätskonzentration auch die Werte der uneingeschränkten Freigabe (Anl. 4 Tab. 1 Sp. 3 StrlSchV). Die Berechnungen gehen jeweils von einer Vollausschöpfung der FGW für die einzelnen Nuklide aus. Für die Nuklide mit rechnerischer Überschreitung der uneingeschränkten Freigabewerte bei Vollausschöpfung ist gemäß in der Praxis zu erwartender Nuklidvektoren davon auszugehen, dass die reale Nuklidzusammensetzung ebenfalls zu einer Einhaltung der uneingeschränkten Freigabewerte im trockenen Klärschlamm führt. Für Ag-108m und Ba-133 sind die Einschränkungen der Gesamtaktivitätsablagerungen (siehe unten) dabei mit zu berücksichtigen.

Im Hinblick auf das Nuklid H-3 ist davon auszugehen, dass dieses beim Trocknungsprozess maßgeblich über die Abluft an die Umgebung abgegeben wird. Daraus kann eine potenzielle Exposition durch Inhalation und insbesondere durch Ingestion resultieren. Bei einer konservativ abdeckenden Annahme der vollständigen Ausschöpfung der Freigabewerte für H-3 gemäß Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8 bzw. 10 StrlSchV würde eine jährliche Ablagerung von  $6 \cdot 10^{12}$  Bq H-3 auf der Deponie erfolgen. Gemäß [SSK 06] ist davon auszugehen, dass maximal 10 %, also  $6 \cdot 10^{11}$  Bq H-3 jährlich in den Klärschlamm

gelangen. Für die Betrachtung wird abdeckend angenommen, dass bei einer Entwässerung auf 30 % Restfeuchte, ausgehend von einer initialen Feuchte von ca. 98 %, nahezu das gesamte Wasser in die Abluft gelangt. Eine Freisetzung von  $6 \cdot 10^{11}$  Bq H-3 pro Jahr führt aber selbst im ungünstigsten Fall (Kurzzeitfreisetzung über eine Stunde bei ungünstigen meteorologischen Bedingungen) nur zu einer Exposition in der Größenordnung von  $1 \mu\text{Sv/a}$ . Diese Dosis ist außerdem nicht additiv zu irgendeinem anderen Szenario.

Die vollständige Ausschöpfung der Freigabewerte für H-3 gemäß Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8 bzw. 10 StrlSchV ist unrealistisch. Tatsächlich werden die H-3-Werte für das Deponiematerial wesentlich niedriger liegen. Selbst für die Unterstellung unrealistisch hoher H-3-Werte ist bei der Trocknung keine Exposition oberhalb des  $10 \mu\text{Sv/a}$ -Kriteriums zu besorgen.

Ein potenziell nicht auszuschließender Verwertungspfad für Klärschlamm ist die Nutzung als Bauersatzstoff auf der Deponie (siehe [PEL 19]). Dabei ist davon auszugehen, dass der Klärschlamm vorher soweit getrocknet wird, dass nur eine geringe Restfeuchte verbleibt. Anschließend wird die getrocknete Substanz als Bauersatzstoff (z. B. im Deponiebau oder Straßen- und Wegebau) eingesetzt. Auf Grund der Beschaffenheit des getrockneten Klärschlammes ist ein Einsatz als Zuschlagsstoff für den Bau bzw. die Fertigung von Gebäudeteilen auszuschließen. Die Genehmigung der Deponie sieht eine Vererdung von Klärschlamm nicht vor. Zudem ist der Klärschlamm für eine Phosphor-Rückgewinnung aufgrund der geringen Phosphat- und der hohen Stickstoffgehalte nicht geeignet.

Die potenzielle Aktivitätskonzentration im Klärschlamm resultiert aus der Aktivitätskonzentration im Sickerwasser. Diese wird gemäß Abschnitt 4.2.5 modelliert, die Aktivitätskonzentrationen können aus den in Tabelle 4-42 aufgeführten Werten und der mittleren anfallenden Sickerwassermenge<sup>12</sup> (gemäß Abschnitt 2.3 ca.  $36.800 \text{ m}^3/\text{a}$ ) berechnet werden. Eine Partitionierung für den Verbleib von Nukliden im Klärschlamm erfolgt gemäß Tabelle 4-41. Für den zur Verwendung als Bauersatzstoff getrockneten Klärschlamm wird eine jährlich anfallende Trockenmasse des Klärschlammes von 40 Mg angesetzt.

Bei der Verwertung von Klärschlamm wird gemäß [PEL 20] der Einsatz als Zuschlagsstoff im Deponiestraßenbau betrachtet. Während der Arbeiten beim Bau kann es zur Exposition durch Inhalation (Staubfreisetzung) und durch externe Bestrahlung kommen. Für den Bau der Deponiestraße werden die Parameter gem. Tabelle 4-44 angesetzt, mit denen die Dosisumwandlungsfaktoren gem. Tabelle 4-45 berechnet wurden. Die Verdünnung des Bauersatzstoffs Klärschlamm resultiert aus der Tatsache, dass das reine Material nicht für den Bau einer solchen Straße geeignet ist, sondern mit entsprechend geeignetem Material (Sand, Kies, Bauschutt o. ä.) gemischt werden muss, um die Tragfähigkeit der Deponiestraße zu gewährleisten.

---

<sup>12</sup> Auf Grund der gemeinsamen Behandlung aller Sickerwässer ist hier die gesamte jährlich anfallende Menge zu berücksichtigen.

Tabelle 4-44: Parameter des Szenarios „Einsatz von Klärschlamm als Bauersatzstoff zum Bau einer Deponiestraße“.

Parameter	Wert
Expositionszeit pro Jahr [h/a] <sup>a</sup>	100
Verdünnung des getrockneten Klärschlammes (Volumen)	2
Schichtdicke beim Einbau [m]	0,3
Straßenbreite [m]	8
Atemrate [m <sup>3</sup> /h]	1,2
Staubkonzentration [g/m <sup>3</sup> ]	1E-03
Aufkonzentrationsfaktor im inhalierbaren Feinstaub [-]	3
Ingestionsrate [g/h]	6E-03
Aufkonzentrationsfaktor im ingestierbaren Feinstaub [-]	2

<sup>a</sup> nicht in Berechnungen der Faktoren in Tabelle 4-45 mit einbezogen

Tabelle 4-45: Dosiskonversionsfaktoren für die Verwertung von Klärschlamm als Bauersatzstoff im Deponiestraßenbau.

Nuklid	Dosiskonversionsfaktoren [( $\mu$ Sv/h) pro (Bq/g)]			
	Direktstrahlung	Inhalation	Ingestion	Summe
Co-60	1,01E-01 <sup>a</sup>	3,06E-05	2,04E-05	1,01E-01
Sr-90	-	1,39E-04	1,68E-04	3,07E-04
Cs-137	2,36E-02 <sup>a</sup>	1,21E-05	7,80E-05	2,37E-02
Am-241	-	4,86E-02	1,20E-03	4,98E-02
Ag-108m	6,81E-02 <sup>a</sup>	3,42E-06	1,38E-05	6,81E-02
Ba-133	1,46E-02 <sup>a</sup>	3,24E-07	6,00E-06	1,46E-02

<sup>a</sup> berechnet mit MicroShield®

Mit den in Tabelle 4-43 aufgeführten Werten für die Aktivitätskonzentration im trockenen Klärschlamm und einer Expositionszeit von 100 h/a (siehe Tabelle 4-44) ergibt sich die in Tabelle 4-46 dargestellte potenzielle Exposition.

Tabelle 4-46: Potenzielle Exposition bei der Verwertung von Klärschlamm als Bauersatzstoff im Straßen- und Wegebau, Bauphase

Nuklid	Dosiskonversionsfaktoren [( $\mu\text{Sv/h}$ ) / ( $\text{Bq/g}$ )]	Konzentration im Klärschlamm trocken [ $\text{Bq/g}$ ]	Jahresdosis [ $\mu\text{Sv/a}$ ]
Co-60	1,01E-01	7,0E-08	< 0,1
Sr-90	3,07E-04	1,5	
Cs-137	2,37E-02	5,4E-04	
Am-241	4,98E-02	1,0E-14	
Ag-108m	6,81E-02	7,2	49
Ba-133	1,46E-02	2,4	3,5

Für die Nuklide Co-60, Sr-90, Cs-137 und Am-241 wurde eine Exposition von weniger als 0,1  $\mu\text{S/a}$  ermittelt. Für die Nuklide Ag-108m und Ba-133, deren berechnete Konzentration im Klärschlamm relativ hoch ist, wird dagegen eine Exposition ermittelt, die das Dosiskriterium signifikant ausschöpft (Ba-133) bzw. überschreitet (Ag-108m). Entsprechend erforderliche Einschränkungen für diese Nuklide werden am Ende dieses Abschnitts diskutiert.

Für die Nutzung der Deponiestraße muss von einer Expositionszeit von mehr als 100 h pro Jahr ausgegangen werden. Der Klärschlammmanfall der Zentraldeponie Brake-Käseburg (40 Mg pro Jahr trocken) lässt allerdings mit den Parametern für die Straße gemäß Tabelle 4-44 nur eine Baulänge von ca. 40 m zu. Bei der Sammlung des Klärschlammmanfalls von 10 a wären damit ca. 400 m Deponiestraße möglich.

Konservativ wird dennoch ein Szenario betrachtet, bei dem ein solcher Straßenabschnitt ca. 800 h im Jahr genutzt wird (1.500 h pro Jahr Straßennutzung insgesamt, davon 800 h im Jahr auf dem betrachteten Abschnitt). Es ist dabei davon auszugehen, dass die Staubkonzentration nicht wie in Tabelle 4-44 angegeben 1  $\text{mg/m}^3$  beträgt (für Bauphase), sondern sehr viel geringer ist. Es wird daher von einem Wert von 100  $\mu\text{g/m}^3$  ausgegangen, was um einen Faktor 2 über dem für die allgemeine Bevölkerung zulässigen Tagesmittel von 50  $\mu\text{g/m}^3$  liegt. Die Dosiskonversionsfaktoren für die Inhalation reduzieren sich gegenüber den Werten aus Tabelle 4-45 um den Faktor 10. Die Berechnungsergebnisse sind in Tabelle 4-47 zusammengestellt.

Tabelle 4-47: Potenzielle Exposition bei der Verwertung von Klärschlamm als Bauersatzstoff im Straßen- und Wegebau, Befahrung.

Nuklid	Dosiskonversionsfaktoren [( $\mu\text{Sv/h}$ ) / ( $\text{Bq/g}$ )]	Konzentration im Klärschlamm trocken [ $\text{Bq/g}$ ]	Jahresdosis [ $\mu\text{Sv/a}$ ]
Co-60	1,01E-01	7,0E-08	< 0,01
Sr-90	1,82E-04	1,5	0,22
Cs-137	2,37E-02	5,4E-04	0,01
Am-241	6,06E-03	1,0E-14	< 0,01
Ag-108m	6,81E-02	7,2	392
Ba-133	1,46E-02	2,4	28

Die resultierende Exposition ist in diesem Fall für die Nuklide Co-60, Sr-90, Cs-137 und Am-241 insgesamt deutlich kleiner als  $0,5 \mu\text{Sv/a}$  und wird maßgeblich durch das Nuklid Sr-90 verursacht.

Für die Nuklide Ag-108m und Ba-133, deren berechnete Konzentration im Klärschlamm relativ hoch ist, wird dagegen eine Exposition ermittelt, die das Dosiskriterium signifikant überschreitet. Für diese Nuklide ist daher eine Beschränkung für die Ablagerung auf der Zentraldeponie Brake-Käseburg erforderlich.

Für das Nuklid Ba-133 sind dabei die Beschränkungen, die sich aus den Berechnungen für Szenario D3 ergeben (mittlere Ausschöpfung der FGW bis maximal 25 %), auch ausreichend, um für das hier betrachtete Szenario die Einhaltung des Dosiskriteriums zu ermöglichen.

Für Ag-108m muss die abgelagerte Aktivität aus dem KKV um den Faktor 40 gegenüber der möglichen Vollausschöpfung der FGW verringert werden, um für das hier betrachtete Szenario die Einhaltung des Dosiskriteriums zu ermöglichen. Mit dem zu erwartenden Nuklidvektor bei KKV kann von einer entsprechenden Beschränkung ohne zusätzliche Maßnahmen ausgegangen werden. Das bedeutet, die in Tabelle 4-37 und Tabelle 4-38 für Ag-108m dokumentierten Aktivitätswerte zur Bergrenzung der jährlichen und der gesamten Ablagerung sind um den Faktor 10 zu reduzieren.

Das als abdeckend für die Verwertung von Klärschlamm anzunehmende Szenario ergibt daher eine potenzielle Exposition, die den Bereich von  $10 \mu\text{Sv/a}$  unterschreitet, sofern entsprechende Beschränkungen für die Ablagerung von Ag-108m und Ba-133 eingehalten werden.

Einleitungen des Sickerwassers der Zentraldeponie Brake-Käseburg in die Kläranlage der Stadt Brake erfolgen nur auf Grund behördlicher Anordnungen im Notfall (siehe Abschnitt 2.3). Eine solche Einleitung ist demnach zeitlich begrenzt. Der Durchsatz der Kläranlage der Stadt Brake liegt bei ca.  $1,5\text{E}+06 \text{ m}^3$  pro Jahr (siehe Abschnitt 2.3). Gemäß [NMU 18] liegt der Klärschlammanfall (Trockenmasse) kommunaler Kläranlagen in Niedersachsen bei ca.  $4\text{E}-04 \text{ Mg/m}^3$  Sickerwasseranfall<sup>13</sup>. Die damit berechnete Masse an jährlich anfallendem Klärschlamm (Trockenmasse) für die

<sup>13</sup> berechnet aus dem Jahresanfall Schmutzwasser ( $463.692.000 \text{ m}^3$ ) und einem Jahresanfall Klärschlamm (Trockenmasse) von  $180.000 \text{ Mg}$  gemäß [NMU 18] jeweils als Summe über alle kommunalen Kläranlagen, im Vergleich dazu Wert aus [THI 04] und [SSK 06]:  $5\text{E}-04 \text{ Mg/m}^3$

Kläranlage der Stadt Brake beträgt 600 Mg. Im Vergleich dazu liegt die gemäß [SSK 06] angenommene Masse bei 1.000 Mg pro Jahr. Für eine zeitlich begrenzte (weniger als 7 Monate dauernde) Einleitung von Sickerwasser aus der Zentraldeponie Brake-Käseburg in die Kläranlage der Stadt Brake sind daher die Annahmen aus [SSK 06] abdeckend für ggf. im Szenario O2 anfallende Expositionen.

#### **4.2.7. G: Grundwasser**

Die Annahmen aus [SSK 06] bei der Ermittlung der potenziellen Exposition über einen Grundwasserpfad (Expositionsszenario G) sind für die Zentraldeponie Brake-Käseburg nicht einschlägig. Insbesondere ist hier ein deutlich geringerer Jahresdurchsatz der Zentraldeponie Brake-Käseburg zu vermerken. Außerdem ist im vorliegenden Fall zu berücksichtigen, dass ein sehr großer Teil des Deponiekörpers (83 %) schon belegt ist und die Ablagerungen aus der geplanten Freigabe zur Beseitigung nur auf den verbleibenden 17 % Deponievolumen (BA Nord, Teilabschnitt 1) erfolgen werden. Daher ist eine explizite Betrachtung im vorliegenden EFN erforderlich.

Die gemäß [SSK 06] verwendeten Parameter zur Charakterisierung (siehe Abschnitt 4.1) des Grundwasserleiters (GWL) stellen einen generischen Ansatz dar, welcher die hydrogeologische Situation standortunabhängig beschreibt. Mit Hilfe standortspezifischer Daten ([PEL 19], [ENT 92]) wurde das Deponiemodell an die lokalen Gegebenheiten angepasst.

Der geologische Aufbau des Untergrundes am Deponiestandort ist anhand zahlreicher Bohrungen hinreichend charakterisiert (s. Abbildung 4-10). Aktuelle Messdaten zu Grundwasserständen in den Messstellen, welche am Deponiestandort in den grundwasserleitenden Schichten verfiltert sind, liegen ebenfalls vor und ermöglichen die Ableitung des hydraulischen Gradienten am Standort.





Abbildung 4-10: Lage der Bohrpunkte und Schnitte im Bereich der Deponie (Daten aus [LBE 19A]).

Die Deponie liegt auf ca. 0 mNN im hydrologischen Teilraum „Unterweser Marsch“ (01205, 01: Nord- und mitteldeutsches Lockergesteinsgebiet, 012: Marschen) in der hydrogeologischen Einheit der norddeutschen Küstensedimente und fluviatilen Gezeitenablagerungen [LBE 16]. Die Weser verläuft etwa 1 km östlich, die Südliche Rönnel fließt direkt angrenzend westlich vom Deponiestandort.

In der Marsch bilden die bindigen Sedimente des Holozäns eine schützende Deckschicht für das Grundwasser. Aufgrund der geringen Durchlässigkeit der Marschsedimente, der geringen Flurabstände und auch der künstlichen Entwässerung ist die Grundwasserneubildung mit unter 100 mm/a in Marschengebieten relativ gering. Der Grundwasserspiegel im oberen, pleistozänen Stockwerk ist gespannt [LBE 18] und liegt bei -2,5 m bis 0 mNN [LBE 18], [ENT 92], [PEL 19]. Gemäß [ENT 92] wirken sich langfristige Pegelschwankungen der Weser auf die Grundwasserdruckhöhe aus, der Tideinfluss ist dagegen nicht mehr auszumachen. Das Grundwassergefälle ist sehr gering und wird zudem durch künstliche Entwässerung beeinflusst [LBE 18].

Die Deponie gründet auf einem holozänen Grundwassergeringleiter, bestehend aus

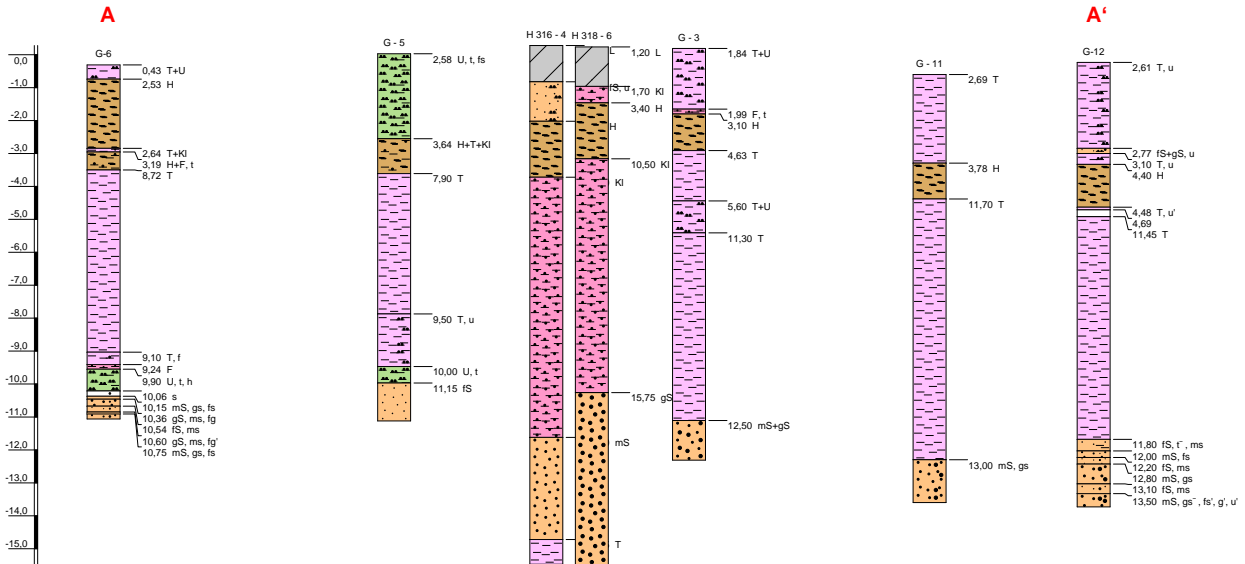
- einer oberen Kleischicht (qhKO) mit geringer Mächtigkeit (1,9 m im Mittel [ENT 92]), welche gut durchwurzelt ist und somit nur eine eingeschränkte Schutzwirkung hinsichtlich des Austrags von Radionukliden besitzt. Der hydraulische Durchlässigkeitsbeiwert wird in

- [ENT 92] mit  $2 \cdot 10^{-8}$  m/s in horizontaler und  $1 \cdot 10^{-8}$  m/s in vertikaler Richtung und in [IGB 85] mit  $3,2 \cdot 10^{-9}$  m/s in vertikaler Richtung angegeben, die effektive Porosität liegt bei 5 % [ENT 92].
- Darunter folgt eine Torfschicht (qhA) mit geringer Mächtigkeit (1,7 m im Mittel [ENT 92]), welche als stark anisotrop und inhomogen charakterisiert wird. Der hydraulische Durchlässigkeitsbeiwert wird in [ENT 92] mit  $2 \cdot 10^{-7}$  m/s in horizontaler und  $5 \cdot 10^{-8}$  m/s in vertikaler Richtung und in [IGB 85] mit  $3 \cdot 10^{-8}$  –  $2 \cdot 10^{-5}$  m/s in vertikaler Richtung angegeben. Die effektive Porosität liegt bei 20 % in horizontaler und 3 % in vertikaler Richtung [ENT 92]. Aufgrund der im Vergleich zu den umgebenden Kleischichten höheren hydraulischen Durchlässigkeit in horizontaler Richtung stellt die Torfschicht eine zusätzliche oberflächennahe, wasserführende Schicht dar. Durch die gespannten hydraulischen Verhältnisse (geringere Druckhöhen als das Grundwasser im darunterliegenden pleistozänen Grundwasserleiter), verläuft der Druckgradient von unten nach oben, so dass der Grundwasserleiter von den Sickerwässern aus der Torfschicht bei gleichbleibenden hydraulischen Bedingungen auch bei hydraulischen Kurzschlüssen zwischen den beiden wasserführenden Schichten (z. B. durch Bohrungen oder lokale Inhomogenitäten im Schichtaufbau und -wechsel) nicht beeinflusst wird [ENT 92].
  - Unterhalb der Torfschicht folgt die untere Kleischicht (qhKU) mit großer Mächtigkeit (6,7 m im Mittel [ENT 92]), welche einen homogenen Aufbau und somit eine hohe Schutzwirkung hinsichtlich des Austrags von Radionukliden besitzt. Der hydraulische Durchlässigkeitsbeiwert wird in [ENT 92] mit  $5 \cdot 10^{-9}$  m/s in horizontaler und  $1 \cdot 10^{-9}$  m/s in vertikaler Richtung angegeben, die effektive Porosität liegt bei 2 % [ENT 92].

Unterhalb dieser Klei- und Torfschichten wurde der gespannte pleistozäne Grundwasserleiter erbohrt, der sich aus Mittel- bis Grobsanden mit unterschiedlichen Feinsandanteilen, teils auch Kiesanteilen zusammensetzt [IGB 76], [IGB 85], [LBE 19A]. Dieser weist eine Mächtigkeit von 5 m (mittlere Angabe gemäß [ENT 92]) auf. Der hydraulische Durchlässigkeitsbeiwert wird in [ENT 92] mit  $2 \cdot 10^{-3}$  m/s bzw. in [BAW 06] mit  $10^{-3}$  –  $10^{-5}$  m/s angegeben, die effektive Porosität liegt bei 28 % [ENT 92]. Zur Ermittlung des hydraulischen Gefälles  $i$  wurden die Ruhewasserspiegel der Grundwassermessstellen (verfiltert in den grundwasserleitenden Schichten des Pleistozän) am Deponiestandort ausgewertet [PEL 19]. Diese Werte liegen in ähnlichen Bereichen (im Mittel  $10^{-4}$  -  $7 \cdot 10^{-4}$ ) wie in [ENT 92] angegeben ( $2 \cdot 10^{-4}$  -  $1 \cdot 10^{-3}$ ).

Der pleistozäne Grundwasserleiter ist östlich der Deponie vollständig oder fast vollständig versalzt ( $> 250$  mg/l Chlorid). Eine Trinkwassergewinnung ist somit nicht möglich. Im Bereich der Deponie wird der untere Teil des pleistozänen Grundwasserleiters ebenfalls als versalzt ( $> 250$  mg/l Chlorid) angegeben, was Einschränkungen in der Trinkwassergewinnung bedingt [LBE 19B].

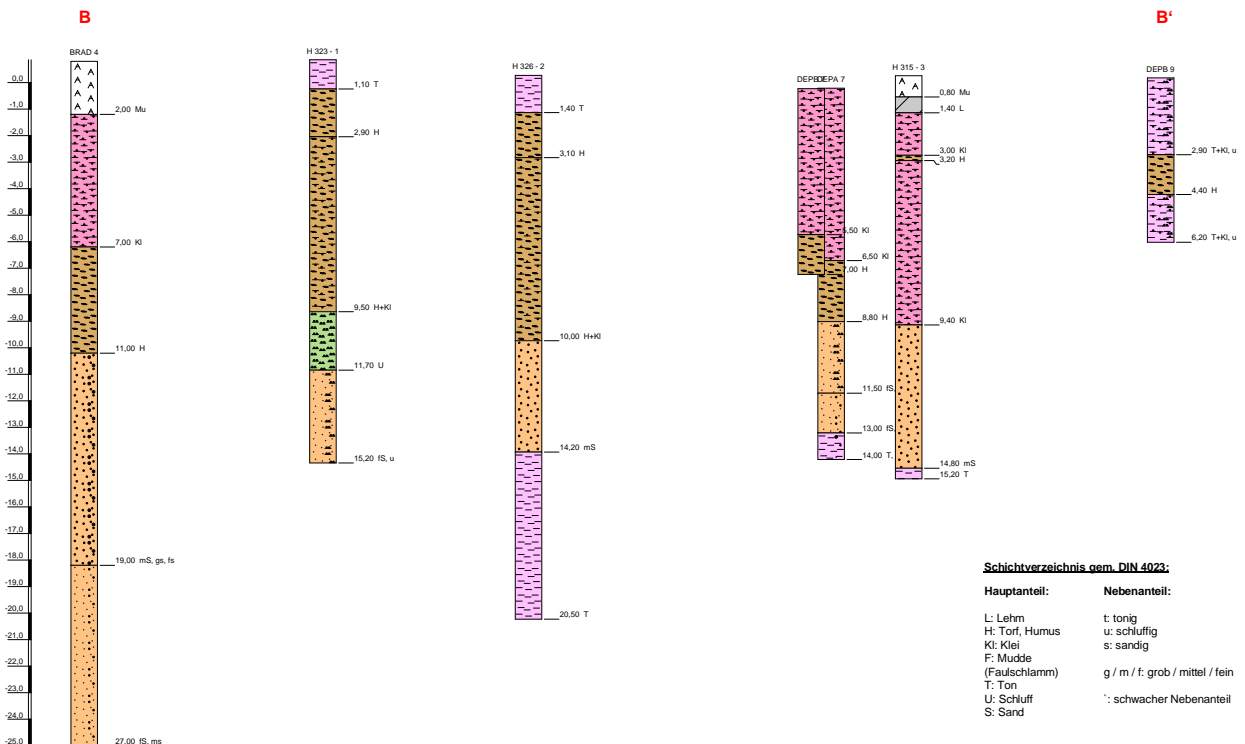
Im Liegenden der pleistozänen Sande wurde der Lauenburger Ton mit einer Mindestmächtigkeit von 6 m [ENT 92] erbohrt. In Abbildung 4-11 und Abbildung 4-12 sind die Bohrprofile der Schnitte A und B (vgl. Abbildung 4-10) dargestellt. Die Schichtdaten wurden der Bohrdatenbank des Landes Niedersachsen [LBE 19A] entnommen.



**Schichtverzeichnis gem. DIN 4023:**

Hauptanteil:	Nebenanteil:
L: Lehm	t: tonig
H: Torf, Humus	u: schluffig
Ki: Klei	s: sandig
F: Mudde (Faulschlamm)	g / m / f: grob / mittel / fein
T: Ton	·: schwacher Nebenanteil
U: Schluff	
S: Sand	

Abbildung 4-11: Bohrprofile entlang Schnitt A (West-Ost).



**Schichtverzeichnis gem. DIN 4023:**

Hauptanteil:	Nebenanteil:
L: Lehm	t: tonig
H: Torf, Humus	u: schluffig
Ki: Klei	s: sandig
F: Mudde (Faulschlamm)	g / m / f: grob / mittel / fein
T: Ton	·: schwacher Nebenanteil
U: Schluff	
S: Sand	

Abbildung 4-12: Bohrprofile entlang Schnitt B (Nord-Süd).

Es wird folgendes Modell zur Berechnung der Radionuklidmigration von der Deponie in das Grundwasser betrachtet (s. Tabelle 4-48):

- Die Flächenabmessung der Deponie beträgt  $217\text{ m} \times 217\text{ m}$ . Die Mächtigkeit der bestehenden Abfallschicht beträgt  $9\text{ m}$ , die Dichte  $1,0\text{ Mg/m}^3$ .
- Auf die nahezu gefüllte Deponie wird eine  $1\text{ m}$  mächtige Schicht abgelagert, die die kompletten aus KKV spezifisch freigegebenen Abfallmengen beinhaltet:
  - Freigabe unter Anwendung der Freigabewerte nach Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8 StrlSchV:  $1.000\text{ Mg}$
  - Freigabe unter Anwendung der Freigabewerte nach Anl. 4 Tab. 1 Sp. 10 StrlSchV:  $9.000\text{ Mg}$
- Die für die Freigabe zur Beseitigung aus dem KKV vorgesehene Abfallmenge reicht nicht aus, um auf eine Fläche von  $217\text{ m} \times 217\text{ m}$  eine  $1\text{ m}$  mächtige Schicht aufzubringen. Das erforderliche Restvolumen steht aber zur Verfügung (siehe Abschnitt 2.1). Für Überlegungen, die eine Durchsickerung der Abfallschicht betrachten, wird daher von einer solchen Fläche ausgegangen, die dann auch Material, das nicht aus der Freigabe des KKV stammt (andere Ablagerungen auf der Deponie, Überdeckungsmaterial, schon bestehende Ablagerung), beinhaltet. Eine Ablagerung des zur Freigabe aus dem KKV vorgesehenen Materials in einer dünneren Schicht ist auf Grund der Abmessungen der Big-Bags nicht möglich. Das aus einer oberen  $1\text{ m}$  mächtigen und  $217\text{ m} \times 217\text{ m}$  ausgedehnten Schicht resultierende Volumen beträgt ca.  $47.000\text{ m}^3$ . Die Annahme ist daher plausibel im Hinblick auf das tatsächlich verfügbare restliche Einlagerungsvolumen (siehe Abschnitt 2.1).
- In den jeweiligen Freigabemengen werden die Freigabewerte zu  $100\%$  ausgeschöpft. Die Darstellung von Ergebnissen beschränkt sich dagegen auf radiologisch relevante Nuklide.
- Die Parametrisierung der Abdichtung (geologisch: Kleischichten, technisch: Oberflächenabdeckung, Basisabdichtung) wird konservativ gewählt, indem die Gesamtmächtigkeit der Abdichtung unterhalb der Deponie mit  $1\text{ m}$  angenommen wird. Dies berücksichtigt eine potenziell lokal stark variierende Mächtigkeit der geologischen Barriere sowie die Beeinflussung der oberflächennahen (temporär) wasserführenden gespannten Torfschicht durch hydraulisch bedingt aufsteigendes Grundwasser aus den pleistozänen Schichten, z. B. verursacht durch hydraulische Kurzschlüsse. Die mittlere Dichte beträgt  $1,3\text{ Mg/m}^3$  entsprechend dem Minimalwert des Überdeckungsmaterials [PEL 19].
- Es wird während der Betriebszeit der Deponie eine Sickerwasserrate gemäß [SKK 06] von  $0,3\text{ m/a}$  angesetzt. Die anzunehmende Restbetriebszeit der Deponie wird gemäß [SKK 06] mit  $20\text{ a}$  (abweichend zu den Szenarien O1 und O2, wo für eine konservative Abschätzung der Maximalkonzentrationen im Sickerwasser  $50\text{ a}$  angenommen wurde) angesetzt. Während dieser Restbetriebszeit gelangt Sickerwasser, das die obere Schicht, die Abfall aus der Freigabe enthält (Gesamtabmessung der Schicht inklusive der derzeit schon mit Oberflächenabdeckung versehenen Bereiche  $217\text{ m} \times 217\text{ m} \times 1\text{ m}$ , Dichte  $1,2\text{ Mg/m}^3$ ) durchsickert hat, in die tieferen Deponiebereiche (Dichte  $1,0\text{ Mg/m}^3$ ).
- Nach  $20\text{ Jahren}$  Restbetriebszeit wird die Deponie stillgelegt und entsprechend den Anforderungen (DK II) abgedeckt.
- Der Austrag ins Grundwasser wird mit einem Modell, welches auf dem in [SKK 06] beschriebenen Modell (siehe Abschnitt 4.1) aufbaut (beginnend  $100\text{ a}$  nach Verschluss der Deponie)

berechnet. Die mit Abschluss der Deponie angesetzte Phase von 100 a, in der kein Sickerwasser aus der Deponie in das Grundwasser gelangt, beruht auf der anzusetzenden Funktionsdauer der noch aufzubringenden Oberflächenabdeckung. Die schon bestehende funktionierende Basisabdichtung stellt hierzu eine zusätzliche Absicherung dar.

- Der Transport in der Barriere, in der ungesättigten Zone und im Grundwasser wird ebenfalls mit einem Modell, welches auf dem in [SSK 06] beschriebenen Modell aufbaut, modelliert.
- Das Modell zur Berechnung des Stofftransports in allen Kompartimenten wird mit Hilfe der Software ECOLEGO realisiert. Details dazu sind in Anhang A-1 aufgeführt.

Die im Modell zugrunde gelegten hydraulischen Bemessungswerte sind in Tabelle 4-48 dargestellt. Die im Modell verwendeten  $K_d$ -Werte sind in Anhang A-2 erläutert.

Die aus dem Standardmodell übernommenen Annahmen zur Berechnung des Eintrags von Radionukliden in das Grundwasser sind in Tabelle 4-48 mit [THI 04] gekennzeichnet.

Tabelle 4-48: Annahmen zu Parameterwerten für das Standortmodell zur Berechnung des Eintrags von Radionukliden in das Grundwasser.

Parameter	Einheit	Wert	Bemerkung
<b>Annahmen zur Deponie:</b>			
Länge und Breite Deponiekörper	[m]	217	gemäß Abbildung 2-1
Höhe Deponiekörper	[m]	10	9 m Istzustand + 1 m Restvolumen
Porenraum Deponie	[-]	0,25	[THI 04] DK II
Dichte Deponiematerial	[Mg/m <sup>3</sup> ]	1,0	Ist-Stand 2018 (318.467 m <sup>3</sup> , 316.672 Mg)
Dichte abzulagernde Reststoffe aus KKV	[Mg/m <sup>3</sup> ]	1,2	siehe Abschnitt 3
Betriebszeit	[a]	20	Abschätzung für Restbetrieb
<b>Annahmen zu technischen und geologischen Barrieren (Abdichtung):</b>			
Gesamthöhe Abdichtung	[m]	1	[THI 04] DK II
Dichte Abdichtung	[Mg/m <sup>3</sup> ]	1,3	[PEL 19]
Porenraum Abdichtung	[-]	0,2	[THI 04] DK II
Standzeit Abdichtung	[a]	100	[THI 04] DK II
<b>Annahmen zu Sickerwassermenge und -strecke:</b>			
Mächtigkeit der ungesättigten Zone	[m]	1	Oberflächennaher GWL [ENT 92], [PEL 19]
Porenraum Boden	[-]	0,28	[ENT 92]
Sickerwasserneubildung bei intakter Abdichtung	[m/a]	0	[THI 04] DK II
Sickerwasserneubildung nach Wiederanstieg	[m/a]	0,2	[THI 04] DK II
Sickerwasserneubildung im Betrieb	[m/a]	0,3	[THI 04] DK II
Zeitdauer Wiederanstieg Sickerwasserneubildung	[a]	100	gemäß [SSK 06] 100 a



Parameter	Einheit	Wert	Bemerkung
<b>Annahmen zum Grundwasserleiter:</b>			
Mächtigkeit Grundwasserleiter	[m]	5	[THI 04] DK II, belegt durch Bohrprofile und [ENT 92]
Porenraum Grundwasserleiter	[-]	0,28	[ENT 92]
Dichte Grundwasserleiter	[Mg/m <sup>3</sup> ]	1,6	[THI 04] DK II
Darcy-Geschwindigkeit	[m/a]	32	[ENT 92], [PEL 19] DK II
Abstand Brunnen zur Deponie	[m]	500	[THI 04] DK II
Filterstrecke Brunnen	[m]	5	GWL vollständig verfiltert
Verdünnungsfaktor		3,7	berechnet anhand geometrischer und hydr. Randbedingungen, ohne Einfluss der Dispersion

Eine schematische Darstellung des Sickerwasser-Grundwassermodells der Deponie ist in Abbildung 4-13 gegeben.

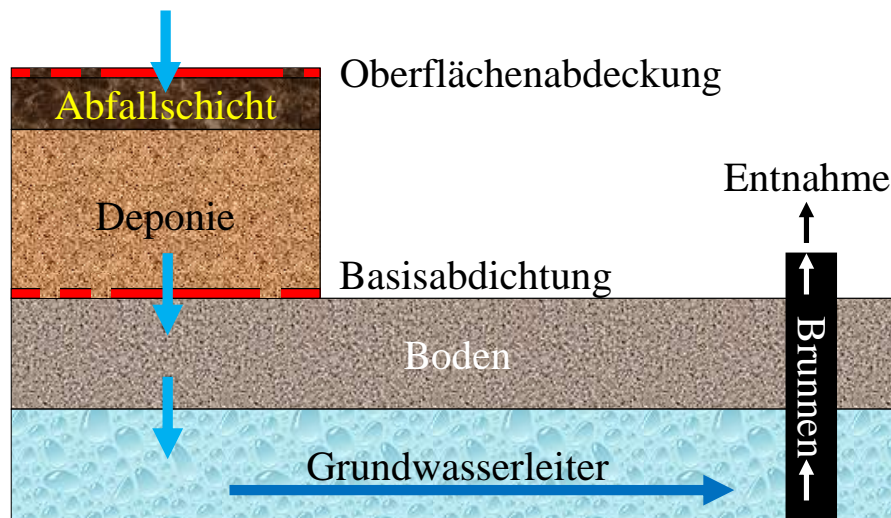
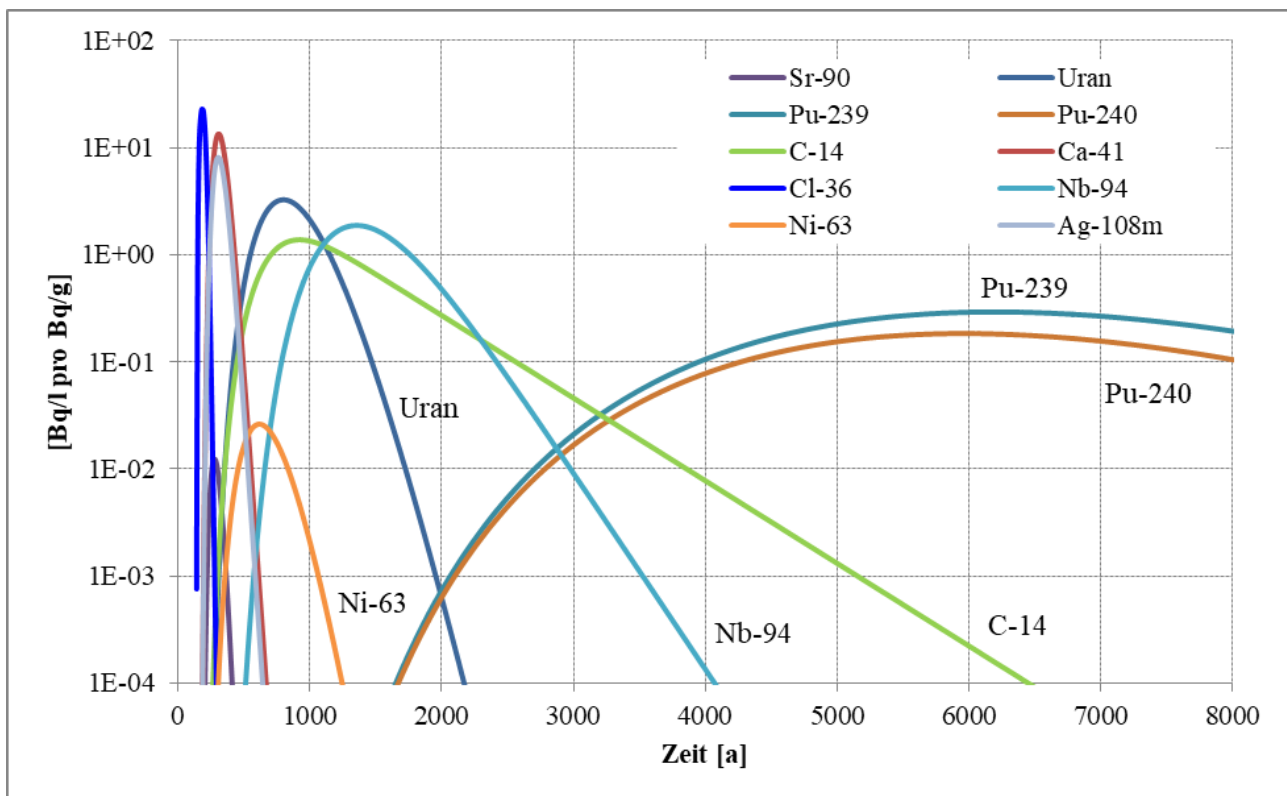


Abbildung 4-13: Modell zur Ermittlung der Aktivität im Grundwasser.

Die Modellrechnungen wurden mit der Simulationssoftware ECOLEGO [FAC 17] jeweils für eine normierte Aktivität von 1 Bq/g in der obersten Abfallschicht der Deponie als initiale Aktivitätsverteilung durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Berechnung (Zeitverlauf der berechneten Konzentration im Brunnen) sind in Abbildung 4-14 dargestellt. In Abhängigkeit der jeweiligen elementspezifischen  $K_d$ -Werte (die durch den  $K_d$ -Wert beschriebene Sorptionsstärke verursacht eine gegenüber dem Fließen des Wassers verlangsamte Transportgeschwindigkeit) ist das Konzentrationsmaximum zu verschiedenen Zeiten zu beobachten. Bei einigen Nukliden führt der radioaktive Zerfall dazu, dass keine signifikanten Konzentrationen für den Brunnen berechnet werden. Es wurden alle für die Freigabe aus KKKU relevanten Nuklide (einschließlich Tochternuklide wie z. B. Np-237 aus der Am-241-Umwandlung) berücksichtigt. Bei nicht dargestellten Nukliden liegt die berechnete Maximalkonzentra-

tion unter  $10^{-4}$  Bq/l pro Bq/g<sup>14</sup>. Dies trifft insbesondere auf die in den anderen Szenarien freigaberelevanten Nuklide Co-60 und Cs-137 zu. Die jeweiligen Maximalwerte der in Abbildung 4-14 und Abbildung 4-15 (Detailansicht der ersten 500 Jahre) dargestellten Ergebnisse (in Bq/l pro Bq/g) sind in Tabelle 4-49, Spalte 2 aufgeführt. Die Konzentrationen für Pu-239 (0,28 Bq/l) und Pu-240 (0,18 Bq/l) erreichen nach ca. 6.500 Jahren das Maximum<sup>15</sup>.



**Abbildung 4-14:** Ergebnisse der Ausbreitungsberechnung des Sickerwasser-Grundwassermodells für die normierte Konzentration der Nuklide im Brunnenwasser bis 8.000 Jahre.

Es wird eine Nutzung des Grundwassers aus dem pleistozänen Grundwasserleiter gemäß [SSK 06] für folgende Zwecke unterstellt:

- Trinkwassergewinnung,
- Beregnung von Feldern mit Blattgemüse und sonstigem Gemüse und
- Tränke von Nutztieren.

<sup>14</sup> Für kein freigaberelevantes Nuklid mit niedrigerer (normierter) maximaler Aktivitätskonzentration ergibt sich eine signifikante Exposition im betrachteten Expositionspfad G.

<sup>15</sup> Dieses Maximum wird in den weiteren Berechnungen verwendet.



Zudem kann auch eine gelegentliche Nutzung der oberflächennahen, temporär z. B. nach Starkregeneignissen wasserführenden torfhaltigen Schicht als natürliche Tränke von Nutztieren nicht ausgeschlossen werden. Da im Modell konservativ unterstellt wird, dass die untere Kleischicht, welche die Torfschicht vom Grundwasserleiter weitestgehend abdichtet, nicht wirksam ist, und somit eine direkte Durchmischung stattfindet, wird eine solche Nutzung durch diese Annahme ebenfalls abdeckend mitbetrachtet.

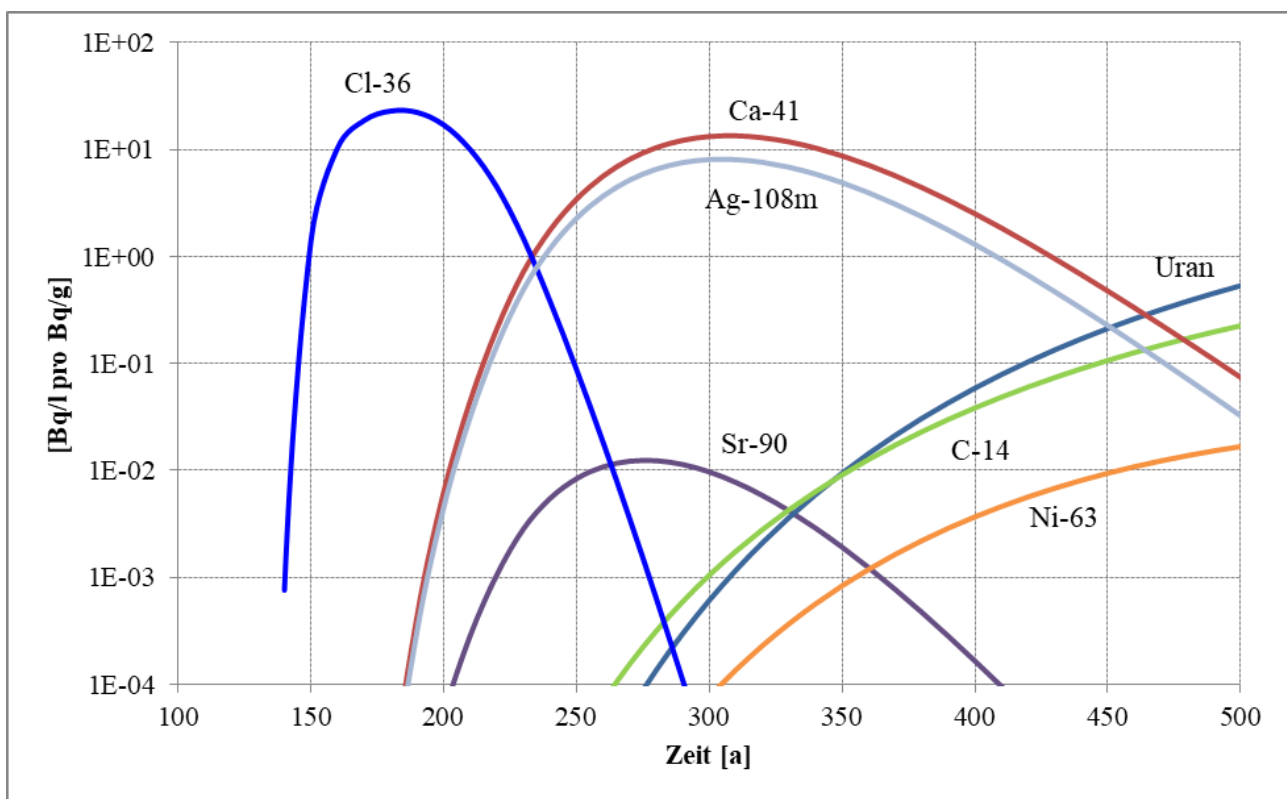


Abbildung 4-15: Ergebnisse der Ausbreitungsberechnung des Sickerwasser-Grundwassermodells für die normierte Konzentration der Nuklide im Brunnenwasser (Detailansicht 100 bis 500 Jahre).

Die aus dem Szenario jeweils für die am höchsten belastete Altersgruppe resultierenden Dosisfaktoren ( $\mu\text{Sv/a}$  pro  $\text{Bq/l}$ ) sind in Tabelle 4-49, Spalte 3 aufgeführt. Die in [SSK 06] angenommene Mächtigkeit des GWL entspricht der hier vorgefundenen Mächtigkeit. Damit sind die potenziell zu unterstellenden Nutzungsmöglichkeiten gleich. Der Ansatz ist jedoch konservativ, da der Grundwasserleiter in der Umgebung der Deponie (also auch in Strömungsrichtung und somit Ort des Brunnens) vollständig oder fast vollständig versalzt ( $> 250 \text{ mg/l}$  Chlorid) ist. Die Nutzung des Grundwassers als Trinkwasser ist somit auszuschließen.

Für diese Expositionsszenarien wird die potenzielle nuklidspezifische Exposition berechnet. Dabei werden die Maximalwerte der jeweiligen nuklidspezifischen (normierten) Konzentrationen (Tabelle

4-49, Spalte 2) und die jeweils aus einer 100 %-igen Ausschöpfung der Freigabewerte resultierenden Aktivitätskonzentrationen in der Durchsickerungsschicht (berechnet in Bq/g, Tabelle 4-49, Spalte 4) und die Dosiskoeffizienten (Tabelle 4-49, Spalte 3) multipliziert. Die Aktivitätskonzentrationen in der Durchsickerungsschicht ergeben sich aus einer Aktivität resultierend aus:

- 1.000 Mg Freigabematerial bei Vollausschöpfung der Freigabewerte nach Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8 StrlSchV und
- 9.000 Mg Freigabematerial bei Vollausschöpfung der Freigabewerte nach Anl. 4 Tab. 1 Sp. 10 StrlSchV

sowie einer Masse in der Schicht für ein Volumen von 217 m × 217 m × 1 m und einer Dichte von 1,2 Mg/m<sup>3</sup>. Da die Durchsickerungsschicht nach dem potenziellen Versagen der Abdeckung eine größere Fläche aufweist, als die derzeit durchsickerte Fläche des BA Nord (siehe Abbildung 2-1), ist die berechnete spezifische Aktivität in Tabelle 4-49 nicht identisch mit den Werten aus Tabelle 4-43.

Tabelle 4-49: Potenzielle Exposition für das Szenario G.

Nuklid	Maximalkonzentration im Brunnenförderwasser [Bq/l pro Bq/g]	Dosiskoeffizient [μSv/a pro Bq/l]	Spez. Aktivität in der Durchsickerungsschicht [Bq/g]	Resultierende Exposition [μSv/a]	Überschreitung Dosis-kriterium	Max. zulässige Gesamtaktivität in Durchsickerungsschicht [Bq]
<b>C-14</b>	1,38E+00	5,38E+00	1,34E+02	<b>998</b>	<b>100</b>	<b>7,6E+10</b>
<b>Cl-36</b>	2,29E+01	7,77E+01	1,01E-01	<b>180</b>	<b>18,0</b>	<b>3,2E+08</b>
<b>Ca-41</b>	1,35E+01	8,44E-01	6,72E+00	<b>77</b>	<b>7,7</b>	<b>5,0E+10</b>
Ni-63	2,62E-02	7,71E-01	3,36E+02	7,0	0,70	2,8E+13
Sr-90	1,24E-02	1,79E+02	2,02E-01	0,448	0,045	1,1E+10
<b>Nb-94</b>	1,88E+00	1,01E+01	6,55E-01	<b>12,5</b>	<b>1,25</b>	<b>3,7E+10</b>
<b>Ag-108m</b>	8,08E+00	2,12E+01	3,19E-01	<b>55</b>	<b>5,5</b>	<b>3,3E+09</b>
<b>U-234</b>	3,27E+00	1,69E+02	2,02E-01	<b>111</b>	<b>11,1</b>	<b>1,0E+09</b>
<b>U-235</b>	3,27E+00	1,80E+02	1,01E-01	<b>59</b>	<b>5,9</b>	<b>9,6E+08</b>
<b>U-238</b>	3,27E+00	1,51E+02	2,02E-01	<b>100</b>	<b>10,0</b>	<b>1,1E+09</b>
<b>Pu-239</b>	2,91E-01	1,71E+03	9,73E-02	<b>48</b>	<b>4,8</b>	<b>1,1E+09</b>
<b>Pu-240</b>	1,84E-01	1,71E+03	1,13E-01	<b>36</b>	<b>3,6</b>	<b>1,8E+09</b>

Bei jeweiliger voller Ausschöpfung der FGW ergeben sich für die meisten der in Tabelle 4-49 aufgeführten Nuklide rechnerisch eine Überschreitungen des Dosiskriteriums von 10 μSv/a (Tabelle 4-49, Spalte 5 für die potenzielle Exposition, Tabelle 4-49, Spalte 6 für den Faktor der Überschreitung des Dosiskriteriums, jeweils fett markierte Nuklide). Andere, nicht in Tabelle 4-49 aufgeführte, aber bei der Freigabe aus dem KKKU relevante Nuklide (vgl. Tabelle 3-1) tragen nicht signifikant zur potenziellen Exposition über das Expositionsszenario G bei.

Beim Expositionsszenario G ist nicht die Aktivitätskonzentration in den einzelnen Chargen relevant, sondern nur die gesamte, auf der Deponie abgelagerte Aktivität. Eine **Reduzierung der FGW** der

einzelnen Nuklide ist daher **nicht** erforderlich. Die Einhaltung des Dosiskriteriums kann vielmehr durch eine **Begrenzung** der **Aktivität** erreicht werden, die **insgesamt** durch KKV auf der **Deponie abgelagert** wird. Hierbei ist über die Ausschöpfung der jeweiligen maximal zulässigen **Gesamtaktivitäten** (Tabelle 4-49, Spalte 7) **aller in Tabelle 4-49 aufgeführten Nuklide** (Tabelle 4-49, Spalte 1, für nicht dort aufgeführte Nuklide ist eine Aktivitätsbegrenzung für das Expositionsszenario G nicht erforderlich) die **Summenformel** anzuwenden. Eine **Überlagerung** mit **anderen Expositionspfaden** ist dabei **nicht** zu berücksichtigen (potenzielle Auswirkungen des Expositionsszenarios G sind erst nach mehr als 100 Jahren nach Abdeckung der Deponie relevant). Daher ist die Summenformelbildung, die zur Einhaltung des Dosiskriteriums bezüglich des Expositionsszenarios G anzuwenden ist, **unabhängig** von der Summenformelanwendung bei der Feststellung der Freigabefähigkeit einzelner Freigabechargen. Die Anwendung des Abschneidekriteriums (10 %-Regel) bei der Feststellung der Freigabefähigkeit einzelner Chargen ist weiterhin möglich.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die bei der üblichen Freigabepraxis erreichbaren Ausschöpfungen der Freigabewerte in Verbindung mit dem Nuklidvektor zwangsläufig zu einer Einhaltung der hier aufgeführten Begrenzung der Gesamtaktivität führen. Eine entsprechende Bilanzierung ist dennoch erforderlich und im Rahmen der üblichen Freigabeanforderungen ohne großen Zusatzaufwand möglich.

Die bisher auf dem BA-Nord der Zentraldeponie Brake-Käseburg erfolgten freigabeäquivalenten Ablagerungen summieren sich (zerfallskorrigiert auf den Stichtag 01.06.2018) auf  $2,6 \cdot 10^6$  Bq und sind daher, unabhängig von der Nuklidzusammensetzung, nicht relevant bezüglich der oben aufgeführten Aktivitätsbegrenzungen.

Die auf dem BA-Süd der Zentraldeponie Brake-Käseburg erfolgten freigabeäquivalenten Ablagerungen betragen  $6,4 \cdot 10^5$  Bq (zerfallskorrigiert auf den Stichtag 01.06.2018, Co-60 und Ni-63) und tragen daher, auch bei Berücksichtigung, dass im BA-Süd keine Basisabdichtung mit Kunststoffdichtungsbahnen vorliegt, nicht signifikant zu einer potenziellen Exposition der Bevölkerung durch das Grundwasser bei.

### **4.3. Zusätzliche Szenarien**

Im Abschnitt 4.2 wurden die Szenarien gemäß [SSK 06] diskutiert und teilweise mit angepassten Parametern neu berechnet. Gemäß [PEL 19] und [PEL 20] sind auf Grund der Gegebenheiten der Zentraldeponie Brake-Käseburg weitere Szenarien zu betrachten. Diese Betrachtung erfolgt in den folgenden Unterabschnitten. Falls erforderlich, werden zu den Szenarien explizit Berechnungen zum Nachweis der Einhaltung des Dosiskriteriums durchgeführt.

#### **4.3.1. Umgang mit Material bei der Deponieerweiterung**

Bei einer nicht auszuschließenden Deponieerweiterung kann eine Umlagerung von Abfällen aus dem 1. Teilabschnitt BA-Nord in den (dann zu realisierenden) 2. Teilabschnitt BA-Nord zur Herstellung erforderlicher Konturen notwendig werden (siehe Abschnitt 2.5.1). Dabei kann prinzipiell nicht ausgeschlossen werden, dass aus dem KKV eingelagerte Abfälle aus der Freigabe zur Beseitigung ebenfalls von einer solchen Umlagerung betroffen sind. Gemäß Erläuterung durch die abfallrechtlich zuständige Behörde sind nach Deponieverordnung bei einer Reprofilierung zunächst die deponieeige-

nen Abfälle zu verwenden. Eine Verbrennung der KKV-Abfälle ist aufgrund ihrer Materialzusammensetzung nicht möglich (v.a. Beton und Dämmmaterial). Eine Aussortierung verwertbarer Anteile wie Eisen usw. ist im Rahmen einer solchen Umlagerung nicht zulässig. Der letzte Großversuch für ein derartiges „landfill mining“ hat außerdem gezeigt, dass diese Art der Rückgewinnung von Rohstoffen aktuell nicht wirtschaftlich ist.

Aus dieser Möglichkeit ergibt sich ein potenzielles Expositionsszenario, welches dem Standardszenario D3 „Deponie Einlagerung“ ähnelt. Allerdings unterscheidet sich dieses Szenario zum standort-spezifischen D3-Szenario wie folgt:

- Die Vermischungsmengen für potenziell umzulagerndes Material ergeben sich aus den verbleibenden Restvolumina der Deponie von ca. 58.000 m<sup>3</sup> (siehe Abschnitt 2.1) und dem geplanten Einlagerungsvolumen für Reststoffe aus der Freigabe zur Beseitigung aus dem KKV von ca. 8.300 m<sup>3</sup> (siehe Abschnitt 3).
- Die Beschädigung von eingelagerten Big-Bags bei der Umlagerung führt ggf. zu einer Staubbefreiung.

Demgegenüber steht, dass

- gemäß Abschnitt 4.2.4 und Abschnitt 4.2.6 für Nuklide mit signifikanter  $\gamma$ -Strahlung Aktivitätsbeschränkungen einzuhalten sind, die dazu führen, dass in den umzulagernden Massen geringere Aktivitätskonzentrationen auftreten als bei einer Vollausschöpfung der FGW,
- das Hauptnuklid bei der Freigabe aus dem KKV Co-60 ist (zu erwartender Anteil an der Ausschöpfung der Summenformel FGW mehr als 90 %<sup>16</sup>, Halbwertszeit 5,3 a) und daher bei einer potenziellen Umlagerung, die erst einige Jahre nach Einlagerung stattfinden wird, ein signifikanter Anteil schon zerfallen ist und
- Arbeiten zum Umlagern von Deponiematerial auf mehrere Personen<sup>17</sup> verteilt sein werden.

Die gegenüber dem Standardszenario größeren Mengen an potenziell kontaminiertem Material, was gehandhabt wird (Faktor 10) werden ausgeglichen durch:

- Reduzierte Aktivitäten  $\gamma$ -aktiver Nuklide (aus Szenario D3, mindestens Faktor 4),
- Aktivitätsverringern durch radioaktiven Zerfall des dominierenden Nuklids Co-60 (Faktor 2 je 5,3 a bis zur Durchführung der Umlagerung),
- aus den Abläufen einer Umlagerung resultierenden Verdünnungen (maximal Faktor 7) und
- geringer Anteil an Nukliden mit hoher Relevanz der Inhalation im Nuklidvektor (zusätzlich reduzierte Aktivität für Pu-239 / Pu-240<sup>18</sup> aus Szenario G, mindestens Faktor 3,6).

---

<sup>16</sup> Im Nuklidvektor entspricht dies einem Anteil von ca. 50 % für Co-60. Mit Co-60 immer verbunden sind die Korrosions- / Aktivierungsprodukte Fe-55 und Ni-63, die in Summe mit Co-60 zu einem Nuklidvektoranteil von mehr als 90 % führen. Die Nuklide Fe-55 und Ni-63 sind aber nicht  $\gamma$ -aktiv und haben sehr hohe FGW.

<sup>17</sup> Die Umlagerung und Konturierung von 58.000 m<sup>3</sup> würde ansonsten deutlich länger als ein Jahr in Anspruch nehmen und wäre im Deponiebetrieb nicht umsetzbar.

<sup>18</sup> Für das ebenfalls inhalationsrelevante Nuklid Am-241 wurde in diesem EFN keine Beschränkung berechnet. Der FGW für Am-241 ist allerdings schon durch die bis 2017 geltende Freigrenze [SSV 17] erheblich reduziert.

Daher kann das Standardszenario D3 gemäß [SSK 06] als abdeckend für eine mögliche Umlagerung von Material auf der Zentraldeponie Brake-Käseburg ohne erweiterte Anforderungen an den Arbeitsschutz beim Umlagern (z. B. „Asbestbedingungen“) angesehen werden und die Einhaltung des Dosiskriteriums ist demnach gegeben.

#### **4.3.2. Entwässerung und Entsorgung von Klärschlamm**

Für die Abschätzung der potenziellen Exposition bei der Entwässerung von Klärschlamm kann die in Tabelle 4-43 ermittelte Aktivitätskonzentration im feuchten Klärschlamm herangezogen werden. Bis auf wenige Ausnahmen<sup>19</sup> sind die berechneten Aktivitätskonzentrationen im feuchten Klärschlamm zum Teil deutlich niedriger als die FGW für die uneingeschränkte Freigabe gemäß Anl. 4 Tab. 1 Sp. 3 StrlSchV. Die Handhabung dieser Substanz, wie Probenahme und Befüllung des Tankwagens zur Entsorgung durch einen zertifizierten Klärschlamm Entsorger, ist durch das abdeckende Szenario (vgl. Abschnitt 4.3.3) bereits berücksichtigt. Somit sind keine Expositionen > 10 µSv/a zu besorgen.

Für die Entsorgung von getrocknetem Klärschlamm ist ebenfalls keine Expositionen > 10 µSv/a zu besorgen, da der FGW gemäß Anl. 4 Tab. 1 Sp. 9 StrlSchV für die spezifische Freigabe zur Beseitigung in Verbrennungsanlagen von bis zu 100 Mg/a bei trockenem Klärschlamm deutlich unterschritten wird.

#### **4.3.3. Beprobung und Reinigung von Behältern**

Gemäß [PEL 19] fallen regelmäßig umfangreiche Arbeiten zur Beprobung von Sickerwasser aus diversen Behältern und gelegentlich (in der Regel viermal pro Jahr) Arbeiten zur Reinigung von Sickerwasserbehältern an. Für diese Arbeiten ist zu prüfen, inwieweit hier das Dosiskriterium eingehalten wird.

In [PEL 19] wurde als abdeckendes Szenario hierfür die arbeitstägliche Beprobung der Sickerwasserbehälter definiert. Hier ist von einem Gesamtzeitaufwand von 45 min (0,75 h) pro Arbeitstag für das Aufsuchen des Behälters, die Beprobung und den anschließenden Rückweg auszugehen. Um dieses Szenario als abdeckend definieren zu können, wird angenommen, dass diese Arbeit nur von einer Person durchgeführt wird und diese Person die Zeit von 0,75 h vollständig auf dem Rand des Sickerwasserausgleichsbehälters (größter Behälter) verbringt. Diese Position führt zur höchsten Exposition durch Direktstrahlung aus dem Sickerwasser, da der Behälter nur mit einer Abdeckung versehen ist, die eine sehr geringe Abschirmwirkung hat. Die Wände aller Behälter bestehen dagegen aus Beton mit einer Dicke von 0,18 m, so dass beim Aufenthalt neben dem Behälter (bzw. weiterer Behälter) nur eine deutlich geringere Direktstrahlung von Nukliden aus dem Sickerwasser zur Wirkung kommt. Das definierte Szenario ist (auf Grund der relativ hohen Gesamtzeit im Jahr) auch abdeckend hinsichtlich zusätzlicher Arbeiten wie das Reinigen der Behälter.

Beim Sickerwasserausgleichsbehälter handelt es sich um ein zylinderförmiges Bauwerk mit einem Füllvolumen von ca. 1.600 m<sup>3</sup>. Davon werden im Normalbetrieb ca. 200 m<sup>3</sup> als Reserve für den Si-

---

<sup>19</sup> Für Ba-133 und Ag-108m werden aus Szenario D3 und O2 Einschränkungen für die freizugebende Aktivität ermittelt, die hier noch nicht berücksichtigt sind. Außerdem sind diese Nuklide im Nuklidvektor des KKV nur zu sehr geringen Anteilen zu erwarten.

ckerwasseranfall nach Starkniederschlagsereignissen freigehalten. Der Außendurchmesser des Behälters beträgt 19,2 m. Die Zylinderhöhe (Fußpunkt für eine Person zur Beprobung) wird mit 6,2 m angesetzt. Für die obere Abdeckung des Behälters wird keine Abschirmwirkung angenommen.

Mit diesen Parametern erfolgte eine MicroShield®-Berechnung zur Ermittlung der Dosisleistung durch Nuklide im Sickerwasser (Nuklidauswahl wie in Abschnitt 4.2.4) bei verschiedenen Füllmengen des Behälters und verschiedene Geometrien bezüglich der betroffenen Person, deren Ergebnisse in Tabelle 4-50 dargestellt sind.

Tabelle 4-50: Normierte Dosisleistung [ $\mu\text{Sv/h pro Bq/l}$ ] im Szenario „Beprobung des Ausgleichsbehälters“.

Nuklid	normierte Dosisleistung [ $\mu\text{Sv/h pro Bq/l}$ ]							
	Vol.: 1.600 m <sup>3</sup>		Vol.: 1.400 m <sup>3</sup>		Vol.: 1.000 m <sup>3</sup>		Vol.: 700 m <sup>3</sup>	
	Rotation <sup>a</sup>	AP <sup>a</sup>	Rotation	AP	Rotation	AP	Rotation	AP
Co-60	2,04E-04	2,41E-04	1,86E-04	2,20E-04	1,57E-04	1,86E-04	1,40E-04	1,66E-04
Cs-137	4,47E-05	5,58E-05	4,10E-05	5,12E-05	3,44E-05	4,30E-05	3,06E-05	3,82E-05
Eu-152	9,11E-05	1,12E-04	8,36E-05	1,03E-04	7,06E-05	8,67E-05	6,26E-05	7,69E-05
Eu-154	1,07E-04	1,29E-04	9,77E-05	1,18E-04	8,24E-05	9,97E-05	7,32E-05	8,85E-05
Ag-108m <sup>b</sup>				1,52E-04				
Ba-133 <sup>b</sup>				3,27E-05				

- <sup>a</sup> Erläuterung zu den Geometrieannahmen  
 Rotation: Zeitdauern, in denen sich die Strahlungsquelle vor, hinter und seitlich zur betrachteten Person befindet, sind als gleichwertig anzusehen  
 AP: anterior-posterior, horizontale Positionierung der exponierten Person in Blickrichtung zur Strahlungsquelle, ungünstigste Geometrie
- <sup>b</sup> Für diese Nuklide wurden normierte Dosisleistung-Werte nur noch für die später verwendete Geometrie und Behälterfüllung berechnet.

Mit Hilfe der berechneten jährlichen Nuklidabgabe mit dem Sickerwasser (siehe Tabelle 4-42) und der jährlich insgesamt (mit BA-Süd) anfallenden Sickerwassermenge (ca. 36.800 m<sup>3</sup>) kann die Dosisleistung für die Person berechnet werden. Daraus ergibt sich bei einer angenommenen Dauer von 0,75 h pro Arbeitstag und einer Anzahl von 220 Arbeitstagen im Jahr (Aufenthaltszeit von 165 h im Jahr) die gesamte jährliche Exposition durch Direktstrahlung aus den Dosisleistungswerten gemäß Tabelle 4-50.

In Tabelle 4-51 sind die Ergebnisse der Dosisberechnung zusammengefasst. Dabei wurde von einer Behälterfüllung mit 1.400 m<sup>3</sup> (maximaler Füllstand ohne Einbeziehung der Reserve) und einer ungünstigen Geometrie für die Referenzperson<sup>20</sup> ausgegangen.

<sup>20</sup> Hier ist eine Vorzugsgeometrie nicht auszuschließen.



**Tabelle 4-51:** Exposition im Szenario „Beprobung des Ausgleichsbehälters“, Behälterfüllung 1.400 m<sup>3</sup>.

Nuklid	normierte Dosisleistung [μSv/h pro Bq/l]	Aktivitätsabgabe mit dem Sickerwasser [Bq/a pro Bq/g]	Spez. Aktivität in der Durchsickerungsschicht [Bq/g]	Aktivitätskonzentration im Sickerwasser [Bq/l]	Jahresdosis [μSv/a]
Co-60	2,20E-04	4,31E+00	6,53E-01	7,65E-08	< 0,1
Cs-137	5,12E-05	9,74E+02	2,23E+00	5,90E-05	
Eu-152	1,03E-04	2,38E+02	1,25E+00	8,08E-06	
Eu-154	1,18E-04	5,46E+01	1,25E+00	1,85E-06	
Ag-108m	1,52E-04	5,84E+08	4,90E-01	7,78E+00	0,20
Ba-133	3,28E-05	2,75E+07	3,54E+00	2,65E+00	0,014

Die Ergebnisse zeigen, dass im Szenario „Beprobung des Ausgleichsbehälters“ (als abdeckendes Szenario für Behälterbeprobung und -reinigung) die berechnete Exposition insgesamt 0,2 μSv/a nicht übersteigt. Dies schließt auch die Nuklide Ag-108m und Ba-133 mit ein, deren berechnete Konzentration im Sickerwasser relativ hoch ist.

Das als abdeckend für die Behälterbeprobung und -reinigung anzunehmende Szenario ergibt daher eine potenzielle Exposition, die den Bereich von 10 μSv/a deutlich unterschreitet.

Ein weiteres Szenario betrifft die Reinigung von Becken. Betrachtet wird gemäß [PEL 20] die Reinigung eines Beckens mit einer Ausdehnung von 2 m × 2 m × 2 m. Dies ist mit Sickerwasser befüllt. Dosisfaktoren werden mit MicroShield® für eine Person berechnet, die sich in der Mitte des Beckens 1 m über der Wasseroberfläche befindet. Als Aufenthaltsdauer werden 4 h pro Woche für 52 Wochen (insgesamt 208 h) angesetzt.

**Tabelle 4-52:** Exposition im Szenario „Beckenreinigung“.

Nuklid	normierte Dosisleistung [μSv/h pro Bq/l]	Aktivitätsabgabe mit dem Sickerwasser [Bq/a pro Bq/g]	Spez. Aktivität in der Durchsickerungsschicht [Bq/g]	Aktivitätskonzentration im Sickerwasser [Bq/l]	Jahresdosis [μSv/a]
Co-60	1,23E-04	4,31E+00	6,53E-01	7,65E-08	< 0,01
Cs-137	2,90E-05	9,74E+02	2,23E+00	5,90E-05	
Eu-152	5,78E-05	2,38E+02	1,25E+00	8,08E-06	
Eu-154	6,62E-05	5,46E+01	1,25E+00	1,85E-06	
Ag-108m	8,54E-05	5,84E+08	4,90E-01	7,78E+00	0,14
Ba-133	1,83E-05	2,75E+07	3,54E+00	2,65E+00	0,010

Die Ergebnisse zeigen, dass im Szenario „Beprobung des Ausgleichsbehälters“ (als abdeckendes Szenario für Behälterbeprobung und -reinigung) die berechnete Exposition insgesamt 0,2 μSv/a nicht übersteigt. Dies schließt auch die Nuklide Ag-108m und Ba-133 mit ein, deren berechnete Konzentration im Sickerwasser relativ hoch ist.



Für den Fall, dass eine Person beide Aufgaben übernimmt, würde sich die berechnete Exposition auf einen Wert  $< 0,4 \mu\text{Sv/a}$  addieren und damit den Wert des Dosiskriteriums deutlich unterschreiten.

#### **4.3.4. Umgang mit Filtermaterialien**

Aus der Filteranlage der Kläranlage fallen im Rahmen der Reinigung und Wartung Feststoffe an. Dabei handelt es sich um ca. 0,5 Mg Filtermaterial (Aktivkohle) pro Jahr, sowie Kiese und Quarzsande. Am Kiesfilter wird jährlich ein Tausch des Filtermaterials durchgeführt [PEL 20]. Einmal pro Woche werden die Filter (sowohl Kies als auch Aktivkohle) mit einem Zeitaufwand von ca. 4 h gespült.

Die Aktivkohle wird extern entsorgt. Durch die Einhaltung der Werte der spezifischen Freigabe ist die Verbrennung bereits radiologisch abgedeckt. Eine Weiternutzung im Bereich der Lebensmittel bzw. Kosmetik ist ausgeschlossen.

Die ausgetauschten Kiese und Quarzsande werden auf der Deponie abgelagert.

Eine potenzielle Exposition für Personen ergibt sich durch die Spülung der Filter. Hierbei können sorbierte Radionuklide für eine Exposition durch  $\gamma$ -Strahlung sorgen. Eine solche Sorption ist hauptsächlich an der Aktivkohle zu erwarten. Kiese und Quarzsande weisen demgegenüber deutlich geringere Sorptionsfähigkeit auf. Daher ist der Umgang mit diesen nicht mit einer signifikanten Exposition verbunden. Die Einlagerung der ausgetauschten Kiese und Quarzsande auf der Deponie hat keinen Einfluss auf die Aktivitätsbilanz. Rückspülwässer werden der Kläranlage zugeführt und sind somit nicht explizit zu betrachten.

Im Folgenden wird daher nur noch die potenzielle Exposition in Zusammenhang mit dem Aktivkohlefilter betrachtet.

Als abdeckendes Szenario für potenzielle Exposition durch Filtermaterialien wird die Exposition durch das Spülen des Aktivkohlefilters betrachtet. Die dafür benötigte Zeit summiert sich auf  $52 \times 4 \text{ h}$  zu insgesamt 208 h. Mit Hilfe des Programms Microshield<sup>®</sup> werden Dosisfaktoren für eine Geometrie des Filters von  $2 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$  berechnet. Dabei wird konservativ der Aktivkohlefilter mit einer effektiven Dichte von  $0,2 \text{ Mg/m}^3$  betrachtet. Als Bestrahlungsgeometrie wird die ungünstigste Geometrie AP (anterior-posterior, horizontale Positionierung der exponierten Person in Blickrichtung zur Strahlungsquelle) gewählt.

Die Aktivkohle dient zur Reinigung des Sickerwassers von organischen Komponenten und hat dementsprechend eine hohe Sorptionsfähigkeit für solche Verbindungen. Anorganische Verbindungen werden dagegen eher gering sorbiert. Konservativ wird trotzdem ein  $K_d$ -Wert von  $100 \text{ cm}^3/\text{g}$  für die Sorption aller betrachteter Radionuklide an der Aktivkohle angesetzt. Mit Hilfe der für das Sickerwasser berechneten Nuklidkonzentrationen (siehe Tabelle 4-51) wird die Aktivitätskonzentration auf dem Aktivkohlefilter berechnet und damit die potenzielle Dosis für das Szenario „Umgang mit Filtermaterialien“ berechnet.

Die Parameter sind in Tabelle 4-53 zusammengefasst.

Die Betrachtung für die Aktivkohle ist abdeckend für den Kiesfilter, da:

- die höhere Dichte des Kiesfilters eine höhere Selbstabsorption aufweist und
- die geringe Sorptionskapazität von Kies zu einer gegenüber der Aktivkohle geringeren Aktivitätsbelastung führt.

Tabelle 4-53: Parameter für das Szenario „Umgang mit Filtermaterialien“

Parameter	Einheit	Wert
K <sub>d</sub> -Wert Radionuklide	[cm <sup>3</sup> /g]	100
Dichte Aktivkohle	Mg/m <sup>3</sup>	0,2
Masse Aktivkohle	Mg	0,5
Umgangszeit [h] pro Jahr	[h]	208

Die Dosisfaktoren und Ergebnisse der Dosisberechnung sind in Tabelle 4-54 dargestellt.

Tabelle 4-54: Ergebnisse für das Szenario „Umgang mit Filtermaterialien“.

Nuklid	Dosisleistungsfaktor [mSv/h / Bq]	Aktivitätskonzentration im Sickerwasser [Bq/l]	Aktivität im Aktivkohlefilter [Bq]	Dauer der Arbeiten [h] pro Jahr	Dosis [µSv] pro Jahr
Co-60	5,00E-10	7,65E-08	3,82E-03	208	< 0,01
Cs-137	1,29E-10	5,90E-05	2,95E+00		
Eu-152	2,51E-10	8,08E-06	4,04E-01		
Eu-154	2,76E-10	1,85E-06	9,27E-01		
Ag-108m	3,80E-10	7,78E+00	3,89E+05		31
Ba-133	8,18E-11	2,65E+00	1,32E+05		2,3

Die resultierende Exposition ist in diesem Fall für die Nuklide Co-60, Cs-137, Eu-152 und Eu-154 insgesamt deutlich kleiner als 0,01 µSv/a.

Für die Nuklide Ag-108m und Ba-133, deren berechnete Konzentration im Sickerwasser und damit auch in der Aktivkohle relativ hoch ist, wird dagegen eine Exposition ermittelt, die das Dosiskriterium signifikant ausschöpft (Ba-133) bzw. überschreitet (Ag-108m). Die Berechnungsergebnisse beziehen sich aber jeweils auf eine Vollausschöpfung der FGW. Werden die Einschränkungen aus dem Szenario D3 bzw. O2 (Ag-108m) mit berücksichtigt, so reduziert sich die ermittelte Dosis um den Faktor 4 bei Ba-133 bzw. um den Faktor 40 bei Ag-108m. Die damit ermittelte Exposition liegt dann unter 1 µSv/a.

Sowohl die Beprobung und -reinigung von Behältern als auch der Umgang mit Filtermaterial führt nicht zu Expositionen, die das Dosiskriterium von 10 µSv pro Jahr signifikant ausschöpfen. Selbst bei Überlagerung von Expositionen aus diesen beiden Szenarien ist keine Überschreitung des Dosiskriteriums zu besorgen.

#### 4.3.5. Entsorgung von Überschusswasser

Für den sehr seltenen Fall, dass nach Starkregenereignissen und bei langandauernden Niederschlagsperioden Abwasser und Sickerwasser anfällt, das nicht in den Ausgleichsbehältern aufgefangen werden kann, erfolgt die Abgabe in Tankwagen an dafür zugelassene Entsorger (externe Kläranlagen). Derzeit ist dafür die Kläranlage der Deponie Tonnenmoor in Vechta vorgesehen.

Nachfolgend erfolgt eine Berechnung der potenziellen Exposition für den Tankwagenfahrer. Unabhängig von der Entfernung zu einem möglichen externen Entsorger wird dabei davon ausgegangen, dass der Tankwagenfahrer ca. 1.000 h im Jahr entsprechende Ladung fährt (die Hälfte der maximal möglichen Arbeitszeit, die andere Hälfte sind „leere“ Rückfahrten).

Die Dosisfaktoren wurden mit Hilfe eines Modells für einen Standardtankwagen mit dem Programm Microshield<sup>®</sup> berechnet.

Tabelle 4-55: Potenzielle Exposition berechnet für die Entsorgung von Überschusswasser

Nuklid	Dosisleistungsfaktor [(mSv/h) pro Bq]	Volumen Tankfahrzeug [m <sup>3</sup> ]	Aktivität im Sickerwasser [Bq/l]	Aktivität Tankfahrzeug [Bq]	Dosisleistungsfaktor [μSv/h]	Expositionszeit [h/a]	Jahresdosis [μSv/a]
Co-60	5,65E-13	25	7,65E-08	1,91E-03	1,08E-12	1.000	<< 0,01
Cs-137	1,18E-13		5,90E-05	1,48E+00	1,74E-10		
Eu-152	2,39E-13		8,08E-06	2,02E-01	4,83E-11		
Eu-154	2,85E-13		1,85E-06	4,64E-02	1,32E-11		
Ag-108m	3,43E-13		7,78E+00	1,94E+05	6,67E-05		
Ba-133	7,37E-14		2,65E+00	6,61E+04	4,88E-06		4,9E-03

Die Ergebnisse der Berechnungen zeigen, dass für alle betrachteten Nuklide einschließlich Ag-108m und Ba-133 keine signifikante Ausschöpfung des Dosiskriteriums ermittelt wird.

#### 4.3.6. Ausgasung aus dem Deponiekörper

Durch bakteriellen Abbau wird der organisch und zum Teil anorganisch vorliegende Kohlenstoff unter den typischen anaeroben Bedingungen in der Deponie zum größten Teil als Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) und Methan (CH<sub>4</sub>) mit dem Deponiegas abgegeben. Diejenigen Radionuklide, welche in signifikanten Mengen im Deponiegas auftreten und hierdurch freigesetzt werden könnten, sind H-3 und C-14.

Die Deponie besitzt Messvorrichtungen für den Gesamtstrom von austretendem Deponiegas aus den BA-Nord und Süd. Der für die Einlagerung mit KKV-Abfällen vorgesehene BA-Nord hat eine einzelne Entgasungsebene. Deponiegas tritt aus dem BA-Süd und in geringem Umfang aus dem BA-Nord aus und wird gemeinsam abgeleitet. Bei stichprobenartigen Messungen der Gasqualität im Gesamtstrom des BA-Nord wurden im Jahr 2018 nur geringe CH<sub>4</sub>-Gehalte von ca. 15 Vol.-% festgestellt (2017: 8 – 18 Vol.-%, 2016: 16 – 18 Vol.-%) [AWW 19].

Zur Prüfung der Einhaltung des Dosiskriteriums ist zu betrachten, ob eine Gasfreisetzung aus den bereits auf der Deponie abgelagerten Abfällen, welche nicht gemäß StrlSchV [SSV 18] freigegeben wurden, zu einer Freisetzung von Radionukliden aus den gemäß StrlSchV spezifisch zur Beseitigung auf Deponien freigegebenen festen Reststoffen führen kann. Darüber hinaus ist auch eine Gasfreisetzung aus den freigegebenen festen Reststoffen aus dem KKV zu betrachten [TÜV 19]:

- Eine Gasfreisetzung aus den nicht gemäß StrlSchV freigegebenen Abfällen führt aufgrund der chemischen Zusammensetzung des Deponiegases (geringe Reaktivität) nicht zu einer Freisetzung von Radionukliden aus den gemäß StrlSchV freigegebenen festen Reststoffen des KKV [TÜV 19].
- Eine Gasfreisetzung aus den abgelagerten und gemäß StrlSchV freigegebenen festen Reststoffen selbst ist nicht relevant, da diese Reststoffe kein organisches Material enthalten, welches durch Gär- und Faulprozesse eine Freisetzung von H-3 und C-14 bewirken könnte.

Aufgrund der geringen Methangehalte im austretenden Deponiegas aus den bereits abgelagerten, nicht gemäß StrlSchV freigegebenen Abfällen, der geringen Reaktivität des Deponiegases und der hinsichtlich einer Gasbildung chemisch inerten Zusammensetzung der gemäß StrlSchV freigegebenen festen Reststoffe aus dem KKV ist eine Ausgasung von Radionukliden aus dem Deponiekörper und eine damit verbundene Überschreitung des Dosiskriteriums nicht zu besorgen.

## **5. FAZIT**

Im vorliegenden EFN wurde geprüft, inwieweit eine Ablagerung von Material aus der Freigabe zur Beseitigung aus dem KKV auf der Zentraldeponie Brake-Käseburg im Einklang mit der Einhaltung des Dosiskriteriums  $10 \mu\text{Sv/a}$  steht. Diese Einzelfallprüfung war erforderlich, da die Randbedingungen für die betrachtete Deponie vom Standardmodell abweichen, die in [SSK 06] zur Herleitung der FGW der Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8 bzw. 10 StrlSchV verwendet wurden.

Es wurden folgende Gesamtmassen der zur Freigabe vorgesehenen Materialien aus dem KKV berücksichtigt:

- Freigabe unter Anwendung der Freigabewerte nach Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8 StrlSchV: 1.000 Mg
- Freigabe unter Anwendung der Freigabewerte nach Anl. 4 Tab. 1 Sp. 10 StrlSchV: 9.000 Mg

und angenommen, dass es sich um Bau- und Abbruchabfälle gemäß Abfallschlüssel 17 xx mit überwiegenden Massenanteilen aus Abfallschlüssel 17 01 xx (Beton, Ziegel, Fliesen und Keramik) handelt. Die aus Sicht dieses EFN wesentlichen Eigenschaften des Materials sind die Dichte (auf Grund der Abschirmung der  $\gamma$ -Strahlung) und im geringeren Maße das Auslaugverhalten durch Sickerwasser. Die betrachteten Eigenschaften sind dabei im Mittel über die gesamten geplanten Ablagerungen zu sehen. Abweichungen hinsichtlich Einzelchargen und bei jährlichen Abgaben bis 100 Mg (insbesondere bei der Dichte) sind dabei unerheblich. Es kann sich demnach auch um Material mit anderen Abfallschlüsseln handeln, solange die mittlere Dichte nicht deutlich unterschritten wird und es sich nicht um Material handelt, was eine erheblich stärkere Eluierbarkeit (Auslaugfähigkeit) für Radionuklide aufweist. Abfallrechtliche Anforderungen an die Ablagerungen bleiben durch diesen EFN unberührt.

Die Betrachtungen gehen dabei davon aus, dass keine Freigaben von mehr als 1.000 Mg/a erfolgen, die Freigabewerte nach Anl. 4 Tab. 1 Sp. 10 StrlSchV in Einzelchargen daher voll ausgeschöpft werden könnten. Eine Freigabe von mehr als 1.000 Mg/a kann jedoch unter Berücksichtigung der dazu erforderlichen Reduzierungen der Freigabewerte nach Anl. 4 Tab. 1 Sp. 10 StrlSchV erfolgen. Der hier durchgeführte EFN bleibt dann gültig. Die unten aufgeführten Begrenzungen der jährlichen bzw. Gesamtaktivitätseinlagerung sind jedoch einzuhalten. Eine Begrenzung der Einlagerungsdauer auf ein **bestimmtes Zeitfenster** (z. B. 2020 bis 2032, wie gemäß Planung derzeit vorgesehen) ist aus Sicht dieses EFN **nicht erforderlich**.

Es konnte gezeigt werden, dass bei Einhaltung der Freigabewerte nach Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8 bzw. 10 StrlSchV die Ablagerung der Materialien auf der Zentraldeponie Brake-Käseburg nicht zu einer Überschreitung des Dosiskriteriums führt, wenn zusätzlich folgende Randbedingungen eingehalten werden:

1. Die gesamte, auf der Zentraldeponie Brake-Käseburg einzulagernde Aktivität wird für die in Tabelle 5-1 aufgeführten Nuklide wie folgt begrenzt:

Tabelle 5-1: Begrenzung der Gesamtaktivität resultierend aus Szenario G: Nutzung von Grundwasser).

Nuklid	Begrenzung der Gesamtaktivität [Bq]
<b>C-14</b>	<b>7,6E+10</b>
<b>Cl-36</b>	<b>3,2E+08</b>
<b>Ca-41</b>	<b>5,0E+10</b>
Ni-63	2,8E+13
Sr-90	1,1E+10
<b>Nb-94</b>	<b>3,7E+10</b>
<b>Ag-108m</b>	<b>3,3E+09<sup>a</sup></b>
<b>U-234</b>	<b>1,0E+09</b>
<b>U-235</b>	<b>9,6E+08</b>
<b>U-238</b>	<b>1,1E+09</b>
<b>Pu-239</b>	<b>1,1E+09</b>
<b>Pu-240</b>	<b>1,8E+09</b>

<sup>a</sup> hier ist die Begrenzung gemäß Tabelle 5-3 restriktiver

Diese Begrenzung bezieht sich auf die **Gesamtablagerungsaktivität**, ist **nicht jahresbezogen** und **nicht** bezogen auf eine **einzelne Freigabecharge**, die der Entscheidungsmessung unterzogen wird. Auf die Begrenzung ist die Summenformel anzuwenden. Für die fett markierten Nuklide stellt diese Begrenzung eine über die Einhaltung der FGW der Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8 bzw. 10 StrlSchV hinausgehende Einschränkung dar, für die anderen Nuklide ergibt sich diese Begrenzung durch eine Einhaltung der FGW der Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8 bzw. 10 StrlSchV automatisch. Da jedoch die Summenformel anzuwenden ist, muss die Einhaltung der Begrenzung der Gesamtablagerungsaktivität auch für diese Nuklide mit betrachtet werden.

2. Die Ablagerungen des freigegebenen Materials erfolgen gemäß Annahmebedingungen der Zentraldeponie Brake-Käseburg für asbesthaltiges Material:
  - a. Die Anlieferung erfolgt in geschlossenen Big-Bags oder gleichwertigen geschlossenen Gebinden.
  - b. Das Material wird zeitnah (innerhalb von 2 bis 3 Tagen) nach dem Abladen mit mindestens 0,1 m Abdeckmaterial (Bauschutt) überdeckt. Die Überschüttung der einzulagernden Big-Bags sollte von oben zeitnah erfolgen, eine Überschüttung der Ladekante erfolgt unmittelbar nach Beendigung einer Einlagerungskampagne.
  - c. Die Anforderungen an dieses Abdeckmaterial resultieren aus Sicht dieses EFN aus der Abschirmwirkung für  $\gamma$ -Strahlung. Das bedeutet, es muss die angenommene Dichte (hier 1,3 Mg/m<sup>3</sup> im Mittel über die aufzubringende Schichtdicke) eingehalten werden.
  
3. Die jährliche Einlagerungsaktivität wird für die in Tabelle 5-2 aufgeführten Nuklide begrenzt:

Tabelle 5-2: Begrenzung der Ablagerung der jährliche Aktivität resultierend aus Szenario D3: Einlagerung auf der Deponie bzw. O2: Nutzung von Klärschlamm.

Nuklid	Begrenzung der jährlichen Ablagerungsaktivität [Bq]	
	bei Freigabe von Isoliermaterial unter Anwendung Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8 (25 % Ausschöpfung FGW)	bei Freigabe von Bauschutt unter Anwendung Anl. 4 Tab. 1 Sp. 10 (25 % Ausschöpfung FGW)
Co-60	1,5E+08	5,0E+08
Nb-94	2,5E+08	7,5E+08
Ag-108m	2,3E+07 <sup>a</sup>	2,5E+07 <sup>a</sup>
Sb-125	1,0E+09	2,5E+09
Ba-133	1,0E+09	2,5E+09
Cs-137	2,5E+08	2,0E+09
Eu-152	2,5E+08	1,0E+09
Eu-154	2,5E+08	1,0E+09

<sup>a</sup> resultierend aus der potenziellen Nutzung von Klärschlamm (O2)

Diese Begrenzung bezieht sich auf die **Ablagerungsaktivität pro Jahr** und ist **nicht** bezogen auf eine **einzelne Freigabecharge**, die der Entscheidungsmessung unterzogen wird. Auf die Begrenzung ist die Summenformel anzuwenden. Diese ist **unabhängig** von der Begrenzung **nach Punkt 1** zu ermitteln. Die angegebene Ausschöpfung für die Freigabe von Bauschutt unter Anwendung Anl. 4 Tab. 1 Sp. 10 bezieht sich auf eine jährlich freizugebende Masse von maximal 1.000 Mg. Bei größeren Massen ist die Ausschöpfung entsprechend niedriger zu halten, es sind die angegebenen Jahresbegrenzungen der Aktivität einzuhalten.

4. Die gesamte Einlagerungsaktivität wird für die in Tabelle 5-3 aufgeführten Nuklide begrenzt:

Tabelle 5-3: Begrenzung der Gesamtaktivität resultierend aus Szenario D3: Einlagerung auf der Deponie bzw. O2: Nutzung von Klärschlamm.

Nuklid	Begrenzung der Gesamtaktivität [Bq]
Co-60	6,0E+09
Nb-94	9,3E+09
Ag-108m	4,5E+08 <sup>a</sup>
Sb-125	3,3E+10
Ba-133	3,3E+10
Cs-137	2,1E+10
Eu-152	1,2E+10
Eu-154	1,2E+10

<sup>a</sup> resultierend aus der potenziellen Nutzung von Klärschlamm (O2)

Diese Begrenzung bezieht sich auf die **Gesamtablagerungsaktivität** und ist **nicht jahresbezogen** und **nicht** bezogen auf eine **einzelne Freigabecharge**, die der Entscheidungsmessung unterzogen wird. Auf die Begrenzung ist die Summenformel anzuwenden. Diese ist **unabhängig** von der Begrenzung nach **Punkt 1** und ergibt sich bei Einhaltung der Begrenzung nach Punkt 3 automatisch, wenn die in Abschnitt 3 aufgeführten Freigabemassen nicht überschritten werden.

Die bei der üblichen Freigabepraxis erreichbaren Ausschöpfungen der Freigabewerte lassen die Einhaltung der hier aufgeführten Aktivitätsbegrenzungen erwarten. Eine entsprechende Bilanzierung ist jedoch erforderlich und im Rahmen der Erfüllung üblicher Freigabeanforderungen ohne großen Zusatzaufwand möglich.

Die Anwendung des Abschneidekriteriums (10 %-Regel nach Anl. 8 Teil A Buchst. e StrlSchV) bei der Feststellung der Freigabefähigkeit einzelner Chargen ist weiterhin möglich. Für die Bilanzierung der Ablagerungen der oben aufgeführten Nuklide ist eine obere Abschätzung, die sich aus der Anwendung der 10 %-Regel ergibt, anzuwenden, sofern dabei Nuklide, die in die Bilanzierung einzubeziehen sind und deren Aktivitätsmenge einen signifikanten Anteil an der einzuhaltenden Jahresmenge liefern, betroffen sind.

Eine Anwendung **reduzierter Freigabewerte** für Einzelchargen ist **nicht erforderlich**. Die bisher im Rahmen des Freigabekonzepts vorgesehenen Prozeduren für die Entscheidungsmessungen und Ermittlung der Ausschöpfung der Freigabewerte können daher mit Hinblick auf diesen EFN weiter zur Anwendung kommen.

Eine potenzielle Überlagerung der Exposition aus den Szenarien muss gemäß dem Ansatz aus [SSK 06] nicht besorgt werden, wonach das restriktivste (abdeckende) Szenario (und nur dies) als Szenario zur Ermittlung der FGW herangezogen wird. Die speziellen Randbedingungen der Zentraldeponie Brake-Käseburg geben prinzipiell keinen Anlass, davon abzuweichen. Eine theoretisch mögliche Überlagerung kann sich für Mitarbeiter der Deponie für die Szenarien D1 und D3



ergeben. Eine Überschreitung des Dosiskriteriums ist für potenziell betroffene Mitarbeiter dennoch aus folgenden Gründen nicht zu besorgen:

- In diesem EFN wird bei beiden Szenarien jeweils konservativ unterstellt, dass ein Mitarbeiter von der gesamten potenziell jährlich anfallenden Exposition eines Szenarios betroffen ist. Eine weitergehende Annahme dahin, dass nur ein einzelner Mitarbeiter von den gesamten potenziell jährlich anfallenden Expositionen in beiden Szenarien betroffen ist, ist bei der Anzahl an Mitarbeitern der Deponie nicht zu erwarten.
- Durch die oben beschriebenen notwendigen Begrenzungen der jährlichen Aktivitätsablagerungen zur Einhaltung des Dosiskriteriums im Szenario D3 wird auch die potenzielle Exposition für Szenario D1 deutlich unter  $1 \mu\text{Sv}$  pro Jahr gesenkt.

Die potenzielle Exposition im dosisbestimmenden Szenario D3 wird bei einer Abdeckmächtigkeit von 0,2 m gegenüber der Variante Abdeckmächtigkeit 0,1 m reduziert. In diesem Fall wäre eine mittlere Ausschöpfung von 33 % der FGW möglich. Für eine Ausschöpfung von 40 % der FGW bedarf es einer Abdeckmächtigkeit von 0,34 m.

Die bisher erfolgten, freigabeäquivalenten Ablagerungen auf der Zentraldeponie Brake-Käseburg wurden bei den Betrachtungen mit berücksichtigt. Es wurde festgestellt, dass von diesen Ablagerungen keine signifikanten Expositionen ausgehen.

Die Betrachtungen in diesem EFN gehen von einer Gesamtmasse der zur Freigabe vorgesehenen Materialien aus dem KKK von insgesamt 10.000 Mg aus. Dies stellt einen sehr konservativen Ansatz im Hinblick auf die Freigabeplanungen des KKK (7.000 Mg) dar.

Das Ablagern von Materialien aus der Freigabe zur Beseitigung durch andere Genehmigungsinhaber auf der Zentraldeponie Brake-Käseburg oder ggf. auch aus einer Erweiterung der Freigabeplanung durch KKK ist durch diesen EFN abgedeckt, wenn

- die Gesamtmasse von 10.000 Mg der Ablagerung während der angenommenen Restlaufzeit der Deponie nicht überschritten wird (im Hinblick auf die Betrachtungen zu den Expositionsszenarien O1, O2 und G),
- die Eigenschaften des Materials nicht wesentlich von den hier betrachteten Materialien (Bau- und Abbruchabfälle gemäß Abfallschlüssel 17 xx, Schwerpunkt Abfallschlüssel 17 01 xx) abweicht,
- es sich um Ablagerungen handelt, die Nuklide beinhalten, die in diesem EFN betrachtet wurden (siehe Tabelle 3-1, im Hinblick auf die hier explizit berechneten Expositionsszenarien),
- die für die Ablagerungen aus dem KKK durch diesen EFN geforderten einzuhaltenden Aktivitätsbilanzen (siehe Tabelle 5-1) auch in Summe mit diesen zusätzlichen Ablagerungen eingehalten werden (im Hinblick auf die Expositionsszenarien G),
- die für Ablagerungen aus dem KKK erforderliche Einlagerungsprozedur (Überdeckung mit mindestens 0,1 m Bauschutt oben und 0,2 m Bauschutt an der Ladekante) ebenfalls angewandt wird (im Hinblick auf das Expositionsszenario D3),
- die jeweiligen für die Ablagerungen aus dem KKK durch diesen EFN geforderten einzuhaltenden Aktivitätsbilanzen (siehe Tabelle 5-2 und Tabelle 5-3) auch in Summe mit diesen zusätzlichen Ablagerungen eingehalten werden (im Hinblick auf die Expositionsszenario D3 und O2 für Ag-108m, ggf. auch Erweiterung möglich, falls eine Überdeckung mit größerer Mächtigkeit als 0,1 m zur Standardprozedur wird) und

- die Nuklidkonzentrationen in den Ablagerungen die FGW der Anl. 4 Tab. 1 Sp. 8 bzw. 10 StrlSchV (im Hinblick auf die hier durchgeführte Bewertung und die Berechnung für alle Expositionsszenarien aus [SSK 06], die hier teilweise ebenfalls mit herangezogen wurden) einhalten.

Durch die Einhaltung der FGW in den jeweiligen Mittelungsmassen und die zusätzliche Einhaltung der ermittelten Jahres- und Gesamtbegrenzungen der Aktivität einzelner Nuklide für die Ablagerung auf der Zentraldeponie Brake-Käseburg wird sichergestellt, dass durch die Ablagerungen des KKV für Mitarbeiter der Deponie und sonstige Personen der allgemeinen Bevölkerung keine Exposition zu besorgen ist, die 10  $\mu$ Sv pro Kalenderjahr (siehe § 31 Abs. 2 StrlSchV) übersteigt.

Eine Ablagerung von Materialien aus der Freigabe zur Beseitigung durch andere Genehmigungsinhaber oder ggf. auch aus einer Erweiterung der Freigabeplanung durch KKV auf der Zentraldeponie Brake-Käseburg über die oben aufgeführten Punkte hinaus bedarf dagegen einer Anpassung des hier vorliegenden EFN unter Berücksichtigung der dann schon erfolgten Ablagerungen.

Die bisher erfolgte (gemäß § 29 Abs. 2 Satz 2 Nr. 1 StrlSchV<sup>2001</sup>) oder zukünftig (gemäß § 35 StrlSchV) ggf. erfolgende Ablagerung von uneingeschränkt freigegebenem Material beliebiger früherer oder derzeitiger Genehmigungsinhaber auf der Zentraldeponie Brake-Käseburg ist für die Bewertung in diesem EFN nicht relevant.

## **6. LITERATUR**

- [AWW 19] ABFALLWIRTSCHAFT WESERMARSCH  
Zentraldeponie Brake-Käseburg Bauabschnitt Nord  
Erklärung zum Deponieverhalten Jahresübersicht 2018  
März 2019
- [AWW 19A] ABFALLWIRTSCHAFT WESERMARSCH  
Zentraldeponie Brake-Käseburg Bauabschnitt Süd  
Erklärung zum Deponieverhalten Jahresübersicht 2018  
März 2019
- [BAW 06] BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU  
Fahrinnenanpassung der Unterweser - Fahrinnenanpassung der Außenweser an die  
Entwicklungen im Schiffsverkehr sowie Tiefenanpassungen der hafenbezogenen  
Wendestelle. Summationswirkung der Anpassungen an Unter- und Außenweser. Gutachten  
zur ausbaubedingten Änderung der Grundwasserverhältnisse.  
Karlsruhe, 24.03.2006
- [BS 04] BRENK SYSTEMPLANUNG GMBH  
Spezifische Fragestellungen für die Fortentwicklung von Datensätzen für die Freigrenzen,  
Freigabe von Oberflächenkontaminationen - Fortentwicklung des radiologischen Modells  
für die Berechnung von Freigabewerten für die Freigabe zur Beseitigung. Endbericht erstellt  
im Auftrag des BMU zum Vorhaben StSch 4279, Aachen, 2004
- [BS 05] BRENK SYSTEMPLANUNG GMBH  
Verbundprojekt: Kontaminierter Beton: Betonfreigabe – Betonrecycling Schlussbericht  
zum Fördervorhaben BMBF 02S 7900, Aachen. 2005
- [BS 18] BRENK SYSTEMPLANUNG GMBH  
Einzelfallnachweis nach § 29 StrlSchV zur Freigabe von Reststoffen aus dem KKV zur  
Deponierung auf der Zentraldeponie Brake-Käseburg. Rev. 0.  
Aachen, 04.12.2018
- [BS 19] BRENK SYSTEMPLANUNG GMBH  
Einzelfallnachweis nach § 37 StrlSchV zur Freigabe von Reststoffen aus dem KKV zur  
Deponierung auf der Zentraldeponie Brake-Käseburg. Rev. 1.  
Aachen, 29.11.2019
- [ENT 92] ENTENMANN, W.  
Das hydrogeologische Beweissicherungsverfahren für Hausmülldeponien. Band 1:  
Verfahren, Fallbeispiele, Erkundung und Erfassung hydraulischer Daten  
Clausthaler Geologische Abhandlungen 49, Verlag Sven von Loga,  
Köln, 1992



- [FAC 17] FACILIA AB  
Ecolego v.6.2.52
- [GRO 09] GROVE SOFTWARE INC.  
MicroShield® User's Manual  
Copyright 1992 - 2009
- [IGB 76] INGENIEURBÜRO FÜR GRUNDBAU UND BODENMECHANIK  
Deponie Wesermarsch Mitte  
Baugrundgutachten, Standsicherheitsuntersuchung  
H 9210/74  
Hamburg, 18.06.1976
- [IGB 85] INGENIEURBÜRO FÜR GRUNDBAU UND BODENMECHANIK  
Deponie Wesermarsch Mitte  
Westliche Erweiterung: Baugrundgutachten – Folgerungen für die Beurteilung der  
vorgesehenen Erweiterungsfläche  
H 3003/85  
Hamburg, 06.12.1985
- [IGB 88] INGENIEURBÜRO FÜR GRUNDBAU, BODENMECHANIK UND UMWELTTECHNIK  
Deponie Wesermarsch Mitte  
Nördliche Erweiterung – baubegleitende Beratung  
H 12610/88  
Hamburg, 05.12.1988
- [IBH 19] INGENIEURBÜRO HINRICHS GMBH  
Deponie Brake-Käseburg BA Nord – Teilabschnitt 1  
Restvolumenermittlung  
HI 056901  
09.07.2019
- [IMB 07] INSTITUT FÜR MASSIVBAU UND BAUSTOFFTECHNOLOGIE DER UNIVERSITÄT KARLSRUHE  
Kontaminierter Beton: Rückbau kerntechnischer Anlagen – Eindringen von Radionukliden  
in Betonoberflächen und Freisetzung eingedrungener Aktivität aus Bauschutt und Beton  
Schlussbericht zum Fördervorhaben BMBF 02S7910  
Karlsruhe, 18.05.2007
- [KKU 17] KERNKRAFTWERK UNTERWESER  
Ausführungsanweisung: Nuklidvektoren und Hochrechnungsfaktoren  
Unterlage Nr. AAW-32-ENT-200 vom 18.12.2017

- [KKU 18] KERNKRAFTWERK UNTERWESER  
Auflistung aller vom KKKU zur Deponierung freigegebenen Massen und Aktivitäten  
Deponie: Zentraldeponie Brake-Käseburg, Landkreis Wesermarsch  
KKU-TSE, Juni 2018, vorgelegt mit Schreiben vom 20. März 2019  
ergänzt durch Revision 1 vom September 2020, vorgelegt mit Schreiben vom 23. September  
2020
- [LBE 16] LANDESAMT FÜR BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE  
Hydrogeologische Räume und Teilräume in Niedersachsen. Geo Bericht 3, Landesamt für  
Bergbau, Energie und Geologie, Hannover, 2016.
- [LBE 18] LANDESAMT FÜR BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE  
Geologischer Profilschnitt in Niedersachsen: Untere\_Weser\_rechts\_PS01 / PS\_200101.  
LBEG, Hannover, 05.09.2018.
- [LBE 19A] LANDESAMT FÜR BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE  
Bohrungen und Profilbohrungen im NIBIS©-Kartenserver. Daten bereitgestellt durch das  
Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover, abgerufen im August 2019.
- [LBE 19B] LANDESAMT FÜR BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE  
Hydrogeologische Übersichtskarte von Niedersachsen 1 : 200 000 - Versalzung des  
Grundwassers. Daten bereitgestellt durch das Landesamt für Bergbau, Energie und  
Geologie, Hannover, abgerufen im August 2019.
- [MEY 20] ARMIN MEYER, INGENIEURBÜRO FÜR VERMESSUNG  
ZENTRALDEPONIE BRAKE-KÄSEBURG  
RESTVOLUMENERMITTLUNG BA NORD  
LAGEPLAN SCHÜTTSTAND 07.01.2020  
ZEICHNUNG NR. 24CG0220  
JANUAR 2020
- [NLW 17] NIEDERSÄCHSISCHER LANDESBETRIEB FÜR WASSERWIRTSCHAFT, KÜSTEN- UND NATUR-  
SCHUTZ  
Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch  
Weser- und Emsgebiet 2014  
1.11.2013 – 31.12.2014  
Norden, 2017

- [NMU 18] NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, ENERGIE UND KLIMASCHUTZ  
DIE BESEITIGUNG KOMMUNALER ABWÄSSER IN NIEDERSACHSEN  
LAGEBERICHT 2017  
HANNOVER, 2018
- [OOW 20] OLDENBURGISCH-OSTFRIESISCHER WASSERVERBAND  
E-Mail von O. Sonnenschein mit Betreff „,[EXT] Re: ZD Brake Käseburg -  
Einleitmöglichkeit in das Kanalnetz der Stadt Brake“  
24. März 2020
- [PEL 19] PREUSSENELEKTRA GMBH, KERNKRAFTWERK UNTERWESER  
Kernkraftwerk Unterweser (KKU)  
Besprechungsprotokoll zum Fachgespräch zum Einzelfallnachweis Brake-Käseburg am  
06.08.2019 in Brake  
mit Anlagen  
25. Oktober 2019
- [PEL 20] PREUSSENELEKTRA GMBH, KERNKRAFTWERK UNTERWESER  
Kernkraftwerk Unterweser (KKU)  
Besprechungsprotokoll zum Fachgespräch zum Einzelfallnachweis Brake-Käseburg am  
13.03.2020 in Brake  
mit Anlagen  
25. März 2020
- [RAU 02] RAUSCH, R., SCHÄFER, W., WAGNER, CH.  
Einführung in die Transportmodellierung im Grundwasser  
Gebrüder Borntraeger  
Berlin, Stuttgart, 2002
- [SSV 17] VERORDNUNG ÜBER DEN SCHUTZ VOR SCHÄDEN DURCH IONISIERENDE STRAHLUNG  
(STRAHLENSCHUTZVERORDNUNG - STRLSCHV)  
Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 (BGBl. I 2001, S.1714; BGBl. I 2002,  
S. 1459), zuletzt geändert nach Maßgabe des Artikel 10 durch Artikel 6 des Gesetzes  
vom 27. Januar 2017 (BGBl. I 2017, S.114, 1222)
- [SSV 18] VERORDNUNG ZUM SCHUTZ VOR DER SCHÄDLICHEN WIRKUNG IONISIERENDER STRAHLUNG  
(STRAHLENSCHUTZVERORDNUNG – STRLSCHV)  
Strahlenschutzverordnung vom 29. November 2018 (BGBl. I Nr.41 vom 05. Dezember  
2018, S. 2034) zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 27. März 2020 (BGBl.  
I S. 748)
- [SSG 17] GESETZ ZUM SCHUTZ VOR SCHÄDEN DURCH IONISIERENDE STRAHLEN (STRAHLENSCHUTZ-  
GESETZ - STRLSCHG)  
Strahlenschutzgesetz vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966), zuletzt geändert durch Artikel 11  
des Gesetzes vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2510)



- [SSK 06] STRAHLENSCHUTZKOMMISSION  
Freigabe von Stoffen zur Beseitigung  
Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 213. Sitzung der  
Strahlenschutzkommission am 06. Dezember 2006  
Geschäftsstelle der Strahlenschutzkommission, Bonn, 2006
- [TAS 93] TA SIEDLUNGSABFALL  
Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von  
Siedlungsabfällen (Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz) vom 14. Mai  
1993  
BAnz. Nr.99a vom 29.05.1993
- [THI 04] [REDACTED]  
Spezifische Fragestellungen für die Fortentwicklung von Datensätzen für die Freigrenzen,  
Freigabe von Oberflächenkontaminationen - Fortentwicklung des radiologischen Modells  
für die Berechnung von Freigabewerten für die Freigabe zur Beseitigung.  
Endbericht zu AP2/AP3 des BMU-Forschungsvorhabens StSch 4279 - BS Nr. 0107-01.  
Brenk Systemplanung GmbH, Aachen, 2004.
- [TÜV 19] TÜV NORD ENSYS GMBH & Co. KG  
Qualifizierung Deponien Schleswig-Holstein.  
16.08.2019  
[https://schleswig-holstein.de/DE/Landesregierung/V/\\_startseite/Artikel2019/III/190909  
\\_deponie\\_gutachten.html](https://schleswig-holstein.de/DE/Landesregierung/V/_startseite/Artikel2019/III/190909_deponie_gutachten.html)  
aufgerufen am 04.03.2020



## Anhang

### **A-1 TRANSPORTMODELL FÜR EXPOSITIONSSZENARIO G**

#### **A-1.1 Transportmodellierung**

Für die Ermittlung der potenziellen Exposition im Expositionsszenario G ist die Berechnung des Transports von Radionukliden

- mit dem Sickerwasser durch die Deponie,
- durch die Barriere an der Deponiebasis,
- durch eine ggf. vorhandene ungesättigte Zone unterhalb der Deponie und
- im Grundwasserleiter

notwendig.

Die Ausbreitung von Radionukliden (und im Wasser gelösten Stoffen im Allgemeinen) wird beeinflusst durch:

- den Transport mit der jeweiligen Sicker- bzw. Fließgeschwindigkeit des Wassers,
- die molekulare Diffusion,
- die Wechselwirkung zwischen gelösten Stoffen und der durchflossenen festen Matrix und
- die radioaktiven Umwandlungen (Zerfall und ggf. Aufbau von Tochternukliden).

Numerisch wird die Transportmodellierung durch die Software ECOLEGO umgesetzt. Im dort gewählten Ansatz ist es möglich, den Wasserfluss und Stofftransport als 1-dimensionalen Prozess in verschiedenen, aufeinanderfolgenden Kompartimenten zu modellieren.

Die entsprechenden Parameter zur Beschreibung des Wasserflusses sind in Abschnitt 4.2.7 beschrieben und in Tabelle 4-48 im Hauptteil des Berichts zusammengefasst. Aus der Parametrisierung und den Berechnungen zum Wasserfluss resultiert die jeweilige Fließgeschwindigkeit in den Kompartimenten.

Eine Wechselwirkung zwischen im Wasser gelösten Stoffen und der festen Matrix wird in ECOLEGO mit Hilfe linearer Sorption unter Verwendung von  $K_d$ -Werten beschrieben. Näheres dazu ist im Abschnitt A-2 zu finden.

Zusammen mit der Fließgeschwindigkeit ergibt die Wechselwirkung mit der festen Matrix (als Retardation) die Abstandsgeschwindigkeit des jeweiligen Stoffes.

#### **A-1.2 Dispersion**

Die Sicker- bzw. Fließgeschwindigkeit des Wassers beim Durchfließen poröser Feststoffkörper kann unterteilt werden in:

- Advektion, die sich durch einen schwerkraftbedingten Antrieb auf der Skala des jeweiligen Kompartiments als Mittelwert ergibt (Sickerwasser in der Deponie, druckgradientenabhängiges Fließen im Grundwasserleiter) und

- hydrodynamische Dispersion, welche sich aus der molekularen Diffusion (bedingt durch Konzentrationsausgleich aufgrund Brown'scher Molekularbewegung) sowie der hydromechanischen Dispersion (bedingt durch das Abweichen (Varianz) auf konkreten Fließwegen von den jeweiligen Mittelwerten durch die Geometrie der Porenräume) zusammensetzt.

Die Dispersion ist in ihrer Auswirkung in einer mathematischen Transportgleichung gleich der molekularen Diffusion, physikalisch jedoch verschieden und tritt nur auf, solange eine Wasserbewegung stattfindet. Der diffusive Effekt trägt nur dann zur Stoffverteilung bei, wenn die Transport-/Sickergeschwindigkeit des Grund- bzw. Sickerwassers sehr gering ist. Als Maß für den Einfluss diffusiver oder dispersiver Effekte kann die sog. Peclet-Zahl ( $Pe$ , als Quotient aus Fließgeschwindigkeit und Koeffizient der molekularen Diffusion) herangezogen werden. Bei  $Pe < 0,4$  bestimmt die molekulare Diffusion die Stoffverteilung, bei  $Pe > 5$  ist dies die hydrodynamische Dispersion.

Die hydromechanische Dispersion ist eine numerische Beschreibung der Varianz auf den einzelnen Fließwegen und fasst damit alle Effekte zusammen, die im konkreten Transportmodell nicht explizit beschrieben werden können. Damit ist die Dispersion abhängig von:

- der physikalischen Heterogenität der durchströmten Medien,
- der Skalenlänge des jeweiligen Transportprozesses,
- der räumlichen Ausdehnung und dem Zeitverhalten der jeweiligen Quellterme und
- dem generellen Modellansatz (1-dimensional versus 3-dimensional).

Mathematisch wird die hydromechanische Dispersion durch einen Dispersionskoeffizienten (Dimension Länge<sup>2</sup>/Zeit) beschrieben. Dieser ermittelt sich aus dem Produkt der Dispersionslänge und der Abstandsgeschwindigkeit. In vielen Modellen (bei konstanter und richtungsunabhängiger Dispersionslänge) kann der Dispersionskoeffizient mit dem Diffusionskoeffizienten zum hydrodynamischen Dispersionskoeffizient zusammengefasst werden.

#### **A-1.2.1 Dispersion im Standardmodell**

Im Modell der SSK [SSK 06] (1-dimensional) wurde zum Beispiel als Quellterm eine 20 m mächtige Deponie mit einer Ausdehnung von 300 m x 300 m angenommen, in der eine weitgehend gleichmäßige Vermischung der Radionuklide (resultierend aus Ablagerungen bis zu 1 000 Mg/a) mit den sonstigen abgelagerten Stoffen (60 000 Mg/a) gegeben ist. Ein aus einer räumlich konstanten Versickerung (Sickerwasserraten zwischen 0 m/a und 0,3 m/a) resultierender Quellterm aus der Deponie ist damit räumlich homogen und im Zeitverlauf über lange Zeit konstant. Eine Dispersion innerhalb des 20 m mächtigen Deponiekörpers ist hier mathematisch ohne Belang. Eine Dispersion im Grundwasserleiter führt (im Vergleich zur Nichtberücksichtigung dieses Effektes) aufgrund der „Aufweitung“ der Konzentrationsverteilung zu einer schnelleren Ankunft der Radionuklide im Brunnen und zu einer längeren Dauer einer möglichen Kontamination. Nicht (oder nur soweit, dass es numerisch ohne Belang ist) beeinflusst wird dagegen die Höhe der im Brunnen ankommenden Maximalkonzentration (inklusive der über den Zerfall implizit mitberücksichtigten Ankunftszeit). Die Maximalkonzentration ist jedoch der Wert, der im SSK-Modell zur Dosisberechnung herangezogen wird. Eine Nichtberücksichtigung der Dispersion im Standard-SSK-Modell ist daher sachgerecht und sinnvoll und mit keiner Konservativität im Modellergebnis verknüpft.

### **A-1.2.2 Dispersion im vorliegenden EFN**

Im vorliegenden EFN ist eine andere Situation gegeben. Als Quellterm muss die Vermischung der Radionuklide (insgesamt verbunden mit 10 000 Mg Ablagerung) mit weiteren Ablagerungen (in derselben Größenordnung) in der obersten 1 m mächtigen Schicht einer insgesamt ca. 10 m mächtigen Deponie angenommen werden. Zur Berechnung mit ECOLEGO wird ein 1-dimensionales Modell verwendet. Eine dispersionsfreie Modellierung führt hier dazu, dass die Radionuklide im Modell, abhängig von der Transportgeschwindigkeit, nach unten verlagert werden, ohne dass in der Deponie bzw. der Barriere eine Vermischung erfolgt. In der Realität ergibt sich aber zum einen eine longitudinale Vermischung (Sickerwasserrate ist nicht zeitlich konstant, sondern hängt von der Meteorologie ab, die hydraulischen Gegebenheiten sind ggf. schichtabhängig, die realen Fließwege sind auf Grund der Struktur nicht exakt vertikal usw.). Zum anderen muss berücksichtigt werden, dass bei den hier verwendeten 1-dimensionalen Modellen Heterogenitäten in der Fläche (z. B. der Einbau von besonders durchlässigen oder besonders gering durchlässigen Abfallchargen an einzelnen Stellen) nicht explizit berücksichtigt werden können (eine derart fein aufgelöste Modellierung ist jedoch im Hinblick auf die übergeordnete Aussagegenauigkeit des Gesamtmodells auch nicht notwendig). Der Quellterm für den Grundwasserleiter ist hier eine Sickerwasserfläche von 217 m x 217 m. Beide, sowohl die longitudinale Heterogenität als auch die Heterogenität der Deponiefläche, müssen in der Dispersion (konkret im Parameter Dispersionslänge) abgebildet werden.

Dabei muss auch berücksichtigt werden, dass numerische Modelle eine numerische Dispersion erzeugen. Diese kann für einen konservativen Ansatz ggf. schon ausreichend sein, so dass eine explizite Dispersion im Modell gar nicht erforderlich ist.

Eine Nichtberücksichtigung der Dispersion im Modell des EFN würde jedoch zu

- einer erheblichen Überschätzung der Maximalkonzentration im Brunnen (eine zu konservative Abbildung der Realität) und
- numerischen Instabilitäten in den Rechnungen (Oszillationen der berechneten Konzentrationswerte im Brunnen), die weitere Überschätzungen der Maximalkonzentration zur Folge haben können (falsche Abbildung der Realität)

führen.

Die Herleitung eines für das Modell geeigneten Dispersionsparameters (die skalenabhängige Dispersionslänge) aus Messwerten ist nicht möglich, da neben den physikalischen Effekten (Heterogenität des Deponiekörpers) und der Fließweglänge auch der Einfluss des Modellansatzes (Abbildung eines 3-dimensionalen Prozesses in einem 1-dimensionalen Modell mit verschiedenen Fließrichtungen) mitberücksichtigt werden muss. Hier reichen daher schon Plausibilitäts- und Skalenbetrachtungen aus, um eine verwendbare Abschätzung der Dispersionslängen (Deponie, Barriere und GW-Leiter, ggf. auch nur Deponie) zu liefern.

Konkret wurde im EFN zur Parametrisierung der Dispersionslänge folgendes Vorgehen verwendet:

- Die Kompartimente Barriere, ungesättigte Zone und Grundwasserleiter werden in ECOLEGO als ein geschlossenes numerisches Kompartiment angesetzt. Dort wird als Dispersionslänge jeweils das 0,1-fache der Längenausdehnung des jeweiligen Kompartiments angesetzt.
- Das Kompartiment Deponie wird in ECOLEGO in 10 einzelne Teilkompartimente aufgeteilt. Dadurch ergibt sich eine numerische Dispersion in der Berechnung. Diese entspricht einer

Dispersionslänge von ca. 0,3 m (ermittelt aus Vergleichsberechnungen von ECOLEGO mit der semianalytischen Lösung für eine räumlich ausgedehnte (1 m) Momentan-Injektion in einem 1-dimensionalen Modell). Eine zusätzliche Dispersion wurde für die Deponie nicht berücksichtigt.

- Molekulare Diffusion wurde in keinem der Kompartimente zusätzlich berücksichtigt.

Der Ansatz des 0,1-fachen der Längenausdehnung des Kompartiments für die Dispersionslänge beruht auf den Angaben zur skalenabhängigen Größe der Dispersionslänge in [RAU 02].

Eine Dispersionslänge von 0,3 m im Bereich der Deponie stellt einen sehr konservativen Ansatz dar. Selbst hinsichtlich der vertikalen Skalenlänge der Deponie (10 m) für das Sickerwasser liegt dieser Wert unter dem 0,1-fachen. Allerdings muss hier zusätzlich berücksichtigt werden, dass die Heterogenität in der Transport- bzw. Sickergeschwindigkeit in der Realität insbesondere auch aus dem horizontal inhomogenen Aufbau der Deponie resultieren, jedoch in der im 1-dimensionalen ausschließlich longitudinal vorhandenen Dispersion abgebildet werden müssen. Hier wäre eine Skalenlänge in der Größenordnung 100 m anzusetzen. Die Dispersionslänge von 0,3 m resultiert bei den gemäß Tabelle 4-48 angenommenen Parametern für die Durchsickerung der Deponie in einem hydrodynamischen Dispersionskoeffizienten von  $7 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  und liegt damit um ca. eine Größenordnung über dem molekularen Diffusionskoeffizient (stoffspezifisch, meist ca.  $1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  im Wasser, entsprechend um ca. einen Faktor 1,5 niedriger im porösen Medium).

Unter diesen Annahmen ergibt sich bei einer Sickergeschwindigkeit von 0,2 m/a (entsprechend  $6,3 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$ ) eine Peclet-Zahl von 6,3. Die dispersiven Effekte überwiegen somit (vgl. A-1.2).

## **A-2 KD-WERTE IM EXPOSITIONSSZENARIO G**

Im Expositionsszenario G wird die Wechselwirkung zwischen gelösten Radionukliden und der festen Matrix in Übereinstimmung mit dem Ansatz in [SSK 06] als lineare Sorption unter Verwendung von  $K_d$ -Werten beschrieben.

Die  $K_d$ -Werte werden elementspezifisch angenommen und es wird zwischen den Kompartimenten Deponie, Barriere, ungesättigte Zone und Grundwasserleiter unterschieden.

### **A-2.1 $K_d$ -Wert-Konzept**

Das  $K_d$ -Wert-Konzept (für lineare Sorptionsisotherme) stellt ein einfaches empirisches Modell zur Berechnung der Wechselwirkung zwischen im Wasser gelösten Stoffen und der festen Matrix dar. Der  $K_d$ -Wert (auch als Verteilungskoeffizient bezeichnet) ist dabei das Verhältnis zwischen gelöster Konzentration (für Radionuklide meist in Bq/l) und der Stoffmenge am bzw. im Feststoff (für Radionuklide meist in Bq/kg) bei einer unterstellten vollständigen Mischung zwischen beiden Phasen. Es wird davon ausgegangen, dass Wechselwirkungen zwischen im Wasser gelösten Stoffen und der festen Matrix ohne Zeitverzögerung (d. h. mit einer unendlich schnellen Kinetik) ablaufen.  $K_d$ -Werte beziehen sich immer auf das Gesamtsystem, sind also abhängig von

- dem chemischen Element (bzw. eigentlich von der vorliegenden chemischen Verbindung) des Radionuklids,
- der Zusammensetzung der festen Matrix und

- der Zusammensetzung der wässrigen Lösung (insbesondere, aber nicht ausschließlich, dem pH-Wert).

Ein kleiner  $K_d$ -Wert bedeutet, dass eine geringe Menge an der Matrix gebunden und eine größere Menge in Lösung ist. Dabei werden empirisch alle möglichen Wechselwirkungen zwischen gelösten Stoffen (z. B. ladungsgesteuerte Bindung an Tonoberflächen, Bindung an Oberflächenkomplexen wie z. B.  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  aber auch Lösungs-Fällungsreaktionen) mit einem Parameter beschrieben.

Bei kleinen  $K_d$ -Werten erfolgt ein schnellerer Stofftransport als bei großen. Ein schnellerer Stofftransport bedeutet zum einen eine geringere Auswirkung des radioaktiven Zerfalls. Daher sind  $K_d$ -Werte in allen Kompartimenten hier von Bedeutung. Weiterhin wirkt der  $K_d$ -Wert in der Deponie auf die Geschwindigkeit der Freisetzung (Lösen von der festen Matrix). Ein höherer  $K_d$ -Wert bewirkt hier eine zeitlich viel länger andauernde Lösung und damit eine Verringerung der Quellstärke bzw. eine Verdünnung.

#### **A-2.1.1 Standardmodell**

Generell werden die  $K_d$ -Werte für die einzelnen Elemente und Kompartimente aus [SSK 06] übernommen. Die entsprechenden Werte sind in Tabelle 4-1 aufgeführt.

Im Standardmodell der SSK sind  $K_d$ -Werte elementspezifisch so ausgewählt worden, dass eine konservativ realistische Beschreibung des Transportverhaltens zu erwarten war. Dabei wird Elementen, die grundsätzlich eher immobil sind (z. B. Plutonium) ein großer  $K_d$ -Wert zugewiesen, Elementen, die häufig in gut löslichen und schlecht sorbierenden Verbindungen vorliegen (z. B. Chlor) dagegen ein kleiner. Für die sonstigen Bedingungen wurde nur zwischen den einzelnen Kompartimenten (Deponie, Barriere, ungesättigte Zone, Grundwasserleiter) unterschieden und hierbei nur eine logarithmische Klassifizierung vorgenommen (Werte  $0,1 \text{ cm}^3/\text{g}$ ,  $1 \text{ cm}^3/\text{g}$ ,  $10 \text{ cm}^3/\text{g}$  usw.). Es wird konservativ davon ausgegangen, dass alle in der Deponie am und im Feststoff vorgefundenen Radionuklide (auch aus Aktivierung resultierende) für den Übergang in die wässrige Lösung verfügbar sind. Für die ungesättigte Zone und den Grundwasserleiter (jeweils sandiges Material) wurde für viele Nuklide (Elemente) gar keine Wechselwirkung ( $K_d$ -Wert = 0) unterstellt.

Eine Ausnahme bildet das Element Kohlenstoff (mit dem Nuklid C-14). Hier wird für die Deponie ein gegenüber [SSK 06] abweichendes Vorgehen gewählt, welches im nächsten Abschnitt erläutert wird.

#### **A-2.1.2 $K_d$ -Wert für C-14**

Die Ableitung des  $K_d$ -Wertes von  $100 \text{ cm}^3/\text{g}$  für C-14 im Beton/Bauschutt aus dem KKK erfolgte im SSK-Modell auf Basis folgender Annahme:

„Ein  $K_d$ -Wert von  $100 \text{ cm}^3/\text{g}$  im Deponiekörper entspricht einer Konzentration von  $250 \text{ mg/l}$  im Eluat (Grenzwert für mechanisch biologische Vorbehandlung) bei einem abdeckend niedrigen Anteil von TOC von  $2,5 \%$ .“ [BS 04].

Für C-14 wird somit kein experimentell an einem realen Abfall bestimmter  $K_d$ -Wert verwendet, der hierin gewählte Ansatz ergibt sich vielmehr aus der Notwendigkeit, die abfallrechtlichen Vorgaben zu erfüllen, denn auch nach aktuellem Abfallrecht darf der Anteil von TOC in einer Deponie (DK II)  $3 \%$  nicht überschreiten.

Weitere Untersuchungen, z. B. im Rahmen des Verbundprojekts „Kontaminierter Beton: Betonfreigabe – Betonrezyklierung“ [BS 05] ergaben  $K_d$ -Wertebereiche für Carbonat an Beton und dem daraus resultierenden Bauschutt von 100 – 1.000  $\text{cm}^3/\text{g}$  für den pH-Bereich 12,5 - 8. Wesentlich niedrigere pH-Werte stellen sich aufgrund der alkalischen Wirkung von Beton/Bauschutt nicht ein, wie durch experimentelle Untersuchungen an Bauschutt-Eluaten in [IMB 07]<sup>21</sup> nachgewiesen wurde. Die Studie [BS 05] in Verbindung mit [IMB 07] kann aufgrund der Vielzahl der ausgewerteten Literaturzitate und experimentellen Untersuchungen nach wie vor als Stand von Wissenschaft und Technik angesehen werden.

Die durch die spezifische Freigabe aus dem KKK zur Ablagerung auf der Deponie Brake-Käseburg anfallenden festen Reststoffe bestehen zum überwiegenden Teil aus Bauschutt und Beton. Daher wird für den  $K_d$ -Wert der obersten Schicht, in der die Radionuklide bei Deponierung gebunden sind, ein Wert von 100  $\text{cm}^3/\text{g}$  angesetzt. Dieser Wert beruht demnach auf den Ergebnissen experimenteller Arbeiten und beeinflusst maßgeblich die Desorption des Radionuklids C-14.

Für den übrigen Deponiekörper, welcher sich aus verschiedensten Materialien zusammensetzt, wurde im EFN ein konservativ niedrigerer  $K_d$ -Wert für C-14 von 10  $\text{cm}^3/\text{g}$  angesetzt (dieser Wert entspricht 1/10 des im SSK-Modell [SSK 06] verwendeten Wertes<sup>22</sup>). Dies trägt der Tatsache Rechnung, dass insbesondere für C-14 von einer großen Bandbreite möglicher  $K_d$ -Werte ausgegangen werden muss. Dieser Wert beeinflusst maßgeblich die Retardation für das Nuklid C-14 beim Transport durch die Deponie.

---

<sup>21</sup>) Die Untersuchung [IMB 07] des Instituts für Massivbau und Baustofftechnologie der Universität Karlsruhe ist im Rahmen desselben Verbund-Forschungsvorhabens durchgeführt worden, zu welchem die Brenk Systemplanung GmbH die Untersuchung [BS 05] beigetragen hat.

<sup>22</sup>) Die Wahl eines  $K_d$ -Werts von 10  $\text{cm}^3/\text{g}$  für C-14 im Deponiekörper stellt eine lediglich für das hier beschriebene Modell des EFN getroffene sehr konservative Wahl dar und hat keine Rückwirkung oder Aussagekraft bzgl. der Parameter im SSK-Modell [SSK 06].