



**Brenk  
Systemplanung**

Ingenieurgesellschaft für wissenschaftlich  
technischen Umweltschutz

Endbericht

**Berechnung der  
potentiellen Strahlenexposition  
nach § 50 StrlSchV  
infolge von Störfällen im Lasma**

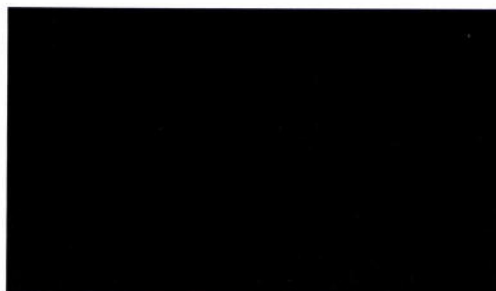
LAB/010/043

BS-Projekt-Nr. 1401-01  
Bestellung Nr. EA2-4502987829

erstellt im Auftrag der

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

durch die



**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



## **ZUSAMMENFASSUNG**

Im vorliegenden Bericht werden Störfälle aus dem radiologisch relevanten Ereignisspektrum für das geplante Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle (Lasma) am Kernkraftwerk Brunsbüttel (KKB) bewertet und die potentielle Strahlenexposition für Personen der allgemeinen Bevölkerung in der Umgebung des Kernkraftwerks ermittelt.

Dabei werden als Störfälle

- der Absturz eines Containers auf weitere Container im Lasma und
- ein Brand in einem Container im Handhabungsbereich sowie außerhalb des Lasma

betrachtet.

Als radiologisch abdeckendes Ereignis für den in diesem Bericht betrachteten Teilumfang ergibt sich der Brand in einem Container, für den mit einer maximalen potentiellen effektiven Folgedosis von 0,9 mSv (in der Altersklasse der Säuglinge) die Planungswerte gemäß § 50 StrlSchV (in Verbindung mit § 117 Abs. 16 StrlSchV) eingehalten werden. Ebenso werden die Grenzwerte für alle Organdosen eingehalten.



## INHALTSVERZEICHNIS

	Seite:
<b>1. AUFGABENSTELLUNG.....</b>	<b>1</b>
<b>2. BERECHNUNGS- UND BEWERTUNGSGRUNDLAGEN .....</b>	<b>1</b>
<b>2.1. Ermittlung der potentiellen Aktivitätsfreisetzung.....</b>	<b>1</b>
<b>2.2. Freisetzungssanteile .....</b>	<b>3</b>
2.2.1. Freisetzungssanteile nach Transportstudie Konrad .....	3
2.2.2. Freisetzungssanteile nach DOE .....	5
<b>2.3. Ausbreitungsmodell.....</b>	<b>5</b>
2.3.1. Meteorologische Parameter .....	6
2.3.2. Ablagerungsfaktoren.....	6
2.3.3. Gelände- und Gebäudeeinfluss.....	7
2.3.4. Quellüberhöhung.....	8
<b>2.4. Dosisberechnung.....</b>	<b>8</b>
2.4.1. Expositionspfade.....	8
2.4.2. Lebensgewohnheiten der Referenzpersonen.....	9
2.4.2.1. Lebensmittelverzehr zur Berücksichtigung bei Auslegungstörfällen .....	9
2.4.2.2. Atemraten.....	10
2.4.2.3. Expositionszeiten bei Störfällen.....	10
2.4.3. Dosiskoeffizienten .....	11
<b>2.5. Bewertungsmaßstab für Störfälle .....</b>	<b>11</b>
2.5.1. Planungswerte für die Dosis .....	11
2.5.2. Ungünstigste Aufpunkte.....	12
<b>3. STANDORTGEGEBENHEITEN.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1. Lage und Gebäude.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2. Gebäudeeinfluss und ungünstigster Aufpunkt .....</b>	<b>14</b>
<b>3.3. Nuklidvektoren .....</b>	<b>15</b>
3.3.1. Nuklidvektor Aktivierung.....	15
3.3.2. Nuklidvektor Kontamination .....	16
<b>3.4. Aktivitätsinventar .....</b>	<b>17</b>
<b>3.5. Störfälle.....</b>	<b>18</b>
3.5.1. Absturz eines Gebindes.....	18
3.5.2. Brand eines Gebindes.....	19
<b>4. DOSISBERECHNUNGEN.....</b>	<b>20</b>
<b>4.1. Absturz eines Gebindes .....</b>	<b>20</b>
4.1.1. Quelltermmittlung .....	20



4.1.1.1. Betroffenes Inventar .....	20
4.1.1.2. Freigesetzte Aktivität.....	20
4.1.2. Ausbreitungsberechnung .....	22
4.1.3. Ergebnisse der Dosisberechnung.....	24
4.2. Brand eines Gebindes .....	26
4.2.1. Quelltermmittlung .....	26
4.2.1.1. Betroffenes Inventar.....	26
4.2.1.2. Freigesetzte Aktivität.....	26
4.2.2. Ausbreitungsberechnung .....	27
4.2.3. Ergebnisse der Dosisberechnung.....	28
4.3. Bewertung.....	32
5. QUELLEN .....	33



## TABELLENVERZEICHNIS

	Seite:
Tabelle 2-1: Abfallgebindegruppen nach [GRS 09].....	3
Tabelle 2-2: Zuordnung zwischen Abfallproduktgruppe (APG) nach [BfS 14] und Abfallgebindegruppe (AGG) nach [GRS 09] .....	4
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.....	10
Tabelle 2-5: Atemraten der Referenzpersonen zur Berechnung der potentiellen Strahlenexposition durch Inhalation nach [SSK 03].....	10
Tabelle 2-6: Planungswerte für Effektivdosis und Organdosen nach § 49 StrlSchV bei einem Störfall.....	11
Tabelle 3-1: Entfernung der Begrenzung des Betriebsgeländes in den 12 Sektoren in m (auf 10 m gerundet).....	14
Tabelle 3-2: Nuklidvektor für Aktivierung .....	16
Tabelle 3-3: Nuklidvektoren für Kontamination.....	17
Tabelle 3-4: Maximalwerte für das Aktivitätsinventar in den Gebindetypen laut technischen Annahmebedingungen für das Lasma [NUK 16].....	17
Tabelle 3-5: Verwendetes maximales Nuklidinventar pro Gebinde .....	18
Tabelle 4-1: Potentiell von einem Gebindeabsturz im Lasma betroffene Aktivität. Dabei wird von 3 betroffenen Gebinden ausgegangen.....	20
Tabelle 4-2: Potentiell bei einem Gebindeabsturz im Lasma freigesetzte Aktivität.....	22
Tabelle 4-3: Ergebnisse der Ausbreitungsberechnung für die potentielle Freisetzung beim Absturz eines Containers im Lasma.....	23
Tabelle 4-4: Potentielle effektive Dosis am ungünstigsten Aufpunkt für die Freisetzung beim Absturz eines Containers im Lasma .....	24
Tabelle 4-5: Potentielle Organdosis am ungünstigsten Aufpunkt beim Absturz eines Containers im Lasma für die am höchsten belastete Altersklasse bis 1 Jahr.....	25
Tabelle 4-6: Potentiell bei einem Brand freigesetzte Aktivität .....	27
Tabelle 4-7: Ergebnisse der Ausbreitungsberechnung für die potentielle Freisetzung beim Brand eines gebindes im Lasma.....	28



Tabelle 4-8:	Potentielle effektive Dosis am ungünstigsten Aufpunkt für die Freisetzung beim Brand eines Gebindes im LasmA.....	29
Tabelle 4-9:	Potentielle Organdosis am ungünstigsten Aufpunkt beim Brand eines Gebindes im LasmA für die am höchsten belastete Altersklasse bis 1 Jahr .....	30
Tabelle 4-10:	Potentielle effektive Dosis am ungünstigsten Aufpunkt für die Freisetzung beim Brand eines Containers auf dem Außengelände nach [BS 15] (abdeckende Werte für den Brand eines Containers im LasmA).....	31



## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

	Seite:
Abbildung 3-1: Kernkraftwerk Brunsbüttel, Fotografie des Kraftwerkes von Südwest nach Nordost [VAT 12] .....	13
Abbildung 3-2: KKB-Gelände mit Massivzaun (blau) und Sektoreinteilung für den Fall eines Ereignisses im LasmA.....	14
Abbildung 3-3: Relative Anteile der durch Aktivierung entstehenden Nuklide Fe-55, Co-60 und Ni-63 an der durch diese Nuklide resultierenden Gesamtaktivität .....	15





### ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AtG	Atomgesetz (Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren)
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 Kernkraftwerks Brunsbüttel (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, der eine Abgabe an ein Bundesendlager jederzeit ermöglicht (Berücksichtigung der gesetzlichen Anforderungen an den Transport dieser Gebinde sowie der Einlagerungsbedingungen für das geplante Bundesendlager Schacht Konrad). Im Mai 2014 wurde für das Lasma ein Antrag auf Erteilung einer Genehmigung gemäß § 7 StrlSchV (StrlSchV) [SSV 12] zum Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen im Sinne des § 2 Abs. 3 Atomgesetz (AtG) [ATG 12] gestellt [KKB 14].

Gemäß § 50 StrlSchV (in Verbindung mit § 117 Abs. 16 StrlSchV) ist für solche Anlagen Vorsorge zu treffen, um die Strahlenexposition bei Störfällen durch die Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung zu begrenzen. Im vorliegenden Bericht werden daher potentielle ereignisbedingte Strahlenexpositionen aufgrund von Auslegungsstörfällen im Lasma ermittelt. Bei den Ereignissen werden

- der Absturz eines Containers auf weitere Container und
- der Brand eines Containers

betrachtet und in Bezug auf Einhaltung der Störfallplanungswerte beurteilt.

## **2. BERECHNUNGS- UND BEWERTUNGSGRUNDLAGEN**

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

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

gegliedert werden. Die Szenarien „Absturz eines Containers“ und „Brand eines Containers“ sind dabei als Störfälle im Sinne von § 50 StrlSchV (in Verbindung mit § 49 und § 117 Abs. 16 StrlSchV) einzuordnen [KKB 14].

### **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:

$$ST = MR \cdot DR \cdot ARF \cdot RF \cdot LPF \quad (G 2-1)$$

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.“*

Der Faktor *ARF* gibt an, welcher Anteil des vom Szenario betroffenen Aktivitätsinventars ( $MR \cdot DR$ ) als luftgetragene Aerosole in das Innere des Gebäudes freigesetzt wird. Hierbei sind die Art (thermisch oder mechanisch) und Stärke der Einwirkungen, die stofflichen Eigenschaften der betroffenen Aktivitäten sowie die Rückhaltewirkungen der jeweiligen Gebinde zu berücksichtigen.

Der Faktor *RF* gibt den Anteil des in der Gebäudereststruktur freigesetzten Inventars an, der lungengängig ist. Er charakterisiert damit die beim Störfall entstehende Größenverteilung der Aerosole. Der Faktor *RF* wird hier für die Ermittlung der Freisetzungsterme zu 1 gesetzt, da auch Expositionspfade (z. B.  $\gamma$ -Bodenstrahlung) betrachtet werden, bei denen die Lungengängigkeit der Aerosole nicht relevant ist und diese den Hauptbeitrag zur Dosis darstellen. Zur Ermittlung der Exposition durch Inhalation werden jedoch nur die Anteile an den Freisetzungstermen berücksichtigt, die sich auf Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von maximal 10  $\mu\text{m}$  beziehen, da diese lungengängig sind [DIN 93]. Das heißt, bei der Ermittlung der Dosis durch Inhalation wird der Faktor *RF* berücksichtigt.

Der Faktor *LPF* gibt den Anteil des in der Gebäudereststruktur freigesetzten Inventars an, der in die Umgebung freigesetzt wird. Er charakterisiert damit die Rückhaltewirkung von Filtern und der Gebäudestruktur. Dieser Faktor wird im Allgemeinen für verschiedene aerodynamische Durchmesser der in die Gebäudestruktur freigesetzten Aerosole unterschiedlich ermittelt.

Erfolgt die Freisetzung der im Gebäude befindlichen Aktivität durch Gebäudeundichtigkeiten oder ungefiltert über eine Lüftung, kann berücksichtigt werden, dass ein Teil der Aerosole an Gebäude-

flächen abgelagert wird. Dies erfolgt sowohl am Boden des Gebäudes (schwerkraftbedingtes Absinken der Partikel) als auch an den sonstigen Oberflächen im Gebäude (Diffusion zu den Oberflächen und adsorptive Bindung an der Oberfläche).

In [MCC 07] wird ein Verfahren vorgestellt, bei dem ein *LPF*-Wert (schwerkraftbedingter Anteil) anhand der Gebäudefläche *A*, der Lüftungsrate *Q* und der Absinkgeschwindigkeit *v<sub>d</sub>* der Partikel ermittelt werden kann.

$$LPF = \frac{1}{1 + \frac{v_d \cdot A}{Q}} \quad (G\ 2-2)$$

Verwendet man statt der Lüftungsrate *Q* die auf das Volumen *V* bezogene Luftaustauschrate *q* ( $q = Q/(V \cdot f)$ ), die Gebäudehöhe *h* (mit  $A = V/h$ ), den Anteil *f* des freien Volumens im Gebäude und die Absinkgeschwindigkeit *v<sub>d</sub>*, so ergibt sich:

$$LPF = \frac{1}{1 + \frac{v_d}{q \cdot h \cdot f}} \quad (G\ 2-3)$$

Details zur Ermittlung der Aktivitätsfreisetzung werden in Abschnitt 4.1.1 beschrieben.

## 2.2. Freisetzungsanteile

### 2.2.1. Freisetzungsanteile nach Transportstudie Konrad

In der Transportstudie Konrad [GRS 09] wurden Freisetzungsanteile durch mechanische Belastungen sowie durch Folgebrände 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 Abfallgebindegruppen 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 14] 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 <sup>(a)</sup>	0 – 35	35 (10)	5
BK 4	36 – 80	80 (22)	25
BK 7	> 80	110 (31)	48

<sup>(a)</sup> 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.

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 Abfallgebindegruppe 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 aerodyna-

mischen 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).

### **2.2.2. Freisetzungssanteile nach DOE**

Im DOE Handbook *Airborne Release Fractions/Rates and Respirable Fractions for Nonreactor Nuclear Facilities* [DOE 94] werden eine Vielzahl von Untersuchungen zur Ermittlung von Freisetzungssanteilen zusammengefasst und bewertet, wobei hier auch unverpackte Substanzen, insbesondere Oberflächenkontaminationen sowie Metalle und Betonstrukturen betrachtet werden.

Da dort keine Angaben zur Freisetzung aus beliebigen aktivierten Metallen zu finden sind, wird auf die Freisetzung aus Plutonium zurückgegriffen. Die Freisetzungssanteile für thermische Belastung bei erhöhter Temperatur, ohne dass das Plutonium zu schmelzen beginnt, werden mit  $ARF = 3 \cdot 10^{-5}$  und  $RF = 0,04$  angegeben. Es wird für die hier betrachtete Freisetzung für Partikel mit einem AED bis 10 µm ein  $ARF$ -Wert von  $0,04 \cdot 3 \cdot 10^{-5} = 1,2 \cdot 10^{-6}$  verwendet, da davon ausgegangen wird, dass der Stahl bei einem Brand noch nicht schmilzt (Schmelztemperatur ca. 1.400 °C). Da Plutonium im Gegensatz zu Stahl bei den betrachteten Brandtemperaturen reaktiv ist, können die hierdurch gewonnenen Freisetzungssanteile als konservativ angesehen werden. Für Partikel mit einem AED zwischen 10 µm und 100 µm wird von keiner relevanten Freisetzung ausgegangen und daher ein  $ARF$ -Wert von 0 verwendet.

Bei rein mechanischer Belastung wird in [DOE 94] von keiner signifikanten Freisetzung ausgegangen, daher wird im vorliegenden Bericht dieser Anteil gegenüber der Freisetzung aus Kontaminationen vernachlässigt.

### **2.3. Ausbreitungsmodell**

Gemäß [SSK 03] ist bei der Ermittlung der Strahlenexposition für Ausbreitungsberechnungen mit der Luft das Gauß-Fahnenmodell zugrunde zu legen. Berechnungsvorschriften und Parametrisierungen 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  $\gamma$ -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] generisch folgende meteorologische Bedingungen (für eine Freisetzungsdauer zwischen 1 h und 8 h)<sup>1</sup> 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 sowie
- 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 meteorologische Bedingungen 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  $v_g$ :

$$W = A_f \cdot v_g \quad (\text{G 2-4})$$

Den nuklidabhängigen Washoutfaktor für bestimmte Niederschlagsintensitäten erhält man aus dem Washoutkoeffizienten  $\Lambda_0$  (für die Niederschlagsintensität  $I_0 = 1 \text{ mm/h}$ ) und der Niederschlagsintensität  $I$  in mm/h nach der Formel:

$$\Lambda = \Lambda_0 \cdot \left(\frac{I}{I_0}\right)^\kappa \quad (\text{G 2-5})$$

wobei für  $\kappa$  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.

<sup>1</sup> 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, 72 bis 168 h).

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  $\sigma_y$  und  $\sigma_z$  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.

Ein Gebäudeeinfluss ist dann zu berücksichtigen, wenn die Emissionshöhe  $H$  kleiner als das Zweifache der Gebäudehöhe  $H_G$  ist. Ein Einfluss auf alle Sektoren ergibt sich dann, wenn sich die horizontale Quellposition direkt auf dem Gebäudedach oder im Abstand von kleiner  $I_G/4$  vom Gebäude befindet.  $I_G$  ist dabei der kleinere Wert der Gebäudebreite in Anströmrichtung und der Gebäudehöhe.

Der Gebäudeeinfluss wird dadurch berücksichtigt, dass die Emissionshöhe  $H$  durch

$$h' = 0,5 \cdot [3 \cdot H - (H_G + I_G)] \quad \text{für } H_G \leq H \leq 2 \cdot H_G \quad (\text{G 2-6})$$

hin zu einer kleineren effektiven Emissionshöhe  $h'$  korrigiert wird.

Eine Reduzierung der Emissionshöhe führt bei sonst gleichen Parametern in den Ausbreitungsrechnungen unter den gegebenen Bedingungen zur Erhöhung der bodennahen Konzentration und damit auch zur Erhöhung des Falloutfaktors. Der Washoutfaktor wird durch die Berücksichtigung von Gebäuden nicht direkt<sup>2</sup> beeinflusst, da bei dessen Berechnung eine vertikale Summierung über die komplette Ausbreitungsschicht auftritt, so dass vertikale Vermischungen keinen Einfluss haben.

Ist die berechnete effektive Emissionshöhe kleiner als die Gebäudehöhe, so sind entsprechend [SSK 03], Anhang 7 zusätzlich die Ausbreitungsparameter  $\sigma_y$  und  $\sigma_z$  gemäß

$$\sigma'_y = \sqrt{\sigma_y^2 + \frac{I_G^2}{\pi}}, \quad \sigma'_z = \sqrt{\sigma_z^2 + \frac{I_G^2}{\pi}} \quad (\text{G 2-7})$$

zu korrigieren.

<sup>2</sup> Eine indirekte Beeinflussung ist dann gegeben wenn die tatsächliche Emissionshöhe größer als 50 m und die korrigierte Emissionshöhe kleiner als 180 m ist. Hier werden für die korrigierte Emissionshöhe gemäß [SSK 03], Anhang 3 veränderte Ausbreitungskoeffizienten und Exponenten berechnet.



Dadurch wird eine höhere Vermischung der Abluftfahne durch den Gebäudeeinfluss in kurzen Abständen zum Emissionsort berücksichtigt. Bei bodennaher Freisetzung führt dies zu einer geringeren bodennahen Konzentration an möglichen Aufpunkten. Bei großen Freisetzungshöhen wird die bodennahe Konzentration an möglichen Aufpunkten dagegen erhöht.

#### **2.3.4. Quellüberhöhung**

Für den Fall eines Containerbrandes wird konservativ von einer bodennahen Freisetzung ohne weitere thermische oder mechanische Überhöhung ausgegangen. Damit sind die Betrachtungen abdeckend für einen Containerbrand, der unter einer Überdachung auftritt und für den somit keine relevante Überhöhung berücksichtigt werden kann.

#### **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.

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

- Säuglinge ( $\leq 1$  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**

Als Expositionspfade für Störfälle werden alle Pfade berücksichtigt, die für Ableitungen über den Luftpfad in Frage kommen. Dies sind nach [SSK 03] die Pfade:

- äußere Strahlenexposition durch  $\beta$ -Strahlung innerhalb der Abluftfahne ( $\beta$ -Submersion),
- äußere Strahlenexposition durch  $\gamma$ -Strahlung aus der Abluftfahne ( $\gamma$ -Submersion),
- äußere Strahlenexposition durch  $\gamma$ -Strahlung der am Boden abgelagerten radioaktiven Stoffe ( $\gamma$ -Bodenstrahlung),
- Exposition durch Aufnahme radioaktiver Stoffe mit der Atemluft (Inhalation) und
- Exposition durch Aufnahme radioaktiver Stoffe als Folge ihrer Ablagerung auf Pflanzenteilen und dem Boden mit der Nahrung (Ingestion).

Für den Expositionspfad Ingestion werden die Teilpfade

- Luft – Pflanze,
- Luft – Futterpflanze – Kuh – Milch,
- Luft – Futterpflanze – Tier – Fleisch,
- Luft – Muttermilch und

- Luft – Nahrung – Muttermilch

betrachtet. Dabei werden sowohl direkte Ablagerungen auf Pflanzenteilen als auch der Transfer von Radionukliden aus dem Boden berücksichtigt.

#### **2.4.2. Lebensgewohnheiten der Referenzpersonen**

Es werden die gemäß Anlage VII StrlSchV zu berücksichtigenden Altersklassen betrachtet.

##### **2.4.2.1. Lebensmittelverzehr zur Berücksichtigung bei Auslegungstorfällen**

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 12] 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
<i>Summe Pflanzen ohne Blattgemüse</i>	<i>204</i>	<i>366</i>	<i>580</i>	<i>655</i>	<i>670</i>	<i>610</i>
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.

Tabelle 2-5: Atemraten der Referenzpersonen zur Berechnung der potentiellen Strahlenexposition durch Inhalation nach [SSK 03]

Altersgruppe	≤ 1 a	> 1 - ≤ 2 a	> 2 - ≤ 7 a	> 7 - ≤ 12 a	> 12 - ≤ 17 a	> 17 a
Atemrate [m <sup>3</sup> /s] Zeitintervall 0 bis 8 h	5,1·10 <sup>-5</sup>	8,7·10 <sup>-5</sup>	1,5·10 <sup>-4</sup>	2,6·10 <sup>-4</sup>	3,3·10 <sup>-4</sup>	3,8·10 <sup>-4</sup>
Atemrate [m <sup>3</sup> /s] Zeitintervall > 8 h	3,5·10 <sup>-5</sup>	6,0·10 <sup>-5</sup>	1,0·10 <sup>-4</sup>	1,8·10 <sup>-4</sup>	2,3·10 <sup>-4</sup>	2,6·10 <sup>-4</sup>

Im vorliegenden Bericht werden nur Freisetzungsbetrachtungen betrachtet, die weniger als 8 h andauern. Für den Auslegungsstörfall sind daher gemäß [SSK 03] die Atemraten für das Zeitintervall 0 bis 8 h aus Tabelle 2-5 anzuwenden. Die Lungenretentionsklassen von Aerosolen werden so gewählt, dass sich der höchste Beitrag zur Inhalationsdosis ergibt.

#### 2.4.2.3. Expositionszeiten bei Störfällen

Bei der Berechnung der potentiellen Strahlenexposition durch äußere Bestrahlung und Inhalation wird angenommen, dass sich die exponierten Personen während des gesamten Durchzugs der Abluftfahne ungeschützt<sup>3</sup> im Freien aufhalten.

Die Exposition durch Bodenstrahlung wird über eine Dauer betrachtet, die am Zeitpunkt des Freisetzungsbegins startet und mit Ablauf des 70. Lebensjahrs der Referenzperson endet. Die Expositionszeit reicht demnach von 70 Jahren für die Altersgruppe der Säuglinge bis zu 53 Jahren für die Altersgruppe der Erwachsenen. Es wird unterstellt, dass die Referenzpersonen der Exposition durch

<sup>3</sup> Ungeschützt heißt in dem Zusammenhang, dass die Referenzperson der jeweiligen Exposition direkt ausgesetzt ist und keine Abschirmwirkung beim Aufenthalt in Gebäuden berücksichtigt wird.

Bodenstrahlung im gesamten betrachteten Zeitraum am ungünstigsten Aufpunkt ungeschützt ausgesetzt sind.

### **2.4.3. Dosiskoeffizienten**

Zur Berechnung der Strahlenexpositionen über die in Abschnitt 2.4.1 angegebenen Expositionspfade werden Dosiskoeffizienten für

- die Inhalation,
- die  $\gamma$ -Submersion,
- die  $\gamma$ -Bodenstrahlung und
- die  $\beta$ -Submersion

benötigt. Die StrlSchV verweist für die Dosiskoeffizienten auf [BMU 01]. Diese dort enthaltenen Dosiskoeffizienten werden für die Dosisberechnungen der vorliegenden Untersuchung angewendet.

## **2.5. Bewertungsmaßstab für Störfälle**

### **2.5.1. Planungswerte für die Dosis**

Gemäß § 49 StrlSchV gelten für den ungünstigsten Störfall die in Tabelle 2-6 angegebenen Grenzwerte für die durch Freisetzung radioaktiver Stoffe resultierende Dosis.

**Tabelle 2-6:** Planungswerte für Effektivdosis und Organdosen nach § 49 StrlSchV bei einem Störfall

<b>Organ</b>	<b>Dosis [mSv]</b>
effektiv	50
Schilddrüse, Augenlinse	150
Haut, Hände, Unterarme, Füße, Knöchel	500
Keimdrüsen, Gebärmutter, rotes Knochenmark	50
Knochenoberfläche	300
Dickdarm, Lunge, Magen, Blase, Brust, Leber, Speiseröhre	150

Gemäß § 50 Abs. 1 StrlSchV sind „bei der Planung von anderen als in § 49 genannten Anlagen nach § 7 Abs. 1 des Atomgesetzes ... bauliche oder technische Schutzmaßnahmen unter Berücksichtigung des potenziellen Schadensausmaßes zu treffen, um die Strahlenexposition bei Störfällen durch die Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung zu begrenzen. Die Genehmigungsbehörde legt Art und Umfang der Schutzmaßnahmen unter Berücksichtigung des Einzelfalls, insbesondere des Gefährdungspotenzials der Anlage und der Wahrscheinlichkeit des Eintritts eines Störfalles, fest.“

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.

Im vorliegenden Bericht wird daher ein Planungswert von 50 mSv für die Effektivdosis als Bewertungsmaßstab herangezogen. Zusätzlich werden Organdosen gemäß § 49 StrlSchV ermittelt.

### **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 (Betasubmersion und Gammasubmersion) 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 **drei ungünstigste Aufpunkte** zu betrachten:

1. die ungünstigste Einwirkungsstelle hinsichtlich  $\beta$ -Submersion,  $\gamma$ -Submersion und Inhalation (momentaner Aufenthalt während der Ableitung),
2. die ungünstigste Einwirkungsstelle hinsichtlich  $\gamma$ -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“.

### **3. STANDORTGEGEBENHEITEN**

#### **3.1. Lage und Gebäude**

Der Standort KKB befindet sich in unmittelbarer Elbnähe ca. 2,50 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.

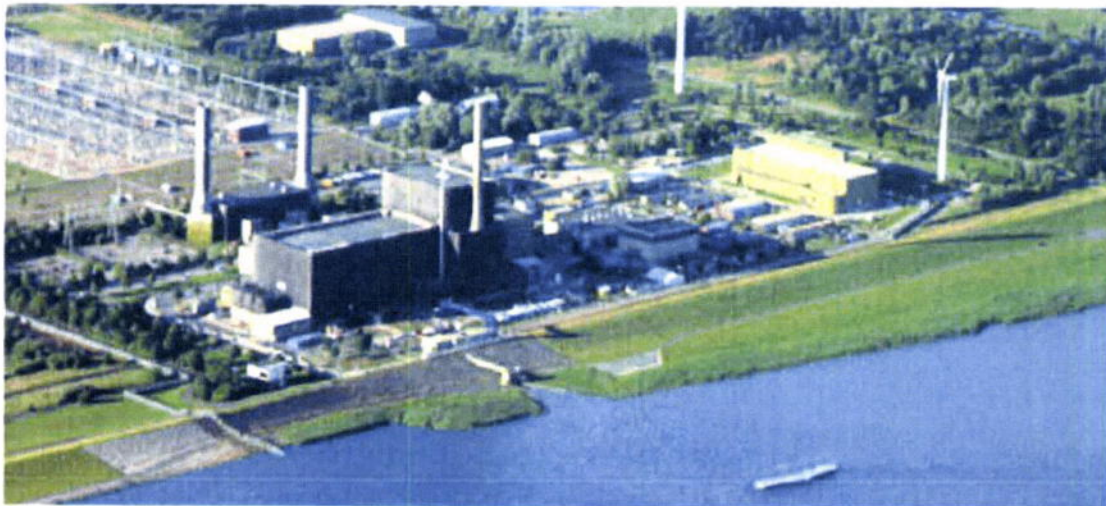


Abbildung 3-1: Kernkraftwerk Brunsbüttel, Fotografie des Kraftwerkes von Südwest nach Nordost [VAT 12]

Gemäß [KKB 14] soll das LasmA mit einer Länge von ca. 116 m (Nord-Süd-Richtung), einer Breite von ca. 48 m und einer Höhe von ca. 16 m errichtet werden. Weiterhin ist an der westlichen Wand ein zweigeschossiges Funktionsgebäude geplant. Das LasmA wird in einen nördlichen und südlichen Handhabungsbereich sowie einen dazwischen liegenden Lagerbereich unterteilt.

Abbildung 3-2 zeigt ein Luftbild des KKB-Geländes mit Sektoreinteilung<sup>4</sup>. Die 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

<sup>4</sup> Die Festlegung des Koordinatenursprungs erfolgte im dargestellten Fall bezüglich der potentiellen Freisetzung aus dem LasmA.

möglicher Aufenthalt von Personen von maximal 1.000 h pro Jahr im Bereich des Elbdeiches 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) und Sektoreinteilung für den Fall eines Ereignisses im LasmA

### 3.2. Gebäudeeinfluss und ungünstigster Aufpunkt

Es wird angenommen, dass die Störfälle „Absturz eines Containers“ und „Brand eines Containers“ im LasmA stattfinden. Es wird konservativ von einer bodennahen Freisetzung ausgegangen. Für den Gebäudeeinfluss wird die geplante Höhe des LasmA von 16 m bei einer Länge von 116 m und einer Breite von 48 m berücksichtigt [KKB 14]. 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)

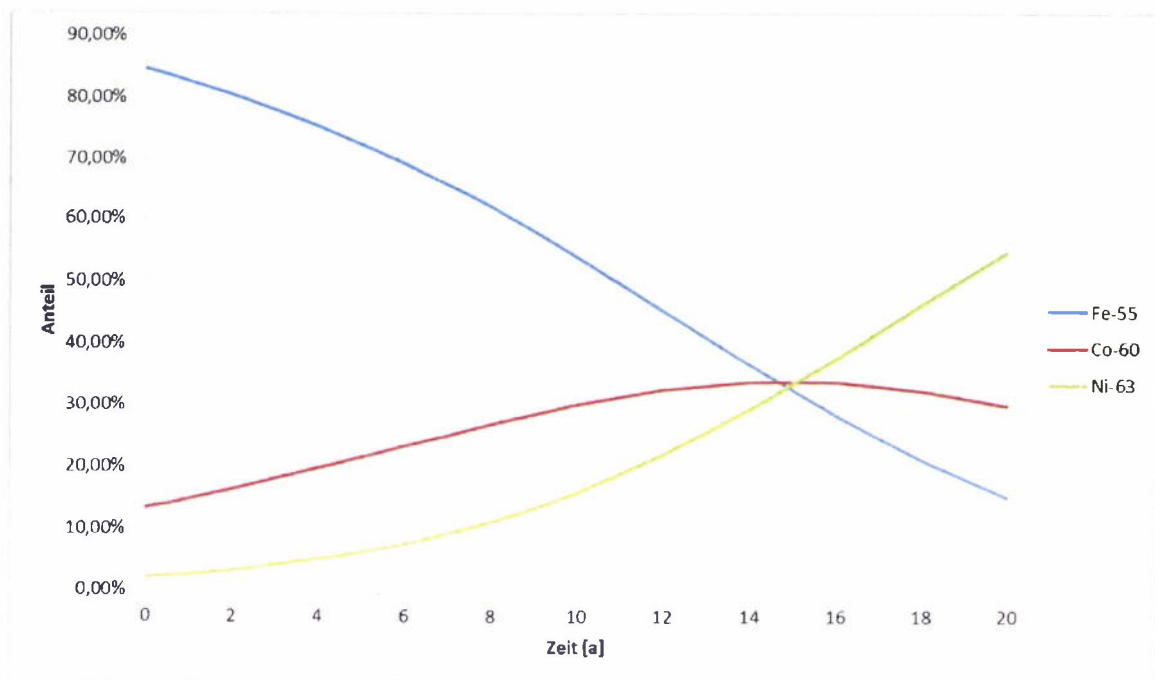
Sektor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Richtung des Sektors in [°]	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
Entfernung zum Zaun	470	260	150	130	160	270	300	350	560	490	510	570

### 3.3. Nuklidvektoren

Bei den verwendeten Nuklidvektoren erfolgt eine Unterscheidung zwischen Aktivierung und Kontamination, wobei jeweils typische und abdeckende Radionuklide in die Nuklidvektoren übernommen werden.

#### 3.3.1. Nuklidvektor Aktivierung

Für den Nuklidvektor wird eine Zusammensetzung aus den typischen Aktivierungsprodukten Co-60, Fe-55 und Ni-63 verwendet. Wenige Monate nach dem Abschalten ergeben sich dabei relative Zusammensetzungen von ca. 85 % Fe-55, 13 % Co-60 und 2 % Ni-63 (normiert auf die Summe der Aktivitäten dieser drei Radionuklide; beispielsweise aus [GRS 11]). Aufgrund der relativ kurzen Halbwertszeit von Fe-55 (2,7 a) ergibt sich innerhalb kurzer Zeiträume eine starke Verschiebung der relativen Beiträge dieser Nuklide an der Gesamtaktivität. Daher wurde über eine Zerfallskorrektur die relative Zusammensetzung der Aktivität aus diesen drei Nukliden bestimmt. Die daraus resultierenden Anteile sind in Abbildung 3-3 grafisch dargestellt.



**Abbildung 3-3:** Relative Anteile der durch Aktivierung entstehenden Nuklide Fe-55, Co-60 und Ni-63 an der durch diese Nuklide resultierenden Gesamtaktivität

Da Fe-55 und Ni-63 radiologisch weit weniger relevant sind als Co-60 wird der Zeitpunkt ausgewählt, an dem Co-60 den höchsten relativen Anteil an der Aktivität verursacht und die Nuklidzusammensetzung zu diesem Zeitpunkt als abdeckender Nuklidvektor für Aktivierungsprodukte ver-



wendet. Dabei tragen alle drei Nuklide ungefähr mit gleichen Anteilen bei, der entsprechende Nuklidvektor ist in Tabelle 3-2 aufgeführt.

Tabelle 3-2: Nuklidvektor für Aktivierung

Nuklid	Nuklidvektor für Aktivierung
Co-60	33,4 %
Ni-63	33,3 %
Fe-55	33,3 %

### 3.3.2. Nuklidvektor Kontamination

Der Nuklidvektor für Kontamination setzt sich zusammen aus Aktivierungsnukliden, die durch Korrosion ins System gelangen, aus Spaltungsprodukten und ggf. aus primären und sekundären Kernbrennstoffnukliden und weiteren Transuranen. Für die aus Aktivierungsnukliden resultierende Kontamination wird Co-60 als abdeckendes Nuklid verwendet. Bei den Spaltungsprodukten tritt Cs-137 als Hauptanteil auf. Zusätzlich wird im Folgenden Sr-90 berücksichtigt, für das gemäß der vorliegenden Daten zum nuklidspezifischen Inventar der in den Transportbereitstellungshallen (TBH) vorhandenen Gebinden ein typisches Verhältnis von  $A_{Sr-90}/A_{Cs-137} = 2,5/100$  angesetzt wird. Weiterhin wird stellvertretend für alle Kernbrennstoffe/Transurane ( $\alpha$ -Strahler) Am-241 mit einem konservativ hohen Gesamtanteil von 1 % berücksichtigt. Da für die Anlage KKB keine Erkenntnisse auf Vorliegen einer signifikanten  $\alpha$ -Kontamination vorliegen, wird bei Störfallbetrachtungen normalerweise abdeckend von einem Anteil der  $\alpha$ -Aktivität von 0,1 % im Mittel über alle Gebinde ausgegangen. Da im hier vorliegenden Störfall nur wenige Gebinde betroffen sind, wird konservativ ein Anteil von 1 % verwendet, um Gebinde mit ggf. erhöhter  $\alpha$ -Kontamination abzudecken.

Für das Verhältnis zwischen Co-60 und Cs-137 wird auf den im 2. Teil des ESK-Stresstests [ESK 13] verwendeten Nuklidvektor für Zwischenlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle aus Betrieb, Stilllegung und Rückbau von Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren zurückgegriffen. Hier wird ein Verhältnis von  $A_{Co-60}/A_{Cs-137} = 70/30$  angegeben. Die vorliegenden Daten zum nuklidspezifischen Inventar der in den TBH vorhandenen Gebinde sind konsistent zu dieser Annahme.

Insgesamt ergibt sich somit der in Tabelle 3-3 angegebene normierte Nuklidvektor für Kontamination.

Tabelle 3-3: Nuklidvektoren für Kontamination

Nuklid	Nuklidvektor bei Kontamination
Co-60	68,79 %
Cs-137	29,48 %
Sr-90	0,73 %
Am-241	1,00 %

### 3.4. Aktivitätsinventar

Für das Lasma wurde ein Wert von  $5 \cdot 10^{17}$  Bq für die maximal einzulagernde Gesamtaktivität beantragt. Auf Basis dieses Antragswerts und unter Verwendung der Überlegungen aus [ESK 13] kann ein mittleres Aktivitätsinventar für die einzelnen Gebinde abgeleitet werden. Da jedoch beim Absturz bzw. Brand nur wenige Gebinde betroffen sind, wird im Folgenden für diese betroffenen Gebinde nicht das mittlere Aktivitätsinventar pro Gebinde berücksichtigt, sondern die maximal in einem Gebinde mögliche Aktivität. Die gemäß der technischen Annahmebedingungen für das Lasma [NUK 16] möglichen maximalen nuklidspezifischen Aktivitäten pro Gebinde sind in Tabelle 3-4 in Abhängigkeit vom Gebindetyp aufgeführt.

Tabelle 3-4: Maximalwerte für das Aktivitätsinventar in den Gebindetypen laut technischen Annahmebedingungen für das Lasma [NUK 16]

Typ	ABK	APG / Abfalltyp	maximale Aktivität [Bq]		
			Co-60	Cs-137	Alpha
Gusscontainer Typ II	I	01 – 06	$3,4 \cdot 10^{12}$	$1,5 \cdot 10^{12}$	$5,0 \cdot 10^{10}$
Gusscontainer Typ II	II	03	$3,4 \cdot 10^{14}$	$3,0 \cdot 10^{12}$	$1,0 \cdot 10^{11}$
Betonbehälter Typ II	I	02 – 06	$3,4 \cdot 10^{12}$	$1,5 \cdot 10^{12}$	$5,0 \cdot 10^{10}$
KC Typ II	II	03	$1,7 \cdot 10^{13}$	$1,5 \cdot 10^{12}$	$5,0 \cdot 10^{10}$
KC Typ I – VI	I	01 – 06	$3,4 \cdot 10^{12}$	$1,5 \cdot 10^{12}$	$5,0 \cdot 10^{10}$
Gusscontainer Typ VI	II	FZK	$4,0 \cdot 10^{11}$	$1,0 \cdot 10^{12}$	$1,4 \cdot 10^{10}$
20'-Container	-	alle	$3,4 \cdot 10^9$	$1,5 \cdot 10^9$	$1,0 \cdot 10^7$

Weiterhin kann davon ausgegangen werden, dass die höchsten Aktivitäten in Form aktivierter Metalle vorliegen (in Tabelle 3-4 APG 03 in Gusscontainern des Typs II und Konrad-Containern des Typs II). Für diese wird bei Gusscontainern 1 % der Gesamtaktivität im Gebinde als Kontamination (Nuklidvektor nach Tabelle 3-3) und der Rest als Aktivierung (Nuklidvektor nach Tabelle 3-2) angenommen. Wenn sich aktivierte Metalle in KC Typ II befinden, wird angenommen, dass 10 % der Gesamtaktivität<sup>5</sup> im Gebinde als Kontamination und der Rest als Aktivierung vorliegt.

<sup>5</sup> Die Gesamtaktivität, die in diesen Gebinden erlaubt ist, ist niedriger als die im Gussbehälter Typ II (ABK II). Geht man aber davon aus, dass das Verhältnis von Aktivierungsaktivität und Kontaminationsaktivität durch das Verhältnis von Volumen zu Oberfläche des Abfalls bestimmt wird, ist der Anteil der Kontamination hier höher anzusetzen als für Gussbehälter.

Betonbehälter Typ II werden im Weiteren nicht gesondert betrachtet, da diese durch KC Typ I – VI abgedeckt sind (gleiches Aktivitätsinventar und Freisetzungsanteile).

Unter Beachtung der Unterteilung in Aktivierung und Kontamination mit den Nuklidvektoren nach Tabelle 3-2 und Tabelle 3-3 ergeben sich aus den in Tabelle 3-4 angegebenen Maximalaktivitäten für die nachfolgende Störfallbetrachtung die in Tabelle 3-5 aufgeführten Aktivitäten pro Gebinde. Stellvertretend für alle  $\alpha$ -Nuklide wurde Am-241 betrachtet.

**Tabelle 3-5:** Verwendetes maximales Nuklidinventar pro Gebinde

Typ	NV	ABK	APG / Abfalltyp	Aktivität pro Gebinde [Bq]					
				Co-60	Ni-63	Fe-55	Cs-137	Sr-90	Am-241
Guss (M II)	Akt.	ABK II	APG 03	3,3E+14	3,2E+14	3,2E+14	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
	Kont.			6,8E+12	0,0E+00	0,0E+00	3,0E+12	7,5E+10	1,0E+11
Guss (M II)	Kont.	ABK I	APG 01 – 06	3,4E+12	0,0E+00	0,0E+00	1,5E+12	3,8E+10	5,0E+10
Guss (KC VI)	Kont.	ABK II	FZK	4,0E+11	0,0E+00	0,0E+00	1,0E+12	2,5E+10	1,4E+10
KC II	Akt.	ABK II	APG 03	1,4E+13	1,3E+13	1,3E+13	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
	Kont.			3,1E+12	0,0E+00	0,0E+00	1,5E+12	3,8E+10	5,0E+10
KC I-VI	Kont.	ABK I	APG 01 – 06	3,4E+12	0,0E+00	0,0E+00	1,5E+12	3,8E+10	5,0E+10
20 <sup>l</sup> -Container	Kont.	-	alle	3,4E+09	0,0E+00	0,0E+00	1,5E+09	3,8E+07	1,0E+07

### 3.5. Störfälle

#### 3.5.1. Absturz eines Gebindes

Der für das LasmA geplante Kran soll nicht gemäß KTA-Richtlinien ausgelegt werden, somit muss für das LasmA der Absturz eines Gebindes (Container) unterstellt werden. Es ist vorgesehen, im Betriebsreglement festzulegen, dass für die Gebinde eine maximale Hubhöhe von 5 m festgelegt wird. Somit ist der Absturz nicht aus einer großen Höhe zu unterstellen und die Belastungsklasse BK 1 (bis ca. 5 m für den Abstand der Unterkante des Containers zum Boden) nach Tabelle 2-3 ist abdeckend für die möglichen Ereignisse. Da beim Absturz der Container auf einen Stapel auftreffen kann, wird berücksichtigt, dass der abstürzende Container auf zwei weitere Container fällt, die ebenfalls beschädigt werden. Dabei reduziert sich die effektive Fallhöhe um die Höhe der Oberkante der beiden Container<sup>6</sup>, die getroffen werden. Obwohl für Behälter der ABK II 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 für alle Behälter abdeckend die Freisetzungsanteile der Belastungsklasse BK 1 für die jeweilige Abfallgebindegruppe (AGG) verwendet. Die entsprechenden Zuordnungen sowie die resultierende potentielle Freisetzung und Exposition sind in Abschnitt 4.1 beschrieben.

<sup>6</sup> Bei den hier verwendeten Gebindetypen beträgt die Höhe eines einzelnen Containers zwischen 1,45 m (KC I und IV) und 1,7 m (KC II, III, V und VI), bei Stapelung liegt die Oberkante entsprechend höher.

### **3.5.2. Brand eines Gebindes**

Gemäß Brandschutzkonzept [BFT 14] ist für den Lagerbereich nur von geringen Brandlasten auszugehen. Im Lagerbereich sollen hauptsächlich nur endlagerfähige Gebinde gelagert werden. Weiterhin ist eine Pufferlagerung von 20'-Containern vorgesehen, in denen sich nichtbrennbare Stoffe befinden. Somit befinden sich im Lagerbereich keine nennenswerten Brandlasten, die zu Beschädigungen oder Freisetzungen aus Gebinden führen können. Daher ist im Lagerbereich nicht mit einer brandbedingten Freisetzung zu rechnen.

Im nördlichen Handhabungsbereich ist die Pufferlagerung von 20'-Containern mit geringen Mengen an brennbaren Stoffen möglich. Weiterhin befindet sich während des An- bzw. Abtransports von Gebinden ein Transportfahrzeug in den Handhabungsbereichen. Da vorgeschrieben ist, dass bei Verladevorgängen die Anlage durch geschultes Personal überwacht wird und sich der Kran nur zu Ein- und Auslagerungszwecken im Lagerbereich befindet, kann bei Entstehungsbränden sofort eingegriffen werden. Somit ist nicht von einer großen Brandbelastung auszugehen und das Übergreifen eines potentiellen Brandes auf mehrere Gebinde auszuschließen. Daher wird auch im Handhabungsbereich ein Brand ausgeschlossen, der zu einer so lange andauernden thermischen Belastung führt, dass aus Gebinden mit nichtbrennbaren Stoffen eine Freisetzung stattfindet.

Abdeckend wird unterstellt, dass im Handhabungsbereich der Brand eines Transportfahrzeuges auf einen 20'-Container übergreift, in dem sich brennbare Stoffe befinden. Für Gebinde, in denen sich nicht brennbare Stoffe befinden (z. B. Abfallproduktgruppe APG 06 mit Konzentraten), wird davon ausgegangen, dass der Brand nicht auf den Gebindeinhalt übergreifen kann und gelöscht ist, bevor es zu einer signifikanten Erwärmung des Gebindes kommt. Die für 20'-Container, die mit brennbaren Stoffen befüllt sind, abdeckend hoch angesetzte Gesamtaktivität kann daher der weiteren Störfallbetrachtung zu Grunde gelegt werden. Die entsprechenden Freisetzungs- und Dosisberechnungen sind in Abschnitt 4.2 beschrieben.

## 4. DOSISBERECHNUNGEN

### 4.1. Absturz eines Gebindes

#### 4.1.1. Quelltermmittlung

##### 4.1.1.1. Betroffenes Inventar

Für den Absturz eines Gebindes wird davon ausgegangen, dass dieses Ereignis beim Heben des Gebindes auf einen Stapel mit Gebinden der gleichen Art eintritt. Daher wird angenommen, dass das abstürzende Gebinde zwei weitere Gebinde beschädigt. Somit sind von einem Containerabsturz potentiell drei Gebinde der gleichen Art betroffen, somit ist das Dreifache der in Tabelle 3-4 angegebenen Aktivität<sup>7</sup> betroffen. Tabelle 4-1 zeigt eine Aufstellung der potentiell betroffenen Aktivität für alle möglichen Gebindetypen.

Tabelle 4-1: Potentiell von einem Gebindeabsturz im Lasma betroffene Aktivität. Dabei wird von 3 betroffenen Gebinden ausgegangen.

Typ	NV	ABK	APG / Abfalltyp	betroffene Aktivität [Bq]					
				Co-60	Ni-63	Fe-55	Cs-137	Sr-90	Am-241
Guss (M II)	Akt.	ABK II	APG 03	1,0E+15	9,7E+14	9,7E+14	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
	Kont.			2,0E+13	0,0E+00	0,0E+00	9,0E+12	2,3E+11	3,0E+11
Guss (M II)	Kont.	ABK I	APG 01 – 06	1,0E+13	0,0E+00	0,0E+00	4,5E+12	1,1E+11	1,5E+11
Guss (KC VI)	Kont.	ABK II	FZK	1,2E+12	0,0E+00	0,0E+00	3,0E+12	7,2E+10	4,2E+10
KC II	Akt.	ABK II	APG 03	4,2E+13	4,0E+13	4,0E+13	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
	Kont.			9,4E+12	0,0E+00	0,0E+00	4,5E+12	1,1E+11	1,5E+11
KC I-VI	Kont.	ABK I	APG 01 – 06	1,0E+13	0,0E+00	0,0E+00	4,5E+12	1,1E+11	1,5E+11
20'-Container	Kont.	-	alle	1,0E+10	0,0E+00	0,0E+00	4,5E+09	1,1E+08	3,0E+07

##### 4.1.1.2. Freigesetzte Aktivität

Mit Ausnahme für Aktivierungsprodukte (Nuklidvektor für Aktivierung bei APG 03) werden die Freisetzungsteile aus den Behältern der Transportstudie Konrad [GRS 09] entnommen. Dabei wird die Zuordnung der Abfallgebindegruppen (AGG) zu den Abfallproduktgruppen (APG) nach Tabelle 2-2 verwendet. Gusscontainer werden AGG 8 zugeordnet. Bei mechanischer Belastung durch einen Gebindeabsturz wird davon ausgegangen, dass aus aktivierten Metallen nur Kontamination freigesetzt wird (Freisetzungsteile für AGG 3) und keine Aktivierung (Freisetzungsteil 0).

Da über das Betriebsreglement eine maximale Hubhöhe vorgeschrieben wird, die nicht wesentlich über der Behälterhöhe liegt, wird sowohl für den abstürzenden Behälter wie auch für die von ihm getroffenen Belastungsklasse BK 1 angesetzt, die Absturzhöhen bis ca. 5 m abdeckt (siehe Tabelle

<sup>7</sup> unter der konservativen Annahme, dass in allen drei Gebinden die maximal zulässige Aktivität der Annahmebedingungen ausgeschöpft wird



2-3). Die daraus resultierenden Freisetzungsteile sowie die Zuordnung zu den Abfallgebindergruppen ist in Tabelle 4-2 aufgeführt.

Weiterhin wird für das LasmA der Faktor *LPF* für die Gebäuderückhaltung nach (G 2-2) bzw. (G 2-3) berücksichtigt. Als Fläche, auf der sich die Aerosole innerhalb des Gebäudes absetzen können, wird dabei die Grundfläche des LasmA berücksichtigt (116 m × 48 m). Aus der für das LasmA vorgesehenen Lüftungsrate von 1.500 – 6.000 m<sup>3</sup>/h ergibt sich mit der angegebenen Grundfläche, einer Gebäudehöhe von 16 m und einem Anteil des freien Volumens von 90 % ein Luftwechsel von 0,0187 h<sup>-1</sup>. Damit ergibt sich ein *LPF* von 0,048 für Partikel mit einem AED bis 10 µm und ein *LPF* von 0,0015 für Partikel mit einem AED größer 10 µm. Diese *LPF*-Werte sind auf Ereignisse anzuwenden, die im Inneren des LasmA bei geschlossenen Toren auftraten.

Um zu einer abdeckend konservativen Abschätzung der aus dem Gebäude freigesetzten Aktivität zu kommen, wird von einem deutlich höheren Luftwechsel ausgegangen (beispielsweise verursacht durch offen stehende Tore). Bei einem Luftwechsel von 1 h<sup>-1</sup> ergibt sich somit ein *LPF*-Wert von 0,73 für Partikel mit einem AED bis 10 µm und ein *LPF*-Wert von 0,074 für Partikel mit einem AED größer 10 µm.

Die dabei resultierenden potentiell freigesetzten Aktivitäten sind für die unterschiedlichen Behälterklassen zusammen mit den Werten für *ARF* und *LPF* in Tabelle 4-2 aufgeführt.

**Tabelle 4-2:** Potentiell bei einem Gebindeabsturz im LasmA freigesetzte Aktivität

	AED	Guss (M II)		Guss (M II)	Guss (KC VI)	KC II		KC I – VI	20'
		APG 03		APG 01 – 06	FZK	APG 03		APG 01 – 06	alle
		Akt.	Kont.	Kont.	Kont.	Akt.	Kont.	Kont.	Kont.
		-	AGG 8	AGG 8	AGG 8	-	AGG 3	AGG 2	AGG 1
<b>Freisetzungsanteile (BK 1)</b>									
ARF <sup>1)</sup>	≤ 10 µm	0	0	0	0	0	5,0E-8	5,0E-6	5,0E-6
	> 10 µm	0	0	0	0	0	1,0E-7	1,0E-5	1,0E-5
<b>Faktor für Gebäuderückhaltung</b>									
LPF	≤ 10 µm	$7,3 \cdot 10^{-1}$							
	> 10 µm	$7,4 \cdot 10^{-2}$							
<b>potentiell freigesetzte Aktivität [Bq]</b>									
ST (Co-60)	≤ 10 µm	0	0	0	0	0	3,4E5	<b>3,7E7</b>	3,7E4
ST (Ni-63)		0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0
ST (Fe-55)		0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0
ST (Cs-137)		0	0	0	0	0	1,6E5	<b>1,6E7</b>	1,6E4
ST (Sr-90)		0	0	0	0	0	4,1E3	<b>4,1E5</b>	4,1E2
ST (Am-241)		0	0	0	0	0	5,5E3	<b>5,5E5</b>	1,1E2
ST (Gesamt)		0	0	0	0	0	5,2E5	<b>5,5E7</b>	5,4E4
ST (Co-60)	> 10 µm	0	0	0	0	0	6,9E4	<b>7,5E6</b>	7,5E3
ST (Ni-63)		0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0
ST (Fe-55)		0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0
ST (Cs-137)		0	0	0	0	0	3,3E4	<b>3,3E6</b>	3,3E3
ST (Sr-90)		0	0	0	0	0	8,3E2	<b>8,3E4</b>	8,3E1
ST (Am-241)		0	0	0	0	0	1,1E3	<b>1,1E5</b>	2,2E1
ST (Gesamt)		0	0	0	0	0	1,0E5	<b>1,1E7</b>	1,1E4

<sup>1)</sup> lufttragener freigesetzter Anteil (airborne release fraction)

Die größten potentiell freigesetzten Aktivitäten ergeben sich für KC I – VI der APG 01 – 06. Diese werden bei den im Folgenden beschriebenen Ausbreitungs- und Dosisberechnungen als abdeckende Werte für die potentielle Freisetzung bei einem Containerabsturz verwendet.<sup>8</sup>

#### 4.1.2. Ausbreitungsberechnung

Der Emissionsort wird auf das LasmA 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. Der Gebäu-

<sup>8</sup> Der Absturz eines Gebindes auf Gebinde eines anderen Typs führt immer zu geringeren potentiell freigesetzten Aktivitäten als der Absturz eines Gebindes mit höchstem Freisetzungspotential auf Gebinde des gleichen Typs.

deinfluss des LasmA auf die Ausbreitung wird gemäß Abschnitt 2.3.3 berücksichtigt, wobei  $I_G = H_G = 16$  m gesetzt wird.

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  $\gamma$ -Bodenstrahlung radiologisch relevant. Es werden die Ausbreitungs- und Ablagerungsparameter für die folgenden Expositionspfade angegeben:

$\gamma$ -Bodenstrahlung: Ablagerungsfaktor auf dem Boden, berechnet als Summe des Falloutfaktors und des Washoutfaktors,

Inhalation: Ausbreitungsfaktor und

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  $\gamma$ -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 Absturz eines Containers im LasmA

AED <sup>e)</sup>	AK <sup>f)</sup>	$\gamma$ -Bodenstrahlung		Inhalation		Ingestion	
		AP <sup>a)</sup>	$W_f^b$ [1/m <sup>2</sup> ] <sup>b)</sup>	AP <sup>a)</sup>	$A_f$ [s/m <sup>3</sup> ] <sup>c)</sup>	AP <sup>a)</sup>	$W_f^{Pf}$ [1/m <sup>2</sup> ] <sup>d)</sup>
0 – 10 $\mu$ m	E	4/130	1,8E-6	4/130	1,2E-3	4/130	1,8E-6
10 – 100 $\mu$ m			6,0E-5		-		6,0E-5

- a) AP: Aufpunkt, Sektor/Entfernung [m]
- b)  $W_f^b$ : Ablagerungsfaktor für den Boden [1/m<sup>2</sup>]
- c)  $A_f$ : Ausbreitungsfaktor [s/m<sup>3</sup>]
- d)  $W_f^{Pf}$ : Ablagerungsfaktor für Pflanzen [1/m<sup>2</sup>]
- e) AED: aerodynamisch äquivalenter Partikeldurchmesser
- f) AK: Diffusionskategorie

Die ermittelten ungünstigsten Ausbreitungsbedingungen ergeben sich für die betrachtete Freisetzung mit Diffusionskategorie F (kein Niederschlag). Der Aufpunkt liegt in Sektor 4 bei einer Entfernung von 130 m direkt am Massivzaun in östlicher Richtung vom LasmA.



### 4.1.3. Ergebnisse der Dosisberechnung

Aus den in Abschnitt 4.1.1 berechneten Freisetzungsraten 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 Absturz eines Containers im LasmA

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	5,2E-2	4,5E-2	4,6E-2	3,9E-2	3,4E-2	2,6E-2
	Cs-137	2,7E-2	2,1E-2	2,3E-2	2,5E-2	3,0E-2	2,9E-2
	Sr-90	2,1E-3	1,4E-3	1,3E-3	1,6E-3	1,9E-3	8,1E-4
	Am-241	2,5E-2	1,4E-2	1,6E-2	2,1E-2	2,4E-2	2,8E-2
	Summe	0,11	8,1E-2	8,7E-2	8,7E-2	9,0E-2	8,3E-2
10 – 100 µm	Co-60	0,35	0,30	0,31	0,26	0,23	0,17
	Cs-137	0,19	0,14	0,16	0,17	0,20	0,20
	Sr-90	1,4E-2	9,4E-3	8,9E-3	1,1E-2	1,3E-2	5,2E-3
	Am-241	0,12	2,2E-2	2,6E-2	2,4E-2	2,2E-2	2,1E-2
	Summe	0,67	0,48	0,50	0,47	0,47	0,39
Summe	Co-60	0,40	0,35	0,35	0,30	0,26	0,20
	Cs-137	0,21	0,17	0,18	0,20	0,23	0,22
	Sr-90	1,6E-2	1,1E-2	1,0E-2	1,2E-2	1,4E-2	6,0E-3
	Am-241	0,15	3,6E-2	4,2E-2	4,5E-2	4,6E-2	4,9E-2
	Summe	0,78	0,56	0,59	0,55	0,55	0,48

Für alle Altersklassen wird die potentielle Exposition hauptsächlich durch Co-60, Cs-137 und Am-241 verursacht. Etwa 86 % der potentiellen Exposition entsteht dabei durch Partikel mit einem AED größer 10 µm. Die höchste Exposition ergibt sich für die Altersklasse bis 1 Jahr mit 0,78 mSv. Für diese Altersklasse beläuft sich der Anteil der  $\gamma$ -Bodenstrahlung an der potentiellen Exposition auf ca. 37 %. Ingestion trägt zu ca. 62 % bei. Der Anteil von Inhalation und  $\beta$ -/ $\gamma$ -Submersion beträgt weniger als 0,9 %. Für die Altersklasse der Erwachsenen (> 17 Jahre) belaufen sich die Anteile auf etwa 46 % für  $\gamma$ -Bodenstrahlung, 49 % für Ingestion und 5 % für Inhalation und  $\beta$ -/ $\gamma$ -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 Organdosis am ungünstigsten Aufpunkt beim Absturz eines Containers im LasmA für die am höchsten belastete Altersklasse bis 1 Jahr

Organ	Potentielle Dosis [mSv]							Aussch.
	$\gamma$ - Boden	$\gamma$ -Subm.	$\beta$ -Subm.	Inhal.	Subm. und Inhal.	Ing.	Summe	
ET Luftwege	0,34	9,2E-7	0	8,4E-3	8,4E-3	0,32	0,66	0,44%
Lunge	0,31	8,0E-7	0	1,4E-2	1,4E-2	0,29	0,62	0,41%
Blase	0,29	6,9E-7	0	7,9E-4	7,9E-4	0,31	0,60	0,40%
Brust	0,32	8,5E-7	0	9,2E-4	9,2E-4	0,24	0,56	0,37%
Gehirn	0,31	9,1E-7	0	7,9E-4	7,9E-4	0,28	0,59	0,39%
Haut	0,33	8,8E-7	3,7E-7	7,8E-4	7,8E-4	0,24	0,57	0,11%
Hoden	0,29	7,5E-7	0	4,2E-3	4,2E-3	0,35	0,65	1,29%
Knochenoberfläche	0,30	8,1E-7	0	0,15	0,15	3,6	4,1	1,36%
Leber	0,29	7,3E-7	0	1,6E-2	1,6E-2	0,82	1,1	0,75%
Speiseröhre	0,27	6,9E-7	0	9,1E-4	9,1E-4	0,29	0,57	0,38%
Magen	0,29	7,3E-7	0	8,4E-4	8,4E-4	0,34	0,63	0,42%
Dünndarm	0,27	6,8E-7	0	8,1E-4	8,1E-4	0,36	0,63	0,42%
Oberer Dickdarm	0,28	6,9E-7	0	8,3E-4	8,3E-4	0,45	0,74	0,49%
Unterer Dickdarm	0,27	6,7E-7	0	8,8E-4	8,8E-4	0,66	0,93	0,62%
Dickdarm	0,28	6,9E-7	0	8,4E-4	8,4E-4	0,54	0,83	0,55%
Milz	0,29	7,4E-7	0	8,7E-4	8,7E-4	0,32	0,60	0,40%
Muskel	0,29	7,3E-7	0	8,1E-4	8,1E-4	0,29	0,58	0,38%
Nebennieren	0,27	7,0E-7	0	9,3E-4	9,3E-4	0,34	0,62	0,41%
Nieren	0,29	7,3E-7	0	3,1E-3	3,1E-3	0,38	0,67	0,44%
Ovarien	0,28	6,6E-7	0	3,9E-3	3,9E-3	0,42	0,71	1,42%
Pankreas	0,27	6,9E-7	0	8,8E-4	8,8E-4	0,36	0,63	0,42%
Rotes Knochenmark	0,28	7,3E-7	0	2,4E-2	2,4E-2	0,89	1,2	2,39%
Schilddrüse	0,34	9,2E-7	0	8,2E-4	8,3E-4	0,32	0,65	0,44%
Thymus	0,30	7,7E-7	0	9,1E-4	9,1E-4	0,29	0,59	0,40%
Uterus	0,26	6,5E-7	0	8,1E-4	8,1E-4	0,34	0,60	1,20%
Effektive Dosis	0,29	7,5E-7	3,7E-9	6,6E-3	6,6E-3	0,48	0,78	1,55%

Die höchste Ausschöpfung des Planungswertes gemäß § 49 StrlSchV ergibt sich für die potentielle Organdosis des Roten Knochenmarks (Planungswert 50 mSv) mit 2,39 %. Somit werden die Planungswerte für das Ereignis eines Containerabsturzes im LasmA deutlich unterschritten.

## **4.2. Brand eines Gebindes**

### **4.2.1. Quelltermittlung**

#### **4.2.1.1. Betroffenes Inventar**

Bei den im LasmA einzulagernden Behältern handelt es sich um geschlossene Gebinde mit einer nicht brennbaren Außenumschließung. Im LasmA existieren keine Brandlasten und Zündquellen in dem Umfang, die einen Brand in solchen Gebinden verursachen können.

Als abdeckendes Ereignis wird daher der Brand eines Transportfahrzeugs im Handhabungsbereich des LasmA betrachtet, durch den ein Gebinde (20'-Container mit brennbaren Reststoffen) 30 Minuten lang der thermischen Belastung durch den Brand ausgesetzt ist. Da von einem betroffenen Gebinde ausgegangen wird, entspricht die betroffene Aktivität der maximalen Aktivität in einem 20'-Container, welche in Tabelle 3-5 aufgeführt ist.

#### **4.2.1.2. Freigesetzte Aktivität**

Es werden die Freisetzunganteile *ARF* für Gebinde der AGG 1 mit brennbaren unfixierten Abfälle aus der Transportstudie Konrad [GRS 09] verwendet.

Für den Reduktionsfaktor der Gebäudertückhaltung *LPF* werden die in Abschnitt 4.1.1.2 beschriebenen Werte verwendet.

Die resultierenden potentiell freigesetzten Aktivitäten sind zusammen mit den Werten für *ARF* und *LPF* in Tabelle 4-6 aufgeführt.

Tabelle 4-6: Potentiell bei einem Brand freigesetzte Aktivität

	AED	20'-Container
		Kontamination
		AGG 1
<b>Freisetzungsanteile (BK 2)</b>		
ARF <sup>a)</sup>	≤ 10 µm	1,0E-1 <sup>b)</sup>
	> 10 µm	1,0E-5
<b>Faktor für Gebäuderückhaltung</b>		
LPF	≤ 10 µm	7,3 · 10 <sup>-1</sup>
	> 10 µm	7,4 · 10 <sup>-2</sup>
<b>potentiell freigesetzte Aktivität [Bq]</b>		
ST (Co-60)	≤ 10 µm	2,5E6
ST (Cs-137)		1,1E8
ST (Sr-90)		2,7E5
ST (Am-241)		7,3E3
ST (Gesamt)		1,1E8
ST (Co-60)	> 10 µm	2,5E3
ST (Cs-137)		1,1E3
ST (Sr-90)		2,8E1
ST (Am-241)		7,4E0
ST (Gesamt)		3,7E3

a) luftgetragener freigesetzter Anteil (airborne release fraction)

b) Freisetzungsanteil für Cs-137, Korrektur für andere Nuklide wie in Abschnitt 2.2.1 beschrieben

#### 4.2.2. Ausbreitungsberechnung

Der Emissionsort wird auf das LasmA 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. Der Gebäudeeinfluss des LasmA auf die Ausbreitung wird gemäß Abschnitt 2.3.3 berücksichtigt, wobei  $I_G = H_G = 16$  m gesetzt wird.

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  $\gamma$ -Bodenstrahlung radiologisch relevant. Es werden die Ausbreitungs- und Ablagerungsparameter für die folgenden Expositionspfade angegeben:

- $\gamma$ -Bodenstrahlung: Ablagerungsfaktor auf dem Boden, berechnet als Summe des Falloutfaktors und des Washoutfaktors,
- Inhalation: Ausbreitungsfaktor und
- 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 4-7 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  $\gamma$ -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 4-7: Ergebnisse der Ausbreitungsberechnung für die potentielle Freisetzung beim Brand eines gebindes im LasmA

AED <sup>e)</sup>	AK <sup>f)</sup>	$\gamma$ -Bodenstrahlung		Inhalation		Ingestion	
		AP <sup>a)</sup>	$W_f^b$ [1/m <sup>2</sup> ] <sup>b)</sup>	AP <sup>a)</sup>	$A_f$ [s/m <sup>3</sup> ] <sup>c)</sup>	AP <sup>a)</sup>	$W_f^{Pf}$ [1/m <sup>2</sup> ] <sup>d)</sup>
0 – 10 $\mu$ m	D	4/130	4,1E-6	4/130	5,2E-4	4/130	1,8E-6
10 – 100 $\mu$ m			4,0E-5		-		3,0E-5

- a) AP: Aufpunkt, Sektor/Entfernung [m]  
 b)  $W_f^b$ : Ablagerungsfaktor für den Boden [1/m<sup>2</sup>]  
 c)  $A_f$ : Ausbreitungsfaktor [s/m<sup>3</sup>]  
 d)  $W_f^{Pf}$ : Ablagerungsfaktor für Pflanzen [1/m<sup>2</sup>]  
 e) AED: aerodynamisch äquivalenter Partikeldurchmesser  
 f) AK: Diffusionskategorie

Die ermittelten ungünstigsten Ausbreitungsbedingungen ergeben sich für die betrachtete Freisetzung mit Diffusionskategorie D mit 5 mm/h Niederschlag. Der Aufpunkt liegt in Sektor 4 bei einer Entfernung von 130 m direkt am Massivzaun in östlicher Richtung vom LasmA.

### 4.2.3. Ergebnisse der Dosisberechnung

Aus den in Abschnitt 4.2.1 berechneten Freisetzungsraten und den in Abschnitt 4.2.2 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 Gebäudes im LasmA

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	5,6E-3	5,1E-3	5,1E-3	4,5E-3	4,0E-3	3,4E-3
	Cs-137	0,30	0,25	0,27	0,27	0,30	0,28
	Sr-90	1,9E-3	1,4E-3	1,4E-3	1,6E-3	1,7E-3	8,2E-4
	Am-241	2,7E-4	1,0E-4	1,2E-4	1,4E-4	1,6E-4	1,8E-4
	<b>Summe</b>	0,30	0,26	0,27	0,28	0,30	0,29
10 – 100 µm	Co-60	6,6E-5	5,9E-5	5,9E-5	5,1E-5	4,5E-5	3,6E-5
	Cs-137	3,6E-5	2,8E-5	3,1E-5	3,2E-5	3,7E-5	3,6E-5
	Sr-90	2,5E-6	1,8E-6	1,7E-6	2,0E-6	2,3E-6	1,0E-6
	Am-241	2,0E-3	3,7E-4	4,2E-4	3,9E-4	3,7E-4	3,4E-4
	<b>Summe</b>	2,1E-3	4,6E-4	5,1E-4	4,8E-4	4,5E-4	4,2E-4
Summe	Co-60	5,7E-3	5,2E-3	5,1E-3	4,5E-3	4,1E-3	3,4E-3
	Cs-137	0,30	0,25	0,27	0,27	0,30	0,28
	Sr-90	1,9E-3	1,4E-3	1,4E-3	1,6E-3	1,7E-3	8,2E-4
	Am-241	2,3E-3	4,7E-4	5,4E-4	5,4E-4	5,3E-4	5,2E-4
	<b>Summe</b>	0,31	0,26	0,27	0,28	0,30	0,29

Für alle Altersklassen wird die potentielle Exposition hauptsächlich durch Cs-137 verursacht. Etwa 97 % der potentiellen Exposition entsteht dabei durch Partikel mit einem AED kleiner 10 µm. Die höchste Exposition ergibt sich für die Altersklasse bis 1 Jahr mit 0,31 mSv. Für diese Altersklasse beläuft sich der Anteil der  $\gamma$ -Bodenstrahlung an der potentiellen Exposition auf ca. 52 %. Ingestion trägt zu ca. 48 % bei. Der Anteil von Inhalation und  $\beta$ -/ $\gamma$ -Submersion beträgt weniger als 0,2 %. Für die Altersklasse der Erwachsenen (> 17 Jahre) belaufen sich die Anteile auf etwa 42 % für  $\gamma$ -Bodenstrahlung, 57 % für Ingestion und 0,4 % für Inhalation und  $\beta$ -/ $\gamma$ -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 beim Brand eines Gebäudes im LasmA für die am höchsten belastete Altersklasse bis 1 Jahr

Organ	Potentielle Dosis [mSv]							Aussch.
	$\gamma$ -Boden	$\gamma$ -Subm.	$\beta$ -Subm.	Inhal.	Subm. und Inhal.	Ing.	Summe	
ET Luftwege	0,18	4,6E-7	0	6,1E-4	6,1E-4	0,13	0,31	0,21%
Lunge	0,17	4,0E-7	0	2,5E-3	2,5E-3	0,13	0,30	0,20%
Blase	0,16	3,3E-7	0	2,8E-5	2,9E-5	0,14	0,30	0,20%
Brust	0,18	4,3E-7	0	7,6E-5	7,6E-5	0,11	0,29	0,19%
Gehirn	0,17	4,6E-7	0	2,6E-5	2,6E-5	0,13	0,29	0,19%
Haut	0,19	4,3E-7	5,6E-7	2,4E-5	2,5E-5	0,11	0,30	0,06%
Hoden	0,16	3,6E-7	0	4,5E-5	4,5E-5	0,13	0,29	0,58%
Knochenoberfläche	0,17	4,3E-7	0	8,5E-4	8,5E-4	0,21	0,38	0,13%
Leber	0,16	3,6E-7	0	1,5E-4	1,5E-4	0,14	0,30	0,20%
Speiseröhre	0,14	3,3E-7	0	7,3E-5	7,3E-5	0,13	0,27	0,18%
Magen	0,16	3,6E-7	0	4,7E-5	4,8E-5	0,15	0,30	0,20%
Dünndarm	0,15	3,3E-7	0	2,9E-5	2,9E-5	0,14	0,29	0,19%
Oberer Dickdarm	0,15	3,3E-7	0	7,6E-5	7,7E-5	0,19	0,34	0,22%
Unterer Dickdarm	0,15	3,2E-7	0	1,7E-4	1,7E-4	0,29	0,44	0,29%
Dickdarm	0,15	3,3E-7	0	1,1E-4	1,1E-4	0,23	0,38	0,25%
Milz	0,16	3,6E-7	0	6,0E-5	6,0E-5	0,13	0,29	0,19%
Muskel	0,16	3,6E-7	0	3,5E-5	3,6E-5	0,13	0,28	0,19%
Nebennieren	0,15	3,3E-7	0	8,2E-5	8,2E-5	0,14	0,28	0,19%
Nieren	0,16	3,6E-7	0	4,7E-5	4,7E-5	0,13	0,29	0,19%
Ovarien	0,15	3,1E-7	0	4,6E-5	4,6E-5	0,14	0,29	0,58%
Pankreas	0,14	3,3E-7	0	6,0E-5	6,1E-5	0,14	0,28	0,19%
Rotes Knochenmark	0,15	3,6E-7	0	1,6E-4	1,6E-4	0,14	0,30	0,59%
Schilddrüse	0,18	4,6E-7	0	3,9E-5	3,9E-5	0,13	0,31	0,21%
Thymus	0,16	4,0E-7	0	7,3E-5	7,3E-5	0,13	0,29	0,19%
Uterus	0,14	3,1E-7	0	2,8E-5	2,8E-5	0,14	0,28	0,56%
Effektive Dosis	0,16	3,6E-7	5,6E-9	3,6E-4	3,6E-4	0,15	0,31	0,61%

Die höchste Ausschöpfung des Planungswertes gemäß § 49 StrlSchV ergibt sich für die potentielle Effektive Dosis (Planungswert 50 mSv) mit 0,61 %. Somit werden die Planungswerte für das Ereignis des Brandes eines Gebäudes im LasmA deutlich unterschritten.

Der Fall des Brandes eines 20'-Containers außerhalb des LasmA kann auf den in [BS 15] betrachteten Brand eines 20'-Containers aus der Pufferlagerung auf dem Außengelände zurückgeführt werden. In [BS 15] wurde konservativ keine thermische Überhöhung berücksichtigt sowie ein Wert von 50 m für den Abstand des 20'-Containers zum Zaun verwendet. Dabei wurde am resultierenden Aufpunkt konservativ Daueraufenthalt sowie der Anbau von Lebensmitteln unterstellt. Da bei den

Ausbreitungsberechnungen keine charakteristischen meteorologischen Daten verwendet wurden, sondern die generischen meteorologischen Bedingungen gemäß [SSK 03], ist die Betrachtung in [BS 15] bis auf den Abstand zum Zaun richtungsunabhängig. Daher können die Ergebnisse für den Brand eines Containers auf dem Außengelände nach [BS 15] direkt als abdeckende Werte für den Brand eines Containers außerhalb des LasmA übernommen werden. Die entsprechenden Werte sind in Tabelle 4-10 nuklidspezifisch aufgeführt.

Tabelle 4-10: Potentielle effektive Dosis am ungünstigsten Aufpunkt für die Freisetzung beim Brand eines Containers auf dem Außengelände nach [BS 15] (abdeckende Werte für den Brand eines Containers im LasmA)

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	$1,8 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$
	Cs-137	0,88	0,85	0,85	0,81	0,78	0,74
	Sr-90	$4,7 \cdot 10^{-3}$	$4,3 \cdot 10^{-3}$	$4,3 \cdot 10^{-3}$	$4,4 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$
	Am-241	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$5,2 \cdot 10^{-4}$	$6,2 \cdot 10^{-4}$
	Summe	0,90	0,87	0,87	0,83	0,80	0,76
10 – 100 µm	Co-60	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$
	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	$7,7 \cdot 10^{-5}$	$7,0 \cdot 10^{-5}$	$6,9 \cdot 10^{-5}$	$7,2 \cdot 10^{-5}$	$6,6 \cdot 10^{-5}$	$3,9 \cdot 10^{-5}$
	Am-241	$8,5 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-6}$
	Summe	$4,4 \cdot 10^{-3}$	$4,2 \cdot 10^{-3}$	$4,1 \cdot 10^{-3}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$	$3,6 \cdot 10^{-3}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$
Summe	Co-60	$2,1 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$1,9 \cdot 10^{-2}$	$1,8 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$
	Cs-137	0,88	0,85	0,85	0,81	0,78	0,74
	Sr-90	$4,7 \cdot 10^{-3}$	$4,4 \cdot 10^{-3}$	$4,4 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$4,1 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$
	Am-241	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$5,2 \cdot 10^{-4}$	$6,3 \cdot 10^{-4}$
	Summe	0,90	0,88	0,87	0,84	0,80	0,76

Für alle Altersklassen wird die potentielle Exposition dabei 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  $\gamma$ -Bodenstrahlung an der potentiellen Exposition auf ca. 73 %. Ingestion trägt zu ca. 27 % bei. Der Anteil von Inhalation und  $\beta$ -/ $\gamma$ -Submersion beträgt weniger als 0,5 %. Für die Altersklasse der Erwachsenen (> 17 Jahre) belaufen sich die Anteile auf etwa 66 % für  $\gamma$ -Bodenstrahlung, 32 % für Ingestion und 2 % für Inhalation und  $\beta$ -/ $\gamma$ -Submersion.





### **4.3. Bewertung**

Sowohl für das Ereignis „Absturz eines Gebindes“ als auch für das Ereignis „Brand eines Gebindes“ liegt die maximal zu erwartende potentielle Dosis deutlich unterhalb des Planungswerts gemäß § 50 StrlSchV (in Verbindung mit § 117 Abs. 16 StrlSchV). Die Altersgruppe der Säuglinge ( $\leq 1$  Jahr) ist in beiden Fällen die potentiell am stärksten belastete Altersgruppe. Für das Ereignis „Absturz eines Containers“ schöpft die potentielle Effektivdosis mit 0,78 mSv den Planungswert von 50 mSv zu ca. 1,6 % aus.

Bei der Betrachtung für das Ereignis „Brand eines Containers im Handhabungsbereich des LasmA“ ergibt sich die höchste Ausschöpfung durch die potentielle Effektivdosis von 0,31 mSv bei der Altersgruppe der Säuglinge mit 0,61 %. Für den „Brand eines Containers außerhalb des LasmA“ ergibt sich die höchste Ausschöpfung durch die potentielle Effektivdosis von 0,9 mSv bei der Altersgruppe der Säuglinge mit 1,8 %.



## 5. QUELLEN

- [ATG 12] ATOMGESETZ  
Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz)  
Atomgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565), das zuletzt durch Artikel 5 Absatz 6 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist
- [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
- [BFT 14] BFT COGNOS GMBH  
Brandschutzkonzept – LasmA Brunsbüttel  
Gen. Dok. Nr. LAB/100/001, KKB-Nr. ZP30-BS-BER-0001-00-G, Aachen, 20.06.2014
- [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] W.U. BOETSCH, D. GRÜNDLER, J. THIEL  
Identification of release rates as a consequence of thermal impact on RADWASTE – Exper-  
imental Studies; WM’06 Conference, February 2006, Tucson, AZ
- [BS 15] BRENK SYSTEMPLANUNG GMBH  
Kernkraftwerk Brunsbüttel – 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  
Aachen, 22.12.2015
- [DIN 93] DIN EN 481  
Arbeitsplatzatmosphäre – Festlegung der Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetra-  
gener Partikel  
Berlin: Beuth 1993
- [DOE 94] U.S. DEPARTMENT OF ENERGY  
DOE Handbook Airborne Release Fractions/Rates and Respirable Fractions for Nonreactor  
Nuclear Facilities Volume I - Analysis of Experimental Data  
DOE-HDBK-3010-94, 1994
- [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 Kon-  
ditionierung 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



- [GRS 11] GESELLSCHAFT FÜR ANLAGEN- UND REAKTORSICHERHEIT (GRS) MBH  
Bewertung der Abklinglagerung von Großkomponenten aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen in Deutschland  
Abschlussbericht, GRS-A-3626, September 2011
- [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
- [MCC 07] MCCLURE, P  
In-Facility Transport Modeling (Leak Path Factor Determination)  
Nuclear Design and Risk Analysis Group Los Alamos National Laboratory  
Presented to FCOG 2007, Revised May 2007  
LA-UR-05-2879
- [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: Berechnung der Strahlenexposition. Empfehlung der SSK verabschiedet in der 186. Sitzung am 11.09.2003
- [SSV 12] STRAHLENSCHUTZVERORDNUNG (STRLSCHV) IN DER FASSUNG VOM 20. JULI 2001  
Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV)  
vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714; 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
- [VDI 85] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE  
Ausbreitung von Luftverunreinigungen in der Atmosphäre  
Berechnung der Abgasfahnenüberhöhung  
VDI 3782 Blatt 3  
Juni 1985