



Bundesamt für Strahlenschutz

# Deckblatt

GZ: QM - 9A 23420000 / SE 4.2.1

| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd.Nr. | Rev. | Seite: I          |
|---------|-------------|---------|----|---------|------|-------------------|
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN    | NN   |                   |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047    | 00   | Stand: 08.04.2016 |

Titel der Unterlage:

PARAMETERSTUDIE ZUR SIMULATION VON ABLEITUNGEN UND FREISETZUNGEN EINES ÜBERTÄGIGEN ZWISCHENLAGERS FÜR DIE RÜCKGEHOLTEN ABFÄLLE AUS DER SCHACHTANLAGE ASSE II

Ersteller:

SE 4.2.1, SW 2.2, SW 1.4

Stempelfeld:

Freigabe durch bergrechtlich verantwortliche Person:

Freigabe durch atomrechtlich verantwortliche Person:

Freigabe PL:

Freigabe zur Anwendung:

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung des BfS.



Bundesamt für Strahlenschutz

# Revisionsblatt

|         |             |         |    |          |      |                   |
|---------|-------------|---------|----|----------|------|-------------------|
| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | Seite: II         |
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN     | NN   |                   |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047     | 00   | Stand: 08.04.2016 |

Titel der Unterlage:

PARAMETERSTUDIE ZUR SIMULATION VON ABLEITUNGEN UND FREISETZUNGEN EINES ÜBERTÄGIGEN ZWISCHENLAGERS FÜR DIE RÜCKGEHOLTEN ABFÄLLE AUS DER SCHACHTANLAGE ASSE II

| Rev. | Rev.-Stand Datum | UVST | Prüfer | Rev. Seite | Kat.* | Erläuterung der Revision |
|------|------------------|------|--------|------------|-------|--------------------------|
|      |                  |      |        |            |       |                          |

\*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur  
Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung  
Kategorie S = substantielle Änderung  
mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden



Bundesamt für Strahlenschutz

**Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen  
und Freisetzungen eines übertägigen Zwischen-  
lagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle  
aus der Schachanlage Asse II**

| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | B 2476643 | Seite: 1 von 40   |
|---------|-------------|---------|----|----------|------|-----------|-------------------|
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN     | NN   |           | Stand: 08.04.2016 |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047     | 00   |           |                   |

# **Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen und Freisetzungen eines übertägigen Zwischenlagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle aus der Schacht- anlage Asse II**

*Bundesamt für Strahlenschutz*

Verfasser:

Salzgitter, 08.04.2016



Bundesamt für Strahlenschutz

**Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen  
und Freisetzungen eines übertägigen Zwischen-  
lagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle  
aus der Schachtanlage Asse II**

| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | <b>B 2476643</b> | Seite: 2 von 40   |
|---------|-------------|---------|----|----------|------|------------------|-------------------|
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN     | NN   |                  | Stand: 08.04.2016 |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047     | 00   |                  |                   |

Leerseite



Bundesamt für Strahlenschutz

**Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen  
und Freisetzungen eines übertägigen Zwischen-  
lagers für die rückgeholtten radioaktiven Abfälle  
aus der Schachanlage Asse II**

| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | B 2476643 | Seite: 3 von 40   |
|---------|-------------|---------|----|----------|------|-----------|-------------------|
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN     | NN   |           | Stand: 08.04.2016 |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047     | 00   |           |                   |

## INHALTSVERZEICHNIS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>INHALTSVERZEICHNIS .....</b>   | <b>3</b>  |
| <b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>TABELLENVERZEICHNIS.....</b>   | <b>5</b>  |
| <b>ANHANGSVERZEICHNIS.....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....</b>   | <b>7</b>  |
| <b>EINHEITENVERZEICHNIS.....</b>  | <b>8</b>  |
| <b>1 DAS WICHTIGSTE IN KÜRZE .....</b>  | <b>9</b>  |
| <b>2 GEGENSTAND UND ZIELSETZUNG .....</b>   | <b>11</b> |
| <b>3 ABLEITUNGEN IM NORMALBETRIEB .....</b>   | <b>12</b> |
| 3.1    METHODIK ZUR BERECHNUNG DER ABLEITUNGEN.....                                       | 12        |
| 3.2    RANDBEDINGUNGEN FÜR DIE STANDORTAUSWAHL.....                                       | 12        |
| 3.3    QUELLTERMERMITTLUNG FÜR DIE ABLEITUNGEN IM NORMALBETRIEB.....                      | 12        |
| 3.4    AUSBREITUNGSMODELLE / SIMULATIONSMODELLE FÜR ABLEITUNGEN IM<br>NORMALBETRIEB ..... | 13        |
| 3.4.1    Randbedingungen für die Berechnungen.....  | 13        |
| 3.4.2    Ausbreitungsrechnung .....   | 14        |
| 3.4.3    Dosisberechnung .....  | 14        |
| 3.5    ERGEBNISSE FÜR DIE ABLEITUNGEN IM NORMALBETRIEB.....                               | 15        |
| <b>4. FREISETZUNGEN BEI STÖRFÄLLEN / AUSLEGUNGSÜBERSCHREITENDEN<br/>EREIGNISSEN .....</b> | <b>17</b> |
| 4.1    METHODIK ZUR BERECHNUNG DER FREISETZUNGEN.....                                     | 17        |
| 4.2    RANDBEDINGUNGEN FÜR DIE STANDORTAUSWAHL.....                                       | 17        |
| 4.3    QUELLTERMERMITTLUNG FÜR DIE AUSLEGUNGSÜBERSCHREITENDEN SZENARIEN .....             | 17        |
| 4.4    AUSBREITUNGSMODELLE / SIMULATIONSMODELLE FÜR FREISETZUNGSSZENARIEN .....           | 23        |
| 4.4.1    DAS ENTSCHEIDUNGSHILFESYSTEM RODOS MIT DEM AUSBREITUNGSMODELL LASAT ..           | 24        |
| 4.4.2    RANDBEDINGUNGEN FÜR DIE BERECHNUNGEN.....  | 25        |
| 4.5    ERGEBNISSE FÜR DIE AUSLEGUNGSÜBERSCHREITENDEN SZENARIEN .....                      | 26        |
| <b>5 ZUSAMMENFASSUNG.....</b>   | <b>31</b> |
| <b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>  | <b>33</b> |
| <b>ANHANG 1.....</b>  | <b>34</b> |
| <b>ANHANG 2.....</b>  | <b>37</b> |



Bundesamt für Strahlenschutz

**Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen  
und Freisetzungen eines übertägigen Zwischen-  
lagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle  
aus der Schachtanlage Asse II**

| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | <b>B 2476643</b> | Seite: 4 von 40   |
|---------|-------------|---------|----|----------|------|------------------|-------------------|
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN     | NN   |                  | Stand: 08.04.2016 |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047     | 00   |                  |                   |

Gesamtseitenzahl: 40

Stichworte: Asse, Rückholung, Zwischenlager, Parameterstudie



Bundesamt für Strahlenschutz

**Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen  
und Freisetzungen eines übertägigen Zwischen-  
lagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle  
aus der Schachanlage Asse II**

|         |             |         |    |          |      |                  |                   |
|---------|-------------|---------|----|----------|------|------------------|-------------------|
| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | <b>B 2476643</b> | Seite: 5 von 40   |
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN     | NN   |                  | Stand: 08.04.2016 |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047     | 00   |                  |                   |

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 1: Verteilung der gesamten jährlichen effektiven Dosis für Erwachsene, Gebäude, Quelle (Q1), Anlagenzaun und Aufenthaltsort der Referenzperson (RP). .....   | 16 |
| Abbildung 2: Darstellung des verwendeten RODOS-Rechengitters mit 8056 Gitterpunkten und einer Ausdehnung von 40 km x 40 km.....  | 26 |
| Abbildung 3: Maximale effektive Dosis (Integrationszeit 7 Tage) über die Expositionspfade Inhalation, Bodenstrahlung und Wolkenstrahlung am maximalen Aufpunkt. ....   | 27 |
| Abbildung 4: Darstellung der Medianwerte zur maximalen effektiven Dosis (Integrationszeit 7 Tage) über die Expositionspfade Inhalation, Bodenstrahlung und Wolkenstrahlung in verschiedenen Entfernungen vom Freisetzungspunkt für die Szenarien 1-4 in mSv.....     | 29 |
| Abbildung 5: Darstellung der Medianwerte zur maximalen effektiven Dosis (Integrationszeit 7 Tage) über die Expositionspfade Inhalation, Bodenstrahlung und Wolkenstrahlung in verschiedenen Entfernungen vom Freisetzungspunkt für die Szenarien 5 und 6 in mSv..... | 30 |

## TABELLENVERZEICHNIS

|  |    |
|--|----|
| Tabelle 1: Für die Ausbreitungsrechnungen angenommene jährliche Ableitungsdaten.....   | 13 |
| Tabelle 2: Berechnete jährliche effektive Dosis für die Referenzpersonen.....  | 15 |
| Tabelle 3: Belastungsklassen für die Ermittlung der Quellterme zur Simulation der Freisetzungen infolge eines FLAB auf das übertägige Zwischenlager für die rückgeholten radioaktiven Abfälle. ....  | 19 |
| Tabelle 4: Ermittlung der Quellterme für sechs Freisetzungsszenarien infolge eines FLAB, unter Berücksichtigung der betroffenen Container/Transportverpackungen Anzahl und der Freisetzungsanteile (FSA) der Abfallgebindegruppe (AGG) 5 für die jeweiligen Belastungsklassen (BK). .... | 22 |
| Tabelle 5: Eingreifrichtwerte für die Maßnahmen „Aufenthalt in Gebäuden“, „Einnahme von Iodtabletten“ und „Evakuierung“.....   | 24 |
| Tabelle 6: Beschreibung der Verteilung (Medianwert, 10. Perzentil, 90. Perzentil sowie Minimum und Maximum; jeweils in km) der Entfernungen des maximalen Aufpunkts vom Freisetzungsort....  | 28 |
| Tabelle 7: Medianwert der maximalen effektiven Dosis über die Expositionspfade Inhalation, Bodenstrahlung und Wolkenstrahlung in verschiedenen Entfernungen vom Freisetzungspunkt in mSv. ....   | 28 |



Bundesamt für Strahlenschutz

**Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen  
und Freisetzungen eines übertägigen Zwischen-  
lagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle  
aus der Schachanlage Asse II**

|         |             |         |    |          |      |                  |                   |
|---------|-------------|---------|----|----------|------|------------------|-------------------|
| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | <b>B 2476643</b> | Seite: 6 von 40   |
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN     | NN   |                  | Stand: 08.04.2016 |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047     | 00   |                  |                   |

## **ANHANGSVERZEICHNIS**

### **ANHANG 1:**

Tabelle 8: LAW-Aktivitätsinventar der Schachanlage Asse II gesamt und im arithmetischen Mittel auf Datenbasis der Assekat ISS 9.2 mit dem Stand vom 02.02.2010.....34 - 36

### **ANHANG 2:**

Abbildung 6: Maximale effektive Dosis in einer Entfernung von 0,5 km vom Freisetzungsort.....37

Abbildung 7: Maximale effektive Dosis in einer Entfernung von 1 km vom Freisetzungsort.....38

Abbildung 8: Maximale effektive Dosis in einer Entfernung von 3 km vom Freisetzungsort.....38

Abbildung 9: Maximale effektive Dosis in einer Entfernung von 5 km vom Freisetzungsort.....39

Abbildung 10: Maximale effektive Dosis in einer Entfernung von 10 km vom Freisetzungsort.....39

Abbildung 11: Maximale effektive Dosis in einer Entfernung von 20 km vom Freisetzungsort.....40



Bundesamt für Strahlenschutz

**Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen  
und Freisetzungen eines übertägigen Zwischen-  
lagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle  
aus der Schachanlage Asse II**

| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | B 2476643 | Seite: 7 von 40   |
|---------|-------------|---------|----|----------|------|-----------|-------------------|
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN     | NN   |           | Stand: 08.04.2016 |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047     | 00   |           |                   |

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

|          |  |
|----------|--|
| AGO      | Arbeitsgruppe Optionen – Rückholung  |
| AGG      | Abfallgebindegruppe  |
| AED      | aerodynamischer Durchmesser  |
| AtG      | Atomgesetz   |
| ASSEKAT  | Inventardatenbank zur Berechnung der nuklidspezifischen Aktivitäten für einen Stichtag |
| A2B      | Asse-2-Begleitgruppe   |
| ARTM     | Atmosphärischen-Radionuklid-Transport-Modell   |
| AVV      | Allgemeine Verwaltungsvorschrift   |
| DARTM    | Dosis-Atmosphärischen-Radionuklid-Transport-Modell                                     |
| BK       | Belastungsklassen  |
| BfS      | Bundesamt für Strahlenschutz   |
| BMUB     | Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit                   |
| ca.      | circa  |
| COSMO-EM | Consortium for small scale modelling – Europa Modell                                   |
| DGM      | Digitales Geländemodell der Bundesrepublik Deutschland                                 |
| DWD      | Deutscher Wetterdienst   |
| d.h.     | das heißt  |
| EU       | Europäische Union  |
| FLAB     | Flugzeugabsturz  |
| FSA      | Freisetzungsanteil   |
| IMIS     | Integrierten Mess- und Informationssystems zur Überwachung der Umweltradioaktivität    |
| KFÜ      | Kernreaktor-Fernüberwachungssysteme  |
| KIT      | Karlsruher Institut für Technologie  |
| LAW      | Low radioactive waste  |
| LASAT    | Lagrange-Simulation von Aerosol-Transport  |
| REI      | Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen            |
| RP       | Referenzperson   |
| RODOS    | Real-time Online Decision Support System   |
| SSK      | Strahlenschutzkommission   |
| StrlSchV | Strahlenschutzverordnung   |
| TALDIA   | diagnostisches Strömungsmodell bei Gebäudeeinflüssen auf die Strömung                  |
| NMU      | Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz                      |
| VDI      | Verein Deutscher Ingenieure  |
| H-3      | Tritium  |
| C-14     | Kohlenstoff (-14)  |
| Rn-222   | Radon (-222) (ohne Töchter)  |
| Pb-210   | Blei (-210)  |



Bundesamt für Strahlenschutz

**Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen  
und Freisetzungen eines übertägigen Zwischen-  
lagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle  
aus der Schachtanlage Asse II**

| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | <b>B 2476643</b> | Seite: 8 von 40   |
|---------|-------------|---------|----|----------|------|------------------|-------------------|
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN     | NN   |                  | Stand: 08.04.2016 |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047     | 00   |                  |                   |

## **EINHEITENVERZEICHNIS**

|      |                      |
|------|----------------------|
| Bq   | Bequerel             |
| °C   | Grad Celsius         |
| t    | Tonne                |
| km   | Kilometer            |
| km/h | Kilometer pro Stunde |
| m    | Meter                |
| min  | Minuten              |
| mSv  | Millisievert         |
| µm   | Mikrometer           |

|  |             |         |    |  |      |                  |                   |
|--|-------------|---------|----|--|------|------------------|-------------------|
| <br><b>Bundesamt für Strahlenschutz</b> |             |         |    | <b>Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen<br/>und Freisetzungen eines übertägigen Zwischen-<br/>lagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle<br/>aus der Schachtanlage Asse II</b> |      |                  |                   |
| Projekt  | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr.   | Rev. | <b>B 2476643</b> | Seite: 9 von 40   |
| NAAN   | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN   | NN   |                  | Stand: 08.04.2016 |
| 9A   | 23420000    | GHB     | RB | 0047   | 00   |                  |                   |

# 1 DAS WICHTIGSTE IN KÜRZE

## Untersuchungsauftrag

In der vorliegenden Studie werden die radiologischen Auswirkungen der Ableitungen aus dem Betrieb des geplanten Zwischenlagers für die geborgenen Asse-Abfälle untersucht. Zusätzlich werden auch die radiologischen Auswirkungen betrachtet, falls es beim Betrieb des geplanten Zwischenlagers zu einem Störfall kommen sollte.

Die durchgeführten Untersuchungen ergänzen die bereits bestehende Parameterstudie, die das Bundesamt für Strahlenschutz 2014 vorgelegt hat. Dort hat das BfS exemplarisch und standortunabhängig berechnen lassen, welche Direktstrahlung bzw. die damit verbundene Strahlenexposition aus einem Zwischenlager zu erwarten ist, je nachdem, wie weit es von der nächsten Siedlung entfernt liegt. Des Weiteren wurden auch die Strahlenexpositionen betrachtet, die sich aus Transporten der verpackten Asse-Abfälle sowohl für die Beschäftigten als auch für die Bevölkerung ergeben.

Das BfS hat die Parameterstudie auf Wunsch der Asse-Begleitgruppe ergänzt. Berechnungen zu den Ableitungen sowie Störfallbetrachtungen waren nicht Inhalt der ursprünglich erstellten Studie, da diese nur auf Basis konkreter Standortdaten realisierbar sind. Auf die Schwierigkeiten einer solchen Untersuchung hatte das BfS in der Diskussion mit der Begleitgruppe von Anfang an hingewiesen.

## Vorgehensweise

Um die vorliegenden Berechnungen erstellen zu können, hat das BfS Wetterdaten eines konkreten Standortes in Deutschland zugrunde gelegt. Der Ort wird nicht benannt und bleibt anonym, um mögliche Irritationen zu vermeiden. Er steht nicht als Standort für das geplante Zwischenlager zur Diskussion.

Als Störfall wurde im Sinne abdeckender Untersuchung der Absturz eines Flugzeuges in verschieden stark ausgeprägten Szenarien betrachtet. Ein Flugzeugabsturz (FLAB) ist im eigentlichen Sinne kein Störfall, sondern ein auslegungsüberschreitendes Ereignis. Der FLAB wird vom BfS mitbetrachtet, auch wenn er nicht zu den vorgeschriebenen zu erfüllenden Szenarien eines Zwischenlagers für schwach- und mittelradioaktive radioaktive Abfälle gehört und deckt damit mögliche radiologische Auswirkungen denkbarer auslegungsüberschreitender Störfälle ab.

Für die Berechnung der radiologischen Auswirkungen aus der Abluft des Zwischenlagers wählte das BfS ebenfalls einen konservativen Ansatz. Als Basis dienen die heutigen Emissionsdaten aus der Schachtanlage Asse II die in den Jahresberichten zur Emissions- und Immissionsüberwachung veröffentlicht werden. Im tatsächlichen Betrieb des Zwischenlagers mit konditionierten und verpackten Abfällen ist mit geringeren Ableitungswerten zu rechnen.

## Ergebnisse

Im Normalbetrieb werden die Grenzwerte durch die Abluft (Ableitung) weit unterschritten. Das gilt auch für den ungünstigsten Punkt direkt am Anlagenzaun. Bei der Annahme von realistischen Lebensgewohnheiten und insbesondere realistischen Ess- und Trinkgewohnheiten würden sich die berechneten Dosiswerte noch weiter verringern.

Bereits in 100 Metern Entfernung vom Anlagenzaun ist die Radioaktivität aus der Abluft kaum noch von Bedeutung und wird durch die natürlich auftretende Strahlung überlagert.



Bundesamt für Strahlenschutz

**Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen  
und Freisetzungen eines übertägigen Zwischen-  
lagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle  
aus der Schachtanlage Asse II**

| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | <b>B 2476643</b> | Seite: 10 von 40  |
|---------|-------------|---------|----|----------|------|------------------|-------------------|
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN     | NN   |                  | Stand: 08.04.2016 |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047     | 00   |                  |                   |

Im Falle eines FLAB werden keine Werte erreicht, die spezielle Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung wie beispielsweise der Aufenthalt in Gebäuden, die Einnahme von Jodtabletten oder die Evakuierung erforderlich machen.

Bei einem FLAB nimmt die mögliche Strahlenbelastung nicht automatisch mit einer größeren Entfernung vom Zwischenlager ab. Je nach Ausmaß des Unglücks kann die Strahlung in weiterer Entfernung sogar stärker ausfallen als an einem näher gelegenen Punkt.



Bundesamt für Strahlenschutz

**Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen  
und Freisetzungen eines übertägigen Zwischen-  
lagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle  
aus der Schachanlage Asse II**

| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | B 2476643 | Seite: 11 von 40  |
|---------|-------------|---------|----|----------|------|-----------|-------------------|
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN     | NN   |           | Stand: 08.04.2016 |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047     | 00   |           |                   |

## 2 GEGENSTAND UND ZIELSETZUNG

Die Schachanlage Asse II bei Wolfenbüttel ist ein ehemaliges Kali- und Steinsalzbergwerk, in dem zwischen den Jahren 1967 bis 1978 schwach- und mittelradioaktive Abfälle eingelagert wurden. Insgesamt wurden rund 124.500 Gebinde mit schwachradioaktiven Abfällen und 1.293 Gebinde mit mittelradioaktiven Abfällen auf drei unterschiedlichen Sohlen in 13 Einlagerungskammern eingelagert.

Der gesetzliche Auftrag zur Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II im Hinblick auf eine sichere Stilllegung wurde durch das Inkrafttreten der Lex Asse im Frühjahr 2013 erteilt. Für die nach § 57b des Atomgesetzes (AtG) gesetzlich festgelegte Rückholung der radioaktiven Abfälle sind übertägige Anlagen für Pufferlagerung, Konditionierung und Zwischenlagerung zu planen.

Für das Standortauswahlverfahren des Zwischenlagers wurde durch das BfS und unter Beteiligung der Asse-2-Begleitgruppe (A2B) sowie der Arbeitsgruppe Optionen-Rückholung (AGO) Anfang 2014 ein Kriterienbericht erstellt. In diesem Kriterienbericht wurden die für die Standortauswahl relevanten Kriterien, Bewertungsgrößen und Bewertungsmaßstäbe sowie das Standortauswahlverfahren beschrieben und festgelegt. [1] Der Bericht sieht vor, prioritär nach einem geeigneten Standort zu suchen, der sich in unmittelbarer Nähe zum Betriebsgelände befindet.

Mitte 2014 wurde im Leitungskreis Asse, bestehend aus BMUB, NMU, BfS und Landkreis Wolfenbüttel als Vorsitz der A2B im Hinblick auf die Standortauswahl für das Zwischenlager die Erstellung einer standortunabhängigen Parameterstudie zum Vergleich der Strahlenexposition durch Zwischenlagerung und Transporte vereinbart. Das Vorgehen für die Erstellung der standortunabhängigen Parameterstudie wurde durch das BfS entwickelt und mit der A2B/AGO diskutiert.

In der standortunabhängigen Parameterstudie wurde die aus dem Zwischenlager resultierende Direktstrahlung im Normalbetrieb für zwei fiktive Standorte in unterschiedlichen Abständen zur Wohnbebauung dargestellt. Des Weiteren wurde die Strahlenexposition aus dieser Direktstrahlung mit den Strahlenexpositionen aus einem möglichen Transport der radioaktiven Abfälle zu einem Asse-fernen Zwischenlager verglichen. [2]

Störfallbetrachtungen sowie die Auswirkungen der Abluft im Normalbetrieb waren nicht Inhalt dieser Studie. Diese sind nur auf Basis konkreter Standortdaten realisierbar. Daten zum Klima und zur genauen geografischen Lage wären zum Beispiel dafür nötig. Eine konkrete, ortsspezifische Betrachtung sollte die standortunabhängige Parameterstudie nicht leisten.

Auf die begrenzte Aussagefähigkeit einer solchen Untersuchung hatte das BfS in der Diskussion mit der Begleitgruppe von Anfang an hingewiesen. Da die Aspekte Störfallbetrachtung und Auswirkungen der Abluft von der A2B und der AGO gewünscht wurde, hat das BfS die Parameterstudie um diese Punkte ergänzt.

Zielsetzung der vorliegenden Parameterstudie ist es, die Ausbreitung und mögliche Auswirkungen der Ableitung im Normalbetrieb und der Freisetzungen infolge eines auslegungsüberschreitenden Szenarios auf die Umwelt bzw. Bevölkerung abzuschätzen.



Bundesamt für Strahlenschutz

## Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen und Freisetzungen eines übertägigen Zwischenlagers für die rückgeholt radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II

| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | B 2476643 | Seite: 12 von 40  |
|---------|-------------|---------|----|----------|------|-----------|-------------------|
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN     | NN   |           | Stand: 08.04.2016 |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047     | 00   |           |                   |

### 3 ABLEITUNGEN IM NORMALBETRIEB

#### 3.1 METHODIK ZUR BERECHNUNG DER ABLEITUNGEN

Gemäß der Festlegung im Leitungskreis sollen die Betrachtungen zur Ableitung von radioaktiven Stoffen im Normalbetrieb an einem realen bzw. konkreten Standort erfolgen, der aber in der Parameterstudie anonymisiert wird. Hierdurch können realistische Modelle erstellt und diese mit realen Daten für die Berechnungen gespeist werden. Die Berechnungsergebnisse sind damit belastbar.

Im ersten Schritt wurde für die Simulation der Ableitung und Freisetzungen eine Modellregion gesucht, die ähnliche orografische und meteorologische Voraussetzungen aufweist, wie die Region um die Asse.

Im zweiten Schritt erfolgte die problematische Ermittlung eines Quellterms. Da üblicherweise in den Zwischenlagern für schwach- und mittlerradioaktive Abfälle auch die Konditionierung stattfindet, lagen keine reinen Ableitungswerte für das alleinige Zwischenlager vor bzw. konnten ermittelt werden. Da eine Konditionierung im Vergleich zur Lagerung der radioaktiven Abfälle deutlich höhere Ableitungswerte verursacht, kann im Rahmen dieser Parameterstudie auf Ableitungswerte von solchen Anlagen nicht zurückgegriffen werden.

Bezüglich der Asse-Abfälle gibt es bisher nur statistisch abgesicherte und erfasste Ableitungswerte (nach REI) aus der heutigen Schachanlage Asse II. Daher wurde in dieser Parameterstudie für die Simulation der Ableitung ein Quellterm zugrunde gelegt, der den heutigen Ableitungswerten aus der Schachanlage Asse II entspricht. Dieser Quellterm ist sehr konservativ, d. h. die berechnete Ableitung aus dem Zwischenlager wird deutlich überschätzt, da die Abfälle heute weder gasdicht noch besonders verpackt sind. Die heute vorhandenen Tritium-, Kohlenstoff-14- und Radon-Ableitungen, die im Wesentlichen die potentielle Strahlenexposition in der Umgebung bestimmen, werden nach der Neukonditionierung und Verpackung der Abfälle vermutlich wesentlich geringer sein.

Im dritten Schritt wurden die Berechnungsmodelle erstellt und die Berechnungen für die jeweiligen Szenarien durchgeführt.

Als Modellregion kam nur ein Areal infrage, für welches statistisch abgesicherte Wetterdaten vorliegen. Die Wetterdaten selbst wurden auf Anfrage vom Deutschen Wetterdienst (DWD) bereitgestellt.

Im Hinblick auf die orografischen Randbedingungen wurde eine Asse-ähnliche Topografie gesucht und ausgewählt und diese mit Hilfe topografischer Karten modelliert.

Für die Abmaße des Zwischenlagergebäudes wurde auf die im BfS vorhandenen Vorplanungen zurückgegriffen.

#### 3.2 RANDBEDINGUNGEN FÜR DIE STANDORTAUSWAHL

Als Kriterien für die Auswahl des Standorts wurde die Asse-ähnliche Meteorologie, Klimatologie und Orografie zugrunde gelegt. Die orografischen Eigenschaften des Asse-Höhenzuges beinhalten eine westnordwestlich-ostsüdöstliche Richtung, mit einer Länge von ungefähr 6 km und einer Breite von ca. 2 km. Die umliegende Gegend wird um ungefähr 100 m überragt.

Weitere Kriterien für die Auswahl des Standortes sind das Vorhandensein flächendeckender Wetterdaten im Umkreis von mindestens 20 km. Einpunktmessungen meteorologischer Daten hinsichtlich der Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Diffusionskategorie und der Niederschläge sollten innerhalb eines Umkreises von ungefähr 10 km für den fiktiven Standort vorliegen.

#### 3.3 QUELLTERMERMITTLUNG FÜR DIE ABLEITUNGEN IM NORMALBETRIEB

Für die Ermittlung eines Quellterms für die Ableitung von radioaktiven Stoffen im Normalbetrieb eines Zwischenlagers mit schwach- und mittlerradioaktiven Stoffen liegen dem BfS keine Daten vor. Aufgrund dessen wurden als Quellterm die vorhandenen mittleren Emissionen aus der Schachanlage Asse II aus den Jahren 2010 - 2014 verwendet. Als Basis dafür dienen die Jahresberichte zur Emissions- und Immissionsüberwachung der Jahre 2010 bis 2014 (nach REI) der Schachanlage Asse II, worin Werte für



Bundesamt für Strahlenschutz

## Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen und Freisetzungen eines überträgigen Zwischenlagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II

|         |             |         |    |          |      |                  |                   |
|---------|-------------|---------|----|----------|------|------------------|-------------------|
| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | <b>B 2476643</b> | Seite: 13 von 40  |
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN     | NN   |                  | Stand: 08.04.2016 |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047     | 00   |                  |                   |

Tritium (H-3), Kohlenstoff (C-14), Radon (Rn-222) (ohne Töchter) und Blei (Pb-210) aufgeführt sind. [4], [5], [6], [7], [8]

Bei diesen Werten zur Berechnung der Ableitung bzw. bei diesem Quellterm handelt es sich um eine sehr konservative Annahme, da die rückgeholten Abfälle nach ihrer Konditionierung sowie Neuverpackung in Endlagergebinden vermutlich wesentlich geringere Emissionen aufweisen werden. Die heutigen Abfälle befinden sich dagegen in nicht gasdichten Einlagerungskammern und die eingelagerten Gebinde wurden direkt in die Kammern verbracht, ohne dass sie zuvor in einer Zementmatrix in einem Endlagerbehälter fixiert worden sind.

### 3.4 AUSBREITUNGSMODELLE / SIMULATIONSMODELLE FÜR ABLEITUNGEN IM NORMALBETRIEB

Wie bereits im Kapitel 2 erläutert, werden für die Simulations- und Ausbreitungsmodelle der Ableitung im Normalbetrieb die atmosphärische Ausbreitung und Deposition der abgeleiteten radioaktiven Stoffe mit dem Atmosphärischen-Radionuklid-Transport-Modell ARTM [9], [10] berechnet. Dabei wird im ersten Schritt mit dem Ausbreitungsmodell ARTM vorgeschalteten Windfeldmodell TALDIA (diagnostisches Strömungsmodell bei Gebäudeeinflüssen auf die Strömung), unter Berücksichtigung von Orografie, Gebäude und Bodenrauigkeit, eine Windfeldbibliothek erstellt. Im nächsten Schritt erfolgt die Ausbreitungsrechnung nach dem Lagrange-Formalismus von ARTM, jeweils für das Gesamtjahr sowie für die Vegetationsperiode. Anschließend werden die effektive Dosis und die Organdosen nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) mit dem Dosismodul DARTM (Dosis-ARTM) berechnet.

#### 3.4.1 Randbedingungen für die Berechnungen

Als Eingangsdaten werden die in Tabelle 1 dokumentierten Mittelwerte über die Jahre 2010 bis 2014 der Schachanlage Asse II (gemäß Berichterstattung nach REI) verwendet. Nicht berücksichtigt werden die in den Jahren 2013 und 2014 zusätzlich gemessenen Alphastrahler, da diese nur unwesentlich zur Dosis im Umfeld des Emittenten beitragen (unter 5 Prozent).

Tabelle 1: Für die Ausbreitungsrechnungen angenommene jährliche Ableitungsdaten.

| Radionuklide                      | Jährliche Ableitung in Bq |
|-----------------------------------|---------------------------|
| <b>C-14 als Kohlenstoffdioxid</b> | 1,42E+09                  |
| <b>H-3 als Tritiumwasser</b>      | 3,28E+10                  |
| <b>Pb-210 als Schwebstoff</b>     | 7,32E+05                  |
| <b>Rn-222 als Gas</b>             | 1,26E+11                  |

Die Standortdaten setzen sich zusammen aus den Orografiedaten (DGM50 M745 -Digitales Geländemodell der Bundesrepublik Deutschland), der Gebäudedimension (große Halle) und der angenommenen Quellgeometrie (horizontale Ausströmung in 10 m Höhe). Weiter verwendet ARTM die Bodenrauigkeit am Standort. Zudem wird ein Ausschlussgebiet in Form eines nicht zugänglichen Betriebsgeländes definiert (Zaun – siehe Abbildung 2).

Die Wetterdaten liegen als vierdimensionale Ausbreitungsstatistik (von 2005 bis 2014) im Gesamtzeitraum sowie für die Vegetationszeit für eine dem fiktiven Standort nahegelegene Wetterstation vor (Quelle: Deutscher Wetterdienst).

|  |             |         |    |   |      |                  |                   |
|--|-------------|---------|----|---|------|------------------|-------------------|
| <br><b>Bundesamt für Strahlenschutz</b> |             |         |    | <b>Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen<br/>und Freisetzungen eines übertägigen Zwischen-<br/>lagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle<br/>aus der Schachanlage Asse II</b> |      |                  |                   |
| Projekt  | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr.  | Rev. | <b>B 2476643</b> | Seite: 14 von 40  |
| NAAN   | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN  | NN   |                  | Stand: 08.04.2016 |
| 9A   | 23420000    | GHB     | RB | 0047  | 00   |                  |                   |

### 3.4.2 Ausbreitungsrechnung

In diesem Fall handelt es sich um eine Langzeitausbreitungsrechnung, die von einer konstanten Ableitungsrate im betrachteten Zeitraum ausgeht.

ARTM liefert als Schnittstellendaten für die anschließende Dosisberechnung nuklidspezifische Feldverteilungen der

- Luftaktivitätskonzentration
- nassen und trockenen Deposition
- Gammasubmersion,

wobei die Depositionswerte zusätzlich für die Vegetationsperiode bereitgestellt werden. Weiterhin wird mit einem Radon-Postprozessor der Aufbau von Rn-222 Tochternukliden während des Transports in der Atmosphäre berechnet und als Luftaktivitätskonzentration ausgegeben.

### 3.4.3 Dosisberechnung

Die Dosisberechnung erfolgt mit dem Dosismodul DARTM, welches die mathematischen Formalismen und Szenarien der AVV zu § 47 StrlSchV umsetzt. Dazu werden die Schnittstellendateien der ARTM-Ausgabe verarbeitet. Die Zerfallsprodukte von Rn-222 sind in der Berechnung der Inhalationsdosis berücksichtigt.

Es wurden die Expositionspfade

- Inhalation
- Ingestion
- Gammasubmersion
- Betasubmersion
- Gammabodenstrahlung

betrachtet.

Die effektive Dosis und die Organdosen werden für die in der Strahlenschutzverordnung definierte Referenzperson berechnet. Für die Referenzperson sind Lebensgewohnheiten definiert, die zu einem stark konservativen Wert der potentiellen Strahlenexposition führen. Dazu gehören:

- Ganzjähriger Aufenthalt im Freien am Punkt maximaler Exposition durch Gammastrahlung (Boden und Luft) einschließlich der Inhalationsdosis.
- Die einzelnen Lebensmittelgruppen stammen von den Aufpunkten, wo der Verzehr dieser Lebensmittel zur maximalen Ingestionsdosis führt.
- Ausschöpfung des 95. Perzentils in der Verzehrsmenge der einzelnen Lebensmittelgruppen, was zu stark überschätzten Verzehrsmengen führt.

Die Dosis der Referenzperson ist damit nicht realistisch und stellt einen konservativen „oberen Wert“ dar. Liegt dieser Wert unter den Dosisgrenzwerten nach der StrlSchV, kann davon ausgegangen werden, dass diese Grenzwerte im realistischen Fall nicht überschritten werden.

Die Dosisberechnung erfolgt für sechs Altersgruppen, jeweils für 25 Organe oder Gewebe, sowie für die effektive Dosis.



Bundesamt für Strahlenschutz

## Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen und Freisetzungen eines übertägigen Zwischenlagers für die rückgeholt radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II

|         |             |         |    |          |      |                  |                   |
|---------|-------------|---------|----|----------|------|------------------|-------------------|
| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | <b>B 2476643</b> | Seite: 15 von 40  |
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN     | NN   |                  | Stand: 08.04.2016 |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047     | 00   |                  |                   |

### 3.5 ERGEBNISSE FÜR DIE ABLEITUNGEN IM NORMALBETRIEB

Bei der Auswertung der umfangreichen Ausgabedaten von ARTM-DARTM wurden drei Altersgruppen (in Anlehnung an die jährliche Berichterstattung des BMUB über die Strahlenexposition der Bevölkerung) und die effektive Dosis über alle Expositionspfade betrachtet. Im Folgenden werden die Ergebnisse für eine Referenzperson ausgewertet, also für eine Person unter maximal ungünstigen Umständen (vgl. 4.1.3).

Die berechneten Jahresdosiswerte für die Referenzperson Säuglinge, Kleinkinder (1 - 2 Jahre) und Erwachsene sind in der Tabelle 2 dokumentiert. Die Ausschöpfung des Dosisgrenzwertes für die effektive Dosis beträgt maximal 15 Prozent. Aufgrund der geringen Ausschöpfung des Dosisgrenzwertes für die effektive Dosis ist auch eine Überschreitung von Organdosisgrenzwerten ausgeschlossen.

Tabelle 2: Berechnete jährliche effektive Dosis für die Referenzpersonen.

|                   | Effektive Dosis in Mikrosievert/Jahr | Dosisgrenzwert in Mikrosievert/Jahr | Grenzwertausschöpfung in Prozent |
|-------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| <b>Erwachsene</b> | 24                                   | 300                                 | 8                                |
| <b>Kinder</b>     | 35                                   | 300                                 | 12                               |
| <b>Säuglinge</b>  | 45                                   | 300                                 | 15                               |

Zur Berechnung einer realitätsnäheren Dosis müssen die Lebensgewohnheiten von Anwohnern, die in unmittelbarer Nähe zum Zwischenlager wohnen, bekannt sein. Da dies nicht der Fall ist, können zumindest die Ess- und Trinkgewohnheiten auf realitätsnähere Werte herabgesetzt werden. Eine Anpassung auf realistische Werte führt dabei zu einer Reduktion der Ingestionsdosis um etwa den Faktor 3.

Bezogen auf die in Tabelle 2 ausgewiesenen und berechneten Jahresdosiswerte für die Referenzpersonen würde dies zu Werten zwischen 8 Mikrosievert (Erwachsene) und 15 Mikrosievert (Säuglinge) führen.

Noch deutlicher würde sich die Inhalationsdosis bei Berücksichtigung von realen Aufenthaltsbedingungen verringern, da in den hier verwendeten Modellen ein Daueraufenthalt (8.760 Stunden/Jahr) am Zaun der Anlage unterstellt wird.

In der nachfolgenden Abbildung 1 ist die Verteilung der aus der Ableitung berechneten jährlichen Gesamtdosis über alle Expositionspfade für Erwachsene grafisch dargestellt. Mit Hilfe der Farbabstufungen können die unterschiedlich berechneten Dosiswerte in Abhängigkeit eines Standorts bzw. der Entfernung zum Zwischenlager abgegriffen werden.

Die Ableitung der radioaktiven Stoffe erfolgt aus dem Zwischenlagergebäude als horizontale Ausströmung in 10 m Höhe (Emissionspunkt Q1). Zudem wird ein Ausschlussgebiet in Form eines nicht zugänglichen Betriebsgeländes definiert, welches durch einen Zaun abgegrenzt ist und den Mindestabstand zur Emissionsquelle bestimmt.



Bundesamt für Strahlenschutz

# Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen und Freisetzungen eines übertägigen Zwischenlagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle aus der Schachtanlage Asse II

| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | B 2476643 | Seite: 16 von 40  |
|---------|-------------|---------|----|----------|------|-----------|-------------------|
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN     | NN   |           |                   |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047     | 00   |           | Stand: 08.04.2016 |

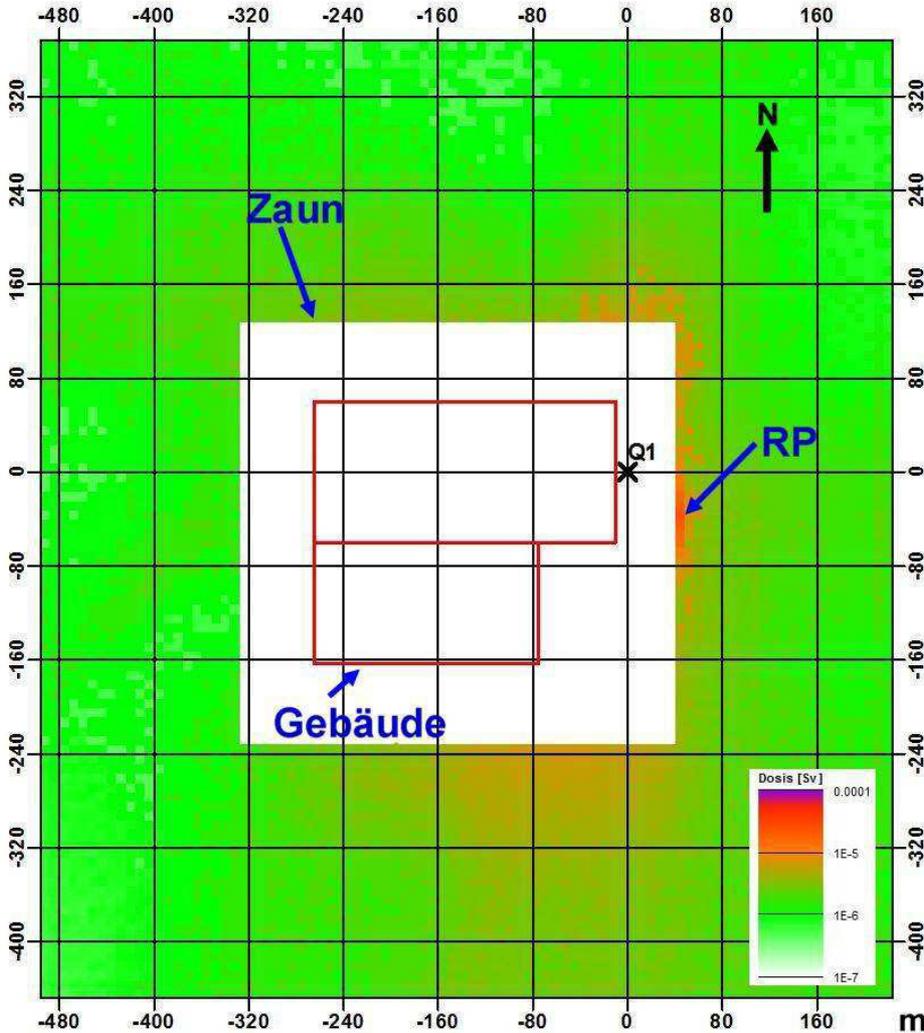


Abbildung 1: Verteilung der gesamten jährlichen effektiven Dosis für Erwachsene, Gebäude, Quelle (Q1), Anlagenzaun und Aufenthaltsort der Referenzperson (RP).

In der Abbildung 1 ist die Verteilung der Gesamtdosis über alle Expositionspfade für Erwachsene dargestellt. Der Aufenthaltsort der Referenzperson (RP) wird fast ausschließlich von der Inhalationsdosis bestimmt. Die abgeleiteten radioaktiven Stoffe werden entsprechen des zugrunde gelegten Wettermodells in der Umgebung des Zwischenlagers flächenhaft verteilt.

Bei der in der Abbildung 1 zugrunde gelegten Rastergröße von 80 m x 80 m wird deutlich, dass bereits nach 100 m Abstand zum Zaun des Zwischenlagers eine zusätzliche jährliche effektive Dosis für Erwachsene von etwa einem bis wenigen Mikrosievert durch Ableitung zu erwarten ist. Die maximale jährliche effektive Dosis für einen Erwachsenen wird direkt am Anlagenzaun am Aufenthaltsort der Referenzperson (RP) mit 24 Mikrosievert (siehe Tabelle 2) berechnet.

Die natürliche Ortsdosisleistung liegt in Deutschland zwischen 0,05 und bis zu 0,2 Mikrosievert pro Stunde. Bezogen auf ein Jahr ergeben sich hieraus Ortsdosisleistungen, die zwischen 438 und bis zu 1.752 Mikrosievert liegen und aus natürlichen Strahlenquellen stammen (Hintergrundbelastung).

Im Vergleich zur natürlichen Strahlenexposition ist die aus dem Zwischenlager für die Ableitung berechnete zusätzliche Strahlenexposition außerhalb des Anlagenzauns von untergeordneter Bedeutung.

|  |             |         |   |          |      |                  |                   |
|--|-------------|---------|---|----------|------|------------------|-------------------|
| <br><b>Bundesamt für Strahlenschutz</b> |             |         | <b>Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen<br/>und Freisetzungen eines übertägigen Zwischen-<br/>lagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle<br/>aus der Schachanlage Asse II</b> |          |      |                  |                   |
| Projekt  | PSP-Element | Aufgabe | UA  | Lfd. Nr. | Rev. | <b>B 2476643</b> | Seite: 17 von 40  |
| NAAN   | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA  | NNNN     | NN   |                  | Stand: 08.04.2016 |
| 9A   | 23420000    | GHB     | RB  | 0047     | 00   |                  |                   |

## 4. FREISETZUNGEN BEI STÖRFÄLLEN / AUSLEGUNGSÜBERSCHREITENDEN EREIGNISSEN

### 4.1 METHODIK ZUR BERECHNUNG DER FREISETZUNGEN

Gemäß der Festlegung im Leitungskreis sollen die Betrachtungen zur Freisetzung von radioaktiven Stoffen, wie die der Ableitung, an einem realen bzw. konkreten Standort erfolgen, der aber in der Parameterstudie anonymisiert wird. Hierdurch können auch hier realistische Modelle erstellt und diese mit realen Daten für die Berechnungen gespeist werden und die Berechnungsergebnisse sind damit belastbar.

Im ersten Schritt wurde analog zum Vorgehen bei der Ableitung im Normalbetrieb eine Modellregion gesucht, die ähnliche orografische und meteorologische Voraussetzungen aufweist, wie die Region um die Asse. Im zweiten Schritt wurden Quellterme (Beschreibung der Art und des zeitlichen Verlaufs einer Freisetzung radioaktiver Stoffe) bzw. Szenarien abgeleitet, mit deren Hilfe die Berechnungen durchgeführt werden konnten.

Bei der Ableitung der Quellterme werden alle auf der 725- und 750-m-Sohle eingelagerten radioaktiven Abfälle berücksichtigt. Keine Berücksichtigung finden dagegen die mittelradioaktiven Abfälle aus der Einlagerungskammer 8a auf der 511-m-Sohle, da diese Abfälle aufgrund ihrer hohen Direktstrahlung sowie des Kernbrennstoffinventars nach der Rückholung störfallsicher verpackt (z. B. in MOSAIK-Behälter) und in flugzeugabsturz-sicheren Gebäuden gelagert werden. Eine solche Lagerung ist für die radioaktiven Abfälle ohne Kernbrennstoffe nicht vorgeschrieben.

Im dritten Schritt wurden die Berechnungsmodelle erstellt und die Berechnungen für die jeweiligen Szenarien durchgeführt.

Als Modellregion wurde das gleiche Areal wie für die Simulationen der Ableitungen im Normalbetrieb betrachtet.

Für die Abmaße des Zwischenlagergebäudes wurden auf die im BfS vorhandenen Vorplanungen zurückgegriffen.

Übliche Störfälle in einem Zwischenlager sind der Gebindeabsturz bei der Handhabung (z. B. beim Transport der Gebinde mit dem Kran) oder das Brandereignis im Zwischenlager. Kommt es infolge des Störfalls zum Verlust der Gebindeintegrität, werden radioaktive Stoffe freigesetzt. Mögliche Störfallereignisse werden bei der Planung bzw. der Auslegung des Zwischenlagers berücksichtigt, sodass der gesetzliche Grenzwert für Störfälle (Störfallplanungswert) eingehalten wird.

Darüber hinaus hat das BfS auch die Auswirkungen eines FLAB auf das Zwischenlager betrachtet, auch wenn dieser nicht zu den üblichen zu betrachtenden Szenarien für ein Zwischenlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle gehört, sondern ein sogenanntes auslegungsüberschreitendes Ereignis darstellt.

Die Simulation der Freisetzungen wird mit dem Computerprogramm RODOS (Real-time Online Decision Support System) durchgeführt. Das Entscheidungshilfesystem RODOS dient dazu, Ausbreitungs- und Dosisberechnungen bei Freisetzungen von Radionukliden in die Umwelt durchzuführen und mögliche Konsequenzen hieraus abzuschätzen.

### 4.2 RANDBEDINGUNGEN FÜR DIE STANDORTAUSWAHL

Für die in dieser Parameterstudie durchgeführten Simulationen der Ableitung und Freisetzungen eines übertägigen Zwischenlagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II gelten bzgl. des anonymisierten Standortes die beschriebenen Randbedingungen aus Kapitel 3.2.

### 4.3 QUELLTERMERMITTLUNG FÜR DIE AUSLEGUNGSÜBERSCHREITENDEN SZENARIEN

Zur Ermittlung der Quellterme für die auslegungsüberschreitenden Freisetzungsszenarien wurde das Szenario Flugzeugabsturz (FLAB) herangezogen. In der Parameterstudie werden insgesamt sechs Freisetzungsszenarien betrachtet.



Bundesamt für Strahlenschutz

**Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen  
und Freisetzungen eines überträgigen Zwischen-  
lagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle  
aus der Schachanlage Asse II**

| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | <b>B 2476643</b> | Seite: 18 von 40  |
|---------|-------------|---------|----|----------|------|------------------|-------------------|
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN     | NN   |                  | Stand: 08.04.2016 |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047     | 00   |                  |                   |

Das abstürzende Flugzeug und dessen Trümmerteile werden vor dem direkten Kontakt mit den in Transportbehältern verpackten radioaktiven Abfällen, die nicht konditioniert sind, oder mit den in Containern konditionierten radioaktiven Abfällen von den vorgelagerten Beton- oder Stahlstrukturen (Wände, Tore) abgebremst. Der Treibstoffbrand als Folge des FLAB wird je nach Absturzscenario mit einer halbstündigen Branddauer und einer mittleren Flammentemperatur von maximal 800 °C angenommen.

Für die Simulation der Freisetzungen sind die auftretenden mechanischen und/oder thermischen Belastungen der Abfallgebände maßgeblich für die Ermittlung der Quellterme. Um diese Belastungen in Abhängigkeit von den Eigenschaften des Abfallbehälters abbilden zu können, wurden analog zur Konrad-Transportstudie die geringfügigen bis sehr hohen mechanischen und thermischen Beaufschlagungen in Form von Belastungsklassen (BK) herangezogen. [3]

Infolge des FLAB wird angenommen, dass sowohl ein mechanischer als auch ein thermischer Energieeintrag stattfindet. Der thermische Energieeintrag hängt stark von der Dauer des Brandes, von der Art und Weise wie das Abfallgebäude dem Brand ausgesetzt ist und von der Flammentemperatur ab.

Für die Simulationen des FLAB wurden neun Belastungsklassen (BK) gemäß der Transportstudie Konrad hinsichtlich der Freisetzungsanteile (FSA) und Auftreffgeschwindigkeiten extrapoliert. [3] Dabei wurden die FSA der höchsten BK aus der Transportstudie Konrad auf Basis der einwirkenden kinetischen Energie als Maß für die Zerstörungswirkung extrapoliert. Die in der Transportstudie Konrad aufgeführten FSA wurden auf Grundlage der bestehenden BK gegen das Quadrat der Geschwindigkeit aufgetragen und für die ermittelte Auftreffgeschwindigkeit des Flugzeugs von 468 km/h und 774 km/h extrapoliert. Für die Ermittlung der Quellterme wurden lungengängige Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser (AED) von 0 – 10 µm berücksichtigt.

Mit Hilfe der Extrapolation konnten vier weitere BK für die Ermittlung der notwendigen Quellterme abgeleitet werden. Die im Rahmen der Freisetzungsszenarien betrachteten BK in Abhängigkeit der Abfallgebäudegruppe (AGG) gemäß Transportstudie Konrad, sind für die Simulation der Freisetzungen in der nachfolgenden Tabelle 3 aufgeführt.



Bundesamt für Strahlenschutz

**Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen und Freisetzungen eines übertägigen Zwischenlagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle aus der Schachtanlage Asse II**

|         |             |         |    |          |      |                  |                   |
|---------|-------------|---------|----|----------|------|------------------|-------------------|
| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | <b>B 2476643</b> | Seite: 19 von 40  |
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN     | NN   |                  | Stand: 08.04.2016 |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047     | 00   |                  |                   |

Tabelle 3: Belastungsklassen für die Ermittlung der Quellterme zur Simulation der Freisetzungen infolge eines FLAB auf das übertägige Zwischenlager für die rückgeholten radioaktiven Abfälle.

| <b>Belastungsklasse (BK)</b> | <b>Erläuterung</b>  | <b>Abfallgebindegruppe (AGG)</b>           | <b>Freisetzungsanteil (FSA) aerodynamischer Partikeldurchmesser (AED) 0 – 10 µm</b> |
|------------------------------|---|--|---|
| <b>BK 8</b>                  | Für die BK 8 wird eine Auftreffgeschwindigkeit von 110 km/h unterstellt. Infolge dessen wird ein 30 minütiger Brand bei 800 °C angenommen.  | AGG 5 konditionierte radioaktive Abfälle   | 2,80E-03  |
| <b>BK 10</b>                 | Für die BK 10 wird eine Auftreffgeschwindigkeit von 468 km/h unterstellt. Infolge dessen wird kein länger andauernder Brand angenommen.     | AGG 5 konditionierte radioaktive Abfälle   | 9,74E-05  |
| <b>BK 10</b>                 | Für die BK 10 wird eine Auftreffgeschwindigkeit von 468 km/h unterstellt. Infolge dessen wird kein länger andauernder Brand angenommen.     | AGG 1 unkonditionierte radioaktive Abfälle | 9,38E-03  |
| <b>BK 11</b>                 | Für die BK 11 wird eine Auftreffgeschwindigkeit von 468 km/h unterstellt. Infolge dessen wird ein 30 minütiger Brand bei 800 °C angenommen. | AGG 5 konditionierte radioaktive Abfälle   | 6,45E-02  |
| <b>BK 13</b>                 | Für die BK 13 wird eine Auftreffgeschwindigkeit von 774 km/h unterstellt. Infolge dessen wird kein länger andauernder Brand angenommen.     | AGG 5 konditionierte radioaktive Abfälle   | 2,60E-04  |
| <b>BK 14</b>                 | Für die BK 14 wird eine Auftreffgeschwindigkeit von 774 km/h unterstellt. Infolge dessen wird ein 30 minütiger Brand bei 800 °C angenommen. | AGG 5 konditionierte radioaktive Abfälle   | 1,78E-01  |



Bundesamt für Strahlenschutz

**Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen  
und Freisetzungen eines übertägigen Zwischen-  
lagers für die rückgeholtten radioaktiven Abfälle  
aus der Schachanlage Asse II**

| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | B 2476643 | Seite: 20 von 40  |
|---------|-------------|---------|----|----------|------|-----------|-------------------|
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN     | NN   |           | Stand: 08.04.2016 |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047     | 00   |           |                   |

Weitere Annahmen beziehen sich auf die Anzahl der in den Containern verpackten und konditionierten Asse-Gebinde. Es wird angenommen, dass acht Asse-Gebinde in einen Container verbracht werden.

Als Variable des thermischen Eintrags dient die effektive Emissionshöhe für die Verbrennung beim Freisetzungsszenario 1 mit 10 m, beim Freisetzungsszenario 5 mit 50 m, bei den Freisetzungsszenarien 4 und 6 mit 120 m und bei den Szenarien 2 und 3 mit 80 m.

Als Referenzgebäude für die Ermittlung der Quellterme wird die mittlere Aktivität aller LAW-Gebinde von der 725- und 750-m-Sohle (124.486 Gebinde) zum Stichtag 01.01.2030, gemäß ASSEKAT verwendet. Eine Auflistung der Einzelnuclide ist im Anhang in Tabelle 8 zu finden. Das Inventar der mittelradioaktiven Abfälle aus der ELK 8a/511 wird bei der Quelltermmittlung nicht berücksichtigt, da diese Abfälle aufgrund ihrer hohen Direktstrahlung sowie des Kernbrennstoffgehalts in störfallfeste Verpackungen (z. B. MOSAIK-Behälter) und in Flugzeug absturzsicheren Bereichen gelagert werden. Eine solche Lagerung ist für die radioaktiven Abfälle ohne Kernbrennstoffe nicht vorgeschrieben.

Beim betrachteten **Szenario 1** entsteht im Zwischenlager durch einen FLAB eine Öffnung in der Außenwand, durch die freigesetzte radioaktive Stoffe aus 24 Containern mit konditionierten radioaktiven Abfällen ungefiltert in die Umgebung entweichen können. Die Auftreffgeschwindigkeit des Flugzeugs und der Trümmer, nach Durchschlagen des Gebäudes, auf die Containeroberfläche beträgt 468 km/h. Aufgrund der großen freien Einwirkungsfläche brennt das Kerosin sehr schnell (in wenigen Minuten) ab, sodass für einen Brand an dieser Stelle eine kurze Branddauer unterstellt wird. Die effektive Emissionshöhe für die Verbrennung wird mit 10 m angenommen.

Im **Szenario 2** werden insgesamt 12 Container mit konditionierten radioaktiven Abfällen aufgrund von Durchschlägen fester Körper durch die Wand des Zwischenlagers einer mechanischen und thermischen Belastung ausgesetzt. Dabei wird unterstellt, dass 6 Container mit einer Auftreffgeschwindigkeit auf die Containeroberfläche von 110 km/h und 6 Container mit einer Auftreffgeschwindigkeit auf die Containeroberfläche von 468 km/h von Festkörpern getroffen und beschädigt werden. Des Weiteren wird in diesem Szenario eine Brandentstehung mit einer Temperatur von 800 °C, welche ca. 30 min andauert, unterstellt. Die effektive Emissionshöhe für die Verbrennung wird mit 80 m angenommen.

Beim **Szenario 3** entstehen infolge eines FLAB Öffnungen in der Außenwand des Zwischenlagers, durch die freigesetzte radioaktive Stoffe aus 192 Transportverpackungen (entsprechen mengenmäßig 24 Containern) ungefiltert in die Umgebung entweichen können. Die Auftreffgeschwindigkeit des Flugzeugs und der Trümmer, nach Durchschlagen des Gebäudes, auf die Containeroberfläche beträgt ebenfalls 468 km/h. Aufgrund der großen freien Einwirkungsfläche brennt das Kerosin sehr schnell (in wenigen Minuten) ab, sodass für einen Brand an dieser Stelle eine kurze Branddauer unterstellt wird. Die effektive Emissionshöhe für die Verbrennung wird mit 80 m angenommen.

Beim **Szenario 4** werden insgesamt 12 Container mit konditionierten radioaktiven Abfällen aufgrund von Durchschlägen fester Körper durch die Wand des Zwischenlagers einer mechanischen und thermischen Belastung ausgesetzt. Dabei wird unterstellt, dass 6 Container mit einer Auftreffgeschwindigkeit auf die Containeroberfläche von 110 km/h und 6 Container mit einer Auftreffgeschwindigkeit auf die Containeroberfläche von 468 km/h von Festkörpern getroffen und beschädigt werden. Des Weiteren wird in diesem Szenario eine Brandentstehung mit einer Temperatur von 800 °C, welche ca. 30 min andauert, unterstellt. Die effektive Emissionshöhe für die Verbrennung wird hier als variierter thermischer Eintrag mit 120 m angenommen.

Im **Szenario 5** werden insgesamt 12 Container mit konditionierten radioaktiven Abfällen aufgrund von Durchschlägen fester Körper durch die Wand des Zwischenlagers einer mechanischen und thermischen Belastung ausgesetzt. Dabei wird unterstellt, dass die 12 Container mit einer Auftreffgeschwindigkeit von 778 km/h von Festkörpern getroffen und beschädigt werden. Des Weiteren wird in diesem Szenario für 6 Container ein 30 minütiger Brand mit einer Temperatur von 800 °C und für 6 Container aufgrund der großen Einwirkungsfläche ein Brand von nur wenigen Minuten unterstellt. Die effektive Emissionshöhe für die Verbrennung wird mit 50 m angenommen.

Beim **Szenario 6** werden insgesamt 12 Container mit konditionierten radioaktiven Abfällen aufgrund von Durchschlägen fester Körper durch die Wand des Zwischenlagers einer mechanischen und thermischen



Bundesamt für Strahlenschutz

**Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen  
und Freisetzungen eines übertägigen Zwischen-  
lagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle  
aus der Schachanlage Asse II**

| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | <b>B 2476643</b> | Seite: 21 von 40  |
|---------|-------------|---------|----|----------|------|------------------|-------------------|
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN     | NN   |                  | Stand: 08.04.2016 |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047     | 00   |                  |                   |

Belastung ausgesetzt. Dabei wird unterstellt, dass die 12 Container mit einer Auftreffgeschwindigkeit von 778 km/h vom Festkörper getroffen und beschädigt werden. Des Weiteren wird in diesem Szenario für 6 Container ein 30 minütiger Brand mit einer Temperatur von 800 °C und für 6 Container aufgrund der großen Einwirkungsfläche ein Brand von nur wenigen Minuten unterstellt. Die effektive Emissionshöhe für die Verbrennung wird mit 120 m angenommen.

Die Ermittlung der Quellterme für die beschriebenen Freisetzungsszenarien ist in der nachfolgenden Tabelle 4 aufgeführt. Für die sechs Freisetzungsszenarien ist die jeweils betroffene Anzahl an Containern mit konditionierten radioaktiven Abfällen oder Transportverpackungen mit darin verbrachten radioaktiven Abfällen in Kombination mit dem FSA der AGG und der entsprechenden BK aufgeführt. Für die Ermittlung der Quellterme wurde für die in den Containern verpackten radioaktiven Abfälle ausschließlich die AGG 5 zugrunde gelegt, in welcher die radioaktiven Abfälle in konditionierter / zementfixierter Form vorliegen. Die Quelltermmittlung der in Transportverpackungen verbrachten radioaktiven Abfälle erfolgte anhand der AGG 1, in welcher die radioaktiven Abfälle in unkonditionierter/unfixierter Form vorliegen. [3]



Bundesamt für Strahlenschutz

**Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen  
und Freisetzungen eines übertägigen Zwischen-  
lagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle  
aus der Schachanlage Asse II**

|         |             |         |    |          |      |                  |                   |
|---------|-------------|---------|----|----------|------|------------------|-------------------|
| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | <b>B 2476643</b> | Seite: 22 von 40  |
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN     | NN   |                  | Stand: 08.04.2016 |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047     | 00   |                  |                   |

Tabelle 4: Ermittlung der Quellterme für sechs Freisetzungsszenarien infolge eines FLAB, unter Berücksichtigung der betroffenen Container/Transportverpackungen Anzahl und der Freisetzungsanteile (FSA) der Abfallgebindegruppe (AGG) 5 für die jeweiligen Belastungsklassen (BK).

|   | Szenario 1                            | Szenario 2 | Szenario 3 | Szenario 4 | Szenario 5 | Szenario 6 |
|---|---------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>betroffene Container BK 8</b>              | ---                                   | 6          | ---        | 6          | ---        | ---        |
| <b>FSA AGG 5 BK 8</b>                         | 2,80E-03                              |            |            |            |            |            |
| <b>Auftreffgeschwindigkeit</b>                | 110 km/h                              |            |            |            |            |            |
| <b>Brandeigenschaften</b>                     | kein lang andauernder Brand (≤30 min) |            |            |            |            |            |
| <b>betroffene Transportverpackungen BK 10</b> | ---                                   | ---        | 192        | ---        | ---        | ---        |
| <b>FSA AGG 1 BK 10</b>                        | 9,38E-03                              |            |            |            |            |            |
| <b>betroffene Container BK 10</b>             | 24                                    | ---        | ---        | ---        | ---        | ---        |
| <b>FSA AGG 5 BK 10</b>                        | 9,74E-05                              |            |            |            |            |            |
| <b>Auftreffgeschwindigkeit</b>                | 468 km/h                              |            |            |            |            |            |
| <b>Brandeigenschaften</b>                     | 30 min bei 800°C                      |            |            |            |            |            |
| <b>betroffene Container BK 11</b>             | ---                                   | 6          | ---        | 6          | ---        | ---        |
| <b>FSA AGG 5 BK 11</b>                        | 6,45E-02                              |            |            |            |            |            |
| <b>Auftreffgeschwindigkeit</b>                | 468 km/h                              |            |            |            |            |            |
| <b>Brandeigenschaften</b>                     | 30 min bei 800°C                      |            |            |            |            |            |
| <b>betroffene Container BK 13</b>             | ---                                   | ---        | ---        | ---        | 6          | 6          |
| <b>FSA AGG 5 BK 13</b>                        | 2,60E-04                              |            |            |            |            |            |
| <b>Auftreffgeschwindigkeit</b>                | 774 km/h                              |            |            |            |            |            |
| <b>Brandeigenschaften</b>                     | kein lang andauernder Brand (≤30 min) |            |            |            |            |            |



Bundesamt für Strahlenschutz

**Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen und Freisetzungen eines übertägigen Zwischenlagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II**

|         |             |         |    |          |      |                  |                   |
|---------|-------------|---------|----|----------|------|------------------|-------------------|
| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | <b>B 2476643</b> | Seite: 23 von 40  |
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN     | NN   |                  | Stand: 08.04.2016 |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047     | 00   |                  |                   |

Fortsetzung Tabelle 4: Ermittlung der Quellterme für sechs Freisetzungsszenarien infolge eines FLAB, unter Berücksichtigung der betroffenen Container/Transportverpackungen Anzahl und der Freisetzungsanteile (FSA) der Abfallgebindegruppe (AGG) 5 für die jeweiligen Belastungsklassen (BK).

|  | Szenario 1       | Szenario 2      | Szenario 3      | Szenario 4      | Szenario 5      | Szenario 6      |
|--|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>betroffene</b>  |                  |                 |                 |                 |                 |                 |
| <b>Container BK 14</b>   | ---              | ---             | ---             | ---             | 6               | 6               |
| <b>FSA AGG 5 BK 14</b>   | 1,78E-01         |                 |                 |                 |                 |                 |
| <b>Auftreffgeschwindigkeit</b>                                 | 774 km/h         |                 |                 |                 |                 |                 |
| <b>Brandeigenschaften</b>                                      | 30 min bei 800°C |                 |                 |                 |                 |                 |
| <b>Rückhaltung durch Gebäude</b>                               | 0%               | 0%              | 0%              | 0%              | 0%              | 0%              |
| <b>mittlere Aktivität eines LAW-Gebindes aus der Asse [Bq]</b> | 1,00E+10         |                 |                 |                 |                 |                 |
| <b>effektive Emissionshöhe für die Verbrennung</b>             | 10 m             | 80 m            | 80 m            | 120 m           | 50 m            | 120 m           |
| <b>Freisetzung [Bq]</b>  | <u>1,87E+08</u>  | <u>3,11E+10</u> | <u>1,80E+10</u> | <u>3,11E+10</u> | <u>1,08E+10</u> | <u>1,08E+10</u> |

#### 4.4 AUSBREITUNGSMODELLE / SIMULATIONSMODELLE FÜR FREISETZUNGSSZENARIEN

Ein weiteres Ziel dieser Studie ist es abzuschätzen, welche Strahlenexpositionen der Bevölkerung bei Freisetzungen infolge eines auslegungsüberschreitenden Szenarios aus dem übertägigen Zwischenlager für die rückgeholten radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II auftreten könnten und in welchen Gebieten Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung zu veranlassen wären.

Unter Zugrundelegung der Quellterme für die sechs betrachteten auslegungsüberschreitenden Freisetzungsszenarien (siehe Kap. 4.4) wurden zur Ermittlung der möglicherweise betroffenen Gebiete Ausbreitungs- und Dosisberechnungen durchgeführt. Neben der Ermittlung von potentiellen Strahlenexpositionen für die Bevölkerung war ein weiteres Ziel der Rechnungen die Ermittlung von Entfernungen ab der Quelle, bis zu denen in einem solchen Fall Schutzmaßnahmen durchgeführt werden müssten. Als Kriterien für die Ermittlung der Gebiete, in denen Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung durchzuführen wären, wurden die Eingreifrichtwerte für die Einleitung von Maßnahmen aus den Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen [11] herangezogen.

Eingreifrichtwerte sind nach [11] Dosiswerte, die Personen unter bestimmten Annahmen zu Expositionsbedingungen erhalten oder erhalten könnten. Sie fungieren als radiologische Auslösekriterien für die jeweilige Schutzmaßnahme. Eingreifrichtwerte sind Planungswerte. Die Eingreifrichtwerte für Schutzmaßnahmen beziehen sich auf die effektive Dosis oder im Fall der Schilddrüse auf die Organdosis. Die jeweiligen Eingreifrichtwerte sind Dosiswerte, die weit unterhalb von Dosiswerten für deterministische

|   |             |         |    |   |      |                  |                  |                   |
|---|-------------|---------|----|---|------|------------------|------------------|-------------------|
|  |             |         |    | <b>Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen und Freisetzungen eines übertägigen Zwischenlagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II</b> |      |                  |                  |                   |
| <b>Bundesamt für Strahlenschutz</b>   |             |         |    |   |      |                  |                  |                   |
| Projekt   | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr.  | Rev. | <b>B 2476643</b> | Seite: 24 von 40 |                   |
| NAAN  | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN  | NN   |                  | <b>B 2476643</b> | Stand: 08.04.2016 |
| 9A  | 23420000    | GHB     | RB | 0047  | 00   |                  |                  |                   |

Effekte liegen. Eingreifrichtwerte sind in den Radiologischen Grundlagen [11] für die in Tabelle 6 aufgeführten Schutzmaßnahmen festgelegt. Mit Hilfe der Eingreifrichtwerte werden die Gebiete ermittelt, in denen die Durchführung von Schutzmaßnahmen aus Sicht des Strahlenschutzes erforderlich ist.

Tabelle 5: Eingreifrichtwerte für die Maßnahmen „Aufenthalt in Gebäuden“, „Einnahme von Iodtabletten“ und „Evakuierung“.

| Maßnahme                         | Eingreifrichtwerte   |                 |   |
|----------------------------------|--|-----------------|---|
|                                  | Organdosis (Schilddrüse)   | Effektive Dosis | Integrationszeiten und Expositionspfade   |
| <b>Aufenthalt in Gebäuden</b>    |  | 10 mSv          | Äußere Exposition in 7 Tagen und effektive Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhalierten Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien |
| <b>Einnahme von Iodtabletten</b> | 50 mSv<br>Kinder und Jugendliche unter 18 Jahren und Schwangere;<br>250 mSv<br>Personen von 18 bis 45 Jahren |                 | Organ-Folgedosis durch im Zeitraum von 7 Tagen inhaliertes Radioiod bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien   |
| <b>Evakuierung</b>               |  | 100 mSv         | Äußere Exposition in 7 Tagen und effektive Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhalierten Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien |

#### 4.4.1 DAS ENTSCHEIDUNGSHILFESYSTEM RODOS MIT DEM AUSBREITUNGSMODELL LASAT

Die Ausbreitungs- und Dosisberechnungen für die Störfallszenarien wurden mit dem Entscheidungshilfesystem RODOS durchgeführt (Raskob und Gering 2010; <http://www.rodos.fzk.de/>). Das Entscheidungshilfesystem RODOS wird im Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) - und auch in vielen anderen europäischen Staaten - betrieben, um Ausbreitungs- und Dosisberechnungen bei einem kerntechnischen Unfall oder bei anderen Freisetzungen von Radionukliden in die Umwelt durchzuführen und mögliche Konsequenzen abzuschätzen.

In RODOS sind verschiedene Ausbreitungsmodelle implementiert. Aufgrund verschiedener Randbedingungen (z. B. Rechenzeit, räumliche und zeitliche Auflösung) wurde für die umfangreichen Rechnungen mit RODOS im Rahmen dieser Studie das Ausbreitungsmodell Lagrange-Simulation von Aerosol-Transport (LASAT) verwendet. LASAT ist ein Modell zur Berechnung der Ausbreitung von radioaktiven Gasen und Partikeln in der Atmosphäre mit einem Lagrange-Partikelmodell nach einer instantanen oder kurzzeitigen Freisetzung. Als Strömungsmodell wird in RODOS ein diagnostisches, massenkonsistentes Windfeld-Modell eingesetzt.



Bundesamt für Strahlenschutz

**Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen  
und Freisetzungen eines überträgigen Zwischen-  
lagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle  
aus der Schachanlage Asse II**

| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | B 2476643 | Seite: 25 von 40  |
|---------|-------------|---------|----|----------|------|-----------|-------------------|
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN     | NN   |           | Stand: 08.04.2016 |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047     | 00   |           |                   |

Die Dosisberechnung in RODOS berücksichtigt alle bei Freisetzungen von Radionukliden in die Umwelt relevanten Expositionspfade des Menschen, diese sind:

- externe Strahlenexposition durch Radionuklide in der Luft,
- externe Strahlenexposition durch Radionuklide, die auf dem Boden abgelagert wurden,
- externe Strahlenexposition durch Radionuklide, die auf der Kleidung oder Haut abgelagert wurden,
- interne Strahlenexposition durch Inhalation von Radionukliden in der Luft,
- interne Strahlenexposition durch Aufnahme von Radionukliden über die Nahrung.

#### 4.4.2 RANDBEDINGUNGEN FÜR DIE BERECHNUNGEN

Auf der Basis der in Kapitel 4.4 beschriebenen auslegungsüberschreitenden Freisetzungsszenarien und realer prognostischer Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) wurden Berechnungen für einen frei gewählten Zeitraum (01. November 2011 – 31. Oktober 2012; 365 Tage mit jeweils einer Rechnung pro Tag und einem Prognosezeitraum von 12 h) mit RODOS durchgeführt. Aufgrund der großen Zahl an Ergebnissen steht damit eine gesicherte statistische Grundlage für Aussagen zu möglichen radiologischen Auswirkungen zur Verfügung.

Mit dem gewählten Zeitraum von einem vollen Jahr ist gewährleistet, dass jede Jahreszeit und deren meteorologische Besonderheiten hinreichend berücksichtigt sind. Durch Überprüfung der meteorologischen Daten über mehrere Jahre hinweg wurde gezeigt, dass sich der untersuchte Zeitraum nicht signifikant von anderen Jahren unterscheidet und damit als repräsentatives Jahr angesehen werden kann.

Als meteorologische Datenbasis für die Strömungsfelder stehen die Daten aus dem COSMO-EM System (Consortium for small scale modelling – Europa Modell) des Deutschen Wetterdienstes (DWD) zur Verfügung.

Bei jedem Rechenlauf wurde im Rechengebiet die Strahlenexposition der Bevölkerung als effektive Dosis und als Organdosis für Schilddrüse und Knochenmark berechnet. Die Strahlendosen wurden typischerweise – d.h. wenn nicht anders angegeben - für eine Integrationszeit von 7 Tagen (das betrifft die externe Dosis durch Radionuklide, die auf dem Boden abgelagert wurden) und unter der konservativen Annahme eines ungeschützten Daueraufenthaltes im Freien ermittelt (d.h. es wurde keine Abschirmung durch einen möglichen Aufenthalt in Gebäuden berücksichtigt). Berücksichtigt wurden dabei die externen Expositionspfade und die interne Exposition durch Inhalation. Nicht berücksichtigt wurde hingegen die interne Exposition durch Radionuklide in Nahrungsmitteln (Ingestion), da angenommen wird, dass bei einer Anwendung der EU-Höchstwerte für Radionuklide in Nahrungsmitteln sowie durch Nutzungseinschränkungen (eine Warnung der Bevölkerung vor dem Verzehr frisch geernteter bzw. möglicherweise kontaminierter Lebensmittel gehört zu den ersten Maßnahmen bei einem derartigen Unfall) der Dosisbeitrag durch Ingestion gering sein würde gegenüber den anderen Expositionspfaden.

Die Berechnungen in RODOS wurden auf einem dynamischen Gitter mit 8056 Punkten durchgeführt, für diese Studie wurde ein Gitter mit einer Gitterweite von 50 m im Nahbereich (bis zu 500 m Entfernung, dann stufenweise – in insgesamt 5 Stufen - Vergrößerung der Gitterweite bis auf 800 m) und einer Ausdehnung von 40 km x 40 km gewählt. Aufgrund der zeitlichen Auflösung von einer Stunde der verwendeten meteorologischen Daten des DWD wurde für die Berechnungen ebenfalls eine Zeitschrittlänge von einer Stunde gewählt.

|  |             |         |  |          |      |                  |                   |
|--|-------------|---------|--|----------|------|------------------|-------------------|
| <br><b>Bundesamt für Strahlenschutz</b> |             |         | <b>Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen<br/> und Freisetzungen eines übertägigen Zwischen-<br/> lagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle<br/> aus der Schachanlage Asse II</b> |          |      |                  |                   |
| Projekt  | PSP-Element | Aufgabe | UA   | Lfd. Nr. | Rev. | <b>B 2476643</b> | Seite: 26 von 40  |
| NAAN   | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA   | NNNN     | NN   |                  | Stand: 08.04.2016 |
| 9A   | 23420000    | GHB     | RB   | 0047     | 00   |                  |                   |

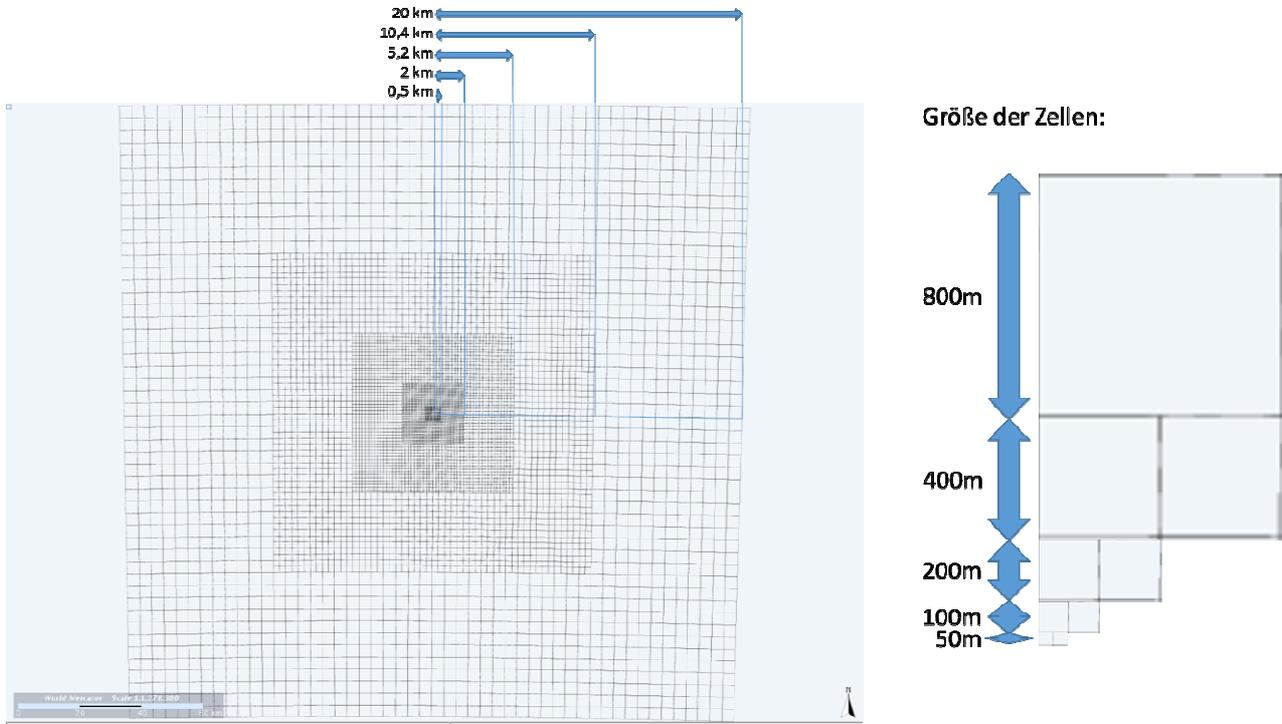


Abbildung 2: Darstellung des verwendeten RODOS-Rechengitters mit 8056 Gitterpunkten und einer Ausdehnung von 40 km x 40 km.

## 4.5 ERGEBNISSE FÜR DIE AUSLEGUNGSÜBERSCHREITENDEN SZENARIEN

Ein wesentliches Ergebnis der vorliegenden Studie ist, dass bei keinem der betrachteten Freisetzungsszenarien an irgendeinem Gitterpunkt eine Überschreitungen der Eingreif-Richtwerte für Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung (Evakuierung, Aufenthalt in Gebäuden, Iodblockade; siehe auch Tabelle 6) auftritt. Berücksichtigt wurden dabei Entfernungen vom Freisetzungsort zwischen 50 m und mehr als 20 km (siehe auch die Darstellung des Rechengitters in Abbildung 2). In einer einzigen Simulation (für das Freisetzungsszenario 5) wurde der Richtwert für die Maßnahme „Aufenthalt in Gebäuden“ (10 mSv effektive Dosis) genau erreicht (in einer Entfernung von 100 m vom Freisetzungsort). Dies stellt die maximale Dosis über alle Einzelsimulationen dar, sowohl innerhalb von Szenario 5 als auch über alle 6 Freisetzungsszenarien hinweg betrachtet.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der jeweils 365 Einzelrechnungen (d.h. für jeden Tag des betrachteten Jahres eine Rechnung) für jedes der 6 Freisetzungsszenarien dargestellt. Dazu wird zuerst für jede Einzelrechnung separat der maximale Wert der Dosis auf dem gesamten Gitter gesucht (=Dosis am maximalen Aufpunkt) und dann noch für jede Einzelrechnung jeweils der in den Entfernungen 0,5, 1, 3, 5, 10 und 20 km auftretende maximale Wert der Dosis bestimmt (dies bedeutet, dass z.B. in einer Entfernung von 1 km vom Freisetzungspunkt die Werte der berechneten Dosis in allen Richtungen verglichen und deren Maximum bestimmt wird). Danach wird die Verteilung oder Bandbreite dieser maximalen Werte über alle zu einem Freisetzungsszenario gehörenden 365 Einzelrechnungen betrachtet und anhand Medianwert, 10. Perzentil, 90. Perzentil sowie Minimum und Maximum beschrieben. 10. Perzentil bedeutet z.B. in diesem Zusammenhang, dass in 10% der betrachteten 365 Einzelrechnungen (d.h. in 37 Rechnungen) ein maximaler Wert der Dosis aufgetreten ist, der kleiner ist als der ausgewiesene Wert der 10. Perzentils.

|  |             |         |    |  |      |                  |                   |
|--|-------------|---------|----|--|------|------------------|-------------------|
| <br><b>Bundesamt für Strahlenschutz</b> |             |         |    | <b>Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen<br/> und Freisetzungen eines übertägigen Zwischen-<br/> lagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle<br/> aus der Schachanlage Asse II</b> |      |                  |                   |
| Projekt  | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr.   | Rev. | <b>B 2476643</b> | Seite: 27 von 40  |
| NAAN   | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN   | NN   |                  | Stand: 08.04.2016 |
| 9A   | 23420000    | GHB     | RB | 0047   | 00   |                  |                   |

Abbildung 3 zeigt die Verteilung der effektiven Dosis (Integrationszeit von 7 Tagen) am jeweils maximalen Aufpunkt für die 365 Einzelrechnungen für jedes Freisetzungsszenario. Dargestellt sind der Medianwert, das 10. Perzentil, das 90. Perzentil sowie das Minimum und das Maximum der effektiven Dosis aus den 365 Einzelrechnungen (für jeden Tag des betrachteten Jahres). Betrachtet wird die äußere Exposition durch Bodenstrahlung und Wolkenstrahlung in 7 Tagen sowie die effektive Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhalierten Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien. Die hier dargestellte Dosis kann direkt mit den Eingreifrichtwerten aus Tab. 4 für Evakuierung (100 mSv) und Aufenthalt in Gebäuden (10 mSv) verglichen werden. Der Medianwert der Dosis am maximalen Aufpunkt liegt für die verschiedenen Szenarien zwischen ca. 0,005 und 1 mSv.

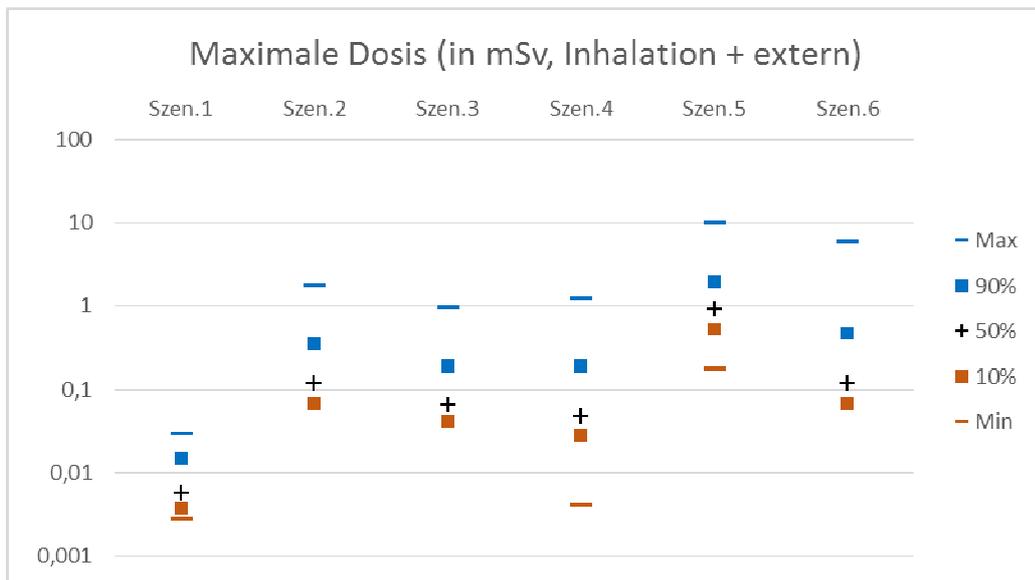


Abbildung 3: Maximale effektive Dosis (Integrationszeit 7 Tage) über die Expositionspfade Inhalation, Bodenstrahlung und Wolkenstrahlung am maximalen Aufpunkt.

Bei der Bestimmung der maximalen effektiven Dosis ist zu berücksichtigen, dass der Maximalwert der Dosis bei jedem einzelnen der betrachteten 365 Unfallsimulationen für jedes der sechs Freisetzungsszenarien in unterschiedlicher Entfernung vom Freisetzungsort auftreten kann. Die Position des Gitterpunktes mit dem Maximalwert der Dosis (=maximaler Aufpunkt) hängt sowohl von den gewählten Annahmen über die Freisetzung (hier insbesondere die Freisetzungshöhe) wie auch von den jeweils an dem betrachteten Tag vorherrschenden Wetterbedingungen ab. Tabelle 6 beschreibt die Verteilung (Medianwert, 10. Perzentil, 90. Perzentil sowie Minimum und Maximum) der Entfernungen des maximalen Aufpunkts vom Freisetzungsort für jedes der 6 Freisetzungsszenarien.

Man erkennt aus Tabelle 6, dass die Entfernung des maximalen Aufpunkts vom Freisetzungsort von der Freisetzungshöhe abhängig ist: für eine bodennahe Freisetzung in 10 m Höhe – Szenario 1 – liegt der Median bei 0,5 km, während bei einer Freisetzung mit einer großen effektiven Freisetzungshöhe von 120 m – Szenario 4 und 6 – der Median in einer 5-mal größeren Entfernung bei ca. 2,5 km liegt. Bei der Analyse der Einzelrechnungen zeigt es sich, dass die Entfernung des maximalen Aufpunkts weitgehend unabhängig vom Niederschlag ist. Dies liegt daran, dass die Inhalationsdosis bei allen Szenarien den größten Dosisbeitrag liefert und das Maximum der Inhalationsdosis erst erreicht wird, wenn die radioaktive Wolke im Laufe des atmosphärischen Transports den Boden erreicht und somit die bodennahen Luftschichten stark kontaminiert werden. Diese vertikale Diffusion der radioaktiven Wolke ist weitgehend unabhängig vom Niederschlag.



Bundesamt für Strahlenschutz

**Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen und Freisetzungen eines übertägigen Zwischenlagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II**

|         |             |         |    |          |      |                  |                   |
|---------|-------------|---------|----|----------|------|------------------|-------------------|
| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | <b>B 2476643</b> | Seite: 28 von 40  |
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN     | NN   |                  | Stand: 08.04.2016 |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047     | 00   |                  |                   |

Tabelle 6: Beschreibung der Verteilung (Medianwert, 10. Perzentil, 90. Perzentil sowie Minimum und Maximum; jeweils in km) der Entfernungen des maximalen Aufpunkts vom Freisetzungsort.

|                   | Freisetzungshöhe [m] | Minimum [km] | 10. Perzentil [km] | Median (50. Perzentil) [km] | 90. Perzentil [km] | Maximum [km] |
|-------------------|----------------------|--------------|--------------------|-----------------------------|--------------------|--------------|
| <b>Szenario 1</b> | 10                   | 0,2          | 0,3                | <b>0,5</b>                  | 0,9                | 2,2          |
| <b>Szenario 2</b> | 80                   | 0,2          | 0,5                | <b>1,7</b>                  | 5,2                | 25,5         |
| <b>Szenario 3</b> | 80                   | 0,2          | 0,4                | <b>1,6</b>                  | 2,1                | 23,0         |
| <b>Szenario 4</b> | 120                  | 0,2          | 0,4                | <b>2,5</b>                  | 3,5                | 27,7         |
| <b>Szenario 5</b> | 50                   | 0,1          | 0,3                | <b>0,9</b>                  | 1,2                | 24,3         |
| <b>Szenario 6</b> | 120                  | 0,2          | 0,4                | <b>2,6</b>                  | 4,3                | 27,2         |

Tabelle 7 zeigt im Überblick den Medianwert der maximalen effektiven Dosis für die betrachteten 6 Freisetzungsszenarien jeweils in einer Entfernung von 0,5, 1, 3, 5, 10 und 20 km vom Freisetzungsort. Nur bei der niedrigsten Freisetzungshöhe – 10 m in Szenario 1 – nimmt der Medianwert mit zunehmender Entfernung vom Freisetzungsort kontinuierlich ab. Bei allen anderen Szenarien steigt der Medianwert anfangs mit zunehmender Entfernung an, bis die wahrscheinlichste Entfernung (d.h. der Medianwert der Entfernung) des maximalen Aufpunktes – siehe Tabelle 7 – erreicht ist. Erst für größere Entfernung nimmt dann der Medianwert mit zunehmender Entfernung vom Freisetzungsort kontinuierlich ab.

Tabelle 7: Medianwert der maximalen effektiven Dosis über die Expositionspfade Inhalation, Bodenstrahlung und Wolkenstrahlung in verschiedenen Entfernungen vom Freisetzungspunkt in mSv.

|                   | 0,5 km | 1 km  | 3 km  | 5 km   | 10 km  | 20 km   |
|-------------------|--------|-------|-------|--------|--------|---------|
| <b>Szenario 1</b> | 0,006  | 0,004 | 0,001 | 0,0005 | 0,0001 | 0,00004 |
| <b>Szenario 2</b> | 0,03   | 0,09  | 0,07  | 0,05   | 0,02   | 0,006   |
| <b>Szenario 3</b> | 0,01   | 0,05  | 0,04  | 0,03   | 0,01   | 0,003   |
| <b>Szenario 4</b> | 0,0008 | 0,02  | 0,04  | 0,03   | 0,01   | 0,005   |
| <b>Szenario 5</b> | 0,7    | 0,7   | 0,3   | 0,2    | 0,06   | 0,02    |
| <b>Szenario 6</b> | 0,002  | 0,04  | 0,1   | 0,08   | 0,04   | 0,01    |

In Abbildung 4 und 5 sind die in Tabelle 7 aufgeführten Medianwerte der maximalen jährlichen effektiven Dosis in Abhängigkeit der Entfernung vom Freisetzungspunkt graphisch dargestellt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind in Abbildung 4 die Szenarien 1 - 4 und in Abbildung 5 die Szenarien 5 und 6 dargestellt. Die Verläufe der Szenarien 2 und 3 (Freisetzungshöhe jeweils 80 m) zeigen bis zu einer Entfernung von 1 km vom Freisetzungspunkt zunächst einen Anstieg der maximalen jährlichen effektiven Dosis, bevor die maximale jährliche effektive Dosis bis zu einer Entfernung von 20 km vom Freisetzungspunkt entfernt kontinuierlich abnimmt.

Die Szenarien 2 und 4 bilden die Simulationen ab, bei denen die größte freigesetzte Aktivität zugrunde gelegt wird.

Beim Szenario 1 und 4 ist in Abbildung 4 ein anderer Verlauf sichtbar. Aufgrund der niedrigen Freisetzungshöhe von 10 m zeigt der Verlauf des Szenarios 1 keinen nennenswerten Anstieg der maximalen effektiven Dosis mit zunehmender Entfernung zum Freisetzungspunkt, sondern eine durchweg abflachende Tendenz bis zu einer Entfernung von 20 km vom Freisetzungspunkt.



| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | B 2476643 | Seite: 29 von 40  |
|---------|-------------|---------|----|----------|------|-----------|-------------------|
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN     | NN   |           | Stand: 08.04.2016 |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047     | 00   |           |                   |

Beim Szenario 4 ist aufgrund der hohen Freisetzungshöhe von 120 m ein anderer Verlauf der maximalen effektiven Dosis mit zunehmender Entfernung zum Freisetzungspunkt zu beobachten. Die maximale jährliche effektive Dosis steigt bis zu einer Entfernung von 3 km vom Freisetzungspunkt, bevor sich eine abflachende Tendenz des Verlaufs bis zu einer Entfernung von 20 km vom Freisetzungspunkt einstellt.

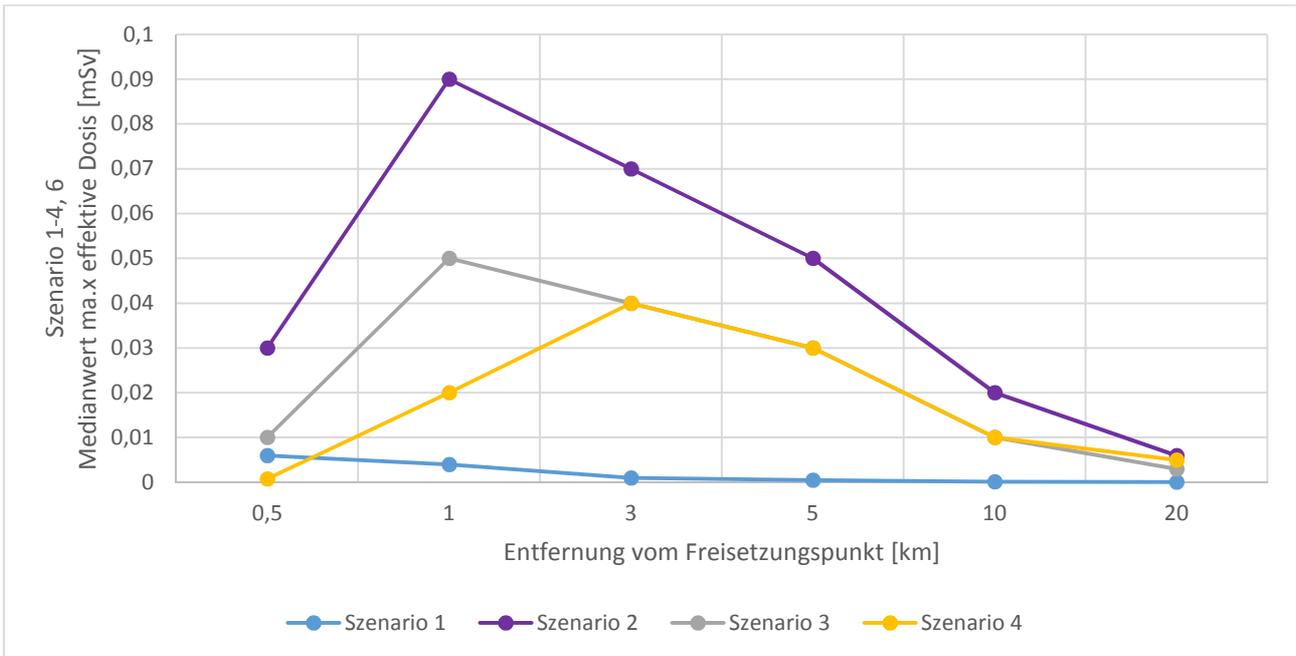


Abbildung 4: Darstellung der Medianwerte zur maximalen effektiven Dosis (Integrationszeit 7 Tage) über die Expositionspfade Inhalation, Bodenstrahlung und Wolkenstrahlung in verschiedenen Entfernungen vom Freisetzungspunkt für die Szenarien 1-4 in mSv.

In der nachfolgenden Abbildung 5 sind die Szenarien 5 und 6 dargestellt. Die Szenarien 5 und 6 weisen bis auf die effektive Freisetzungshöhe (Szenario 5: 50 m, Szenario 6: 120 m) die gleichen Randbedingungen auf und beinhalten somit den gleichen Quellterm.

Im Szenario 5 wird die höchste maximale effektive Dosis bei einer Entfernung von 0,5 km vom Freisetzungspunkt ermittelt. Ab einer Entfernung von 1 km vom Freisetzungspunkt entfernt nimmt die effektive Dosis bis zu einer Entfernung von 20 km stetig ab. Das Szenario 6 zeigt hingegen ab einer Entfernung von 0,5 km vom Freisetzungspunkt einen Anstieg der maximalen effektiven Dosis bis zu einer Entfernung von 3 km. Danach nimmt die effektive Dosis bis zu einer Entfernung von 20 km stetig ab. Der Verlauf ähnelt dem Verlauf des Szenarios 4 in Abbildung 4.



Bundesaamt für Strahlenschutz

# Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen und Freisetzungen eines übertägigen Zwischenlagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II

|         |             |         |    |          |      |           |                   |
|---------|-------------|---------|----|----------|------|-----------|-------------------|
| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | B 2476643 | Seite: 30 von 40  |
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN     | NN   |           | Stand: 08.04.2016 |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047     | 00   |           |                   |

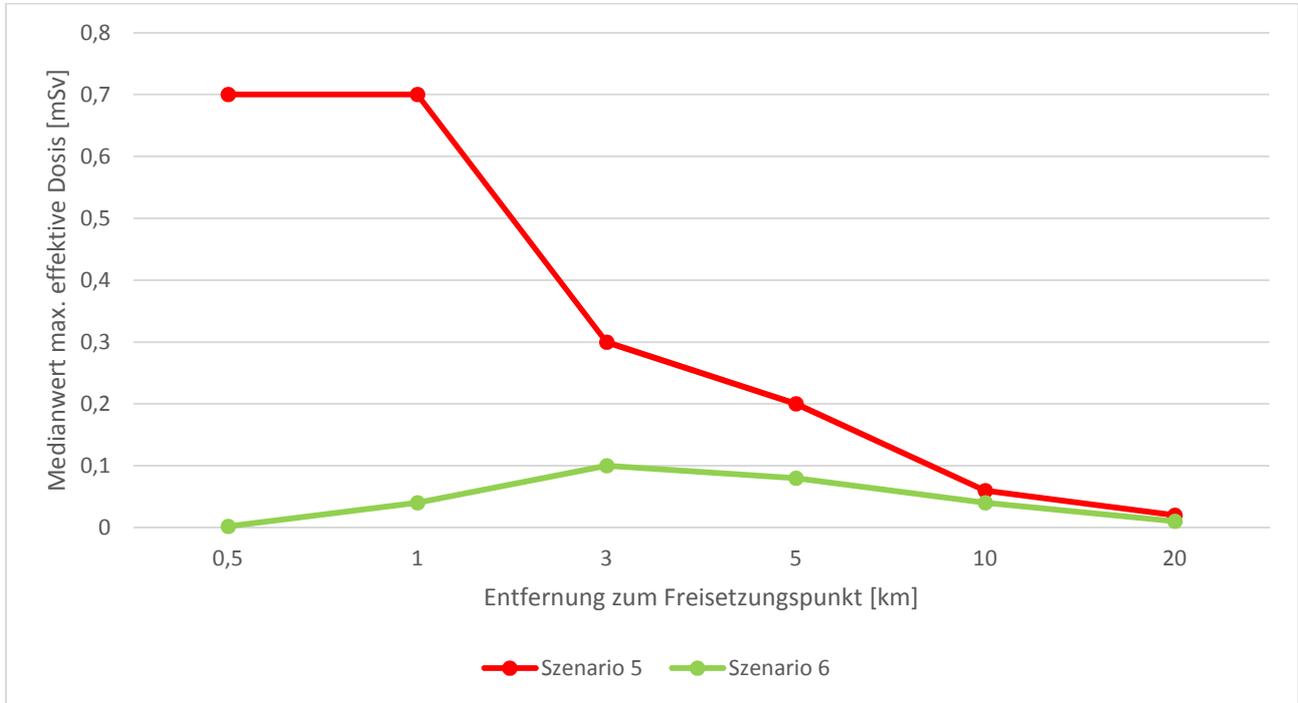


Abbildung 5: Darstellung der Medianwerte zur maximalen effektiven Dosis (Integrationszeit 7 Tage) über die Expositionspfade Inhalation, Bodenstrahlung und Wolkenstrahlung in verschiedenen Entfernungen vom Freisetzungspunkt für die Szenarien 5 und 6 in mSv.

Die in Abbildung 5 dargestellten Szenarien zeigen deutlich, dass bei gleichen zugrunde gelegten Randbedingungen und identischen Quelltermen die Freisetzungshöhe bzw. die Emissionshöhe von entscheidender Bedeutung für die zu erwartenden Dosisbelastungen über die Expositionspfade Inhalation, Bodenstrahlung und Wolkenstrahlung ist.



Bundesamt für Strahlenschutz

## Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen und Freisetzungen eines übertägigen Zwischenlagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II

| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | B 2476643 | Seite: 31 von 40  |
|---------|-------------|---------|----|----------|------|-----------|-------------------|
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN     | NN   |           | Stand: 08.04.2016 |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047     | 00   |           |                   |

## 5 ZUSAMMENFASSUNG

Ziel der Parameterstudie ist es, die Ausbreitung und mögliche Auswirkungen der Ableitung im Normalbetrieb und der Freisetzungen infolge eines auslegungsüberschreitenden Szenarios auf die Umwelt bzw. Bevölkerung abzuschätzen.

Im ersten Schritt der Parameterstudie wurde eine Modellregion gesucht, die ähnliche orografische und meteorologische Voraussetzungen aufweist, wie die Region um die Asse herum. Im zweiten Schritt wurden Quellterme bzw. Szenarien abgeleitet, mit deren Hilfe die Berechnungen durchgeführt werden konnten. Im dritten Schritt wurden die Berechnungsmodelle erstellt und die Berechnungen für die jeweiligen Szenarien durchgeführt.

Als Modellregion kam nur ein Areal infrage, für welches statistisch abgesicherte Wetterdaten vorliegen. Im Hinblick auf die orografischen Randbedingungen wurde eine Asse-ähnliche Topografie ausgewählt und diese mit Hilfe topografischer Karten modelliert. Für die Abmaße des Zwischenlagergebäudes wurde auf die im BfS vorhandenen Vorplanungen zurückgegriffen.

Die Ermittlung eines Quellterms für die Berechnungen der Ableitungen im Normalbetrieb aus einem Zwischenlager stellte eine besondere Herausforderung dar. Üblicherweise findet in den Zwischenlagern für schwach- und mittelradioaktive Abfälle auch die Konditionierung der Abfälle statt, sodass keine reinen Ableitungswerte für das alleinige Zwischenlager vorliegen bzw. ermittelt werden konnten. Da die Konditionierung im Vergleich zur Lagerung der Abfälle deutlich höhere Ableitungswerte verursacht, kann im Rahmen dieser Parameterstudie auf Ableitungswerte von solchen Anlagen nicht zurückgegriffen werden.

In der Parameterstudie wurde daher für die Simulation der Ableitung ein Quellterm zugrunde gelegt, der den heutigen Ableitungswerten aus der Schachanlage Asse II entspricht. Dieser Quellterm ist sehr konservativ, d. h. die berechnete Ableitung aus dem Zwischenlager wird deutlich überschätzt, da die Abfälle heute weder gasdicht noch besonders verpackt sind. Die heute vorhandenen Tritium-, Kohlenstoff-14- und Radon-Ableitungen, die im Wesentlichen die potentielle Strahlenexposition in der Umgebung bestimmen, werden nach der Neukonditionierung und Verpackung der Abfälle vermutlich wesentlich geringer sein.

Für die Simulation der Verteilung der Radionuklide im Normalbetrieb wird die atmosphärische Ausbreitung und Deposition der abgeleiteten radioaktiven Stoffe mit dem Atmosphärischen-Radionuklid-Transport-Modell ARTM [9], [10] berechnet.

Im Hinblick auf die Freisetzung von radioaktiven Stoffen infolge von Störfällen wird ein Flugzeugabsturz (FLAB) als abdeckendes Ereignis angenommen. Jeder denkbare andere Störfall (etwa Gebindeabsturz) ist davon umfasst.

Da bei einem FLAB unterschiedliche Flugzeuge in Betracht kommen können, wurden in der Parameterstudie verschiedene Szenarien entwickelt, bei den unterschiedliche Gebindeanzahlen betroffen und die Aufprallgeschwindigkeiten auf den Containeroberflächen variiert worden sind. Des Weiteren wurden Brandszenarien mit unterschiedlichen Branddauern betrachtet. Insgesamt wurden sechs Szenarien abgeleitet.

Die Simulation der Freisetzungen wird mit dem Computerprogramm RODOS (Real-time Online Decision Support System) durchgeführt. Das Entscheidungshilfesystem RODOS dient dazu, Ausbreitungs- und Dosisberechnungen bei Freisetzungen von Radionukliden in die Umwelt durchzuführen und mögliche Konsequenzen hieraus abzuschätzen.

Bei der Simulation der Ableitung wurden Betrachtungen zu drei Altersgruppen (in Anlehnung an die jährliche Berichterstattung des BMUB über die Strahlenexposition der Bevölkerung) und der effektiven Dosis über alle Expositionspfade durchgeführt.

Die berechneten Jahresdosiswerte für die Referenzperson Säuglinge, Kleinkinder (1 - 2 Jahre) und Erwachsene bewegen sich zwischen 24 und 45 Mikrosievert. Die Ausschöpfung des Dosisgrenzwertes für die effektive Dosis beträgt maximal 15 Prozent (Säuglinge). Aufgrund der geringen Ausschöpfung des Dosisgrenzwertes für die effektive Dosis ist auch eine Überschreitung von Organdosisgrenzwerten ausgeschlossen.



Bundesamt für Strahlenschutz

**Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen und Freisetzungen eines übertägigen Zwischenlagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle aus der Schachtanlage Asse II**

|         |             |         |    |          |      |                  |                   |
|---------|-------------|---------|----|----------|------|------------------|-------------------|
| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | <b>B 2476643</b> | Seite: 32 von 40  |
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN     | NN   |                  | Stand: 08.04.2016 |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047     | 00   |                  |                   |

Zur Berechnung einer realitätsnäheren Dosis müssen die Lebensgewohnheiten einer „kritischen Bevölkerungsgruppe“ bekannt sein. Da dies nicht der Fall ist, können zumindest die Verzehrsgewohnheiten auf realitätsnähere Werte herabgesetzt werden. Eine Anpassung der Verzehrsmengen führt dabei zu einer Reduktion der Ingestionsdosis um etwa den Faktor 3.

Bezogen auf die berechneten Jahresdosiswerte für die Referenzpersonen würde dies zu Werten zwischen 8 Mikrosievert (Erwachsene) und 15 Mikrosievert (Säuglinge) führen. Noch deutlicher würde sich die Inhalationsdosis bei Berücksichtigung von realen Aufenthaltsbedingungen verringern.

Die Freisetzung von radioaktiven Stoffen infolge von auslegungsüberschreitenden Ereignissen wurde anhand 6 Freisetzungsszenarien simuliert. Dazu wurde der maximale Wert der Dosis am ungünstigsten Aufpunkt und jeweils in den Entfernungen 0,5, 1, 3, 5, 10 und 20 km bestimmt. Des Weiteren wurde die Verteilung oder Bandbreite dieser maximalen Werte über alle zu einem Freisetzungsszenario gehörenden 365 Einzelrechnungen betrachtet und anhand Medianwert, 10. Perzentil, 90. Perzentil sowie Minimum und Maximum beschrieben.

Ein wesentliches Ergebnis der Parameterstudie ist, dass bei keinem der betrachteten Freisetzungsszenarien an irgendeinem Punkt eine Überschreitungen der Eingreifrichtwerte für Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung auftritt. Die Simulationen zu den Freisetzungen zeigen, dass die Entfernung des maximalen Aufpunkts vom Freisetzungsort von der Freisetzungshöhe abhängig ist: für eine bodennahe Freisetzung in 10 m Höhe – Szenario 1 – liegt der Median bei 0,5 km, während bei einer Freisetzung mit einer großen effektiven Freisetzungshöhe von 120 m – Szenario 4 und 6 – der Median in einer 5-mal größeren Entfernung bei ca. 2,5 km liegt. Bei der Analyse der Einzelrechnungen zeigt es sich, dass die Entfernung des maximalen Aufpunkts weitgehend unabhängig vom Niederschlag ist.



Bundesamt für Strahlenschutz

**Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen  
und Freisetzungen eines übertägigen Zwischen-  
lagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle  
aus der Schachanlage Asse II**

| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | B 2476643 | Seite: 33 von 40  |
|---------|-------------|---------|----|----------|------|-----------|-------------------|
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN     | NN   |           | Stand: 08.04.2016 |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047     | 00   |           |                   |

## LITERATURVERZEICHNIS

- [1] BFS (2014): Kriterienbericht Zwischenlager – Kriterien zur Bewertung potentieller Standorte für ein übertägiges Zwischenlager für die rückgeholten radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II, KZL: 9A/23420000/GHB/RB/0026/00, 42 S.; Salzgitter (veröff.).
- [2] STEAG (2014): Standortunabhängige Parameterstudie zum Vergleich der Strahlenexposition durch ein Zwischenlager sowie Abfalltransporte, KZL: 9A/23420000/GHB/RB/0035/01, 38 S.; Salzgitter (veröff.).
- [3] GRS (2009): Transportstudie Konrad 2009 - Sicherheitsanalyse zur Beförderung radioaktiver Abfälle zum Endlager Konrad, GRS-256; ISBN 978-3-939355-31-1, 210 S.
- [4] Asse-GmbH (2010): Jahresbericht Emissions- und Immissionsüberwachung 2010, Asse-GmbH/ Sutanto, 55 S., KZL: 9A/65131200/LQ/PF/0005/00
- [5] Asse-GmbH (2011): Jahresbericht Emissions- und Immissionsüberwachung 2011, Asse-GmbH/ Sutanto, 62 S., KZL: 9A/65131200/LQ/PF/0007/00
- [6] Asse-GmbH (2012): Jahresbericht Emissions- und Immissionsüberwachung 2012, Asse-GmbH/ Sutanto, 60 S., KZL: 9A/65131200/LQ/PF/0009/01
- [7] Asse-GmbH (2013): Jahresbericht Emissions- und Immissionsüberwachung 2013, Asse-GmbH/ Sutanto, 69 S., KZL: 9A/65131200/LQ/PF/0019/00
- [8] Asse-GmbH (2014): Jahresbericht Emissions- und Immissionsüberwachung 2014, Asse-GmbH/ King-Ramsey, 70 S., KZL: 9A/65131200/LQ/PF/0021/00
- [9] Richter, C., Sogalla, M., Thielen, H., Martens, R.: ARTM Atmosphärisches Radionuklid-Transport-Modell mit der graphischen Benutzeroberfläche GO-ARTM. Programmbeschreibung zu Version 2.8.0 (GO-ARTM Version 2.0). Stand 2015-09-15, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, 15. September 2015.
- [10] Richter, C., Sogalla, M., Thielen, H., Martens, R.: ARTM Atmosphärisches Radionuklid-Transport-Modell mit Radon Postprozessor und SBG-Modul. Modellbeschreibung zu Version 2.8.0. Stand 2015-09-15, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, 15. September 2015.
- [11] SSK: Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen – Empfehlungen der Strahlenschutzkommission, 19./20. Februar 2015



Bundesamt für Strahlenschutz

**Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen  
und Freisetzungen eines überträgigen Zwischen-  
lagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle  
aus der Schachanlage Asse II**

|         |             |         |    |          |      |                  |                   |
|---------|-------------|---------|----|----------|------|------------------|-------------------|
| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | <b>B 2476643</b> | Seite: 34 von 40  |
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN     | NN   |                  | Stand: 08.04.2016 |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047     | 00   |                  |                   |

## ANHANG 1

Tabelle 8: LAW-Aktivitätsinventar der Schachanlage Asse II gesamt und im arithmetischen Mittel auf Datenbasis der ASSEKAT ISS 9.2 mit dem Stand vom 02.02.2010.

| Nuklid  | LAW-Aktivitätsinventar gesamt<br>(124.486 Gebinde)<br>zum Stichtag: 01.01.2030 [Bq] | LAW-Aktivitätsinventar (gemittelt)<br>für ein Gebinde<br>zum Stichtag 01.01.2030 [Bq] |
|---------|---|---|
| H-3     | 1,3E+11   | 1,0E+06   |
| Be-10   | 1,5E+03   | 1,2E-02   |
| C-14    | 2,4E+12   | 1,9E+07   |
| Cl-36   | 7,2E+09   | 5,8E+04   |
| Ca-41   | 2,9E+06   | 2,4E+01   |
| Mn-54   | 0,0E+00   | 0,0E+00   |
| Fe-55   | 2,8E+08   | 2,3E+03   |
| Co-60   | 3,5E+11   | 2,8E+06   |
| Ni-59   | 5,2E+10   | 4,2E+05   |
| Ni-63   | 6,1E+13   | 4,9E+08   |
| Se-79   | 2,3E+09   | 1,8E+04   |
| Kr-85   | 3,2E+11   | 2,6E+06   |
| Rb-87   | 1,2E+05   | 9,4E-01   |
| Sr-90   | 8,9E+13   | 7,2E+08   |
| Zr-93   | 1,7E+10   | 1,4E+05   |
| Nb-94   | 6,7E+10   | 5,4E+05   |
| Mo-93   | 2,1E+08   | 1,7E+03   |
| Tc-99   | 7,2E+10   | 5,8E+05   |
| Pd-107  | 5,0E+08   | 4,0E+03   |
| Ag-108m | 1,8E+10   | 1,4E+05   |
| Cd-113m | 1,6E+10   | 1,3E+05   |
| Sn-126  | 3,2E+09   | 2,5E+04   |
| Sb-125  | 8,8E+07   | 7,1E+02   |
| I-129   | 1,9E+08   | 1,5E+03   |
| Cs-134  | 3,2E+06   | 2,6E+01   |
| Cs-135  | 2,2E+09   | 1,8E+04   |
| Cs-137  | 1,8E+14   | 1,4E+09   |
| Ba-133  | 5,6E+09   | 4,5E+04   |
| Pm-147  | 5,5E+08   | 4,4E+03   |



Bundesamt für Strahlenschutz

**Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen  
und Freisetzungen eines übertägigen Zwischen-  
lagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle  
aus der Schachanlage Asse II**

|         |             |         |    |          |      |                  |                   |
|---------|-------------|---------|----|----------|------|------------------|-------------------|
| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | <b>B 2476643</b> | Seite: 35 von 40  |
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN     | NN   |                  | Stand: 08.04.2016 |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047     | 00   |                  |                   |

Fortsetzung Tabelle 8: LAW-Aktivitätsinventar der Schachanlage Asse II gesamt und im arithmetischen Mittel auf Datenbasis der ASSEKAT ISS 9.2 mit dem Stand vom 02.02.2010.

| <b>Nuklid</b> | <b>LAW-Aktivitätsinventar gesamt<br/>(124.486 Gebinde)<br/>zum Stichtag: 01.01.2030 [Bq]</b> | <b>LAW-Aktivitätsinventar (gemittelt)<br/>für ein Gebinde<br/>zum Stichtag 01.01.2030 [Bq]</b> |
|---------------|--|--|
| Sm-151        | 2,2E+12  | 1,8E+07  |
| Eu-152        | 2,6E+09  | 2,1E+04  |
| Eu-154        | 3,4E+11  | 2,7E+06  |
| Eu-155        | 8,0E+09  | 6,4E+04  |
| Ho-166m       | 6,8E+05  | 5,5E+00  |
| Tl-204        | 1,2E+07  | 9,3E+01  |
| Pb-210        | 1,6E+11  | 1,3E+06  |
| Ra-226        | 2,0E+11  | 1,6E+06  |
| Ra-228        | 3,3E+11  | 2,6E+06  |
| Ac-227        | 1,9E+09  | 1,5E+04  |
| Th-228        | 3,3E+11  | 2,6E+06  |
| Th-229        | 1,1E+07  | 8,9E+01  |
| Th-230        | 1,5E+11  | 1,2E+06  |
| Th-232        | 3,3E+11  | 2,6E+06  |
| Pa-231        | 9,0E+08  | 7,2E+03  |
| U-232         | 7,5E+08  | 6,0E+03  |
| U-233         | 2,1E+09  | 1,7E+04  |
| U-234         | 1,4E+12  | 1,1E+07  |
| U-235         | 5,3E+10  | 4,3E+05  |
| U-236         | 2,2E+10  | 1,8E+05  |
| U-238         | 1,3E+12  | 1,0E+07  |
| Np-237        | 4,0E+09  | 3,2E+04  |
| Pu-238        | 5,1E+13  | 4,1E+08  |
| Pu-239        | 4,1E+13  | 3,3E+08  |
| Pu-240        | 4,6E+13  | 3,7E+08  |
| Pu-241        | 5,6E+14  | 4,5E+09  |
| Pu-242        | 8,1E+10  | 6,5E+05  |
| Pu-244        | 8,9E+03  | 7,2E-02  |
| Am-241        | 2,3E+14  | 1,8E+09  |
| Am-242m       | 1,3E+10  | 1,0E+05  |



Bundesamt für Strahlenschutz

**Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen  
und Freisetzungen eines übertägigen Zwischen-  
lagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle  
aus der Schachanlage Asse II**

|         |             |         |    |          |      |                  |                   |
|---------|-------------|---------|----|----------|------|------------------|-------------------|
| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | <b>B 2476643</b> | Seite: 36 von 40  |
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN     | NN   |                  | Stand: 08.04.2016 |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047     | 00   |                  |                   |

Fortsetzung Tabelle 8: LAW-Aktivitätsinventar der Schachanlage Asse II gesamt und im arithmetischen Mittel auf Datenbasis der ASSEKAT ISS 9.2 mit dem Stand vom 02.02.2010.

| <b>Nuklid</b> | <b>LAW-Aktivitätsinventar gesamt<br/>(124.486 Gebinde)<br/>zum Stichtag: 01.01.2030 [Bq]</b> | <b>LAW-Aktivitätsinventar (gemittelt)<br/>für ein Gebinde<br/>zum Stichtag 01.01.2030 [Bq]</b> |
|---------------|--|--|
| Am-243        | 2,9E+10  | 2,4E+05  |
| Cm-242        | 0,0E+00  | 0,0E+00  |
| Cm-243        | 6,6E+09  | 5,3E+04  |
| Cm-244        | 2,2E+11  | 1,8E+06  |
| Cm-245        | 1,5E+08  | 1,2E+03  |
| Cm-246        | 1,8E+08  | 1,5E+03  |
| Cm-247        | 0,0E+00  | 0,0E+00  |
| Cm-248        | 0,0E+00  | 0,0E+00  |
| Cm-250        | 0,0E+00  | 0,0E+00  |
| Cf-249        | 2,0E+03  | 1,6E-02  |
| Cf-251        | 0,0E+00  | 0,0E+00  |
| Cf-252        | 0,0E+00  | 0,0E+00  |
| <b>SUMME:</b> | <b><u>1,3E+15</u></b>  | <b><u>1,0E+10</u></b>  |



Bundesamt für Strahlenschutz

## Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen und Freisetzungen eines übertägigen Zwischenlagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II

|         |             |         |    |          |      |           |                   |
|---------|-------------|---------|----|----------|------|-----------|-------------------|
| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | B 2476643 | Seite: 37 von 40  |
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN     | NN   |           | Stand: 08.04.2016 |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047     | 00   |           |                   |

## ANHANG 2

Die folgenden Abbildungen 6 bis 11 zeigen die Verteilung der maximalen effektiven Dosis in den Entfernungen 0,5, 1, 3, 5, 10 und 20 km vom Freisetzungsort für die 365 Einzelrechnungen für jedes Freisetzungsszenario.

Dargestellt sind der Medianwert, das 10. Perzentil, das 90. Perzentil sowie das Minimum und das Maximum der effektiven Dosis aus den 365 Einzelrechnungen (für jeden Tag des betrachteten Jahres).

Betrachtet wird die äußere Exposition durch Bodenstrahlung und Wolkenstrahlung in 7 Tagen sowie die effektive Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhaliierten Radionuklide bei unterstelltem Daueraufenthalt im Freien.

Die hier dargestellte Dosis kann direkt mit den Eingreifrichtwerten aus Tabelle 4 für Evakuierung (100 mSv) und Aufenthalt in Gebäuden (10 mSv) verglichen werden.

In der Abbildung 9 und 11 liegen die Min-Werte unterhalb dem unteren Rand der Darstellungen und sind deshalb in den Abbildungen nicht sichtbar.

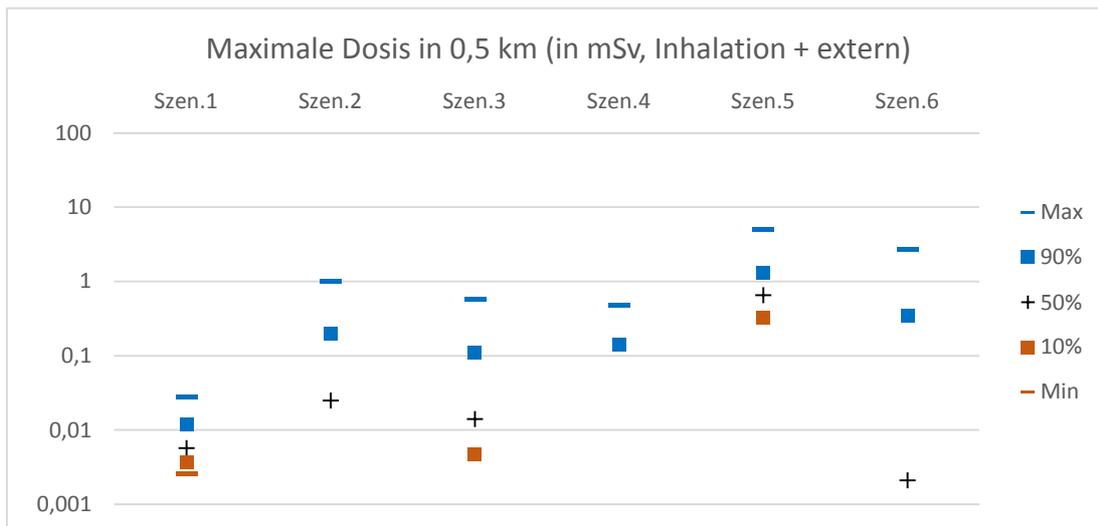


Abbildung 6: Maximale effektive Dosis (Integrationszeit 7 Tage) in einer Entfernung von 0,5 km vom Freisetzungsort.



Bundesamt für Strahlenschutz

**Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen und Freisetzungen eines überträgigen Zwischenlagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II**

|         |             |         |    |          |      |                  |                   |
|---------|-------------|---------|----|----------|------|------------------|-------------------|
| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | <b>B 2476643</b> | Seite: 38 von 40  |
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN     | NN   |                  | Stand: 08.04.2016 |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047     | 00   |                  |                   |

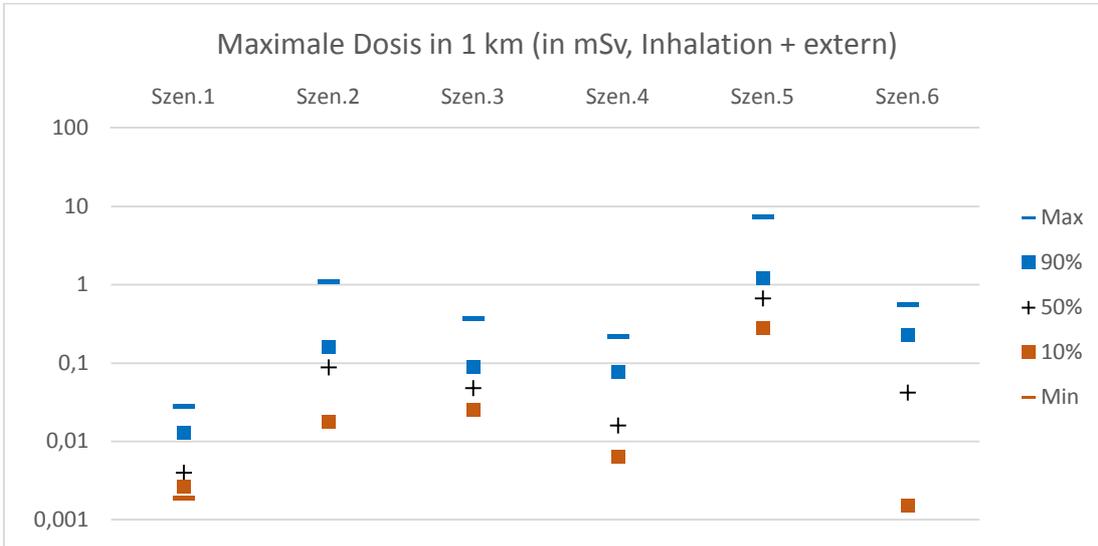


Abbildung 7: Maximale effektive Dosis (Integrationszeit 7 Tage) in einer Entfernung von 1 km vom Freisetzungsort.

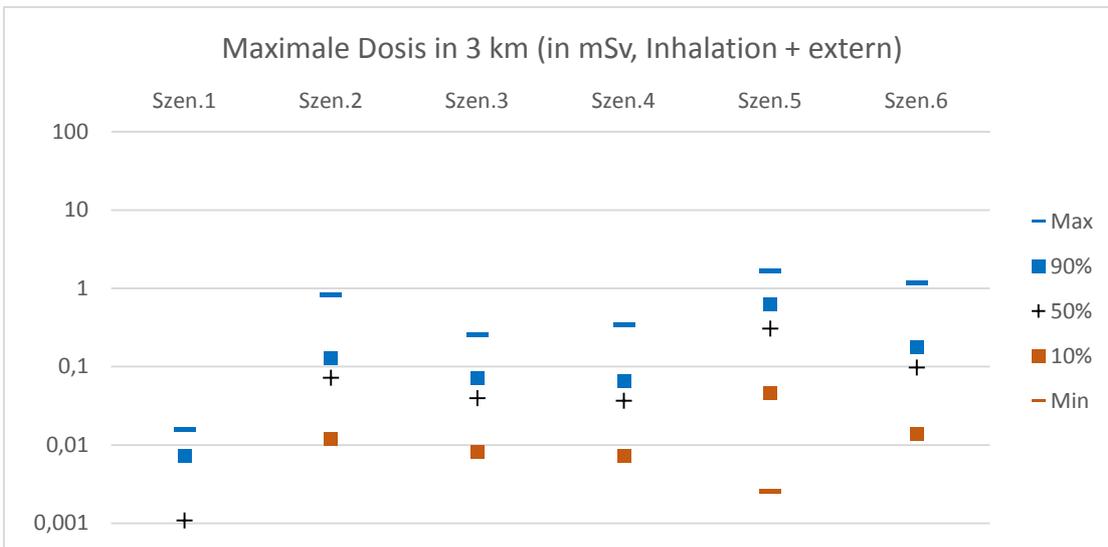


Abbildung 8: Maximale effektive Dosis (Integrationszeit 7 Tage) in einer Entfernung von 3 km vom Freisetzungsort.



|         |             |         |    |          |      |           |                   |
|---------|-------------|---------|----|----------|------|-----------|-------------------|
| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | B 2476643 | Seite: 39 von 40  |
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN     | NN   |           | Stand: 08.04.2016 |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047     | 00   |           |                   |

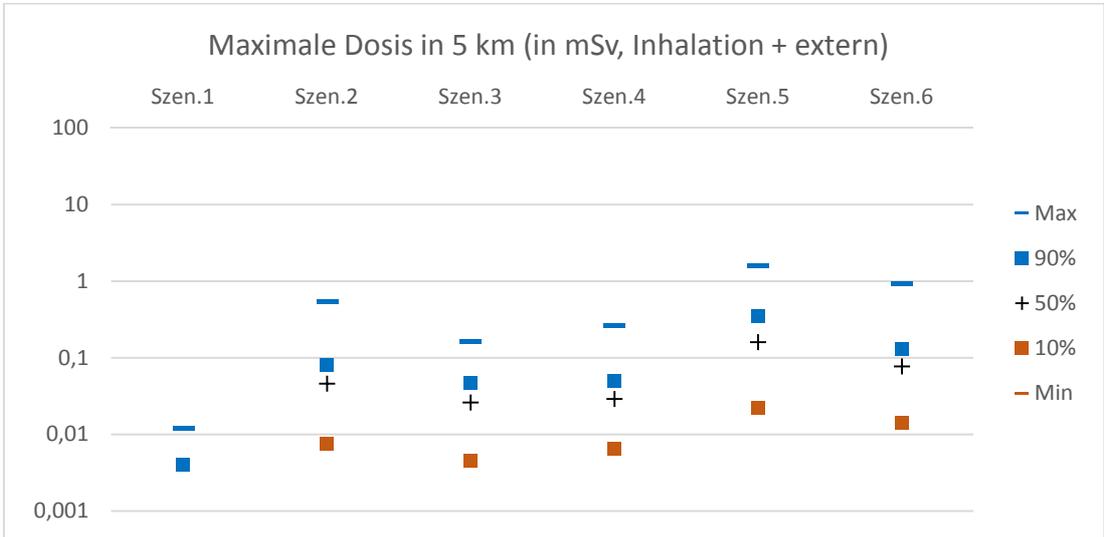


Abbildung 9: Maximale effektive Dosis (Integrationszeit 7 Tage) in einer Entfernung von 5 km vom Freisetzungsort.

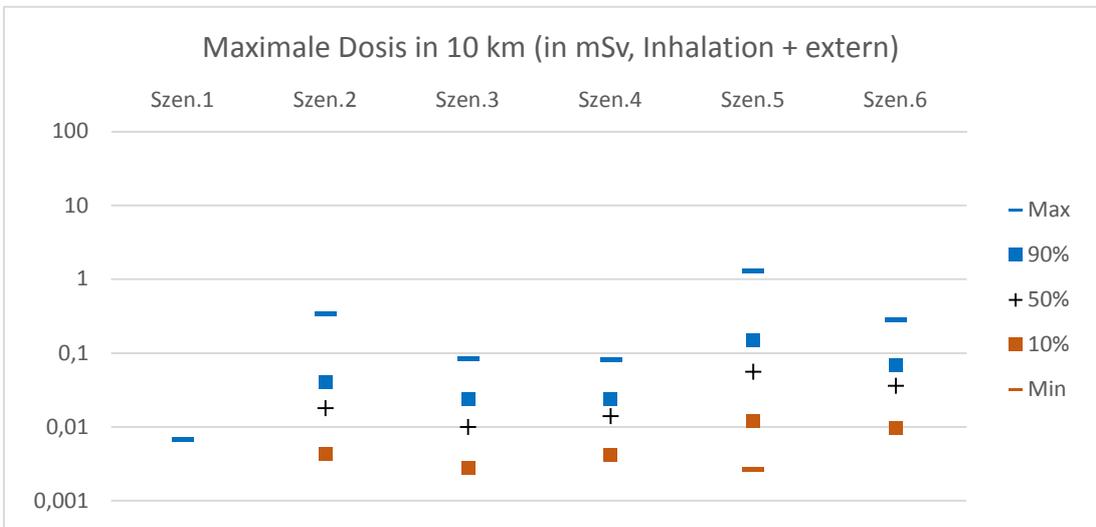


Abbildung 10: Maximale effektive Dosis (Integrationszeit 7 Tage) in einer Entfernung von 10 km vom Freisetzungsort.



Bundesamt für Strahlenschutz

### Parameterstudie zur Simulation von Ableitungen und Freisetzungen eines überträgigen Zwischenlagers für die rückgeholten radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II

|         |             |         |    |          |      |                  |                   |
|---------|-------------|---------|----|----------|------|------------------|-------------------|
| Projekt | PSP-Element | Aufgabe | UA | Lfd. Nr. | Rev. | <b>B 2476643</b> | Seite: 40 von 40  |
| NAAN    | NNNNNNNNNN  | AAAA    | AA | NNNN     | NN   |                  | Stand: 08.04.2016 |
| 9A      | 23420000    | GHB     | RB | 0047     | 00   |                  |                   |

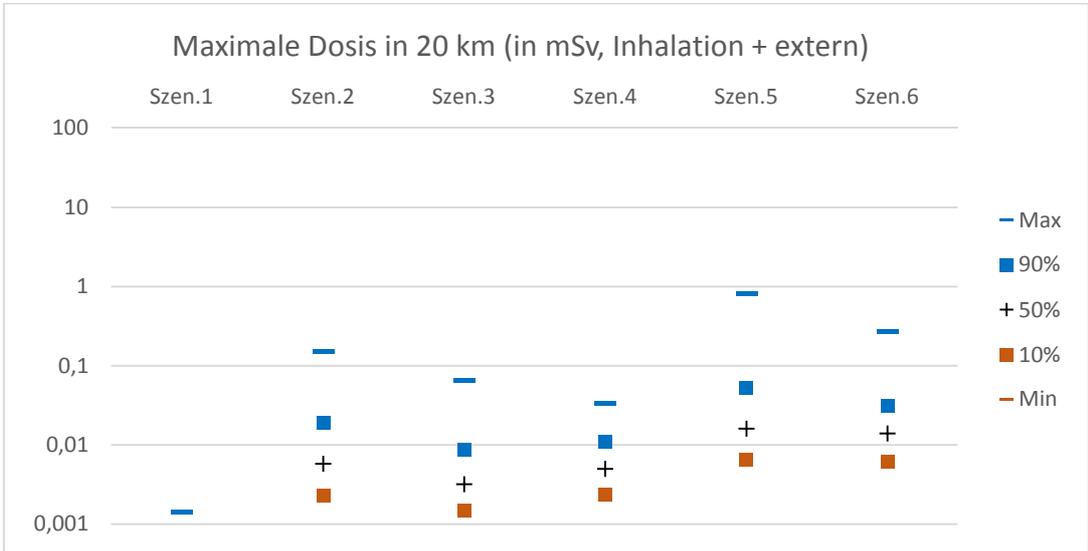


Abbildung 11: Maximale effektive Dosis (Integrationszeit 7 Tage) in einer Entfernung von 20 km vom Freisetzungsort.