



**Brenk
Systemplanung**

Ingenieurgesellschaft für wissenschaftlich
technischen Umweltschutz

Endbericht

**Berechnung der potentiellen
Strahlenexposition in der
Umgebung des Kernkraftwerks
Brunsbüttel**

BS-Projekt-Nr. 1401-01
Bestellung Nr. 45001595/KC5/0711

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. C, Aachen, 28.09.2016

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.

PRÜFUNG UND FREIGABE

erstellt	geprüft	freigegeben



INHALTSVERZEICHNIS

Seite:

ZUSAMMENFASSUNG

1. EINLEITUNG.....	1
2. STANDORTGEGEBENHEITEN.....	2
3. ÜBERWACHUNG DER AUSBREITUNGSVERHÄLTNISSE.....	5
3.1. Instrumentierung im KKB	5
3.2. Ermittlung der Ausbreitungsfaktoren.....	5
3.3. Generelle Ausbreitungssituation	8
3.4. Vergleich der einzelnen Betrachtungszeiträume	10
3.5. Bewertung der Ausbreitungssituation	11
4. BEGRENZUNG DER STRAHLENEXPOSITION DER BEVÖLKERUNG.....	12
4.1. Potentielle Exposition durch Ableitung radioaktiver Stoffe.....	12
4.1.1. Potentielle Exposition durch Ableitungen mit der Fortluft.....	13
4.1.2. Potentielle Exposition durch Ableitungen mit dem Abwasser	22
4.2. Potentielle Exposition durch Direktstrahlung	22
4.2.1. Gammastrahlung aus dem KKB.....	22
4.2.2. Neutronenstrahlung aus dem SZB.....	24
4.2.3. Summe der Exposition durch Direktstrahlung aus KKB und SZB.....	25
4.2.4. Potentielle Exposition durch Direktstrahlung aus dem Lasma.....	27
4.2.5. Direktstrahlung durch das geplante Pufferlager.....	30
4.3. Potentielle Gesamtexposition.....	32
4.4. Bewertung.....	33
5. QUELLEN	34

TABELLENVERZEICHNIS

Seite:

Tabelle 4-1:	Grenzwerte für die durch Ableitungen mit der Fortluft bedingten Strahlenexpositionen (effektive Dosis und Organdosen) gemäß § 47 StrlSchV	12
Tabelle 4-2:	Jahresverbrauch an Lebensmitteln der Referenzpersonen zur Berechnung der potentiellen Strahlenexposition durch Ingestion gemäß StrlSchV, Mengen in kg/a.....	13
Tabelle 4-3:	Grenzwert der Aktivitätskonzentration gemäß Anlage VII Teil D StrlSchV (inklusive Faktor 10) [Bq/m ³]	16
Tabelle 4-4:	Berechnete Strahlenexposition aus Ableitungen mit der Fortluft aus dem KKB und dem geplanten LasmA, Wert jeweils für die am höchsten exponierte Altersgruppe der Säuglinge am ungünstigsten Aufpunkt (siehe Abbildung 4-1 und Abbildung 4-2)	19
Tabelle 4-5:	Berechnete Strahlenexposition aus Ableitungen mit der Fortluft aus dem KKB und dem geplanten LasmA, Wert jeweils für die am höchsten exponierte Altersgruppe der Säuglinge am Ort der nächsten Wohnbebauung (siehe Abbildung 4-1 und Abbildung 4-2)	20
Tabelle 4-6:	Berechnete Strahlenexposition aus Ableitungen mit der Fortluft aus dem KKB und dem geplanten LasmA, Wert jeweils für die am höchsten exponierte Altersgruppe der Säuglinge an verschiedenen Aufpunkten (siehe Abbildung 4-1)	21
Tabelle 4-7:	Ortsdosiswerte (Gamma-Ortsdosis inklusive Umgebungsstrahlung) für 2012 in der Umgebung des KKB (Messungen des Betreibers)	23
Tabelle 4-8:	Ortsdosiswert (Neutronen) für 2012 in der Umgebung des KKB (Messungen des Betreibers).....	24
Tabelle 4-9:	Abschätzung der durch die Anlage verursachten (anlagebedingten) Ortsdosiswerte (Differenz der ermittelten bzw. abgeschätzten Ortsdosis zur Ortsdosis der Umgebungsstrahlung) für 2012 in der Umgebung des KKB (kursiv dargestellte Zeilen stellen Abschätzungen der messunsicherheitsbedingten Obergrenzen dar).....	26
Tabelle 4-10:	Abschätzung der anlagenbedingten potentiellen Personen-Dosiswerte (Differenz der ermittelten bzw. abgeschätzten Gamma-Ortsdosis zur Gamma-Ortsdosis der Umgebungsstrahlung) für 2012 in der Umgebung des KKB (kursiv dargestellte Zeilen stellen Abschätzungen der messunsicherheitsbedingten Obergrenzen dar).....	27
Tabelle 4-11:	Berechnete ODL in mSv/h für ein Gebäude, in dem transportfähige Gebinde gelagert werden	28
Tabelle 4-12:	Berechnete Personendosis für verschiedene Aufpunkte	29



Tabelle 4-13:	Aktivitäten [Bq] (Co-60) für einzelne Bereiche der Pufferlagerung (siehe Abbildung 2-2) zur Berechnung der Exposition durch Direktstrahlung an den einzelnen Dosisaufpunkten	31
Tabelle 4-14:	Personendosis in mSv/Kalenderjahr für ausgewählte Aufpunkte gemäß [BS 15] (kursiv dargestellt sind die Umrechnungen gemäß Text), Aktivität in den jeweiligen Bereichen gemäß Tabelle 4-13	31
Tabelle 4-15:	Zusammenfassung der einzelnen Expositionen (konservativ abgeschätzte Obergrenzen für die am höchsten exponierte Altersgruppe der Säuglinge) zur Bewertung gemäß § 46 StrlSchV (kursiv dargestellte Zeilen sind Ergebnisse für Teilpfade und gehen nicht in die Summierung ein)	33

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Seite:

Abbildung 2-1:	Kernkraftwerk Brunsbüttel, Fotografie des Kraftwerks von Südwest nach Nordost [VAT 12].....	2
Abbildung 2-2:	KKB-Gelände, Lage des geplanten LasmA und der geplanten Pufferlagerflächen (erstellt auf Basis von Google Earth™ Pro Kartenservice Material).....	4
Abbildung 3-1:	Messpunkte zur Bestimmung der Ortsdosisleistung und der jährlich akkumulierten Ortsdosis in der Kraftwerksumgebung, Lage des Messhauses Büttel und Ausbreitungsfaktoren berechnet aus der 4-parametrischen Statistik für 2001 bis 2005	6
Abbildung 3-2:	Lage des Messhauses Büttel und Ablagerungsfaktoren, berechnet aus der 4-parametrischen Statistik für 2001 bis 2005	7
Abbildung 3-3:	Verteilung der Windrichtungshäufigkeiten für die Betrachtungszeiträume 2001 bis 2005, 2006 bis 2009 und 2012 (Häufigkeit in % auf den Radialachsen, Sektornummer auf dem Umkreis).....	8
Abbildung 3-4:	Verteilung der Niederschlagsmengen nach Sektoren für die Betrachtungszeiträume 2001 bis 2005 und 2006 bis 2009 (mittlere Jahresniederschlagsmenge auf den Radialachsen, Sektornummer auf dem Umkreis).....	9
Abbildung 3-5:	Verteilung der Häufigkeiten einzelner Niederschlagsklassen für die Betrachtungszeiträume 2001 bis 2005 und 2006 bis 2009	10
Abbildung 3-6:	Verteilung der Häufigkeiten einzelner Windgeschwindigkeitsklassen für die Betrachtungszeiträume 2001 bis 2005, 2006 bis 2009 und 2012.....	10
Abbildung 3-7:	Verteilung der Häufigkeiten einzelner Ausbreitungsklassen (A bis F) für die Betrachtungszeiträume 2001 bis 2005, 2006 bis 2009 und 2012.....	11
Abbildung 4-1:	Umgebung des KKB und potentielle Dosis durch äußere Exposition und Inhalation bei Ableitungen mit der Fortluft (KKB und LasmA), erstellt auf Basis von Google Earth™ Pro Kartenservice Material	17
Abbildung 4-2:	Umgebung des KKB und potentielle Dosis durch Ingestion bei Ableitungen mit der Fortluft (KKB und LasmA) , erstellt auf Basis von Google Earth™ Pro Kartenservice Material	18
Abbildung 4-3:	Berechnete Exposition durch Direktstrahlung (ODL) für ein Gebäude, in dem transportfähige Gebinde gelagert werden	29

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ADR	Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route (deutsch: Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße)
AVV	Allgemeine Verwaltungsvorschrift, hier speziell Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung
BS	Brenk Systemplanung GmbH
BSAVVL	Computerprogramm der Brenk Systemplanung GmbH zur Umsetzung der Berechnungsvorschriften der AVV zu § 47 Strahlenschutzverordnung (Ableitungen mit der Fortluft)
BSAVVW	Computerprogramm der Brenk Systemplanung GmbH zur Umsetzung der Berechnungsvorschriften der AVV zu § 47 Strahlenschutzverordnung (Ableitungen mit dem Abwasser)
KBR	Kernkraftwerk Brokdorf
KKS	Kernkraftwerk Stade
KKB	Kernkraftwerk Brunsbüttel
KTA	Kerntechnischer Ausschuss
LasmA	Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle
ODL	Ortsdosisleistung
REI	Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung
SZB, SZL	Standortzwischenlager Brunsbüttel (Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente)
TBH	Transportbereitstellungshalle

1. EINLEITUNG

Im November 2012 wurde ein vorbehaltlicher Antrag auf Stilllegung und Abbau des KKB bei der zuständigen Genehmigungsbehörde gestellt [VAT 13]. 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.

Für die Stilllegung und den Abbau des KKB wurden die gleichen maximal zulässigen Jahresabgaben von Aerosolen und radioaktiven Gasen wie im Leistungsbetrieb beantragt [KKB 12]. Es ist geplant, mit der nächsten Revision des Antrags für die Stilllegung und den Abbau des KKB die für den Leistungsbetrieb genehmigten Abgabewerte für radioaktive Gase auf die im Sicherheitsbericht [VAT 13] angegebenen Werte zu reduzieren.

Die gegenwärtige Planung sieht vor, ein Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle (Lasma) zu errichten. Dort sollen konditionierte Gebinde, Großkomponenten oder Reststoffe in 20'-Containern eingelagert werden, so dass eine Abgabe an ein Bundesendlager möglich ist (im Wesentlichen Berücksichtigung 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 Verpackungen auf Pufferflächen auf dem Betriebsgelände temporär zwischenzulagern bzw. bereitzustellen.

Im vorliegenden Bericht wird untersucht, inwieweit der in § 46 StrlSchV [SSV 14] festgelegte Grenzwert der effektiven Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung von 1 mSv im Kalenderjahr während der Stilllegung und des Abbaus des KKB unter Berücksichtigung der Vorbelastung aus dem Standort-Zwischenlager (SZB), des zukünftigen Betriebs des Lasma und der beabsichtigten Pufferlagerung eingehalten wird.

In Kapitel 2 dieses Berichts werden zunächst relevante Standortgegebenheiten einschließlich des Planungsstands für die Errichtung des Lasma und die beabsichtigte Pufferlagerung vorgestellt.

In Kapitel 3 dieses Berichts wird die während des Leistungsbetriebs des KKB durchgeführte Überwachung der Ausbreitungsverhältnisse analysiert. Aus dieser Analyse werden Schlussfolgerungen für die in Kapitel 4 durchgeführten Ausbreitungsberechnungen gezogen.

In Kapitel 4 dieses Berichts wird die potentielle Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung ermittelt. Dabei werden Beiträge durch Ableitungen mit der Fortluft, Ableitungen mit dem Abwasser und durch Direktstrahlung berücksichtigt.

2. STANDORTGEGEBENHEITEN

Der Standort des Kernkraftwerks befindet sich in unmittelbarer Elbnähe ca. 3,0 m ü. NN. Abbildung 2-1 zeigt einen Überblick über das Kraftwerksgelände und die Umgebung. Das Gelände am Standort ist nahezu eben.



Abbildung 2-1: Kernkraftwerk Brunsbüttel, Fotografie des Kraftwerks von Südwest nach Nordost [VAT 12]

Das KKB-Gelände und die geplante Lage des Lasma sind in Abbildung 2-2 dargestellt. Grün eingezeichnet sind maßgebliche Gebäude auf dem Gelände. Für das Lasma wurden Lage und Ausdehnung aus dem Planungsstand übernommen [NUK 14]. Die nach derzeitigem Planungsstand vorgesehenen, optionalen Pufferflächen sind in Abbildung 2-2 gelb markiert und als Bereich mit den Nummern 0, 1, 2, 4, 5, 6, 7 und 9 gekennzeichnet.¹

Die in Abbildung 2-2 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 wird für die Dosisberechnung eine Aufenthaltsdauer von 8.760 h im Kalenderjahr postuliert. Eine Ausnahme bildet der Bereich südlich des Anlagengeländes am Elbufer. Nach § 70 Landeswassergesetz Schleswig-Holstein ist 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

¹ Bei den Berechnungen waren ursprünglich zwei weitere Bereiche (3 und 8) vorgesehen. Auf diese Bereiche wird jetzt verzichtet, die Nummerierung der Bereiche wird im Bericht jedoch beibehalten, so dass Bereiche mit den Nummern 3 und 8 nicht vorhanden sind.



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

Bei der Ermittlung der potentiellen Dosis durch Direktstrahlung von den geplanten Pufferflächen sowie der potentiellen Dosis durch Ableitungen mit der Fortluft sind in [BS 15] (siehe Abschnitt 4.2.5) und in diesem Bericht verschiedene Aufpunkte definiert. Diese sind als rote Punkte in Abbildung 2-2 dargestellt (siehe Abschnitt 4.1.1, Abschnitt 4.2 und Abschnitt 4.3). Die angefügten Nummerierungen sind identisch mit den in [BS 15] verwendeten Nummerierungen.



Abbildung 2-2: KKB-Gelände, Lage des geplanten Lasma und der geplanten Pufferlagerflächen (erstellt auf Basis von Google Earth™ Pro Kartenservice Material)

3. ÜBERWACHUNG DER AUSBREITUNGSVERHÄLTNISSE

3.1. Instrumentierung im KKB

Im KKB war bis 2008 gemäß [KKB 08] eine betriebsbewährte Instrumentierung zur Ermittlung der Ausbreitung radioaktiver Stoffe auf Basis der KTA 1508, Fassung 09/88 [KTA 88] vorhanden. Die an die Instrumentierung zu stellenden sicherheitstechnischen Anforderungen wurden erfüllt. Mit Hilfe der meteorologischen Instrumentierung werden u. a. die für die Ausbreitungsberechnung benötigten meteorologischen Größen Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Niederschlagsintensität und Ausbreitungsklasse bestimmt. Mit Hilfe der Ausbreitungsklassen werden atmosphärische Turbulenzzustände klassifiziert. Die gemäß [KTA 06] anzuwendende Klassifizierung sieht folgende Klasseneinteilung vor:

- Ausbreitungsklasse A (sehr labil)²,
- Ausbreitungsklasse B (labil),
- Ausbreitungsklasse C (neutral labil),
- Ausbreitungsklasse D (neutral stabil),
- Ausbreitungsklasse E (stabil) und
- Ausbreitungsklasse F (sehr stabil).

Den Ausbreitungsklassen werden in einem Modell Ausbreitungsparameter zugeordnet, die die Diffusion in der Atmosphäre mit Hilfe eines Gauß-Fahnenmodells beschreiben. Für labile Ausbreitungsbedingungen erfolgt eine sehr schnelle vertikale Vermischung. Ableitungen werden schnell verdünnt, erreichen dadurch aber bei hohen Emissionshöhen sehr schnell den Boden. Bei stabilen Ausbreitungssituationen erfolgt nur eine geringe vertikale Vermischung. Ableitungen werden nur gering verdünnt, erreichen jedoch bei großen Emissionshöhen den Boden erst in großer Entfernung vom Emissionsort.

2008 erfolgte der Umbau der meteorologischen Instrumentierung im KKB auf eine neue Technik. Bei der Umstellung der Technik wurden gemäß [KKB 08] die Anforderungen der KTA 1508, Fassung 11/06 [KTA 06] berücksichtigt.

3.2. Ermittlung der Ausbreitungsfaktoren

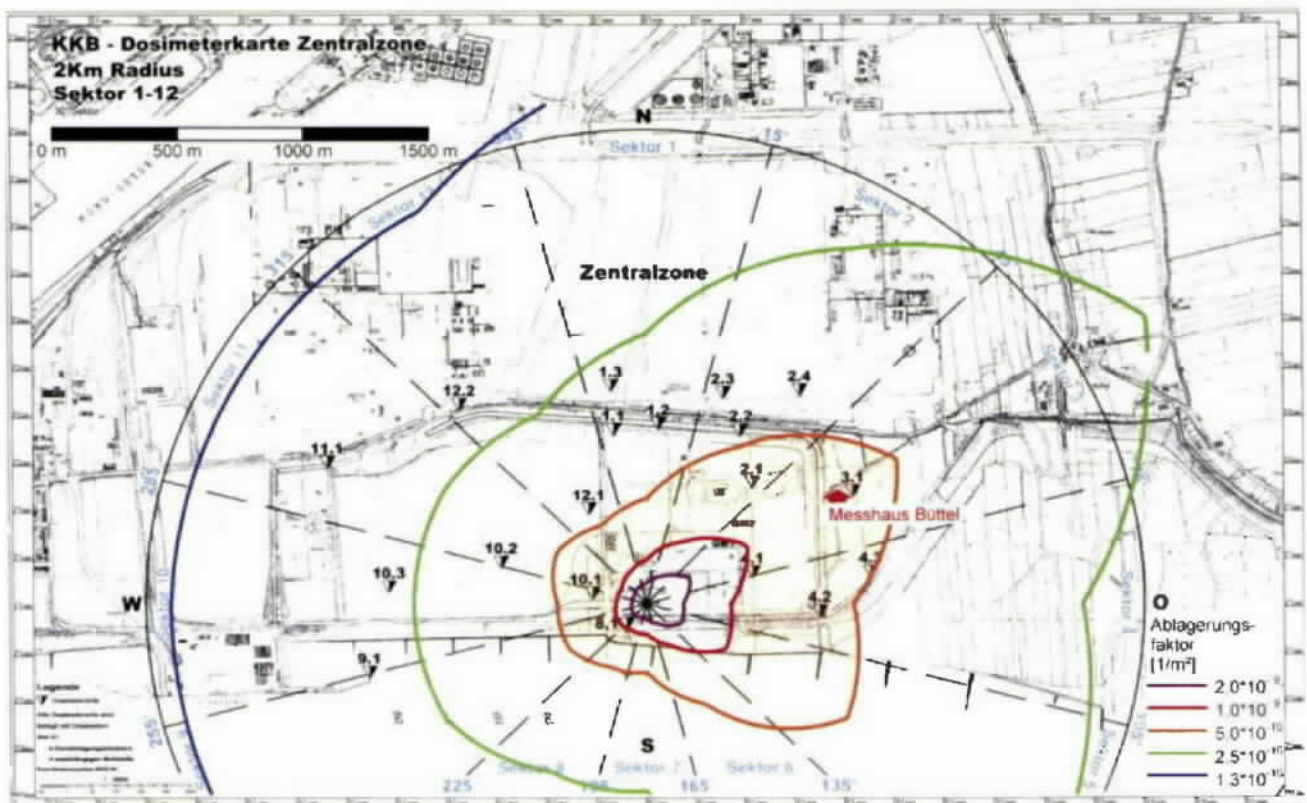
In [BS 06] wurde zur Berechnung der potentiellen Strahlenexposition bei Ableitungen mit der Fortluft im bestimmungsgemäßen Betrieb eine 4-parametrische Wetterstatistik gemäß KTA 1508 [KTA 06] für den Zeitraum 2001 bis 2005 ausgewertet. Aus dieser Statistik wurden Langzeitausbreitungs- und Ablagerungsfaktoren ermittelt. Langzeitausbreitungsfaktoren [s/m^3] sind die mit der (zeitlich konstanten) Ableitungsrate [Bq/s] normierten zeitlich gemittelten Aktivitätskonzentrationen [Bq/m^3] an einem bestimmten Ort. Langzeitausbreitungsfaktoren sind (näherungsweise)³ nur

² Stabilitätsangaben bezüglich vertikaler Vermischung

³ Diese näherungsweise Unabhängigkeit von Stoffeigenschaften gilt nur, wenn keine Abreicherung durch Ablagerung berücksichtigt wird. Eine solche Näherung ist für kurze Ausbreitungsdistanzen (2.000 m) ohne praktische Auswirkung auf das Berechnungsergebnis, für größere Ausbreitungsdistanzen ist die Näherung konservativ.

Aus Abbildung 3-1 kann entnommen werden, dass die räumliche Verteilung des Ausbreitungsfaktors zwei lokale Maxima aufweist. Das Maximum in Sektor 3 korreliert mit der Hauptwindrichtung (Wind aus Sektor 9 (240°), siehe Abbildung 3-3). Das Maximum in Sektor 11 (300°) wird durch eine Nebenwindrichtung (Wind aus Sektor 5 (120°)) verursacht. Hier tritt auch der höchste berechnete Ausbreitungsfaktor mit $1,7 \cdot 10^{-7} \text{ s/m}^3$ auf. Ausschlaggebend für die ermittelten hohen Ausbreitungsfaktoren in diesem Sektor ist der relativ hohe Anteil an labilen Ausbreitungssituationen (siehe Abbildung 3-7 sowie Erläuterung zu den Ausbreitungsklassen oben). Die Ausdehnung dieses lokalen Maximums für den Ausbreitungsfaktor bleibt daher auf die unmittelbare Kraftwerksnähe begrenzt.

Abbildung 3-2 zeigt die räumliche Verteilung der ermittelten Ablagerungsfaktoren. Der Wert nimmt mit zunehmendem Abstand vom Abluftkamin ab (Konzentrationslinien zeigen jeweils Halbierung der Werte an), wobei bei konstantem Abstand jeweils im Sektor 3 die höchsten Werte zu finden sind. Dies korreliert mit der Windrichtung, bei deren Auftreten die höchsten Niederschlagsmengen beobachtet werden (siehe Abbildung 3-4, 210 mm pro Jahr für den Zeitraum 2001 bis 2005 bei Wind aus Sektor 9).



KKT.

Abbildung 3-2: Lage des Messhauses Büttel und Ablagerungsfaktoren, berechnet aus der 4-parametrischen Statistik für 2001 bis 2005

Das Messhaus Büttel befindet sich in Hauptausbreitungsrichtung auf einer Fläche, die ein lokales Maximum für den Ausbreitungsfaktor umschließt. Bezüglich des ermittelten Ablagerungsfaktors liegt das Messhaus in der Richtung der größten auftretenden Werte. Deutlich höhere Werte für den Ablagerungsfaktor als am Ort des Messhauses sind theoretisch nur für das Gelände innerhalb des Kraftwerkszauns zu erwarten. Die Lage des Messhauses ist daher für den Zweck der Umgebungsüberwachung als geeignet anzusehen.

Aus den meteorologischen Messungen für den Zeitraum 2006 bis 2009 sowie 2012 wurden 4-dimensionale Ausbreitungsstatistiken erstellt. Windrichtungen, Windgeschwindigkeiten, Niederschlagsmengen (nicht für 2012) und Ausbreitungsklassen wurden mit den jeweiligen Daten aus dem Zeitraum 2001 bis 2005 verglichen.

3.3. Generelle Ausbreitungssituation

In Abbildung 3-3 ist die Verteilung der Windrichtungshäufigkeit auf die einzelnen Sektoren wiedergegeben.

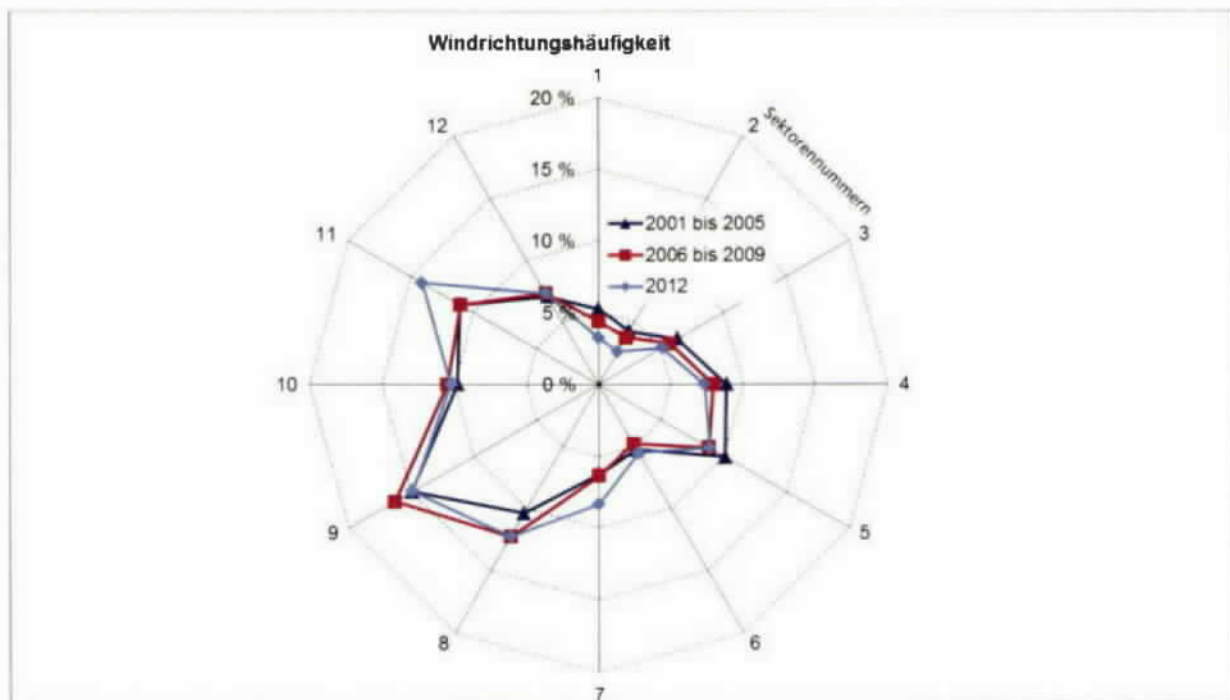


Abbildung 3-3: Verteilung der Windrichtungshäufigkeiten für die Betrachtungszeiträume 2001 bis 2005, 2006 bis 2009 und 2012 (Häufigkeit in % auf den Radialachsen, Sektornummer auf dem Umkreis)

Am häufigsten wird Wind aus Sektor 9 beobachtet. Die Sektoren 8, 10 und 11 weisen annähernd ähnlich große Häufigkeiten auf (Westwind). Ein zweites kleineres Maximum erkennt man für Wind

aus den Sektoren 4 und 5 (Ostwind). Am wenigsten häufig werden dagegen Wind aus den Sektoren 1, 2 und 3 sowie Wind aus den Sektoren 6 und 7 beobachtet.

In Abbildung 3-4 ist die mittlere jährliche Niederschlagsmenge, die bei den auftretenden Windrichtungen beobachtet wird (Niederschlagswindrose), dargestellt. Die meisten Niederschläge sind mit den Hauptwindrichtungen (Sektoren 9 - 11) verbunden. Die Sektoren 12 bis 6 sind mit vergleichsweise geringen Niederschlägen vertreten. Die südlichen Sektoren 7 und 8 bilden einen Übergangsbereich.

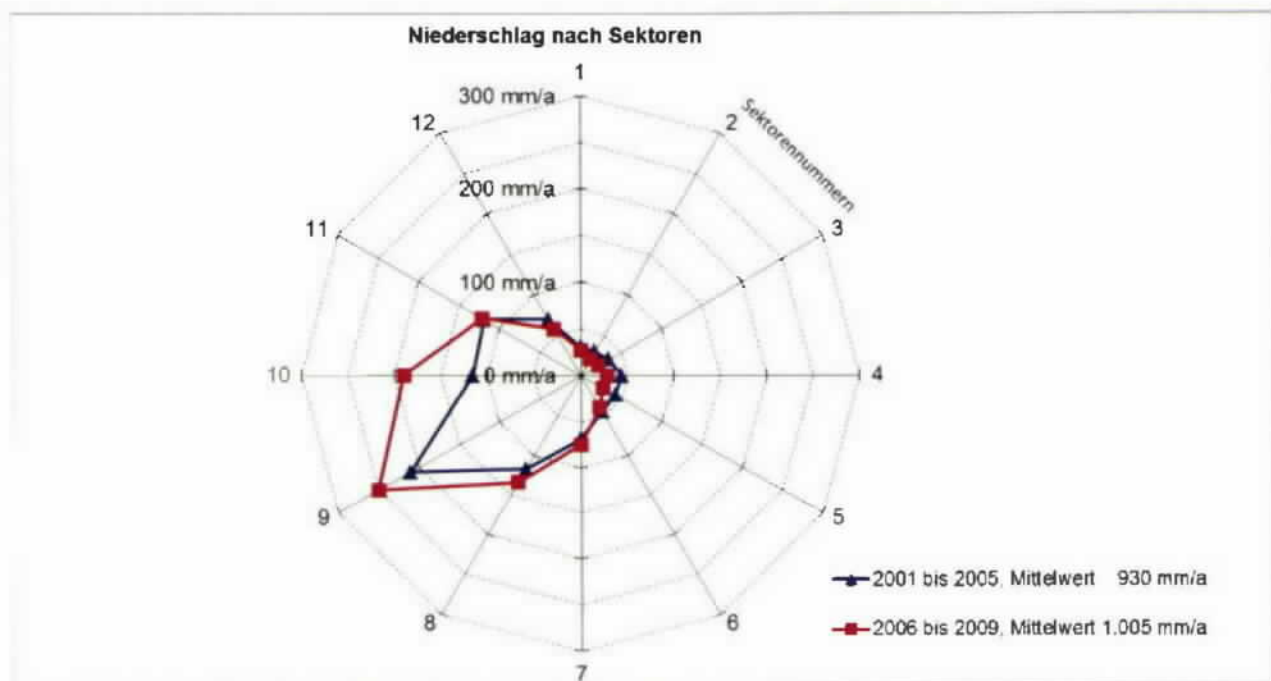


Abbildung 3-4: Verteilung der Niederschlagsmengen in Abhängigkeit von der Windrichtung (nach Sektoren) für die Betrachtungszeiträume 2001 bis 2005 und 2006 bis 2009 (mittlere Jahresniederschlagsmenge auf den Radialachsen, Sektornummer auf dem Umkreis)

In Abbildung 3-5 ist die Häufigkeit der beobachteten Niederschlagsintensitäten (aufgeteilt in vier Klassen) dargestellt. In ca. 80 % der Beobachtungsintervalle (Intervalllänge jeweils eine Stunde) wird kein Niederschlag beobachtet.

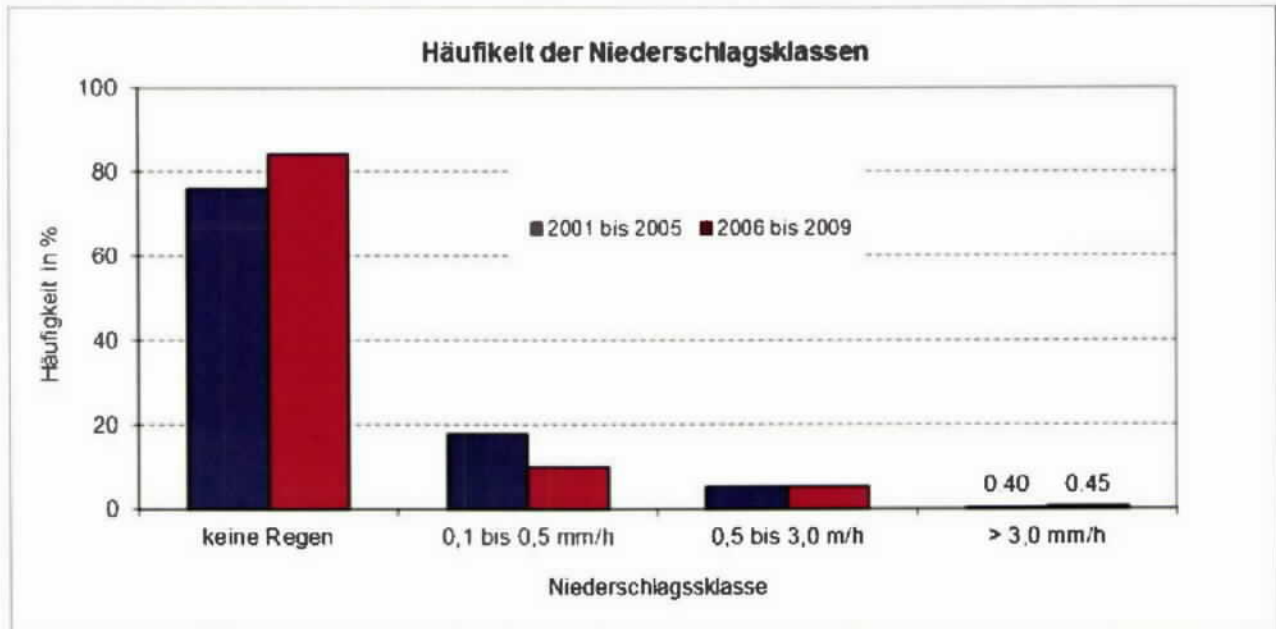


Abbildung 3-5: Verteilung der Häufigkeiten einzelner Niederschlagsklassen für die Betrachtungszeiträume 2001 bis 2005 und 2006 bis 2009

3.4. Vergleich der einzelnen Betrachtungszeiträume

Die Verteilung der Windrichtungshäufigkeiten und der Windgeschwindigkeiten ist für alle Betrachtungszeiträume nahezu gleich (siehe Abbildung 3-3 und Abbildung 3-6).

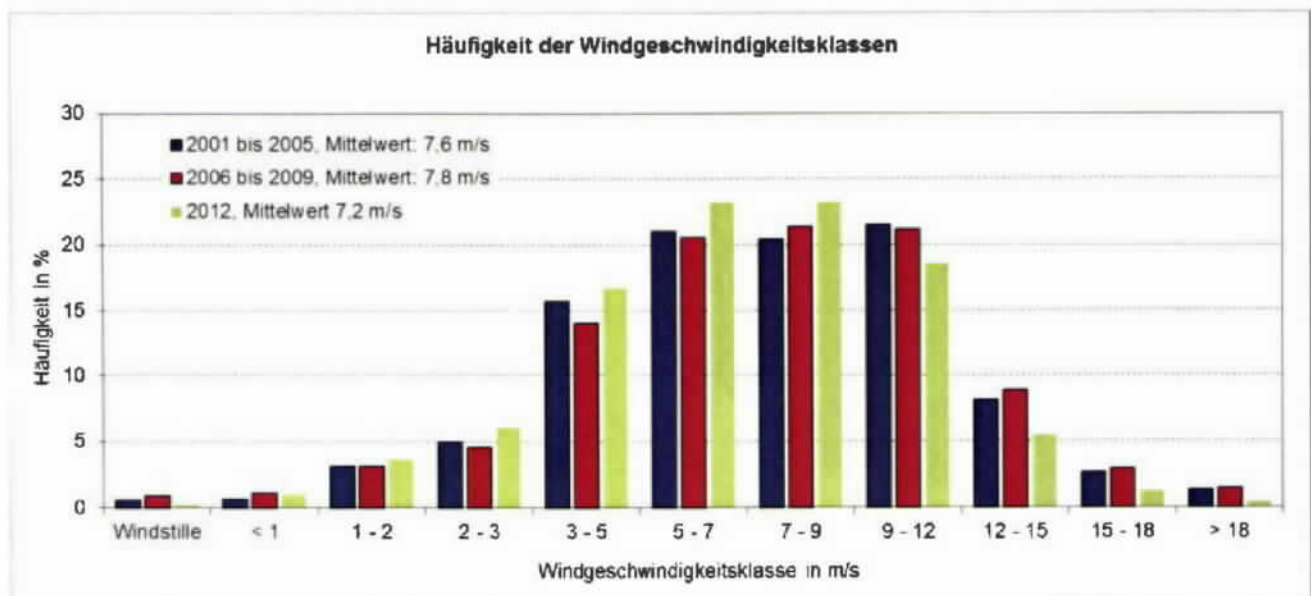


Abbildung 3-6: Verteilung der Häufigkeiten einzelner Windgeschwindigkeitsklassen für die Betrachtungszeiträume 2001 bis 2005, 2006 bis 2009 und 2012

Im Zeitraum 2006 bis 2009 sind etwa 7 % mehr Niederschläge gefallen (verteilt auf die Sektoren 8 bis 10) als im Zeitraum 2001 bis 2005 (siehe Abbildung 3-4), die Häufigkeit von Beobachtungsintervallen mit Niederschlag ist dagegen im Zeitraum 2001 bis 2005 geringfügig größer (siehe Abbildung 3-5).

Die Häufigkeit der stabilen Ausbreitungssituationen (insbesondere Ausbreitungsklasse E) ist im Betrachtungszeitraum 2006 bis 2009 geringfügig höher als im Betrachtungszeitraum 2001 bis 2005 (siehe Abbildung 3-7). Für 2012 werden dagegen mehr labile Ausbreitungssituationen (Ausbreitungsklassen A und B) vorgefunden. Insgesamt lässt sich feststellen, dass die Unterschiede in den Ausbreitungsbedingungen zwischen den beiden längeren Betrachtungszeiträumen gering sind. Die für 2012 (siehe Abbildung 3-7) ermittelte Verteilung der Ausbreitungsklassen liegt im Bereich der zu erwartenden jährlichen Schwankungen.

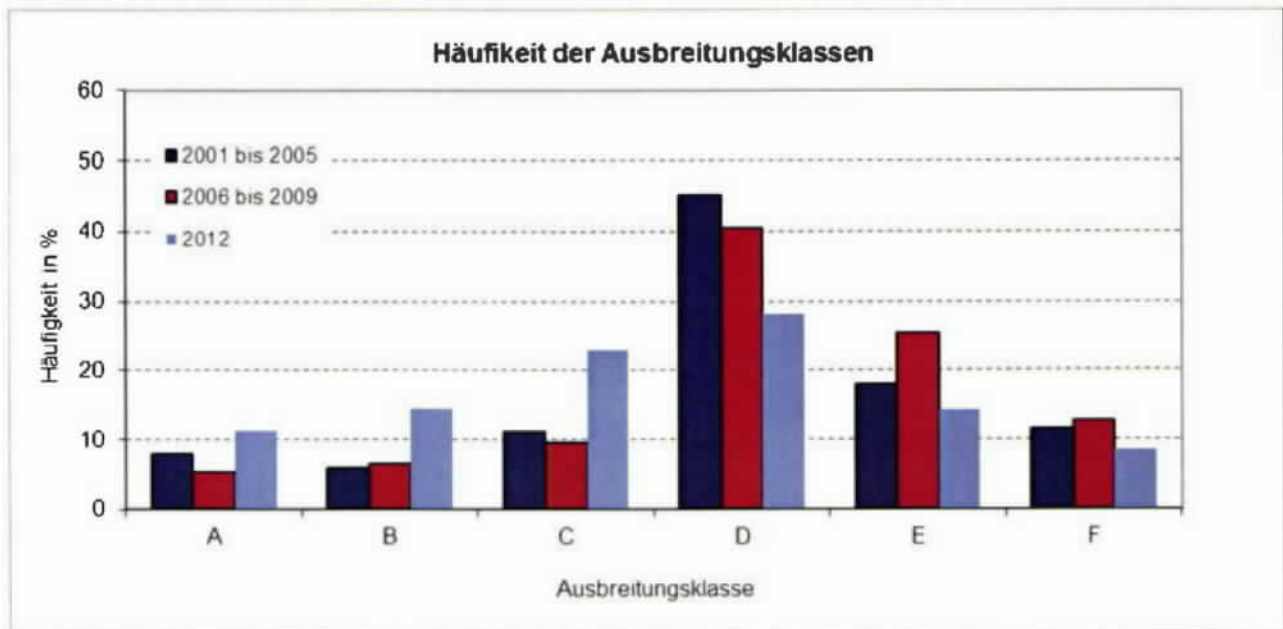


Abbildung 3-7: Verteilung der Häufigkeiten einzelner Ausbreitungsklassen (A bis F) für die Betrachtungszeiträume 2001 bis 2005, 2006 bis 2009 und 2012

3.5. Bewertung der Ausbreitungssituation

Die Betrachtungen zur Begrenzung der Strahlenexposition der Bevölkerung gemäß § 46 StrlSchV in diesem Bericht gelten daher auch für den Zeitraum des Restbetriebes. Die Aussage zur Lage des Messhauses Büttel gilt unverändert.

4. BEGRENZUNG DER STRAHLENEXPOSITION DER BEVÖLKERUNG

In § 46 StrlSchV wird festgelegt, dass der Grenzwert der effektiven Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung 1 mSv im Kalenderjahr beträgt. Dies gilt für die Summe der Strahlenexposition aus Direktstrahlung und der Strahlenexposition aus Ableitungen gemäß § 47 StrlSchV. Die für die Strahlenexposition aus Direktstrahlung maßgebenden Aufenthaltszeiten richten sich nach den räumlichen Gegebenheiten der Anlage oder Einrichtung oder des Standortes. Liegen keine begründeten Angaben für die Aufenthaltszeiten vor, ist Daueraufenthalt anzunehmen.

4.1. Potentielle Exposition durch Ableitung radioaktiver Stoffe

Gemäß § 47 Abs. 1 StrlSchV gelten für den Betrieb, die Stilllegung und den Abbau von Anlagenkomponenten oder Einrichtungen die in Tabelle 4-1 angegebenen Grenzwerte für die Strahlenexposition von Einzelpersonen der Bevölkerung im Kalenderjahr, die durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft oder dem Abwasser (für jeden Teilableitungspfad einzeln einzuhalten) aus diesen Anlagen oder Einrichtungen verursacht werden.

Tabelle 4-1: Grenzwerte für die durch Ableitungen mit der Fortluft bedingten Strahlenexpositionen (effektive Dosis und Organdosen) gemäß § 47 StrlSchV

Effektive Dosis/Organdosis	Grenzwert in $\mu\text{Sv/a}$
Effektive Dosis	300
Organdosis für Keimdrüsen (Ovarien, Hoden), Gebärmutter, Rotes Knochenmark	300
Organdosis für Dickdarm, Lunge, Magen, Blase, Brust, Leber, Speiseröhre, Schilddrüse, andere Organe und Gewebe gemäß Anlage VI Teil C Nr. 2 StrlSchV	900
Organdosis für Knochenoberfläche und Haut	1.800

Die Strahlenexposition für eine Referenzperson ist an den ungünstigsten Einwirkungsstellen unter Berücksichtigung der in Anlage VII Teil A bis C der StrlSchV genannten Expositionspfade, Lebensgewohnheiten der Referenzperson und übrigen Annahmen zu ermitteln. Die zuständige Behörde kann davon ausgehen, dass die Grenzwerte der Tabelle 4-1 eingehalten sind, wenn dies unter Zugrundelegung der allgemeinen Verwaltungsvorschrift (AVV) zu § 47 StrlSchV [AVV12] nachgewiesen wird.

Bei der Berechnung der Dosis durch äußere Strahlung und Inhalation bei Ableitungen mit der Fortluft wird entsprechend StrlSchV Daueraufenthalt (8.760 h pro Jahr) zu Grunde gelegt. Bei der Berechnung der Dosis durch Bodenstrahlung bei Ableitungen mit dem Abwasser wird entsprechend StrlSchV eine Aufenthaltsdauer von 1.000 h pro Jahr (Bestimmung des Teilpfades mit maximaler Strahlenexposition) zu Grunde gelegt. Für eine potentielle Belastung durch beide Ableitungswege kann eine Addition nur dann erfolgen, wenn beide Aufenthaltsflächen (Sediment bzw. Ort der höchsten Belastung durch Fortluftableitung) identisch sind. Konservativ wird dies hier unterstellt.

Die Berechnung der Dosis durch Ingestion geht sowohl für die Ableitungen mit der Fortluft als auch für die Ableitungen mit dem Abwasser von den gleichen, jeweils in den Berechnungsgrundlagen dokumentierten, Verzehrsmengen⁴, die nachfolgend in Tabelle 4-2 aufgeführt sind, aus.

Tabelle 4-2: Jahresverbrauch an Lebensmitteln der Referenzpersonen zur Berechnung der potentiellen Strahlenexposition durch Ingestion gemäß StrlSchV, Mengen in kg/a

Altersgruppe	< 1 a	1 - 2 a	2 - 7 a	7 - 12 a	12 - 17 a	> 17 a
Muttermilch	320					
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

Diese decken das 95 %-Quantil der üblichen Lebensgewohnheiten ab. Inwieweit eine Addition der potentiellen Strahlenexposition durch beide Ableitungswege notwendig ist, kann ohne Details zu den Anteilen einzelner Lebensmittelgruppen an der Gesamtdosis nicht bewertet werden. Bei Ableitungen mit der Fortluft werden keine Dosisbelastungen durch Trinkwasser und Fischverzehr betrachtet. Bei Ableitungen mit dem Abwasser verursachen diese Lebensmittelgruppen möglicherweise den Hauptteil der Strahlenexposition. Eine Addition der Dosiswerte für beide Ableitungswege wird daher abdeckend angenommen.

Für den Betrieb, die Stilllegung, den sicheren Einschluss und den Abbau von Anlagen oder Einrichtungen legt die zuständige Behörde die zulässigen Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser durch Begrenzung der Aktivitätskonzentrationen oder Aktivitätsmengen fest. Der Nachweis der Einhaltung der Grenzwerte des § 47 Abs. 1 StrlSchV gilt als erbracht, wenn diese Begrenzungen nicht überschritten werden.

4.1.1. Potentielle Exposition durch Ableitungen mit der Fortluft

In [BS 06] wurde die potentielle Exposition für Personen der allgemeinen Bevölkerung durch Ableitungen mit der Fortluft berechnet. Es wurden die für den Leistungsbetrieb genehmigten Grenzwerte (für I-131, radioaktive Gase und Aerosole) und Höchstmengen (nuklidspezifische Begrenzungen der Abgaben) für Ableitungen mit der Fortluft [KKB 02] sowie ein abdeckender Jahresabgabewert für C-14-Abgaben [KKB 02] als Quellterm zu Grunde gelegt. Die Ausbreitungsberech-

⁴ Werte für Verzehrsmengen aus Anlage VII Teil A bis C der StrlSchV, jeweils mit dem Faktor aus Spalte 8 multipliziert

nungen zur Ermittlung der Ausbreitungs- und Ablagerungsfaktoren wurden mit einer 4-parametrischen Wetterstatistik gemäß KTA 1508 für den Zeitraum 2001 bis 2005 durchgeführt. Die Ausbreitungs- und Dosisberechnungen erfolgten mit den Vorgaben des Entwurfs der AVV zu § 47 StrlSchV vom Mai 2005 [AVV 05] mit dem Computerprogramm BSAVVL. Dieses Computerprogramm wurde an umfangreichen Testbeispielen verifiziert und wird von zahlreichen Anwendern seit langem genutzt.

Im November 2012 trat die AVV zu § 47 StrlSchV in Kraft [AVV 12]. Die in [BS 06] auf der Basis von [AVV 05] verwendeten Parameter und Berechnungsvorschriften zur Ermittlung der Exposition bei Ableitungen mit der Fortluft gelten in [AVV 12] unverändert fort. Insofern sind Annahmen, die sich aus der Anwendung des Regelwerks ergeben, insbesondere auch die Verifizierung des Computerprogramms BSAVVL, weiterhin gültig.

Meteorologische Datenerhebungen für den Zeitraum 2006 bis 2009 und 2012 zeigen gegenüber dem Zeitraum 2001 bis 2005 keine signifikanten Änderungen der ausbreitungsrelevanten Parameter (siehe hierzu Abschnitt 3).

Die Ergebnisse der Ausbreitungsberechnungen aus [BS 06] können daher weiterhin als Grundlage zur Bewertung der potentiellen Exposition der Bevölkerung verwendet werden.

Für die Stilllegung und den Abbau des KKB wurden vorerst die gleichen maximal zulässigen Jahresabgaben von Aerosolen und radioaktiven Gasen wie im Leistungsbetrieb beantragt [KKB 12]. Da die bei Beendigung des Leistungsbetriebs vorhandenen Aktivitäten der Iod-Isotope in den Brennelementen durch radioaktiven Zerfall innerhalb weniger Wochen stark zurückgeht und eine Neubildung des Isotops I-131 und weiterer Iod-Isotope durch Spontanspaltung von Transuranen nur in sehr geringem Maße erfolgt, wurden keine Ableitungen von Iod-Isotopen mit der Fortluft beantragt.

Edelgase, die während des Leistungsbetriebs in den Brennelementen als Spaltprodukte gebildet wurden, zerfallen mit sehr kurzer Halbwertszeit (außer Kr-85). Die Restaktivität dieser Edelgase in den Brennelementen wird dann durch die Spontanspaltung (vor allem durch das Nuklid Cm-242) bestimmt und ist um mehr als sieben Größenordnungen geringer als im Leistungsbetrieb. Für die potentielle Ableitung von radioaktiven Edelgasen verbleibt demnach nur Kr-85. Es ist daher für den Restbetrieb geplant, die für den Leistungsbetrieb genehmigten Abgabewerte für radioaktive Gase auf die im Sicherheitsbericht [VAT 13] angegebenen Werte zu reduzieren.

Der in [BS 06] verwendete Quellterm für die Ableitung radioaktiver Aerosole sowie von C-14 und H-3 mit der Fortluft des KKB ist daher abdeckend für den Restbetrieb der Anlage. Der Quellterm für die Ableitung von Kr-85 wird an die Antragslage angepasst.

Für eine Abschätzung der potentiellen Exposition durch Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus dem KKB im Stilllegungs- und Abbaubetrieb werden deshalb die Ausbreitungs- und Dosisberechnungen aus [BS 06] sowie die 4-parametrische meteorologische Statistik für den Zeitraum 2001 bis 2005 verwendet.

Als Quellterm für die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft des KKB werden die beantragten Grenzwerte und eine Nuklidaufteilung für die Ableitung über den KKB-Fortluftkamin (Emissionshöhe 100 m) wie folgt angesetzt:

- Radioaktive Aerosole $1,48 \cdot 10^{10}$ Bq/Kalenderjahr
 - Nuklidaufteilung (Zerfallskorrektur der Spaltprodukte auf 10 Jahre nach Beendigung des Leistungsbetriebs):
 - Co-60 28 %
 - Cs-137 69 %
 - Sr-90 2 %
 - Cs-134 1 %
- radioaktive Gase $4,44 \cdot 10^{13}$ Bq/Kalenderjahr
 - Nuklidaufteilung: (es verbleibt nur das Edelgas Kr-85, abzüglich der Ableitungen von H-3 und C-14)
 - Kr-85 81,1 %
 - zusätzlich (analog zum Leistungsbetrieb)
 - H-3 $7,4 \cdot 10^{12}$ Bq/Kalenderjahr
 - C-14 $1,0 \cdot 10^{12}$ Bq/Kalenderjahr

Für das LasmA sind keine Festlegungen von maximal zulässigen Ableitungen mit der Fortluft beantragt. Es wurde eine Genehmigung nach § 7 StrlSchV zum Umgang mit radioaktiven Stoffen beantragt. Gemäß § 47 Abs. 4 StrlSchV kann der Nachweis der Einhaltung der Grenzwerte nach § 47 Abs. 1 StrlSchV für derartige Anlagen oder Einrichtungen als erbracht angesehen werden, sofern die nach Anlage VII Teil D StrlSchV zulässigen Aktivitätskonzentrationen im Jahresdurchschnitt nicht überschritten werden.

Für die im LasmA geplante Einlagerung von Aktivitäten aus dem Abbau des KKB (aktivierte Materialien und Kontaminationen) kann ein radiologisch abdeckender Nuklidvektor unter Verwendung der Nuklide

- Co-60,
- Cs-137,
- Sr-90,
- Am-241,
- C-14⁵ und
- H-3⁵

angewendet werden.

Die Lüftungsanlage des LasmA soll mit einem variablen Außenluftvolumenstrom zwischen $1.500 \text{ m}^3/\text{h}$ und $6.000 \text{ m}^3/\text{h}$ betrieben werden. Gemäß Anlage VII Teil D StrlSchV sind für Fortluftströme $\leq 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$ die Werte der Tabelle 4 Spalte 2 dieser Anlage multipliziert mit einem Faktor 10 als Grenzwert der Aktivitätskonzentrationen im Jahresdurchschnitt einzuhalten (siehe Tabelle 4-3).

⁵ nur relevant für potentielle Ableitungen im bestimmungsgemäßen Betrieb, keine Relevanz für die Ermittlung der Expositionen bei potentiellen Freisetzungen im Störfall oder auslegungsüberschreitendem Ereignis

Tabelle 4-3: Grenzwert der Aktivitätskonzentration gemäß Anlage VII Teil D StrlSchV (inklusive Faktor 10) [Bq/m³]

Nuklid	Grenzwert (inklusive Faktor 10) [Bq/m ³]
Co-60	10
Cs-137	9
Sr-90	1
Am-241	0,004
C-14	60
H-3	1.000

Für die aufgeführten Nuklide ergibt sich unter der Annahme, dass die Aktivitätskonzentration im gesamten Jahr die zulässigen Werte für alle Nuklide vollständig ausschöpft, der Fortluftstrom jedoch den niedrigeren Wert der oben aufgeführten Bandbreite annimmt⁶, die nachfolgend aufgeführten Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft des LasmA (Ableitung über Gebäudedach in 16 m Höhe):

- Radioaktive Aerosole:
 - ermittelt aus den Grenzwerten gemäß Anl. VII Tab. 4 StrlSchV (Faktor 10 gegenüber Tabellenwerten, da Abluftmenge $\leq 10000 \text{ m}^3/\text{h}$)
 - Co-60 $1,3 \cdot 10^8 \text{ Bq/Kalenderjahr}$
 - Cs-137 $1,2 \cdot 10^8 \text{ Bq/Kalenderjahr}$
 - Sr-90 $1,3 \cdot 10^7 \text{ Bq/Kalenderjahr}$
 - Am-241 $5,3 \cdot 10^4 \text{ Bq/Kalenderjahr}$
- radioaktive Gase:
 - ermittelt aus den Grenzwerten gemäß Anl. VII Tab. 4 StrlSchV (Faktor 10 gegenüber Tabellenwerten, da Abluftmenge $\leq 10000 \text{ m}^3/\text{h}$)
 - H-3 $1,3 \cdot 10^{10} \text{ Bq/Kalenderjahr}$
 - C-14 $7,9 \cdot 10^8 \text{ Bq/Kalenderjahr}$

Die Berechnung der potentiellen Dosis erfolgt für Aufpunkte außerhalb des Massivzauns (Abbildung 4-1 und Abbildung 4-2, rote Linie).

⁶ Gemäß § 47 Abs. 4 StrlSchV in Verbindung mit Anlage VII Teil D StrlSchV müssen die Aktivitätskonzentrationen eingehalten werden. In [BS 15A] wurde nachgewiesen, dass dies bei den zur Einlagerung vorgesehen Gebindetypen und der zu erwartenden nuklidspezifischen Aktivität für eine Fortlufrate von $1.500 \text{ m}^3/\text{h}$ möglich ist. Für höhere Fortlufraten ergibt sich dann eine entsprechend niedrigere Aktivitätskonzentration. Zur Berechnung der potentiellen Jahresabgaben ist daher bei Anwendung der maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationen die niedrigste zu erwartende Fortlufrate zu unterstellen.



Abbildung 4-1: Umgebung des KKB und potentielle Dosis durch äußere Exposition und Inhalation bei Ableitungen mit der Fortluft (KKB und Lasma), erstellt auf Basis von Google Earth™ Pro Kartenservice Material



Abbildung 4-2: Umgebung des KKB und potentielle Dosis durch Ingestion bei Ableitungen mit der Fortluft (KKB und LasMA), erstellt auf Basis von Google Earth™ Pro Kartenservice Material

Der ungünstigste Aufpunkt (Exposition für Ableitungen aus beiden Quellen) für die Exposition durch äußere Strahlung und Inhalation (Punkt mit Dosisangabe 22 $\mu\text{Sv/a}$ in Abbildung 4-1, Abstand 70 m vom Kamin des KKB, Sektor 6, 150°, Bezeichnung Elbdeich 2 in Abbildung 2-2)⁷ ergibt sich süd-südöstlich des Kamins (Elbdeich 2). Die Exposition durch äußere Strahlung und Inhalation wird fast ausschließlich durch Bodenstrahlung verursacht.

Der ungünstigste Aufpunkt (Exposition für Ableitungen aus beiden Quellen) für die Exposition durch Ingestion ergibt sich unmittelbar östlich des geplanten LasmA am Massivzaun (Punkt mit Dosisangabe 24 $\mu\text{Sv/a}$ in Abbildung 4-2, Abstand 460 m vom Kamin des KKB, Sektor 3, 60°, Bezeichnung Massivzaun 16 in Abbildung 2-2).

In Tabelle 4-4 sind die Ergebnisse der Dosisabschätzung für die am höchsten exponierte Altersgruppe (Säuglinge) angegeben. Für die Gesamtdosis durch Ableitungen von KKB und LasmA sind die berechneten Werte für die potentielle Exposition durch äußere Strahlung und Inhalation (Abbildung 4-1) und Ingestion (Abbildung 4-2) dargestellt.

Tabelle 4-4: Berechnete Strahlenexposition aus Ableitungen mit der Fortluft aus dem KKB und dem geplanten LasmA, Wert jeweils für die am höchsten exponierte Altersgruppe der Säuglinge am ungünstigsten Aufpunkt (siehe Abbildung 4-1 und Abbildung 4-2)

Quelle	Dosis durch äußere Strahlung (Bodenstrahlung) [$\mu\text{Sv/a}$]	Dosis durch Ingestion [$\mu\text{Sv/a}$]	Summe [$\mu\text{Sv/a}$]
KKB	21	14	35
LasmA	0,52	10	11
Summe	22	24	46

Insgesamt ergibt sich eine potentielle Effektivdosis für die am höchsten belastete Altersgruppe der Säuglinge von 46 $\mu\text{Sv/a}$ für Ableitungen mit der Fortluft aus dem KKB und dem LasmA. Die ermittelte potentielle Exposition für weitere Altersgruppen und Organe schöpft die Grenzwerte nach § 47 Abs. 1 StrlSchV geringer aus. Auf die Darstellung wird deshalb verzichtet.

Der Grenzwert der effektiven Dosis für Einzelpersonen der allgemeinen Bevölkerung gemäß § 47 StrlSchV von 300 μSv im Kalenderjahr wird im Betrachtungszeitraum deutlich unterschritten.

Ableitungen mit dem Abwasser sind aus dem LasmA nicht geplant. Hier bleiben die genehmigten Ableitungen für KKB bestehen.

Die dem KKB nächstgelegene Wohnbebauung befindet sich nordöstlich (Richtung 55° im Sektor 3) des KKB in ca. 1.400 m Entfernung vom Fortluftkamin (Abbildung 4-1 und Abbildung 4-2). In Tabelle 4-5 sind die Ergebnisse der Dosisabschätzung für diesen Aufpunkt für die am höchsten exponierte Altersgruppe (Säuglinge) angegeben.

⁷ Konservativ wird bei der Bewertung hinsichtlich § 47 Abs. 1 StrlSchV die für diesen Aufpunkt beschränkte Aufenthaltsdauer nicht berücksichtigt.

Tabelle 4-5: Berechnete Strahlenexposition aus Ableitungen mit der Fortluft aus dem KKB und dem geplanten LasmA, Wert jeweils für die am höchsten exponierte Altersgruppe der Säuglinge am Ort der nächsten Wohnbebauung (siehe Abbildung 4-1 und Abbildung 4-2)

Quelle	Dosis durch äußere Strahlung (Bodenstrahlung) [$\mu\text{Sv/a}$]	Dosis durch Ingestion [$\mu\text{Sv/a}$]	Summe [$\mu\text{Sv/a}$]
KKB	2,4	8,5	11
LasmA	0,22	0,47	0,69
Summe	2,6	9,0	12

Die für den Ort der nächsten Wohnbebauung ermittelte potentielle Strahlenexposition aus Ableitungen mit der Fortluft aus dem KKB und dem geplanten LasmA sind um mehr als einen Faktor 3 niedriger als die an den ungünstigsten Aufpunkten ermittelten Dosiswerte und unterschreiten die Grenzwerte nach § 47 StrlSchV sehr deutlich.

Bei den Berechnungen in [BS 06] wurden Vorbelastungen am Standort durch andere Anlagen (KBR, KKS) mit einem Beitrag von maximal 1 $\mu\text{Sv/a}$ zur Gesamtexposition abgeschätzt. Für keine der dabei berücksichtigten Anlagen wurde die maximal zulässige Abgabe von Aktivität mit der Fortluft erhöht. Unter Berücksichtigung der Feststellung zu den meteorologischen Parametern kann daher festgestellt werden, dass diese Abschätzung weiterhin abdeckend ist.

Die Ergebnisse in Tabelle 4-4 sind gemäß Vorgaben in [AVV 12] als Summe der Werte an den ungünstigsten Aufpunkten unter Berücksichtigung eines Daueraufenthalts (8.760 h im Kalenderjahr) berechnet. Damit wird eine Bewertung hinsichtlich der Grenzwerte nach § 47 Abs. 1 durchgeführt.

Für eine Bewertung hinsichtlich § 46 StrlSchV muss berücksichtigt werden, dass zusätzlich Expositionen durch Ableitungen mit dem Abwasser und durch Direktstrahlung zu berücksichtigen sind. Dabei ist zu beachten, dass die zur Ermittlung der Exposition durch äußere Strahlung (Submersion und Direktstrahlung) und Inhalation berücksichtigten Aufenthaltszeiten sich nicht zu Werten > 8.760 h pro Kalenderjahr aufsummieren. Daher werden bei der Ermittlung der Exposition durch äußere Strahlung und Inhalation durch Ableitungen mit der Fortluft weitere Aufpunkte berücksichtigt, deren Relevanz sich aus der Ermittlung der Exposition durch Direktstrahlung ergibt (siehe Abschnitt 2 und Abschnitt 4.2.5 sowie [BS 16A]). Die Ergebnisse der Ausbreitungs- und Dosisberechnung (bezogen auf eine Aufenthaltsdauer von 8.760 h im Kalenderjahr) sowie die für reduzierte Aufenthaltsdauern umgerechneten Werte sind in Tabelle 4-6 angegeben (sowohl in $\mu\text{S/a}$ als Ergebnisse der Ausbreitungs- und Dosisberechnung, als auch in mSv/a zur Ermittlung der potentiellen Gesamtexposition (Abschnitt 4.3) und Bewertung nach § 46 StrlSchV).

Tabelle 4-6: Berechnete Strahlenexposition aus Ableitungen mit der Fortluft aus dem KKB und dem geplanten LasmA, Wert jeweils für die am höchsten exponierte Altersgruppe der Säuglinge an verschiedenen Aufpunkten (siehe Abbildung 4-1)

Aufpunkt	Aufenthaltsdauer [h/a]	Dosis durch äußere Strahlung (Bodenstrahlung)		Dosis durch Direktstrahlung Variante 1-2
		[μ Sv/a]	[mSv/a]	[mSv/a]*
Elbdeich 0	8.760	8,5	0,009	
	2.000	1,9	0,002	0,21
Elbdeich 1	8.760	17	0,017	
	2.000	3,9	0,004	0,09
Elbdeich 2	8.760	22	0,022	
	2.000	4,9	0,005	0,04
Massivzaun 10	8.760	4,9	0,005	0,03
	6.760	3,8	0,004	0,02
Massivzaun 16	8.760	9,5	0,010	0,08
	6.760	7,3	0,007	0,06

* zum Vergleich zur Ermittlung der gesamten äußeren Exposition

Wie in Abschnitt 4.5 gezeigt, ist der ungünstigste Aufpunkt für die geplanten Aktivitäten der Elbdeich 0. Der ungünstigste Aufpunkt für die Exposition durch äußere Strahlung und Inhalation verursacht durch potentielle Ableitungen mit der Fortluft (Elbdeich 2) wird deshalb für die weitere Betrachtung nicht herangezogen.

Für den Aufpunkt mit der höchsten potentiellen Exposition durch Direktstrahlung im Bereich des Elbdeiches (Elbdeich 0, siehe Abschnitt 4.2.5) ergibt sich eine potentielle Exposition durch äußere Strahlung (Bodenstrahlung) auf Grund von Ableitungen mit der Fortluft von 0,009 mSv im Kalenderjahr (Aufenthaltsdauer 8.760 h im Kalenderjahr). Für eine reduzierte Aufenthaltsdauer von 2.000 h im Kalenderjahr ergibt sich daraus eine potentielle Expositionen durch äußere Strahlung (Bodenstrahlung) von 0,002 mSv im Kalenderjahr.

Die höchsten potentiellen Expositionen durch äußere Strahlung (Bodenstrahlung) auf Grund von Ableitungen mit der Fortluft im Bereich des Massivzauns ergeben sich am Aufpunkt Massivzaun 16 mit 0,010 mSv im Kalenderjahr (angenommene Aufenthaltsdauer 8.760 h im Kalenderjahr). Für eine reduzierte Aufenthaltsdauer von 6.760 h im Kalenderjahr (8.760 h abzüglich 2.000 h Aufenthalt am Elbdeich) ergibt sich daraus eine Exposition durch äußere Strahlung (Bodenstrahlung) von 0,007 mSv im Kalenderjahr.

Diese Ergebnisse fließen in die Ermittlung der potentiellen Gesamtexposition (Abschnitt 4.3) ein.

Die Exposition durch Ingestion auf Grund von Ableitungen mit der Fortluft wird mit dem am oben beschriebenen ungünstigsten Aufpunkt (Massivzaun 16) ermittelten Wert von 0,024 mSv/a (24 μ Sv/a gemäß Tabelle 4-4) bei der Bewertung der Gesamtexposition berücksichtigt (siehe auch Tabelle 4-15).

4.1.2. Potentielle Exposition durch Ableitungen mit dem Abwasser

In [BS 06A] wurde die potentielle Exposition für Personen der allgemeinen Bevölkerung durch Ableitungen mit dem Abwasser berechnet. Die Ausbreitungs- und Dosisberechnungen erfolgten mit den Vorgaben des Entwurfs der AVV zu § 47 StrlSchV vom Mai 2005 [AVV 05] mit dem Computerprogramm BSAVVW. Dieses Computerprogramm wurde an umfangreichen Testbeispielen verifiziert.

Die Aktualität der Berechnungsgrundlagen aus [BS 06A] in Bezug auf [AVV 12] gilt analog zum Luftpfad.

Während des Restbetriebes soll die Ableitung der radioaktiven Abwässer über eine zusätzliche Abgabelleitung erfolgen.

Die Expositionen in [BS 14] werden unter Berücksichtigung der Vorbelastungen am Standort berechnet. Hierbei liefern insbesondere Ableitungen aus den Anlagen KBR und KKS signifikante Beiträge. Die ungünstigsten Aufpunkte für die Gesamtexposition (Summe der Expositionen aus Ableitungen des KKB und Vorbelastung) ergeben sich im Nahbereich des KKB. Die potentiell höchste Exposition auf Grund von Ableitungen mit dem Abwasser wurde in [BS 14] für die Altersgruppe der Säuglinge mit einem Wert von 0,141 mSv im Kalenderjahr ermittelt.

Dieses Ergebnis fließt in die Ermittlung der potentiellen Gesamtexposition (Abschnitt 4.3) ein.

4.2. Potentielle Exposition durch Direktstrahlung

In die gemäß § 46 StrlSchV zu bewertende Exposition der Bevölkerung sind neben den gemäß § 47 StrlSchV zu berücksichtigenden Expositionen durch Ableitungen mit der Fortluft und dem Abwasser auch Expositionen durch Direktstrahlung einzubeziehen. Für den Restbetrieb der Anlage erfolgt dies auf der Basis gemessener Ortsdosiswerte.

Die jährlich akkumulierte Ortsdosis wird am Kraftwerkszaun, im Bereich des Standortzwischenlagers und der Transportbereitstellungshallen sowie in der unmittelbaren Umgebung des KKB gemessen.

4.2.1. Gammastrahlung aus dem KKB

In Tabelle 4-7 sind die Messungen der Gamma-Ortsdosis, die 2012 durch den Betreiber durchgeführt wurden, aufgeführt. In Spalte 1 der Tabelle sind die verschiedenen Einwirkstellen festgelegt. Spalte 2 gibt an, welche Messergebnisse zur Ermittlung der jeweiligen Gamma-Ortsdosis an der Einwirkstelle herangezogen wurden. In Spalte 3 wird die aus den Messwerten ermittelte Gamma-Ortsdosis (Angaben des Betreibers) aufgeführt. Spalte 4 enthält die aus der mittleren Gamma-Ortsdosis ermittelte Ortsdosisleistung (ODL). Zur Ermittlung dieses Werts wurden die Werte aus Spalte 3 durch 8.760^8 geteilt.

⁸ Anzahl der Stunden eines Jahres, Schaltjahre werden bei solchen Berechnungen vereinfachend (und konservativ) nicht berücksichtigt.

Tabelle 4-7: Ortsdosiswerte (Gamma-Ortsdosis inklusive Umgebungsstrahlung) für 2012 in der Umgebung des KKB (Messungen des Betreibers)

Messung und Einwirkstelle	Quelle	Ortsdosis [mSv]	Mittlere jährliche ODL [mSv/h]
Umgebungsstrahlung am Standort KKB (Nulleffekt)	Mittelwert aller Dosimeter im 10 km-Radius (Mittelzone)	0,81	$9,25 \cdot 10^{-5}$
Ortsdosis am Detektionszaun (Grenze des Überwachungsbereichs KKB)	Mittelwert aller Dosimeter am Detektionszaun (Dosimeter Z 1-1 bis Z 14-1)	0,81	$9,25 \cdot 10^{-5}$
Ortsdosis am Massivzaun (Grenze des Betriebsgeländes)	Mittelwert aller Dosimeter am Massivzaun (Dosimeter Z 1.1 bis Z 12.2)	0,76	$8,68 \cdot 10^{-5}$
Ortsdosis an der Grenze des Überwachungsbereichs des Standort-Zwischenlagers (SZB)	Mittelwert aller Dosimeter an der Umzäunung des SZB-Betriebsgeländes	0,96	$1,10 \cdot 10^{-4}$
Ortsdosis an der Grenze des Überwachungsbereichs der Transportbereitstellungshallen 1+2 (TBH)	Mittelwert aus 6 Dosimetern an der Umzäunung	0,72	$8,23 \cdot 10^{-5}$

Es muss berücksichtigt werden, dass die Messungen der Gamma-Ortsdosis die gesamte Direktstrahlung an einem Ort akkumulieren. Die Messwerte enthalten daher immer einen Anteil, der durch natürliche Gamma-Strahlung verursacht wird und ggf. einen Anteil, der durch Gamma-Strahlung aus der Anlage verursacht wird. Der Anteil, der durch natürliche Gamma-Strahlung verursacht wird (Umgebungsstrahlung), wird aus dem Mittelwert aller Dosimeter in der Mittelzone (der Abstand der Messorte zum KKB beträgt zwischen 2 km und 10 km) ermittelt.

Die in Zeile 1 von Tabelle 4-7 (Umgebungsstrahlung am Standort KKB (Nulleffekt)) aufgeführten Werte repräsentieren die durch natürliche Strahlung⁹ verursachte Gamma-Ortsdosis bzw. ODL. Der Wert betrug 2012 0,81 mSv (Gamma-Ortsdosis) bzw. im Mittel $9,25 \cdot 10^{-5}$ mSv/h (ODL).

Unter Berücksichtigung der jeweiligen Messunsicherheiten sowohl der Ortsdosis in der Umgebung der Anlage als auch der Nulleffektmessung ergibt sich für keine Messstelle eine signifikante Differenz zur Umgebungsstrahlung.

Die hier aufgeführten, vom Betreiber durchgeführten, Messungen erfolgen gemäß Vorgaben der Regeln des Kerntechnischen Ausschusses (KTA). Durch Einhaltung der Vorgaben wird sicherge-

⁹ Hierbei handelt es sich um einen Teil der natürlichen Strahlenexposition, verursacht durch die Strahlung natürlicher Radionuklide im Boden, in der bodennahen Atmosphäre sowie durch die kosmische Höhenstrahlung. Es existieren daneben weitere Quellen für die natürliche Strahlenexposition.

stellt, dass die Messungen den durch Wissenschaft und Technik gesetzten Standards entsprechen und korrekt ausgeführt werden. Die Auswahl der Messorte erfolgte gemäß den Anforderungen der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) [BMU 05].

Gemäß REI muss die Ermittlung der Gamma-Ortsdosis (Erhöhung gegenüber dem Untergrund) mit einer Nachweisgrenze von höchstens 0,1 mSv/a erfolgen. Um Messunsicherheiten konservativ zu berücksichtigen, wird der Absolutwert der Messunsicherheit von 0,1 mSv als jährliche Gamma-Ortsdosis für Orte am Massivzaun angenommen. Mit dieser Annahme ergibt sich eine Abschätzung für die Obergrenze der anlagenbedingten ODL von $1,1 \cdot 10^{-5}$ mSv/h (Gamma-Ortsdosis von 0,1 mSv/a geteilt durch 8.760 h) am Massivzaun.

Bei Berücksichtigung einer Messunsicherheit von 0,1 mSv für die Ortsdosis sind die in Tabelle 4-7 aufgeführten Gamma-Ortsdosiswerte, die kleiner als der Umgebungswert von 0,81 mSv sind, plausibel.

4.2.2. Neutronenstrahlung aus dem SZB

Für das SZB muss zusätzlich noch die Neutronendosis betrachtet werden. Das Ergebnis¹⁰ der Messung der Ortsdosis durch Neutronen für 2012 ist in Tabelle 4-8 angegeben.

Tabelle 4-8: Ortsdosiswert (Neutronen) für 2012 in der Umgebung des KKB (Messungen des Betreibers)

Messgröße	Quelle	Ortsdosis [mSv]	ODL [mSv/h]
Ortsdosis (Neutronen) an der Grenze des Standort-Zwischenlagers	Auswertungen der n-Dosimeter durch MPA NRW 2012	0 (NWG 0,05 mSv/6 Monate)	0 (NWG $1,14 \cdot 10^{-5}$)

Eine Dosis oberhalb der Nachweisgrenze durch Neutronenstrahlung konnte in der Umgebung des SZB nicht nachgewiesen werden. Die angegebene Nachweisgrenze beträgt 0,05 mSv/6 Monate, was 0,1 mSv/a entspricht (mit 8.760 h pro Jahr ergibt sich eine mittlere ODL von $1,1 \cdot 10^{-5}$ mSv/h).

Bei der Verwendung des Wertes aus der Messung der Ortsdosis für Neutronen aus dem Jahr 2012 muss beachtet werden, dass nach aktueller Antragslage geplant ist, weitere Behälter des Typs CASTOR V/52 im SZB einzulagern und damit den Quellterm gegenüber dem Zustand zum Messzeitpunkt zu erhöhen. Dabei sind maximal 24 CASTOR-Behälter im SZB vorgesehen. Für jeden dieser Behälter darf die maximale mittlere Oberflächendosisleistung einen Wert von 0,25 mSv/h für Neutronenstrahlung nicht überschreiten. Für die Summe aus Gamma- und Neutronenstrahlung muss ein Wert von 0,35 mSv/h eingehalten werden.

Die gesamte maximale Ortsdosisleistung außerhalb des SZB wird abgeschätzt, indem die einzelnen CASTOR-Behälter als Punktquellen modelliert werden und in relativ engem Abstand von 2,5 m

¹⁰ Bei der Neutronendosis ist davon auszugehen, dass der Nulleffekt durch natürliche Strahlung bei den eingesetzten Dosimetern nicht nachweisbar ist und daher kein Abzug erfolgen muss.

nebeneinander in 1 – 2 Reihen aufgestellt werden.¹¹ Für jede dieser Punktquellen wird die abstandsabhängige Abschwächung auf dem Weg zum außerhalb des SZB liegenden Dosispunktes über

$$D_i = \left(\frac{r_{\text{ref}}}{r_i}\right)^2 \cdot T_i \cdot D_{\text{ref}} \quad (\text{G 4-1})$$

berücksichtigt. Dabei ist $D_{\text{ref}} = 0,25$ mSv/h der Referenzwert für die maximale Ortsdosisleistung im Abstand $r_{\text{ref}} = 1,218$ m, also an der Oberfläche eines Behälters. D_i ist der Dosisbeitrag durch Behälter i , der einen Abstand von r_i zum betrachteten Aufpunkt besitzt. Der Abstand ist dabei die Summe aus Abstand der Behältermitte zur Innenseite der Wand des SZB, der projizierten Dicke der Wand in der betrachteten Richtung und dem Abstand des Aufpunktes zur Außenseite der Wand. Die Größe T_i beschreibt die Transmission durch die Betonwand und wird im vorliegenden Fall über ein Exponentialgesetz mit einer Zehntelwertsbreite von $d_{10} = 41$ cm beschrieben. Der Wert für die Zehntelwertsbreite von Normalbeton der Dichte $2,3$ Mg/m³ wurde [EWE 85] entnommen und ist abdeckend für Neutronen der Energie $E_n < 15$ MeV. Somit ist die Betrachtung der Abschirmwirkung der Wand im vorliegenden Fall konservativ.

Für den Fall, dass die Behälter im Abstand 1,5 m von der Wand aufgestellt sind und bei einer Dicke der Wand von 1,2 m ergibt sich für einen Abstand des Aufpunktes von 50 m zur Wand (Elbdeich) eine Dosisleistung von $2,6 \cdot 10^{-6}$ mSv/h als Summe über alle Behälter. Wenn konservativ der Beitrag des Behälters zur Dosisleistung mit dem kürzesten Abstand mit der Anzahl der Behälter (24) multipliziert wird, ergibt sich eine Dosisleistung von $3,8 \cdot 10^{-6}$ mSv/h. Bei einem Daueraufenthalt von 8.760 h/a ergibt sich somit auch bei konservativer Betrachtung ein Beitrag zur Jahresdosis von weniger als 0,04 mSv/a.

Somit sind die Abschätzungen aus den Nachweisgrenzen der Messungen auch bei der Einlagerung von 24 CASTOR-Behältern konservativ.

4.2.3. Summe der Exposition durch Direktstrahlung aus KKB und SZB

Die ermittelten anlagenbedingten Werte für Ortsdosis und ODL sind in Tabelle 4-9 zusammengefasst. Die in den Zeilen 2 und 3 angegebenen Werte stellen dabei Abschätzungen der messunsicherheitsbedingten Obergrenzen dar. Ein Messnachweis für eine anlagenbedingte Exposition ist für diese Orte nicht gegeben.

¹¹ Der Außendurchmesser eines CASTOR V/52 beträgt 243,6 cm

Tabelle 4-9: Abschätzung der durch die Anlage verursachten (anlagebedingten) Ortsdosiswerte (Differenz der ermittelten bzw. abgeschätzten Ortsdosis zur Ortsdosis der Umgebungsstrahlung) für 2012 in der Umgebung des KKB (kursiv dargestellte Zeilen stellen Abschätzungen der messunsicherheitsbedingten Obergrenzen dar)

Messgröße und Einwirkstelle	anlagenbedingte Ortsdosis [mSv]	anlagenbedingte mittlere jährliche ODL [mSv/h]
Gamma-Ortsdosis an der Grenze des SZB	0,15	$1,71 \cdot 10^{-5}$
<i>Neutronen-Ortsdosis an der Grenze des SZB</i>	<i>0,1</i>	<i>$1,14 \cdot 10^{-5}$</i>

Aus den Werten der Gamma-Ortsdosis kann die potentielle Personendosis abgeleitet werden. Dazu müssen Annahmen über Aufenthaltszeiten von Personen an den betreffenden Punkten getroffen werden. Zusätzlich müsste ein von der Altersgruppe abhängiger Korrekturfaktor berücksichtigt werden, der gemessene Gamma-Ortsdosiswerte in altersgruppenspezifische Effektivdosiswerte umrechnet. Diese Faktoren sind für alle Altersgruppen kleiner als 1 (siehe [BFS 10]). Konservativ werden diese Faktoren hier nicht berücksichtigt, so dass die potentielle Personendosis durch Direktstrahlung nicht altersabhängig betrachtet werden muss. Die berechnete Personendosis ergibt sich daher aus der mittleren jährlichen ODL multipliziert mit der angenommenen jährlichen Aufenthaltsdauer.

Für die Abschätzung von Aufenthaltsdauern am Anlagenzaun des KKB, dem Bereich des Standortzwischenlagers und der Transportbereitstellungshallen sowie in der unmittelbaren Umgebung des KKB muss berücksichtigt werden, dass es sich hier um eingeschränkt zugängliche Bereiche handelt (siehe Abschnitt 2). Für den Bereich des Elbdeiches muss daher von einer Aufenthaltsdauer von 2.000 h im Kalenderjahr ausgegangen werden. Für die weiteren Betrachtungen in diesem Bericht wird konservativ angenommen, dass die obige Abschätzung der ODL an der Grenze des SZB auch für den gesamten Bereich des Elbdeiches gilt. Als Bezeichnung für den Aufpunkt wird der Begriff Elbdeich verwendet.

Für das an das Kraftwerk angrenzende Industriegebiet (Umgebung TBH und SZB) wird eine Aufenthaltsdauer von 2.000 h pro Jahr angesetzt. Außerhalb des Massivzauns ist von Daueraufenthalt auszugehen. Zieht man vom Daueraufenthalt (8.760 h pro Jahr) 2.000 h pro Jahr (Aufenthaltsdauer am Elbdeich) ab, so ergeben sich 6.760 h/a für den Aufenthalt am Massivzaun. Bei der Abschätzung der Dosis für Aufpunkte am Massivzaun kann davon ausgegangen werden, dass die Beiträge durch KKB und SZB deutlich geringer sind als am Aufpunkt Elbdeich. Die Dosis durch Direktstrahlung wird am Massivzaun potentiell durch die geplante Pufferlagerung bestimmt (siehe Abschnitt 4.2.5).

Die ermittelten Werte für die anlagenbedingte ODL, die angesetzten jährlichen Aufenthaltszeiten und die daraus ermittelten Personendosen für 2012 (Multiplikation von anlagenbezogener ODL und jährlicher Aufenthaltszeit) sind in Tabelle 4-10 zusammengestellt.

Tabelle 4-10: Abschätzung der anlagenbedingten potentiellen Personen-Dosiswerte (Differenz der ermittelten bzw. abgeschätzten Gamma-Ortsdosis zur Gamma-Ortsdosis der Umgebungsstrahlung) für 2012 in der Umgebung des KKB (kursiv dargestellte Zeilen stellen Abschätzungen der messunsicherheitsbedingten Obergrenzen dar)

Messgröße und Einwirkstelle	Anlagenbedingte mittlere jährliche ODL [mSv/h]	Aufenthaltszeit [h]	Anlagenbedingte mittlere jährliche Personendosis [mSv]
Gamma-Ortsdosis am Elbdeich	$1,71 \cdot 10^{-5}$	2.000	0,03
<i>Neutronen-Ortsdosis am Elbdeich</i>	<i>$1,14 \cdot 10^{-5}$</i>	<i>2.000</i>	<i>0,02</i>

Bei Berücksichtigung der messunsicherheitsbedingten Obergrenzen ergibt sich für 2012 eine gesamte anlagenbezogene potentielle Personendosis von 0,05 mSv für die Dosis durch Direktstrahlung aus dem KKB und dem SZB bei einem Aufenthalt am Elbdeich.

4.2.4. Potentielle Exposition durch Direktstrahlung aus dem Lasma

Die potentielle Exposition durch Direktstrahlung aus dem Lasma kann durch Berechnungen abgeschätzt werden. Die Berechnungen erfolgen mit dem Computerprogramm MicroShield®.

Es wird davon ausgegangen, dass die primäre Quelle für Direktstrahlung im Lasma die dort eingelagerten konditionierten Gebinde sein werden. Demgegenüber werden Tätigkeiten wie Umlagern oder das temporäre Einlagern von unkonditionierten Abfällen nur zu einem geringeren Anteil zur Direktstrahlung außerhalb des Lasma beitragen. Gründe hierfür sind:

- Die Zeit für Tätigkeiten nimmt nur einen geringen Anteil der Gesamtzeit ein.
- Der Umgang erfolgt nur mit Materialien aus einzelnen Gebinden.
- Es erfolgt kein Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen.

Zur Abschätzung der Direktstrahlung wird folgendes Szenario verwendet:

Im Lasma soll eine größere Anzahl von Gebinden, deren Aktivitätsbeladung so gewählt wurde, dass diese gerade die Anforderungen der ADR¹² zum Transport erfüllen, stehen. Dies bedeutet, dass die ODL an der Gebindeoberfläche 10 mSv/h und in 2 m Entfernung vom Gebinde 0,1 mSv/h nicht übersteigen darf.

Berechnungen mit MicroShield® ergeben, dass für Stahlblechcontainer mit Betonverfüllung ein Aktivitätsinventar von $1,4 \cdot 10^{10}$ bis $2,2 \cdot 10^{11}$ Bq Co-60 (je nach erreichter Verfülldichte und Stärke einer passiven Betonaußenschicht) nicht überschritten werden darf. Bei zusätzlicher metallischer Abschirmung in den Stahlblechcontainern oder für Gebindetypen mit deutlich besserer Abschirm-

¹² Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route (deutsch: Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße)

wirkung¹³ kann das zulässige Aktivitätsinventar deutlich größer sein. Für die Berechnung der Direktstrahlung außerhalb des Gebäudes ist die Art und Weise, wie die Transportfähigkeit erreicht wird, unerheblich.

Zusätzlich ist vorgesehen, für maximal 100 Gebinde eine Überschreitung dieser Werte für die ODL um einen Faktor 5 zu erlauben.

Es wurde angenommen, dass 20'-Container in einer Ebene zu 40 Stück (4 × 10) und dreilagig übereinander gestapelt werden. Die 20'-Container wurden dabei repräsentativ für alle zur Einlagerung ins LasmA vorgesehenen Gebinde verwendet, daher wurde die Anzahl unabhängig von der tatsächlich zur Einlagerung vorgesehenen Anzahl dieses Typs so gewählt, dass sich eine komplette Reihe vor der Wand befindet. Bei dieser Geometrie ergibt sich ein Sättigungseffekt. Das bedeutet, eine weitere Hinzunahme von Gebinden führt durch Selbstabschirmung nicht zu einer höheren ODL. Die äußere Containerreihe reicht unmittelbar an die Innenseite der Gebäudeaußenwand. Die Gebäudeaußenwand besteht aus Beton (Dichte 2,33 g/cm³).

Die Berechnungen (ODL) mit MicroShield® wurden mit einer gemäß Planung vorgesehenen Dicke der Außenwand des LasmA von 85 cm an Aufpunkten in Entfernungen von 0 m bis 1.400 m von der Gebäudeaußenwand durchgeführt. Ab einer Entfernung von 100 m kann der entfernungsabhängige Verlauf der ODL gut durch eine Exponentialfunktion angenähert werden. Durch diese Funktion wurden Ergebnisse bis zu einer Entfernung von 1.400 m interpoliert. Die Ergebnisse der Berechnung (abstandsabhängige ODL) sind in Abbildung 4-3 dargestellt.

Für den Aufpunkt Massivzaun 16 beträgt die minimale Entfernung zum LasmA ca. 100 m (direkt östlich in Richtung 90° vom LasmA). Für diesen Aufpunkt muss eine Aufenthaltsdauer von 8.760 h bzw. 6.760 h im Kalenderjahr (8.760 h abzüglich Aufenthalt von 2.000 h am Elbdeich) angesetzt werden. Im Süden befindet sich der Aufpunkt Elbdeich 0 ca. 250 m vom LasmA entfernt. Hier ist eine Aufenthaltsdauer von 2.000 h im Kalenderjahr anzunehmen.

Der Aufpunkt der nächsten Wohnbebauung befindet sich ca. 1.100 m von LasmA entfernt (in Richtung 60° im Sektor 3). Für diesen Aufpunkt muss eine Aufenthaltsdauer von 8.760 h im Kalenderjahr angesetzt werden.

Die Ergebnisse der ODL-Berechnungen für verschiedene, in den betrachteten Szenarien relevante Entfernungen sind in Tabelle 4-11 angegeben.

Tabelle 4-11: Berechnete ODL in mSv/h für ein Gebäude, in dem transportfähige Gebinde gelagert werden

Entfernung 0 m	Entfernung 20 m	Entfernung 40 m	Entfernung 60 m	Entfernung 80 m	Entfernung 100 m	Entfernung 250 m	Entfernung 1100 m
$7,3 \cdot 10^{-6}$	$3,6 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$8,0 \cdot 10^{-7}$	$5,3 \cdot 10^{-7}$	$4,8 \cdot 10^{-8}$	$1,3 \cdot 10^{-11}$

¹³ Es ist zu erwarten, dass im LasmA mehrheitlich solche Gebinde mit deutlich besserer Abschirmwirkung eingelagert werden.

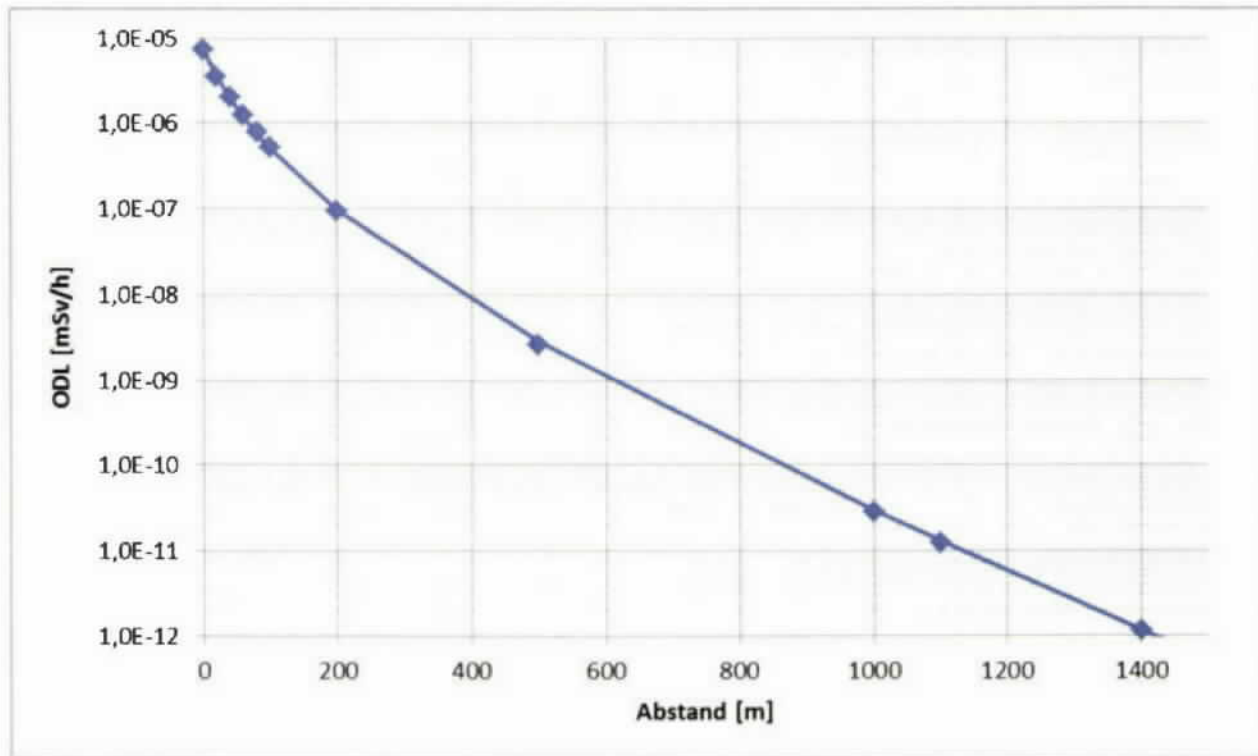


Abbildung 4-3: Berechnete Exposition durch Direktstrahlung (ODL) für ein Gebäude, in dem transportfähige Gebinde gelagert werden

Die Ergebnisse der Dosisberechnung am ungünstigsten Aufpunkt und am Ort der nächsten Wohnbebauung sind in Tabelle 4-12 angegeben.

Tabelle 4-12: Berechnete Personendosis für verschiedene Aufpunkte

Aufpunkt	ODL Lasma [mSv/h]	Aufenthaltsdauer [h]	Personendosis [mSv]
Massivzaun 16	$5,3 \cdot 10^{-7}$	8.760	$4,6 \cdot 10^{-3}$
		6.760	$3,6 \cdot 10^{-3}$
Elbdeich 0	$4,8 \cdot 10^{-8}$	2.000	$9,6 \cdot 10^{-5}$
Wohnbebauung	$1,3 \cdot 10^{-11}$	8.760	$< 1 \cdot 10^{-6}$

Für den Aufpunkt am Massivzaun wird eine Dosis von ca. 0,0046 mSv (8.760 h pro Kalenderjahr) bzw. 0,0036 mSv/a (6.760 h pro Kalenderjahr) durch Direktstrahlung aus dem Lasma berechnet. Der Wert liegt in beiden Fällen deutlich unter 0,01 mSv/a. Für den Aufpunkt am Elbdeich 0 und den Aufpunkt der nächsten Wohnbebauung ergeben sich noch geringere Expositionen.

Zusätzlich erfolgte eine Betrachtung, bei der für die Gebinde eine höhere Aktivität berücksichtigt wurde, so dass es zu einer Überschreitung des ODL-Kriteriums für die einzulagernden Gebinde kommt. Auch für diesen Fall wurde eine MicroShield-Berechnung durchgeführt, um die Dosisleis-

tung am ungünstigsten Aufpunkt außerhalb des LasmA zu bestimmen (Massivzaun 16). Dabei wurden Gebinde des Typs KC II und KC V in dreifacher Stapelung und unterschiedlicher Aufstellgeometrie betrachtet. Bei einem unterstellten Daueraufenthalt von 8.760 h/a ergibt sich bei einer maximal fünffachen Überschreitung des ODL-Kriteriums eine maximale potentielle Dosis von 0,01 mSv/a für die ungünstigste Anordnung (3 × 36 KC II in der Reihe direkt vor der Außenwand). Hierbei wurde unterstellt, dass alle Gebinde fünffach Überladen sind, somit ist bei realistischer Anordnung eine deutlich geringere Dosis zu erwarten.

Weiterhin erfolgte eine Aufstellung der Gebinde so, dass sich eine Reihe von Abschirmcontainern zwischen den überladenen Gebinden und der Wand befanden. Dabei ergibt sich dann auch bei zehnfacher Überschreitung des ODL-Kriteriums kein relevanter Beitrag zur Dosis am Aufpunkt. Daraus ergibt sich, dass auch eine zehnfache Überladung zu einer Dosis < 0,01 mSv/a auf dem allgemeinen Staatsgebiet führt, wenn sich Container, die das ODL-Kriterium einhalten, zwischen den überladenen Gebinden und der Wand befinden.

Zusammenfassend kann daher festgestellt werden, dass für die betrachteten Aufpunkte

- Massivzaun,
- Elbdeich und
- nächste Wohnbebauung

potentiell keine relevante Personendosis aus der Einlagerung im LasmA resultiert.

4.2.5. Direktstrahlung durch das geplante Pufferlager

In [BS 16A], siehe Anlage 2, wurde für den derzeitigen Planungsstand berechnet, welche Aktivitäten auf den einzelnen Pufferflächen gelagert werden können, ohne dass Dosisgrenzwerte überschritten werden. Die Dosisgrenzwerte sind:

- 1 mSv im Kalenderjahr für Personen der allgemeinen Bevölkerung (gemäß § 46 StrlSchV),
- 6 mSv im Kalenderjahr für Beschäftigte im KKB (gemäß § 36 StrlSchV).

Zur Ermittlung der zulässigen Aktivität auf den Pufferflächen wurden Berechnungen zur Ausbreitung von γ -Strahlung mit Hilfe eines Monte-Carlo-Simulationsprogramms (MCNP) durchgeführt und anhand der so ermittelten Ortsdosisleistung Personendosen berechnet. Im Ergebnis wurde für jede Pufferfläche eine maximal möglich Aktivität (bezogen auf Co-60) ermittelt, die dort temporär gelagert werden kann. Auf Basis dieser ermittelten Aktivitäten wurde dann eine im praktischen Betrieb maximal zu erwartende Aktivitätsverteilung auf die einzelnen Pufferflächen abgeschätzt (Tabelle 4-13). Mit diesen zu erwartenden Aktivitätswerten wurde dann die daraus resultierende Direktstrahlung an den einzelnen Aufpunkten für zwei verschiedene Stapelkonfigurationen ermittelt (Variante 1-2: 2-fache Containerstapelung; Variante 1-4: 4-fache Containerstapelung).

Die ermittelten Aktivitäten beziehen sich auf das γ -aktive Nuklid Co-60. Die ermittelte Personendosis wird ebenfalls erreicht oder unterschritten, wenn je 1 Bq Co-60 durch ca. 3 Bq Cs-137¹⁴ oder 2 Bq Eu-152 ersetzt wird. Für nicht γ -aktive Nuklide können hier deutlich höhere Aktivitäten angesetzt werden.

¹⁴ Co-60-Äquivalent

Tabelle 4-13: Aktivitäten [Bq] (Co-60) für einzelne Bereiche der Pufferlagerung (siehe Abbildung 2-2) zur Berechnung der Exposition durch Direktstrahlung an den einzelnen Dosisaufpunkten

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

In Tabelle 4-14 sind die Ergebnisse aus [BS 15] für die in diesem Bericht betrachteten Aufpunkte dargestellt. Weiterhin wurden Umrechnungen für geringere Aufenthaltsdauern durchgeführt (2.000 h am Elbdeich, 6.760 h am Massivzaun).

Tabelle 4-14: Personendosis in mSv/Kalenderjahr für ausgewählte Aufpunkte gemäß [BS 15] (kursiv dargestellt sind die Umrechnungen gemäß Text), Aktivität in den jeweiligen Bereichen gemäß Tabelle 4-13

Aufpunkt	Aufenthaltsdauer [h/a]	Berechnete Dosis Variante 1-2	Berechnete Dosis Variante 1-4
Elbdeich 0	2.000	0,21	0,07
Elbdeich 1	2.000	0,09	0,04
Elbdeich 2	2.000	0,04	0,02
Massivzaun 10	8.760	0,03	0,02
	<i>6.760</i>	<i>0,02</i>	<i>0,02</i>
Massivzaun 16	8.760	0,08	0,04
	<i>6.760</i>	<i>0,06</i>	<i>0,03</i>

Die höchsten potentiellen Expositionen durch die Direktstrahlung aus dem Pufferlager im Bereich des Elbdeiches ergeben sich am Aufpunkt Elbdeich 0 mit 0,21 mSv im Kalenderjahr (Variante 1-2, angenommene Aufenthaltsdauer 2.000 h im Kalenderjahr).

Die höchsten potentiellen Expositionen durch die Direktstrahlung aus dem Pufferlager im Bereich des Massivzauns ergeben sich am Aufpunkt Massivzaun 16 mit 0,08 mSv im Kalenderjahr (Variante 1-2, angenommene Aufenthaltsdauer 8.760 h im Kalenderjahr). Für eine reduzierte Aufenthaltsdauer von 6.760 h im Kalenderjahr (8.760 h abzüglich 2.000 h Aufenthalt am Elbdeich) ergibt sich daraus eine potentiellen Expositionen durch die Direktstrahlung aus dem Pufferlager von 0,06 mSv im Kalenderjahr.

Diese Ergebnisse fließen in die Ermittlung der potentiellen Gesamtexposition (Abschnitt 4.3) ein.

Da keine Vorhersage gemacht werden kann, wie im realen betrieblichen Ablauf der Pufferlagerung die Aktivität über den Pufferbereich verteilt wird, wird die Einhaltung des Grenzwertes nicht durch die Begrenzung der eingelagerten Aktivität auf die in Tabelle 4-13 angegebenen Werte garantiert, sondern durch Dosisleistungsmessungen unmittelbar nach Einlagerung. Dadurch ist auch eine Umrechnung der in Tabelle 4-13 angegebenen Co-60-Äquivalenzaktivität auf andere Radionuklide nicht notwendig.

4.3. Potentielle Gesamtexposition

Die Aufstellung der aus den Teilergebnissen in Abschnitt 4.1 (Ableitungen) und Abschnitt 4.2 (Direktstrahlung) berechneten Gesamtexposition ist in Tabelle 4-15 detailliert zusammengefasst.

Als konservativ abdeckende Obergrenze¹⁵ für die effektive Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung im Sinne des § 46 StrlSchV ergibt sich eine Summe von 0,49 mSv pro Jahr. Davon tragen Ableitungen mit Abwasser 0,14 mSv/a (Zeile 1 in Tabelle 4-15) und Ableitungen mit der Fortluft 0,033 mSv/a (Zeile 2 bis 5 in Tabelle 4-15) bei. Aus dem geplanten LasmA resultiert kein signifikanter Beitrag zur Direktstrahlungsdosis für Personen der allgemeinen Bevölkerung. Bei einem Aufenthalt von 2.000 h am Elbdeich trägt die Gamma-Personendosis mit 0,24 mSv/a (Zeilen 7 und 8 in Tabelle 4-15) und die Neutronenpersonendosis mit 0,02 mSv/a (Zeile 9 in Tabelle 4-15) bei. Aus dem Aufenthalt am Massivzaun für die verbleibende Zeit von 6.760 h ergibt sich eine Gamma-Personendosis von 0,06 mSv (Zeile 10 in Tabelle 4-15).

¹⁵ Eine Addition der Exposition durch Direktstrahlung und der äußeren Expositionen und inneren Expositionen durch Ableitungen mit dem Abwasser und der Fortluft ist nur dann erforderlich, wenn die jeweiligen Einwirkstellen identisch bzw. die Verzehrmenen verschiedene Lebensmittelgruppen betreffen. Im vorliegenden Bericht wird dies konservativ zu großen Teilen unterstellt.

Tabelle 4-15: Zusammenfassung der einzelnen Expositionen (konservativ abgeschätzte Obergrenzen für die am höchsten exponierte Altersgruppe der Säuglinge) zur Bewertung gemäß § 46 StrlSchV (kursiv dargestellte Zeilen sind Ergebnisse für Teilpfade und gehen nicht in die Summierung ein)

	Expositionspfad	Jährliche Exposition [mSv]	Bemerkung
1	Summe der Exposition durch Ableitung mit dem Abwasser	0,141	[BS 14A]
2	<i>Äußere Exposition durch Ableitung mit der Fortluft, Aufpunkt Massivzaun 16</i>	<i>0,007</i>	<i>Aufenthalt 6.760 h/a</i>
3	<i>Äußere Exposition durch Ableitung mit der Fortluft, Aufpunkt Elbdeich 0</i>	<i>0,002</i>	<i>Aufenthalt 2.000 h/a</i>
4	<i>Exposition durch Ingestion bei Ableitung mit der Fortluft 0</i>	<i>0,024</i>	<i>Verzehrmengen gemäß [AVV 12] inklusive Spalte 8</i>
5	Summe der Exposition durch Ableitung mit der Fortluft	0,033 ^{a)}	Summe aus Zeile 2, 3 und 4
6	<i>Gamma-Personendosis durch LasmA (alle Aufpunkte)</i>	<i>< 0,01</i>	<i>Aufenthalt 8.760 h/a</i>
7	<i>Gamma-Personendosis durch KKB am Aufpunkt Elbdeich 0</i>	<i>0,03</i>	<i>Aufenthalt 2.000 h/a</i>
8	<i>Gamma-Personendosis durch Pufferlagerung am Elbdeich</i>	<i>0,21</i>	<i>Aufenthalt 2.000 h/a</i>
9	<i>Neutronen-Personendosis am SZB (Elbdeich)</i>	<i>0,02</i>	<i>Aufenthalt 2.000 h/a</i>
10	<i>Gamma-Personendosis durch Pufferlagerung am Massivzaun</i>	<i>0,06</i>	<i>Aufenthalt 6.760 h/a</i>
11	Summe	0,49	konservative Aufsummierung der Zeilen 1, 5, 7, 8, 9 und 10

^{a)} Dieser Wert wurde wegen der verschiedenen zu berücksichtigenden Aufpunkte mit anteiligen Aufenthaltszeiten gemäß § 46 Abs. 3 StrlSchV berechnet (siehe Abschnitt 4.1.1) und ist abweichend vom Wert, der für Bewertungen gemäß § 47 StrlSchV herangezogen wird.

4.4. Bewertung

Der in Abschnitt 4.3 abgeleitete Wert von 0,49 mSv/a ist abdeckend, da für alle zu berücksichtigenden Ableitungspfade (Direktstrahlung, Ableitung mit der Fortluft, Ableitung mit dem Abwasser) jeweils die ermittelten Höchstwerte angesetzt wurden, und konservativ, da z. T. Dosiswerte von Teilpfaden addiert werden, obwohl bei realen Lebensgewohnheiten eine summarische Exposition als extrem unwahrscheinlich anzusehen ist.

Der Grenzwert der effektiven Dosis für Einzelpersonen der allgemeinen Bevölkerung gemäß § 46 StrlSchV von 1 mSv im Kalenderjahr wird im Betrachtungszeitraum somit deutlich unterschritten.

Für den Aufpunkt der nächsten Wohnbebauung wird eine potentielle Exposition durch Ableitungen mit der Fortluft von 0,012 mSv berechnet (siehe Tabelle 4-5). Die potentielle Exposition durch Direktstrahlung aus der Anlage ist für diesen Aufpunkt vernachlässigbar.

Die in diesem Abschnitt durchgeführten Abschätzungen zeigen, dass bei Errichtung eines Lagers für schwach- und mittelaktive Abfälle (LasmA) die Einhaltung des Grenzwertes der effektiven Dosis für Einzelpersonen der allgemeinen Bevölkerung gemäß § 46 StrlSchV von 1 mSv im Kalenderjahr für den Standort KKB zu erwarten ist.

5. QUELLEN

- [AVV 05] BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ
Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus Anlagen oder Einrichtungen
Entwurf der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV, Stand: 13.05.2005
- [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 10] BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ
Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität (Berechnungsgrundlagen – Bergbau)
Salzgitter, März 2010
- [BMU 05] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT
Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI)
Rundschreiben des BMU vom 7.12. 2005 - RS II5 - 15603/5 -
- [BS 06] BRENK SYSTEMPLANUNG GMBH
Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung des Kernkraftwerkes Brunsbüttel gemäß AVV zu § 47 Strahlenschutzverordnung aufgrund von Ableitungen mit der Luft im bestimmungsgemäßen Betrieb
BS-Projekt-Nr. 0603-06
Aachen, 13.04.2006

- [BS 06A] BRENK SYSTEMPLANUNG GMBH
Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung des KKW Brunsbüttel bei Leistungs-
betrieb infolge der Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Wasser nach AVV zu § 47 StrlSchV
BS-Projekt-Nr. 0603-07
Aachen, 13.04.2006
- [BS 16] BRENK SYSTEMPLANUNG GMBH
Berechnung der Strahlenexposition über den Wasserpfad infolge der Ableitung radioaktiver
Stoffe mit Wasser während des Restbetriebs des Kernkraftwerks Brunsbüttel
BS-Projekt-Nr. 1401-11
Aachen, 31.05.2016
- [BS 16A] BRENK SYSTEMPLANUNG GMBH
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
Rev. B, Aachen, 31.05.2016
- [BS 16B] BRENK SYSTEMPLANUNG GMBH
Bewertung der Ableitungen radioaktiver Stoffe aus den Abfallgebinden des LasmA bei
Normalbetrieb
BS-Projekt-Nr. 1401-01
Aachen, 13.05.2016
- [EWE 85] EWEN, K.
Strahlenschutz an Beschleunigern
B.G. Teubner Stuttgart, 1985
- [KTA 88] KERNTÉCHNISCHER AUSSCHUSS (KTA)
Instrumentierung zur Ermittlung der Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre.
KTA 1508, Fassung 09/88
- [KTA 06] KERNTÉCHNISCHER AUSSCHUSS (KTA)
Instrumentierung zur Ermittlung der Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre.
KTA 1508, Fassung 11/06, www.kta-gs.de/d/regeln/1500/1508.pdf.
- [KKB 02] KERNKRAFTWERK BRUNSBÜTTEL GMBH
Radiologische Gesamtdarstellung am Standort des SZB
KKB Technischer Bericht 2002-104
Rev. 4, Stand: 17.05.05
- [KKB 08] KERNKRAFTWERK BRUNSBÜTTEL GMBH
KKB Technischer Bericht 2010-0198, Rev. 0, Stand: 20.08.2008
Bericht zur Verfolgung des Standes von Wissenschaft und Technik auf dem Gebiete der Re-
aktorsicherheit, Berichtszeitraum 2008 (Erfüllung Auflage 45 der 3. Betriebsgenehmigung)

- [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
- [NUK 14] NUKEM TECHNOLOGIES
Lasma KKW Brunsbüttel
Verkehrs- und Freianlagen -ENTWURF-
DNR 141619-0
04.04.2014
- [SSV 14] STRAHLENSCHUTZVERORDNUNG (STRLSCHV) IN DER FASSUNG VOM 20. JULI 2001
Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzver-
ordnung - 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 13] VATTENFALL EUROPE NUCLEAR ENERGY GMBH
Stilllegung und Abbau Kernkraftwerk Brunsbüttel
Sicherheitsbericht
KKB-DD-01-01-A-1.3.1.4/2-2013
2013