

HZG im Dialog

Statusbericht - 5. Dezember 2016

HZG im Dialog

Statusbericht

**Helmholtz-Zentrum Geesthacht
Zentrum für Material- und Küstenforschung GmbH
Zentralabteilung Forschungsreaktor
Max-Planck-Straße 1
21502 Geesthacht**

05. Dezember 2016

Vorbemerkung:

Die in diesem Statusbericht zusammengestellten Informationen stellen Entwürfe von HZG dar, die noch nicht abschließend überarbeitet wurden. Aus dem oben genannten Grund wurden die Informationen auch noch nicht als Erläuterungsberichte bei der Genehmigungsbehörde eingereicht. Sie sind damit nicht Teil des atomrechtlichen Verfahrens und können keine Grundlage für eine mögliche Einwendung bilden. Als Ergänzung zu den ausgelegten Unterlagen können sie aber die BürgerInnen bei der Bewertung der geplanten Maßnahmen unterstützen.

Dieser Statusbericht wurde in Zusammenarbeit mit der Firma

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

erstellt.



Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	7
Begriffsbestimmungen	9
A Entwurf: Störfallanalyse Forschungsreaktoranlage (FRG) und Heißes Labor (HL)	12
A.1 Einleitung	13
A.2 Ausgangssituation	14
A.3 Vorgehensweise	15
A.4 Einwirkungen von innen	16
A.4.1 Brand	16
A.4.2 Lastabsturz	17
A.4.3 Leckage	20
A.4.4 Ausfall von Strahlenschutzeinrichtungen	22
A.4.5 Ausfall von Versorgungseinrichtungen	23
A.5 Einwirkungen von außen	24
A.5.1 Hochwasser / Überflutung, Sturm, Starkregen	24
A.5.2 Sturm, Eis und Schnee	24
A.5.3 Eindringen von Gasen	24
A.5.4 Druckwellen aufgrund chemischer Reaktion	24
A.5.5 Äußere Brände	25
A.5.6 Erdbeben	25
A.6 Betrachtung der abdeckenden Störung	26
A.6.1 Auswahl der Störung für die Ausbreitungsrechnung	26
A.6.2 Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung	26
A.6.3 Vergleich der ermittelten Dosiswerte mit dem Grenzwert der StrlSchV	27
A.7 Betrachtung des abdeckenden, auslegungsüberschreitenden Ereignisses	28
A.7.1 Quelltermmittlung Flugzeugabsturz	28
A.7.2 Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung	29
A.7.3 Vergleich der ermittelten Dosiswerte mit den Eingreifrichtwerten gem. Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz	30
B Entwurf: Störfallanalyse Zerlegehalle RDB-OH	37
B.1 Einleitung	38
B.2 Ausgangssituation	40
B.3 Vorgehensweise	41
B.3.1 Überblick über Störfallmöglichkeiten mit nicht geplanten Freisetzungen radioaktiver Stoffe	41
B.3.2 Randbedingungen und Annahmen	42
B.4 Einwirkungen von innen	43
B.4.1 Brand	43
B.4.2 Lastabsturz	44
B.4.3 Leckage	47
B.4.4 Ausfall von Versorgungseinrichtungen	47
B.4.5 Handhabungsfehler	48
B.5 Einwirkungen von außen	50
B.5.1 Hochwasser / Überflutung und Starkregen	50
B.5.2 Sturm, Eis und Schnee	50
B.5.3 Blitzschlag	50
B.5.4 Eindringen von Gasen	51
B.5.5 Druckwellen aufgrund chemischer Reaktionen	51
B.5.6 Äußere Brände	51

B.5.7	Erdbeben	52
B.5.8	Flugzeugabsturz	54
B.6	Betrachtung des abdeckenden Störfalls	56
B.6.1	Auswahl des Störfalls für die Ausbreitungsrechnung	56
B.6.2	Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung infolge des abdeckenden Störfalls Erdbeben	56
B.6.3	Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung infolge des auslegungsüberschreitenden Störfalls Flugzeugabsturz	57
B.6.4	Vergleich der ermittelten Dosiswerte mit den Grenzwerten der StrlSchV bzw. mit den Eingreifrichtwerten gemäß Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz	58
C	Entwurf: Störfallanalyse Transportbereitstellungshalle (TBH)	64
C.1	Einleitung	65
C.1.1	Gefährdungspotential	65
C.2	Aktivitätsinventare und Behältertypen in der TBH	67
C.2.1	Aktivitätsinventare und nuklidspezifische Zusammensetzungen	67
C.2.2	Abfallbehälter	71
C.2.3	Zuordnung der radioaktiven Abfallprodukte zu den Behältertypen	72
C.3	Vorgehensweise	74
C.3.1	Überblick über Störfallmöglichkeiten mit nicht geplanten Freisetzungen radioaktiver Stoffe	74
C.3.2	Randbedingungen und Annahmen	75
C.4	Störfälle durch Einwirkung von innen	77
C.4.1	Brand	77
C.4.2	Lastabsturz	77
C.4.3	Leckage	82
C.4.4	Ausfall von Versorgungseinrichtungen	82
C.5	Störfälle durch Einwirkung von außen	84
C.5.1	Hochwasser / Überflutung und Starkregen	84
C.5.2	Sturm, Eis und Schnee	84
C.5.3	Blitzschlag	84
C.5.4	Eindringen von Gasen	85
C.5.5	Druckwellen aufgrund chemischer Reaktionen	85
C.5.6	Äußere Brände	85
C.5.7	Erdbeben	86
C.6	Betrachtung des abdeckenden, auslegungsüberschreitenden Ereignisses Flugzeugabsturz	90
C.6.1	Quellterm durch Flugzeugabsturz auf die TBH	90
C.6.2	Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung	92
C.6.3	Vergleich der ermittelten Dosiswerte mit den Eingreifrichtwerten gemäß Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz	92
C.7	Zusammenfassung der Störfallanalyse	94
D	Entwurf: Reststoff- und Freigabekonzept	99
D.1	Allgemeines	100
D.1.1	Geltungsbereich	100
D.2	Beschreibung und Durchführung des Freigabeverfahrens	102
D.2.1	Trennung und Sammlung der Reststoffe bei der Entstehung	102
D.2.2	Festlegung des Entsorgungsziels	103
D.2.3	Voruntersuchung	104
D.2.4	Vorbehandlung	105
D.2.5	Information der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde	105

D.2.6	Orientierungsmessung	105
D.2.7	Entscheidungsmessung	106
D.2.8	Aufbewahrung außerhalb des Kontrollbereiches	108
D.2.9	Kontrollmessungen	108
D.2.10	Feststellung und Anzeige	109
D.2.11	Entlassung und Abtransport	109
D.2.12	Freigabe zur Beseitigung	109
D.2.13	Externe Behandlung und Freigabe	110
D.3	Dokumentation der Freigabe	111
D.4	Radioaktive Abfälle	112
D.4.1	Benennung	112
D.4.2	Sammeln und Behandlung	113
D.4.3	Aktivitätsbestimmung	114
D.4.4	Lagerung	114
D.4.5	Buchführung	115
D.4.6	Meldungen	116
D.5	Herausbringen von Stoffen und Gegenständen geringfügiger Radioaktivität aus den Kontrollbereichen	118
	Literatur und verwendete Gesetze	134

Anlagen

Anlage A-1:	FRG/HL – Dokumentation der Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung	31
Anlage B-1:	RDB-OH – Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung infolge eines Erdbebens	60
Anlage B-2:	RDB-OH – Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung infolge eines Flugzeugabsturzes	62
Anlage C-1:	TBH – Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung infolge eines Erdbebens	95
Anlage C-2:	TBH – Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung infolge eines Flugzeugabsturzes	97
Anlage D-1:	Abgrenzung der Begriffe	119
Anlage D-2:	Festlegung des Entsorgungsziels	123
Anlage D-3:	Zuständigkeiten	124
Anlage D-4:	Ermittlung des Nuklidvektors	126
Anlage D-5:	Stoffart- und entsorgungsspezifische Festlegungen	130
Anlage D-6:	HZG-Freigabeplan	132

Tabellenverzeichnis

Tabelle A-1: Quellterm Brand FRG/HL	17
Tabelle A-2: Quellterm Lastabsturz	20
Tabelle A-3: Quellterm Leckage eines Abwasserbehälters	21
Tabelle A-4: Quellterm Ausfall Strahlenschutzeinrichtung	23
Tabelle A-5: Auswahl der abdeckenden Störung für die Ausbreitungsrechnung	26
Tabelle A-6: Quellterm Flugzeugabsturz FRG/HL	29
Tabelle A-7: nuklidspezifischer Quellterm FLAB auf FRG und HL	29
Tabelle B-1: Ermittlung des Quellterms beim Brand eines 200-l-Fasses mit Putzlappen	44
Tabelle B-2: Ermittlung des Quellterms beim Absturz des Dampferzeugers	47
Tabelle B-3: Ermittlung des Quellterms bei einem Erdbeben	53
Tabelle B-4: Nuklidspezifische Ermittlung des Quellterms bei einem Erdbeben	53
Tabelle B-5: Ermittlung des Quellterms bei einem Flugzeugabsturz Zerlegehalle	55
Tabelle B-6: Nuklidspezifische Ermittlung des Quellterms bei einem Flugzeugabsturz	55
Tabelle B-7: Auswahl des abdeckenden Störfalls für die Ausbreitungsrechnung	56
Tabelle C-1: Ermittelte Nuklidverteilungen und Aktivität (Aktivierung) der radioaktiven Abfälle /3/, Bezug zum 1.1.2014	68
Tabelle C-2: Ermittelte nuklidspezifische Aktivität der radioaktiven Betriebsabfälle im Becken IV und Betonzellen 2 – 4 /3/, Bezug zum 1.1.2014	69
Tabelle C-3: Ermittelte nuklidspezifische Aktivität der radioaktiven Abfälle bei der WAK, JEN und in der BSH, Bezug zum 31.12.2015	70
Tabelle C-4: Aktivitätsinventare und Gesamtinventar, Bezug zum 1.1.2014	71
Tabelle C-5: Technische Daten der Behältertypen	72
Tabelle C-6: Zuordnung der Abfalltypen zu den Behältertypen	73
Tabelle C-7: Quellterm Absturz 200-l-Fassgebände mit Normalbeton und Barytbeton	79
Tabelle C-8: Quellterm Absturz Abfallgebände des Typs Konrad V	81
Tabelle C-9: Aktivitätsinventar in Anhängigkeit von Abfall- und Abfallgebändertyp sowie die Freisetzung	88
Tabelle C-10: Unterstellte Freisetzungssanteile für den Störfall Flugzeugabsturz /26/	91
Tabelle C-11: Nuklidspezifischer Quellterm Flugzeugabsturz auf die TBH	91
Tabelle D-1: Freigabeoptionen für unterschiedliche Stoffe gemäß StrlSchV	130

Abbildungsverzeichnis

Abbildung C.5-1: Überblickskarte der Erdbebenzonen in Deutschland /22/	86
------------------------------------------------------------------------	----

Abkürzungsverzeichnis

μSv	Mikrosievert (10^{-6} Sv), Maßeinheit verschiedener gewichteter Strahlendosen
Abs.	Absatz
AGG	Abfallgebindegruppe
AP	Aufpunkt
AtG	Atomgesetz
Az.	Aktenzeichen
BAnz.	Bundesanzeiger
BGBI.	Bundesgesetzblatt
BK	Belastungsklasse
Bq	Bequerel, Maßeinheit der Aktivität
BSH	Bereitstellungshalle
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
DIN	Deutsches Institut für Normung
DWR	Druckwasserreaktor
EN	Europäische Norm
ESK	Entsorgungskommission
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
ggf.	gegebenenfalls

GGVSEB	Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GRS	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit
HL	Heißes Labor
HZG	Helmholtz-Zentrum Geesthacht
In-situ	am Ort, gammaspektrometrische Messungen vor Ort
Ips	Impulse pro Sekunde
ISBN	Internationale Standardbuchnummer
JEN	Jülicher Entsorgungsgesellschaft für Nuklearanlagen mbH
l	Liter
Mg	Mega Gramm – SI-Maßeinheit für 1.000.000 g, ehemals metrische Tonne
mSv	Millisievert (10^{-3} Sv), Maßeinheit verschiedener gewichteter Strahlendosen
ü. NN	Normal Null (Höhe über dem Meeresspiegel)
Nr.	Nummer
ODL	Ortsdosisleistung
oHG	Offene Handelsgesellschaft
RDB-OH	Reaktordruckbehälter mit Schildtank des Nuklearschiffs Otto Hahn
RSK	Reaktor-Sicherheitskommission
S.	Seite
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung
Sv	Sievert, Maßeinheit verschiedener gewichteter Strahlendosen
SZK	Standort-Zwischenlager des Kernkraftwerks Krümmel
TBH	Transportbereitstellungshalle
TÜV	Technischer Überwachungsverein
ü. NN	über Normalhöhennull
WAK	Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe
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 waren oder entsprechend zu bewerten sind.
Abfall, konditioniert	Radioaktive Abfälle, die in einen chemisch stabilen, in Wasser nicht oder nur schwer löslichen Zustand überführt wurden und sich in Abfallbehältern befinden. Für diesen Abfall ist kein weiterer Behandlungsschritt erforderlich bzw. vorgesehen. Die Abfallgebände, die als solche nicht die Endlagerbedingungen erfüllen, werden in endlagerfähige Abfallbehälter (Konrad-Container) verpackt und ggf. fixiert.
Abfall, radioaktiv	Radioaktive Stoffe im Sinne des § 2 Abs. 1 AtG, die nach § 9a AtG geordnet beseitigt werden müssen, ausgenommen Ableitungen im Sinne des § 47 StrlSchV.
Abfallart	Art des anfallenden, radioaktiven Rohabfalls (z. B. brennbare Stoffe, Schrott, Ionenaustauscherharze).
Abfallbehälter	Behälter zur Aufnahme eines Abfallprodukts (z. B. Fass, Betonbehälter, Gussbehälter, Container).
Abfallgebände	Einheit aus Abfallprodukt (auch mit Verpackung) und Abfallbehälter.
Abfallprodukt	Verarbeiteter radioaktiver Abfall ohne Verpackung und Abfallbehälter.

Ableitung	Abgabe flüssiger, aerosolgebundener oder gasförmiger radioaktiver Stoffe aus der Anlage und Einrichtungen der FRG und des HL auf hierfür vorgesehenen Wegen.
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).
Behandlung	Verarbeitung von radioaktiven Abfällen zu Abfallprodukten (z. B. durch Kompaktieren, Zementieren, Trocknen und das Verpacken der Abfallprodukte).
Be-Metallblockreflektor	Beryllium-Metallblockreflektor des FRG-1 diene zur Reflexion und Bündelung von Neutronen zur Durchführung von Experimenten an Materialproben.
Betriebsabfälle, radioaktive	Radioaktive Abfälle, die beim Betrieb der TBH angefallen sind oder beim Betrieb anfallen.
Dekontamination	Beseitigung oder Verminderung einer Kontamination.
Endlager	Anlage zur Endlagerung radioaktiver Abfälle, in der radioaktive Abfälle wartungsfrei, zeitlich unbefristet und sicher geordnet beseitigt werden.
Forschungsreaktoranlage	Die Forschungsreaktoranlage (FRG) besteht aus dem FRG-1 und den noch vorhandenen Anlagenteilen des FRG-2.
Fortluft	In das Freie abgeführte Abluft.

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.
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 Betriebseinstellung einerseits und dem Beginn des sicheren Einschlusses 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 TBH auszulegen sind 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.

A Entwurf: Störfallanalyse Forschungsreaktoranlage (FRG) und Heißes Labor (HL)

Entwurf

A.1 Einleitung

Die Forschungsreaktoranlage und das Heiße Labor des Helmholtz-Zentrums Geesthacht (HZG) sollen stillgelegt und ohne vorherigen Sicheren Einschluss abgebaut 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 Atomgesetz (AtG) /1/ in Verbindung mit § 7 Abs. 2 Nr. 3 AtG). Im Rahmen dieser Störfallanalyse wird nachgewiesen, dass die Strahlenexposition bei den während des Abbaus zu unterstellenden Störfällen immer unterhalb des Störfallplanungswertes liegt.

Gemäß § 50 Abs. 1 in Verbindung mit Abs. 2 StrlSchV /2/ sind bei der Planung des Abbaus bauliche oder technische Schutzmaßnahmen unter Berücksichtigung des potenziellen Schadensausmaßes zu treffen, um die Strahlenexposition bei Störfällen während des Abbaus 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 § 117 Abs. 16 StrlSchV 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.

A.2 Ausgangssituation

Die für den Abbau der Forschungsreaktoranlage und des Heißen Labors zu treffenden Vorsorgemaßnahmen richten sich nach dem noch in der Anlage vorhandenen Gefährdungspotenzial und der Wahrscheinlichkeit des Eintritts eines Störfalls.

Das Gefährdungspotenzial ist bereits mit der Einstellung des Forschungsreaktorbetriebes und dem Abtransport der Brennelemente deutlich verringert worden. Die aus dem Betrieb der Anlage stammenden Barrieren zum Einschluss der radioaktiven Stoffe sind jedoch bis zum Ende des gesamten Abbaus, so weit erforderlich, noch vorhanden. Ferner fehlt bei den zu unterstellenden Ereignissen das Energiepotenzial zur Freisetzung radioaktiver Stoffe weitgehend. So fehlen z. B. das Energiepotenzial, das beim Forschungsreaktorbetrieb aus der Kernspaltung zur Neutronenerzeugung resultiert und gleichzeitig das hohe Aktivitätsinventar der Brennelemente. Das Gefährdungspotenzial resultiert im Wesentlichen aus dem noch vorhandenen, nicht fest gebundenen Aktivitätsinventar (im Wesentlichen ein Teil der in der Anlage vorhandenen Kontamination), das bei Störfällen, z. B. beim Abbau bzw. beim Transport von Anlagenteilen in der Anlage sowie beim Umgang mit radioaktiven Reststoffen und Abfällen, anteilig in die Umgebung freigesetzt werden kann.

Die Abschätzung des Gesamtaktivitätsinventars der Forschungsreaktoranlage und des Heißen Labors ergab einen Wert von ca. $5,0 \text{ E}15 \text{ Bq} / 3/$. Das Aktivitätsinventar ist zu fast 100 % fest in den aktivierten Anlagenstrukturen der Reaktorbeckeneinbauten und der Reaktorbecken eingebunden und somit nicht unmittelbar freisetzbar. Deutlich weniger als 1 % des Gesamtaktivitätsinventars liegt als Kontamination vor. Im Vergleich hierzu beträgt das radioaktive Inventar eines modernen Druckwasserreaktors nach Abtransport der Brennelemente ca. $1 \text{ E}17 \text{ Bq}$.

Mit der Einstellung des Forschungsreaktorbetriebes und dem Abtransport der Brennelemente sind die Schutzziele „Kontrolle der Reaktivität“ und „Kühlung der Brennelemente“ entfallen. Für die Stilllegung und den Abbau verbleiben als Schutzziele der „Einschluss der radioaktiven Stoffe“ und die „Begrenzung der Strahlenexposition“.

A.3 Vorgehensweise

Im Rahmen dieser Störfallanalyse werden gemäß den Forderungen des Atomgesetzes und den Empfehlungen des Stilllegungsleitfadens /4/ die Störfälle (Ereignisse) ermittelt, die während des Abbaus der Forschungsreaktoranlage und des Heißen Labors zu unterstellen sind. Dabei wird der Stilllegungsleitfaden mit den darin aufgeführten Ereignissen zu Grunde gelegt. Die für den gesamten Abbau zu betrachtenden Ereignisse werden gemäß der Systematik des Stilllegungsleitfadens in zwei Gruppen unterteilt:

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

Zunächst werden die gemäß Stilllegungsleitfaden zu betrachtenden Ereignisse zusammengestellt und geprüft, in wie weit diese auf die Stilllegung und den Abbau der Forschungsreaktoranlage und des Heißen Labors zutreffen und näher zu betrachten sind. Für die radiologisch relevanten Ereignisse wird die mögliche Freisetzung von Radioaktivität in die Umgebung (Quellterm) ermittelt. Aus den betrachteten Störfällen werden diejenigen mit den höchsten Quelltermen für die Berechnung der Folgedosis in der Umgebung unter Anwendung der Störfallberechnungsgrundlagen /5/ ausgewählt. Anhand der berechneten Folgedosen in der Umgebung wird der abdeckende Störfall definiert. Anschließend erfolgt eine zusammenfassende Bewertung durch Vergleich der potenziellen radiologischen Auswirkungen mit dem gesetzlichen Grenzwert.

Darüber hinaus wird als sehr seltenes, auslegungsüberschreitendes Ereignis der Flugzeugabsturz auf die abzubauende Forschungsreaktoranlage und das Heiße Labor betrachtet. Die Folgen eines Flugzeugabsturzes werden als abdeckendes Ereignis entsprechend den Vorgaben der „Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen“ /6/ betrachtet und bewertet.

A.4 Einwirkungen von innen

A.4.1 Brand

Brandverhinderung, Branderkennung und Brandbekämpfung in der Anlage sind durch das Brandschutzkonzept (/7/, /8/) gewährleistet. Auf Grund der Brandschutzmaßnahmen und der Gegebenheiten vor Ort kann die Entstehung und die Ausbreitung eines Brandes als äußerst unwahrscheinlich angesehen werden. Die Brandlasten werden im Verlauf des Abbaus ständig reduziert. Zusätzliche relevante Brandlasten durch Einrichtungen für die Durchführung der Abbautätigkeiten ergeben sich nicht. Auswirkungen durch das Ereignis Brand sind nicht zu befürchten.

Ungeachtet dessen wird der Brand eines Behälters, der mit kontaminierten Putzlappen 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 offen steht. Weitere in der Anlage vorhandene brennbare Abfälle befinden sich in geschlossenen Behältern (z. B. 200-l-Fass).

Der Brand von Graphit der Thermischen Säule wird nicht betrachtet, da Graphit extrem schwer entflammbar ist und beim Abbau selbst mit Schneidbrennern nicht genügend Energie aufgebracht werden kann, um den Graphit zu entzünden. Z. B. wird Graphit in Schmelzen bis zu Temperaturen von 1700 °C als Elektrodenmaterial eingesetzt /9/. Darüber hinaus ist das Aktivitätsinventar im Graphit so gering /3/, dass selbst bei einem Graphitbrand keine relevante Aktivität freigesetzt werden kann. Die durch die Neutronenbestrahlung induzierte Wigner-Energie im Graphit ist für den Graphit der Thermischen Säule ohne Bedeutung, da der Neutronenfluss im Bereich der Thermischen Säule sehr niedrig war, vgl. /3/.

Eine der geplanten Abbautätigkeiten ist der Abbau der Betonzellen. In diesem Bereich ist die höchste, großflächige Kontamination zu erwarten. Vor dem Abbau der Innenauskleidung aus Stahl wird diese z. B. durch Abwischen dekontaminiert. Die zu dekontaminierende Innenoberfläche der größten Betonzelle 2 beträgt ca. 90 m². In /3/ wurde konservativ von einer mittleren Kontamination dieser Oberflächen ausgegangen, die dem 100-fachen der Werte der Anlage III Tab. 1 Spalte 4 StrISchV entspricht. Dies ergibt für das im HL zugrunde zu legende Nuklidgemisch eine mittlere Kontamination von ca. 100 Bq/cm². Die Putzlappen werden nach Gebrauch in einem 400-l- oder 200-l-Behälter gesammelt. Bei vollständiger

Dekontamination der Innenoberfläche der Betonzelle 2 wird das Radioaktivitätsinventar in dem Behälter nach Beendigung der Arbeiten ca. $9,0 \text{ E}7 \text{ Bq}$ betragen. Durch den Einsatz von schwer brennbaren Materialien und mit dem Abbau von Anlagenteilen verringern sich auch die Brandlasten kontinuierlich. Daher stellen nicht kompaktierte Putzlappen den größten Teil der im Abbau vorhandenen Brandlasten dar.

Es wird unterstellt, dass der Inhalt des Behälters vollständig abbrennt, wobei 5 Prozent der metallischen Nuklide und 95 Prozent der sonstigen Nuklide aerosolförmig in die Anlagenatmosphäre freigesetzt werden /10/. Weiterhin wird analog zu /10/ angenommen, dass sich 50 Prozent der aerosolförmigen Aktivität an den inneren Wänden der Anlage ablagern. Die restliche Aktivität strömt über die Fortluftfilter. Bei einem zu unterstellenden Rückhaltegrad von 99,9 Prozent für Schwebstoffe /5/ erhält man bei dem beschriebenen Szenario einen Quellterm von $3,69 \text{ E}4 \text{ Bq}$. Dieser Quellterm wird in Kapitel A.6.1 zur Auswahl der Störung für die Ausbreitungsrechnung herangezogen. Die Ermittlung des Quellterms ist zusammenfassend in Tabelle A-1 dargestellt.

Tabelle A-1: Quellterm Brand FRG/HL

Störung	Aktivität pro Behälter [Bq]	Freisetzung in die Anlagenatmosphäre [Bq]	Ablagerung in der Anlage [Bq]	Freisetzung in die Umgebung Quellterm [Bq]
Brand 200 oder 400-l-Fass, gefüllt mit Putzlappen	$9,0 \text{ E}7$	$7,37 \text{ E}7$	$3,69 \text{ E}7$	$3,69 \text{ E}4$
nuklidspezifische Betrachtung gem. Nuklidgemisch Lüftung HL /3/				
Co-60	$1,27 \text{ E}7$	$6,35 \text{ E}5$	$3,18 \text{ E}5$	$3,18 \text{ E}2$
Cs-137	$7,69 \text{ E}7$	$7,31 \text{ E}7$	$3,66 \text{ E}7$	$3,66 \text{ E}4$
Am-241	$5,40 \text{ E}5$	$2,70 \text{ E}4$	$1,35 \text{ E}4$	$1,35 \text{ E}1$

A.4.2 Lastabsturz

Während der Durchführung der Abbaumaßnahmen ist es erforderlich, verschiedene Anlagenteile und gefüllte Behälter zu transportieren. Hierfür werden geeignete Transportmittel

eingesetzt. In der Anlage stehen diverse Kräne zur Verfügung, die regelmäßig entsprechend den anzuwendenden Vorschriften geprüft und gewartet werden. Für die Bedienung der Kräne 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 werden kann. Somit sind die Auswirkungen potenzieller Lastabstürze wirksam zu begrenzen. Nachfolgend werden potentielle Lastabstürze beim Abbau der FRG und des HL betrachtet und ein abdeckender Lastabsturz hergeleitet.

Geplante Abbautätigkeiten sind beispielsweise der Ausbau der aktivierten Reaktorbeckeneinbauten und der Abbau des aktivierten Betons des Becken I. Die Materialien werden in Behälter (200-l-Fass) verpackt und abtransportiert. Im Folgenden wird der Absturz von Behältern, die mit diesen Materialien gefüllt sind, betrachtet. Der Absturz von Behältern mit aktivierten Reaktorbeckeneinbauten bzw. aktiviertem Bauschutt kann als abdeckend für sämtliche Lastabstürze angesehen werden. Die Reaktorbeckeneinbauten und der aktivierte Bauschutt sind die Materialien mit der höchsten spezifischen Aktivität innerhalb der Forschungsreaktoranlage und des Heißen Labors. Kontaminierte Anlagenteile bzw. Sekundärabfälle wie z. B. Putzlappen haben eine deutlich geringere spezifische Aktivität.

Die Behälter werden sowohl innerhalb der Anlage als auch außerhalb der Anlage zur vorgesehenen Transportbereitstellungshalle transportiert. Ein Lastabsturz mit Freisetzung in die Atmosphäre außerhalb der Anlage ist abdeckend, da hier die freigesetzte Aktivität nicht über die Aerosolfilter der Fortluftanlage, sondern direkt entweicht. Außerdem würde eine bodennahe Freisetzung außerhalb der Anlage im Vergleich zu einer Freisetzung über den ca. 60 m hohen Abluftschornstein zu einer höheren Folgedosis führen. Nachfolgend wird daher der Lastabsturz eines Behälters während des Transports auf dem Betriebsgelände des FRG betrachtet.

Die Verpackung der radioaktiven Abfälle erfolgt überwiegend in 200-l-Fässern. Die Fallhöhe kann über 1 m betragen, so dass davon auszugehen ist, dass der Behälter beschädigt wird. Bei aktivierten metallischen Reaktorbeckeneinbauten liegt die Aktivität überwiegend fest eingebunden in die Materialstruktur vor. Die durch einen Lastabsturz eingebrachte Energie reicht nicht aus, eine relevante Freisetzung aerosolförmiger Aktivität zu verursachen. Die ggf. aus dem Behälter ausgetretenen aktivierten Reaktorbeckeneinbauten können in einen neuen

Behälter umgeladen werden. Unzulässige Auswirkungen auf die Umgebung außerhalb des Anlagengeländes sind nicht zu erwarten.

Auch beim aktivierten Betonschutt liegt die Aktivität überwiegend fest eingebunden in der Materialstruktur vor. Jedoch kann die durch einen Lastabsturz eingebrachte Energie zu einer Staubbefreiung und damit einer Aktivitätsfreisetzung in die Atmosphäre führen. Als Freisetzunganteil wurde in Versuchen für den Absturz eines zementierten 200-l-Fasses aus einer Höhe von 9 m auf einen Dorn ein nicht nuklidspezifischer Wert von 0,062 % ermittelt /11/. Da die hier betrachteten Abfälle nicht zementiert oder anders fixiert sind, wird für die weitere Betrachtung ein um Faktor 10 höherer Freisetzunganteil von 0,62 % angenommen. Der Freisetzunganteil wird auch für H-3 und C-14 angewendet, da diese Nuklide größtenteils chemisch gebunden in der Betonmatrix vorliegen und kein zusätzlicher Energieeintrag, z. B. durch Hitze vorliegt. Somit liegt das gleiche Freisetzungsverhalten wie für sonstige Aerosole vor.

Der Vergleich des in dieser Betrachtung für den Lastabsturz unterstellten Freisetzunganteils mit den in der Transportstudie Konrad /12/ verwendeten Anteilen zeigt, dass der unterstellte Freisetzunganteil von 0,62 % in hohem Maße abdeckend ist. Der in dieser Störfallanalyse betrachtete Lastabsturz wäre gem. /12/ in die Belastungskategorie BK 1 (Aufprallgeschwindigkeit ≤ 35 km/h, ohne Brand) einzustufen. Das abstürzende Abfallgebinde wäre gem. /12/ in die Abfallgebindegruppe AGG 2 (unfixierte und nicht kompaktierbare metallische und nicht-metallische Abfälle in Stahlblechcontainern oder Betonbehältern) einzustufen. Damit ergäben sich gem. Tab. 8.2 aus /12/ Freisetzunganteile von $5,0 \cdot 10^{-6}$ bis $1,0 \cdot 10^{-5}$. Bei dieser Kombination von Belastungskategorie und Abfallgebindegruppe sind auch die Freisetzunganteile für H-3 und C-14 gemäß Tabelle 8.3 aus /12/ wie die der sonstigen Nuklide anzusetzen.

Die maximale spezifische Aktivität des aktivierten Normalbetons beträgt $5,63 \cdot 10^4$ Bq/g, die maximale spezifische Aktivität des aktivierten Barytbetons beträgt $1,77 \cdot 10^4$ Bq/g /3/. Bei einer Nettomasse von 250 kg beträgt die maximale Aktivität in einem 200-l-Fass mit Normalbeton $1,41 \cdot 10^{10}$ Bq. /3/. Bei einer Nettomasse von 360 kg beträgt die maximale Aktivität in einem 200-l-Fass mit Barytbeton $6,37 \cdot 10^9$ Bq. Mit dem oben genannten Freisetzunganteil führt der Lastabsturz eines mit aktiviertem Normalbeton gefüllten 200-l-Fasses zu einer Freisetzung von $8,73 \cdot 10^7$ Bq bzw. der Lastabsturz eines mit aktiviertem Barytbeton gefüllten 200-l-Fasses zu einer Freisetzung von $3,95 \cdot 10^7$ Bq. Eine Rückhaltung wird nicht unterstellt, da sich der angenommene Lastabsturz nicht in der Anlage ereignet. Diese Quellterme werden in Kapitel

A.6.1 zur Auswahl der Störung für die Ausbreitungsrechnung herangezogen. Die Ermittlung der Quellterme ist zusammenfassend in Tabelle A-2 dargestellt.

Tabelle A-2: Quellterm Lastabsturz

Störung	Aktivität pro Behälter [Bq]	Freisetzung in die Atmosphäre [Bq]	Ablagerung [Bq]	Freisetzung in die Umgebung Quellterm [Bq]
Absturz 200-l-Fass, befüllt mit Normalbeton	1,41 E10	8,73 E7	-	8,73 E7
Absturz 200-l-Fass, befüllt mit Barytbeton	6,37 E9	3,95 E7	-	3,95 E7

A.4.3 Leckage

Zu Beginn des Abbaus der Forschungsreaktoranlage und des Heißen Labors befindet sich das Primärwasser noch innerhalb der Reaktorbecken. Dies stellt zwar die größte Wassermenge innerhalb der Anlage dar, jedoch liegt die Aktivitätskonzentration des Primärwassers bereits jetzt im Bereich bzw. unterhalb des Grenzwertes der Aktivitätskonzentration für die Abgabe mit Wasser (3,7 E6 Bq/m³).

Bei einer Leckage und dem Austritt von Primärwasser z. B. in den RA-Keller würde dieses innerhalb der Anlage zurückgehalten werden. Die durch Verdunstung in die Anlagenatmosphäre freigesetzte Aktivität entspricht in etwa derselben Aktivität, die zur Zeit durch Verdunstung aus den Reaktorbecken in die Reaktorhalle freigesetzt wird. Die Verdunstung aus den Reaktorbecken in die Reaktorhalle führt zu keiner relevanten Aktivitätskonzentration in der Luft der Reaktorhalle. Eine relevante Aktivitätsfreisetzung durch den Austritt von Primärwasser ist nicht zu erwarten. Eine Leckage von Primärwasser in der Forschungsreaktoranlage wird daher nicht näher betrachtet. Unzulässige Auswirkungen auf die Umgebung ergeben sich nicht.

Weitere größere Mengen radioaktiven Wassers befinden sich ggf. in den Abwassertanks im Keller der FRG bzw. des Heißen Labors. Solange die Abwassertanks gefüllt sind, finden in den entsprechenden Räumen keine Abbautätigkeiten statt. Die Eintrittswahrscheinlichkeit für eine Leckage eines Abwassertanks ist daher sehr gering.

Unabhängig von der geringen Eintrittswahrscheinlichkeit wird dennoch nachfolgend die Leckage eines komplett gefüllten Abwassertanks im Keller der FRG bzw. des Heißen Labors betrachtet. Konservativ wird eine Aktivitätskonzentration des Abwassers von $1,0 \text{ E}10 \text{ Bq/m}^3$ unterstellt (die Aktivitätswerte des betrieblichen radioaktiven Abwassers lagen in der Vergangenheit im Bereich von $1 \text{ E}08 \text{ Bq/m}^3$). Bei einem Volumen von 8 m^3 beträgt das max. Gesamtaktivitätsinventar eines Abwassertanks $8,0 \text{ E}10 \text{ Bq}$. Es wird unterstellt, dass der gesamte Inhalt eines Abwasserbehälters ausläuft. Die Abwassertanks sind in Auffangwannen aufgestellt, die den gesamten Tankinhalt aufnehmen können. Eine Ausbreitung des Wassers in benachbarte Räume wird somit verhindert. Die Freisetzung der Radionuklide aus dem Abwasser wird konservativ (Wert gilt für siedendes Wasser, nicht nuklidspezifisch) mit $5,0 \text{ E-4} /5/$ angesetzt. Damit erhält man eine Freisetzung in die Anlagenatmosphäre von $4,0 \text{ E}7 \text{ Bq}$. Es wird analog zu $/10/$ angenommen, dass sich 50 % der aus dem Abwasser freigesetzten Radioaktivität in der Anlage ablagern. Die restliche luftgetragene Aktivität strömt über die Fortluftfilter. Bei einem zu unterstellenden Rückhaltegrad von 99,9 Prozent für Schwebstoffe $/5/$ ergibt sich damit ein Quellterm von $2,0 \text{ E}4 \text{ Bq}$. Dieser Quellterm wird in Kapitel A.6.1 zur Auswahl der Störung für die Ausbreitungsrechnung herangezogen. Die Ermittlung des Quellterms ist zusammenfassend in Tabelle A-3 dargestellt.

Tabelle A-3: Quellterm Leckage eines Abwasserbehälters

Störung	Aktivitätskonzentration im Abwasser [Bq/m ³]	Freisetzung in die Anlagenatmosphäre [Bq]	Ablagerung in der Anlage [Bq]	Freisetzung in die Umgebung Quellterm [Bq]
Leckage Abwasserbehälter	$1,0 \text{ E}10$	$4,0 \text{ E}7$	$2,0 \text{ E}7$	$2,0 \text{ E}4$

Die 12 erdverlegten Sammelbehälter mit einer Gesamtkapazität von insgesamt 350 m^3 sind doppelwandig ausgelegt, mit kathodischem Korrosionsschutz versehen und zusätzlich mit einer Leckageüberwachung ausgestattet. Eine Beschädigung der gefüllten Sammelbehälter durch Abbautätigkeiten ist auszuschließen, da in diesem Bereich keine Tätigkeiten stattfinden, solange die Sammelbehälter noch gefüllt sind. Der Abbau der Tanks wird nach deren Entleerung im Rahmen einer administrativen Regelung im aufsichtlichen Verfahren durchgeführt. Eine Leckage der erdverlegten Sammelbehälter wird daher nicht betrachtet. Unzulässige Auswirkungen auf die Umgebung ergeben sich nicht.

A.4.4 Ausfall von Strahlenschutzeinrichtungen

Abbaubereiche, in denen radioaktive Aerosolbildung 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 der geplanten Abbautätigkeiten ist beispielsweise das Abfräsen des aktivierten Betons der Reaktorbeckenwand. Hierzu wird der Bereich oberhalb der Reaktorbecken I bis IV eingehaust. Die Einhausung hat eine Länge von ca. 26 m, eine Breite von ca. 8 m und eine Höhe von ca. 1 m. Zusammen mit dem Luftvolumen in den Reaktorbecken selbst ergibt sich somit ein Volumen von max. 900 m³. Das Versagen dieser Einhausung kann als abdeckendes Ereignis für den Ausfall von Strahlenschutzeinrichtungen angesehen werden, da beim Abbau des aktivierten Betons der Reaktorbeckenwand die maximale Aktivitätskonzentration innerhalb einer Einhausung entstehen wird und diese Einhausung die größten Abmessungen hat.

Die zulässige Aerosolkonzentration in der Atmosphäre innerhalb der Einhausung beträgt ca. 1,0 E4 Bq/m³. Bei Arbeiten mit P3 Maske innerhalb der Einhausung erhöht sich dieser Wert auf ca. 3,0 E5 Bq/m³. Die zulässige Aerosolkonzentration ergibt sich aus dem Dosisgrenzwert für strahlenexponiertes Personal der Kategorie A von 20 mSv/a, dem Nuklidvektor des abzubauenen Normal- bzw. Barytbetons und den entsprechenden Dosisfaktoren für Inhalation /13/.

Es wird unterstellt, dass ein Flurförderfahrzeug die Einhausung beschädigt und dass die gesamte luftgetragene Aktivität innerhalb der Einhausung in die Reaktorhalle freigesetzt wird.

Weiterhin wird angenommen, dass sich 50 Prozent der Aktivität an den inneren Wänden der Anlage ablagern. Die restliche luftgetragene Aktivität strömt über die Fortluftfilter. Bei einem zu unterstellenden Rückhaltegrad von 99,9 Prozent für Schwebstoffe /5/ erhält man bei dem beschriebenen Szenario einen Quellterm von 1,35 E5 Bq. Dieser Quellterm wird in Kapitel A.6.1 zur Auswahl der Störung für die Ausbreitungsrechnung herangezogen. Die Ermittlung des Quellterms ist zusammenfassend in Tabelle A-4 dargestellt.

Tabelle A-4: Quellterm Ausfall Strahlenschutzeinrichtung

Störung	Aerosolkonzentration innerhalb Einhausung [Bq/m ³]	Freisetzung in die Anlagenatmosphäre [Bq]	Ablagerung in der Anlage [Bq]	Freisetzung in die Umgebung Quellterm [Bq]
Ausfall Strahlenschutzeinrichtung	3,0 E5	2,7 E8	1,35 E8	1,35 E5

A.4.5 Ausfall 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 beim Informations- und Meldesystem inkl. der Brandmeldeanlage und der Fluchtwegebeleuchtung. Aus Verfügbarkeitsgründen sind zunächst weitere, sicherheitstechnisch nicht bedeutsame Anlagen und Einrichtungen batteriegepuffert bzw. ersatzstromgesichert. Dies sind z. B.:

- Versorgung ODL-System,
- Gegensprechanlage, Funkanlage,
- Fernsehanlage,
- Schleusenanlage.

Die Batterie- bzw. Ersatzstromversorgung dieser Anlagen und Einrichtungen kann im Verlauf des Abbaus ohne Auswirkungen auf diese Störfallanalyse außer Betrieb genommen werden.

Bei Ausfall der elektrischen Versorgung werden die Arbeiten innerhalb der Anlage, die eine Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Anlagenatmosphäre 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.

A.5 Einwirkungen von außen

Gegen Einwirkungen von außen wie z. B. Hochwasser, Sturm, Starkregen, Eindringen von Gasen, Druckwellen, Äußere Brände, Erdbeben und Flugzeugabsturz werden für die Durchführung der Abbautätigkeiten keine besonderen sicherheitstechnischen Maßnahmen getroffen. Die Aussagen, die zu den oben genannten Ereignissen für die Phase Forschungsbetrieb gemacht wurden, sind weiterhin gültig, wobei das jetzige Gefährdungspotential wegen der Verringerung des Aktivitätsinventars im Vergleich zum Forschungsbetrieb um Größenordnungen geringer ist.

A.5.1 Hochwasser / Überflutung, Sturm, Starkregen

Die Gebäude sind gegen die bei Sturm und Starkregen üblicherweise auftretenden Belastungen ausgelegt. Der Standort liegt auf einer Höhe von 50 m ü. NN und damit deutlich oberhalb der Elbe. Eine Überflutung durch Hochwasser ist ausgeschlossen.

A.5.2 Sturm, Eis und Schnee

Die Auslegung der FRG und des HL gegen Wind, Eis und Schnee erfolgte gemäß den geltenden einschlägigen Normen, die die Lastannahmen und Bemessungsvorschriften für Bauten enthalten. Auswirkungen auf den Betrieb und radiologische Auswirkungen auf die Umgebung sind durch diese Ereignisse deshalb nicht zu besorgen.

A.5.3 Eindringen von Gasen

Die durch Eindringen von Gasen möglichen Ereignisabläufe können zu Störungen an Betriebssystemen oder zu Störungen durch menschliches Versagen (z. B. Lastabstürze) führen. Allen Störungen gemeinsam ist jedoch, dass sie keine Auswirkungen haben, die durch die untersuchten Ereignisabläufe infolge Einwirkungen von innen nicht abgedeckt sind.

A.5.4 Druckwellen aufgrund chemischer Reaktion

Im Umkreis des Standorts befinden sich keine chemischen Betriebe, in denen mit explosionsgefährlichen Stoffen umgegangen wird, sowie keine Gas- / Ölleitungen. Bei einer unterstellten Explosion auf einem vorbeifahrenden Schiff auf der Elbe werden die Versagensfälle

von Systemen und Komponenten durch das betrachtete Ereignis Lastabsturz (siehe Kapitel A.4.2) abgedeckt.

A.5.5 Äußere Brände

Als äußerer Brand kommt lediglich ein Brand der in der Umgebung befindlichen Bäume in Betracht. Ein Übergreifen eines Brandes auf die FRG und das HL kann auf Grund der räumlichen Distanz ausgeschlossen werden.

A.5.6 Erdbeben

Der Standort HZG liegt in der norddeutschen Tiefebene. Die Gebietseinheit befindet sich gemäß der DIN 4149 /14/ in keiner Erdbebenzone. Gebiete mit der Erdbebenzone 0 sind in etwa 300 km Entfernung vorzufinden. Eine Gefährdung durch Bodenbewegungen, insbesondere durch Erdbeben, ist nicht zu erwarten.

Für die Bauwerke Forschungsreaktoranlage, Heißes Labor sowie die weiteren Nebengebäude ist bei einem dennoch unterstellten Erdbeben die Standsicherheit durch Anwendung des konventionellen Baurechts im Rahmen der Errichtung gegeben. Für Systeme und Komponenten, die gemäß kerntechnischen Regelwerken nicht gegen Erdbeben ausgelegt sind, kann ein Versagen im Erdbebenfall nicht ausgeschlossen werden. Allen erdbebeninduzierten Versagensfällen von Systemen und Komponenten ist jedoch gemeinsam, dass sie durch die betrachteten Einwirkungen von innen wie Leckage, Lastabsturz oder Versagen von Versorgungseinrichtungen (s. Kap. A.4) abgedeckt sind.

A.6 Betrachtung der abdeckenden Störung

A.6.1 Auswahl der Störung für die Ausbreitungsrechnung

Tabelle A-5 ist die Entscheidungstabelle zur Auswahl der Störung für die Ausbreitungsrechnung.

Tabelle A-5: Auswahl der abdeckenden Störung für die Ausbreitungsrechnung

Störung	Nuklidgemisch der freigesetzten Aktivität siehe /3/	Freisetzung in die Umgebung Quellterm [Bq]	Auswahl
Brand 200 oder 400-l-Fass, gefüllt mit Putzlappen	Lüftung HL	3,69 E4	
Absturz 200-l-Fass, gefüllt mit Normalbeton	Normalbeton	8,73 E7	X
Absturz 200-l-Fass, gefüllt mit Barytbeton	Barytbeton	3,95 E7	X
Leckage eines Abwassertanks	Abwasser FRG bzw. Abwasser HL	2,0 E4	
Ausfall Strahlenschutzeinrichtung	Normalbeton bzw. Barytbeton	1,35 E5	

Im Folgenden werden aufgrund der höchsten ermittelten Quellterme bei unterschiedlichen zugrunde zu legenden Nuklidgemischen /3/ die beiden Störungen Lastabsturz eines mit Normalbeton bzw. eines mit Barytbeton gefüllten Behälters auf dem Anlagengelände näher betrachtet.

A.6.2 Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung

Auf der Basis des ermittelten Quellterms und der oben angegebenen Nuklidgemische wurde eine Ausbreitungsrechnung mit dem Programm STRESS 2002 /15/ durchgeführt. Hierbei wurden folgende Randbedingungen zugrunde gelegt:

- Emissionshöhe: 0 m
- Zeitintervall der Freisetzung: 0,5 h
- Minimale Entfernung zum Anlagenzaun: 0 m

Da das Programm STRESS 2002 nicht die Möglichkeit bietet, Ba-133 als freigesetztes Nuklid auszuwählen, wurde der Aktivitätswert des Ba-133 in der Berechnung als Cs-137 Freisetzung berücksichtigt. Die für die Folgedosisberechnung relevanten Dosiskoeffizienten bei innerer Strahlenexposition für Einzelpersonen der Bevölkerung von Ba-133 und Cs-137 liegen in derselben Größenordnung (vgl. /13/).

Bei diesen Bedingungen ergibt sich für die ungünstigste Referenzperson „Kind 1-2 Jahre“ und die ungünstigste Diffusionskategorie „E“ für den Absturz eines 200-l-Behälters gefüllt mit

- Normalbeton eine effektive Dosis von ca. $9,5 \cdot 10^{-3}$ mSv und
- Barytbeton eine effektive Dosis von ca. $4,6 \cdot 10^{-2}$ mSv.

Damit stellt der Absturz eines mit Barytbeton gefüllten 200-l-Behälters während des Transportes auf dem Anlagengelände den abdeckenden Störfall dar. Die Dokumentation der Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung ist als Anlage 1 beigelegt.

A.6.3 Vergleich der ermittelten Dosiswerte mit dem Grenzwert der StrlSchV

Die Begrenzung der Strahlenexposition als Folge von Störfällen bei sonstigen Anlagen und Einrichtungen und bei Stilllegungen regelt § 50 der Strahlenschutzverordnung /2/. Demnach sind bei der Stilllegung von Anlagen Schutzmaßnahmen zu treffen, so dass im Falle einer möglichen Störung mit Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung ein festgelegter Wert für die Strahlenexposition in der Umgebung nicht überschritten wird. Dieser Wert ist in den Übergangsvorschriften der StrlSchV § 117 (16) /2/ auf eine effektive Dosis von 50 mSv begrenzt.

In der Störfallanalyse wurden sicherheitstechnisch bedeutsame Ereignisabläufe bei der Stilllegung und dem Abbau der Forschungsreaktoranlage und des Heißen Labors analysiert. Es wurde nachgewiesen, dass die mögliche Strahlenexposition als Folge von Störfällen bei der Stilllegung maximal 0,1 % der gem. StrlSchV /2/ zulässigen Strahlenexposition beträgt.

A.7 Betrachtung des abdeckenden, auslegungsüberschreitenden Ereignisses

In einem Umkreis von circa 50 km um den Standort HZG befinden sich der internationale Flughafen Hamburg (35 km NW), der Flugplatz Uetersen-Heist (52 km NW) sowie die Landeplätze Lüneburg (20 km SSO), Hamburg-Finkenwerder (40 km WNW) und Lübeck-Blankensee (47 km NNO). Die Anlage liegt nicht unter einer der Einflug- oder Abflugschneisen eines Flughafens oder Landeplatzes.

Die Wahrscheinlichkeit eines Flugzeugabsturzes auf das Standort-Zwischenlager des Kernkraftwerks Krümmel (SZK) wird mit ca. $1,0 \text{ E-}06 /16/$ angegeben. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Wahrscheinlichkeit eines Flugzeugabsturzes auf die Forschungsreaktoranlage und das Heiße Labor identisch zum Standort-Zwischenlager SZK ist, da die Standorte nur eine räumliche Distanz von ca. 2 km aufweisen.

Trotz des sehr unwahrscheinlichen Falles eines Flugzeugabsturzes auf die Forschungsreaktoranlage und das Heiße Labor wird dieser untersucht. Da es sich um einen auslegungsüberschreitenden Störfall handelt, wird dieser nach den Vorgaben und Maßstäben der „Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen“ /6/ betrachtet.

A.7.1 Quelltermmittlung Flugzeugabsturz

Für die Abschätzung der Freisetzung durch einen Flugzeugabsturz wird unterstellt, dass sowohl die Forschungsreaktoranlage als auch das Heiße Labor von dem Flugzeug bzw. von den Flugzeugtrümmern getroffen werden. In Anlehnung an Betrachtungen zum Ablauf des Reaktorunfalls von Tschernobyl /17/ wird angenommen, dass die gesamte Tritium- und C-14-Aktivität, Cs-134 und Cs-137 mit 33 % sowie 4 % der übrigen vorhandenen Radionuklide freigesetzt werden. Damit sind sowohl die mechanischen Einwirkungen auf die Gebäude und die darin vorhandenen radioaktiven Stoffe als auch die durch den entstandenen Brand verursachten thermischen Einwirkungen auf die radioaktiven Stoffe in der Forschungsreaktoranlage und im Heißen Labor berücksichtigt. Damit ergibt sich ein Quellterm für die Freisetzung durch einen Flugzeugabsturz von ca. $4 \text{ E}15 \text{ Bq}$. Die Ermittlung des Quellterms ist zusammenfassend in Tabelle A-6 dargestellt.

Tabelle A-6: Quellterm Flugzeugabsturz FRG/HL

Störung	Aktivität in FRG und HL [Bq]	Freisetzung in die Atmosphäre [Bq]	Ablagerung [Bq]	Freisetzung in die Umgebung Quellterm [Bq]
Flugzeugabsturz auf FRG und HL	5,0 E15	4,07 E15	-	4,07 E15

Der für die Berechnung der Folgedosis ermittelte, nuklidspezifische Quellterm ist in Tabelle A-7 angegeben.

Tabelle A-7: nuklidspezifischer Quellterm FLAB auf FRG und HL

Nuklide	Aktivität	Freisetzungsanteil
H-3	4,0E+15	100%
C-14	1,0E+12	100%
Mn-54	1,1E+07	4%
Fe-55	7,5E+10	4%
Co-60	6,6E+12	4%
Ni-63	2,1E+13	4%
Zn-65	7,2E+04	4%
Sr-90	2,7E+13	4%
Nb-94	2,8E+10	4%
Ag-108m	1,1E+06	4%
Cs-134	6,9E+07	33%
Cs-137	1,3E+13	33%
Summe	4,07E+15	

A.7.2 Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung

Auf der Basis des ermittelten Quellterms gem. Kapitel A.7.1 wurde eine Berechnung der äußeren Exposition in sieben Tagen und der effektiven Folgedosis durch in diesem Zeitraum inhalierte Radionuklide mit dem Simulationsprogramm „SAFER 2“ /18/ durchgeführt.

Die äußere Exposition in sieben Tagen und effektive Folgedosis durch in diesem Zeitraum inhalierte Radionuklide ergibt für die ungünstigste Referenzperson eine effektive Dosis von ca. 3,2 mSv (Erwachsene > 17 Jahren) bei der ungünstigsten Diffusionskategorie „F“ (sehr stabil).

A.7.3 Vergleich der ermittelten Dosiswerte mit den Eingreifrichtwerten gem. Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz

In den „Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen“ /6/ sind Eingreifrichtwerte für Maßnahmen des Katastrophenschutzes festgelegt. Bei einer zu erwartenden effektiven Dosis vom 10 mSv durch äußere Exposition in sieben Tagen und durch die effektive Folgedosis durch in diesem Zeitraum inhalierte Radionuklide wird als Maßnahme „Aufenthalt in Gebäuden“ empfohlen, bei einer zu erwartenden effektiven Dosis von 100 mSv entsprechend eine Evakuierung.

Die zu erwartende effektive Dosis für die ungünstigste Referenzperson durch einen Flugzeugabsturz auf die Forschungsreaktoranlage und das Heiße Labor beträgt ca. 30 % des Eingreifrichtwertes für die Maßnahme „Aufenthalt in Gebäuden“ sowie ca. 3 % des Eingreifrichtwertes für die Evakuierung. Es sind somit für die Umgebung der Forschungsreaktoranlage und des Heißen Labors auch im Falle eines auslegungsüberschreitenden Ereignisses keine einschneidenden Maßnahmen des Katastrophenschutzes erforderlich.

Anlage A-1: FRG/HL – Dokumentation der Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung

STRESS 2.0 05.10.2011

Lastabsturz Normalbeton außen

HZG

Anzahl der Quellen : 1

Quelle 1

Quellort : NORMALBETON
Emissionshöhe : 0,0 m

Anzahl der Zeitintervalle 1
Intervall 1 00:00 - 00:30 h

Freisetzungen, (Bq)
Intervall 1 8,73E+07

STRESS 2.0 05.10.2011

Lastabsturz Normalbeton außen

Quellterm - Quelle 1 , Intervall 1

Edelgase: 6,44E+07 Bq
Jod: 0,00E+00 Bq
Aerosole: 2,29E+07 Bq
Summe: 8,73E+07 Bq

<u>Edelgase</u>		<u>Aerosole</u>	
	Bq		Bq
H 3	6,40E+07	Fe 55	1,91E+07
C 14	4,37E+05	Co 60	8,73E+05
		Eu 152	2,62E+06
		Eu 154	2,62E+05

Lastabsturz Normalbeton außen

Dosis der Summe über alle Quellen, ungünstigster Aufpunkt, Sv

Referenzperson : Kind 1-2 a Entfernung ext. Strahlung/Inhalation : 100,0 m
 Diffusionskategorie : E Entfernung Ingestion : 100,0 m

Organ	Pfad	Gamma-Sub- mersion	Gamma-Boden- strahlung	Beta-Sub- mersion	Inhalation	Ingestion	Summe
Blase		1,97E-11	7,41E-06		6,72E-09	1,23E-06	8,65E-06
Brust		2,46E-11	8,14E-06		1,37E-08	1,20E-06	9,35E-06
O-Dickdarm		1,97E-11	7,36E-06		1,91E-08	1,43E-06	8,80E-06
U-Dickdarm		1,90E-11	7,23E-06		1,85E-08	1,73E-06	8,98E-06
Dünndarm		1,91E-11	7,14E-06		1,33E-08	1,29E-06	8,44E-06
Gehirn		2,60E-11	8,13E-06		6,59E-09	1,21E-06	9,35E-06
Haut		2,53E-11	8,88E-06	2,43E-11	7,17E-09	1,20E-06	1,01E-05
Hoden		2,17E-11	7,94E-06		5,10E-09	1,22E-06	9,16E-06
Kn.-Oberfl.		2,44E-11	8,05E-06		1,20E-07	1,86E-06	1,00E-05
Leber		2,08E-11	7,41E-06		1,41E-07	1,71E-06	9,26E-06
Lunge		2,30E-11	8,13E-06		1,26E-07	1,22E-06	9,48E-06
Magen		2,07E-11	7,41E-06		1,55E-08	1,25E-06	8,68E-06
Milz		2,13E-11	7,41E-06		4,13E-08	2,87E-06	1,03E-05
N.-Nieren		2,02E-11	7,08E-06		2,62E-08	1,24E-06	8,35E-06
Nieren		2,08E-11	7,41E-06		1,81E-08	1,23E-06	8,66E-06
Ovarien		1,86E-11	7,31E-06		1,02E-08	1,27E-06	8,59E-06
Pankreas		1,96E-11	6,98E-06		2,35E-08	1,24E-06	8,25E-06
R.-Knochenm.		2,08E-11	7,41E-06		5,93E-08	2,05E-06	9,52E-06
Schilddrüse		2,61E-11	8,85E-06		7,78E-09	1,22E-06	1,01E-05
Thymus		2,23E-11	7,49E-06		1,22E-08	1,22E-06	8,72E-06
Uterus		1,84E-11	6,79E-06		8,69E-09	1,25E-06	8,05E-06
effektiv		2,24E-11	8,01E-06		3,81E-08	1,45E-06	9,50E-06

Lastabsturz Normalbeton außen

Vergleich mit den Grenzwerten nach §49 StrlSchV

Der Vergleich erfolgt für die ermittelten maximalen Organdosen. Referenzperson, Aufpunkt und Diffusionskategorie pro Organ sind der Tabelle "Maximale Organdosen" zu entnehmen.

Organ	Pfad	Gamma- Submersion (Sv)	Gamma- Bodenstrah- lung (Sv)	Inhalation (Sv)	Ingestion (Sv)	Gesamt- dosis (Sv)	Grenz- wert (mSv)	% vom Grenzwert
Blase		1,97E-11	7,41E-06	6,72E-09	1,23E-06	8,65E-06	150	0,0
Brust		2,46E-11	8,14E-06	1,37E-08	1,20E-06	9,35E-06	150	0,0
O-Dickdarm		1,97E-11	7,36E-06	1,91E-08	1,43E-06	8,80E-06	150	0,0
U-Dickdarm		1,90E-11	7,23E-06	1,85E-08	1,73E-06	8,98E-06	150	0,0
Dünndarm		1,91E-11	7,14E-06	1,33E-08	1,29E-06	8,44E-06	150	0,0
Gehirn		2,60E-11	8,13E-06	6,59E-09	1,21E-06	9,35E-06	150	0,0
Haut		2,53E-11	8,88E-06	7,17E-09	1,20E-06	1,01E-05	500	0,0
Hoden		2,17E-11	7,94E-06	5,10E-09	1,22E-06	9,16E-06	150	0,0
Kn.-Oberfl.		2,44E-11	8,05E-06	1,20E-07	1,86E-06	1,00E-05	300	0,0
Leber		2,08E-11	7,41E-06	1,41E-07	1,71E-06	9,26E-06	150	0,0
Lunge		2,30E-11	8,13E-06	1,26E-07	1,22E-06	9,48E-06	150	0,0
Magen		2,07E-11	7,41E-06	1,55E-08	1,25E-06	8,68E-06	150	0,0
Milz		2,13E-11	7,41E-06	4,13E-08	2,87E-06	1,03E-05	150	0,0
N.-Nieren		2,02E-11	7,08E-06	2,62E-08	1,24E-06	8,35E-06	150	0,0
Nieren		2,08E-11	7,41E-06	1,81E-08	1,23E-06	8,66E-06	150	0,0
Ovarien		1,86E-11	7,31E-06	1,02E-08	1,27E-06	8,59E-06	50	0,0
Pankreas		1,96E-11	6,98E-06	2,35E-08	1,24E-06	8,25E-06	150	0,0
R.-Knochenm.		2,08E-11	7,41E-06	5,93E-08	2,05E-06	9,52E-06	50	0,0
Schilddrüse		2,61E-11	8,85E-06	7,78E-09	1,22E-06	1,01E-05	150	0,0
Thymus		2,23E-11	7,49E-06	1,22E-08	1,22E-06	8,72E-06	150	0,0
Uterus		1,84E-11	6,79E-06	8,69E-09	1,25E-06	8,05E-06	50	0,0
effektiv		2,24E-11	8,01E-06	3,81E-08	1,45E-06	9,50E-06	50	0,0

Lastabsturz Barytbeton außen

HZG

Anzahl der Quellen : 1

Quelle 1

Quellort : BARYTBETON
Emissionshöhe : 0,0 m

Anzahl der Zeitintervalle 1
Intervall 1 00:00 - 00:30 h

Freisetzungen, (Bq)
Intervall 1 3,94E+07

Lastabsturz Barytbeton außen

Quellterm - Quelle 1 , Intervall 1

Edelgase: 9,36E+06 Bq
Jod: 0,00E+00 Bq
Aerosole: 3,01E+07 Bq
Summe: 3,94E+07 Bq

Edelgase
Bq
H 3 9,28E+06
C 14 7,90E+04

Aerosole
Bq
Mn 54 1,19E+05
Fe 55 1,43E+07
Co 60 1,22E+06
Cs 134 1,58E+05
Cs 137 1,35E+07
Eu 152 7,51E+05
Eu 154 3,95E+04

Lastabsturz Barytbeton außen

Dosis der Summe über alle Quellen, ungünstigster Aufpunkt, Sv

Referenzperson : Kind 1-2 a Entfernung ext. Strahlung/Inhalation : 100,0 m
 Diffusionskategorie : E Entfernung Ingestion : 100,0 m

Organ	Pfad	Gamma-Sub- mersion	Gamma-Boden- strahlung	Beta-Sub- mersion	Inhalation	Ingestion	Summe
Blase		5,34E-11	2,86E-05		8,73E-09	1,66E-05	4,52E-05
Brust		6,84E-11	3,23E-05		3,31E-08	1,30E-05	4,54E-05
O-Dickdarm		5,34E-11	2,76E-05		2,49E-08	1,78E-05	4,55E-05
U-Dickdarm		5,17E-11	2,75E-05		4,59E-08	2,33E-05	5,08E-05
Dünndarm		5,30E-11	2,70E-05		1,28E-08	1,65E-05	4,36E-05
Gehirn		7,34E-11	3,04E-05		7,85E-09	1,42E-05	4,46E-05
Haut		6,90E-11	3,40E-05	1,71E-10	9,06E-09	1,30E-05	4,71E-05
Hoden		5,86E-11	2,97E-05		7,43E-09	1,42E-05	4,39E-05
Kn.-Oberfl.		6,78E-11	3,12E-05		5,01E-08	1,69E-05	4,82E-05
Leber		5,81E-11	2,86E-05		6,48E-08	1,58E-05	4,45E-05
Lunge		6,34E-11	3,09E-05		8,42E-07	1,53E-05	4,70E-05
Magen		5,79E-11	2,86E-05		2,11E-08	1,56E-05	4,42E-05
Milz		5,83E-11	2,86E-05		4,66E-08	1,67E-05	4,53E-05
N.-Nieren		5,37E-11	2,70E-05		3,79E-08	1,65E-05	4,35E-05
Nieren		5,81E-11	2,86E-05		1,75E-08	1,55E-05	4,41E-05
Ovarien		5,02E-11	2,76E-05		9,89E-09	1,65E-05	4,42E-05
Pankreas		5,32E-11	2,65E-05		2,96E-08	1,65E-05	4,30E-05
R.-Knochenm.		5,81E-11	2,81E-05		3,46E-08	1,59E-05	4,40E-05
Schilddrüse		7,35E-11	3,31E-05		1,66E-08	1,54E-05	4,86E-05
Thymus		6,29E-11	2,97E-05		3,14E-08	1,53E-05	4,50E-05
Uterus		4,97E-11	2,59E-05		9,38E-09	1,65E-05	4,24E-05
effektiv		6,30E-11	3,03E-05		1,19E-07	1,58E-05	4,62E-05

Lastabsturz Barytbeton außen

Vergleich mit den Grenzwerten nach §49 StrlSchV

Der Vergleich erfolgt für die ermittelten maximalen Organdosen. Referenzperson, Aufpunkt und Diffusionskategorie pro Organ sind der Tabelle "Maximale Organdosen" zu entnehmen.

Organ	Pfad	Gamma- Submersion (Sv)	Gamma- Bodenstrah- lung (Sv)	Inhalation (Sv)	Ingestion (Sv)	Gesamt- dosis (Sv)	Grenz- wert (mSv)	% vom Grenzwert
Blase		4,78E-11	2,79E-05	1,06E-08	1,74E-05	4,53E-05	150	0,0
Brust		6,84E-11	3,23E-05	3,31E-08	1,30E-05	4,54E-05	150	0,0
O-Dickdarm		5,34E-11	2,76E-05	2,49E-08	1,78E-05	4,55E-05	150	0,0
U-Dickdarm		5,17E-11	2,75E-05	4,59E-08	2,33E-05	5,08E-05	150	0,0
Dünndarm		5,30E-11	2,70E-05	1,28E-08	1,65E-05	4,36E-05	150	0,0
Gehirn		7,34E-11	3,04E-05	7,85E-09	1,42E-05	4,46E-05	150	0,0
Haut		6,90E-11	3,40E-05	9,06E-09	1,30E-05	4,71E-05	500	0,0
Hoden		5,86E-11	2,97E-05	7,43E-09	1,42E-05	4,39E-05	150	0,0
Kn.-Oberfl.		6,78E-11	3,12E-05	5,01E-08	1,69E-05	4,82E-05	300	0,0
Leber		5,81E-11	2,86E-05	6,48E-08	1,58E-05	4,45E-05	150	0,0
Lunge		6,34E-11	3,09E-05	8,42E-07	1,53E-05	4,70E-05	150	0,0
Magen		5,79E-11	2,86E-05	2,11E-08	1,56E-05	4,42E-05	150	0,0
Milz		5,83E-11	2,86E-05	4,66E-08	1,67E-05	4,53E-05	150	0,0
N.-Nieren		5,37E-11	2,70E-05	3,79E-08	1,65E-05	4,35E-05	150	0,0
Nieren		5,81E-11	2,86E-05	1,75E-08	1,55E-05	4,41E-05	150	0,0
Ovarien		5,02E-11	2,76E-05	9,89E-09	1,65E-05	4,42E-05	50	0,1
Pankreas		5,32E-11	2,65E-05	2,96E-08	1,65E-05	4,30E-05	150	0,0
R.-Knochenm.		5,81E-11	2,81E-05	3,46E-08	1,59E-05	4,40E-05	50	0,1
Schilddrüse		7,35E-11	3,31E-05	1,66E-08	1,54E-05	4,86E-05	150	0,0
Thymus		6,29E-11	2,97E-05	3,14E-08	1,53E-05	4,50E-05	150	0,0
Uterus		4,97E-11	2,59E-05	9,38E-09	1,65E-05	4,24E-05	50	0,1
effektiv		6,30E-11	3,03E-05	1,19E-07	1,58E-05	4,62E-05	50	0,1

Auslegungsüberschreitender Störfall – Flugzeugabsturz auf FRG und HL

SAFER 2 (Version 2.5.2)

07.11.2014 11:04

Va - A (Tschernobyl Freiset.) FRG + HL

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 : 4,00E+15 Bq
 Jod : 0,00E+00 Bq
 Aerosole : 6,77E+13 Bq
 Summe : 4,07E+15 Bq

Einzelnuclide

H 3 (org)	4,00E+15 Bq	Zn 65	7,20E+04 Bq
C 14 (org)	1,00E+12 Bq	Sr 90	2,70E+13 Bq
Mn 54	1,10E+07 Bq	Nb 94	2,80E+10 Bq
Fe 55	7,50E+10 Bq	Ag 108m	1,10E+06 Bq
Co 60	6,60E+12 Bq	Cs 134	6,90E+07 Bq
Ni 63	2,10E+13 Bq	Cs 137	1,30E+13 Bq

Größenspektrum der Aerosolpartikel (hinter Filter)

Quelle 1

unbekannt

Eingabedaten Meteorologie

Quelle 1

Windrichtung : 240 Grad
 Windgeschwindigkeit : 1 m/s
 Messhöhe : 0 m
 Niederschlagsrate : 0 mm/h
 Diffusionskategorie : F sehr Stabil

Eingabedaten Freisetzungshöhe

Quelle 1

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

Angaben zur Quellhöhe

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

Va - A (Tschernobyl Freiset.) FRG + HL

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.	1,83E+00	2000	3	3,14E+00	2000	3
Inhalation, Schilddr.	0,00E+00	-	-	0,00E+00	-	-
γ-Boden, eff., (7d)	4,64E-02	2000	3	3,09E-02	2000	3
γ-Subm., eff.	2,78E-03	2000	3	1,98E-03	2000	3
externe Dosis, eff.	4,92E-02	2000	3	3,29E-02	2000	3
Summe Dosis, eff.	1,88E+00	2000	3	3,18E+00	2000	3

"-" bedeutet, dieser Wert wurde nicht berechnet
Inhalation Schilddrüse wird nur für Jodnuklide berechnet

B Entwurf: Störfallanalyse Zerlegehalle RDB-OH

Entwurf

B.1 Einleitung

Auf dem Gelände des Helmholtz-Zentrums Geesthacht, Zentrum für Material- und Küstenerforschung 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 HZG, transportiert und seitdem in einem eigens dafür errichteten Schachtbauwerk (Betonschacht) gelagert.

Im Rahmen der „Denuklearisierung“ des Standorts HZG 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 Strahlenexposition bei den für die Zerlegung zu unterstellenden Störfällen immer unterhalb des Störfallplanungswertes liegt.

Gemäß § 50 Abs. 1 in Verbindung mit Abs. 2 Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) /2/ sind bei der Planung bauliche oder technische Schutzmaßnahmen unter Berücksichtigung des potenziellen Schadensausmaßes zu treffen, um die Strahlenexposition 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 § 117 Abs. 16 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.

Darüber hinaus wird gezeigt, dass die gemäß den Vorgaben der Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz /19/ ermittelte Strahlenexposition in der Umgebung des Standorts

HZG den für sehr seltene und auslegungsüberschreitende Ereignisse maßgeblichen Eingreifrichtwert für einschneidende Maßnahmen des Katastrophenschutzes von 100 mSv nicht überschreitet.

Entwurf

B.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 befindet sich der RDB-OH seit etwa 35 Jahren in einem Zustand, der dem Sicheren Einschluss nahezu entspricht. 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. $5,6 \cdot 10^{14}$ Bq. Das Aktivitätsinventar ist zu fast 100 % fest in den aktivierten Strukturen der Kerneinbauten des RDB eingebunden und somit nicht unmittelbar freisetzbar. Deutlich weniger als 1 % des Gesamtaktivitätsinventars liegt als Kontamination vor. 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. $1,0 \cdot 10^{17}$ 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 sicherheitstechnische Anforderungen der „Einschluss der radioaktiven Stoffe“ und die „Begrenzung der Strahlenexposition“.

B.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 radiologisch relevanten Ereignisse wird die mögliche Freisetzung von Radioaktivität in die Umgebung (Quellterm) ermittelt. Die Berechnung der Folgedosis in der Umgebung wird unter Anwendung der Störfallberechnungsgrundlagen /5/ 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 den Vorgaben der „Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen“ /6/ betrachtet und bewertet.

B.3.1 Überblick über Störfallmöglichkeiten mit nicht geplanten Freisetzungen radioaktiver Stoffe

Für die Errichtung der Zerlegehalle und die Zerlegung des RDB-OH ergeben sich die folgenden zu betrachtenden Ereignisse:

- Einwirkungen von innen (EVI):
 - Brand,
 - Lastabsturz,
 - Leckage,
 - Ausfall von Versorgungseinrichtungen,
 - Handhabungsfehler.

- Einwirkungen von außen (EVA):
 - Hochwasser / Überflutung und Starkregen,
 - Sturm, Eis und Schnee,
 - Blitzschlag,
 - Eindringen von Gasen,
 - Druckwellen aufgrund chemischer Reaktionen,
 - Äußere Brände,
 - Erdbeben,
 - Flugzeugabsturz (auslegungsüberschreitend).

Andere Störfallmöglichkeiten können aufgrund des Fehlens von wärmeentwickelnden radioaktiven Stoffen (Kernbrennstoff) und damit notwendigen Kühlsystemen ausgeschlossen werden.

B.3.2 Randbedingungen und Annahmen

Für die Störfallbetrachtung werden die in den entsprechenden Kapiteln B.4 und B.5 dargestellten nuklidspezifischen Quellterme verwendet.

Für die Abschätzung der Folgedosis des Personals bei einer Freisetzung von radioaktiven Stoffen in der Raumluft (siehe Kapitel B.4.2 und B.5.7) werden die folgenden Parameter angenommen:

- Atemrate: 3,8 E-4 m³/s /5/
- Inhalationszeit: 1 min

Grundlage für die Ermittlung der Dosis sind die in /13/ 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 verwendet.

B.4 Einwirkungen von innen

B.4.1 Brand

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

Das Brandpotenzial in der Zerlegehalle ist aufgrund der geringen Mengen an brennbaren Stoffen, wie Kabeln, Gasen, Schmier- und Hydraulikölen relativ gering. Ein Brand von Kabeln beispielsweise würde darüber hinaus räumlich beschränkt bleiben und hätte außer einem Arbeitsausfall keine Folgen. Die Aerosolfilter der mobilen Filteranlagen sind ebenfalls nicht brennbar. 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 Zerlegeverfahren grundsätzlich unter Wasser angewendet. Davon weicht lediglich das Schneiden des RDB in Schüsse ab. Aufgrund der bei Heißenarbeiten 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.

Ungeachtet dessen 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 offen steht. Weitere in der Anlage vorhandene brennbare Abfälle befinden sich in geschlossenen Behältern (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 beträgt ca. 80 m². Es wird von einer mittleren Kontamination der Oberfläche von 10 Bq/cm² ausgegangen. Die Putzlappen werden nach Gebrauch in einem 200-l-Fass gesammelt. Bei vollständiger Dekontamination der Oberfläche ergibt sich nach Beendigung der Arbeiten ein Radioaktivitätsinventar im Behälter von ca. 8,0 E06 Bq. Dabei wird ein realistisches Nuklidverhältnis von etwa 10 % Co-60 und 90 % Cs-137 angenommen.

Es wird konservativ unterstellt, dass der Inhalt des Behälters vollständig abbrennt, wobei 5 % der metallischen Nuklide und 95 % der sonstigen Nuklide aerosolförmig in die Anlagenatmosphäre freigesetzt werden. Weiterhin wird angenommen, dass sich 50 % der aerosolförmigen Aktivität an den inneren Wänden der Anlage ablagern.

Die restliche Aktivität strömt über die Fortluftfilter. Bei einem zu unterstellenden Rückhaltegrad von 99,9 % für Schwebstoffe /5/ erhält man bei dem beschriebenen Szenario einen Quellterm von ca. 3,4 E03 Bq. Die Ermittlung des Quellterms ist zusammenfassend in Tabelle B-1 dargestellt.

Tabelle B-1: Ermittlung des Quellterms beim Brand eines 200-l-Fasses mit Putzlappen

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 Putzlappen	8,00 E06	6,70 E06	3,35 E06	3,35 E03
nuklidspezifische Betrachtung gemäß Nuklidgemisch				
Co-60	1,00 E06	5,00 E04	2,50 E04	2,50 E01
Cs-137	7,00 E06	6,65 E06	3,32 E06	3,32 E03

B.4.2 Lastabsturz

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 besorgen.

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.

Nachfolgend werden potentielle Lastabstürze bei der Errichtung der Zerlegehalle und bei der Zerlegung des RDB-OH betrachtet und ein abdeckender Lastabsturz hergeleitet.

Während der Errichtung des Rohbaus der Zerlegehalle steht der RDB-OH im Betonschacht, der mit schweren Betonriegeln abgedeckt ist. 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. 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.

Geplante Tätigkeiten nach der Fertigstellung der Zerlegehalle 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 Verfahrweg 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 Abschirmkulissee 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 Abschirmkulissee 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 nicht weiter fixiert wird. Für den Transport an Luft wird der Dampferzeuger zur Vermeidung einer Kontaminationsverschleppung mit Folie eingeschlagen.

Die maximale Fallhöhe beträgt ca. 4 m. Bei einem unterstellten Absturz wird ein Teil der vorhandenen Kontamination von ca. 1,1 E11 Bq in die Folie freigesetzt. Es wird angesetzt, dass ca. 1 % der Kontamination abfällt. Dieser wird zu einem Großteil in der Folie zurückgehalten. Es wird jedoch unterstellt, dass davon wiederum ca. 0,1 % als radioaktive Aerosole in die Anlagenatmosphäre freigesetzt werden, was einer Aktivität von ca. 1,1 E06 Bq entspricht.

Diese Aktivität strömt anschließend über die Fortluftfilter. Bei einem zu unterstellenden Rückhaltegrad von 99,9 % für Schwebstoffe /5/ erhält man bei dem beschriebenen Szenario einen Quellterm von ca. 1,1 E03 Bq. Die Ermittlung des Quellterms ist zusammenfassend in Tabelle B-1 dargestellt.

Durch den Absturz und die Beschädigung des Dampferzeugers inhaliert das vor Ort tätige Personal bei der Flucht aus dem Gefahrenbereich ca. 2,5 E02 Bq der radioaktiven Aerosole. Dabei wird die Verteilung der Aerosole durch Verdünnung in einem Luftvolumen von ca. 100 m³ unterstellt. Die daraus resultierende Folgedosis beträgt ca. 9,5 µSv.

Tabelle B-2: Ermittlung des Quellterms beim Absturz des Dampferzeugers

Störfall / Nuklide	Innenkontamination des Dampferzeugers [Bq]	Freisetzung in die Folienatmosphäre [Bq]	Freisetzung in die Anlagenatmosphäre [Bq]	Freisetzung in die Umgebung (Quellterm) [Bq]
Absturz des Dampferzeugers	1,1 E11	1,1 E09	1,1 E06	1,1 E03
nuklidspezifische Betrachtung gemäß Nuklidgemisch				
Co-60	1,7 E10	1,7 E08	1,7 E05	1,7 E02
Cs-137	9,3 E10	9,3 E08	9,3 E05	9,3 E02

B.4.3 Leckage

Für die Zerlegung der RDB-Einbauten wird der RDB-OH mit Wasser geflutet. Ein spontanes Versagen des RDB und damit Leckagen aus dem RDB können ausgeschlossen werden. 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 Aerosolen in die Raumluft freigesetzt werden können.

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

B.4.4 Ausfall 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.

Bei Ausfall der elektrischen Versorgung oder bei Ausfall der Lüftungstechnischen Anlage werden die Arbeiten 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 Strahlenexpositionen 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.

B.4.5 Handhabungsfehler

Handhabungsfehler können bei der Zerlegung des RDB-OH nicht ausgeschlossen werden. Bei den Zerlegearbeiten sind der Einsatz von geschultem Personal, die Anwendung bewähr-

ter Verfahren sowie Schutzmaßnahmen an den Einrichtungen vorgesehen, die in Verbindung mit verbindlichen Anweisungen Handhabungsfehlern entgegenwirken. Transporte von Komponenten im Ganzen (z. B. Dampferzeuger) oder von großen Teilen werden so geplant, dass mögliche Handhabungsfehler sehr unwahrscheinlich werden.

Allen Handhabungsfehlern gemeinsam ist, dass sie keine Auswirkungen haben, die durch die untersuchten Ereignisabläufe infolge Einwirkungen von innen, insbesondere bei einem zu unterstellenden Lastabsturz, nicht abgedeckt sind.

Entwurf

B.5 Einwirkungen von außen

B.5.1 Hochwasser / Überflutung und Starkregen

Die Zerlegehalle liegt auf einer Höhe von ca. 17,8 - 20,8 m ü. NN und damit deutlich oberhalb der Elbe. Die Position der Zerlegehalle liegt in sinngemäßer Anwendung der RSK /20/ und der ESK /21/ deutlich über den Empfehlungen für eine Gebäudepositionierung zur Zwischenlagerung von radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung. Eine Überflutung durch ein 10.000-jährliches Hochwasser ist somit ausgeschlossen.

Die Ableitung von Regenwasser der Dachentwässerung und der befestigten Flächen erfolgt über eine vorhandene Regenwasserleitung. Diese ist für die zu erwartenden Niederschlagsmengen ausgelegt. Bisher sind keine Ereignisse aufgetreten, die zu einem Regenwassereintritt in den bestehenden Betonschacht geführt haben. Dieser wird kontinuierlich mit einem Wasserstands-Sensor auf eindringendes Wasser überwacht.

Eine Überflutung der Zerlegehalle aufgrund von Starkniederschlag ist daher nicht zu unterstellen.

B.5.2 Sturm, Eis und Schnee

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

Auswirkungen auf die Zerlegearbeiten und radiologische Auswirkungen auf die Umgebung sind durch diese Ereignisse deshalb nicht zu besorgen.

B.5.3 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.

B.5.4 Eindringen von Gasen

Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten ist mit dem Auftreten von signifikanten Mengen toxischer oder korrosiver Gase nicht zu rechnen. In der näheren Umgebung der Zerlegehalle gibt es keine Einrichtungen, die als mögliche Quelle hierfür in Frage kommen. Das Ereignis ist daher als unwahrscheinlich anzusehen.

Sollten widererwarten Gase eindringen und mögliche Ereignisabläufe initiiert werden, können diese zu Störungen an Betriebssystemen oder zu Störungen durch menschliches Versagen (z. B. Lastabstürze) führen.

Allen Störungen gemeinsam ist jedoch, dass sie keine Auswirkungen haben, die durch die untersuchten Ereignisabläufe infolge Einwirkungen von innen nicht abgedeckt sind.

B.5.5 Druckwellen aufgrund chemischer Reaktionen

Im Umkreis des Standorts HZG befinden sich keine chemischen Betriebe, in denen mit explosionsgefährlichen Stoffen umgegangen wird, sowie keine Gas- und Ölleitungen. Bei einer unterstellten Explosion auf einem vorbeifahrenden Schiff auf der Elbe werden die Versagensfälle von Systemen und Komponenten durch die betrachteten Ereignisse Erdbeben (siehe Kapitel B.5.7) abgedeckt.

B.5.6 Äußere Brände

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

B.5.7 Erdbeben

Der Standort HZG liegt in der norddeutschen Tiefebene. Die Gebietseinheit befindet sich gemäß der DIN EN 1998-1/NA:2011-01 /22/ in keiner Erdbebenzone. Gebiete mit der Erdbebenzone 0 sind in etwa 300 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 Zerstörung der Zerlegehalle und zur Freisetzung von Radioaktivität in die Umwelt kommt. Als Grundlage für den Freisetzungsquellterm wird das Gesamtaktivitätsinventar des RDB-OH /23/ herangezogen.

Bei der Zerstörung der Zerlegehalle kommt es zu Lastabstürzen von z. B. Dachbindern, Hebezeugen und Abfallgebinden auf den RDB-OH. Dieser besteht fast ausschließlich aus Stählen bzw. Metallen, die in der Regel keine oder nur sehr wenige Aerosole und luftgetragene Partikel bei mechanischer Einwirkung im kalten Zustand bilden. Dennoch wird als konservative Abschätzung die Freisetzung von 1 g aktivierten Stahl durch mechanische Einwirkungen unterstellt. Bei einer Gesamtmasse der aktivierten Komponenten (Kerneinbauten und mittlerer Bereich des RDB) von etwa 33 Mg /23/ resultiert daraus ein konservativ aufgerundeter Freisetzunganteil in die Umgebung von etwa $1,0 \cdot 10^{-7}$.

Bei der mechanischen Einwirkung wird weiterhin unterstellt, dass etwa 10 % der Kontamination von der Oberfläche gelöst werden. Diese wird zu einem Großteil wieder an den umgebenden Oberflächen der herabgestürzten Komponenten anhaften. Es wird jedoch unterstellt, dass davon wiederum etwa 10 % als radioaktive Aerosole in die Umgebung freigesetzt werden. Der Freisetzunganteil für Kontamination in die Umgebung beträgt infolgedessen etwa $1,0 \cdot 10^{-2}$.

Man erhält bei dem beschriebenen Szenario somit einen Quellterm von ca. $1,5 \cdot 10^9$ Bq. Die Ermittlung des Quellterms ist zusammenfassend in Tabelle B-3 angegeben.

Tabelle B-3: Ermittlung des Quellterms bei einem Erdbeben

Störfall	Aktivität des RDB-OH [Bq]	Freisetzung in die Atmosphäre [Bq]	Freisetzung in die Umgebung (Quellterm) [Bq]
Erdbeben	5,60 E14	1,49 E09	1,49 E09

Der für die Berechnung der Folgedosis ermittelte, nuklidspezifische Quellterm ist in Tabelle B-4 dargestellt.

Tabelle B-4: Nuklidspezifische Ermittlung des Quellterms bei einem Erdbeben

Nuklide	Aktivität des RDB-OH [Bq]		Freisetzung [Bq]		Freisetzung in die Umgebung (Quellterm) [Bq]
	Aktivierung	Kontamination	Aktivierung	Kontamination	
H-3	1,37 E10	-	1,37 E03	-	1,37 E03
C-14	1,00 E12	-	1,00 E05	-	1,00 E05
Mn-54	2,89 E01	-	2,89 E-06	-	2,89 E-06
Fe-55	1,29 E12	-	1,29 E05	-	1,29 E05
Co-60	3,41 E13	2,21 E10	3,41 E06	2,21 E08	2,25 E08
Ni-59	5,01 E12	-	5,01 E05	-	5,01 E05
Ni-63	5,16 E14	-	5,16 E07	-	5,16 E07
Zn-65	1,77 E06	-	1,77 E-01	-	1,77 E-01
Nb-93m	1,78 E12	-	1,78 E05	-	1,78 E05
Nb-94	7,12 E11	-	7,12 E04	-	7,12 E04
Mo-93	1,53 E06	-	1,53 E-01	-	1,53 E-01
Tc-99	1,97 E05	-	1,97 E-02	-	1,97 E-02
Cs-137	-	1,21 E11	-	1,21 E09	1,21 E09
Summe:	5,60 E14	1,43 E11	5,60 E07	1,43 E09	1,49 E09

Das vor Ort tätige Personal inhaliert bei der Flucht aus dem Gefahrenbereich bei einem Erdbeben ca. 3,1 E04 Bq der radioaktiven Aerosole. Dabei wird die Verteilung der Aerosole in einem Volumen von ca. 1.100 m³ (entspricht Volumen Betonschacht und Zerlegehalle) angenommen. Die resultierende Folgedosis beträgt ca. 1,1 mSv.

B.5.8 Flugzeugabsturz

In einem Umkreis von ca. 50 km um den Standort HZG 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.

Die Wahrscheinlichkeit eines Flugzeugabsturzes auf das Standort-Zwischenlagers des Kernkraftwerks Krümmel (SZK) wird mit ca. $1,0 \text{ E-}06 /16/$ 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. 1 km aufweisen.

Trotz des sehr unwahrscheinlichen Falles eines Flugzeugabsturzes auf die Zerlegehalle wurde dieser untersucht. Da es sich um einen auslegungsüberschreitenden Störfall handelt, wird dieser nach den Vorgaben und Maßstäben der „Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen“ /6/ betrachtet. Als Grundlage für den Freisetzungsquellterm wird das Gesamtaktivitätsinventar des RDB-OH /23/ herangezogen.

Für die Abschätzung der Freisetzung durch einen Flugzeugabsturz wird unterstellt, dass die Zerlegehalle von dem Flugzeug bzw. von den Flugzeugtrümmern getroffen wird. In Anlehnung an Betrachtungen zum Ablauf des Reaktorunfalls von Tschernobyl /17/ wird angenommen, dass die gesamte Tritium- und C-14-Aktivität, Cs-137 mit 33 % sowie 4 % der übrigen vorhandenen Radionuklide freigesetzt werden. Damit sind sowohl die mechanischen Einwirkungen auf die Gebäude und die darin vorhandenen radioaktiven Stoffe als auch die durch den entstandenen Brand verursachten thermischen Einwirkungen auf die radioaktiven Stoffe in der Zerlegehalle berücksichtigt.

Man erhält bei dem beschriebenen Szenario somit einen Quellterm von ca. $2,3 \text{ E}13 \text{ Bq}$. Die Ermittlung des Quellterms ist zusammenfassend in Tabelle B-5 angegeben.

Tabelle B-5: Ermittlung des Quellterms bei einem Flugzeugabsturz Zerlegehalle

Störfall	Aktivität des RDB-OH [Bq]	Freisetzung in die Atmosphäre [Bq]	Freisetzung in die Umgebung (Quellterm) [Bq]
Flugzeugabsturz	5,60 E14	2,34 E13	2,34 E13

Der für die Berechnung der Folgedosis ermittelte, nuklidspezifische Quellterm ist in Tabelle B-6 dargestellt.

Tabelle B-6: Nuklidspezifische Ermittlung des Quellterms bei einem Flugzeugabsturz

Nuklide	Aktivität des RDB-OH [Bq]		Freisetzung [Bq]		Freisetzung in die Umgebung (Quellterm) [Bq]
	Aktivierung	Kontamination	Aktivierung	Kontamination	
H-3	1,37 E10	-	1,37 E10	-	1,37 E10
C-14	1,00 E12	-	1,00 E12	-	1,00 E12
Mn-54	2,89 E01	-	1,16 E00	-	1,16 E00
Fe-55	1,29 E12	-	5,14 E10	-	5,14 E10
Co-60	3,41 E13	2,21 E10	1,36 E12	8,84 E08	1,37 E12
Ni-59	5,01 E12	-	2,00 E11	-	2,00 E11
Ni-63	5,16 E14	-	2,06 E13	-	2,06 E13
Zn-65	1,77 E06	-	7,10 E04	-	7,10 E04
Nb-93m	1,78 E12	-	7,12 E10	-	7,12 E10
Nb-94	7,12 E11	-	2,85 E10	-	2,85 E10
Mo-93	1,53 E06	-	6,11 E04	-	6,11 E04
Tc-99	1,97 E05	-	7,89 E03	-	7,89 E03
Cs-137	-	1,21 E11	-	4,00 E10	4,00 E10
Summe:	5,60 E14	1,43 E11	2,34 E13	4,09 E10	2,34 E13

B.6 Betrachtung des abdeckenden Störfalls

B.6.1 Auswahl des Störfalls für die Ausbreitungsrechnung

In Tabelle B-7 sind die Quellterme zur Auswahl des abdeckenden Störfalls für die Ausbreitungsrechnung aufgelistet.

Tabelle B-7: Auswahl des abdeckenden Störfalls für die Ausbreitungsrechnung

Störfall	Freisetzung in die Umgebung (Quellterm) [Bq]	Auswahl
Brand eines 200-l-Fasses mit Putzlappen	3,35 E03	
Absturz des Dampferzeugers	1,10 E03	
Erdbeben	1,49 E09	X

Im Folgenden wird aufgrund des höchsten ermittelten Quellterms der Störfall Erdbeben näher betrachtet.

Darüber hinaus wird auch der auslegungsüberschreitende Störfall Flugzeugabsturz näher betrachtet.

B.6.2 Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung infolge des abdeckenden Störfalls Erdbeben

Auf Basis des ermittelten Quellterms für den Störfall Erdbeben und des in Tabelle B-4 angegebenen Nuklidgemischs wurde eine Ausbreitungsrechnung mit dem Programm STRESS 2007 /24/ durchgeführt. Hierbei wurden folgende Randbedingungen zugrunde gelegt:

- Freisetzungshöhe: 0 m
- Zeitintervall der Freisetzung: 8,0 h
- Minimale Entfernung zum Anlagenzaun: 10 m
- Diffusionskategorie: E

Die Nuklide Mn-54, Zn-65, Mo-93 und Tc-99 wurden bei der Berechnung der Folgedosis aufgrund des jeweils äußerst geringen Aktivitätsanteils nicht berücksichtigt.

Da das Programm STRESS 2007 nicht die Möglichkeit bietet, Nb-93m als freigesetztes Nuklid auszuwählen, wurde der Aktivitätswert des Nb-93m in der Berechnung als Nb-94-Freisetzung berücksichtigt. Die für die Folgedosisberechnung relevanten Dosiskoeffizienten /13/ bei Gamma-Bodenstrahlung für Einzelpersonen der Bevölkerung von Nb-94 sind dabei um einen Faktor 1 000 größer als die von Nb-93m und somit konservativ abdeckend.

Bei diesen Bedingungen ergibt sich für die ungünstigste Referenzperson „Kind 2 – 7 Jahre“ eine effektive Dosis von ca. 3,4 mSv.

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

B.6.3 Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung infolge des auslegungsüberschreitenden Störfalls Flugzeugabsturz

Auf Basis des ermittelten Quellterms für den auslegungsüberschreitenden Störfall Flugzeugabsturz und des in Tabelle B-6 angegebenen Nuklidgemischs wurde eine Ausbreitungsrechnung mit dem Programm SAFER 2 /18/ durchgeführt. Hierbei wurden folgende Randbedingungen zugrunde gelegt:

- Freisetzungshöhe: 50 m
- Zeitintervall der Freisetzung: 1,0 h
- Diffusionskategorie: F

Die Nuklide Mn-54, Zn-65, Mo-93 und Tc-99 wurden bei der Berechnung der Folgedosis aufgrund des jeweils äußerst geringen Aktivitätsanteils nicht berücksichtigt.

Da das Programm SAFER 2 nicht die Möglichkeit bietet, Ni-59 als freigesetztes Nuklid auszuwählen, wurde der Aktivitätswert des Ni-59 in der Berechnung als Ni-63-Freisetzung berücksichtigt. Die für die Folgedosisberechnung relevanten Dosiskoeffizienten /13/ bei Inhalation für Einzelpersonen der Bevölkerung von Ni-59 und Ni-63 liegen in derselben Größenordnung. Auch das Nuklid Nb-93m kann in SAFER 2 nicht ausgewählt werden. Die Aktivität

wurde deshalb in der Berechnung als Nb-94-Freisetzung berücksichtigt. Die für die Folgedosisberechnung relevanten Dosiskoeffizienten /13/ bei Inhalation für Einzelpersonen der Bevölkerung von Nb-94 sind dabei um einen Faktor 10 bis 100 größer als die von Nb-93m und somit konservativ abdeckend.

Bei diesen Bedingungen ergibt sich für die ungünstigste Referenzperson „Erwachsener >17 Jahre“ eine effektive Dosis von ca. 7,2 mSv.

Die Dokumentation der Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung befindet sich in Anlage B-2.

B.6.4 Vergleich der ermittelten Dosiswerte mit den Grenzwerten der StrlSchV bzw. mit den Eingreifrichtwerten gemäß Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz

Die Begrenzung der Strahlenexposition als Folge von Störfällen bei sonstigen Anlagen und Einrichtungen und bei Stilllegungen regelt § 50 Abs. 1 in Verbindung mit Abs. 2 StrlSchV /2/. Demnach sind bei der Stilllegung von Anlagen Schutzmaßnahmen zu treffen, so dass im Falle einer möglichen Störung mit Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung ein festgelegter Wert für die Strahlenexposition in der Umgebung nicht überschritten wird. Dieser Wert ist in der Übergangsvorschrift gemäß § 117 Abs. 16 StrlSchV /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 Strahlenexposition als Folge von Störfällen bei der Stilllegung maximal 7 % der gemäß StrlSchV /2/ zulässigen Strahlenexposition beträgt.

Gemäß den Vorgaben der Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz /19/ wird für sehr seltene und auslegungsüberschreitende Ereignisse bei einer zu erwartenden effektiven Dosis von 10 mSv durch äußere Exposition in sieben Tagen und durch die effektive Folgedosis durch in diesem Zeitraum inhalierte Radionuklide als Maßnahme „Aufenthalt in Gebäuden“ und bei einer zu erwartenden effektiven Dosis von 100 mSv „Evakuierung“ empfohlen.

Die entsprechend der Störfallanalyse zu erwartende effektive Dosis für die ungünstigste Referenzperson durch einen auslegungsüberschreitenden Flugzeugabsturz ist deutlich kleiner als die des Eingreifrichtwerts für die Maßnahmen „Aufenthalt in Gebäuden“ und „Evakuierung“. Es sind somit für die Umgebung der Zerleghalle mit dem RDB-OH keine einschneidenden Maßnahmen des Katastrophenschutzes erforderlich.

Entwurf

Anlage B-1: RDB-OH – Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung infolge eines Erdbebens

S T R E S S 2007 (Version 4.0.2)

05.09.2016 12:05:31

2016-09-05 Freisetzung RDB-OH Erdbeben

Angaben zur Quelle

Anzahl Quellen : 1

Quelle 1 : Aktivität RDB-OH
kürzester Abstand zum Zaun : 10 m

Anzahl Freisetzungintervalle : 1

Intervall 1 00:00 - 08:00 h

Eingabedaten Aktivitätsfreisetzung

Quelle 1, Intervall 1

Summen der freigesetzten Aktivität

Edelgase : 1,01E+05 Bq
Jod : 0,00E+00 Bq
Aerosole : 1,49E+09 Bq
Summe : 1,49E+09 Bq

Einzelnuclide - Freisetzungen / Lungenretentionsklasse

H 3 (HTO) 1,37E+03 Bq / -
C 14 (Dioxid) 1,00E+05 Bq / -
Fe 55 1,29E+05 Bq / -
Co 60 2,25E+08 Bq / -
Ni 59 5,01E+05 Bq / -
Ni 63 5,16E+07 Bq / -
Nb 94 2,49E+05 Bq / -
Cs 137 1,21E+09 Bq / -

Größenspektrum der Aerosolpartikel (hinter Filter)

Quelle 1
unbekannt

Eingabedaten Freisetzungshöhe

Quelle 1

Höhe der Quelle : 0 m

2016-09-05 Freisetzung RDB-OH Erdbeben

kritisches Organ, effektiv
Referenzperson: Kind 2-7 a
Diff.-kat. 0-8h: E

Exposition	Dosis [Sv]	Entf. [m]
Inhalation	1,81E-05	100
Gamma-Submersion	5,66E-09	100
Gamma-Boden	2,73E-03	100
Ingestion		
Blattgemüse	1,14E-05	100
sonst. Pflanzen	2,98E-04	100
Milch	1,71E-04	100
Fleisch	2,16E-04	100
Summe Ingestion	6,96E-04	
Summe Exposition	3,44E-03	

Entwurf

Anlage B-2: RDB-OH – Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung infolge eines Flugzeugabsturzes

SAFER 2 (Version 2.5.2)

09.08.2016 08:28

2016-08-09 FLAB auf Zerlegehalle RDB-OH

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 : 1,01E+12 Bq
Jod : 0,00E+00 Bq
Aerosole : 2,24E+13 Bq
Summe : 2,34E+13 Bq

Einzelnuklide

H 3 (org) 1,37E+10 Bq
C 14 (org) 1,00E+12 Bq
Fe 55 5,14E+10 Bq
Co 60 1,37E+12 Bq
Ni 63 2,08E+13 Bq
Nb 94 9,96E+10 Bq
Cs 137 4,90E+10 Bq

Größenspektrum der Aerosolpartikel (hinter Filter)

Quelle 1

unbekannt

Eingabedaten Meteorologie

Quelle 1

Windrichtung : 240 Grad
Windgeschwindigkeit : 1 m/s
Messhöhe : 0 m
Niederschlagsrate : 0 mm/h
Diffusionskategorie : F sehr Stabil

Eingabedaten Freisetzungshöhe

Quelle 1

Bauhöhe : 0 m
effektive Freisetzungshöhe : 0 m

Angaben zur Quellhöhe

Bauhöhe : 0 m

2016-08-09 FLAB auf Zerlegehalle RDB-OH

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.	4,39E+00	200	3	6,48E+00	200	3
Inhalation, Schilddr.	0,00E+00	-	-	0,00E+00	-	-
γ-Boden, eff., (7d)	9,77E-01	200	3	6,51E-01	200	3
γ-Subm., eff.	6,17E-02	200	3	4,41E-02	200	3
externe Dosis, eff.	1,04E+00	200	3	6,96E-01	200	3
Summe Dosis, eff.	5,43E+00	200	3	7,18E+00	200	3

"-" bedeutet, dieser Wert wurde nicht berechnet
Inhalation Schilddrüse wird nur für Jodnuklide berechnet

C Entwurf: Störfallanalyse Transportbereitstellungshalle (TBH)

Entwurf

C.1 Einleitung

Die „neue“ Versuchshalle der Forschungsreaktoranlage Geesthacht (FRG) des Helmholtz-Zentrums Geesthacht Zentrum für Material- und Küstenforschung (HZG) ist als Transportbereitstellungshalle (TBH) für die Bereitstellung von leicht- und mittelradioaktiven Abfällen vorgesehen.

In der TBH sollen alle radioaktiven Abfälle, die beim Abbau der Forschungsreaktoranlage Geesthacht (FRG) und des Heißen Labors (HL) anfallen sowie noch vorhandene Betriebsabfälle so lange bereitgestellt werden, bis sie in ein Endlager des Bundes verbracht werden. In der TBH sollen ausschließlich konditionierte Abfälle sowie leere Abfallbehälter bereitgestellt werden. Weiter sollen in der TBH Abfallgebände zur Endlagerung in entsprechende Abfallbehälter verpackt und gegebenenfalls zementiert werden.

Gemäß § 50 Abs. 1 in Verbindung mit Abs. 2 StrlSchV /2/ sind bei der Planung bauliche oder technische Schutzmaßnahmen unter Berücksichtigung des potenziellen Schadensausmaßes zu treffen, um die Strahlenexposition bei Störfällen während des Betriebs 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 § 117 Abs. 16 StrlSchV bei der Planung die Störfallexposition so zu begrenzen, dass die durch die Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung verursachte effektive Dosis von 50 mSv (Störfallplanungs Wert) nicht überschritten wird.

C.1.1 Gefährdungspotential

Die für den Betrieb einer TBH zu treffenden Vorsorgemaßnahmen richten sich nach dem in der Anlage vorhandenen Gefährdungspotenzial und der Wahrscheinlichkeit des Eintritts eines Störfalles.

Das Gefährdungspotenzial ist auch bei Erreichen des maximalen Aktivitätsinventars als gering gegenüber z. B. Anlagen zur Kernspaltung einzuschätzen. Bei den zu unterstellenden Ereignissen fehlen weitgehend das Energiepotenzial zur Freisetzung radioaktiver Stoffe sowie ein hohes Aktivitätsinventar. Das Gefährdungspotenzial resultiert im Wesentlichen aus dem nicht fest gebundenen Aktivitätsinventar (Kontamination), das bei Störfällen, z. B. Lastabsturz von Abfallgebänden, anteilig in die Umgebung freigesetzt werden kann.

Die Abschätzung des Gesamtaktivitätsinventars der in der TBH bereitzustellenden radioaktiven Abfälle ergibt einen Wert von ca. $5 \cdot 10^{15}$ Bq /3/. Das Aktivitätsinventar ist zu fast 100 % fest in den aktivierten Anlagenstrukturen der Reaktorbeckeneinbauten und der Reaktorbecken der FRG eingebunden und somit nicht unmittelbar freisetzbar. Deutlich weniger als 1 ‰ des Gesamtaktivitätsinventars liegt als Kontamination vor.

Entwurf

C.2 Aktivitätsinventare und Behältertypen in der TBH

In der TBH sollen die radioaktiven Abfälle, die beim Abbau der FRG und des HL anfallen sowie noch vorhandene Betriebsabfälle so lange bereitgestellt werden, bis sie in ein Endlager des Bundes abtransportiert werden. Im Folgenden wird als Grundlage der Störfallberechnung das Aktivitätsinventar abgeschätzt bzw. zusammengefasst, sowie die Abfälle den entsprechenden Abfallbehältertypen zugeordnet.

Für die Bestimmung des Aktivitätsinventars in der TBH wird angenommen, dass alle bereitgestellten Abfallgebinde sich bereits in der TBH befinden.

C.2.1 Aktivitätsinventare und nuklidspezifische Zusammensetzungen

Aus der Betriebshistorie der FRG und des HL heraus ergibt sich eine Differenzierung der Abfälle in Abbauabfälle und Betriebsabfälle.

C.2.1.1 Abbauabfälle

Aus dem Abbau der FRG und des HL fallen radioaktive Abbauabfälle entsprechend den nachfolgend aufgeführten Materialarten an /3/:

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

Die nuklidspezifischen Zusammensetzungen (auf Basis von Aktivierung) der genannten Materialarten sind in der Tabelle C-1 zusammengestellt. Das abgeschätzte Gesamtaktivitätsinventar der FRG und des HL beträgt ca. $1,5 \cdot 10^{15}$ Bq.

Tabelle C-1: Ermittelte Nuklidverteilungen und Aktivität (Aktivierung) der radioaktiven Abfälle /3/, Bezug zum 1.1.2014

Nuklid	Material					
	Normalbeton	Barytbeton	ferritscher Stahl	Aluminium	Edelstahl	Be-Metallblockreflektor
H-3	2,0 E11	1,3 E10				1,5 E15
C-14	1,3 E09	9,7 E07				1,2 E12
Mn-54		1,7 E08	1,1 E08			
Fe-55	6,1 E10	2,0 E10	8,5 E10			
Co-60	2,7 E09	1,7 E09	7,1 E09	1,3 E10	2,8 E13	1,5 E13
Ni-63			1,1 E08			
Ag-108m				2,7 E07		
Cs-134		2,1 E08				
Cs-137				9,4 E07		
Ba-133		1,9 E10				
Eu-152	8,4 E09	1,4 E09		1,2 E08		
Eu-154	7,4 E08	7,3 E07		1,2 E08		
Summe	2,8 E11	5,6 E10	9,2 E10	1,3 E10	2,8 E13	1,5 E15

Für die sonstigen kontaminierten Abfälle wurde eine, über die verschiedenen nuklidspezifischen Lüftungs- und Abwasserverteilungen (auf Basis von Kontamination) der FRG und des HL, gemittelte und normierte Nuklidzusammensetzung angesetzt. Hinsichtlich der darauf aufbauenden Berechnungen führt diese Vorgehensweise mit einer mittleren Nuklidzusammensetzung (ca. 50 % Co-60, 41 % Cs-137) gegenüber den einzelnen Verteilungen zu einem konservativ abdeckenden Ergebnis. Die Gesamtaktivität für die sonstigen kontaminierten Abfälle wurde mit ca. 5,4 E08 Bq abgeschätzt.

C.2.1.2 Betriebliche radioaktive Abfälle

Als radioaktive Betriebsabfälle sind im Wesentlichen die nachfolgend genannten Materialarten zu betrachten /3/:

- Be-Metallreflektoren,
- Mischabfall (brennbar, metallisch & Aluminium) in den Betonzellen 2 bis 4,

- Präparat (Tristan PA1, umschlossen),
- Cs-137 Präparat,
- γ -Absorberschilder (4 Stück) und
- Bestrahlungseinrichtungen (8 Stück) Z1 – Z8
- Sonstige Betriebsabfälle in Becken IV.

Die nuklidspezifischen Zusammensetzungen der Betriebsabfälle sind in der Tabelle C-2 zusammengestellt. Das Gesamtaktivitätsinventar der radioaktiven Betriebsabfälle beträgt ca. $3,3 \text{ E}15 \text{ Bq}$.

Tabelle C-2: Ermittelte nuklidspezifische Aktivität der radioaktiven Betriebsabfälle im Becken IV und Betonzellen 2 – 4 /3/, Bezug zum 1.1.2014

Nuklid	Material						
	Präparat Tristan	Cs-Präparat	Mischabfall	γ -Absorber	Bestrahlungseinrichtungen	Sonstige Betriebsabfälle in Becken IV	Be-Metallreflektorelemente
H-3							$2,5 \text{ E}15$
C-14							$1,8 \text{ E}12$
Co-60			$3,6 \text{ E}13$	$1,0 \text{ E}13$	$4,0 \text{ E}13$	$9,6 \text{ E}12$	$2,4 \text{ E}13$
Sr-90	$7,0 \text{ E}14$						
Cs-137		$2,3 \text{ E}12$			$4,0 \text{ E}13$		
Summe	$7,0 \text{ E}14$	$2,3 \text{ E}12$	$3,6 \text{ E}13$	$1,0 \text{ E}13$	$8,0 \text{ E}13$	$9,6 \text{ E}12$	$2,5 \text{ E}15$

C.2.1.3 Rückzuholende radioaktive Abfälle

Aus dem Betrieb der FRG und des HL entstandene radioaktive Materialien und Reststoffe sind zum Teil extern in Karlsruhe (bei der WAK) und in Jülich (JEN) konditioniert worden. Die konditionierten radioaktiven Abfälle sollen nach Abschluss der Konditionierung zurückgeholt und in der TBH bereitgestellt werden, bis sie in ein Endlager des Bundes verbracht werden.

Ebenso befinden sich in der Bereitstellungshalle (BSH) am Standort weitere Abfallgebinde aus dem Forschungsbetrieb der FRG und des HL. Diese sollen zukünftig ebenfalls in der TBH bereitgestellt werden.

Das nuklidspezifische Aktivitätsinventar ist in Tabelle C-3 zusammengefasst.

Tabelle C-3: Ermittelte nuklidspezifische Aktivität der radioaktiven Abfälle bei der WAK, JEN und in der BSH, Bezug zum 31.12.2015

Nuklid	Aktivitätsinventar der Abfälle in Bq		
	aus der WAK	aus der JEN	aus der BSH
H-3	2,9 E07	1,5 E07	1,4 E10
C-14	1,3 E07	1,6 E08	3,6 E10
Mn-54	2,6 E05	1,5 E03	7,8 E04
Fe-55	3,4 E08	9,3 E07	3,7 E08
Co-60	1,4 E09	3,8 E08	2,1 E09
Ni-59	3,7 E06	5,2 E06	4,5 E07
Ni-63	6,1 E08	4,8 E08	4,3 E09
Zn-65	5,1 E05	–	9,0 E05
Sr-90	1,6 E08	3,8 E09	1,4 E11
Nb-94	3,4 E06	3,1 E06	2,9 E07
Mo-93	1,5 E03	8,7 E04	3,4 E05
Tc-99	2,0 E07	1,4 E07	6,7 E07
Ag-108m	2,3 E05	1,7 E06	1,8 E08
Cs-134	2,0 E08	2,8 E06	5,8 E07
Cs-137	7,1 E09	1,1 E09	2,3 E10
Ba-133	2,7 E01	8,1 E01	3,6 E07
Eu-152	9,5 E07	2,6 E04	2,9 E07
Eu-154	2,6 E07	3,1 E06	9,8 E07
Pu-241	9,0 E06	5,3 E08	1,9 E09
Am-241 bzw. Gesamt- α	4,0 E07	5,8 E08	1,5 E09
Summe	1,0 E10	7,2 E09	2,2 E11

C.2.1.4 Gesamtaktivität der radioaktiven Abfälle

Die Gesamtaktivität ergibt sich aus der Summe der Aktivitätsinventare und beträgt ca. 5 E15 Bq, siehe Tabelle C-4.

Tabelle C-4: Aktivitätsinventare und Gesamtinventar, Bezug zum 1.1.2014

Abfall	Aktivitätsinventar in Bq
Ferritischer Stahl	9,2 E10
Normal-beton	2,8 E11
Barytbeton	5,6 E10
Aluminium	1,3 E10
Edelstahl	2,8 E13
Be-Metallblockreflektor	1,5 E15
Präparat Tristan	7,0 E14
Cs-Präparat	2,3 E12
Mischabfall	3,6 E13
γ -Absorber	1,0 E13
Bestrahlungseinrichtungen	8,0 E13
Sonstige Betriebsabfälle in Becken IV	9,6 E12
Be-Metallreflektorelemente	2,5 E15
Rückholung WAK*	1,0 E10
Rückholung JEN*	7,2 E09
Rückholung BSH*	2,2 E11
Summe	4,9 E15

* Bezug zum 31.12.2005

C.2.2 Abfallbehälter

Die schwach- und mittelaktiven Abfälle werden in Form von Abfallgebinden /25/ verpackt und in der TBH bereitgestellt. Die Herstellung der Abfallgebinde erfolgt in der Regel außerhalb der TBH. Dazu werden die konditionierten Abfälle je nach Typ (Metalle, Beton, etc.) und Höhe der Radioaktivität bzw. Dosisleistung in die entsprechenden Abfallbehälter verpackt, gegebenenfalls fixiert und dann dicht verschlossen.

Geeignete Abfallbehälter und deren Abmessungen sind in Tabelle C-5 zusammengefasst.

Tabelle C-5: Technische Daten der Behältertypen

Außenabmessungen						
Nr.	Bezeichnung	Länge/Ø mm	Breite mm	Höhe mm	Brutto- volumen m ³	Stapelbar in TBH
1	200-l-Fass	ca. 625Ø	–	ca. 900	0,3	2-fach
2	400-l-Fass	ca. 775Ø	–	ca. 1100	0,5	2-fach
3	280-l-Fass	ca. 775Ø	–	Länge 950	0,35	2-fach
4	600-l-Fass	ca. 870Ø	–	1200	0,75	2-fach
5	Container Typ I	1600	1700	1450	3,9	2-fach
6	Container Typ II	1600	1700	1700	4,6	2-fach
7	Container Typ III	3000	1700	1700	8,7	2-fach
8	Container Typ IV	3000	1700	1450	7,4	2-fach
9	Betonbehälter Typ I	1060Ø	–	1370	1,2	2-fach
10	Betonbehälter Typ II	1060Ø	–	1510	1,3	2-fach
11	Gussbehälter Typ I	900Ø	–	1150	0,7	2-fach
12	Gussbehälter Typ II	1060Ø	–	1500	1,3	2-fach

C.2.3 Zuordnung der radioaktiven Abfallprodukte zu den Behältertypen

Die beschriebenen Abfallarten werden aufgrund ihrer Eigenschaften, ihres Aktivitätsinventars bzw. ihrer Dosisleistung in unterschiedliche Typen von Abfallbehältern verpackt. Für die Störfallbetrachtung wird dabei die Einteilung in zwei Typen angenommen:

- Gussbehälter und
- andere Behälter.

In der folgenden Tabelle C-6 sind die Abfallprodukte den entsprechenden Behältertypen zugeordnet.

Tabelle C-6: Zuordnung der Abfalltypen zu den Behältertypen

Abfalltyp	Gussbehälter	Andere Behälter
Ferritischer Stahl		■
Normalbeton		■
Barytbeton		■
Aluminium		■
Edelstahl	■	
Be-Metallblockreflektor	■	
Präparat Tristan	■	
Cs-Präparat	■	
Mischabfall	■	
γ -Absorber	■	
Bestrahlungseinrichtungen	■	
Sonstige Betriebsabfälle in Becken IV	■	
Be-Metallreflektorelemente	■	
Rückholung WAK		■
Rückholung JEN		■
Rückholung BSH		■

C.3 Vorgehensweise

Im Rahmen dieser Störfallanalyse werden die Störfälle (Ereignisse) ermittelt, die während des Betriebs einer TBH 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 den Betrieb einer TBH anzuwenden und näher zu betrachten sind. Für die radiologisch relevanten Ereignisse wird die mögliche Freisetzung von Radioaktivität in die Umgebung (Quellterm) ermittelt. Die Berechnung der Folgedosis in der Umgebung wird unter Anwendung der Störfallberechnungsgrundlagen /5/ 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 TBH betrachtet. Die Folgen eines Flugzeugabsturzes werden als abdeckendes Ereignis entsprechend den Vorgaben der „Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen“ /6/ betrachtet und bewertet.

C.3.1 Überblick über Störfallmöglichkeiten mit nicht geplanten Freisetzungen radioaktiver Stoffe

Für den Betrieb einer TBH ergeben sich die folgenden zu betrachtenden Ereignisse:

- Einwirkungen von innen (EVI):
 - Brand,
 - Lastabsturz,
 - Leckage,
 - Ausfall von Versorgungseinrichtungen.

- Einwirkungen von außen (EVA):
 - Hochwasser / Überflutung, Starkregen,
 - Sturm, Eis und Schnee,
 - Blitzschlag,
 - Eindringen von Gasen,
 - Druckwellen aufgrund chemischer Reaktionen,
 - Äußerer Brände,
 - Erdbeben,
 - Flugzeugabsturz (auslegungsüberschreitend).

Andere Störfallmöglichkeiten können aufgrund des Fehlens von wärmeentwickelnden radioaktiven Stoffen (Kernbrennstoff) und damit notwendigen Kühlsystemen ausgeschlossen werden.

C.3.2 Randbedingungen und Annahmen

Für die Störfallbetrachtung werden die in Kapitel C.2.1 dargestellten Aktivitätsinventare verwendet. Der Einfluss durch den zwischenzeitlichen radioaktiven Zerfall der verschiedenen Abfälle wird konservativ nicht berücksichtigt.

Für die Abschätzung der Folgedosis des Personals bei einer Freisetzung von radioaktiven Stoffen in der Raumluft werden die folgenden Parameter angenommen:

- Freisetzung der radioaktiven Stoffe in ein Luftvolumen (Verdünnung): 100 m³
- Atemrate: 3,8 E-4 m³/s /5/
- Inhalationszeit: 1 min

Grundlage für die Ermittlung der Dosis sind die in /13/ 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 verwendet.

Die Ausbreitung und Dosisrechnung wurde mit dem Programm STRESS 2007 /24/ durchgeführt. Da das Programm nur für eine Auswahl von Nukliden die Berechnung der Dosis zur Verfügung stellt, wurden die Aktivitätswerte von nicht verfügbaren Nukliden (z. B. Ba-133)

entsprechend der chemischen und radiologischen Eigenschaften verfügbaren Nukliden zugeschlagen (z. B. Cs-137). Dabei wurde darauf geachtet, dass der Dosisbeitrag aufgrund des unterschiedlichen Dosiskoeffizienten und des Zerfalls nicht unterschätzt wurde.

Entwurf

C.4 Störfälle durch Einwirkung von innen

C.4.1 Brand

Brandverhinderung, Branderkennung und Brandbekämpfung in der TBH sind durch die getroffenen Brandschutzmaßnahmen gewährleistet. Entstehungsbrände werden sofort mittels Rauchmeldern detektiert und umgehend bekämpft. Aufgrund dieser Brandschutzmaßnahmen und der Gegebenheiten vor Ort kann die Entstehung und die Ausbreitung eines Brandes als äußerst unwahrscheinlich angesehen werden. Ordnungsgemäß verschlossene Abfallgebände stellen keine Brandlast dar. Dadurch beschränkt sich das Brandpotenzial auf die im Gebäude verlegten Kabel, Lüftungsmotoren, Kranmotoren und ggf. Kompressoren.

Durch das umgehende Eingreifen des Personals bei einem Brand kann eine thermische Einwirkung auf die Abfallgebände durch einen Brand und somit eine mögliche Strahlenexposition aus diesen Gebänden ausgeschlossen werden.

Für die Transportvorgänge kommen in der TBH ausschließlich elektrisch oder von Hand betriebene Fahrzeuge wie z. B. Hubwagen und Schlepper zum Einsatz. Damit sind keine relevanten Mengen brennbarer Flüssigkeiten (Kraftstoff) in der TBH vorhanden, die ein Stützfeuer mit thermischer Einwirkung auf die Abfallgebände verursachen könnten. Der Brand in der TBH durch ein Stützfeuer muss demnach nicht unterstellt werden.

C.4.2 Lastabsturz

Für den Transport von Abfallgebänden werden geeignete Transportmittel eingesetzt. In der TBH steht ein Kran zur Verfügung, der regelmäßig entsprechend den anzuwendenden Vorschriften geprüft und gewartet wird. Für die Bedienung des Krans 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 werden kann. Somit sind die Auswirkungen potenzieller Lastabstürze wirksam zu begrenzen.

Die Stapelung von Abfallgebinden in der TBH ist bis zu zwei Lagen von 200-l-Fässern und bis zu zwei Lagen von Konrad-Container Typ III bzw. IV vorgesehen. Daher muss in der Störfallanalyse für Lastabsturz eine Fallhöhe > 1 m angenommen werden. Es ist davon auszugehen, dass der Behälter durch den Absturz beschädigt wird.

Die Grundlage für die Bestimmung des Freisetzunganteils bei einem Lastabsturz bildet die Transportstudie Konrad /12/. Bei einem Absturz eines Abfallgebindes mit einer Fallhöhe > 1 m wird die Undichtigkeit (Freisetzungsrate) des Gebindes nach /12/ unterstellt (mit Ausnahme der Gussbehälter, siehe Tabelle C-5). Die Bestimmung des Freisetzunganteils erfolgt entsprechend Aufprallgeschwindigkeit und Behälterinhalt.

Grundsätzlich werden alle Handhabungsvorgänge mit Abfallgebinden in der TBH nur bei geschlossenen Hallentoren vorgenommen.

C.4.2.1 Absturz eines 200-l-Fassgebindes

Für den Absturz eines 200-l-Fassgebindes in der TBH wird eine Absturzhöhe von ca. 5 m angenommen. Diese Fallhöhe entspricht nach /12/ der Belastungsklasse BK 1 (Aufprallgeschwindigkeit ≤ 35 km/h, ohne Brand).

Das abstürzende Abfallgebinde wäre gemäß /12/ in die Abfallgebindergruppe AGG 2 „unfixierte und nicht kompaktierbare metallische und nichtmetallische Abfälle (einschließlich Verdampferkonzentrate) in Stahlblechcontainern oder Betonbehältern“ einzustufen. Damit ergibt sich gemäß /12/ Tabelle 8.2 ein Freisetzunganteil von $5,0 \text{ E-}06$ für lungengängige Partikel und von $1,0 \text{ E-}05$ für nichtlungengängige Partikel. Bei dieser Kombination von Belastungsklasse und Abfallgebindergruppe sind auch die Freisetzunganteile für H-3 und C-14 gemäß /12/, Tabelle 8.3 gleich der der sonstigen Nuklide anzusetzen.

Beim Absturz von Fassgebinden, die mit aktivierten Metallen (Eisen, Armierungsstahl oder Aluminium) befüllt sind, werden aufgrund der Verformbarkeit der Metalle nur geringe Mengen an radioaktiven Stoffen (durch Kontamination) freigesetzt. Die Radioaktivität ist zum überwiegenden Teil fest in der Struktur der Metalle eingebunden.

Das höchste Potential zur Bildung von Stäuben und Aerosolen hat der aktivierte Betonschutt aus dem Abbau des Beckens des FRG-1. Dieser Betonschutt (Normal- und Barytbeton) ist entsprechend spröde und kann durch mechanische Einwirkungen (Abbau und Absturz)

radioaktive Partikel und Stube in die Atmosphère freisetzen. Daher ist der Lastabsturz eines mit Normal- oder Barytbeton befüllten 200-l-Fasses abdeckend.

Die maximale Nettomasse des Fassgebundes mit aktiviertem Normalbeton wird mit 250 kg angenommen. Die maximale spezifische Aktivität des aktivierten Normalbetons beträgt ca. $5,6 \text{ E}04 \text{ Bq/g}$ /3/ (Tabelle 4-2, AP1; Bezug 1.1.2014). Daraus ergibt sich eine maximale Aktivität in einem 200-l-Fass mit Normalbeton von ca. $1,4 \text{ E}10 \text{ Bq}$.

Die maximale Nettomasse des Fassgebundes mit aktiviertem Barytbeton wird mit 360 kg angenommen. Die maximale spezifische Aktivität des aktivierten Barytbetons beträgt ca. $1,8 \text{ E}04 \text{ Bq/g}$ /3/ (Tabelle 4-2, AP3; Bezug 1.1.2014). Daraus ergibt sich eine maximale Aktivität in einem 200-l-Fass mit Barytbeton von ca. $6,4 \text{ E}09 \text{ Bq}$.

Entsprechend der Transportstudie /12/ wird ein kumulativer Freisetzunganteil von $1,5 \text{ E}-05$ unterstellt. Eine Ablagerung an inneren Gebauedstrukturen sowie eine Rückhaltung durch eine Fortluftfilterung wird konservativ nicht berücksichtigt.

Tabelle C-7: Quellterm Absturz 200-l-Fassgebunde mit Normalbeton und Barytbeton

Nuklid	Spezifische Aktivität (Bq/g)		Aktivitätsinventar 200-l-Fassgebunde (Bq)		Freisetzung (Bq)	
	Normalbeton	Barytbeton	Normalbeton	Barytbeton	Normalbeton	Barytbeton
H-3	4,0 E04	4,2 E03	1,0 E10	1,5 E09	1,5 E05	2,2 E04
C-14	2,4 E02	3,5 E01	5,9 E07	1,3 E07	8,9 E02	1,9 E02
Mn-54	1,8 E01	5,5 E01	4,5 E06	2,0 E07	6,8 E01	3,0 E02
Fe-55	1,3 E04	6,4 E03	3,4 E09	2,3 E09	5,1 E04	3,4 E04
Co-60	5,8 E02	5,5 E02	1,5 E08	2,0 E08	2,2 E03	3,0 E03
Ni-63		9,5 E00		3,4 E06		5,1 E01
Cs-134		7,7 E01		2,8 E07		4,2 E02
Cs-137						
Ba-133		6,1 E03		2,2 E09		3,3 E04
Eu-152	1,6 E03	3,3 E02	4,1 E08	1,2 E08	6,1 E03	1,8 E03
Eu-154	1,5 E02	2,6 E01	3,8 E07	9,5 E06	5,7 E02	1,4 E02
Summe	5,6 E04	1,8 E04	1,4 E10	6,4 E09	2,1 E05	9,5 E04

Auf der Basis der ermittelten Quellterme und der entsprechenden Nuklidgemische wurde eine Ausbreitungsrechnung durchgeführt. Hierbei wurden folgende Randbedingungen zugrunde gelegt:

- Emissionshöhe: 8 m
- Zeitintervall der Freisetzung: 1 h
- Minimale Entfernung zum Anlagenzaun: 25 m

Bei diesen Bedingungen ergibt sich für die ungünstigste Referenzperson „Kind 1 - 2 Jahre“ und die ungünstigste Diffusionskategorie („D“ für Normalbeton, „E“ für Barytbeton) für den Absturz eines 200-l-Fasses gefüllt mit:

- Normalbeton eine effektive Dosis ca. $2,3 \cdot 10^{-2} \mu\text{Sv}$ und
- Barytbeton eine effektive Dosis ca. $1,1 \cdot 10^{-1} \mu\text{Sv}$.

Beide Werte liegen Größenordnungen unterhalb des Störfallplanungswertes der StrlSchV (§ 117 Abs. 16) von 50 mSv.

Durch einen Absturz und die Beschädigung eines 200-l-Fassgebindes mit Normalbeton bzw. Barytbeton inhaliert das vor Ort tätige Personal bei der Flucht aus dem Gefahrenbereich ca. 48 Bq bzw. 22 Bq der radioaktiven Aerosole. Die daraus resultierende Folgedosis ist in beiden Fällen $< 1 \mu\text{Sv}$.

C.4.2.2 Absturz eines Konrad-Containers

Es wird der Absturz eines Abfallgebindes des Typs Konrad V unterstellt. Diese Auswahl erfolgt dabei aufgrund des größten Nutzvolumens der standardisierten Abfallbehälter für das Endlager Konrad zur abdeckenden Betrachtung. Nach der Transportstudie /12/ fällt der Absturz aus ca. 5 m Höhe in die Belastungskategorie BK 1 (Aufprallgeschwindigkeit $\leq 35 \text{ km/h}$, ohne Brand). Das abstürzende Abfallgebinde wird für die Bestimmung des Freisetzunganteils konservativ ebenfalls in die Abfallgebindergruppe AGG 2 eingestuft, vergleiche Kapitel C.4.2.1.

Das nutzbare Innenvolumen des Konrad-Containers Typ V wird mit ca. 10 m^3 abgeschätzt. Die Beladung mit Betonbruch des Abfallbehälters Konrad Typ V ist durch lose Schüttung vorgesehen. Für die Beladung des Behälters mit Normalbeton wurde eine Nettomasse von

ca. 13.000 kg und eine maximale Aktivität von 7,4 E11 Bq ermittelt. Für die Beladung des Behälters mit Barytbeton ergibt sich eine Nettomasse von ca. 18.000 kg und eine maximale Aktivität von 3,2 E11 Bq. Die weiteren Randbedingungen für die Freisetzung und die Folgedosisberechnung wurden analog Kapitel C.4.2.1 angesetzt. Die entsprechenden Quellterme sind in Tabelle C-8 dargestellt.

Tabelle C-8: Quellterm Absturz Abfallgebinde des Typs Konrad V

Nuklid	Spezifische Aktivität (Bq/g)		Aktivitätsinventar Konrad Container Typ V (Bq)		Freisetzung (Bq)	
	Normalbeton	Barytbeton	Normalbeton	Barytbeton	Normalbeton	Barytbeton
H-3	4,0 E04	4,2 E03	5,3 E11	7,5 E10	7,9 E06	1,1 E06
C-14	2,4 E02	3,5 E01	3,1 E09	6,4 E08	4,7 E04	9,6 E03
Mn-54	1,8 E01	5,5 E01	2,4 E08	9,9 E08	3,6 E03	1,5 E04
Fe-55	1,3 E04	6,4 E03	1,8 E11	1,1 E11	2,6 E06	1,7 E06
Co-60	5,8 E02	5,5 E02	7,6 E09	9,8 E09	1,1 E05	1,5 E05
Ni-63		9,5 E00		1,7 E08		2,6 E03
Cs-134		7,7 E01		1,4 E09		2,1 E04
Cs-137			3,2 E06		4,8 E01	
Ba-133		6,1 E03		1,1 E11		1,6 E06
Eu-152	1,6 E03	3,3 E02	2,1 E10	6,0 E09	3,2 E05	9,0 E04
Eu-154	1,5 E02	2,6 E01	2,0 E09	4,7 E08	3,0 E04	7,1 E03
Summe	5,6 E04	1,8 E04	7,4 E11	3,2 E11	1,1 E07	4,8 E06

Bei diesen Bedingungen ergibt sich für die ungünstigste Referenzperson „Kind 1 – 2 Jahre“ und die ungünstigste Diffusionskategorie („D“ für Normalbeton, „E“ für Barytbeton) für den Absturz eines Abfallgebundes Konrad Typ V gefüllt mit

- Normalbeton eine effektive Dosis von ca. 1,2 µSv und
- Barytbeton eine effektive Dosis von ca. 5,6 µSv.

Beide Werte liegen Größenordnungen unterhalb des Störfallplanungswertes der StrlSchV (§ 117 Abs. 16) von 50 mSv.

Durch einen Absturz und die Beschädigung eines Abfallbehälters Konrad Typ V mit Normalbeton bzw. Barytbeton inhaliert das vor Ort tätige Personal bei der Flucht aus dem Gefahrenbereich ca. 2,5 E03 Bq (Normalbeton) bzw. 1,1 E03 Bq (Barytbeton) der radioaktiven Aerosole. Die daraus resultierende Folgedosis beträgt für Normalbeton ca. 5 μ Sv und für Barytbeton ca. 6 μ Sv.

C.4.2.3 Absturz eines 20'-Containers

Die Hubhöhe für die Beladung eines Hubwagens oder Schleppers mit einem 20'-Container beträgt ca. 1 m. Somit muss der Lastabsturz eines 20'-Containers nicht berücksichtigt werden. Eine Strahlenexposition durch die Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Raumluft ist nicht zu unterstellen.

C.4.2.4 Absturz von Gussbehältern

Bei einem Absturz eines Gussbehältergebundes aus einer Höhe von ca. 5 m (Aufprallgeschwindigkeit < 35 km/h) muss nach /12/ nicht mit einer Freisetzung von lungengängigen und nichtlungengängigen radioaktiven Stoffen gerechnet werden.

C.4.3 Leckage

Es werden ausschließlich feste oder verfestigte Abfälle in verschlossenen Behältern in der TBH bereitgestellt. Eine Leckage kann daher nicht auftreten. Potentielle Undichtigkeiten der Behälter bei der Handhabung werden durch den Störfall Lastabsturz abgedeckt.

C.4.4 Ausfall von Versorgungseinrichtungen

Bei Ausfall der elektrischen Versorgung können sämtliche Systeme und Einrichtungen nicht weiterbetrieben werden. Dies betrifft auch den Zweiträgerbrückenkran und die Lüftungsanlage.

Eine Batteriepufferung bzw. Ersatzstromabsicherung ist für die Brandmeldeanlage, die Raumluftüberwachung und die Fluchtwegebeleuchtung vorgesehen.

Bei Ausfall der elektrischen Versorgung werden die Arbeiten eingestellt und das Personal verlässt den Kontrollbereich. Weitere erforderliche Strahlenschutzmaßnahmen werden veranlasst.

Der Ausfall der Energieversorgung bzw. des Krans oder der Lüftungsanlage führt zu keiner radioaktiven Freisetzung. Unzulässige Auswirkungen auf die Umgebung ergeben sich somit nicht.

Entwurf

C.5 Störfälle durch Einwirkung von außen

C.5.1 Hochwasser / Überflutung und Starkregen

Die TBH liegt auf einer Höhe von ca. 50 m ü. NN und damit deutlich oberhalb der Elbe. Die Position der TBH liegt deutlich über den Empfehlungen der RSK /20/ und der ESK /21/ für eine Gebäudepositionierung zur Zwischenlagerung von radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung. Eine Überflutung durch ein 10.000-jährliches Hochwasser ist somit ausgeschlossen.

Die Ableitung von Regenwasser der Dachentwässerung und der befestigten Flächen erfolgt über eine vorhandene Regenwasserleitung. Diese ist für die zu erwartenden Niederschlagsmengen ausgelegt.

Eine Überflutung der TBH aufgrund von Starkniederschlag ist daher nicht zu unterstellen.

C.5.2 Sturm, Eis und Schnee

Die Auslegung der TBH gegen Wind, Eis und Schnee erfolgte gemäß den geltenden einschlägigen Normen, die die Lastannahmen und Bemessungsvorschriften für Bauten enthalten.

Auswirkungen auf den Betrieb und radiologische Auswirkungen auf die Umgebung sind durch diese Ereignisse deshalb nicht zu besorgen.

C.5.3 Blitzschlag

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

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

C.5.4 Eindringen von Gasen

Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten ist mit dem Auftreten von signifikanten Mengen toxischer oder korrosiver Gase nicht zu rechnen. In der näheren Umgebung der Zerleghalle gibt es keine Einrichtungen, die als mögliche Quelle hierfür in Frage kommen. Das Ereignis ist daher als unwahrscheinlich anzusehen.

Sollten widererwarten Gase eindringen und mögliche Ereignisabläufe initiiert werden, können diese zu Störungen an Betriebssystemen oder zu Störungen durch menschliches Versagen (z. B. Lastabstürze) führen.

Allen Störungen gemeinsam ist jedoch, dass sie keine Auswirkungen haben, die durch die untersuchten Ereignisabläufe infolge Einwirkungen von innen nicht abgedeckt sind.

C.5.5 Druckwellen aufgrund chemischer Reaktionen

Im Umkreis des Standorts HZG befinden sich keine chemischen Betriebe, in denen mit explosionsgefährlichen Stoffen umgegangen wird, sowie keine Gas- und Ölleitungen. Bei einer unterstellten Explosion auf einem vorbeifahrenden Schiff auf der Elbe werden die Versagensfälle von Systemen und Komponenten durch das betrachtete Ereignis Erdbeben (siehe Kapitel C.5.7) abgedeckt.

C.5.6 Äußere Brände

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

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

C.5.7 Erdbeben

Der Standort HZG liegt in der norddeutschen Tiefebene. Die Gebietseinheit befindet sich gemäß der DIN EN 1998-1/NA:2011-01 /22/ in keiner Erdbebenzone, vergleiche Abbildung C.5-1. Gebiete mit der Erdbebenzone 0 sind in etwa 300 km Entfernung vorzufinden. Eine Gefährdung durch Bodenbewegungen, insbesondere durch Erdbeben, ist nicht zu erwarten.

Dadurch ergeben sich keine zusätzlichen Anforderungen an die Standfestigkeit der TBH.

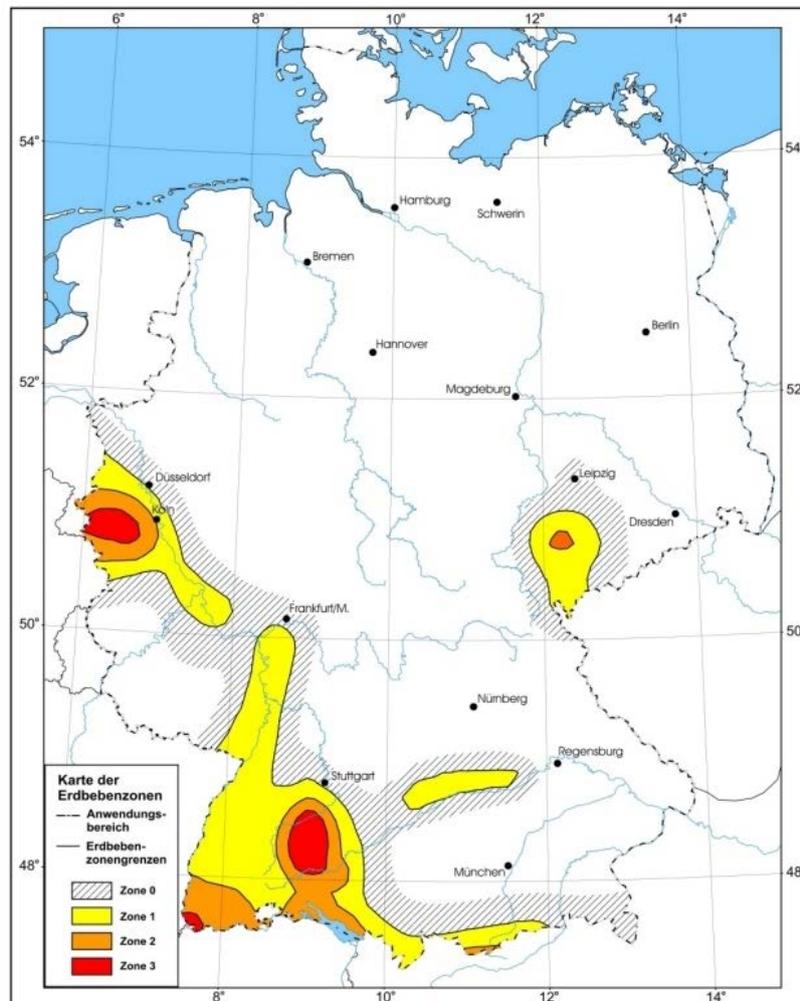


Abbildung C.5-1: Überblickkarte der Erdbebenzonen in Deutschland /22/

Trotz der geringen Eintrittswahrscheinlichkeit wird ein Erdbeben unterstellt, das zu einer Zerstörung der TBH und Freisetzung von Radioaktivität führt. Es wird angenommen, dass durch mechanische Einwirkungen (Erschütterungen, herabfallende Abfallgebände und Gebäudeteile, z. B. Dachbinder) alle in der TBH befindlichen Abfallgebände undicht werden und dadurch ein Teil der enthaltenen Radioaktivität als Stäube und luftgetragene Partikel freigesetzt werden. Konservativ wird durch die Zerstörung des Gebäudes keine Rückhaltung oder Ablagerung von Partikeln an Gebänden oder Gebäudestrukturen angenommen.

Als Grundlage für den Freisetzungsuellterm wird das Gesamtaktivitätsinventar der TBH herangezogen, siehe Kapitel C.2.1. Da aufgrund der verschiedenen Bauweisen und Spezifikationen der Behälter unterschiedliche Freisetzunganteile resultieren, werden die radioaktiven Abfälle und deren Aktivitätsinventar den spezifischen Behältern und Gebänden zugeordnet, siehe Tabelle C-6. Daraus resultieren Gebände-spezifische Aktivitätsinventare.

Zur Bestimmung der Freisetzunganteile werden die Werte aus dem ESK Stresstest /26/ herangezogen. Dabei wird zwischen „Gussbehälter“ und „andere Behälter“ (Konrad-IV-Container, 20'-Container, 200-l-Fässer) unterschieden. Konservativ wird für nicht-Gussgebände, die mit aktiviertem Betonschutt gefüllt sind, der erhöhte Freisetzunganteil von „Rohabfall“ angenommen. Dies begründet sich mit der potentiell erhöhten Partikel- und Aerosolbildung bei mechanischer Einwirkung auf spröden Betonschutt. Für die anderen nicht-Guss-Behälter wird entsprechend die Freisetzung des konditionierten Abfalles angesetzt. Die Gussgebände bleiben aufgrund ihrer Auslegung intakt. Für diese Gebände wird keine Aktivitätsfreisetzung unterstellt.

Es wird beim Erdbebenszenario ausschließlich von großflächiger mechanischer Einwirkung ausgegangen. Ein Brand wird nicht unterstellt.

Das Gesamtaktivitätsinventar sowie die radioaktiven Freisetzungsuellen sind in Tabelle C-9 zusammengefasst.

Tabelle C-9: Aktivitätsinventar in Anhängigkeit von Abfall- und Abfallgebindetyp sowie die Freisetzung

Nuklide	Inventar Gussbehälter (Bq)	Inventar andere Behälter (Bq)		Freisetzung (Bq)
		Betonschutt	Andere Abfälle	
Freisetzunganteil /26/	0	1,0E-02	4,0E-04	
H-3	4,0 E15	2,2 E11	6,8 E09	2,2 E09
C-14	3,0 E12	1,9 E10	1,8 E10	2,0 E08
Mn-54		1,7 E08	1,1 E08	1,7 E06
Fe-55		8,1 E10	8,6 E10	8,5 E08
Co-60	1,6 E14	5,5 E09	2,3 E10	6,4 E07
Ni-59		2,2 E07	3,1 E07	2,4 E05
Ni-63		2,2 E09	3,4 E09	2,3 E07
Zn-65		4,5 E05	9,6 E05	4,9 E03
Sr-90	7,0 E14	6,8 E10	7,2 E10	7,1 E08
Nb-94		1,4 E07	2,1 E07	1,5 E05
Mo-93		1,7 E05	2,6 E05	1,8 E03
Tc-99		3,3 E07	6,7 E07	3,6 E05
Ag-108m		8,9 E07	1,2 E08	9,3 E05
Cs-134		2,4 E08	2,3 E08	2,5 E06
Cs-137	4,2 E13	1,2 E10	2,0 E10	1,2 E08
Ba-133		1,9 E10	1,8 E07	1,9 E08
Eu-152		9,8 E09	2,3 E08	9,8 E07
Eu-154		8,6 E08	2,0 E08	8,7 E06
Pu-241		9,3 E08	1,5 E09	9,9 E06
Am-241 bzw. Gesamt- α		7,5 E08	8,4 E08	7,8 E06
Summe	4,9 E15	4,4 E11	2,3 E11	4,5 E09

Das freigesetzte Aktivitätsinventar ergibt sich damit zu 4,5 E09 Bq, das innerhalb eines Zeitraums von 2 Stunden bodennah in die Umgebung freigesetzt wird.

Auf der Basis des ermittelten Freisetzungsquellterms und der entsprechenden Nuklidgemische wurde eine Ausbreitungsrechnung mit dem Programm STRESS 2007 /24/ durchgeführt. Hierbei wurden folgende Randbedingungen zugrunde gelegt:

- Emissionshöhe: 0 m
- Zeitintervall der Freisetzung: 0 – 8 h
- Minimale Entfernung zum Anlagenzaun: 100 m

Bei diesen Bedingungen ergibt sich für die ungünstigste Referenzperson „Kind > 7 – ≤ 12 Jahre“ und die ungünstigste Diffusionskategorie „E“ für das Erdbeben eine effektive Dosis am Anlagenzaun (Entfernung von 100 m) von ca. 5,1 mSv. Dieser Wert liegt ca. eine Größenordnung unterhalb des Störfallplanungswertes der StrISchV (§ 117 Abs. 16) von 50 mSv.

Das vor Ort tätige Personal inhaliert bei der Flucht aus dem Gefahrenbereich bei einem Erdbeben ca. $1,5 \cdot 10^4$ Bq der radioaktiven Aerosole. Dabei ist die Verteilung der Aerosole im gesamten Gebäudevolumen von ca. 6.900 m^3 angenommen. Die resultierende Folgedosis beträgt ca. 3,0 mSv.

C.6 Betrachtung des abdeckenden, auslegungsüberschreitenden Ereignisses Flugzeugabsturz

In einem Umkreis von circa 50 km um den Standort HZG befinden sich der internationale Flughafen Hamburg (37 km NW), der Militärflughafen Uetersen (54 km NW) sowie die Landeplätze Lüneburg (17 km SSO), Hamburg-Finkenwerder (41 km WNW) und Lübeck-Blankensee (48 km NNO). Der Standort liegt nicht im Bereich der direkten Einflug- oder Abflugschneisen eines der oben genannten Flughäfen oder Landeplätze.

Die Wahrscheinlichkeit eines Flugzeugabsturzes auf das Standort-Zwischenlager des Kernkraftwerks Krümmel (SZK) wird mit ca. $1,0 \text{ E-}06 /16/$ angegeben. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Wahrscheinlichkeit eines Flugzeugabsturzes auf die TBH identisch zum Standort-Zwischenlager SZK ist, da die Standorte nur eine räumliche Distanz von ca. 1 km aufweisen.

Trotz des sehr unwahrscheinlichen Falles eines Flugzeugabsturzes auf die TBH wurde dieser untersucht. Da es sich um einen auslegungsüberschreitenden Störfall handelt, wird dieser nach den Vorgaben und Maßstäben der „Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen“ /6/ betrachtet.

C.6.1 Quellterm durch Flugzeugabsturz auf die TBH

Für die Abschätzung der Freisetzung durch einen Flugzeugabsturz wird unterstellt, dass die TBH von dem Flugzeug bzw. von den Flugzeugtrümmern getroffen und zerstört wird.

Die aktivierten Berylliummetall- und Berylliummetallblockreflektoren, die hochaktivierten Komponenten der kernnahen Einbauten aus Edelstahl, die Bestrahlungseinrichtungen, die γ -Absorberschilder, die aktivierten und kontaminierten Mischabfälle und die brennbaren Abfälle sowie die Präparate sind in Gussbehälter verpackt, vergleiche Tabelle C-6. Die Freisetzungsrates aufgrund thermischer Einwirkungen auf diese Behälter ist nach /26/ mit $2,0 \text{ E-}05$ angegeben. Eine Freisetzung aufgrund mechanischer Einwirkung auf die Gussbehälter muss nicht unterstellt werden.

Schwach- und mittelaktive Abfälle sind in Behältern verpackt, deren Freisetzungsrates aufgrund thermischer Einwirkungen nach /26/ für nichtbrennbare Abfälle mit $5,0 \text{ E-}4$ angegeben ist. Für den Berechnungsansatz punktförmige und großflächige mechanische Einwirkungen

auf die Behälter wurde ein Verhältnis 1 zu 4 (20 % zu 80 %) zwischen punktförmiger und großflächiger mechanischer Einwirkung auf alle Behälter mit Ausnahme der Gussbehälter angenommen.

Konservativ wird für nicht-Guss-Gebinde, die mit aktiviertem Betonschutt gefüllt sind, der erhöhte Freisetzunganteil von „Rohabfall“ angenommen. Dies begründet sich mit der potentiell erhöhten Partikel- und Aerosolbildung bei mechanischer Einwirkung auf spröden Betonschutt. Für die anderen nicht-Guss-Behälter wird entsprechend die Freisetzung des konditionierten Abfalles angesetzt.

Die Freisetzunganteile gemäß ESK-Stresstest /26/ sind in Tabelle C-10 zusammengefasst:

Tabelle C-10: Unterstellte Freisetzunganteile für den Störfall Flugzeugabsturz /26/

Freisetzunganteil /26/	Gussbehälter	Andere Behälter	
		Betonschutt	Andere Abfälle
Thermische Einwirkung	2,0 E-05	5,0 E-04	5,0 E-04
Großflächige Einwirkung (80 %)	0	1,0 E-02	4,0 E-04
Punktförmige Einwirkung (20 %)	0	1,5 E-01	6,0 E-03

Der ermittelte Freisetzungsquellterm ist in Tabelle C-11 dargestellt.

Tabelle C-11: Nuklidspezifischer Quellterm Flugzeugabsturz auf die TBH

Nuklide	Summe der Aktivitäten (Bq)
H-3	8,8 E10
C-14	8,4 E08
Mn-54	6,8 E06
Fe-55	3,3 E09
Co-60	3,5 E09
Ni-59	9,2 E05
Ni-63	9,0 E07
Zn-65	1,9 E04
Sr-90	1,7 E10
Nb-94	6,0 E05

Nuklide	Summe der Aktivitäten (Bq)
Mo-93	7,0 E03
Tc-99	1,4 E06
Ag-108m	3,6 E06
Cs-134	9,7 E06
Cs-137	1,3 E09
Ba-133	7,3 E08
Eu-152	3,8 E08
Eu-154	3,4 E07
Pu-241	3,9 E07
Am-241 bzw. Gesamt- α	3,0 E07
Summe	1,2 E11

C.6.2 Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung

Auf der Basis des ermittelten Quellterms gemäß Tabelle C-11 wurde eine Berechnung der äußeren Exposition in sieben Tagen und der effektiven Folgedosis durch in diesem Zeitraum inhalierte Radionuklide mit dem Simulationsprogramm „SAFER 2“ /18/ durchgeführt. Auch hier wurden nicht unterstützte Nuklide konservativen, vorhandenen Nukliden zugeschlagen.

Die äußere Exposition ergibt für die ungünstigste Referenzperson (Erwachsene > 17 Jahren) eine effektive Dosis von ca. 2,0 E-02 mSv bei der ungünstigsten Diffusionskategorie „D“ (neutral) und einer Entfernung von ca. 600 m.

C.6.3 Vergleich der ermittelten Dosiswerte mit den Eingreifrichtwerten gemäß Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz

Die Folgen eines Flugzeugabsturzes werden als abdeckendes Ereignis entsprechend den Vorgaben der „Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen“ betrachtet und bewertet.

Bei einer zu erwartenden effektiven Dosis vom 10 mSv durch äußere Exposition in sieben Tagen und durch die effektive Folgedosis durch in diesem Zeitraum inhalierte Radionuklide

wird als Maßnahme „Aufenthalt in Gebäuden“ empfohlen, bei einer zu erwartenden effektiven Dosis vom 100 mSv entsprechend eine Evakuierung.

Die zu erwartende effektive Dosis für die ungünstigste Referenzperson durch einen Flugzeugabsturz auf die Transportbereitstellungshalle ist um Größenordnungen kleiner als der Eingreifrichtwert für die Maßnahme „Aufenthalt in Gebäuden“ oder auch für die Evakuierung. Es sind somit für die Umgebung der TBH auch im Falle eines auslegungsüberschreitenden Ereignisses keine einschneidenden Maßnahmen des Katastrophenschutzes erforderlich.

Entwurf

C.7 Zusammenfassung der Störfallanalyse

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 Strahlenexposition in der Umgebung ergeben für ein Erdbeben, für die ungünstigste Referenzperson Kind ($> 7 - \leq 12$ Jahre) und die ungünstigste Diffusionskategorie („E“) einen Wert von ca. 5,1 mSv für die effektive Dosis. Dieser liegt weit unterhalb des Störfallplanungswertes der StrlSchV (§ 117 Abs. 16) von 50 mSv.

Die zu erwartende effektive Dosis für die ungünstigste Referenzperson durch einen auslegungsüberschreitenden, abdeckenden Flugzeugabsturz zeigt, dass für die Umgebung der TBH keine einschneidenden Maßnahmen des Katastrophenschutzes erforderlich sind.

Entwurf

Anlage C-1: TBH – Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung infolge eines Erdbebens

S T R E S S 2007 (Version 4.0.2)

17.11.2016 14:25:17

2016-11-15 Freisetzung TBH Erdbeben 01

Angaben zur Quelle

Anzahl Quellen : 1

Quelle 1 : Aktivität TBH mit HDB
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 : 2,40E+09 Bq
Jod : 0,00E+00 Bq
Aerosole : 2,09E+09 Bq
Summe : 4,49E+09 Bq

Einzelnuklide - Freisetzungen / Lungenretentionsklasse

H 3 (HTO)	2,20E+09 Bq / -	Mo 93	1,78E+03 Bq / -
C 14 (Dioxid)	2,01E+08 Bq / -	Tc 99	3,61E+05 Bq / -
Mn 54	1,74E+06 Bq / -	Ag 108m	9,33E+05 Bq / -
Fe 55	8,46E+08 Bq / -	Cs 134	2,48E+06 Bq / -
Co 60	6,38E+07 Bq / -	Cs 137	3,15E+08 Bq / -
Ni 59	2,35E+05 Bq / -	Eu 152	9,82E+07 Bq / -
Ni 63	2,30E+07 Bq / -	Eu 154	8,70E+06 Bq / -
Sr 90	7,09E+08 Bq / -	Pu 241	9,92E+06 Bq / -
Nb 94	1,53E+05 Bq / -	Am 241	7,82E+06 Bq / -

Größenspektrum der Aerosolpartikel (hinter Filter)

Quelle 1
unbekannt

Eingabedaten Freisetzungshöhe

Quelle 1

Höhe der Quelle : 0 m

2016-11-15 Freisetzung TBH Erdbeben 01

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

maximale Organdosis, effektiv
Referenzperson: Kind 7-12 a
Diff.-kat. 0-8h: E

Exposition	Dosis [Sv]	Entf. [m]
Inhalation	5,73E-04	100
Gamma-Submersion	1,68E-09	100
Gamma-Boden	8,23E-04	100
Ingestion		
Blattgemüse	7,86E-04	100
sonst. Pflanzen	1,87E-02	100
Milch	3,33E-03	100
Fleisch	3,30E-04	100
Summe Ingestion	2,31E-02	
Summe Exposition	2,45E-02	

Exposition	Dosis [Sv]	Entf. [m]
Inhalation	3,06E-04	100
Gamma-Submersion	1,81E-09	100
Gamma-Boden	8,87E-04	100
Ingestion		
Blattgemüse	1,29E-04	100
sonst. Pflanzen	3,08E-03	100
Milch	5,79E-04	100
Fleisch	1,16E-04	100
Summe Ingestion	3,90E-03	
Summe Exposition	5,09E-03	

Anlage C-2: TBH – Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung infolge eines Flugzeugabsturzes

SAFER 2 (Version 2.5.2)

17.11.2016 16:57

2016-11-15 Freisetzung TBH Flugzeugabst.

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 : 8,93E+10 Bq
 Jod : 0,00E+00 Bq
 Aerosole : 2,59E+10 Bq
 Summe : 1,15E+11 Bq

Einzelnuclide

H 3 (org)	8,85E+10 Bq	Sr 90	1,68E+10 Bq
C 14 (org)	8,43E+08 Bq	Nb 94	5,98E+05 Bq
Mn 54	6,77E+06 Bq	Ag 108m	3,65E+06 Bq
Fe 55	3,30E+09 Bq	Cs 134	9,67E+06 Bq
Co 60	3,51E+09 Bq	Cs 137	2,07E+09 Bq
Ni 63	9,02E+07 Bq	Pu 241	3,89E+07 Bq
Zn 65	1,93E+04 Bq	Am 241	3,05E+07 Bq

Größenspektrum der Aerosolpartikel (hinter Filter)

Quelle 1

unbekannt

Eingabedaten Meteorologie

Quelle 1

Windrichtung : 240 Grad
 Windgeschwindigkeit : 1 m/s
 Messhöhe : 0 m
 Niederschlagsrate : 5 mm/h
 Diffusionskategorie : D Neutral bis Stabil

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

2016-11-15 Freisetzung TBH Flugzeugabst.

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.	1,02E-02	600	3	2,03E-02	600	3
Inhalation, Schilddr.	0,00E+00	-	-	0,00E+00	-	-
γ-Boden, eff., (7d)	1,10E-04	600	3	7,35E-05	600	3
γ-Subm., eff.	6,82E-06	600	3	4,87E-06	600	3
externe Dosis, eff.	1,17E-04	600	3	7,84E-05	600	3
Summe Dosis, eff.	1,03E-02	600	3	2,04E-02	600	3

"-" bedeutet, dieser Wert wurde nicht berechnet
Inhalation Schilddrüse wird nur für Jodnuklide berechnet

D Entwurf: Reststoff- und Freigabekonzept

Entwurf

D.1 Allgemeines

Gemäß § 9a Atomgesetz ist dafür zu sorgen, dass die bei der Stilllegung des FRG-1 und beim Abbau der Forschungsreaktoranlage, des Heißen Labors und des Reaktordruckbehälters des Nuklearschiffes Otto Hahn anfallenden radioaktiven Reststoffe sowie ausgebaute oder abgebaute radioaktive Anlagenteile und Gebäudeteile schadlos verwertet oder als radioaktive Abfälle geordnet beseitigt werden.

Bei der Stilllegung des FRG-1 und beim Abbau der Forschungsreaktoranlage, des Heißen Labors und des Reaktordruckbehälters des Nuklearschiffes Otto Hahn fallen radioaktive Reststoffe an, die wegen ihrer weiteren Verwendung bzw. geringfügigen Aktivität keiner Beseitigung als radioaktiver Abfall bedürfen.

Um geringfügig radioaktive Reststoffe als nicht radioaktive Stoffe entsorgen zu können, ist für diese Stoffe ein Freigabeverfahren durchzuführen, für das ein Freigabebescheid der zuständigen atomrechtlichen Aufsichtsbehörde nach § 29 StrlSchV erforderlich ist.

Vor der Entlassung von Reststoffen aus dem AtG wird geprüft, ob eine direkte Wiederverwendung oder eine stoffbezogene Verwertung des Materials innerhalb des Umgangsbereiches einer atomrechtlichen Genehmigung möglich und wirtschaftlich sinnvoll ist.

Wenn eine Wiederverwendung bzw. Verwertung eines Reststoffes wirtschaftlich nicht sinnvoll und eine Entlassung nicht möglich ist, ist eine Beseitigung als radioaktiver Abfall vorgesehen.

D.1.1 Geltungsbereich

Die Reststoff- und Freigabeordnung regelt den Umgang mit radioaktiven Abfällen und Abwasser, das aufgrund seiner Aktivitätskonzentration nicht in die Elbe eingeleitet werden darf (so genanntes mittelaktives Abwasser), von der Entstehung bis zur Ablieferung an eine Anlage des Bundes zur Endlagerung radioaktiver Abfälle bzw. Entlassung aus dem Atomgesetz.

Die Entscheidung über den zu beschreitenden Entsorgungsweg erfolgt durch Messung an den angefallenen Abfällen. Der Entsorgungsweg lässt sich unter Umständen durch gezielte Dekontamination, Abklingen und/oder Separation einzelner Teile beeinflussen. Diese Stoffe

gelten nach der Freigabe nicht als radioaktive Stoffe; sie werden entweder als Wertstoff dem Wirtschaftskreislauf oder als Abfall der konventionellen Entsorgung zugeführt.

Das Reststoff- und Freigabekonzept gilt für die Strahlenschutzbereiche der Forschungsreaktoranlage, des Heißen Labors und des Zerlegehauses Reaktordruckbehälters des Nuklearschiffes Otto Hahn des Helmholtz-Zentrums Geesthacht und aktivitätsführende Systeme wie die Elbleitung zur Ableitung niedrig radioaktiven Abwassers.

Der in der Anlage D-6 aufgeführte Freigabeplan ist vor der Bearbeitung einer Charge in den Spalten „Formblatt/Anweisung“ und „Durchführung Arb./Prüfschritt“ soweit möglich auszufüllen.

Entwurf

D.2 Beschreibung und Durchführung des Freigabeverfahrens

Die Entlassung radioaktiver Reststoffe aus dem Geltungsbereich des AtG erfordert die Ausführung folgender Schritte:

- Trennen und Sammeln
- Wahl des Entsorgungsziels
- Voruntersuchung
- Vorbehandlung
- Information der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde
- Orientierungsmessung
- Entscheidungsmessung
- Kontrollmessung
- Feststellung (Übereinstimmung mit dem Freigabebescheid)
- Anzeige bei der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde
- Entlassung und Abtransport

Manche Schritte können im Einzelfall je nach Stoffart und Entsorgungsziel entfallen.

Voraussetzung für eine Entlassung aus anzeige- oder genehmigungspflichtigem Umgang ist der Nachweis, dass der § 29 zusammen mit den Anlagen III und IV der StrlSchV und das nachfolgend dargestellte Freigabeverfahren eingehalten werden.

Details sind in untergeordneten Anweisungen geregelt.

In begründeten Einzelfällen wird der Nachweis der geringfügigen Aktivität durch andere als die hier dargestellten Verfahren und Kriterien erbracht (Einzelfallnachweis).

D.2.1 Trennung und Sammlung der Reststoffe bei der Entstehung

Eine Sortierung nach den Kriterien

- kontaminationsfrei
- möglicherweise kontaminationsfrei bzw. schwach kontaminiert
- möglicherweise aktiviert

- zur kontrollierten Verwertung
- zum radioaktiven Abfall

erfolgt spätestens bei Übergabe der Reststoffe an den Strahlenschutz auf der Basis der vorhandenen Anlagenkenntnisse.

Beim Anfall der Reststoffe hat aufgrund der o. g. Festlegungen eine weitere getrennte Sammlung nach Materialart und vorgesehener Entsorgungsziel zu erfolgen.

Im Folgenden werden nur die Reststoffe betrachtet, die dem Freigabeverfahren zur Entlassung aus dem Geltungsbereich des AtGs zugeführt werden sollen.

Anfallende Reststoffe (Wertstoffe und Abfälle) werden innerhalb der Strahlenschutzbereiche in gekennzeichneten Behältnissen gesammelt und dort zwischengelagert. Sperrige Gegenstände können auch außerhalb der Behältnisse gekennzeichnet gelagert werden.

D.2.2 Festlegung des Entsorgungsziels

(Anlage D-2: Verfahrensablauf Entsorgungsziel bzw. Anlage D-5)

Aufgrund vorhandener Anlagenkenntnisse, begleitender Messungen beim Anfall der Reststoffe und Übersichtsmessungen werden die Reststoffe einem Entsorgungsziel zugeordnet. Für das Entsorgungsziel "Freigabe" ist diese Zuordnung bis zum Abschluss des Freigabeverfahrens vorläufig.

Nach der Entscheidung zur Weiterbehandlung als Wertstoff ist zu prüfen, ob eine Wiederverwendung oder eine Verwertung der Wertstoffe in kerntechnischen Anlagen des Helmholtz-Zentrums Geesthacht oder im kerntechnischen Bereich einer fremden Anlage möglich ist.

Wenn dies unter wirtschaftlichen Bedingungen nicht möglich ist, kann von dem vorgesehenen Freigabeverfahren gemäß dem behördlichen Freigabebescheid Gebrauch gemacht werden.

Demgemäß gilt:

Ausgebaute Anlagenteile wie Armaturen, Pumpen, Motoren usw. werden im Kontrollbereich gelagert. In regelmäßigen Abständen wird über eine direkte Wiederverwendung entschieden. Wenn eine direkte Wiederverwendung im kerntechnischen Bereich nicht möglich ist, wird der Entsorgungsweg Freigabe, radioaktiver Abfall oder Verwertung festgelegt.

Eine Wiederverwendung im Rahmen des Einschmelzens von Metallen in einer Anlage mit Umgangsgenehmigung ist nur in speziellen Fällen (abhängig von Kontaminationsart und Geometrie des Reststoffes) wirtschaftlich sinnvoll und zumutbar. Die Entscheidung hierzu trifft im jeweiligen Einzelfall der Leiter ZAR in Abstimmung mit dem Leiter Strahlenschutz.

Für das Entsorgungsziel Freigabeverfahren sind entsprechend dem jeweils vorgesehenen Freigabepfad Gebinde bzw. einzelne Gegenstände zu dokumentieren und dem nachfolgend beschriebenen Verfahren zuzuführen.

D.2.3 Voruntersuchung

Die Voruntersuchung dient insbesondere der vorläufigen Festlegung des Entsorgungsziels und der Messverfahren.

Nach der Sammlung, Sortierung und Lagerung der radioaktiven Reststoffe im Kontrollbereich werden ergänzende Direktmessungen, Wischteste und Probenahmen mit nuklidspezifischer Auswertung durchgeführt.

Diese Messergebnisse entscheiden über das weitere Vorgehen für das Entsorgungsziel "Freigabe". Entweder werden die geplanten Maßnahmen durch die Messergebnisse als ausreichend bestätigt oder es zeigt sich, dass die Maßnahmen im Zuge der "Vorbehandlung" erweitert werden müssen.

Die Festlegung eines Nuklidvektors berücksichtigt die Angaben zur Nuklidliste und der Nuklidverteilung der Forschungsreaktoranlage, des Heißen Labors und des Zerlegehauses des Reaktordruckbehälters des Nuklearschiffes Otto Hahn des Helmholtz-Zentrums Geesthacht (Anlage D-4).

D.2.4 Vorbehandlung

Aufgrund der Ergebnisse aus der Voruntersuchung werden die Zerlegearbeiten und die Dekontaminationsmaßnahmen sowie deren Reihenfolge für die vorgesehenen Messverfahren festgelegt.

Im Anschluss daran werden die evtl. erforderlichen Dekontaminationsmaßnahmen zum Erreichen des Entsorgungsziels durchgeführt. Eine stichprobenartige Kontrolle der Dekontaminationsmaßnahmen und möglicher Nuklidverschiebungen kann durch Messungen erfolgen. Die systematische Erfolgskontrolle der Dekontaminationsmaßnahmen wird im Rahmen der Orientierungsmessung durchgeführt.

Die Maßnahmen zur Vorbehandlung werden in der Freigabedokumentation festgehalten.

D.2.5 Information der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde

Nach dem Schritt D.2.4 „Vorbehandlung“ ist der Freigabeplan (Kopie) der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde zur Information vorzulegen. Dieser Arbeitsschritt ist kein Haltepunkt im Freigabeablauf.

D.2.6 Orientierungsmessung

Ziel der Orientierungsmessungen ist die systematische Erfolgskontrolle der Dekontaminationsmaßnahmen und der Nachweis der Homogenität der Oberflächenkontamination, der insbesondere den Ausschluss von „Hot-Spots“ umfasst.

Art und Umfang von Orientierungsmessungen sind abhängig von den Ergebnissen der Voruntersuchungen und vom Verfahren der nachfolgenden Entscheidungsmessung.

Für die Orientierungsmessungen gelten die Oberflächenfreigabewerte der StrlSchV, Anlage III, Tabelle 1, Spalte 4.

D.2.7 Entscheidungsmessung

Für die Entscheidungsmessung werden einzelne oder kombiniert eingesetzte Verfahren zur Messung der relevanten radiologischen Größen verwendet und es erfolgt der Vergleich mit den zulässigen Freigabewerten. Für die Entscheidungsmessung stehen dem Helmholtz-Zentrum Geesthacht verschiedene Messverfahren zur Verfügung:

- Messung der Oberflächenkontamination
- Messung der Gesamtaktivität (Freimessanlage)
- Ermittlung der spezifischen Aktivität durch Probenahme

Für die Entlassung der radioaktiven Reststoffe aus den Strahlenschutzbereichen ist die Einhaltung der vorgegebenen massen- und oberflächenspezifischen Freigabewerte der Anlage III, Tabelle 1, Spalten 4 bis 10a StrlSchV nachzuweisen, soweit die in Anlage IV StrlSchV festgelegten Randbedingungen beachtet werden.

D.2.7.1 Messung der Oberflächenkontamination

Voraussetzung für eine Entscheidungsmessung per Direktmessung der Oberflächenkontamination ist, dass eine feste Oberfläche vorhanden ist und die gesamte Oberfläche des Reststoffes bei der Messung erfasst werden kann. Hierbei ist eine volumengetragene Aktivität zu berücksichtigen.

D.2.7.2 Messung der Gesamtaktivität mit einer Freimessanlage (FMA)

Bei der Messung mit einer Freimessanlage wird die Gamma-Aktivität des Messgutes in einer Messkammer gemessen. Parallel zur Aktivitätsmessung wird das Bruttogewicht des Messgutes ermittelt.

Ermittlung der massenspezifischen Aktivität:

Aus diesen Messwerten erfolgt die Berechnung der massenspezifischen Aktivität und ein Abgleich mit den jeweiligen Freigabewerten der massenspezifischen Aktivität der StrlSchV Anlage III Tabelle 1.

Bei diesen Messungen darf die Mittelungsmasse von 300 kg nicht wesentlich überschritten werden. StrlSchV Anlage IV, Teil A, 1c)

Ermittlung der oberflächenspezifischen Aktivität:

Die Mittelungsfläche zur Ermittlung der Oberflächenkontamination darf bis zu 1 000 cm² betragen. StrlSchV Anlage IV, Teil A, 1d)

Der Nachweis der Einhaltung der oberflächenspezifischen Freigabewerte ist nur dann gegeben, wenn die messbare Oberfläche größer als 100 cm² ist.

Da die Oberfläche des Messgutes bei einer Messung mit einer Freimessanlage in der Regel sehr viel mehr als 1 000 cm² beträgt, ist das Messergebnis der Oberflächenaktivität allein nicht hinreichend aussagekräftig. Um mit einer Freimessanlage die oberflächenspezifische Aktivität zu ermitteln, ist es erforderlich, dass das Messgut vor der Messung auf Oberflächenkontamination geprüft wurde. Die Parameter dieser Messung sind im Kapitel „Orientierungsmessung“ beschrieben.

Eine Entscheidungsmessung mit einer Bezugsfläche von bis zu 3 m² ist möglich, wenn entsprechende „Hot Spots“ im Rahmen der Voruntersuchung und Orientierungsmessung durch dynamische Direktmessungen (s. DIN 25457-1) erkannt und entfernt wurden. Die Einhaltung der Vorgaben zur Mittelungsfläche müssen daher nicht allein durch die Randbedingung der Entscheidungsmessungen gegeben sein, vielmehr ist das gesamte Freigabeverfahren (Voruntersuchung – Orientierungsmessung – Entscheidungsmessung – Kontrollmessung) bei der Festlegung der Bezugsfläche für die Entscheidungsmessung zu berücksichtigen. Eine Verifikation der Festlegung der Bezugsfläche ist im Rahmen der Kontrollmessung erforderlich.

Der Nachweis der Einhaltung der oberflächenspezifischen Freigabewerte ist für Schüttgüter nicht erforderlich.

Hinweis: Diese Messmethode entspricht dem für die SSK erstellten Abschlussbericht des TÜV Nord e.V., Kennzeichen StSch 4378 vom Januar 2004.

D.2.7.3 Ermittlung der spezifischen Aktivität durch Probenahme

Bei großvolumigen Teilen, bei denen eine volumengetragene Aktivität nicht ausgeschlossen werden kann, ist die Ermittlung der spezifischen Aktivität über repräsentative Proben möglich. Zusätzlich ist die Oberflächenkontamination zu messen.

Bei radioaktiven Reststoffen ohne definierte Oberfläche (z. B. Stahlspäne) kann die Entscheidungsmessung allein auf der gammaspektrometrischen Auswertung repräsentativer Proben beruhen.

D.2.8 Aufbewahrung außerhalb des Kontrollbereiches

Reststoffe, die die Anforderungen unter D.2.6 "Orientierungsmessung" erfüllen, dürfen außerhalb des Kontrollbereiches bis zur Feststellung der Freigabe wettergeschützt gelagert werden. Die Lagerorte sind zu verschließen und zu beschildern. Weiterhin ist ein Schleusprotokoll zu erstellen.

Radioaktive Reststoffe, die die Anforderungen unter D.2.7 „Entscheidungsmessung“ erfüllen, dürfen auf dem HZG-Gelände bis zur Feststellung der Freigabe wettergeschützt aufbewahrt werden. Die Aufbewahrungsorte sind zu verschließen und zu beschildern.

D.2.9 Kontrollmessungen

Kontrollmessungen werden bei Überschreiten eines Aktivitäts-Eingreifwertes durchgeführt. Dabei handelt es sich um Direktmessungen oder um Probenahmen mit anschließender nuklidspezifischer Auswertung.

Der Aktivitäts-Eingreifwert beträgt 80 % des Richtwertes.

Kontrollmessungen dienen zur Verifizierung des Nuklidvektors und zur Verifikation der Festlegung der Bezugsfläche. Die Ergebnisse der Entscheidungsmessung und die daraus resultierende Freigabe gem. § 29 StrlSchV bleiben vom Ergebnis der Auswertung der Kontrollmessungen unberührt, sofern der Nuklidvektor bezüglich der Messwerte der Kontrollmessungen als hinreichend abdeckend bestätigt wird.

Alle Proben dienen als Rückstellproben. Am Abtransporttag werden die Rückstellproben, wenn die Freigabewerte in den Proben unterschritten wurden, vernichtet, indem sie der abzutransportierenden Charge zugegeben werden.

Die Kontrollmessungen, Probenahmen und -auswertungen sowie die Entnahme von Rückstellproben sind in der Freigabedokumentation festgehalten.

D.2.10 Feststellung und Anzeige

D.2.10.1 Feststellung nach § 29 StrlSchV

Nach erfolgreicher Entscheidungsmessung ist vom Strahlenschutzbeauftragten die Übereinstimmung mit den im Freigabebescheid festgelegten Anforderungen festzustellen. Die Feststellung ist zu dokumentieren.

D.2.10.2 Anzeige bei der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde

Nach der Feststellung des Strahlenschutzbeauftragten ist das Original des Freigabeplans der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde vorzulegen, die die Anzeige auf dem Freigabeplan bestätigt und diesen an das Helmholtz-Zentrum Geesthacht zurück sendet.

D.2.11 Entlassung und Abtransport

Nach Feststellung, Abschluss der Dokumentation und nach Anzeige der abgeschlossenen Freigabekampagne bei der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde ist eine Einspruchsfrist von 30 Kalendertagen einzuhalten.

Nach Ablauf der Einspruchsfrist und nach Zustimmung durch den Strahlenschutzbeauftragten ist der Abtransport freigegeben.

D.2.12 Freigabe zur Beseitigung

Feste Stoffe und Flüssigkeiten können gemäß § 29 Abs. 2 StrlSchV zur Beseitigung freigegeben werden, wenn ihre spezifische Aktivität die Freigabewerte gemäß Anlage III, Tabelle 1 Spalte 9a-d und – bei Vorhandensein einer festen Oberfläche – die Oberflächenkontamination gemäß Spalte 4 unterschreitet. Im Übrigen sind die Festlegungen von Anlage IV StrlSchV zu beachten.

Die im Helmholtz-Zentrum Geesthacht anfallenden, zur Beseitigung freigegebenen Abfälle werden einer Entsorgungsanlage zugeführt. Der Nachweis der Anlieferung der Stoffe ist der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde vorzulegen.

Wenn sich die Entsorgungsanlage in einem anderen Bundesland befindet, sind der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde die notwendigen Unterlagen für die Herstellung des radiologischen Einvernehmens gemäß § 29 Abs. 2 Sätze 6 und 7 StrlSchV zur Verfügung zu stellen.

Eine Annahmeerklärung einer Entsorgungsanlage zur Erfüllung der Bestimmungen aus § 29 Abs. 5 StrlSchV ist der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde sowie, in Kopie, der Abfallbehörde jeweils rechtzeitig vor der Entlassung der Stoffe vorzulegen.

D.2.13 Externe Behandlung und Freigabe

- Behandlung und Freigabe von radioaktiven Reststoffen durch eine beauftragte Firma in Deutschland, die einen Freigabebescheid nach § 29 StrlSchV besitzt.
- Behandlung und Freigabe von radioaktiven Reststoffen durch eine beauftragte Firma im Ausland (Europa) und Anerkennung der Freigabe in Deutschland.

Die Fremdbehandlung von radioaktiven Reststoffen zur Freigabe gemäß § 29 StrlSchV erfordert keinen Ablaufplan oder Prüffolgeplan. Es gilt die gültige Genehmigung der beauftragten Firma.

Nicht freizugebende Reststoffe sind gemäß § 73 StrlSchV zu behandeln.

Dieser Vorgang wird, wenn erforderlich, durch Einzelantrag auf Zustimmung bei der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde eingereicht.

D.3 Dokumentation der Freigabe

Die Dokumentation der Freigabe erfolgt in Übereinstimmung mit den Festlegungen des Freigabebescheides, auf Grundlage des kerntechnischen Regelwerkes (insbes. § 70 StrlSchV) sowie in Übereinstimmung mit den Betriebsvorschriften.

Im Einzelnen umfasst diese mindestens:

1. Freigabeplan
2. Art und Qualifikation der Messverfahren und Messergebnisse (Orientierungsmessungen, Entscheidungsmessungen, u. a. mit den Angaben über massenspezifische Aktivität und ggf. der flächenbezogenen Aktivität, Nachweisempfindlichkeit, Mittelungsmassen, ggf. Mittelungsflächen)
3. Liste der zu bilanzierenden Radionuklide
4. Nuklidverteilung für die Entscheidungsmessung mit der Freimessanlage
5. Nachweis der Einhaltung des Schutzzieles im Falle einer Einzelbetrachtung
6. Kontrollmessungen und Auswertungen des Betreibers soweit sie zur Verifizierung der Ergebnisse der Voruntersuchungen und zur Bestätigung der Entscheidungsmessung erforderlich sind
7. Ggf. von der Gesamtcharge abweichende Messverfahren und erreichte Nachweisgrenzen
8. Ergebnisse der Nachmessungen zur Oberflächenkontamination oder entsprechende Ergebnisse der Voruntersuchungen
9. Max. Ausschöpfung der Freigabewerte
10. Maßnahmen zur Vorbehandlung und Voruntersuchung
11. Ggf. Verträge zur Entsorgung

Die unter den Positionen 1 bis 9 genannten Unterlagen werden gemäß § 70 StrlSchV Abs. 6 für 30 Jahre aufbewahrt.

D.4 Radioaktive Abfälle

Reststoffe, die als radioaktive Abfälle entsorgt werden sollen, müssen, ggf. nach einer Abklingzwischenlagerung, umgehend einer Vorbehandlung bzw. Kompaktierung (Volumenreduzierung) zugeführt werden. Diese Vorbehandlung der Reststoffe wird, soweit möglich, in einer ortsfesten Einrichtung des Helmholtz-Zentrums Geesthacht durchgeführt. Sofern eine Herstellung endlagerfähiger Gebinde im Helmholtz-Zentrum Geesthacht vorgenommen wird, erfolgt dies im Rahmen eines gültigen Prüffolge- bzw. Ablaufplanes. Größere Reststoffmengen werden in qualifizierten externen Einrichtungen nach einem gültigen Prüffolge- bzw. Ablaufplan konditioniert.

Die Vorbehandlung der festen radioaktiven Abfälle erfolgt nach einem der in Anlage X Teil A Abschnitt 3 StrISchV genannten Verfahren oder mehreren dieser Verfahren in Kombination.

Alle mit radioaktiven Abfällen befüllten Zwischen- bzw. Endlagergebinde werden mit einer fortlaufenden Registriernummer gekennzeichnet. Für jedes Gebinde wird ein Begleitschein ("Abfalldatenblatt für feste radioaktive Rohabfälle") ausgefüllt, der über den Inhalt Auskunft gibt.

Gefüllte Behälter werden vor dem Transport in eines der Lager für radioaktive Abfälle ggf. getrocknet und verschlossen. Der Gruppenleiter Entsorgung veranlasst den Transport zum Lager für radioaktive Abfälle.

Es ist ein wesentliches Ziel, das Abfallaufkommen im Kontrollbereich so gering wie möglich zu halten. Bei der Planung von Arbeiten im Kontrollbereich muss daher grundsätzlich die Vermeidung von Abfällen im Vordergrund stehen. Gegenstände und Materialien (z. B. Verpackungen), die im Kontrollbereich nicht erforderlich sind, dürfen daher nicht eingebracht werden.

D.4.1 Benennung

Die Benennung radioaktiver Abfälle erfolgt mittels codierter Angaben zu Verarbeitungszustand, Bezeichnung und Behandlung. Die Bezeichnung der radioaktiven Abfälle wird nach Anlage X Teil A Abschnitt 2 StrISchV vorgenommen.

Abfall liegt entweder unbehandelt (Rohstoff) vor oder als Zwischen- oder Endprodukt einer vorausgegangenen verfahrenstechnischen Behandlung. Anzugeben ist das für den physikalisch/chemischen Zustand des zu benennenden Abfalls relevante Verfahren bzw. die Kombination von Verfahren, soweit nicht schon bei dem erfassten Vorgänger angegeben. Die Codierung der Abfallbehandlung erfolgt entsprechend Anlage X Teil A Abschnitt 3 StrlSchV.

D.4.2 Sammeln und Behandlung

D.4.2.1 Kleinmengen

Für das sortierte Sammeln der Abfälle stehen entsprechend gekennzeichnete Behälter zur Verfügung. Die Anzahl der Behälter richtet sich nach dem zu erwartenden Anfall von Rohabfallarten. Die radioaktiven Abfälle werden von einem Mitarbeiter aus der Abteilung Strahlenschutz, Gruppe Entsorgung, angenommen.

D.4.2.2 Radioaktive Anlagenteile

Ausgebauete und nicht mehr verwendungsfähige Anlagenteile werden, wenn sie nicht der Freigabe zugeführt werden können, als radioaktive Reststoffe behandelt und in der Regel in Behältern am Entstehungsort gesammelt.

Die Anlagenteile, die nicht vor Ort verpackt werden können, werden im Heißen Labor gesammelt. Dort stehen Räumlichkeiten für die Vorbehandlung der Reststoffe zur Verfügung.

Vor dem Transport in das Heiße Labor sind die Teile von eventuellen Flüssigkeiten zu entleeren. Vorhandene Öffnungen sind zu verschließen.

Der Gruppenleiter Entsorgung legt die Vorgehensweise für die Behandlung dieser Reststoffe fest. Es wird geprüft, ob eine Volumenreduzierung durch Zerlegen erreicht werden kann. Wird eine Zerlegung durchgeführt, werden Kleinteile in geeigneten Behältern gesammelt.

Die Einlagerung von Großteilen erfolgt in Containern (z. B. Konrad Typ VI) in der Reaktorhalle oder im Heißen Labor. Die beladenen und für den Transport vorbereiteten Container werden bis zur Beförderung in der Bereitstellungshalle zwischengelagert (Transportbereitstellung).

D.4.2.3 Radioaktives Abwasser

Das Betriebsabwasser stammt aus den Bereichen Reaktorgebäude, Heißes Labor und den Laborräumen. Die Zwischenlagerung des radioaktiven Abwassers erfolgt in 12 erdverlegten Sammelbehältern. Die Gesamtkapazität der Behälter beträgt ca. 350 m³.

Radioaktives Abwasser, das die Grenzwerte zur Einleitung in die Elbe überschreitet, wird gesammelt und kampagnenweise einer Konditionierung in einer externen Einrichtung zugeführt. Dort wird durch Verdampfung, Trocknung, Verbrennung und/oder Hochdruckverpressung eine Volumenreduzierung durchgeführt.

D.4.2.4 Flüssige organische Abfälle

Zu den flüssigen organischen Abfälle zählen die Maschinen- und Hydrauliköle. Es stehen im Heißen Labor Behälter für die Zwischenlagerung zur Verfügung. Die Öle werden je nach Kontaminationsgrad einer Freigabekampagne zugeschlagen oder zur Verbrennung an eine hierfür zugelassene externe Einrichtung abgegeben.

D.4.3 Aktivitätsbestimmung

Für die nuklidspezifische Messung von Aktivitäten stehen im Helmholtz-Zentrum Geesthacht folgende Messmethoden zur Verfügung:

- Aktivitätsbestimmung mittels hochauflösender γ -Spektrometrie an repräsentativen Proben
- Aktivitätsbestimmung an radioaktiven Abfallgebinden mittels zerstörungsfreier γ -spektrometrischer Messung
- Aktivitätsbestimmung mittels Dosisleistungsmessung und Nuklidvektor

D.4.4 Lagerung

Für die Zwischenlagerung der radioaktiven Abfälle stehen die Sammelstelle und die Bereitstellungshalle auf dem Gelände des Helmholtz-Zentrums Geesthacht zur Verfügung.

D.4.5 Buchführung

Jeder angefallene radioaktive Abfall, der als deklarierbare Einheit gekennzeichnet werden kann und keiner betrieblichen Änderung mehr unterworfen wird, wird erfasst und in der Dokumentation mit einer eindeutigen Kennung je Behälter oder Einheit versehen (Anlage X Teil B Abschnitt 1 StrlSchV).

Die Datenerfassung für die Dokumentation beginnt spätestens, wenn die radioaktiven Stoffe

- keiner betrieblichen Veränderung mehr unterworfen werden,
- in einem Abfallbehälter verpackt und
- in einem betriebsinternen Abfalllager eingelagert sind.

Dokumentiert wird für jedes Gebinde:

1. Kennung
2. Herkunft
3. Bezeichnung nach Anlage X Teil A Abschnitt 2 StrlSchV
4. Daten des Abfallanfalls
5. Abfallmasse und Gesamtmasse des Gebindes in kg
6. Gebindevolumen in m³
7. Behältertyp
8. Behälterkennzeichnung
9. Dosisleistung an der Oberfläche (0,1 m) und in 1 m Abstand in mSv/h mit Datum der Messungen
10. Gesamtaktivität jeweils der α - und β -Strahler
11. Kernbrennstoff in g
12. Aktivitäten zu berücksichtigender Nuklide in Bq mit Bezugsdatum
13. Art der Aktivitätsbestimmung
14. Nummer der Rückstellprobe
15. Datum und Referenz der Ausbuchung
16. Zwischenlagerort und Datum der Einlagerung in das Zwischenlager

Die Datenerfassung erfolgt als gebindebezogene papiergebundene Dokumentation (Abfalldatenblatt für feste radioaktive Rohabfälle, Begleitschein zum Abfalldatenblatt, Begleitschein zur Rückstellprobe) sowie mit einem elektronischen Buchführungssystem, das die Anforde-

rungen gemäß § 73 StrlSchV erfüllt. Der erforderliche Datenumfang bezüglich Benennung und Buchführung radioaktiver Abfälle ist in der Anlage X Teil A und B der StrlSchV festgelegt. Die Daten werden so aufgezeichnet, dass auf Anfrage der zuständigen Aufsichtsbehörde die erfassten Angaben unverzüglich bereitgestellt werden können.

Mit der Erstellung der Dokumentation sowie der Eingabe in das elektronische Buchführungssystem ist ausschließlich geeignetes Fachpersonal zu betrauen. Durch den Gruppenleiter Entsorgung oder einen Strahlenschutzbeauftragten ist anschließend eine Qualitätskontrolle der Daten vorzunehmen. Die Erstellung der papierbezogenen Dokumentation erfolgt innerhalb von zwei Wochen nach dem endgültigen Verschluss des zu dokumentierenden Gebindes, die Eingabe in das elektronische Buchführungssystem spätestens vier Wochen nach dem Verbringen des Gebindes in eines der Lager auf dem Gelände des Helmholtz-Zentrums Geesthacht.

D.4.6 Meldungen

Gemäß § 72 StrlSchV sind der Behörde der erwartete jährliche Anfall an radioaktiven Abfällen für die Dauer der Betriebszeit sowie jährlich mit Stichtag 31.12. der erwartete Anfall an radioaktiven Abfällen für das Folgejahr und der tatsächliche Anfall an radioaktiven Abfällen für das vergangene Jahr zu melden. Außerdem sind der Bestand zum Stichtag und der vorgesehene Verbleib der für das Folgejahr zu erwartenden Abfälle anzugeben.

Mindestens 5 Arbeitstage vor Beginn der Beförderung radioaktiver Abfälle ist gemäß § 75 Abs. 2 StrlSchV eine Meldung bei der zuständigen Aufsichtsbehörde mit folgenden Angaben bzw. Unterlagen abzugeben:

1. Datum, Ausgangsort und Zielort des Transportes,
2. Eigentümer der zu transportierenden Abfälle,
3. Abgeber der zu transportierenden Abfälle gemäß § 69 Abs. 3 StrlSchV,
4. Absender der zu transportierenden Abfälle nach den Vorschriften für die Beförderung gefährlicher Güter,
5. Beförderer/Frachtführer sowie Nummer und Ausstellungsdatum der Beförderungsgenehmigung,
6. Empfänger sowie Nummer und Ausstellungsdatum der Genehmigungen nach §§ 6, 7 oder 9 des Atomgesetzes oder §§ 7 oder 11 Abs. 2 StrlSchV,

7. Annahmезusage des Empfängers,
8. Art und Anzahl der zu transportierenden Behälter/Verpackungen,
9. Art, Masse oder Volumen und Gesamtaktivität der sonstigen radioaktiven Stoffe sowie Gesamtmasse der Kernbrennstoffe nach § 2 Abs. 1 des Atomgesetzes.

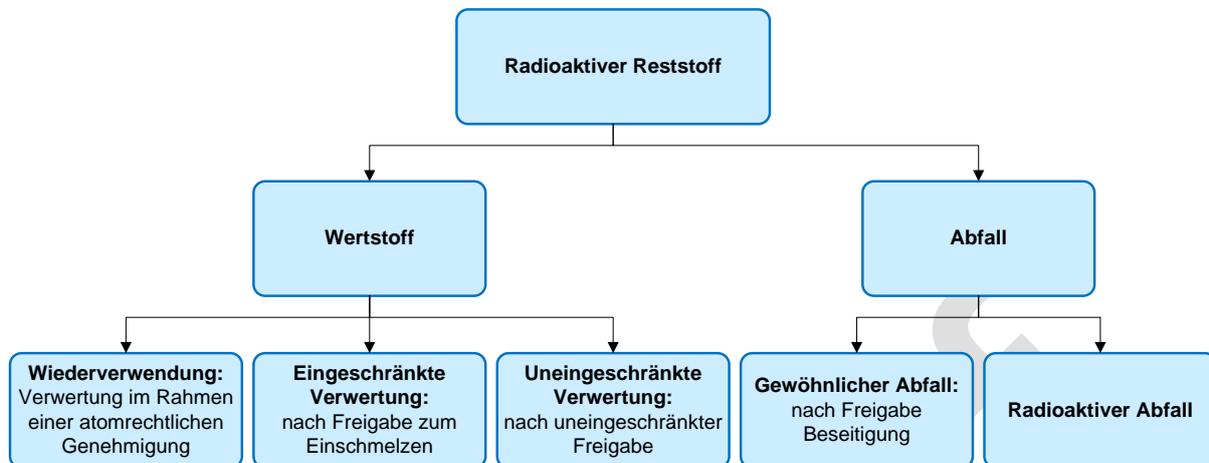
Entwurf

D.5 Herausbringen von Stoffen und Gegenständen geringfügiger Radioaktivität aus den Kontrollbereichen

Sollen bewegliche Gegenstände, insbesondere Werkzeuge, Messgeräte, Messvorrichtungen, sonstige Apparate, Anlagenteile oder Kleidung, aus Kontrollbereichen, in denen offene radioaktive Stoffe vorhanden sind, zum Zweck der Handhabung, Nutzung oder sonstigen Verwendung mit dem Ziel der Wiederverwendung oder Reparatur außerhalb von Strahlenschutzbereichen herausgebracht werden, sind sie zuvor auf Kontamination zu prüfen. Wenn die Prüfung ergibt, dass die Kontamination unterhalb der in § 44 Abs. 3 StrlSchV vorgegebenen Werte liegt, können diese Gegenstände uneingeschränkt wieder verwendet oder repariert werden.

Entwurf

Anlage D-1: Abgrenzung der Begriffe



Abfälle, gewöhnliche

Radioaktive Reststoffe, die durch Einhalten der Freigabegrenzwerte gemäß StrISchV als gewöhnliche Abfälle nach dem konventionellen Abfallrecht abgegeben werden können.

Abfälle, radioaktiv

Radioaktive Stoffe im Sinne des § 2, Abs. 1 und 2 AtG, die nach § 9a, Abs. 1 Nr. 2 AtG geordnet beseitigt werden müssen.

Aktivitäts-Eingreifwert

Überschreitet der Messwert der Entscheidungsmessung den Aktivitätseingreifwert, werden Kontrollmessungen durchgeführt. Der Aktivitäts-Eingreifwert beträgt 80 % des jeweiligen – vom Messgut abhängigen – Richtwertes (massen- und oberflächenspezifisch).

Beseitigung

Abgabe und Eigentumsübertrag von Abfällen mit geringfügiger Aktivität als gewöhnliche Abfälle nach dem konventionellen Abfallrecht.

Bezugsfläche

Die Fläche, die im Rahmen der Messung mit der FMA benutzt werden darf, um die Oberflächenkontamination zu berechnen.

Entlassung

Kurzform für „Entlassung radioaktiver Reststoffe auf Basis einer Freigabe gemäß § 29 StrlSchV aus dem Regelungsbereich des Atomgesetzes“.

Die Entlassung bezieht sich auf konkrete radioaktive Reststoffe und umfasst das Freigabeverfahren für diese bis einschließlich zur Feststellung der Übereinstimmung mit den im Freigabebescheid geforderten Anforderungen gem. § 29 StrlSchV Abs. 3.

Entscheidungsmessung

Aktivitätsmessung, deren Ergebnisse durch Vergleich mit den Freigabewerten eine Entscheidung über die Freigabe des Messgutes ermöglicht.

Entsorgungspfade

Einzuhaltende Wege für die verschiedenen Entsorgungsziele.

Entsorgungsziel

Vorläufige Festlegung des Entsorgungsweges für radioaktive Reststoffe in

- direkte Wiederverwendung im kerntechnischen Bereich,
- radioaktiver Abfall,
- Freigabeverfahren
 - die uneingeschränkte Freigabe von:
 - a) festen Stoffen (inkl. Bauschutt und Bodenaushub $\leq 1\,000$ Mg/a)
 - b) Ölen und ölhaltigen Flüssigkeiten, organischen Lösungs- und Kühlmitteln
 - c) Bauschutt und Bodenaushub ($> 1\,000$ t/a)
 - d) flüssigen Stoffen über eine Einzelfreigabe
 - die Freigabe zur Beseitigung von:
 - a) Spalte 9a festen Stoffen zur Beseitigung auf Deponien (inkl. Bauschutt und Bodenaushub ≤ 100 t/a)
 - b) Spalte 9b festen und flüssigen Stoffen zur Beseitigung Verbrennungsanl. ≤ 100 t/a
 - c) Spalte 9c festen Stoffen zur Beseitigung auf Deponien (inkl. Bauschutt und Bodenaushub $\leq 1\,000$ t/a)
 - d) Spalte 9d festen und flüssigen Stoffen zur Beseitigung in Verbrennungsanl. $\leq 1\,000$ t/a

e) Spalte 10a Metallschrott zur Rezyklierung,

- Kontrollierte Verwertung (Wiederverwertung im kerntechn. Bereich).

Freigabe

Verwaltungsakt, der die Entlassung radioaktiver Stoffe sowie beweglicher Gegenstände, von Gebäuden, Bodenflächen, Anlagen oder Anlagenteilen, die aktiviert oder mit radioaktiven Stoffen kontaminiert sind und die aus Tätigkeiten nach § 2 StrISchV Abs. 1 Nr. 1 Buchstabe a, c oder d stammen, aus dem Regelungsbereich.

- des Atomgesetzes und
- darauf beruhender Rechtsverordnungen sowie verwaltungsbehördlicher Entscheidungen

zur Verwendung, Verwertung, Beseitigung, Innehabung oder zu deren Weitergabe an Dritte als nicht radioaktive Stoffe bewirkt. Die Freigabe wird von der zuständigen Behörde durch einen Freigabebescheid ausgesprochen.

Uneingeschränkte Freigabe

Verwertung oder Beseitigung radioaktiver Reststoffe ohne einschränkende Nebenbestimmungen.

Freigabewerte

Einzuhaltende Werte für die spezifische Aktivität und/oder Oberflächenkontamination radioaktiver Reststoffe entsprechend StrISchV Anlage III, Tabelle 1, Spalte 4 bis 10a und der Anlage IV.

Hot Spot

Punktuelle Kontamination mit einer Aktivität, die unter Berücksichtigung des zugrunde liegenden Nuklidvektors, den Richtwert für die Oberflächenkontamination mit der Mittelungsfläche von 1 000 cm² überschreitet.

Nuklidvektor

Liste, der auf 100 % normierten Aktivitätsanteile von Radionukliden, in oder auf einem Material, welches für die Entscheidungsmessung relevant ist.

Radioaktive Reststoffe

Der Begriff „radioaktiver Reststoff“ wird für alle aus dem Kontrollbereich und den aktivitätsführenden Systemen außerhalb des Kontrollbereichs zu entsorgenden Stoffe verwendet, die nicht mehr ihrer ursprünglichen Verwendung zugeführt werden.

Richtwerte

Einzuhaltende Werte für die spezifische Aktivität und/oder Oberflächenkontamination. Sie ergeben sich aus der StrISchV Anlage III Tabelle 1 Spalte 4 bis 10a.

Schlüsselnuklid

Messtechnisch einfach erfassbares Radionuklid, über dessen Messung das Inventar schwierig zu messender Radionuklide rechnerisch bestimmt werden kann.

Schüttgut

Als Schüttgüter gelten alle festen Stoffe, die nur mit einer massenbezogenen Entscheidungsmessung freigegeben werden.

Summenformel

Rechenvorschrift der StrISchV, die ein Abschneidekriterium für nicht zu berücksichtigende Nuklide beschreibt.

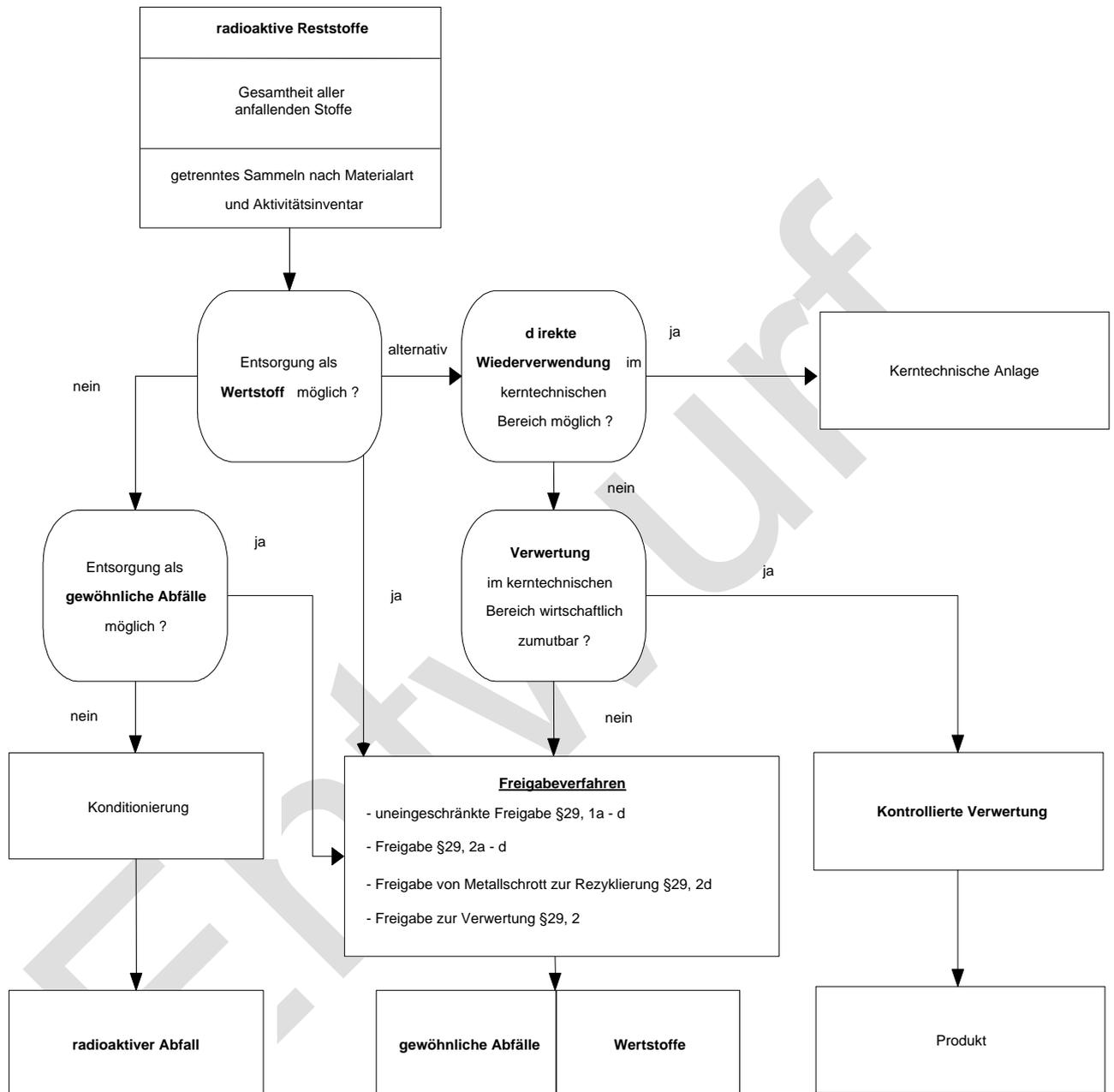
Verwertung

Nutzung als radioaktiver Stoff oder als Wertstoff auf bestimmten Verwertungspfaden.

Wertstoff

Radioaktive Reststoffe die nicht als radioaktiver Abfall entsorgt werden.

Anlage D-2: Festlegung des Entsorgungsziels



Anlage D-3: Zuständigkeiten

Die Zuständigkeit für die in Abschnitt D.1.1 genannten Stoffe von der Übergabe an die Gruppe Entsorgung bis zur Freigabe oder der Übergabe an ein Endlager liegt bei der Abteilung Strahlenschutz, Gruppe Entsorgung. Zuständig für die Behandlung der radioaktiven Abfälle ist die Gruppe Entsorgung der Abteilung RS. RS legt die Vorgehensweise bei der geordneten Beseitigung der radioaktiven Rohabfälle fest. Arbeiten, bei denen radioaktive Reststoffe bzw. Rohabfälle anfallen können, sind unter Einbeziehung der Abteilung RS zu planen. Die Einhaltung der mit RS abgestimmten Vorgehensweise bei Ausführung der Arbeiten obliegt dem für die Arbeiten zuständigen Abteilungsleiter aus ZAR.

Der Gruppenleiter Entsorgung kann für die Bearbeitung und den Transport der anfallenden Abfälle auch fachkundiges Personal anderer Abteilungen der Zentralabteilung Forschungsreaktor oder Fremdpersonal einsetzen.

Im Rahmen seiner Zuständigkeit für die Entsorgung der Reststoffe gemäß Abschnitt D.1.1 ist der Gruppenleiter Entsorgung für die folgenden Aufgaben verantwortlich:

- Erstellung und Nachführung des Verfahrens zur Behandlung von radioaktiven Reststoffen, die nicht als radioaktive Abfälle entsorgt werden, sowie radioaktiven Abfällen,
- Kontinuierliche Prüfung und ggf. Optimierung der Arbeitsabläufe im Zusammenhang mit radioaktiven Reststoffen, die nicht als radioaktive Abfälle entsorgt werden, sowie radioaktiven Abfällen,
- Planung und Überwachung von Arbeiten zur Behandlung von radioaktiven Reststoffen, die nicht als radioaktive Abfälle entsorgt werden, sowie radioaktiven Abfällen,
- Jährliche Berichterstattung gemäß § 70 StrlSchV Abs. 2 über die Massen der Stoffe, die über das Freigabeverfahren aus dem Geltungsbereich des AtG entlassen werden,
- Buchführung gemäß § 70 StrlSchV Abs. 3 über die Stoffe, für die eine wirksame Feststellung nach § 29 Abs. 3 StrlSchV getroffen wurde,
- Mitteilung nach § 70 StrlSchV Abs. 1.

Folgende Aufgaben obliegen gemäß § 33 Abs. 1 StrlSchV dem zuständigen Strahlenschutzbeauftragten:

- Erfassung und Buchführung radioaktiver Abfälle gemäß § 73 StrlSchV,
- Berichterstattung zum erwarteten und tatsächlichen Anfall sowie zum Verbleib radioaktiver Abfälle gemäß § 72 StrlSchV,
- Einhaltung behördlicher Auflagen und Anordnung bezüglich der Behandlung und Verpackung radioaktiver Abfälle (§ 74 StrlSchV),
- Einhaltung der Verpflichtungen bei der Abgabe und Ablieferung radioaktiver Abfälle gemäß § 75 StrlSchV,
- Betrieb der Einrichtung zur Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle (§ 78 StrlSchV),
- Einhaltung der Maßgaben des § 79 StrlSchV zur Verhinderung einer Umgehung der Pflichten beim Umgang mit radioaktiven Reststoffen gemäß §§ 72 bis 78 StrlSchV,
- Beantragung der Freigabe gemäß § 29 Abs. 2 Satz 1 StrlSchV sowie Nachweis der abfallrechtlichen Zulässigkeit gemäß § 29 Abs. 5 StrlSchV,
- Festlegung über die Einhaltung der Anforderungen des behördlichen Freigabebescheids gemäß § 29 Abs. 3 StrlSchV,
- Einhaltung des Verbots der zielgerichteten Verdünnung oder Vermischung von Reststoffen zur Erreichung des Freigabeziels gemäß § 29 Abs. 2 StrlSchV,
- Überwachung des Herausbringens von Gegenständen aus dem Kontrollbereich gemäß § 44 StrlSchV.

Anlage D-4: Ermittlung des Nuklidvektors

1 Nuklidauswahl

Co-60 und Cs-137+ sind grundlegende Schlüsselnuklide, zu denen sich die meisten oder alle anderen relevanten Radionuklide über Hochrechnungsfaktoren korrelieren lassen. Diese sind in jedem Fall bei der Freigabe zu berücksichtigen.

1.1 Typische Radionuklide im HZG in der Kontamination

Es können – je nach Ergebnis der Beprobungen – in der Kontamination weitere Radionuklide wie z. B. die folgenden zu berücksichtigen sein:

C-14, Mn-54, Fe-55, Ni-63, Zn-65, Sr-90+, Zr-95, Nb-94, Nb-95, Ru-106+, Ag-110m+, Sb-125+, Cs-134, Eu-152, Eu-154, Eu-155, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241, Am-241, Cm-242, Cm-244.

Weitere Radionuklide sind aufgrund der z. T. recht kurzen Halbwertszeit, der sehr geringen Radiotoxizität oder der geringen Bildungsrate in den Brennelementen in aller Regel nicht zu berücksichtigen.

1.2 Typische Radionuklide im HZG in aktiviertem Material

In durch Neutronenfluss aktiviertem Material sind die relevanten Radionuklide nach Materialart zu unterscheiden.

in Stahl- und Metallwerkstoffen sind in der Regel relevant:

Fe-55, Mn-54, Co-60, Zn-65, Ag-108m, Ag-110m;

in Beton- und Mineralwerkstoffen sind in der Regel relevant:

C-14, Ca-41, Mn-54, Fe-55, Co-60, Ba-133m, Eu-152, Eu-154;

in Kunststoffen sind in der Regel relevant:

C-14, Cl-36;

in Kupferkabeln sind in der Regel relevant:

Ni-63, Ag-108m, Sb-125.

2 Ableitung der Aktivitätsanteile aus der Beprobung

Anhand der gammaspektroskopischen Auswertung einer oder mehrerer Probe(n) sind die Aktivitätsanteile für die zu berücksichtigenden Radionuklide zu bilden.

2.1 Berechnung von Nuklidvektoren durch Mittelwertbildung

Bei erforderlicher Mittelwertbildung aus mehreren Proben ist folgende Vorgehensweise erforderlich:

Nuklide, die in allen Proben als Messwert oberhalb der Erkennungsgrenze identifiziert wurden (arithmetische Mittelwertbildung).

Bei Nukliden, die nur in einer Probe einen Messeffekt oberhalb der Erkennungsgrenze geliefert haben, sind die erreichten Erkennungsgrenzen der anderen Probenauswertungen als Messwert zu interpretieren und durch arithmetische Mittelwertbildung der Nuklidanteil zu bestimmen.

In Abhängigkeit von der gewählten Freigabeoption ist ein Korrekturfaktor zu berechnen, welcher die Schwankungsbreite relevanter Radionuklide berücksichtigt. Hiermit sind Typ B- Unsicherheiten gemäß DIN ISO 11929 berücksichtigt.

2.2 Berechnung von abdeckenden Nuklidvektoren

Die abdeckenden Nuklidvektoren werden ermittelt, indem die ungünstigste Relation der Nuklide zueinander berechnet wird.

Unter ungünstig ist dabei zu verstehen, dass einerseits entsprechend der Summenformel nach StrlSchV Anlage IV Ziffer 1 Buchstabe e das größtmögliche Verhältnis der spezifischen Aktivitäten zu den Freigabewerten der gewählten Freigabeoption (flächen- und massebezogen) erreicht wird.

3 Bestimmung von weiteren Nukliden mittels Schlüsselnuklid Korrelationen

Mit den Schlüsselnukliden Co-60 und Cs-137 werden über die in HZG ermittelten Hochrechnungsfaktoren die sonstigen relevanten Nuklide berechnet.

Radionuklide mit einem Aktivitätsanteil von weniger als 1 % jeweils bezogen auf die Aktivität des zugehörigen Schlüsselnuclids in der freizugebenden Materialcharge bleiben unberücksichtigt.

Die ermittelten Aktivitätsanteile sind auf einen Gesamtaktivitätswert von 100 % zu normieren und werden als vollständiger Nuklidvektor bezeichnet.

4 Für das Freigabeverfahren zu berücksichtigende Radionuklide

Für Freigabemessungen müssen die Aktivitätsanteile der relevanten Radionuklide festgelegt sein. Diese Festlegung muss abdeckend erfolgen, d. h. im Wesentlichen so, dass die Aktivität der radiologisch relevanten Nuklide nicht unterschätzt wird.

Auf diese Liste von Aktivitätsanteilen ist die „10 %-Regel“ gemäß Anlage IV Teil A Nr. 1 Buchst. e StrlSchV anzuwenden. Dies bedeutet, dass alle Nuklide, deren zusammengerechneter Beitrag zur massen- und zur flächenbezogenen Summenformel jeweils den Wert von 10 % nicht übersteigt, vernachlässigt werden können. Sie werden aus der Liste der zu berücksichtigenden Radionuklide gestrichen.

Wenn die Freigabe sowohl nach flächen- wie nach massenspezifischen Freigabewerten erfolgen soll, ist zu beachten, dass nur die Nuklide unberücksichtigt bleiben dürfen, die sowohl bei der flächen- als auch bei der massenspezifischen Summenformel zusammengerechnet nicht mehr als 10 % betragen.

In der praktischen Anwendung des 10 %-Abschneidekriteriums werden die Radionuklide entsprechend ihrem Anteil am gewichteten und normierten Nuklidvektor, beginnend mit dem Nuklid mit dem größten Anteil, addiert, bis 90 % erreicht sind. Nur diese sind dann noch für den Nuklidvektor relevant. Die Nuklide deren Anteil in der Summe unter 10 % bleibt, können dann weggelassen werden. Danach ist der nicht gewichtete Nuklidvektor nur mit den relevanten Nukliden (Anteil > 90 %) neu zu normieren.

Zulässig ist auch, bei der Addition der Nuklidanteile in der Reihenfolge der steigenden Nuklidanteile ein Nuklid auszusparen und ein oder mehrere Nuklide mit geringeren Anteilen zu berücksichtigen, wenn sich dadurch z. B. der Analysenaufwand verringert. Das kann z. B. dadurch geschehen, dass Nuklide weggelassen werden, die nur radiochemisch bestimmbar sind, zugunsten von Nukliden, die gammaspektrometrisch messbar sind.

Die so erstellte Liste von Aktivitätsanteilen der relevanten Nuklide ist im Freigabeverfahren für das Material, welches sie repräsentiert, zugrunde zu legen. Sie wird als abgeschnittener Nuklidvektor im Freigabeverfahren benutzt.

5 Gültigkeitszeitraum der Nuklidvektoren

Die ermittelten Nuklidvektoren sind jeweils für einen bestimmten festzusetzenden Zeitraum gültig, der in der Regel mindestens 1 Jahr beträgt.

Hinweis:

Grundlage der beschriebenen Vorgehensweise ist der BfS-Bericht „Empfehlungen zur Ermittlung der Repräsentativität von Nuklidvektoren bei Freigabemessungen“, Vorhaben 3604SO4441.

Entwurf

Anlage D-5: Stoffart- und entsorgungsspezifische Festlegungen

Tabelle D-1: Freigabeoptionen für unterschiedliche Stoffe gemäß StrlSchV

Uneingeschränkte Freigabe	Freigabe zur Beseitigung	Bezeichnung	Jahresmenge	Freigabewerte gemäß Anlage III Tabelle 1	Festlegungen	Feste Oberfläche, sofern vorhanden: Anlage III Spalte 4
x		Feste Stoffe		Spalte 5 oder Tabelle 3	Anlage IV • Teil A Nummer 1 und • Teil B	x
x		Flüssige Stoffe, nur Öle und ölhaltige Flüssigkeiten, organische Lösungs- und Kühlmittel				
x		Bauschutt und Bodenaushub	weniger als 1000 Tonnen pro Jahr	Spalte 5 oder Tabelle 3	Anlage IV • Teil A Nummer 1 und • Teil B	x
x		Bauschutt und Bodenaushub	mehr als 1000 Tonnen pro Jahr	Spalte 6	Anlage IV • Teil A Nummer 1, • Teil B und • Teil F	x
	x	Feste Stoffe zur Beseitigung auf Deponien	bis zu 100 Tonnen im Jahr	Spalte 9 a	Anlage IV • Teil A Nummer 1 und • Teil C	x
	x	Feste Stoffe zur Beseitigung auf Deponien	mehr als 100 Tonnen und weniger als 1000 Tonnen	Spalte 9 c		
	x	Stoffe zur Beseitigung in einer Verbrennungsanlage	bis zu 100 Tonnen im Jahr	Spalte 9 b	Anlage IV • Teil A Nummer 1 und • Teil C	x
	x	Stoffe zur Beseitigung in einer Verbrennungsanlage	mehr als 100 Tonnen und weniger als 1000 Tonnen	Spalte 9 d		
	x	Stoffe zur Beseitigung in einer Verbrennungsanlage oder Deponie	mehr als 1000 Tonnen pro Jahr	besondere Rechenvorschrift gemäß Anlage IV Teil C		
	x	Metallschrott zur Rezyklierung		Spalte 10 a	Anlage IV • Teil A Nummer 1 und • Teil G	x

Während des Freigabeverfahrens sind bei den Messungen materialspezifische Besonderheiten zu beachten, die nachfolgend beschrieben werden.

1 Inhomogene radioaktive Reststoffe

Ggf. sind aus dem Bereich der höchsten Impulsrate Proben zu nehmen (z. B. Leuchtstoffröhren: Entnahme von Wischtesten) und gammaspektrometrisch auszuwerten.

2 Sperrige Gegenstände

- Ausmessen der Gegenstände mittels Großflächenzähler auf Oberflächenkontamination. Feststellung, ob die Freigabewerte nach Anlage III Tabelle 1 Spalte 4 StrISchV eingehalten werden (Entscheidungsmessung).
- Entnahme ergänzender Materialproben, wenn möglich an den Stellen höchster Impulsraten.

3 Aktivierung

Voraussetzungen für die Freigabe bei einer möglichen Aktivierung werden im Einzelfall festgelegt.

4 Radioaktive Reststoffe in homogener Durchmischung

- Für die Entscheidungsmessung ist aus jedem Behälter jeweils eine repräsentative Probe zu ziehen und gammaspektrometrisch auszuwerten.

5 Flüssigkeiten

Die Entscheidungsmessung erfolgt für Flüssigkeiten durch Gewinnung einer repräsentativen Probe und ihre gammaspektrometrische Auswertung.

6 Schüttgut

Schüttgüter können mit einer massenbezogenen Entscheidungsmessung freigegeben werden. Eine direkte Wiederverwendung und Handhabung muss durch das Entsorgungsunternehmen ausgeschlossen werden.

Anlage D-6: HZG-Freigabeplan

Blatt 1 von 2					
HZG-Freigabeplan für die Freigabe nach § 29 StrlSchV					
Chargen-Nr.: _____		Stempeloriginal _____			
Reststoffart (Volltextbeschreibung): _____					
Freigabe nach § 29 StrlSchV - Anlage III Tabelle 1, Spalte _____ und _____					
- Anlage IV, Teil A und Teil _____					
<input type="checkbox"/> Feste Stoffe <input type="checkbox"/> Flüssigkeiten <input type="checkbox"/> _____					
RuFO s. Pkt. 1.12.	Beschreibung des Arbeits- bzw. Prüfschrittes	Formblatt / Anweisung	Durchführung Arb./Prüfschritt HZG SV		Erledigungsvermerk
2.3	Voruntersuchung Vorläufiges Entsorgungsziel festlegen - auf Basis der betrieblichen Kenntnisse - auf Basis Messungen / Probenahmen		<input type="checkbox"/>		
	Festlegung des Nuklidvektors - auf Basis VDK-Probe - Festlegung im Einzelfall		<input type="checkbox"/>		
	Festlegung des Messverfahrens - oberflächenspezifische Messungen - massenspezifische Messungen		<input type="checkbox"/>		
2.4	Vorbehandlung Konfektionierung der Reststoffe - Zerlegen / Zerkleinern Dekontamination der Reststoffe - Verfahren :		<input type="checkbox"/>		
			<input type="checkbox"/>		
2.5	Vorlage des Stempeloriginals bei der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde (Kopie)		<input type="checkbox"/>		
2.6	Orientierungsmessung Orientierungsmessung (bei vorgesehener Entscheidungsmessung mit z.B. FMA)		<input type="checkbox"/>		
2.7	Entscheidungsmessung		<input type="checkbox"/>		
2.7.1	Messung der Oberflächenkontamination		<input type="checkbox"/>		
2.7.2	Messung der Gesamtaktivität (z.B. Freimeßanlage, Gammascanner)		<input type="checkbox"/>		
2.7.3	Ermittlung der spezifischen Aktivität durch Probenahme Probenahme Probenanalyse (z. B. Gammaskopimetrie)		<input type="checkbox"/>		
			<input type="checkbox"/>		

Blatt 2 von 2					
RuFO s. Pkt. 1.12.	Beschreibung des Arbeits-bzw. Prüfschrittes	Formblatt / Anweisung	Durchführung Arb./Prüfschritt		Erledigungs-vermerk
			HZG	SV	
2.9	Kontrollmessungen Festlegung der Kontrollgebände / -meßgüter <u>Durchführung der Kontrollmessungen</u> - Direktmessungen - Probenahmen und Auswertungen (siehe 2.7.3) - Messung z. B. mit einer Freimessanlage - Auswertung und Dokumentation der Kontrollmessung unabhängige Kontrollmessung		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.10	Feststellung und Anzeige				
2.10.1	Feststellung gem. § 29 Abs. 3 StrlSchV - Prüfung der Messergebnisse - Prüfung der Gesamtdokumentation - Annahmeerklärung der Aufsichtsbehörde der Beseitigungsanlage § 29 Abs. 5 StrlSchV Prüfung der Einspruchsfrist der Aufsichtsbehörde der Beseitigungsanlage (30 Kalendertage)		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
2.10.1	Feststellung des Strahlenschutzbeauftragten Name (in Druckbuchstaben) _____ Datum _____ Unterschrift _____		<input type="checkbox"/>		
2.10.2	Anzeige bei atomrechtlichen Aufsichtsbehörde Name (in Druckbuchstaben) _____ Datum _____ Unterschrift _____		<input type="checkbox"/>		
2.11	Entlassung und Abtransport Prüfung des Fristablaufes für Einwendungen der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde (30 Kalendertage) Chargengröße Gewicht/Menge _____ kg Herkunft _____ Empfänger _____ Transporteur _____		<input type="checkbox"/>		
	Dokumentation des Abtransportes Datum _____ Empfänger _____ Name _____	Nachweis der Anlieferung durch Empfänger (nur bei Beseitigung und Rezyklierung) Datum _____ Name / Stempel _____ Unterschrift _____			

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 am 26.07.2016 (BGBl. I S. 1843).
- /2/ Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714; 2002 I S. 1459), zuletzt geändert durch Artikel 8 des Gesetzes vom 26. Juli 2016 (BGBl. I S. 1843).
- /3/ Ermittlung des Aktivitätsinventars der Forschungsreaktoranlage und des Heißen Labors – Erläuterungsbericht zur Stilllegung des Forschungsreaktors FRG-1 und Abbau der Forschungsreaktoranlage und des Heißen Labors sowie die Zerlegung des Reaktordruckbehälters des Nuklearschiffs Otto Hahn, Helmholtz-Zentrum Geesthacht – Zentrum für Material- und Küstenforschung GmbH, Rev. 0, 2. März 2015.
- /4/ Leitfaden zur Stilllegung, zum sicheren Einschluss und zum Abbau von Anlagen oder Anlagenteilen nach § 7 Atomgesetz, 23. Juni 2016 (BAnz AT 19.07.2016 B7).
- /5/ 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.
- /6/ Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen, Amtliche Fassung veröffentlicht im BAnz. AT 04.01.2016 B4.
- /7/ Sicherheitsbericht für den Forschungsreaktor FRG-1 in der Fassung vom 06.01.2014 sowie Sicherheitsbericht für das Heiße Labor in der Fassung vom 08.04.2014.
- /8/ Betriebshandbuch FRG Kap. 1.8 Brandschutzordnung in der Fassung vom 02.08.2014.
- /9/ Großes Handbuch Chemie, Buch und Zeit Verlagsgesellschaft mbH, Köln, (ISBN 3-8166-0379-3), S. 165 f.
- /10/ Gutachterliche Stellungnahme zur Nutzung des Ostteils der HAKONA als Bereitstellungshalle, Technischer Überwachungs-Verein Nord e. V., Hamburg, Juli 1994.
- /11/ Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, Freisetzung von Radionukliden bei Störfällen in Anlagen des Brennstoffkreislaufes – Experimentelle Kenntnisse, BMU-1990-274, Juli 1990, ISSN0724-3316.
- /12/ Transportstudie Konrad 2009, Sicherheitsanalyse zur Beförderung radioaktiver Abfälle zum Endlager Konrad, F.-N. Sentuc, W. Brücher, U. Büttner, H.-J. Fett, F. Lange, R. Martens, B. M. Schmitz, G. Schwarz, Dezember 2009, mit Corrigendum vom April 2010.

- /13/ Dosiskoeffizienten bei äußerer und innerer Strahlenexposition, Beilage 160 a und b zum Bundesanzeiger vom 28. August 2001.
- /14/ DIN 4149, Bauten in deutschen Erdbebengebieten; Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten, Ausgabe 04/05.
- /15/ STRESS 2002, Version 2.0-5 vom 09.03.2003, TÜV NORD, Bereich Energie- und Systemtechnik, Hamburg.
- /16/ 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.
- /17/ F.W. Krüger, L. Albrecht, E. Spoden und W. Weiss: Der Ablauf des Reaktorunfalls Tschernobyl 4 und die weiträumige Verfrachtung des freigesetzten Materials: Neuere Erkenntnisse und ihre Bewertung in: A. Bayer, A. Kaul, C. Reiners: Zehn Jahre nach Tschernobyl, eine Bilanz Gustav Fischer Verlag, Stuttgart (1996).
- /18/ Simulationsprogramm „SAFER 2“ (Version 2.5.2), TÜV NORD.
- /19/ Empfehlung der Strahlenschutzkommission (SSK): Radiologische Grundlagen für die Entscheidung über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei unfallbedingter Freisetzung von Radionukliden mit Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen und Leitfaden zur Information der Öffentlichkeit in kerntechnischen Notfällen (Bundesanzeiger 2008, Nr. 152 a).
- /20/ Empfehlung der RSK „Sicherheitsanforderungen an die längerfristige Zwischenlagerung schwach- und mittelaktiver Abfälle“, Fassung vom 05.12.2002 (mit Neuformulierung in Abschnitt 2.7.1 (dritter Spiegelstrich) vom 16.10.2003).
- /21/ Empfehlung der Entsorgungskommission „ESK-Leitlinien für die Zwischenlagerung von radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung“, 10.06.2013.
- /22/ DIN EN 1998-1/NA:2011-01, Nationaler Anhang zur Europäischen Norm EN 1998-1 „Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbau“, Stand: Januar 2011.
- /23/ Zerlegekonzept des Reaktordruckbehälters des NS 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, Helmholtz-Zentrum Geesthacht – Zentrum für Material- und Küstenforschung GmbH, Rev. 0, 30. November 2016.
- /24/ Simulationsprogramm „STRESS 2007“ (Version 4.0.2), TÜV NORD.
- /25/ Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle (Endlagerbedingungen), Bundesamt für Strahlenschutz, Stand Oktober 2010.

- /26/ Stellungnahme der Entsorgungskommission, revidierte Fassung vom 18.10.2013 „ESK-Stresstest für Anlagen und Einrichtungen der Ver- und Entsorger in Deutschland; Teil 2: Lager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle, stationäre Einrichtungen zur Konditionierung schwach- und mittelradioaktiver Abfälle, Endlager für radioaktive Abfälle“.

Entwurf