

Störfallanalyse für die Zerlegung 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-17

**Helmholtz-Zentrum hereon GmbH
Zentralabteilung Forschungsreaktor
Max-Planck-Straße 1
21502 Geesthacht**

Datum: 13.04.2023

Revision: 3

	Erstellt	Geprüft	Freigegeben
Firma	ISE	Hereon	Hereon
Name	██████	██████	██████████
Unterschrift	████████████████████	████████████████████	████████████████████

Änderungsverzeichnis

Revision	Datum	Änderungsgrund
0	19.02.2019	Erstellung
1	12.08.2022	Aktualisierung an geänderten Aktivitätsdaten des Aktivitätsinventarberichts Zerlegehalle RDB-OH (EB-FRG/HL/RDB-OH-12)
2	17.01.2023	Überarbeitungsbedarf aufgrund der Evidenzprüfung der Sachverständigen und der Genehmigungsbehörde zur Rev. 1 vom 12.09.2022.
3	13.04.2023	Überarbeitungsbedarf aufgrund der Evidenzprüfung der Sachverständigen und der Genehmigungsbehörde zur Rev. 2 vom 27.02.2023.

Dieser Bericht wurde in Zusammenarbeit mit der Firma

**ISE Ingenieurgesellschaft für
Stilllegung und Entsorgung mbH**
Carl-Zeiss-Straße 41
63322 Rödermark



Höfer und Bechtel GmbH
Ostring 1
63533 Mainhausen



erstellt.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	6
Begriffsbestimmungen	9
1 Einleitung	13
2 Ausgangssituation	15
2.1 Kontamination des RDB-OH und des Dampferzeugers	16
2.2 Aktivierung des RDB-OH	17
3 Vorgehensweise	19
3.1 Überblick über Störfallmöglichkeiten mit nicht geplanten Freisetzungen radioaktiver Stoffe	19
3.2 Methodik	21
3.2.1 Abdeckendes Ereignis	21
3.2.2 Berücksichtigung von Einzelfehlern	21
3.2.3 Weitere Randbedingungen und Annahmen	22
4 Einwirkungen von innen	24
4.1 Anlageninterner Brand (einschließlich Filterbrände)	24
4.1.1 Brand eines Behälters mit Putztüchern	24
4.1.2 Brand des Fortluftfilters	26
4.1.3 Sonstige Brände	27
4.2 Leckagen	28
4.3 Überflutung	29
4.4 Komponentensversagen	29
4.5 Ereignisse bei der Handhabung von Lasten und bei Transportvorgängen	30
4.5.1 Lastabsturz bei der Errichtung der Zerlegehalle	30
4.5.2 Lastabsturz beim Öffnen des Betonschachts	31
4.5.3 Lastabsturz beim Zerlegen des RDB-OH und beim Transport der abgebauten Komponenten innerhalb der Zerlegehalle	33
4.5.4 Lastabsturz beim Transport außerhalb der Anlagengebäude	36
4.5.5 Lastabsturz und Brand beim Transport außerhalb der Anlagengebäude	37
4.6 Anlageninterne Explosionen	38
4.7 Ausfälle und Störungen sicherheitstechnisch wichtiger Einrichtungen	38
4.7.1 Ausfälle und Störungen von Versorgungseinrichtungen	38
4.7.2 Ausfälle und Störungen von leittechnischen und Überwachungseinrichtungen	39
4.7.3 Ausfälle und Störungen von Brandschutzeinrichtungen	40
4.7.4 Ausfälle und Störungen von Lüftungsanlagen und Einrichtungen zur Rückhaltung radioaktiver Stoffe	41
5 Einwirkungen von außen	42
5.1 Naturbedingte Einwirkungen	42
5.1.1 Erdbeben	42
5.1.2 Überflutung (Hochwasser)	43
5.1.3 Regen (auch Starkregenereignisse)	44
5.1.4 Hagel	45
5.1.5 Sturm (einschließlich Tornado)	45
5.1.6 Schneefall	47
5.1.7 Schneelasten	48
5.1.8 Frost	48
5.1.9 Blitzschlag	48
5.1.10 Außergewöhnliche Hitzeperioden	48

5.1.11	Hohe oder niedrige Luftfeuchtigkeit	49
5.1.12	Biologische Einwirkungen (z. B. mikrobiologische Korrosion)	49
5.1.13	Waldbrände	49
5.2	Zivilisatorische Einwirkungen	50
5.2.1	Flugzeugabsturz (auslegungsüberschreitend)	50
5.2.2	Anlagenexterne Explosion (auslegungsüberschreitend)	54
5.2.3	Eindringen gefährlicher Stoffe	56
5.2.4	Anlagenexterner Brand	57
5.3	Beeinflussung durch Störfälle in benachbarten Anlagen	57
5.4	Ereignisse, die nicht durch das Ereignisspektrum im Abschnitt 9.1 und 9.2 der ESK-Leitlinien abgedeckt sind	58
5.4.1	Erdrutsche	58
6	Betrachtung des abdeckenden Störfalls	59
6.1	Auswahl des Störfalls für die Ausbreitungs- und Dosisrechnung	59
6.2	Berechnung der Exposition in der Umgebung infolge des abdeckenden Störfalls	60
6.2.1	Berechnung der Exposition infolge eines potentiellen Lastabsturzes und Brand beim Transport außerhalb der Anlagengebäude	61
6.2.2	Berechnung der Exposition infolge eines potentiellen Erdbebens	62
6.3	Vergleich der ermittelten Dosiswerte mit den Grenzwerten der StrISchV	63
7	Betrachtung des auslegungsüberschreitenden Störfalls	64
7.1	Berechnung der Exposition infolge eines potentiellen Flugzeugabsturzes	64
7.2	Vergleich der ermittelten Dosiswerte des auslegungsüberschreitenden Störfalls mit den radiologischen Kriterien der Notfall-Dosiswerte-Verordnung	67
8	Zusammenfassung	68
	Literatur und verwendete Gesetze	69

Anlagenverzeichnis

Anlage 1:	Berechnung der Exposition in der Umgebung infolge eines potentiellen Lastabsturzes und Brand beim Transport außerhalb der Anlagengebäude	74
Anlage 2:	Berechnung der Exposition in der Umgebung infolge eines potentiellen Erdbebens	77
Anlage 3:	Berechnung der Exposition in der Umgebung infolge eines potentiellen Flugzeugabsturzes	80

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 5-1:	Karte der beobachteten Tornados (rot: F3, gelb: F2, grün: ≤F1)	46
----------------	--	----

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Zerfallskorrigierter Nuklidvektor der Kontamination des RDB-OH und des Dampferzeugers	16
Tabelle 2-2:	Zerfallskorrigierter Nuklidvektor der Aktivierung des RDB-OH	18
Tabelle 4-1:	Ermittlung des Quellterms beim Brand eines 200-l-Fasses mit Putztüchern	25
Tabelle 4-2:	Ermittlung des Quellterms bei einem Brand des Fortluftfilters	27
Tabelle 4-3:	Ermittlung des Quellterms bei Lastabsturz beim Öffnen des Betonschachts	33
Tabelle 4-4:	Ermittlung des Quellterms beim Absturz des Dampferzeugers	35
Tabelle 4-5:	Ermittlung der Freisetzung bei potentiellm Lastabsturz beim Transport außerhalb der Anlagengebäude	37
Tabelle 4-6:	Ermittlung der Freisetzung bei potentiellm Lastabsturz und Brand beim Transport außerhalb der Anlagengebäude	38
Tabelle 5-1:	Ermittlung des Quellterms bei einem Erdbeben	43
Tabelle 5-2:	Ermittlung des Quellterms bei einem Flugzeugabsturz	52
Tabelle 5-3:	Nuklidspezifische Ermittlung des Quellterms bei einem Flugzeugabsturz	52
Tabelle 6-1:	Auswahl des abdeckenden Störfalls für die Ausbreitungsrechnung	59
Tabelle 6-2:	Nuklidspezifische Freisetzungen in die Umgebung der Störfälle <i>Lastabsturz und Brand beim Transport außerhalb der Anlagengebäude</i> und <i>Erdbeben</i>	60
Tabelle 7-1:	Nuklidspezifischer Quellterm für die Ausbreitungs- und Dosisrechnung mit SAFER 2	66

Abkürzungsverzeichnis

Abs.	Absatz
ADR	Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße
AED	aerodynamisch äquivalenter Partikeldurchmesser
AGG	Abfallgebindegruppe
AtG	Atomgesetz
BAnz.	Bundesanzeiger
BetrSichV	Betriebssicherheitsverordnung
BGBI.	Bundesgesetzblatt
BK	Belastungsklasse
Bq	Becquerel, Maßeinheit der Aktivität
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
DIN	Deutsches Institut für Normung
DVGW	Deutscher Verband des Gas- und Wasserfachs
DWD	Deutscher Wetterdienst
DWR	Druckwasserreaktor
EN	Europäische Norm
ESK	Entsorgungskommission
ESWD	Europäische Unwetterdatenbank (European Severe Weather Database)
etc.	et cetera
EVA	Einwirkungen von außen

EVI	Einwirkungen von innen
evtl.	eventuell
FRG	Forschungsreaktoranlage Geesthacht
FRG-1	Forschungsreaktor Geesthacht - 1
FRG-2	Forschungsreaktor Geesthacht - 2
GGBVOHH	Gefahrgut- und Brandschutzverordnung Hafen Hamburg
GGVSEB	Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt
GKSS	Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schifffahrt mbH
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GRS	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit
HAKONA	Halle zur Komponenten Nachuntersuchung
HEPA	Schwebstofffilter (HEPA = High-Efficiency Particulate Air/Arrestance)
Hereon	Helmholtz-Zentrums hereon GmbH
HL	Heißes Labor
HmbGVBl.	Hamburgisches Gesetz- und Verordnungsblatt
HTTF 2	Hydrogen Tank Testing Facility 2
HZG	Helmholtz-Zentrum Geesthacht
KKK	Kernkraftwerk Krümmel
KOSTRA	Starkregenkatalog des Deutschen Wetterdienstes
KTA	Kerntechnischer Ausschuss
max.	maximal
NDWV	Notfall-Dosiswerte-Verordnung
Nr.	Nummer

NS	Nuklearschiff
RDB	Reaktordruckbehälter
RDB-OH	Reaktordruckbehälter mit Schildtank des Nuklearschiffs Otto Hahn
Rev.	Revision
RSK	Reaktor-Sicherheitskommission
S.	Seite
SprengV	Verordnung zum Sprengstoffgesetz
SSK	Strahlenschutzkommission
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung
STWG	Stadtwerke Geesthacht
Sv	Sievert, Maßeinheit verschiedener gewichteter Strahlendosen
SZK	Standort-Zwischenlager des Kernkraftwerks Krümmel
ü. NN	über Normalnull (Höhe über dem Meeresspiegel)
z. B.	zum Beispiel

Begriffsbestimmungen

Abbau	Der Abbau einer kerntechnischen Anlage umfasst die Beseitigung von Strukturen (Gebäuden, Systeme, Komponenten), die Regelungsgegenstand der Genehmigung zur Errichtung und zum Betrieb der Anlage nach § 7 Abs. 1 AtG /1/ waren oder entsprechend zu bewerten sind.
Abfall, radioaktiv	Radioaktive Stoffe im Sinne des § 2 Abs. 1 AtG, die nach § 9a AtG geordnet beseitigt werden müssen, ausgenommen Ableitungen im Sinne des § 99 StrlSchV /2/.
Abfallgebinde	Einheit aus Abfallprodukt (auch in Innenbehältern) und für das Endlager Konrad zugelassenem Abfallbehälter.
Abfallprodukt	Verarbeiteter radioaktiver Abfall ohne Verpackung und Abfallbehälter.
Abluft	Die aus einem Gebäude oder einem Raum abgeführte Luft.
Aktivierung	Vorgang, bei dem ein Material durch Beschuss mit Neutronen, Protonen oder anderen Teilchen radioaktiv wird.
Aktivität	Zahl der je Sekunde in einer radioaktiven Substanz zerfallenden Atomkerne. Die Maßeinheit ist das Becquerel (Bq).
Aktivität, spezifische	Verhältnis der Aktivität eines Radionuklids zur Masse des Materials, in dem das Radionuklid verteilt ist.
Aktivitätskonzentration	Verhältnis der Aktivität eines Radionuklids zum Volumen des Materials, in dem das Radionuklid verteilt ist.

Anlage	Zur Anlage gehören alle Teile, die in einem Genehmigungsverfahren nach § 7 Abs. 1 und § 9 Abs. 1 AtG erfasst worden sind. Da sich die Anlage während des Stilllegungsverfahrens (ausgenommen ist der sichere Einschluss) in einer ständigen physischen Veränderung befindet, können sich Art und Umfang der Anlage z. B. durch Entlassungen mit dem Fortschritt der Stilllegungsarbeiten ändern.
Bearbeitung	Zerlegung, Sortierung, Sammlung, vorübergehende Lagerung während der Bearbeitung und Dekontamination von radioaktiven Reststoffen sowie Aktivitätsmessungen an radioaktiven Reststoffen.
Dekontamination	Beseitigung oder Verminderung einer Kontamination.
Exposition	Einwirkung ionisierender Strahlung auf den menschlichen Körper. Ganzkörperexposition ist die Einwirkung ionisierender Strahlung auf den ganzen Körper, Teilkörperexposition ist die Einwirkung ionisierender Strahlung auf einzelne Organe, Gewebe oder Körperteile. Äußere Exposition ist die Einwirkung durch Strahlungsquellen außerhalb des Körpers, innere Exposition ist die Einwirkung durch Strahlungsquellen innerhalb des Körpers
Forschungsreaktoranlage	Die Forschungsreaktoranlage (FRG) besteht aus dem FRG-1 und den noch vorhandenen Anlagenteilen des FRG-2.
Fortluft	In das Freie abgeführte Abluft.
Fortluftkamin	Zentrale Abgabestelle, die die Abluft der über Filter geleiteten Luft aus den Kontroll- und Sperrbereichen der Anlage emittiert.

Kontamination	Verunreinigung mit radioaktiven Stoffen, die die nicht festhaftende, die festhaftende und die über die Oberfläche eingedrungene Aktivität umfasst. Die Einheit der Messgröße der Oberflächenkontamination ist die flächenbezogene Aktivität in Becquerel pro Quadratcentimeter.
Kontrollbereich	Bereich, in dem Personen im Kalenderjahr eine effektive Dosis von mehr als 6 mSv oder höhere Organdosen als 45 mSv für die Augenlinse oder 150 mSv für die Haut, die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel erhalten können.
Nuklid	Eine durch seine Protonenzahl, Neutronenzahl und seinen Energiezustand charakterisierte Atomart.
Radioaktivität	Eigenschaft bestimmter Stoffe, sich ohne äußere Einwirkung umzuwandeln und dabei eine charakteristische Strahlung auszusenden.
Restbetrieb	Als Restbetrieb wird der Betrieb aller für die Stilllegung notwendigen Versorgungs-, Sicherheits- und Hilfssysteme sowie der Betrieb der für den Abbau von Komponenten, Systemen und Gebäuden notwendigen Einrichtungen nach Erteilung der Stilllegungsgenehmigung bezeichnet.
Reststoffe, radioaktiv	Während der Stilllegung und des Abbaus anfallende Stoffe, bewegliche Gegenstände, Anlagen und Anlagenteile, die kontaminiert und/oder aktiviert sind und schadlos verwertet oder als radioaktiver Abfall geordnet beseitigt werden.
Stilllegung	Der Begriff „Stilllegung“ bezieht sich im Atomgesetz auf die Maßnahmen in der zeitlichen Phase zwischen endgültiger Betriebs-einstellung einerseits und dem Beginn des sicheren Einschusses oder des Abbaus der Anlage oder von Anlagenteilen andererseits.

Störfall	Ereignisablauf, bei dessen Eintreten der Abbaubetrieb oder die Tätigkeiten aus sicherheitstechnischen Gründen nicht fortgeführt werden können und für den die Zerlegehalle des RDB-OH auszulegen ist oder für den bei Tätigkeiten Schutzvorkehrungen vorzusehen sind.
Strahlenschutz	Der Schutz des Menschen und der Umwelt vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung.
System	Zusammenfassung von Komponenten zu einer technischen Einrichtung, die als Teil der Anlage selbstständige Funktionen ausführt.

1 Einleitung

Auf dem Gelände des Helmholtz-Zentrums hereon GmbH (Hereon) ehemals Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Zentrum für Material- und Küstenforschung GmbH (HZG), in unmittelbarer Nähe zur Betriebsstätte der Forschungsreaktoranlage Geesthacht, befindet sich der kernbrennstofffreie Reaktordruckbehälter mit Schildtank des Nuklearschiffs Otto Hahn (RDB-OH). Dieser wurde im Juni 1981 im Hamburger Hafen ausgebaut und zur Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schifffahrt mbH (GKSS), dem heutigen Hereon, transportiert und seitdem in einem eigens dafür errichteten Schachtbauwerk (Betonschacht) gelagert.

Im Rahmen der „Denuklearisierung“ des Standorts Hereon soll der RDB-OH vor Ort zerlegt werden. Hierfür wird über dem bestehenden Betonschacht eine überwiegend oberirdische Zerlegehalle errichtet.

Die Zerlegung des Reaktordruckbehälters mit Schildtank soll zusammen mit dem Abbau der Forschungsreaktoranlage (FRG) und des Heißen Labors (HL) im Rahmen einer einzigen und umfassenden Stilllegungs- und Abbaugenehmigung nach § 7 Abs. 3 Atomgesetz (AtG) /1/ durchgeführt werden. Eine Stilllegungs- und Abbaugenehmigung darf nur erteilt werden, wenn die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden durch die Stilllegung und den Abbau getroffen ist (§ 7 Abs. 3 Satz 2 in Verbindung mit § 7 Abs. 2 Nr. 3 AtG /1/). Im Rahmen dieser Störfallanalyse wird nachgewiesen, dass die Exposition bei den für die Zerlegung zu unterstellenden Störfällen immer unterhalb des Störfallplanungswertes liegt.

Gemäß § 104 Abs. 3 und 4 in Verbindung mit Abs. 6 Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) /2/ sind bei der Planung bauliche oder technische Schutzmaßnahmen unter Berücksichtigung des potenziellen Schadensausmaßes zu treffen, um die Exposition bei Störfällen durch die Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung zu begrenzen. Die Bundesregierung erlässt mit Zustimmung des Bundesrates allgemeine Verwaltungsvorschriften, in denen Schutzziele zur Störfallvorsorge festgelegt werden. Bis zu deren Inkrafttreten ist gemäß § 194 StrlSchV /2/ bei der Planung die Störfallexposition so zu begrenzen, dass die durch die Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung verursachte effektive Dosis von 50 mSv (Störfallplanungswert) nicht überschritten wird. In Anlehnung an § 193 Abs. 1 wird für die Ausbreitungs- und Dosisrechnung weiterhin das Modell (Gauß-Fahnenmodell) des Kapitel 4 der Störfallberechnungsgrundlagen /3/ angewendet.

Darüber hinaus wird gezeigt, dass die gemäß der radiologischen Kriterien für die Angemessenheit von Schutzmaßnahmen der Notfall-Dosiswerte-Verordnung (NDWV) /4/ ermittelte Exposition in der Umgebung des Standorts Hereon den für sehr seltene und auslegungsüberschreitende Ereignisse maßgeblichen Eingreifrichtwerte für frühe Notfallschutzmaßnahmen nicht überschreitet.

2 Ausgangssituation

Die für die Zerlegung des Reaktordruckbehälters mit Schildtank des Nuklearschiffs Otto Hahn zu treffenden Vorsorgemaßnahmen richten sich nach dem noch im Reaktordruckbehälter und im Schildtank vorhandenen Gefährdungspotenzial und der Wahrscheinlichkeit des Eintritts eines Störfalls.

Das Gefährdungspotenzial ist bereits mit der Stilllegung des nuklearen Antriebs des Nuklearschiffs Otto Hahn im Jahr 1979 und dem Entfernen der Brennelemente deutlich verringert worden. Darüber hinaus lagert der RDB-OH seit über 40 Jahren in einem eigens dafür errichteten Schachtbauwerk (Betonschacht). Durch den radioaktiven Zerfall verringerte sich in diesem Zeitraum das Aktivitäts- und Dosisleistungsniveau. Ferner fehlt bei den zu unterstellenden Ereignissen weitgehend das Potenzial zur Freisetzung radioaktiver Stoffe. So fehlen z. B. das Energiepotenzial, das beim Reaktorbetrieb aus der Kernspaltung zur Neutronenerzeugung resultiert und gleichzeitig das hohe Aktivitätsinventar der Brennelemente. Das Gefährdungspotenzial resultiert somit im Wesentlichen aus dem noch vorhandenen, nicht fest gebundenen Aktivitätsinventar (im Wesentlichen ein Teil der im RDB-OH vorhandenen Kontamination), das bei Störfällen, z. B. bei der Zerlegung bzw. beim Transport von Anlagenteilen sowie beim Umgang mit radioaktiven Reststoffen und Abfällen, anteilig in die Umgebung freigesetzt werden kann. Mit der Errichtung der Zerlegehalle werden darüber hinaus entsprechende Barrieren zum Einschluss der radioaktiven Stoffe geschaffen.

Die Abschätzung des Gesamtaktivitätsinventars des RDB-OH ergab einen Wert von ca. $7,8 \text{ E}13 \text{ Bq} /5/$. Das Aktivitätsinventar ist zu fast 100 % fest in den aktivierten Strukturen der Kerneinbauten des RDB eingebunden und somit nicht unmittelbar freisetzbar. Die Kontamination an den inneren Oberflächen beträgt mit ca. $1,5 \text{ E}12 \text{ Bq}$ ca. 2 % des Gesamtaktivitätsinventars (/5/, Tabelle 2). Aufgrund der sehr großen Oberfläche der Dampferzeuger-Heizrohre stellt der Dampferzeuger dabei die hinsichtlich Kontamination relevante Komponente dar. Im Vergleich zum RDB-OH beträgt das Gesamtaktivitätsinventar eines modernen Druckwasserreaktors nach Abtransport der Brennelemente ca. $1,0 \text{ E}17 \text{ Bq}$.

Mit der Einstellung des Reaktorbetriebs und dem Abtransport der Brennelemente sind die Schutzziele „Kontrolle der Reaktivität“ und „Kühlung der Brennelemente“ entfallen. Für die Zerlegung verbleiben als Schutzziele der „Einschluss der radioaktiven Stoffe“ und die „Begrenzung der Exposition“.

2.1 Kontamination des RDB-OH und des Dampferzeugers

Die Gesamtkontamination des RDB-OH (1,48 E12 Bq) ist in dem Erläuterungsbericht *Aktivitätsinventar des Reaktordruckbehälters des Nuklearschiffs Otto Hahn /5/* in Tabelle 2 beschrieben.

Die Aktivität aufgrund der Kontamination des Dampferzeugers ergibt sich dabei aus dem anfänglichen Aktivitätsanteil (siehe /5/, Tabelle 1) der Dampferzeugerrohre (ca. 1,89 E12 Bq) und des Dampferzeugerzylinders (ca. 4,07 E10 Bq) im Verhältnis zur anfänglichen Gesamtkontamination des RDB-OH (ca. 2,81 E12 Bq). Als Anteil des Dampferzeugers (Rohre und Zylinder) ergibt sich ca. 67,1 %.

Dieser Anteil wird auf den zerfallskorrigierten Nuklidvektor (/5/, Tabelle 2) angewendet. Es ergibt sich der in Tabelle 2-1 zusammengefasste Nuklidvektor für die Kontamination des Dampferzeugers.

Tabelle 2-1: Zerfallskorrigierter Nuklidvektor der Kontamination des RDB-OH und des Dampferzeugers

Nuklid	Zerfallskorrigierter nuklid-spezifischer Anteil	Zerfallskorrigierte Kontamination [Bq]	
		RDB-OH	Dampferzeuger
C-14	2,00 E-05	2,95 E07	2,03 E07
Co-60	1,20 E-03	1,78 E09	1,22 E09
Ni-63	9,89 E-01	1,46 E12	1,00 E12
Sr-90	5,24 E-04	7,75 E08	5,31 E08
Nb-94	5,24 E-05	7,75 E07	5,31 E07
Ag-108m	3,55 E-06	5,25 E06	3,60 E06
Cs-137	4,56 E-03	6,73 E09	4,62 E09
Eu-154	6,44 E-06	9,51 E06	6,53 E06
U-234	4,80 E-06	7,09 E06	4,86 E06
U-235	6,83 E-07	1,01 E06	6,93 E05
U-238	3,61 E-06	5,33 E06	3,66 E06
Pu-238	1,42 E-04	2,10 E08	1,44 E08
Pu-239	4,40 E-04	6,51 E08	4,47 E08

Nuklid	Zerfallskorrigierter nuklid-spezifischer Anteil	Zerfallskorrigierte Kontamination [Bq]	
		RDB-OH	Dampferzeuger
Pu-240	4,40 E-04	6,51 E08	4,46 E08
Pu-241	1,97 E-03	2,91 E09	1,99 E09
Am-241	1,43 E-03	2,11 E09	1,45 E09
Am-242m	1,50 E-04	2,21 E08	1,52 E08
Am-243	2,48 E-06	3,66 E06	2,51 E06
Cm-243	5,89 E-06	8,71 E06	5,97 E06
Cm-244	5,22 E-06	7,71 E06	5,29 E06
Summe	1,00 E00	1,48 E12	1,01 E12

Die Nuklidverteilung basiert auf der Auswertung einer Abwasserprobe des RDB-OH (Schlammprobe). Da die Schlämme aus Ablagerungen von aktivierten und aus Brennstabschäden stammenden Feststoffpartikeln bestehen, die sich im Laufe der gesamten Betriebszeit des NS Otto Hahn abgesetzt haben und über das Primärwasser im Austausch mit dem gesamten Innenraum des RDB standen, ist diese Probe bezüglich der Innenkontamination hinreichend repräsentativ.

2.2 Aktivierung des RDB-OH

Die Gesamtaktivierung des RDB-OH ($7,85 \text{ E}13 \text{ Bq}$) ist in dem Erläuterungsbericht *Aktivitätsinventar des Reaktordruckbehälters des Nuklearschiffs Otto Hahn /5/* in Tabelle 3 beschrieben und in der Tabelle 2-2 zusammengefasst.

Tabelle 2-2: Zerfallskorrigierter Nuklidvektor der Aktivierung des RDB-OH

Nuklid	Zerfallskorrigierter nuklidspezifischer Anteil	Zerfallskorrigierte Aktivierung RDB-OH [Bq]
H-3	7,07 E-05	5,55 E09
C-14	1,34 E-03	1,05 E11
Ar-39	1,30 E-07	1,02 E07
Fe-55	2,85 E-04	2,24 E10
Co-60	1,81 E-02	1,42 E12
Ni-59	1,04 E-02	8,16 E11
Ni-63	9,55 E-01	7,50 E13
Sr-90	1,78 E-08	1,40 E06
Nb-91	6,89 E-07	5,41 E07
Nb-93m	1,21 E-02	9,48 E11
Nb-94	1,26 E-03	9,89 E10
Mo-93	2,13 E-05	1,67 E09
Tc-99	3,54 E-06	2,78 E08
Cs-137	3,69 E-08	2,90 E06
Pu-241	1,91 E-08	1,50 E06
Summe:	1,00 E00	7,85 E13

3 Vorgehensweise

Im Rahmen dieser Störfallanalyse werden die Störfälle (Ereignisse) ermittelt, die während der Errichtung der Zerlegehalle und der Zerlegung des Reaktordruckbehälters mit Schildtank des Nuklearschiffs Otto Hahn zu unterstellen sind. Die zu betrachtenden Ereignisse werden in zwei Gruppen unterteilt:

- Ereignisse durch „Einwirkungen von innen (EVI)“
- Ereignisse durch „Einwirkungen von außen (EVA)“

Zunächst werden die zu betrachtenden Ereignisse zusammengestellt und geprüft, in wie weit diese auf die Errichtung der Zerlegehalle und die Zerlegung des RDB-OH anzuwenden und näher zu betrachten sind. Für die dosisrelevanten Ereignisse wird die mögliche Freisetzung von Radioaktivität in die Umgebung (Quellterm) ermittelt. Die Berechnung der Folgedosis in der Umgebung wird unter Anwendung der Störfallberechnungsgrundlagen /3/ durchgeführt. Anschließend erfolgt eine zusammenfassende Bewertung durch Vergleich der potenziellen radiologischen Auswirkungen mit dem gesetzlichen Grenzwert.

Über die zu betrachtenden Störfälle hinaus wird als sehr seltenes, auslegungsüberschreitendes Ereignis der Flugzeugabsturz auf die Zerlegehalle betrachtet. Die Folgen eines Flugzeugabsturzes werden als abdeckendes Ereignis entsprechend der radiologischen Kriterien für die Angemessenheit von Schutzmaßnahmen der Notfall-Dosiswerte-Verordnung (NDWV) /4/ betrachtet und bewertet.

3.1 Überblick über Störfallmöglichkeiten mit nicht geplanten Freisetzungen radioaktiver Stoffe

Für die Errichtung der Zerlegehalle und die Zerlegung des RDB-OH ergeben sich gemäß den ESK-Leitlinien für die Konditionierung von radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung /6/ die folgenden zu betrachtenden Ereignisse:

- Einwirkungen von innen (EVI):
 - Anlageninterner Brand (einschließlich Filterbrände),
 - Leckagen,
 - Überflutung,
 - Komponentenversagen,

- Ereignisse bei der Handhabung von Lasten und bei Transportvorgängen:
 - Lastabsturz bei der Errichtung der Zerlegehalle,
 - Lastabsturz beim Öffnen des Betonschachts,
 - Lastabsturz beim Zerlegen des RDB-OH,
 - Lastabsturz beim Transport außerhalb der Anlagengebäude,
 - Lastabsturz und Brand beim Transport außerhalb der Anlagengebäude,
- Anlageninterne Explosionen,
- Ausfälle und Störungen sicherheitstechnisch wichtiger Einrichtungen:
 - Ausfälle und Störungen von Versorgungseinrichtungen,
 - Ausfälle und Störungen von leittechnischen und Überwachungseinrichtungen,
 - Ausfälle und Störungen von Brandschutzeinrichtungen,
 - Ausfälle und Störungen von Lüftungsanlagen und Einrichtungen zur Rückhaltung radioaktiver Stoffe.
- Einwirkungen von außen (EVA):
 - Naturbedingte Einwirkungen:
 - Erdbeben,
 - Überflutung (Hochwasser),
 - Regen (auch Starkregenereignisse),
 - Hagel,
 - Sturm (einschließlich Tornado),
 - Schneefall,
 - Schneelasten,
 - Frost,
 - Blitzschlag,
 - außergewöhnliche Hitzeperioden,
 - hohe oder niedrige Luftfeuchtigkeit,
 - biologische Einwirkungen (z. B. mikrobiologische Korrosion),
 - Waldbrände,
 - Zivilisatorisch bedingte Einwirkungen:
 - Flugzeugabsturz (auslegungsüberschreitend),
 - anlagenexterne Explosion (auslegungsüberschreitend),
 - Eindringen gefährlicher Stoffe,
 - anlagenexterner Brand,
 - Beeinflussung durch Störfälle in benachbarten Anlagen,

- Ereignisse, die nicht durch das Ereignisspektrum im Abschnitt 9.1 und 9.2 der ESK-Leitlinien abgedeckt sind:
 - Erdbeben.

3.2 Methodik

In den Kapiteln 4 und 5 werden für die zu betrachtenden Störfälle die Fälle mit den größten Freisetzungspotential ermittelt. In Kapitel 6 bzw. 7 erfolgt dann die entsprechende Ausbreitungs- und Dosisrechnung für das abdeckende Ereignis zur Ermittlung der Exposition in der Umgebung.

3.2.1 Abdeckendes Ereignis

Sofern in einem Ereignisverlauf Folgen eines Ereignisses eintreten, die bereits separat unterstellt und beschrieben sind, wird dieses Ereignis durch das andere abgedeckt, da diese zum gleichen Ergebnis führen, z. B.:

- Eindringen von gefährlichen Gasen / außergewöhnliche Hitzeperioden etc. → Fehlbedienung durch das Personal (Handhabungsfehler) → Lastabsturz.

Ebenso wird ein Ereignis als abdeckend betrachtet, wenn im Vergleich zu anderen Ereignissen ein entsprechend deutlich größeres Schadensbild und Freisetzungspotential zu erwarten ist, wie z. B.:

- Lastabsturz aus unterschiedlichen Höhen,
- Lastabsturz mit und ohne Stützbrand,
- Lastabsturz innerhalb und außerhalb von Gebäuden (mit und ohne Fortluftfilterung).

3.2.2 Berücksichtigung von Einzelfehlern

Im Zerlegebetrieb wird kein Einzelfehler in den Sicherheitseinrichtungen unterstellt, da entweder

- das Einzelfehlerkonzept nicht anwendbar ist,
z. B. bei Freisetzungen außerhalb der Gebäude,
- Komponenten und Anlagenteile entsprechend ausgelegt sind (Vorsorge / Redundanzen),
z. B. als Auffangwanne ausgebildete Gebäudestrukturen, Brandschutzwände, Blitzschutzanlage,
- Einzelfehler sich nicht störfallverschärfend auswirken,
z. B. Ausfall der Fortluftanlage.

In einigen der folgenden Auslegungsstörfälle wird die Rückhaltung durch den Schwebstofffilter der Fortluftanlage unterstellt. Bei einer zusätzlich unterstellten Störung oder Ausfall der Fortluftanlage oder durch auch Auslösung der Brandmeldeanlage führt dies letztendlich dazu, dass automatisch die Lüftungsklappen schließen und damit keine dosisrelevante Freisetzung aus der Zerleghalle erfolgt.

Es wird unterstellt, dass die Integrität der Gebäude und Gebäudestrukturen bei den Auslegungsstörfällen intakt bleiben.

3.2.3 Weitere Randbedingungen und Annahmen

Für die Abschätzung der Folgedosis des Personals bei einer Freisetzung von radioaktiven Stoffen in der Raumluft (siehe Kapitel 4.5 und 5.1.1) werden die folgenden Parameter angenommen:

- Atemrate: 3,8 E-4 m³/s /3/
- Inhalationszeit: 30 s

Grundlage für die Ermittlung der Dosis sind die in /7/ hinterlegten Dosiskoeffizienten der zu betrachtenden Nuklide, die mit ihrem jeweiligen Aktivitätsanteil multipliziert und über alle betrachteten Nuklide aufsummiert werden. Konservativ wird für die Inhalationsdosis die Absorptionsklasse und chemische Form mit den höchsten Dosiskoeffizienten für beruflich exponiertes Personal verwendet.

Beiträge durch die störfallbedingte Direktstrahlung freigesetzter Schwebstoffe in die Anlagenatmosphäre sind ca. 5 Größenordnungen kleiner als die Dosisbeiträge durch Inhalation und daher vernachlässigbar.

Bei den folgenden Betrachtungen werden Aktivitäten bzw. Aktivitätskonzentrationen insofern als „nicht relevant“ bezeichnet, wenn diese aufgrund der Geringfügigkeit nicht dosisrelevant (Absolutwert) sind. Ebenso erfolgt diese Bezeichnung, wenn ein entsprechender Beitrag im Verhältnis zu anderen Beiträgen oder der Gesamtaktivität vernachlässigbar ist.

4 Einwirkungen von innen

4.1 Anlageninterner Brand (einschließlich Filterbrände)

Der Brandschutz in der Zerleghalle basiert insgesamt auf einer Kombination von bautechnischen, anlagentechnischen und administrativen Brandschutzmaßnahmen. Eine Begrenzung der Folgen von Bränden und eine Verhinderung unzulässiger Freisetzungen radioaktiver Stoffe werden durch Maßnahmen wie frühzeitige Branderkennung mittels Brandmeldeanlage, Abtrennung betroffener Bereiche und geeignete Löschmaßnahmen gewährleistet.

Das Brandpotenzial in der Zerleghalle ist aufgrund der geringen Mengen an brennbaren Stoffen, wie Kabeln, Gase, Schmier- und Hydraulikölen relativ gering. Ein Brand von Kabeln beispielsweise würde darüber hinaus räumlich beschränkt bleiben und hätte außer einem Arbeitsausfall keine Folgen. In den Zerlegebereichen wird nicht mit brennbaren festen oder flüssigen Stoffen umgegangen, so dass auch keine brennbaren Stoffe auf die Filter gelangen können.

Bei der Zerlegung höher kontaminierter und aktivierter Bauteile werden thermische Zerlegungsverfahren grundsätzlich unter Wasser angewendet. Davon weicht lediglich das Schneiden des RDB in Schüsse ab. Aufgrund der bei Heißarbeiten vor, während und nach Abschluss der jeweiligen Maßnahme getroffenen Brandschutzmaßnahmen können Brände im zu betrachtenden Bereich frühzeitig detektiert und bei Entstehung unmittelbar bekämpft werden. Die erforderlichen Maßnahmen sind damit getroffen, um größere Brände zu verhindern.

Die während der Durchführung der Maßnahmen einzubringenden zusätzlichen Brandlasten sind ebenfalls gering. Auswirkungen durch das Ereignis Brand sind somit nicht zu befürchten.

4.1.1 Brand eines Behälters mit Putztüchern

Ungeachtet des Brandschutzes und geringer Brandlasten wird der Brand eines Behälters, der mit kontaminierten Putztüchern gefüllt ist, unterstellt. Der unterstellte Brand bleibt auf einen Behälter beschränkt, da sichergestellt wird, dass immer nur 1 Behälter an einem Arbeitsplatz für die Sammlung von brennbaren Abfällen offensteht. Weitere in der Anlage vorhandene brennbare Abfälle befinden sich in geschlossenen Gebinden (z. B. 200-l-Fass).

Die höchste, großflächige Kontamination ist im Bereich der Nachzerlegung zu erwarten. Der Bereich wird regelmäßig durch Abwischen der Oberfläche dekontaminiert. Die zu dekontaminierende Oberfläche des Nachzerlegebereiches beträgt ca. 80 m². Es wird von einer mittleren Kontamination der Oberfläche von 10 Bq/cm² ausgegangen. Die Putztücher werden nach Gebrauch in einem 200-l-Fass gesammelt. Bei vollständiger Dekontamination der Oberfläche ergibt sich nach Beendigung der Tätigkeiten ein Radioaktivitätsinventar im Behälter von ca. 8,0 E06 Bq. Dabei wird das Nuklidverhältnis der Kontamination (siehe Kapitel 2.1, Tabelle 2-1) angenommen.

Es wird konservativ unterstellt, dass der Inhalt des 200-l-Fasses vollständig abbrennt, wobei 100 % der Nuklide als Schwebstoffe in die Anlagenatmosphäre freigesetzt werden. Weiterhin wird angenommen, dass sich 50 % der an Schwebstoffe gebundenen Aktivität an den inneren Wänden und Strukturen der Anlage ablagern.

Die restliche Aktivität strömt über die Fortluftfilter. Bei einem zu unterstellenden Rückhaltegrad von 99,9 % für Schwebstoffe /3/ erhält man bei dem beschriebenen Szenario einen Quellterm von ca. 4,0 E03 Bq. Die potentiell resultierenden Abgaben sind um mehrere Größenordnungen kleiner als die beantragten Ableitungen (1,0 E+07 Bq für Schwebstoffe). Daher wird dieser Quellterm in der Auswahl des abdeckenden Ereignisses nicht weiter berücksichtigt. Ein zusätzlich unterstellter Ausfall der Lüftung führt aufgrund des Schließens der Lüftungsklappen zu einer geringeren Abgabe (siehe Kapitel 3.2.2).

Die Ermittlung des Quellterms ist zusammenfassend in Tabelle 4-1 dargestellt. Als Nuklidverteilung ergeben sich die in Tabelle 2-1 Spalte 2 bzw. Spalte 3 dargestellten nuklidspezifischen Anteile.

Tabelle 4-1: Ermittlung des Quellterms beim Brand eines 200-l-Fasses mit Putztüchern

Störfall / Nuklide	Aktivität pro Behälter [Bq]	Freisetzung in die Anlagenatmosphäre [Bq]	Ablagerung in der Anlage [Bq]	Freisetzung in die Umgebung (Quellterm) [Bq]
Brand eines 200-l-Fasses mit kontaminierten Putztüchern	8,00 E06	8,00 E06	4,00 E06	4,00 E03

4.1.2 Brand des Fortluftfilters

Als mögliche Brände sind gemäß ESK-Leitlinien /6/ ebenso Filterbrände zu analysieren.

Im Bereich der Schwebstofffilter in den Fortluftanlagen sind keine Zündquellen vorhanden. Ebenso sind im Fortluftkanal vor und hinter den Schwebstofffiltern keine Komponenten, die zur Auslösung eines Brandes geeignet wären. In der Regel befinden sich im Bereich der Filter passive Komponenten wie Drossel- oder Rückschlagklappen.

Elektrische Komponenten, die aufgrund eines Defekts als mögliche Zündquelle dienen könnten, befinden sich entweder außerhalb des Lüftungskanals (z. B. Instrumentierung) oder in deutlicher Entfernung bzw. entgegen der Luftströmung zu den Schwebstofffiltern (Ventilatoren). Damit können diese als Zündquellen ausgeschlossen werden. Ebenso wird durch administrative Maßnahmen ein Auftreten von Zündquellen wirkungsvoll verhindert. Aufgrund des Fehlens geeigneter Zündquellen kann eine Brandentstehung an den Schwebstofffiltern ausgeschlossen werden.

Im Rahmen des Wechsels der Schwebstofffilter wird der Lüftungskanal geöffnet. Dabei wird der entsprechende Filterstrang von der übrigen Fortluftanlage abgeriegelt. Bei einem unterstellten Brand eines Schwebstofffilters, kann es somit zu einer Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Raumluft aber nicht zu einer direkten Freisetzung über den Fortluftkamin kommen.

Ungeachtet, dass eine Brandentstehung an einem Schwebstofffilter aufgrund fehlender Zündquellen als äußerst unwahrscheinlich erachtet werden kann, wird ein Brand eines Schwebstofffilters unterstellt. Sofern es beim Brand des Schwebstofffilters zu einer relevanten Freisetzung von an Schwebstoffen gebundenen radioaktiven Stoffen in den Fortluftkanal und -kamin kommt, werden diese in der Fortluftüberwachung detektiert und es erfolgt ein Lüftungsabschluss. Somit wird eine weitere Freisetzung wirkungsvoll verhindert.

Trotz des Fehlens von Zündquellen und das Erfolgen eines Lüftungsabschlusses wird konservativ abdeckend eine hypothetische Freisetzung der Aktivität des Schwebstofffilters unterstellt. Es wird dabei von einem beladenen Schwebstofffilter kurz vor dem Wechsel ausgegangen. Zur abdeckenden Abschätzung der Aktivitätsbeladung des Schwebstofffilters wird unterstellt, dass sich auf diesem 0,1 % der Gesamtkontamination des RDB-OH (1,48 E12 Bq, siehe Tabelle 2-1, Spalte 3) akkumuliert hat. Aufgrund der Strahlenschutzmaßnahmen, z. B. Zerlegung

unter Wasser, Einhausungen mit mobilen Abluftfiltern, Verpackung, Einschlagen in Folien, Dekontamination der Tätigkeitsbereiche sind im Mittel nur sehr geringe Aktivitätskonzentrationen der Anlagenatmosphäre zu erwarten. Somit ist eine unterstellte Akkumulation von 1,48 E09 Bq abdeckend.

Es bleibt in dieser Betrachtung unberücksichtigt, dass der Fortluftfilter aus voraussichtlich mehreren (8 Stück) separaten Abluftsträngen mit Filterelementen besteht. Damit wird abdeckend der Brand von allen Filtersträngen unterstellt.

Bei dem unterstellten Brand wird angenommen, dass 10 % der Aktivitätsbelastung über den Fortluftkamin in die Umgebung freigesetzt werden (vergleiche Transportstudie Konrad /8, 9/ mit den höchsten Partikelfreisetzunganteilen, AGG 1/6, BK 8/9 von 10 %). Der andere Teil der Aktivität scheidet sich an den inneren Oberflächen der Fortluftanlage ab beziehungsweise bildet keine mobilen Schwebstoffe.

Die Ermittlung des Quellterms ist zusammenfassend in Tabelle 4-2 angegeben. Als Nuklidverteilung ergeben sich die in Tabelle 2-1 Spalte 2 bzw. Spalte 3 dargestellten nuklidspezifischen Anteile.

Tabelle 4-2: Ermittlung des Quellterms bei einem Brand des Fortluftfilters

Störfall	Aktivität des Filters [Bq]	Freisetzunganteil	Freisetzung in die Umgebung (Quellterm) [Bq]
Brand des Fortluftfilters	1,48 E09	10 %	1,48 E08

4.1.3 Sonstige Brände

Andere potentielle Brände wie z. B. von verlegten Kabeln sowie elektrisch betriebenen Geräten und Systemen (Lüftungsmotoren, Kranmotoren, Hand-Fuß-Kontaminationsmonitor, etc.) führen zu keiner oder gegenüber dem abdeckenden Fall geringfügigeren Freisetzung von radioaktiven Stoffen innerhalb des Kontrollbereichs.

In der Zerlegehalle kommen für den internen Transport keine Einrichtungen mit Kraftstoffen (Brandlasten) zum Einsatz. Bei An- und Abtransporten mit dieselbetriebenen Fremdfahrzeugen wird im betrieblichen Regelwerk festgelegt, mit welchen Maßnahmen eine Gefährdung der Schutzziele durch hohe Brandlasten (Dieseltank) bei einem unterstellten Brand des Transportfahrzeuges verhindert werden kann. Die Freisetzung von Radioaktivität wird von dem unterstellten abdeckenden Brand mit abgedeckt.

Potentielle Brände von Hydraulikölen oder Batterien werden durch das potentielle Ereignis „Lastabsturz und Brand beim Transport außerhalb der Anlagengebäude“ mit abgedeckt (siehe Kapitel 4.5.5).

Brände auf Freiflächen oder auch Brände von motorgetriebenen Transportfahrzeugen führen zu keiner relevanten Freisetzung von radioaktiven Stoffen, da diese in Stahlblech- bzw. Gussbehältern verpackt sind und keine Brandlast darstellen. Ein Abstellen von Gebinden oder Containern, die radioaktive Abfälle bzw. nicht freigabefähige Stoffe enthalten, ist außerhalb der Zerlegehalle nicht vorgesehen.

Ein Brand, der durch einen potentiellen Flugzeugabsturz verursacht wird, ist separat in Kapitel 5.2.1 beschrieben. Darüber hinaus ergeben sich keine weiteren Ereigniskombinationen mit Bränden, die eine gemeinsame Ursache haben.

4.2 Leckagen

Für die Zerlegung der RDB-Einbauten wird der RDB-OH nach vorheriger Inspektion mit Wasser geflutet. Ein spontanes Versagen des RDB (Wandstärke ca. 60 mm Stahl) und damit Leckagen aus dem RDB werden aufgrund der vorherigen Prüfung ausgeschlossen. Der Schildtank und der mit einer Dekontaminationsbeschichtung versehene Betonschacht würden als weitere Barrieren dienen.

Leckagen der Abwassersammelbehälter (Tank-Container) werden durch die als Auffangwannen ausgeführten Aufstellungsräume beherrscht. Evtl. auslaufendes Wasser hat in etwa Raumtemperatur, so dass bei Leckagen nur geringe Mengen an Schwebstoffen in die Raumluft freigesetzt werden können.

Auswirkungen auf die Zerlegetätigkeiten und radiologische Auswirkungen auf die Umgebung aufgrund von Leckagen sind deshalb nicht zu besorgen.

4.3 Überflutung

Generell sind Gebäudestrukturen so ausgebildet, dass bei einer Leckage die austretenden Wässer über Wannen oder Abläufe aufgefangen werden und sich nicht unkontrolliert in der Zerlegehalle ausbreiten können.

Ein Versagen oder eine Fehlbedienung der Wasserversorgungssysteme (Trinkwasserleitung) kann allerdings nicht ausgeschlossen werden.

Allerdings befinden sich im Kontrollbereich nur entsprechende Leitungen im Zugangsbereich (Heiße Dusche und Waschbecken). Das Abwasser wird in entsprechenden Abwassertanks gesammelt. Diese sind mit Füllstandsmeldern versehen, die bei Erreichen eines entsprechenden Füllstandes eine entsprechende Alarmierung auslösen. Löschwasserleitungen befinden sich nur außerhalb der Zerlegehalle (Hydranten). Aufgrund der räumlichen Abtrennung kann eine Überflutung von sicherheitstechnisch relevanten Systemen ausgeschlossen werden.

Aufgrund von entsprechenden Bodenabläufen in den konventionellen Bereichen (Umkleiden, Duschen), kann eine Überflutung des Kontrollbereichs ebenso ausgeschlossen werden.

In Abhängigkeit eines von einer Leckage betroffenen Systems und Komponente, kann es zu einer betrieblichen Einschränkung der Verfügbarkeit kommen. Eine Aktivitätsfreisetzung kann ausgeschlossen werden.

4.4 Komponentenversagen

Die vorhandenen Systeme und Behälter sind kalt und drucklos. Die Medien weisen nur geringe Aktivitätskonzentrationen auf. Potentielle Freisetzungen werden von dem Ereignis „Leckagen“ abgedeckt.

4.5 Ereignisse bei der Handhabung von Lasten und bei Transportvorgängen

Vor dem Beginn der Zerlegung, das heißt bei der Errichtung der Zerlegehalle, ist ein Absturz von Lasten auf den Betonschacht nicht auszuschließen. Da die Zerlegehalle während der Errichtung nicht geschlossen ist, wäre eine Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung zu unterstellen.

Nach der Fertigstellung der Zerlegehalle wird mit der Zerlegung des RDB-OH begonnen. Während der Durchführung der Maßnahmen ist es erforderlich, verschiedene Anlagenteile und mit radioaktiven Reststoffen und Abfällen gefüllte Behälter zu transportieren. Für den innerbetrieblichen Transport und die Handhabung von Gebinden und Komponenten werden geeignete Transportmittel, wie z. B. ein Brückenkran mit qualifizierten Lastaufnahmemitteln, eingesetzt. Bei der Demontage werden weitere Hebezeuge, wie z. B. ein Hilfshub an der Hilfsbrücke, eingesetzt, die regelmäßig entsprechend den anzuwendenden Vorschriften geprüft und gewartet werden. Für die Bedienung des Brückenkrans und der Hebezeuge wird ausschließlich geschultes Fachpersonal eingesetzt. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass ein Lastabsturz praktisch ausgeschlossen ist. Weiterhin werden Transporte mit Transportmitteln wie Hubwagen oder Gabelstapler durchgeführt, bei denen die mögliche Absturzhöhe technisch begrenzt ist oder durch entsprechende Betriebsanweisungen mit Vorgabe maximaler Hubhöhen begrenzt wird. Die erforderlichen Maßnahmen sind damit getroffen, um Lastabstürze zu verhindern.

Dennoch können Handhabungsfehler bei der Zerlegung des RDB-OH nicht vollständig ausgeschlossen werden. Nachfolgend werden potentielle Lastabstürze bei der Errichtung der Zerlegehalle und bei der Zerlegung des RDB-OH betrachtet.

4.5.1 Lastabsturz bei der Errichtung der Zerlegehalle

Während der Errichtung des Rohbaus der Zerlegehalle steht der RDB-OH im Betonschacht, der mit schweren Betonriegeln abgedeckt ist. Zusätzlich wird der Betonschacht während der Errichtung von schweren Bauteilen, z. B. Spannbetonbinder, mit Kies- oder Granulatgebinden (Säcke z. B. sogenannte Big Bags) abgedeckt. Als relevantes Ereignis wurde die Montage der Dachbinder aus Stahlbetonfertigteilen ermittelt. Die Dachbinder weisen voraussichtlich eine Masse von ca. 20 Mg auf und werden mit einem Autokran montiert. Durch eine geschickt gewählte Montagefolge kann das Überfahren des Betonschachts mit Dachbindern auf wenige Vorgänge reduziert werden. Die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Absturzes ist als sehr gering

zu bewerten. Unabhängig davon wird der Absturz eines Dachbinders unterstellt. Dabei kann ein Durchschlagen des herabfallenden Dachbinders auf den RDB-OH aufgrund der massiven Betonschachtabdeckung ausgeschlossen werden /10/. Abplatzende Betonteile an der Unterseite eines Betonriegels können keine relevanten Beschädigungen des RDB-Deckels bzw. der Stützen verursachen, so dass radiologische Auswirkungen auf die Umgebung daher ausgeschlossen werden können.

Der Kran und die zu transportierenden Bauteile bei der Errichtung der Zerlegehalle werden so aufgestellt, dass ein „Überfahren“ des bereits bestehenden, angrenzenden Gebäudes 44 (HAKONA und Bereitstellungshalle) ausgeschlossen werden kann. Ebenso werden nach Möglichkeit der Aufstellungsort und die Höhe des Krans so gewählt, dass dieser sich nicht in Reichweite (bei einem Umstürzen) zu dem bestehenden Gebäude befindet. Dennoch kann trotz gegebenenfalls weiterer Sicherungsmaßnahmen das Umstürzen des Kranes auf das bestehende Gebäude 44 nicht vollständig ausgeschlossen werden. Daher ist eine großflächige mechanische Einwirkung auf die darin lagernden radioaktiven Stoffe zu unterstellen.

Es wurde bereits in der Störfallanalyse zu Gebäude 44 /11/ ein Erdbeben betrachtet, bei der eine großflächige mechanische Einwirkung, z. B. durch Absturz von Dachbindern, unterstellt wurde. Es wurde unter sehr konservativen Annahmen für die ungünstigste Referenzperson „Kind > 7 – ≤ 12 Jahre“ und die ungünstigste Diffusionskategorie „E“ eine effektive Dosis von ca. 6,5 mSv in ca. 100 m Entfernung ermittelt. Dieser Wert liegt ca. eine Größenordnung unterhalb des Störfallplanungswertes der StrlSchV /2/ von 50 mSv. Dieser Störfall ist ebenso abdeckend für den Umsturz eines Kranes während der Errichtung der Zerlegehalle, da bei der erdbebeninduzierten großflächigen mechanischen Einwirkung deutlich konservativere Annahmen getroffen werden, z. B. Betroffenheit des gesamten Aktivitätsinventars.

4.5.2 Lastabsturz beim Öffnen des Betonschachts

Nach der Errichtung der Zerlegehalle wird der Betonschacht geöffnet und die darüber befindlichen Betonriegel entfernt. Es wird unterstellt, dass es beim Entfernen der Betonriegel zu einem Absturz eines Riegels auf den RDB-OH kommt. Dieser besteht fast ausschließlich aus Stählen bzw. Metallen. Da bei einer Aktivierung der Metalle, die entsprechenden Nuklide in der Metallstruktur eingeschlossen sind, bilden diese in der Regel keine oder nur äußerst wenige Schwebstoffe bei mechanischer Einwirkung im kalten Zustand. Daher kann im Wesentlichen nur die oberflächlich anhaftende Kontamination mobilisiert werden.

Es wird als konservative Abschätzung die Freisetzung durch mechanische Einwirkungen in Anlehnung an die Transportstudie Konrad /8, 9/ unterstellt. Bei einer unterstellten Belastungsklasse BK 4 (Aufprallgeschwindigkeiten > 36 – 80 km/h, ohne Brand) und der Abfallgebindergruppe AGG 2 („*Unfixierte und nicht kompaktierbare metallische und nichtmetallische Abfälle (einschließlich Verdampferkonzentrate) in Stahlblechcontainern oder Betonbehältern*“) resultiert daraus ein Freisetzunganteil in die Umgebung von etwa 5,0 E-05 (aerodynamisch äquivalenter Partikeldurchmesser AED: 0 – 10 µm) bzw. 1,0 E-04 (AED: 10 – 100 µm), siehe /8/ Tabelle 8.2.

Bei den Freisetzunganteilen wird zwischen zwei aerodynamisch äquivalenten Partikeldurchmessern (AED) der entstehenden Schwebstoffe unterschieden:

- 0 – 10 µm (lungengängig)
- 10 – 100 µm (nicht lungengängig)

Es wird die Verteilung der aerodynamisch äquivalenter Partikeldurchmesser gemäß dem Verhältnis der entsprechenden Freisetzungsteile der Transportstudie Konrad /8, 9/ für Abstürze ohne Brand (Belastungsklassen BK 1 / BK 4 und BK 7) angesetzt. Für Schwebstoffe mit AED 0 – 10 µm ergibt sich ein Anteil von $\frac{1}{3}$ und für die mit AED 10 – 100 µm ein Anteil von $\frac{2}{3}$.

Es wird weiterhin angenommen, dass bei einer Freisetzung über die Fortluftfilterung die Schwebstoffe mit AED 10 – 100 µm (nicht lungengängig) vollständig durch Vor- und Hauptfilter (HEPA H13) zurückgehalten werden können.

Die in die Anlagenatmosphäre der Zerlegehalle freigesetzten Schwebstoffe werden zum Teil über die Fortluftfilter in die Umgebung abgegeben. Bei einem zu unterstellenden Rückhaltegrad von 99,9 % für Schwebstoffe /3/ (AED: 0 – 10 µm) erhält man bei dem beschriebenen Szenario einen Quellterm von ca. 7,40 E04 Bq. Aufgrund der Auslegung der Hebezeuge nach KTA-Regel 3902 Kapitel 3 /12/ ist eine größere Eintrittswahrscheinlichkeit zu unterstellen und damit das Ereignis als Störung zu bewerten. Als Bewertungskriterium sind hierbei die beantragten Ableitungen mit der Luft (Schwebstoffe) mit 1,0 E07 Bq pro Kalenderjahr heranzuziehen. Die potentiell resultierenden Abgaben sind um mehr als zwei Größenordnungen kleiner als die beantragten Ableitungen und damit nicht unzulässig. Ein zusätzlich unterstellter Ausfall der Lüftung führt aufgrund des Schließens der Lüftungsklappen zu einer geringeren Abgabe

(siehe Kapitel 3.2.2). Die Ermittlung des Quellterms ist zusammenfassend in Tabelle 4-3 angegeben. Als Nuklidverteilung ergeben sich die in Tabelle 2-1 Spalte 2 bzw. Spalte 3 dargestellten nuklidspezifischen Anteile.

Tabelle 4-3: Ermittlung des Quellterms bei Lastabsturz beim Öffnen des Betonschachts

Aerodynamisch äquivalenter Partikeldurchmesser (AED)	Aktivität Kontamination des RDB-OH [Bq]	Anlagenatmosphäre		Umgebung	
		Freisetzungsan-teile	Freisetzung [Bq]	Freisetzungsan-teile	Freisetzung [Bq]
0 – 10 µm (1/3)	1,48 E12	5,0 E-05	7,40 E07	1,0 E-03	7,40 E04
10 – 100 µm (2/3)		1,0 E-04	1,48 E08	0	0
0 – 100 µm (Gesamt)	1,48 E12	1,5 E-04	2,22 E08	1,0 E-03	7,40 E04

Durch den Lastabsturz beim Öffnen des Betonschachts inhaliert das vor Ort tätige Personal bei der Flucht aus dem Gefahrenbereich ca. 1,8 E02 Bq der an lungengängigen Schwebstoff gebundenen radioaktiven Stoffe. Dabei wird die Verteilung der Schwebstoffe in einem Volumen von ca. 4 700 m³ (entspricht Volumen Zerlegehalle) angenommen. Die resultierende Folgedosis beträgt ca. 14 µSv.

4.5.3 Lastabsturz beim Zerlegen des RDB-OH und beim Transport der abgebauten Komponenten innerhalb der Zerlegehalle

Geplante Tätigkeiten nach der Fertigstellung der Zerlegehalle und Öffnen des Betonschachts sind beispielsweise die Zerlegung der aktivierten RDB-Einbauten und des Dampferzeugers.

Die hoch bzw. höher aktivierten Teile der RDB-Einbauten werden unter Wasser in Siebkörbe verpackt, mit einer betriebsbewährten Abschirmglocke ausgehoben und anschließend in abgeschirmte Transport- oder Abfallbehälter verpackt. Außerhalb des Betonschachts wird der Fahrweg der Abschirmglocke flach über dem Boden der Zerlegehalle geführt. Durch die vorhandenen qualifizierten Lastanschlagpunkte an der Abschirmglocke ist die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Absturzes sehr gering. Bei einem dennoch unterstellten Absturz der Abschirmglocke beim Anheben auf die Übergabehöhe des Einsatzkorbes in den aufnehmenden abgeschirmten Transport- oder Abfallbehälter kann davon ausgegangen werden, dass der bodenseitige Abschirmschieber nicht versagt. Die Abschirmschieber von Abschirmglocke und

Abschirmkulisse des Transport- oder Abfallbehälter werden erst geöffnet, wenn die Abschirmglocke ihre Absetzposition erreicht hat. Ein Absturz der Abschirmglocke ist dann nicht mehr zu besorgen, da sich diese dann nur noch auf die Abschirmkulisse absenken und nicht mehr abstürzen würde.

Der Dampferzeuger soll im Ganzen mit dem Brückenkran aus seiner Einbaulage im RDB gehoben werden. Aufgrund der sehr großen Oberfläche der Dampferzeuger-Heizrohre stellt der Dampferzeuger die hinsichtlich Kontamination relevante Komponente dar. Bei einem Absturz könnte durch ihn die meiste Kontamination in die Raumluft freigesetzt werden. Es wird davon ausgegangen, dass die Kontamination vor dem Transport nicht weiter fixiert wird. Für den Transport an Luft wird der Dampferzeuger zur Vermeidung einer Kontaminationsverschleppung mit Folie eingeschlagen. Eine Entzündung bzw. Brandentstehung durch die mechanische Einwirkung kann aufgrund der nicht brennbaren Materialien des Dampferzeugers (Stähle) bzw. schwer entflammbaren Stoffen (Folien) ausgeschlossen werden.

Die maximale Fallhöhe beträgt ca. 4 m. Bei einem unterstellten Absturz wird ein Teil der vorhandenen Kontamination von ca. $1,01 \text{ E}12 \text{ Bq}$ in die Folie freigesetzt. Bei der mechanischen Einwirkung wird unterstellt, dass etwa 10 % der Innenkontamination des Dampferzeugers von der Oberfläche abgelöst werden kann. Diese wird zu einem Großteil wieder an den umgebenden Oberflächen des Dampferzeugers anhaften oder die entsprechenden Volumina stehen nicht oder nur in geringem Maße mit der Umgebung in Wechselwirkung (eingeschlossenes Innenvolumen). Es wird unterstellt, dass von der abgelösten Innenkontamination wiederum etwa 10 % als radioaktive Schwebstoffe in die umgebende Atmosphäre freigesetzt werden können. Diese Schwebstoffe werden zu einem Großteil in der Folie zurückgehalten. Es wird jedoch unterstellt, dass davon wiederum ca. 10 % als radioaktive Schwebstoffe in die Anlagenatmosphäre freigesetzt werden. Der effektive Freisetzunganteil für Kontamination in die Anlagenatmosphäre wird infolgedessen mit $1,0 \text{ E}03$ angesetzt.

Dieser Ansatz ist konservativ, da die maximalen Freisetzungen (ca. $9,0 \text{ E}04$) von Rohabfällen (AGG 2) durch mechanische Einwirkung gemäß /8, 9/ nur bei Belastungsklasse BK 7 erreicht werden. Dabei ist eine Aufprallgeschwindigkeit von 110 km/h, entsprechend einer Absturzhöhe von $> 50 \text{ m}$ angesetzt (ohne Brand). Hier beträgt die maximale Fallhöhe max. 4 m mit einer entsprechenden Aufprallgeschwindigkeit von max. 32 km/h.

Es wird hier ebenso die Verteilung der aerodynamisch äquivalenter Partikeldurchmesser gemäß dem Verhältnis der entsprechenden Freisetzungsteile der Transportstudie Konrad /8, 9/ für Abstürze ohne Brand (Belastungsklassen BK 1 / BK 4 und BK 7) angesetzt. Für Schwebstoffe mit AED 0 – 10 µm ergibt sich ein Anteil von 1/3 und für die mit AED 10 – 100 µm einen Anteil von 2/3, vergleiche Kapitel 4.5.2.

Die in die Anlagenatmosphäre freigesetzte Aktivität von 1,01 E09 Bq wird anschließend über die Fortluftfilter der Fortluftanlage in die Umgebung abgegeben. Bei einem zu unterstellenden Rückhaltegrad von 99,9 % für Schwebstoffe /3/ erhält man unter Berücksichtigung der aerodynamisch äquivalenten Partikeldurchmesserverteilung (AED) bei dem beschriebenen Szenario einen Quellterm von ca. 3,38 E05 Bq. Dieser Wert liegt ebenso deutlich unterhalb der beantragten Grenzen für die Ableitung mit der Luft (1,0 E07 Bq im Kalenderjahr). Bei der Bewertung des Ereignisses als Störung (siehe Kapitel 4.5.2) ergeben sich damit keine unzulässigen Abgaben. Ein zusätzlich unterstellter Ausfall der Lüftung führt aufgrund des Schließens der Lüftungsklappen zu einer geringeren Abgabe (siehe Kapitel 3.2.2).

Die Ermittlung des Quellterms ist zusammenfassend in Tabelle 4-4 dargestellt. Als Nuklidverteilung ergeben sich die in Tabelle 2-1 Spalte 2 bzw. Spalte 4 dargestellten nuklidspezifischen Anteile.

Dieses Ereignis deckt ebenfalls Ereignisse bei weiteren Transporten innerhalb der Zerlegehalle mit ab, da der Dampferzeuger die Komponente mit dem höchsten Freisetzungspotential (Kontamination) darstellt und ein Absturz nur aus geringeren Höhen und damit mit geringerer mechanischer Einwirkung bzw. Freisetzung erfolgen kann.

Tabelle 4-4: Ermittlung des Quellterms beim Absturz des Dampferzeugers

Aerodynamisch äquivalenter Partikeldurchmesser (AED)	Aktivität Kontamination des Dampferzeugers [Bq]	Anlagenatmosphäre		Umgebung	
		Freisetzungsteile	Freisetzung [Bq]	Freisetzungsteile	Freisetzung [Bq]
0 – 10 µm (1/3)	1,01 E12	3,33 E-04	3,38 E08	1,0 E-03	3,38 E05
10 – 100 µm (2/3)		6,67 E-04	6,76 E08	0	0
0 – 100 µm (Gesamt)	1,01 E12	1,0 E-03	1,01 E09	1,0 E-03	3,38 E05

Durch den Absturz und die Beschädigung des Dampferzeugers inhaliert das vor Ort tätige Personal bei der Flucht aus dem Gefahrenbereich ca. 8,2 E02 Bq der lungengängigen radioaktiven Schwebstoffe. Dabei wird die Verteilung der Schwebstoffe durch Verdünnung in einem Luftvolumen von ca. 4 700 m³ (entspricht Volumen Zerlegehalle) unterstellt. Die daraus resultierende Folgedosis beträgt ca. 63 µSv.

4.5.4 Lastabsturz beim Transport außerhalb der Anlagengebäude

Für die Umverpackung von zerlegten Teilen des RDB-OH und Optimierung der Behälterbeladung werden diese zum Heißen Labor transportiert. Ebenso finden Transporte zur Bearbeitung der Reststoffe oder auch Konditionierung der Abfälle bei externen Dienstleistern statt. Daher wird der Lastabsturz von einem Transportfahrzeug auf dem Betriebsgelände unterstellt. Die Verladung findet dabei noch innerhalb der Zerlegehalle statt und ist bereits durch den *Lastabsturz beim Zerlegen des RDB-OH* (Kapitel 4.5.3) abgedeckt.

Die aktivierten Teile des RDB (Kerneinbauten) haben eine damit verbundene höhere Aktivität und verursachen eine entsprechende Dosisleistung. Solche Teile werden deshalb in entsprechenden Abschirmbehältern (Stahlgussbehälter) transportiert. Aufgrund der Auslegung solcher Behälter kann eine Freisetzung durch Absturz aus einer Beladehöhe von ca. 1 m ausgeschlossen werden. Daher ergeben sich Freisetzungen nur für Teile, die kontaminiert sind.

Als konservativ abdeckend wird der Transport des Dampferzeugers angenommen. Für diese Komponente wird aufgrund der großen Oberfläche die höchste Aktivität durch Kontamination abgeschätzt (ca. 2/3 der Gesamtaktivität bezüglich Kontamination). Aufgrund der einzuhaltenen Transportbedingungen (GGVSEB /13/, ADR /14/) ist der Dampferzeuger in einem entsprechenden Transportbehälter verpackt und gesichert. Dabei ist der Dampferzeuger im Behälter zusätzlich noch in Folie eingeschlagen. Aufgrund der Auslegung des Transportbehälters und der geringen Beladehöhe ist nicht mit einer Freisetzung von Radioaktivität zu rechnen. Trotzdem wird hier konservativ abdeckend eine Beschädigung und eine Freisetzung unterstellt.

Es werden die Freisetzungsanteile der Transportstudie Konrad /8, 9/ herangezogen. Dabei wird aufgrund der potentiell geringen Fallhöhe die Belastungsklasse BK 1 (< 35 km/h, ohne Brand) angesetzt. Für die Abfallart wird konservativ Abfallgebindegruppe AGG 2 (Rohabfälle) mit den höchsten Freisetzungsanteilen gewählt.

Es ergibt sich ein entsprechender Freisetzunganteil in die Umgebung von etwa 5,0 E-06 (aerodynamisch äquivalenter Partikeldurchmesser AED: 0 – 10 µm) und 1,0 E-05 (AED: 10 – 100 µm), siehe /8/ Tabelle 8.2. Die Ermittlung der Aktivitätsfreisetzung ist zusammenfassend in Tabelle 4-5 dargestellt. Als Nuklidverteilung ergeben sich die in Tabelle 2-1 Spalte 2 bzw. Spalte 4 dargestellten nuklidspezifischen Anteile.

Tabelle 4-5: Ermittlung der Freisetzung bei potentielltem Lastabsturz beim Transport außerhalb der Anlagengebäude

Aerodynamisch äquivalenter Partikeldurchmesser (AED)	Aktivität der Kontamination des Dampferzeugers [Bq]	Umgebung	
		Freisetzunganteile	Freisetzung [Bq]
0 – 10 µm (1/3)	1,01 E12	5,0 E-06	5,07 E06
10 – 100 µm (2/3)		1,0 E-05	1,01 E07
0 – 100 µm (Gesamt)	1,01 E12	1,5 E-05	1,52 E07

4.5.5 Lastabsturz und Brand beim Transport außerhalb der Anlagengebäude

Es wird beim Transport außerhalb der Anlagengebäude eine Kollision des Transportfahrzeuges unterstellt. Dabei wird unterstellt, dass das Transportgebäude durch die Kollision vom Fahrzeug stürzt und anschließend durch ausgetretenen Fahrzeugkraftstoff einem Stützbrand ausgesetzt wird.

Die Betrachtung erfolgt in gleicher Weise wie in Kapitel 4.5.4. Es werden die Freisetzunganteile der Transportstudie Konrad /8, 9/ mit der entsprechenden Belastungsklasse BK 2 (< 35 km/h, mit 800°C Brand, 30 min) herangezogen. Für die Abfallart wird konservativ Abfallgebindegruppe AGG 2 (Rohabfälle) gewählt.

Es ergibt sich ein entsprechender Freisetzunganteil in die Umgebung von etwa 1,2 E-03 (Partikelgröße AED: 0 – 10 µm) und 1,0 E-05 (Partikelgröße AED: 10 – 100 µm), siehe /8/ Tabelle 8.2. Die Ermittlung der Aktivitätsfreisetzung ist zusammenfassend in Tabelle 4-6 dargestellt. Als Nuklidverteilung ergeben sich die in Tabelle 2-1 Spalte 2 bzw. Spalte 4 dargestellten nuklidspezifischen Anteile.

Tabelle 4-6: Ermittlung der Freisetzung bei potentielltem Lastabsturz und Brand beim Transport außerhalb der Anlagengebäude

Aerodynamisch äquivalenter Partikeldurchmesser (AED)	Aktivität der Kontamination des Dampferzeugers [Bq]	Umgebung	
		Freisetzungsanteile	Freisetzung [Bq]
0 – 10 µm (99 %)	1,01 E12	1,2 E-03	1,22 E09
10 – 100 µm (1 %)		1,0 E-05	1,01 E07
0 – 100 µm (Gesamt)	1,01 E12	1,21 E-03	1,23 E09

Aufgrund der direkten Freisetzung in die Umgebung (ohne Fortluftfilterung) deckt dieses Ereignis auch Kombinationen von Abstürzen und Bränden (z. B. durch Hydrauliköle oder Batterien) innerhalb der Zerlegehalle mit ab.

4.6 Anlageninterne Explosionen

Beim Abbau von Anlagenteilen können technische Gase zum Einsatz kommen (z. B. Schweißgase), die potentiell explosionsfähig sind. Daher besteht die prinzipielle Möglichkeit einer mechanischen oder thermischen Einwirkung. Für die Verwendung und Lagerung der technischen Gase werden die einschlägigen Normen sowie die Anforderungen der KTA-Regel 2103 /15/ sinngemäß eingehalten. Explosionsfähige Gase treten nur lokal und in geringen Konzentrationen auf. Sofern überhaupt anlageninterne Explosionen zu unterstellen sind, sind radiologische Auswirkungen in die Umgebung durch die betrachteten Ereignisse Lastabsturz bzw. Brand (siehe Kapitel 4.1 bzw. 4.5) abgedeckt.

4.7 Ausfälle und Störungen sicherheitstechnisch wichtiger Einrichtungen

4.7.1 Ausfälle und Störungen von Versorgungseinrichtungen

Bei Ausfall der elektrischen Versorgung können sämtliche Systeme und Einrichtungen nicht weiterbetrieben werden, es sei denn, sie sind batteriegepuffert bzw. ersatzstromgesichert. Dies ist z. B. der Fall bei der Brandmeldeanlage und der Fluchtwegebeleuchtung. Die Lüftungstechnische Anlage schaltet sich ab und die Absperrklappen schließen sich.

Bei Ausfall der elektrischen Versorgung oder bei Ausfall der Lüftungstechnischen Anlage werden die Tätigkeiten innerhalb der Zerlegehalle, die eine Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Raumluft bewirken können, sofort eingestellt und das Personal verlässt, falls erforderlich, die Kontrollbereiche. Für die Kontaminationskontrolle an den Kontrollbereichsausgängen werden ersatzweise mobile Oberflächenkontaminationsmonitore eingesetzt. Weitere erforderliche Strahlenschutzmaßnahmen werden veranlasst. Unzulässige Auswirkungen auf die Umgebung ergeben sich nicht.

Sollte der Brückenkran durch Ausfall der elektrischen Versorgung oder andere Ursachen nicht mehr funktionstüchtig sein und gegebenenfalls gerade ein mit aktivierten RDB-Einbauten gefüllter Siebkorb oder der im Ganzen ausgebaute Dampferzeuger in der Transportstellung verbleiben, kann die resultierende Direktstrahlung aufgrund des Abstandes und der Abschirmwirkung der Gebäudestrukturen hinsichtlich ihres Einflusses auf die radiologische Situation in der Umgebung der Zerlegehalle vernachlässigt werden.

Bei Einhaltung der technisch-administrativen Maßnahmen zum Strahlenschutz (ausreichender Abstand von der Strahlenquelle, Begrenzung der Verweilzeit im Strahlenfeld, Schutz durch Abschirmungen der Arbeitsplätze des Personals, Nutzung von temporären Abschirmungen für die aktivierten Komponenten bei einer Handhabung außerhalb der abgeschirmten Zerlege- und Verpackungsbereiche) werden unzulässige Expositionen auch für das Personal vermieden.

Der Ausfall der sonstigen vorhandenen Anlagen und Komponenten aufgrund von Störungen, z. B. der Druckluftversorgung, kann allenfalls zu einer Unterbrechung von Tätigkeiten führen. Die Tätigkeiten können nach Beendigung der Reparaturmaßnahmen fortgeführt werden. Radiologische Auswirkungen auf die Umgebung aufgrund des Ausfalls dieser Einrichtungen sind praktisch ausgeschlossen.

4.7.2 Ausfälle und Störungen von leittechnischen und Überwachungseinrichtungen

Bei einem Ausfall und Störung von leittechnischen und Überwachungseinrichtungen können gegebenenfalls die Zerlegetätigkeiten nicht wie geplant fortgeführt werden.

Für die Rückhaltung von radioaktiven Stoffen sowie für die Begrenzung und Kontrolle des Aktivitätsflusses sind aufgrund der Art und des Zustands des RDB-OH und der Zerlegehalle keine

aktiven Einrichtungen erforderlich. Somit führt ein Ausfall von leittechnischen Einrichtungen nicht zu einer Freisetzung radioaktiver Stoffe.

4.7.3 Ausfälle und Störungen von Brandschutzeinrichtungen

Die Brandschutzeinrichtungen der Zerlegehalle RDB-OH basieren im Wesentlichen auf dem baulichen Brandschutz (passive Einrichtungen). Ausfälle und Störungen sind daher für diese Einrichtungen nicht zu unterstellen.

Brandschutztüren sind federbetrieben (passive Einrichtungen) und werden entweder geschlossen gehalten oder schließen bei Stromausfall, Handauslösung oder Auslösen des Rauchmelders automatisch (Brandschutztüren mit Feststellanlage). Über administrative Maßnahmen wird sichergestellt, dass das Schließen der Türen durch verkeilen, verstellen, festbinden etc. nicht blockiert wird.

Bei Auslösung eines Brandalarms wird die Lüftungsanlage automatisch abgeschaltet. Die Brandschutzklappen werden geschlossen. Bei den Brandschutzklappen der Zerlegehalle sind zusätzlich Schmelzlotauslösungen installiert. Wird das Schließen der Brandschutzklappen bei einem Brand über Schmelzloten ausgelöst, schließen die federbelasteten Brandschutzklappen automatisch und die Lüftungstechnische Anlage wird abgeschaltet. Um rechtzeitig einen brandschutztechnischen Lüftungsabschluss vor Auslösung des Schmelzlotes sicherzustellen, sind gemäß KTA-Regel 2101.3 /16/ Abschnitt 7.5.1 und 7.5.3 Brandschutzklappen mit zusätzlichen Auslöseeinrichtungen ausgerüstet. Da bei allen Brandschutzklappen die Voraussetzungen erfüllt sind, ist eine Fehlfunktion nach KTA-Regel 2101.3 /16/ nicht zu unterstellen.

Der Ausfall der Brandmeldeanlage selbst hat keine Freisetzung von radioaktiven Stoffen zur Folge. Bei der Betrachtung von anlageninternen Bränden (siehe Kapitel 4.1.1 bis 4.1.3) wird die Verfügbarkeit der Brandmeldeanlage nicht unterstellt. Der Ausfall ist daher durch das Ereignis „Anlageninterne Brände“ mit abgedeckt. Siehe auch Erläuterungsbericht „Brandschutzkonzept Zerlegehalle“ (EB-FRG/HL/RDB-OH-19) /17/ und „Errichtungs- und Betriebskonzept zum Neubau einer Zerlegehalle für die Zerlegung des RDB-OH“ (EB-FRG/HL/RDB-OH-20) /18/.

4.7.4 Ausfälle und Störungen von Lüftungsanlagen und Einrichtungen zur Rückhaltung radioaktiver Stoffe

In Bezug auf Ausfälle und Störungen von Einrichtungen zur Rückhaltung radioaktiver Stoffe verbleibt die Betrachtung von Ausfällen und Störungen der Lüftung. Der Störfallablauf ist bezüglich der Lüftung weitgehend identisch zum Ereignis „Ausfälle und Störungen sicherheitstechnisch wichtiger Versorgungseinrichtungen“, siehe Kapitel 4.7.1.

Zerlegebereiche, in denen radioaktive Schwebstoffbildung zu erwarten ist, werden von den anderen Arbeitsbereichen lufttechnisch abgeschottet. Eine solche Abschottung wird in der Regel durch Einhausungen realisiert. Die Einhausung wird mit einer oder mehreren mobilen Filteranlagen ausgerüstet.

Eine potentielle Beschädigung einer Zelteinhausung führt zu einer potentiellen Freisetzung von Schwebstoffen in die Anlagenatmosphäre. Dabei wird konservativ die mobilisierbare Kontamination des Dampferzeugers als Quelle unterstellt, siehe *Lastabsturz beim Zerlegen des RDB-OH* in Kapitel 4.5.3. Aufgrund der Rückhaltung durch die Schwebstofffilter der Fortluftanlage resultiert potentiell eine Freisetzung von ca. $3,38 \cdot 10^5$ Bq in die Umgebung.

Aufgrund der größeren Eintrittswahrscheinlichkeit ist das Ereignis als Störung zu bewerten. Als Bewertungskriterium sind hierbei die beantragten Ableitungen mit der Luft (Schwebstoffe) mit $1,0 \cdot 10^7$ Bq pro Kalenderjahr heranzuziehen. Die potentiell resultierenden Abgaben sind um mehr als eine Größenordnung kleiner als die beantragten Ableitungen und damit nicht unzulässig. Ein zusätzlich unterstellter Ausfall der Lüftung führt aufgrund des Schließens der Lüftungsklappen zu einer geringeren Abgabe (siehe Kapitel 3.2.2).

5 Einwirkungen von außen

5.1 Naturbedingte Einwirkungen

Durch extreme naturbedingte Einwirkungen kann es gegebenenfalls zu Ausfällen und Störungen an Betriebssystemen kommen. Ebenso können Einwirkungen, z. B. bei außergewöhnlicher Hitze oder Kälte etc., zu einer höheren Wahrscheinlichkeit von Störfällen durch menschliches Versagen führen (z. B. *Handhabung von Lasten und bei Transportvorgängen*). Sofern ein sicheres Durchführen der Zerlegetätigkeiten nicht möglich sein sollte, werden die Tätigkeiten entsprechend unterbrochen bzw. zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführt, wenn entsprechende Einwirkungen nicht mehr gegeben sind.

Ereignisabläufe aufgrund von *Ausfällen und Störungen* sind in Kapitel 4.7 beschrieben, die Ereignisabläufe aufgrund von *Handhabung von Lasten und bei Transportvorgängen* in Kapitel 4.5.

5.1.1 Erdbeben

Der Standort Hereon liegt in der norddeutschen Tiefebene. Die Gebietseinheit befindet sich gemäß der DIN EN 1998-1/NA /19/ in der niedrigsten Amplitudenkategorie (0,0 – 0,1 m/s²). Gebiete mit der nächst höheren Amplitude (0,1 – 0,2 m/s²) sind in etwa 200 km Entfernung vorzufinden. Eine Gefährdung durch Bodenbewegungen, insbesondere durch Erdbeben, ist nicht zu erwarten. Bei einem unterstellten Erdbeben ist die Standsicherheit der Bauwerke Zerlegehalle und Betonschacht mit dem darin befindlichen RDB-OH darüber hinaus durch Anwendung des konventionellen Baurechts im Rahmen der Errichtung der Zerlegehalle gegeben.

Dennoch wird unterstellt, dass es in Folge eines schweren Erdbebens zur Beschädigung der Zerlegehalle und zur Freisetzung von Radioaktivität in die Umwelt kommt. Als Grundlage für den Freisetzungsquellterm wird das Gesamtaktivitätsinventar des RDB-OH /5/ herangezogen.

Bei der Beschädigung der Zerlegehalle durch das Erdbeben wird ein Absturz z. B. von Teilen der Dachbindern, Hebezeugen und Abfallgebinden unterstellt, die den RDB-OH beschädigen.

Es wird analog zum *Lastabsturz beim Zerlegen des RDB-OH* (siehe Kapitel 4.5.3) angesetzt, dass 1 % der Innenkontamination des gesamten RDB-OH durch die mechanische Einwirkung

effektiv mobilisiert wird. Dabei wird berücksichtigt, dass der RDB-OH offen zur Anlagenatmosphäre ist (keine Rückhaltung z. B. aufgrund der mechanischen Einwirkung zerstörter Einhausung etc.) und sich noch alle potentiell kontaminationsfreisetzenenden Komponenten im RDB-OH befinden.

Es wird zusätzlich unterstellt, dass durch die Beschädigung der Zerlegehalle und aufgrund von entstandenen Spalten und Rissen, ein Anteil von 10 % (AED unspezifisch) der Anlagenatmosphäre in die Umgebung entweicht. Dabei wird unterstellt, dass durch die Lüftungsanlage die gerichtete Luftströmung nicht mehr sichergestellt wird.

Als Nuklidverteilung ergeben sich die in Tabelle 2-1 Spalte 2 bzw. Spalte 3 dargestellten nuklidspezifischen Anteile.

Tabelle 5-1: Ermittlung des Quellterms bei einem Erdbeben

Aerodynamisch äquivalenter Partikeldurchmesser (AED)	Aktivität Kontamination des RDB-OH [Bq]	Anlagenatmosphäre		Umgebung	
		Freisetzungsan-teile	Freisetzung [Bq]	Freisetzungsan-teile	Freisetzung [Bq]
0 – 10 µm (1/3)	1,48 E12	3,33 E-03	4,93 E09	0,1	4,93 E08
10 – 100 µm (2/3)		6,67 E-03	9,86 E09		9,86 E08
0 – 100 µm (Gesamt)	1,48 E12	1,0 E-02	1,48 E10	0,1	1,48 E09

Das vor Ort tätige Personal inhaliert bei der Flucht aus dem Gefahrenbereich bei einem Erdbeben ca. 1,2 E04 Bq der radioaktiven lungengängigen Schwebstoffe. Dabei wird die Verteilung der Schwebstoffe in einem Volumen von ca. 4 700 m³ (entspricht Volumen Zerlegehalle) angenommen. Die resultierende Folgedosis beträgt ca. 0,92 mSv.

5.1.2 Überflutung (Hochwasser)

Die Bemessungswasserspiegellage der Elbe beträgt auf der Höhe der Zerlegehalle (Stromkilometer 579) mit einem Wiederkehrintervall von 100 Jahren (HQ₁₀₀) 8,03 m NN /20/.

Die Bundesanstalt für Wasserbau /21/ hat im Auftrag der drei Küstenländer Hamburg, Niedersachsen und Schleswig-Holstein ein deterministisches Modell für den höchsten zu erwartenden Pegel in der Elbe erstellt.

Das Modell geht von der Überlagerung verschiedener extremer Ereignisse für Sturmflut, eines durch die Klimaveränderung erwarteten Meeresspiegelanstiegs von 0,5 m, Windstau, Fernwellen und einen hohen Abfluss der Elbe (Hochwasser) aus. Das gleichzeitige Eintreten dieser Ereignisse ist unwahrscheinlich. Es führt zu einem Hochwasserpegel von + 8,88 m NN in Geesthacht beim höchsten Abfluss der Elbe von 3 700 m³.

Die Zerleghalle liegt auf einer Höhe von ca. 17,8 – 20,8 m NN und damit deutlich oberhalb der Bemessungswasserspiegellage als auch des höchsten zu erwartenden Pegels. Eine Überflutung durch Hochwasser ist somit ausgeschlossen.

5.1.3 Regen (auch Starkregenereignisse)

Gemäß KOSTRA-Katalog /22/ sind für ein Starkregenereignis mit 100 Jahren Wiederkehrzeit Bemessungsniederschlagswerte von 17,9 mm innerhalb von 5 Minuten zu unterstellen.

Die Ableitung von Regenwasser der Dachentwässerung und der befestigten Flächen erfolgt über eine neue Regenwasserleitung. Diese wird für die zu erwartenden Niederschlagsmengen ausgelegt /23/. Aufgrund der Hanglage ist ein Aufstauen von Wasser nicht zu unterstellen. Dennoch kann ein Eindringen von geringen Mengen Wasser in die Räume mit Außentüren/-toren nicht vollständig ausgeschlossen werden. Dieses Wasser führt allerdings zu keiner Freisetzung von radioaktiven Stoffen. Eine Beeinträchtigung von schutzzielrelevanten Systemen und Einrichtungen kann ebenso ausgeschlossen werden.

Auch sind bisher keine Ereignisse aufgetreten, die zu einem Regenwassereinbruch in den bestehenden Betonschacht geführt haben. Dieser wird kontinuierlich mit einem Wasserstands-Sensor auf eindringendes Wasser überwacht.

Eine Überflutung der Zerleghalle und Freisetzung von radioaktiven Stoffen aufgrund von Starkniederschlag ist daher nicht zu unterstellen.

5.1.4 Hagel

Die Auslegung der Zerleghalle gegen Hagel erfolgt gemäß den geltenden einschlägigen Normen, die die anzuwendenden Lastannahmen und Bemessungsvorschriften für Bauten enthalten.

Eine Freisetzung von radioaktiven Stoffen aufgrund von Hagel ist nicht zu unterstellen.

5.1.5 Sturm (einschließlich Tornado)

Die Auslegung der Zerleghalle gegen Sturm erfolgt gemäß den geltenden einschlägigen Normen, die die Lastannahmen und Bemessungsvorschriften für Bauten enthalten.

Bei sehr hohen Windgeschwindigkeiten und lokalen Druckunterschieden (Tornado) kann eine gerichtete Luftströmung nicht immer sichergestellt werden. Daher können kurzzeitige Freisetzungen der Raumluft mit geringen Aktivitätskonzentrationen, z. B. durch Tür- und Torspalte, nicht vollständig ausgeschlossen werden. Diese potentiellen Freisetzungen sind sehr gering und sind durch den *Lastabsturz beim Transport außerhalb der Anlagengebäude* (siehe Kapitel 4.5.4) oder auch *Erbeben* (siehe Kapitel 5.1.1) mit abgedeckt.

Zudem ergeben sich aufgrund der entsprechenden meteorologischen Verhältnisse keine relevanten Aktivitätskonzentrationen in der Umgebung.

Die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Wirbelsturmereignisses (Tornado) wird als sehr gering und damit als auslegungsüberschreitend eingeschätzt. Zur Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit werden Tornados anhand ihres Wirkungsbereichs bewertet. Dabei wird zwischen den unterschiedlichen Stärken gemäß Fujita-Skala im Folgenden unterschieden. Die Fujita-Skala bewertet Tornados anhand ihres Schadensbildes von F0 – F12, wobei nur Ereignisse von F0 (leichte Schäden) – F5 (unglaubliche Schäden) bisher beobachtet wurden.

Aufgrund der Auslegung der Gebäude lassen sich relevante Schäden, die potentiell zu einer Freisetzung von radioaktiven Stoffen führen, für die Stufen F0 (leicht) – F1 (mäßig) ausschließen. Ebenso wird die Eintrittswahrscheinlichkeit von Tornados der Stufen F4 (verheerend) und F5 (unglaublich) am Standort aufgrund der Seltenheit als äußerst gering eingestuft (ca. 2 F5-Ereignisse in den letzten 300 Jahren und ca. 7 F4-Ereignisse in den letzten 150 Jahren in Deutschland). Damit liegen die F4 oder stärkere Ereignisse im Bereich des Restrisikos.

Für die Stufen F2 und F3 werden die Daten der European Severe Weather Database (ESWD) /24/ herangezogen. Es wird ein Ausschnitt $53,40^{\circ} \pm 0,5^{\circ}$ nördliche Breite und $10,43^{\circ} \pm 1,0^{\circ}$ östliche Länge (ca. 111,2 km × 132,6 km, ca. 14 745 km²) ausgewählt. Darin finden sich in den letzten 100 Jahren (1922 – 2022) 12 F2-Ereignisse und 3 F3-Ereignisse.

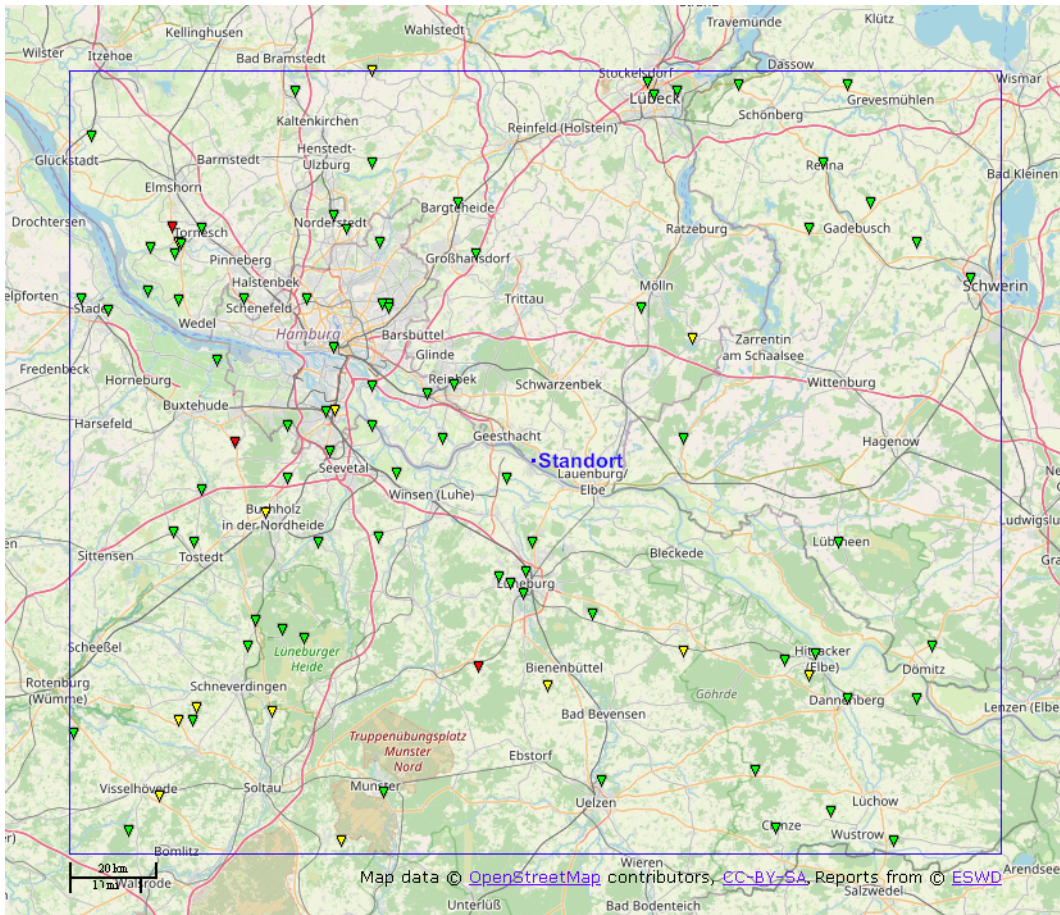


Abbildung 5-1: Karte der beobachteten Tornados (rot: F3, gelb: F2, grün: ≤F1)

Quelle: ESWD /24/

Zu den jeweiligen Schadensstufen (nach Fujita Skala) liegen leider keine geeignete Werte oder Statistiken vor. Daher wurde eine Abschätzung aufgrund der individuellen Daten der Tornados im Betrachtungsraum durchgeführt (ESWD). Dazu wurden die Mittelwerte der verfügbaren Pfadbreiten und -längen gebildet. Sofern nur die Angabe der maximalen Pfadbreite vorhanden war, wurde die halbe maximale Pfadbreite als mittlere Pfadbreite angenommen. Es ergeben sich aus der Mittelwertbildung von jeweils 10 verfügbaren Angaben für F2 Tornados (Pfadbreite zwischen 20 – 100 m und Pfadlänge zwischen 2,3 – 16 km) eine gemittelte Breite

von 62,5 m und Länge von 7,44 km. Diese Werte wurden auf eine mittlere Pfadbreite von 75 m und eine mittlere Pfadlänge von 7,5 km gerundet.

Um auch die Ausdehnung des Standorts selbst zu berücksichtigen wird die Pfadbreite um die Breite der Zerlegehalle (ca. 45 m) erweitert. Damit ergibt sich eine Betroffenheitsfläche von ca. 0,9 km² (7,5 km × 0,12 km) pro F2-Ereignis. Als Eintrittswahrscheinlichkeit ergibt sich daraus:

$$P(F2) = \frac{\text{Anzahl Ereignisse} \cdot \text{betroffene Fläche}}{\text{Zeitraum} \cdot \text{Gesamtfläche}} = \frac{12 \cdot 0,9 \text{ km}^2}{100 \text{ a} \cdot 14 \text{ 745 km}^2} = 7,3 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{a}}$$

F3-Ereignisse weisen einen größeren Wirkungsbereich im Vergleich zu F2-Ereignissen auf. Zur Abschätzung der Schadensfläche der F3-Tornados sind im Betrachtungsraum, auch aufgrund der Seltenheit, keine Daten verfügbar. Daher wurde auf deutschlandweite F3-Tornado-Ereignisse zurückgegriffen und entsprechend eine mittlere Pfadbreite von 200 m und eine mittleren Pfadlänge von 15 km grob abgeschätzt. Damit ergibt sich als Betroffenheitsfläche ca. 3,675 km² (15 km × 0,245 km) pro F3-Ereignis. Als Eintrittswahrscheinlichkeit ergibt sich daraus:

$$P(F3) = \frac{3 \cdot 3,675 \text{ km}^2}{100 \text{ a} \cdot 14 \text{ 745 km}^2} = 7,5 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{a}}$$

Bei wetterbedingten Einwirkungen von außen ist eine Zuordnung zu Auslegungsstörfällen bis zu einer Eintrittshäufigkeit von 10⁻⁴/a gemäß RSK-Stellungnahme /25/ ausreichend. Damit wird der Tornado als auslegungsüberschreitendes Ereignis eingestuft.

5.1.6 Schneefall

Die Auslegung der Zerlegehalle gegen Schneefall erfolgt gemäß den geltenden einschlägigen Normen, die die anzuwendenden Lastannahmen und Bemessungsvorschriften für Bauten enthalten.

Auswirkungen auf die Zerlegetätigkeiten und radiologische Auswirkungen auf die Umgebung sind durch diese Ereignisse deshalb nicht zu unterstellen.

5.1.7 Schneelasten

Die Auslegung der Zerlegehalle gegen Schneelasten erfolgt gemäß den geltenden einschlägigen Normen, die die anzuwendenden Lastannahmen und Bemessungsvorschriften für Bauten enthalten.

Auswirkungen auf die Zerlegetätigkeiten und radiologische Auswirkungen auf die Umgebung sind durch diese Ereignisse deshalb nicht zu unterstellen.

5.1.8 Frost

Die Auslegung der Zerlegehalle und der Lüftungs- und Klimaanlage erfolgt gemäß den geltenden einschlägigen Normen, die die anzuwendenden Bemessungsvorschriften für Bauten enthalten.

Auswirkungen auf die Zerlegetätigkeiten und radiologische Auswirkungen auf die Umgebung sind durch diese Ereignisse deshalb nicht zu unterstellen.

5.1.9 Blitzschlag

Die Auslegung der Zerlegehalle erfolgt unter Beachtung der geltenden Bestimmungen über Blitzschutzmaßnahmen. Damit ist eine ausreichende Vorsorge gegen Blitzschlag getroffen.

Auswirkungen auf die Zerlegearbeiten und radiologische Auswirkungen auf die Umgebung aufgrund von Blitzschlag sind deshalb nicht zu besorgen.

5.1.10 Außergewöhnliche Hitzeperioden

Die Auslegung der Zerlegehalle und der Lüftungs- und Klimaanlage erfolgt gemäß den geltenden einschlägigen Normen, die die anzuwendenden Bemessungsvorschriften für Bauten enthalten.

Auswirkungen auf die Zerlegetätigkeiten und radiologische Auswirkungen auf die Umgebung sind durch diese Ereignisse deshalb nicht zu unterstellen.

5.1.11 Hohe oder niedrige Luftfeuchtigkeit

Die Auslegung der Zerlegehalle und der Lüftungs- und Klimaanlage erfolgt gemäß den geltenden einschlägigen Normen, die die anzuwendenden Bemessungsvorschriften für Bauten enthalten.

Auswirkungen auf die Zerlegetätigkeiten und radiologische Auswirkungen auf die Umgebung sind durch diese Ereignisse deshalb nicht zu unterstellen.

5.1.12 Biologische Einwirkungen (z. B. mikrobiologische Korrosion)

Die durch biologische Einwirkungen möglichen Ereignisabläufe können zu Ausfällen und Störungen an Betriebssystemen oder zu Störfällen durch menschliches Versagen (z. B. *Handhabung von Lasten und bei Transportvorgängen*) führen, siehe Kapitel 4.5.

Eine Verstopfung des Kühlwassereinlaufes durch Muschelbewuchs, Algen, Fische, Laub, Treibgut etc. sowie mikrobiologische Korrosion gemäß /26/, ist auf die Zerlegehalle nicht anwendbar und damit auch nicht zu unterstellen.

5.1.13 Waldbrände

In der näheren Umgebung der Zerlegehalle sind keine Einrichtungen mit größeren Brandlasten vorhanden, die Rückwirkung auf die Zerlegehalle haben können. Als äußerer Brand kommt daher lediglich ein Brand der in der Umgebung befindlichen Bäume in Betracht. Ein Übergreifen eines Brandes auf die Zerlegehalle kann aufgrund der räumlichen Distanz ausgeschlossen werden.

Auswirkungen auf die Zerlegetätigkeiten und radiologische Auswirkungen auf die Umgebung aufgrund von äußeren Bränden sind deshalb nicht zu besorgen.

5.2 Zivilisatorische Einwirkungen

5.2.1 Flugzeugabsturz (auslegungsüberschreitend)

In einem Umkreis von ca. 50 km um den Standort Hereon befinden sich der internationale Flughafen Hamburg (37 km nordwestlich), der Flugplatz Uetersen-Heist (54 km nordwestlich) sowie die Landeplätze Lüneburg (17 km süd-südöstlich), Hamburg-Finkenwerder (41 km west-nordwestlich) und Lübeck-Blankensee (48 km nord-nordöstlich). Die Anlage liegt nicht unter einer der Einflug- oder Abflugschneisen eines Flughafens oder Landeplatzes. Ebenso befinden sich in diesem Bereich Flugbeschränkungen (ED-R3) aufgrund der Nähe zur FRG und Kernkraftwerk Krümmel (KKK).

Die Wahrscheinlichkeit eines Flugzeugabsturzes auf das Standort-Zwischenlagers des Kernkraftwerks Krümmel (SZK) wird mit ca. $1,0 \cdot 10^{-6}$ /27/ angegeben. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Wahrscheinlichkeit eines Flugzeugabsturzes auf die Zerlegehalle mit dem RDB-OH identisch zum SZK ist, da die Standorte nur eine räumliche Distanz von ca. 0,9 km aufweisen.

Trotz des sehr unwahrscheinlichen Falles eines Flugzeugabsturzes (Militärmaschine) auf die Zerlegehalle wurde dieser untersucht. Dabei wird angenommen, dass die Maschine die Gebäudedecken durchschlägt und eine punktförmige mechanische Einwirkung erfolgt, die hauptsächlich durch die massive Triebwerkswelle verursacht wird. Es wird weiter unterstellt, dass es aufgrund des austretenden Treibstoffs der Maschine zu einem Stützbrand (thermische Einwirkung) kommt.

Da es sich um ein auslegungsüberschreitendes Ereignis handelt, wird der Flugzeugabsturz nach den Vorgaben und Maßstäben der Notfall-Dosiswerte-Verordnung (NDWV) /4/ betrachtet. Als Grundlage für den Freisetzungsquellterm wird sowohl die Aktivität der Kontamination (siehe Kapitel 2.1) als auch die der Aktivierung des RDB-OH (siehe Kapitel 2.2) herangezogen.

Für die Abschätzung der Freisetzung durch eine punktförmige mechanische Einwirkung (Triebwerkswelle) werden die Freisetzungsteile des ESK-Stresstest /28/ für Rohabfälle (15 %, davon 50 % lungengängig / AED = 0 – 10 μm) herangezogen. Diese werden auf die Aktivität durch Kontamination des RDB-OH (siehe Tabelle 2-1, Spalte 3) angewendet.

Bei den aktivierten Teilen des RDB-OH handelt es sich (wie auch der gesamte RDB-OH) weitestgehend um metallische Bestandteile. Die Aktivierung ist dabei im Metallgefüge eingeschlossen und hat kein Mobilisierungspotential. Eine Freisetzung ist daher vernachlässigbar und es wird für die Aktivierung keine relevante Freisetzung unterstellt.

Weiter sind auch Freisetzungen aufgrund der thermischen Einwirkung zu unterstellen. Dazu werden die Freisetzungsanteile der Transportstudie Konrad /8, 9/ herangezogen. Um sowohl die thermische Einwirkung als auch die mechanische Einwirkung auf den RDB-OH zu berücksichtigen, werden die Abfallgebindegruppe AGG und die Belastungsklasse BK entsprechend konservativ gewählt, dass beide Freisetzungseffekte sicher abgedeckt sind.

Es wird dabei die Belastungsklasse BK 9 mit Aufprallgeschwindigkeiten > 80 km/h (z. B. durch Trümmerteile) und einem Brand bei 800 °C für 60 Minuten (aufgrund der geringen Fläche des Schachts) angesetzt. Dem RDB-OH wird die Abfallgebindegruppe (AGG) AGG 2 („Unfixierte und nicht kompaktierbare metallische und nichtmetallische Abfälle (einschließlich Verdampferkonzentrate) in Stahlblechcontainern oder Betonbehältern“) zugeordnet. Dies entspricht gemäß /8, 9/ der AGG mit den höchsten Freisetzungsanteilen von nicht brennbaren Abfällen und ist daher abdeckend. Die Freisetzungsanteile sind dabei sogar größer als die des ESK-Stresstest /28/ und werden sowohl auf das Aktivitätsinventar aufgrund der Kontamination als auch aufgrund der Aktivierung angewendet. Da die Betroffenheit aller radioaktiven Stoffe durch den Stützbrand unterstellt wird, spielt die Kerosinmenge für die Betrachtung keine Rolle (Maximalansatz).

Im Rahmen der Zerlegung des RDB-OH werden die stark aktivierten Abfälle in Stahlgussbehälter verpackt. Eine Freisetzung aus den verschlossenen Stahlgussbehältern (unabhängig von deren Abstellposition, z. B. HAKONA) ist durch die gewählten Freisetzungsanteile ebenfalls mit abgedeckt.

Der Brand verursacht in Verbindung mit der Zerstörung der Hallendecke einen entsprechenden direkten Transport in die Umgebung. Eine Rückhaltung oder Ablagerung von radioaktiven Stoffen durch die Gebäudestrukturen wird daher nicht berücksichtigt.

Die sich ergebenden Freisetzungsanteile für die zwei aerodynamischen Partikelgrößenäquivalenten (AED) und die entsprechende freigesetzte Aktivität von ca. 7,8 E11 Bq ist in Tabelle 5-2 zusammengefasst.

Tabelle 5-2: Ermittlung des Quellterms bei einem Flugzeugabsturz

Aktivitätsart	Aktivität des RDB-OH [Bq]	Freisetzungsanteil*		Freisetzung in die Umgebung [Bq]
		mechanische Einwirkung	Brand	
Kontamination	1,48 E12	7,5 E-02 (AED: 0 – 10 µm)	5,0 E-03 (AED: 0 – 10 µm)	2,30 E11 (Anteil: 15,56 %)
		7,5 E-02 (AED: 10 – 100 µm)	6,0 E-04 (AED: 10 – 100 µm)	
Aktivierung	7,85 E13	–	5,0 E-03 (AED: 0 – 10 µm)	5,49 E11 (Anteil: 5,6 E-03)
		–	6,0 E-04 (AED: 10 – 100 µm)	
Summe	8,00 E13	–	–	7,79 E11

* Freisetzungsanteil von H-3 und C-14 wird insgesamt mit 100 % angesetzt.

Der für die Berechnung der Folgedosis ermittelte, nuklidspezifische Quellterm ist in Tabelle 5-3 dargestellt.

Tabelle 5-3: Nuklidspezifische Ermittlung des Quellterms bei einem Flugzeugabsturz

Nuklide	Aktivität des RDB-OH [Bq]		Freisetzung in die Umgebung (Quellterm) [Bq]			Gesamt
	Aktivierung	Kontamination	Brand (5,6E-3)	mech. Einwirkung (0,15)	Brand (5,6E-3)	
H-3	5,55 E09	–	5,55 E09	–	–	5,55 E09
C-14	1,05 E11	2,95 E07	1,05 E11	–	2,95 E07	1,05 E11
Ar-39	1,02 E07	–	1,02 E07	–	–	1,02 E07
Fe-55	2,24 E10	–	1,25 E08	–	–	1,25 E08
Co-60	1,42 E12	1,78 E09	7,98 E09	2,67 E08	9,97 E06	8,26 E09
Ni-59	8,16 E11	–	4,57 E09	–	–	4,57 E09
Ni-63	7,50 E13	1,46 E12	4,20 E11	2,19 E11	8,18 E09	6,47 E11
Sr-90	1,40 E06	7,75 E08	7,83 E03	1,16 E08	4,34 E06	1,21 E08
Nb-91	5,41 E07	–	3,03 E05	–	–	3,03 E05
Nb-93m	9,48 E11	–	5,31 E09	–	–	5,31 E09
Nb-94	9,89 E10	7,75 E07	5,54 E08	1,16 E07	4,34 E05	5,66 E08

Nuklide	Aktivität des RDB-OH [Bq]		Freisetzung in die Umgebung (Quellterm) [Bq]			Gesamt
	Aktivierung	Kontamination	Aktivierung Brand (5,6E-3)	Kontamination mech. Einwirkung (0,15)	Brand (5,6E-3)	
Mo-93	1,67 E09	–	9,32 E06	–	–	9,32 E06
Tc-99	2,78 E08	–	1,56 E06	–	–	1,56 E06
Ag-108m	–	5,25 E06	–	7,88 E05	2,94 E04	8,17 E05
Cs-137	2,90 E06	6,73 E09	1,62 E04	1,01 E09	3,77 E07	1,05 E09
Eu-154	–	9,51 E06	–	1,43 E06	5,33 E04	1,48 E06
U-234	–	7,09 E06	–	1,06 E06	3,97 E04	1,10 E06
U-235	–	1,01 E06	–	1,52 E05	5,66 E03	1,58 E05
U-238	–	5,33 E06	–	8,00 E05	2,98 E04	8,30 E05
Pu-238	–	2,10 E08	–	3,15 E07	1,18 E06	3,27 E07
Pu-239	–	6,51 E08	–	9,77 E07	3,65 E06	1,01 E08
Pu-240	–	6,51 E08	–	9,77 E07	3,65 E06	1,01 E08
Pu-241	1,50 E06	2,91 E09	8,39 E03	4,37 E08	1,63 E07	4,53 E08
Am-241	–	2,11 E09	–	3,17 E08	1,18 E07	3,29 E08
Am-242m	–	2,21 E08	–	3,32 E07	1,24 E06	3,44 E07
Am-243	–	3,66 E06	–	5,49 E05	2,05 E04	5,70 E05
Cm-243	–	8,71 E06	–	1,31 E06	4,88 E04	1,36 E06
Cm-244	–	7,71 E06	–	1,16 E06	4,32 E04	1,20 E06
Summe:	7,85 E13	1,48 E12	5,49 E11	2,21 E11	8,30 E09	7,79 E11

–: < 1,0 E06

Dieser Quellterm ist abdeckend für den Beginn der Zerlegung bis hin zu dem Zeitpunkt, an dem alle radioaktiven Abfälle des RDB-OH in der HAKONA gelagert werden. Es wird bei dem gewählten Ansatz das vollständige Aktivitätsinventar und die größten zu unterstellenden Freisetzunganteile berücksichtigt sowie eine direkte Freisetzung in die Umgebung unterstellt. Diese Bedingungen decken sowohl die Zerlegung des RDB-OH als auch die Lagerung in der HAKONA ab.

Das Freisetzungspotential wird auch im Verlauf der Zerlegung kleiner, da die Komponenten mit einer Aussicht auf Freigabe entsprechend (extern) dekontaminiert werden, als auch die

Verpackung von aktivierten Komponenten in Stahlgussbehältern erfolgt. Diese haben bei mechanischer und thermischer Einwirkung im Vergleich zu den unterstellten Anteilen deutlich geringere Freisetzungsteile. Mit der Verpackung und Lagerung in der HAKONA sinkt somit das Freisetzungspotential.

5.2.2 Anlagenexterne Explosion (auslegungsüberschreitend)

Die Wärmeversorgung mehrerer Gebäude des Hereons erfolgt über ein zentrales Heizwerk (in ca. 280 m Entfernung zur Zerlegehalle RDB-OH). Als Brennstoff wird Erdgas verwendet, das über eine Verteilleitung der Stadtwerke Geesthacht (STWG) und ein Hereon-eigenes Leitungsnetz bezogen wird. Die Gasleitung der STWG überquert die Außengrenze des Hereon-Geländes im Bereich der Pforte bis zu einer Gasregelstation (ca. 430 m Entfernung von der Zerlegehalle RDB-OH). Eine weitere Gasleitung, die der Versorgung des Ortsteils Tesperhude dient, nähert sich dem Hereon-Gelände von Südosten (mit einer minimalen Entfernung von ca. 360 m zur Zerlegehalle RDB-OH).

Der Bau und der Betrieb von Gasleitungen bis zum letzten Absperrorgan vor der Verbrauchsstelle unterliegen insbesondere auch auf Werksgeländen dem Energiewirtschaftsgesetz und sind dem DVGW-Regelwerk (DVGW – Deutscher Verband des Gas- und Wasserfachs) entsprechend auszuführen. Sofern die Anlagen und Leitungen der Gasversorgung nicht durch den Eingriff Dritter beschädigt werden, sind Gefährdungen, die von dieser Technik ausgehen, vernünftigerweise ausgeschlossen. Dennoch wird der vollständige Abriss der Leitung im Bereich der Gasversorgungsleitung im Südosten, an der Gasregelstation und am Heizwerk unterstellt. Dabei wird konservativ angenommen, dass sich eine große Gaswolke ansammelt und zu einem späten Zeitpunkt zündet (Late Explosion). Die durchgeführte Sicherheitsanalyse /29/ zeigt für alle drei Fälle, dass unter den konservativen Annahmen mit keiner Druckwelle zu rechnen ist und es somit zu keiner Gefährdung der kerntechnisch relevanten Anlagen kommt. Ebenso kann eine Gefährdung durch Trümmerflug ausgeschlossen werden.

Auf dem Hereon-Gelände wurde in ca. 350 m Entfernung zur zu errichtenden Zerlegehalle eine Versuchsanlage zur Wasserstoffspeicherung HTTF 2 errichtet. Die HTTF 2 ist gemäß allen anzuwendenden technischen Regeln und Richtlinien errichtet und befindet sich auf dem Stand von Wissenschaft und Technik. Die HTTF 2 ist keine erlaubnispflichtige Anlage nach

§ 18 Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) /30/. Die HTTF 2 wird erst in Betrieb genommen, wenn der Nachweis der Rückwirkungsfreiheit des Betriebs der HTTF 2 auf die Zerlegehalle im aufsichtlichen Verfahren erfolgt ist.

Weiter muss eine Explosion auf einem vorbeifahrenden Schiff auf der Elbe als sehr seltenes Ereignis unterstellt werden.

Aufgrund der GGBVOHH /31/ dürfen explosionsgefährliche Stoffe, bei denen eine Explosion nicht auf das Versandstück beschränkt bleibt, im Regelungsbereich nicht abgestellt werden. Ebenso ist die Masse von explosionsgefährlichen Stoffen, die den Regelungsbereich der GGBVOHH /31/ durchfahren, bzw. die direkt überladen werden, beschränkt (2 000 kg für Explosivstoffe der Gefahrgutklasse 1.1). Als Sicherheitsbestimmung sind solche Güter bordseitig besonders zu überwachen.

Aufgrund der Nähe zum Regelungsbereich der GGBVOHH /31/ und der damit verbundenen Einschränkungen und Sicherheitsmaßnahmen ist eine Explosion auf einem vorbeifahrenden Schiff auf der Elbe als sehr seltenes Ereignis einzustufen. Gemäß 2. SprengV /32/ ist bei Explosivstoffen (2 000 kg der Gefahrgutklasse 1.1 und Gefährdung durch schwere Sprengstücke) ein Sicherheitsabstand von 275 m einzuhalten. Für Explosivstoffe der anderen Gefahrgutklassen 1.2 – 1.6 ergeben sich geringere Sicherheitsabstände. Aufgrund einer Entfernung von ca. 300 m zur Fahrrinne sind keine relevanten Auswirkungen zu erwarten, die nicht durch die betrachteten Einwirkungen durch *Erdbeben* oder den *Flugzeugabsturz* abgedeckt sind.

Die Durchfahrt von gefährlichen Gütern auf der K63 (Elbuferstraße) wird durch die Negativliste der „Fahrwegbestimmung nach der Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt (GGVSEB)“ /33/ ausgeschlossen. Aktive Bahnstrecken sind in der näheren Umgebung nicht vorhanden. Somit geht hiervon keine Gefährdung für die Zerlegung des RDB-OH aus.

Im Übrigen finden sich im Umkreis des Standorts Hereon keine chemischen Betriebe, in denen mit explosionsgefährlichen Stoffen umgegangen wird.

5.2.3 Eindringen gefährlicher Stoffe

Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten ist mit dem Auftreten von signifikanten Mengen gefährlicher Stoffe nicht zu rechnen. Auf dem Hereon-Gelände sind gefährliche Stoffe überwiegend in den Laboren vorhanden und liegen in täglichen Verbrauchsmengen vor. Größere Mengen werden in zugelassenen Gefahrstoffschränken aufbewahrt und sind somit ausreichend sicher.

In der näheren Umgebung der Zerlegehalle gibt es keine Einrichtungen, die als mögliche Quelle hierfür in Frage kommen (vergleiche auch Kapitel 5.2.2). Das Ereignis ist daher als unwahrscheinlich anzusehen.

Bei unterstellten anlagenexternen Bränden ergeben sich aufgrund der thermischen Überhöhung und der Abstände auch bei ungünstigen Windrichtungen entsprechende Verdünnungen und damit nur geringe Brandgaskonzentrationen.

Sofern ein sicheres Durchführen von Abbautätigkeiten nicht möglich sein sollte bzw. eine Gefährdung durch Gase bekannt wird, werden die Tätigkeiten entsprechend unterbrochen und das Personal begibt sich in Sicherheit.

Sollten widererwarten Gase eindringen, können diese zu Störungen an Betriebssystemen oder zu Störungen durch menschliches Versagen (z. B. *Handhabung von Lasten und bei Transportvorgängen*) führen, siehe Kapitel 4.5.

Auf dem Hereon-Gelände um die Zerlegehalle gibt es keine Einrichtungen, in denen entsprechend große Mengen an Gasen vorhanden wären. Bei einer unterstellten Quelle außerhalb dieses Geländes (minimale Entfernung zum Lufteinlass > 60 m) ergibt sich bei ungünstigster Ausbreitungsrichtung aufgrund der Durchmischung (Ausbreitungsklasse F) keine ausreichend hohe Konzentration in der Atmosphäre an der Zerlegehalle (Konzentration < untere Explosionsgrenze, z. B. Wasserstoff, Methan etc.). Somit wird ein Eindringen von Gasen, die in der Zerlegehalle zu einem explosionsfähigen Gemisch führen, als sehr unwahrscheinlich bewertet. Sofern eine Explosion trotzdem zu unterstellen ist, wird dieses Ereignis durch den *Flugzeugabsturz* mit abgedeckt.

Dies gilt gleichermaßen bei einem späteren Betrieb der Versuchsanlage zur Wasserstoffspeicherung HTTF 2 auf dem Hereon-Gelände mit einer Entfernung von ca. 350 m.

5.2.4 Anlagenexterner Brand

In der näheren Umgebung der Zerlegehalle sind keine Einrichtungen mit größeren Brandlasten vorhanden, die Rückwirkung auf die Zerlegehalle haben können. In der angrenzenden Halle zur Komponenten-Nachuntersuchung (HAKONA, Gebäude 44, Zerlegehalle zugewandte Seite) befinden sich ausschließlich verschlossene Gebinde mit weitestgehend nicht brennbaren radioaktiven Stoffen. Ein Brand ist daher sehr unwahrscheinlich.

Ebenso ist die der HAKONA zugewandte Wand der Zerlegehalle als Brandwand ausgelegt. Selbst bei einem zu unterstellenden Brand in der HAKONA wird durch den Brandschutz und das Eingreifen der alarmierten Feuerwehr ein Übergreifen auf die Zerlegehalle verhindert.

In den anderen Gebäudeteilen des Gebäudes 44 (Lager der Sammelstelle, Zerlegehalle abgewandte Seite) befinden sich ebenfalls nur verschlossene Abfallgebände und ansonsten ebenso nur sehr geringe Brandlasten. Aufgrund der Entfernung, auch von weiteren Gebäuden sowie dem Eingreifen der im Brandfall alarmierten Feuerwehr, ist ein Übergreifen auf die Zerlegehalle RDB-OH nicht zu unterstellen.

Ein Übergreifen eines potentiellen Brandes von anderen Stellen innerhalb, als auch außerhalb des Hereon-Geländes auf die Zerlegehalle RDB-OH, z. B. durch Brand umliegender Bäume oder Gebäude, kann auf Grund der räumlichen Distanz ausgeschlossen werden. Ebenso bleibt ein potentieller Brand auf die Zerlegehalle RDB-OH beschränkt (siehe auch Kapitel 5.1.13).

Auswirkungen auf die Zerlegetätigkeiten und radiologische Auswirkungen auf die Umgebung durch die Zerlegehalle aufgrund von anlagenexternen Bränden sind deshalb nicht zu unterstellen.

5.3 Beeinflussung durch Störfälle in benachbarten Anlagen

Südöstlich an die Zerlegehalle schließen sich die HAKONA und die Sammelstelle an. Ein potentieller Brand in der HAKONA ist im Kapitel 5.2.4 behandelt. Ereignisse aufgrund eines Ausfalls von Versorgungseinrichtungen sind in Kapitel 4.7.1 beschrieben. Weiter ergeben sich aufgrund der Eigenständigkeit der Zerlegehalle RDB-OH keine weiteren Beeinflussungen durch andere Anlagen.

5.4 Ereignisse, die nicht durch das Ereignisspektrum im Abschnitt 9.1 und 9.2 der ESK-Leitlinien abgedeckt sind

Aufgrund der Lage am Geesthang ist das standortspezifische Ereignis „Erdrutsch“ zu betrachten. Darüber hinaus ergeben sich keine weiteren Ereignisse die nicht durch die oben beschriebenen Ereignisse mit abgedeckt wären.

Weiter ergeben sich aus den *Forschungsarbeiten zur Analyse von Rückbauerschwernissen bei Stilllegungsvorhaben infolge von Vorkommnissen /34/* ebenso keine weiteren Hinweise auf nicht abgedeckte Ereignisse. In dieser Analyse wurden nicht nur Kernkraftwerke in Stilllegung, sondern auch Forschungsreaktoren und Anlagen der nuklearen Ver- und Entsorgung betrachtet.

5.4.1 Erdrutsche

Die zu errichtende Zerlegehalle bzw. der Betonschacht des RDB-OH befinden sich auf einen ca. 55 m breiten horizontalen Absatz am Geesthang. Die Steigung den bewachsenen Hang hinauf (Abstand ca. 20 m) beträgt ca. 20 %, das Gefälle in Richtung Elbuferstraße ist etwas geringer.

Aufgrund der geringen Steigung sind Erdrutsche mit Auswirkungen auf die zu errichtende Zerlegehalle, die zu einer relevanten Freisetzung führen, ausgeschlossen.

6 Betrachtung des abdeckenden Störfalls

6.1 Auswahl des Störfalls für die Ausbreitungs- und Dosisrechnung

In Tabelle 6-1 sind die Quellterme zur Auswahl des abdeckenden Störfalls für die Ausbreitungsrechnung aufgelistet. Dabei werden diejenigen Ereignisse hier nicht weiter berücksichtigt, aus denen potentiell Freisetzungen resultieren, die deutlich unterhalb der beantragten Ableitungen liegen bzw. als Störungen zu bewerten sind.

Tabelle 6-1: Auswahl des abdeckenden Störfalls für die Ausbreitungsrechnung

Störfall	Freisetzung in die Umgebung (Quellterm) [Bq] (mit Nuklidverteilung: Kontamination)	Auswahl
Brand des Fortluftfilters	1,48 E08	
Lastabsturz beim Transport außerhalb der Anlagengebäude	1,52 E07	
Lastabsturz und Brand beim Transport außerhalb der Anlagengebäude	1,23 E09	X
Erdbeben	1,48 E09	X

Anhand des Freisetzungsquellterms kann bezüglich der Störfälle *Lastabsturz und Brand beim Transport außerhalb der Anlagengebäude* und *Erdbeben* nicht entschieden werden, welches der abdeckende der beiden ist, da mit den Störfällen gegebenenfalls unterschiedliche Randbedingungen anzuwenden sind (z. B. effektive Emissionshöhe, Verteilung der aerodynamisch äquivalenten Partikeldurchmesser AED). Daher werden im folgenden Kapitel 6.2 die beiden Störfälle näher betrachtet.

Darüber hinaus wird auch das auslegungsüberschreitende Ereignis *Flugzeugabsturz* in Kapitel 6.3 näher betrachtet.

6.2 Berechnung der Exposition in der Umgebung infolge des abdeckenden Störfalls

Für die Ermittlung der resultierenden Dosis für eine Einzelperson in der Umgebung ist die Betrachtung des *Lastabsturzes und Brand beim Transport außerhalb der Anlagengebäude* sowie des *Erdbebens* erforderlich. Aus der Freisetzungsaktivität und der Nuklidverteilung der Kontamination ergeben sich die in Tabelle 6-2 zusammengefassten nuklidspezifischen Freisetzungen.

Tabelle 6-2: Nuklidspezifische Freisetzungen in die Umgebung der Störfälle *Lastabsturz und Brand beim Transport außerhalb der Anlagengebäude* und *Erdbeben*

Nuklid	Nuklidspezifischer Anteil	Freisetzung in die Umgebung [Bq]	
		Lastabsturz und Brand außerhalb Gebäude	Erdbeben
C-14 (CO ₂)	2,00 E-05	2,46 E04	2,96 E04
Co-60	1,20 E-03	1,48 E06	1,78 E06
Ni-63 (Aerosol)	9,89 E-01	1,22 E09	1,46 E09
Sr-90	5,24 E-04	6,44 E05	7,75 E05
Nb-94	5,24 E-05	6,45 E04	7,76 E04
Ag-108m	3,55 E-06	4,37 E03	5,26 E03
Cs-137	4,56 E-03	5,60 E06	6,74 E06
Eu-154	6,44 E-06	7,92 E03	9,53 E03
U-234	4,80 E-06	5,90 E03	7,10 E03
U-235	6,83 E-07	8,40 E02	1,01 E03
U-238	3,61 E-06	4,43 E03	5,34 E03
Pu-238	1,42 E-04	1,75 E05	2,10 E05
Pu-239	4,40 E-04	5,42 E05	6,52 E05
Pu-240	4,40 E-04	5,42 E05	6,52 E05
Pu-241	1,97 E-03	2,42 E06	2,91 E06
Am-241	1,43 E-03	1,76 E06	2,12 E06
Am-242m	1,50 E-04	1,84 E05	2,21 E05
Am-243	2,48 E-06	3,05 E03	3,67 E03

Nuklid	Nuklidspezifischer Anteil	Freisetzung in die Umgebung [Bq]	
		Lastabsturz und Brand außerhalb Gebäude	Erdbeben
Cm-243	5,89 E-06	7,25 E03	8,72 E03
Cm-244	5,22 E-06	6,42 E03	7,72 E03
Summe	1,00 E00	1,23 E09	1,48 E09

Die Ausbreitungs- und Dosisrechnung erfolgen für die Auslegungsstörfälle mit dem Programm STRESS 2007 /35/.

Die Ausbreitungs- und Dosisrechnung mit dem Programm STRESS 2007 erfolgt gemäß den Vorgaben der Neufassung des Kapitels 4 der Störfallberechnungsgrundlage zu § 49 StrlSchV (alt) /3/ inklusive aller Expositionspfade und 6 Altersgruppen. Es werden die erhöhten Atemraten und Verzehrswerten, unter Anwendung der Konservativitätsfaktoren, verwendet. Als Dosiskoeffizienten werden die in der Beilage 160 a und b zum Bundesanzeiger vom 28. August 2001 /7/ veröffentlichten Werte verwendet. Es wird für die Dosisberechnung der Inhalation nuklidspezifisch diejenige Absorptionsklasse verwendet, die den größten Inhalationskoeffizienten aufweist und damit den höchsten Dosisbeitrag liefert.

6.2.1 Berechnung der Exposition infolge eines potentiellen Lastabsturzes und Brand beim Transport außerhalb der Anlagengebäude

Auf Basis des ermittelten Quellterms für den Störfall *Lastabsturz und Brand beim Transport außerhalb der Anlagengebäude* (siehe Tabelle 6-2, Spalte 3) wurde eine Ausbreitungs- und Dosisrechnung mit dem Programm STRESS 2007 /35/ durchgeführt. Hierbei wurden folgende Randbedingungen zugrunde gelegt:

- mittlere effektive Emissionshöhe: 50 m (thermische Überhöhung) /28/
- Zeitintervall der Freisetzung: 8,0 h
- Minimale Entfernung zum Anlagenzaun: 100 m

- Verteilung des aerodynamisch äquivalenten Partikeldurchmessers:
 - 0 – 10 µm: 100 %
(Der Anteil AED 10 – 100 µm ist < 1 % und wird daher konservativ AED 0 – 10 µm zugeschlagen.)

Bei diesen Bedingungen ergibt sich für die ungünstigste Referenzperson „Kind > 2 – ≤ 7 Jahre“ eine effektive Dosis von ca. 14 µSv. Die ungünstigste Diffusionskategorie ist „C“ (schwach instabil / schwach turbulent).

Die Dokumentation der Berechnung der Exposition in der Umgebung befindet sich in Anlage 1.

6.2.2 Berechnung der Exposition infolge eines potentiellen Erdbebens

Auf Basis des ermittelten Quellterms für das Ereignis *Erdbeben* (siehe Tabelle 6-2, Spalte 4) wurde eine Ausbreitungs- und Dosisrechnung mit dem Programm STRESS 2007 /35/ durchgeführt. Hierbei wurden folgende Randbedingungen zugrunde gelegt:

- Freisetzungshöhe: 5 m (halbe Gebäudehöhe)
- Zeitintervall der Freisetzung: 8,0 h
- Minimale Entfernung zum Anlagenzaun: 100 m
- Verteilung des aerodynamisch äquivalenten Partikeldurchmessers (vergleiche Tabelle 5-1):

- 0 – 5 µm:	16,7 %	}	1/3 (0 – 10 µm)
- 5 – 10 µm:	16,6 %		
- 10 – 20 µm:	40,0 %	}	2/3 (10 – 100 µm)
- 20 – 40 µm:	20,0 %		
- 40 – 70 µm:	6,7 %		
- 70 – 100 µm:	0 %		
- Berücksichtigung des Gebäudeeinflusses (Höhe: 10 m, Breite: 20 m)

Bei diesen Bedingungen ergibt sich für die ungünstigste Referenzperson „Kind > 2 – ≤ 7 Jahre“ eine effektive Dosis von ca. 0,35 mSv. Die ungünstigste Diffusionskategorie ist „D“ (neutral). Die ungünstigste Entfernung liegt bei ca. 100 m, die jedoch nur bei Wind aus nordwestlichen bis östlichen Richtungen zu einem Aufpunkt außerhalb des Hereon-Geländes im Bereich der Elbuferstraße bzw. des Ufers der Elbe (Sektoren 5 – 10) führt.

Die Dokumentation der Berechnung der Exposition in der Umgebung befindet sich in Anlage 2.

6.3 Vergleich der ermittelten Dosiswerte mit den Grenzwerten der StrISchV

Die Begrenzung der Exposition als Folge von Störfällen bei sonstigen Anlagen und Einrichtungen und bei Stilllegungen regelt § 104 Abs. 3 und 4 in Verbindung mit Abs. 6 StrISchV /2/. Demnach sind bei der Planung von anderen (als in § 104 Abs. 1 genannten) Anlagen (nicht Kernkraftwerke) Schutzmaßnahmen unter Berücksichtigung des potenziellen Schadensausmaßes zu treffen, so dass im Falle eines möglichen Störfalles mit Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung ein festgelegter Wert für die Exposition in der Umgebung nicht überschritten wird. Dieser Wert ist in der Übergangsvorschrift gemäß § 194 StrISchV /2/ auf eine effektive Dosis von 50 mSv begrenzt.

In der Störfallanalyse wurden sicherheitstechnisch bedeutsame Ereignisabläufe bei der Errichtung der Zerlegehalle und bei der Zerlegung des Reaktordruckbehälters mit Schildtank des Nuklearschiffs Otto Hahn analysiert. Es wurde nachgewiesen, dass die mögliche Exposition als Folge von Störfällen bei der Zerlegung weniger als 1 % der gemäß StrISchV /2/ zulässigen Exposition beträgt.

7 Betrachtung des auslegungsüberschreitenden Störfalls

7.1 Berechnung der Exposition infolge eines potentiellen Flugzeugabsturzes

Auf Basis des ermittelten Quellterms für das auslegungsüberschreitende Ereignis *Flugzeugabsturz* und des in Tabelle 5-3 angegebenen Nuklidgemischs wurde eine Ausbreitungsrechnung mit dem Programm SAFER 2 /36/ durchgeführt.

Die Ausbreitungs- und Dosisrechnung mit dem Programm SAFER 2 erfolgt gemäß „Leitfaden für den fachlichen Berater der Katastrophenschutzleitung bei kerntechnischen Notfällen“ /37/. Dabei werden gemäß /4/ nur die Expositionspfade:

- äußere Exposition:
 - Gammasubmersion
 - Betasubmersion
 - Bodenstrahlung
- innere Exposition:
 - Inhalation

berücksichtigt. Es werden die Altersgruppen Kleinkind (> 1 – ≤ 2 Jahre) und Erwachsene (> 17 Jahre) betrachtet und die erhöhten Atemraten nach /3/ verwendet. Als Dosiskoeffizienten werden die in der Beilage 160 a und b zum Bundesanzeiger vom 28. August 2001 /7/ veröffentlichten Werte verwendet.

Es wurden folgende Randbedingungen zugrunde gelegt:

- mittlere effektive Emissionshöhe: 50 m (thermische Überhöhung) /28/
- Zeitintervall der Freisetzung: 1 h
- Minimal angenommener Abstand: 100 m
- Expositionsdauer: 7 Tage
- Verteilung des aerodynamisch äquivalenten Partikeldurchmessers (vergleiche Tabelle 5-3):
 - 0 – 5 µm: 45,0 %
 - 5 – 10 µm: 31,3 % } 76,3 % (0 – 10 µm)

- 10 – 20 µm:	15,0 %	} 23,7 % (10 – 100 µm)
- 20 – 40 µm:	5,0 %	
- 40 – 70 µm:	2,0 %	
- 70 – 100 µm:	1,7 %	

Die gewählte aerodynamisch äquivalente Partikelgrößenverteilung von 0 – 10 µm und 10 – 100 µm ergibt sich aus den entsprechenden Freisetzunganteilen aus Brand und punktförmiger mechanischer Einwirkung (siehe Tabelle 5-2).

Einige Nuklide des Quellterms sind in dem Programm SAFER 2 nicht verfügbar. Um trotzdem eine abdeckende Berechnung mit SAFER 2 durchführen zu können, wurde bezüglich der entsprechenden Nuklide wie folgt vorgegangen:

- Ar-39: Die Dosiskoeffizienten der effektiven Dosis sind 0 und die Aktivität wurde daher nicht berücksichtigt.
- Ni-59: Aktivität wird der Aktivität von Ni-63 zugeschlagen.
- Nb-91: Aktivitätsanteil sehr gering und daher nicht berücksichtigt. Keine Dosiskoeffizienten.
- Nb-93m: Aktivität wird mit Faktor 2 der Aktivität von Ni-63 zugeschlagen, da die Dosiskoeffizienten für das Nuklid Ni-63 nicht vollständig abdeckend für Nb-93m sind. Der damit nicht berücksichtigte Anteil durch Gamma-Bodenstrahlung und Gamma-Submersion sind gegenüber den Beiträgen durch Co-60 vernachlässigbar.
- Mo-93: Aktivität wird der Aktivität von Co-60 zugeschlagen.
- Tc-99: Aktivität wird der Aktivität von Co-60 zugeschlagen.
- Eu-154: Dosiskoeffizienten für das Nuklid Cs-137 sind nicht vollständig abdeckend für Eu-154, daher wird die Aktivität dem Nuklid Cs-137 mit dem Faktor 2 zugeschlagen.
- Am-242m: Aktivität wird der Aktivität von Am-241 zugeschlagen
- Am-243: Aktivität wird der Aktivität von Am-241 zugeschlagen

Der entsprechend angepasste nuklidspezifischen Freisetzungen für die Ausbreitungs- und Dosisrechnung sind in Tabelle 7-1 zusammengefasst.

Tabelle 7-1: Nuklidspezifischer Quellterm für die Ausbreitungs- und Dosisrechnung mit SAFER 2

Nuklide	Freisetzung in die Umgebung (Quellterm) [Bq]	Eingangs-Quellterm für SAFER 2 [Bq]	Bemerkung
H-3 (Wasser)	5,55 E09	5,55 E09	
C-14 (CO ₂)	1,05 E11	1,05 E11	
Ar-39	1,02 E07	–	nicht relevant
Fe-55	1,25 E08	1,25 E08	
Co-60	8,26 E09	8,27 E09	inklusive Mo-93 und Tc-99
Ni-59	4,57 E09	–	Ni-63 zugeschlagen
Ni-63	6,47 E11	6,62 E11	inklusive Ni-59 und Nb-93m
Sr-90	1,21 E08	1,21 E08	
Nb-91	3,03 E05	–	nicht relevant
Nb-93m	5,31 E09	–	Ni-63 mit Faktor 2 zugeschlagen
Nb-94	5,66 E08	5,66 E08	
Mo-93	9,32 E06	–	Co-60 zugeschlagen
Tc-99	1,56 E06	–	Co-60 zugeschlagen
Ag-108m	8,17 E05	8,17 E05	
Cs-137	1,05 E09	1,05 E09	inklusive Eu-154
Eu-154	1,48 E06	–	Cs-137 mit Faktor 2 zugeschlagen
U-234	1,10 E06	1,10 E06	
U-235	1,58 E05	1,58 E05	
U-238	8,30 E05	8,30 E05	
Pu-238	3,27 E07	3,27 E07	
Pu-239	1,01 E08	1,01 E08	
Pu-240	1,01 E08	1,01 E08	
Pu-241	4,53 E08	4,53 E08	
Am-241	3,29 E08	3,64 E08	inklusive Am-242m und Am243
Am-242m	3,44 E07	–	Am-241 zugeschlagen
Am-243	5,70 E05	–	Am-241 zugeschlagen

Nuklide	Freisetzung in die Umgebung (Quellterm) [Bq]	Eingangs-Quellterm für SAFER 2 [Bq]	Bemerkung
Cm-243	1,36 E06	1,36 E06	
Cm-244	1,20 E06	1,20 E06	
Summe:	7,79 E11	(7,84 E11)	

Bei diesen Bedingungen ergibt sich für die ungünstigste Referenzperson „Erwachsener >17 Jahre“ eine effektive Dosis von ca. 0,41 mSv. Für Kleinkinder (>1 – ≤ 2 Jahre) ergibt sich eine effektive Dosis von ca. 0,17 mSv. Die ungünstigste Diffusionskategorie ist „A“ (labil). Die ungünstigste Entfernung liegt bei ca. 200 m, die jedoch nur bei Wind aus nordwestlichen bis östlichen Richtungen zu einem Aufpunkt außerhalb des Hereon-Geländes im Bereich der Elbuferstraße (Sektor 5, 6 und 10) bzw. auf der Elbe (Sektoren 7 – 9) führt.

Die Dokumentation der Berechnung der Exposition in der Umgebung befindet sich in Anlage 3.

7.2 Vergleich der ermittelten Dosiswerte des auslegungsüberschreitenden Störfalls mit den radiologischen Kriterien der Notfall-Dosiswerte-Verordnung

In der Notfall-Dosiswerte-Verordnung (NDWV) /4/ sind radiologische Kriterien für die Angemessenheit von Schutzmaßnahmen festgelegt. Bei einer zu erwartenden effektiven Dosis von 10 mSv, welche betroffene Personen ohne Schutzmaßnahmen bei einem Daueraufenthalt im Freien innerhalb von sieben Tagen erhalten würden, ist die Aufforderung der Bevölkerung zum „Aufenthalt in Gebäuden“ angemessen. Dabei ist für die Dosis die Summe aus äußerer Exposition und Inhalation zu bilden. Bei einer zu erwartenden effektiven Dosis von 100 mSv ist entsprechend eine „Evakuierung“ angemessen.

Die entsprechend der Störfallanalyse zu erwartende effektive Dosis für die ungünstigste Referenzperson durch einen auslegungsüberschreitenden Flugzeugabsturz ist Größenordnungen kleiner als die radiologischen Kriterien für die Angemessenheit zum „Aufenthalt in Gebäuden“ und „Evakuierung“. Es sind somit für die Umgebung der Zerlegehalle mit dem RDB-OH keine frühen Notfallschutzmaßnahmen erforderlich.

8 Zusammenfassung

Für die Abschätzung der Auswirkungen von Störfällen wurden die Szenarien in Betracht gezogen, bei denen mit der höchsten Freisetzung von Radioaktivität zu rechnen ist. Die betrachteten Ereignisse und die daraus resultierende höchste Exposition in der Umgebung ergeben für das Erdbeben, für die ungünstigste Referenzperson Kind ($> 2 - \leq 7$ Jahre) und die ungünstigste Diffusionskategorie („D“) einen Wert von ca. 0,35 mSv für die effektive Dosis. Dieser liegt Größenordnungen unterhalb des Störfallplanungswertes der StrlSchV (§ 104 in Verbindung mit § 194) von 50 mSv.

Die zu erwartende effektive Dosis für die ungünstigste Referenzperson durch einen auslegungsüberschreitenden, abdeckenden Flugzeugabsturz zeigt, dass für die Umgebung der Zerleghalle RDB-OH keine frühen Notfallschutzmaßnahmen erforderlich sind.

Literatur und verwendete Gesetze

- /1/ Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz – AtG) vom 23.1.1959 (BGBl. I S. 814) in der Fassung vom 15.07.1985 (BGBl. I S. 1565), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 4. Dezember 2022 (BGBl. I S. 2153).
- /2/ Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2036), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 8. Oktober 2021 (BGBl. I S. 4645).
- /3/ Störfallberechnungsgrundlagen für die Leitlinien zur Beurteilung der Auslegung von Kernkraftwerken mit DWR gemäß § 28 Abs. 3 StrlSchV vom 18. Oktober 1983 (BAnz. 1983, Nr. 245a), Fassung des Kapitels 4 "Berechnung der Strahlenexposition" vom 29. Juni 1994 (BAnz. 1994, Nr. 222a), Neufassung des Kapitels 4 "Berechnung der Strahlenexposition" gemäß § 49 StrlSchV vom 20. Juli 2001 verabschiedet auf der 186. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 11. September 2003, veröffentlicht in der Reihe "Berichte der Strahlenschutzkommission", Heft 44, 2004.
- /4/ Verordnung zur Festlegung von Dosiswerten für frühe Notfallschutzmaßnahmen (Notfall-Dosiswerte-Verordnung – NDWV) vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2172; 2021 I S. 5261).
- /5/ 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, EB-FRG/HL/RDB-OH-18, Helmholtz-Zentrum hereon GmbH.
- /6/ Empfehlung der Entsorgungskommission (ESK) Leitlinien für die Konditionierung von radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung, vom 10.12.2020, inklusive der „Anwendung der ESK-Leitlinien für die Konditionierung von radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung“ vom 25.03.2021.

- /7/ Dosiskoeffizienten bei äußerer und innerer Strahlenexposition, Beilage 160 a und b zum Bundesanzeiger vom 28. August 2001.

- /8/ GRS: „Transportstudie Konrad 2009“, GRS-256, Dezember 2009 mit Corrigendum vom April 2010.

- /9/ GRS: „Überprüfung des unfallbedingten Freisetzungsverhaltens bei der Beförderung radioaktiver Stoffe“, GRS-482, Oktober 2017.

- /10/ Technische Notiz: Forschungsschiff Otto Hahn – Mechanische Nachweise zum Lastabsturz eines Dachbinders auf die Abdeckung des RDB-Schachtes, T/WTI/21/002, Rev. 1, vom 14.03.2023.

- /11/ Störfallanalyse – Erläuterungsbericht zum Betrieb der Bereitstellungshalle (BSH), vom 30. November 2016.

- /12/ KTA-Regel 3902 – Auslegung von Hebezeugen in Kernkraftwerken, Fassung 2020-12.

- /13/ Verordnung über die innerstaatliche und grenzüberschreitende Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße, mit Eisenbahnen und auf Binnengewässern (Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt – GGVSEB) in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. März 2021 (BGBl. I S. 481), zuletzt geändert durch Artikel 28 des Gesetzes vom 2. März 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 56).

- /14/ Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR), vom 16. November 2021 (BGBl. II S. 1184).

- /15/ KTA-Regel 2103 – Explosionsschutz in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren (allgemeine und fallbezogene Anforderungen), Fassung 2015-11.

- /16/ KTA-Regel 2101.3 – Brandschutz in Kernkraftwerken, Teil 3: Brandschutz an maschinen- und elektrotechnischen Anlagen, Fassung 2015-11.

- /17/ Brandschutzkonzept Zerlegehalle – 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-19), Helmholtz-Zentrum hereon GmbH.

- /18/ 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 (EB-FRG/HL/RDB-OH-20), Helmholtz-Zentrum hereon GmbH.

- /19/ DIN EN 1998-1/NA, Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbau – Nationaler Anhang, Ausgabe 2021-07.

- /20/ Bundesanstalt für Gewässerkunde – Einheitliche Grundlage für die Festlegung der Bemessungswasserspiegellagen der Elbe auf der freifließenden Strecke in Deutschland (2021), BfG-2103 vom 29.04.2022.

- /21/ Bundesanstalt für Wasserbau, Modellierung von Sturmflutwasserständen in der Tideelbe, 12.04.2018.

- /22/ Deutscher Wetterdienst, KOSTRA DWD 2020 Katalog, Fassung Dezember 2022.

- /23/ Bautechnischer Auslegungsbericht der Zerlegehalle 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, EB-FRG/HL/RDB-OH-28, Helmholtz-Zentrum hereon GmbH.

- /24/ European Severe Weather Database (ESWD), <https://www.eswd.eu/>, abgerufen 06.12.2022.

- /25/ Bekanntmachung einer Stellungnahme der Reaktor-Sicherheitskommission („RSK – Verständnis der Sicherheitsphilosophie“ vom 29. August 2013), BAnz AT 05.12.2013 B4.

- /26/ RS-Handbuch 3.0.1: Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. März 2015 (BAnz AT 30.03.2015 B2), geändert am 25. Februar 2022 (BAnz AT 15.03.2022 B3).

- /27/ Genehmigung zur Aufbewahrung von Kernbrennstoffen am Standort-Zwischenlager in Krümmel der Kernkraftwerk Krümmel GmbH & Co. oHG; Az.: GZ-V4 8541 510 vom 19. Dezember 2003.

- /28/ Stellungnahme der Entsorgungskommission, ESK-Stresstest für Anlagen und Einrichtungen der Ver- und Entsorgung in Deutschland – Teil 2: Lager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle, stationäre Einrichtungen zur Konditionierung schwach- und mittelradioaktiver Abfälle, Endlager für radioaktive Abfälle, revidierte Fassung vom 18.10.2013.

- /29/ Sicherheitsanalyse der Gasanschlussleitung des Helmholtz-Zentrums Geesthacht vom 06. Januar 2019.

- /30/ Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV) vom 3. Februar 2015 (BGBl. I S. 49), zuletzt geändert durch Artikel 7 des Gesetzes vom 27. Juli 2021 (BGBl. I S. 3146).

- /31/ Verordnung über die Sicherheit bei der Beförderung von gefährlichen Gütern und zur Erhöhung des Brandschutzes im Hamburger Hafen (Gefahrgut- und Brandschutzverordnung Hafen Hamburg - GGBVOHH) vom 19. März 2013 (HmbGVBl. S 93), zuletzt geändert durch Verordnung vom 21. September 2021 (HmbGVBl. S. 666).

- /32/ Zweite Verordnung zum Sprengstoffgesetz (2. SprengV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. September 2002 (BGBl. I S. 3543), zuletzt geändert durch Artikel 111 des Gesetzes vom 29. März 2017 (BGBl. I S. 626).
- /33/ Fahrwegbestimmung nach der Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt (GGVSEB) in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. März 2021 (BGBl. I S. 481) – Allgemeinverfügung des Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr, Arbeit, Technologie und Tourismus Schleswig-Holstein vom 8. August 2022 - VII 436-36402/2022.
- /34/ GRS – Forschungsarbeiten zur Analyse von Rückbauerschwerissen bei Stilllegungsvorhaben infolge von Vorkommnissen (GRS – 547), März 2021.
- /35/ Simulationsprogramm „STRESS 2007“ (Version 4.0.2), TÜV NORD.
- /36/ Simulationsprogramm „SAFER 2“ (Version 2.5.2), TÜV NORD.
- /37/ Berichte der Strahlenschutzkommission (SSK) – Hefte 37 (2004): Leitfaden für den Fachberater Strahlenschutz der Katastrophenschutzleitung bei kerntechnischen Notfällen & Heft 38 (2004): Erläuterungsbericht zum Leitfaden für den Fachberater Strahlenschutz der Katastrophenschutzleitung bei kerntechnischen Notfällen Bonn, September 2003, frühere Fassung von 1993.

**Anlage 1: Berechnung der Exposition in der Umgebung
infolge eines potentiellen Lastabsturzes und
Brand beim Transport außerhalb der Anlagen-
gebäude**

Lastabsturz mit anschließendem Brand

Angaben zur Quelle

Anzahl Quellen : 1

Quelle 1 : Lastabsturz mit Brand
kürzester Abstand zum Zaun : 100 m

Anzahl Freisetzungintervalle : 1

Intervall 1 00:00 - 08:00 h

Eingabedaten Aktivitätsfreisetzung

Quelle 1, Intervall 1

Summen der freigesetzten Aktivität

Edelgase : 2,46E+04 Bq
Jod : 0,00E+00 Bq
Aerosole : 1,23E+09 Bq
Summe : 1,23E+09 Bq

Einzelnuclide - Freisetzungen / Lungenretentionsklasse

C 14 (Dioxid)	2,46E+04 Bq / -	U 238	4,43E+03 Bq / -
Co 60	1,48E+06 Bq / -	Pu 238	1,75E+05 Bq / -
Ni 63	1,22E+09 Bq / -	Pu 239	5,42E+05 Bq / -
Sr 90	6,44E+05 Bq / -	Pu 240	5,42E+05 Bq / -
Nb 94	6,45E+04 Bq / -	Pu 241	2,42E+06 Bq / -
Ag 108m	4,37E+03 Bq / -	Am 241	1,76E+06 Bq / -
Cs 137	5,60E+06 Bq / -	Am 242m	1,84E+05 Bq / -
Eu 154	7,92E+03 Bq / -	Am 243	3,05E+03 Bq / -
U 234	5,90E+03 Bq / -	Cm 243	7,25E+03 Bq / -
U 235	8,40E+02 Bq / -	Cm 244	6,42E+03 Bq / -

Größenspektrum der Aerosolpartikel (hinter Filter)

Quelle 1
unbekannt

Eingabedaten Freisetzungshöhe

Quelle 1

Höhe der Quelle : 50 m
mechanische Quellerhöhung : 0 m
thermische Quellerhöhung : 50 m

Lastabsturz mit anschließendem Brand

kritisches Organ, R.-Knochenm.
Referenzperson: Kind 7-12 a
Diff.-kat. 0-8h: C

maximale Organdosis, effektiv
Referenzperson: Kind 2-7 a
Diff.-kat. 0-8h: C

Exposition	Dosis [Sv]	Entf. [m]
Inhalation	1,38E-06	600
Gamma-Submersion	2,35E-12	600
Gamma-Boden	5,42E-06	100
Ingestion		
Blattgemüse	4,13E-07	100
sonst. Pflanzen	9,49E-06	100
Milch	2,49E-06	100
Fleisch	6,94E-07	100
Summe Ingestion	1,31E-05	
Summe Exposition	1,99E-05	

Exposition	Dosis [Sv]	Entf. [m]
Inhalation	5,20E-07	600
Gamma-Submersion	2,86E-12	600
Gamma-Boden	6,32E-06	100
Ingestion		
Blattgemüse	1,46E-07	100
sonst. Pflanzen	3,65E-06	100
Milch	2,47E-06	100
Fleisch	5,22E-07	100
Summe Ingestion	6,79E-06	
Summe Exposition	1,36E-05	

Anlage 2: Berechnung der Exposition in der Umgebung infolge eines potentiellen Erdbebens

Erdbeben

Angaben zur Quelle

Anzahl Quellen : 1

Quelle 1 : Erdbeben
kürzester Abstand zum Zaun : 15 m

Anzahl Freisetzungintervalle : 1

Intervall 1 00:00 - 08:00 h

Eingabedaten Aktivitätsfreisetzung

Quelle 1, Intervall 1

Summen der freigesetzten Aktivität

Edelgase : 2,96E+04 Bq
Jod : 0,00E+00 Bq
Aerosole : 1,48E+09 Bq
Summe : 1,48E+09 Bq

Einzelnuclide - Freisetzungen / Lungenretentionsklasse

C 14 (Dioxid)	2,96E+04 Bq / -	U 238	5,34E+03 Bq / -
Co 60	1,78E+06 Bq / -	Pu 238	2,10E+05 Bq / -
Ni 63	1,46E+09 Bq / -	Pu 239	6,52E+05 Bq / -
Sr 90	7,75E+05 Bq / -	Pu 240	6,52E+05 Bq / -
Nb 94	7,76E+04 Bq / -	Pu 241	2,91E+06 Bq / -
Ag 108m	5,26E+03 Bq / -	Am 241	2,12E+06 Bq / -
Cs 137	6,74E+06 Bq / -	Am 242m	2,21E+05 Bq / -
Eu 154	9,53E+03 Bq / -	Am 243	3,67E+03 Bq / -
U 234	7,10E+03 Bq / -	Cm 243	8,72E+03 Bq / -
U 235	1,01E+03 Bq / -	Cm 244	7,72E+03 Bq / -

Größenspektrum der Aerosolpartikel (hinter Filter)

Quelle 1

0 - 5 µm : 16,7 %
5 - 10 µm : 16,6 %
10 - 20 µm : 40 %
20 - 40 µm : 20 %
40 - 70 µm : 6,7 %

Eingabedaten Freisetzungshöhe

Quelle 1

Höhe der Quelle : 5 m

Angaben zum Gebäudeeinfluss

Gebäudehöhe 10 m
Gebäudebreite 20 m

Erdbeben

kritisches Organ, R.-Knochenm.
Referenzperson: Kind < 1 a
Diff.-kat. 0-8h: E

Exposition	Dosis [Sv]	Entf. [m]
Inhalation	4,08E-05	100
Gamma-Submersion	2,53E-11	100
Gamma-Boden	1,41E-04	100
Ingestion		
Blattgemüse	2,13E-05	100
sonst. Pflanzen	3,48E-04	100
Milch	2,81E-05	100
Fleisch	2,55E-06	100
Muttermilch	2,39E-05	100
Summe Ingestion	4,24E-04	
Summe Exposition	6,06E-04	

maximale Organdosis, effektiv
Referenzperson: Kind 2-7 a
Diff.-kat. 0-8h: D

Exposition	Dosis [Sv]	Entf. [m]
Inhalation	2,29E-05	100
Gamma-Submersion	2,70E-11	100
Gamma-Boden	1,50E-04	100
Ingestion		
Blattgemüse	4,04E-06	100
sonst. Pflanzen	9,70E-05	100
Milch	6,43E-05	100
Fleisch	1,31E-05	100
Summe Ingestion	1,78E-04	
Summe Exposition	3,51E-04	

Anlage 3: Berechnung der Exposition in der Umgebung infolge eines potentiellen Flugzeugabsturzes

Flugzeugabsturz

Angaben zur Quelle

Kraftwerk : HZG
Zahl der Freisetzungsterme : 1
Ausbreitungsfaktoren : Neuer Leitfaden (zeitabhängig)
Dosis Sd Inhalation nur aus Jodnukliden berechnen

Eingabedaten Aktivitätsfreisetzung

Quelle 1

Quellterm : Quellterm bekannt
Quelltermart : Aktivitätseingabe (nuklidspezifisch)
Freisetzungsdauer : 1 h

Freigesetzte Aktivität

Edelgase, H3, C14 : 1,11E+11 Bq
Jod : 0,00E+00 Bq
Aerosole : 6,73E+11 Bq
Summe : 7,84E+11 Bq

Einzelnuklide

H 3 (Wasser)	5,55E+09 Bq	U 235	1,58E+05 Bq
C 14 (org)	1,05E+11 Bq	U 238	8,30E+05 Bq
Fe 55	1,25E+08 Bq	Pu 238	3,27E+07 Bq
Co 60	8,27E+09 Bq	Pu 239	1,01E+08 Bq
Ni 63	6,62E+11 Bq	Pu 240	1,01E+08 Bq
Sr 90	1,21E+08 Bq	Pu 241	4,53E+08 Bq
Nb 94	5,66E+08 Bq	Am 241	3,64E+08 Bq
Ag 108m	8,17E+05 Bq	Cm 243	1,36E+06 Bq
Cs 137	1,05E+09 Bq	Cm 244	1,20E+06 Bq
U 234	1,10E+06 Bq		

Größenspektrum der Aerosolpartikel (hinter Filter)

Quelle 1

0 - 5 µm : 45 %
5 - 10 µm : 31,3 %
10 - 20 µm : 15 %
20 - 40 µm : 5 %
40 - 70 µm : 2 %
70 - 100 µm : 1,7 %

Eingabedaten Meteorologie

Quelle 1

Windrichtung : 0 Grad
Windgeschwindigkeit : 1 m/s
Messhöhe : 0 m
Niederschlagsrate : 5 mm/h
Diffusionskategorie : A Labil

Flugzeugabsturz

Eingabedaten Freisetzungshöhe

Quelle 1

Bauhöhe :	0 m
effektive Überhöhung :	50 m
effektive Freisetzungshöhe :	50 m

Angaben zur Quellhöhe

Bauhöhe :	0 m
mechanische Quellerhöhung :	0 m
thermische Quellerhöhung :	50 m

Flugzeugabsturz**Maximale Dosiswerte der Expositionspfade in Bodennähe
Summe aller Quellen**

Expositionspfad	Kleinkind (1 - 2 a)			Erwachsener (>17 a)		
	Dosis mSv	Entf. m	Sektor	Dosis mSv	Entf. m	Sektor
Inhalation, eff.	1,68E-01	200	7	4,02E-01	200	7
Inhalation, Schilddr.	0,00E+00	-	-	0,00E+00	-	-
-Boden, eff., (7d)	5,26E-03	200	7	3,51E-03	200	7
-Subm., eff.	4,25E-05	200	7	3,04E-05	200	7
externe Dosis, eff.	5,31E-03	200	7	3,54E-03	200	7
Summe Dosis, eff.	1,73E-01	200	7	4,06E-01	200	7

"-" bedeutet, dieser Wert wurde nicht berechnet

Inhalation Schilddrüse wird nur für Jodnuklide berechnet