



Endbericht

**Berechnung der Strahlenexposition  
infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe  
mit Wasser während des Restbetriebs  
des Kernkraftwerks Brunsbüttel**

BS-Projekt-Nr. 1401-11  
Bestellung Nr. EA2-4502834189

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

Aachen, 06.11.2015

**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 folgendem Bearbeiter erstellt:

- Dipl.-Phys.

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
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Projektleiter	Geschäftsbereichsleiter	Geschäftsführung



## ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen des vorliegenden Berichts wurde für die geplante zukünftige Einleitung der radioaktiven Abwässer des Kernkraftwerks Brunsbüttel im Restbetrieb über eine Rohrleitung in den Vorfluter Elbe die über den Wasserpfad resultierende potenzielle Strahlenexposition von Referenzpersonen in der Umgebung des Kernkraftwerks Brunsbüttel gemäß § 47 Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) berechnet. Dabei wurde entsprechend der derzeitigen Planungen des Kernkraftwerks Brunsbüttel unterstellt, dass die früheren Genehmigungswerte für die radioaktiven Ableitungen mit Wasser der Anlage im Leistungsbetrieb unverändert fortgelten. Als Berechnungsgrundlage wurde die „Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV“ (AVV) vom 28. August 2012 verwendet. Die besonderen standort- und anlagenspezifischen Gegebenheiten sowie mögliche Vorbelastungen des Vorfluters Elbe durch andere inländische Einleiter oder Einleitungen wurden in geeigneter Weise berücksichtigt.

Im Ergebnis der durchgeführten Dosisberechnungen zeigt sich, dass die resultierende potenzielle Strahlenexposition infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser des Kernkraftwerks Brunsbüttel im Restbetrieb über eine im Entnahmekanal verlegte und über das Entnahmebauwerk herausgeführte Rohrleitung in einem hier zugrunde gelegten Abstand von 40 m jenseits der anlagenseitigen Tiefenlinie der Elbe von 4 m sowohl im Fernbereich als auch im Nahbereich der Anlage unterhalb der nach § 47 Abs. 1 StrlSchV einzuhaltenden Dosisgrenzwerte liegt. Unter Einbeziehung möglicher Vorbelastungen ergibt sich die maximale Grenzwertausschöpfung von insgesamt ca. 52,4 % mit einer zugehörigen potenziellen Jahresdosis von ca. 157,3  $\mu\text{Sv}$  für den Körperbereich „Rotes Knochenmark“ in der Altersgruppe „ $\leq 1$  Jahr mit Muttermilch“ im Überschneidungsbereich zwischen dem Nahbereich des Kernkraftwerks Brunsbüttel, dem Fernbereich des Kernkraftwerks Brokdorf und dem Fernbereich des Kernkraftwerks Stade. Für die Effektivdosis resultiert mit einer entsprechenden potenziellen Gesamtjahresdosis von ca. 141,1  $\mu\text{Sv}$  die höchste Grenzwertausschöpfung von ca. 47,0 % ebenfalls in diesem Überschneidungsbereich und in dieser Altersgruppe.



## INHALTSVERZEICHNIS

	Seite:
<b>1. EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>2. EXPOSITIONSSZENARIEN .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1. Vorbemerkungen .....</b>	<b>2</b>
<b>2.2. Potenzielle Expositionspfade.....</b>	<b>2</b>
<b>2.3. Entfernungsbereiche.....</b>	<b>3</b>
<b>2.4. Randbedingungen .....</b>	<b>4</b>
<b>2.4.1. Kernkraftwerk KKB.....</b>	<b>4</b>
<b>2.4.2. Sonstige Einleiter.....</b>	<b>7</b>
<b>3. AKTIVITÄTSABGABEN MIT WASSER .....</b>	<b>10</b>
<b>3.1. Aktivitätsabgaben des KKB.....</b>	<b>10</b>
<b>3.2. Potenzielle Vorbelastungen .....</b>	<b>11</b>
<b>4. BERECHNUNG DER POTENZIELLEN STRAHLENEXPOSITION .....</b>	<b>14</b>
<b>4.1. Erläuterungen zur Dosisberechnung .....</b>	<b>14</b>
<b>4.2. Ergebnisse der Dosisberechnung.....</b>	<b>16</b>
<b>4.2.1. Nahbereich KKB, Fernbereich KBR und Fernbereich KKS.....</b>	<b>18</b>
<b>4.2.2. Nahbereich KBR, Fernbereich KKB und Fernbereich KKS.....</b>	<b>19</b>
<b>4.2.3. Nahbereich KKS, Fernbereich KKB und Fernbereich KBR.....</b>	<b>20</b>
<b>4.2.4. Fernbereich KKB, Fernbereich KBR und Fernbereich KKS.....</b>	<b>21</b>
<b>5. LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>22</b>
<b>ANHANG</b>	



## 1. EINLEITUNG

Das sich im Restbetrieb<sup>1</sup> befindliche Kernkraftwerk Brunsbüttel (KKB)<sup>2</sup> liegt nordwestlich der Hansestadt Hamburg unterhalb der Tidegrenze der Elbe, die als Vorfluter für die Abwässer der Anlage genutzt wird. Der Einwirkungsbereich der eingeleiteten Abwässer des KKB erstreckt sich aufgrund des Tideeinflusses über den gesamten Bereich der Tideelbe vom Wehr Geesthacht (Flusskilometer 585,9) bis zur Mündung in die Nordsee an der Seegrenze bei Cuxhaven-Kugelbake (Flusskilometer 727,7). Um die Ableitung der Betriebsabwässer vom Kühlkreislauf zu separieren, beabsichtigt das KKB, anfallende radioaktive Abwässer zukünftig über eine Rohrleitung direkt in den Vorfluter Elbe einzuleiten.

Nach § 47 Abs. 1 Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [SSV 14] darf die durch Ableitung radioaktiver Stoffe aus einer kerntechnischen Anlage oder Einrichtung mit Luft oder Wasser bedingte Strahlenexposition des Menschen jeweils folgende Dosisgrenzwerte im Kalenderjahr nicht überschreiten:

- |   |               |
|---|---------------|
| 1) Effektive Dosis sowie Teilkörperdosis für Keimdrüsen,<br>Gebärmutter und rotes Knochenmark | 300 $\mu$ Sv  |
| 2) Teilkörperdosis für alle Organe und Gewebe soweit nicht<br>unter 1) und 3) genannt         | 900 $\mu$ Sv  |
| 3) Teilkörperdosis für Knochenoberfläche und Haut   | 1800 $\mu$ Sv |

Im Rahmen des vorliegenden Berichts wurde für die geplante zukünftige Einleitung der radioaktiven Abwässer des KKB im Restbetrieb über eine Rohrleitung in den Vorfluter Elbe die über den Wasserpfad resultierende potenzielle Strahlenexposition von Referenzpersonen in der Umgebung des KKB gemäß § 47 Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [SSV 14] berechnet. Dabei wurde entsprechend der derzeitigen Planungen des KKB unterstellt, dass die früheren Genehmigungswerte<sup>3</sup> für die radioaktiven Ableitungen mit Wasser der Anlage im Leistungsbetrieb unverändert fortgelten. Als Berechnungsgrundlage wurde die „Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV“ (AVV) vom 28. August 2012 [AVV 12] verwendet. Die besonderen standort- und anlagenspezifischen Gegebenheiten sowie mögliche Vorbelastungen des Vorfluters Elbe durch andere inländische Einleiter oder Einleitungen wurden in geeigneter Weise berücksichtigt.

---

<sup>1</sup> Im Rahmen dieses Berichts werden sämtliche sich nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs anschließenden Betriebsphasen bzw. -zustände eines Kernkraftwerks unter der Bezeichnung „Restbetrieb“ zusammengefasst.

<sup>2</sup> Für Flexionen abgekürzter Begriffe wird dasselbe Kürzel verwendet.

<sup>3</sup> Im Rahmen dieses Berichts wird der Begriff Genehmigungswert im Sinne festgelegter Wert für die zulässige Ableitung radioaktiver Stoffe verwendet.



## 2. EXPOSITIONSSZENARIEN

### 2.1. Vorbemerkungen

Gemäß der AVV [AVV 12] sind bei der Abschätzung der Strahlenexposition der allgemeinen Bevölkerung infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser aus einer kerntechnischen Anlage alle aufgrund der örtlichen Besonderheiten des Anlagenstandorts oder aufgrund der Art der Anlage begründeten Expositionspfade zu berücksichtigen. Zu berechnen ist die Strahlenexposition an den ungünstigsten durch die Ableitungen der betrachteten Anlage beeinflussten Einwirkungsstellen (Nutzungsstelle bzw. Expositionsort). Diese sind entsprechend der AVV durch die Stellen in der Umgebung der Anlage bestimmt, an denen aufgrund der Verteilung der abgeleiteten Radionuklide und unter Berücksichtigung realer Nutzungsmöglichkeiten durch Aufenthalt oder Verzehr dort erzeugter Lebensmittel die jeweils potenziell höchsten Strahlenexpositionen für die Referenzpersonen resultieren.

Bei Ableitungen mit Wasser sind zudem aufgrund der sich mit der Entfernung zur Einleitstelle verändernden Ausbreitungsbedingungen unterschiedliche Entfernungsbereiche zu berücksichtigen. Ausgehend von den Vorgaben der AVV werden nachfolgend die zu betrachtenden Expositionsszenarien in Abhängigkeit von den relevanten Entfernungsbereichen festgelegt.

### 2.2. Potenzielle Expositionspfade

Im Zusammenhang mit der hier untersuchten Aufgabenstellung (vgl. Abschnitt 1) kommen für den Standort des KKB in Abhängigkeit von der Entfernung zur Einleitstelle folgende, mit E1 bis E5, E7, E8 und E12 (Abkürzungen aus Berechnungsprogramm) bezeichnete, potentielle Expositionspfade in Betracht, deren Gesamtheit im Weiteren abkürzend auch kurz „*Wasserpfad*“ genannt wird:

- E1: Trinkwasser
  - Trinkwasser, (Tw)
  - Muttermilch; (Mu)
- E2: Fischverzehr (kurz: Fisch)
  - Fisch, (Fi)
  - Muttermilch; (Mu)
- E3: Viehtränke
  - Tier - Milch, (Mi)
  - Tier - Fleisch, (Fl)
  - Muttermilch; (Mu)
- E4: Beregnung landwirtschaftlicher Nutzflächen (kurz: Beregnung)
  - Aufenthalt, (Bo)
  - Weidepflanze - Futter - Tier - Milch, (Mi)
  - Weidepflanze - Futter - Tier - Fleisch, (Fl)
  - Blattgemüse, (Bl)
  - pflanzliche Produkte ohne Blattgemüse, (Pf)
  - Muttermilch; (Mu)



- |  |      |
|--|------|
| E5: Aufenthalt auf Ufersediment (kurz: Ufersediment);  | (Bo) |
| E7: Aufenthalt auf Sedimentspülfeldern (kurz: Sedimentspülfelder);                             | (Bo) |
| E8: Bodenverbesserung durch Flusssediment (kurz: Sedimentaufbringung)                          |      |
| - Aufenthalt,  | (Bo) |
| - Weidepflanze - Futter - Tier - Milch,  | (Mi) |
| - Weidepflanze - Futter - Tier - Fleisch,  | (Fl) |
| - Blattgemüse,   | (Bl) |
| - pflanzliche Produkte ohne Blattgemüse,   | (Pf) |
| - Muttermilch;   | (Mu) |
| E12: Landwirtschaftliche Nutzung von Überschwemmungsgebieten<br>(kurz: Überschwemmungsgebiete) |      |
| - Aufenthalt,  | (Bo) |
| - Weidepflanze - Futter - Tier - Milch,  | (Mi) |
| - Weidepflanze - Futter - Tier - Fleisch,  | (Fl) |
| - Blattgemüse,   | (Bl) |
| - pflanzliche Produkte ohne Blattgemüse,   | (Pf) |
| - Muttermilch.   | (Mu) |

Eine Bündelung aller oben aufgeführten Einzelexpositionspfade des Wasserpfads ist als sehr hypothetisch einzustufen und gemäß AVV auch nicht anzusetzen. Dies gilt insbesondere für eine Addition der verschiedenen – im Weiteren auch kurz „Aufenthaltspfade A1 bis A3“ genannten – potenziellen Einzelexpositionspfade zur äußeren Strahlenexposition durch Bodenstrahlung:

- A1: Aufenthalt auf Ufersediment (E5: Bo),
- A2: Aufenthalt auf Sedimentspülfeldern (E7: Bo),
- A3: Superposition von Aufenthalt auf Berechnungsflächen (E4: Bo), Aufenthalt auf Flächen mit Sedimentaufbringung zur Bodenverbesserung (E8: Bo) und Aufenthalt auf Überschwemmungsgebieten (E12: Bo).

Im Unterschied zur Berechnung der inneren Strahlenexposition, bei der konservativ eine Überlagerung aller potenziellen Einzelexpositionspfade zur Ingestion zu unterstellen ist, wird daher bei der Abschätzung der äußeren Strahlenexposition durch Bodenstrahlung zur Vermeidung unrealistisch hoher Gesamtexpositionszeiten nur derjenige der drei Aufenthaltspfade A1 bis A3 berücksichtigt, der potenziell den jeweils höchsten Dosisbetrag liefert.

### **2.3. Entfernungsbereiche**

Infolge des Tideeinflusses erstreckt sich der Einwirkungsbereich der radioaktiven Einleitungen des KKB in den Vorfluter Elbe über den gesamten Bereich der Tideelbe. Zur konservativ abdeckenden Abschätzung der potentiellen Strahlenexposition durch die zukünftig vorgesehene Rohreinleitung radioaktiver Abwässer des KKB im Restbetrieb sowie der möglichen Vorbelastungen durch andere Einleiter bzw. Einleitungen sind gemäß AVV aufgrund sich verändernder Ausbreitungsbedingungen unterschiedliche Entfernungsbereiche relativ zur Einleitstelle des KKB zu betrachten.

Im Rahmen dieses Berichts wird daher unterschieden zwischen dem „*Nahbereich des KKB*“, d. h. dem Bereich geringer Vermischung und kürzerer Fließzeiten bzw. entsprechend kürzerer Anlagerungszeiten der Radionuklide an Wasserschwebstoffen in unmittelbarer Nähe der Einleitstelle, sowie dem „*Fernbereich des KKB*“, d. h. dem Bereich vollständiger Vermischung und längerer Fließzeiten bzw. entsprechend längerer Anlagerungszeiten der Radionuklide an Wasserschwebstoffen in größerer Entfernung von der Einleitstelle.

Entsprechend wird zur adäquaten Berücksichtigung möglicher Vorbelastungen infolge der Einleitungen radioaktiver Abwässer der Kernkraftwerke Stade (KKS) und Brokdorf (KBR) auch zwischen dem „*Nah- und Fernbereich des KKS*“ sowie zwischen dem „*Nah- und Fernbereich des KBR*“ unterschieden. Beide Anlagen liegen wie das KKB an der Elbe unterhalb der Tidegrenze. Aufgrund des Tideeinflusses erstrecken sich die Einwirkungsbereiche der Einleitungen dieser beiden Anlagen, wie der Einwirkungsbereich der Einleitungen des KKB, ebenfalls über den gesamten Bereich der Tideelbe.

Ausgehend von den Vorgaben der AVV werden bei den hier durchgeführten Dosisberechnungen die beiden Expositionsszenarien NB für den Nahbereich und FB für den Fernbereich des KKB betrachtet. Beide Szenarien sind hinsichtlich der zu betrachtenden Expositionspfade identisch und unterscheiden sich lediglich in den zugrunde liegenden Randbedingungen (z. B. Vermischungswassermengen, Fließ- bzw. Anlagerungszeiten). Die entsprechend den Vorgaben der AVV in Abhängigkeit der zugrunde gelegten Einleitszenarien jeweils anzusetzenden Parameterwerte werden im nachfolgenden Abschnitt 2.4 beschrieben.

NB/FB: Kombination der Summe der Einzelexpositionspfade *Trinkwasser (E1: Tw,Mu)*, *Fisch (E2: Fi,Mu)*, *Viehtränke (E3: Mi,Fl,Mu)*, *Beregnung (E4: Mi,Fl,Bl,Pf,Mu)*, *Sedimentaufbringung (E8: Mi,Fl,Bl,Pf,Mu)* und *Überschwemmungsgebiete (E12: Mi,Fl,Bl,Pf,Mu)* zur inneren Strahlenexposition durch Ingestion mit demjenigen der drei Aufenthalts-pfade *A1 Aufenthalt auf Ufersediment (E5: Bo)*, *A2 Aufenthalt auf Sedimentspülfeldern (E7: Bo)* und *A3 Superposition von Aufenthalt auf Beregnungsflächen (E4: Bo)*, *auf Flächen mit Sedimentaufbringung zur Bodenverbesserung (E8: Bo)* und *auf Überschwemmungsgebieten (E12: Bo)* zur äußeren Strahlenexposition durch Bodenstrahlung, der den jeweils höchsten potentiellen Dosisbeitrag liefert.

## **2.4. Randbedingungen**

### **2.4.1. Kernkraftwerk KKB**

Infolge der stattfindenden Vermischung der abgeleiteten Abwässer des KKB mit dem Wasser des Vorfluters verringern sich die Konzentrationen der emittierten radioaktiven Stoffe im Vorfluter mit zunehmender Entfernung von der Einleitstelle, wobei sich der Einwirkungsbereich der Einleitungen des KKB aufgrund des bestehenden Tideeinflusses über den gesamten Bereich der Tideelbe erstreckt (vgl. Abschnitt 2.3). Das Ausmaß der Vermischung und damit der potenziell resultierenden Strahlenexposition über den Wasserpfad wird von dem Abflussanteil des Vorfluters (Vermischungswassermenge  $Q_v$ ) bestimmt, mit dem sich die abgeleitete Aktivität auf dem Weg von der Einleitstelle bis zur betrachteten Einwirkungsstelle (Nutzungsstelle bzw. Expositionsort) vermischt hat.



In größerer Entfernung von der Einleitstelle in den Vorfluter (Fernbereich) kann von einer vollständigen Durchmischung der eingeleiteten Abwässer mit dem Wasser des Vorfluters ausgegangen werden, wobei gemäß AVV bei Einleitungen bzw. Einwirkungsstellen unterhalb der Tidegrenze nicht die gesamte vorbeiflutende Wassermenge in Ansatz gebracht werden darf, sondern nur der jeweils anfallende mittlere Oberwasserzufluss. Die Festlegung der Vermischungswassermenge  $Q_V$  im Fernbereich erfolgte daher auf Basis der in Tabelle 2-1 angegebenen Langzeitmittelwerte (Zeitraum 1926 bis 2008) für den Abfluss der Elbe am Pegel Neu Darchau bei Flusskilometer 536,4 oberhalb der Tidegrenze [DGJ 08]. In unmittelbarer Nähe der Einleitstelle in den Vorfluter (Nahbereich) hängt die Vermischungswassermenge allgemein stark von den örtlichen Gegebenheiten und Einleitungsbedingungen ab.

Tabelle 2-1: Mittlerer Abfluss der Elbe am Pegel Neu Darchau bei Flusskilometer 536,4 (Langzeitmittelwert 1926-2008) [DGJ 08]

<b>Mittlerer Abfluss Pegel Neu Darchau (Langzeitmittelwert 1926-2008)</b>	
im Abflussjahr <sup>1)</sup>	709,0 m <sup>3</sup> /s
im Sommerhalbjahr	556,0 m <sup>3</sup> /s

<sup>1)</sup> Abflussjahr: 01.11. des Vorjahres bis zum 31.10.

Das KKB beabsichtigt zukünftig am Standort anfallende radioaktive Abwässer über eine im Entnahmekanal verlegte und über das Entnahgebauwerk herausgeführte Rohrleitung in die Elbe einzuleiten. Der Austrittspunkt der Rohrleitung soll nach derzeitigem Planungsstand mindestens 40 m über die anlagenseitige Tiefenlinie des Vorfluters von 4 m (gemäß 54. Peilung vom 19.03.2015 durch das Vermessungsbüro Hanack und Partner) hinausgehen [KKB 15]. Ab dieser Linie kann über den gesamten anlagenseitigen Uferbereich bis zur Fahrrinne eine mittlere Wassertiefe von mindestens 4,0 m und eine mittleren Fließgeschwindigkeit des Elbe von mindestens 0,25 m/s angenommen werden [KKB 15].

Ausgehend vom derzeitigen Kenntnisstand wurden bei der Berechnung der im Nahbereich des KKB resultierenden potenziellen Strahlenexposition infolge der Einleitung radioaktiver Stoffe der Anlage über eine Rohrleitung folgende Annahmen und Randbedingungen unterstellt:

- Die Abgabe der radioaktiven Abwässer des KKB erfolgt voraussichtlich diskontinuierlich, aber dennoch zeitlich gleichmäßig verteilt über das gesamte Jahr bei ablaufender Tide.
- Mit den eingeleiteten radioaktiven Abwässern werden insbesondere keine Abwärme oder Nährstoffe in den Vorfluter abgeführt noch der Sauerstoffgehalt besonders erhöht. Daher wird davon ausgegangen, dass der Austrittsbereich der Rohrleitung kein bevorzugter Aufenthaltsort für Fische sein wird.
- Der Abstand des Rohraustrittspunktes vom Uferufer beträgt mindestens 40 m über die anlagenseitige Tiefenlinie der Elbe von 4 m hinausgehend.
- Wegen der Entfernung des vorgesehenen Einleitpunktes vom Elbufer ist eine deutliche Verbreiterung der Abwasserfahne bis zum Erreichen des Elbufers und damit ufernaher Einwirkungsstellen zu erwarten.
- Die eingeleiteten radioaktiven Abwässer vermischen sich relativ schnell in einem ufernahen Vermischungstreifen vor der ersten relevanten Einwirkungsstelle.