



01140091484 /0024



Ver. 01

**Brenk
Systemplanung**

Ingenieurgesellschaft für wissenschaftlich
technischen Umweltschutz

Endbericht

**Berechnung der
ereignisbedingten Strahlenexposition
sowie der Direktstrahlung
infolge der auf dem Gelände des KKB
vorgesehenen Pufferlagerung
während des Abbaus der Anlage**

BS-Projekt-Nr. 1401-01
Bestellung Nr. EA3-4502837352

erstellt im Auftrag der

Kernkraftwerk Brunsbüttel GmbH & Co. oHG
Otto-Hahn-Straße
25541 Brunsbüttel

durch die

Brenk Systemplanung GmbH
Heider-Hof-Weg 23
52080 Aachen

Rev. B, Aachen, 08.07.2016

Anmerkung:

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



AUTOREN

Dieser Bericht wurde von folgenden Bearbeitern erstellt:



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
Projektleiter	Geschäftsbereichsleiter	Geschäftsführung

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite:
1. AUFGABENSTELLUNG	1
2. BERECHNUNGS- UND BEWERTUNGSGRUNDLAGEN.....	1
2.1. Ermittlung der potentiellen Aktivitätsfreisetzung.....	2
2.2. Freisetzungsteile.....	3
2.3. Ausbreitungsmodell	4
2.3.1. Meteorologische Parameter.....	5
2.3.2. Ablagerungsfaktoren.....	5
2.3.3. Gelände- und Gebäudeeinfluss.....	6
2.3.4. Quellüberhöhung.....	6
2.4. Dosisberechnung	7
2.4.1. Expositionspfade.....	7
2.4.2. Lebensgewohnheiten der Referenzpersonen.....	7
2.4.2.1. Lebensmittelverzehr zur Berücksichtigung bei Auslegungstorfällen.....	7
2.4.2.2. Atemraten	8
2.4.2.3. Expositionszeiten bei Störfällen.....	9
2.4.2.4. Expositionszeiten bei Restrisikoereignissen.....	9
2.4.3. Dosiskoeffizienten.....	10
2.5. Bewertungsmaßstab für Störfälle.....	10
2.5.1. Planungswerte für die Dosis	10
2.5.2. Ungünstigste Aufpunkte	11
2.6. Bewertungsmaßstab für Restrisikoereignisse	12
2.6.1. Eingreifrichtwerte für die Dosis.....	12
2.6.2. Ungünstigste Aufpunkte	12
3. STANDORTGEGEBENHEITEN	14
3.1. Lage und Gebäude.....	14
3.2. Gebäudeeinfluss und ungünstigster Aufpunkt für die Störfälle	15
3.3. Gebäudeeinfluss und ungünstigster Aufpunkt für Restrisikoereignisse	17
4. DOSISBERECHNUNGEN	17
4.1. Brand eines Containers mit brennbaren Mischabfällen	17
4.1.1. Quelltermmittlung	17
4.1.1.1. Betroffenes Inventar	17
4.1.1.2. Freigesetzte Aktivität.....	18
4.1.2. Ausbreitungsberechnung.....	19
4.1.3. Ergebnisse der Dosisberechnung	20



4.2. Brand eines Containers mit nicht brennbaren, unfixierten Reststoffen.....	22
4.2.1. Quelltermmittlung	23
4.2.1.1. Betroffenes Inventar	23
4.2.1.2. Freigesetzte Aktivität.....	23
4.2.2. Ausbreitungsberechnung.....	24
4.2.3. Ergebnisse der Dosisberechnung	24
4.3. Absturz eines Containers	26
4.4. Umsturz eines Krans	26
4.5. Flugzeugabsturz.....	27
4.5.1. Quelltermmittlung	27
4.5.1.1. Betroffenes Inventar	27
4.5.1.2. Freigesetzte Aktivität.....	27
4.5.2. Ausbreitungsberechnung.....	28
4.5.3. Dosisberechnung.....	29
4.5.3.1. Flugzeugabsturz ohne Brand	29
4.5.3.2. Flugzeugabsturz mit Brand.....	31
4.5.4. Bewertung	33
4.6. Hochwasser im Überwachungsbereich	33
4.6.1. Quelltermmittlung	33
4.6.1.1. Betroffenes Inventar	33
4.6.1.2. Freigesetzte Aktivität.....	34
4.6.2. Dosisberechnung.....	36
4.6.3. Bewertung	37
5. BERECHNUNG DER POTENTIELLEN EXPOSITION DURCH DIREKTSTRAHLUNG DER PUFFERLAGERUNG.....	38
5.1. Modell und Umfang der vorgesehenen Pufferlagerung	38
5.2. Ergebnisse.....	40
6. QUELLEN	43
A. ANHANG.....	46

TABELLENVERZEICHNIS

	Seite:
Tabelle 2-1:	Abfallgebindegruppen nach [GRS 09] 3
Tabelle 2-2:	Zuordnung zwischen Abfallproduktgruppe (APG) nach [BfS 10] und Abfallgebindegruppe (AGG) nach [GRS 09] 3
Tabelle 2-3:	Belastungsklassen für rein mechanische Beschädigungen in der Transportstudie Konrad [GRS 09] mit Angabe der Absturzhöhe eines Gebindes, die der Geschwindigkeit entspricht 4
Tabelle 2-4:	Jahresverbrauch an Lebensmitteln der Referenzpersonen zur Berechnung der potentiellen Strahlenexposition durch Ingestion nach [SSK 03], Mengen in kg/a 8
Tabelle 2-5:	Atemraten der Referenzpersonen zur Berechnung der potentiellen Strahlenexposition durch Inhalation nach [SSK 03] 9
Tabelle 2-6:	Planungswerte für Effektivdosis und Organdosen nach § 49 StrlSchV bei einem Störfall 10
Tabelle 2-7:	Eingreifrichtwerte bezüglich effektiver Dosis für bestimmte Maßnahmen und die zugehörigen Integrationszeiten und Expositionspfade nach [SSK 03B] (Auszug) 12
Tabelle 3-1:	Entfernung der Begrenzung des Betriebsgeländes in den 12 Sektoren in m (auf 10 m gerundet) 15
Tabelle 4-1:	Betroffenes Aktivitätsinventar beim Brand eines Containers mit brennbaren Mischabfällen 18
Tabelle 4-2:	Potentiell freigesetzte Aktivität beim Brand eines Containers mit brennbaren Mischabfällen auf dem Außengelände 19
Tabelle 4-3:	Ergebnisse der Ausbreitungsberechnung für die potentielle Freisetzung beim Brand eines Containers 20
Tabelle 4-4:	Potentielle effektive Dosis am ungünstigsten Aufpunkt für die Freisetzung beim Brand eines Containers mit brennbaren Mischabfällen 21
Tabelle 4-5:	Potentielle Organdosis am ungünstigsten Aufpunkt für die am höchsten belastete Altersklasse bis 1 Jahr 22
Tabelle 4-6:	Betroffenes Aktivitätsinventar beim Brand eines Containers mit nicht brennbaren, unfixierten Reststoffen 23
Tabelle 4-7:	Potentiell freigesetzte Aktivität beim Brand eines Containers mit unfixierten Reststoffen auf dem Außengelände 23
Tabelle 4-8:	Potentielle effektive Dosis am ungünstigsten Aufpunkt für die Freisetzung beim Brand eines Containers mit nicht brennbaren, unfixierten Reststoffen 24



Tabelle 4-9:	Potentielle Organdosis am ungünstigsten Aufpunkt für die am höchsten belastete Altersklasse bis 1 Jahr	25
Tabelle 4-10:	Freisetzungsteile nach [GRS 09] für AGG 1 bei mechanischer Belastung und Vergleich mit thermischen Freisetzungsteilen für BK 3	26
Tabelle 4-11:	Potentiell betroffene Aktivität bei einem Flugzeugabsturz	27
Tabelle 4-12:	Potentiell freigesetzte Aktivität bei einem Flugzeugabsturz ohne Folgebrand.....	28
Tabelle 4-13:	Potentiell freigesetzte Aktivität bei einem Flugzeugabsturz mit Folgebrand.	28
Tabelle 4-14:	Ergebnisse der Ausbreitungsberechnung für die Freisetzungsszenarien	29
Tabelle 4-15:	Potentielle effektive Dosis in mSv für die äußeren Pfade und Inhalation für die ungünstigsten Aufpunkte beim Flugzeugabsturz ohne Brand.....	30
Tabelle 4-16:	Beiträge der Nuklide zur potentiellen effektiven Dosis in mSv für die ungünstigsten Aufpunkte beim Flugzeugabsturz ohne Brand.....	31
Tabelle 4-17:	Potentielle effektive Dosis in mSv als Summe über die äußeren Pfade und die Inhalation für die ungünstigsten Aufpunkte beim Flugzeugabsturz mit Brand	32
Tabelle 4-18:	Beiträge der Nuklide zur potentiellen effektiven Dosis in mSv für die ungünstigsten Aufpunkte beim Flugzeugabsturz mit Brand	33
Tabelle 4-19:	Potentiell von einem Hochwasser im Überwachungsbereich betroffene Aktivität.....	34
Tabelle 4-20:	K_d -Werte nach [BS 05] für die Sorption von Radionukliden in Beton in einer Bauschuttdeponie	35
Tabelle 4-21:	In den vom Hochwasser betroffenen Containern vorhandene Aktivität, K_d -Werte und im in den Containern vorhandenen Wasser gelöste Aktivität	36
Tabelle 4-22:	Aktivitätskonzentration im Flutwasser und flächenbezogene Aktivität im von der Fahne betroffenen Gebiet.....	36
Tabelle 4-23:	7-Tage-Folgedosis in mSv für den Fall „Hochwasser im Überwachungsbereich“	37
Tabelle 4-24:	1-Jahres-Folgedosis in mSv für den Fall „Hochwasser“.....	37
Tabelle 5-1:	Berücksichtigte Aufenthaltszeiten, Dosisgrenzwerte und Vorbelastungen zur Ermittlung der Personendosis an den einzelnen Dosisaufpunkten gemäß Abbildung 5-1	40
Tabelle 5-2:	Aktivitäten [Bq] (Co-60) für einzelne Bereiche zur Berechnung der Exposition durch Direktstrahlung an den einzelnen Dosisaufpunkten	41
Tabelle 5-3:	Personendosis in mSv/Kalenderjahr für die betrachteten Aufpunkte, Aktivität in den jeweiligen Bereichen gemäß Tabelle 5-2, Aufpunkte im allgemeinen Staatsgebiet sind dabei grau hinterlegt.....	41



Tabelle 5-4:	Beitrag zur Personendosis im Kalenderjahr an den ungünstigsten Aufpunkten, wenn der Aufenthalt an mehreren Orten möglich ist. Dabei wurde die ungünstigste Kombination gewählt.....	42
Tabelle A-1:	Aus Entsorgungskampagnen ermittelte Aktivitätsinhalte in Containern mit brennbaren Mischabfällen	46



ABBILDUNGSVERZEICHNIS

	Seite:
Abbildung 3-1: Kernkraftwerk Brunsbüttel, Fotografie des Kraftwerks von Südwest nach Nordost [VAT 12]	14
Abbildung 3-2: KKB-Gelände mit Massivzaun (blau), den Bereichen für die Pufferlagerung (gelb) und Sektoreinteilung für den Fall des Containerbrandes auf dem Außengelände	15
Abbildung 3-3: Lage und Bezeichnungen der nach derzeitigem Planungsstand vorgesehenen, optionalen Pufferlagerflächen	16
Abbildung 5-1: KKB-Gelände und Lage der geplanten Einrichtung Lasma	39



ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AVV	Allgemeine Verwaltungsvorschrift, hier speziell Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung
BS	Brenk Systemplanung GmbH
KKB	Kernkraftwerk Brunsbüttel
Lasma	Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle
ODL	Ortsdosisleistung
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung

1. AUFGABENSTELLUNG

Im November 2012 wurde ein vorbehaltlicher Antrag auf Stilllegung und Abbau des KKB bei der zuständigen Genehmigungsbehörde gestellt [KKB 12]. Darin wird erklärt, dass KKB beabsichtigt, die beim Abbau anfallenden radioaktiven Abfälle für eine Endlagerung vorzubereiten und am Standort bis zur Abgabe an ein Bundesendlager zwischenzulagern. Dazu sollen die am Standort vorhandenen Lagerkapazitäten genutzt werden und zusätzliche Lagerkapazitäten durch Nutzungsänderungen und/oder Errichtung eines neuen Lagers geschaffen werden.

Die gegenwärtige Planung sieht vor, ein Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle (Lasma) zu errichten. Dort sollen Gebinde in einem Zustand eingelagert werden, so dass eine Abgabe an ein Bundesendlager jederzeit möglich ist (Berücksichtigung der gesetzlichen Anforderungen an den Transport dieser Gebinde sowie der Einlagerungsbedingungen für das geplante Bundesendlager Schacht Konrad). Ein Antrag auf Genehmigung des Lasma wurde im Mai 2014 gestellt [KKB 14].

Weiterhin ist geplant, beim Abbau des KKB anfallende radioaktive Reststoffe und anfallenden radioaktiven Abfall in geeigneten Gebinden auf Pufferflächen auf dem Betriebsgelände temporär zu lagern bzw. bereitzustellen.

Im vorliegenden Bericht werden ereignisbedingte Strahlenexpositionen sowie die aus der Pufferlagerung resultierende Direktstrahlung ermittelt. Bei den Ereignissen werden

- der Brand eines Containers,
- der Absturz eines Containers und
- der Umsturz eines Krans

betrachtet und in Bezug auf Einhaltung der Störfallplanungswerte gemäß § 49 StrlSchV beurteilt.

Zusätzlich wird untersucht, welche Auswirkungen bei den Restrisikoereignissen

- potentieller Flugzeugabsturz (mit und ohne Folgebrand) und
- Hochwasser

zu erwarten sind.

Die aus der Pufferlagerung von Abfallgebinden auf dem Betriebsgelände des KKB resultierende Direktstrahlung wird anhand eines MNCP-Modelles ermittelt und hinsichtlich der Einhaltung der §§ 46 und 47 der StrlSchV beurteilt.

2. BERECHNUNGS- UND BEWERTUNGSGRUNDLAGEN

Nachfolgend werden die in diesem Bericht verwendeten Berechnungs- und Bewertungsgrundlagen dargestellt. Die Berechnung der potentiellen Exposition kann dabei in folgende drei Einzelschritte gegliedert werden:

- Ermittlung der potentiellen Aktivitätsfreisetzung (Quelltermbestimmung),
- Ausbreitungsberechnung und
- Dosisberechnung

Die Szenarien „Brand eines Containers“, „Absturz eines Containers“ und „Umsturz eines Krans“ sind dabei als Störfälle im Sinne von § 49 StrlSchV einzuordnen [VAT 14]. Die Szenarien „Hochwasser im Überwachungsbereich“ und „Flugzeugabsturz auf das Pufferlager“ sind als Restrisikoereignisse anzusehen [VAT 14]. Für alle drei Einzelschritte der Expositionsrechnung existiert hierbei eine Vielzahl von Gemeinsamkeiten. Darum werden die Berechnungs- und Bewertungsgrundlagen im Allgemeinen dargestellt. Auf Unterschiede in der Vorgehensweise wird an den entsprechenden Stellen explizit verwiesen.

Bei den Bewertungsgrundlagen werden beide Vorgehensweisen dagegen getrennt dargestellt.

2.1. Ermittlung der potentiellen Aktivitätsfreisetzung

Im Folgenden wird ein Formalismus zur Ermittlung der Material- bzw. Aktivitätsfreisetzung beschrieben, wie er z. B. in [NRC 98] und [DOE 06] angewendet wird:

$$= \quad (G 2-1)$$

wobei die Symbole folgende Bedeutung haben:

- ST*: Freisetzungsterm (source term) in Bq,
- MR*: betroffenes Inventar (material at risk) in Bq,
- DR*: beschädigter Anteil (damage ratio),
- ARF*: luftgetragener freigesetzter Anteil (airborne release fraction),
- RF*: einatembarer Anteil bzw. Anteil, der zur Exposition beiträgt (respirable fraction) und
- LPF*: zur Ausbreitung gelangender Anteil (leakpath factor).

Der Freisetzungsterm (*ST*) beschreibt dabei die Menge der freigesetzten Aktivität. Das betroffene Inventar (*MR*) gibt den Teil des Gesamtinventars an, der beim Szenario gefährdet ist, der Faktor *DR* beschreibt den beim Ereignis beschädigten Anteil. Je nach Szenario werden die Faktoren *MR* und *DR* einzeln (z. B. in dem Fall, dass sich in einem Gebäude sehr viele Gebinde mit einer Gesamtaktivität *MR* befinden, von denen ein bestimmter Anteil *DR* vom Ereignis betroffen ist) oder als Produkt (ein Ereignis betrifft ein bestimmtes Gebinde) ermittelt. Insbesondere ist hier darauf zu verweisen, dass gemäß [BMI 83] Abschnitt 2.1.3 folgende Vorgehensweise anzuwenden ist:

„Nicht festgeschriebene Parameter für die Berechnung der Aktivitätsfreisetzung, deren Werte stark streuen können, müssen konservativ abgeschätzt werden, oder sie dürfen unter Beachtung der folgenden Bedingungen anhand ihrer beobachteten Häufigkeitsverteilung festgesetzt werden:

Es müssen gesicherte Verteilungsfunktionen der Parameter vorliegen; dazu gehört auch die Gewinnung der Meßwerte in einer repräsentativen zeitlichen Verteilung.

Die für die Berechnung der Aktivitätsfreisetzung zugrunde gelegten Werte der Parameter müssen 95% der Verteilung der Meßwerte abdecken.“

Details zur Ermittlung der Aktivitätsfreisetzung werden in Abschnitt 4.5.1 beschrieben.

2.2. Freisetzungsteile

In der Transportstudie Konrad [GRS 09] wurden Freisetzungsteile durch mechanische Belastungen sowie durch Folgenbrände bei Transportunfällen betrachtet.

Die Art des betroffenen Gebindes und die Struktur des Inhalts wird durch die in Tabelle 2-1 aufgeführten Abfallgebindegruppen (AGG) beschrieben. In den Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle für das Endlager Konrad [BFS 14] werden Abfallproduktgruppen definiert. Diese können gemäß [GRS 09], wie in Tabelle 2-2 angegeben, den AGG aus [GRS 09] zugeordnet werden.

Tabelle 2-1: Abfallgebindegruppen nach [GRS 09]

Abfallgebindegruppe	Beschreibung
AGG 1	Brennbare unfixierte Abfälle in Stahlblechcontainern
AGG 2	Unfixierte und nicht kompaktierbare metallische und nichtmetallische Abfälle (einschließlich Verdampferkonzentrate) in Stahlblechcontainern oder Betonbehältern
AGG 3	Metallische Abfälle in Stahlblechcontainern oder Betonbehältern
AGG 4	Kompaktierte Abfälle in Stahlblechcontainern oder Betonbehältern
AGG 5	Zementfixierte Abfälle in Stahlblechcontainern
AGG 6	Brennbare, unfixierte Abfälle in Betonbehältern
AGG 7	Zementfixierte Abfälle in Betonbehältern
AGG 8	Abfälle in Gussbehältern

Tabelle 2-2: Zuordnung zwischen Abfallproduktgruppe (APG) nach [BfS 10] und Abfallgebindegruppe (AGG) nach [GRS 09]

Abfallproduktgruppe	Beispiel	zugeordnete Abfallgebindegruppe
APG 1	z. B. Bitumen- und Kunststoffprodukte	AGG 2 oder AGG 6
APG 2	z. B. Feststoffe	AGG 2
APG 3	z. B. metallische Feststoffe	AGG 3
APG 4	z. B. Presslinge	AGG 4
APG 5	z. B. zementierte/betonierte Abfälle	AGG 5 oder AGG 7
APG 6	z. B. Konzentrate	wie APG 2
Gussbehälter unabhängig vom Inhalt immer als AGG 8		

Die mechanischen Belastungen werden in [GRS 09] anhand der Aufprallgeschwindigkeiten bei den unterstellten Transportunfällen untergliedert. Der Energieeintrag der mechanischen Einwirkungen wird in [GRS 09] durch die in Tabelle 2-3 angegebenen Geschwindigkeitsklassen charakterisiert.

Tabelle 2-3: Belastungsklassen für rein mechanische Beschädigungen in der Transportstudie Konrad [GRS 09] mit Angabe der Absturzhöhe eines Gebindes, die der Geschwindigkeit entspricht

Belastungsklasse	Aufprallgeschwindigkeit [km/h]	unterstellte Geschwindigkeit [km/h] (in Klammern [m/s])	korrespondierende Fallhöhe [m]
BK 1 ^(a)	≤ 35	35 (10)	5
BK 4	36 – 80	80 (22)	25
BK 7	> 80	110 (31)	48

^(a) In [GRS 09] werden für die Belastungsklassen ganzzahlige Geschwindigkeiten in km/h für die Bereiche der Aufprallgeschwindigkeiten angegeben, daher tritt zwischen BK 1 und BK 4 ein Sprung von 1 km/h auf. Daher wird die Geschwindigkeit in m/s, die für die Berechnung der Fallhöhe verwendet wird, hier mit angepasster Genauigkeit angesetzt. Obwohl gemäß [BFS 14] die Einhaltung von Dichtigkeitskriterien bis zu einem Fall aus einer Höhe von 5 m gewährleistet sein muss, wird im Weiteren hiervon kein Kredit genommen und es werden für alle Behälter abdeckend die Freisetzungsteile der Belastungsklasse BK 1 für die jeweilige Abfallgebindegruppe (AGG) verwendet.

Für den hier betrachteten Fall des Absturzes eines Flugzeuges kann aus dem Verhältnis der kinetischen Energie des Flugzeuges beim Aufprall auf die Gebinde mit der Referenzenergie der jeweiligen Belastungsklasse (aus Gebindemasse und Aufprallgeschwindigkeit nach Tabelle 2-3) die maximale Anzahl der betroffenen Gebinde bestimmt werden.

Die Freisetzungsteile gemäß [GRS 09] beziehen sich für Belastungsklassen mit Brand ausdrücklich auf das leichtflüchtige Element Cs. Für andere Elemente sind hier Korrekturen notwendig. Diese Korrekturen für andere Elemente werden auf Basis der Ergebnisse in [BOE 06] angesetzt. Für die Elemente Co und Am wird daher der *ARF*-Wert für thermische Belastungen aus [GRS 09] mit einem Faktor 0,01 korrigiert. Für Sr erfolgt diese Korrektur über einen Faktor 0,1.

Je nach AGG und Belastungsklasse werden in [GRS 09] Freisetzungsteile *ARF·RF* für die Freisetzung von H-3, C-14, Halogene und sonstige Nuklide (als Aerosole) angegeben. Für Aerosole werden dabei zwei Größenklassen unterschieden: Aerosole mit einem aerodynamischen Partikeldurchmesser bis 10 µm und Aerosole mit einem aerodynamischen Partikeldurchmesser > 10 µm.

Nach [DIN 93] sind Partikel bis zu einem aerodynamischen Durchmesser von maximal 10 µm lungengängig. Daher wird für Aerosole mit einem aerodynamischen Partikeldurchmesser bis 10 µm in diesem Bericht angenommen, dass diese komplett zur Dosis durch Inhalation (*RF* = 1) beitragen. Bei Aerosolen mit einem aerodynamischen Partikeldurchmesser (*AED*) > 10 µm wird dagegen kein Beitrag zur Dosis durch Inhalation (*RF* = 0) angenommen. Für die übrigen betrachteten Expositionspfade (siehe Abschnitt 2.4.1) erfolgt der Beitrag unabhängig von der Größe der Aerosole (*RF* = 1), wobei aber verschiedene Ablagerungsparameter in Abhängigkeit des aerodynamischen Partikeldurchmessers zu berücksichtigen sind (siehe Abschnitt 2.3.2).

2.3. Ausbreitungsmodell

Gemäß [SSK 03] ist bei der Ermittlung der Strahlenexposition für Ausbreitungsberechnungen mit der Luft das Gauß-Fahnenmodell zugrunde zu legen. Details des Gauß-Fahnenmodells sind in [SSK 03] Abschnitt 4.4 sowie Anhang 2 bis 10 aufgeführt.

Die Ausbreitungsberechnung liefert als Ergebnis Ausbreitungsfaktoren, Washoutkoeffizienten und Ausbreitungsfaktoren für die γ -Submersion an allen vorgegebenen Aufpunkten.

Die Berechnung der Ausbreitungs- und Ablagerungsfaktoren und der Dosiswerte erfolgt in einem polaren Koordinatensystem mit einer Unterteilung in 12 Sektoren von jeweils 30° Breite, dessen Ursprung am Fußpunkt des Emissionsortes liegt. Die Sektoren werden im Uhrzeigersinn nummeriert, beginnend bei 1 für den Sektor 345° bis 15° (Nord). Die Ausbreitungsrichtungen entsprechen dabei den Windrichtungen um 180° versetzt. Die Radien im verwendeten Polarkoordinatensystem werden so gewählt, dass im Bereich der zu betrachtenden Aufpunkte (meist am Anlagenzaun) eine Entfernungsdiskretisierung von 10 m möglich ist. Die maximal betrachtete Entfernung beträgt 6.000 m.

2.3.1. Meteorologische Parameter

Für den Standort werden konservativ keine charakteristischen meteorologischen Daten verwendet, daher sind gemäß [SSK 03] folgende meteorologischen Bedingungen (für eine Freisetzungsdauer zwischen 1 h und 8 h)¹ zugrunde zu legen:

- Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe 1 m/s,
- Wahl der Diffusionskategorie, die zur höchsten Gesamtexposition führt,
- Niederschlag 5 mm/h für Diffusionskategorien C, D und E, kein Niederschlag für die Diffusionskategorien A, B und F und
- Wahl der Ausbreitungsrichtung (klassifiziert 12 Sektoren je 30° , Sektor 1 ist nach Nord ausgerichtet), die unter Berücksichtigung der Entfernung des Anlagenzauns und ggf. eines Gelände- und Gebäudeeinflusses zur höchsten Gesamtexposition führt.

Diese Vorgehensweise ist konservativ, da ungünstige Randbedingungen überlagert werden, die bei Berücksichtigung realer Wetterverhältnisse am Standort nicht relevant wären.

2.3.2. Ablagerungsfaktoren

Für die Berechnung der Dosis werden aus dem Ausbreitungsfaktor ein Faktor für die trockene Ablagerung (Falloutfaktor) und aus dem Washoutkoeffizienten ein Faktor für die nasse Ablagerung (Washoutfaktor) berechnet.

Den nuklidabhängigen Falloutfaktor erhält man durch Multiplikation des Ausbreitungsfaktors A_f mit der Ablagerungsgeschwindigkeit v_g :

$$= \quad \quad \quad (G 2-2)$$

Den nuklidabhängigen Washoutfaktor für bestimmte Niederschlagsintensitäten erhält man aus dem Washoutkoeffizient Λ_0 , der Niederschlagsintensität I in mm/h und der Niederschlagsintensität $I_0 = 1$ mm/h nach der Formel:

¹ In [SSK 03] werden verschiedene Zeitintervalle für Freisetzungsdauern unterschieden (0 bis 1 h, 1 bis 8 h, 8 bis 24 h, 24 bis 72 h und 72 bis 168 h).

(G 2-3)

wobei für κ die Werte 1,0 für Tritium und 0,8 für Aerosole und Iod anzusetzen sind.

Parameter zur Berechnung der nassen und trockenen Ablagerungsraten für Aerosole mit einem aerodynamischen Durchmesser von maximal $10 \mu\text{m}$ werden gemäß [SSK 03] Anhang 4 (Ablagerungsgeschwindigkeit $v_g = 0,0015 \text{ m/s}$, Washoutkoeffizient $\Lambda_0 = 7 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ für die Niederschlagsintensität I_0) verwendet.

Für eine konservative Ermittlung der nassen und trockenen Ablagerungsraten für Aerosole mit einem aerodynamischen Durchmesser von $> 10 \mu\text{m}$ wird auf die Festlegungen der TA-Luft [BMU 02] und die Vorschläge für ein atmosphärisches Radionuklidtransportmodell (ARTM) auf Basis des Lagrangeschen Partikelansatzes [BMU 07] zurückgegriffen (Ablagerungsgeschwindigkeit $v_g = 0,05 \text{ m/s}$, Washoutkoeffizient $\Lambda_0 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ für die Niederschlagsintensität I_0).

Die Fahnenabreicherung durch Fallout und Washout ist für die im vorliegenden Bericht betrachteten Entfernungen der Aufpunkte von den Emissionsorten gering und wird daher bei den Ausbreitungsberechnungen konservativ nicht berücksichtigt.

2.3.3. Gelände- und Gebäudeeinfluss

Im Gauß-Fahnenmodell können Gelände- und Gebäudeeinflüsse auf die Ausbreitung durch die Modifikation der effektiven Freisetzungshöhe und der abstandsabhängigen Ausbreitungsparameter σ_y und σ_z erfolgen. Details dazu sind in [SSK 03] Anhang 7 aufgeführt.

Wenn das Gelände am Standort - wie im vorliegenden Fall - nahezu eben ist, braucht ein Einfluss des Geländes auf die Ausbreitungsverhältnisse nicht gesondert berücksichtigt zu werden.

Da die Emission aus einem Pufferbereich im Freien erfolgt, wird kein Gebäudeeinfluss berücksichtigt.

2.3.4. Quellüberhöhung

Mit der VDI-Richtlinie 3782 Blatt 3 [VDI 85] können Quellüberhöhungen berechnet werden. Es wird dort zwischen „kalte Quellen“ (Wärmestrom $< 1,4 \text{ MW}$) und „warme Quellen“ (differenziert für Wärmeströme zwischen $1,4$ bis 6 MW und $> 6 \text{ MW}$) unterschieden. Die Berechnungsformeln aus [VDI 85] für „warme Quellen“ wurde in [SSK 03] übernommen.

Für den Fall eines Containerbrandes auf dem Außengelände wird konservativ von einer bodennahen Freisetzung ohne weitere thermische oder mechanische Überhöhung ausgegangen. Damit sind die Betrachtungen auch abdeckend für einen Containerbrand, der unter einer Überdachung auftritt und für den somit keine relevante Überhöhung berücksichtigt werden kann. Für die Freisetzung bei dem Restrisikoereignis „Flugzeugabsturz“ sind Kerosinbrände mit erheblichen Wärmeleistungen zu erwarten. Daher werden die Berechnungsvorschriften für „warme Quellen“ aus [VDI 85] verwendet, die identisch mit den Berechnungsvorschriften in [SSK 03] sind. Die Wärmeleistung wird dabei abhängig vom Flugzeugtyp aus der zur Verfügung stehenden Kerosinmenge und der Branddauer bestimmt. Konservativ wird bei den hier erfolgten Betrachtungen von einer Wärmeleistung von $5,6 \text{ MW}$ ausgegangen (siehe Abschnitt 4.5.2).

2.4. Dosisberechnung

In den folgenden Abschnitten werden die in dieser Untersuchung berücksichtigten Expositionspfade (Abschnitt 2.4.1) und die angenommenen Lebensgewohnheiten (Abschnitt 2.4.2), wie sie in [SSK 03] festgelegt sind, soweit sie für die weitere Berechnung von Belang sind, wiedergegeben. Weiterhin werden die zu berücksichtigenden Dosiskoeffizienten (Abschnitt 2.4.3) erläutert und der Bewertungsmaßstab für die Ergebnisse der Dosisberechnungen (Abschnitt 2.6) angegeben.

Zur Berechnung der Exposition werden Referenzpersonen aus sechs Altersgruppen gemäß Anlage VII Teil B der StrlSchV betrachtet:

- Säuglinge (≤ 1 Jahr),
- Kleinkinder ($> 1 - \leq 2$ Jahre),
- Kindergartenkinder ($> 2 - \leq 7$ Jahre),
- Schulkinder ($> 7 - \leq 12$ Jahre),
- Jugendliche ($> 12 - \leq 17$ Jahre) und
- Erwachsene (> 17 Jahre).

2.4.1. Expositionspfade

Expositionspfade werden gemäß [SSK 03] berücksichtigt, mit Ausnahme des Ingestionspfads. Hier wird davon ausgegangen, dass man die Lebensmittel, die im Umfeld des Ereignisorts angebaut werden, messtechnisch überwacht und bei gegebener Kontamination den Verzehr kurzfristig und wirksam unterbinden kann. Es sind demnach die Pfade

- äußere Strahlenexposition durch β -Strahlung innerhalb der Abluftfahne (β -Submersion),
- äußere Strahlenexposition durch γ -Strahlung aus der Abluftfahne (γ -Submersion),
- äußere Strahlenexposition durch γ -Strahlung der am Boden abgelagerten radioaktiven Stoffe (γ -Bodenstrahlung) und
- Exposition durch Aufnahme radioaktiver Stoffe mit der Atemluft (Inhalation)

zu berücksichtigen.

2.4.2. Lebensgewohnheiten der Referenzpersonen

2.4.2.1. Lebensmittelverzehr zur Berücksichtigung bei Auslegungstörfällen

Zur Berechnung der Exposition durch Ingestion wird angenommen, dass die Referenzpersonen pflanzliche Lebensmittel, die am ungünstigsten Aufpunkt angebaut wurden und tierische Lebensmittel, deren Futter vom ungünstigsten Aufpunkt stammt, verzehren.

Für das Jahr, in dem die potentielle Freisetzung stattfindet, wird davon ausgegangen, dass Radionuklide in die Nahrungs- und Futterpflanzen durch Ablagerungen auf der Blattoberfläche gelangen. Für die Folgejahre wird von einer Aufnahme aus dem kontaminierten Boden ausgegangen. Die Aufnahme von Radionukliden der Referenzpersonen durch Ingestion wird über eine Dauer betrachtet, die am Zeitpunkt des Freisetzungsbegins startet und mit Ablauf des 70. Lebensjahrs der Referenzperson endet.

Gemäß [SSK 03] Abschnitt 4.3.2 wird unterstellt, dass der Verzehr von Lebensmitteln und der Verbrauch von Futtermitteln, die zum Störfallzeitpunkt in einer Entfernung von weniger als 2.000 m um den Emissionsort angebaut worden waren, 24 h nach Störfallbeginn eingestellt wird. In den Folgejahren werden hingegen keine Einschränkungen hinsichtlich des Futter- und Nahrungsmittelanbaus wirksam.

In [SSK 03] Anhang 1 Tabelle 2 sind gemäß Anlage VII Teil B Tabelle 1 StrlSchV [SSV 14] die den Dosisberechnungen zugrunde zu legenden Verzehrsmengen für die verschiedenen Lebensmittelarten der sechs Altersgruppen angegeben. In diesem Anhang heißt es: „Zur Berücksichtigung der 95 % Perzentile der jährlichen Verzehrsmengen der Referenzpersonen sind die mittleren jährlichen Verzehrsmengen mit den Faktoren der Spalte 8 zu multiplizieren.“. Diese Faktoren sind gemäß [BMU 00] so gewählt, „(...) dass bei einer Multiplikation mit dem Mittelwert annähernd der 95-Perzentilwert der Verzehrrate der jeweiligen Nahrungsmittelgruppe abgedeckt wird.“.

Die mit den Faktoren der Spalte 8 aus der o. g. Tabelle multiplizierten jährlichen Verzehrsmengen, die so für die nachfolgenden Dosisabschätzungen verwendet werden, sind in Tabelle 2-4 dargestellt.

Tabelle 2-4: Jahresverbrauch an Lebensmitteln der Referenzpersonen zur Berechnung der potentiellen Strahlenexposition durch Ingestion nach [SSK 03], Mengen in kg/a

Altersgruppe	≤ 1 a	> 1 - ≤ 2 a	> 2 - ≤ 7 a	> 7 - ≤ 12 a	> 12 - ≤ 17 a	> 17 a
Muttermilch	435					
Milch, Milchprodukte	135	480	480	510	510	390
Fleisch, Wurst, Eier	10	26	100	130	160	180
Getreide, Getreideprodukte	24	60	160	190	220	220
einheimisches Frischobst, Obstprodukte, Säfte	75	135	195	195	180	105
Kartoffeln, Wurzelgemüse, Säfte	90	120	135	165	165	165
Gemüse, Gemüseprodukte, Säfte	15	51	90	105	105	120
Summe Pflanzen ohne Blattgemüse	204	366	580	655	670	610
Blattgemüse	9	18	21	27	33	39

2.4.2.2. Atemraten

Gemäß [SSK 03] Anhang 1 Tabelle 3 sind nachfolgende altersgruppenabhängige Atemraten zur Berechnung der Inhalationsdosis zugrunde zu legen.

Weiter wird in § 50 Abs. 2 StrlSchV ausgeführt: „Absatz 1 gilt auch für die Stilllegung, den sicheren Einschluss der endgültig stillgelegten Anlagen und den Abbau der Anlagen oder von Anlagenteilen nach § 7 Abs. 3 Satz 1 des Atomgesetzes.“

Gemäß § 117 Abs. 16 StrlSchV gilt: „Bis zum Inkrafttreten allgemeiner Verwaltungsvorschriften zur Störfallvorsorge nach § 50 Abs. 4 ist bei Planung der in § 50 Abs. 1 bis 3 genannten Anlagen und Einrichtungen die Störfallexposition so zu begrenzen, dass die durch Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung verursachte effektive Dosis von 50 Millisievert nicht überschritten wird.“. Da diese allgemeinen Verwaltungsvorschriften bislang nicht vorliegen, ist dieser Bewertungsmaßstab zu Grunde zu legen.

Bezugnehmend auf die hier dargestellten Ausführungen in § 50 StrlSchV werden im vorliegenden Bericht die Planungswerte nach § 49 StrlSchV als Bewertungsmaßstab herangezogen.

2.5.2. Ungünstigste Aufpunkte

Hinsichtlich der ungünstigsten Einwirkungsstellen sind gemäß [SSK 03] „(...) die Stellen zugrunde zu legen, an denen sich die höchste effektive Dosis oder die höchsten Organdosen ergeben. Dabei sind für die Summe der Dosen aus der externen Strahlenexposition durch die Abluftfahne (Beta- und Gamma-Submersion) und Inhalation sowie für die Dosis durch Bodenstrahlung jeweils die Stellen auszuwählen, an denen die Dosen am höchsten sind. Zusätzlich sind die Ingestionsdosen zu berücksichtigen, die sich (...) durch den Verzehr von Lebensmitteln ergeben. Dabei ist für die Erzeugung jeder Lebensmittelgruppe jeweils die Stelle auszuwählen, für die sich die höchsten Organdosen oder die höchste effektive Dosis durch den Verzehr dieser Lebensmittelgruppe ergeben.“. Nach dieser Passage aus [SSK 03] ist hinsichtlich der Ingestionsdosen diejenige Stelle in der Umgebung der Anlage für einen Anbau von Lebensmitteln bzw. die Aufzucht von Vieh zu betrachten, die zu den am höchsten kontaminierten Nahrungsmitteln führt.

Damit sind grundsätzlich folgende **drei ungünstigste Aufpunkte** zu betrachten:

1. die ungünstigste Einwirkungsstelle hinsichtlich β -Submersion, γ -Submersion und Inhalation (momentaner Aufenthalt während der Ableitung),
2. die ungünstigste Einwirkungsstelle hinsichtlich γ -Bodenstrahlung (dauerhafter Aufenthaltsort) und
3. die im Hinblick auf die Ingestionsdosis ungünstigste Stelle außerhalb des Anlagengeländes.

Im Einzelfall können zwei oder alle drei Orte identisch sein.

Die Lage der jeweils ungünstigsten Aufpunkte hängt von den (gemäß [SSK 03] anzunehmenden) meteorologischen Bedingungen, der Emissionshöhe, den Quellstärken für die einzelnen Nuklide, dem Verlauf des Zauns und dem Gebäude- und Geländeeinfluss (da dieser sektorweise unterschiedlich zu berücksichtigen ist) ab. Dabei ist gemäß [SSK 03] Kapitel 4.4 „(...) die für das Gesamtergebnis ungünstigste Diffusionskategorie an den ungünstigsten Aufpunkten anzunehmen.“

2.6. Bewertungsmaßstab für Restrisikoereignisse

2.6.1. Eingreifrichtwerte für die Dosis

Die tatsächliche Strahlenexposition bei Restrisikoereignissen wird im gegebenen Fall nicht allein auf der Basis von Ausbreitungs- und Dosisrechnungen sondern überwiegend auf der Basis von Messungen nach Eintritt des Ereignisses ermittelt. Modellgestützte Betrachtungen geben jedoch einen Anhaltspunkt, ob vom Restrisikoereignis zu erwarten ist, dass und ggf. welche Notfallmaßnahmen in Betracht gezogen werden müssten. Hierzu bietet der Leitfaden für den Fachberater Strahlenschutz der Katastrophenschutzleitung bei kerntechnischen Notfällen [SSK 03B] entsprechende Beurteilungskriterien an, die sinngemäß angewandt werden.

Expositionspfade werden gemäß [SSK 03] berücksichtigt (siehe Abschnitt 2.4.1), mit Ausnahme des Ingestionspfads. Hier wird davon ausgegangen, dass man die Lebensmittel, die im Umfeld des Ereignisorts angebaut werden, messtechnisch überwacht und bei gegebener Kontamination den Verzehr kurzfristig und wirksam unterbindet. Die Expositionszeiten sind in Kap 2.4.2.4 dargestellt.

Die Betrachtungszeiträume und Eingreifrichtwerte⁴ gemäß [SSK 03B] sind in Tabelle 2-7 zusammengefasst.

Tabelle 2-7: Eingreifrichtwerte bezüglich effektiver Dosis für bestimmte Maßnahmen und die zugehörigen Integrationszeiten und Expositionspfade nach [SSK 03B] (Auszug)

Maßnahme	Effektive Dosis	Integrationszeit und Pfade
Aufenthalt in Gebäuden	10 mSv	äußere Exposition in 7 Tagen und effektive Folgedosis durch Inhalation
Evakuierung	100 mSv	äußere Exposition in 7 Tagen und effektive Folgedosis durch Inhalation
Langfristige Umsiedlung	100 mSv	äußere Exposition in 1 Jahr durch abgelagerte Radionuklide

Tatsächliche Eingreifwerte können gemäß [SSK 03B] über den Eingreifrichtwerten aus Tabelle 2-7 liegen, wenn die Durchführung der Maßnahmen mit großen Nachteilen verbunden ist oder wenn dadurch nur ein kleiner Teil der Strahlendosis vermieden werden kann. Eingreifwerte unter den Eingreifrichtwerten aus Tabelle 2-7 sind aus Strahlenschutzgründen alleine nicht gerechtfertigt.

2.6.2. Ungünstigste Aufpunkte

Als ungünstigster Aufpunkt für die Bewertung von Eingreifrichtwerten des Katastrophenschutzes sind diejenigen Punkte anzusehen, an denen solche Maßnahmen tatsächlich zum Tragen kommen könnten, also Orte mit Bebauungen, die gewerblich oder zu Wohnzwecken genutzt werden.

⁴ Auf die Berücksichtigung von Eingreifrichtwerten für die durch Inhalation von Iod-Isotopen verursachte Schilddrüsensendosis kann hier verzichtet werden, zur 1-Monat-Folgedosis siehe Abschnitt 2.4.2.4.



Im vorliegenden Fall wird auf eine Verwendung von standortbezogenen meteorologischen Daten verzichtet und es erfolgt keine richtungsabhängige Berücksichtigung von Gebäudeeinflüssen. Die Entfernung des ungünstigsten Aufpunkts ergibt sich daher aus der Entfernung der zum Emissionsort nächstgelegenen Bebauung.

3. STANDORTGEBEHENHEITEN

3.1. Lage und Gebäude

Der Standort des Kernkraftwerkes befindet sich in unmittelbarer Elbnähe ca. 3,0 m ü. NN. Abbildung 3-1 zeigt einen Überblick über das Kraftwerksgelände und die Umgebung. Das Gelände am Standort ist nahezu eben. Ein Einfluss des Geländes auf die Ausbreitungsverhältnisse muss daher nicht gesondert berücksichtigt werden.



Abbildung 3-1: Kernkraftwerk Brunsbüttel, Fotografie des Kraftwerks von Südwest nach Nordost [VAT 12]

Abbildung 3-2 zeigt ein Luftbild des KKB-Geländes mit Sektoreinteilung⁵. Die nach derzeitigem Planungsstand vorgesehenen potentiellen Pufferflächen sind in Abbildung 3-3 gelb markiert und als Bereich mit der Nummerierung 0 bis 9 gekennzeichnet. Die in Abbildung 3-2 eingezeichnete blaue Linie kennzeichnet den Verlauf des Massivzauns. Dieser umschließt das Betriebsgelände. Für Personen der allgemeinen Bevölkerung ist nur das Gelände außerhalb des Massivzauns frei zugänglich. Dort ist im Allgemeinen mit einer Aufenthaltsdauer von 8.760 h im Kalenderjahr zu rechnen. Eine Ausnahme bildet der Bereich südlich des Anlagengeländes am Elbufer. Gemäß [BFS 03] ist nach § 70 Landeswassergesetz Schleswig-Holstein die Nutzung dieses Bereichs auf dem Landesschutzdeich und im Deichvorland stark eingeschränkt. Insbesondere ist es nicht möglich, dort Einrichtungen zu schaffen, die für den dauernden Aufenthalt von Personen geeignet sind. In [BFS 03] wird daher ein möglicher Aufenthalt von Personen von maximal 1.000 h pro Jahr im Bereich des Elbde-

⁵ Die Festlegung des Koordinatenursprungs erfolgte im dargestellten Fall bezüglich der potentiellen Freisetzung aus Containern im Pufferlager am Stellplatz mit der größtmöglichen Aktivitätskapazität.

ches abgeschätzt. Konservativ wird in [BFS 03] jedoch 2.000 h pro Jahr als obere Grenze der Aufenthaltsdauer angenommen.



Abbildung 3-2: KKB-Gelände mit Massivzaun (blau), den Bereichen für die Pufferlagerung (gelb) und Sektoreinteilung für den Fall des Containerbrandes auf dem Außengelände

3.2. Gebäudeeinfluss und ungünstigster Aufpunkt für die Störfälle

Es wird angenommen, dass die Störfälle „Brand eines Containers“ und „Absturz eines Containers“ in Überwachungsbereichen auf dem Betriebsgelände stattfinden. Konservativ wird von einer bodennahen Freisetzung ohne Gebäudeeinfluss ausgegangen. Als Emissionsort wird der in Abbildung 3-2 eingezeichnete Punkt verwendet, womit sich die in Tabelle 3-1 angegebenen Entfernungen zum Anlagenzaun (Massivzaun) ergeben.

Tabelle 3-1: Entfernung der Begrenzung des Betriebsgeländes in den 12 Sektoren in m (auf 10 m gerundet)

Sektor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Richtung des Sektors in [°]	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
Entfernung zum Zaun	730	480	280	250	110	60	50	60	110	380	440	670

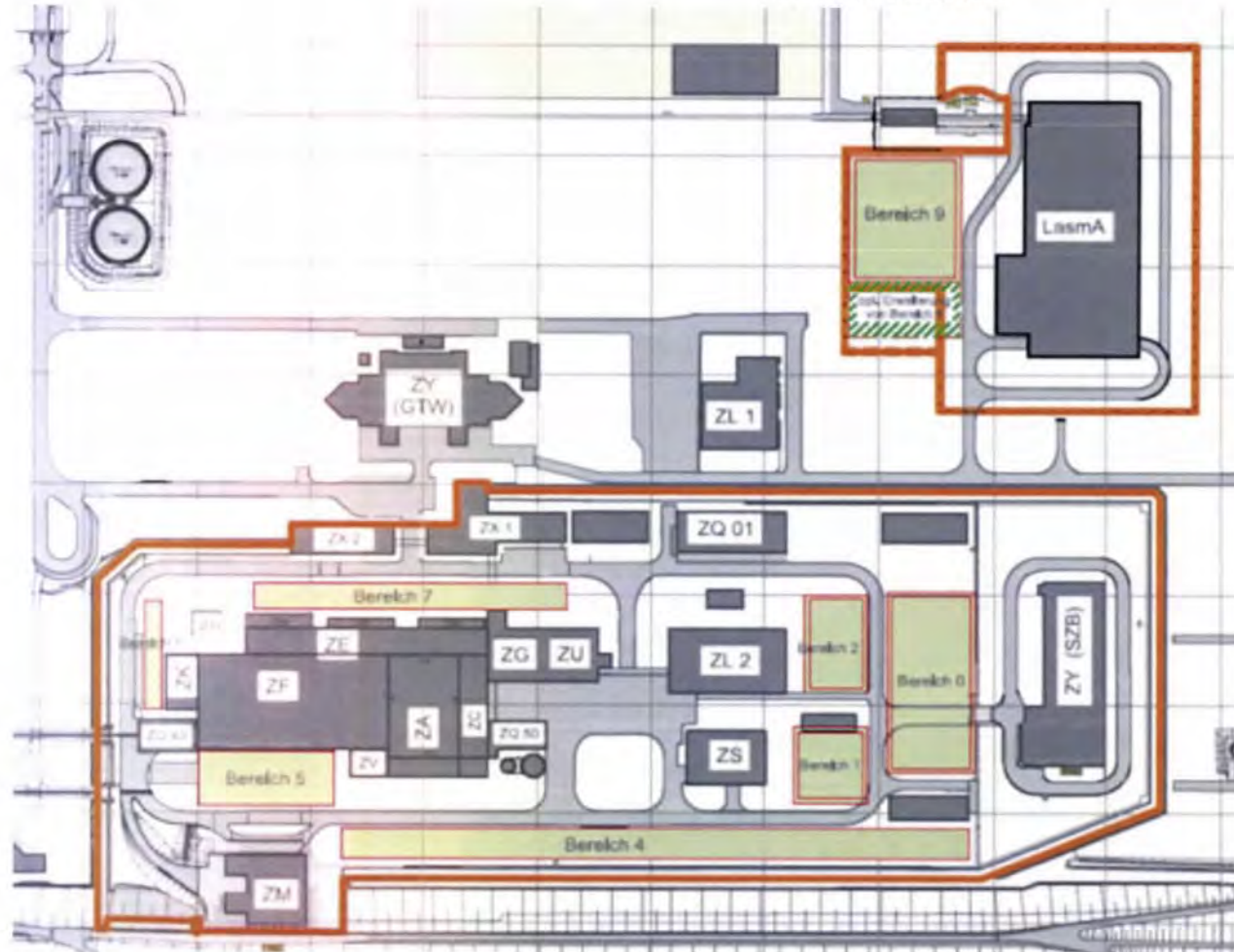


Abbildung 3-3: Lage und Bezeichnungen der nach derzeitigem Planungsstand vorgesehenen, optionalen Pufferlagerflächen

3.3. Gebäudeeinfluss und ungünstigster Aufpunkt für Restrisikoereignisse

Da als Restrisikoereignis der Absturz eines Flugzeuges auf eine Pufferlagerfläche betrachtet wird, ist am Emissionsort kein Gebäude vorhanden. Es wird eine weitgehende Zerstörung der Lagercontainer angenommen, so dass von einer bodennahen Freisetzung ausgegangen werden muss. Die umgebenden Gebäude befinden sich in einer Entfernung, für die eine Berücksichtigung des Gebäudeeinflusses gemäß [SSK 03] nicht durchzuführen ist. Für den Fall eines Folgebrandes wird eine thermische Überhöhung berücksichtigt.

Die nächstgelegene Wohnbebauung befindet sich in ca. 1.400 m Entfernung vom Kamin in ost-nordöstlicher Richtung (Sektor 3) in der Ortschaft Büttel. Diese Entfernung wird für den zu berücksichtigenden ungünstigsten Aufpunkt angesetzt. Auf Grund der Verwendung generischer meteorologischer Daten und der richtungsunabhängigen Gebäudeeinflussparameter ist die Richtung der nächsten Wohnbebauung ohne Bedeutung.

Zusätzlich wird für die Inhalationsdosis beim Durchzug der Wolke ein ungünstigster Aufpunkt betrachtet, der nicht mit der Wohnbebauung identisch sein muss. Für Szenarien ohne thermische Überhöhung bei der Freisetzung ergibt sich dieser direkt am Zaun (Sektor 7 in 50 m Entfernung, siehe Abschnitt 4.5.3.1). Für Szenarien mit thermischer Überhöhung bei der Freisetzung ergibt sich dieser in sehr großen Entfernungen (siehe Abschnitt 4.5.3.2). Der Beitrag zur Gesamtexposition ist in diesem Fall bedeutungslos.

4. DOSISBERECHNUNGEN

4.1. Brand eines Containers mit brennbaren Mischabfällen

In einem zur Pufferlagerung vorgesehenen 20'-Container können verschiedene Stoffarten vorliegen, wie beispielsweise brennbare Mischabfälle, metallische Reststoffe oder andere nicht dispergierbare Reststoffe. Dabei sind für brennbare Mischabfälle die Freisetzungsanteile (AGG 1 mit $ARF = 0,1$ in BK 3 für Partikel mit einem AED bis $10 \mu\text{m}$) am höchsten. Für Kontamination an metallischen Reststoffen (AGG 3 mit $ARF = 0,004$), unfixierte Abfälle (AGG 2 mit $ARF = 0,005$) oder andere Stoffarten liegen die Freisetzungsanteile um mehr als eine Größenordnung niedriger. Daher wird im Folgenden die Freisetzung bei einem Brand für einen 20'-Container mit brennbaren Mischabfällen betrachtet. Die hieraus erhaltenen Dosiswerte decken somit auch andere Stoffarten ab, die zudem mit deutlich höheren Aktivitäten vorliegen können. Zusätzlich wird in Abschnitt 4.2 ein Container mit unfixierten Abfällen (AGG 2) betrachtet.

4.1.1. Quelltermittlung

4.1.1.1. Betroffenes Inventar

Für den von einem Brand betroffenen Container wird gemäß Auswertung der Daten für Container mit brennbaren Mischabfällen aus Tabelle A-1 eine Aktivität von $5 \cdot 10^9$ Bq verwendet. Dieser Wert ist abdeckend für alle bei den dort aufgeführten Entsorgungskampagnen festgestellten Aktivitäten, mit Ausnahme einer Kampagne mit einer β/γ -Aktivität von ca. $8 \cdot 10^9$ Bq (im Jahr 2001). Hier ist allerdings Mn-54 mit einem Anteil von etwa 54 % das hauptsächlich beitragende Nuklid. Auf-

grund der mit 312 Tagen relativ geringen Halbwertszeit von Mn-54 und da in den weiteren Betrachtungen keine Zerfallskorrekturen mehr durchgeführt werden, kann $5 \cdot 10^9$ Bq als abdeckender Wert der Aktivität verwendet werden.

Für den bei der Bestimmung der freigesetzten Nuklidanteile benötigten Nuklidvektor werden die Maximalaktivitäten aus den technischen Annahmebedingungen für das Lasma [NUK 16] für das im Container vorhandene Aktivitätsinventar verwendet. Zusätzlich wird das Radionuklid Sr-90 mit einem 2,5 %-Bruchteil des Cs-137-Anteils angesetzt. Damit ergibt sich der in Tabelle 4-1 angegebene Nuklidvektor.

Tabelle 4-1: Betroffenes Aktivitätsinventar beim Brand eines Containers mit brennbaren Mischabfällen

Nuklid	Anteil	Aktivität [Bq]
Co-60	68,72 %	$3,4 \cdot 10^9$
Cs-137	30,32 %	$1,5 \cdot 10^9$
Sr-90	0,76 %	$3,8 \cdot 10^7$
Am-241	0,20 %	$1,0 \cdot 10^7$
Summe	100 %	$5 \cdot 10^9$

4.1.1.2. Freigesetzte Aktivität

Die Freisetzungsteile aus den Behältern werden [GRS 09] entnommen. Um abdeckend für alle Arten von auftretenden Behältern und Abfallzusammensetzungen zu sein, wird dabei konservativ die AGG mit der geringsten Rückhaltewirkung verwendet (AGG 1) und die Belastungsklasse mit der geringsten mechanischen und höchsten thermischen Belastung (eine Stunde Branddauer) angesetzt. Somit ergibt sich die Belastungsklasse BK 3. Die geringste mechanische Belastungsklasse wird gewählt, da nicht zu erwarten ist, dass bei einem Brand mechanische Belastungen über die in BK 3 unterstellten hinausgehen (Aufprallgeschwindigkeit bis 35 km/h entsprechend einer Fallhöhe von ca. 5 m). Da sich die Freisetzungsteile gemäß [GRS 09] für Belastungsklassen mit Brand ausdrücklich auf das leichtflüchtige Element Cs beziehen, werden die in Abschnitt 2.2 beschriebenen Korrekturen für die anderen Elemente durchgeführt. Da der Brand im Außenbereich auftritt, wird keine weitere Rückhaltewirkung durch Gebäude oder Filter unterstellt und es ergeben sich mit den Aktivitäten nach Tabelle 4-1 die in Tabelle 4-2 angegebenen potentiell freigesetzten Aktivitäten.

Tabelle 4-2: Potentiell freigesetzte Aktivität beim Brand eines Containers mit brennbaren Mischabfällen auf dem Außengelände

Nuklid	Anteil	Aktivität [Bq]	ARF ¹⁾		freigesetzte Aktivität [Bq]	
			bis 10 µm	ab 10 µm	bis 10 µm	ab 10 µm
Co-60	68,72 %	$3,4 \cdot 10^9$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$3,4 \cdot 10^6$	$3,4 \cdot 10^4$
Cs-137	30,32 %	$1,5 \cdot 10^9$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^8$	$1,5 \cdot 10^4$
Sr-90	0,76 %	$3,8 \cdot 10^7$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$3,8 \cdot 10^5$	$3,8 \cdot 10^2$
Am-241	0,20 %	$1,0 \cdot 10^7$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^4$	$1,0 \cdot 10^2$
Summe	100 %	$5 \cdot 10^9$	-	-	$1,5 \cdot 10^8$	$4,9 \cdot 10^4$

¹⁾ luftgetragener freigesetzter Anteil (airborne release fraction)

4.1.2. Ausbreitungsberechnung

Der Emissionsort wird auf den Bereich östlich des UNS gelegt. Die Freisetzungen werden als impuls- und wärmelose Quellen betrachtet. Als Freisetzungsdauer wird nach [SSK 03] der Zeitraum bis 8 h angenommen. Es wird von einer bodennahen Freisetzung ohne thermische Überhöhung ausgegangen. Damit sind die Betrachtungen auch abdeckend für einen Containerbrand, der unter einer Überdachung auftritt und für den somit keine relevante Überhöhung berücksichtigt werden kann.

Für die Freisetzung wurde die ungünstigste Ausbreitungssituation und die Lage der ungünstigsten Aufpunkte unter Beachtung der in Abschnitt 2.3 aufgeführten meteorologischen Randbedingungen außerhalb des Überwachungsbereichs ermittelt. Die sektorweisen Entfernungen des Zauns vom Emissionsort wurden aus Tabelle 3-1 entnommen.

Für den Störfall sind nur die Expositionspfade Ingestion und γ -Bodenstrahlung sowie zu einem geringen Teil der Expositionspfad Inhalation radiologisch relevant. Es werden die Ausbreitungs- und Ablagerungsparameter für die folgenden Expositionspfade angegeben:

γ -Bodenstrahlung: Ablagerungsfaktor auf dem Boden, berechnet als Summe des Falloutfaktors und des Washoutfaktors

Inhalation: Ausbreitungsfaktor

Ingestion: Ablagerungsfaktor auf Pflanzen, berechnet als Summe des Falloutfaktors und des Washoutfaktors multipliziert mit 0,3, sowie Ablagerungsfaktor auf dem Boden, berechnet als Summe des Falloutfaktor und des Washoutfaktors und Ablagerungsfaktor auf dem Boden.

In Tabelle 4-3 sind die ermittelten ungünstigsten Ausbreitungsbedingungen und Aufpunkte und die dortigen, dosisrelevanten Ausbreitungs- und Ablagerungsparameter (der Ablagerungsfaktor auf dem Boden ist beim Expositionspfad Ingestion nicht angegeben, wenn beim Expositionspfad γ -Bodenstrahlung derselbe ungünstige Aufpunkt ermittelt wurde) angegeben. Die Angaben zu Sektor und Entfernung beziehen sich dabei jeweils auf den Emissionspunkt als Nullpunkt des Polarkoordinatensystems.

Tabelle 4-3: Ergebnisse der Ausbreitungsberechnung für die potentielle Freisetzung beim Brand eines Containers

AED ^{e)}	AK ^{f)}	γ -Bodenstrahlung		Inhalation		Ingestion	
		AP ^{a)}	W_r^b [1/m ²] ^{b)}	AP ^{a)}	A_r [s/m ³] ^{c)}	AP ^{a)}	W_r^{Pf} [1/m ²] ^{d)}
0 – 10 μ m	D	7 / 50	$1,2 \cdot 10^{-5}$	7 / 50	$3,4 \cdot 10^{-3}$	7 / 50	$7,3 \cdot 10^{-6}$
10 – 100 μ m			$2,0 \cdot 10^{-4}$		-		$1,8 \cdot 10^{-4}$

- a) AP: Aufpunkt, Sektor/Entfernung [m]
b) W_r^b : Ablagerungsfaktor für den Boden [1/m²]
c) A_r : Ausbreitungsfaktor [s/m³]
d) W_r^{Pf} : Ablagerungsfaktor für Pflanzen [1/m²]
e) AED: aerodynamisch äquivalenter Partikeldurchmesser
f) AK: Diffusionskategorie

Die ermittelten ungünstigsten Ausbreitungsbedingungen ergeben sich für die betrachtete Freisetzung mit Diffusionskategorie D verbunden mit 5 mm/h Niederschlag. Der Aufpunkt in Sektor 7 bei einer Entfernung von 50 m liegt am Massivzaun zwischen der Anlage und der Elbe. Für diesen Aufpunkt ist von einer Aufenthaltsdauer von maximal 2000 h im Jahr auszugehen, der Anbau von Lebens- und Futtermitteln ist an diesem Aufpunkt nicht möglich.

Konservativ wird dennoch ein Daueraufenthalt und der Anbau von Lebens- und Futtermitteln unterstellt. Mit dieser Betrachtung sind damit auch die Fälle abgedeckt, an denen die Container auf anderen Stellplätzen innerhalb des Betriebsgeländes stehen.

4.1.3. Ergebnisse der Dosisberechnung

Aus den in Abschnitt 4.1.1 berechneten Freisetzungsaktivitäten und den in Abschnitt 4.1.2 berechneten Ausbreitungs- und Ablagerungsparametern wurde die Effektivdosis für die 6 Altersgruppen berechnet. Diese Berechnungen erfolgten jeweils separat für die freigesetzten Nuklide.

Es wurden alle gemäß Abschnitt 2.4.1 zu betrachtenden Expositionspfade in die Berechnung mit einbezogen. Die Ergebnisse der Berechnung zur effektiven Dosis sind in Tabelle 4-4 nuklidspezifisch angegeben.

Tabelle 4-4: Potentielle effektive Dosis am ungünstigsten Aufpunkt für die Freisetzung beim Brand eines Containers mit brennbaren Mischabfällen

AED	Nuklid	Effektive Dosis [mSv]					
		≤ 1 a	> 1 – ≤ 2 a	> 2 – ≤ 7 a	> 7 – ≤ 12 a	> 12 – ≤ 17 a	> 17 a
0 – 10 µm	Co-60	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$
	Cs-137	0,88	0,85	0,85	0,81	0,78	0,74
	Sr-90	$4,8 \cdot 10^{-3}$	$4,4 \cdot 10^{-3}$	$4,4 \cdot 10^{-3}$	$4,6 \cdot 10^{-3}$	$4,1 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$
	Am-241	$3,9 \cdot 10^{-4}$	$5,5 \cdot 10^{-4}$	$6,3 \cdot 10^{-4}$	$8,9 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$
	Summe	0,90	0,87	0,87	0,83	0,80	0,76
10 – 100 µm	Co-60	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$
	Cs-137	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$
	Sr-90	$7,9 \cdot 10^{-5}$	$7,2 \cdot 10^{-5}$	$7,1 \cdot 10^{-5}$	$7,4 \cdot 10^{-5}$	$6,7 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$
	Am-241	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$3,7 \cdot 10^{-6}$	$4,1 \cdot 10^{-6}$	$3,8 \cdot 10^{-6}$	$3,5 \cdot 10^{-6}$	$3,3 \cdot 10^{-6}$
	Summe	$4,3 \cdot 10^{-3}$	$4,1 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$
Summe	Co-60	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$1,9 \cdot 10^{-2}$	$1,9 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$
	Cs-137	0,88	0,85	0,85	0,81	0,78	0,74
	Sr-90	$4,9 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$4,6 \cdot 10^{-3}$	$4,2 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$
	Am-241	$4,1 \cdot 10^{-4}$	$5,5 \cdot 10^{-4}$	$6,3 \cdot 10^{-4}$	$9,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$
	Summe	0,90	0,88	0,87	0,84	0,80	0,76

Für alle Altersklassen wird die potentielle Exposition nahezu vollständig durch Cs-137 und Partikel mit einem AED bis 10 µm verursacht. Die höchste Exposition ergibt sich dabei für die Altersklasse bis 1 Jahr mit 0,9 mSv. Für diese Altersklasse beläuft sich der Anteil der γ -Bodenstrahlung an der potentiellen Exposition auf ca. 73 %. Ingestion trägt zu ca. 27 % bei. Der Anteil von Inhalation und β -/ γ -Submersion beträgt weniger als 0,5 %. Für die Altersklasse der Erwachsenen (> 17 Jahre) belaufen sich die Anteile auf etwa 67 % für γ -Bodenstrahlung, 32 % für Ingestion und 1 % für Inhalation und β -/ γ -Submersion.

Die Ergebnisse für die potentiellen Organdosen der am höchsten belasteten Altersklasse bis 1 Jahr sind in Tabelle 4-5 angegeben.

Tabelle 4-5: Potentielle Organodosis am ungünstigsten Aufpunkt für die am höchsten belastete Altersklasse bis 1 Jahr

Organ	Potentielle Dosis [mSv]							Aussch.
	γ - Boden	γ -Subm.	β -Subm.	Inhal.	Subm. und Inhal.	Ing.	Summe	
ET Luftwege	0,75	$1,5 \cdot 10^{-6}$	0	$5,4 \cdot 10^{-3}$	$5,4 \cdot 10^{-3}$	0,23	0,98	0,66%
Lunge	0,70	$1,3 \cdot 10^{-6}$	0	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-2}$	0,23	0,95	0,63%
Blase	0,65	$1,1 \cdot 10^{-6}$	0	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	0,25	0,90	0,60%
Brust	0,73	$1,4 \cdot 10^{-6}$	0	$6,7 \cdot 10^{-4}$	$6,7 \cdot 10^{-4}$	0,19	0,93	0,62%
Gehirn	0,68	$1,5 \cdot 10^{-6}$	0	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	0,21	0,90	0,60%
Haut	0,77	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$5,0 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$	0,19	0,96	0,19%
Hoden	0,67	$1,2 \cdot 10^{-6}$	0	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	0,21	0,88	1,77%
Knochenoberfläche	0,71	$1,4 \cdot 10^{-6}$	0	$7,6 \cdot 10^{-3}$	$7,6 \cdot 10^{-3}$	0,32	1,0	0,35%
Leber	0,65	$1,2 \cdot 10^{-6}$	0	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	0,23	0,88	0,59%
Speiseröhre	0,60	$1,1 \cdot 10^{-6}$	0	$6,4 \cdot 10^{-4}$	$6,5 \cdot 10^{-4}$	0,23	0,82	0,55%
Magen	0,65	$1,2 \cdot 10^{-6}$	0	$4,2 \cdot 10^{-4}$	$4,2 \cdot 10^{-4}$	0,24	0,88	0,59%
Dünndarm	0,61	$1,1 \cdot 10^{-6}$	0	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$	0,25	0,86	0,57%
Oberer Dickdarm	0,62	$1,1 \cdot 10^{-6}$	0	$6,8 \cdot 10^{-4}$	$6,8 \cdot 10^{-4}$	0,27	0,90	0,60%
Unterer Dickdarm	0,62	$1,0 \cdot 10^{-6}$	0	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	0,37	0,99	0,66%
Dickdarm	0,62	$1,1 \cdot 10^{-6}$	0	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	0,31	0,93	0,62%
Milz	0,65	$1,2 \cdot 10^{-6}$	0	$5,3 \cdot 10^{-4}$	$5,4 \cdot 10^{-4}$	0,23	0,88	0,58%
Muskel	0,65	$1,2 \cdot 10^{-6}$	0	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$3,1 \cdot 10^{-4}$	0,21	0,86	0,57%
Nebennieren	0,61	$1,1 \cdot 10^{-6}$	0	$7,3 \cdot 10^{-4}$	$7,3 \cdot 10^{-4}$	0,24	0,85	0,57%
Nieren	0,65	$1,2 \cdot 10^{-6}$	0	$4,2 \cdot 10^{-4}$	$4,2 \cdot 10^{-4}$	0,23	0,88	0,58%
Ovarien	0,62	$1,0 \cdot 10^{-6}$	0	$4,1 \cdot 10^{-4}$	$4,1 \cdot 10^{-4}$	0,25	0,87	1,74%
Pankreas	0,60	$1,1 \cdot 10^{-6}$	0	$5,4 \cdot 10^{-4}$	$5,4 \cdot 10^{-4}$	0,24	0,84	0,56%
Rotes Knochenmark	0,63	$1,2 \cdot 10^{-6}$	0	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	0,26	0,89	1,78%
Schilddrüse	0,75	$1,5 \cdot 10^{-6}$	0	$3,4 \cdot 10^{-4}$	$3,4 \cdot 10^{-4}$	0,23	0,98	0,65%
Thymus	0,67	$1,3 \cdot 10^{-6}$	0	$6,4 \cdot 10^{-4}$	$6,5 \cdot 10^{-4}$	0,23	0,90	0,60%
Uterus	0,58	$9,9 \cdot 10^{-7}$	0	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	0,24	0,83	1,66%
Effektive Dosis	0,66	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$5,0 \cdot 10^{-8}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	0,24	0,90	1,80%

Die höchste Ausschöpfung des Planungswertes gemäß § 49 StrlSchV ergibt sich für die Effektivdosis (Planungswert 50 mSv).

4.2. Brand eines Containers mit nicht brennbaren, unfixierten Reststoffen

In diesem Abschnitt wird ein 20'-Container mit nicht brennbaren, unfixierten Abfälle (AGG 2) betrachtet, der von einem Brand betroffen ist.

4.2.1. Quelltermittlung

4.2.1.1. Betroffenes Inventar

Für den von einem Brand betroffenen Container wird für das Aktivitätsinventar ein abdeckender Wert von $9 \cdot 10^{10}$ Bq verwendet. Es wird der Nuklidvektor nach Tabelle 4-1 angesetzt. Damit ergeben sich die in Tabelle 4-6 angegebenen nuklidspezifischen Aktivitäten.

Tabelle 4-6: Betroffenes Aktivitätsinventar beim Brand eines Containers mit nicht brennbaren, unfixierten Reststoffen

Nuklid	Anteil	Aktivität [Bq]
Co-60	68,72 %	$6,2 \cdot 10^{10}$
Cs-137	30,32 %	$2,7 \cdot 10^{10}$
Sr-90	0,76 %	$6,8 \cdot 10^8$
Am-241	0,20 %	$1,8 \cdot 10^8$
Summe	100 %	$9 \cdot 10^{10}$

4.2.1.2. Freigesetzte Aktivität

Die Freisetzunganteile aus den Behältern werden [GRS 09] entnommen. Abdeckend wird AGG 2 verwendet und die Belastungsklasse mit der geringsten mechanischen und höchsten thermischen Belastung (eine Stunde Branddauer) angesetzt. Somit ergibt sich die Belastungsklasse BK 3. Die geringste mechanische Belastungsklasse wird gewählt, da nicht zu erwarten ist, dass bei einem Brand mechanische Belastungen über die in BK 3 unterstellten hinausgehen (Aufprallgeschwindigkeit bis 35 km/h entsprechend einer Fallhöhe von ca. 5 m). Da sich die Freisetzunganteile gemäß [GRS 09] für Belastungsklassen mit Brand ausdrücklich auf das leichtflüchtige Element Cs beziehen, werden die in Abschnitt 2.2 beschriebenen Korrekturen für die anderen Elemente durchgeführt. Da der Brand im Außenbereich auftritt, wird keine weitere Rückhaltewirkung durch Gebäude oder Filter unterstellt und es ergeben sich mit den Aktivitäten nach Tabelle 4-6 die in Tabelle 4-7 angegebenen potentiell freigesetzten Aktivitäten.

Tabelle 4-7: Potentiell freigesetzte Aktivität beim Brand eines Containers mit unfixierten Reststoffen auf dem Außengelände

Nuklid	Anteil	Aktivität [Bq]	ARF ¹⁾		freigesetzte Aktivität [Bq]	
			bis 10 µm	ab 10 µm	bis 10 µm	ab 10 µm
Co-60	68,72 %	$6,2 \cdot 10^{10}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$3,1 \cdot 10^6$	$6,2 \cdot 10^5$
Cs-137	30,32 %	$2,7 \cdot 10^{10}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^8$	$2,7 \cdot 10^5$
Sr-90	0,76 %	$6,8 \cdot 10^8$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$3,4 \cdot 10^5$	$6,8 \cdot 10^3$
Am-241	0,20 %	$1,8 \cdot 10^8$	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$9,0 \cdot 10^3$	$1,8 \cdot 10^3$
Summe	100 %	$9 \cdot 10^{10}$	-	-	$1,4 \cdot 10^8$	$9,0 \cdot 10^5$

¹⁾ luftgetragener freigesetzter Anteil (airborne release fraction)

4.2.2. Ausbreitungsberechnung

Die Ausbreitungsberechnungen erfolgen wie in Abschnitt 4.1.2 beschrieben. Es ergeben sich auch die dort angegebenen Aufpunkte und Ausbreitungsfaktoren.

4.2.3. Ergebnisse der Dosisberechnung

Aus den in Abschnitt 4.2.1 berechneten Freisetzungsaktivitäten und den in Abschnitt 4.2.2 (bzw. 4.1.2) berechneten Ausbreitungs- und Ablagerungsparametern wurde die Effektivdosis für die 6 Altersgruppen berechnet. Diese Berechnungen erfolgten jeweils separat für die freigesetzten Nuklide.

Es wurden alle gemäß Abschnitt 2.4.1 zu betrachtenden Expositionspfade in die Berechnung mit einbezogen. Die Ergebnisse der Berechnung zur effektiven Dosis sind in Tabelle 4-8 nuklidspezifisch angegeben.

Tabelle 4-8: Potentielle effektive Dosis am ungünstigsten Aufpunkt für die Freisetzung beim Brand eines Containers mit nicht brennbaren, unfixierten Reststoffen

AED	Nuklid	Effektive Dosis [mSv]					
		≤ 1 a	> 1 – ≤ 2 a	> 2 – ≤ 7 a	> 7 – ≤ 12 a	> 12 – ≤ 17 a	> 17 a
0 – 10 µm	Co-60	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$
	Cs-137	0,82	0,79	0,79	0,76	0,73	0,69
	Sr-90	$4,3 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$4,1 \cdot 10^{-3}$	$3,7 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$
	Am-241	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$4,9 \cdot 10^{-4}$	$5,6 \cdot 10^{-4}$	$8,1 \cdot 10^{-4}$	$9,4 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$
	Summe	0,84	0,81	0,81	0,78	0,75	0,71
10 – 100 µm	Co-60	$5,1 \cdot 10^{-3}$	$4,9 \cdot 10^{-3}$	$4,7 \cdot 10^{-3}$	$4,3 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$3,7 \cdot 10^{-3}$
	Cs-137	$2,6 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$2,2 \cdot 10^{-2}$
	Sr-90	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$7,2 \cdot 10^{-4}$
	Am-241	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$6,6 \cdot 10^{-5}$	$7,3 \cdot 10^{-5}$	$6,8 \cdot 10^{-5}$	$6,3 \cdot 10^{-5}$	$5,9 \cdot 10^{-5}$
	Summe	$7,9 \cdot 10^{-2}$	$7,5 \cdot 10^{-2}$	$7,3 \cdot 10^{-2}$	$6,8 \cdot 10^{-2}$	$6,4 \cdot 10^{-2}$	$6,0 \cdot 10^{-2}$
Summe	Co-60	$6,7 \cdot 10^{-2}$	$6,4 \cdot 10^{-2}$	$6,2 \cdot 10^{-2}$	$5,7 \cdot 10^{-2}$	$5,3 \cdot 10^{-2}$	$4,9 \cdot 10^{-2}$
	Cs-137	0,84	0,82	0,81	0,78	0,75	0,71
	Sr-90	$5,7 \cdot 10^{-3}$	$5,2 \cdot 10^{-3}$	$5,2 \cdot 10^{-3}$	$5,4 \cdot 10^{-3}$	$4,9 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$
	Am-241	$6,6 \cdot 10^{-4}$	$5,6 \cdot 10^{-4}$	$6,4 \cdot 10^{-4}$	$8,7 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$
	Summe	0,92	0,89	0,88	0,84	0,81	0,77

Für alle Altersklassen wird die potentielle Exposition nahezu vollständig durch Cs-137 und Partikel mit einem AED bis 10 µm verursacht. Die höchste Exposition ergibt sich dabei für die Altersklasse bis 1 Jahr mit ca. 0,9 mSv. Für diese Altersklasse beläuft sich der Anteil der γ -Bodenstrahlung an der potentiellen Exposition auf ca. 74 %. Ingestion trägt zu ca. 26 % bei. Der Anteil von Inhalation und β -/ γ -Submersion beträgt weniger als 0,5 %. Für die Altersklasse der Erwachsenen (> 17 Jahre) belaufen sich die Anteile auf etwa 68 % für γ -Bodenstrahlung, 31 % für Ingestion und 1 % für Inhalation und β -/ γ -Submersion.

Die Ergebnisse für die potentiellen Organdosen der am höchsten belasteten Altersklasse bis 1 Jahr sind in Tabelle 4-9 angegeben.

Tabelle 4-9: Potentielle Organdosis am ungünstigsten Aufpunkt für die am höchsten belastete Altersklasse bis 1 Jahr

Organ	Potentielle Dosis [mSv]							Aussch.
	γ - Boden	γ -Subm.	β -Subm.	Inhal.	Subm. und Inhal.	Ing.	Summe	
ET Luftwege	0,77	$1,4 \cdot 10^{-6}$	0	$5,1 \cdot 10^{-3}$	$5,1 \cdot 10^{-3}$	0,22	1,00	0,67%
Lunge	0,72	$1,2 \cdot 10^{-6}$	0	$2,1 \cdot 10^{-2}$	$2,1 \cdot 10^{-2}$	0,22	0,96	0,64%
Blase	0,67	$1,0 \cdot 10^{-6}$	0	$2,3 \cdot 10^{-1}$	$2,4 \cdot 10^{-1}$	0,24	0,91	0,61%
Brust	0,75	$1,3 \cdot 10^{-6}$	0	$6,3 \cdot 10^{-4}$	$6,3 \cdot 10^{-4}$	0,19	0,94	0,63%
Gehirn	0,71	$1,4 \cdot 10^{-6}$	0	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	0,21	0,91	0,61%
Haut	0,79	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$4,6 \cdot 10^{-6}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	0,19	0,98	0,20%
Hoden	0,69	$1,1 \cdot 10^{-6}$	0	$3,7 \cdot 10^{-4}$	$3,7 \cdot 10^{-4}$	0,21	0,90	1,79%
Knochenoberfläche	0,73	$1,3 \cdot 10^{-6}$	0	$6,9 \cdot 10^{-3}$	$6,9 \cdot 10^{-3}$	0,33	1,1	0,35%
Leber	0,67	$1,1 \cdot 10^{-6}$	0	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	0,23	0,90	0,60%
Speiseröhre	0,62	$1,0 \cdot 10^{-6}$	0	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	0,22	0,84	0,56%
Magen	0,67	$1,1 \cdot 10^{-6}$	0	$3,9 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-4}$	0,23	0,90	0,60%
Dünndarm	0,63	$1,0 \cdot 10^{-6}$	0	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$	0,24	0,87	0,58%
Oberer Dickdarm	0,64	$1,0 \cdot 10^{-6}$	0	$6,3 \cdot 10^{-4}$	$6,3 \cdot 10^{-4}$	0,27	0,91	0,61%
Unterer Dickdarm	0,64	$9,8 \cdot 10^{-7}$	0	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	0,36	1,0	0,67%
Dickdarm	0,64	$1,0 \cdot 10^{-6}$	0	$9,5 \cdot 10^{-4}$	$9,5 \cdot 10^{-4}$	0,30	0,95	0,63%
Milz	0,67	$1,1 \cdot 10^{-6}$	0	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	0,22	0,89	0,59%
Muskel	0,67	$1,1 \cdot 10^{-6}$	0	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	0,21	0,87	0,58%
Nebennieren	0,63	$1,0 \cdot 10^{-6}$	0	$6,8 \cdot 10^{-4}$	$6,8 \cdot 10^{-4}$	0,24	0,87	0,58%
Nieren	0,67	$1,1 \cdot 10^{-6}$	0	$3,9 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-4}$	0,22	0,89	0,59%
Ovarien	0,64	$9,5 \cdot 10^{-7}$	0	$3,7 \cdot 10^{-4}$	$3,7 \cdot 10^{-4}$	0,24	0,88	1,77%
Pankreas	0,62	$1,0 \cdot 10^{-6}$	0	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	0,24	0,86	0,57%
Rotes Knochenmark	0,66	$1,1 \cdot 10^{-6}$	0	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	0,25	0,91	1,82%
Schilddrüse	0,77	$1,4 \cdot 10^{-6}$	0	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-4}$	0,22	0,99	0,66%
Thymus	0,69	$1,2 \cdot 10^{-6}$	0	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	0,22	0,91	0,61%
Uterus	0,60	$9,4 \cdot 10^{-7}$	0	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	0,24	0,84	1,68%
Effektive Dosis	0,68	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$4,6 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	0,24	0,92	1,83%

Die höchste Ausschöpfung des Planungswertes gemäß § 49 StrlSchV ergibt sich für die Effektivdosis (Planungswert 50 mSv).

Der Container mit nicht brennbaren Reststoffen liefert bei einem Aktivitätsinventar von $9 \cdot 10^{10}$ Bq bei einem Ereignis die gleiche potentielle Dosis wie der Container mit brennbaren Reststoffen und einem Aktivitätsinventar von $5 \cdot 10^9$ Bq.

4.3. Absturz eines Containers

Für die Aktivität in einem Container werden die gleichen Annahmen getroffen wie in Abschnitt 4.1.1.1 beim Brand eines Containers.

Die Freisetzungsteile aus den Behältern werden [GRS 09] entnommen. Dabei werden konservativ die Behälter mit der geringsten Rückhaltewirkung verwendet (AGG 1). Der Energieeintrag der mechanischen Einwirkungen wird in [GRS 09] durch die in Tabelle 2-3 angegebenen Geschwindigkeitsklassen charakterisiert. Für die Belastungsklasse 1 (BK 1) wird eine Aufprallgeschwindigkeit im Intervall von 0 bis 35 km/h unterstellt. Eine Aufprallgeschwindigkeit von 35 km/h entspricht einem freien Fall aus ca. 5 m Höhe. Mit der nächsthöheren Belastungsklasse BK 4 (Aufprallgeschwindigkeit bis 80 km/h) werden Höhen bis ca. 25 m abgedeckt.

Als Freisetzungsteile bei mechanischer Belastung ergeben sich somit für AGG 1 die in Tabelle 4-10 angegebenen Werte. Zum Vergleich sind die Werte für die thermische Belastungsklasse BK 3 und die höchste rein mechanische Belastungsklasse BK 7 mit aufgeführt.

Tabelle 4-10: Freisetzungsteile nach [GRS 09] für AGG 1 bei mechanischer Belastung und Vergleich mit thermischen Freisetzungsteilen für BK 3

Belastungsklasse	ARF (AED bis 10 µm)	ARF (AED > 10 µm)
BK 3 (thermisch)	$1 \cdot 10^{-1}$ ^{a)}	$1 \cdot 10^{-5}$
BK 1 (mechanisch)	$5 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$
BK 4 (mechanisch)	$5 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-1}$
BK 7 (mechanisch)	$3 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$

^{a)} bei Co-60 auf $1 \cdot 10^{-7}$ korrigiert, siehe Abschnitt 2.2

Da das unterstellte betroffene Aktivitätsinventar für einen Container dasselbe ist wie für den Fall des Containerbrandes und die Freisetzungsteile der radiologisch relevanten Partikel mit einem AED bis 10 µm sowohl für BK 1 als auch für BK 4 um Größenordnungen kleiner sind als im Fall eines Brandes (Freisetzungsteil 10^{-1} ; siehe Abschnitt 4.1.1.2), wird der Absturz eines Containers nicht weiter betrachtet und der Containerbrand als hierfür abdeckendes Szenario verwendet

4.4. Umsturz eines Krans

Während der Abbautätigkeiten werden ggf. auch Kräne oder Hubmaststapler eingesetzt, so dass ein Umsturz eines dieser Kräne nicht ausgeschlossen werden kann. Auch in diesem Fall wird davon ausgegangen, dass ein Container mit der in Abschnitt 4.1.1.1 (Containerbrand) beschriebenen Aktivität betroffen ist.

Da keine thermische Einwirkung auftritt, wird auf die Freisetzungsteile für mechanische Belastungen zurückgegriffen. Zur Konservativität wird die höchste Belastungsklasse BK 7 angesetzt.

Für Partikel mit einem AED größer als 10 µm ergeben sich mit einem ARF von $6 \cdot 10^{-4}$ (siehe Tabelle 4-10) zwar um einen Faktor 60 höhere Werte als für den beim in Abschnitt 4,1 beschriebenen Brand (ARF = 10^{-5}), allerdings ist der Beitrag dieser Partikel zur Gesamtdosis im Falle des Brandes

etwa um einen Faktor 200 kleiner als der Beitrag der Partikel mit einem AED bis 10 µm. Der ARF für Partikel mit einem AED bis 10 µm ist mit $3 \cdot 10^{-4}$ für BK 7 ebenfalls kleiner als der für BK 3 verwendete Wert (ARF = 0,1 für Cs-137, korrigierter ARF für Co-60: 10^{-3}), sodass der in Abschnitt 4.1 beschriebene Brand eines Containers auch gegenüber dem Umsturz eines Krans abdeckend ist.

4.5. Flugzeugabsturz

Die Ermittlung der potentiellen Dosis beim Restrisikoereignis „Flugzeugabsturz“ erfolgt mit einem abdeckenden Ansatz. Es wird davon ausgegangen, dass die gesamte Aktivität in einem Lagerbereich vom Absturz des Flugzeugs betroffen ist.

Da das Ereignis im Freien stattfindet, wird sich das für einen Folgebrand verfügbare Kerosin über einen großen Bereich verteilen und keinen oder nur einen kleinen Pool bilden, so dass eigentlich nicht von einer langen Branddauer ausgegangen werden muss. Um die Berechnungen auch bei großen Treibstoffmengen abdeckend zu gestalten, werden die Freisetzunganteile nach [GRS 09] für die längere Branddauer von einer Stunde verwendet.

Da nicht ohne Weiteres davon ausgegangen werden kann, dass der Fall eines Flugzeugabsturzes mit Folgebrand gegenüber dem Absturz ohne Folgebrand radiologisch abdeckend ist, werden im Folgenden beide Fälle betrachtet.

4.5.1. Quelltermittlung

4.5.1.1. Betroffenes Inventar

Es wird davon ausgegangen, dass die gesamte, in einem Pufferlagerbereich enthaltene, Aktivität betroffen ist. Aus den in Tabelle 5-2 angegebenen Werten ergibt sich somit eine maximal betroffene Aktivität von $7 \cdot 10^{11}$ Bq (in Bereich 0). Für den bei der Bestimmung der freigesetzten Nuklidanteile benötigten Nuklidvektor wird auf den in Tabelle 4-1 angegebenen Nuklidvektor zurückgegriffen, der auch für den Brand eines Containers verwendet wird. Damit ergeben sich die in Tabelle 4-11 angegebenen betroffenen Aktivitäten.

Tabelle 4-11: Potentiell betroffene Aktivität bei einem Flugzeugabsturz

Nuklid	Anteil	Aktivität [Bq]
Co-60	68,72%	$4,8 \cdot 10^{11}$
Cs-137	30,32%	$2,1 \cdot 10^{11}$
Sr-90	0,76%	$5,3 \cdot 10^9$
Am-241	0,20%	$1,4 \cdot 10^9$
Summe	100,00%	$7,0 \cdot 10^{11}$

4.5.1.2. Freigesetzte Aktivität

Die Freisetzunganteile aus den Behältern werden [GRS 09] entnommen. Dabei werden konservativ die Behälter mit der geringsten Rückhaltewirkung verwendet (AGG 1) und die Belastungsklasse mit der höchsten mechanischen Belastung für alle Behälter im Bereich angesetzt. Bei rein mechanischer

Belastung (ohne Folgebrand) wird somit die Belastungsklasse BK 7 mit den in Tabelle 4-12 angegebenen Freisetzunganteilen verwendet. Da das Ereignis im Außenbereich stattfindet, wird keine weitere Rückhaltewirkung durch Gebäude oder Filter unterstellt und es ergeben sich die ebenfalls in Tabelle 4-12 angegebenen potentiell freigesetzten Aktivitäten.

Tabelle 4-12: Potentiell freigesetzte Aktivität bei einem Flugzeugabsturz ohne Folgebrand.

Nuklid	Anteil	Aktivität [Bq]	ARF		freigesetzte Aktivität [Bq]	
			bis 10 µm	ab 10 µm	bis 10 µm	ab 10 µm
Co-60	68,72%	$4,8 \cdot 10^{11}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^8$	$2,9 \cdot 10^8$
Cs-137	30,32%	$2,1 \cdot 10^{11}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$6,4 \cdot 10^7$	$1,3 \cdot 10^8$
Sr-90	0,76%	$5,3 \cdot 10^9$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^6$	$3,2 \cdot 10^6$
Am-241	0,20%	$1,4 \cdot 10^9$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$4,2 \cdot 10^5$	$8,4 \cdot 10^5$
Summe	100,00%	$7,0 \cdot 10^{11}$			$2,1 \cdot 10^8$	$4,2 \cdot 10^8$

Bei unterstelltem Folgebrand wird ebenfalls von der höchsten mechanischen Belastung ausgegangen. Auch wenn nicht zu unterstellen ist, dass sich bei einem Brand im Freien ein Kerosinpool bildet, der zu einem lange andauernden Folgebrand führt, wird für den Folgebrand abdeckend eine Dauer von einer Stunde unterstellt. Somit ergibt sich für alle Gebinde im Bereich die Belastungsklasse BK 9. Da sich die Freisetzunganteile gemäß [GRS 09] für Belastungsklassen mit Brand ausdrücklich auf das leichtflüchtige Element Cs beziehen, werden die in Abschnitt 2.2 beschriebenen Korrekturen für die anderen Elemente durchgeführt. Die resultierenden Freisetzunganteile sind zusammen mit den sich daraus ergebenden potentiell freigesetzten Aktivitäten in Tabelle 4-13 angegeben.

Tabelle 4-13: Potentiell freigesetzte Aktivität bei einem Flugzeugabsturz mit Folgebrand.

Nuklid	Anteil	Aktivität [Bq]	ARF		freigesetzte Aktivität [Bq]	
			bis 10 µm	ab 10 µm	bis 10 µm	ab 10 µm
Co-60	68,72%	$4,8 \cdot 10^{11}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$4,8 \cdot 10^8$	$2,9 \cdot 10^8$
Cs-137	30,32%	$2,1 \cdot 10^{11}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{10}$	$1,3 \cdot 10^8$
Sr-90	0,76%	$5,3 \cdot 10^9$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$5,3 \cdot 10^7$	$3,2 \cdot 10^6$
Am-241	0,20%	$1,4 \cdot 10^9$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^6$	$8,4 \cdot 10^5$
Summe	100,00%	$7,0 \cdot 10^{11}$			$2,2 \cdot 10^{10}$	$4,2 \cdot 10^8$

4.5.2. Ausbreitungsberechnung

Die Ausbreitungsberechnungen werden mit den in Abschnitt 2.3 angegebenen Parametern durchgeführt. Für den Fall eines Folgebrandes wurde ausgehend vom Absturz eines Militärflugzeuges mit einer relativ geringen Menge Kerosin eine thermische Überhöhung von 5,6 MW verwendet.

Die Betrachtung des Dosisbeitrages durch γ -Bodenstrahlung erfolgt für Punkte ab der nächstgelegenen Wohnbebauung. Die Beiträge durch Submersion und Inhalation ergeben sich direkt nach dem Ereignis, somit wird hier ein Aufenthalt am ungünstigsten Aufpunkt außerhalb des Anlagenzaunes bzw. am Aufpunkt mit der höchsten berechneten bodennahen Aktivitätskonzentration unterstellt. Die resultierenden Aufpunkte, Ausbreitungs- und Ablagerungsfaktoren sind in Tabelle 4-14 aufgeführt.

Tabelle 4-14: Ergebnisse der Ausbreitungsberechnung für die Freisetzungsszenarien

Szenario	AK	AED	γ -Bodenstrahlung		Inhalation	
			AP ^{a)}	W _r ^{b)} [1/m ²] ^{b)}	AP ^{a)}	A _r [s/m ³] ^{c)}
ohne Brand	E	bis 10 μ m	1 / 1.400	$5,7 \cdot 10^{-7}$	7 / 50	$3,8 \cdot 10^{-3}$
		ab 10 μ m	1 / 1.400	$3,4 \cdot 10^{-6}$	-	-
mit Brand	C	bis 10 μ m	1 / 1.400	$3,1 \cdot 10^{-7}$	1 / 2.000	$1,3 \cdot 10^{-6}$
		ab 10 μ m	1 / 1.400	$1,3 \cdot 10^{-6}$	-	-

- ^{a)} AP: Aufpunkt, Sektor/Entfernung [m]
^{b)} W_r^{b)}: Ablagerungsfaktor für den Boden [1/m²]
^{c)} A_r: Ausbreitungsfaktor [s/m³]

4.5.3. Dosisberechnung

4.5.3.1. Flugzeugabsturz ohne Brand

Tabelle 4-15 zeigt die Werte der Effektivdosis für das Szenario „Flugzeugabsturz ohne Brand“. Der dominierende Anteil der Dosis wird für den Betrachtungszeitraum 7 Tage vom Expositionspfad Inhalation verursacht. Die am höchsten belastete Altersgruppe ist die Altersgruppe der Erwachsenen mit einer effektiven Dosis aus äußerer Bestrahlung und Inhalation von 0,07 mSv für einen Zeitraum von 7 Tagen. Für den Betrachtungszeitraum von 1 Jahr beträgt die potentielle Folgedosis für alle Altersgruppen ca. 0,15 mSv.

In Tabelle 4-16 sind die Beiträge der einzelnen Nuklide zur Effektivdosis (Summe aus äußerer Bestrahlung und Inhalation) aufgeführt.

Im Betrachtungszeitraum 7 Tage trägt Am-241 im Mittel über alle Altersklassen zu etwa 77 % bei. Der Beitrag durch die restlichen Nuklide beläuft sich auf etwa 16 % (Co-60), 7 % (Cs-137) und 1 % (Sr-90). Der Hauptanteil der Dosisbelastung wird durch Inhalation erzeugt. Für den Betrachtungszeitraum 1 Jahr liefert Co-60 mit 66 % als Mittelwert über alle Altersklassen den größten Anteil an der potentiellen Effektivdosis. Der Beitrag durch die restlichen Nuklide beläuft sich auf etwa 9 % (Cs-137), 25 % (Am-241) und 0,2 % (Sr-90). Hier liefert die potentielle Exposition durch γ -Bodenstrahlung den Hauptbeitrag zur Dosisbelastung.

Die potentielle Exposition durch γ -Bodenstrahlung⁶ wird fast ausschließlich durch die Nuklide Co-60 (ca. 90 %) und Cs-137 (ca. 11 %) verursacht. Die potentielle Exposition durch Inhalation

⁶ Anteile der einzelnen Nuklide über die verschiedenen Altersgruppen gemittelt

wird maßgeblich durch Am-241 (ca. 81 %) verursacht. Der Beitrag der restlichen betrachteten Nuklide zur Inhalationsdosis beläuft sich auf 12 % (Co-60), 6 % (Cs-137) und 1 % (Sr-90).

Tabelle 4-15: Potentielle effektive Dosis in mSv für die äußeren Pfade und Inhalation für die ungünstigsten Aufpunkte beim Flugzeugabsturz ohne Brand

Alter	Betrachtungs- zeitraum	γ-Bodenstrahlung		Inhalation		Äuß. Bestr. + Inhalation
		Sektor / Entf. [m]	Dosis [mSv]	Sektor / Entf. [m]	Dosis [mSv]	Dosis [mSv]
Säuglinge (≤ 1 Jahr)	7 Tage	1 / 1.400	$2,6 \cdot 10^{-3}$	7 / 50	$1,9 \cdot 10^{-2}$	$2,1 \cdot 10^{-2}$
Kleinkinder (1-2 Jahre)			$2,4 \cdot 10^{-3}$		$3,1 \cdot 10^{-2}$	$3,4 \cdot 10^{-2}$
Kindergartenkinder (2-7 Jahre)			$2,1 \cdot 10^{-3}$		$3,6 \cdot 10^{-2}$	$3,8 \cdot 10^{-2}$
Schulkinder (7-12 Jahre)			$1,9 \cdot 10^{-3}$		$5,1 \cdot 10^{-2}$	$5,3 \cdot 10^{-2}$
Jugendliche (12-17 Jahre)			$1,8 \cdot 10^{-3}$		$5,8 \cdot 10^{-2}$	$6,0 \cdot 10^{-2}$
Erwachsene (> 17 Jahre)			$1,6 \cdot 10^{-3}$		$6,9 \cdot 10^{-2}$	$7,0 \cdot 10^{-2}$
Säuglinge (≤ Jahr)	1 Jahr	1 / 1.400	0,13	7 / 50	$1,9 \cdot 10^{-2}$	0,15
Kleinkinder (1-2 Jahre)			0,12		$3,1 \cdot 10^{-2}$	0,15
Kindergartenkinder (2-7 Jahre)			0,10		$3,6 \cdot 10^{-2}$	0,14
Schulkinder (7-12 Jahre)			$9,5 \cdot 10^{-2}$		$5,1 \cdot 10^{-2}$	0,15
Jugendliche (12-17 Jahre)			$8,7 \cdot 10^{-2}$		$5,8 \cdot 10^{-2}$	0,14
Erwachsene (> 7 Jahre)			$7,9 \cdot 10^{-2}$		$6,9 \cdot 10^{-2}$	0,15

Tabelle 4-16: Beiträge der Nuklide zur potentiellen effektiven Dosis in mSv für die ungünstigsten Aufpunkte beim Flugzeugabsturz ohne Brand

Alter	Betrachtungszeitraum	Effektive Dosis [mSv]				
		Co-60	Cs-137	Sr-90	Am-241	Summe
Säuglinge (≤ 1 Jahr)	7 Tage	$4,8 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$2,1 \cdot 10^{-2}$
Kleinkinder (1-2 Jahre)		$6,2 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$3,4 \cdot 10^{-2}$
Kindergartenkinder (2-7 Jahre)		$6,6 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-2}$	$3,8 \cdot 10^{-2}$
Schulkinder (7-12 Jahre)		$7,3 \cdot 10^{-3}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$4,2 \cdot 10^{-2}$	$5,3 \cdot 10^{-2}$
Jugendliche (12-17 Jahre)		$7,6 \cdot 10^{-3}$	$3,6 \cdot 10^{-3}$	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$4,9 \cdot 10^{-2}$	$6,0 \cdot 10^{-2}$
Erwachsene (> 17 Jahre)		$7,7 \cdot 10^{-3}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$	$3,7 \cdot 10^{-4}$	$5,8 \cdot 10^{-2}$	$7,0 \cdot 10^{-2}$
Säuglinge (≤ 1 Jahr)	1 Jahr	0,12	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	0,15
Kleinkinder (1-2 Jahre)		0,11	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$	0,15
Kindergartenkinder (2-7 Jahre)		$9,7 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-2}$	0,14
Schulkinder (7-12 Jahre)		$9,0 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$4,2 \cdot 10^{-2}$	0,15
Jugendliche (12-17 Jahre)		$8,4 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$4,9 \cdot 10^{-2}$	0,14
Erwachsene (> 7 Jahre)		$7,7 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$3,7 \cdot 10^{-4}$	$5,8 \cdot 10^{-2}$	0,15

4.5.3.2. Flugzeugabsturz mit Brand

In Tabelle 4-17 sind die Dosiswerte für das Szenario „Flugzeugabsturz mit Brand“ angegeben. In der Tabelle wird nur die effektive Dosis als Summe der Dosis aus äußerer Bestrahlung und der Inhalationsdosis angegeben. Bei diesem Szenario ist überwiegend die Bodenstrahlung relevant. Die brandbedingte Überhöhung führt zu sehr niedrigen bodennahen Konzentrationen. Dadurch spielt die Inhalationsdosis keine Rolle.

Die höchste Dosis am ungünstigsten Aufpunkt wird in allen Fällen für die Altersgruppe der Säuglinge berechnet. Es werden Werte von 0,0049 mSv (7-Tage-Folgedosis) bzw. 0,24 mSv (1-Jahr-Folgedosis) ermittelt.

In Tabelle 4-18 sind die Beiträge der einzelnen Nuklide zur Effektivdosis (Summe aus äußerer Bestrahlung und Inhalation) aufgeführt.

Im Betrachtungszeitraum 7 Tage trägt Cs-137 im Mittel über alle Altersklassen zu etwa 77 % bei. Der Beitrag durch die restlichen Nuklide beläuft sich auf etwa 23 % (Co-60), 0,1 % (Sr-90) und 1 % (Am-241). Aufgrund der thermischen Überhöhung trägt die potentielle Exposition durch Inhalation nur noch zu einem sehr geringen Teil zur Dosisbelastung bei. Für den Betrachtungszeitraum 1 Jahr liefert ebenfalls Cs-137 mit 77 % als Mittelwert über alle Altersklassen den größten Anteil an der potentiellen Effektivdosis. Der restliche Beitrag wird mit 23 % nahezu ausschließlich durch Co-60 erzeugt. Hier liefert die potentielle Exposition durch γ -Bodenstrahlung den Hauptbeitrag zur Dosisbelastung.

Die potentielle Exposition durch γ -Bodenstrahlung⁷ wird fast ausschließlich durch die Nuklide Co-60 (ca. 24 %) und Cs-137 (ca. 76 %) verursacht.

Tabelle 4-17: Potentielle effektive Dosis in mSv als Summe über die äußeren Pfade und die Inhalation für die ungünstigsten Aufpunkte beim Flugzeugabsturz mit Brand

Alter	Betrachtungs- zeitraum	γ -Bodenstrahlung		Inhalation		Äuß. Bestr. + Inhalation
		Sektor / Entf. [m]	Dosis [mSv]	Sektor / Entf. [m]	Dosis [mSv]	Dosis [mSv]
Säuglinge (≤ 1 Jahr)	7 Tage	1 / 1.400	$4,7 \cdot 10^{-3}$	1 / 2.000	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$4,9 \cdot 10^{-3}$
Kleinkinder (1-2 Jahre)			$4,4 \cdot 10^{-3}$		$2,7 \cdot 10^{-4}$	$4,7 \cdot 10^{-3}$
Kindergartenkinder (2-7 Jahre)			$3,8 \cdot 10^{-3}$		$3,3 \cdot 10^{-4}$	$4,2 \cdot 10^{-3}$
Schulkinder (7-12 Jahre)			$3,6 \cdot 10^{-3}$		$3,9 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$
Jugendliche (12-17 Jahre)			$3,1 \cdot 10^{-3}$		$4,4 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$
Erwachsene (> 17 Jahre)			$2,8 \cdot 10^{-3}$		$4,7 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$
Säuglinge (≤ 1 Jahr)	1 Jahr	1 / 1.400	0,24	1 / 2.000	$1,8 \cdot 10^{-4}$	0,24
Kleinkinder (1-2 Jahre)			0,22		$2,7 \cdot 10^{-4}$	0,22
Kindergartenkinder (2-7 Jahre)			0,20		$3,3 \cdot 10^{-4}$	0,20
Schulkinder (7-12 Jahre)			0,18		$3,9 \cdot 10^{-4}$	0,18
Jugendliche (12-17 Jahre)			0,16		$4,4 \cdot 10^{-4}$	0,16
Erwachsene (> 17 Jahre)			0,14		$4,7 \cdot 10^{-4}$	0,14

⁷ Anteile der einzelnen Nuklide über die verschiedenen Altersgruppen gemittelt

Tabelle 4-18: Beiträge der Nuklide zur potentiellen effektiven Dosis in mSv für die ungünstigsten Aufpunkte beim Flugzeugabsturz mit Brand

Alter	Betrachtungs- zeitraum	Effektive Dosis [mSv]				
		Co-60	Cs-137	Sr-90	Am-241	Summe
Säuglinge (≤ 1 Jahr)	7 Tage	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$3,7 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$4,9 \cdot 10^{-3}$
Kleinkinder (1-2 Jahre)		$1,1 \cdot 10^{-3}$	$3,6 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$2,8 \cdot 10^{-5}$	$4,7 \cdot 10^{-3}$
Kindergartenkinder (2-7 Jahre)		$9,3 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-6}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$	$4,2 \cdot 10^{-3}$
Schulkinder (7-12 Jahre)		$8,6 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$3,1 \cdot 10^{-6}$	$4,6 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$
Jugendliche (12-17 Jahre)		$7,9 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$3,5 \cdot 10^{-6}$	$5,4 \cdot 10^{-5}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$
Erwachsene (> 17 Jahre)		$7,2 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$4,1 \cdot 10^{-6}$	$6,4 \cdot 10^{-5}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$
Säuglinge (≤ 1 Jahr)	1 Jahr	$5,5 \cdot 10^{-2}$	0,18	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	0,24
Kleinkinder (1-2 Jahre)		$5,2 \cdot 10^{-2}$	0,17	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$	0,22
Kindergartenkinder (2-7 Jahre)		$4,5 \cdot 10^{-2}$	0,15	$2,7 \cdot 10^{-6}$	$3,3 \cdot 10^{-5}$	0,20
Schulkinder (7-12 Jahre)		$4,2 \cdot 10^{-2}$	0,14	$3,1 \cdot 10^{-6}$	$4,7 \cdot 10^{-5}$	0,18
Jugendliche (12-17 Jahre)		$3,8 \cdot 10^{-2}$	0,12	$3,5 \cdot 10^{-6}$	$5,5 \cdot 10^{-5}$	0,16
Erwachsene (> 7 Jahre)		$3,5 \cdot 10^{-2}$	0,11	$4,1 \cdot 10^{-6}$	$6,5 \cdot 10^{-5}$	0,14

4.5.4. Bewertung

Die im vorliegenden Bericht berechneten Dosiswerte für verschiedene Aufenthaltsdauern unterschreiten die Eingreifrichtwerte gemäß [SSK 03B]. Die höchsten Dosiswerte ergeben sich dabei für die 7-Tage-Dosis mit 0,07 mSv bei Erwachsenen im Fall eines Flugzeugabsturzes ohne Folgebrand (Eingreifrichtwert 10 mSv für die Maßnahme „Aufenthalt in Gebäuden“ und 100 mSv für die Maßnahme „Evakuierung“). Die Dosis entsteht hier hauptsächlich durch Inhalation bei Aufenthalt direkt am Anlagenzaun. Für die 1-Jahres-Dosis ergeben sich die höchsten Dosiswerte mit 0,24 mSv bei Säuglingen im Fall eines Flugzeugabsturzes mit Folgebrand (Eingreifrichtwert 100 mSv für die Maßnahme „langfristige Umsiedlung“). In diesem Fall resultiert die Dosis durch Bodenstrahlung bei der nächstgelegenen Wohnbebauung.

Die ermittelten Expositionen zeigen, dass im Falle eines Flugzeugabsturzes auf das Pufferlager keine Auswirkungen zu erwarten sind, die Maßnahmen des Katastrophenschutzes erfordern würden.

4.6. Hochwasser im Überwachungsbereich

4.6.1. Quelltermittlung

4.6.1.1. Betroffenes Inventar

Es wird gemäß [VAT 14] unterstellt, dass alle zur Pufferlagerung verwendeten Bereiche im Falle eines Hochwassers nach einem Deichbruch bis zu einer Höhe von max. 2 m (konservative Abschätzung für den Teil des niedrig gelegenen Geländes im Überwachungsbereich) überflutet werden.

Somit ist jeweils die unterste Lage der Container betroffen. Gemäß den Darstellungen in Kap. 5 wird in allen Pufferbereichen insgesamt von einer Aktivität von bis zu $1,2 \cdot 10^{12}$ Bq (Tabelle 5-2) ausgegangen. Bei zweifacher Stapelung ist somit eine Aktivität von $6 \cdot 10^{11}$ Bq in der untersten Lage betroffen.

Für den bei der Bestimmung der betroffenen Nuklidanteile benötigten Nuklidvektor wird auf die in Abschnitt 4.1.1.1 in Tabelle 4-1 angegebenen Anteile zurückgegriffen. Damit ergeben sich die in Tabelle 4-19 angegebenen betroffenen Aktivitäten.

Tabelle 4-19: Potentiell von einem Hochwasser im Überwachungsbereich betroffene Aktivität

Nuklid	Anteil	Aktivität [Bq]
Co-60	68,72%	$4,12 \cdot 10^{11}$
Cs-137	30,32%	$1,82 \cdot 10^{11}$
Sr-90	0,76%	$4,56 \cdot 10^9$
Am-241	0,20%	$1,20 \cdot 10^9$
Summe	100,00 %	$6,00 \cdot 10^{11}$

4.6.1.2. Freigesetzte Aktivität

Es wird unterstellt, dass die in den betroffenen Gebinden vorhandenen Hohlräume mit Wasser volllaufen. Durch das eindringende Wasser können Teile der auf den eingelagerten Komponenten vorhandenen radioaktiven Kontamination abgelöst werden. Der Anteil der in Lösung gegangenen Radionuklide wird über einen K_d -Ansatz bestimmt:

$$= \text{---} \quad (G 4-1)$$

Dabei ist C_s die an den Feststoff gebundene Radionuklidkonzentration (in Bq/g) und C_l die Radionuklidkonzentration in der Lösung (in Bq/l). Der K_d -Wert wird üblicherweise in $l/kg = dm^3/kg = m^3/Mg$ angegeben. Es wird davon ausgegangen, dass die Aktivität als Oberflächenkontamination vorliegt, daher werden die deterministischen K_d -Werte für die Sorption von Radionukliden in Beton in einer Bauschuttdeponie nach [BS 05] verwendet. Die entsprechenden Werte sind in Tabelle 4-20 dargestellt.

Tabelle 4-20: K_d -Werte nach [BS 05] für die Sorption von Radionukliden in Beton in einer Bauschuttdeponie

Element	deterministisch	K_d [m ³ /Mg]	
		minimal	maximal
Co	30	10	100
Cs	3	1	10
Am	1.000	100	10.000
Sr	3	1	10

Die Summe aus im Wasser gelöster Aktivität A_W und im Reststoff (als Beton angesetzt) verbliebener Aktivität A_B muss die gesamte betroffene Aktivität A (jeweils in Bq) ergeben:

$$A = A_W + A_B \quad (G 4-2)$$

Die im Wasser gelöste Aktivität kann aus der Radionuklidkonzentration in Lösung C_l und dem vom Wasser eingenommenen Volumen V_W sowie unter Verwendung von (G 4-1) berechnet werden:

$$A_W = C_l \cdot V_W \quad (G 4-3)$$

Dabei ist

$$C_l = \frac{A}{V_W + m_B \cdot K_d} \quad (G 4-4)$$

wobei m_B die Masse des Betons ist, und somit

$$A_B = A - A_W = A \cdot \frac{m_B \cdot K_d}{V_W + m_B \cdot K_d} \quad (G 4-5)$$

Nach der innerhalb der Gebinde im Wasser gelösten Gesamtaktivität A_W aufgelöst ergibt sich

$$A_W = \frac{A \cdot V_W}{V_W + m_B \cdot K_d} \quad (G 4-6)$$

Angelehnt an [ESK 13] wird angenommen, dass 75 % des Raumvolumens eines Containers mit Abfällen gefüllt ist und die verbliebenen Hohlräume mit Wasser volllaufen. Ein 20'-Container besitzt ein Innenvolumen von ca. 33 m³, somit ergibt sich $V_W = 0,25 \cdot 33 \text{ m}^3 = 8,25 \text{ m}^3$. Bei einem maximalen Ladegewicht von etwa 20 Mg ergibt sich $V_W/m_B = 0,41 \text{ m}^3/\text{Mg}$.

Die insgesamt in allen betroffenen Containern im Wasser gelöste Aktivität ist in Tabelle 4-21 mit den vorhandenen Aktivitäten und K_d -Werten zusammengefasst.

Tabelle 4-21: In den vom Hochwasser betroffenen Containern vorhandene Aktivität, K_d -Werte und im in den Containern vorhandenen Wasser gelöste Aktivität

Nuklid	Anteil	betroffene Aktivität [Bq]	K_d -Wert [m ³ /Mg]	in Wasser gelöster Anteil	in Wasser gelöste Aktivität [Bq]
Co-60	68,72%	$4,12 \cdot 10^{11}$	30	1,4%	$5,59 \cdot 10^9$
Cs-137	30,32%	$1,82 \cdot 10^{11}$	3	12,1%	$2,20 \cdot 10^{10}$
Sr-90	0,76%	$4,56 \cdot 10^9$	3	12,1%	$5,51 \cdot 10^8$
Am-241	0,20%	$1,20 \cdot 10^9$	1.000	0,0%	$4,95 \cdot 10^5$
Summe	100 %	$6,00 \cdot 10^{11}$			$2,81 \cdot 10^{10}$

Es wird unterstellt, dass beim Zurückgehen des Hochwassers das in den Containern vorhandene Wasser inklusive der gelösten Anteile komplett ausläuft. Dabei tritt eine Vermischung mit dem aus den restlichen überschwemmten Gebieten zurücklaufenden Wasser auf. Hierfür wird ein Verdünnungsfaktor von 10 unterstellt. Analog zu [ESK 13] wird angenommen, dass sich das kontaminierte Wasser in einer Fahne einer Länge von 2 km und einer Breite von 50 m bei einer Überschwemmungshöhe von 2 m gleichmäßig verteilt. Somit ist ein Volumen von 200.000 m³ betroffen. Daraus resultiert die in Tabelle 4-22 angegebene Aktivitätskonzentration im Flutwasser.

Zur Bestimmung der flächenbezogenen Aktivität der Radionuklide im betroffenen Gebiet wird der Formalismus nach [AVV 12] Ableitungen mit dem Abwasser für den Nahbereich verwendet, wobei eine Anpassung der Sedimentationsdauer auf zwei Tage (Zeit, in der die Überschwemmung zurückgeht) erfolgt. Dies ist notwendig, da der hier betrachtete Hochwasserfall nicht als periodisches Ereignis modelliert werden kann. Da die im Bereich der Elbe aufgrund der Tide anzusetzenden Dauern für Hochwasser gering sind (halbtägig), jedoch mehrere Zyklen nacheinander auftreten können, wird abdeckend ein Wert von zwei Tagen verwendet.

Die resultierenden Werte für die flächenbezogene Aktivität im betroffenen Gebiet sind in Tabelle 4-22 zu finden. Zusätzlich ist noch der Anteil der gelösten Aktivität angegeben, der abgelagert wird.

Tabelle 4-22: Aktivitätskonzentration im Flutwasser und flächenbezogene Aktivität im von der Fahne betroffenen Gebiet

Nuklid	Aktivitätskonzentration [Bq/m ³]	flächenbezogene Aktivität [Bq/m ²]	Anteil Ablagerung
Co-60	$2,80 \cdot 10^3$	$2,01 \cdot 10^2$	3,59%
Cs-137	$1,10 \cdot 10^4$	$3,95 \cdot 10^2$	1,80%
Sr-90	$2,76 \cdot 10^2$	$6,60 \cdot 10^{-1}$	0,12%
Am-241	$2,47 \cdot 10^{-1}$	$1,78 \cdot 10^{-2}$	3,59%

4.6.2. Dosisberechnung

Für das Restrisikoereignis „Hochwasser im Überwachungsbereich“ wird die potentielle Dosis für Betrachtungszeiträume von 7 Tagen und 1 Jahr bestimmt. Da die Ablagerung aus dem Flutwasser betrachtet wird, entfallen zusätzlich zur Ingestion die Expositionspfade Inhalation, γ - und β -Submersion und nur der Expositionspfad γ -Bodenstrahlung muss betrachtet werden.

Aus den abgelagerten flächenbezogenen Aktivitäten nach Tabelle 4-22 ergeben sich für den Betrachtungszeitraum 7 Tage die in Tabelle 4-23 angegebenen Werte für die potentielle Dosis der betrachteten Altersklassen. Die Dosisbelastung entsteht dabei nahezu ausschließlich durch die Nuklide Co-60 und Cs-137, wobei Co-60 einen in etwa doppelt so großen Beitrag liefert wie Cs-137.

Die höchste potentielle Dosis ergibt sich für die Altersklasse bis 1 Jahr mit $6,4 \cdot 10^{-4}$ mSv und liegt damit weit unterhalb der in Tabelle 2-7 aufgeführten Eingreifrichtwerte.

Tabelle 4-23: 7-Tage-Folgedosis in mSv für den Fall „Hochwasser im Überwachungsbereich“

Nuklid	≤ 1 Jahr	1 – 2 Jahre	2 – 7 Jahre	7 – 12 Jahre	12 – 17 Jahre	> 17 Jahre
Co-60	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-4}$
Cs-137	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$
Am-241	$4,2 \cdot 10^{-10}$	$4,0 \cdot 10^{-10}$	$3,5 \cdot 10^{-10}$	$3,2 \cdot 10^{-10}$	$2,7 \cdot 10^{-10}$	$2,5 \cdot 10^{-10}$
Sr-90	0	0	0	0	0	0
Summe	$6,4 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$5,2 \cdot 10^{-4}$	$4,9 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-4}$

Die resultierenden Werte für die potentielle Dosis bei einem Betrachtungszeitraum von einem Jahr sind in Tabelle 4-24 aufgeführt. Auch hier wird die Dosisbelastung nahezu ausschließlich durch Co-60 und Cs-137 verursacht. Die Altersklasse bis 1 Jahr ist mit $3,2 \cdot 10^{-2}$ mSv potentiell am stärksten belastet, auch dieser Wert liegt weit unterhalb der Eingreifrichtwerte nach Tabelle 2-7.

Tabelle 4-24: 1-Jahres-Folgedosis in mSv für den Fall „Hochwasser“

Nuklid	≤ 1 Jahr	1 – 2 Jahre	2 – 7 Jahre	7 – 12 Jahre	12 – 17 Jahre	> 17 Jahre
Co-60	$2,1 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$
Cs-137	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$9,1 \cdot 10^{-3}$	$8,5 \cdot 10^{-3}$	$7,2 \cdot 10^{-3}$	$6,5 \cdot 10^{-3}$
Am-241	$2,2 \cdot 10^{-8}$	$2,1 \cdot 10^{-8}$	$1,8 \cdot 10^{-8}$	$1,7 \cdot 10^{-8}$	$1,4 \cdot 10^{-8}$	$1,3 \cdot 10^{-8}$
Sr-90	0	0	0	0	0	0
Summe	$3,2 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-2}$	$2,6 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$2,2 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$

4.6.3. Bewertung

Die im vorliegenden Bericht berechneten Dosiswerte für verschiedene Aufenthaltsdauern auf von kontaminiertem Flutwasser betroffenem Gebiet unterschreiten die Eingreifrichtwerte gemäß [SSK 03B] auch bei Daueraufenthalt während des Betrachtungszeitraum deutlich. Für die ungünstigste Altersgruppe ergeben sich bei der 7-Tage-Folgedosis Werte von 0,00064 mSv (Eingreifrichtwert 10 mSv für Aufenthalt in Gebäuden) und bei der 1-Jahres-Folgedosis 0,032 mSv (Eingreifrichtwert 100 mSv für langfristige Umsiedlung).

Die ermittelten Expositionen zeigen, dass hier auch im auslegungsüberschreitenden Fall dass das gesamte Pufferlager vom Hochwasser betroffen ist, keine Auswirkungen zu erwarten sind, die Maßnahmen des Katastrophenschutzes erfordern würden. Diese Aussage ist identisch mit der in [ESK 13] auf Basis generischer Annahmen getroffenen Einschätzung.

5. BERECHNUNG DER POTENTIELLEN EXPOSITION DURCH DIREKTSTRAHLUNG DER PUFFERLAGERUNG

5.1. Modell und Umfang der vorgesehenen Pufferlagerung

Die Berechnung der potentiellen Exposition durch Direktstrahlung der Pufferlagerung erfolgte mit dem Computerprogramm MCNP [MCN 05]. Hierbei handelt es sich um eine partikelgestützte Monte-Carlo-Simulation der Photonen-Ausbreitung. Energieabhängige Photonenstreuung und Absorption der Photonen durch verschiedene Umgebungsmaterialien werden berücksichtigt.

Photonenquellen werden im Modell im Bereich der Pufferlagerbereiche (siehe Abbildung 3-3, Bereiche 0 bis 9) angesetzt. Es wird davon ausgegangen, dass auf den Pufferlagerflächen radioaktive Abfälle in 20'-Containern gelagert werden. Zur Berücksichtigung im MCNP wird der gesamte für jeden Bereich zur Verfügung stehende Raum als ein „effektiver Container“ modelliert. Dieser ist dadurch gekennzeichnet, dass

- die Außenwände (Seiten, Boden und Decke) aus einer Schicht von 4 mm Stahl der Dichte $7,8 \text{ Mg/m}^3$ bestehen,
- der „effektive Container“ innen mit einem Material der homogenen Dichte von $0,57 \text{ Mg/m}^3$ gefüllt ist (bei dieser Dichte ergibt sich eine Einzelmasse eines 20'-Containers von 20 Mg, was gerade der zulässigen Gesamtmasse gewöhnlicher Container entspricht),
- der „effektive Container“ die Netto-Fläche des jeweiligen Bereichs umfasst,
- die Höhe des „effektive Containers“ in der Variante 2-fach-Staplung zwei 20'-Containern und in der Variante 4-fach-Stapelung vier 20'-Containern umfasst und
- die Aktivität im Containerinneren homogen verteilt ist und vollständig durch das Nuklid Co-60 verursacht wird.

Für die Bereiche 0, 1, 2 sowie 9 wurden Abschirmcontainer als äußerer Ring auf der Fläche berücksichtigt. Dabei handelt es sich um 20'-Container mit 4 mm Stahl-Außenwand, die innen mit Leichtbeton⁸ verfüllt werden (effektive Betondichte $0,57 \text{ Mg/m}^3$). Diese Abschirmcontainer umschließen den jeweiligen Bereich außen vollständig und sind ebenso hoch, wie die in der jeweiligen Variante berücksichtigte Stapelung der Container mit radioaktivem Abfall. Die Fläche der Abschirmcontainer reduziert die Brutto-Fläche für Aktivitätslagerung, es verbleibt dafür die Netto-Fläche.

Die Gebäude auf dem Gelände werden gemäß Abbildung 5-1 berücksichtigt. Die Außenwände der Gebäude werden durch eine Betonschicht (Dichte $2,3 \text{ Mg/m}^3$) der Dicke 50 cm ins Modell eingebracht, die Innenbebauung der Gebäude wird nicht berücksichtigt (Ausnahme: Reaktorgebäude).

Mit einer Einheitsaktivität von 1 Bq für jeden Einlagerungsbereich wird die daraus resultierende ODL an den Aufpunkten #0 bis #17 (aufgeschlüsselt auf jeden Bereich als Quelle) gemäß Abbildung 5-1 ermittelt.

⁸⁾ Als Alternative zu einer Verfüllung mit Leichtbeton kann ein Abschirmcontainer auch mit einer Granulatschüttung vollständig verfüllt werden, wodurch er später wiederverwendbar wäre. Für die Rechnungen ist die Art der Verfüllung unerheblich, es kommt auf die Dichte des Verfüllmaterials an, die für Leichtbeton im Verguss oder für Granulat in Schüttung ungefähr gleich hoch ist.



Abbildung 5-1: KKB-Gelände und Lage der geplanten Einrichtung Lasma

Zur Berechnung der Personendosis an den Aufpunkten werden den jeweiligen Bereichen Co-60-Aktivitäten zugeordnet. Die Ermittlung der Dosis erfolgt unter Berücksichtigung von Aufenthaltsdauern und unter Berücksichtigung von Dosisgrenzwerten, die in Tabelle 5-1 aufgeführt sind, auf eine Weise, so dass sich in Summe über die jeweiligen Bereiche ein Aktivitätsmaximum ergibt (Optimierung der einzulagernden Aktivität).

Tabelle 5-1: Berücksichtigte Aufenthaltszeiten, Dosisgrenzwerte und Vorbelastungen zur Ermittlung der Personendosis an den einzelnen Dosisaufpunkten gemäß Abbildung 5-1

Aufpunkt	Bemerkung	maximale Aufenthaltsdauer [h/Kalenderjahr]	Dosisgrenzwert [mSv/Kalenderjahr]	Vorbelastung [mSv/Kalenderjahr]
#10, #11, #16	allgemeines Staatsgebiet	8.760	1	0,22
#0, #1, #2, #3	allgemeines Staatsgebiet (Elbdeich)	2.000	1	0,22
#12, #15	Betriebsgelände, an der Grenze des Überwachungsbereichs, daher repräsentativ für das allgemeine Betriebsgelände	2.000	1	0
#14	Überwachungsbereich	2.000	6	0,01
#4, #5, #6, #7, #8, #9, #13, #17	Überwachungsbereich	2.000	6	0

Die beschriebenen Berechnungen erfolgen beispielhaft für zwei Varianten:

- mit 2-facher Containerstapelung (Variante 1-2) und
- mit 4-facher Containerstapelung (Variante 1-4).

Für beide Varianten wird jeweils die Aktivität (Co-60) ermittelt, für die eine Ausschöpfung der jeweiligen Grenzwerte unter Berücksichtigung der Vorbelastung erfolgt.

Exemplarisch für Pufferflächenbereiche 0 und 4 werden in zusätzlichen Berechnungen Skalierungsfaktoren für die Nuklide Cs-137 und Eu-152 gegenüber dem Nuklid Co-60 ermittelt. Außerdem erfolgt die Abschätzung der Auswirkung nicht homogen verteilter Aktivitäten.

5.2. Ergebnisse

In Tabelle 5-2 sind Co-60-Aktivitäten angegeben, für die an allen Aufpunkten die Dosisgrenzwerte sowohl für Variante 1-2 wie auch für Variante 1-4 eingehalten werden. Die daraus resultierende Personendosis an den Aufpunkten ist in Tabelle 5-3 für beide Aufstellvarianten aufgeführt.

Tabelle 5-2: Aktivitäten [Bq] (Co-60) für einzelne Bereiche zur Berechnung der Exposition durch Direktstrahlung an den einzelnen Dosisaufpunkten

Bereich	0	1	2	4	5	6	7	9	Summe
Aktivität	$7,0 \cdot 10^{11}$	$1,0 \cdot 10^{11}$	$2,0 \cdot 10^{11}$	$1,0 \cdot 10^{09}$	$1,0 \cdot 10^{10}$	$7,0 \cdot 10^{08}$	$1,0 \cdot 10^{10}$	$1,5 \cdot 10^{11}$	$1,2 \cdot 10^{12}$

Tabelle 5-3: Personendosis in mSv/Kalenderjahr für die betrachteten Aufpunkte, Aktivität in den jeweiligen Bereichen gemäß Tabelle 5-2, Aufpunkte im allgemeinen Staatsgebiet sind dabei grau hinterlegt

Aufpunkt	Aufenthaltsdauer [h/a]	Berechnete Dosis Variante 1-2	Berechnete Dosis Variante 1-4
#0	2.000	0,21	0,07
#1	2.000	0,09	0,04
#2	2.000	0,04	0,02
#3	2.000	0,03	0,03
#4	2.000	0,43	0,35
#5	2.000	0,12	0,06
#6	2.000	0,60	0,17
#7	2.000	0,83	0,21
#8	2.000	0,62	0,46
#9	2.000	0,12	0,09
#10	8.760	0,03	0,02
#11	8.760	0,03	0,02
#12	2.000	0,11	0,04
#13	2.000	0,10	0,04
#14	2.000	0,18	0,07
#15	2.000	0,03	0,01
#16	8.760	0,08	0,04
#17	2.000	0,16	0,05

Die zur Ermittlung der in Tabelle 5-3 verwendeten Aktivitäten aus Tabelle 5-2 beziehen sich auf das Nuklid Co-60. Die ermittelte Personendosis wird ebenfalls erreicht oder unterschritten, wenn jeweils 1 Bq Co-60 durch ca. 3 Bq Cs-137⁹ oder 2 Bq Eu-152 ersetzt wird. Für Radionuklide, die keine γ -Strahlung emittieren (z. B. Fe-55, Ni-63) ergibt sich keine Exposition durch Direktstrahlung und daher keine Beschränkung der Aktivität.

Die höchste Personendosis ergibt sich auf dem allgemeinen Staatsgebiet für Aufpunkt #0 am Elbdeich mit einem Wert von 0,21 mSv/Kalenderjahr (Variante 1-2) bzw. 0,07 mSv/Kalenderjahr (Variante 1-4). Da aufgrund der dort vorliegenden Einschränkungen nur ein Aufenthalt von 2.000 h im Kalenderjahr möglich ist, muss bei der Bestimmung der maximalen potentiellen jährlichen Personendosis ein Aufenthalt während der restlichen 6.760 h des Jahres an einem anderen Aufpunkt des

⁹ Co-60-Äquivalent

allgemeinen Staatsgebietes unterstellt werden. Die maximale zusätzliche Dosis ergibt sich mit $0,08 \text{ mSv}/8.760 \text{ h} = 0,06 \text{ mSv}/6.760 \text{ h}$ (Variante 1-2) bzw. $0,04 \text{ mSv}/8.760 \text{ h} = 0,03 \text{ mSv}/6.760 \text{ h}$ (Variante 1-4) an Aufpunkt #16. Die resultierende maximale Dosis ist in Tabelle 5-4 für beide Aufstellvarianten aufgeführt.

Tabelle 5-4: Beitrag zur Personendosis im Kalenderjahr an den ungünstigsten Aufpunkten, wenn der Aufenthalt an mehreren Orten möglich ist. Dabei wurde die ungünstigste Kombination gewählt.

Aufpunkt	Aufenthaltsdauer [h/a]	Berechnete Dosis Variante 1-2	Berechnete Dosis Variante 1-4
#0	2.000	0,21	0,07
#16	6.760	0,06	0,03
Summe	8.760	0,27	0,10

Es wurde zusätzlich geprüft, ob bei inhomogener Aktivitätsverteilung in einzelnen Bereichen höhere Aktivitäten gelagert werden können, wenn die Gebinde mit höherer Aktivität durch Gebinde mit niedrigerer Aktivität umgeben werden. Für abgeschirmte Bereiche (0, 1, 2 und 9) ist hier nahezu keine Reduzierung mehr möglich, da der größte Anteil der ODL über Streustrahlung in der Luft verursacht wird („Skyshine“). Außenliegende Gebinde mit niedriger Aktivität wirken nur als Abschirmung für die Direktstrahlung aus den innenliegenden Gebinden, nicht jedoch für die Streustrahlung, somit sind bei schon vorhandener Abschirmung keine relevanten zusätzliche Abschirmeffekte zu erwarten. Für die nicht abgeschirmten Bereiche ergeben sich durch eine entsprechende Anordnung der Gebinde ggf. um ca. den Faktor 10 höhere zulässige Aktivitäten.

Da keine Vorhersage gemacht werden kann, wie sich die Aktivität über den Pufferbereich verteilt, wird durch Dosisleistungsmessung unmittelbar nach Einlagerung die Einhaltung des Grenzwertes garantiert. Die aus den Berechnungen resultierenden Aktivitäten sind nur beispielhaft und dienen als Anhaltspunkt für die mögliche einzulagernde Aktivität.

6. QUELLEN

- [AVV 12] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT
Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 der Strahlenschutzverordnung (Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus Anlagen oder Einrichtungen) vom 28. August 2012 (BAnz. AT B1 vom 05.09.2012)
- [BFS 03] BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ
Genehmigung für das Standort - Zwischenlager
November, 2003
- [BFS 14] BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ
Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle (Endlagerungsbedingungen, Stand: Dezember 2014) – Endlager Konrad –
Fachbereich Sicherheit nuklearer Entsorgung; SE-IB-29/08-REV-2
- [BMI 83] BUNDESMINISTERIUM DES INNEREN
Störfallberechnungsgrundlagen für die Leitlinien des BMI zur Beurteilung der Auslegung von Kernkraftwerken mit DWR gemäß § 28 Abs. 3 StrlSchV
Bekanntmachung von Empfehlungen der Reaktorsicherheitskommission vom 18. Oktober 1983, BAnz Nr. 245a, 31.12.1983
- [BMU 00] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT
Begründung (zur Neufassung der StrlSchV), Stand: 04.08.2000
- [BMU 01] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT
Bekanntmachung der Dosiskoeffizienten zur Berechnung der Strahlenexposition vom 23. Juli 2001
Bundesanzeiger. Nr. 160 a/b vom 28. August 2001
- [BMU 02] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT
Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft)
GMBI. Nr. 25 - 29, 30.07.2002
- [BMU 07] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT
Entwicklung, Validierung und Bereitstellung eines atmosphärischen Ausbreitungsmodells für luftgetragene radioaktive Stoffe der Basis des Ausbreitungsmodells AUSTAL2000 der neuen TA Luft.
GRS mbH Köln, Schriftenreihe Umweltpolitik BMU – 2007 – 710, Bonn, 2007
- [BOE 06] BOETSCH, W. U.; GRÜNDLER, D.; THIEL, J.
Identification of release rates as a consequence of thermal impact on RADWASTE – Experimental Studies; WM'06 Conference, February 2006, Tucson, AZ



- [BS 05] BRENK SYSTEMPLANUNG GMBH
Verbundprojekt: Kontaminierter Beton: Betonfreigabe – Betonrecycling
Schlussbericht zum Fördervorhaben BMBF 02S 7900; BS-Projekt-Nr. 9907-12
Aachen, Mai 2005
- [DIN 93] DIN EN 481
Arbeitsplatzatmosphäre – Festlegung der Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikel
Berlin, Beuth, 1993
- [DOE 06] U.S. DEPARTMENT OF ENERGY
Accident Analysis for Aircraft Crash into Hazardous Facilities
DOE-HDBK-3014-2006, U.S. Department of Energy, Washington. D.C. 20585
October 1996, Reaffirmation May 2006
- [ESK 13] ENTSORGUNGSKOMMISSION
ESK-Stresstest für Anlagen und Einrichtungen der Ver- und Entsorgung in Deutschland;
Teil 2: Lager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle, stationäre Einrichtungen zur Konditionierung schwach- und mittelradioaktiver Abfälle, Endlager für radioaktive Abfälle
Stellungnahme der Entsorgungskommission, 11.07.2013
- [GRS 09] GESELLSCHAFT FÜR ANLAGEN- UND REAKTORSICHERHEIT (GRS) MBH
Transportstudie Konrad 2009
Sicherheitsanalyse zur Beförderung radioaktiver Abfälle zum Endlager Konrad
Dezember 2009 mit Corrigendum vom April 2010
GRS-256
- [KKB 12] KERNKRAFTWERK BRUNSBÜTTEL GMBH & CO. OHG
Antrag nach § 7 Abs. 3 AtG auf Stilllegung und Abbau
Schreiben an das Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein
01.11.2012
- [KKB 14] KERNKRAFTWERK BRUNSBÜTTEL GMBH & CO. OHG
Antrag auf Genehmigung nach § 7 Strahlenschutzverordnung zum Umgang mit radioaktiven Stoffen in einem neu zu errichtenden Lager für radioaktive Abfälle und Reststoffe
Schreiben an das Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein
05.05.2014
- [MCN 05] X-5 MONTE CARLO TEAM
MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5
Los Alamos National Laboratory; LA-UR-03-1987; April 24, 2003 (Revised 10/3/05)

- [NRC 98] U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION
Nuclear Fuel Cycle Facility Accident Analysis Handbook
NUREG / CR - 6410, 1998
- [NUK 16] NUKEM TECHNOLOGIES
LasmA – Lager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle am Standort des Kernkraftwerks
Brunsbüttel: Technische Annahmebedingungen des LasmA
LAB/040/010, Rev. 4, 27.4.2016
- [SSK 03] STRAHLENSCHUTZKOMMISSION
Störfallberechnungsgrundlagen (SBG) zu § 49 StrlSchV, Neufassung des Kapitels 4: Be-
rechnung der Strahlenexposition. Empfehlung der SSK verabschiedet in der 186. Sitzung am
11.09.2003
- [SSK 03B] STRAHLENSCHUTZKOMMISSION
Leitfaden für den Fachberater Strahlenschutz der Katastrophenschutzleitung bei kerntechni-
schen Notfällen, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 37 (Vorabdruck),
2003
- [SSV 14] STRAHLENSCHUTZVERORDNUNG (STRLSCHV) IN DER FASSUNG VOM 20. JULI 2001
Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutz-
verordnung - StrlSchV)
vom 20. Juli 2011 (BGBl. I S. 1714, ber. BGBl. 2002 I S. 1459.)
zuletzt geändert durch Artikel 5 der Verordnung vom 11. Dezember 2014 (BGBl. I S. 2010)
- [VAT 12] VATTENFALL EUROPE NUCLEAR ENERGY GMBH
Broschüre „Kernkraftwerk Brunsbüttel – Sicher und leistungsstark“
2012
- [VAT 14] VATTENFALL EUROPE NUCLEAR ENERGY GMBH
Genehmigungsverfahren 1. Stilllegungs- und Abbaugenehmigung, Unterlage U 5, Ereig-
nisanalyse für den Restbetrieb der Anlage, KKB-Bericht 2014-0066 vom 06.06.2014
- [VDI 85] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE
Ausbreitung von Luftverunreinigungen in der Atmosphäre
Berechnung der Abgasfahnenüberhöhung
VDI 3782 Blatt 3
Juni 1985



Brenk Systemplanung

Ingenieurgesellschaft für wissenschaftlich
technischen Umweltschutz

A. ANHANG

Tabelle A-1: Aus Entsorgungskampagnen ermittelte Aktivitätsinhalte in Containern mit brennbaren Mischabfällen

Datum	Container-Nr.	Gesamt- γ-Akt. [Bq]	Datum letzte Messung	Gesamt- β-γ-Akt. (MOPRO) [Bq]	Bezugs- datum	Netto- masse [kg]	Dosisleistung [mSv/h]			prozentuale Verteilung der γ-Aktivität				
							0 m	1 m	2 m	Mn-54	Co-60	Zn-65	Cs-134	Cs-137
26.04.2010	GNSU 300489-3	$5,0 \cdot 10^7$	09.12.2009	$7,5 \cdot 10^7$	24.03.2010	5547	0,02	0,006	0,003	7,0%	43,1%	11,3%	1,4%	15,6%
26.04.2010	GNSU 300521-0	$3,1 \cdot 10^7$	17.08.2009	$4,8 \cdot 10^7$	24.03.2010	5288	0,025	0,008	0,005	4,3%	60,7%	4,2%	1,4%	6,2%
26.04.2010	GNSU 300575-1	$2,1 \cdot 10^7$	19.02.2010	$3,9 \cdot 10^7$	24.03.2010	5555	0,03	0,009	0,005	8,2%	52,1%	4,5%	1,7%	5,3%
26.04.2010	GNSU 300475-9	$1,7 \cdot 10^9$	03.11.2009	$3,1 \cdot 10^9$	24.03.2010	5783	0,05	0,01	0,003	3,3%	77,5%	15,7%	0,2%	0,3%
26.04.2010	GNSU 300481-0	$6,1 \cdot 10^7$	07.06.2009	$7,6 \cdot 10^7$	24.03.2010	5866	0,03	0,007	0,003	14,1%	44,8%	13,7%	1,0%	11,3%
26.04.2010	GNSU 300563-1	$1,1 \cdot 10^8$	31.03.2009	$1,4 \cdot 10^8$	24.03.2010	5427	0,015	0,006	0,004	9,0%	60,3%	12,6%	0,8%	5,7%
07.12.2004	GNSU 300489	$5,3 \cdot 10^9$	07.09.2004	$4,3 \cdot 10^9$	16.11.2004	5298	0,05	0,02	0,007	20,2%	10,1%	6,7%	0,2%	0,2%
07.12.2004	GNSU 300563	$2,3 \cdot 10^8$	06.05.2004	$3,5 \cdot 10^8$	16.11.2004	5347	0,05	0,02	0,01	12,6%	49,7%	16,7%	1,0%	2,0%
07.12.2004	GNSU 300575	$1,3 \cdot 10^8$	31.03.2004	$1,8 \cdot 10^8$	16.11.2004	5324	0,045	0,01	0,008	16,5%	39,8%	6,6%	1,4%	7,4%
07.12.2004	GNSU 300475	$8,7 \cdot 10^8$	27.10.2004	$9,0 \cdot 10^8$	16.11.2004	5098	0,05	0,01	0,005	13,0%	9,6%	7,8%	0,2%	0,4%
17.12.2001	GNSU300575	$7,0 \cdot 10^8$	11.04.2001	$3,7 \cdot 10^8$	05.11.2001	6414	0,03	0,012	0,008	4,6%	60,2%	2,0%	0,3%	27,9%
17.12.2001	GNSU300563	$2,4 \cdot 10^8$	05.02.2001	$3,3 \cdot 10^8$	05.11.2001	5787	0,05	0,022	0,009	14,2%	57,6%	8,0%	0,5%	3,9%
17.12.2001	GNSU300475	$3,3 \cdot 10^8$	13.07.2001	$5,0 \cdot 10^8$	05.11.2001	6078	0,07	0,013	0,007	23,6%	53,8%	6,8%	1,1%	6,0%
17.12.2001	GNSU300489	$7,6 \cdot 10^9$	31.07.2001	$8,2 \cdot 10^9$	05.11.2001	7437	0,04	0,017	0,007	53,6%	24,4%	4,5%	0,1%	0,2%
04.10.1999	GNSU300539	$4,8 \cdot 10^8$	25.01.1999	$1,0 \cdot 10^9$	14.05.1999	5383	0,11	0,025	0,01	2,8%	89,9%	2,1%	0,2%	2,7%
04.10.1999	GNSU300475	$1,1 \cdot 10^9$	22.04.1999	$2,3 \cdot 10^9$	14.05.1999	5429	0,06	0,025	0,012	6,3%	89,1%	2,1%	0,1%	1,0%
04.10.1999	GNSU300513	$1,0 \cdot 10^9$	21.05.1999	$1,5 \cdot 10^9$	24.09.1999	5439	0,08	0,015	0,008	16,8%	55,5%	19,6%	0,5%	2,5%
04.10.1999	GNSU300558	$3,0 \cdot 10^9$	23.09.1999	$4,9 \cdot 10^9$	24.09.1999	5832	0,16	0,025	0,012	20,9%	53,7%	9,7%	0,2%	2,8%