



Endbericht

**Ermittlung der Direktstrahlung durch
Anlagen und Einrichtungen des
Helmholtz-Zentrums hereon GmbH**

BS-Projekt-Nr. 2102-03
Kundenbestellnummer: 35045185

erstellt im Auftrag der

Helmholtz-Zentrum hereon GmbH
Max-Planck-Straße 1
21502 Geesthacht

durch die

Brenk Systemplanung GmbH
Heider-Hof-Weg 23
52080 Aachen
Deutschland

Rev. 2, Aachen, 29.09.2022

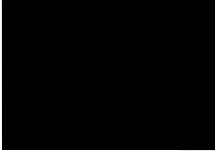
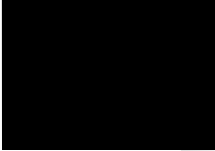
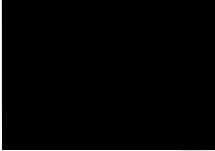
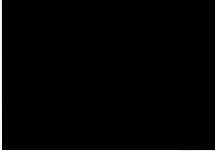
Anmerkung:

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



AUTOREN

Dieser Bericht wurde von folgenden Bearbeitern erstellt:

- 
- 
- 
- 

Es wird versichert, dass dieser Bericht nach bestem Wissen und Gewissen, unparteiisch und ohne Ergebnisweisung angefertigt worden ist.

ERSTELLUNG, PRÜFUNG UND FREIGABE

| erstellt | geprüft | freigegeben |
|---|--|---|
|  |  |  |
| Unterschrift Projektleiter | Unterschrift Geschäftsbereichsleiter | Unterschrift Geschäftsführung |



ZUSAMMENFASSUNG

Der Forschungsreaktor FRG 1 der Helmholtz-Zentrum hereon GmbH (bis 30.03.2021 Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Zentrum für Material- und Küstenforschung GmbH, HZG) ist seit dem 28.06.2010 endgültig abgeschaltet und befindet sich in der Nachbetriebsphase. Der FRG 1 soll stillgelegt und die Forschungsreaktoranlage, bestehend aus dem FRG 1 und den noch vorhandenen Anlagenteilen des FRG 2, zusammen mit dem Heißen Labor abgebaut werden. Die Forschungsreaktoranlage und das Heiße Labor sind brennelementfrei.

2016 wurde durch HZG (jetzt Hereon) der Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen im Rahmen der Zerlegung und Entsorgung des Reaktordruckbehälters des Nuklearschiffs Otto Hahn (RDB-OH) in einer zu errichtenden Zerlegehalle beantragt.

Weiterhin ist die „neue“ Versuchshalle der Forschungsreaktoranlage Geesthacht (FRG) des Hereons als Transportbereitstellungshalle (TBH) für die Bereitstellung von leicht- und mittelradioaktiven Abfällen vorgesehen.

Für die HAKONA (Halle zur Komponenten-Nachuntersuchung) /BSH (Bereitstellungshalle) sind zusätzlich zur bereits bestehenden Einlagerung von radioaktiven Abfällen die Einlagerung der konditionierten Abfälle aus der Zerlegung des Reaktordruckbehälters mit Schildtank des Nuklearschiffs Otto Hahn (RDB-OH) und die Einlagerung von konditionierten radioaktiven Abfällen, die aus der KTE und JEN zurückgeführt werden, zu berücksichtigen.

Aufgabenstellung für den vorliegenden Bericht ist es, die potentiell zu erwartende Exposition durch Direktstrahlung am Standort Geesthacht im zukünftigen Betrieb unter Berücksichtigung der potentiellen Direktstrahlung durch den beantragten Umgang zu ermitteln.

Die Direktstrahlung durch den derzeitigen Betrieb wird dabei aus den bestehenden Überwachungsdaten des Hereons ermittelt. Zur Ermittlung der potentiellen Direktstrahlung aus der TBH und der Zerlegehalle werden Modellierungen (prospektive Ermittlung) durchgeführt.

Für Mitarbeiter des Hereons (nicht strahlenexponiertes Personal) ergibt sich die maximale Exposition durch Direktstrahlung beim Aufenthalt im Freien im Bereich der Zerlegehalle (mit HAKONA/BSH und Gemeinsame Landessammelstelle für radioaktive Abfälle der Länder Bremen, Hamburg, Niedersachsen und Schleswig-Holstein) und bei Aufenthalt im Gebäude 1. Es wird konservativ eine Exposition von 0,75 mSv im Jahr ermittelt.

Für Einzelpersonen der Bevölkerung ergibt sich die maximale Exposition durch Direktstrahlung beim Aufenthalt im Freien im Bereich der Zerlegehalle und Aufenthalt in Gebäuden. Es wird eine Exposition von 0,34 mSv im Jahr ermittelt.

Unter Berücksichtigung der berechneten Expositionen durch Ableitungen mit dem Wasser und Ableitungen mit der Luft ergibt eine resultierende potentielle Exposition für Einzelpersonen der Bevölkerung von ca. 0,5 mSv. Hierbei wurde von einer fiktiven praktisch nicht realisierbaren Wohnbebauung südlich der Zerlegehalle ausgegangen. Berücksichtigt man nur die reale Wohnbebauung südlich der TBH, so reduziert sich die berechnete Gesamtexposition auf ca. 0,4 mSv im Jahr.

Die Berechnungen zeigen daher, dass durch die geplanten Tätigkeiten in der TBH und in der geplanten Zerlegehalle unter Berücksichtigung der zusätzlichen Einlagerungen in die HAKONA/BSH der Grenzwert für die effektive Dosis gemäß § 80 Abs. 1 Strahlenschutzgesetz für Einzelpersonen der Bevölkerung eingehalten wird.

Zusätzlich wurde gezeigt, dass für nichtstrahlenexponierte Mitarbeiter des Hereon die zulässige Dosis (1 mSv im Kalenderjahr) beim Aufenthalt auf dem Gelände unterschritten wird.



INHALTSVERZEICHNIS

Seite:

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | EINLEITUNG | 1 |
| 2 | BEWERTUNGS- UND BERECHNUNGSGRUNDLAGEN..... | 2 |
| 2.1 | Bewertungsgrundlagen entsprechend Gesetzes- und Verordnungslage..... | 2 |
| 2.2 | Berechnungsgrundlagen und angewandte Methodik..... | 3 |
| 3 | STANDORT UND VERWENDETE DATEN | 5 |
| 3.1 | Standortbeschreibung | 5 |
| 3.2 | Messungen der Ortsdosis | 9 |
| 3.3 | Potentielle Expositionen durch Ableitungen | 15 |
| 4 | POTENTIELLE ORTSDOSIS IM AKTUELLEN ANLAGENZUSTAND | 16 |
| 4.1 | Natürliche Strahlenexposition | 16 |
| 4.2 | Bewertung der Hereon-Messergebnisse..... | 18 |
| 5 | ERMITTLUNG DER POTENTIELLEN ORTSDOSIS IM GEPLANTEN ZUKÜNFTIGEN BETRIEB..... | 20 |
| 5.1 | Modellierung der Ortsdosisleistung | 20 |
| 5.2 | Transportbereitstellungshalle (TBH)..... | 21 |
| 5.3 | Zerlegehalle | 30 |
| 5.4 | Zusätzliche Einlagerungen in die HAKONA/BSH | 38 |
| 5.5 | Pufferlagerung | 43 |
| 5.6 | Radioaktivtransporte auf dem Gelände | 50 |
| 5.7 | Vorbelastung durch Expositionen aus anderen Anlagen..... | 52 |
| 5.8 | Abschätzungen von Organdosen | 52 |
| 6 | ERMITTLUNG DER PERSONENDOSIS | 53 |
| 6.1 | Direktstrahlung | 53 |
| 6.2 | Gesamtexposition für Einzelpersonen der Bevölkerung..... | 62 |
| 6.3 | Bewertung und Empfehlung | 62 |
| 7 | QUELLEN | 64 |
| 8 | ANHANG..... | 68 |
| 8.1 | Materialzusammensetzungen im MCNP-Modell..... | 68 |
| 8.2 | Dosiskoeffizienten | 69 |
| 8.3 | Gamma-Intensitäten | 70 |
| 8.4 | Verifizierung der Ursache erhöhter Ortsdosiswerte im Bereich Messpunkt 11.4..... | 72 |



Seite:

| | | |
|---------------|--|----|
| Tabelle 3-1: | Ortsdosis (in mSv pro Kalenderjahr) für Messorte Festkörperdosimeter Umgebung FRG 1 (unabhängige Messstelle, alle MP)..... | 12 |
| Tabelle 3-2: | Ortsdosis (in mSv pro Kalenderjahr) für Messorte Festkörperdosimeter Umgebung FRG 1 (Betreiber)..... | 13 |
| Tabelle 3-3: | Ortsdosis (in mSv pro Kalenderjahr) für Messorte Festkörperdosimeter sonstige Messpunkte (unabhängige Messstelle)..... | 14 |
| Tabelle 3-4: | Ortsdosis (in mSv pro Kalenderjahr) für Messorte Festkörperdosimeter sonstige Messpunkte (Betreiber)..... | 14 |
| Tabelle 3-5: | Ortsdosis (in mSv pro Kalenderjahr) für Messorte Festkörperdosimeter Bereich „Lager“ (Betreiber)..... | 15 |
| Tabelle 5-1: | Zusammengefasstes, nuklidspezifisches Aktivitätsinventar der Gamma- Strahler und vorgesehene Aufteilung auf verschiedene Abfallgebindetypen gemäß Angaben des Betreibers (Bezugsdatum) und zerfallskorrigierte Aktivitäten (Stichtag 01.01.2023)..... | 23 |
| Tabelle 5-2: | Abmessungen der Konrad-KC-IV-Container und der Gussbehälter im MCNP-Modell..... | 25 |
| Tabelle 5-3: | Wanddicken, Wandmaterial und zusätzliche Abschirmungen..... | 25 |
| Tabelle 5-4: | Nuklidspezifisches Aktivitätsinventar des RDB-OH [HER 18]..... | 32 |
| Tabelle 5-5: | Berechnete Ortsdosisleistung (ODL) Zerlegehalle..... | 37 |
| Tabelle 5-6: | Pufferlagerung auf dem Hereon-Gelände..... | 44 |
| Tabelle 5-7: | Dosisleistung für einen Container mit Material zur Freigabe unter Anwendung der FGW gemäß Anlage 4 Tabelle 1 Spalte 9 StrlSchV (50 %- ige Ausschöpfung)..... | 49 |
| Tabelle 5-8: | Dosis [mSv] im Kalenderjahr durch Pufferlagerung eines einzelnen Containers bzw. in der Mulde..... | 50 |
| Tabelle 5-9: | Dosisleistung für ein Transportgebände (quaderförmig)..... | 51 |
| Tabelle 5-10: | Effektiv- und Organdosen für verschiedene Abstände (normiert auf 1 Bq)..... | 53 |
| Tabelle 6-1: | Potentielle Exposition durch Direktstrahlung für Einzelpersonen der Bevölkerung, Aufenthalt im Bereich der geplanten Zerlegehalle..... | 57 |
| Tabelle 6-2: | Potentielle Exposition durch Direktstrahlung für Einzelpersonen der Bevölkerung, Aufenthalt im Bereich der TBH..... | 58 |
| Tabelle 6-3: | Potentielle Exposition durch Direktstrahlung für Mitarbeiter des Hereons, Aufenthalt im Bereich der geplanten Zerlegehalle..... | 59 |
| Tabelle 6-4: | Potentielle Exposition durch Direktstrahlung für Mitarbeiter des Hereons, Aufenthalt im Bereich der TBH..... | 60 |



| | | |
|---------------|--|----|
| Tabelle 6-5: | Potentielle Exposition durch Direktstrahlung für Mitarbeiter des Hereons, Aufenthalt im Bereich der TBH, Schwerpunkt Gebäude 1 | 61 |
| Tabelle 8-1: | Materialzusammensetzung für Beton im MCNP-Modell (ORNL concrete nach [WIL 06]) | 68 |
| Tabelle 8-2: | Materialzusammensetzung für Stahl im MCNP-Modell (Stainless 304 nach [WIL 06]) | 68 |
| Tabelle 8-3: | Materialzusammensetzung für das Erdreich im MCNP-Modell (nach [WIE 05], PEGS4-Code) | 68 |
| Tabelle 8-4: | Materialzusammensetzung für Luft im MCNP-Modell (nach [WIL 06]) | 68 |
| Tabelle 8-5: | Dosiskoeffizienten D nach [ICR 10] für die Umrechnung von Fluss in effektive Dosisleistung (in ROT-Geometrie) | 69 |
| Tabelle 8-6: | Intensitäten der Gamma-Linien von Co-60 für die Definition der Quelle im MCNP-Modell (Daten nach ENDF/B- VIII.0 [OEC 21]) | 70 |
| Tabelle 8-7: | Intensitäten der Gamma-Linien von Ba-137m als Tochternuklid des Cs-137 für die Definition der Quelle im MCNP-Modell (Daten nach ENDF/B- VIII.0 [OEC 21]) | 70 |
| Tabelle 8-8: | Intensitäten der Gamma-Linien Ag-108m für die Definition der Quelle im MCNP-Modell (Daten nach ENDF/B- VIII.0 [OEC 21]) | 70 |
| Tabelle 8-9: | Intensitäten der Gamma-Linien von Ba-133 für die Definition der Quelle im MCNP-Modell (Daten nach ENDF/B- VIII.0 [OEC 21]) | 71 |
| Tabelle 8-10: | Intensitäten der Gamma-Linien von Eu-152 (Intensität $\geq 1\%$) für die Definition der Quelle im MCNP-Modell (Daten nach ENDF/B- VIII.0 [OEC 21]) | 71 |
| Tabelle 8-11: | Intensitäten der Gamma-Linien von Eu-154 (Intensität $\geq 1\%$) für die Definition der Quelle im MCNP-Modell (Daten nach ENDF/B- VIII.0 [OEC 21]) | 72 |
| Tabelle 8-12: | Ergebnisse der ODL Messung vom 25.08.2021 | 72 |

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Seite:

| | | |
|-----------------|---|----|
| Abbildung 3-1: | Lageplan Gebäude und Anlagenbereiche der FRG 1 und des Heißen Labors sowie der TBH | 6 |
| Abbildung 3-2: | Lageplan Zerlegehalle (mit HAKONA/BSH), kürzester Abstand Kontrollbereich - Zaun 34 m..... | 7 |
| Abbildung 3-3: | Hereon-Gelände und Zaunverlauf (TBH südlich von Gebäude 3, Zerlegehalle nordwestlich von Gebäude 44)..... | 8 |
| Abbildung 3-4: | Foto des Hereon-Geländes (Teilbereich) mit Lage der THB und der geplanten Zerlegehalle aus [HER 16A] | 9 |
| Abbildung 3-5: | Messorte für OD-Bestimmungen mittels Festkörperdosimeter auf dem Gelände des Hereon gemäß [HER 21] | 10 |
| Abbildung 3-6: | Messorte für OD-Bestimmungen mittels Festkörperdosimeter außerhalb des Hereon-Geländes gemäß [HER 21]..... | 11 |
| Abbildung 3-7: | Messorte für Ortsdosisbestimmungen Bereich Lager auf Basis von Google-Earth-Pro® Kartenmaterial und Koordinaten des Betreibers..... | 12 |
| Abbildung 4-1: | Tagesmittelwerte der ODL-Messung [$\mu\text{Sv/h}$] der Station 21398 Tespe (aus [BFS 21])..... | 18 |
| Abbildung 5-1: | Grundriss der TBH mit Wandstärken und Anordnungen der Lagerbereiche (bearbeitet aus [HER 16B])..... | 24 |
| Abbildung 5-2: | Skizze des verwendeten MCNP®-Modells (x-y-Ebene) | 26 |
| Abbildung 5-3: | Mit MCNP® berechnete bodennahe räumliche Verteilung der Ortsdosisleistung | 28 |
| Abbildung 5-4: | Mit MCNP® berechnete räumliche Verteilung der Ortsdosisleistung 10 m über Grund..... | 29 |
| Abbildung 5-5: | Mit MCNP® berechnete bodennahe räumliche Verteilung der Ortsdosisleistung innerhalb der TBH..... | 30 |
| Abbildung 5-6: | Plan der geplanten Zerlegehalle [HER 18]..... | 31 |
| Abbildung 5-7: | 3-dimensionale Darstellung des MCNP®-Modells für RDB-Schacht, Dampferzeuger und Mosaikbehälter in der Zerlegehalle | 33 |
| Abbildung 5-8: | 3-dimensionale Darstellung des MCNP®-Modells außerhalb der Zerlegehalle..... | 33 |
| Abbildung 5-9: | Mit MCNP® berechnete bodennahe räumliche Verteilung der Ortsdosisleistung durch die Aktivität im Schacht | 35 |
| Abbildung 5-10: | Mit MCNP® berechnete bodennahe räumliche Verteilung der Ortsdosisleistung durch die Aktivität des Dampferzeugers | 36 |



| | | |
|-----------------|---|----|
| Abbildung 5-11: | Mit MCNP [®] berechnete bodennahe räumliche Verteilung der Ortsdosisleistung durch die Aktivität des beladenen Mosaikbehälters bzw. der Aktivität unter der Abschirmglocke | 37 |
| Abbildung 5-12: | Bestehende und geplante Belegung der HAKONA/BSH | 38 |
| Abbildung 5-13: | Mit MCNP [®] berechnete bodennahe räumliche Verteilung der ODL durch die zusätzliche Einlagerung in die HAKONA/BSH | 41 |
| Abbildung 5-14: | Mit MCNP [®] berechnete bodennahe räumliche Verteilung der ODL durch die zusätzliche Einlagerung in die HAKONA/BSH mit Lageplan | 42 |
| Abbildung 5-14: | Lage der Bereiche für die Pufferlagerung am Standort sowie Transportbereitstellungsfläche (Plan nicht nach Norden ausgerichtet, [HER 19])..... | 45 |
| Abbildung 5-15: | Mit MCNP [®] berechnete bodennahe räumliche Verteilung der Ortsdosisleistung aus der Pufferlagerung (Co-60 FGW-50 % Ausschöpfung) | 47 |
| Abbildung 5-16: | Mit MCNP [®] berechnete räumliche Verteilung der Ortsdosisleistung in 10 m Höhe aus der Pufferlagerung (Co-60 FGW-50 % Ausschöpfung)..... | 48 |
| Abbildung 5-18: | Ergebnisse der MicroShield [®] Berechnungen für jeweils 50 %-ige Ausschöpfung der FGW (Container) | 49 |
| Abbildung 5-19: | Ergebnisse der MicroShield [®] Berechnungen für einen Transport..... | 51 |
| Abbildung 8-1: | Lage der Messpunkte der ODL-Messung im Bereich 11.4..... | 73 |
| Abbildung 8-2: | Zuordnung des Untergrunds der einzelnen ODL-Messung im Bereich 11.4..... | 74 |

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

| | |
|--------|---|
| AVV | Allgemeine Verwaltungsvorschrift |
| AtG | Atomgesetz |
| BSH | Bereitstellungshalle |
| BfS | Bundesamt für Strahlenschutz |
| FMA | Freimessanlage |
| FRG | Forschungsreaktoranlage Geesthacht |
| HAKONA | Halle zur Komponenten-Nachuntersuchung |
| Hereon | Helmholtz-Zentrum hereon GmbH |
| HL | Heißes Labor |
| HZG | Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Zentrum für Material- und Küstenforschung GmbH (bis 30.03.2021) |
| JEN | Jülicher Entsorgungsgesellschaft für Nuklearanlagen mbH |



| | |
|-------------------|---|
| KB | Kontrollbereich |
| KKK | Kernkraftwerk Krümmel |
| KTE | Kerntechnische Entsorgung Karlsruhe GmbH |
| LasmAaZ | Lager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle am Standortzwischenlager KKK |
| MCNP [®] | Monte Carlo N-Particle Transport Code |
| OD | Ortsdosis |
| ODL | Ortsdosisleistung |
| RDB-OH | Reaktordruckbehälter des Nuklearschiffes „Otto-Hahn“ |
| StrlSchG | Strahlenschutzgesetz |
| StrlSchV | Strahlenschutzverordnung |
| SZL | Standortzwischenlager |
| TBH | Transportbereitstellungshalle |
| ÜB | Überwachungsbereich |

1 EINLEITUNG

Der Forschungsreaktor FRG 1 der Helmholtz-Zentrum hereon GmbH (im weiteren als Hereon aufgeführt, bis 30.03.2021 Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Zentrum für Material- und Küstenforschung GmbH, HZG) ist seit dem 28.06.2010 endgültig abgeschaltet und befindet sich in der Nachbetriebsphase. Der FRG 1 soll stillgelegt und die Forschungsreaktoranlage, bestehend aus dem FRG 1 und den noch vorhandenen Anlagenteilen des FRG 2, zusammen mit dem Heißen Labor (HL) abgebaut werden. Die Forschungsreaktoranlage und das Heiße Labor sind brennelementfrei.

Am 21.03.2013 wurde ein Antrag nach § 7 Abs. 3 Atomgesetz (AtG) auf Stilllegung des FRG 1 und Abbau der Forschungsreaktoranlage und des Heißen Labors bei der zuständigen Genehmigungsbehörde (Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, jetzt Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung des Landes Schleswig-Holstein) gestellt [HER 13].

2016 wurde durch HZG (jetzt Hereon) der Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen im Rahmen der Zerlegung und Entsorgung des Reaktordruckbehälters des Nuklearschiffs Otto Hahn (RDB-OH) in einer zu errichtenden Zerlegehalle beantragt [HER 16].

Weiterhin ist die „neue“ Versuchshalle der Forschungsreaktoranlage Geesthacht (FRG) des Hereons als Transportbereitstellungshalle (TBH) für die Bereitstellung von leicht- und mittelradioaktiven Abfällen vorgesehen. Hierfür wurde eine Genehmigung zum Umgang mit radioaktiven Stoffen mit einer maximalen Gesamtaktivität von ca. $5,0 \cdot 10^{15}$ Bq nach § 7 Strahlenschutzverordnung (StrlSchV²⁰⁰¹ [SSV 17]) beantragt [HER 16A].

In der TBH sollen alle radioaktiven Abfälle, die beim Abbau der FRG und des Heißen Labors (HL) anfallen, sowie noch vorhandene Betriebsabfälle so lange gelagert werden, bis sie in ein Endlager des Bundes verbracht werden. Dazu gehören auch Betriebsabfälle aus der FRG und dem HL, die extern konditioniert wurden und zurückzuholen sind. In der TBH sollen ausschließlich konditionierte Abfälle sowie leere Abfallbehälter gelagert werden. Weiter sollen Abfallgebinde, die nicht die Bedingungen zur Endlagerung erfüllen (z. B. 200-l-Fässer), vor dem Abtransport zum Endlager des Bundes in endlagerfähige Abfallgebinde überführt werden. Dazu werden die betroffenen Gebinde in der TBH in entsprechende Abfallbehälter verpackt und gegebenenfalls zementiert.

Für die HAKONA (Halle zur Komponenten-Nachuntersuchung) /BSH (Bereitstellungshalle) sind zusätzlich zur bereits bestehenden Einlagerung von radioaktiven Abfällen die Einlagerung der konditionierten Abfälle aus der Zerlegung des Reaktordruckbehälters mit Schildtank des Nuklearschiffs Otto Hahn (RDB-OH) und die Einlagerung von konditionierten radioaktiven Abfällen, die aus der KTE und JEN zurückgeführt werden, zu berücksichtigen.

Für die bestehende Antragslage erfolgten Berechnungen hinsichtlich der potentiellen Expositionen durch Ableitungen mit der Luft und dem Wasser im bestimmungsgemäßen Betrieb.

Aufgabenstellung für den vorliegenden Bericht ist es, die potentiell zu erwartende Exposition durch Direktstrahlung am Standort Geesthacht im zukünftigen Betrieb unter Berücksichtigung der potentiellen Direktstrahlung durch den beantragten Umgang zu ermitteln.

Die Direktstrahlung durch den derzeitigen Betrieb wird dabei aus den bestehenden Überwachungsdaten des Hereons ermittelt. Zur Ermittlung der potentiellen Direktstrahlung aus der TBH, der Zerlegehalle und den zukünftigen Einlagerungen in der HAKONA/BSH werden Modellierungen (prospektive Ermittlung) durchgeführt.

2 BEWERTUNGS- UND BERECHNUNGSGRUNDLAGEN

2.1 Bewertungsgrundlagen entsprechend Gesetzes- und Verordnungslage

Entsprechend § 80 Abs. 1 StrlSchG, [SSG 17]) beträgt der Grenzwert für die effektive Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung durch Expositionen aus gemäß StrlSchG oder AtG genehmigungs- oder anzeigebedürftigen Tätigkeiten 1 mSv im Kalenderjahr.

Der Grenzwert der Summe der Organ-Äquivalentdosen für Einzelpersonen der Bevölkerung beträgt gemäß § 80 Abs. 2 StrlSchG:

- für die Augenlinse 15 mSv im Kalenderjahr und
- für die lokale Hautdosis 50 mSv im Kalenderjahr.

Beiträge zur effektiven Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung sind durch folgende Expositionspfade potentiell möglich:

- Exposition durch Direktstrahlung beim Aufenthalt in der Umgebung der Anlage,
- Exposition durch Ableitungen mit der Luft sowie
- Expositionen durch Ableitungen mit dem Wasser.

Der Grenzwert entsprechend § 80 Abs. 1 StrlSchG muss in Summe über alle Expositionspfade eingehalten werden. Gemäß § 80 Abs. 4 StrlSchG ist bei mehreren zu betrachtenden genehmigungsbedürftigen Tätigkeiten der Grenzwert insgesamt einzuhalten.

Entsprechend § 99 Abs. 1 StrlSchV [SSV 18] betragen die Grenzwerte der effektiven Dosis der durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser aus Anlagen oder Einrichtungen bedingten Exposition für Einzelpersonen der Bevölkerung jeweils 0,3 mSv im Kalenderjahr.

Expositionen durch Ableitungen aus genehmigungsbedürftigen Anlagen auf dem Hereon-Gelände wurden in [BS 21] (Luft) bzw. [BS 21A] (Wasser) unter Anwendung des dafür gültigen Regelwerks ermittelt und werden in die Bewertung der Situation zur gesamten potentiellen Exposition am Standort mit einbezogen.

Im vorliegenden Bericht erfolgt die Ermittlung der potentiellen Exposition durch Direktstrahlung aus den genehmigungsbedürftigen Tätigkeiten auf dem Hereon-Gelände.

Zusätzlich erfolgt eine Bewertung hinsichtlich der Einhaltung des Grenzwerts gemäß § 80 StrlSchG unter Verwendung der Ergebnisse aus [BS 21] und [BS 21A].

Die Exposition für Beschäftigte des Hereon fällt gemäß § 2 Abs. 7 Satz 1 Nr. 1 StrlSchG in die Kategorie „Berufliche Exposition“. Gemäß § 5 Abs. 7 StrlSchG ist eine Einstufung als „beruflich exponierte Personen“ dann erforderlich, wenn die Grenzwerte für Effektivdosis und Organ-Äquivalentdosen für Einzelpersonen der Bevölkerung gemäß § 80 StrlSchG überschritten werden.

Im vorliegenden Bericht wird daher der Nachweis geführt, dass die Grenzwerte für Einzelpersonen der Bevölkerung für Beschäftigte des Hereons, die sich außerhalb der Strahlenschutzbereiche aufhalten, nicht überschritten werden.

2.2 Berechnungsgrundlagen und angewandte Methodik

Die Vorgehensweise zur Ermittlung der potentiellen Exposition durch Direktstrahlung wird in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Ermittlung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch genehmigungs- oder anzeigebedürftige Tätigkeiten (AVV Tätigkeiten, [AVV 20]), Kapitel 10 „Exposition des Menschen durch ionisierende Strahlung aus Anlagen und Einrichtungen“ beschrieben. Dort wird im Abschnitt 10.1 „Grundsätzliches Vorgehen“ ausgeführt:

„Zur Berechnung der äußeren Exposition durch ionisierende Strahlung aus Anlagen und Einrichtungen stehen keine vereinfachten Berechnungsverfahren zur Verfügung, welche die Vielfalt der Anwendungsfälle angemessen abdecken würden. Die Strahlungsfelder (Gammastrahlung, Röntgenstrahlung, Neutronenstrahlung) in den für die Bevölkerung zugänglichen Bereichen können mithilfe von allgemein anerkannten Simulationsverfahren berechnet werden (z. B. MCNP, SCALE, PENELOPE). Ebenso kann der Nachweis, dass die Dosisgrenzwerte für die Bevölkerung sicher eingehalten werden, mit vereinfachten, konservativen Verfahren erbracht werden.“

Gemäß [AVV 20], Abschnitt 10.3 ist die zu erwartende Exposition der repräsentativen Person unter Berücksichtigung der zu erwartenden oder geplanten genannten Einflussgrößen:

- Radionuklidinventar und dessen räumliche Verteilung,
- Typ, Standort und Betriebszustände (Betriebszeiten, Betriebsdauern, Strahlgeometrie usw.) des technischen Geräts, bei dessen Betrieb ionisierende Strahlung erzeugt wird,
- Normen zum baulichen Strahlenschutz, soweit sie Maßnahmen zur Verringerung der Ortsdosisleistung in Bereichen betreffen, die Einzelpersonen der Bevölkerung zugänglich sind,
- technische und bauliche Maßnahmen, die abschirmend wirken oder auf sonstige Weise die Ortsdosisleistung während des Betriebs in Bereichen, die Einzelpersonen der Bevölkerung zugänglich sind, reduzieren,
- Aufenthaltsdauern und Aufenthaltsorte der repräsentativen Person in den für die Bevölkerung zugänglichen Bereichen in der Umgebung der Anlage oder Einrichtung

zu berechnen. Es können vereinfachend Erfahrungswerte herangezogen werden, sofern die technischen Geräte, die zu erwartenden Betriebszustände und der bauliche Strahlenschutz vergleichbar sind und die Dosisgrenzwerte für die Bevölkerung sicher eingehalten werden.

Gemäß [AVV 20], Abschnitt 10.4 kann die im Betrachtungszeitraum erhaltene Exposition der repräsentativen Person durch Simulationsrechnungen, durch Messungen oder durch vereinfachte konservative Verfahren ermittelt werden.

Im vorliegenden Bericht wird für die Ermittlung der potentiellen Exposition durch Direktstrahlung im zukünftigen Betrieb folgendes Vorgehen angewandt:

- Die Ermittlung der Exposition durch Direktstrahlung aus dem bisher genehmigten Umgang, welcher mit gleichen Betriebsabläufen und dem bestehenden baulichen Strahlenschutz so fortgeführt werden soll (Istzustand), erfolgt durch Auswertung der bestehenden Messwerte

aus der Strahlenschutzüberwachung am Standort. Dies entspricht der Heranziehung von Erfahrungswerten gemäß [AVV 20], Abschnitt 10.3 (Istzustand).

- Die potentielle Exposition durch Direktstrahlung aus dem beantragten zusätzlichen Umgang (TBH und Zerleghalle) sowie der zusätzlichen Einlagerung in die HAKONA/BSH wird durch Berechnungen mit dem Computerprogramm MCNP[®] (siehe [AVV 20], Abschnitt 10.1) ermittelt (Planungszustand).
- Die potentielle Exposition durch Direktstrahlung aus der Pufferlagerung wird durch Berechnungen mit dem Computerprogramm MCNP[®] ermittelt, wobei eine über den bestehenden Umfang hinausgehende Auslastung der Kapazitäten der Pufferlagerung berücksichtigt wird.
- Die potentielle Exposition durch Radioaktivtransporte wird durch eine Berechnung mit Hilfe des Computerprogramms MicroShield[®] ermittelt. MicroShield[®] ist ein international anerkanntes Computerprogramm, mit dem sogenannte Punkt-Kern-Integrationen zur Dosisberechnung für verschiedene Quellgeometrien unter Berücksichtigung von Abschirmwirkungen und Aufbaustrahlung (dem sogenannten „Build-Up“) durchgeführt werden können. Unberücksichtigt bleibt dabei die Streustrahlung an der Atmosphäre. Diese hat jedoch für die hier durchgeführten Berechnungen (kompakte Quellen mit Selbstabschirmung und allseitiger Abschirmung durch das Transportgebäude, dadurch sind keine Strahlungswege, bei denen durch Rückstreuung an der Luft die Abschirmung umgangen wird, gegeben) keine signifikanten Beiträge zur Gesamtexposition. Die Anwendung von MicroShield[®] kann daher als vereinfachtes, konservatives Verfahren entsprechend [AVV 20], Abschnitt 10.1 angesehen werden.
- Die ermittelten Expositionen im Istzustand und im Planungszustand werden unter Berücksichtigung der möglichen Aufenthaltszeiten zusammengeführt.

Aufenthaltszeiten für Einzelpersonen der Bevölkerung werden entsprechend Anlage 11 Teil B Tabelle 3 StrlSchV bzw. Anhang A4 Tabelle 12 [AVV 20] berücksichtigt:

- 1.760 h im Jahr im Freien und
- 7.000 h im Jahr in Gebäuden.

Für den Aufenthalt in Gebäuden wird gemäß Anlage 11 Teil B Tabelle 3 StrlSchV bzw. Anhang A4 Tabelle 12 [AVV 20] für die Dosis durch Gammastrahlung aus der Abluftfahne und durch Gammastrahlung der am Boden abgelagerten radioaktiven Stoffe ein Reduktionsfaktor von 0,3 berücksichtigt. Dieser Reduktionsfaktor beruht auf der abschirmenden Wirkung von Gebäudewänden für Gammastrahlung und wird in [AVV 20] als generischer Wert (d. h. als konservativer Wert für alle zu erwartenden Gebäudestrukturen, Wanddicken und Wandmaterialien) verwendet. Beispielsweise wird dieser Abschirmfaktor mit den Parametern aus [NIS 04] für Co-60 für eine 8 cm dicke und für Cs-137 für eine 6,5 cm dicke Betonwand (Dichte 2,3 g/cm³) ermittelt. Bei den Berechnungen im Rahmen dieses Berichts wird der Abschirmfaktor 0,3 (gegenüber der ODL an der Außenwand des Gebäudes) für alle Gebäude verwendet, in denen die potentielle Dosis für Personen ermittelt wird, die sich im Gebäude aufhalten.

3 STANDORT UND VERWENDETE DATEN

3.1 Standortbeschreibung

Das Hereon-Gelände befindet sich am sogenannten Geesthang. Dieser ist Teil des Elbe-Urstromtals und entstand wahrscheinlich zwischen dem kältesten Abschnitt der Weichseleiszeit vor etwa 22.000 bis 18.000 Jahren und dem Ende der Vergletscherung Norddeutschlands vor etwa 14.500 Jahren. Die Geländehöhe am Standort variiert zwischen ca. 20 mNN (nördlich der Elbuferstraße im Süden des Geländes) und 64 mNN (Otto-Hahn-Straße im Nord-Westen des Geländes).

In Abbildung 3-1 ist ein vom Betreiber zur Verfügung gestellter Plan der unmittelbaren Umgebung des FRG 1 einschließlich TBH dargestellt. Die Entfernungen von der TBH zum Hereon-Geländezaun und zur Abgrenzung des Überwachungsbereichs sind eingezeichnet. Abbildung 3-2 zeigt die unmittelbare Umgebung der geplanten Zerlegehalle gemäß [HER 18] mit HAKONA/BHS¹. Der dort dargestellte Abstand zum Hereon-Geländezaun beträgt entsprechend [HER 18] 34 m.

Aus der Abbildung 3-3 kann die Ausdehnung des Hereon-Geländes und die Lage des FRG 1 und der geplanten Zerlegehalle auf einem vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Lageplan entnommen werden (Zerlegehalle im Bereich von Gebäude 44).

Die unmittelbare Umgebung des FRG mit TBH liegt auf einer Geländehöhe von ca. 49 mNN (Höhenangaben entnommen aus [BOY 15]²). Der für die geplante Zerlegehalle vorgesehene Platz liegt auf einer Geländehöhe von ca. 21 mNN (Höhenangaben entnommen aus [BOY 15]², Zerlegehalle nicht in Abbildung 3-1 dargestellt). Nordöstlich bzw. östlich des Standorts steigt das Terrain gegenüber dem Elbniveau ebenfalls an und liegt nach 1500 m bzw. 1000 m auf etwa 60 mNN. Der Standort des Kernkraftwerks Krümmel (KKK) schließt sich westlich an das Hereon-Gelände an und befindet sich in unmittelbarer Elbnähe auf einer Geländehöhe von ca. 8,5 mNN. Südöstlich bis westlich fließt die Elbe, deren südliches Ufer in einer Entfernung zwischen 500 m im Süden und ca. 1000 m im Westen auf ca. 5 mNN liegt. Nordwestlich des Standorts ist wieder ein Geländeanstieg zu verzeichnen. Der etwa 500 m entfernte Kronsberg erreicht eine Höhe von ca. 60 mNN. In Abbildung 3-4 ist ein Foto zu sehen, auf dem die hier beschriebenen Teilbereiche des Hereons abgebildet sind. Darauf ist die generelle Struktur des Geländes zu erkennen. Außerdem ist die Wohnbebauung in der Nähe des Anlagenzauns im Bereich südlich der TBH zu erkennen. Im Bereich der geplanten Zerlegehalle in der Umgebung des Anlagenzauns ist dagegen keine Wohnbebauung vorhanden. Eine Errichtung von Wohnbebauungen in diesem Bereich (schmaler Streifen zwischen Hereon-Gelände und öffentlicher Straße) ist auch zukünftig³ nicht möglich, wird jedoch konservativ im weiteren als abdeckendes Szenario betrachtet.

¹ Gebäude 44 umfasst HAKONA/BSH, BSH in Abbildung 3-2 nicht explizit erwähnt.

² Die hier zitierten Höhenangaben aus [BOY 15] bzw. dem 2020 aktualisierten Plan stimmen mit den Werten aus [LVG 16] im Rahmen der für die Berechnungen notwendigen Genauigkeiten überein (siehe Abbildung 3-3).

³ solange die hier untersuchten Anlagen und Einrichtungen weiter bestehen

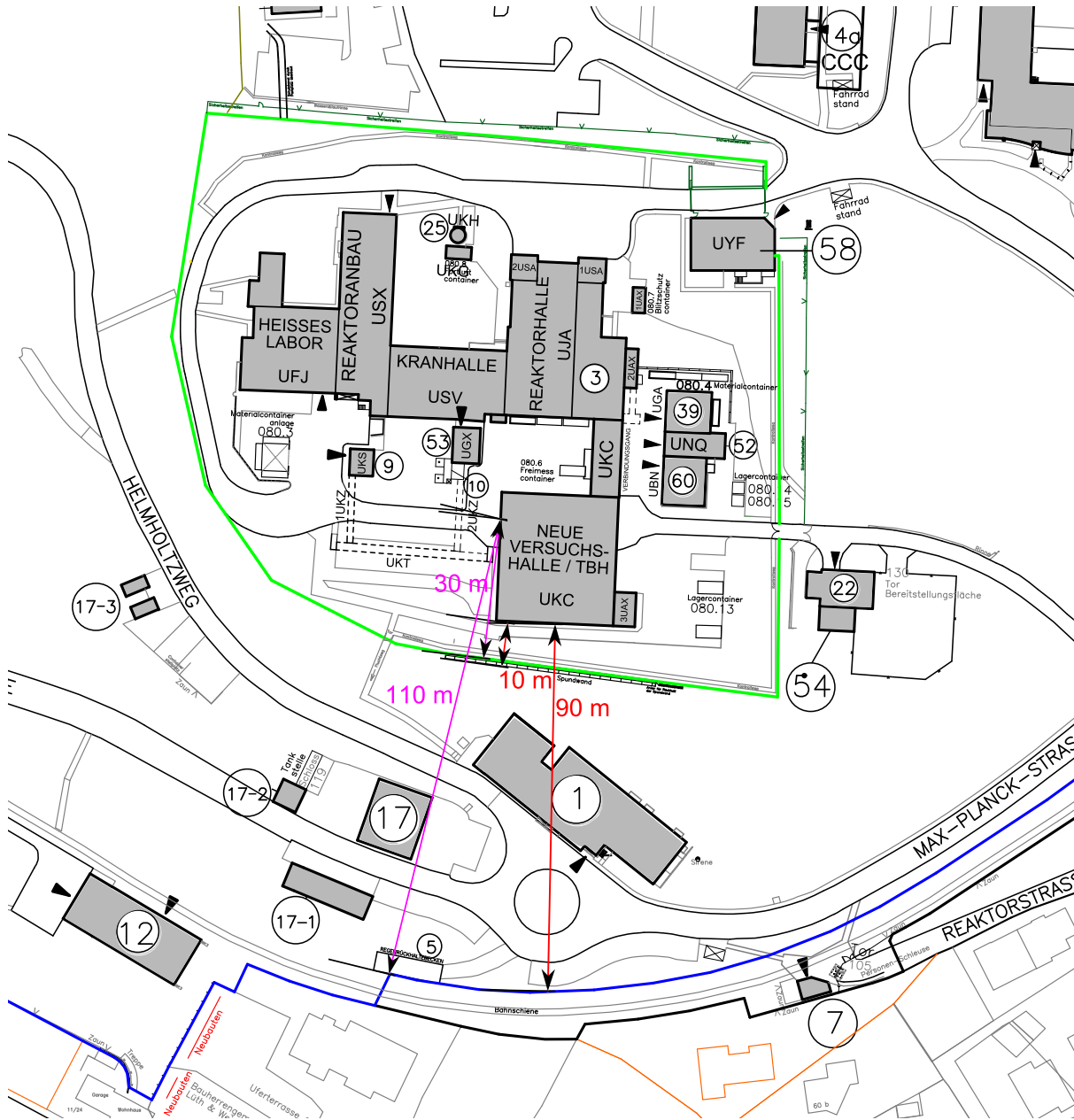


Abbildung 3-1: Lageplan Gebäude und Anlagenbereiche der FRG 1 und des Heißen Labors sowie der TBH

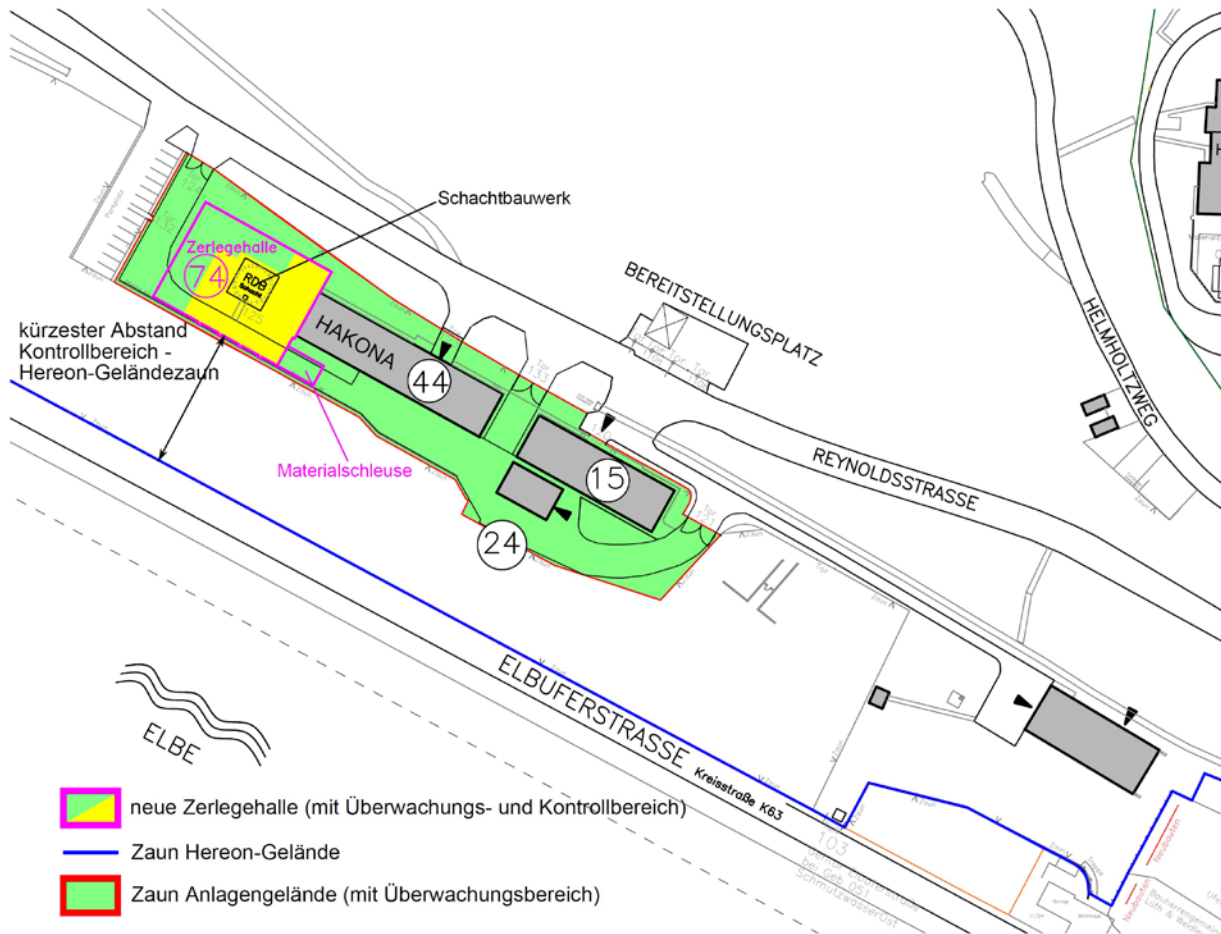


Abbildung 3-2: Lageplan Zerleghalle (mit HAKONA/BSH), kürzester Abstand Kontrollbereich - Zaun 34 m

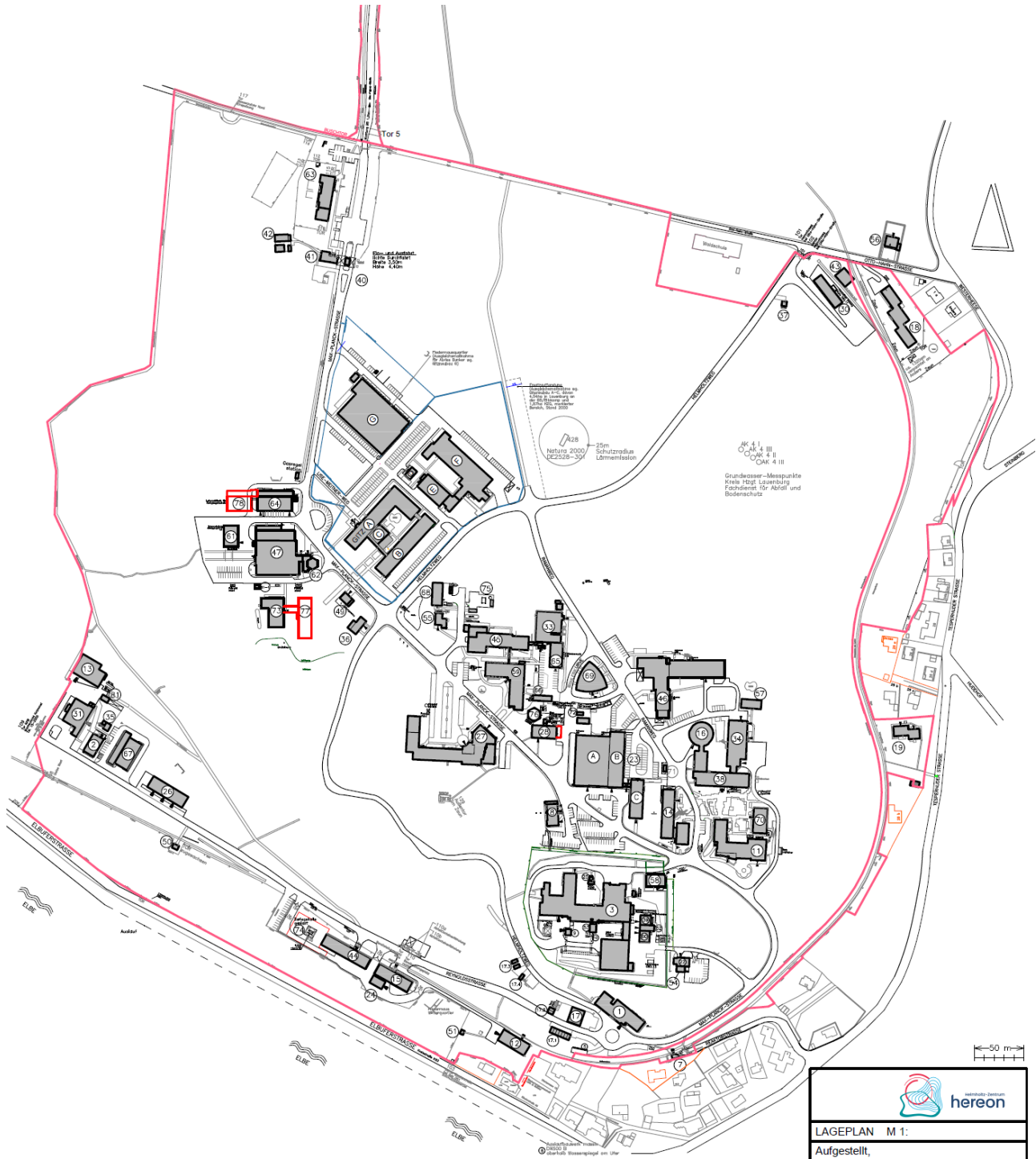


Abbildung 3-3: Hereon-Gelände und Zaunverlauf (TBH südlich von Gebäude 3, Zerlegehalle nordwestlich von Gebäude 44)

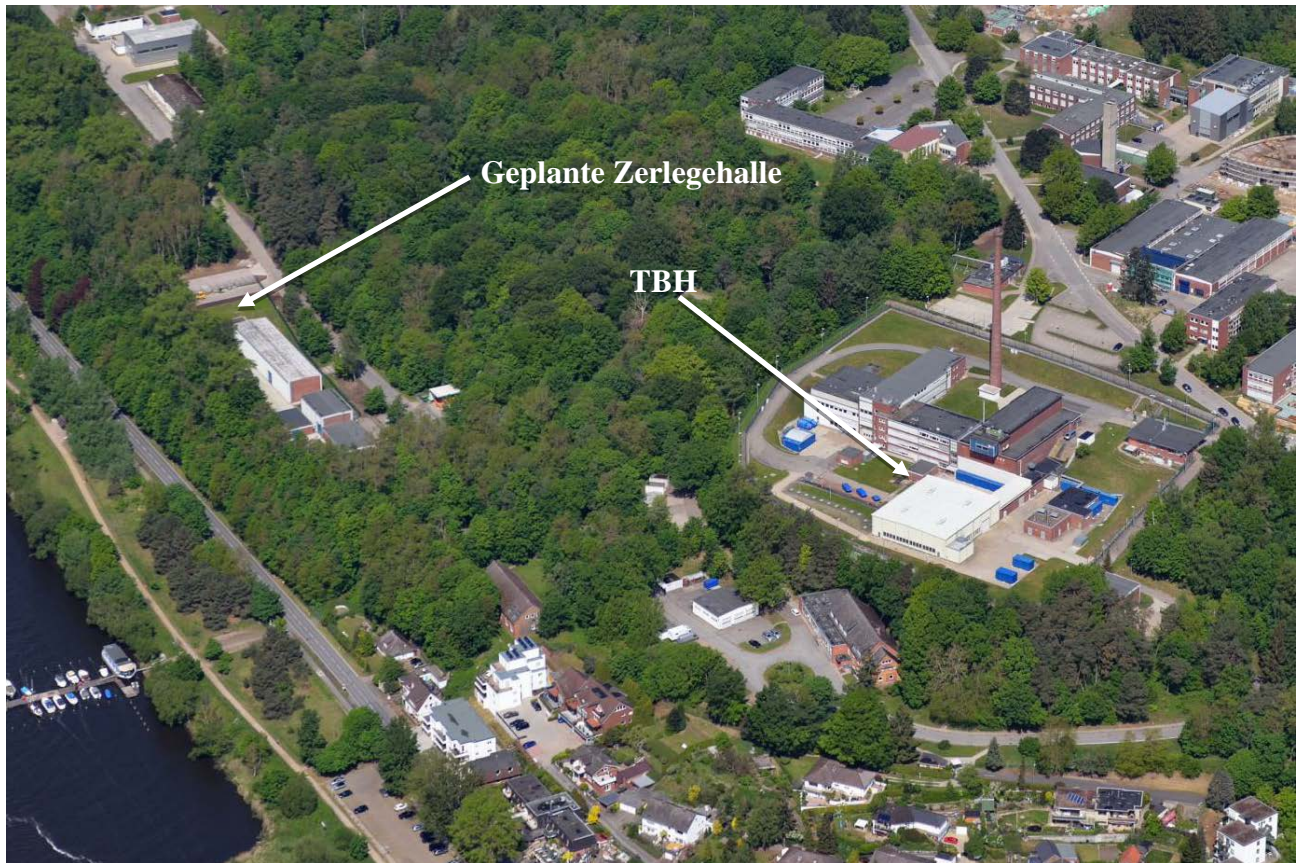


Abbildung 3-4: Foto des Hereon-Geländes (Teilbereich) mit Lage der THB und der geplanten Zerlegehalle aus [HER 16A]

3.2 Messungen der Ortsdosis

Die Überwachung strahlenschutzrelevanter Messdaten am Standort Geesthacht des Hereons erfolgt gemäß Genehmigungsbescheid in Anwendung von [BMU 05] und beinhaltet insbesondere auch die Messung der Ortsdosis durch Festkörperdosimeter. Die Festkörperdosimeter liefern Messwerte der über ein Jahr (Kalenderjahr) akkumulierten Ortsdosis (OD). Dabei handelt es sich um die Summe aus der Ortsdosis durch natürliche Strahlung und, falls vorhanden, der Ortsdosis durch die Tätigkeiten auf dem Hereon-Gelände. Die gemäß [BMU 05] erforderliche Nachweisgrenze (NWG) beträgt 0,1 mSv im Jahr für die Erhöhung gegenüber der Hintergrunddosis bei statistischer Auswertung der Gesamtheit der Dosimeter.

Die jeweils angegebene Messgröße ist dabei die Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$ (siehe [MPA 19] bzw. [RAD 07]), d. h., der ermittelte Wert für das Luftkerma wird auf die Äquivalentdosis, die im zugehörigen ausgerichteten und aufgeweiteten Strahlungsfeld in 10 mm Tiefe auf dem der Einfallrichtung der Strahlung entgegengesetzt orientierten Radius der ICRU-Kugel erzeugt würde, umgerechnet.

In Abbildung 3-5 sind die jeweiligen Messpositionen in der Umgebung des FRG und weitere Messpositionen auf dem Hereon-Gelände dargestellt. In Abbildung 3-6 sind die Messpositionen außerhalb des Hereon-Geländes aufgeführt.

Die Messungen an jeder der dargestellten Positionen werden jeweils vom Betreiber und einer unabhängigen Messstelle durchgeführt.

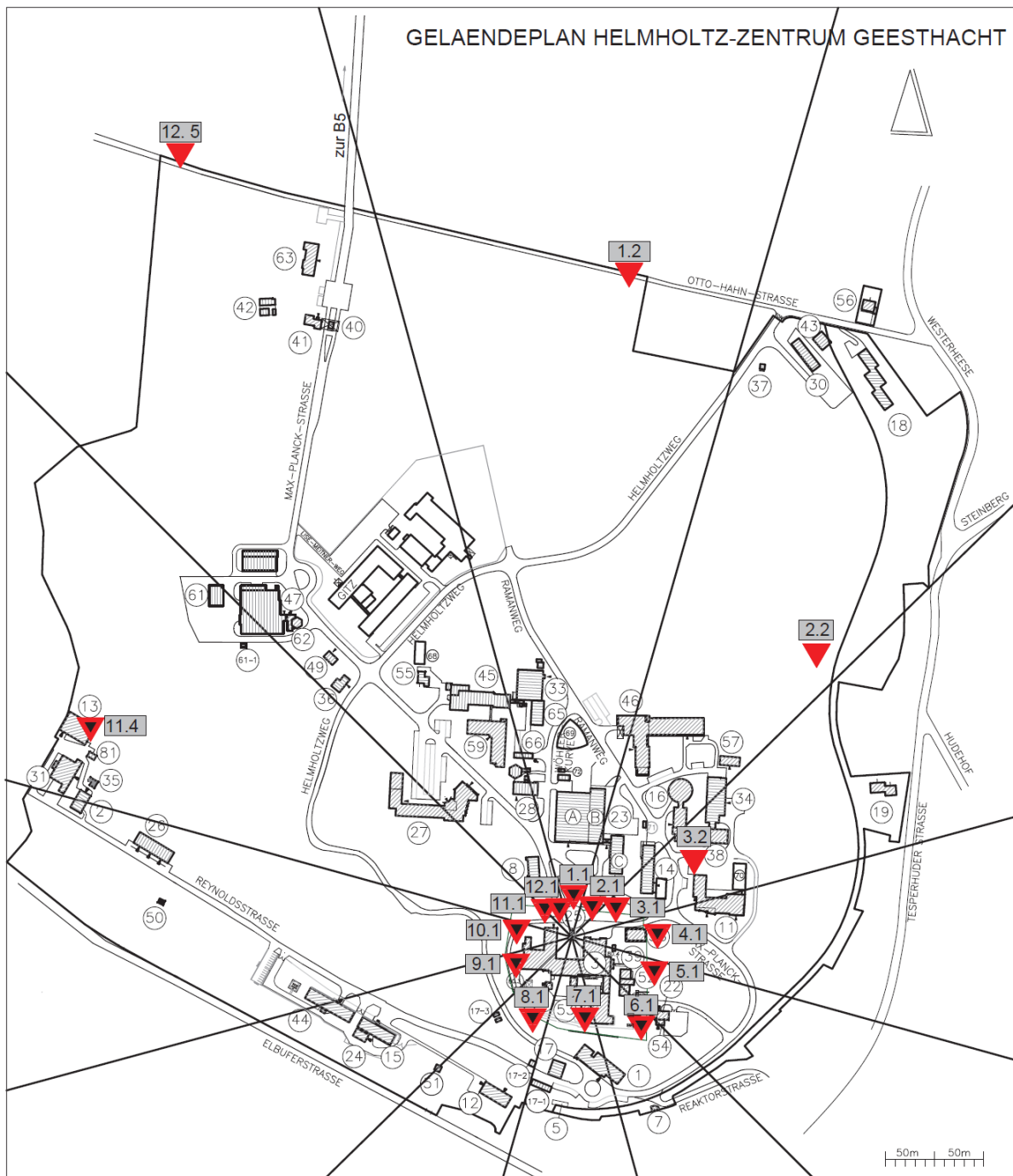


Abbildung 3-5: Messorte für OD-Bestimmungen mittels Festkörperdosimeter auf dem Gelände des Heron gemäß [HER 21]



Abbildung 3-6: Messorte für OD-Bestimmungen mittels Festkörperdosimeter außerhalb des Hereon-Geländes gemäß [HER 21]

In Abbildung 3-7 ist die Messposition der Dosimeter im Bereich „Lager“ im Umfeld der geplanten Zerleghalle dargestellt.



Abbildung 3-7: Messorte für Ortsdosisbestimmungen Bereich Lager auf Basis von Google-Earth-Pro® Kartenmaterial und Koordinaten des Betreibers

In den nachfolgenden Tabellen sind die Messergebnisse der Ortsdosismessungen seit 2012 in:

- Tabelle 3-1 und Tabelle 3-2 für Messpunkte in der Umgebung des FRG 1, alle Messpunkte (MP) mit der Nummerierung xx.1,
- Tabelle 3-3 und Tabelle 3-4 für weitere Messpunkte auf dem Hereon-Gelände und außerhalb und
- Tabelle 3-5 für Messpunkte im Bereich Lager (seit 2016)

zusammengestellt. Zusätzlich sind zeitliche sowie über die Messstellen gemittelte Werte angegeben.

Bei den Messwerten des Betreibers aus Tabelle 3-2 und Tabelle 3-4 ist zu beachten, dass 2020 ein Wechsel der Dosismetertypen erfolgte.

Tabelle 3-1: Ortsdosis (in mSv pro Kalenderjahr) für Messorte Festkörperdosimeter Umgebung FRG 1 (unabhängige Messstelle, alle MP)

| MP | Orts- nummer | Ortsdosis [mSv pro Kalenderjahr] | | | | | | | | | Mittel- wert |
|------|-----------------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| | | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | |
| 01.1 | ME001700 | 0,616 | 0,644 | 0,590 | 0,664 | 0,652 | 0,754 | 0,605 | 0,606 | 0,651 | 0,64 |
| 02.1 | ME001702 | 0,621 | 0,626 | 0,575 | 0,648 | 0,607 | 0,734 | 0,583 | 0,590 | 0,662 | 0,63 |

| MP | Orts- nummer | Ortsdosis [mSv pro Kalenderjahr] | | | | | | | | | Mittel- wert |
|---|-----------------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| | | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | |
| 03.1 | ME001704 | 0,635 | 0,658 | 0,552 | 0,624 | 0,634 | 0,744 | 0,603 | 0,573 | 0,617 | 0,63 |
| 04.1 | ME001706 | 0,874 | 0,851 | 0,776 | 0,853 | 0,882 | 0,936 | 0,791 | 0,777 | 0,806 | 0,84 |
| 05.1 | ME001708 | 0,565 | 0,585 | 0,524 | 0,588 | 0,547 | 0,716 | 0,553 | 0,556 | 0,593 | 0,58 |
| 06.1 | ME001710 | 0,535 | 0,557 | 0,489 | 0,587 | 0,503 | 0,681 | 0,507 | 0,511 | 0,557 | 0,55 |
| 07.1 | ME001712 | 0,541 | 0,597 | 0,505 | 0,592 | 0,552 | 0,683 | 0,551 | 0,545 | 0,583 | 0,57 |
| 08.1 | ME001714 | 0,602 | 0,643 | 0,554 | 0,638 | 0,592 | 0,718 | 0,559 | 0,560 | 0,625 | 0,61 |
| 09.1 | ME001611 | 0,723 | 0,720 | 0,661 | 0,717 | 0,678 | 0,831 | 0,662 | 0,661 | 0,706 | 0,71 |
| 10.1 | ME001613 | 0,798 | 0,784 | 0,740 | 0,775 | 0,787 | 0,854 | 0,737 | 0,705 | 0,742 | 0,77 |
| 11.1 | ME001155 | 0,612 | 0,641 | 0,574 | 0,623 | 0,612 | 0,729 | 0,588 | 0,577 | 0,634 | 0,62 |
| 12.1 | ME001157 | 0,626 | 0,659 | 0,565 | 0,655 | 0,624 | 0,740 | 0,588 | 0,591 | 0,646 | 0,63 |
| Mittelwert aller Messstellen | | 0,65 | 0,66 | 0,59 | 0,66 | 0,64 | 0,76 | 0,61 | 0,60 | 0,65 | 0,65 |

Tabelle 3-2: Ortsdosis (in mSv pro Kalenderjahr) für Messorte Festkörperdosimeter Umgebung FRG 1 (Betreiber)

| MP | Ortsdosis [mSv pro Kalenderjahr] | | | | | | | | | Mittel- wert* |
|---|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------|
| | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020* | |
| 01.1 | 1,293 | 0,871 | 0,906 | 0,822 | 1,105 | 1,399 | 0,828 | 0,941 | 0,64 | 1,02 |
| 02.1 | 0,895 | 0,883 | 0,929 | 0,818 | 1,047 | 0,934 | 0,884 | 0,922 | 0,61 | 0,91 |
| 03.1 | 0,968 | 0,891 | 0,982 | 0,810 | 1,033 | 0,877 | 0,918 | 0,928 | 0,62 | 0,93 |
| 04.1 | 1,630 | 1,015 | 1,063 | 0,936 | 1,129 | 1,054 | 1,120 | 1,124 | 0,79 | 1,13 |
| 05.1 | 1,333 | 0,845 | 0,884 | 0,773 | 0,855 | 1,068 | 0,887 | 0,890 | 0,55 | 0,94 |
| 06.1 | 1,263 | 1,026 | 0,844 | 0,736 | 0,846 | 0,867 | 0,858 | 0,859 | 0,52 | 0,91 |
| 07.1 | 0,893 | 0,812 | 0,901 | 0,758 | 0,865 | 0,873 | 0,891 | 0,868 | 0,54 | 0,86 |
| 08.1 | 0,962 | 0,880 | 1,090 | 0,787 | 0,706 | 0,934 | 0,821 | 0,903 | 0,57 | 0,89 |
| 09.1 | 1,020 | 0,969 | 0,943 | 0,880 | 0,990 | 0,977 | 0,939 | 1,080 | 0,68 | 0,97 |
| 10.1 | 1,110 | 1,066 | 1,361 | 0,961 | 1,084 | 1,071 | 0,986 | 1,039 | 0,72 | 1,08 |
| 11.1 | 0,845 | 1,339 | 0,888 | 0,817 | 0,926 | 0,905 | 0,847 | 0,870 | 0,58 | 0,93 |
| 12.1 | 1,017 | 0,862 | 0,949 | 0,808 | 0,908 | 1,003 | 0,858 | 0,893 | 0,59 | 0,91 |
| Mittel- wert aller Messstel- len | 1,10 | 0,95 | 0,98 | 0,83 | 0,96 | 1,00 | 0,90 | 0,94 | 0,62 | 0,96 |

* Wechsel des Dosimetertyps, Werte 2020 sind nicht in die zeitliche Mittelung mit einbezogen

Tabelle 3-3: Ortsdosis (in mSv pro Kalenderjahr) für Messorte Festkörperdosimeter sonstige Messpunkte (unabhängige Messstelle)

| MP | Ortsnummer | Ortsdosis [mSv pro Kalenderjahr] | | | | | | | | | Mittelwert |
|-------------------------------------|------------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| | | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | |
| 01.3* | ME000537 | | | | 0,471 | 0,503 | 0,489 | 0,464 | 0,463 | 0,498 | 0,48 |
| 02.2 | ME000538 | | | | 0,502 | 0,513 | 0,511 | 0,480 | 0,483 | 0,523 | 0,50 |
| 03.4 | ME001705 | 0,565 | 0,624 | 0,558 | 0,594 | 0,605 | 0,628 | 0,571 | 0,575 | 0,616 | 0,59 |
| 04.4 | ME001707 | 0,553 | 0,602 | 0,499 | 0,541 | 0,572 | 0,607 | 0,551 | 0,535 | 0,584 | 0,56 |
| 05.2 | ME001709 | 0,547 | 0,571 | 0,509 | 0,554 | 0,564 | 0,538 | 0,518 | 0,530 | 0,564 | 0,54 |
| 06.3 | ME001711 | 0,830 | 0,838 | 0,719 | 0,825 | 0,797 | 0,765 | 0,733 | 0,742 | 0,817 | 0,79 |
| 07.3 | ME001713 | 0,520 | 0,530 | 0,459 | 0,520 | 0,518 | 0,513 | 0,746 | 0,474 | 0,542 | 0,54 |
| 08.3 | ME001610 | 0,747 | 0,751 | 0,688 | 0,746 | 0,759 | 0,795 | 0,719 | 0,710 | 0,760 | 0,74 |
| 09.2 | ME001612 | | 0,721 | 0,642 | 0,696 | 0,728 | 0,734 | 0,674 | 0,691 | 0,722 | 0,70 |
| 10.3 | ME001154 | 0,788 | 0,815 | 0,738 | 0,756 | 0,782 | 0,791 | 0,744 | 0,754 | 0,838 | 0,78 |
| 11.4 | ME002105 | Ersatz für 11.5 | | | | | | 0,927 | 0,947 | 1,016 | 0,96 |
| 11.5 | | 0,479 | 0,489 | 0,444 | 0,465 | 0,487 | 0,477 | 0,972 | | | 0,60 |
| 12.5 | ME000539 | | | | 0,469 | 0,459 | 0,461 | 0,442 | 0,426 | 0,474 | 0,46 |
| Mittelwert aller Messstellen | | 0,63 | 0,66 | 0,58 | 0,59 | 0,61 | 0,61 | 0,66 | 0,64 | 0,66 | 0,63 |

* im Lageplan als 1.2 bezeichnet

Tabelle 3-4: Ortsdosis (in mSv pro Kalenderjahr) für Messorte Festkörperdosimeter sonstige Messpunkte (Betreiber)

| MP | Ortsdosis [mSv pro Kalenderjahr] | | | | | | | | | Mittelwert* |
|--------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020* | |
| 01.3** | 0,759 | 0,752 | 0,734 | 0,672 | 0,846 | 0,858 | 0,704 | 0,733 | 0,45 | 0,76 |
| 02.2 | 0,752 | 0,795 | 0,745 | 0,696 | 0,919 | 1,048 | 0,747 | 0,771 | 0,48 | 0,81 |
| 03.4 | 0,887 | 0,945 | 0,876 | 0,801 | 0,997 | 1,133 | 0,932 | 1,033 | 0,58 | 0,95 |
| 04.4 | 0,962 | 0,859 | 0,854 | 0,753 | 1,041 | 0,856 | 0,821 | 0,871 | 0,53 | 0,88 |
| 05.2 | 0,962 | 0,892 | 0,806 | 0,739 | 0,715 | 0,833 | 0,764 | 0,841 | 0,49 | 0,82 |
| 06.3 | 1,075 | 1,559 | 1,092 | 0,980 | 0,828 | 1,073 | 1,011 | 1,111 | 0,75 | 1,09 |
| 07.3 | 0,807 | 0,674 | 0,807 | 0,723 | 0,772 | 0,778 | 0,737 | 0,844 | 0,48 | 0,77 |
| 08.3 | 1,067 | 1,563 | 1,141 | 1,000 | 0,807 | 1,107 | 1,135 | | 0,76 | 1,12 |
| 09.2 | | 1,453 | 0,947 | 0,881 | 0,966 | 1,018 | 1,012 | 0,967 | 0,67 | 1,03 |
| 10.3 | 1,046 | 1,510 | 1,023 | 0,935 | 1,163 | 1,062 | 1,057 | 0,986 | 0,67 | 1,10 |
| 11.4 | Ersatz für 11.5 | | | | | | 0,766 | 1,298 | 1,02 | 1,03 |
| 11.5 | 0,713 | 1,089 | 0,730 | 0,686 | 1,120 | 0,693 | 1,295 | | | 0,95 |
| 12.5 | 0,870 | 1,088 | 0,775 | 0,665 | 0,671 | 0,690 | 1,295 | 0,713 | 0,44 | 0,85 |

| MP | Ortsdosis [mSv pro Kalenderjahr] | | | | | | | | | Mittelwert* |
|------------------------------|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------------|
| | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020* | |
| Mittelwert aller Messstellen | 0,90 | 1,10 | 0,88 | 0,79 | 0,90 | 0,93 | 0,94 | 0,96 | 0,62 | 0,93 |

* Wechsel des Dosimetertyps, Werte 2020 sind nicht in die zeitliche Mittelung mit einbezogen
** im Lageplan als 1.2 bezeichnet

Tabelle 3-5: Ortsdosis (in mSv pro Kalenderjahr) für Messorte Festkörperdosimeter Bereich „Lager“ (Betreiber)

| MP | Beschreibung | Ortsnummer | Ortsdosis [mSv pro Kalenderjahr] | | | | | Mittelwert |
|-------------------------------------|-----------------------------|------------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|------------|
| | | | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | |
| Ü 12 | Bereitstellungshalle - Süd | ME000531 | 0,726 | 0,696 | 0,650 | 0,664 | 0,637 | 0,67 |
| Ü 13 | Bereitstellungshalle - Nord | ME000530 | 0,996 | 0,990 | 0,892 | 0,912 | 0,938 | 0,95 |
| Ü 15 | Sammelstelle - Süd | ME000532 | 0,701 | 0,649 | 0,629 | 0,584 | 0,663 | 0,65 |
| Ü 16 | Sammelstelle - Nord | ME000533 | 1,931 | 1,866 | 1,759 | 1,750 | 1,714 | 1,80 |
| Ü 17 | HAKONA - Süd | ME000534 | 0,949 | 1,023 | 0,846 | 0,838 | 0,889 | 0,91 |
| Ü 18 | HAKONA - Nord | ME000535 | 0,970 | 0,980 | 0,860 | 0,803 | 0,853 | 0,89 |
| Ü 14 | Feuerwehr Schnakenbek* | ME000536 | 0,750 | 0,760 | 0,710 | 0,694 | | 0,73 |
| Mittelwert aller Messstellen | | | 1,00 | 0,99 | 0,91 | 0,89 | 0,95 | 0,95 |

* 2020 eingestellt

3.3 Potentielle Expositionen durch Ableitungen

Die durch Ableitungen mit der Luft bei Ausschöpfung der genehmigten bzw. beantragten Ableitungswerte potentiell verursachte Exposition wurde in [BS 21] ermittelt. Die für die am höchsten exponierte Altersgruppe berechneten Werte sind:

- 0,023 mSv im Jahr durch Bodenstrahlung und
- 0,036 mSv im Jahr durch Ingestion beim Verzehr kontaminierter Lebensmittel (ohne Trinkwasser).

Die in [BS 21] gemäß der dort zu Grunde gelegten Berechnungsgrundlage ebenfalls betrachteten Expositionspfade:

- Betasubmersion,
- Gammasubmersion und
- Inhalation

liefern keine signifikanten Beiträge bei Ableitungen mit der Luft.

Die berechneten Werte beinhalten Expositionen durch Vorbelastungen am Standort (Ableitungen durch das Kernkraftwerk Krümmel und das LasmaAz).

Die durch Ableitungen mit dem Wasser bei Ausschöpfung der genehmigten bzw. beantragten Ableitungswerte potentiell verursachte Exposition wurde in [BS 21A] ermittelt und beträgt für die am höchsten exponierte Altersgruppe:

- 0,14 mSv im Jahr insgesamt (auch Verzehr von Trinkwasser).

Die berechneten Werte beinhalten Expositionen durch Vorbelastungen am Standort (Ableitungen durch das Kernkraftwerk Krümmel und anderer Einleiter in die Elbe).

4 POTENTIELLE ORTSDOSIS IM AKTUELLEN ANLAGENZUSTAND

Die Messergebnisse, die für die Bewertung der Exposition durch den derzeit genehmigten (und zukünftig fortzuführenden) Umgang herangezogen werden (siehe Abschnitt 3.2) werden als Summe der natürlichen Strahlenexposition und der durch den Umgang verursachten Strahlenexposition ermittelt. Zur Bewertung muss daher der Anteil aus der natürlichen Strahlenexposition ermittelt und abgezogen werden.

Die Messergebnisse der Ortsdosis ergeben sich aus dem derzeitigen genehmigten Betrieb gemäß den dafür anzuwendenden Vorgaben aus dem StrlSchG, der StrlSchV, dem im Genehmigungs- und Aufsichtsverfahren hinzugezogenen untergesetzlichen Regelwerk und den gültigen Strahlenschutzanweisungen. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Fortführung des bisher genehmigten Betriebs zukünftig nur Expositionen zusätzlich zu den bestehenden erwarten lässt, die in Abschnitt 5 berechnet werden.

Dies gilt insbesondere für die Gemeinsame Landessammelstelle für radioaktive Abfälle der Länder Bremen, Hamburg, Niedersachsen und Schleswig-Holstein. Diese ist volumenmäßig bis nahe an die Kapazitätsgrenze gefüllt. Zusätzliche Aktivitätseinlagerungen dort können nur nach vorheriger Auslagerung anderer Gebinde erfolgen. Es ist davon auszugehen, dass sich dadurch das Aktivitätsinventar nicht signifikant ändert.

4.1 Natürliche Strahlenexposition

Die natürliche Ortsdosis wird verursacht durch:

- Kosmische Strahlung
 - primär verursacht durch energiereiche (Größenordnung bis 10^{20} eV) schwere Teilchen (Protonen, Heliumkerne und schwerere Teilchen) aus dem Weltall; die auf die Erde treffende Teilchen verursachen beim Durchdringen der Atmosphäre Kernreaktionen, die sekundäre Strahlung erzeugen;
- Terrestrische Strahlung
 - verursacht durch Zerfälle der natürlich vorhandenen Radionuklide (U-238, U-235 und Th-232 mit den jeweiligen Tochternukliden der Zerfallsreihen sowie K-40) im Boden bzw. in Baumaterialien.

Die kosmische Strahlung unterliegt zeitlichen Schwankungen entsprechend den zeitlichen Schwankungen der Intensität und Energie der auftreffenden Primärpartikel, wobei hier insbesondere der von der Sonne verursachte Anteil variabel ist.

Die Direktstrahlung durch Radionuklide, die als Feststoffe im Boden bzw. Baumaterial vorliegen, unterliegt (bei konstanter Materialzusammensetzung) keiner zeitlichen Schwankung. Allerdings gibt es auch Beiträge durch Zerfallsprodukte der gasförmigen Nuklide Rn-222, Rn-220 und Rn-219⁴, welche Teile der Uran- und Thorium-Zerfallsreihen sind. Bodennahe Radon-Konzentrationen werden durch Diffusion des Bodengases in die Atmosphäre, durch Advektion und turbulente Diffusion in der bodennahen Luftschicht und (im Freien) durch Auswaschung von Radon und dessen Zerfallsprodukte durch den Niederschlag am Messort bestimmt. Damit ist eine starke und komplexe Abhängigkeit der durch Radontochternuklide verursachten Direktstrahlungskomponente gegeben.

Durch technische Maßnahmen⁵ (Entfernung oder Aufschüttung von Bodenmaterial für Baumaßnahmen, Verlegung von Bodenbelag mit unterschiedlichem Radionuklidgehalt⁶ und Verwendung von Baumaterialien mit unterschiedlichem Radionuklidgehalt beim Gebäudebau) kann der Quellterm für die terrestrische Strahlung vergleichsweise stark variieren.

Die mittlere natürliche Ortsdosis beträgt in Deutschland gemäß [BMU 19] 0,7 mSv, davon 0,3 mSv (Schwankungsbreite 0,2 mSv bis 0,4 mSv) für die kosmische Strahlung und 0,4 mSv (Schwankungsbreite 0,1 mSv bis 0,8 mSv) für die terrestrische Strahlung.

Permanente Messungen der Ortsdosisleistung durch das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) an der Station Tespe (Lage unmittelbar in der Umgebung der Messstelle 10.3 aus Abbildung 3-6) zeigen einen laufenden Jahresmittelwert (März 2020 bis März 2021) von ca. 0,07 µSv/h (siehe Abbildung 4-1), was einer akkumulierten OD von ca. 0,61 mSv (8.760 h pro Jahr) für den Betrachtungszeitraum entspricht. Gemäß [BFS 21] beträgt der Anteil der kosmischen Strahlung 0,04 µSv/h, der Anteil der terrestrischen Strahlung 0,03 µSv/h (Messwert 24.03.2021 14:00, insgesamt 0,07 µSv/h).

⁴ Auf Grund der kurzen Halbwertszeiten der Isotope R-220 und Rn-219 dominiert hier meist Rn-222.

⁵ Auf Grund der natürlichen Herkunft der Radionuklide im Boden und in Baumaterialien ist diese Komponente der Direktstrahlung nicht als Teil des genehmigungspflichtigen Umgangs zu betrachten.

⁶ z. B. gemäß [BFS 20] für Granit: 30 Bq/kg bis 100 Bq/kg Ra-226 und 17 Bq/kg bis 311 Bq/kg Th-232

Tagesmittelwerte

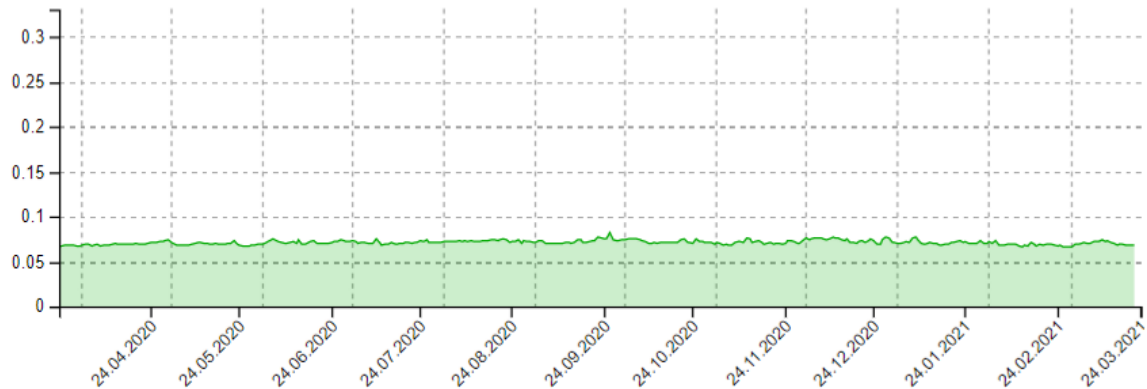


Abbildung 4-1: Tagesmittelwerte der ODL-Messung [$\mu\text{Sv/h}$] der Station 21398 Tespe (aus [BFS 21])

4.2 Bewertung der Hereon-Messergebnisse

Die Messergebnisse der unabhängigen Messstelle ergeben im Mittel über alle Messstellen und betrachteten Messjahre 0,65 mSv pro Jahr (Standardabweichung 0,09 mSv pro Jahr) für die Messpunkte in direkter Umgebung des FRG (Tabelle 3-1) bzw. 0,63 mSv pro Jahr (Standardabweichung 0,13 mSv pro Jahr) für die weiteren Messstellen (Tabelle 3-3). Bei den Messstellen aus Tabelle 3-3 ist davon auszugehen, dass keine oder nur sehr geringe Anteile der ermittelten OD aus dem genehmigten Umgang des Hereons stammen. Der berechnete Mittelwert für Messpunkte in direkter Umgebung des FRG (Tabelle 3-1) ist nicht signifikant abweichend vom Mittelwert der Tabelle 3-3-Werte.

Als mittlerer natürlichen Hintergrund am Standort Geesthacht des Hereons ist demnach eine OD von ca. 0,6 mSv im Jahr bis 0,7 mSv im Jahr anzunehmen. Der aus der ODL-Messstelle⁷ des BFS abgeschätzte Wert liegt bei 0,61 mSv im Jahr.

Aus den Messwerten in Tabelle 3-1 kann nur für die Messpunkte 04.1 (Mittelwert 0,84 mSv) und 10.1 (0,77 mSv) auf eine signifikant⁸ über dem mittleren natürlichen Hintergrund liegende äußere Exposition geschlossen werden. Insbesondere zeigen die im Süden der TBH an der Grenze des Überwachungsbereichs platzierten Messpunkte 06.1, 07.1 und 08.1 keine OD, die über dem abgeschätzten mittleren natürlichen Hintergrund liegen.

Im zeitlichen Mittel wird 2017 ein höherer Wert (0,77 mSv im Jahr) beobachtet.

Für Messwerte aus Tabelle 3-3 wird eine signifikant über dem mittleren natürlichen Hintergrund liegende äußere Exposition für die Messpunkte 06.3 (0,79 mSv pro Jahr), 10.3 (0,78 mSv pro Jahr) und insbesondere 11.4 (Messungen ab 2018, 0,96 mSv pro Jahr) beobachtet. Für die Umgebung dieser Messstellen kann eine Beeinflussung durch den genehmigten Umgang im Hereon ausgeschlossen werden (insbesondere bei 11.4 unter Berücksichtigung der Tatsache, dass für deutlich

⁷ Es ist zu beachten, dass der BFS-Wert aus Mittelwerten einer ODL-Messung gebildet wurde, die durch Hereon und die unabhängige Messstelle angegebenen Werte dagegen die im Festkörperdosimeter akkumulierte OD darstellen.

⁸ Wert liegt oberhalb des 1σ -Intervalls der Stichprobe aus allen Messstellen für alle betrachteten Zeiträume.

näher an potentiellen Quellen liegende Messpunkte keine Beeinflussung ermittelt wird). Es ist daher davon auszugehen, dass die gegenüber dem lokalen Mittel leicht (bzw. für 11.4 deutlich) erhöhte OD dort durch Anomalien z. B. im Bodenbelag verursacht sind. Diese Hypothese wurde durch Messungen der Ortsdosisleistung vor Ort im August 2021 verifiziert (siehe Anhang 8.4).

Die Messwerte des Betreibers (Tabelle 3-2, Mittelwert 0,96 mSv pro Jahr und Standardabweichung 0,15 mSv pro Jahr sowie Tabelle 3-4, Mittelwert 0,93 mSv pro Jahr und Standardabweichung 0,20 mSv pro Jahr) liegen vor 2020 deutlich über den Werten der unabhängigen Messstelle. Da dies unabhängig von der Lage der Messpunkte auftritt und insbesondere auch Messpunkte betrifft, für die keine Beeinflussung durch den genehmigten Umgang im Hereon gegeben ist, ist von einer systematischen Messabweichung durch die verwendeten Dosimeter auszugehen. Die Werte von 2020 (Verwendung eines anderen Dosimetertyps) sind dagegen im Mittelwert über alle Messstellen deutlich niedriger als für den Zeitraum 2012 bis 2019 und nicht abweichend von den Ergebnissen der Messungen der unabhängigen Messstelle.

Die signifikanten Abweichungen vom lokalen Mittel der Werte bei den Messpunkten 04.1, 10.1 und 11.4 werden jedoch auch bei den Messungen des Betreibers beobachtet. Die im Süden der TBH an der Grenze des Überwachungsbereichs platzierten Messpunkte 06.1, 07.1 und 08.1 zeigen, analog zu den Messungen der unabhängigen Messstelle, keine OD, die über dem Mittelwert liegen, und sind demnach auch hier dem natürlichen Hintergrund zuzuordnen. Die Abweichungen der Werte 2017 (1,00 mSv im Jahr) im Vergleich zum zeitlichen Mittel sind bei den Messungen des Betreibers dagegen nicht signifikant.

Bei den Messpunkten im Bereich Lager werden an MP Ü 16 „Sammelstelle – Nord“ mit im Mittel 1,8 mSv im Jahr deutlich erhöhte OD-Werte beobachtet. An den Messpunkten Ü 13 „Bereitstellungshalle – Nord“ (0,95 mSv im Jahr), Ü 17 „HAKONA – Süd“ (0,91 mSv im Jahr) und Ü 18 „HAKONA – Nord“ (0,89 mSv im Jahr) werden leicht erhöhte OD-Werte beobachtet.

Aus den dargestellten Analysen lassen sich folgende Schlussfolgerungen zusammenfassen:

- Der natürliche Hintergrund der OD am Standort im Mittel liegt im Bereich 0,6 mSv im Jahr bis 0,7 mSv im Jahr.
- In der unmittelbaren Umgebung des FRG kann für den westlich gelegenen Messpunkt 10.1 und den östlich gelegenen Messpunkt 04.1 ein Anteil der OD, der durch den genehmigten Umgang resultiert, nicht ausgeschlossen werden. Dieser Anteil liegt bei ca. 0,1 mSv im Jahr.
- Am Messpunkt Sammelstelle – Nord (an der Grenze zwischen KB/ÜB und allgemeinen Betriebsgelände) wird eine OD von 1,2 mSv im Jahr über dem Hintergrund ermittelt (Bruttomesswert 1,8 mSv im Jahr), die demnach mit hoher Wahrscheinlichkeit aus dem genehmigten Umgang stammt.
- Am Messpunkt Bereitstellungshalle – Nord, direkt an der HAKONA/BSH gelegen, wird eine OD von 0,35 mSv im Jahr über dem Hintergrund ermittelt (Bruttomesswert 0,95 mSv im Jahr).
- Im Bereich der geplanten Zerleghalle wird am Messpunkt HAKONA – Süd eine OD gemessen, bei der ein Anteil von 0,3 mSv im Jahr durch den genehmigten Umgang resultiert, nicht ausgeschlossen werden kann.
- Die Messungen am Zaun an den Messpunkten 1.3, 2.2 und 12.5 zeigen keine OD, die über dem Hintergrund am Standort liegt.

- Am Messpunkt 11.4 wird eine signifikant erhöhte OD ermittelt. Aus den Messwerten der unabhängigen Messstelle kann eine OD von ca. 0,3 mSv im Jahr über dem Hintergrund am Standort abgeschätzt werden. Diese OD kann nicht auf einen Beitrag, der aus dem genehmigten Umgang resultiert, zurückgeführt werden. Es ist vielmehr von einer lokalen Beeinflussung durch Bodenmaterialien auszugehen.
- Die Messwerte des Betreibers vor 2020 in Tabelle 3-2 und Tabelle 3-4 sind gegenüber den Messwerten der unabhängigen Messstelle signifikant erhöht und werden nicht in die Ermittlung der Absolutwerte mit einbezogen. Die jeweiligen Trends der Messwerte der unabhängigen Messstelle werden jedoch durch diese Messwerte bestätigt.

Für die weitere Abschätzung der potentiellen Exposition wird unter Berücksichtigung der gemäß [BMU 05] erforderlichen NWG für die Erhöhung gegenüber der Hintergrunddosis konservativ von folgenden Werten der durch den genehmigten Umgang verursachte OD (Istzustand) ausgegangen:

- 1,2 mSv im Jahr für das Hereon-Gelände im Bereich der geplanten Zerlegehalle in der unmittelbaren Umgebung des Messpunkts Sammelstelle – Nord sowie 0,35 mSv im Jahr für das Hereon-Gelände im Bereich der geplanten Zerlegehalle in der unmittelbaren Umgebung des Messpunkts Bereitstellungshalle – Nord (mit Hilfe dieser Messwerte und des für die zusätzliche Einlagerung in die HAKONA/BSH berechnete Dosisleistung wird eine prospektive Gesamtdosis ermittelt),
- 0,3 mSv im Jahr am Zaun des Hereon-Geländes südlich der geplanten Zerlegehalle und
- keine durch den genehmigten Umgang im Hereon verursachte OD am südlichen Zaun des Überwachungsbereichs und am Zaun des Hereons südlich der TBH.

Bei den dargestellten Werten handelt es sich immer um Ortsdosiswerte (OD), entsprechende Bewertungen über die Einhaltung der zulässigen Grenzwerte beziehen sich dagegen auf die Personendosis. Bei dieser sind zusätzlich Aufenthaltszeiten zu berücksichtigen (siehe Abschnitt 6).

5 ERMITTLUNG DER POTENTIELLEN ORTSDOSIS IM GEPLANTEN ZUKÜNFTIGEN BETRIEB

5.1 Modellierung der Ortsdosisleistung

Die Berechnung der Dosisleistung erfolgt über eine Monte-Carlo-Simulation. Hier wird die Software MCNP[®] (Monte Carlo N-Particle Transport Code) Version 6 [MCN 12] zur Modellierung und Durchführung der Berechnungen verwendet, da diese die Definition entsprechend komplexer Geometrien erlaubt. MCNP[®] ist eine Standard-Software, entwickelt am Los Alamos National Laboratory, die für derartige Aufgaben sowie zur Berechnung des Flusses von Neutronen und Elektronen weltweit eingesetzt wird.

Auf Grund des vorgesehenen Nuklidspektrums ist für die Direktstrahlung nur die jeweilige Gammastrahlung der betreffenden Nuklide zu betrachten. Weitere potentielle Strahlungskomponenten für Direktstrahlung (Neutronen aus der Spontanspaltung, Bremsstrahlung durch die Abbremsung energiereicher Elektronen) liefern demgegenüber keine (signifikanten) Beiträge zur potentiellen Direktstrahlung.

Die für die jeweiligen Planungszustände (TBH, geplante Zerleghalle und zusätzliche Einlagerungen in die HAKONA/BSH) vorgesehenen Umgangsaktivitäten werden als Quellterm berücksichtigt⁹. Primärgröße ist dabei die Aktivität der Nuklide mit Gammastrahlung. Die Häufigkeiten und Energien der einzelnen Gammaemissionen werden gemäß [OEC 21] verwendet (siehe Anhang, Abschnitt 8.3).

Wechselwirkungen der Photonen mit dem jeweiligen Gebinde (Wand und Füllung), in denen sich die Aktivität befindet sowie Wechselwirkungen mit dem primären Gebäude (TBH bzw. geplante Zerleghalle) werden berücksichtigt. Die sich aus den Emissionen und Wechselwirkungen ergebene Flussdichte der Photonen wird auf sogenannten „Mesh-Tallies“ ausgewertet.

Als Ergebnis aus der MCNP[®]-Simulation erhält man für jeden Tally einen mittleren Fluss pro Photon, das aus den Quellen emittiert wird. Im Folgenden bezeichnet φ den intern von MCNP[®] bestimmten Fluss in $1/\text{cm}^2$. Um den tatsächlich vorliegenden Photonenfluss in Photonen/(s·cm²) zu erhalten, wird φ mit der Anzahl der pro Zeit aus den Quellen emittierten Photonen multipliziert.

Der Photonenfluss kann über die in [ICR 10] angegebenen Dosiskoeffizienten in eine Dosisleistung umgerechnet werden. Die entsprechenden (energieabhängigen) Dosiskoeffizienten sind in Tabelle 8-5 im Anhang aufgeführt. Diese Dosiskoeffizienten werden direkt in der MCNP[®]-Simulation dazu verwendet, um den auf ein Photon bezogenen von MCNP[®] bestimmten Fluss zu skalieren. Dies ist notwendig, um die Energieabhängigkeit der Dosiskoeffizienten korrekt zu berücksichtigen.

Somit erhält man als Ergebnis für jeden MCNP[®]-Tally eine auf die Zahl der pro Zeit emittierten Photonen bezogene Dosisleistung in der Einheit (pSv/s)/(Photonen/s) entsprechend der Umrechnung

$$H_p = \varphi \cdot D \quad (\text{G 5-1})$$

wobei H_p die normierte Dosisleistung in (pSv/s)/(Photonen/s), D der in Tabelle 8-5 im Anhang angegebene Dosiskoeffizient (in pSv/(Photonen/cm²) = pSv·cm², für ROT-Geometrie) und φ der intern von MCNP[®] bestimmte Fluss in $1/\text{cm}^2$ ist. Da an MCNP[®] die Dosiskoeffizienten in der Eingabedatei übergeben werden, wird diese Umrechnung automatisch durchgeführt. Dabei wird auch die Abhängigkeit von der Gamma-Energie berücksichtigt.

Die Dosisleistung ergibt sich dann aus H_p durch Multiplikation mit der Zahl der pro Sekunde emittierten Photonen (siehe Anhang Abschnitt 8.3, Tabelle 8-6 bis Tabelle 8-11).

5.2 Transportbereitstellungshalle (TBH)

In der TBH sollen alle radioaktiven Abfälle, die beim Abbau der FRG und des HL anfallen, sowie noch vorhandene Betriebsabfälle so lange gelagert werden, bis sie in ein Endlager des Bundes verbracht werden. Dazu gehören auch Betriebsabfälle aus der FRG und dem HL, die extern konditioniert wurden und zurückzuholen sind. In der TBH sollen ausschließlich konditionierte Abfälle sowie leere Abfallbehälter gelagert werden.

⁹ Es kann davon ausgegangen werden, dass durch die hier aufgeführten prospektiven Berechnungen zukünftige Zustände abdeckend berücksichtigt werden.

Weiter sollen Abfallgebinde, die nicht die Bedingungen zur Endlagerung erfüllen (z. B. 200-l- Fässer), vor dem Abtransport zum Endlager des Bundes in endlagerfähige Abfallgebinde überführt werden. Dazu werden die betroffenen Gebinde in der TBH in entsprechende Abfallbehälter verpackt und gegebenenfalls zementiert.

Für den Betrieb der TBH wurde eine Umgangsgenehmigung bis zu einer maximalen Gesamtaktivität von ca. $5,0 \cdot 10^{15}$ Bq beantragt [HER 16A] (Nuklidzusammensetzung siehe Tabelle 5-1).

In der TBH können bei der Grundfläche von 825 m² und einer 2-fach Stapelung ca. 700 m³ schwachradioaktive Abfälle in Fässern oder endlagerfähigen Containern und 36 Gussabschirmbehälter mit mittelradioaktiven Abfällen sowie leere Abfallbehälter gelagert werden.

Aus dem Abbau der FRG und des HL fallen radioaktive Abbauprodukte entsprechend den nachfolgend aufgeführten Materialarten an [HER 16A]:

- Normalbeton (Kacheln und Vorbeton aus dem Reaktorbecken),
- Barytbeton (aus dem Reaktorbecken und Bohrkerne der Strahlrohre),
- ferritischer Stahl (Bewehrung, Stahlliner und Behälter),
- Edelstahl,
- Aluminium,
- Be-Metallblockreflektor und
- sonstige kontaminierte Abfälle.

Das abgeschätzte Gesamtaktivitätsinventar der FRG und des HL beträgt zu Beginn des Abbaus ca. $1,5 \cdot 10^{15}$ Bq [HER 14].

Als radioaktive Betriebsabfälle sind im Wesentlichen die nachfolgend genannten Materialarten zu erwarten [HER 16A]:

- Be-Metallreflektoren
- Mischabfall (brennbar, metallisch & Aluminium) in den Betonzellen 2 bis 4,
- Präparat (Tristan PA1, umschlossen),
- Cs-137 Präparat,
- γ -Absorberschilde (4 Stück),
- Bestrahlungseinrichtungen (8 Stück) Z1 – Z8 und
- Sonstige Betriebsabfälle in Becken IV.

Das Gesamtaktivitätsinventar der radioaktiven Betriebsabfälle beträgt ca. $3,3 \cdot 10^{15}$ Bq [HER 14].

Aus dem Betrieb der FRG und des HL entstandene radioaktive Materialien und Reststoffe (Mischabfälle) sind zum Teil extern in Karlsruhe (bei der KTE) und in Jülich (JEN) konditioniert worden. Die konditionierten radioaktiven Abfälle sollen nach Abschluss der Konditionierung zurückgeholt und dann in der TBH gelagert werden, bis sie in ein Endlager des Bundes verbracht werden. Ebenso befinden sich in der Bereitstellungshalle (BSH) am Standort weitere Abfallgebinde mit Betriebsabfällen (Mischabfälle) aus dem Forschungsbetrieb der FRG und des HL. Diese sollen zukünftig ebenfalls in der TBH gelagert werden. Das Gesamtaktivitätsinventar der zurückzuholenden radioaktiven Abfälle beträgt ca. $2,4 \cdot 10^{11}$ Bq.

Die Gesamtaktivität ergibt sich aus der Summe der Aktivitätsinventare und beträgt zum Bezugsdatum ca. $5 \cdot 10^{15}$ Bq. Das erwartete Aktivitätsinventar (zum Stichtag) wird im Wesentlichen durch die Nuklide H-3, Sr-90, Co-60 und Cs-137 bestimmt. Die Aktivitätsverteilung variiert entsprechend der unterschiedlichen Abfallarten.

Die schwach- und mittelaktiven Abfälle werden in Form von Abfallbinden verpackt und in der TBH gelagert.

In Tabelle 5-1 ist das erwartete nuklidspezifische Inventar der Gamma-Strahler (Bezugsdatum 01.01.2014 bzw. 31.12.2015 für rückzuholende Abfälle gemäß Angaben des Betreibers, Aufsummierung der oben zusammengefassten Angaben)) und die geplante Aufteilung auf verschiedene Abfallbindentypen zusammengestellt.

Tabelle 5-1: Zusammengefasstes, nuklidspezifisches Aktivitätsinventar der Gamma-Strahler und vorgesehene Aufteilung auf verschiedene Abfallbindentypen gemäß Angaben des Betreibers (Bezugsdatum) und zerfallskorrigierte Aktivitäten (Stichtag 01.01.2023)

| Nuklid | Gesamtaktivitätsinventar der Abfallbindentypen in Bq | | | | | |
|---------|--|------------|-----------------------|------------|-------------|------------|
| | in Gussbehälter | | in Stahlblechbehälter | | Summe | |
| | Bezugsdatum | 01.01.2023 | Bezugsdatum | 01.01.2023 | Bezugsdatum | 01.01.2023 |
| Co-60 | 1,6E+14 | 5,0E+13 | 2,8E+10 | 9,1E+09 | 1,6E+14 | 5,0E+13 |
| Ag-108m | | | 2,1E+08 | 2,1E+08 | 2,1E+08 | 2,1E+08 |
| Cs-134 | | | 4,7E+08 | 3,5E+07 | 4,7E+08 | 3,5E+07 |
| Cs-137 | 4,2E+13 | 3,4E+13 | 3,1E+10 | 2,7E+10 | 4,2E+13 | 3,4E+13 |
| Ba-133 | | | 1,9E+10 | 1,1E+10 | 1,9E+10 | 1,1E+10 |
| Eu-152 | | | 1,0E+10 | 6,3E+09 | 1,0E+10 | 6,3E+09 |
| Eu-154 | | | 1,1E+09 | 5,2E+08 | 1,1E+09 | 5,2E+08 |

Für die Einlagerung in Gussbehältern dominieren die Nuklide Co-60 und Cs-137 den Beitrag zur Gammastrahlung. Für die Einlagerung in Stahlblechbehälter sind neben diesen zwei Nukliden noch weitere gammaaktive Nuklide zu berücksichtigen.

Abbildung 5-1 zeigt einen Grundriss der TBH mit Wandstärken und Anordnungen der Lagerbereiche.

Insgesamt sind bei jeweils 2-lagiger Stapelung 36 Stellplätze für Gussbehälter (Lagerbereich 2) und 90 Stellplätze für Stahlblechbehälter (Lagerbereich 1) vorhanden.

Für die Modellierung mit MCNP[®] werden folgende Annahmen getroffen:

- Die Stellplätze im Lagerbereich 1 werden mit Konrad KC-III und KC-IV Containern, sowie Fässern vollständig belegt.
- Die Stellplätze im Lagerbereich 2 werden mit Gussbehältern Typ II vollständig belegt.

- Das gemäß Tabelle 5-1 geplante Aktivitätsinventar¹⁰ in den jeweiligen Gebindetypen wird vollständig ausgeschöpft und befindet sich jeweils homogen verteilt in den jeweiligen Gebinden.

Die Eigenschaften der betrachteten Gebindetypen sind in Tabelle 5-2 zusammengefasst.

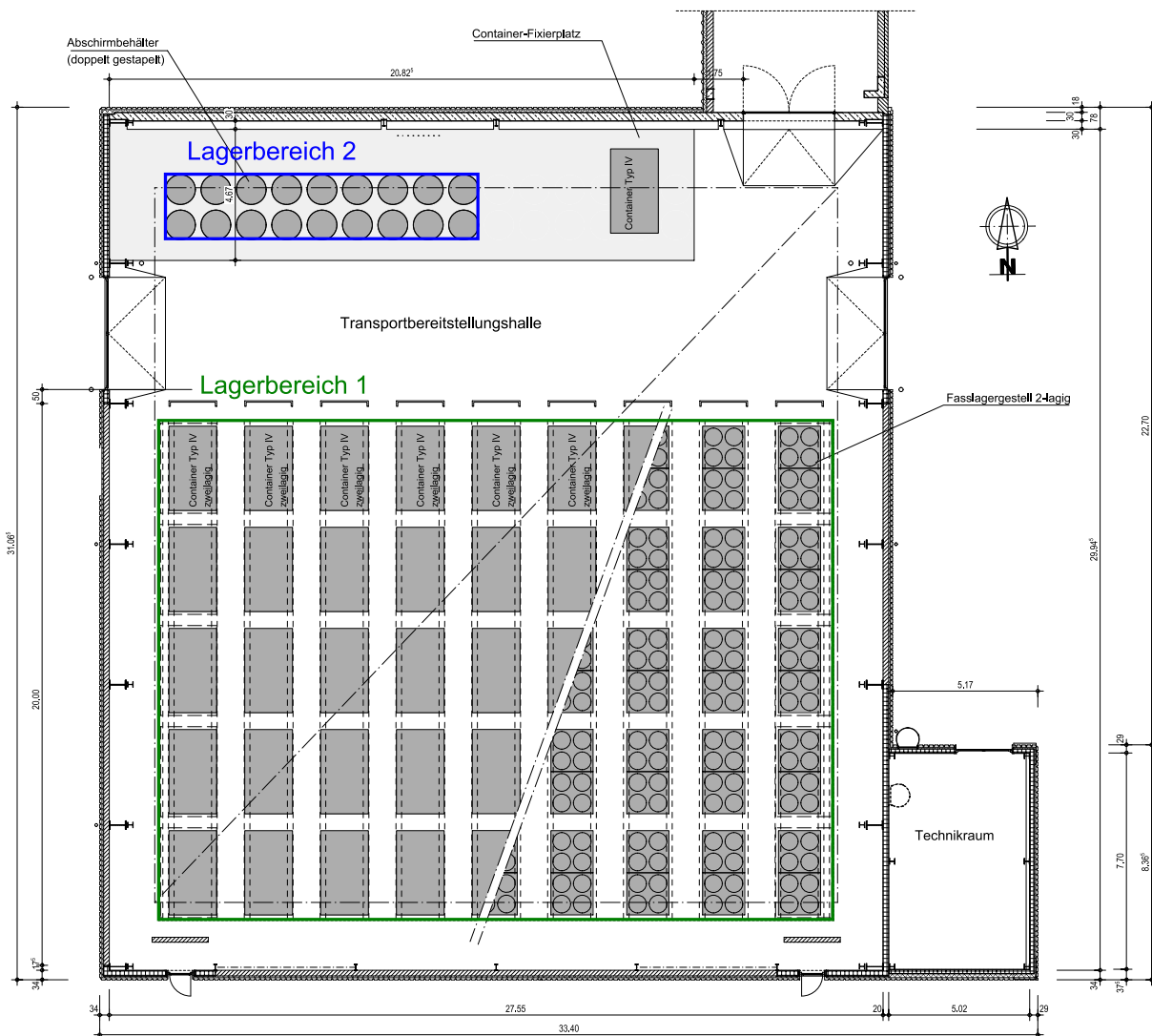


Abbildung 5-1: Grundriss der TBH mit Wandstärken und Anordnungen der Lagerbereiche (bearbeitet aus [HER 16B])

¹⁰ Das Aktivitätsinventar wird für die Modellierung der Direktstrahlung verwendet, nicht eine ODL an den Gebinden.

Tabelle 5-2: Abmessungen der Konrad-KC-IV-Container und der Gussbehälter im MCNP-Modell

| | Container | Gussbehälter |
|--------------------------------------|------------------|---------------------|
| Länge [m] | 3,00 | 1,06 (Durchmesser) |
| Breite [m] | 1,70 | |
| Höhe [m] | 1,45 | 1,50 |
| Wandstärke inklusive Abschirmung [m] | 0,003 | 0,16 |
| Dichte Wand [Mg/m ³] | 7,9 | 7,9 |
| Dichte Inhalt [Mg/m ³] | 0,24 | 2,75 |
| Dichte Luft [Mg/m ³] | 0,00123 | |

Für die Einlagerung von Fässern wird vereinfachend von der Geometrie der Konrad-KC-IV-Container ausgegangen. Zusätzliche Abschirmwirkungen der Fasswände werden nicht berücksichtigt.

Die MCNP[®]-Modellberechnungen berücksichtigen weiterhin die Gebäudestrukturen der TBH. Wanddicken wurden entsprechend Abbildung 5-1 berücksichtigt. Die Wanddicken und Materialzusammensetzungen sowie zusätzlich berücksichtigte Abschirmungen sind in Tabelle 5-3 aufgeführt.

Tabelle 5-3: Wanddicken, Wandmaterial und zusätzliche Abschirmungen

| | Wanddicke [m] | Material | Zusatzabschirmung Stahlbeton [m] |
|----------|----------------------|-----------------|---|
| Südwand | 0,2 | Porenbeton | 0,15 |
| Westwand | 0,2 | Porenbeton | 0,40 / 0,15 (siehe Abbildung 5-2) |
| Nordwand | 0,3 | Stahlbeton | 0,15 |
| Ostwand | 0,2 | Porenbeton | 0,15 |

Die nördlich der TBH befindlichen Gebäude innerhalb des Strahlenschutzbereichs werden durch deren südliche Außenwand im Modell mit berücksichtigt, ebenso der Durchgang von der TBH zu den weiteren Gebäuden. Ggf. stattfindende Photonenstreuung an diesen Wänden werden daher in den Ergebnissen berücksichtigt.

Die Tore der TBH (nach Osten und Westen jeweils zwischen Lagerbereich 1 und Lagerbereich 2) werden durch eine 0,005 m dicke Schicht berücksichtigt. Im Betriebsreglement der TBH wird geregelt, dass die Tore nur zum Ein- bzw. Ausschleusen kurzzeitig geöffnet werden¹¹. Es wird vereinfachend von geschlossenen Toren im Modell ausgegangen. Die damit ggf. sich ergebende Unterschätzung der ODL (insbesondere im Bereich der Tore außerhalb der TBH) ist sehr gering.

In Abbildung 5-2 ist die x-y-Ebene des verwendeten MCNP[®]-Modells dargestellt.

¹¹ entsprechend betrieblicher Anweisungen, es wird insbesondere auch eine Einbruchmeldeanlage zur Erkennung von nicht genehmigten Öffnungen betrieben und außerhalb der Zeiten einer Vor-Ort-Tätigkeit scharfgeschaltet

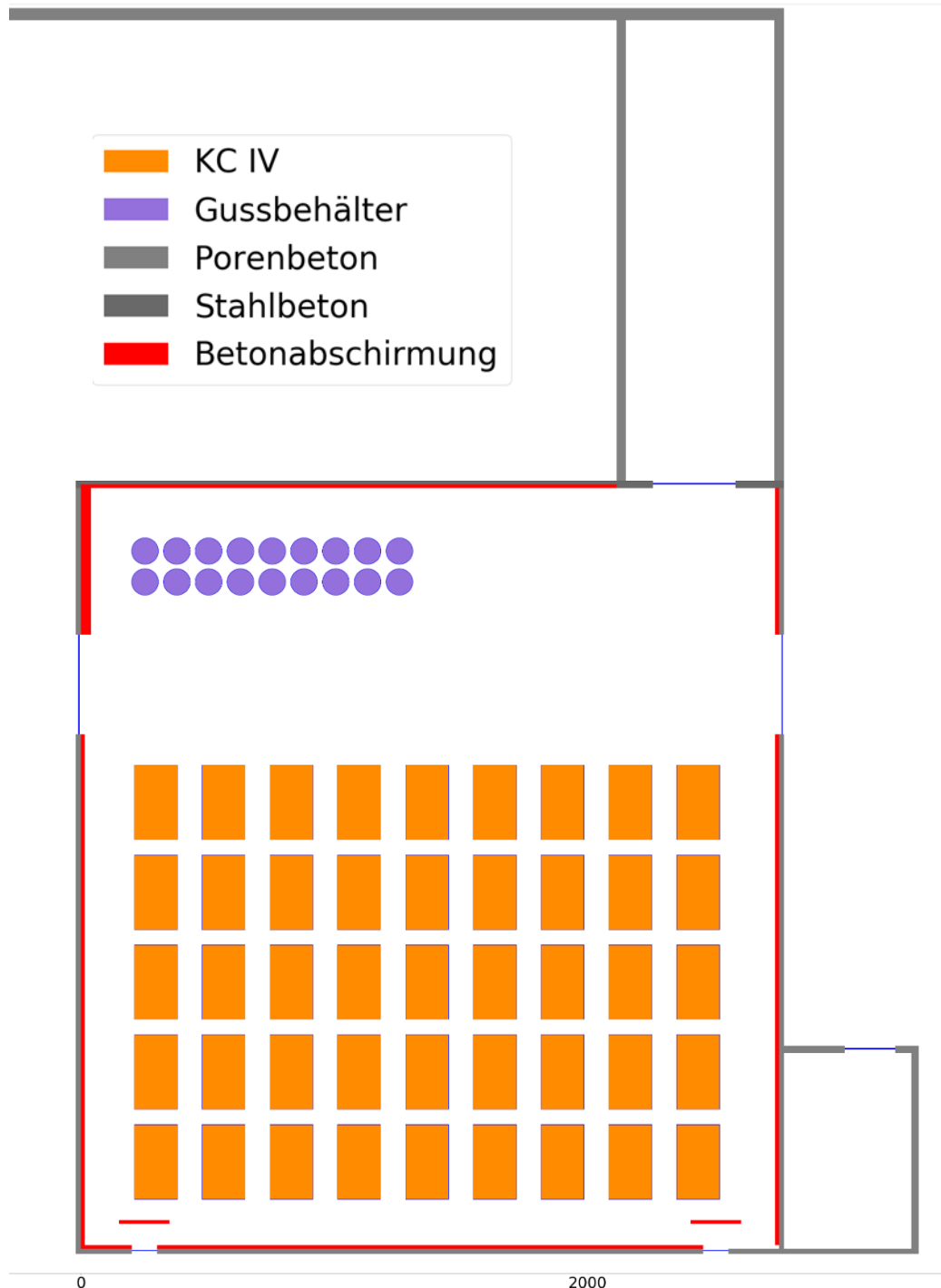


Abbildung 5-2: Skizze des verwendeten MCNP®-Modells (x-y-Ebene)

Die Gesamtausdehnung des Modellgebiets beträgt 300 m in x-Richtung und 200 m in y-Richtung. Vertikal beträgt die Modellausdehnung 15 m. Das Gelände wird mit Hilfe der Daten aus [LVG 16] modelliert. Die für die bodennahe Schicht (0 m bis 2 m) ermittelten Ergebnisse sind damit abde-

ckend für den Aufenthalt im Freien. Andere Höhenbereiche (Aufenthalt in höheren Stockwerken von Gebäuden) müssen separat betrachtet werden. Hierzu werden die Ebene der Quellen sowie eine Ebene mit einer Höhe von 10 m über dem Boden zusätzlich ausgewertet. Die jeweils höchste resultierende ODL (Boden, Quellschicht oder Boden + 10 m) wird als Ergebnis für den Aufenthalt in Gebäuden innerhalb des Hereon-Geländes herangezogen. Für den Aufenthalt in Gebäuden außerhalb des Zauns werden nur die Ergebnisse der bodennahen ODL und der ODL in 10 m Höhe herangezogen. Die Ebene in Quellschicht befindet sich dort ca. 30 m über Grund. Entsprechend hohe Gebäude sind dort nicht vorhanden und auch zukünftig nicht zu unterstellen.

Die Berechnungen erfolgten unter Verwendung von $8 \cdot 10^{10}$ Modellpartikeln.

Als Ergebnis liegt primär die räumliche Verteilung der Ortsdosisleistung pro emittiertem Photon vor. Bei Verwendung der Dosisfaktoren gemäß Tabelle 8-5 entspricht dies einer Rotations-Geometrie für die betroffene Referenzperson. Aus der Ortsdosisleistung pro emittiertem Photon wird mit Hilfe der sich aus den Quelltermen ergebenden Photonenemissionsrate eine Ortsdosisleistung bestimmt.

Abbildung 5-3 zeigt die mit MCNP[®] berechnete bodennahe räumliche Verteilung der Ortsdosisleistung (ODL). Als Auswertehöhe wurde dabei der Bereich 0 m bis 2 m über dem Erdboden gewählt.

Abbildung 5-4 zeigt die mit MCNP[®] berechnete räumliche Verteilung der ODL in 10 m Höhe über Grund. Im Bereich des Gebäudes 1 ist dieser Wert höher als der in Quellschicht berechnete Wert. Für bestehende und zukünftig mögliche Gebäude am Zaun des Hereon-Geländes kann von einer Maximalhöhe von 10 m über Grund ausgegangen werden, so dass die entsprechenden Berechnungsergebnisse der ODL in 10 m Höhe über Grund dort bewertet werden.

ODL-Werte südlich der TBH werden dabei zu annähernd gleichen Anteilen durch die Aktivitäten in den Gussbehältern und die Aktivitäten in den Containern verursacht.

Aus der räumlichen Verteilung wurden folgende Einzelergebnisse der Ortsdosisleistung (ODL) extrahiert:

- Maximum der ODL an der Grenze des Überwachungsbereichs in Bodennähe: 0,0006 mSv/h bzw. 0,6 μ Sv/h (südwestlich der TBH),
- ODL am Nordrand des Gebäudes 1 (in 10 m Höhe): 0,00035 mSv/h bzw. 0,35 μ Sv/h,
- ODL als Mittelwert über den Bereich des Gebäudes 1 (in Bodennähe): 0,00004 mSv/h bzw. 0,04 μ Sv/h und
- Maximum am Zaun des Hereon-Geländes (südlich der TBH)¹²
 - in Bodennähe: 0,000013 mSv/h bzw. 0,013 μ Sv/h
 - in 10 m Höhe: 0,000016 mSv/h bzw. 0,016 μ Sv/h.

Diese Werte der ODL werden zur Berechnung der Personendosis durch Beiträge der geplanten Tätigkeiten in der TBH verwendet.

¹² Für Berücksichtigung der Wohnbebauung in diesem Bereich wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass sich diese unmittelbar am Zaun befinden könnte. Die entsprechende Entfernung zur TBH ist in Abbildung 3-1 angegeben.

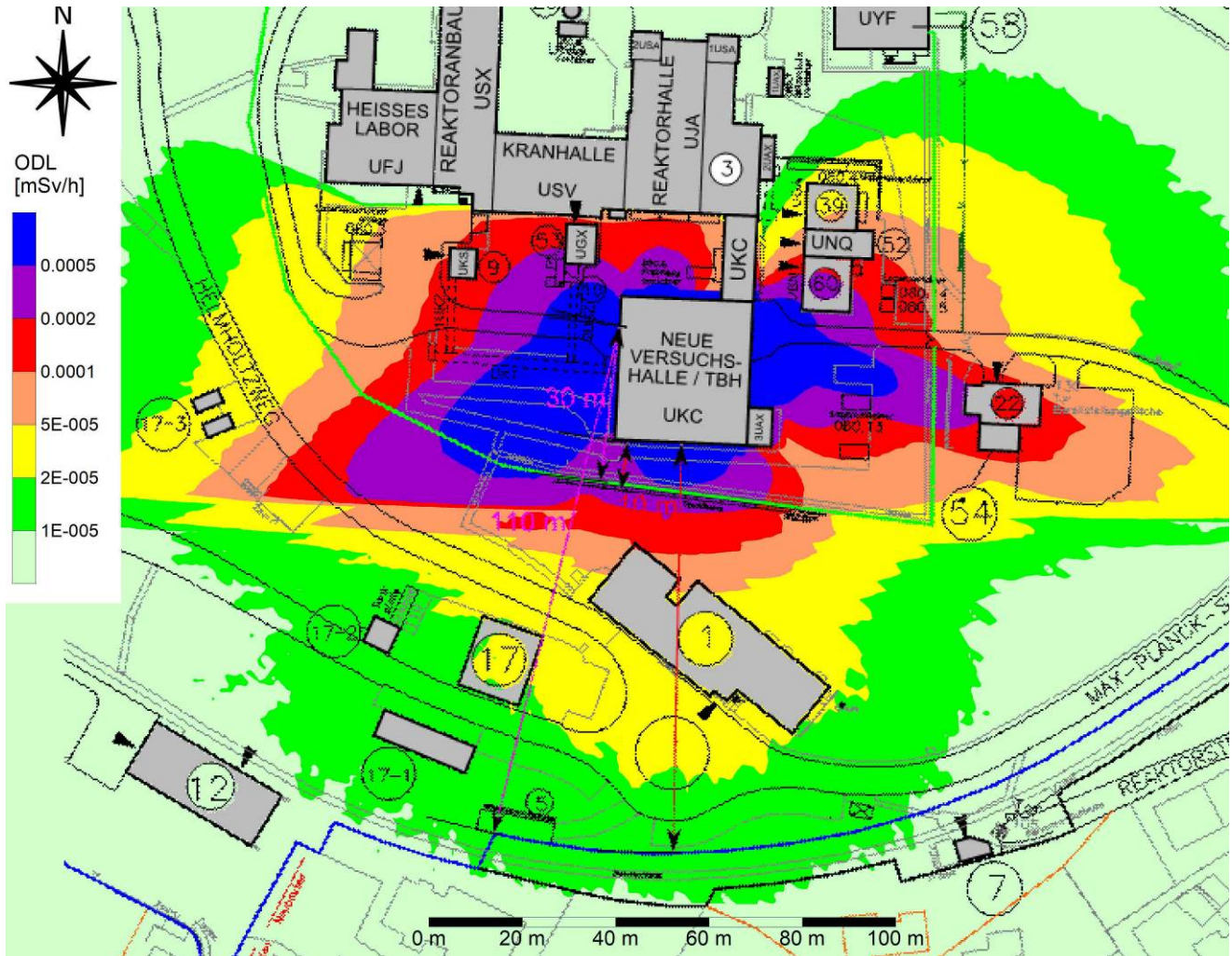


Abbildung 5-3: Mit MCNP[®] berechnete bodennahe räumliche Verteilung der Ortsdosisleistung

Anmerkung:

Die berechnete ODL in der unmittelbaren Umgebung der Gussbehälter (im Lagerbereich 1 an den Gussbehältern¹³) beträgt ca. 1 mSv/h und liegt damit unterhalb des Werts für eine erforderliche Einrichtung von Sperrbereichen (3 mSv/h). Im Bereich zwischen Lagerbereich 1 und Lagerbereich 2 liegt die berechnete ODL zwischen 0,1 mSv/h und 1 mSv/h. Werte oberhalb 0,003 mSv/h werden praktisch nur in der TBH (sowie ggf. unmittelbar an den Außenwänden) und im Bereich des westlichen Hallentores außerhalb der TBH berechnet (siehe jeweils Abbildung 5-5). Zur Eingrenzung des vorgesehenen Kontrollbereichs innerhalb der TBH können ggf. noch weitere Abschirmungen verwendet werden.

¹³ berechnete Exposition aus der angenommenen Lagerbelegung in der TBH, nicht Kontaktdosis eines Gussbehälters

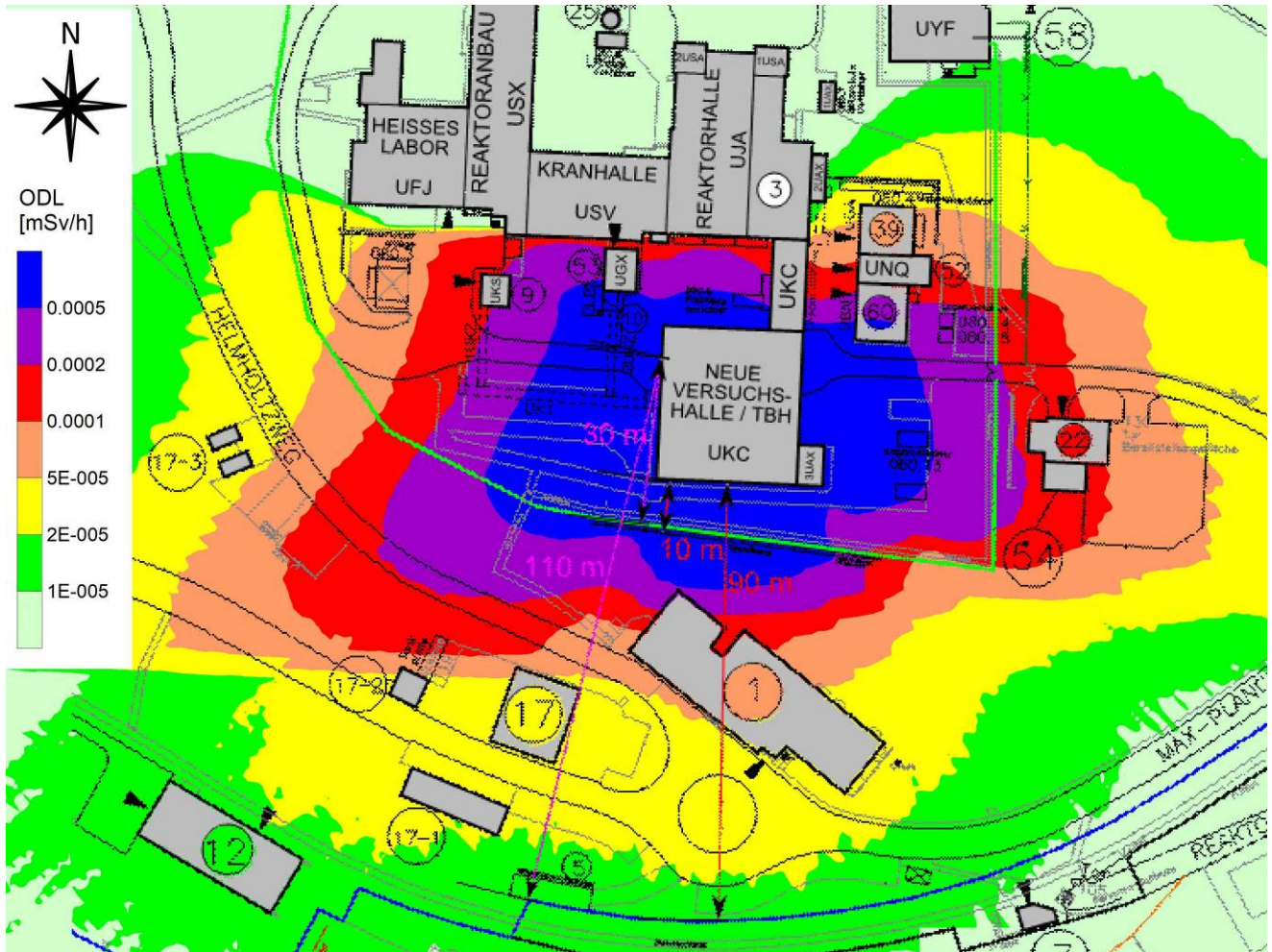


Abbildung 5-4: Mit MCNP® berechnete räumliche Verteilung der Ortsdosisleistung 10 m über Grund

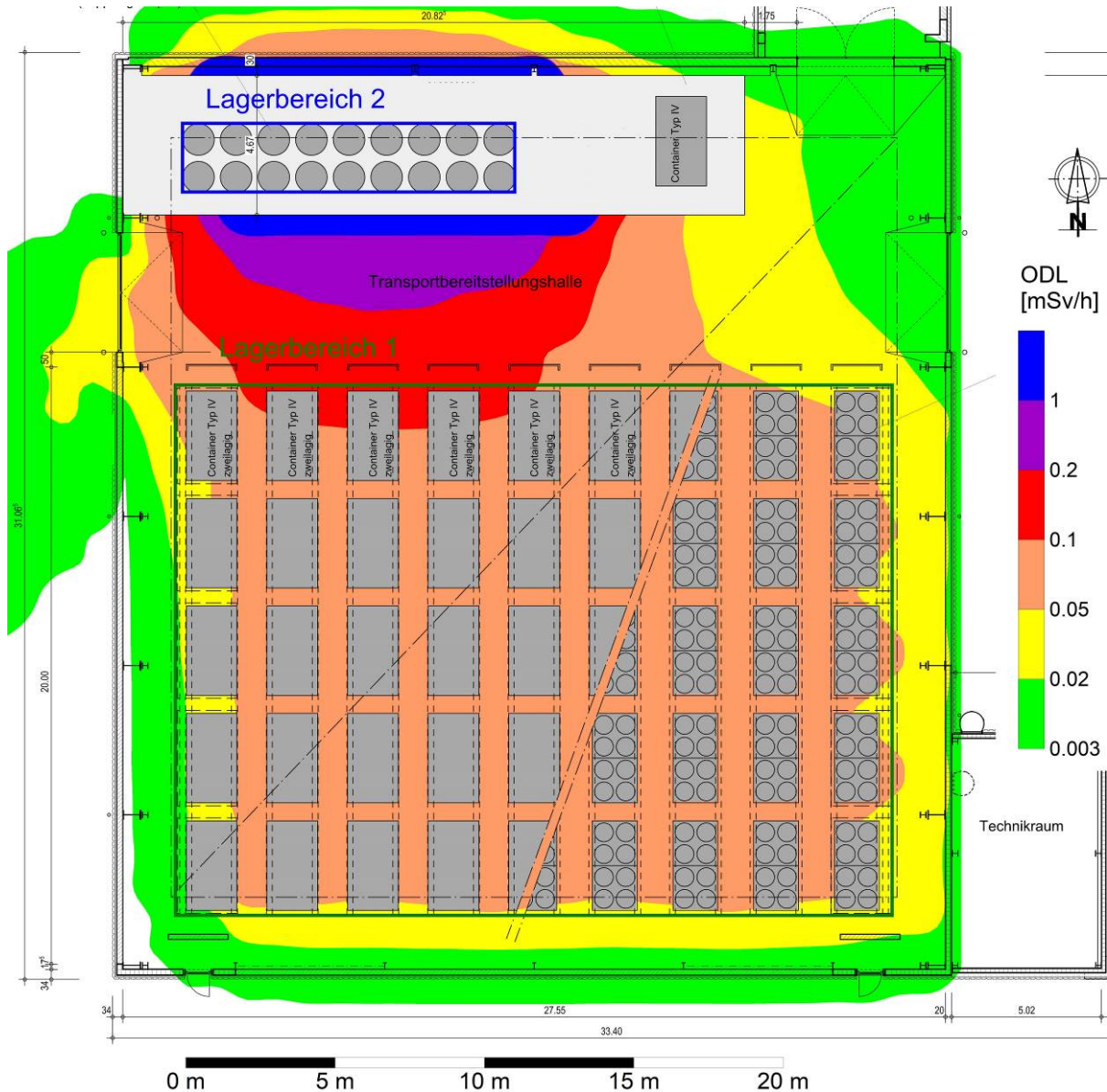


Abbildung 5-5: Mit MCNP® berechnete bodennahe räumliche Verteilung der Ortsdosisleistung innerhalb der TBH

Die Einhaltung bzw. Unterschreitung der in diesem Abschnitt berechneten ODL, die maßgeblich zur Bewertung herangezogen wurden, wird bei Einlagerungen in die TBH durch ODL-Messungen überprüft.

5.3 Zerlegehalle

Der Reaktordruckbehälter des Nuklearschiffes „Otto-Hahn“ (RDB-OH) befindet sich im RDB-Schacht auf dem Hereon-Gelände neben der vorhandenen Halle zur Komponenten-

Nachuntersuchung HAKONA (Gebäude 44). Das Gebäude 44 beinhaltet außerdem die Bereitstellungshalle mit radioaktiven Abfällen.

Der vorhandene wasserdichte runde Stahlbetonschacht mit einem Innendurchmesser von 8,5 m ist ca. 15,2 m tief. Die Wände sind 0,6 m stark. Der Schacht wurde mit einer demontierbaren Abdeckung aus einzelnen Stahlbetonfertigteilen abgedeckt. Der RDB-OH ist in dem Schacht trocken gelagert [HER 18].

Für die zur Zerlegung des RDB-OH und Verpackung der dabei anfallenden Teile notwendigen Schritte ist der Neubau einer Zerlegehalle über dem vorhandenen Schacht mit dem RDB-OH geplant. Die geplante Zerlegehalle beinhaltet einen Kontrollbereich, in dem die Zerlegung des RDB und Verpackung der Bestandteile durchgeführt werden soll. Die Zerlegehalle ist dabei ein wesentlicher Bestandteil des Vorhabens, um die Schutzziele „Einschluss radioaktiver Stoffe“ und „Reduzierung der Dosisbelastung“ zu erfüllen.

Im Zerlegebetrieb erfolgt die Zerlegung der RDB-OH im Schacht mit anschließenden Möglichkeiten zur Dekontamination und weiteren Zerlegung in entsprechenden vorgesehenen Bereichen der Demontagehalle. Anschließend erfolgt die Verpackung und der Abtransport durch die Schleuse zur externen Behandlung und Bearbeitung oder auch zur FRG / HL zur Umverpackung bzw. zur Zwischenlagerung in der HAKONA-Halle.

Abbildung 5-6 zeigt einen Plan der geplanten Zerlegehalle.

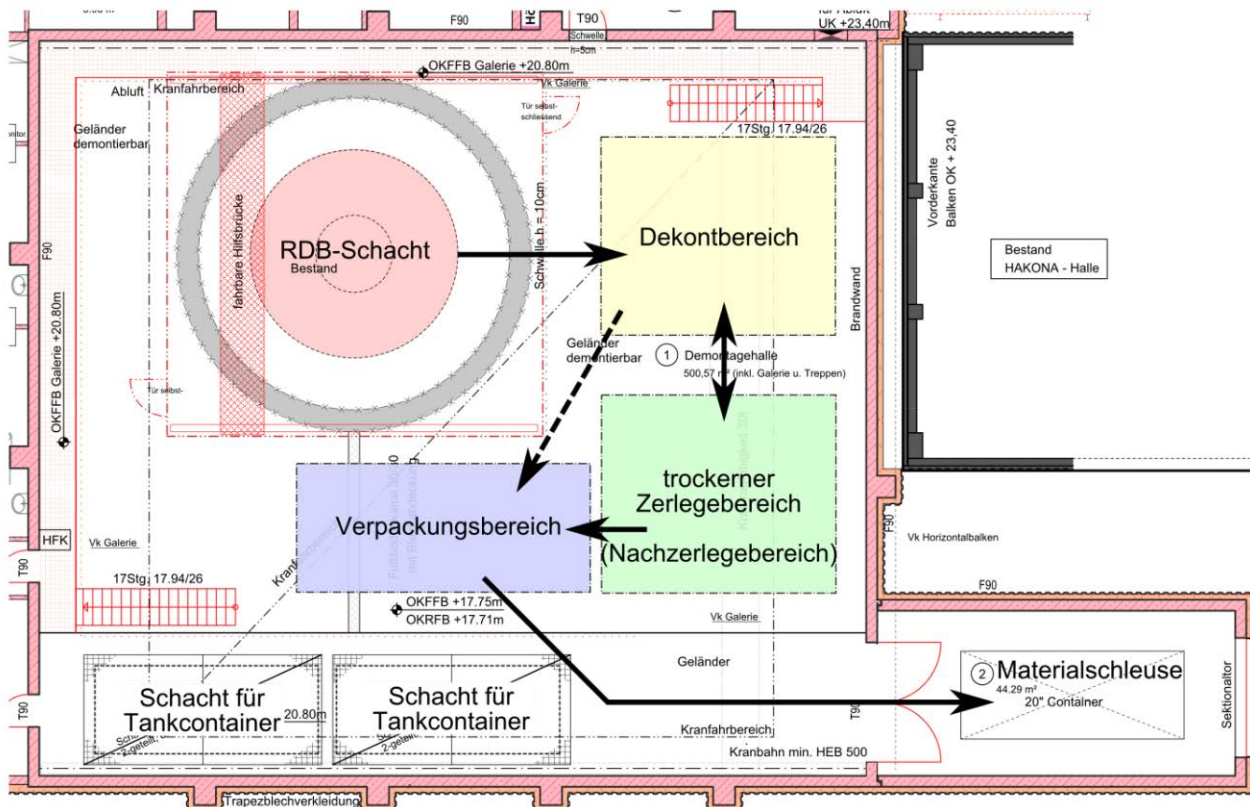


Abbildung 5-6: Plan der geplanten Zerlegehalle [HER 18]

Die Wände der Zerlegehalle sollen eine Dicke von 0,3 m aufweisen und aus Stahlbeton bestehen.

Bei den in der Zerlegehalle vorgesehenen Tätigkeiten sind entsprechend [HER 18] folgende Expositionsszenarien zu berücksichtigen:

- Handhabung der RDB-Einbauten in einer Abschirmglocke und Verladung in einen Mosaikbehälter,
- Handhabung und Abtransport des Dampferzeugers (ohne Abschirmung) und
- Exposition durch die Aktivität des RDB-OH während des Zerlegebetriebs bei abgebrochenem Schachtkopf.

In Tabelle 5-4 ist die nuklidspezifische Aktivität des RDB-OH entsprechend des in [HER 18] dokumentierten Standes zusammengestellt. Die Ermittlung des Aktivitätsinventars wurde zwischenzeitlich angepasst, Aktivitäten wurden dabei geringer ermittelt. Die Verwendung der Werte aus [HER 18] ist damit konservativ. Fett markierte Zellen fokussieren dabei das relevante Nuklidinventar mit signifikanten Beiträgen zur Gammastrahlung (Zn-65 auf Grund der geringen Aktivität nicht relevant).

Tabelle 5-4: Nuklidspezifisches Aktivitätsinventar des RDB-OH [HER 18]

| Nuklid | Komponente | | | | | Summe |
|---------------|------------------|-----------------------------|------------------|------------------|-------------------------|----------------|
| | Unterer Tragrost | Kernmantel und Distanzringe | Wasserleitbleche | Obere Tragplatte | Stützzylinder Bereich 1 | |
| H-3 | 1,1E+10 | 9,2E+08 | 5,6E+08 | 1,2E+09 | 2,4E+08 | 1,4E+10 |
| C-14 | 7,4E+11 | 1,3E+11 | 3,7E+10 | 7,0E+10 | 3,0E+10 | 1,0E+12 |
| Fe-55 | 9,4E+11 | 1,6E+11 | 4,9E+10 | 9,4E+10 | 3,8E+10 | 1,3E+12 |
| Co-60 | 2,4E+13 | 4,6E+12 | 1,3E+12 | 2,6E+12 | 1,1E+12 | 3,4E+13 |
| Ni-59 | 3,5E+12 | 7,2E+11 | 2,0E+11 | 4,1E+11 | 1,8E+11 | 5,0E+12 |
| Ni-63 | 3,7E+14 | 6,7E+13 | 2,0E+13 | 3,9E+13 | 1,6E+13 | 5,1E+14 |
| Zn-65 | 1,4E+06 | 1,3E+05 | 7,4E+04 | 1,6E+05 | 3,8E+04 | 1,8E+06 |
| Nb-93m | 1,4E+12 | 1,1E+11 | 7,6E+10 | 1,8E+11 | 3,3E+10 | 1,8E+12 |
| Nb-94 | 5,2E+11 | 8,1E+10 | 2,8E+10 | 5,8E+10 | 2,0E+10 | 7,1E+11 |

Das Aktivitätsinventar des Dampferzeugers wird in [HER 18] folgendermaßen angegeben:

Cs-137: $9,3 \cdot 10^{10}$ Bq und
Co-60: $1,7 \cdot 10^{10}$ Bq.

Für die Berechnungen mit MCNP[®] wird die Zerlegehalle durch die Außenwände mit der angegebenen Wanddicke und Zusammensetzung modelliert. Der RDB-Schacht wird für die Dauer der Zerlegearbeiten ohne Deckel berücksichtigt, jedoch als mit Wasser geflutet angenommen. Für die Aktivität der kernnahen Einbauten in der Abschirmglocke bzw. im Mosaikbehälter wird eine Abschirmwandung der Glocke bzw. des Behälters aus Stahl mit einer Dicke von 0,16 m angenommen.

Abbildung 5-7 zeigt eine 3-dimensionale Darstellung der Umsetzung der Geometrien im MCNP®-Modell. Außerhalb der Zerlegehalle wird die Geländestruktur mit berücksichtigt (siehe Abbildung 5-8).

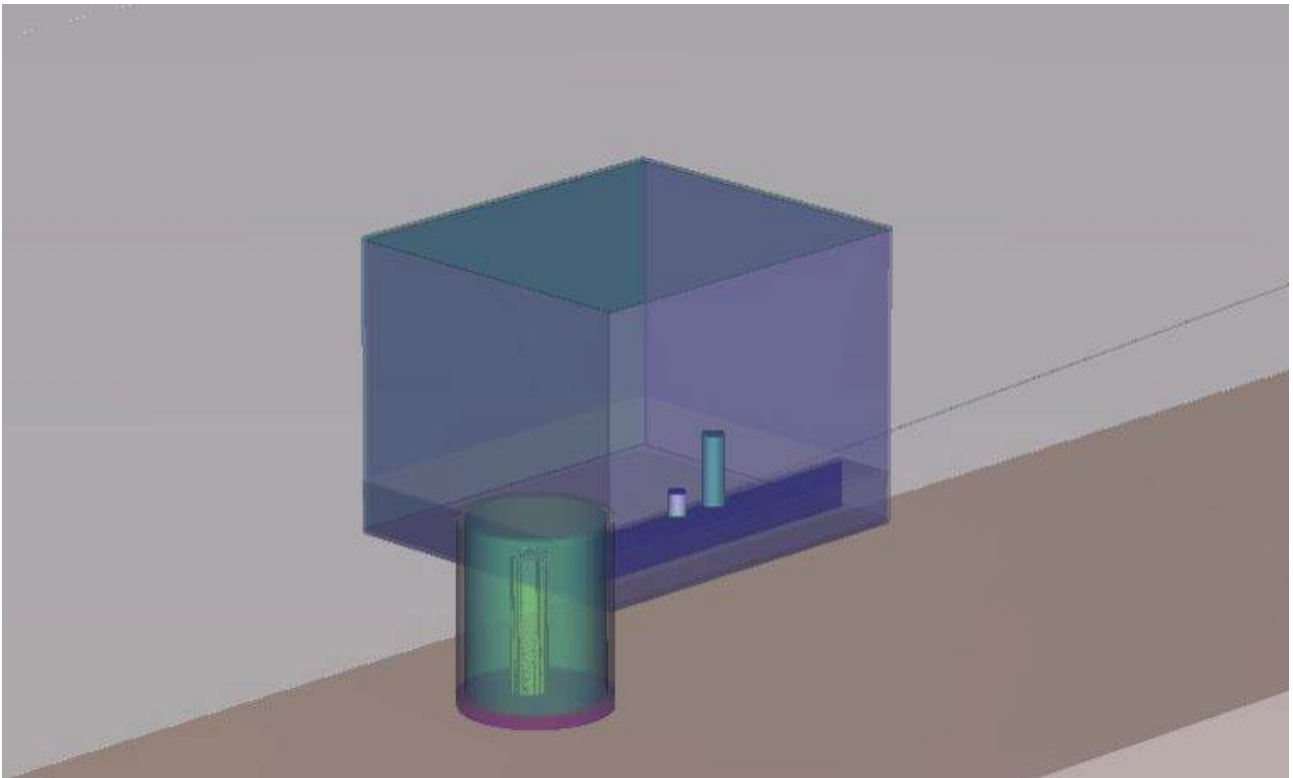


Abbildung 5-7: 3-dimensionale Darstellung des MCNP®-Modells für RDB-Schacht, Dampferzeuger und Mosaikbehälter in der Zerlegehalle

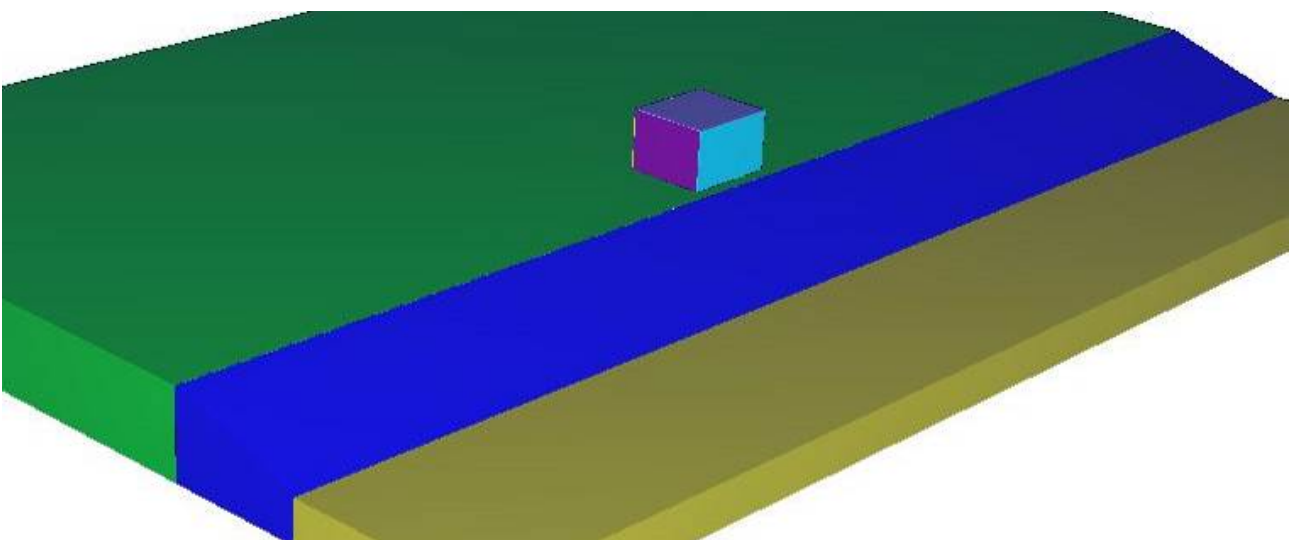


Abbildung 5-8: 3-dimensionale Darstellung des MCNP®-Modells außerhalb der Zerlegehalle



Als Ergebnis der Modellberechnungen liegt primär die räumliche Verteilung der Ortsdosisleistung pro emittiertem Photon vor. Bei Verwendung der Dosisfaktoren gemäß Tabelle 8-5 entspricht dies einer Rotations-Geometrie für die betroffene Referenzperson. Für die hier betrachteten Situationen ist eine rotatorische Geometrie (Aufreffen der Photonen auf die betreffende Referenzperson aus allen horizontalen Richtungen gleichwahrscheinlich) realistischer. Aus der Ortsdosisleistung pro emittiertem Photon wird mit Hilfe der sich aus den Quelltermen ergebenden Photonenemissionsrate eine Ortsdosisleistung bestimmt.

In Abbildung 5-9, Abbildung 5-10 und Abbildung 5-11 sind die mit MCNP[®] berechneten bodennahen räumliche Verteilungen der Ortsdosisleistung (ODL) dargestellt. Als Auswertehöhe wurde dabei der Bereich 0 m bis 2 m über dem Erdboden gewählt. Der Geländeverlauf ist mit berücksichtigt. Die ODL-Werte sind demnach für den Aufenthalt im Freien (bodennah) heranzuziehen. Aufenthalte in (mehrstöckigen) Gebäuden sind für den Bereich nicht relevant.

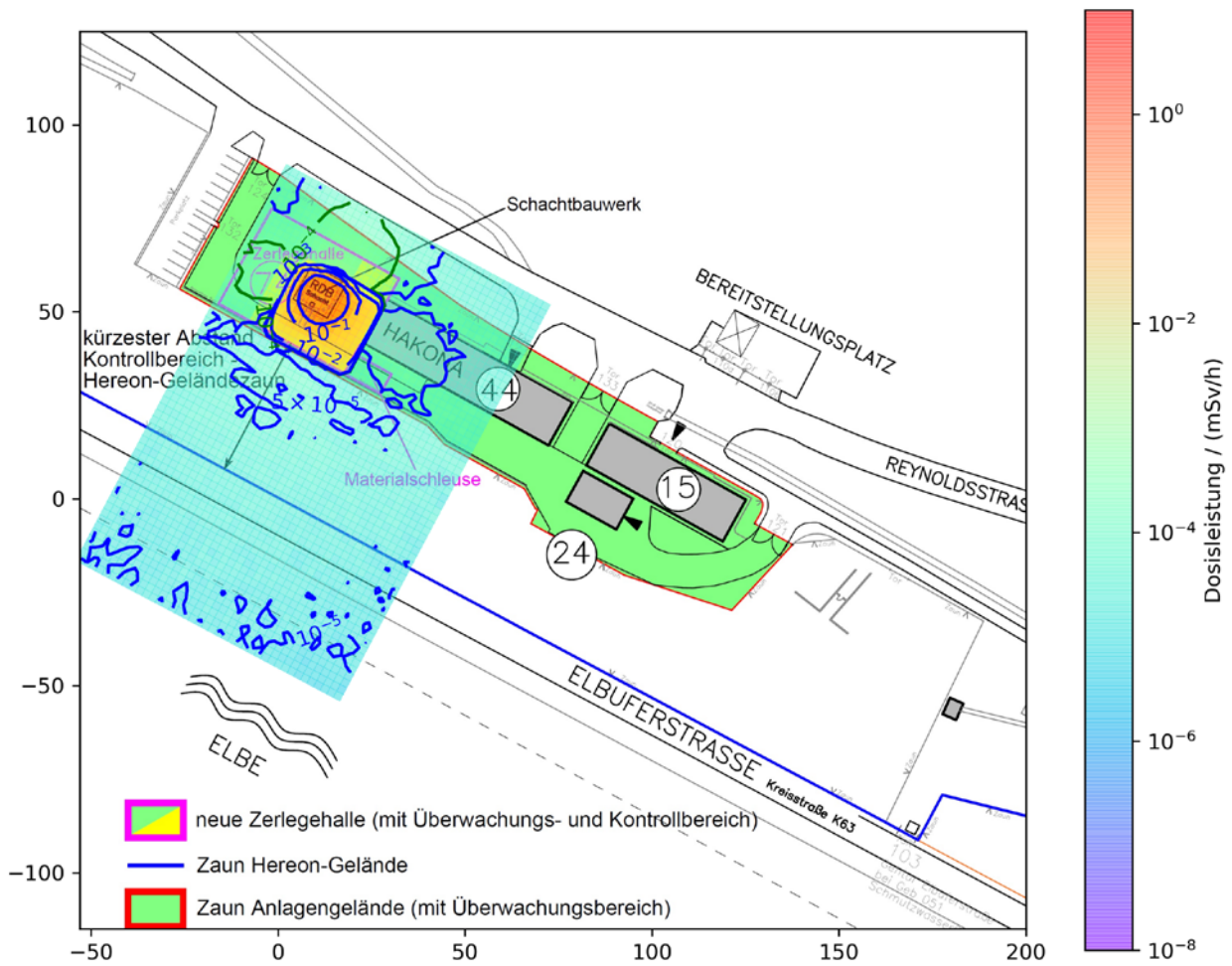


Abbildung 5-9: Mit MCNP[®] berechnete bodennahe räumliche Verteilung der Ortsdosisleistung durch die Aktivität im Schacht

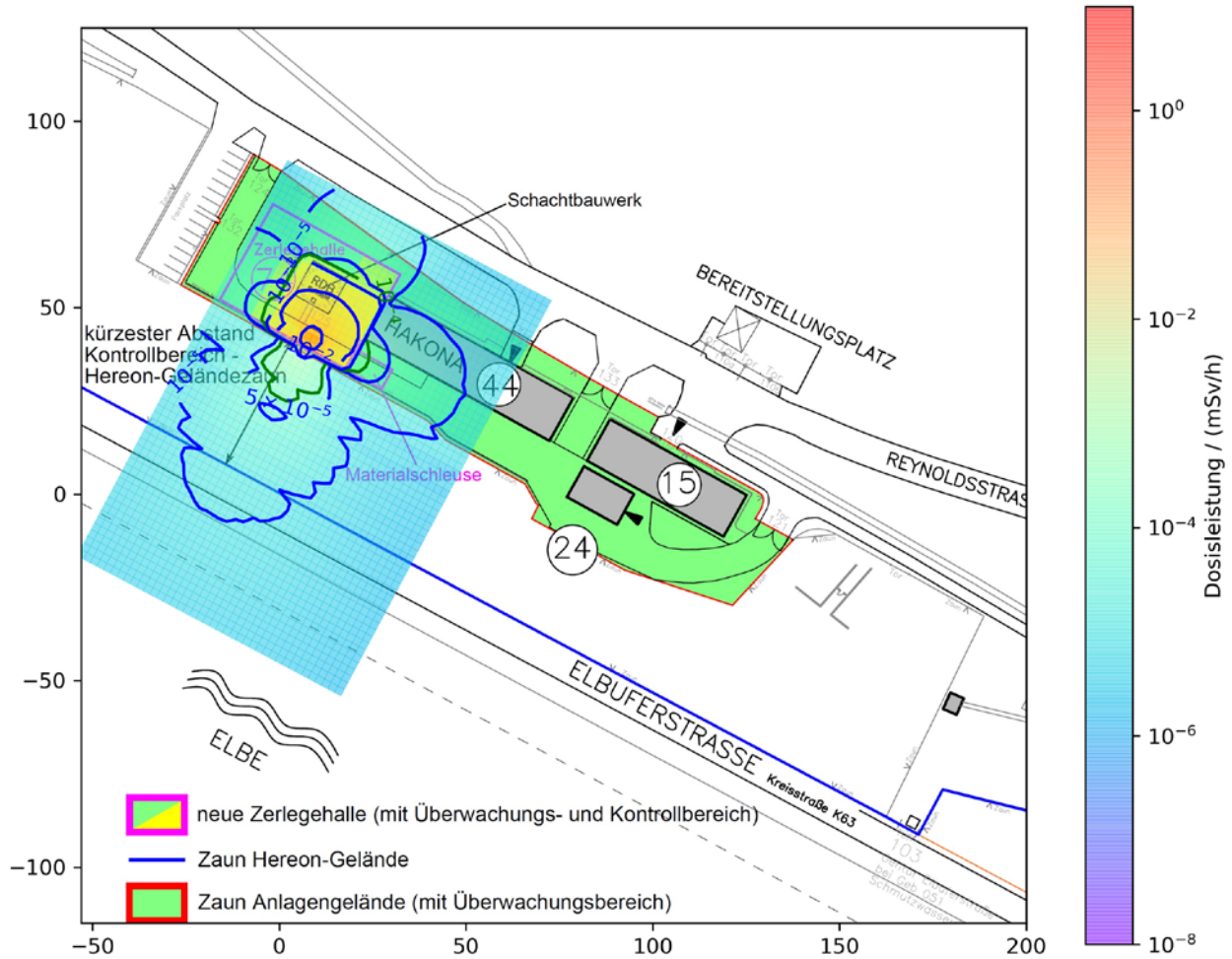


Abbildung 5-10: Mit MCNP[®] berechnete bodennahe räumliche Verteilung der Ortsdosisleistung durch die Aktivität des Dampferzeugers

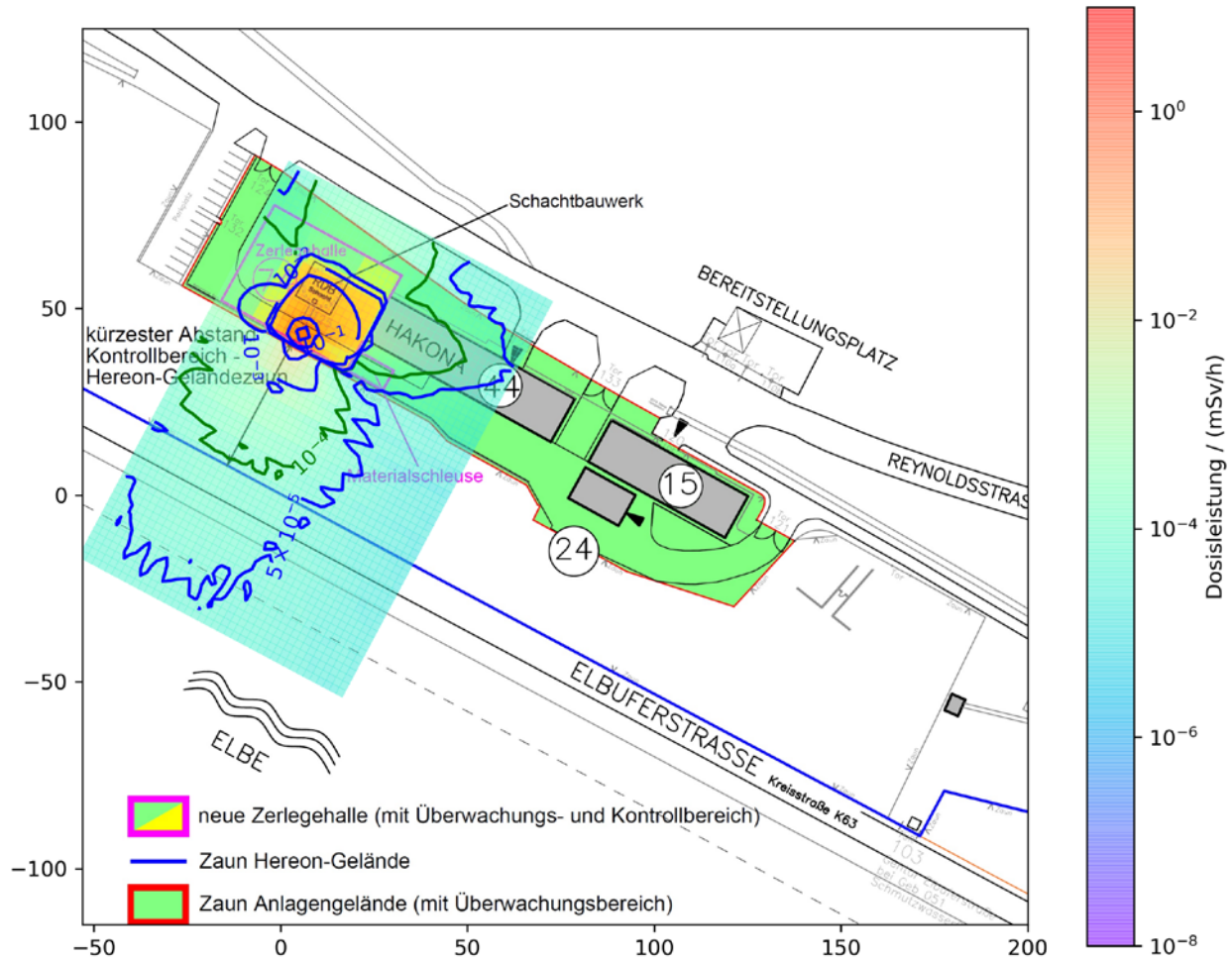


Abbildung 5-11: Mit MCNP[®] berechnete bodennahe räumliche Verteilung der Ortsdosisleistung durch die Aktivität des beladenen Mosaikbehälters bzw. der Aktivität unter der Abschirmglocke

In Tabelle 5-5 sind die berechneten Ortsdosisleistungen (ODL) der jeweiligen Beiträge an der Grenze des Überwachungsbereichs (ÜB) sowie am Zaun des Hereon-Geländes zusammengestellt.

Tabelle 5-5: Berechnete Ortsdosisleistung (ODL) Zerlegehalle

| Beiträge | ODL Grenze ÜB [mSv/h] | ODL Zaun Hereon [mSv/h] |
|--|-----------------------|-------------------------|
| Schacht | 9,5E-05 | 3,4E-05 |
| Dampferzeuger | 5,3E-04 | 1,4E-05 |
| MOSAIK [®] -Behälter / Glocke | 8,8E-03 | 9,8E-05 |

Die berechneten Werte der ODL werden für die Ermittlung der Personendosis durch Beiträge der geplanten Tätigkeiten im Bereich der geplanten Zerlegehalle herangezogen.

5.4 Zusätzliche Einlagerungen in die HAKONA/BSH

Für die HAKONA/BSH ist zusätzlich zur bereits bestehenden Einlagerung von radioaktiven Abfällen die Einlagerung der konditionierten Abfälle aus der Zerlegung des Reaktordruckbehälters mit Schildtank des Nuklearschiffs Otto Hahn (RDB-OH) und die Einlagerung von konditionierten Abfällen, die aus der KTE und JEN zurückgeführt werden, zu berücksichtigen.

Die aus der Zerlegung des Reaktordruckbehälters stammenden Abfälle werden in Konrad-Containern (KC II) mit Abschirmungen gelagert. Diese werden zweilagig in der HAKONA/BSH gestapelt. Die Fässer werden dreilagig auf den vorgesehenen Plätzen gestapelt

In Abbildung 5-12 ist die bestehende (links) und geplante Belegung (rechts) der HAKONA/BSH dargestellt.

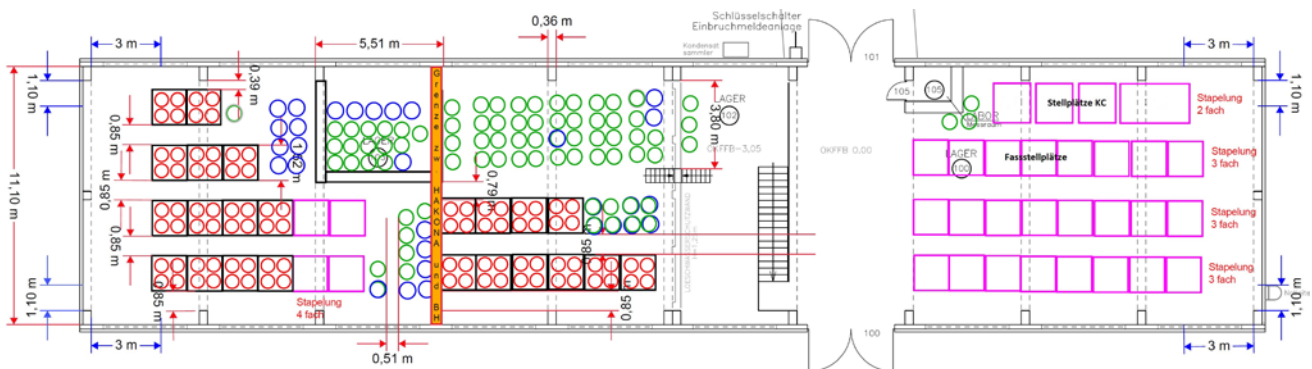


Abbildung 5-12: Bestehende und geplante Belegung der HAKONA/BSH

Die Lage der HAKONA/BSH (Geb. 44) auf dem Hereon-Gelände ist in Abbildung 3-2 (Abschnitt 3.1) dargestellt.

Die konditionierten Abfälle, die aus der Lagerung bei der KTE und der JEN zurückgeführt werden, befinden sich überwiegend in 200-L-Fässern. Das Aktivitätsinventar (zerfallskorrigiert zum 31.12.2022) und die Bruttomasse wurde vom Auftraggeber übermittelt. In Summe beträgt die Aktivität der gammastrahlungsrelevanten Nuklide¹⁴:

| | |
|----------------|--------------------|
| Ag-108m: | 2,8E+07 Bq, |
| Co-60: | 1,0E+09 Bq, |
| Cs-137: | 8,5E+09 Bq, |
| Eu-152: | 9,5E+07 Bq und |
| Eu-154: | 2,4E+07 Bq. |

Die Gesamt-Bruttomasse summiert sich zu 227 Mg.

¹⁴ Maßgebliche Nuklide sind fett markiert

Die Fässer werden zum großen Teil im rechten Bereich der HAKONA/BSH gelagert werden (Abbildung 5-12 Fassstellplätze), ein Teil wird auch im linken Bereich zu den schon vorhandenen Fässern hinzustellen.

Für die Modellierung wurde konservativ¹⁵ die Gesamtaktivität und Masse homogen auf die 3 Reihen für Fassstellplätze im rechten Teil der HAKONA/BSH verteilt. Es wurde eine 3-fach-Stapelung berücksichtigt. Jede der drei Fassreihen wird außen mit einer Stahlabschirmung (Fasswände) einer Dicke von 0,003 m (Stahl) umgeben.

Die Einlagerung der Abfälle aus der Zerlegung RDB-OH wird in Containern des Typs KC-II mit Innenabschirmung erfolgen. Für diese Container wird einheitlich eine äußere Abschirmung durch die Containerwand aus Stahl mit einer Dicke von 0,005 m angenommen.

Gemäß Verpackungsplanung sollen 85 % der gammastrahlungsrelevanten Aktivität in einem Container mit der Hersteller-Bezeichnung ws-BT80-3.5/ST120 eingelagert werden. Dieser Container weist eine Innenabschirmung aus Stahl mit einer Dicke von 0,12 m und eine zusätzliche Innenabschirmung aus Schwerbeton (Dichte 3,5 Mg/m³) mit einer Dicke von 0,08 m auf. Die vorgesehene Inventarmasse beträgt 4,039 Mg.

Die restliche Aktivität wird in sechs Container mit der Hersteller-Bezeichnung ws-BT200-3.5 eingelagert. Diese weisen eine Innenabschirmung aus Schwerbeton (Dichte 3,5 Mg/m³) mit einer Dicke von 0,2 m auf. Die vorgesehenen Inventarmassen betragen im Mittel 3,875 Mg.

Die Gesamtaktivität gammastrahlungsrelevanter Nuklide (Aktivierung und Kontamination) der Abfälle aus der Zerlegung RDB-OH wird aus [HER 22] (Stichtag 01.01.2025) folgendermaßen übernommen:

| | |
|---------|--|
| Co-60: | 1,4E+12 Bq (davon 1,8E+09 aus Kontamination) und |
| Cs-137: | 6,7E+09 (Kontamination). |

Weitere gammastrahlungsrelevante Nuklide liegen nicht in signifikanten Beiträgen vor.

Für die Berechnungen wurden die angegebenen Aktivitäten auf den Stichtag 31.12.2022 korrigiert.

Die Aktivität wird zu 85 % im Container mit der Bezeichnung ws-BT80-3.5/ST120 angenommen. Dieser Container wird am rechten Stellplatz KC platziert. Die restlichen 15 % werden gleichmäßig auf die sechs weiteren KC-II verteilt. Diese sechs Container werden als zweilagig gestapelt (siehe Abbildung 5-12) auf dem Stellplatz KC platziert. Es handelt sich bei der angenommenen Platzierung um Modellannahmen, die eine mögliche Belegung konservativ abschätzen.

Die Außenwände der HAKONA/BSH werden mit einer Dicke von 0,2 m als Beton einer Dichte von 2,3 Mg/m³ angenommen¹⁶. Die Tore werden als geschlossen betrachtet und als Stahl mit einer Dicke von 0,005 m angenommen. Entsprechende Anweisungen im Betriebsreglement sorgen für ein

¹⁵ Für die Dosis in Entfernungen von einigen 10 m ist eine weniger ausgedehnte Quelle der Gammastrahlung konservativ. Da die aus der bestehenden Belegung der HAKONA/BSH resultierende ODL zusätzlich berücksichtigt wird, ist das gewählte Verfahren abdeckend.

¹⁶ als abdeckend für die Bereiche mit geringster Wandstärke

Geschlossenhalten der Tore, die kurzen Phasen der Öffnung bei Einlagerungen sind nicht signifikant.

Die sonstige Abfalleinlagerung in der HAKONA/BSH wird in der Modellierung nicht berücksichtigt¹⁷.

Mit den angegebenen Konfigurationen erfolgte eine Berechnung der Gamma-ODL mit MCNP[®]. Zusätzliche Gebäude (außer HAKONA/BSH) wurden konservativ nicht berücksichtigt. Für die relevante Umgebung der HAKONA/BSH (Abstand zum Zaun des Kontrollbereichs ca. 15 m zur Nordwand, Abstand zum Zaun des Hereon-Geländes ca. 40 m zur Südwand) kann das Gelände (auch im Ergebnis der für die geplante Zerlegehalle durchgeführten Berechnungen mit Berücksichtigung des Geländes) als ausreichend eben angenommen werden.

Die Berechnung wurde durch Wahl der Partikelzahl und Dauer der Rechenzeit so durchgeführt, dass die berechneten Dosisleistungen Unsicherheiten von $< 1\%$ am Kontrollbereichszaun und $< 10\%$ im Bereich des Zauns des Hereon-Geländes erreicht wurden.

Abbildung 5-13 und Abbildung 5-14 (mit Lageplan) zeigen eine graphische Darstellung der ermittelten ODL.

¹⁷ Deren Dosisleistung ist bei der messtechnischen Erfassung des Istzustands enthalten (siehe Abschnitt 4.2).

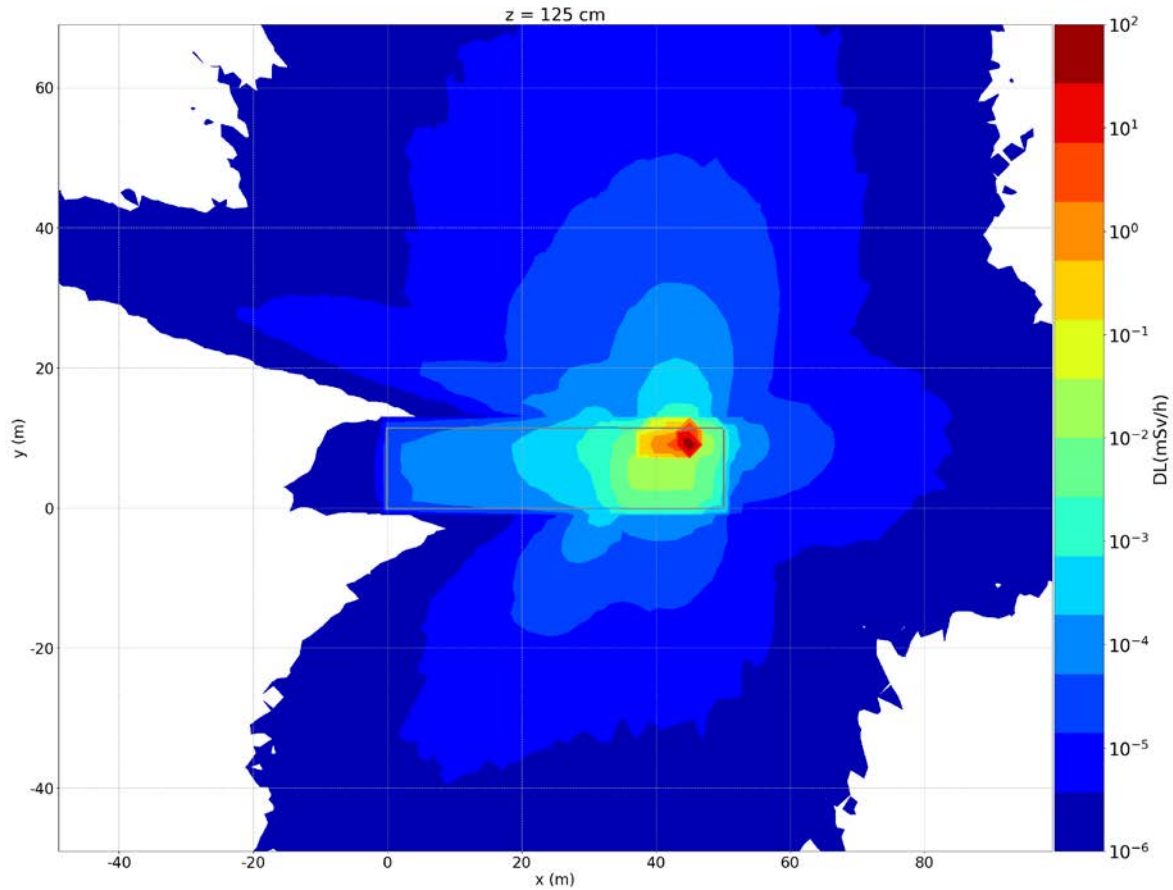


Abbildung 5-13: Mit MCNP® berechnete bodennahe räumliche Verteilung der ODL durch die zusätzliche Einlagerung in die HAKONA/BSH

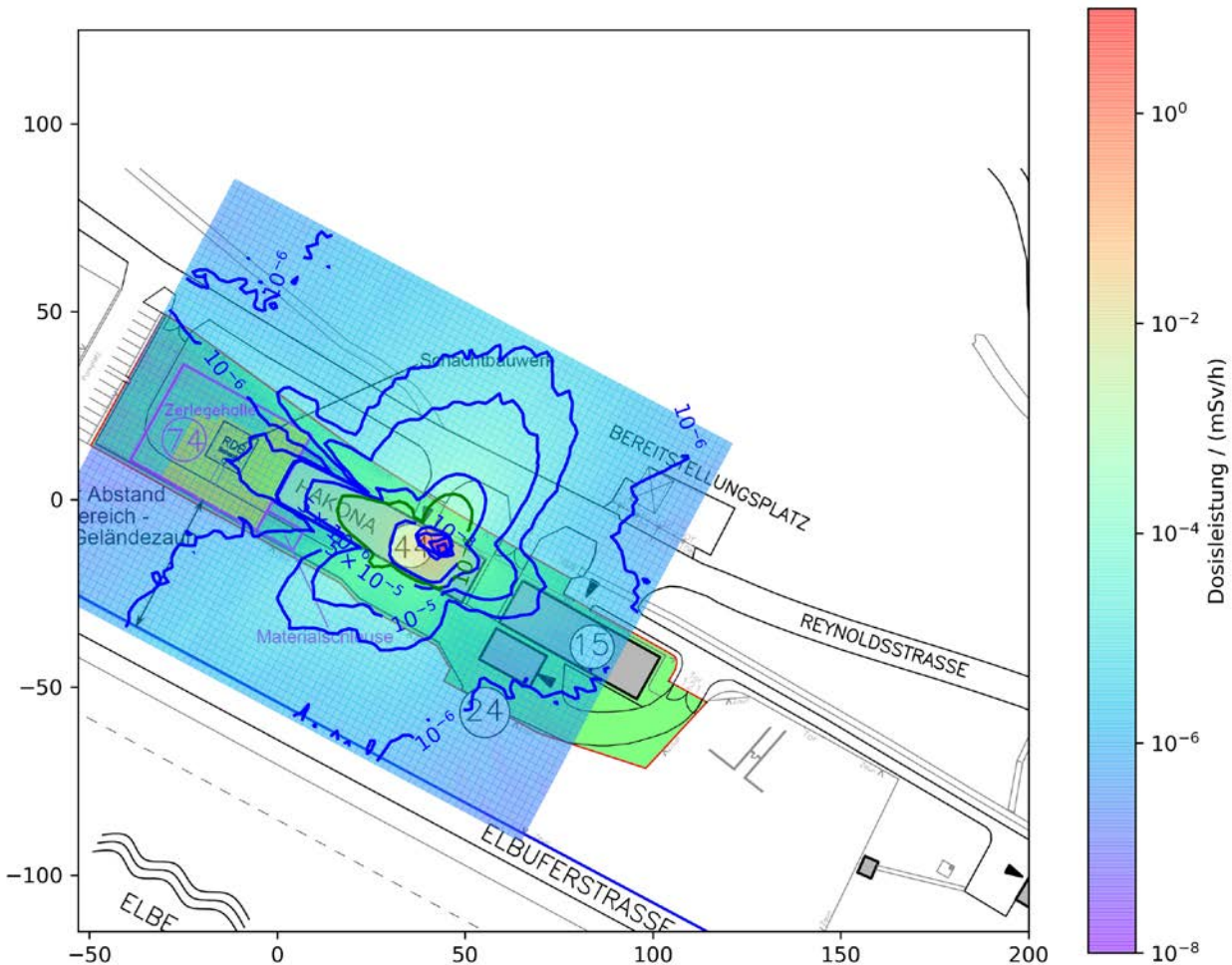


Abbildung 5-14: Mit MCNP® berechnete bodennahe räumliche Verteilung der ODL durch die zusätzliche Einlagerung in die HAKONA/BSH mit Lageplan

Entsprechend der Zaunverläufe aus Abbildung 3-2 kann der ungünstigste Aufpunkt am Zaun des Kontrollbereichs ca. 18 m nördlich der Einlagerung des KC-II Bezeichnung ws-BT80-3.5/ST120 ermittelt werden. Dort beträgt die ermittelte ODL $3,6E-04$ mSv/h (entspricht einer OD von 3,2 mSv im Jahr bei ganzjähriger Exposition). In unmittelbarer Umgebung des hier ermittelten ungünstigsten Aufpunkts liegt die Messstelle „Bereitsstellungshalle – Nord“. Dort wird eine OD von 0,35 mSv (Netto) ermittelt. Dies entspricht einer ODL von $4,0E-05$ mSv/h bei ganzjähriger Exposition. Für die Ermittlung der Dosis des nichtstrahlenexponierten Personals ist eine Summation der ODL an der Messstelle „Bereitsstellungshalle – Nord“ und des hier berechneten Werts für die geplante zusätzliche Einlagerung in die HAKONA/BSH erforderlich, es ergibt sich eine ODL von $4,0E-04$ mSv/h.

Die Messstelle „Sammelstelle – Nord“ liegt ca. 30 m östlich des hier ermittelten ungünstigsten Aufpunkts. Dort beträgt die berechnete ODL $1,6E-05$ mSv/h. Zusammen mit dem Messwert für diese Messstelle (OD 1,2 mSv im Jahr, entspricht einer ODL von $1,4E-04$ mSv/h) ergibt sich eine

ODL von $1,6E-04$ mSv/h, also weniger als im Bereich des ungünstigsten Aufpunkts für die zusätzlichen Einlagerungen in der HAKONA/BSH.

Der ungünstigste Aufpunkt am Zaun des Hereon-Geländes ergibt sich 45 m südlich der HAKONA/BSH-Südwand. Dort beträgt die ermittelte ODL $2,6E-06$ mSv/h. Dies entspricht einer OD von 0,23 mSv im Jahr bei ganzjähriger Exposition.

5.5 Pufferlagerung

Auf dem Gelände des Hereon sind diverse Bereiche für die Pufferlagerung von Material, das einer Freigabe zugeführt werden soll, vorgesehen. Es handelt sich dabei sowohl um Material für die uneingeschränkte Freigabe als auch um Material für die Freigabe zur Beseitigung. Eine Pufferlagerung von radioaktivem Abfall ist auf dem Gelände nicht vorgesehen.

Für Material aus der uneingeschränkten Freigabe kann davon ausgegangen werden, dass die daraus resultierende Exposition für Einzelpersonen der Bevölkerung eine Dosis im Bereich von 0,01 mSv im Kalenderjahr bei beliebiger Nutzung, Verwertung oder Beseitigung nicht überschreitet. Eine explizite Betrachtung der potentiellen Exposition ist daher nicht erforderlich.

Für Material aus der Freigabe zur Beseitigung wird die Einhaltung des Dosiskriteriums für Einzelpersonen der Bevölkerung auf dem im Freigabebescheid festgelegten Entsorgungsweg sichergestellt. Für eine länger andauernde Pufferlagerung dieses Materials (vor der Durchführung der Freigabe) ist daher eine separate Betrachtung erforderlich.

In Tabelle 5-6 ist die verfügbare Kapazität für die Pufferlagerung zusammengefasst.

Tabelle 5-6: Pufferlagerung auf dem Hereon-Gelände

| Lagerort | Massen-Kapazität gesamt [kg] |
|-----------------|------------------------------|
| Container F1 | 4.200 |
| Container F2 | 4.200 |
| Container F3 | 4.200 |
| Container F4 | 4.200 |
| Container F5 | 4.200 |
| Container F6 | 4.200 |
| Container F7 | 4.200 |
| Container F8 | 4.200 |
| Container F9 | 4.200 |
| Container F10 | 4.200 |
| Container F11 | 4.200 |
| Container F12 | 4.200 |
| Container F13 | 4.200 |
| Container F14 | 4.200 |
| Schuttmulde G15 | 13.160 |
| Geb. 52 (FMA 1) | 3.000 |
| Summe: | 74.960 |

Die jeweiligen Standorte der Container (außer Schuttmulde G15) sind in Abbildung 5-15 dargestellt. Der Bereich der FMA wurde dabei wie ein Container (d. h. konservativ ohne Gebäuderückhaltung) berücksichtigt.

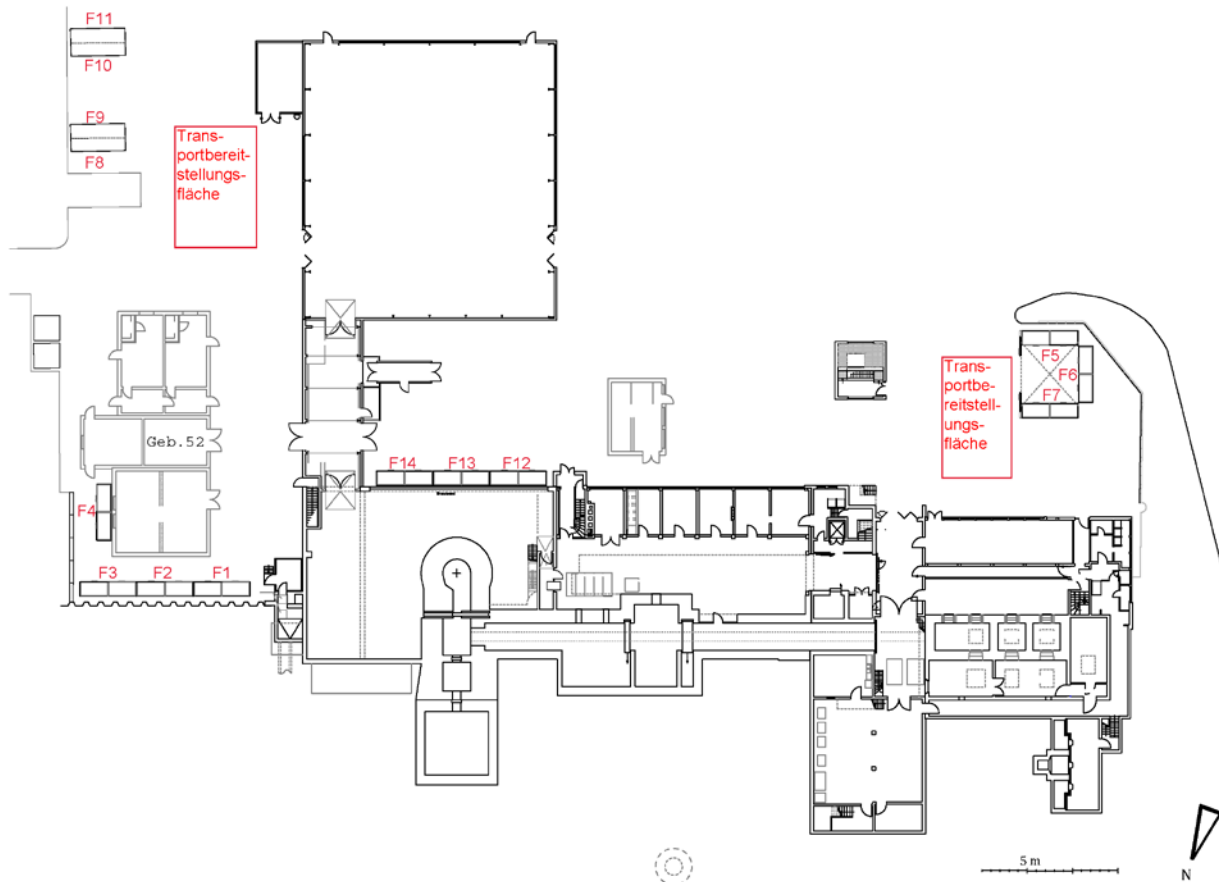


Abbildung 5-15: Lage der Bereiche für die Pufferlagerung am Standort sowie Transportbereitstellungsfläche (Plan nicht nach Norden ausgerichtet, [HER 19])

Für die Ermittlung der potentiellen Strahlenexposition werden MCNP[®]-Berechnungen mit folgenden Annahmen (nicht auf derzeitige Belegung beschränkt) durchgeführt:

- Alle Container und der Bereich FMA 1 sind entsprechend der maximal möglichen Masse befüllt¹⁸.
- In allen Gebinden befindet sich jeweils Material, dass unter Anwendung der Freigabewerte nach Anlage 4 Tabelle 1 Spalte 9 StrlSchV freigegeben werden soll. Es werden die Nuklide Co-60 und Cs-137 (jeweils einzeln in den MCNP-Berechnungen) berücksichtigt.
- Die Gebinde werden mit einer Wandstärke von 1,5 mm (Stahl, in Analogie zu 20'-Container) berücksichtigt. Aus den geometrischen Abmessungen gemäß Lageplan, einer Beladungshöhe Höhe von ca. 2,6 m (analog 20'-Container) und den angenommenen Massen wird eine effektive Dichte berechnet.

¹⁸ Für den Bereich Geb. 52 wird konservativ vereinfachend ebenfalls von einer Masse von 4.200 kg ausgegangen.

- Gebäude werden analog zum Modell für die Berechnung der Exposition aus den Einlagerungen in die TBH berücksichtigt (siehe Abschnitt 5.2).

Die MCNP-Berechnungen erfolgen zunächst für eine normierte Aktivität. Anschließend erfolgt eine Skalierung unter Verwendung der Freigabewerte (FGW) gemäß Anlage 4 Tabelle 1 Spalte 9 StrlSchV:

- Co-60: 7 Bq/g bzw.
- Cs-137: 10 Bq/g

sowie einer Ausschöpfung der FGW von jeweils 50 %¹⁹. Damit ergibt sich für einen Container mit der Masse 4.200 kg eine Aktivität von:

- Co-60: $1,47 \cdot 10^7$ Bq bzw.
- Cs-137: $2,10 \cdot 10^7$ Bq.

In Abbildung 5-16 und Abbildung 5-17 sind die Ergebnisse der Berechnung (für Co-60 mit 50 %-iger Ausschöpfung der FGW) jeweils für die bodennahe Exposition und die Exposition 10 m über Grund dargestellt.

Aus der räumlichen Verteilung wurden folgende Einzelergebnisse der Ortsdosisleistung (ODL) durch Materialien, die einer Freigabe zur Beseitigung zugeführt werden sollen (Ausschöpfung FGW 50 % durch Co-60) extrahiert:

- Maximum der ODL an der Grenze des Überwachungsbereichs in Bodennähe: $2,9 \cdot 10^{-5}$ mSv/h bzw. 0,029 μ Sv/h (südwestlich UFJ),
- ODL am Nordrand des Gebäudes 1 (in 10 m Höhe): $2,4 \cdot 10^{-6}$ mSv/h bzw. 0,0024 μ Sv/h,
- ODL als Mittelwert über den Bereich des Gebäudes 1 (in Bodennähe): $2,0 \cdot 10^{-7}$ mSv/h bzw. 0,00020 μ Sv/h und
- Maximum am Zaun des Hereon-Geländes (südöstlich der TBH)
 - in Bodennähe: $2,4 \cdot 10^{-7}$ mSv/h bzw. 0,00024 μ Sv/h
 - in 10 m Höhe: $5,2 \cdot 10^{-7}$ mSv/h bzw. 0,00052 μ Sv/h.

Diese Werte der ODL werden zur Berechnung der Personendosis durch Beiträge der Pufferlagerung verwendet.

¹⁹ Die Entscheidungsmessungen erfolgen jeweils an Mittelungsmassen von maximal 300 kg. Für keine Einzelmessung darf der FGW überschritten werden. Für die Gesamtbefüllung eines Containers (4.200 kg) ist daher zu unterstellen, dass die FGW nicht zu 100 % ausgeschöpft werden. Praktisch ist mit maximal ca. 30 % zu rechnen, hier wird konservativ von 50 % ausgegangen.

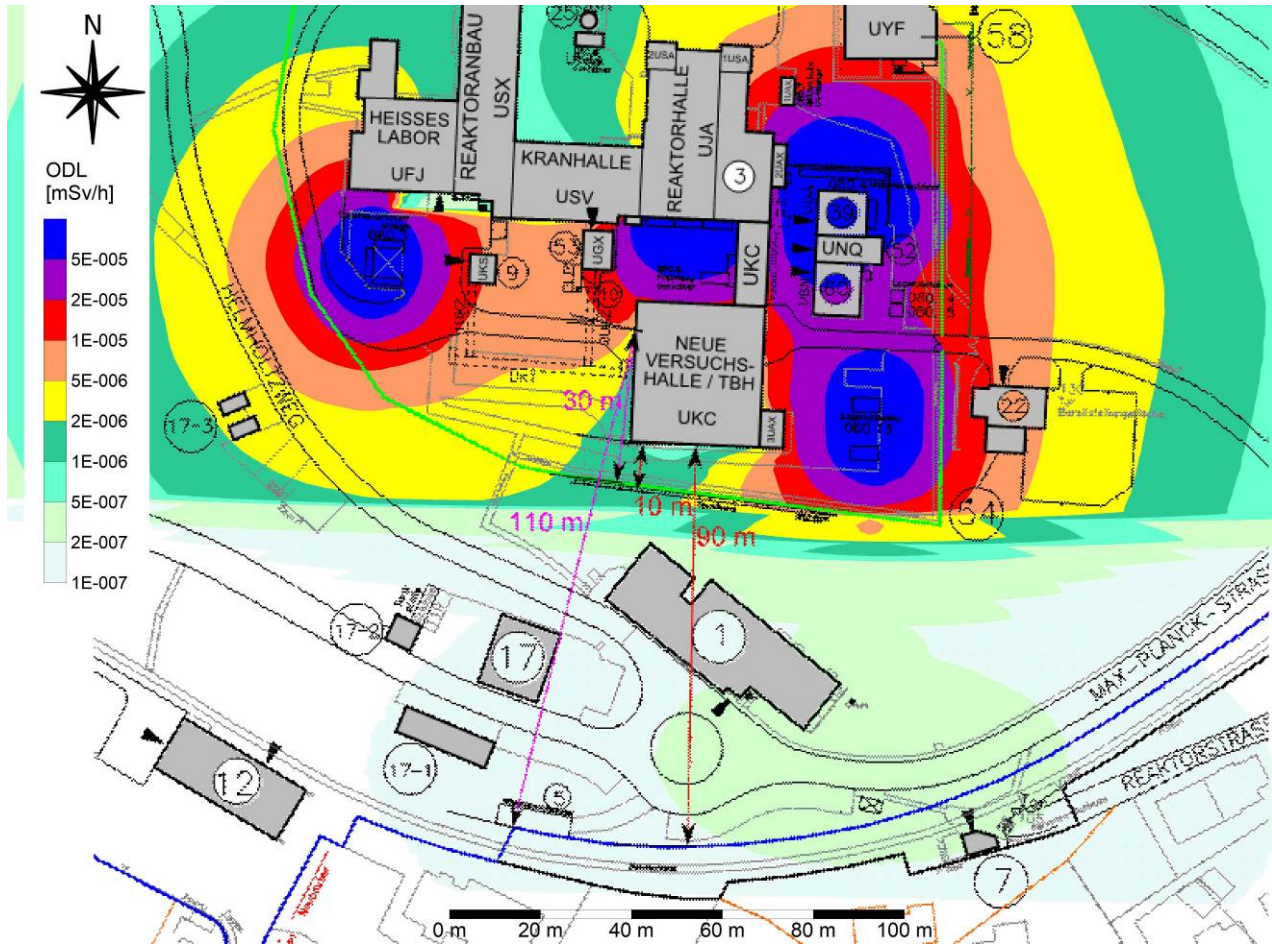


Abbildung 5-16: Mit MCNP® berechnete bodennahe räumliche Verteilung der Ortsdosisleistung aus der Pufferlagerung (Co-60 FGW-50 % Ausschöpfung)

Die Berechnungen für Cs-137 ergeben an allen Orten niedrigere ODL-Werte als die Berechnungen für Co-60. Konservativ werden daher für die Dosisberechnung die ODL-Werte für Co-60 als abdeckend für alle bei der Freigabe relevanten Gammastrahler verwendet.

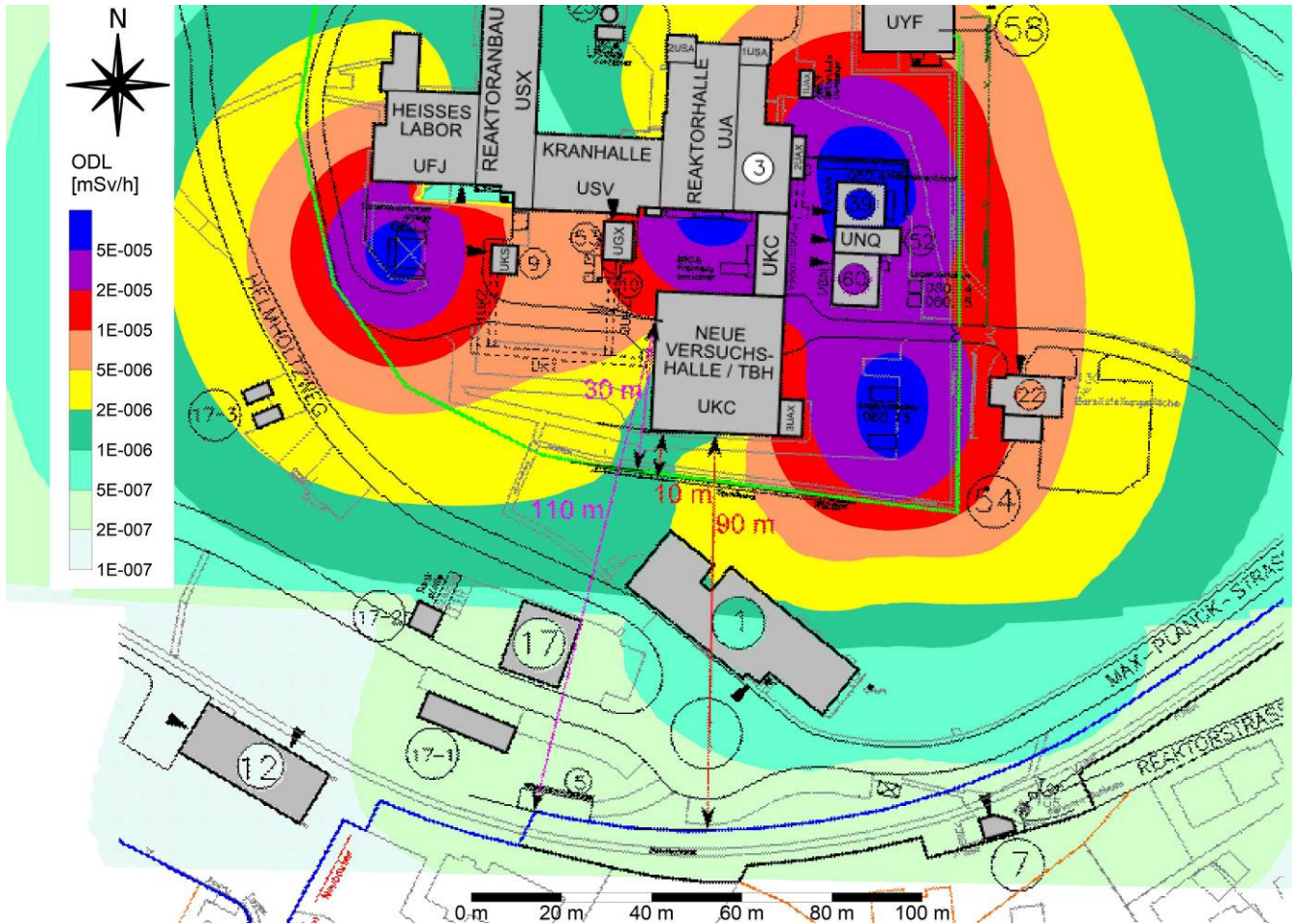


Abbildung 5-17: Mit MCNP[®] berechnete räumliche Verteilung der Ortsdosisleistung in 10 m Höhe aus der Pufferlagerung (Co-60 FGW-50 % Ausschöpfung)

Die Schuttmulde G15 hat keinen festgelegten Standort und wurde in den MCNP-Berechnungen nicht berücksichtigt (siehe folgende Abschnitte für eine vereinfachte Berücksichtigung). Außerdem kann zukünftig ggf. eine über die jetzt bestehende Belegung hinausgehende Pufferlagerung nicht ausgeschlossen werden. Daher werden zusätzliche Betrachtungen für einen fiktiven Container (bzw. die Mulde) mit Hilfe des Computerprogramms MicroShield[®] durchgeführt.

Hierfür wird für einen Container mit den geometrischen Abmessungen analog zum MCNP[®]-Modell die effektive Dosisleistung durch Direktstrahlung (Rotationsgeometrie) entfernungsabhängig ermittelt. Dabei wurde sowohl die schmalere Seite eines Containers als auch die breitere Seite betrachtet. Die jeweils höheren Werte ergeben sich bei Betrachtung der breiteren Seite. Für die Schuttmulde G15 wird entsprechend von einer Aktivität um den Faktor 3,13 höher (Verhältnis der maximal möglichen Massen) als im Container ausgegangen. Dosiskoeffizienten werden entsprechend ICRP 74 (1997) für Rotationsgeometrie verwendet.

Ergebnisse der Berechnung sind in Abbildung 5-16 graphisch dargestellt, zusätzlich sind an die Berechnungspunkte angepasste Potenzfunktionen mit dargestellt. Die jeweiligen Werte der Berechnungsergebnisse sind in Tabelle 5-7 zusammengefasst.

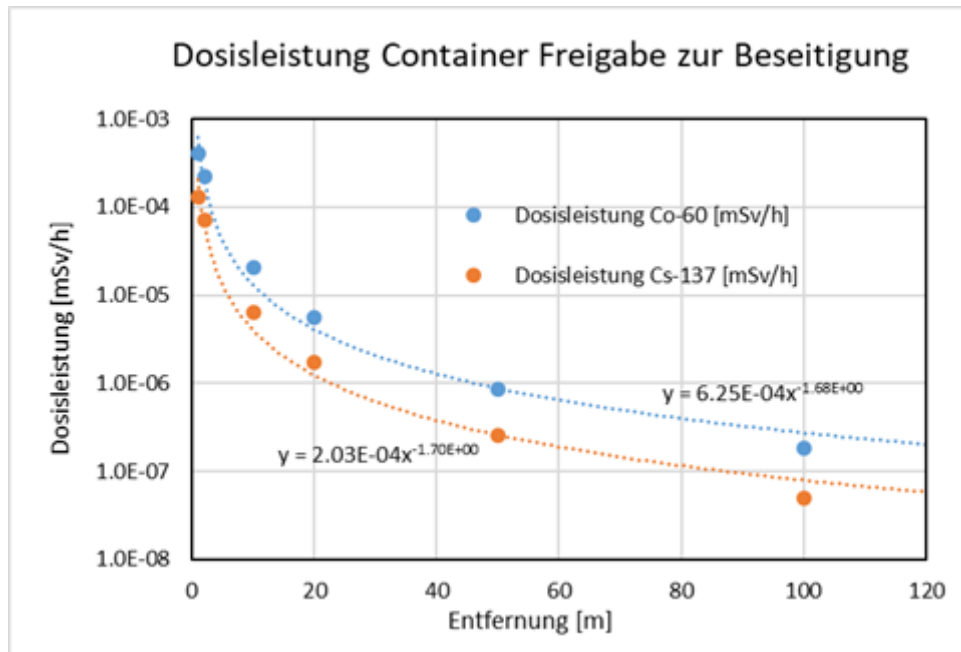


Abbildung 5-18: Ergebnisse der MicroShield® Berechnungen für jeweils 50 %-ige Ausschöpfung der FGW (Container)

Tabelle 5-7: Dosisleistung für einen Container mit Material zur Freigabe unter Anwendung der FGW gemäß Anlage 4 Tabelle 1 Spalte 9 StrlSchV (50 %-ige Ausschöpfung)

| Abstand [m] | 1 | 2 | 10 | 20 | 50 | 100 |
|------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Cs-137 [mSv/h/ (Bq)] | 6,14E-12 | 3,35E-12 | 3,06E-13 | 8,18E-14 | 1,21E-14 | 2,38E-15 |
| Co-60 [mSv/h/ (Bq)] | 2,76E-11 | 1,50E-11 | 1,39E-12 | 3,77E-13 | 5,80E-14 | 1,23E-14 |
| Dosisleistung Cs-137 [mSv/h] | 1,29E-04 | 7,03E-05 | 6,42E-06 | 1,72E-06 | 2,54E-07 | 4,99E-08 |
| Dosisleistung Co-60 [mSv/h] | 4,05E-04 | 2,21E-04 | 2,04E-05 | 5,54E-06 | 8,53E-07 | 1,80E-07 |

Zur Abschätzung der aus der Pufferlagerung potentiell resultierenden Exposition werden folgende Szenarien angenommen:

- Person auf dem Hereon-Gelände
 - 200 h Aufenthalt an der Grenze des ÜB, Abstand zum Container 20 m
 - 800 h Aufenthalt in der Umgebung von Gebäude 1 im Freien, Abstand zum Container 50 m und
 - 1.000 h Aufenthalt in Gebäude 1 (Abschirmfaktor 0,3 siehe Abschnitt 6.1), Abstand zum Container 50 m

- Einzelpersonen der Bevölkerung
 - 1.760 h Aufenthalt im Freien im Bereich südlich der TBH, Abstand zum Container bzw. zur Mulde 100 m und
 - 7.000 h Aufenthalt in Gebäuden (Abschirmfaktor 0,3 siehe Abschnitt 6.1) im Bereich südlich der TBH, Abstand zum Container bzw. zur Mulde 100 m.

Die mit den Parametern der Szenarien berechneten Dosiswerte sind in Tabelle 5-8 zusammengestellt.

Tabelle 5-8: Dosis [mSv] im Kalenderjahr durch Pufferlagerung eines einzelnen Containers bzw. in der Mulde

| Szenario | Container | | Mulde | |
|------------------------------|-----------|---------|---------|---------|
| | Cs-137 | Co-60 | Cs-137 | Co-60 |
| 200 h 20 m im Freien | 3,4E-04 | 1,1E-03 | 1,1E-03 | 3,5E-03 |
| 800 h 50 m im Freien | 2,0E-04 | 6,8E-04 | 6,4E-04 | 2,1E-03 |
| 1.000 h 50 m im Gebäude | 7,6E-05 | 2,6E-04 | 2,4E-04 | 8,0E-04 |
| Summe Personal | 6,2E-04 | 2,0E-03 | 2,0E-03 | 6,4E-03 |
| 1.760 h 100 m im Freien | 8,8E-05 | 3,2E-04 | 2,7E-04 | 9,9E-04 |
| 7.000 h 100 m in Gebäuden | 2,6E-05 | 9,5E-05 | 8,2E-05 | 3,0E-04 |
| Summe allgemeine Bevölkerung | 1,1E-04 | 4,1E-04 | 3,6E-04 | 1,3E-03 |

Für die Befüllung der Mulde mit Material für die Freigabe zur Beseitigung ergibt sich eine zusätzliche Exposition von 0,006 mSv im Kalenderjahr für Personal auf dem Gelände des Hereon und 0,001 mSv für Einzelpersonen der Bevölkerung.

Für die Befüllung eines zusätzlichen Containers mit Material für die Freigabe zur Beseitigung ergibt sich eine zusätzliche Exposition von 0,002 mSv im Kalenderjahr für Personal auf dem Gelände des Hereon und 0,0004 mSv für Einzelpersonen der Bevölkerung.

Die Abschätzungen zeigen, dass eine zusätzliche Pufferlagerung in der Mulde und ggf. in mehreren Containern möglich ist. Die dabei zu erwartenden Expositionen liegen im Bereich des de-minimis Kriteriums (0,01 mSv im Kalenderjahr).

5.6 Radioaktivtransporte auf dem Gelände

Auf dem Gelände des Hereon sind Radioaktivtransporte zwischen den einzelnen Gebäuden, in denen ein Umgang genehmigt ist, geplant. Solche Transporte finden auch betriebsintern unter Anwendung der für Straßentransporte gültigen Beschränkungen für die Dosisleistung (2 mSv/h Kontaktdosis und 0,1 mSv/h in 2 m Abstand) statt.

Die Bereitstellung der Gebinde für den Transport im Bereich der TBH erfolgt auf der Transportbereitstellungsfläche (siehe Abbildung 5-15).

Zur Abschätzung der Dosisleistung in weiteren Abständen wurden mit Ergebnissen gemäß Tabelle 5-8 Skalierungsberechnungen so durchgeführt, dass für einen Container gerade das Kriterium der Dosisleistung in 2 m Abstand (0,1 mSv/h) eingehalten wird²⁰.

In Abbildung 5-19 und Tabelle 5-9 sind die Berechnungsergebnisse zusammengestellt.

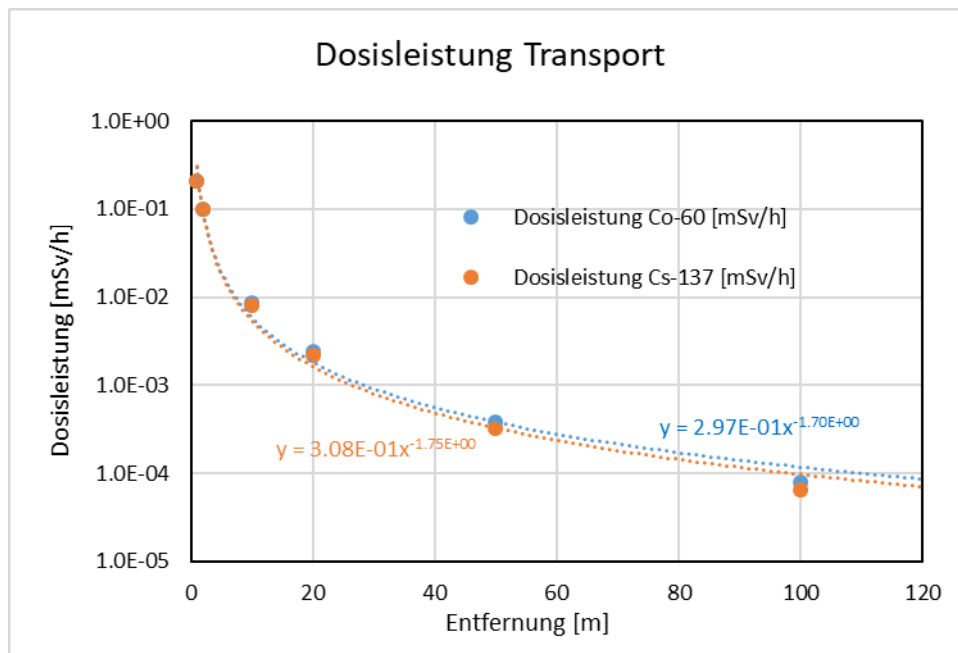


Abbildung 5-19: Ergebnisse der MicroShield® Berechnungen für einen Transport

Tabelle 5-9: Dosisleistung für ein Transportgebäude (quaderförmig)

| Abstand [m] | 1 | 2 | 10 | 20 | 50 | 100 |
|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Cs-137 [mSv/h] | 2,10E-01 | 1,00E-01 | 8,14E-03 | 2,21E-03 | 3,29E-04 | 6,42E-05 |
| Co-60 [mSv/h] | 2,06E-01 | 1,00E-01 | 8,67E-03 | 2,42E-03 | 3,80E-04 | 8,01E-05 |

Die für einen Abstand von 20 m ermittelte ODL beträgt 0,0024 mSv/h. Es kann davon ausgegangen werden, dass nicht beruflich exponierte Personen auf dem Hereon-Gelände sich während eines Transports nicht über signifikante Aufenthaltszeiten näher am zu transportierenden Gebinde aufhalten.

Die für einen Abstand von 50 m ermittelte ODL beträgt 0,00038 mSv/h. Diese Entfernung kann als Mindestentfernung (konservativ abdeckender Wert) zum Zaun des Hereon-Geländes während der Durchführung der Transporte angesehen werden und ist damit für Ermittlung der Exposition für

²⁰ Die dabei zulässigen Aktivitäten im Container bzw. verwendeten Gebinde variieren mit der abschirmwirksamen Wanddicke des Gebäudes und mit ggf. zusätzlich zu verwendenden Abschirmungen.

Einzelpersonen der Bevölkerung während der Transporte (in allen Bereichen) heranzuziehen. Außerdem wird diese Entfernung für die Ermittlung der Exposition für Einzelpersonen der Bevölkerung im Bereich südlich der Zerlegehalle und für nicht beruflich exponierte Personen auf dem Heron-Gelände während der Transportbereitstellung angesetzt.

Die für einen Abstand von 100 m ermittelte ODL beträgt 0,000081 mSv/h. Diese Entfernung wird für die Ermittlung der Exposition für Einzelpersonen der Bevölkerung im Bereich südlich der TBH während der Transportbereitstellung betrachtet.

Entsprechende Entfernungen für die Ermittlung der potentiellen Exposition von nicht strahlenexponiertem Personal bzw. Personen der allgemeinen Bevölkerung werden in Abschnitt 6.1 verwendet.

5.7 Vorbelastung durch Expositionen aus anderen Anlagen

Gemäß § 80 Abs. 4 StrlSchG ist bei mehreren zu betrachtenden genehmigungsbedürftigen Tätigkeiten der Grenzwert insgesamt einzuhalten.

Potentiell kommen Direktstrahlungen aus dem Stilllegungs- und Rückbaubetrieb des KKK, aus dem Standortzwischenlager (SZL) Krümmel und aus dem LasmAaZ in Frage.

Gemäß [AVV 20] ist bei der Ermittlung der äußeren Expositionen durch ionisierende Strahlung aus Anlagen und Einrichtungen die Umgebung einer Anlage bis zu einem Abstand von 500 m bei kerntechnischen Anlagen und bis zu einem Abstand von 100 m bei sonstigen Anlagen und Einrichtungen zu berücksichtigen. Die Entfernungen für die ungünstigsten Aufpunkte zu den maßgeblichen Anlagen (KKK, SZL und LasmAaZ) sind größer als 500 m (siehe Abbildung 3-6 bzw. Abbildung A-1 aus [BS 21]), eine explizite Berücksichtigung ist daher nicht erforderlich.

5.8 Abschätzungen von Organdosen

Grenzwerte für die Exposition von Personen der Bevölkerung sowie von beruflich exponierten Personen sind sowohl für die Effektivdosis als auch für die Organdosen der Haut und der Augenlinse festgelegt (siehe hierzu Abschnitt 2.1).

Die Effektivdosis stellt für die meisten Situationen, bei denen eine potentielle innere Exposition oder eine potentielle äußere Exposition durch durchdringende Strahlung eines externen (d. h. nicht direkt als Kontamination auf dem Körper befindlichen) Strahlungsfeldes zu besorgen ist, ein geeignetes Beurteilungskriterium für die Einhaltung der Schutzziele dar. Die Organdosen der Haut und der Augenlinse sind zusätzlich zur Beurteilung heranzuziehen, wenn ein unmittelbarer Kontakt mit Quellen für (hochenergetische) Beta-Strahlung besteht. Dieser Kontakt ergibt sich beispielsweise beim händischen Umgang mit Strahlungsquellen und offenen radioaktiven Stoffen oder bei direkter Kontamination der Haut.

Solche Situationen sind bei den Berechnungen in diesem Bericht nicht gegeben. Es wird daher eine vereinfachte Betrachtung durchgeführt.

Zur Abschätzung von Organdosen (Augenlinse bzw. Haut) wurden Berechnungen mit MicroShield® an Entfernungen von 20 m und 100 m von einer Volumenquelle (Container-Geometrie wie oben beschrieben) ausgewertet. Dabei wird die mit MicroShield® berechnete Dosis als mSv/h pro Bq für die Nuklide Co-60 und Cs-137 für die Organe jeweils mit dem Wert für die Effektivdosis

vergleichen, in allen Fällen wurde Rotationsgeometrie verwendet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5-10 zusammengefasst.

Tabelle 5-10: Effektiv- und Organdosen für verschiedene Abstände (normiert auf 1 Bq)

| Organ | Cs-137 20 m [mSv/h/Bq] | Co-60 20 m [mSv/h/Bq] | Cs-137 100 m [mSv/h/Bq] | Co-60 100 m [mSv/h/Bq] |
|---------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Effektiv | 8,18E-14 | 3,77E-13 | 2,38E-15 | 1,23E-14 |
| Augenlinse | 1,01E-13 | 4,48E-13 | 2,94E-15 | 1,46E-14 |
| Haut | 9,07E-14 | 4,13E-13 | 2,64E-15 | 1,34E-14 |
| Verhältnis | | | | |
| Augenlinse/Effektiv | 1,24 | 1,19 | 1,24 | 1,19 |
| Haut/Effektiv | 1,11 | 1,10 | 1,11 | 1,09 |

Das Verhältnis von Organdosis zu Effektivdosis ist für die betrachteten Nuklide und Entfernungen im Bereich von 1,2 (Augenlinse) bzw. 1,1 (Haut). Die berechneten Werte für die Organdosen liegen daher immer in der gleichen Größenordnung wie die berechneten Werte für die Effektivdosis.

Die Grenzwerte für Augenlinse (15 mSv im Kalenderjahr) und Haut (50 mSv im Kalenderjahr) sind jedoch um mehr als eine Größenordnung höher als für die Effektivdosis (1 mSv im Kalenderjahr). Aus dem Nachweis der Einhaltung des Grenzwerts für die Effektivdosis kann daher für die im vorliegenden Bericht betrachtete Strahlungssituationen immer auch die Einhaltung des Grenzwerts für die Organdosen geschlussfolgert werden.

6 ERMITTLUNG DER PERSONENDOSIS

6.1 Direktstrahlung

Die Ermittlung der Personendosis (Effektive Dosis) erfolgt auf folgende Weise

- Berechnung der Personendosis für den Istzustand unter Verwendung
 - der in Abschnitt 4.2 aufgeführten, jeweils für ein Jahr ermittelten Ortsdosis (OD), über Umrechnung in Ortsdosisleistungen (ODL),
 - Annahmen für Aufenthaltszeiten im Freien und in Gebäuden und
 - Verwendung eines Abschirmfaktors 0,3 für die Exposition durch Direktstrahlung bei Aufenthalt in Gebäuden;
- Berechnung der Personendosis für den Planungszustand unter Verwendung
 - der in Abschnitt 5.2 bis Abschnitt 5.6 aufgeführten Ortsdosisleistungen (ODL),
 - Annahmen für Aufenthaltszeiten im Freien und in Gebäuden bzw.
 - der Einwirkungszeiten entsprechender Maßnahmen und
 - Verwendung eines Abschirmfaktors 0,3 für die Exposition durch Direktstrahlung bei Aufenthalt in Gebäuden;
- Zusammenführung der ermittelten Werte von Istzustand und Planungszustand, wo erforderlich.

Die Berechnungen erfolgen jeweils für die Umgebung der TBH und die Umgebung der geplanten Zerlegehalle (mit dem Bereich HAKONA/BSH und Gemeinsame Landessammelstelle für radioaktive Abfälle der Länder Bremen, Hamburg, Niedersachsen und Schleswig-Holstein) getrennt. Die Aufenthaltszeiten werden dabei für jede der betrachteten Umgebungen abdeckend gewählt. Die potentielle Exposition durch Direktstrahlung aus dem genehmigten und geplanten Umgang im Hereon ergibt sich dann aus dem Maximum der beiden Betrachtungen.

Für den Bereich der TBH wird die Dosisleistung aus der geplanten Einlagerung in der TBH sowie aus der Pufferlagerung (ohne Mulde und ohne zusätzliche Container²¹, jedoch mit Vollausschöpfung der bestehenden Lagerkapazität mit Material für die Freigabe zur Beseitigung) berücksichtigt.

Für Einzelpersonen der Bevölkerung wird von folgenden Aufenthaltszeiten jeweils am ungünstigsten Aufpunkt ausgegangen (siehe Anlage 11 Teil B Tabelle 3 StrlSchV):

- 1.760 h im Jahr im Freien und
- 7.000 h im Jahr in Gebäuden

Als ungünstigster Aufpunkt für den Aufenthalt im Freien wird entweder

- der Aufpunkt im Süden der TBH unmittelbar am Zaun oder
- der Aufpunkt südlich der geplanten Zerlegehalle unmittelbar am Zaun

angenommen.

Für den Aufenthalt in Gebäuden kommt prinzipiell nur der

- Aufpunkt im Süden der TBH unmittelbar am Zaun

in Frage. Südlich der geplanten Zerlegehalle sind keine Wohngebäude vorhanden und können auch, solange sich dort das Hereon-Gelände befindet, nicht errichtet werden. Für eine konservativ abdeckende Betrachtung wird dennoch unterstellt, dass sich dort ein Wohngebäude befindet, so dass folgende Fälle bei der Dosisermittlung betrachtet werden:

- Aufenthalt im Freien südlich der geplanten Zerlegehalle
 - mit 1.760 h im Jahr permanenter Exposition durch:
 - Istzustand (OD 0,3 mSv im Jahr),
 - Exposition durch zusätzliche Einlagerungen Bereich der HAKONA/BSH,
 - Exposition aus dem Schacht
 - sowie temporärer Exposition²²
 - 5 h im Jahr Einwirkung durch Aktivität im MOSAIK-Behälter bzw. der Abschirm-Glocke und
 - 5 h im Jahr Einwirkung durch Dampferzeuger jeweils entsprechend [HER 18] als abdeckende Zeiten für den geplanten Umgang,
 - 160 h im Jahr durch Bereitstellung (ca. 8 h pro Transport, ca. 20 Transporte im Jahr) von Transportgebinden, Entfernung 50 m und

²¹ für diese wurde gezeigt, dass daraus nur eine unerhebliche Zusatzexposition resultiert

²² Es wird konservativ unterstellt, dass die aus den Zerlegeaktivitäten resultierenden temporären Expositionen in einem Jahr auftreten.

- 20 h im Jahr durch Radioaktivtransporte, Entfernung 50 m
- Aufenthalt in einem fiktiven Wohngebäude südlich der geplanten Zerlegehalle
 - 7.000 h im Jahr mit permanenter Exposition durch:
 - Istzustand (OD 0,3 mSv im Jahr),
 - Exposition durch zusätzliche Einlagerungen Bereich der HAKONA/BSH,
 - Exposition aus dem Schacht

oder

- Aufenthalt im Freien im Süden der TBH
 - mit 1.760 h im Jahr permanenter Exposition durch
 - Einlagerungen in der TBH und
 - Pufferlagerung
 - sowie temporärer Exposition
 - 160 h im Jahr durch Bereitstellung (ca. 8 h pro Transport, ca. 20 Transporte im Jahr) von Transportgebinden, Entfernung 100 m und
 - 20 h im Jahr durch Radioaktivtransporte, Entfernung 50 m
- Aufenthalt in einem Gebäude südlich der TBH
 - mit 7.000 h im Jahr permanenter Exposition durch:
 - Einlagerungen in der TBH und
 - Pufferlagerung.

Der Fall, für den die größere Dosis berechnet wird, wird dann für die weitere Bewertung herangezogen.

Für den Aufenthalt für Mitarbeiter des Hereons (nicht strahlenexponiertes Personal) muss gemäß StrlSchV eine beruflich bedingte Aufenthaltszeit von 2.000 h im Jahr unterstellt werden. Es wird folgende Aufteilung der Aufenthaltszeiten auf dem Gelände angenommen:

- 1.000 h im Jahr im Freien und
- 1.000 h im Jahr in Gebäuden.

Im Bereich der geplanten Zerlegehalle wird für die 1000 Stunden Aufenthalt im Freien von folgenden Einwirkungen ausgegangen:

- 1000 h im Jahr im Freien mit permanenter Exposition durch
 - Istzustand im Bereich Bereitstellungshalle – Nord (OD 0,35 mSv im Jahr),
 - Exposition durch zusätzliche Einlagerungen Bereich der HAKONA/BSH,
 - Exposition aus dem Schacht, sowie
- temporäre Einwirkungen:
 - 5 h im Jahr Einwirkung durch Aktivität im MOSAIK-Behälter bzw. der Abschirm-Glocke und
 - 5 h im Jahr Einwirkung durch Dampferzeuger jeweils entsprechend [HER 18] als abdeckende Zeiten für den geplanten Umgang,
 - 160 h im Jahr durch Bereitstellung (ca. 8 h pro Transport, ca. 20 Transporte im Jahr) von Transportgebinden, Entfernung 50 m und
 - 20 h im Jahr durch Radioaktivtransporte, Entfernung 20 m.

Ein (längerfristiger) Aufenthalt in Gebäuden ist für nicht strahlenexponiertes Personal im Bereich der geplanten Zerlegehalle nicht möglich²³. Daher wird für Personen (nicht strahlenexponiertes Personal), die sich 1.000 h im Jahr im Bereich der geplanten Zerlegehalle aufhalten, für die restlichen 1.000 h im Jahr ersatzweise der Aufenthalt im Gebäude 1 (1.000 h im Jahr) angenommen.

Im Bereich der TBH wird von folgenden Aufenthaltszeiten ausgegangen:

- 1.000 h im Jahr Aufenthalt im Gebäude 1,
- 200 h Aufenthalt im Freien am Zaun des Überwachungsbereichs,
- 800 h im Jahr Aufenthalt im Freien im Bereich des Gebäudes 1 und
- temporäre Einwirkungen:
 - 160 h im Jahr durch Bereitstellung (ca. 8 h pro Transport, ca. 20 Transporte im Jahr) von Transportgebinden, Entfernung 50 m und
 - 20 h im Jahr durch Radioaktivtransporte, Entfernung 20 m.

Außerdem wird ein weiteres Szenario betrachtet, in dem den Personen folgende Aufenthaltszeiten zugeordnet werden:

- 1.800 h im Jahr Aufenthalt im Gebäude 1,
- 200 h Aufenthalt im Freien am Zaun des Überwachungsbereichs und
- temporäre Einwirkungen:
 - 160 h im Jahr durch Bereitstellung (ca. 8 h pro Transport, ca. 20 Transporte im Jahr) von Transportgebinden, Entfernung 50 m und
 - 20 h im Jahr durch Radioaktivtransporte, Entfernung 20 m.

Aus dem Istzustand resultiert für die im Bereich der TBH gewählten Aufpunkte keine signifikante Exposition.

In den nachfolgenden Tabellen (Tabelle 6-1 bis Tabelle 6-5) sind die verwendeten Parameter zusammengestellt und die Ergebnisse für die berechnete Personendosis angegeben. Die aufgeführte Ortsdosis (OD) beruht dabei auf Messwerten, zur Verwendung in den Berechnungen der Personendosis sind diese mit einem Faktor 8760 h pro Jahr in eine ODL (in den jeweiligen Spalten ODL der Tabellen kursiv dargestellt) umgerechnet. Die nicht kursiv aufgeführte Ortsdosisleistung (ODL) beruht auf Modellierungsergebnissen.

Anmerkung: In den Tabellen werden Zahlenwerte der OD, der ODL und der Personendosis grundsätzlich mit 2 signifikanten Stellen angegeben. Die Personendosis wird intern mit den üblichen Genauigkeiten für Gleitkommazahlen berechnet und summiert. Rundungsbedingt kann es daher geringe Abweichungen zwischen der angegebenen Summe und den aus den gerundeten Einzelbeiträgen aufsummierten Werten geben.

²³ Dort befinden sich keine Gebäude außerhalb von Strahlenschutzbereichen.

Tabelle 6-1: Potentielle Exposition durch Direktstrahlung für Einzelpersonen der Bevölkerung, Aufenthalt im Bereich der geplanten Zerlegehalle

| Beiträge | OD [mSv pro Jahr] | ODL [mSv/h] | Aufenthaltszeit / Einwirkzeit [h] | Abschirmfaktor | Personendosis [mSv pro Jahr] |
|-------------------------------------|-------------------|-------------|-----------------------------------|----------------|------------------------------|
| Istzustand | 0,3 | 3,4E-05 | 1.760* | 1 | 6,0E-02 |
| Schacht | | 3,4E-05 | | | 5,9E-02 |
| HAKONA/BSH | | 2,6E-06 | | | 4,6E-03 |
| DE | | 1,4E-05 | 5* | | 7,0E-05 |
| MOSAİK-Behälter / Glocke | | 9,8E-05 | 5* | | 4,9E-04 |
| Radioaktivtransporte Bereitstellung | | 3,8E-04 | 160* | | 6,1E-02 |
| Radioaktivtransporte | | 3,8E-04 | 20* | | 7,6E-03 |
| Summe Aufenthalt im Freien | | | | | 1,9E-01 |
| Gebäude (Zaun) | | 7,1E-05** | 7.000 | 0,3 | 1,5E-01 |
| Summe Aufenthalt im Gebäude | | | | | 1,5E-01 |
| Summe | | | | | 3,4E-01 |

* Aufenthaltszeit bzw. Einwirkzeit gleichzeitig

** Summe der Beiträge aus Istzustand, HAKONA/BSH und Schacht

Tabelle 6-2: Potentielle Exposition durch Direktstrahlung für Einzelpersonen der Bevölkerung, Aufenthalt im Bereich der TBH

| Beiträge | OD [mSv pro Jahr] | ODL [mSv/h] | Aufenthaltszeit / Einwirkzeit [h] | Abschirmfaktor | Personendosis [mSv pro Jahr] |
|---|-------------------|-------------|-----------------------------------|----------------|------------------------------|
| Istzustand | 0 | | | | 0 |
| Auswirkung TBH im Freien | | 1,3E-05 | 1.760* | 1 | 2,3E-02 |
| Auswirkung Pufferlagerung im Freien, bodennah | | 2,4E-07 | | | 4,2E-04 |
| Radioaktivtransporte Bereitstellung | | 8,1E-05 | | | 160* |
| Radioaktivtransporte | | 3,8E-04 | 20* | | 7,6E-03 |
| Summe Aufenthalt im Freien | | | | | 4,3E-02 |
| Gebäude (am Zaun durch TBH) | | 1,6E-05 | 7.000 | 0,3 | 3,4E-02 |
| Gebäude (am Zaun durch Pufferlagerung, 10 m Höhe) | | 5,2E-07 | | | 1,1E-03 |
| Summe Aufenthalt im Gebäude | | | | | 3,4E-02 |
| Summe | | | | | 7,7E-02 |

* Aufenthaltszeit bzw. Einwirkzeit gleichzeitig zur sonstigen Auswirkung im Freien

Tabelle 6-3: Potentielle Exposition durch Direktstrahlung für Mitarbeiter des Hereons, Aufenthalt im Bereich der geplanten Zerlegehalle

| Beiträge | OD [mSv pro Jahr] | ODL [mSv/h] | Aufenthaltszeit / Einwirkzeit [h] | Abschirmfaktor | Personendosis [mSv pro Jahr] |
|-------------------------------------|-------------------|-------------|-----------------------------------|----------------|------------------------------|
| Istzustand Aufenthalt im Freien | 0,35 | 4,0E-05 | 1.000* | 1 | 4,0E-02 |
| HAKONA/BSH | | 3,6E-04 | | | 3,6E-01 |
| Schacht | | 9,5E-05 | 9,5E-02 | | |
| DE | | 5,3E-04 | 5* | | 2,7E-03 |
| MOSAIK-Behälter / Glocke | | 8,8E-03 | 5* | | 4,4E-02 |
| Radioaktivtransporte Bereitstellung | | 3,4E-04 | 160* | | 5,4E-02 |
| Radioaktivtransporte | | 2,4E-03 | 20* | | 4,8E-02 |
| Summe Aufenthalt im Freien | | | | | 6,4E-01 |
| Aufenthalt im Gebäude 1 (TBH) | | 3,5E-04 | 1.000 | 0,3 | 1,1E-01 |
| Aufenthalt im Gebäude 1 (Pufferl.) | | 2,4E-06 | | | 7,2E-04 |
| Summe Aufenthalt im Gebäude | | | | | 1,1E-01 |
| Summe | | | | | 7,5E-01 |

* Aufenthaltszeit bzw. Einwirkzeit gleichzeitig

Tabelle 6-4: Potentielle Exposition durch Direktstrahlung für Mitarbeiter des Hereons, Aufenthalt im Bereich der TBH

| Beiträge | OD [mSv pro Jahr] | ODL [mSv/h] | Aufenthaltszeit / Einwirkzeit [h] | Abschirmfaktor | Personendosis [mSv pro Jahr] |
|---|-------------------|-------------|-----------------------------------|----------------|------------------------------|
| Istzustand Aufenthalt im Freien | 0 | | | | 0 |
| Aufenthalt am Zaun ÜB (TBH) | | 6,0E-04 | 200 | 1 | 1,2E-01 |
| Aufenthalt am Zaun ÜB (Pufferlagerung) | | 2,9E-05 | | | 5,8E-03 |
| Aufenthalt Bereich Gebäude 1 (TBH) | | 4,0E-05 | 800* | | 3,2E-02 |
| Aufenthalt Bereich Gebäude 1 (Pufferl.) | | 2,3E-07 | | | 1,8E-04 |
| Radioaktivtransporte Bereitstellung | | 3,4E-04 | 160* | | 5,4E-02 |
| Radioaktivtransporte | | 2,4E-03 | 20* | | 4,8E-02 |
| Summe Aufenthalt im Freien | | | | | 2,6E-01 |
| Aufenthalt im Gebäude 1 (TBH) | | 3,5E-04 | 1.000 | 0,3 | 1,1E-01 |
| Aufenthalt im Gebäude 1 (Pufferl.) | | 2,4E-06 | | | 7,4E-04 |
| Summe Aufenthalt im Gebäude | | | | | 1,1E-01 |
| Summe | | | | | 3,7E-01 |

* Aufenthaltszeit bzw. Einwirkzeit gleichzeitig zur sonstigen Auswirkung im Freien

Tabelle 6-5: Potentielle Exposition durch Direktstrahlung für Mitarbeiter des Hereons, Aufenthalt im Bereich der TBH, Schwerpunkt Gebäude 1

| Beiträge | OD [mSv pro Jahr] | ODL [mSv/h] | Aufenthaltszeit / Einwirkzeit [h] | Abschirmfaktor | Personendosis [mSv pro Jahr] |
|-------------------------------------|-------------------|-------------|-----------------------------------|----------------|------------------------------|
| Istzustand Aufenthalt im Freien | 0 | | | | 0 |
| Aufenthalt am Zaun ÜB (TBH) | | 6,0E-04 | 200* | 1 | 1,2E-01 |
| Aufenthalt am Zaun ÜB (Pufferl.) | | 2,9E-05 | | | 5,(E-03 |
| Radioaktivtransporte Bereitstellung | | 3,4E-04 | 160* | | 5,4E-02 |
| Radioaktivtransporte | | 2,4E-03 | 20* | | 4,8E-02 |
| Summe Aufenthalt im Freien | | | | | 2,2E-01 |
| Aufenthalt im Gebäude 1 (TBH) | | 3,5E-04 | 1.800 | 0,3 | 1,9E-01 |
| Aufenthalt im Gebäude 1 (Pufferl.) | | 2,4E-06 | | | 4,3E-03 |
| Summe Aufenthalt im Gebäude | | | | | 1,9E-01 |
| Summe | | | | | 4,1E-01 |

* Aufenthaltszeit bzw. Einwirkzeit gleichzeitig zur sonstigen Auswirkung im Freien

Für Einzelpersonen der Bevölkerung ergibt sich die maximale Exposition durch Direktstrahlung beim Aufenthalt im Freien im Bereich der Zerleghalle und Aufenthalt in fiktiven Gebäuden dort. Es wird eine Exposition von 0,34 mSv im Jahr ermittelt.

Für Mitarbeiter des Hereons (nicht beruflich exponiertes Personal) ergibt sich die maximale Exposition durch Direktstrahlung beim Aufenthalt im Freien im Bereich der geplanten Zerleghalle und bei Aufenthalt im Gebäude 1. Es wird eine Exposition von 0,75 mSv im Jahr ermittelt.

Beide Werte sind als konservativ anzusehen, die Konservativitäten liegen vor allem

- in der als homogen angenommenen Aktivitätsverteilung, tatsächlich werden Gebinde mit höherer Aktivität im inneren der Anordnung platziert, damit wirkt eine größere Abschirmung durch außenliegende Gebinde,
- in der Annahme, dass bei Radioaktivtransporten die Gebinde jeweils die zulässige Dosis für Transporte voll ausschöpfen sowie
- in der Annahme konservativ hoher Aufenthaltszeiten im Bereich höherer ODL.

6.2 Gesamtexposition für Einzelpersonen der Bevölkerung

Die Gesamtexposition für Einzelpersonen der Bevölkerung ergibt sich aus den Anteilen:

- 0,34 mSv im Jahr durch Direktstrahlung beim Aufenthalt am Zaun des Hereon-Geländes (in Gebäuden und im Freien, siehe Abschnitt 6.1),
- 0,14 mSv im Jahr durch Ableitungen mit dem Wasser (inklusive Vorbelastung, ggf. hohe Beiträge durch Verzehr von Trinkwasser, ungünstigste Altersgruppe, siehe Abschnitt 3.3)
- 0,023 mSv pro Jahr durch Ableitungen mit der Luft (Bodenstrahlung, ungünstigste Altersgruppe, siehe Abschnitt 3.3) und
- 0,036 mSv im Jahr durch Ableitungen mit der Luft (Ingestion, ohne Trinkwasser, ungünstigste Altersgruppe, siehe Abschnitt 3.3).

Als konservative Abschätzungen der Exposition werden für eine Gesamtbewertung hinsichtlich des Grenzwerts gemäß § 80 StrlSchG (1 mSv im Jahr für die effektive Dosis) folgende Beiträge angenommen:

- | | |
|---|--------------|
| • Dosis durch Direktstrahlung: | 0,34 mSv, |
| • Dosis durch Ableitungen mit dem Wasser: | 0,14 mSv und |
| • Dosis durch Ableitungen mit der Luft: | 0,059 mSv |

Die als konservativ anzusehende Gesamtsumme über alle Beiträge²⁴ ergibt eine resultierende potentielle Exposition für Einzelpersonen der Bevölkerung von ca. 0,5 mSv im Jahr. Hierbei wurde von einer fiktiven, praktisch nicht realisierbaren Wohnbebauung südlich der Zerlegehalle ausgegangen. Berücksichtigt man nur die reale Wohnbebauung südlich der TBH, so reduziert sich die berechnete Gesamtexposition auf ca. 0,4 mSv im Jahr.

6.3 Bewertung und Empfehlung

Die Berechnungen mit der Verwendung konservativer Parameter zeigen, dass durch die geplanten Tätigkeiten in der TBH und in der geplanten Zerlegehalle der Grenzwert von 1 mSv im Kalenderjahr für die effektive Dosis gemäß § 80 Abs. 1 StrlSchG sowohl für Einzelpersonen der Bevölkerung als auch für Mitarbeiter des Hereon, die nicht als strahlenexponiertes Personal klassifiziert sind, eingehalten wird.

Die Einhaltung der Grenzwerte für die Organdosen der Augenlinse (15 mSv im Kalenderjahr) und der Haut (50 mSv im Kalenderjahr) konnte ebenfalls nachgewiesen werden.

Die höchste Ausschöpfung des Grenzwerts ergibt sich für Einzelpersonen der Bevölkerung mit ca. 50 %.

Eine Minimierung der Strahlenexposition (sowohl für strahlenexponiertes Personal, das in der TBH tätig wird, für sonstige Beschäftigte auf dem Gelände des Hereon als auch für Einzelpersonen der

²⁴ Eine 100 %-ige Überlagerung der Beiträge ist nur dann gegeben, wenn einerseits die Aufpunkte der Dosis durch äußere Exposition in allen Expositionspfaden übereinstimmen und andererseits die jeweiligen Expositionen durch Ingestion bei Ableitungen mit der Luft und bei Ableitungen mit dem Wasser jeweils unterschiedliche Lebensmittelgruppen betreffen.

Bevölkerung) kann dadurch erreicht werden, dass Einzelgebinde mit hohen Dosisleistungen bei der Einlagerung geeignet platziert werden. Dies bedeutet eine Platzierung:

- von Gussbehältern in der nördlichen der beiden vorgesehenen Reihen und
- von Konrad-Containern im Inneren der geplanten Positionen.

Entsprechende Einlagerungen sollten immer durch Messungen der Ortsdosisleistung an der Grenze des Kontroll- und Überwachungsbereichs begleitet werden.

Die Pufferlagerung von Material, welches einer Freigabe zur Beseitigung zugeführt werden soll unter Ausschöpfung aller bestehenden Lagermöglichkeiten und die geplanten Radioaktivtransporte auf dem Hereon-Gelände tragen nur gering zur potentiellen Exposition bei.

Die bestehende Überwachung mit Festkörperdosimetern am Zaun der Überwachungsbereiche sollte beibehalten werden, ggf. mit einer Verdichtung an der südlichen Grenze des Überwachungsbereichs der TBH. Ergänzungen mit einzelnen Messpunkten sind ggf. am Zaun des Hereon-Geländes südlich der TBH und südlich der geplanten Zerlegehalle sinnvoll.

7 QUELLEN

- [AVV 20] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND NUKLEARE SICHERHEIT
Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ermittlung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch genehmigungs- oder anzeigebedürftige Tätigkeiten (AVV Tätigkeiten) vom 8. Juni 2020; BAnz AT 16.06.2020 B3
- [BFS 20] BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ
Natürliche Radionuklide in Baumaterialien
https://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/baustoffe/radionuklide/radionuklide_node.html
Stand: 29.01.2020
- [BFS 21] BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ
ODL-Info
Radioaktivität in Deutschland
<https://odlinfo.bfs.de/DE/aktuelles/messstelle/033530331.html>
aufgerufen am 24.03.2021
- [BMU 05] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT
Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI)
RS-Handbuch 3-23
7. Dezember 2005 (GMBI. 2006, Nr. 14-17, S. 254)
- [BMU 19] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND NUKLEARE SICHERHEIT
Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung
Jahresbericht 2018
Redaktioneller Stand: Dezember 2019
- [BOY 15] VERMESSUNGSBÜRO BOYSEN
Lageplan und Höhenangaben Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Zentrum für Material- und Küstenforschung GmbH
562CC038-03F0-474A-915E-0B9D89E7F950
zur Verfügung gestellt am 09.11.2015
- [BS 21] BRENK SYSTEMPLANUNG GMBH
Berechnung der potentiellen Strahlenexposition in der Umgebung des Helmholtz-Zentrums Geestacht durch Ableitungen mit der Fortluft gemäß AVV zu § 47 StrlSchV
BS-Projekt-Nr. 1807-02a
Rev. 3, Aachen, 16.06.2021
- [BS 21A] BRENK SYSTEMPLANUNG GMBH
Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung des Helmholtz-Zentrums Geestacht durch Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser nach AVV zu § 47 StrlSchV
BS-Projekt-Nr. 1806-02a
Rev. 2, Aachen, 20.08.2021

- [HER 13] HELMHOLTZ-ZENTRUM GEESTHACHT
Antrag nach § 7 Abs. 3 AtG auf Stilllegung des Forschungsreaktors FRG 1 und Abbau der Forschungsreaktoranlage und des Heißen Labors des Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Zentrum für Material- und Küstenforschung GmbH
21.03.2013
- [HER 16] HELMHOLTZ-ZENTRUM GEESTHACHT
Präzisierung des Antrags nach § 7 Abs. 3 AtG auf Stilllegung des Forschungsreaktors FRG 1 und Abbau der Forschungsreaktoranlage und des Heißen Labors des Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Zentrum für Material- und Küstenforschung GmbH vom 21. März 2013
06.09.2016
- [HER 16A] HELMHOLTZ-ZENTRUM GEESTHACHT
Antrag auf Genehmigung § 7 Strahlenschutzverordnung zum Umgang mit radioaktiven Stoffen in der Transportbereitstellungshalle (TBH) der Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Zentrum für Material- und Küstenforschung GmbH
06.09.2016
- [HER 16B] HELMHOLTZ-ZENTRUM GEESTHACHT
Sicherheitsbericht
Betrieb einer Transport- und Bereitstellungshalle (TBH)
Rev. 2, 01.11.2016
- [HER 16C] HELMHOLTZ-ZENTRUM GEESTHACHT
Sicherheitsbericht
Stilllegung des Forschungsreaktors FRG-1 und Abbau der Forschungsreaktoranlage und des Heißen Labors sowie die Zerlegung des Reaktordruckbehälters des Nuklearschiffs Otto Hahn
Rev. 2, 01.11.2016
- [HER 18] HELMHOLTZ-ZENTRUM GEESTHACHT
Errichtungs- und Betriebskonzept zum Neubau einer Zerlegehalle für die Zerlegung des RDB-OH
Erläuterungsbericht zur Stilllegung des Forschungsreaktors FRG-1 und Abbau der Forschungsreaktoranlage und des Heißen Labors sowie die Zerlegung des Reaktordruckbehälters des Nuklearschiffs Otto Hahn
16.04.2018
- [HER 19] HELMHOLTZ-ZENTRUM GEESTHACHT
Geb. 003 Reaktorgebäude Erdgeschoss Flur 10 (± 0.00 m), 20.06.2001, letzte Änderung am 12.09.2019
- [HER 21] HELMHOLTZ-ZENTRUM HEREON GMBH
Betriebshandbuch FRG
aktueller Stand

- [HER 22] HELMHOLTZ-ZENTRUM HEREON GMBH
Aktivitätsinventar des Reaktordruckbehälters des Nuklearschiffs Otto Hahn
Erläuterungsbericht zur Stilllegung des Forschungsreaktors FRG-1 und Abbau der Forschungsreaktoranlage und des Heißen Labors sowie die Zerlegung des Reaktordruckbehälters des Nuklearschiffs Otto Hahn
Bericht Nr. EB-FRG/HL/RDB-OH-18
- [ICR 10] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION
Conversion Coefficients for Radiological Protection Quantities for External Radiation Exposures
ICRP Publication 116, Ann. ICRP 40(2-5), 2010
- [HER 14] HELMHOLTZ-ZENTRUM HEREON GMBH
Ermittlung des Aktivitätsinventars der Forschungsreaktoranlage und des Heißen Labors Erläuterungsbericht zur Stilllegung des Forschungsreaktors FRG-1 und Abbau der Forschungsreaktoranlage und des Heißen Labors sowie die Zerlegung des Reaktordruckbehälters des Nuklearschiffs Otto Hahn
EB-FRG/HL/RDB-OH-07
- [LVG 16] LANDESAMT FÜR VERMESSUNG UND GEOINFORMATION SCHLESWIG-HOLSTEIN
DGM10 Auftragsnummer DP 58644/2016
23.08.2016
- [MCN 12] T. GOORLEY (MCNP6)
T. Goorley, et al., "Initial MCNP6 Release Overview", Nuclear Technology, 180, pp 298-315 (Dec 2012)
- [MPA 19] MATERIALPRÜFUNGSAMT NORDRHEIN-WESTFALEN
Technisches Datenblatt für das Flachglas-Umgebungsdosimeter
Stand: 27.12.2019
- [NIS 04] NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY (NIST), J. H. HUBBELL, S. M. SELTZER
X-Ray Mass Attenuation Coefficients - NIST Standard Reference Database 126
<https://dx.doi.org/10.18434/T4D01F>
Last Update to Data Content: July 2004, NISTIR 5632
- [OEC 21] OECD-NEA
ENDF/B-VIII.0 database
<https://www.oecd-nea.org/janisweb/tree/RDD/'ENDF/B-VIII.0'>
März 2021
- [RAD 07] RADOS TECHNOLOGY GMBH
Angebot RTG 07.0955 für Umgebungsdosimeter EDIS-1 Direct Ion Storage Dosimeter
Hamburg, 17. Oktober 2007

- [SSG 17] GESETZ ZUM SCHUTZ VOR DER SCHÄDLICHEN WIRKUNG IONISIERENDER STRAHLUNG (STRAHLENSCHUTZGESETZ – STRLSCHG)
Strahlenschutzgesetz vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966), zuletzt geändert Bekanntmachung vom 3. Januar 2022 (BGBl. I S. 15)
- [SSV 17] STRAHLENSCHUTZVERORDNUNG (STRLSCHV) IN DER FASSUNG VOM 20. JULI 2001
Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV)
Vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714, berichtigt BGBl. 2002 I S. 1459), zuletzt geändert durch Artikel 6 des Gesetzes vom 27. Januar 2017 (BGBl. I S. 114)
- [SSV 18] VERORDNUNG ZUM SCHUTZ VOR DER SCHÄDLICHEN WIRKUNG IONISIERENDER STRAHLUNG (STRAHLENSCHUTZVERORDNUNG – STRLSCHV)
Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV)
Strahlenschutzverordnung vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2036), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 8. Oktober 2021 (BGBl. I S. 4645)
- [WIE 05] WIELOPOLSKI, L.; SONG, Z.; ORION, I.; HANSON, A.L.; HENDREY, G.
Basic considerations for Monte Carlo calculations in soil
Applied Radiation and Isotopes 62 (2005) 97 – 107
- [WIL 06] WILLIAMS III, R.G.; GESH, C.J.; PAGH, R.T.
Compendium of Material Composition Data for Radiation Transport Modeling
Pacific Northwest National Laboratory, Operated by Battelle for the U.S. Department of Energy; April 2006

8 ANHANG

8.1 Materialzusammensetzungen im MCNP-Modell

Tabelle 8-1: Materialzusammensetzung für Beton im MCNP-Modell (ORNL concrete nach [WIL 06])

| Element | Massenanteil | Element | Massenanteil |
|---------|--------------|---------|--------------|
| H | 0,006488 | Si | 0,349085 |
| O | 0,518069 | K | 0,015324 |
| Na | 0,016577 | Ca | 0,045057 |
| Al | 0,035137 | Fe | 0,014411 |

Tabelle 8-2: Materialzusammensetzung für Stahl im MCNP-Modell (Stainless 304 nach [WIL 06])

| Element | Massenanteil | Element | Massenanteil |
|---------|--------------|---------|--------------|
| Cr | 0,19 | Fe | 0,695 |
| Mn | 0,02 | Ni | 0,095 |

Tabelle 8-3: Materialzusammensetzung für das Erdreich im MCNP-Modell (nach [WIE 05], PEGS4-Code)

| Element | Massenanteil | Element | Massenanteil |
|---------|--------------|---------|--------------|
| H | 0,0281 | Si | 0,2132 |
| C | 0,1443 | K | 0,0056 |
| O | 0,4964 | Ca | 0,0054 |
| Na | 0,0082 | Fe | 0,0096 |
| Al | 0,0893 | | |

Tabelle 8-4: Materialzusammensetzung für Luft im MCNP-Modell (nach [WIL 06])

| Element | Massenanteil | Element | Massenanteil |
|---------|--------------|---------|--------------|
| O | 0,231781 | C | 0,000124 |
| N | 0,755268 | Ar | 0,012827 |

8.2 Dosiskoeffizienten

Tabelle 8-5: Dosiskoeffizienten D nach [ICR 10] für die Umrechnung von Fluss in effektive Dosisleistung (in ROT-Geometrie)

| Energie [MeV] | D [pSv·cm ²] | Energie [MeV] | D [pSv·cm ²] | Energie [MeV] | D [pSv·cm ²] |
|---------------|--------------------------|---------------|--------------------------|---------------|--------------------------|
| 0,01 | 3,37E-02 | 1,117 | 4,10E+00 | 200 | 1,11E+02 |
| 0,015 | 6,64E-02 | 1,33 | 4,75E+00 | 300 | 1,21E+02 |
| 0,02 | 9,86E-02 | 1,5 | 5,24E+00 | 400 | 1,28E+02 |
| 0,03 | 1,58E-01 | 2 | 6,55E+00 | 500 | 1,33E+02 |
| 0,04 | 1,99E-01 | 3 | 8,84E+00 | 600 | 1,36E+02 |
| 0,05 | 2,26E-01 | 4 | 1,08E+01 | 800 | 1,42E+02 |
| 0,06 | 2,48E-01 | 5 | 1,27E+01 | 1000 | 1,45E+02 |
| 0,07 | 2,73E-01 | 6 | 1,44E+01 | 1500 | 1,52E+02 |
| 0,08 | 2,97E-01 | 6,129 | 1,46E+01 | 2000 | 1,56E+02 |
| 0,1 | 3,55E-01 | 8 | 1,76E+01 | 3000 | 1,61E+02 |
| 0,15 | 5,28E-01 | 10 | 2,06E+01 | 4000 | 1,65E+02 |
| 0,2 | 7,21E-01 | 15 | 2,77E+01 | 5000 | 1,68E+02 |
| 0,3 | 1,12E+00 | 20 | 3,44E+01 | 6000 | 1,70E+02 |
| 0,4 | 1,52E+00 | 30 | 4,61E+01 | 8000 | 1,72E+02 |
| 0,5 | 1,92E+00 | 40 | 5,60E+01 | 10000 | 1,75E+02 |
| 0,511 | 1,96E+00 | 50 | 6,44E+01 | | |
| 0,6 | 2,30E+00 | 60 | 7,12E+01 | | |
| 0,662 | 2,54E+00 | 80 | 8,20E+01 | | |
| 0,8 | 3,04E+00 | 100 | 8,97E+01 | | |
| 1 | 3,72E+00 | 150 | 1,02E+02 | | |

8.3 Gamma-Intensitäten

Tabelle 8-6: Intensitäten der Gamma-Linien von Co-60 für die Definition der Quelle im MCNP-Modell (Daten nach ENDF/B-VIII.0 [OEC 21])

| Energie [MeV] | Intensität |
|---------------|-----------------------|
| 0,34714 | $7,500 \cdot 10^{-5}$ |
| 0,8261 | $7,600 \cdot 10^{-5}$ |
| 1,173228 | $9,985 \cdot 10^{-1}$ |
| 1,332492 | $9,998 \cdot 10^{-1}$ |
| 2,15857 | $1,200 \cdot 10^{-5}$ |
| 2,505692 | $2,000 \cdot 10^{-8}$ |
| Summe | 1,999 |

Tabelle 8-7: Intensitäten der Gamma-Linien von Ba-137m als Tochternuklid des Cs-137 für die Definition der Quelle im MCNP-Modell (Daten nach ENDF/B- VIII.0 [OEC 21])

| Energie [MeV] | Intensität |
|---------------|------------|
| 0,00447 | 0,0091 |
| 0,031817 | 0,0199 |
| 0,032194 | 0,0364 |
| 0,036304 | 0,00348 |
| 0,036378 | 0,00672 |
| 0,037255 | 0,00213 |
| 0,2835 | 0,0000058 |
| 0,661657 | 0,851 |
| Summe | 0,9287 |

Tabelle 8-8: Intensitäten der Gamma-Linien Ag-108m für die Definition der Quelle im MCNP-Modell (Daten nach ENDF/B- VIII.0 [OEC 21])

| Energie [MeV] | Intensität |
|---------------|-------------|
| 0,03038 | 2,04081E-07 |
| 0,079131 | 0,066294 |
| 0,433937 | 0,904783 |
| 0,614276 | 0,8984495 |
| 0,722907 | 0,9084021 |
| Summe | 2,7779 |

Tabelle 8-9: Intensitäten der Gamma-Linien von Ba-133 für die Definition der Quelle im MCNP-Modell (Daten nach ENDF/B- VIII.0 [OEC 21])

| Energie [MeV] | Intensität |
|---------------|------------|
| 0,0531625 | 0,02199 |
| 0,0796139 | 0,0262 |
| 0,0809971 | 0,3406 |
| 0,1606109 | 0,00645 |
| 0,2232373 | 0,0045 |
| 0,2763997 | 0,07164 |
| 0,302851 | 0,1833 |
| 0,3560134 | 0,6205 |
| 0,383848 | 0,0894 |
| Summe | 1,3646 |

Tabelle 8-10: Intensitäten der Gamma-Linien von Eu-152 (Intensität $\geq 1\%$) für die Definition der Quelle im MCNP-Modell (Daten nach ENDF/B- VIII.0 [OEC 21])

| Energie [MeV] | Intensität |
|---------------|------------|
| 0,1217817 | 0,2866779 |
| 0,2446975 | 0,07606616 |
| 0,3442785 | 0,2655801 |
| 0,4111163 | 0,02237247 |
| 0,443965 | 0,03157565 |
| 0,778904 | 0,1296031 |
| 0,867373 | 0,04258416 |
| 0,964079 | 0,1464938 |
| 1,085869 | 0,1023792 |
| 1,089737 | 0,01729723 |
| 1,112069 | 0,1368547 |
| 1,212948 | 0,01426274 |
| 1,29914 | 0,0162535 |
| Summe | 1,6002 |

Tabelle 8-11: Intensitäten der Gamma-Linien von Eu-154 (Intensität $\geq 1\%$) für die Definition der Quelle im MCNP-Modell (Daten nach ENDF/B- VIII.0 [OEC 21])

| Energie [MeV] | Intensität |
|---------------|------------|
| 0,1230706 | 0,4040713 |
| 0,247929 | 0,06886628 |
| 0,591755 | 0,04949873 |
| 0,6924205 | 0,0177652 |
| 0,7233014 | 0,2006423 |
| 0,756802 | 0,04521418 |
| 0,8731834 | 0,1208034 |
| 0,99629 | 0,1048147 |
| 1,00476 | 0,1800904 |
| 1,274429 | 0,3483373 |
| 1,59648 | 0,0179742 |
| Summe | 1,653 |

8.4 Verifizierung der Ursache erhöhter Ortsdosiswerte im Bereich Messpunkt 11.4

Zur Verifizierung der erhöhten Ortsdosiswerte im Bereich des Messpunkts 11.4 wurden am 25.08.2021 Messungen der Ortsdosisleistung mit der Szintillatorsonde 6150 AD-b/E S/N 129561 und dem Messgerät Automess 6150 AD 6/E S/N 129445 durchgeführt. Die Lage der einzelnen Messpunkte kann Abbildung 8-1 entnommen werden. Die Entfernung bis zum nächsten Bereich mit genehmigungspflichtigen Umgang (Sammelstelle Gebäude 15) beträgt ca. 400 m. Zusätzlich ist in Abbildung 8-2 der jeweilige Untergrund an den einzelnen Messpunkten aus den Fotos ersichtlich.

Die Ergebnisse der Messwerte (H^*10) sind in Tabelle 8-12 zusammengestellt.

Tabelle 8-12: Ergebnisse der ODL Messung vom 25.08.2021

| Messpunkt | Untergrund | ODL [$\mu\text{Sv/h}$] |
|-----------|----------------|--------------------------|
| 1 | Granitpflaster | 0,146 |
| 2 | | 0,154 |
| 3 | | 0,150 |
| 4 | Gras | 0,106 |
| 5 | | 0,074 |
| 6 | | 0,088 |
| 7 | | 0,074 |



Abbildung 8-1: Lage der Messpunkte der ODL-Messung im Bereich 11.4

Die Messpunkte 1, 2 und 3 weisen als Untergrund Granitpflaster auf. Dort wird eine ODL von ca. $0,15 \mu\text{Sv/h}$ gemessen. Dieser Wert liegt deutlich über dem am Standort zu erwartenden Hintergrundwert (siehe Abschnitt 4.1).

Die Messpunkte 4, 5, 6 und 7 (nicht in Abbildung 8.2 dargestellt) weisen als Untergrund Gras auf. Für die Messpunkte 6 und 7 werden ODL-Werte von $< 0,08 \mu\text{Sv/h}$ ermittelt. Diese liegen im Rahmen der zeitlichen Schwankungen bei dem am Standort zu erwartenden Hintergrundwert. Die Messpunkte 4 ($0,11 \mu\text{Sv/h}$) und 6 ($0,088 \mu\text{Sv/h}$) liegen nahe des gepflasterten Bereichs und zeigen offensichtlich noch teilweise Einfluss des Granituntergrunds.



Abbildung 8-2: Zuordnung des Untergrunds der einzelnen ODL-Messung im Bereich 11.4