

Ressortforschungsberichte zum Strahlenschutz

Überarbeitung der Strahlenschutzverordnung bzgl. der Regelungen zur Freigabe künstlicher radioaktiver Stoffe zur Umsetzung der neuen Euratom-Grundnormen in deutsches Recht – Konzept zur Umsetzung - Vorhaben 3614R03520

Band 4: Bericht zu AP3

Auftragnehmer:
Brenk Systemplanung GmbH (BS)

Dr. S. Thierfeldt
Dr. R. Kunz
Dr. O. Nitzsche

Das Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) und im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) durchgeführt.

Dieser Band enthält einen Ergebnisbericht eines vom Bundesamt für Strahlenschutz im Rahmen der Ressortforschung des BMUB (UFOPLAN) in Auftrag gegebenen Untersuchungsvorhabens. Verantwortlich für den Inhalt sind allein die Autoren. Das BfS übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie die Beachtung privater Rechte Dritter. Der Auftraggeber behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit seiner Zustimmung ganz oder teilweise vervielfältigt werden.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der des BfS übereinstimmen.

BfS-RESFOR-132/18

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokumentes immer auf folgende URN:
urn:nbn:de:0221-2018050314821

Salzgitter, Mai 2018

**Überarbeitung der Strahlenschutzverordnung bzgl. der
Regelungen zur Freigabe
künstlicher radioaktiver Stoffe
zur Umsetzung der neuen
Euratom-Grundnormen in
deutsches Recht –
Konzept zur Umsetzung
Bericht zu AP3**

BS-Projekt-Nr. 1406-05
Forschungsvorhaben 3614R03520

erstellt im Auftrag des
Bundesamtes für Strahlenschutz
Neuherberg

durch die
Brenk Systemplanung GmbH (BS)
Heider-Hof-Weg 23
52080 Aachen

31.12.2016

Anmerkung:

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

Dieser Bericht wurde von folgenden Bearbeitern erstellt:

- *Dr. Stefan Thierfeldt*
- *Dr. Ralf Kunz*
- *Dr. Olaf Nitzsche*

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

ERSTELLUNG, PRÜFUNG UND FREIGABE

erstellt	geprüft	freigegeben
Projektleiter	Geschäftsbereichsleiter	Geschäftsführung

Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht ist ein Teilbericht zum Forschungsvorhaben „Überarbeitung der Strahlenschutzverordnung bzgl. der Regelungen zur Freigabe künstlicher radioaktiver Stoffe zur Umsetzung der neuen Euratom-Grundnormen in deutsches Recht – Konzept zur Umsetzung“. Er befasst sich mit der Untersuchung der Herleitung von Freigabewerten für die uneingeschränkte Freigabe flüssiger Reststoffe.

In den Freigaberegungen der StrlSchV wird unterschieden zwischen

- Ölen, ölhaltigen Flüssigkeiten und organische Lösungs- und Kühlmittel sowie
- Wasser und wässrige Flüssigkeiten.

Diese Unterscheidung ist darin begründet, dass sich beide Gruppen von Flüssigkeiten deutlich unterschiedlich bzgl. einer möglichen Aufkonzentration nach der Freigabe verhalten können. Wasser und wässrige Flüssigkeiten wie z. B. verdünnte Laugen oder Säuren können durch Eindampfen aufkonzentriert werden (z. B. wenn eine schwache in eine starke Säure überführt wird), so dass prinzipiell die Konzentration von Radionukliden nach der Freigabe erheblich geändert werden kann.

In dieser Untersuchung werden zunächst Fakten zu dem aktuellen und demnächst zu erwartenden Aufkommen verschiedener Flüssigkeiten aus kerntechnischen Anlagen und dem nach StrlSchV genehmigten Umgang mit radioaktiven Stoffen zusammengestellt. Daran anschließend werden radiologische Modelle für die Freigabe von Flüssigkeiten verschiedener Art, sowohl für die uneingeschränkte Freigabe als auch für Einzelfallnachweise, die in Deutschland in der Vergangenheit angewendet wurden, zusammengestellt. Hieraus werden Schlussfolgerungen für eine Modellierung für die uneingeschränkte Freigabe von Flüssigkeiten der beiden oben genannten Kategorien gezogen. Hierzu wird ein radiologisches Modell entwickelt und mit den Werten nach Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV auf Einhaltung des Dosisrichtwerts 10 μ Sv im Kalenderjahr geprüft.

In einem ersten Schritt werden die relevanten Arten von Flüssigkeiten, die aus kerntechnischen Anlagen sowie aus nach StrlSchV genehmigtem Umgang anfallen können, dargestellt. Es handelt sich insgesamt um zwei große Gruppen:

- Anorganische flüssige radioaktive Reststoffe
 - Chemieabwässer: Betriebsabwässer, Prozessabwässer, Dekontaminationsabwässer, Laborabwässer, Säuren und Laugen;
 - Schlämme und Suspensionen: Abschlammungen, Ionenaustauscher-Suspensionen, Fäll- und Sumpfschlämme;
 - Biologische Abwässer: Medizinische Abwässer, Pharma-Abwässer, Fäkal-Abwässer.
- Organische flüssige radioaktive Reststoffe
 - Öle: Schmieröle, Hydrauliköle, Turbinenöle, Transformatorenöle;
 - Lösungsmittel verschiedener Art, darunter auch Szintillationslösungen und mit Radionukliden markierte Flüssigkeiten;
 - Treibstoffe (Benzin, Diesel);
 - Emulsionen.

Für diese Arten von Flüssigkeiten werden die Verwertungs- und Beseitigungspfade zusammengestellt.

Die folgenden radiologischen Modelle wurden in Deutschland in der Vergangenheit für die Modellierung der Freigabe von Flüssigkeiten verwendet:

- Uneingeschränkte Freigabe von Flüssigkeiten im Vorfeld der StrlSchV von 2001; auf dieser Basis wurden die gegenwärtigen Regelungen für die Freigabe von Ölen und organischen Flüssigkeiten abgeleitet; es handelt sich um generische Szenarien.
- Freigabe von Zutrittslösungen aus der Schachtanlage Asse II; dieses Modell dient speziell der Abgabe von salzhaltigen Zutrittslösungen aus der Schachtanlage Asse II an umliegende Salzbergwerke, wo diese Lösungen zum Anmischen von Versatzstoffen für den Versatz von offenen Strecken verwendet wurden; es handelt sich um fallbezogene Szenarien im Sinne eines Einzelfallnachweises.
- Modellierung der Freigabe von Flusssäure, die bei der Brennelementherstellung anfällt, allerdings kontaminationsfrei ist; hierbei werden spezielle Verwertungswege betrachtet, so dass diese Modellierung einem Einzelfallnachweis entspricht.
- Freigabe von Abwässern zur Verregnung auf Grünflächen oder anderen öffentlichen Flächen; diese Szenarien sind hinreichend generischer Natur und können für die Herleitung von Freigabewerten für die „uneingeschränkte“ Freigabe von Wasser und wässrigen Flüssigkeiten angewendet werden.
- Szenarien zur Herleitung der Ableitungswerte gem. Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV: Diese Szenarien dienen ausschließlich der Herleitung der Werte in Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV und unterstellen eine Vermischung mit Mindestmengen sonstigen Wassers. Das vermischte Wasser wird als Trinkwasser und für andere radioökologische Pfade verwendet.
- Daneben wurden zu verschiedenen Anlässen extreme Szenarien betrachtet, die im Wesentlichen den direkten Verzehr von Wasser betrachtet haben, das unmittelbar und ohne weitere Vermischung unter Anwendung von Freigabewerten nach Anl. III Tab. 1 Sp. 5 StrlSchV oder der Freigrenzen nach Anl. III Tab. 1 Sp. 3 StrlSchV freigegeben wurde. Hierbei wurden z. T. extreme Annahmen bzgl. der Verzehrsmengen und somit der Radionuklidaufnahme getroffen und somit extrem hohe Individualdosen berechnet.
- Die Modellierung im TECDOC 1000 der IAEA für die Freigabe von Flüssigkeiten aus dem Umgang in Medizin, Industrie und Forschung gelangt zu Ableitungswerten, die vom Prinzip her (nicht in den Zahlenwerten) denjenigen aus Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV entsprechen. Es werden Szenarien betrachtet, die für Ableitungen unter Berücksichtigung von Vermischung mit sonstigem Wasser zutreffend sind.

Aus dieser Übersicht verschiedener Modelle werden folgende Schlussfolgerungen gezogen:

- Die Unterscheidung zwischen wässrigen und ölhaltigen bzw. organischen Flüssigkeiten ist für die Modellierung unbedingt beizubehalten.
- Für ölhaltige bzw. organische Flüssigkeiten ist die direkte Wiederverwendung, die Verwertung nach Filtration sowie die Beseitigung durch Verbrennung zu betrachten. Hierbei ist auch der Filtrerrückstand zu betrachten, da sich darin die Aktivität anreichern kann. – Diese Szenarien wurden in der bisherigen Betrachtung, die den Freigabewerten in der StrlSchV zugrunde liegt, berücksichtigt.
- Für wässrige Flüssigkeiten spielt die Möglichkeit der Aufkonzentration und somit die erhöhte Ausschöpfung der Freigabewerte in der Bewertung der Szenarien durch die Öffentlichkeit eine sehr erhebliche Rolle. Es sollte daher durch die Art der Abgabe automatisch sichergestellt werden, dass keine Aufkonzentration stattfinden kann, was in den betrachteten Szenarien auch einzubeziehen ist. Die effektivste Art, eine Aufkonzentration in jedweder Form zu unterbinden, ist die Verregnung des Wassers oder die Abgabe in einen Vorfluter.
- Im Fall wässriger Flüssigkeiten erscheint es außerdem sinnvoll, die Masse der pro Jahr von einem Anwender „uneingeschränkt“ freigebbaren Flüssigkeiten zu begrenzen. Der Grund ist, dass andernfalls die Trennung zu Ableitungen im Sinne von § 47 StrlSchV aufgehoben werden würde. Als sinnvolle Begrenzung der Freigabe wird 100 m³ bzw. 100 Mg angesetzt, was

sich an den Regelungen für die Freigabe zur Beseitigung für kleinere Anwender (§ 29 Abs. 2 Nr. 2 Buchst. a bzw. b Doppelbuchst. aa StrlSchV) orientiert.

Hierauf aufbauend wird ein radiologisches Modell entwickelt, das die Verregnung auf Freiflächen betrachtet, z. B. zur Bewässerung von Grünflächen im Sommer bei Trockenheit oder auf versiegelten oder Brachflächen zur Staubbiederschlagung. Das Modell umfasst die folgenden Szenarien:

- Fahrer des Fahrzeugs, von dem aus die Bewässerung erfolgt: Exposition durch externe Gamma-Bestrahlung durch das Wasser im Tank während der gesamten Fahrzeit bis zum Leeren des Tanks. Inhalation und Ingestion sind ausgeschlossen.
- Personen, die sich auf der berechneten Fläche aufhalten und diese als Liegewiese nutzen: externe Beta- und Gamma-Bestrahlung durch die oberflächennah eingedrungenen Radionuklide aus der Beregnung. Inhalation und Ingestion spielen keine Rolle, da das Wasser samt der darin befindlichen Radionuklide in die Bodenschicht eindringt.
- Personen, die Grundwasser aus einem Privatbrunnen stromab der berechneten Fläche nutzen: Sekundäringestion über verschiedene radioökologische Pfade (Trinkwasser, berechneten Nutzpflanzen).

Das Modell wird mit den Werten aus Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV auf die Einhaltung des Dosisrichtwerts $10 \mu\text{Sv}$ im Kalenderjahr für die betrachteten Personengruppen geprüft. Dieser Wertesatz wird aus folgendem Grund verwendet: Für wässrige und sonstige Flüssigkeiten kann gemäß § 29 Absatz 2 Satz 3 der StrlSchV „derzeit die Freigabe im Einzelfall erteilt werden, falls die Einhaltung des Schutzzieles einer effektiven Dosis im Bereich von 10 Mikrosievert pro Jahr für Einzelpersonen der Bevölkerung nachgewiesen ist, die Freigrenzen der Anlage III Tabelle 1 Spalte 3 zu § 29 StrlSchV nicht überschritten werden und, sofern die Flüssigkeit abgeleitet werden könnte, höchstens der in Anlage VII Teil D Tabelle 4 Spalte 3 zu § 47 StrlSchV genannte Wert auftritt.“ Die Werte sind also nicht als Freigabewerte, sondern nur als deren obere Grenzen angegeben. Daher liegt es nahe, zu prüfen, ob diese Werte auch als Freigabewerte für die (im oben beschriebenen Sinne) „uneingeschränkte“ Freigabe Anwendung finden können. Die radiologischen Berechnungen liefern die folgenden Ergebnisse:

- Bei Einhaltung der volumenbezogenen Aktivitäten im freizugebenden Wasser gem. Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV ist im Falle der Verregnung von bis zu 100 m^3 im Kalenderjahr für alle Radionuklide die Einhaltung des Dosisrichtwerts von $10 \mu\text{Sv}$ im Kalenderjahr nachgewiesen.
- Diese Aussage gilt auch für die Möglichkeit, dass das Wasser nicht verregnet, sondern direkt in die Kanalisation eingeleitet oder an eine Kläranlage abgegeben wird.
- Die hier beschriebene Vorgehensweise stellt sicher, dass für das freigegebene Wasser keine Möglichkeit der Aufkonzentration besteht, woraus sich eine nachträgliche Erhöhung der Konzentration der Radionuklide im Wasser ergeben könnte.

Werden die massenbezogenen Aktivitätswerte der Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 mit den (ergänzten) Werten nach Anh. VII Tab. A Teil 1 der EU-Grundnormen verglichen, so sind die Werte aus Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 für alle Radionuklide außer Mn-54 und Tb-149 kleiner oder gleich den neuen Freigabewerten der EU-Grundnormen. Für Mn-54 ergibt sich Kompatibilität bei Vernachlässigung der Rundung in Anh. VII Tab. A Teil 1 der EU-Grundnormen, für Tb-149 aufgrund der extrem kurzen Halbwertszeit von nur 4,1 h.

Es werden abschließend die folgenden Schlussfolgerungen für die künftige Ausgestaltung der Regelungen zur Freigabe von Flüssigkeiten gezogen:

- Für Öle und organische Flüssigkeiten, die zur Verwertung freigegeben werden sollen, eignen sich die Freigabewerte für die uneingeschränkte Freigabe. Dies sind gegenwärtig die Werte gemäß Anl. III Tab. 1 Sp. 5 StrlSchV. Zukünftig können die Werte gemäß Anh. VII Tab. A Teil 1 der EU-Grundnormen angewendet werden. Selbstverständlich kann bei dieser Art der

Freigabe auch eine Beseitigung der Öle und organischen Flüssigkeiten durch Verbrennung erfolgen.

- Für Öle und organische Flüssigkeiten, die speziell zur Beseitigung durch Verbrennung freigegeben werden sollen, eignen sich wie bisher die Freigabewerte nach Anl. III Tab. 1 Sp. 9b bzw. 9d StrlSchV.
- Für wässrige Flüssigkeiten einschließlich Wasser wurde gezeigt, dass die Anwendung der Werte gemäß Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV für den Fall, dass das Wasser zur Verregnung auf Grünflächen oder vergleichbaren Zwecken freigegeben wird und dass die Gesamtmenge nicht mehr als 100 m³ pro Jahr beträgt, Kompatibilität mit dem Dosisrichtwert von 10 µSv/a nachgewiesen werden kann. Die Werte gemäß Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV eignen sich daher als Freigabewerte für die „uneingeschränkte“ Freigabe von Wasser und wässrigen Flüssigkeiten unter den genannten Voraussetzungen. Hierbei kann auch alternativ eine Ableitung dieser Flüssigkeiten in die Kanalisation oder die Abgabe an eine Kläranlage erfolgen.

Inhaltsverzeichnis:

Seite:

1.	Einleitung	1
2.	Zielstellung von AP3 des Vorhabens.....	2
2.1	Hintergrund.....	2
2.2	Übersicht der relevanten Arten von Flüssigkeiten	2
2.3	Übersicht zu vorliegenden radiologischen Untersuchungen.....	3
2.4	Entwicklung abdeckender Szenarien für Flüssigkeiten und Vergleich mit den Freigrenzen	3
3.	Relevante Arten von Flüssigkeiten	5
3.1	Übersicht.....	5
3.2	Arten anfallender radioaktiver Flüssigkeiten.....	6
3.3	Aufkommen anfallender radioaktiver Flüssigkeiten	6
3.3.1	Kerntechnische Anlagen und Einrichtungen.....	6
3.3.2	Medizin, Forschung und Industrie	14
3.4	Entsorgungs- und Verwertungsmöglichkeiten	17
3.4.1	Verbrennung von flüssigen Abfällen	17
3.4.2	Verwertungs- und Entsorgungsmöglichkeiten für Altöle	18
3.4.3	Verwertungs- bzw. Entsorgungsmöglichkeiten für Schlämme	23
3.4.4	Verwertung von Flusssäure	27
4.	Vorliegende Radiologische Modelle für die Freigabe von Flüssigkeiten.....	28
4.1	Grundlagen	28
4.2	Überblick zum radiologischen Modell für die uneingeschränkte Freigabe von Flüssigkeiten	28
4.2.1	Szenarienübersicht.....	28
4.2.2	Wiederverwendung, Aufbereitung und Verwertung von Altöl.....	29
4.2.3	Verbrennung und Deponierung von Klärschlamm und sonstigen Stoffen.....	34
4.2.4	Abschätzung für Nuklide aus Medizin, Forschung und Industrie.....	34
4.2.5	Vorschläge	35
4.3	Überblick zum radiologischen Modell für Zutrittslösungen aus der Schachtanlage Asse II	36
4.3.1	Übersicht.....	36
4.3.2	Freizugebende Laugenmenge und Verwertungsmöglichkeiten	37
4.3.3	Radiologische Modellierung	37
4.3.4	Berechnung der Freigabewerte	47
4.4	Radiologische Modellierung der Freigabe von Flusssäure	49
4.4.1	Übersicht.....	49
4.4.2	Herkunft der Flusssäure aus der Urankonversion	49
4.4.3	Betrachtete Verwertungsmöglichkeiten für Flusssäure.....	50
4.4.4	Aktivitätsgehalt der Flusssäure	50
4.4.5	Betrachtete Szenarien	50
4.5	Verregnung von Abwässern.....	52
4.5.1	Übersicht.....	52
4.5.2	Abschätzung der Größe der berechneten Fläche	53
4.5.3	Ingestion über den Grundwasserpfad.....	53
4.5.4	Externe Bestrahlung beim Transport und bei der Verregnung	55
4.5.5	Externe Bestrahlung beim Aufenthalt auf Flächen, auf denen Wasser verregnet wurde	56
4.5.6	Anwendung für die radiologische Modellierung der Freigabe von Flüssigkeiten	56
4.6	Szenarien zur Herleitung der Ableitungswerte gem. Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV	57
4.6.1	Regelung der StrlSchV	57
4.6.2	Beschreibung des Szenarios für die Ableitung von Abwasser.....	57
4.6.3	Betrachtung der Konservativität des Szenarios.....	58
4.6.4	Einschätzung im Hinblick auf die Freigabe von wässrigen Flüssigkeiten	59

4.7	Extreme Szenarien	59
4.7.1	Übersicht.....	59
4.7.2	Von der „Fachgruppe Radioaktivität“ betrachtete Szenarien	60
4.7.3	Darstellung der Bürgerinitiative Lüchow–Dannenberg, Fachgruppe Radioaktivität.....	60
4.7.4	Darstellung der Gruppe Ökologie [ÖKO 00].....	63
4.7.5	Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich - Erörterungstermin 2003.....	64
4.8	Modellierung gemäß TECDOC 1000 der IAEA.....	65
4.9	Zusammenfassung der Ergebnisse der radiologischen Betrachtungen	68
5.	Radiologische Modellierung verschiedener Freigabeoptionen	70
5.1	Übersicht.....	70
5.2	Freigabe von Ölen und organischen Flüssigkeiten	70
5.2.1	Freigabe zur Wiederverwendung bzw. Verwertung	70
5.2.2	Freigabe zur Beseitigung (Verbrennung).....	71
5.3	Uneingeschränkte Freigabe von wässrigen Flüssigkeiten (zur Verregnung oder Einleitung in den Vorfluter)	72
5.3.1	Übersicht.....	72
5.3.2	Beschreibung der Szenarien und Parameterwerte.....	73
5.3.3	Ergebnisse für die effektive Individualdosis bei Einhaltung der Werte nach Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV	79
5.3.4	Interpretation der Ergebnisse	104
5.3.5	Vergleich der Freigabewerte für wässrige Flüssigkeiten mit den neuen Freigrenzen.....	104
6.	Empfehlung zur Vorgehensweise	106
7.	Literaturverzeichnis	107

Tabellenverzeichnis:

Seite:

Tabelle 3.1:	Flüssige Reststoffmengen aus den Anlagen KKP 1 und KKP 2 in den Jahren 2011 bis 2013 in Abhängigkeit von den verwendeten Entsorgungswegen nach [ENK 16].....	8
Tabelle 3.2:	Abwässer aus dem Kontrollbereich des Zwischenlagers KKP-ZL in den Jahren 2011 bis 2013 nach [ENK 16]	10
Tabelle 3.3:	Flüssige organische Reststoffmengen für den Standort KKP (Gesamt Mengen) sowie aus den Anlagen KKP 1 und KKP 2 in den Jahren 2011 bis 2013 nach [ENK 16]	10
Tabelle 3.4:	Bilanzierte Radionuklide für Ableitungen von kerntechnischen Anlagen mit Wasser im bestimmungsgemäßen Betrieb gemäß KTA 1504 [KTA 08] (Halbwertszeiten gemäß Anl. III Tab. 1 StrlSchV, ggf. weitere Gammastrahler mit Halbwertszeiten größer 8 Tage).....	12
Tabelle 3.5:	Nuklidvektoren aus Kernkraftwerken im Nach-/Restbetrieb nach [DIN 12].....	13
Tabelle 3.6:	Gehalt an U und sonstigen Radionukliden in der Flusssäure nach [WER 15]	14
Tabelle 3.7:	Aktivitätsanteile der Radionuklide nach [WER 15].....	14
Tabelle 3.8:	Übersicht über einige wichtige Radionuklide, die bei flüssigen Abfällen aus Medizin, Forschung und Industrie relevant sein können (nach [IAE 98])	15
Tabelle 3.9:	Mineralölprodukte aus der Aufbereitung von Altölen im Jahr 2006 nach [JEP 13]	21
Tabelle 4.1:	Ergebnisse der Berechnung der effektiven Äquivalentdosisleistung (für rotatorische Bestrahlungsgeometrie gemäß ICRP 51) auf der Basis von Rechnungen mit dem Programm MicroShield [MIC 96].....	32
Tabelle 4.2:	Ergebnisse der Dosisberechnung für den Altölsammelbetrieb (auf Vielfache von 10 (µSv/a)/(Bq/g _{Altöl}) gerundet)	32
Tabelle 4.3:	Dosisabschätzung für Nuklide aus Medizin, Forschung und Industrie	35

Tabelle 4.4:	Berechnung standortbezogener Verdünnungsfaktoren bei Einleitung von 5.600 m ³ /a Salzlösung in hypothetisch betroffene Vorfluter	40
Tabelle 4.5:	Relevante Radionuklide für die Berechnung von Freigabewerten sowie Inventar für LAW und in den Kammern 4, 8 und 10 für den 01.09.2008.....	40
Tabelle 4.6:	Übersicht zu Zerfallsketten mit radioaktivem Gleichgewicht zwischen Mutternuklid und angegebenen Tochternukliden	42
Tabelle 4.7:	Dosiskonversionsfaktoren h_1 in (Sv/a)/Bq/l für das Szenario 1 (Tankwagenfahrer)	43
Tabelle 4.8:	Dosiskonversionsfaktoren h_2 zum Szenario 2 (Grundwassernutzung über Brunnen mit den Teilszenarien Trinkwasser (T), Viehtränke (V), Beregnung (B)); in (Sv/a)/(Bq/l).....	44
Tabelle 4.9:	Dosiskonversionsfaktoren h_3 zum Szenario 3 (Oberflächenwassernutzung aus dem Vorfluter mit den Teilszenarien T, F, V, B und U) für den Standort Mariagluck; in (Sv/a)/(Bq/l)	46
Tabelle 4.10:	Berechnung von Freigabewerten C_F für Salzlösungen auf Basis konservativ für die Szenarien 1 bis 3 berechneter Dosiskonversionsfaktoren; in Bq/l (auf zwei Stellen gerundete Werte).....	48
Tabelle 4.11:	Dosiskonversionsfaktoren in [(μ Sv/a)/(Bq/l)] für den Trinkwasserpfad.....	54
Tabelle 4.12:	Dosiskonversionsfaktoren in [(μ Sv/a)/(Bq/l)] für die Summe aller Beregnungspfade	54
Tabelle 4.13:	Eintrag ins Grundwasser und Dosisberechnung.....	55
Tabelle 4.14:	Auf der Gesamtfläche 4.000 m ² abgelagerte flächenbezogene Aktivität und Dosiskonversionsfaktoren für die externe Bestrahlung ($\beta + \gamma$) bei Aufenthalt auf der Grünfläche	56
Tabelle 4.15:	Abgeleitete Freigabewerte für die uneingeschränkte Freigabe flüssiger Abfälle aus TECDOC 1000 [IAE 98]	67
Tabelle 5.1:	Vergleich der Freigabewerte nach Anl. III Tab. 1 Sp. 5 StrlSchV mit den neuen Freigabewerten nach Anh. VII Tab. A Teil 1 der EU-Grundnormen [EUR 14], gammastrahlende Nuklide hervorgehoben.....	71
Tabelle 5.2:	Parameter der Fläche, auf der die Verregnung stattfindet.....	74
Tabelle 5.3:	Parameter für die Exposition des Fahrers	75
Tabelle 5.4:	Parameter für die Exposition einer Person auf der Liegewiese.....	75
Tabelle 5.5:	Parameter für die Exposition einer Person durch Nutzung des Wassers aus einem Privatbrunnen.....	77
Tabelle 5.6:	K_d -Werte in m ³ /Mg im Grundwasserleiter	78
Tabelle 5.7:	Ergebnisse der Dosisberechnungen für die Aktivitäten im Wasser gem. Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV	80
Tabelle 5.8:	Ergebnis des Vergleichs der Werte gemäß Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV (nach Umrechnung mit Dichte 1 g/cm ³) mit den Werten nach Anh. VII Tab. A Teil 1 der EU-Grundnormen	104

<u>Abbildungsverzeichnis:</u>	Seite:
Abbildung 3.1:	Einteilung der beim Umgang mit radioaktiven Stoffen anfallenden Reststoffe..... 5
Abbildung 3.2:	Gesamtaufkommen flüssiger Reststoffe aus den Anlagen KKP 1 und KKP 2 in den Jahren von 2011 bis 2013, unterteilt nach den im KKP realisierten Entsorgungswegen nach [ENK 16]..... 9
Abbildung 3.3:	Gesamtaufkommen der am Standort KKP (KKP 1, KKP 2 u. a. Bereiche) in den Jahren von 2011 bis 2013 angefallenen flüssigen organischen Reststoffe, unterteilt in Kategorien nach [ENK 16]..... 11
Abbildung 3.4:	Schema des Massenflusses bei Beseitigung von flüssigen Abfällen durch Verbrennung 17
Abbildung 3.5:	Altölaufkommen über den Zeitraum von 1996 bis 2006 nach [JEP 13] 19
Abbildung 3.6:	Altölaufkommen, aufgeteilt nach Herkunft [VDZ 97]..... 20
Abbildung 3.7:	Bilanz der Altölverwertung, unterteilt nach Entsorgungswegen [TP 04] 21
Abbildung 3.8:	Prozessschema der Altölaufarbeitung zu Basisölen (Grundölen für Schmierstoffe) bei der Mineralölraffinerie Dollbergen GmbH (nach [ÖKO 97])..... 22
Abbildung 3.9:	Mengenströme Altöl für das Jahr 2006 nach [JEP 13]..... 23
Abbildung 3.10:	Klärschlamm Entsorgung in Deutschland 2010 nach [LER 13]..... 24
Abbildung 3.11:	Klärschlammverbrennungsanlage Stuttgart Mühlhausen aus [LER 13] 26
Abbildung 4.1:	Sammelbetrieb für Altöl - Expositionsgeometrien (nicht maßstabsgerecht)..... 31
Abbildung 4.2:	Schematische Übersicht des Modells für die Ingestion und die ext. Bestrahlung..... 52
Abbildung 5.1:	Schematische Übersicht des Modells für die Ingestion..... 73
Abbildung 5.2:	Schwemmfahrzeug mit 2,2 m ³ -Tank zur Straßenreinigung und Bewässerung [ASH 16]..... 74

1. EINLEITUNG

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hat die Brenk Systemplanung GmbH (BS) im August 2014 mit der Durchführung des Forschungsvorhabens „Überarbeitung der Strahlenschutzverordnung bzgl. der Regelungen zur Freigabe künstlicher radioaktiver Stoffe zur Umsetzung der neuen Euratom-Grundnormen in deutsches Recht - Konzept zur Umsetzung“ (Förderkennzeichen 3614R03520) beauftragt. Das Vorhaben bezieht sich insbesondere auf die Fragen bzgl. des Zusammenwirkens der deutschen Freigaberegulungen, insbesondere der zweckgerichteten Freigabe (§ 29 Abs. 2 Nr. 2 StrlSchV), mit den in den Euratom-Grundnormen [EUR 14] enthaltenen Freigrenzen.

Dieses Vorhaben gliedert sich in folgende übergeordnete Arbeitspakete:

AP1: Prüfung der Freigabewerte der Anlage III Tabelle 1 Spalte 10a StrlSchV zur Metallrecycling auf Konsistenz mit den neuen Freigrenzen der Euratom-Grundnormen;

AP2: Weitere Untersuchungen zur Verträglichkeit der Freigrenzen der Euratom-Grundnormen mit bestehenden Werten für die Freigabe, insbesondere bzgl. der Werte zur uneingeschränkten Freigabe von Bauschutt, Bodenaushub und Bodenflächen (Anl. III Tab. 1 Sp. 6 und 7 StrlSchV) und der Werte zur Freigabe von Gebäuden zum Abriss (Anl. III Tab. 1 Sp. 10 StrlSchV);

AP3: Freigabe von Flüssigkeiten, insbesondere zur Entwicklung abdeckender Szenarien für Flüssigkeiten und zum Vergleich der neu entwickelten abdeckenden Freigabewerte für die Freigabe von Flüssigkeiten mit den Freigrenzen der Euratom-Grundnormen.

Die Betrachtung der Freigabe von Flüssigkeiten im vorliegenden Bericht zu AP3 geht dabei davon aus, dass für Flüssigkeiten bisher ein Problem darin bestand, die Vielfalt der stofflichen Eigenschaften möglicher freizugebender Substanzen (zum Beispiel wässrige Lösungen, Lösungen auf Alkoholbasis, Öle, Kühlflüssigkeiten, Säuren, Basen) zur Herleitung von Freigabewerten und Freigabekriterien abdeckend zu beschreiben und zu modellieren. Aus diesem Grund gelten die Freigabeoptionen in § 29 Abs. 2 StrlSchV nur für Öle und ölhaltige Flüssigkeiten, organische Lösungs- und Kühlmittel. Die Freigabe anderer Lösungen muss dagegen auf Grundlage von Einzelfallbetrachtungen erfolgen.

Dies gilt auch bereits für die erste Befassung der Strahlenschutzkommission mit Freigaben von Flüssigkeiten im Vorfeld der StrlSchV von 2001. Die dort durchgeführten Arbeiten bzgl. der Freigabe von Flüssigkeiten haben sich vor allem auf Öle und andere flüssige Stoffe konzentriert, die nicht durch Eindampfen, sondern durch Filtration von evtl. vorhandener Aktivität gereinigt werden, da speziell Transformator- und Turbinenöle aus den früheren Stilllegungs- und Rückbauprojekten kerntechnischer Anlagen zur Freigabe anstanden. Hierdurch konnten Öle und vergleichbare Flüssigkeiten in relevantem Umfang unter Anwendung der Freigabewerte nach Anl. III Tab. 1 Sp. 5 StrlSchV freigegeben werden. Die Entlassung von Wässern und wässrigen Flüssigkeiten wurde dagegen vorwiegend als Ableitung im Sinne von § 47 StrlSchV verstanden, wenngleich diese Arten von Flüssigkeiten auch in die Untersuchungen zur Freigabe einbezogen worden waren.

Mittlerweile ergeben sich jedoch immer wieder Fragestellungen zur Freigabe auch wässriger Flüssigkeiten, so dass dieses Themenfeld im vorliegenden Bericht umfassend behandelt wird.

2. ZIELSTELLUNG VON AP3 DES VORHABENS

2.1 Hintergrund

Die Zielstellung von AP3 des Forschungsvorhabens besteht darin, die Möglichkeit zur Entwicklung abdeckender Szenarien für die Freigabe von Flüssigkeiten zu prüfen und solche Szenarien ggf. zu entwickeln. Hintergrund der Vorgehensweise ist die Tatsache, dass gemäß Anlage IV Teil B zu § 29 StrlSchV „die Werte für die uneingeschränkte Freigabe nach Anlage III Tabelle 1 Spalte 5 ... für feste Stoffe, Bauschutt und Bodenaushub, wenn die freizugebende Masse nicht mehr als 1.000 Tonnen im Kalenderjahr beträgt, sowie für Öle und ölhaltige Flüssigkeiten und organische Lösungs- und Kühlmittel“ gelten. Diese Begrenzung der Gültigkeit auf Öle und ölhaltige Flüssigkeiten und organische Lösungs- und Kühlmittel ist darin begründet, dass für derartige Flüssigkeiten ein Eindampfen oder eine erhebliche Volumenverringerung nicht auf einfache Weise erfolgen kann, so dass sich die Konzentration der Restaktivität in diesen Stoffen nicht drastisch ändern kann. Das Abfiltrieren, das bei Ölen üblich ist, die als Schmiermittel eingesetzt wurden, ist in radiologischen Untersuchungen berücksichtigt worden [DEC 00].

Für wässrige Flüssigkeiten und sonstige, nicht in der Liste genannten Flüssigkeiten kann gemäß § 29 Absatz 2 Satz 3 der StrlSchV „derzeit die Freigabe im Einzelfall erteilt werden, falls die Einhaltung des Schutzzieles einer effektiven Dosis im Bereich von 10 Mikrosievert pro Jahr für Einzelpersonen der Bevölkerung nachgewiesen ist, die Freigrenzen der Anlage III Tabelle 1 Spalte 3 zu § 29 StrlSchV nicht überschritten werden und, sofern die Flüssigkeit abgeleitet werden könnte, höchstens der in Anlage VII Teil D Tabelle 4 Spalte 3 zu § 47 StrlSchV genannte Wert auftritt.“

In AP3 wird vor diesem Hintergrund geprüft, „ob sich auf der Basis der EU-GN Freigrenzen bzw. Werte der uneingeschränkten Freigabe Regelungen finden lassen, die konform zu den Vorgaben der EU-GN sind und gleichzeitig die bisherigen Regelungen zur Freigabe von Flüssigkeiten unter Abdeckung möglichst vieler Klassen von Flüssigkeiten vereinfachen“. Hierzu wird in den Schritten vorgegangen, die in den folgenden Abschnitten 2.2 bis 2.4 aufgeführt sind.

2.2 Übersicht der relevanten Arten von Flüssigkeiten

in Abschnitt 3 wird zunächst ein Überblick über die relevanten Arten oder Klassen von Flüssigkeiten gegeben. Dies können beispielsweise normale Abwässer, die nicht durch Ableitungen abgegeben werden können, wässrige Lösungen (etwa aus einfachen Dekont-Anwendungen), Lösungen auf Alkoholbasis (Reinigungsmittel), schwache und starke Säuren oder schwache und starke Basen (beispielsweise aus der Oberflächenbehandlung von Stoffen bei der BE-Produktion, dem Abbeizen, der Dekontamination usw.), Szintillatorcocktails usw. sein. Hierzu werden die folgenden Informationsquellen einbezogen:

- Es werden alle älteren Untersuchungen zu diesem Thema erneut ausgewertet, insbesondere die Basisdaten, die zur Untersuchung [DEC 00] verwendet wurden und die auch seinerzeit (1998) im Ausschuss S5 der SSK diskutiert wurden.
- Es werden alle zwischenzeitlich an BS angetragenen Fragen bzgl. der Freigabe von Flüssigkeiten ausgewertet.
- Es werden Zusammenstellungen der anfallenden und teilweise freigegebenen Flüssigkeiten einiger kerntechnischer Anlagen sowie Labore aus Forschung, Medizin und Industrie hinsichtlich des möglichen Aufkommens radioaktiver flüssiger Abfälle, die ggf. zur Freigabe gelangen könnten, ausgewertet.

2.3 Übersicht zu vorliegenden radiologischen Untersuchungen

Abschnitt 4 stellt die vorliegenden radiologischen Untersuchungen zusammen, in denen bislang die Freigabe von Flüssigkeiten in Deutschland untersucht wurde. Es handelt sich hierbei insbesondere um die folgenden Untersuchungen:

- Im radiologischen Modell für die Freigabewerte aus [DEC 00] (Abschnitt 4.2) wurde im Vorfeld der Neufassung der Strahlenschutzverordnung von 2001 untersucht, welche Szenarien für verschiedene Arten von Flüssigkeiten überhaupt anwendbar sein würden und ob die damals bereits vorliegenden Freigabewerte für die uneingeschränkte Freigabe in diesem Fall angewendet werden könnten.
- Im radiologischen Modell für Zutrittslösungen aus der Schachtanlage Asse II [BAR 10] (Abschnitt 4.3) wird die Modellierung der Freigabe von Wasser beschrieben, die in das Grubengebäude der Schachtanlage Asse II einfließen und durch den Kontakt mit dem Salzgestein stark salzhaltig sind. Da seinerzeit keine Ableitungsgenehmigung für die Schachtanlage Asse II bestand, war es notwendig, diese Wasser auf dem Weg der Freigabe nach § 29 StrlSchV zu entlassen. Sie wurden lange Zeit zum Anmischen von Versatzmaterial für benachbarte Salzbergwerke sowie für denselben Zweck in der Schachtanlage Asse II selbst verwendet.
- Die radiologische Modellierung der Freigabe von Flusssäure [WER 15] (Abschnitt 0) befasst sich mit der Freigabe von Flusssäure, die beim Prozess der Trockenkonversion von UF_6 zu UO_2 anfällt. Da Flusssäure ein breites industrielles Einsatzgebiet hat, standen hierbei verschiedene Verwertungspfade im Vordergrund.
- Die Verregnung von Abwässern auf Grünflächen (Abschnitt 4.5) wurde im Rahmen einer gesonderten radiologischen Betrachtung für einen Standort modelliert, bei dem aus chemischen Gründen die Einleitung dieser Abwässer in den Vorfluter gemäß den Bestimmungen der wasserrechtlichen Erlaubnis nicht möglich war.
- Mit den Werten gemäß Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV steht ein Wertersatz zur Verfügung, der speziell für die Ableitung von Abwässern aus dem genehmigten Umgang gemäß § 7 StrlSchV oder für kerntechnische Anlagen, die nur geringe Aktivitätsmengen ableiten, ermittelt wurde. Die hierfür relevanten radiologischen Szenarien werden in Abschnitt 4.6 angesprochen.
- Extreme Szenarien, d. h. solche, die in der Praxis undenkbar sind, die jedoch häufig dazu angeführt werden, die vermeintlichen Gefahren der Freigabe von Stoffen aus kerntechnischen Anlagen oder genehmigtem Umgang zu illustrieren, werden in Abschnitt 4.7 vorgestellt. Dies dient dazu, die in der Bevölkerung bestehende besondere Sensibilität für die Freigabe von Flüssigkeiten, insbesondere von Wasser, zu erläutern.
- Abschließend wird in Abschnitt 4.8 auf eine Modellierung in einer Unterlage der IAEA eingegangen, in welcher die Ableitung von Radionukliden mit Abwasser modelliert wird.

2.4 Entwicklung abdeckender Szenarien für Flüssigkeiten und Vergleich mit den Freigrenzen

Aufbauend auf den Ergebnissen der Untersuchungen zu den einzelnen Klassen von Flüssigkeiten wird in Abschnitt 5 untersucht, wie abdeckende Szenarien entwickelt werden können, die sich vom Charakter her an denjenigen von SR 44 [IAE 05] orientieren. Es wird hierbei unterschieden zwischen den Arten von Flüssigkeiten, bei denen eine Volumeneinengung und hiermit verbunden eine Aufkonzentration des Aktivitätsinventars in der Flüssigkeit praktisch ausgeschlossen ist, und den Fällen, in denen Volumeneinengung und Aufkonzentration jederzeit denkbar sind, was insbesondere auf Wasser und wässrigen Flüssigkeiten zutrifft.

Diese Vielzahl von Modellen, die für die Freigabe oder Ableitung von Flüssigkeiten entwickelt wurden und über die in Abschnitt 2.3 ein Überblick gegeben wurde, zeigt auf, dass eine breite Palette von einzelnen Szenarien zur Verfügung steht, auf deren Basis abdeckende Szenarien für die Freigabe von Flüssigkeiten entwickelt werden können. Bei diesen Modellen zeigt sich jedoch insgesamt, dass Aufkonzentrationen der Aktivität in diesen Flüssigkeiten durch teilweises Verdampfen des wässrigen Anteils nicht Bestandteil der Modelle sind. Ein solcher Schritt kann nach der Freigabe dann nicht ausgeschlossen werden, wenn es sich um Wasser oder wässrige Flüssigkeiten wie zum Beispiel verdünnte Säuren oder Laugen handelt. In diesem Fall ist es daher notwendig, die Aufkonzentration durch die Randbedingungen bei der Freigabe zu verhindern. Dies wird bei der Entwicklung des Modells in Abschnitt 5.3 geeignet berücksichtigt.

In Abschnitt 6 wird hieraus eine Empfehlung zur Vorgehensweise bzgl. der Freigabe von Flüssigkeiten entwickelt.

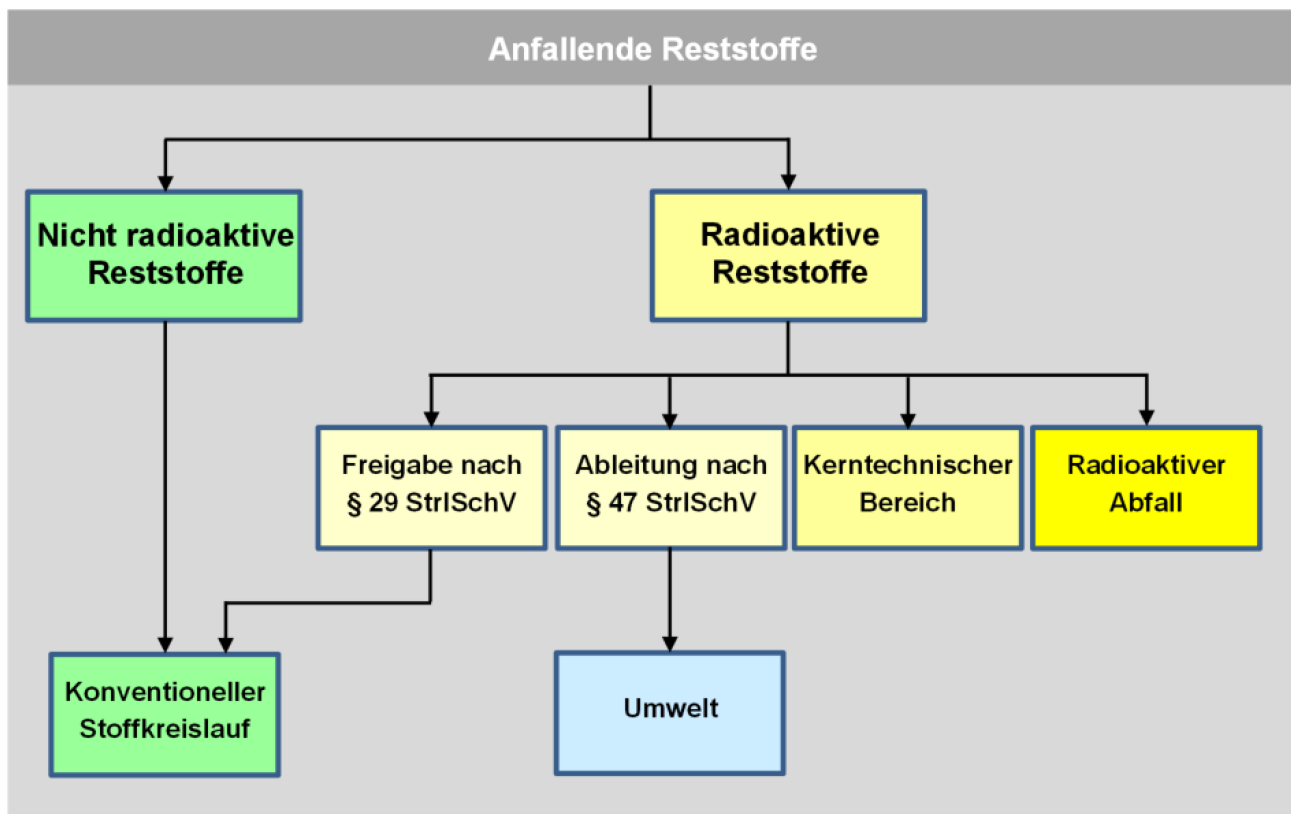
3. RELEVANTE ARTEN VON FLÜSSIGKEITEN

3.1 Übersicht

Dieser Abschnitt enthält eine Übersicht über das Aufkommen an relevanten Flüssigkeiten, die als radioaktive Reststoffe aus kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen sowie aus Medizin, Forschung und Industrie anfallen. Ferner wird für diese Flüssigkeiten ein Überblick über bestehende (konventionelle) Verwertungs- und Entsorgungsmöglichkeiten gegeben.

Beim Umgang mit radioaktiven Stoffen fallen sowohl radioaktive als auch nicht radioaktive Stoffe an. Als nicht radioaktive Reststoffe werden anfallende Stoffe bezeichnet, die weder kontaminiert noch aktiviert sind. Diese Reststoffe können dem konventionellen Stoffkreislauf zugeführt werden. Als radioaktive Reststoffe werden anfallende Stoffe bezeichnet, die kontaminiert oder aktiviert sind oder bei denen eine Kontamination oder Aktivierung nicht auszuschließen ist. Diese Reststoffe können entweder gemäß § 47 StrlSchV abgeleitet, gemäß § 29 StrlSchV freigegeben oder im kerntechnischen Bereich wieder verwendet bzw. verwertet werden. Radioaktive Reststoffe, für die eine Ableitung, Freigabe oder schadlose Wiederverwendung bzw. Verwertung aus technischen und/oder wirtschaftlichen Gründen nicht sinnvoll oder nicht möglich ist, müssen als radioaktiver Abfall geordnet beseitigt werden. Diese Einteilung anfallender Reststoffe ist in der nachfolgenden Abbildung schematisch dargestellt.

Abbildung 3.1: Einteilung der beim Umgang mit radioaktiven Stoffen anfallenden Reststoffe



3.2 Arten anfallender radioaktiver Flüssigkeiten

Bei flüssigen radioaktiven Reststoffen wird üblicherweise – wie bei festen radioaktiven Reststoffen auch – in Abhängigkeit von der Zusammensetzung sowie im Hinblick auf mögliche Entsorgungswege zwischen den Kategorien anorganische und organische flüssige radioaktive Reststoffe unterschieden. In Anlehnung an die Benennung radioaktiver Abfälle gemäß Anlage X Teil A StrlSchV umfassen diese beiden Kategorien im Zusammenhang mit der hier vorliegenden Aufgabenstellung insbesondere folgende Arten flüssiger radioaktiver Reststoffe:

- Anorganische flüssige radioaktive Reststoffe
 - Chemieabwässer: Betriebsabwässer, Prozessabwässer, Dekontaminationsabwässer, Laborabwässer, Säuren und Laugen;
 - Schlämme/Suspensionen: Abschlammungen, Ionenaustauscher-Suspensionen, Fäll- und Sumpfschlämme;
 - Biologische Abwässer: Medizinische Abwässer, Pharma-Abwässer, Fäkal-Abwässer.
- Organische flüssige radioaktive Reststoffe
 - Öle: Schmieröle, Hydrauliköle, Turbinenöle, Transformatorenöle;
 - Lösungsmittel: Alkane, Tributylphosphat (TBP)¹, Szintillationslösungen, markierte Flüssigkeiten;
 - Treibstoffe (z. B. Benzin, Diesel);
 - Emulsionen (z. B. Kühlschmierstoff-Emulsionen²).

3.3 Aufkommen anfallender radioaktiver Flüssigkeiten

3.3.1 Kerntechnische Anlagen und Einrichtungen

Flüssige radioaktive Reststoffe resultieren sowohl während der Betriebsphase als auch während der Stilllegungs- und Abbauphase einer kerntechnischen Anlage. Die nachfolgenden Abschnitte geben eine Übersicht – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – über das Aufkommen relevanter flüssiger Reststoffe, die während dieser Phasen insbesondere aus Kernkraftwerken (vgl. Abschnitt 3.3.1.1) oder zur Brennelementherstellung/Urananreicherung (vgl. Abschnitt 3.3.1.2) anfallen. Radioaktive Flüssigkeiten aus den Bereichen Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen sowie Uranerzbergbau und Uranerzaufbereitung werden im Rahmen dieses Berichts aus folgenden Gründen nicht explizit betrachtet:

- In Deutschland findet keine Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen mehr statt. Die aus dem Rückbau der Anlagen und Einrichtungen der WAK anfallenden Flüssigkeiten werden im Rahmen von Ableitungsgenehmigungen abgegeben oder als radioaktive Abfälle entsorgt.
- Der im Osten Deutschlands von der WISMUT GmbH betriebene Uranerzbergbau wurde zum Ende des Jahres 1990 eingestellt. Die Stilllegung und Sanierung der aus dem Uranerzbergbau entstandenen Hinterlassenschaften (Anlagen, Berg- und Tagebaue, Halden etc.) wurde inzwischen weitestgehend durchgeführt. Anfallende potenziell radioaktive Sicker- oder Gruben-

¹ Tributylphosphat (TBP) wird z. B. als Extraktionsmittel bei der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente eingesetzt.

² Kühlschmierstoff-Emulsionen bestehen i. d. R. aus 5 – 10 % Mineralöl mit Emulgatoren und 90 – 95 % Wasser.

wässer werden gefasst und ggf. speziell ausgelegten Behandlungsanlagen zugeführt. Der Umgang mit diesen Wässern wird durch uranbergbauspezifische Genehmigungen und Auflagen geregelt, somit sind diese Wässer hier nicht von Relevanz.

3.3.1.1 Kernkraftwerke

3.3.1.1.1 Aufkommen

In Kernkraftwerken fallen während des Leistungsbetriebs, aber auch während des Nach- bzw. Restbetriebs³ sowohl anorganische als auch organische flüssige radioaktive Reststoffe an (vgl. [ENK 16]). Die anorganischen flüssigen Reststoffe umfassen hauptsächlich

- Abwässer, die
 - während des Leistungsbetriebs überwiegend als Betriebsabwässer aus dem Betrieb der Anlage und
 - während des Nach- bzw. Restbetriebs insbesondere als sogenannte Sekundärabwässer aus Dekontaminations- und Reinigungsprozessen (Dekontaminationsabwässer) resultieren, sowie
- Schlämme, die
 - als Reinigungs-/Klärschlämme bei der Behandlung von Abwässer und
 - als Sumpf-/Fällschlämme innerhalb entsprechender (z. B. wasserführender bzw. wasserenthaltender) Systemkomponenten entstehen.

Die anfallenden organischen flüssigen Reststoffe umfassen überwiegend

- Altöle, die i. Allg. unterteilt werden in
 - Schmieröle (z. B. Maschinen-, Motoren- und Getriebeöle),
 - Hydrauliköle,
 - Elektroisolier- bzw. Transformatorenöle,
 - Turbinenöle,
 - Kompressorenöle
 - Kältemaschinenöle, sowie in geringeren Mengen
- Lösungs-/Reinigungsmittel,
- Ölschlämme,
- Altschmiermittel (Schmierfette) sowie
- Epoxidharze, Klebstoffreste, Bindemittel etc.

Abhängig von der Beschaffenheit, kommen für in Kernkraftwerken anfallende flüssige radioaktive Reststoffe unterschiedliche Entsorgungswege in Betracht. Hierzu gehören insbesondere

- die Ableitung von Abwässern nach § 47 StrlSchV,
- die Entsorgung von (wässrigen) Flüssigkeiten durch Verdampfung im Rahmen einer Wasseraufbereitung,
- die Entsorgung von (organischen) Flüssigkeiten als radioaktiver Abfall zur Verbrennung und
- die Entsorgung von Schlämmen als radioaktiver Abfall zur weiteren Behandlung, Deponierung etc.

In [WAT 87] wird für zwei Referenzkraftwerke, jeweils ein großer Siede- und Druckwasserreaktor, u. a. eine Mengenabschätzung der anfallenden Sekundärabwässer durchgeführt, die während der

³ Mit dem Erlöschen der Berechtigung zum Leistungsbetrieb befindet sich ein Kernkraftwerk zunächst im sogenannten Nachbetrieb. Nach dem Vorliegen der ersten vollziehbaren Genehmigung zur Stilllegung befindet sich die Anlage dann im sogenannten Restbetrieb.

Stilllegung und dem Abbau derartiger Anlagen entstehen. Falls eine unmittelbare Beseitigung erfolgt, werden demnach:

- für einen Druckwasserreaktor ca. 26.000 Mg und
- für einen Siedewasserreaktor ca. 43.000 Mg

an Hygieneabwässern, Spülwässern und Säuren bzw. Dekontaminationsmitteln erwartet (dies sind nicht die *insgesamt* während der Stilllegungsphase abgegebenen Wässer, sondern diejenigen, die auf die stilllegungsgerichteten Tätigkeiten zurückzuführen sind). Eine entsprechende Abschätzung der voraussichtlich anfallenden Mengen an Ölen wird nicht angegeben. Für die Entstehung von Sekundärabwässern werden insbesondere fünf Quellen genannt:

- Mechanische Dekontamination,
- Abwaschen von Gebäudeoberflächen,
- Abspülen von Teilen, nachdem sie aus einem Säurebad herausgehoben worden sind,
- Waschwässer bei der Reinigung der Kontrollbereichskleidung sowie
- Duschwässer aus dem „heißen“ Hygienebereich.

Diese bereits ca. 30 Jahre alten Angaben stellen auch aus heutiger Sicht noch sinnvolle Abschätzungen dar. Aktuelle Angaben zum Umfang der aus Kernkraftwerken anfallenden flüssigen Reststoffe sowohl für den Leistungsbetrieb als auch für den Nach-/Restbetrieb liegen insbesondere für das Kernkraftwerk Philippsburg (KKP) vor [ENK 16]. Diese Angaben beziehen sich auf die Jahre 2011 bis 2013 und werden nachfolgend als Beispiel zusammengestellt.

Am Standort des KKP befinden sich zwei separate Kernkraftwerksblöcke KKP 1 und KKP 2 sowie ein Zwischenlager für Brennelemente (KKP-ZL). Der Block KKP 1 (Siedewasserreaktor) befindet sich mit Inkrafttreten der 13. Atomgesetznovelle seit Ende des Jahres 2011 im Nach-/Restbetrieb. Hingegen befindet sich Block KKP 2 (Druckwasserreaktor) derzeit noch im fortgeführten Leistungsbetrieb, soll aber gemäß Atomgesetz bis spätestens Ende des Jahres 2019 abgeschaltet werden. Zudem ist am Standort des KKP die Errichtung und der Betrieb eines Reststoffbearbeitungszentrums (RBZ-P) zur Bearbeitung, Behandlung und Lagerung radioaktiver Stoffe aus der Stilllegung und dem Abbau von Anlagenteilen des KKP 1 und KKP 2 beabsichtigt.

Die nachfolgende Tabelle 3.1 enthält eine Zusammenstellung der in den beiden Anlagen KKP 1 und KKP 2 über den Zeitraum 2011 bis 2013 angefallenen flüssigen Reststoffe unterteilt nach den o. g. Entsorgungswegen [ENK 16]. Die Tabelle zeigt am Beispiel des KKP 1 insbesondere, dass gegenüber dem Leistungsbetrieb (eingestellt Ende 2011) die im Nachbetrieb (ab Ende 2011) – und folglich auch im späteren Restbetrieb – anfallenden und gemäß § 47 StrlSchV abgeleiteten Abwassermengen – wie zu erwarten – deutlich geringer sind.

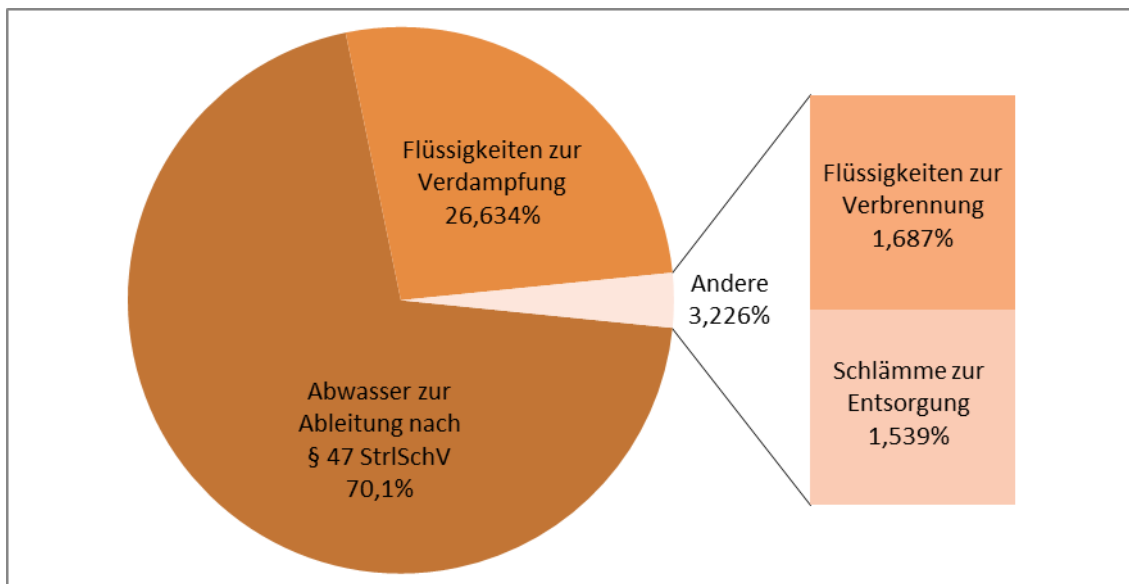
Tabelle 3.1: Flüssige Reststoffmengen aus den Anlagen KKP 1 und KKP 2 in den Jahren 2011 bis 2013 in Abhängigkeit von den verwendeten Entsorgungswegen nach [ENK 16]

Art der Flüssigkeit	Jahr			Gesamt
	2011	2012	2013	
Kernkraftwerksblock KKP 1 (Siedewasserreaktor) im Leistungs- bzw. Nachbetrieb				
Abwassermenge (Ableitung nach § 47 StrlSchV)	19.000 m³	9.500 m³	5.500 m³	34.000 m³
Flüssigkeiten zur Verdampfung (Wasseraufbereitung)	7.900 m³	2.700 m³	2.500 m³	13.100 m³
Flüssigkeiten zur Verbrennung (Entsorgung als radioaktiver Abfall)	260 kg	-	-	260 kg
Schlämme (Entsorgung als radioaktiver Abfall)	110 kg	320 kg	10 kg	440 kg

Art der Flüssigkeit	Jahr			Gesamt
	2011	2012	2013	
Kernkraftwerksblock KKP 2 (Druckwasserreaktor) im Leistungsbetrieb				
Abwassermenge (Ableitung nach § 47 StrlSchV)	11.000 m³	10.700 m³	10.400 m³	32.100 m³
Flüssigkeiten zur Verdampfung (Wasseraufbereitung)	4.000 m³ (Jahresmittelwert)			12.000 m³
Flüssigkeiten zur Verbrennung (Entsorgung als radioaktiver Abfall)	630 kg	300 kg	400 kg	1.330 kg
Schlämme (Entsorgung als radioaktiver Abfall)	330 kg	480 kg	200 kg	1.010 kg

Ergänzend zur obigen Tabelle ist in Abbildung 3.2 eine Übersicht über das Gesamtaufkommen an flüssigen Reststoffen aus den beiden Anlagen KKP 1 und KKP 2 in den Jahren von 2011 bis 2013 dargestellt, unterteilt nach den verschiedenen im KKP realisierten Entsorgungswegen. Bezogen auf die Gesamtmenge bestehen die anfallenden flüssigen Reststoffe hauptsächlich mit einem Anteil von ca. 70 % aus Abwässern, die nach § 47 StrlSchV abgeleitet werden, und mit einem Anteil von ca. 27 % aus Flüssigkeiten, die durch Verdampfung beseitigt werden. Flüssigkeiten und Schlämme, die als radioaktive Abfälle entsorgt werden, sind mit einem Anteil von zusammen etwa 3 % von geringer Bedeutung.

Abbildung 3.2: Gesamtaufkommen flüssiger Reststoffe aus den Anlagen KKP 1 und KKP 2 in den Jahren von 2011 bis 2013, unterteilt nach den im KKP realisierten Entsorgungswegen nach [ENK 16]



Im Kontrollbereich des Zwischenlagers KKP-ZL fallen potenziell kontaminierte Abwässer an, beispielsweise infolge von Dekontaminations- bzw. Reinigungsarbeiten. Derzeit werden diese Abwässer gesammelt und chargenweise zur Freigabe bzw. Behandlung in das KKP-2 verbracht. In Tabelle 3.2 ist das Aufkommen der im Kontrollbereich des KKP-ZL in den Jahren 2011 bis 2013 angefallenen Abwässer dargestellt [ENK 16].

Tabelle 3.2: Abwässer aus dem Kontrollbereich des Zwischenlagers KKP-ZL in den Jahren 2011 bis 2013 nach [ENK 16]

Art der Flüssigkeit	Jahr			Gesamt
	2011	2012	2013	
Zwischenlager KKP-ZL				
Abwassermenge aus dem Kontrollbereich des KKP-ZL	1.190 kg	2.260 kg	1.100 kg	4.550 kg

Die am Standort KKP anfallenden organischen flüssigen Reststoffe werden in folgende Kategorien eingeteilt und chargenweise beseitigt:

- Sammelöle (im wesentlichen Schmieröle)
- Altöle (aus diversen Anlagenteilen, -systemen und -komponenten),
- Hydrauliköle (z. B. aus Hochdruckpressen der Konditionierungsanlage),
- Turbinenöle (z. B. aus Kraftwerksturbinen),
- Kältemaschinenöle (z. B. aus Abgasaufbereitungssystemen),
- Reinigungsmittel, z. B. in Form von
 - Lösungsmitteln für Entfettungs- und Reinigungsarbeiten,
 - Spezialreinigern zur Vorbereitung von Oberflächen zur zerstörungsfreien Werkstückprüfung (z. B. Met-L-Check-Verfahren),
- Ölschlamm (z. B. aus Öllagern),
- Altschmiermittel (z. B. Schmierfette) sowie
- Epoxidharze, Klebstoffreste, Bindemittel etc.

Tabelle 3.3 enthält eine Zusammenstellung der am Standort KKP insgesamt (d. h. aus allen am Standort betriebenen Anlagen inkl. KKP 1 und KKP 2) sowie aus den Anlagen KKP 1 und KKP 2 über den Zeitraum 2011 bis 2013 angefallenen flüssigen organischen Reststoffe [ENK 16]. Die Übersicht zeigt am Beispiel des KKP 1, dass insbesondere mit einem Anfall von bis zu 100 Mg beim Turbinenölwechsel bzw. beim Abbau der Turbinen zu rechnen ist.

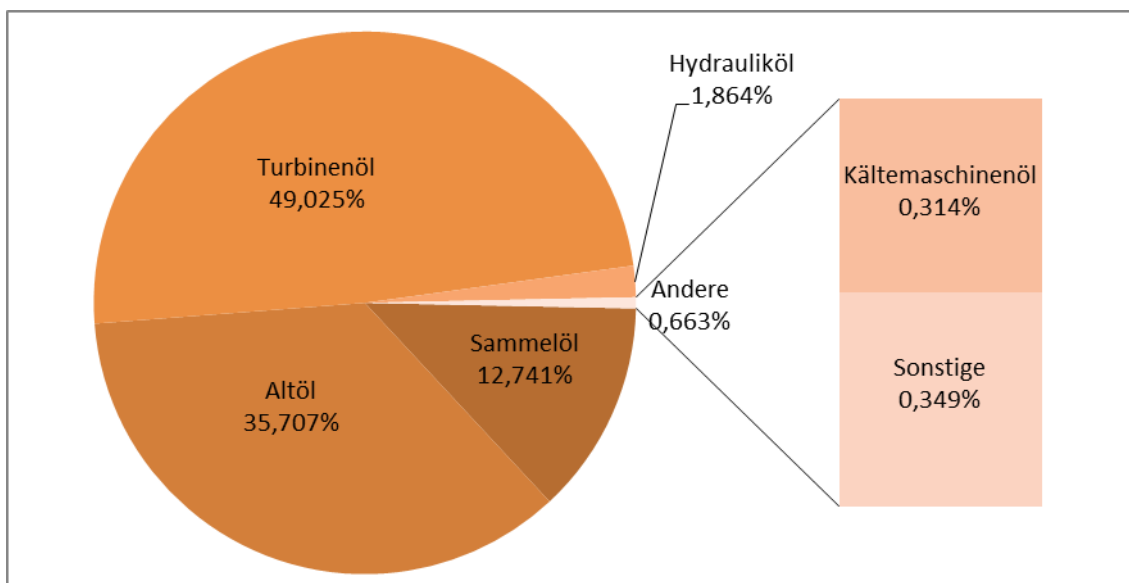
Tabelle 3.3: Flüssige organische Reststoffmengen für den Standort KKP (Gesamt mengen) sowie aus den Anlagen KKP 1 und KKP 2 in den Jahren 2011 bis 2013 nach [ENK 16]

Art der Flüssigkeit	Jahr			Gesamt
	2011	2012	2013	
Standort KKP (Gesamt Mengen aus KKP 1, KKP 2 u. a. Bereiche)				
Sammelöl (Schmieröl)	2.064 kg	10.305 kg	3.232 kg	15.601 kg
Altöl (aus diversen Anlagen)	-	23.241 kg	20.481 kg	43.722 kg
Turbinenöl	-	60.030 kg	-	60.030 kg
Hydrauliköl	-	-	2.282 kg	2.282 kg
Kältemaschinenöl	-	97 kg	288 kg	385 kg
Sonstige	167 kg	128 kg	132 kg	427 kg
Kernkraftwerksblock KKP 1 (Siedewasserreaktor) im Nachbetrieb				
Sammelöl (Schmieröl)	1.388 kg	4.434 kg	-	5.822 kg
Altöl	-	23.241 kg	5.319 kg	28.560 kg
Turbinenöl	-	60.030 kg	-	60.030 kg
Hydrauliköl	-	-	-	-
Kältemaschinenöl	-	97 kg	288 kg	385 kg
Sonstige	-	63 kg	-	63 kg

Art der Flüssigkeit	Jahr			Gesamt
	2011	2012	2013	
Kernkraftwerksblock KKP 2 (Druckwasserreaktor) im Leistungsbetrieb				
Sammelöl (Schmieröl)	676 kg	-	926 kg	1.602 kg
Altöl	-	-	12.528 kg	12.528 kg
Turbinenöl	-	-	-	-
Hydrauliköl	-	-	-	-
Kältemaschinenöl	-	-	-	-
Sonstige	146 kg	37 kg	43 kg	226 kg

Tabelle 3.3 gibt eine Übersicht über das Gesamtaufkommen der am Standort KKP (KKP 1, KKP 2 u. a. Bereiche) in den Jahren von 2011 bis 2013 angefallenen flüssigen organischen Reststoffe, unterteilt nach den unterschiedenen Kategorien. Der auffallend hohe Anteil an Turbinenöl resultiert aus den in 2012 durchgeführten vorbereitenden Arbeiten zum Abbau der Turbinen im KKP 1 (vgl. auch Abbildung 3.3).

Abbildung 3.3: Gesamtaufkommen der am Standort KKP (KKP 1, KKP 2 u. a. Bereiche) in den Jahren von 2011 bis 2013 angefallenen flüssigen organischen Reststoffe, unterteilt in Kategorien nach [ENK 16]



3.3.1.1.2 Radionuklide

Die in Kernkraftwerken im Zusammenhang mit anfallenden flüssigen Reststoffen relevanten Radionuklide entsprechen im Wesentlichen den gemäß KTA 1504 [KTA 08] für Ableitungen mit Wasser zu bilanzierenden Radionukliden. Diese sind in der nachfolgenden Tabelle 3.4 zusammengestellt.

Tabelle 3.4: Bilanzierte Radionuklide für Ableitungen von kerntechnischen Anlagen mit Wasser im bestimmungsgemäßen Betrieb gemäß KTA 1504 [KTA 08] (Halbwertszeiten gemäß Anl. III Tab. 1 StrlSchV, ggf. weitere Gammastrahler mit Halbwertszeiten größer 8 Tage)

Nuklid	Halbwertszeit	Nuklid	Halbwertszeit	Nuklid	Halbwertszeit
H-3	12,3 a	Sr-90	28,5 a	Cs-137	30,2 a
Cr-51	27,7 d	Zr-95	64,0 d	Ba-140	12,8 d
Mn-54	312,2 d	Nb-95	35,0 d	La-140	40,3 h
Fe-55	2,7 a	Ru-103	39,3 d	Ce-141	32,5 d
Fe-59	45,1 d	Ru-106	373,6 d	Ce-144	284,8 d
Co-57	271,3 d	Ag-110m	249,9 d	Pu-238	87,7 a
Co-58	70,8 d	Sb-124	60,3 d	Pu-239/240	2,4·10⁴/6,6·10³ a
Co-60	5,3 a	Sb-125	2,8 a	Am-241	432,6 a
Ni-63	100,0 a	Te-123m	119,7 d	Cm-242	162,8 d
Zn-65	244,0 d	I-131	8,0 d	Cm-244	18,1 a
Sr-89	50,5 d	Cs-134	2,1 a	Gesamt-Alpha	-

Im Zusammenhang mit Freigabeverfahren von kerntechnischen Anlagen werden in Deutschland unterschiedliche Nuklidvektoren verwendet. Die in Tabelle 3.5 angegebenen Beispiele stellen die Bandbreite möglicher Nuklidvektoren aus kerntechnischen Anlagen im Nach-/Restbetrieb anhand der Erfahrung aus realen Freigabeverfahren dar. Die in der Tabelle aufgeführten Nuklidvektoren illustrieren speziell für Kernkraftwerke folgende Situationen [DIN 12]:

NV1: nur Co-60, abdeckender Ansatz bei hohem Co-60-Anteil der Kontamination; die anderen ggf. vorhandenen Radionuklide werden bei der Messung durch Co-60 vertreten.

NV2: nur Cs-137, abdeckender Ansatz bei hohem Cs-137-Anteil der Kontamination; die anderen ggf. vorhandenen Radionuklide werden bei der Messung durch Cs-137 vertreten.

NV3/NV4: keine Brennelementschäden, einige Jahre nach endgültiger Abschaltung. Große Variabilität der Aktivitätsanteile von Co-60 und Cs-137.

NV5: Kontamination, geringfügiger Alpha-Anteil.

NV6: komplexere Kontamination, höherer Alpha-Anteil.

NV7: komplexere Kontamination, geringfügiger Alpha-Anteil.

Tabelle 3.5: Nuklidvektoren aus Kernkraftwerken im Nach-/Restbetrieb nach [DIN 12]

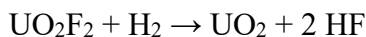
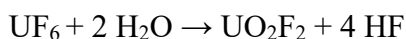
Nuklid	HWZ	NV1	NV2	NV3	NV4	NV5	NV6	NV7
Fe-55	2,7 a	-	-	20 %	2 %	5 %	17 %	16,0 %
Ni-59	7,5·10 ⁴ a	-	-	-	-	-	-	21,0 %
Ni-63	100,0 a	-	-	48 %	20 %	29 %	30 %	43,0 %
Co-60	5,3 a	100 %	-	24 %	9 %	4 %	15 %	15,0 %
Sr-90+	28,5 a	-	-	-	-	4 %	-	0,5 %
Ag-108m	127 a	-	-	-	-	-	-	0,5 %
Cs-137+	30,2 a	-	100 %	8 %	69 %	54 %	2 %	0,5 %
Eu-152	13,3 a	-	-	-	-	-	6 %	1,0 %
Eu-154	8,8 a	-	-	-	-	-	2 %	0,5 %
Eu-155	4,8 a	-	-	-	-	-	-	0,2 %
Pu-239/240	2,4·10 ⁴ / 6,6·10 ³ a	-	-	-	-	-	4 %	0,2 %
Pu-241	14,4 a	-	-	-	-	3 %	18 %	1,5 %
Am-241	432,6 a	-	-	-	-	1 %	6 %	0,1 %
Summe		100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

3.3.1.2 Anlagen zur Urananreicherung/Brennelementherstellung

3.3.1.2.1 Aufkommen

Bei der Fertigung von Brennelementen wird angereichertes Uran (maximaler Gehalt an U-235 ca. 5 %) verwendet, das in Anreicherungsanlagen aus natürlichem Uran (Gehalt an U-235 ca. 0,72 %) hergestellt wird. In einem der hierbei durchgeführten Fertigungsschritte wird aus Uranhexafluorid (UF₆) in pulverförmiges Urandioxid (UO₂) umgewandelt. Dieses Pulver wird in weiteren Prozessschritten zu Pellets verarbeitet, die schließlich in die Brennelemente gefüllt werden.

Beim Prozess der Trockenkonversion von UF₆ zu UO₂



entsteht Fluorwasserstoff (HF), der als Nebenprodukt in Form von

- wässriger Flusssäure (ca. 40 %-ig)
- oder durch Reaktion mit Calciumkarbonat (CaCO₃) bei der Abgasreinigung als Calciumfluorid (CaF₂)

zurückgehalten wird [WER 15]. Diese Nebenprodukte werden nach [NMU 16] weiter verwendet:

- Der mit Fluorwasserstoff beladene Kalkstein (Calciumcarbonat, CaCO₃) der Kalksteinfilter in der Abluftreinigung wird als Flussspat (Calciumfluorid, CaF₂) für die Stahlerzeugung verkauft.
- Die Flusssäure (HF), die beim Konversionsprozess entsteht, kann als Nebenprodukt weiterverkauft werden und erfüllt die Qualitätsansprüche der abnehmenden Industrie.

Insgesamt unterschreitet der Urangehalt in der deutschen Produktion die jeweilige Nachweisgrenze von 4 mg/l bei HF und von 0,4 mg/kg bei CaF₂.

3.3.1.2.2 Radionuklide

Für die in [WER 15] untersuchte Flusssäure wurden die in Tabelle 3.6 dargestellten Annahmen zum Gehalt an U und sonstigen Radionukliden getroffen. Hieraus ergeben sich die in Tabelle 3.7 aufgeführten Aktivitätsanteile der vorhandenen Radionuklide.

Tabelle 3.6: Gehalt an U und sonstigen Radionukliden in der Flusssäure nach [WER 15]

Art der Flüssigkeit	Gesamt
Maximaler Gehalt an U-232	0,0002 µg/gU
Maximaler Gehalt an U-234	$11 \cdot 10^3$ µg/gU-235
Maximaler Gehalt an U-235	< 5 Massen-%
Maximaler Gehalt an U-236	1.000 µg/gU
Gehalt an U-238	-
Maximaler Gehalt an Tc-99	0,01 µg/gU
Maximaler Gehalt an γ -strahlenden Spaltnukliden	$3 \cdot 10^4$ MeV/(s·kgU)
Maximale α -Aktivität der Transurane	20 Bq/gU Np-237: 0,0018 Bq/gU Pu-238: 18,9 Bq/gU Pu-239: 1,15 Bq/gU

Tabelle 3.7: Aktivitätsanteile der Radionuklide nach [WER 15]

Nuklid	Zerfallsart	Massenanteil	Aktivität [Bq/gU]	Aktivitätsanteil
U-234	Alpha	0,06 %	$1,266 \cdot 10^5$	72,71 %
U-235 Th-231	Alpha	5,00 %	$3,998 \cdot 10^3$	2,30 %
	Beta		$3,998 \cdot 10^3$	2,30 %
U-236	Alpha	0,10 %	$2,394 \cdot 10^3$	1,37 %
U-238 Th-234 Pa-234m	Alpha	94,80 %	$1,180 \cdot 10^4$	6,77 %
	Beta		$1,180 \cdot 10^4$	6,77 %
	Beta		$1,180 \cdot 10^4$	6,77 %
Sonstige	Alpha/Beta	0,04 %	$1,710 \cdot 10^3$	1,01 %
Summe	-	100,00 %	$1,741 \cdot 10^5$	100,00 %

3.3.2 Medizin, Forschung und Industrie

3.3.2.1 Aufkommen

Aus Anwendungen radioaktiver Stoffe vor allem in der Medizin, jedoch auch in der Forschung und Industrie fallen flüssige radioaktive Abfälle an, die entsorgt werden müssen. Hierfür kommt entweder die Abgabe an eine Landessammelstelle als radioaktiver Abfall oder die Abklinglagerung bis zur Möglichkeit der Ableitung oder der Freigabe in Betracht.

In diesen flüssigen Abfällen weisen die Radionuklide oft so kurze Halbwertszeiten auf, dass ihre Aktivität in angemessener Zeit unter Freigrenzen für die Ableitung gem. § 47 StrlSchV oder unter Freigabewerte abklingt. Als angemessen kurzlebig werden hierbei in Universitätskliniken und anderen größeren medizinischen Einrichtungen Radionuklide mit Halbwertszeiten kleiner 100 Tagen angesehen, so dass in diesen Fällen Abklingzeiten bis zur Freigabe für die Abgabe als konventioneller Abfall von weniger als ca. 3 Jahren zu erwarten sind. In solchen medizinischen Einrichtungen findet

sich zumeist eine Regel, wonach aus praktischen Erfahrungen bei den meisten Abfällen das Einhalten der vorgeschriebene Sicherheitsabklingzeit von zehn Halbwertszeiten ausreichend ist.

Im Hinblick auf die konventionellen Anforderungen für die Entsorgung wird üblicherweise ein erlaubter Bereich der pH-Werte der gesammelten Flüssigkeiten vorgegeben. Es wird ferner vorgeschrieben, dass Flüssigkeiten mit wassergefährdenden Stoffen wie gefährliche Abfälle getrennt zu sammeln und entsprechend gekennzeichnet zur Entsorgung abzugeben sind.

Bei den Abfallarten handelt es sich um:

- wässrige Laborabfälle, Spülwasser, Konzentrate, Halbkonzentrate, Waschwasser, Pufferlösungen usw.,
- flüssige brennbare (organische) Abfälle wie organische Lösungsmittel, Szintillatorcocktails, Öle u. ä.,
- Szintillationszählfläschchen aus Polyethylen mit Inhalt, der meist aus Lösungen aus Flüssigszintillationsmessungen (H-3, C-14, P-32 und S-35) besteht und die getrennt gesammelt werden müssen, da sie der Verbrennung radioaktiver Stoffe zugeführt werden.

In Deutschland fallen aus der Medizin, Forschung und Industrie pro Jahr schätzungsweise 50 Mg bis maximal 200 Mg flüssige Abfälle an, wobei die Verbrennung, teilweise in Sondermüllverbrennungsanlagen, der bevorzugte Entsorgungsweg ist. Nach [LEH 95] fallen aus Medizin und Forschung insbesondere

- ca. 200 m³/a LSC Ampullen (Flüssig-Szintillations-Ampullen), was einer Masse von ca. 50 Mg/a entspricht, wobei ca. 25 Mg/a auf die Ampullen und ca. 25 Mg/a auf den flüssigen Inhalt entfallen, sowie
- ca. 10 m³/a organische Lösungsmittel an, die i. d. R. als Sondermüll beseitigt werden.

3.3.2.2 Radionuklide

Eine Übersicht der in Medizin, Forschung und Industrie relevanten Radionuklide, die nicht ausschließlich als umschlossene Strahlenquellen gehandhabt werden, zeigt Tabelle 3.8, in welcher die Übersicht aus TECDOC 1000 [IAE 98] wiedergegeben ist.

Tabelle 3.8: Übersicht über einige wichtige Radionuklide, die bei flüssigen Abfällen aus Medizin, Forschung und Industrie relevant sein können (nach [IAE 98])

Radionuklid	Halbwertszeit	Hauptanwendungsbereiche	Abfallcharakteristika	Art der Entsorgung
H-3	12,3 a	klinische Messungen, Forschung, Markierung, Leuchtmittel	fest, flüssig, org. Lösungsmittel, HTO, HT	Deponierung, Ableitung, Verbrennung
C-14	5,7·10 ³ a	Forschung, Markierung, klinische Messungen	fest, flüssig, Lösungsmittel, CO ₂ -Ausgasung	Deponierung, Ableitung, Verbrennung
Na-22	2,60 a	klinische Messungen, Forschung	flüssig	Ableitung
Na-24	15,0 h	klinische Messungen	flüssig	Ableitung, Abklinglagerung
P-32	14,3 d	klinische Therapie, Forschung, Markierung	fest, flüssig	Deponierung, Ableitung, Abklinglagerung
S-35	87,4 d (StrlSchV 87,5 d)	Forschung	fest, flüssig	Deponierung, Ableitung, Abklinglagerung

Radionuklid	Halbwertszeit	Hauptanwendungsbereiche	Abfallcharakteristika	Art der Entsorgung
Cl-36	3,0·10 ⁵ a	Forschung	fest, flüssig	Ableitung
K-42	12,4 h	biologische Forschung	überwiegend fest	Abklinglagerung
Ca-45	163 d	Forschung	überwiegend fest, teilweise flüssig	Deponierung, Ableitung, Abklinglagerung
Ca-47	4,53 d	klinische Messungen	überwiegend fest, teilweise flüssig	Deponierung, Ableitung, Abklinglagerung
Cr-51	27,7 d	klinische Messungen, Forschung	überwiegend flüssig	Ableitung
Fe-59	44,5 d (StrlSchV 45,1 d)	klinische Messungen, Forschung	überwiegend flüssig	Ableitung, Abklinglagerung
Co-57	271 d	klinische Messungen, Forschung	fest, flüssig	Deponierung, Ableitung, Abklinglagerung
Co-58	70,8 d	klinische Messungen, Forschung	fest, flüssig	Deponierung, Ableitung, Abklinglagerung
Ga-67	3,26 h (StrlSchV 78,3 h)	klinische Messungen	flüssig	Ableitung, Abklinglagerung
Se-75	120 d	klinische Messungen, Forschung	überwiegend flüssig	Ableitung, Abklinglagerung
Sr-89	50,5 d	klinische Therapie	überwiegend flüssig	Deponierung, Ableitung, Abklinglagerung
Y-90	2,67 d	klinische Therapie	überwiegend flüssig	Deponierung, Ableitung
Mo-99	2,75 d	Extraktion von Tc-99m	überwiegend flüssig	Abklinglagerung
Tc-99m	6,02 h	klinische Messungen, Forschung	fest, flüssig	Abklinglagerung
In-111	2,83 d	klinische Messungen, Forschung	fest, flüssig	Deponierung, Ableitung
I-123	13,2 h	klinische Messungen	fest, flüssig	Abklinglagerung
I-125	60,1 d (StrlSchV 59,4 d)	klinische Messungen, Forschung, Markierung	fest, flüssig, gelegentlich als Dampf	Deponierung, Ableitung, Abklinglagerung, Adsorption an C
I-131	8,04 d	klinische Messungen, Forschung, klinische Therapie	fest, flüssig, gelegentlich als Dampf	Deponierung, Ableitung, Abklinglagerung, Adsorption an C
Xe-127	36,4 d	klinische Messungen	gasförmig, flüssig	Adsorption an C, gasförmige Ableitung
Xe-133	5,24 d (StrlSchV 5,3 d)	klinische Messungen	gasförmig, flüssig	Adsorption an C, gasförmige Ableitung
Pm-147	2,62 a	Leuchtmittel	fest, flüssig	Deponierung, Ableitung, Verbrennung
Er-169	9,40 d	biologische Forschung	überwiegend fest	Abklinglagerung
Au-198	2,69 d	klinische Therapie	flüssig	Abklinglagerung
Hg-197	2,67 d	klinische Messungen	fest, flüssig	Abklinglagerung
Hg-203	46,6 d	biologische Forschung	fest, flüssig	Deponierung, Ableitung, Abklinglagerung
Tl-201	3,04 d	klinische Messungen	überwiegend flüssig	Deponierung, Ableitung, Abklinglagerung
Th-232	1,4·10 ¹⁰ a	Gasglühstrümpfe	fest, flüssig	Deponierung, Ableitung

3.4 Entsorgungs- und Verwertungsmöglichkeiten

3.4.1 Verbrennung von flüssigen Abfällen

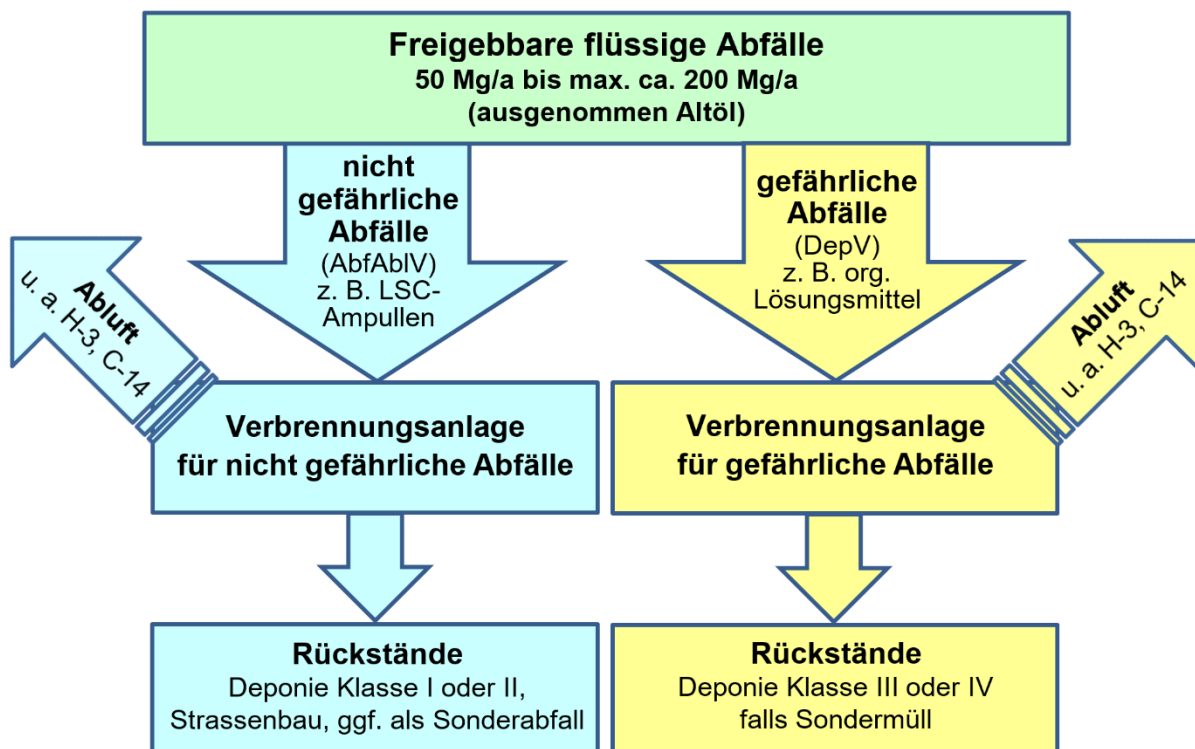
Bei der Beseitigung von freigebbaren flüssigen Abfällen (hier Altöl ausgenommen) durch Verbrennung mit anschließender Deponierung oder Verwertung der anfallenden Rückstände ist gemäß Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) [KWG 16] zwischen nicht gefährlichen Abfällen (Siedlungsabfall) und gefährlichen Abfällen (Sonderabfall) zu unterscheiden, da nach § 47 KrWG an gefährliche Abfälle besondere Anforderungen an die Entsorgung und Überwachung zu stellen sind.

Nicht gefährliche Abfälle werden konventionellen Verbrennungsanlagen zugeführt. Dabei entstehende Rückstände können i. Allg. entweder verwertet oder gemäß der Abfallablagerungsverordnung (AbfAbIV) [AAV 06] auf Deponien der Klasse I oder II abgelagert werden. Dies gilt nur, wenn die Rückstände nicht als Sonderabfall anfallen.

Die Verbrennung von gefährlichen Abfällen ist nur in eigens dafür ausgelegten Verbrennungsanlagen (Sonderabfallverbrennungsanlagen) gestattet. Die bei der Verbrennung von gefährlichen Abfällen anfallenden Rückstände sind i. Allg. ebenfalls als gefährliche Abfälle einzustufen. In diesem Fall darf gemäß Deponieverordnung (DepV) [DV 16] eine Ablagerung nur auf Deponien der Klasse III oder IV erfolgen.

Abbildung 3.4 zeigt schematisch die Aufteilung von freigebbaren flüssigen Abfällen auf die beiden Entsorgungspfade Verbrennung als nicht gefährlicher Abfall und Verbrennung als gefährlicher Abfall.

Abbildung 3.4: Schema des Massenflusses bei Beseitigung von flüssigen Abfällen durch Verbrennung



3.4.2 Verwertungs- und Entsorgungsmöglichkeiten für Altöle

3.4.2.1 Übersicht

Die Entsorgung von Altöl wird in der Altölverordnung (AltölV) [AÖV 12] detailliert geregelt. Altöle im Sinne dieser Verordnung (§ 1a AltölV) sind Öle, die als Abfall anfallen und die ganz oder teilweise aus Mineralöl, synthetischem oder biogenem Öl bestehen. Mögliche Entsorgungswege für Altöl sind gemäß AltölV

- die stoffliche Verwertung (Aufbereitung/Aufarbeitung),
- die energetische Verwertung (z. B. Verbrennung) und
- die Beseitigung (z. B. Sonderabfallverbrennung).

Bei der stofflichen Verwertung von Altöl wird zwischen Aufbereitung und Aufarbeitung unterschieden. Als Aufbereitung (Recycling) werden alle Verfahren bezeichnet, bei dem Basisöle⁴ durch Raffinationsverfahren aus Altölen erzeugt werden und bei denen insbesondere die Abtrennung der Schadstoffe, der Oxidationsprodukte und der Zusätze in diesen Ölen erfolgt. Unter den Begriff Aufarbeitung (Downcycling) fallen alle übrigen Verfahren, die eine stoffliche Verwertung ermöglichen (z. B. als Fließmittel zur Bitumenherstellung oder als Schmierstoff).

Ziel der Altöl-Verordnung ist es, möglichst viele Altöle einer Wiederverwendung zuzuführen. Der Aufbereitung von Altöl zu Basisöl wird daher nach § 2 Abs. 1 AltölV der Vorrang vor sonstigen Entsorgungsverfahren eingeräumt. Durch die stoffliche Verwertung von Altölen kann insbesondere Basisöl gewonnen werden, das Ausgangsprodukt für Schmierstoffe ist. Ein weiteres Ziel ist die Elimination von PCB und Halogenen aus dem Ölkreislauf. Vom Anwendungsbereich der AltölV ausgenommen sind Öle, die zugleich PCB im Sinne der PCB/PCT-Abfallverordnung (PCBAbfallV) [PAV 12] sind, da solche Öle nach dieser Verordnung zu entsorgen sind⁵.

Welcher Art der Entsorgung das Altöl zugeführt werden muss, richtet sich nach den Stoffeigenschaften des zu entsorgenden Altöls. Zur Beurteilung, welches Altöl welcher Art der Entsorgung zugeführt werden muss, hat der Gesetzgeber vier Sammelkategorien festgelegt, in denen jeweils Öle mit ähnlicher stofflicher Zusammensetzung und ähnlicher Verwertbarkeit zusammengefasst sind:

- Sammelkategorie 1: (Aufbereitung) Nichtchlorierte Maschinen- und Hydrauliköle auf Mineralölbasis,
- Sammelkategorie 2: (Aufarbeitung) Bearbeitungsöle und synthetische Hydrauliköle,
- Sammelkategorie 3: (Aufarbeitung, Verbrennung) Halogenhaltige oder chlorierte (insbesondere PCB-haltige) Öle,
- Sammelkategorie 4: (Aufarbeitung, Verbrennung) Isolieröle, Heizöl, sonstige Öle,

Damit die Verwertungsmöglichkeiten nicht beeinträchtigt werden, muss die Verunreinigung von Altölen verhindert werden. Gemäß § 4 Abs. 1 - 3 AltölV dürfen daher Altöle unterschiedlicher Sammelkategorien grundsätzlich nicht untereinander oder mit anderem Abfall vermischt werden.

In Deutschland werden jährlich ca. 100.000.000 Mg Mineralölprodukte eingesetzt. Der weit überwiegende Teil dieser Produkte wird für Mobilitätszwecke (z. B. als Benzin, Diesel, Flugbenzin oder Turbinenkraftstoff) und für die Energieerzeugung (u. a. als leichtes oder schweres Heizöl) genutzt. Alle anderen Nutzungsformen (z. B. Schmierstoffe, Bitumen, Wachse oder Paraffine) sind mengenmäßig nur von untergeordneter Bedeutung. So wird nur ca. 1 % der jährlich abgesetzten Mineralölmenge (ca. 1.000.000 Mg) zu Schmierstoffen verarbeitet [JEP 13].

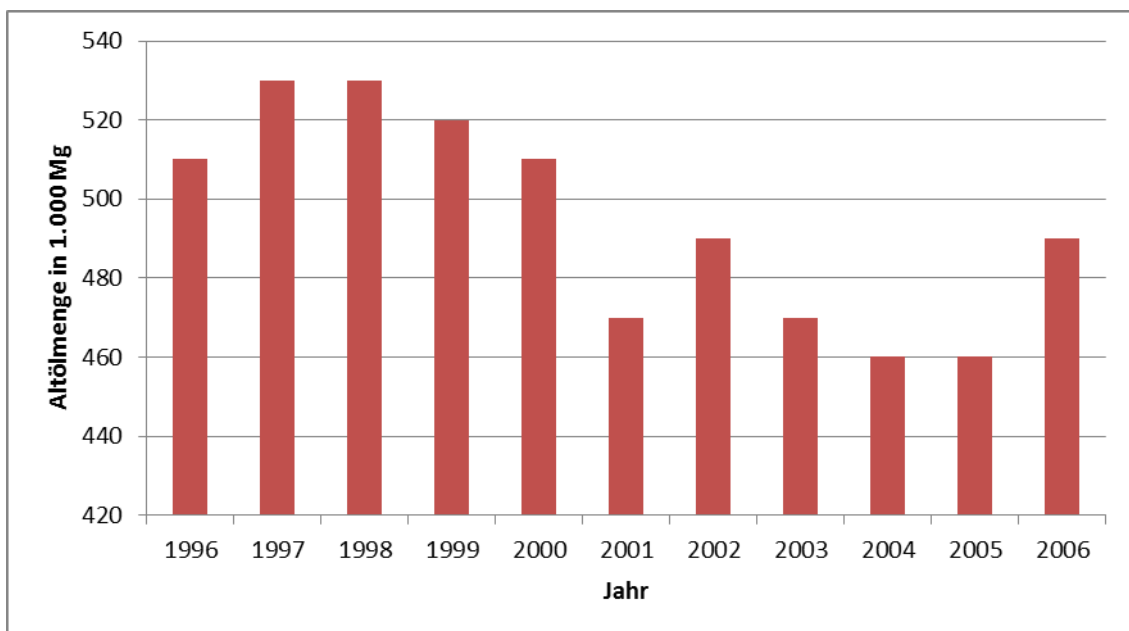
⁴ Grundöle ohne Wirkstoffe, die zur Herstellung von Schmierstoffen oder als Trägeröle für Schmierölzusätze (Additive, Wirkstoffe) verwendet werden.

⁵ PCB: Polychlorierte Biphenyle; PCT: Polychlorierte Terphenyle.

Im Hinblick auf die Abfallsituation sind dennoch nur Schmierstoffe von Belang, da nur diese in nennenswerten Mengen als flüssiger Abfall in Form von Altölen anfallen. Die Produktgruppen von Schmierstoffen umfassen *Motorenöle*, *Kompressorenöle*, *Turbinenöle*, *Getriebeöle*, *Hydrauliköle*, *Elektroisolieröle*, *Maschinenöle*, *Industrieöle*, *Prozessöle*, *Metallbearbeitungsöle*, *Basisöle*, Schmierfette sowie Extrakte aus der Schmierölraffination. Nur bei den kursiv dargestellten Produktgruppen resultieren für den Verwendungszweck nicht mehr brauchbare Altöle, die gemäß den Bestimmungen der Altölv getrennt gesammelt und der Verwertung /Beseitigung zugeführt werden können. In allen anderen Produktgruppen fallen keine Altöle an, weil die zugehörigen Stoffe entweder in anderen Produkten aufgehen (z. B. Paraffinöle in Cremes oder Salben) oder unwiederbringlich verloren gehen (z. B. Schmierstoffe in Verlustschmierungen oder Schalöle im Baugewerbe).

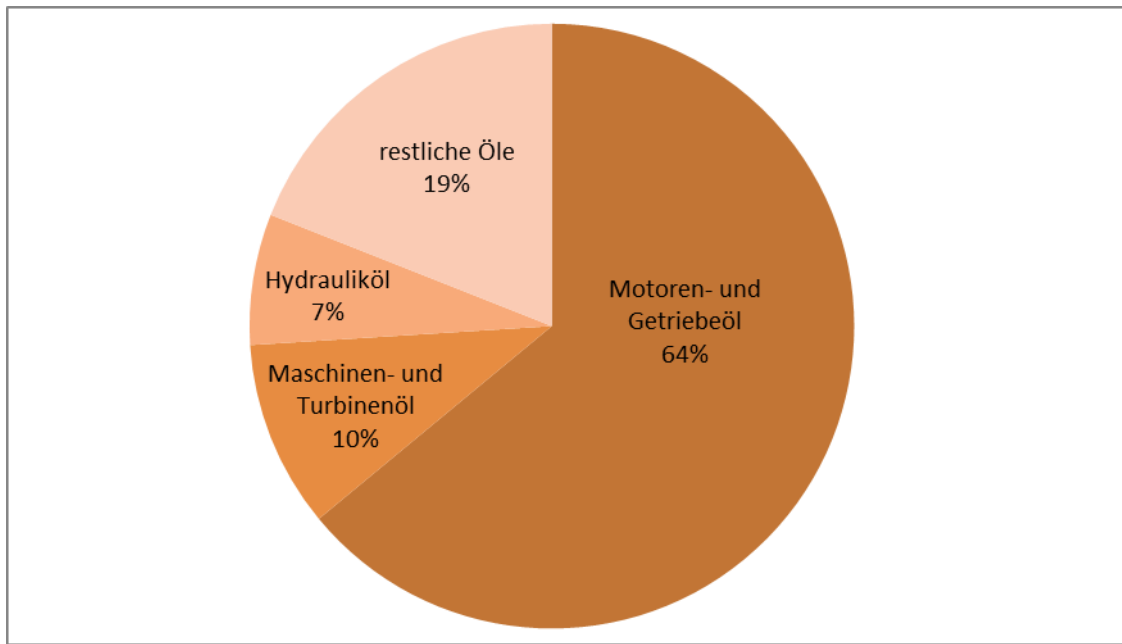
Die Rücklaufquoten von gebrauchten Ölen liegen in Deutschland zwischen 40 % (Metallbearbeitungsöle) und 90 % (Elektroisolieröle). Die zeitliche Entwicklung der Altölrücklaufmengen über den Zeitraum von 1996 bis 2006 zeigt Abbildung 3.5. Demnach betrug die Altölrücklaufmenge im Jahr 2005 rund 460.000 Mg und im Jahr 2007 etwa 490.000 Mg.

Abbildung 3.5: Altölaufkommen über den Zeitraum von 1996 bis 2006 nach [JEP 13]



In der folgenden Abbildung 3.6 ist das Altölaufkommen in Abhängigkeit von der Herkunft veranschaulicht [VDZ 97], [TP 04]. Den weitaus größten Anteil am Altölaufkommen von ca. 64 % nimmt demnach der Rücklauf an gebrauchten Motoren- und Getriebeölen ein. Maschinen- und Turbinenöle umfassen einen Anteil von 10 % am Altölaufkommen, gefolgt von Hydraulikölen mit einem Anteil von 7 %. Der Anteil sonstiger Altöle am Gesamtaufkommen (in der Abbildung als restliche Öle bezeichnet) liegt bei insgesamt 19 %.

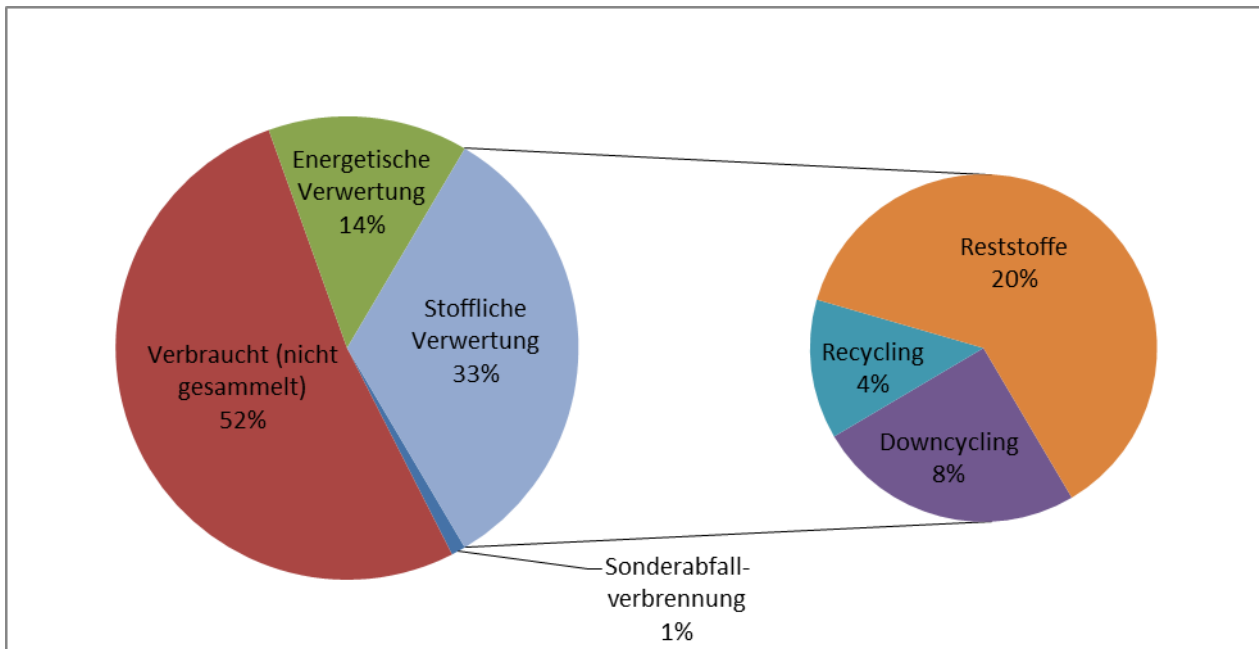
Abbildung 3.6: Altölaufkommen, aufgeteilt nach Herkunft [VDZ 97]



Für Altöle bestehen – wie eingangs bereits erwähnt – zwei Möglichkeiten der Verwertung. Insbesondere unbelastete Altöle können aufbereitet und als Basisöl, Heizöl oder Fluxöl wieder eingesetzt werden. Ist eine stoffliche Verwertung nicht möglich, können die Altöle auch energetisch genutzt werden, z. B. in der Zementindustrie. In Deutschland lag das Verhältnis zwischen stofflicher und energetischer Verwertung im Jahr 2007 bei 70 % zu 30 %. Zu beachten ist in diesem Zusammenhang, dass nach § 2 Abs. 1 AltöIV der Aufbereitung von Altöl zu Basisöl der Vorrang vor sonstigen Entsorgungsverfahren (insbesondere auch gegenüber einer energetischen Verwertung) einzuräumen ist.

Abbildung 3.7 zeigt die Bilanz der Altölverwertung unterteilt nach den gemäß AltöIV möglichen Entsorgungswegen [TP 04]. In den nachfolgenden Abschnitten wird auf die stoffliche Verwertung von Altöl durch Aufbereitung und auf die energetische Verwertung von Altöl durch Verbrennung näher eingegangen.

Abbildung 3.7: Bilanz der Altölverwertung, unterteilt nach Entsorgungswegen [TP 04]



3.4.2.2 Stoffliche Verwertung von Altöl durch Aufbereitung

Bei der stofflichen Verwertung von Altöl durch Aufbereitung können in Abhängigkeit von der technologischen Prozessführung neben dem Basisöl auch andere marktfähige Produkte entstehen, wie z.B. leichtes und schweres Heizöl oder Fluxöl, die keine Abfalleigenschaft mehr aufweisen

Aufbereitet werden überwiegend Altöle der Sammelkategorie I. Darüber hinaus können – nach entsprechender Qualitätsprüfung – aber auch Altöle der Sammelkategorie II einer Aufbereitung zugeführt werden. Beispielsweise wurden im Jahr 2006 durch Aufbereitung dieser Einsatzstoffe die in der Tabelle 3.9 angegebenen Produktmengen erzeugt [JEP 13].

Tabelle 3.9: Mineralölprodukte aus der Aufbereitung von Altölen im Jahr 2006 nach [JEP 13]

Produkt	Menge [Mg]
Heizöl (leicht)	7.100
Mitteldestillatkomponenten	16.200
Heizöl (schwer)	177.400
Bodenprodukte	39.500
Schmierstoffe	136.100
Summe	376.300

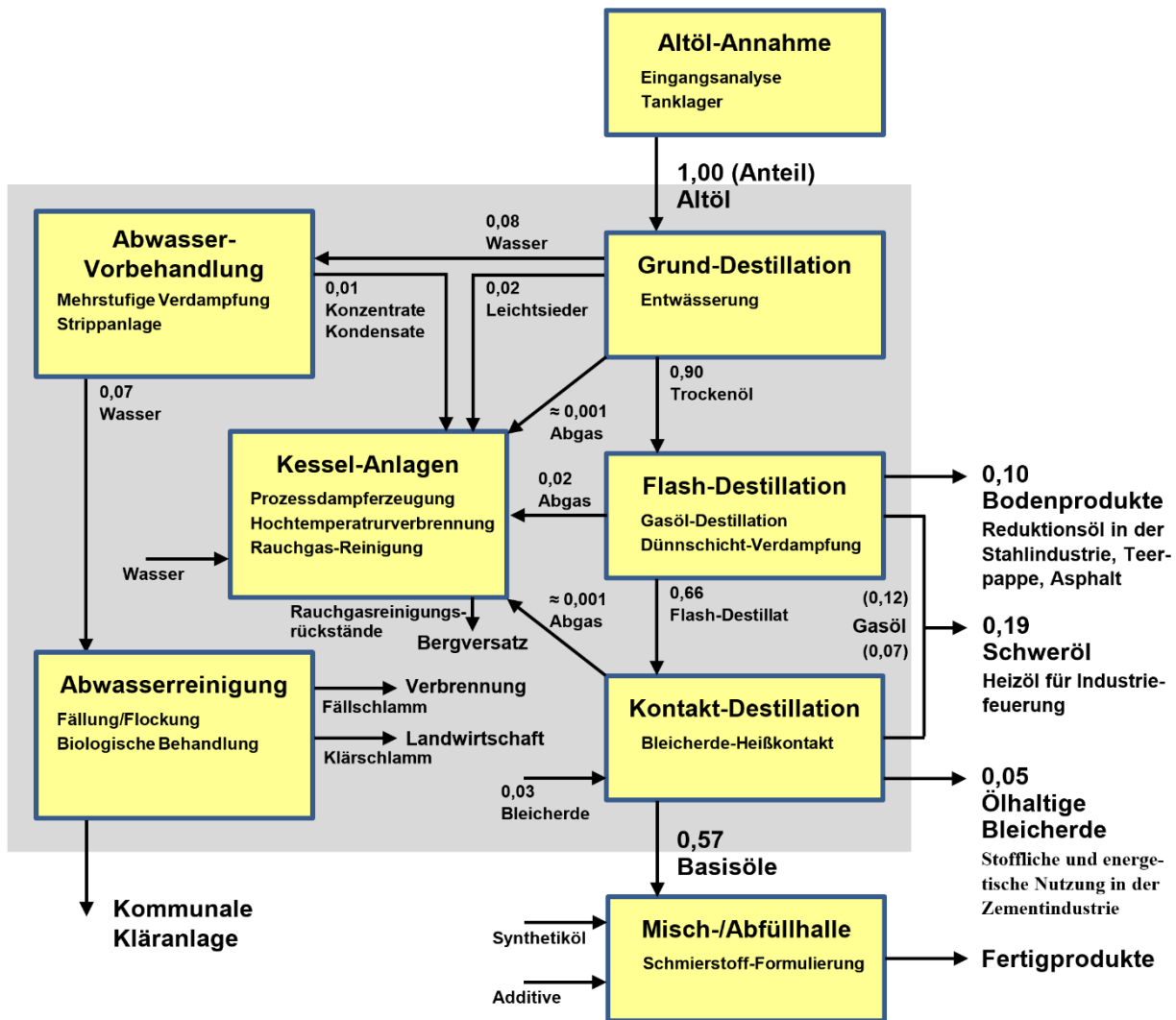
Die in der Tabelle 3.9 angegebenen Produkte lassen sich wie folgt charakterisieren:

- Die Produkte Heizöl (leicht), Mitteldestillatkomponenten und Heizöl (schwer) stellen unterschiedliche Siedelagen der abgetrennten leichter flüchtigen Anteile des Altöls dar und werden als Ersatzbrennstoffe an entsprechend geeignete Industrieanlagen oder auch als Schiffstreibstoff verkauft.
- Bei den Bodenprodukten handelt es sich es sich um schwere Destillationsrückstände, die überwiegend als sogenannte Fluxöle in die Blasbitumenherstellung gelangen.

- Die Schmierstoffe umfassen die Basisölkompontenten, die direkt für einen erneuten Einsatz in der Schmiermittelformulierung geeignet sind.

Zur Veranschaulichung der Aufbereitung von Altöl zu Basisöl ist nachfolgend in Abbildung 3.8 das bei der Mineralölraffinerie Dollbergen GmbH angewendete Prozessschema als Beispiel dargestellt.

Abbildung 3.8: Prozessschema der Altölaufarbeitung zu Basisölen (Grundölen für Schmierstoffe) bei der Mineralölraffinerie Dollbergen GmbH (nach [ÖKO 97])



Aus Abbildung 3.8 sind insbesondere die einzelnen Prozessschritte sowie die Mengenanteile, die auf diese Schritte entfallen, ersichtlich. Es wird deutlich, dass etwa 57 % der eingesetzten Altölmenge zu Basisölen aufgearbeitet werden kann. Die Abbildung zeigt ferner, dass ein nicht unwesentlicher Teil von ca. 19 % der zugeführten Altölmenge als Schweröl anfällt, welches z. B. in der Industrie als Heizöl eingesetzt werden kann. Weitere Anteile fallen als Bodenprodukt (ca. 5 %) und ölhaltige Bleicherde (ca. 20 %) an.

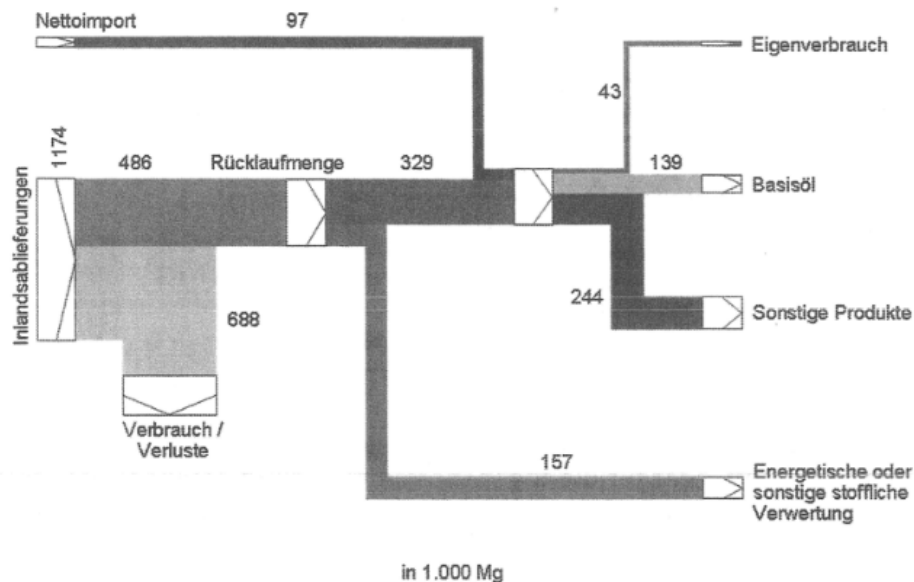
3.4.2.3 Energetische Verwertung von Altöl durch Verbrennung

Aufgrund der hohen Heizwertes und der gegenüber den meisten anderen Abfallströmen deutlich günstigeren feuerungstechnischen Eigenschaften (u. a. Pumpfähigkeit, begrenzte Explosionsneigung etc.) werden Altöle traditionell auch als Ersatzbrennstoff in großen Industrieanlagen eingesetzt. Abnehmer sind insbesondere Zementwerke und die Kalkindustrie. Weitere Altölmengen werden von der

Hüttenindustrie abgenommen. In diese Entsorgungswege gelangten beispielsweise im Jahr 2006 insgesamt ca. 157.000 Mg Altöl.

Die mengenmäßige Aufteilung der im Jahr 2006 verwerteten Altöle auf die Verwertungsziele zeigt Abbildung 3.9 nach [JEP 13]. Der hohe Anteil der Altölverwertung in der Zement- und Kalkindustrie wird deutlich. Zu beachten ist dabei, dass sich die dargestellten Mengen auf Trockenöl, also wasserfreies Altöl beziehen.

Abbildung 3.9: Mengenströme Altöl für das Jahr 2006 nach [JEP 13]



3.4.3 Verwertungs- bzw. Entsorgungsmöglichkeiten für Schlämme

Eine Freigabe von Schlämmen ist als seltener Ausnahmefall anzusehen und ist bisher nur im Rahmen der Stilllegung des Kernkraftwerks Greifswald (KGR) vorgesehen. In diesem Fall handelt es sich um klärschlammartigen Schlamm, der deshalb entsprechend entsorgt werden soll. Im Folgenden wird deshalb nur auf die Verwertung bzw. Entsorgung von Klärschlamm eingegangen.

3.4.3.1 Übersicht

Klärschlämme entstehen bei der Reinigung von Abwässern – insbesondere aus privaten Haushalte und vergleichbaren Einrichtungen – durch Sedimentation abtrennbarer Stoffe. Die Verwertungs- und Entsorgungsmöglichkeiten von Klärschlämmen umfassen insbesondere [LER 13]

- die Verwendung als Düngemittel in der Landwirtschaft und im Landschaftsbau aufgrund des relativ hohen Stickstoff- und Phosphatgehalts,
- der Einsatz als Primär-/Sekundärbrennstoff in Kraftwerken (Mono-, Müll- und Mitverbrennung) und bei der Zementherstellung sowie
- die Einlagerung auf geeigneten Deponien.

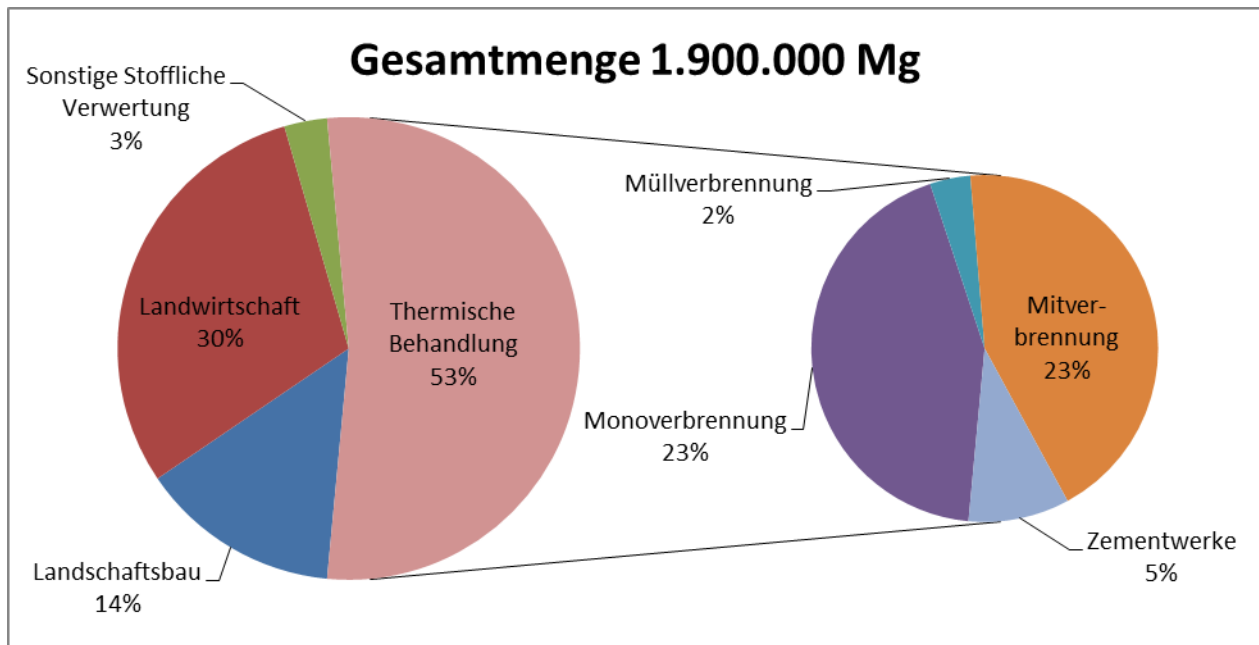
Nach Informationen des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) wird derzeit knapp die Hälfte der kommunalen Klärschlämme zu Düngezwecken eingesetzt, wobei der in der Landwirtschaft eingesetzte Klärschlammanteil seit 2006 mit rund 30 Prozent der insgesamt angefallenen Klärschlammmenge stagniert. Die verbleibende Restmenge wird unter anderem als Brennstoff eingesetzt oder auf Deponien eingelagert, wobei eine Deponierung seit dem 1.

Juni 2005 nur nach der Vorbehandlung in einer Verbrennungsanlage oder nach einer mechanisch-biologischen Behandlung zulässig ist [BMU 15].

Von 1995 bis 2010 hat die Trockenmasse (TS) von Klärschlamm statistisch um ca. 17 % von 2.300.000 Mg/a TS auf 1.900.000 Mg/a TS abgenommen. Der Anteil der thermischen Entsorgung hat in diesem Zeitraum um ca. 360 % von 280.000 Mg/a TS auf 1.000.000 Mg/a TS zugenommen. Im Jahr 2010 betrug der Anteil der thermischen Behandlung etwa 1.000.000 Mg TS. Das entspricht ca. 53 % der im Jahr 2010 angefallenen Gesamtmenge. Davon gingen als Primärbrennstoff etwa 23 % in die Monoverbrennung sowie als Sekundärbrennstoff ca. 23 % in die Mitverbrennung, 2 % in Müllverbrennungsanlagen und 5 % in Zementwerke [LER 13].

Die nachfolgende Abbildung 3.10 zeigt die Verteilung der im Jahr 2010 angefallenen Klärschlämme auf die verschiedenen Entsorgungswege. In den nachfolgenden Abschnitten wird auf die genannten Verwertungs- und Entsorgungsmöglichkeiten für Klärschlamm und insbesondere auf die in diesem Zusammenhang bestehenden rechtlichen Randbedingungen näher eingegangen.

Abbildung 3.10: Klärschlamm Entsorgung in Deutschland 2010 nach [LER 13]



3.4.3.2 Verwertung von Klärschlamm in der Landwirtschaft/Landschaftsbau

Die Verwertung von Klärschlamm in der Landwirtschaft und im Landschaftsbau erfolgt auf der Grundlage der Klärschlammverordnung (AbfKlärV) [KSV 15], die Grenzwerte für die Belastung des Klärschlammes mit Schwermetallen und anderen Schadstoffen enthält. Aufgrund der radiologischen Relevanz des mit der Verwertung in der Landwirtschaft zusammenhängenden Expositionspaths werden im Weiteren insbesondere die bestehenden rechtlichen Randbedingungen – soweit wie im Hinblick auf die vorliegende Aufgabenstellung erforderlich – für die Aufbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzten Flächen angegeben.

Begriffsbestimmung: (1) Klärschlamm ist gemäß AbfKlärV der bei der Behandlung von Abwasser in Abwasserbehandlungsanlagen einschließlich zugehöriger Anlagen zur weitergehenden Abwasserreinigung anfallende Schlamm, auch entwässert oder getrocknet oder in sonstiger Form behandelt. (2) Rohschlamm ist Schlamm, der Abwasserbehandlungsanlagen unbehandelt entnommen wird. Die Entwässerung von Rohschlamm gilt nicht als Behandlung von Klärschlamm. (3) Als Klärschlamm

im Sinne der AbfKlärV gelten auch Klärschlammkomposte und Klärschlammgemische und in Kleinkläranlagen anfallender Schlamm.

Hinsichtlich der Aufbringungsmenge von Klärschlamm gilt

- nach § 3 Abs. 1 AbfKlärV, dass Klärschlamm auf landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzten Böden nur so aufgebracht werden darf, dass das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt wird und die Aufbringung nach Art, Menge und Zeit auf den Nährstoffbedarf der Pflanzen unter Berücksichtigung der im Boden verfügbaren Nährstoffe und organischen Substanz sowie der Standort- und Anbaubedingungen ausgerichtet wird, sowie
- nach § 6 AbfKlärV, dass innerhalb von drei Jahren nicht mehr als 5 Tonnen Trockenmasse an Klärschlamm je Hektar aufgebracht werden dürfen.

Generelle bzw. temporäre Verbote für das Aufbringen von Klärschlamm ergeben sich

- aus § 4 Abs. 1 AbfKlärV, wonach das Aufbringen von Rohschlamm oder Schlamm aus anderen Abwasserbehandlungsanlagen als zur Behandlung von Haushaltsabwässern, kommunalen Abwässern oder Abwässern mit ähnlich geringer Schadstoffbelastung auf landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzte Böden generell verboten ist,
- aus § 4 Abs. 2 AbfKlärV, wonach das Aufbringen von Klärschlamm auf Gemüse- und Obstbauflächen generell verboten ist und auf Ackerflächen, die auch zum Anbau von Feldgemüse genutzt werden, im Jahr der Aufbringung des Klärschlammes und dem darauf folgenden Jahr der Anbau von Feldgemüse verboten ist sowie.
- aus § 4 Abs. 4 AbfKlärV, wonach das Aufbringen von Klärschlamm auf Dauergrünland verboten ist.

Daneben bestehen weitere, an bestimmte Bedingungen geknüpfte Verbote, die im vorliegenden Zusammenhang nicht relevant sind (z.B. für Forstflächen, Naturschutzgebiete usw.). Die angegebenen rechtlichen Vorgaben hinsichtlich der Mengenbegrenzung und der Einschränkung der Ausbringung nur auf bestimmte landwirtschaftliche Flächen werden bei der in späteren Abschnitten dieses Berichts beschriebenen Modellierung der Aufbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzten Flächen entsprechend berücksichtigt.

Mit Blick auf die essentielle Bedeutung des Rohstoffs Phosphor, der insbesondere in zur Düngung verwendeten Klärschlämmen – neben anderen Pflanzennährstoffen – zumeist in relativ hohen Konzentrationen enthalten ist, hat das BMUB einen Referentenentwurf zur Novellierung der geltenden Klärschlammverordnung [KSV 15] vorgelegt, wonach die Klärschlammausbringung zu Düngezwecken beendet und eine Rückgewinnung von Phosphor und anderen Nährstoffen aus dem Klärschlamm vorgenommen werden soll. In Zusammenarbeit mit den Ländern werden derzeit auch Möglichkeiten einer Rückgewinnung von Phosphor und anderen Nährstoffen unter anderem aus solchen Klärschlämmen geprüft, die nicht unmittelbar zu Düngezwecken auf Böden eingesetzt werden [BMU 15].

3.4.3.3 Verbrennung/Vergasung bzw. Deponierung von Klärschlamm

Verbrennung/Vergasung

Die Verbrennung/Vergasung von Klärschlamm erfolgt in dafür geeigneten Anlagen unter Einhaltung der gesetzlichen Bestimmungen des Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) [BIG 16] und den Vorgaben der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) [TAL 02].

Für die Verbrennung von Klärschlamm ist ein ausreichend hoher Heizwert wichtig, der aufgrund des i. Allg. hohen Wassergehalts nur durch vorherige Entwässerung/Trocknung des Klärschlammes zu erreichen ist. Der Heizwert des getrockneten Klärschlammes hängt von der Trocknungsart, der Restfeuchte und dem Kohlenstoffanteil im eingesetzten Edukt ab. Der Heizwert von getrocknetem Rohschlamm entspricht dem getrockneter Braunkohle (bis 19 MJ/kg), wobei getrockneter Faulschlamm

heute in der Regel nicht sinnvoll für eine Nährstoffrückgewinnung herangezogen werden. Bei Verfahren der Mitverbrennung ist eine Phosphorrückgewinnung wegen der Vermischung mit Aschen der anderen Brennstoffe problematisch. Bei Monoverfahren hingegen, bei denen ausschließlich Klärschlamm eingesetzt wird, ist der Phosphoranteil in der Asche so hoch, so dass eine Rückgewinnung des Phosphors in absehbarer Zeit durch die Ressourcenknappheit wirtschaftlich werden könnte [WIK 16A].

Deponierung

Aufgrund des hohen Gehalts an organischen Stoffen (etwa 50 %) ist die Beseitigung von (unbehandeltem) Klärschlamm durch Ein-/Ablagerung auf Deponien seit dem 1. Juni 2005 nicht mehr möglich. Gemäß Abfallablagerungsverordnung (AbfAbIV) [AAV 06] dürfen seit diesem Datum nur noch Abfälle mit höchstens 5 % organischer Trockenmasse deponiert werden. Eine Deponierung von Klärschlamm ist daher nur nach der Vorbehandlung in einer Verbrennungsanlage oder nach einer mechanisch-biologischen Behandlung zulässig.

3.4.4 Verwertung von Flusssäure

Für Flusssäure bestehen verschiedenen Verwertungsmöglichkeiten. Diese umfassen insbesondere folgende Anwendungsgebiete [WER 15]:

- Glasmattierung - Verwendung als Ätzmittel zum Matt- bzw. Blankätzen von Glas,
- Eisenbehandlung - Verwendung als Ätzmittel zum Entrosten und Blankätzen von Eisen,
- Eisengießerei - Verwendung als Reinigungsmittel zur Entfernung von Formsand von Gussstücken,
- Stein-, Gebäude- und Glasreinigung - Verwendung als Reinigungsmittel in sehr stark verdünnter Form,
- Elektroindustrie (Halbleiter-Herstellung) - Verwendung als Ätzmittel zur Herstellung von mikroelektronischen Schaltungen oder mikrosystemtechnischer Bauelemente,
- Bierherstellung - Verwendung als Konservierungsmittel zur Reinigung bzw. Konservierung von Brauereihefe.

Diese Anwendungsgebiete decken sich mit den Ausführungen in [WIK 16B]. In Deutschland ist allerdings die Verwendung von Flusssäure bei der Bierherstellung aufgrund des deutschen Reinheitsgebotes verboten und wird daher im Rahmen radiologischer Betrachtungen bzw. Modellierungen nicht weiter betrachtet.

4. VORLIEGENDE RADIOLOGISCHE MODELLE FÜR DIE FREIGABE VON FLÜSSIGKEITEN

4.1 Grundlagen

Die Freigabewerte der Anl. III Tab. 1 Sp. 5 StrlSchV wurden im Zeitraum 1998 bis 2000 zunächst für feste Reststoffe hergeleitet und begründet. Hierzu existiert der Bericht [DEC 00], der die Ergebnisse der radiologischen Rechnungen zusammenstellt und 2000/2001 als Grundlage für die Umsetzung in Anl. III Tab. 1 Sp. 5 StrlSchV diente. Da sich jedoch schon frühzeitig abzeichnete, dass verschiedene Arten von Flüssigkeiten für die uneingeschränkte Freigabe ebenfalls relevant sein würden, wurde in einer Ergänzung des Vorhabens St.Sch.4149 des BfS dieser Themenkomplex untersucht. Die Ergebnisse wurden im Abschlussbericht [DEC 00] dargestellt. Parallel wurden diese Ergebnisse auch im damaligen Ausschuss S5 (Radioökologie) der Strahlenschutzkommission beraten, in welchem seinerzeit Dr. Thierfeldt von Brenk Systemplanung berufen war. Daneben wurden allerdings in den folgenden Jahren auch andere Betrachtungen für die Freigabe verschiedener Arten von Flüssigkeiten durchgeführt. Hieraus lassen sich Ansätze für die radiologische Modellierung gewinnen.

Vor diesem Hintergrund werden in diesem Abschnitt die folgenden Modelle vorgestellt:

- Untersuchung zur Anwendung der Freigabewerte für die uneingeschränkte Freigabe für Flüssigkeiten in Abschnitt 4.2;
- Untersuchung für die Freigabe von für Zutrittslösungen aus der Schachtanlage Asse II in Abschnitt 4.3;
- Untersuchung der Freigabe von Flusssäure, die bei der Brennelementherstellung anfällt, in Abschnitt 4.4;
- Untersuchung für die Freigabe von Abwässern, die nicht abgeleitet werden können, durch Verregnung auf Grünflächen in Abschnitt 4.5;
- Diskussion der Szenarien, auf deren Basis die Ableitungswerte der Anl. VII Tab. 4 StrlSchV hergeleitet wurden, in Abschnitt 4.6;
- Betrachtung extremer Szenarien für die Freigabe von Flüssigkeiten in Abschnitt 4.7;
- Modellierung gemäß TECDOC 1000 der IAEA [IAE 98] für Abfälle aus Medizin, Forschung und Industrie in Abschnitt 4.8.

In Abschnitt 4.9 erfolgt eine Zusammenfassung der hier dargestellten Ergebnisse und Herangehensweisen und eine Diskussion, welche Rückschlüsse hieraus für die Modellierung in Abschnitt 5 gezogen werden können.

4.2 Überblick zum radiologischen Modell für die uneingeschränkte Freigabe von Flüssigkeiten

4.2.1 Szenarienübersicht

In der Untersuchung [DEC 00] wurden Szenarien für verschiedene Arten von Flüssigkeiten betrachtet, auf die bereits in Abschnitt 3 eingegangen wurde. Es handelt sich um

- Szenarien für Wiederverwendung, Aufbereitung und Verwertung von Altöl (Abschnitt 4.2.2),
- Szenarien für die Verbrennung und Deponierung von Klärschlamm und sonstigen Stoffen (Abschnitt 4.2.3) und

- Szenarien für flüssige Abfälle aus Medizin, Forschung und Industries (Abschnitt 4.2.4).

Die folgenden Abschnitte sind unmittelbar aus [DEC 00] übernommen. Sie wurden für die Lesbarkeit im Kontext dieses Berichts eingerichtet.

4.2.2 Wiederverwendung, Aufbereitung und Verwertung von Altöl

Der Anteil des wiederverwendeten oder aufbereiteten Altöls an der insgesamt in Deutschland anfallenden Altölmasse ist deutlich geringer als der thermisch genutzte Anteil. Öle finden außerdem in größeren Mengen vor allem in Maschinen Verwendung, durch deren Metallgehäuse von den Ölen ausgehende Strahlung stark abgeschirmt wird. Ist keine Abschirmung vorhanden, z.B. bei Verwendung als von außen aufgetragenes Schmiermittel, sind die restkontaminierten Ölmassen sehr gering. Durch Wiederverwendung oder Aufbereitung freigegebener Öle sind daher geringere Dosisbelastungen zu erwarten als durch die Verwertung von festen Reststoffen wie Metallen oder Bauschutt bei gleichen massenspezifischen Freigabegrenzwerten [KIS 93] [DEC 93] [JOH 93]. Dies wird durch die im Folgenden entwickelten Szenarien verdeutlicht. Diese Szenarien stützen sich auf die Verwertungs- und Beseitigungspfade, die in Abschnitt 3.4.2 im Detail dargestellt wurden.

4.2.2.1 Altölsammelbetrieb

Ein Altölsammelbetrieb stellt den Ort dar, wo die größten unverdünnten Mengen von kontaminiertem Altöl konzentriert gelagert und gehandhabt werden. Die radiologische Bewertung konzentriert sich daher auf die externe Bestrahlung in einem Altölsammelbetrieb.

- Beschreibung des Szenarios

Es wird angenommen, dass 100 Mg freigegebenen Altöls pro Jahr an einem Sammelbetrieb mit einem Durchsatz von 40.000 Mg/a abgegeben und dort bis zur weiteren Abgabe an einen Weiterverarbeiter gelagert werden. Dabei wird das Altöl gefiltert, um die Schwebepartikel zu entfernen. Hierbei wird angenommen, dass eine solche Filtrierung nicht bereits zuvor im abgebenden kerntechnischen Betrieb erfolgt ist. Die gesamte Aktivität befindet sich nach der Filtrierung in den Filtern und anderen Abfallprodukten (Ölschlamm). Die Filter und Rückstände (ca. 0,5 kg Ölschlamm pro Mg Altöl, wobei der realistischere Bereich zwischen 0,01 und 0,1 kg Ölschlamm pro Mg Altöl liegt) werden in einer Sondermüllverbrennungsanlage entsorgt. Des Weiteren wird zwischen einer kleinen und einer großen Filteranlage unterschieden, wobei sich die kleine Anlage durch kleinere Filtergrößen und häufigeren Filterwechsel von der großen Anlage unterscheidet.

Die spezifische Aktivität im Ölschlamm wird durch Aufkonzentrationsprozesse bei der Sedimentation bestimmt. Folgende Überlegung wird hier zugrunde gelegt: Für den Ölschlamm ergibt sich aus der Gesamtmenge freigegebenen Öls (100 Mg) und der Annahme von 0,5 kg Ölschlamm pro Mg Altöl eine Massenabschätzung von 50 kg. Unter der Annahme, dass sich die gesamte Aktivität des Öls im Schlamm absetzt, könnte die spezifische Aktivität des Ölschlammes somit Werte im Bereich von $2.000 \text{ Bq/g}_{\text{Ölschlamm}}$ je $\text{Bq/g}_{\text{Altöl}}$ erreichen.

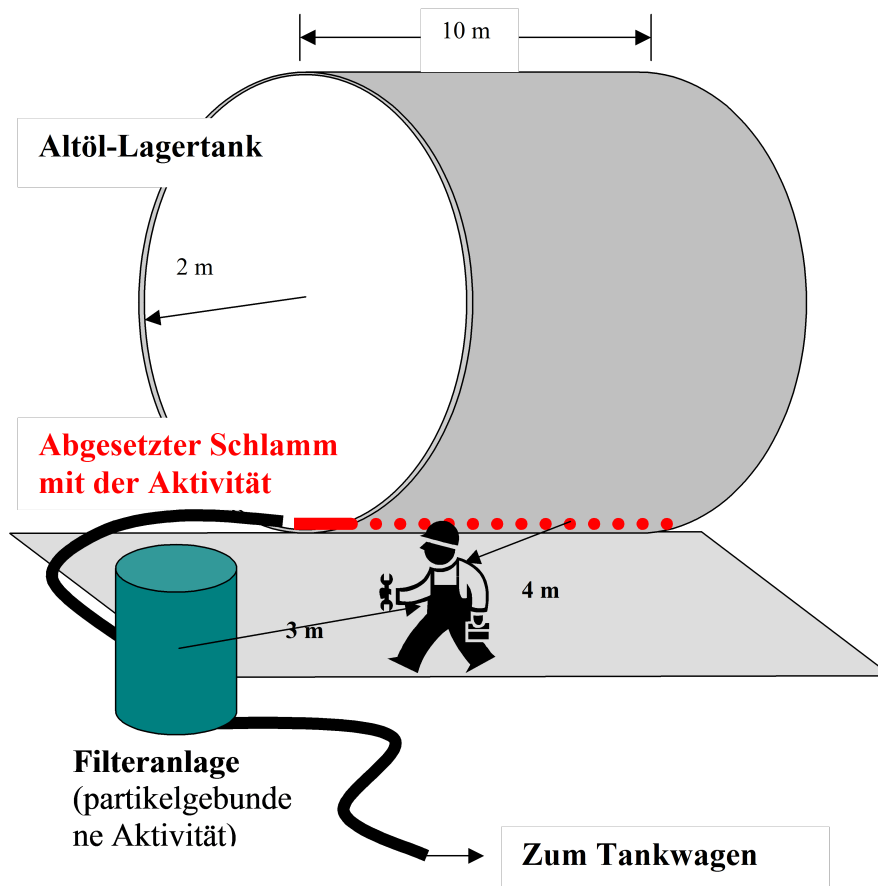
Abbildung 4.1 stellt das Szenario graphisch dar.

Für die Modellierung der externen Bestrahlung werden folgende Annahmen getroffen:

- Kapazität der Filteranlage bzw. des Lagertanks:
 - kleine Filteranlage: Bauvolumen $0,015 \text{ m}^3$, 120 Filterwechsel pro Jahr
 - große Filteranlage: Bauvolumen $0,1 \text{ m}^3$, 15 Filterwechsel pro Jahr
 - Tankvolumen 125 m^3
- Abschirmung, Filter- bzw. Tankanlage:
 - kleine Anlage: 1 cm Stahl (Dichte $0,85 \text{ g/cm}^3$) und 8 cm Öl (Dichte $7,86 \text{ g/cm}^3$)

- große Anlage: 1 cm Stahl und 15 cm Öl
- Tank: 1 cm Stahl und 50 cm Öl
- Abschirmung während eines Filterwechsels bzw. einer Tanksäuberung:
 - kleine Anlage: 0,2 cm Stahl und 8 cm Öl (da während eines Filterwechsels die Photonenstrahlung durch den Lagertank und das dort befindliche Öl abgeschirmt wird)
 - große Anlage: 0,2 cm Stahl und 15 cm Öl
 - Tank: 0 cm Stahl und 0 cm Öl (da die Person sich unmittelbar im Tank befindet)
- Expositionsabstände:
 - mittlerer Abstand des Arbeitsplatzes zur Filteranlage 3 m
 - während des Filterwechsels 1 m
 - zum Lagertank 4 m
 - während der Säuberung des Tanks 1 m (Abstand zwischen Person bei der Tanksäuberung und dem abgesetzten Schlamm)
- Expositionszeiten:
 - 1.800 h/a geteilt durch Anzahl der Filterwechsel, da konservativ angenommen wird, dass sich die Aktivität nur in einer Filterbeladung absetzt, d.h. kleine Filteranlage: 15 h/a, große Filteranlage: 120 h/a
 - während des Filterwechsels: 2 h
 - durch Tankanlage: 1.800 h/a
 - während der Säuberung des Tanks: 8 h
- Expositionsgeometrie
 - Filteranlage: Zylinderquelle mit Radius 15 cm (kleine Anlage) bzw. 30 cm (große Anlage), Berechnung für 10^8 Bq Co-60 bezogen auf 1 Bq/g im Altöl bei 100 Mg Altöl
 - Tankanlage: Zylinderquelle mit 10 m Länge und 10 cm Durchmesser (entspr. Länge des Tanks), Berechnung für 10^8 Bq Co-60 bezogen auf 1 Bq/g im Altöl bei 100 Mg Altöl

Abbildung 4.1: Sammelbetrieb für Altöl - Expositionsgeometrien (nicht maßstabsgerecht)



Die Berechnungen wurden unter Verwendung des Programms MicroShield [MIC 96] durchgeführt. Für die Berechnung der Exposition durch den Schlamm im Tank und durch die Aktivität in der Filteranlage wurden jeweils Zylindergeometrien angesetzt, die umliegenden Materialien (Öl, Stahl) wurden als Abschirmungen der jeweils angegebenen Dichten und Dicken modelliert. Alle Rechnungen wurden unter der Annahme durchgeführt, dass sich im Tank 10^8 Bq Co-60 und in den Filteranlagen 10^8 Bq Co-60 geteilt durch die Anzahl der Filterreinigungen pro Jahr befinden.

Tabelle 4.1 zeigt die Ergebnisse der Berechnung der effektiven Äquivalentdosisleistung für die einzelnen Tätigkeiten und Anlagen sowie die jeweiligen Annahmen zu den jährlichen Expositionszeiten. Hieraus berechnen sich für den Altölsammelbetrieb die in Tabelle 4.2 gezeigten Werte für effektive Individualdosis durch Multiplikation mit den jeweiligen Expositionszeiten. Es ergibt sich, dass bei einer großen Filteranlage im ungünstigen Fall mit Dosen von ca. $100 \mu\text{Sv/a}$ bei Vorliegen von $1 \text{ Bq Co-60 pro g Altöl}$ zu rechnen wäre. Um in diesem Fall die Einhaltung eines Dosisrichtwerts von $10 \mu\text{Sv/a}$ sicherzustellen, sollte die Aktivität von Co-60 *im Altöl* also $0,1 \text{ Bq/g}$ nicht überschreiten.

Tabelle 4.1: Ergebnisse der Berechnung der effektiven Äquivalentdosisleistung (für rotatorische Bestrahlungsgeometrie gemäß ICRP 51) auf der Basis von Rechnungen mit dem Programm MicroShield [MIC 96]

Quelle	effektive Äquivalentdosisleistung von Co-60 [($\mu\text{Sv/h}$)/(Bq/g _{Altöl})] und Expositionszeit in [h/a]	
	während des Betriebs	während Filterwechsel/Tanksäuberung
Kleine Filteranlage	1,1 (15 h/a)	12 (2 h/a)
Große Filteranlage	0,7 (120 h/a)	5 (2 h/a)
Tankanlage	0,023 (1.800 h/a)	3,8 (8 h/a)

Tabelle 4.2: Ergebnisse der Dosisberechnung für den Altölsammelbetrieb (auf Vielfache von 10 ($\mu\text{Sv/a}$)/(Bq/g_{Altöl}) gerundet)

Quelle	Dosis durch Co-60 [($\mu\text{Sv/a}$)/(Bq/g _{Altöl})]		Gesamt
	während des Betriebs	während Filterwechsel/Tank-säuberung	
Kleine Filteranlage	20	30	50
Große Filteranlage	80	10	90
Tankanlage	40	30	70

4.2.2.2 Aufbereitung des Altöls

4.2.2.2.1 Aufarbeitung des Altöls in Grundöl, Asphalt und Teerpappe aus den Rückständen

- Beschreibung des Szenarios:

Aus der Aufbereitung von Altöl entstehen schwere Rückstände (ca. 20 Gew.-% des Ausgangsmaterials). Aus diesen Rückständen werden Asphalt und Teerpappe hergestellt. Es wird angenommen, dass die Aktivität sich zu 100 % in den schweren Rückständen befindet. Aus den Rückständen (Asphalt) wird ein Geh- und Fahrradweg gebaut.

- Expositionsannahmen:

- Asphalt: 50 % mineralische Stoffe, 50 % Ölrückstände
- Weg: Breite 2 m und Dicke 10 cm. Dies bedeutet für eine Ausgangsmenge von 100 Mg/a Altöl (20 Mg Rückstände), dass eine Weglänge von 100 m mit kontaminiertem Material gebaut werden kann.
- Expositionszeit: Es wird angenommen, dass eine Person zweimal täglich diesen Weg begeht, wofür sie jeweils 1,5 min. benötigt. Beim täglichen Weg zur Arbeit legt sie diese Strecke an 200 Tagen im Jahr zurück. Hieraus ergibt sich eine jährliche Expositionszeit von 10 h/a.
- Die Expositionsgeometrie wird durch eine unendlich ausgedehnte Fläche beschrieben, wobei die Dosis in 1 m Höhe berechnet wird. Aus den Annahmen zur Geometrie ergibt sich ein Aktivitätsgehalt von 10^8 Bq (1 Bq/g im Altöl) in einem Volumen von $100 \text{ m} \cdot 2 \text{ m} \cdot 0,1 \text{ m} = 20 \text{ m}^3$.

Unter diesen Annahmen berechnet man mittels des Programms MicroShield [MIC 96] eine effektive Äquivalentdosisleistung von $0,55 \mu\text{Sv/h}$. Hieraus errechnet sich eine effektive Dosis durch Gamma-Bestrahlung von $5,5 (\mu\text{Sv/a})/(\text{Bq}_{\text{Co60}}/\text{g}_{\text{Altöl}})$.

4.2.2.2.2 Zementindustrie

- Beschreibung des Szenario:

Das Altöl wird an die Zementindustrie verkauft, wo es zur Herstellung von Zementklinker eingesetzt wird. Es stellt eine konservative Annahme dar, dass sich die Aktivität nach dem Herstellungsprozess, bei dem das Altöl zum Verbrennungsprozess im direkten Kontakt zum sonstigen Material zugesetzt wird, zu 100 % im Zementklinker wiederfindet. Es wird angenommen, dass der Zementklinker vollständig im Beton zum Hausbau eingesetzt wird.

- Fakten zur Betonherstellung

- Der Altölverbrauch beträgt 30 kg pro Mg Zementklinker.
- 330 kg Zementklinker wird für 1 m³ Beton benötigt.

- Expositionsannahmen:

- Für den Hausbau wird angenommen, dass Boden- und Deckplatten in einer Stärke von 20 cm aus Beton gegossen und zum Bau eines Wohnhauses verwendet werden.
- Für die Expositionsgeometrie wird ein Abstand von 1 m zum Boden und von 1,5 m zur Decke angenommen. Bzgl. der lateralen Ausdehnung wird eine Raumgeometrie von 4 · 5 m² unterstellt. Boden- und Deckenfläche bestehen somit jeweils aus 4 · 5 · 0,2 m³ = 4 m³ Beton. Ausgehend von der Annahme von 1 Bq/g_{Altöl} würden sich in Boden und Decke aufgrund der o.g. Fakten zur Betonherstellung somit jeweils 40.000 Bq Co-60 befinden.
- Die Expositionszeit wird zu 6.000 h/a (Wohnhaus) angenommen.

Unter diesen Annahmen berechnet man mittels des Programms MicroShield [MIC 96] eine effektive Äquivalentdosisleistung von $1,5 \cdot 10^{-3}$ µSv/h für den Beitrag des Bodens und $1,1 \cdot 10^{-3}$ µSv/h für den Beitrag der Decke ergeben, zusammen also $2,6 \cdot 10^{-3}$ µSv/h. Hieraus errechnet sich eine effektive Dosis durch Gamma-Bestrahlung von 16 (µSv/a)/(Bq_{Co60}/g_{Altöl}).

4.2.2.2.3 Aufarbeitung des Altöls in Grundöl - Reduktionsmittel in der Stahlindustrie

- Beschreibung des Szenario:

Aus der Aufarbeitung des Altöls entsteht ein Bodenprodukt (10 %), das die Aktivität zu 100 % enthält. Dieses Bodenprodukt wird in der Stahlindustrie als Reduktionsmittel zur Herstellung von Roheisen in Hochöfen eingesetzt. Es stellt eine konservative Annahme dar, dass sich die Aktivität nach dem Herstellungsprozess zu 100 % im Roheisen befindet.

- Fakten aus der Roheisenherstellung:

- Der Altölverbrauch beträgt 75 kg Öl pro Mg Roheisen.
- Die Tagesleistung eines Hochofens wird zu ca. 4.000 Mg angenommen.

- Berechnung der spezifischen Aktivität des Roheisens:

- Täglich werden im Hochofen 300 Mg Öl durchgesetzt (Produkt aus 75 kg_{Öl}/Mg_{Eisen} · 4.000 Mg/d).
- Ausgehend von der Annahme von 1 Bq/g_{Altöl} würde im kontaminierten Altöl eine Aktivität von 10⁸ Bq vorliegen.
- Durch die Annahmen zur Metallherstellung entsteht insgesamt eine Verdünnung von 1/30 als Produkt der Aufkonzentration im Bodenprodukt (1 Mg_{Bodenprodukt}/10 Mg_{Altöl}) und dem

angenommenen Öleinsatz von 10 Mg kontaminiertem Öl und dem Gesamtverbrauch von 300 Mg_{Öl} pro Tag.

Unter der Annahme von 1 Bq/g_{Altöl} ergibt sich die spezifische Aktivität des Roheisens als Quotient von $10^8 \text{ Bq} / 4.000 \text{ Mg}_{\text{Eisen}}$ zu 0,025 Bq/g_{Eisen}, bezogen auf 1 Bq/g_{Altöl}. Dieser Wert unterschreitet den Freigabewert für die uneingeschränkte Freigabe für Co-60 von 0,1 Bq/g bereits deutlich. Eine weitere Betrachtung ist daher an dieser Stelle nicht notwendig.

4.2.3 Verbrennung und Deponierung von Klärschlamm und sonstigen Stoffen

Wie auch in der SSK-Gesamtempfehlung [SSK 98] berücksichtigt, kann es durch die Verbrennung von Abfällen zu einer Exposition der Bevölkerung durch die Abluft der Verbrennungsanlage kommen. Die Exposition der Beschäftigten der Verbrennungsanlagen sowie einer Deponie, die die Schlacke aus der Verbrennung annimmt, wird durch das Szenario „Deponiearbeiter“ abgedeckt (s. [DEC 97]). Daher müssen zwei Expositionsszenarien im Hinblick auf die Verbrennung flüssiger Abfälle betrachtet werden: das „Abluftscenario“ und das „Deponiearbeiterszenario“.

Die im radiologischen Modell der Gesamtempfehlung unterstellten Verhältnisse können auch für flüssige Abfälle eingehalten werden, wenn nicht mehr als 100 Mg/a freigegebene flüssige Abfälle zusammen mit mindestens 75.000 Mg/a Siedlungsabfall verbrannt werden. Die Forderung, die flüssigen Abfälle *mit* dem festen Siedlungsabfall zu verbrennen (wie es in der Praxis üblich ist), garantiert, dass die spezifische Aktivität in der Schlacke begrenzt bleibt. Unter diesen Voraussetzungen bildet sich in der Schlacke keine höhere Aktivitätskonzentration, als im Modell unterstellt wurde, und aufgrund dessen bleibt die Exposition der Deponiearbeiter, die mit den Schlacken umgehen, unterhalb des Dosisrichtwerts. Da das „Abluftscenario“ nur von der Gesamtaktivität abhängt, garantiert die Begrenzung auf 100 Mg/a die gleichen Randbedingungen, wie sie das Modell aus der SSK-Gesamtempfehlung [SSK 98] aufweist.

Eine separate Modellierung der Verbrennung und Deponierung von Klärschlamm und sonstigen Stoffen ist an dieser Stelle daher insgesamt nicht notwendig, da die hierzu in [DEC 98] und [POS 95] betrachteten Szenarien für feste Stoffe, die den Freigabewerten in der SSK-Empfehlung [SSK 98] zugrunde liegen, in vollem Umfang anwendbar sind. Die Einhaltung der Freigabewerte für die Deponierung, die durchweg größer oder gleich den Freigabewerten zur uneingeschränkten Freigabe sind, sichert daher auch für flüssige Abfälle die Einhaltung des Dosisrichtwerts.

4.2.4 Abschätzung für Nuklide aus Medizin, Forschung und Industrie

- Beschreibung des Szenarios:

Für Nuklide aus Medizin, Forschung und Industrie wird im Folgenden eine grobe obere Abschätzung der Exposition durchgeführt. Hierzu wird angenommen, dass 100 Mg flüssige Abfälle aus der Medizin, Forschung und Industrie in einer einzigen Verbrennungsanlage während eines einzigen Verbrennungsvorgangs verbrannt werden und dass die entstehenden Rückstände im Bunker gehalten werden, bis eine LKW-Ladung (10 Mg Schlacke) vorliegt. Danach wird die gesamte Aktivität mit einer LKW-Ladung abtransportiert. Die LKW-Ladung mit den Verbrennungsrückständen wird in eine Deponie bzw. eine Straße eingebaut, wobei die Arbeiter durch Inhalation, Ingestion und äußere γ -Bestrahlung exponiert werden.

- Expositionsannahmen:

- Durch den Verbrennungsvorgang erfolgt eine Aufkonzentration etwa um einen Faktor 10 ($10 \text{ Mg}_{\text{Rückstände}} \text{ pro } 100 \text{ Mg}_{\text{Abfall}}$).
- Die Einbaurrate in die Deponie bzw. in die Straße beträgt 10 Mg/h.

- Die Expositionszeit liegt daher bei 1 h (oder weniger) für die gesamte Reststoffmenge (10 Mg_{Rückstände}), da die Einbaurrate mindestens 10 Mg/h beträgt.
- Die Staubkonzentration während des Einbaus wird abdeckend im Mittel zu 1 mg/m³ angenommen, die Atemrate während der Arbeit im Mittel zu 1,2 m³/h.
- Die während der Arbeit direkt aufgenommene Menge kann zu höchstens 0,1 g (Mittelwert pro Tag nach [STU 94]) abgeschätzt werden.
- Zur Dosisberechnung durch externe Bestrahlung wird eine Scheibengeometrie mit Radius 3 m und Dicke 0,3 m (Dichte $\rho = 1,5 \text{ g/cm}^3$) betrachtet, auf der sich die Person aufhält. Die effektive Äquivalentdosisleistung wird mittels MicroShield [MIC 96] berechnet.
- Dosisfaktoren für Inhalation und Ingestion werden den Strahlenschutz-Grundnormen [EUR 96] entnommen.

Das Ergebnis der Dosisberechnung für die führenden Radionuklide aus der Medizin, Forschung und Industrie, die in den Verbrennungsrückständen wiederzufinden sind, zeigt Tabelle 4.3. Die gesamte Aktivitätsmenge ergibt sich für jedes aufgeführte Nuklid als Produkt aus dem (zu 100 % ausgeschöpften) Freigabewert in Spalte 2 und der angesetzten Gesamtmasse flüssiger Abfälle, 100 Mg = 10⁸ g.

Tabelle 4.3: Dosisabschätzung für Nuklide aus Medizin, Forschung und Industrie

Radionuklid	Freigabewert Beseitigung [Bq/g]	Dosis [µSv] bei Vernachlässigung des rad. Zerfalls		
		Inhalation	Ingestion	γ-Bestrahlung
P-32	1.000	0,04	2	--
P-33	40.000	0,6	10	--
S-35	200	0,003	0,2	--
Cr-51	300	0,0001	0,01	10
Co-57	100	0,0007	0,02	10
Se-75	30	0,0006	0,08	2
I-125	3	0,0003	0,05	0,02

4.2.5 Vorschläge

Aus der in den Abschnitten 4.2.2 bis 4.2.4 durchgeführten Dosisabschätzung wurden in [DEC 00] die folgenden Schlussfolgerungen gezogen:

- Abwasser sowie wässrige Lösungen sollten im Regelfall im Rahmen der genehmigten Abgaben entsorgt werden. Hier sind neben den atomrechtlichen Bestimmungen auch andere Gesetzgebungen, wie z.B. das Wasserhaushaltsgesetz (WHG), zu beachten.
- Die Freigabewerte aus der SSK-Empfehlung [SSK 98] für die **uneingeschränkte Freigabe** können für die thermische Verwertung, Aufarbeitung und Beseitigung von flüssigen Abfällen herangezogen werden.
- Die Freigabewerte für die **Beseitigung** aus der SSK-Empfehlung können dann Anwendung finden, wenn sichergestellt ist, dass die flüssigen Abfälle in einer konventionellen Müllverbrennungs- bzw. Sondermüllverbrennungsanlage beseitigt werden, wodurch ein hoher Grad an technisch bedingter Vermischung mit unkontaminierten Abfällen gewährleistet wird.

Die Freigabewerte für die Beseitigung gelten nicht für andere thermische Verwertungsarten.

- Bei der Freigabe von Turbinenöl eines SWR (ca. 100 Mg) wird vorgeschlagen, dass entweder die mittlere spezifische Aktivität, gemittelt über die Gesamtmenge (ca. 100 Mg), den uneingeschränkten Freigabewert deutlich unterschreitet (ca. Faktor 10) oder das Öl vor der Freigabe gefiltert wird (die evtl. Freigabe des Filters ist nicht Gegenstand dieser Betrachtung).

4.3 Überblick zum radiologischen Modell für Zutrittslösungen aus der Schachtanlage Asse II

4.3.1 Übersicht

Die Untersuchung [BAR 10] befasst sich mit der Erarbeitung von Standortbezogenen Freigabewerten für Zutrittslösungen aus der Schachtanlage Asse. Es handelt sich hierbei zwar um einen Einzelfallnachweis im Sinne von § 29 Abs. 2 Satz 3 StrlSchV, jedoch ist die radiologische Modellierung, die angewendet wurde, übertragbar auf andere Fragestellungen und wird deshalb hier wiedergegeben. In [BAR 10] erfolgte die Berechnung von Freigabewerten für die Abgabe von Zutrittslösungen aus der Schachtanlage Asse an Dritte sowie von Freigabewerten für die Nutzung von Zutrittslösungen innerhalb der Schachtanlage Asse.

Der damaligen Betrachtung bezog sich auf die in der Schachtanlage Asse auf verschiedenen Sohlen auftretenden Salzlösungen, die zum Teil radioaktive Kontaminationen aufwiesen. Es wurden zwei wesentlich verschiedenartige Salzlösungen unterschieden:

- (1) Zutrittslösungen, die im Umfang von ca. 12 m³/d kontinuierlich auf den Sohlen 658 m, 725 m und 750 m gefasst und dort bzw. in Speicherbecken auf der Sohle 490 m gespeichert wurden;
- (2) kontaminierte Salzlösungen, die auf der 750-m-Sohle vor Einlagerungskammern in Sohlenschlitzen bzw. im Laugensumpf vor der Kammer 12 anzutreffen waren und in der Vergangenheit teilweise in den Tiefenaufschluss verbracht wurden. Bei diesen Salzlösungen handelt es sich hauptsächlich um Lösungsrückstände des früheren (nassen) Versatzes von Abbaukammern; es wurde jedoch nicht ausgeschlossen, dass sie z. T. auch durch Eindringen von Zutrittslösungen in (LAW-) Einlagerungskammern bedingt sein konnten.

Es ist bekannt, dass die gespeicherten Zutrittslösungen geringe Konzentrationen an Radionukliden enthalten, die durch Freisetzungen aus Einlagerungskammern bedingt sind. Hierbei handelte es sich hauptsächlich um Tritium (H-3), das mit den Grubenwettern zu Sümpfen, Sammelbehältern und Speicherbecken gelangt und sich dort in der gespeicherten Zutrittslösung anreichert. Abfallbedingte Kontaminationen über die Grubenwetter waren auch für weitere Radionuklide (C-14 und Rn-222-Tochter nuklide Pb-210, Po-210) möglich. Bei Kontrollmessungen wurden in der Vergangenheit in wenigen Fällen (unregelmäßig) auch sehr geringe Kontaminationen mit Cs-137 festgestellt. Hierfür wurden verschiedene Ursachen vermutet, so unter anderem auch, dass auf der 750-m-Sohle in Sümpfen zur Fassung von Zutrittslösung durch Migration auch kontaminierte Salzlösung von nahegelegenen Einlagerungskammern gelangt.

Bis Juni 2008 wurden die gefassten Zutrittslösungen auf Basis der Einhaltung von 10 % der Freigabewerte für H-3 und Cs-137 nach Anl. III Tab. 1 Sp. 5 StrlSchV zur Verwendung bei der Flutung anderer Salzbergwerke (Mariagluck, Hope, Salzdetfurth) freigegeben. Diese Vorgehensweise war von der zuständigen bergrechtlichen Aufsichtsbehörde genehmigt worden. Da jedoch die Voraussetzungen zu dieser Freigabe und die Expositionsszenarien noch einmal untersucht werden sollten, wurde die Untersuchungen [BAR 10] durchgeführt.

Im Folgenden wird nur die radiologische Modellierung aus [BAR 10] wiedergegeben, während für die Daten zum Grubengebäude, zum Laugenzutritt usw. auf den Bericht zur Untersuchung verwiesen wird.

4.3.2 Freizugebende Laugenmenge und Verwertungsmöglichkeiten

Die Abschätzung zum Laugenzutritt und die Auswertung der bislang freigegebenen Salzlaugen in [BAR 10] ergab, dass für die radiologische Modellierung davon ausgegangen werden konnte, dass die mittlere Einspeisung in die Speicherbecken der 490-m-Sohle insgesamt bei ca. 12,8 m³/d lag, was sich aus 11,8 m³/d Zutrittslösungen und sonstigen Salzlösungen sowie aus 1 m³/d Betriebswasser zusammensetzte. Diese Laugenmenge wurde den radiologischen Betrachtungen zur Freigabe zugrunde gelegt.

Für diese Lauge bot sich zu damaliger Zeit die bereits seit langem bewährte Nutzung in den umliegenden (ehemaligen) Salzbergwerken, deren Grubengebäude versetzt werden musste. So wurden ab 2005 von der Schachtanlage Asse freigegebene Salzlösungen hauptsächlich an die K+S AG (Inaktive Werke) zur Flutung der ehemaligen Salzbergwerke Hope (ca. 12.696 m³), Mariagluck (ca. 5.932 m³) und Salzdettfurth (ca. 1.429 m³) abgegeben.

Auf die Nutzung von Salzlauge zur Flutung von stillgelegten Salzbergwerken wird in [LBE 16] eingegangen.

„Die Allgemeine Bergverordnung schreibt vor, dass bei endgültiger Einstellung eines Salzbergbaubetriebes alle nicht verfüllten Grubenbaue zu fluten sind. Die Flutung eines Bergwerks hat zwei wesentliche Ziele:

- Der hydrostatische Druck des Flutungsmediums stützt die Stöße und Firsten von Strecken und Abbaue. Dadurch wird einerseits die Standsicherheit der Abbaue erhöht, andererseits verringert sich die für Abbaue im Salzgestein typische Konvergenz, die auf das kriechfähige Materialverhalten von Steinsalz zurückzuführen ist. Diese Stabilisierung der Strecken und Abbaue bedeutet gleichermaßen eine Sicherung der Tagesoberfläche und eine deutliche Verringerung der übertägigen Senkungen.
- Zusätzlich wird durch die Flutung eines Bergwerks verhindert, dass sich Wegsamkeiten für Wässer aus dem Deck- oder Nebengebirge in das Bergwerk bilden. Dadurch kann es zu keiner unkontrollierten Flutung kommen, die – wie Beispiele aus der Vergangenheit belegen – mit einer Beeinträchtigung der Tagesoberfläche verbunden sein könnte.

Als Flutungsmedium wird sofern verfügbar Salzlauge, sonst Frischwasser verwendet. Die Einleitung des Flutungsmediums erfolgt gezielt in Grubenteilen, in denen die zu erwartenden Lösungs- oder Umlösungsprozesse die Standsicherheit der Grubenbaue nicht gefährden. Das LBEG bearbeitet im Rahmen der Genehmigungsverfahren insbesondere bei Gruben mit großen Abbauvolumen die geologischen und geomechanischen Fragestellungen.“

Die hohe Sättigung der Salzlösungen aus der Asse war für die Anwendung zur Flutung der Grubengebäude der umliegenden ehemaligen Salzbergwerke somit gewünscht. Neben den drei oben genannten Bergwerken erfolgte außerdem die Abgabe an die Standorte Desdemona und Nordstemmen, die Nutzung im Versatzbergwerk Teutschenthal und die Entsorgung im Salzbergwerk Bleicherode.

Daneben wurden die Laugen auch innerhalb der Schachtanlage Asse selbst genutzt. Sie wurden zur Herstellung von Salzbeton, der für Versatz und verschiedene Stilllegungsmaßnahmen eingesetzt werden kann, verwendet. Es handelt sich um einen speziellen Säure-Base-Zement, der resistent gegenüber Kalisalzen ist, während Baustoffe aus sonst üblichem Zement im Laufe der Zeit durch wasserlösliche Salze zersetzt werden.

4.3.3 Radiologische Modellierung

Die radiologische Modellierung in [BAR 10] bezog sich auf die in Abschnitt 4.3.2 aufgeführten Verwertungsmöglichkeiten. Betrachtet wurden sowohl Szenarien für Personen der allgemeinen Bevöl-

kerung als auch für das Personal, das die freigegebenen Laugen transportiert sowie im Versatz anwendet. Die radioökologischen Expositionspfade wurden hierbei analog zu den Festlegungen der AVV zu § 47 StrlSchV [BMU 12] modelliert. Nicht einbezogen werden die Faktoren in Anl. VII Teil B Tab. 1 Sp. 8 StrlSchV.

Der folgende Text in diesem Abschnitt stammt aus [BAR 10] und ist zum besseren Verständnis leicht gekürzt (Weglassung von Passagen, die sich auf spezielle Situationen der Asse beziehen) sowie für die Lesbarkeit eingerichtet.

4.3.3.1 Übersicht der Szenarien (aus [BAR 10])

Zunächst wurden Strahlenexpositionen der Arbeitnehmer beim Transport der Salzlösungen zu den betrachteten Nutzungsstandorten abgeschätzt (**Szenario 1**). Zu potentiellen Strahlenexpositionen der Bevölkerung wurde hypothetisch eine Freisetzung von Flutungswässern dieser ehemaligen Salzbergwerke in die Biosphäre betrachtet. Hierzu wurden die beiden Szenarien einer Nutzung von kontaminiertem Grundwasser über einen Hausbrunnen (**Szenario 2**) sowie der Nutzung von Oberflächenwasser (**Szenario 3**) des im jeweiligen Gebiet potentiell betroffenen Vorfluters betrachtet.

Bei intakter hydraulischer Barriere (Salzgestein) treten keine Wässer aus gefluteten Grubenbauen in die umgebende Geosphäre und die Biosphäre aus. Dies wäre nur in den Fällen schon bestehender oder unter Einfluss von Konvergenz entstehender Wasserwegsamkeiten möglich. Um auch diesen Fall hypothetischer Wasserwegsamkeiten abzudecken, wurden potentielle Strahlenexpositionen der Bevölkerung in den Szenarien 2 und 3 konservativ mit einem rechnerischen Ansatz zur Freisetzung der Salzlösungen betrachtet. Zur Ableitung von Freigabewerten wurde angesetzt, dass 5.600 m³/a Flutungswässer ausgepresst werden, was dem konservativen Wert zur Abgabe von Salzlösungen aus der Schachanlage Asse entspricht.

Bei den Berechnungen wurde konservativ keine Vermischung der Asse-Salzlösungen mit anderen, entsprechend ihrer Herkunft sicher unkontaminierten Salzlösungen oder Wässern in den Grubengebäuden berücksichtigt. Es wird zudem konservativ angenommen, dass in den ersten Jahren ausschließlich die in schachtnahe Grubenhohlräume eingebrachten Salzlösungen freigesetzt würden. Da eine Verzögerung der Auspressung und damit der radioaktiven Zerfall relevanter Radionuklide bis zur Freisetzung nicht berücksichtigt wird⁶, entspricht die angesetzte Freisetzungsrates in den Szenarien 2 und 3 einer hypothetischen Direkteinleitung der Asse-Salzlösungen in das Grund- bzw. Oberflächenwasser.

Dieses gedankliche Bild verdeutlicht die sehr große Konservativität, die hier zur Berechnung von Freigabewerten angesetzt wurde. Für die Dosisberechnungen implizieren diese Ansätze, dass der Zufluss kontaminierter Salzlösungen in das Grund- bzw. Oberflächenwasser auf einen Zeitraum von 5 Jahren begrenzt ist, da die längste Dauer eine Nutzung von Asse-Salzlösungen (für die Flutung des Grubengebäudes Mariagluck) nur bis zum Jahr 2013 reicht und die für die Expositionsszenarien 2 und 3 hypothetisch angesetzte Freisetzungsrates mit der jährlichen Verbringung übereinstimmt.

Das Teilszenario der landwirtschaftlichen Nutzung eines Überschwemmungsgebiets ist für die hier betrachten drei Fälle nicht relevant, da die potentiellen Überschwemmungsgebiete für eine landwirtschaftliche Nutzung zu klein sind. Die fünf betrachteten Teilszenarien T (Trinkwasser), V (Viehtränke), B (Beregnung), F (Fischverzehr) und U (Ufersediment) gewährleisten eine konservative Berechnung potentieller Strahlenexpositionen der Bevölkerung.

⁶ Die Vernachlässigung des radioaktiven Zerfalls bringt für die wichtigen Leitnuklide H-3 (Halbwertszeit von 12,3 a) und Cs-137 (Halbwertszeit von 30,2 a), aber auch für weitere potentiell relevante Radionuklide wie Co-60 (Halbwertszeit von 5,3 a), Sr-90 (Halbwertszeit von 28,5 a) und Pb-210 (Halbwertszeit von 22,3 a) eine erhebliche Konservativität in die Abschätzungen von potentiellen Strahlenexpositionen der Bevölkerung ein.

4.3.3.2 Generelle und standortbezogene Szenarien und Parameter

Für die betrachteten 3 Szenarien sind weitere Ansätze zu relevanten Parametern erforderlich.

Szenario 1: Strahlenexposition eines Tankwagenfahrers beim Transport von Asse-Salzlösungen

Strahlenexpositionen der Tankwagenfahrer können nur durch äußere Gammastrahlung resultieren und sind deshalb nicht für alle Radionuklide relevant. Der Transport von Salzlösungen zur Schachtanlage Mariagluck erfolgte in monatlichen Förderkampagnen mit jeweils 20 Fahrten, wobei über 2 Tage 5 LKW eingesetzt werden, die jeweils 4 Fahrten realisierten. Eine Tour von der Schachtanlage Asse nach Mariagluck dauerte etwa 1,5 h. Daraus resultiert eine realistisch abgeschätzte jährliche Expositionszeit der Fahrer von $t_{\text{exp}} = (1,5 \text{ h/Fahrt}) \times (48 \text{ Fahrten/a}) = 72 \text{ h/a}$.

Zur Berechnung von Freigabewerten werden konservativere Annahmen getroffen. Es wird konservativ angesetzt, dass der Transport von Asse-Salzlösungen zu den Nutzungsstandorten nur durch einen Fahrer realisiert wird. Die Tankwagen wurden mit ca. 20 m³ Salzlösung gefüllt. Bei Ansatz des konservativen Wertes zur jährlichen Abgabemenge von 5.600 m³/a wären pro Jahr rund 280 Fahrten erforderlich. Die Fahrzeit zu den betrachteten Standorten liegt zwischen ca. 1,5 h (Salzdetfurth und Mariagluck) und 2 h (Hope). Zur Vereinfachung der Berechnungen wird konservativ für den Transport von Asse-Salzlösungen zu den drei potentiellen Abnehmern mit einer einheitlichen Fahrzeit von 2 h gerechnet. Dies entspricht einer (standortunabhängigen) Expositionszeit des Tankwagenfahrers von $t_{\text{exp}} = 560 \text{ h/a}$.

Szenario 2: Strahlenexposition über den Wasserpfad durch Nutzung von kontaminiertem Grundwasser aus einem Brunnen

Eine Nutzung von Brunnenwasser wurde über die Teilszenarien Trinkwasser (T), Viehtränke (V) und Beregnung (B) betrachtet. Konservativ wurde der radioaktive Zerfall im Zeitraum zwischen der Einbringung der Asse-Salzlösungen in ein Grubengebäude und dem Eintritt kontaminierter Salzlösung in einen durch Brunnen genutzten Grundwasserleiter vernachlässigt. Eine Sorption von Radionukliden während des Transports der Salzlösung aus dem Grubengebäude in den Grundwasserleiter wurde ebenfalls nicht berücksichtigt. Die Verdünnung der Salzlösung mit Süßwasser im Grundwasserleiter wurde berücksichtigt. Hierbei wurde für eine Nutzbarkeit des Wassers lediglich mit einer Mindestverdünnung der in die Biosphäre eingetragenen Salzlösung mit Süßwasser um einen Faktor von $f_v = 500$ gerechnet. Da dieser Parameter standortunabhängig angesetzt wurde, sind die für das Szenario 2 berechneten Dosiskonversionsfaktoren und die daraus resultierenden Freigabewerte ebenfalls standortunabhängig.

Szenario 3: Strahlenexposition über den Wasserpfad durch Nutzung von kontaminiertem Oberflächenwasser aus dem potentiell betroffenen Vorfluter

Zur Nutzung von Oberflächenwasser wurde neben den drei o. g. Teilszenarien T, V, und B auch potentielle Strahlenexpositionen infolge Fischfang (F) und Aufenthalt auf Ufersediment (U) berücksichtigt.

Die Verdünnung der (hypothetisch) kontaminierten Salzlösung mit dem Süßwasser in Vorflutern wurde auf Basis der jeweiligen mittleren Abflussraten abgeschätzt. Angaben zu den Ansätzen und die daraus berechneten Verdünnungsfaktoren f_v sind in Tabelle 4.4 zusammengestellt.

Tabelle 4.4: Berechnung standortbezogener Verdünnungsfaktoren bei Einleitung von 5.600 m³/a Salzlösung in hypothetisch betroffene Vorfluter

Standort	Hope	Mariagluck	Salzdetfurth
Vorfluter	Grindau	Aschau	Lamme
mittlere Abflussrate Vorfluter [m ³ /s]	0,24	0,71	0,86
Verdünnungsfaktor [-]	1.400	4.000	4.800

4.3.3.3 Auswahl der Radionuklide

In [BAR 10] wird eine detaillierte Begründung für die Auswahl der in die Betrachtung einzubeziehenden Radionuklide gegeben, die an dieser Stelle nicht wiedergegeben wird, da sie für das radiologische Modell unerheblich ist. Tabelle 4.5 zeigt eine Liste derjenigen Radionuklide, die im niedrig-aktiven Abfall (LAW) in der Schachanlage Asse sowie in den Einlagerungskammern 4, 8 und 10 relevant sind. Für diese Radionuklide wurden Dosiskonversionsfaktoren für die einzelnen Szenarien berechnet.

Tabelle 4.5: Relevante Radionuklide für die Berechnung von Freigabewerten sowie Inventar für LAW und in den Kammern 4, 8 und 10 für den 01.09.2008

Nuklid	T _{1/2} [a]	Σ alle LAW [Bq]	Σ Kammern 4, 8, 10 [Bq]
H-3	1,23E+01	4,21E+11	3,18E+10
C-14	5,73E+03	2,42E+12	2,44E+11
Cl-36	3,01E+05	7,19E+09	1,98E+08
Fe-55	2,70E+00	5,71E+10	6,03E+08
Co-60	5,27E+00	5,63E+12	6,19E+10
Ni-59	7,60E+04	5,17E+10	2,00E+08
Ni-63	1,01E+02	7,05E+13	1,57E+12
Se-79	1,10E+06	2,27E+09	1,99E+07
Sr-90	2,88E+01	1,49E+14	1,33E+12
Zr-93	1,53E+06	1,70E+10	7,96E+07
Nb-94	2,00E+04	6,71E+10	2,02E+09
Mo-93	4,00E+03	2,09E+08	8,07E+05
Tc-99	2,14E+05	7,23E+10	2,27E+09
Ag-108m	4,18E+02	1,84E+10	4,68E+08
Cd-113m	1,41E+01	4,46E+10	5,62E+08
Sn-126	2,30E+05	3,16E+09	3,85E+07
Sb-125	2,76E+00	1,84E+10	6,51E+07
I-129	1,61E+07	1,89E+08	1,81E+06
Cs-134	2,06E+00	4,08E+09	1,08E+07
Cs-135	2,30E+06	2,22E+09	1,77E+07
Cs-137	3,00E+01	2,89E+14	3,19E+12
Ba-133	1,05E+01	1,95E+10	1,52E+10
Pm-147	2,62E+00	1,48E+11	6,43E+08

Nuklid	T _{1/2} [a]	Σ alle LAW [Bq]	Σ Kammern 4, 8, 10 [Bq]
Sm-151	9,00E+01	2,57E+12	2,96E+10
Eu-152	1,35E+01	7,75E+09	4,48E+07
Eu-154	8,59E+00	1,87E+12	7,89E+09
Eu-155	4,96E+00	2,08E+11	1,00E+09
Tl-204	3,78E+00	5,73E+08	3,04E+08
Pb-210	2,22E+01	1,29E+11	4,52E+09
Ra-226	1,60E+03	1,99E+11	6,72E+09
Ra-228	5,75E+00	3,30E+11	1,83E+11
Ac-227	2,18E+01	2,79E+09	5,82E+08
Th-228	1,91E+00	3,25E+11	1,80E+11
Th-230	7,54E+04	3,41E+08	1,55E+08
Th-232	1,41E+10	3,40E+11	1,89E+11
Pa-231	3,28E+04	8,35E+08	1,23E+08
U-232	6,98E+01	3,50E+08	2,19E+07
U-233	1,59E+05	2,13E+09	1,19E+06
U-234	2,46E+05	1,29E+12	5,87E+11
U-235	7,04E+08	5,11E+10	2,54E+10
U-236	2,37E+07	8,16E+09	4,04E+08
U-238	4,47E+09	1,24E+12	5,65E+11
Np-237	2,14E+06	1,63E+09	2,18E+07
Pu-238	8,77E+01	2,23E+13	5,25E+11
Pu-239	2,41E+04	1,43E+13	4,05E+11
Pu-240	6,56E+03	1,64E+13	2,76E+11
Pu-241	1,43E+01	5,67E+14	1,03E+13
Pu-242	3,74E+05	3,04E+10	6,59E+08
Am-241	4,33E+02	7,21E+13	1,34E+12
Am-242m	1,41E+02	1,45E+10	6,61E+07
Am-243	7,37E+03	2,95E+10	1,10E+08
Cm-243	3,00E+01	1,11E+10	3,33E+07
Cm-244	1,80E+01	4,93E+11	1,74E+09

Für die Herleitung der Freigabewerte wurden zunächst für die drei in Abschnitt 4.3.3.2 erläuterten Szenarien **Dosiskonversionsfaktoren** h_s (**S = 1 bis 3**) berechnet. In der Einheit (Sv/a)/(Bq/l) stellen sie für das jeweilige Szenario die potentielle effektive Dosis der Referenzpersonen dar, bezogen auf eine Aktivitätskonzentration der Asse-Salzlösung von 1 Bq/l des jeweiligen Radionuklids. Für Radionuklide mit kurzlebigen Tochternukliden wurden diese in Zerfallsketten berücksichtigt, was durch übliche Bezeichnungen für die im radioaktiven Gleichgewicht stehenden Nuklide deutlich gemacht wird. Tabelle 4.6 gibt eine Übersicht über potentiell relevante Radionuklide, für deren kurzlebige Töchter radioaktives Gleichgewicht mit den Mutternukliden anzunehmen ist. In einzelnen Fällen enthalten die Zerfallsketten (konservativ) auch langlebige Tochternuklide (z. B. Pa-231+ und Pb-210+).

Eine Besonderheit stellt U-232 dar, dessen Tochter Th-228 mit einer Halbwertszeit von 1,9 a relativ langlebig ist und für das (inkl. kurzlebiger Tochternuklide) eigene Dosiskonversionsfaktoren für

Th-228+ berechnet wurden. Der Aufbau von Th-228 durch den Zerfall von U-232 wird aber in den Dosisberechnungen für U-232 berücksichtigt, da er besonders für die Expositionspfade Beregnung (B) und Ufersediment (U) für den Betrachtungszeitraum von 5 Jahren relevante Beiträge liefert.

Tabelle 4.6: Übersicht zu Zerfallsketten mit radioaktivem Gleichgewicht zwischen Mutternuklid und angegebenen Tochternukliden

Zerfallskette	Mutternuklid und Tochternuklid(e) im radioaktivem Gleichgewicht
Sr-90+	Sr-90, Y-90
Zr-93+	Zr-93, Nb-93m
Mo-93+	Mo-93, Nb-93m (0,88)
Ag-108m+	Ag-108m, Ag-108
Sn-126+	Sn-126, Sb-126m, Sb-126 (0,14)
Sb-125+	Sb-125, Te-125m
Cs-137+	Cs-137, Ba-137m
Pb-210+	Pb-210, Bi-210, Po-210
Ra-226+	Ra-226, Rn-222, Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214
Ra-228+	Ra-228, Ac-228
Th-228+	Th-228, Ra-224, Rn-220, Po-216, Pb-212, Bi-212, Po-212 (0,64), Tl-208 (0,36)
Pa-231+	Pa-231, Ac-227, Th-227, Ra-223, Rn-219, Po-215, Pb-211, Bi-211, Tl-207
U-235+	U-235, Th-231
U-238+	U-238, Th-234, Pa-234m
Np-237+	Np-237, Pa-233
Am-242m+	Am-242m, Np-238 (0,0045), Am-242 (0,9955), Cm-242 (0,8233)
Am-243+	Am-243, Np-239

4.3.3.4 Dosiskonversionsfaktoren zum Szenario 1 (Tankwagenfahrer)

Für das Szenario 1 wurden zur potentiellen Strahlenexposition des Tankwagenfahrers durch äußere Gammastrahlung während des Transports von Salzlösungen von der Schachtanlage Asse zu den möglichen Abnehmern mit dem Programm MicroShield V6.02 Dosisleistungskonversionsfaktoren in (Sv/h)/(Bq/l) berechnet. Mit der angesetzten Expositionszeit von $t_{\text{exp}} = 560 \text{ h/a}$ resultieren daraus Dosiskonversionsfaktoren h_1 in (Sv/a)/(Bq/l). Die Ergebnisse dieser Berechnung sind in Tabelle 4.7 für alle betrachtete Radionuklide/Zerfallsketten zusammengefasst. Für einige Radionuklide ist das Szenario 1 nicht relevant (keine Strahlenexposition durch äußere Gammastrahlung).

Tabelle 4.7: Dosiskonversionsfaktoren h_1 in (Sv/a)/Bq/l für das Szenario 1 (Tankwagenfahrer)

Nuklid(e)	h_1	Nuklid(e)	h_1	Nuklid(e)	h_1
H-3	nicht relevant	Cs-134	4,4E-08	U-232	1,1E-12
C-14	nicht relevant	Cs-135	nicht relevant	U-233	1,5E-12
Cl-36	nicht relevant	Cs-137+	1,6E-08	U-234	4,1E-13
Fe-55	nicht relevant	Ba-133	7,1E-09	U-235+	2,2E-09
Co-60	7,9E-08	Pm-147	2,8E-14	U-236	1,0E-13
Ni-59	nicht relevant	Sm-151	3,9E-30	U-238+	4,7E-10
Ni-63	nicht relevant	Eu-152	3,2E-08	Np-237+	3,7E-09
Se-79	nicht relevant	Eu-154	3,9E-08	Pu-238	1,1E-14
Sr-90+	9,2E-12	Eu-155	2,4E-10	Pu-239	3,8E-13
Zr-93+	9,9E-36	Tl-204	2,3E-12	Pu-240	1,0E-14
Nb-94	4,6E-08	Pb-210+	1,3E-13	Pu-241	nicht relevant
Mo-93+	6,6E-35	Ra-226+	5,2E-08	Pu-242	1,3E-14
Tc-99	2,2E-15	Ra-228+	2,8E-08	Am-241	1,6E-11
Ag-108m+	4,4E-08	Th-228+	5,1E-08	Am-242m+	1,5E-10
Cd-113m	nicht relevant	Th-230	1,8E-12	Am-243+	2,2E-09
Sn-126+	4,8E-08	Th-232	5,2E-13	Cm-243	1,6E-09
Sb-125+	1,0E-08	Pa-231+	7,9E-09	Cm-244	8,6E-15
I-129	1,5E-14				

4.3.3.5 Dosiskonversionsfaktoren zum Szenario 2 (Grundwassernutzung über Brunnen)

Die Dosiskonversionsfaktoren zum Szenario S2 wurden für die drei Teilszenarien Trinkwasser (T), Viehtränke (V) und Beregnung (B) berechnet. In einem Anhang von [BAR 10] werden für alle betrachteten Radionuklide und Zerfallsketten die Ergebnisse detailliert (aufgeschlüsselt nach den Beiträgen der einzelnen Teilszenarien und Expositionspfade) aufgeführt. In Tabelle 4.8 sind die wesentlichen Ergebnisse zusammengefasst (ohne Aufschlüsselung nach den Teilszenarien und Expositionspfaden). Der nach Altersgruppen maximale Dosiskonversionsfaktor ist jeweils fett hervorgehoben.

In den Dosiskonversionsfaktoren zum Szenario 2 ist der Faktor der Verdünnung der Salzlösung mit Süßwasser (im Grundwasserleiter) von $f_v = 500$ berücksichtigt.

Tabelle 4.8: Dosiskonversionsfaktoren **h₂** zum **Szenario 2** (Grundwassernutzung über Brunnen mit den Teilszenarien Trinkwasser (T), Viehtränke (V), Beregnung (B)); **in (Sv/a)/(Bq/l)**

Nuklid(e)	≤ 1 a (mMM)	≤ 1 a (oMM)	> 1 - 2 a	> 2 - 7 a	> 7 - 12 a	> 12 - 17 a	> 17 a
H-3	6,97E-11	5,14E-11	6,21E-11	5,03E-11	4,37E-11	3,77E-11	3,99E-11
C-14	1,20E-08	7,53E-09	1,91E-08	1,79E-08	1,67E-08	1,27E-08	1,23E-08
Cl-36	1,20E-07	9,72E-08	1,72E-07	1,47E-07	1,04E-07	7,37E-08	5,68E-08
Fe-55	4,93E-09	6,77E-09	2,73E-09	3,73E-09	2,98E-09	2,41E-09	1,16E-09
Co-60	3,75E-08	4,65E-08	2,81E-08	3,08E-08	2,43E-08	1,98E-08	9,55E-09
Ni-59	9,45E-10	7,96E-10	8,19E-10	5,57E-10	3,66E-10	2,57E-10	2,13E-10
Ni-63	2,36E-09	1,99E-09	2,02E-09	1,35E-09	9,30E-10	6,33E-10	5,07E-10
Se-79	2,63E-07	1,79E-07	3,62E-07	2,79E-07	2,27E-07	6,90E-08	4,19E-08
Sr-90+	2,38E-07	2,83E-07	1,43E-07	1,27E-07	1,73E-07	2,38E-07	8,97E-08
Zr-93+	4,18E-09	4,44E-09	5,19E-09	8,04E-09	6,81E-09	6,28E-09	7,11E-09
Nb-94	3,41E-08	3,45E-08	4,74E-08	8,15E-08	6,71E-08	5,03E-08	4,55E-08
Mo-93+	8,55E-09	1,07E-08	1,36E-08	1,70E-08	1,50E-08	1,29E-08	1,23E-08
Tc-99	5,26E-08	1,93E-08	1,56E-08	1,67E-08	1,16E-08	8,46E-09	7,10E-09
Ag-108m+	8,67E-08	7,12E-08	1,09E-07	6,84E-08	4,91E-08	3,26E-08	2,22E-08
Cd-113m	1,23E-07	1,25E-07	7,98E-08	8,16E-08	7,11E-08	6,36E-08	6,40E-08
Sn-126+	6,39E-08	7,91E-08	8,74E-08	1,11E-07	8,53E-08	6,09E-08	5,31E-08
Sb-125+	1,88E-08	1,46E-08	1,13E-08	1,13E-08	8,20E-09	5,81E-09	4,99E-09
I-129	3,18E-07	1,80E-07	3,34E-07	3,98E-07	5,28E-07	4,34E-07	3,62E-07
Cs-134	4,17E-08	2,93E-08	3,07E-08	4,30E-08	5,61E-08	8,67E-08	9,22E-08
Cs-135	7,10E-09	4,88E-09	4,77E-09	6,11E-09	7,39E-09	9,88E-09	1,05E-08
Cs-137+	3,62E-08	2,49E-08	2,47E-08	3,43E-08	4,32E-08	6,38E-08	6,77E-08
Ba-133	1,19E-08	1,84E-08	6,10E-09	5,63E-09	7,89E-09	1,37E-08	3,12E-09
Pm-147	1,92E-09	2,93E-09	1,76E-09	1,45E-09	1,04E-09	6,58E-10	6,04E-10
Sm-151	8,33E-10	1,25E-09	6,18E-10	5,20E-10	3,82E-10	2,57E-10	2,36E-10
Eu-152	8,82E-09	1,33E-08	7,10E-09	6,42E-09	4,94E-09	3,61E-09	3,34E-09
Eu-154	1,37E-08	2,07E-08	1,15E-08	1,01E-08	7,74E-09	5,30E-09	4,76E-09
Eu-155	2,33E-09	3,54E-09	2,08E-09	1,69E-09	1,27E-09	8,38E-10	7,54E-10
Tl-204	5,67E-08	1,56E-08	1,66E-08	1,70E-08	1,25E-08	8,72E-09	7,64E-09
Pb-210+	4,11E-05	2,91E-05	1,24E-05	1,04E-05	8,37E-06	7,09E-06	4,39E-06
Ra-226+	4,17E-06	4,42E-06	1,30E-06	1,14E-06	1,71E-06	3,47E-06	6,81E-07
Ra-228+	2,61E-05	2,78E-05	7,56E-06	6,10E-06	8,16E-06	1,20E-05	1,65E-06
Th-228+	4,15E-06	5,47E-06	1,22E-06	9,20E-07	7,62E-07	6,11E-07	2,98E-07
Th-230	2,11E-06	3,33E-06	3,72E-07	4,21E-07	3,91E-07	3,95E-07	4,23E-07
Th-232	2,87E-06	4,11E-06	5,57E-07	6,08E-07	6,40E-07	6,88E-07	4,91E-07

Nuklid(e)	≤ 1 a (mMM)	≤ 1 a (oMM)	> 1 - 2 a	> 2 - 7 a	> 7 - 12 a	> 12 - 17 a	> 17 a
Pa-231+	2,83E-05	4,34E-05	5,73E-06	6,12E-06	5,46E-06	5,00E-06	4,43E-06
U-232	1,57E-06	2,27E-06	8,69E-07	8,90E-07	1,02E-06	1,24E-06	7,04E-07
U-233	2,04E-07	3,17E-07	1,38E-07	1,33E-07	1,34E-07	1,47E-07	1,07E-07
U-234	1,99E-07	3,09E-07	1,28E-07	1,27E-07	1,27E-07	1,40E-07	1,02E-07
U-235+	1,90E-07	2,95E-07	1,30E-07	1,24E-07	1,23E-07	1,33E-07	9,91E-08
U-236	1,88E-07	2,92E-07	1,28E-07	1,21E-07	1,20E-07	1,32E-07	9,80E-08
U-238+	2,04E-07	3,17E-07	1,41E-07	1,33E-07	1,29E-07	1,34E-07	1,01E-07
Np-237+	1,01E-06	1,65E-06	2,00E-07	1,99E-07	1,86E-07	2,04E-07	2,27E-07
Pu-238	1,97E-06	3,25E-06	3,63E-07	4,22E-07	3,90E-07	3,97E-07	4,65E-07
Pu-239	2,07E-06	3,42E-06	3,80E-07	4,50E-07	4,40E-07	4,33E-07	5,05E-07
Pu-240	2,07E-06	3,42E-06	3,80E-07	4,50E-07	4,40E-07	4,33E-07	5,05E-07
Pu-241	2,79E-08	4,57E-08	5,22E-09	7,54E-09	8,36E-09	8,68E-09	9,73E-09
Pu-242	1,98E-06	3,25E-06	3,63E-07	4,37E-07	4,24E-07	4,14E-07	4,85E-07
Am-241	1,83E-06	3,01E-06	3,38E-07	3,71E-07	3,62E-07	3,64E-07	4,08E-07
Am-242m+	1,79E-06	2,93E-06	3,32E-07	3,61E-07	3,62E-07	3,67E-07	4,08E-07
Am-243+	1,79E-06	2,94E-06	3,43E-07	3,76E-07	3,65E-07	3,65E-07	4,09E-07
Cm-243	1,58E-06	2,60E-06	2,99E-07	2,98E-07	2,60E-07	2,51E-07	3,01E-07
Cm-244	1,42E-06	2,35E-06	2,62E-07	2,56E-07	2,27E-07	2,14E-07	2,40E-07

für die Altersgruppe „≤ 1 a“ stehen die Abkürzungen mMM und oMM für Ernährung mit und ohne Muttermilch

4.3.3.6 Dosiskonversionsfaktoren zum Szenario 3 (Oberflächenwassernutzung aus Vorfluter)

Die Dosiskonversionsfaktoren zum Szenario 3 wurden in [BAR 10] mit den fünf Teilszenarien: Trinkwasser (T), Fischverzehr (F), Viehtränke (V), Beregnung (B) und Aufenthalt auf Ufersediment (U) berechnet. Für Fisch wurde mit 17 % der mittleren Verzehrraten gerechnet (entspricht dem Anteil von Süßwasserfisch).

Im Szenario 3 wurde für den Nahbereich eine Fließzeit der in den Vorfluter eingetragenen Kontamination von 10 h für die Ablagerung kontaminierter Schwebstoffe im Ufersediment angesetzt. Dieser Ansatz entspricht auch den Standortgegebenheiten. Eine detaillierte Betrachtung des Fernbereichs (nach Mündung des Vorfluters in das übergeordnete Fließgewässer; am Standort Mariagluck wäre dies z. B. die Mündung der Aschau in die Lachte) ist nicht erforderlich, da hier infolge der weiteren Verdünnung noch geringere potentielle Strahlenexpositionen der Bevölkerung resultieren.

Auf eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse mit einer Aufschlüsselung nach den Beiträgen der einzelnen Teilszenarien und Expositionspfade wird hier verzichtet. Tabelle 4.9 fasst die Ergebnisse für den Fall des Standortes Mariagluck mit einem Verdünnungsfaktor im Vorfluter von $f_v = 4.000$ (siehe Tabelle 4.4) zusammen. Der nach Altersgruppen maximale Dosiskonversionsfaktor ist wieder jeweils fett hervorgehoben.

Auf eine analoge Auflistung der Dosiskonversionsfaktoren zum Szenario 3 für die Standorte Hope und Salzdetfurth wurde in [BAR 10] verzichtet, da sich die diesbezüglichen Ergebnisse von den für den Standort Mariagluck in Tabelle 4.9 angegebenen Werten nur durch einen gemeinsamen Faktor unterscheiden, der durch die unterschiedlichen Verdünnungsfaktoren im jeweiligen Vorfluter definiert ist. Entsprechend den in Tabelle 4.4 genannten Verdünnungsfaktoren unterscheiden sich die Dosiskonversionsfaktoren zum Szenario 3 von den Angaben aus Tabelle 4.9

- für den Standort Hope um den Faktor $4.000/1.400 = 2,86$ und
- für den Standort Salzdettfurth um den Faktor $4.000/4.800 = 0,833$.

Es wurde als ausreichend angesehen, diese Umrechnungsfaktoren später bei der Gegenüberstellung der Freigabewerte zu berücksichtigen.

Tabelle 4.9: Dosiskonversionsfaktoren h_3 zum **Szenario 3** (Oberflächenwassernutzung aus dem Vorfluter mit den Teilszenarien T, F, V, B und U) für den **Standort Mariagluck; in (Sv/a)/(Bq/l)**

Nuklid(e)	≤ 1 a (mMM)	≤ 1 a (oMM)	> 1 - 2 a	> 2 - 7 a	> 7 - 12 a	> 12 - 17 a	> 17 a
H-3	8,72E-12	6,43E-12	7,77E-12	6,29E-12	5,47E-12	4,72E-12	4,99E-12
C-14	2,32E-09	1,18E-09	4,02E-09	3,25E-09	3,31E-09	2,56E-09	3,02E-09
Cl-36	1,50E-08	1,22E-08	2,16E-08	1,84E-08	1,30E-08	9,23E-09	7,11E-09
Fe-55	6,41E-10	8,65E-10	3,74E-10	4,90E-10	3,96E-10	3,19E-10	1,57E-10
Co-60	4,09E-08	4,19E-08	3,76E-08	3,33E-08	3,03E-08	2,74E-08	2,38E-08
Ni-59	1,30E-10	1,08E-10	1,14E-10	7,81E-11	5,34E-11	3,84E-11	3,29E-11
Ni-63	3,07E-10	2,52E-10	2,64E-10	1,75E-10	1,22E-10	8,30E-11	6,81E-11
Se-79	3,35E-08	2,25E-08	4,60E-08	3,54E-08	2,89E-08	8,80E-09	5,43E-09
Sr-90+	3,00E-08	3,56E-08	1,84E-08	1,62E-08	2,21E-08	3,03E-08	1,16E-08
Zr-93+	5,40E-10	5,68E-10	6,93E-10	1,03E-09	8,85E-10	8,29E-10	9,67E-10
Nb-94	5,31E-09	5,35E-09	7,08E-09	1,11E-08	9,24E-09	7,05E-09	6,41E-09
Mo-93+	1,22E-09	1,48E-09	1,99E-09	2,35E-09	2,11E-09	1,82E-09	1,80E-09
Tc-99	6,67E-09	2,43E-09	1,99E-09	2,11E-09	1,48E-09	1,07E-09	9,04E-10
Ag-108m+	1,19E-08	9,92E-09	1,45E-08	9,38E-09	6,91E-09	4,78E-09	3,41E-09
Cd-113m	1,67E-08	1,61E-08	1,14E-08	1,12E-08	1,00E-08	8,97E-09	9,47E-09
Sn-126+	5,23E-08	5,41E-08	6,09E-08	5,35E-08	4,71E-08	3,96E-08	3,69E-08
Sb-125+	2,60E-09	2,02E-09	1,68E-09	1,60E-09	1,20E-09	8,73E-10	7,68E-10
I-129	4,11E-08	2,30E-08	4,34E-08	5,10E-08	6,81E-08	5,59E-08	4,72E-08
Cs-134	1,63E-08	1,27E-08	1,46E-08	1,46E-08	1,72E-08	2,25E-08	2,58E-08
Cs-135	1,34E-09	7,41E-10	1,03E-09	1,09E-09	1,41E-09	1,87E-09	2,27E-09
Cs-137+	1,27E-08	9,60E-09	1,09E-08	1,09E-08	1,26E-08	1,61E-08	1,83E-08
Ba-133	1,81E-09	2,61E-09	1,12E-09	9,79E-10	1,32E-09	2,18E-09	6,19E-10
Pm-147	2,42E-10	3,69E-10	2,26E-10	1,84E-10	1,33E-10	8,40E-11	7,75E-11
Sm-151	1,08E-10	1,60E-10	8,54E-11	6,92E-11	5,16E-11	3,47E-11	3,26E-11
Eu-152	1,20E-08	1,25E-08	1,12E-08	9,68E-09	8,82E-09	7,91E-09	7,21E-09
Eu-154	1,27E-08	1,35E-08	1,18E-08	1,02E-08	9,22E-09	8,17E-09	7,43E-09
Eu-155	7,68E-10	9,17E-10	7,25E-10	6,08E-10	5,27E-10	4,13E-10	3,77E-10
Tl-204	3,26E-08	4,73E-09	1,29E-08	7,50E-09	6,34E-09	4,29E-09	4,79E-09
Pb-210+	6,15E-06	3,81E-06	1,91E-06	1,48E-06	1,22E-06	1,01E-06	6,77E-07
Ra-226+	5,25E-07	5,54E-07	1,65E-07	1,44E-07	2,16E-07	4,38E-07	8,67E-08
Ra-228+	3,28E-06	3,49E-06	9,53E-07	7,67E-07	1,03E-06	1,52E-06	2,09E-07
Th-228+	5,49E-07	7,12E-07	1,79E-07	1,37E-07	1,16E-07	9,49E-08	5,40E-08
Th-230	2,67E-07	4,19E-07	4,80E-08	5,39E-08	5,03E-08	5,08E-08	5,49E-08
Th-232	3,69E-07	5,24E-07	7,83E-08	8,33E-08	8,72E-08	9,26E-08	6,82E-08

Nuklid(e)	≤ 1 a (mMM)	≤ 1 a (oMM)	> 1 - 2 a	> 2 - 7 a	> 7 - 12 a	> 12 - 17 a	> 17 a
Pa-231+	3,58E-06	5,46E-06	7,42E-07	7,84E-07	7,03E-07	6,44E-07	5,77E-07
U-232	2,10E-07	2,98E-07	1,22E-07	1,23E-07	1,38E-07	1,65E-07	9,67E-08
U-233	2,56E-08	3,97E-08	1,73E-08	1,66E-08	1,68E-08	1,85E-08	1,34E-08
U-234	2,49E-08	3,86E-08	1,60E-08	1,59E-08	1,59E-08	1,75E-08	1,28E-08
U-235+	2,74E-08	4,05E-08	1,96E-08	1,85E-08	1,82E-08	1,90E-08	1,45E-08
U-236	2,36E-08	3,66E-08	1,60E-08	1,52E-08	1,51E-08	1,66E-08	1,23E-08
U-238+	2,59E-08	4,00E-08	1,81E-08	1,71E-08	1,65E-08	1,71E-08	1,29E-08
Np-237+	1,32E-07	2,12E-07	2,97E-08	2,89E-08	2,70E-08	2,89E-08	3,16E-08
Pu-238	2,47E-07	4,07E-07	4,58E-08	5,31E-08	4,92E-08	5,00E-08	5,87E-08
Pu-239	2,60E-07	4,28E-07	4,80E-08	5,66E-08	5,54E-08	5,45E-08	6,38E-08
Pu-240	2,60E-07	4,28E-07	4,80E-08	5,66E-08	5,54E-08	5,45E-08	6,38E-08
Pu-241	3,50E-09	5,73E-09	6,60E-10	9,50E-10	1,05E-09	1,09E-09	1,23E-09
Pu-242	2,48E-07	4,07E-07	4,58E-08	5,50E-08	5,34E-08	5,21E-08	6,13E-08
Am-241	2,31E-07	3,79E-07	4,39E-08	4,77E-08	4,67E-08	4,69E-08	5,29E-08
Am-242m+	2,25E-07	3,68E-07	4,31E-08	4,62E-08	4,67E-08	4,72E-08	5,28E-08
Am-243+	2,30E-07	3,74E-07	4,84E-08	5,16E-08	5,01E-08	4,97E-08	5,54E-08
Cm-243	2,01E-07	3,29E-07	4,07E-08	4,00E-08	3,51E-08	3,37E-08	4,03E-08
Cm-244	1,80E-07	2,95E-07	3,37E-08	3,26E-08	2,90E-08	2,74E-08	3,10E-08

für die Altersgruppe „≤ 1 a“ stehen die Abkürzungen mMM und oMM für Ernährung mit und ohne Muttermilch

4.3.4 Berechnung der Freigabewerte

Unter Zugrundlegung des für die Freigabe relevanten Dosisrichtwerts von 10 µSv/a werden aus den in den Abschnitten 4.3.3.4 bis 4.3.3.6 berechneten Dosiskonversionsfaktoren zunächst separat für jedes Szenario S für die Freigabe potentiell entscheidungsrelevante Aktivitätskonzentrationen C_S für die betrachteten Nuklide/Zerfallsketten berechnet:

$$C_S = \frac{10 \mu\text{Sv/a}}{h_S}, \quad (S = 1 \text{ bis } 3) \quad (4-1)$$

Für die Szenarien 2 und 3 ist hierbei der maximale Dosiskonversionsfaktor nach Altersgruppen zugrunde zu legen (in Tabelle 4.8 bzw. Tabelle 4.9 fett hervorgehobene Werte). Der Freigabewert C_F zur Aktivitätskonzentration von Asse-Salzlösungen wurde sich dann als das Minimum der für die drei Szenarien berechneten Aktivitätskonzentrationen C_S ($S = 1$ bis 3) berechnet. Um das Freigabeverfahren so zu vereinfachen, dass für alle drei betrachteten Standorte von gleichen Freigabewerten ausgegangen wird, wurden die zum Szenario 3 resultierenden standortabhängigen Aktivitätskonzentrationen $C_{3,\text{Hope}}$, $C_{3,\text{Mariagluck}}$ und $C_{3,\text{Salzdetfurth}}$ gemeinsam in den Vergleich mit den für die Szenarien 1 und 2 berechneten Aktivitätskonzentrationen einbezogen. Darüber hinaus sollten die Freigabewerte nicht größer sein als die der Freigrenze zur spezifischen Aktivität (Anlage III Tabelle 1 Spalte 3 StrlSchV) entsprechende Freigrenze zur Aktivitätskonzentration, die mit C_G bezeichnet wurde. Sie wurde durch Ansatz einer Dichte von 1,2 g/cm³ der freizugebenden Zutrittslösungen berechnet. Damit ergab sich die folgende Beziehung zur Berechnung der Freigabewerte C_F :

$$C_F = \min\{C_G; C_1; C_2; C_{3,Hope}; C_{3,Mariagluck}; C_{3,Salzdetfurth}\} \quad (4-2)$$

Aus den für die drei Szenarien (S = 1, 2, 3) angegebenen Dosiskonversionsfaktoren h_S wurden entsprechend Gl. (4-1) die Aktivitätskonzentrationen C_S für die einzelnen Szenarien S für alle potentiell relevanten Radionuklide/Zerfallsketten berechnet. Für die Szenarien 2 und 3 wurde dazu jeweils von dem für alle Referenzpersonen (Altersgruppen) bestimmten Maximalwert der Dosiskonversionsfaktoren ausgegangen. Daraus resultieren nach Gl. (4-2) Freigabewerte C_F , die einer Abgabe von Asse-Salzlösungen an einen der betrachteten Abnehmer (Hope, Mariagluck, Salzdetfurth) zugrunde gelegt werden können. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind zusammen mit den Freigrenzen zur Aktivitätskonzentration C_G , die sich aus den Freigrenzen zur spezifischen Aktivität Anlage III Tabelle 1 Spalte 3 der StrlSchV bei einer Dichte der Salzlösungen von ca. 1,2 g/cm³ ergeben, in Tabelle 4.10 zusammengestellt. Es wurden hieraus die folgenden Schlüsse gezogen:

- Die Freigrenzen C_G sind für alle Radionuklide/Zerfallsketten größer als die für das Szenario 2 bestimmten (standortunabhängigen) freigaberelevanten Aktivitätskonzentrationen C_2 , wogegen die C_1 -Werte für Radionuklide mit sehr geringer Gammastrahlung über den Freigrenzen liegen.
- Die Freigabewerte C_F werden mit Ausnahme von wenigen Radionukliden durch die für das Szenario 2 berechneten potentiellen Strahlenexpositionen bzw. den daraus gemäß Gleichung (4-1) berechneten (standortunabhängigen) freigaberelevanten Aktivitätskonzentrationen C_2 bestimmt.
- Für Co-60, Sn126+, Eu-152, Eu-154 mit großem Anteil des Teilszenarios Ufersediment (U) sowie für Tl-204 mit großem Anteil des Teilszenarios Fischfang (F) am Dosiskonversionsfaktor des Szenarios 3 wird der Freigabewert durch $C_{3,Hope}$ (geringe Abflussrate; s. Tabelle 4.4) bestimmt.

Tabelle 4.10: Berechnung von Freigabewerten C_F für Salzlösungen auf Basis konservativ für die Szenarien 1 bis 3 berechneter Dosiskonversionsfaktoren; in Bq/l (auf zwei Stellen gerundete Werte)

Nuklid(e)	C_G	C_1	C_2	$C_{3,Hope}$	$C_{3,Mariagluck}$	$C_{3,Salzdetfurth}$	C_F
H-3	1,2E+09	irrelevant	1,4E+05	4,0E+05	1,1E+06	1,4E+06	140.000
C-14	1,2E+07	irrelevant	5,2E+02	8,7E+02	2,5E+03	3,0E+03	520
Cl-36	1,2E+07	irrelevant	5,8E+01	1,6E+02	4,6E+02	5,6E+02	58
Fe-55	1,2E+07	irrelevant	1,5E+03	4,0E+03	1,2E+04	1,4E+04	1.500
Co-60	1,2E+04	1,3E+02	2,2E+02	8,4E+01	2,4E+02	2,9E+02	84
Ni-59	1,2E+07	irrelevant	1,1E+04	2,7E+04	7,7E+04	9,2E+04	11.000
Ni-63	1,2E+08	irrelevant	4,2E+03	1,1E+04	3,3E+04	3,9E+04	4.200
Se-79	1,2E+07	irrelevant	2,8E+01	7,6E+01	2,2E+02	2,6E+02	28
Sr-90+	1,2E+05	1,1E+06	3,5E+01	9,8E+01	2,8E+02	3,4E+02	35
Zr-93+	1,2E+06	1,0E+30	1,2E+03	3,4E+03	9,7E+03	1,2E+04	1.200
Nb-94	1,2E+04	2,2E+02	1,2E+02	3,2E+02	9,0E+02	1,1E+03	120
Mo-93+	1,2E+06	1,5E+29	5,9E+02	1,5E+03	4,3E+03	5,1E+03	590
Tc-99	1,2E+07	4,5E+09	1,9E+02	5,2E+02	1,5E+03	1,8E+03	190
Ag-108m+	1,2E+04	2,3E+02	9,2E+01	2,4E+02	6,9E+02	8,3E+02	92
Cd-113m	1,2E+06	irrelevant	8,0E+01	2,1E+02	6,0E+02	7,2E+02	80
Sn-126+	1,2E+04	2,1E+02	9,0E+01	5,7E+01	1,6E+02	2,0E+02	57
Sb-125+	1,2E+05	9,6E+02	5,3E+02	1,3E+03	3,8E+03	4,6E+03	530
I-129	1,2E+05	6,6E+08	1,9E+01	5,1E+01	1,5E+02	1,8E+02	19
Cs-134	1,2E+04	2,3E+02	1,1E+02	1,4E+02	3,9E+02	4,7E+02	110
Cs-135	1,2E+07	irrelevant	9,5E+02	1,5E+03	4,4E+03	5,3E+03	950
Cs-137+	1,2E+04	6,4E+02	1,5E+02	1,9E+02	5,5E+02	6,6E+02	150
Ba-133	1,2E+05	1,4E+03	5,4E+02	1,3E+03	3,8E+03	4,6E+03	540
Pm-147	1,2E+07	3,6E+08	3,4E+03	9,5E+03	2,7E+04	3,3E+04	3.400
Sm-151	1,2E+07	2,6E+24	8,0E+03	2,2E+04	6,3E+04	7,5E+04	8.000
Eu-152	1,2E+04	3,1E+02	7,5E+02	2,8E+02	8,0E+02	9,6E+02	280
Eu-154	1,2E+04	2,6E+02	4,8E+02	2,6E+02	7,4E+02	8,9E+02	260
Eu-155	1,2E+05	4,1E+04	2,8E+03	3,8E+03	1,1E+04	1,3E+04	2.800
Tl-204	1,2E+07	4,4E+06	1,8E+02	1,1E+02	3,1E+02	3,7E+02	110

Nuklid(e)	C _G	C ₁	C ₂	C _{3,Hope}	C _{3,Mariagluck}	C _{3,Salzdetfurth}	C _F
Pb-210+	1,2E+04	7,7E+07	2,4E-01	5,7E-01	1,6E+00	2,0E+00	0,24
Ra-226+	1,2E+04	1,9E+02	2,3E+00	6,3E+00	1,8E+01	2,2E+01	2,3
Ra-228+	1,2E+04	3,6E+02	3,6E-01	1,0E+00	2,9E+00	3,4E+00	0,36
Th-228+	1,2E+03	2,0E+02	1,8E+00	4,9E+00	1,4E+01	1,7E+01	1,8
Th-230	1,2E+03	5,5E+06	3,0E+00	8,4E+00	2,4E+01	2,9E+01	3,0
Th-232	1,2E+04	1,9E+07	2,4E+00	6,7E+00	1,9E+01	2,3E+01	2,4
Pa-231+	1,2E+03	1,3E+03	2,3E-01	6,4E-01	1,8E+00	2,2E+00	0,23
U-232	1,2E+04	9,0E+06	4,4E+00	1,2E+01	3,4E+01	4,0E+01	4,4
U-233	1,2E+04	6,6E+06	3,2E+01	8,8E+01	2,5E+02	3,0E+02	32
U-234	1,2E+04	2,4E+07	3,2E+01	9,1E+01	2,6E+02	3,1E+02	32
U-235+	1,2E+04	4,6E+03	3,4E+01	8,6E+01	2,5E+02	3,0E+02	34
U-236	1,2E+04	9,8E+07	3,4E+01	9,6E+01	2,7E+02	3,3E+02	34
U-238+	1,2E+04	2,1E+04	3,2E+01	8,8E+01	2,5E+02	3,0E+02	32
Np-237+	1,2E+03	2,7E+03	6,1E+00	1,7E+01	4,7E+01	5,7E+01	6,1
Pu-238	1,2E+03	9,0E+08	3,1E+00	8,6E+00	2,5E+01	2,9E+01	3,1
Pu-239	1,2E+03	2,6E+07	2,9E+00	8,2E+00	2,3E+01	2,8E+01	2,9
Pu-240	1,2E+03	9,6E+08	2,9E+00	8,2E+00	2,3E+01	2,8E+01	2,9
Pu-241	1,2E+05	irrelevant	2,2E+02	6,1E+02	1,7E+03	2,1E+03	220
Pu-242	1,2E+03	8,0E+08	3,1E+00	8,6E+00	2,5E+01	2,9E+01	3,1
Am-241	1,2E+03	6,3E+05	3,3E+00	9,2E+00	2,6E+01	3,2E+01	3,3
Am-242m+	1,2E+03	6,7E+04	3,4E+00	9,5E+00	2,7E+01	3,3E+01	3,4
Am-243+	1,2E+03	4,6E+03	3,4E+00	9,4E+00	2,7E+01	3,2E+01	3,4
Cm-243	1,2E+03	6,2E+03	3,8E+00	1,1E+01	3,0E+01	3,6E+01	3,8
Cm-244	1,2E+04	1,2E+09	4,3E+00	1,2E+01	3,4E+01	4,1E+01	4,3

In [BAR 10] wurden des Weiteren die Vernachlässigbarkeit von Radionukliden mit einer sehr geringen radiologischen Relevanz und andere Aspekte zur Anwendung dieser Werte diskutiert. Weiteren Raum nahmen dort ferner der messtechnische Nachweis und die Verifikation der Anwendbarkeit dieser Werte ein. Auf diese Aspekte soll an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden, da sie nicht mit der radiologischen Modellierung verknüpft sind.

4.4 Radiologische Modellierung der Freigabe von Flusssäure

4.4.1 Übersicht

Beim Prozess der Trockenkonversion von UF₆ zu UO₂ als Schritt auf dem Weg der Herstellung von Brennelementen für Leichtwasserreaktoren entsteht Flusssäure. Da diese in einem Kontrollbereich anfällt, bedarf sie trotz sehr geringer Aktivitätsgehalte der Freigabe. Schon seit Einführung der aktuellen Fassung der Strahlenschutzverordnung von 2001 wurde über die Möglichkeit der Freigabe dieser Flusssäure diskutiert. In [WER 15] wurde über eine hierzu durchgeführte radiologische Modellierung und Einzelfallbetrachtung berichtet, aus der die wesentlichen Elemente des radiologischen Modells im Folgenden wiedergegeben werden.

4.4.2 Herkunft der Flusssäure aus der Urankonversion

Bei der Fertigung von Brennelementen wird Uran mit einer maximalen Anreicherung von 5 % Uran-235, das in Anreicherungsanlagen aus natürlichem Uran (Uran-235-Gehalt ca. 0,72 %) hergestellt wird, verwendet. In einem der hierbei durchgeführten Schritte wird aus dem aus der Anreicherungsanlage stammenden Uranhexafluorid (UF₆) Urandioxid (UO₂) in Pulverform gewonnen. Dieses Pulver wird anschließend in weiteren Prozessschritten zu Pellets verarbeitet, die in die Brennelemente gefüllt werden.

Die Abluft aus allen Prozessschritten wird über Filteranlagen geführt, die eine Einhaltung der Emissionsgrenzwerte sowohl aus strahlenschutzrechtlicher als auch aus immissionsschutzrechtlicher Sicht

sicherstellen. Bei der Abluftreinigung fallen zwei Rückstände an, die weiter verwendet werden: [NMU 16]

- Der mit Fluorwasserstoff beladene Kalkstein (Calciumcarbonat, CaCO_3) der Kalksteinfilter in der Abluftreinigung wird als Flussspat (Calciumfluorid, CaF_2) für die Stahlerzeugung verkauft.
- Die Flusssäure (HF), die beim Konversionsprozess entsteht, kann als Nebenprodukt weiterverkauft werden und erfüllt die Qualitätsansprüche der abnehmenden Industrie.

Insgesamt unterschreitet der Urangelgehalt in Prozessabgasen in der deutschen Produktion die Nachweisgrenze, die bei HF bei 4 mg/l und bei CaF_2 bei 0,4 mg/kg liegt.

4.4.3 Betrachtete Verwertungsmöglichkeiten für Flusssäure

In der Untersuchung, die in [WER 15] dargestellt wird, wurden verschiedene Verwertungsmöglichkeiten für Flusssäure betrachtet.

- Glasmattierung,
- Reinigung von Eisenguss von Formsand,
- in sehr verdünnter Form bei Stein-, Gebäude- und Glasreinigung,
- Entrosten und Blankätzen von Eisen,
- Elektroindustrie (Halbleiter-Herstellung) und
- Reinigung bzw. Konservierung von Brauereihefe.

Diese Anwendungsgebiete decken sich mit den Ausführungen bei Wikipedia [WIK 16B]. Die Verwendung bei der Konservierung der Brauereihefe wurde bereits in [ANO 94] berichtet. In Deutschland ist allerdings die Verwendung von Flusssäure bei der Bierherstellung aufgrund des deutschen Reinheitsgebotes verboten und wird daher in der radiologischen Modellierung gem. [WER 15] nicht weiter betrachtet.

4.4.4 Aktivitätsgehalt der Flusssäure

Für die in [WER 15] untersuchte Flusssäure wurden die in Tabelle 3.6 dargestellten Annahmen zum Gehalt an U und sonstigen Radionukliden getroffen. Hieraus ergeben sich die in Tabelle 3.7 aufgeführten Aktivitätsanteile der vorhandenen Radionuklide.

4.4.5 Betrachtete Szenarien

Für die Flusssäure mit den in Abschnitt 4.4.4 beschriebenen Eigenschaften wurden in [WER 15] auf Basis der identifizierten Verwendungs- und Verwertungsmöglichkeiten (Abschnitt 4.4.3) drei Szenarien betrachtet, die für alle Fälle als abdeckend angesehen wurden. Der Nachweis wurde bzgl. der Einhaltung von 90 % des 10- μSv -Konzeptes gem. § 29 StrlSchV erbracht. Die Szenarien wurden an die SSK-Empfehlung von 1998 [SSK 98] angelehnt, und es wurde die Trinkwasserverordnung (TrinkwV) von 2001 berücksichtigt. Szenario A bezieht sich auf die Exposition durch Direktstrahlung (Abschnitt 4.4.5.1), Szenario B betrachtet die Inkorporation durch Inhalation und Ingestion (Abschnitt 4.4.5.2). Die Szenarien sind in [WER 15] beschrieben.

4.4.5.1 Szenario A – Direktstrahlung

Die abdeckende Annahme bzgl. der Direktstrahlung wird durch folgendes Szenario getroffen:

- Aufenthalt eines Mitarbeiters in 1 m Abstand zu einem mit Flusssäure befüllten handelsüblichen Tankcontainer (26,6 m³) während 2.000 h/a

Als Ergebnis wird in [WER 15] angegeben, dass der maximal zulässige Urangehalt bei 909 g in 26,6 m³ Flusssäure liegen könnte, damit der Dosisrichtwert eingehalten wird. Dies entspricht einem Urangehalt von max. 34,2 gU/m³.

4.4.5.2 Szenario B – Inkorporation

In [WER 15] werden ebenfalls Szenarien zur Inkorporation betrachtet. Diese wurden aufgebaut auf der Untersuchung möglicher Inkorporationswege anhand der in Abschnitt 4.4.3 genannten Verwendungsmöglichkeiten der Flusssäure sowie der in Anl. VII StrlSchV beschriebenen Expositionspfade. Hierbei erfolgten auch eine qualitative Bewertung von Eintrittswahrscheinlichkeiten der Expositionspfade und daraus folgender Inkorporation sowie eine Berücksichtigung von Verdünnungseffekten und Verzehraten der Referenzperson. Auf dieser Basis ergaben sich die beiden folgenden Szenarien zur Inkorporation, die jeweils mit einem erwarteten Maximum einer Urankontamination verknüpft sind:

Szenario B1 – Aufnahme über Atemluft

Für die abdeckende Betrachtung wird die Bearbeitung von Glas- oder Metalloberflächen mit Flusssäure während 2.000 h/a unterstellt, wobei 1 % der Urankontamination in die Umgebungsluft gelangt und eine Luftwechselrate von 1 h⁻¹ unterstellt wird. Es erfolgt keine Unterstellung der Ingestion von Flusssäuredämpfen wegen der Schädigung durch toxische und ätzende Wirkung von Flusssäure.

Auf Basis dieses Szenarios wird eine maximal zulässige Aufnahme von 1,67 gU/a in der Luft des Arbeitsraumes berechnet. Dies entspricht einem Urangehalt in der Flusssäure von max. 16,7 gU/m³.

Szenario B2 – Aufnahme über Trinkwasser

Für die abdeckende Annahme zur Aufnahme über das Trinkwasser wird unterstellt, dass das gesamte Uran aus 10 m³ Flusssäure pro Jahr abgeleitet wird. Es gelangt anschließend ins Grundwasser, wobei eine Gesamt-Verdünnung im Grundwasser um den Faktor 10⁶ unterstellt wird. Es wurde anschließend die Nutzung des Grundwassers als Trinkwasser mit einer Verzehrmenge gemäß Anl. VII StrlSchV betrachtet, wobei als Alter der Referenzperson abdeckend die Altersgruppe ≤ 1 a unterstellt wurde.

Auf Basis dieses Szenarios ergibt sich eine maximal zulässige Urankonzentration im Trinkwasser von 7,58·10⁻⁴ gU/m³. Dies entspricht einem Urangehalt von max. 758,1 gU/m³ in der Flusssäure.

4.4.5.3 Vergleich der Ergebnisse der 3 Szenarien

In [WER 15] werden die Ergebnisse der 3 Szenarien wie folgt verglichen.

- Szenario A - Direktstrahlung: 34,2 gU/m³
- Szenario B1 - Aufnahme über Atemluft: 16,7 gU/m³
- Szenario B2 - Aufnahme über Trinkwasser: 758,1 gU/m³

Es folgt, dass auf Basis der betrachteten Szenarien bis zu 16,7 gU/m³ Flusssäure vorhanden sein könnten, damit der Dosisrichtwert von 10 µSv/a eingehalten ist. Da sich in der vorliegenden Genehmigung für die betrachtete BE-Herstellung ein Wert von 2,86 gU/m³ findet, wird gefolgert, dass dieser auch weiterhin angewendet werden kann, ohne dass in irgendeiner Form eine Überschreitung des Dosisrichtwerts von 10 µSv/a zu besorgen wäre.

4.5 Verregnung von Abwässern

4.5.1 Übersicht

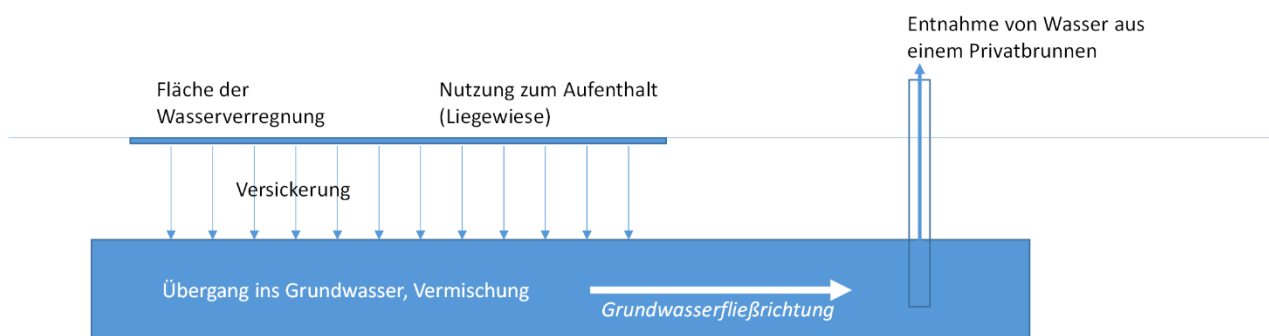
Für ein größeres radiochemisches Labor ergab sich die Situation, dass Abwässer zwar aufgrund ihres sehr geringen Aktivitätsgehalts problemlos im Rahmen der für den Standort vorliegenden Ableitungsgenehmigung nach § 47 StrlSchV abgeleitet werden dürften, dass dies jedoch aufgrund der chemischen Eigenschaften dieser Abwässer aus wasserrechtlichen Gründen nicht möglich ist. In einer radiologischen Betrachtung wurde daher die Freigabe dieser Abwässer untersucht, wobei insbesondere die Verregnung am Standort oder in dessen Nähe betrachtet wurde. Da über die Verwendung dieser radiologischen Betrachtung in einem Genehmigungsverfahren gegenwärtig entschieden wird, wird sie hier ohne Quellenangabe wiedergegeben. Es handelt sich insgesamt um eine Abwassermenge, die 100 m³ im Kalenderjahr deutlich unterschreitet. Abdeckend wurde daher von einem Wert von 100 m³/a ausgegangen.

Für die Methode der Verregnung wurde unterstellt, dass am wahrscheinlichsten und gleichzeitig auch radiologisch abdeckend die Verwendung des Wassers zur Bewässerung von Grünflächen oder zur Staubbinding auf und/oder Reinigung von Wegen und Straßen mittels eines hierfür geeigneten Fahrzeugs anzusehen ist.

Wenn das Wasser zur Bewässerung einer Grünfläche verwendet wird, lagern sich die Radionuklide zum Teil an der Oberfläche ab, zum Teil gelangen sie mit dem Wasser und zusätzlich mit Niederschlag in den Boden und können dort in den Grundwasserleiter übergehen. Die sich an der Oberfläche ablagernden Radionuklide können zu externer Bestrahlung von Personen führen, die sich auf der beregneten Fläche aufhalten. Zusätzlich besteht die hypothetische Möglichkeit, dass das Grundwasser durch eine Person in der Nähe des Standorts über einen im Grundwasserleiter verfilterten Privatbrunnen als Trinkwasser und zur Erzeugung von Lebensmitteln genutzt wird.

Eine schematische Übersicht des Modells für die Ingestion zeigt Abbildung 4.2.

Abbildung 4.2: Schematische Übersicht des Modells für die Ingestion und die ext. Bestrahlung



Auf Basis dieser Grundannahmen wurden die folgenden Szenarien betrachtet, die in den folgenden Unterabschnitten näher beschrieben werden:

- Exposition des Fahrers des Fahrzeugs, von dem aus die Beregnung erfolgt, durch externe Bestrahlung,
- externer Bestrahlung einer Person, die sich auf der beregneten Fläche aufhält,
- Nutzung von Grundwasser, in das das verregnete Wasser übertritt, über einen Privatbrunnen als Trinkwasser und zur Erzeugung von Lebensmitteln.

Alle Annahmen zur Ablagerung an der Oberfläche des Geländes sowie zur Nutzung des Wassers folgen hierbei den Rechenvorschriften der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift (AVV) zu § 47

StrlSchV [BMU 12], soweit sich diese auf den vorliegenden Fall übertragen lassen, und verwenden die dort angegebenen Parameterwerte. Hierdurch wird sichergestellt, dass die Exposition abdeckend beschrieben wird.

4.5.2 Abschätzung der Größe der berechneten Fläche

Die Größe der Fläche, auf der die Verregnung stattfindet, wird gemäß folgender Überlegung abgeschätzt:

- Die Verregnung erfolgt von einem hierfür ausgerüsteten kleinen Fahrzeug aus. Die Kapazität von dessen Wassertank liegt bei 2 m³.
- Die Wassermenge, die maximal gefördert werden kann, liegt bei ca. 100 l/min, woraus sich eine Betriebszeit von 20 min ergibt.
- Unterstellt man eine Fahrgeschwindigkeit von 7 bis 8 km/h (ca. 2 m/s), so könnte in der genannten Zeit eine Fläche von ca. 2.500 m Länge beregnet werden. Die Breite dieser Fläche wird von der Anbringung und Einstellung der Düsen, aus denen das Wasser austritt, bestimmt. Wir sie ähnlich wie die Fahrzeugbreite angenommen (ca. 1,5 m), so kann eine Fläche von ca. 4.000 m² in einer Fahrt beregnet werden.
- Bei einer solchen Beregnung werden ca. 2.000 l auf 4.000 m² oder 0,5 l/m² ausgebracht.
- Diese Beregnungsrate liegt in der gleichen Größenordnung wie der in Tab. 4 der AVV zu § 47 StrlSchV [BMU 12] angegebene Wert von 1 l/(m²·d).
- Falls immer wieder dieselbe Fläche beregnet wird (konservativste Annahme), so gelangt im Jahr die gesamte Aktivität, die in den angenommenen 100 m³ Wasser vorhanden sein könnten, auf die Gesamtfläche.

4.5.3 Ingestion über den Grundwasserpfad

4.5.3.1 Expositionssituation

Für die hier durchzuführende Einzelfallbetrachtung wird folgende Situation betrachtet:

- Das Wasser wird nach dem Nachweis der Einhaltung der Aktivitätswerte nach Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV auf einer Fläche von 4.000 m² verregnet.
- Derjenige Anteil des Wassers, der nicht durch Evapotranspiration verdunstet, versickert und tritt ins Grundwasser über.
- Das Sickerwasser vermischt sich mit dem Grundwasser.
- Es wird unterstellt, dass sich im Abstrom des Grundwasserleiters in der Nähe der zur Verregnung genutzten Fläche ein Anwesen befindet, dessen Bewohner ihren Trinkwasserbedarf aus einem Privatbrunnen decken und das über diesen Brunnen geförderte Wasser auch zur Produktion ihrer eigenen Nahrungsmittel verwenden.
- Bei der Ausbreitung der Radionuklide im Grundwasser werden der radioaktive Zerfall und die transversale sowie longitudinale Dispersion konservativ nicht betrachtet.
- Es werden die Dosen berechnet, die sich über die verschiedenen Verzehrpfade für die im betrachteten Anwesen lebenden Personen der allgemeinen Bevölkerung ergeben.
- Diese Dosen werden mit dem Dosisrichtwert 10 µSv/a gem. § 29 StrlSchV verglichen.

4.5.3.2 Grundwasserleiter

Es wurde unterstellt, dass sich der freie Grundwasserspiegel ca. 4 – 6 m unter der Geländeoberfläche befindet und eine Mächtigkeit im obersten Grundwasserstockwerk von im Mittel 5 m aufweist. Diese Mächtigkeit liegt im unteren Bereich der Wassermenge, die für die Nutzung von Trink- und Brauchwasser für die unterstellte Wasserentnahme durch einen Brunnen notwendig ist.

Bei einer Verregnung von 100 m³ auf 4.000 m² und einem vollständigen Übertritt dieses Wassers ins Grundwasser (Volumen unter der Fläche: 20.000 m³) ergibt sich eine Vermischung von 0,005. Bei diesem einfachen Ansatz wird konservativ nicht berücksichtigt, dass die Verregnung während eines längeren Zeitraums erfolgt und dass das Grundwasser während dieser Zeit fließt, so dass sich der Eintrag über ein größeres Grundwasservolumen verteilt.

4.5.3.3 Dosiskonversionsfaktoren

Um die Dosis zu berechnen, die durch die Entnahme und Nutzung von Grundwasser (das mit dem verregneten Wasser vermischt ist), verursacht werden kann, werden Expositionspfade mit allen Randbedingungen gem. der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift (AVV) zu § 47 StrlSchV betrachtet. Es handelt sich hierbei um die folgenden, für die Referenzpersonen aus den sechs Altersgruppen gemäß Anlage VII StrlSchV sieben (für die Altersgruppe „Säuglinge“ acht) Teilpfade:

- Verregnung – Grundwasser – Brunnen – Trinkwasser,
- Verregnung – Grundwasser – Brunnen – Viehtränke – Kuh – Milch,
- Verregnung – Grundwasser – Brunnen – Beregnung Weide– Futterpflanze – Kuh – Milch,
- Verregnung – Grundwasser – Brunnen – Viehtränke – Kuh – Fleisch,
- Verregnung – Grundwasser – Brunnen – Beregnung Weide – Futterpflanze – Kuh – Fleisch,
- Verregnung – Grundwasser – Brunnen – Beregnung – Blattgemüse,
- Verregnung – Grundwasser – Brunnen – Beregnung – sonstige pflanzliche Nahrungsmittel.
- Verregnung – Grundwasser – Brunnen – Ernährung Erwachsener gemäß der vorangestellten Pfade – Muttermilch.

Als Verzehrsmengen werden die Daten der Anl. VII Teil B Tab. 1 StrlSchV (ohne Anwendung der Werte der Sp. 8) zugrunde gelegt.

Auf dieser Basis wurden die in Tabelle 4.11 für den Trinkwasserpfad und in Tabelle 4.12 für Lebensmittelherzeugung über die übrigen Berechnungspfade gezeigten Dosiskonversionsfaktoren berechnet, die hier nur für ausgewählte Radionuklide wiedergegeben sind. Diese geben die effektive Individualdosis in Sv/a an, wenn im genutzten Wasser die Aktivität von 1 Bq/l vorliegt. In diesen Dosiskonversionsfaktoren sind bereits alle Verzehrsmengen berücksichtigt.

Tabelle 4.11: Dosiskonversionsfaktoren in [(μSv/a)/(Bq/l)] für den Trinkwasserpfad

Nuklid	Säuglinge	Kleinkinder	Kindergartenkinder	Schulkinder	Jugendliche	Erwachsene	Säuglinge/ Muttermilch
Sr-90+	49,5	7,30	4,70	9,00	16,00	9,80	12,7
Cs-137+	4,52	1,20	0,960	1,50	2,60	4,55	1,2
Am-241	796	37,0	27,0	33,0	40,0	70,0	203,6

Tabelle 4.12: Dosiskonversionsfaktoren in [(μSv/a)/(Bq/l)] für die Summe aller Berechnungspfade

Nuklid	Säuglinge	Kleinkinder	Kindergartenkinder	Schulkinder	Jugendliche	Erwachsene	Säuglinge/ Muttermilch
Sr-90+	141	92,5	89,7	130	180	57,8	167
Cs-137+	10,0	14,0	20,3	25,1	36,6	36,6	19,7
Am-241	714	132	159	149	142	134	715

4.5.3.4 Dosisberechnung

Falls die gesamte Aktivität, die sich bei Ausschöpfung der Werte gem. Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV in 100 m³ befinden darf, auf derselben Fläche von 4.000 m² verregnet wird, ergeben sich die in Tabelle 4.13 dargestellten Aktivitäten im Grundwasser. In Verbindung mit der jeweils maximalen Summe der Dosiskonversionsfaktoren aus Tabelle 4.11 und Tabelle 4.12 berechnen sich die in Tabelle 4.13 ebenfalls angegebenen Dosen.

Tabelle 4.13: Eintrag ins Grundwasser und Dosisberechnung

Nuklid	Anl. VII Tab. 4 StrlSchV [Bq/m ³]	Aktivitätskonz. im Grundwasser [Bq/l]	max. Dosiskonversionsfaktor [(μSv/a)/(Bq/l)]	Dosis [μSv/a]
Sr-90+	4·10 ³	0,02	190,5	3,8
Cs-137+	3·10 ⁴	0,15	41,1	6,2
Am-241	2·10 ²	0,001	1.510	1,5

Für alle Radionuklide ergeben sich Dosen, die selbst bei den hier getroffenen sehr konservativen Annahmen bzgl.

- der geringen Vermischung im Grundwasser,
- der Nichtberücksichtigung des radioaktiven Zerfalls und
- der Nutzung des Grundwassers zur Selbstversorgung mit allen Lebensmitteln und als Trinkwasser

deutlich unter 10 μSv/a liegen.

4.5.4 Externe Bestrahlung beim Transport und bei der Verregnung

Es wird abdeckend unterstellt, dass die Verregnung des Wassers mittels eines sog. Schwemmfahrzeugs erfolgt. Dies ist eine selbstfahrende Maschine für die Reinigung von Wegen und Straßen, bei dem neben einer mechanischen Kehrvorrichtung insbesondere Wasser mit hohem Druck zum Einsatz kommt.

Es wird die Exposition des Fahrers eines derartigen Schwemmfahrzeugs betrachtet. Die externe Bestrahlung erfolgt durch das Wasser im hinter dem Fahrer befindlichen Tank. Die Reinigung erfolgt mit einem Wasserverbrauch von mehr als ca. 100 l/min, so dass sich eine reine Einsatzdauer von ca. 20 min ergibt, bis der Tank wieder gefüllt werden muss.

Da für eine evtl. Verregnung auf Grünflächen von einem geringeren Wasserdurchsatz auszugehen ist, wird unterstellt, dass der Einsatz mit (vollständig oder teilweise) gefülltem Tank 1 h dauert. Wenn ein Fahrer eine Wassermenge von insgesamt 100 m³ pro Jahr durchsetzt, beträgt seine Expositionszeit somit 50 h/a.

Die Dosiskonversionsfaktoren werden für ein Volumen von 2 m³ mit homogenem Aktivitätsgehalt berechnet. Für Cs-137+ könnte die Gesamtaktivität im Tank bei Ausschöpfung der Werte gem. Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV somit 6·10⁶ Bq betragen. Es wird eine Abschirmung durch den Tank, die Kabine des Fahrzeugs und die Rückenlehne des Fahrersitzes durch insg. 20 cm Material der Dichte 1 g/cm³ (Kunststoffkabine, Polsterung, Sitzbezug usw.) berücksichtigt. Externe Bestrahlung durch Betateilchen wird nicht betrachtet, da diese vollständig durch Wasser, Tank und Kabine abgeschirmt werden.

Der Dosiskonversionsfaktor für Cs-137+ für die externe Bestrahlung des Fahrers in der genannten Geometrie beträgt 0,05 μSv/h, so dass sich bei der o. g. Expositionszeit eine Jahresdosis von 2,5 μSv/a ergibt.

4.5.5 Externe Bestrahlung beim Aufenthalt auf Flächen, auf denen Wasser verregnet wurde

Die Verregnung des freigegebenen Wassers kann auf versiegelten Flächen erfolgen, etwa auf Wegen und Straßen im Zuge einer Straßenreinigung, daneben auch auf unversiegelten Grünflächen zur Bewässerung insbesondere im Sommer bei längerer Trockenheit. Während beim Einsatz auf versiegelten Flächen die überwiegende Wassermenge in die Kanalisation gelangt und sich nur ein geringer Anteil der im Wasser enthaltenen Radionuklide auf der Oberfläche der gereinigten Flächen ablagern, ist bei einer Verregnung auf Grünflächen davon auszugehen, dass sich beim langsamen Versickern und Verdunsten des Wassers Radionuklide auf der Oberfläche und dem Bewuchs ablagern. Wenn diese Grünflächen als Liegewiese oder zum Aufenthalt im Freien genutzt werden, kann es zu einer Exposition von Personen der Bevölkerung kommen.

Es wird hinsichtlich der Expositionszeit unterstellt, dass sich Personen an 100 Tagen im Jahr für jeweils 2 h/d auf den Grünflächen aufhalten. Die gesamte Expositionszeit beträgt somit 200 h/a.

Aus der Gesamtaktivität bei Ausschöpfung der Werte gem. Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV ergeben sich die in Tabelle 4.14 gezeigten Werte der flächenbezogenen Aktivität bei der konservativen Annahme, dass die gesamte Wassermenge immer auf derselben Fläche von 4.000 m² verregnet wird. Die Dosiskonversionsfaktoren werden für eine ausgedehnte flächenhafte Aktivität, die an der Oberfläche konzentriert ist, aus [BMU 01] entnommen und sind ebenfalls in der Tabelle angegeben.

Tabelle 4.14: Auf der Gesamtfläche 4.000 m² abgelagerte flächenbezogene Aktivität und Dosiskonversionsfaktoren für die externe Bestrahlung ($\beta + \gamma$) bei Aufenthalt auf der Grünfläche

Nuklid	Gesamtaktivität [Bq]	flächenbez. Aktivität [Bq/m ²]	Dosiskonversionsfaktoren	
			Gamma [(Sv/h)/(Bq/m ²)]	Beta, Haut 4 mg/cm ² [(Sv/h)/(Bq/m ²)]
Sr-90+	4·10 ⁵	100	-	1,8·10 ⁻¹⁰
Cs-137+	3·10 ⁶	750	1,9·10 ⁻¹²	1,7·10 ⁻¹¹
Am-241	2·10 ⁴	5	8,3·10 ⁻¹⁴	-

Das höchste Produkt aus flächenbezogener Aktivität und Dosiskonversionsfaktor ergibt sich für die hier beispielhaft einbezogenen Radionuklide für Sr-90+, für das eine Dosisleistung von 0,018 µSv/h berechnet wird. Bei einer Aufenthaltszeit von 200 h/a erhält man eine Dosis von 3,6 µSv/a. Hierbei wurde der radioaktive Zerfall, der während einer zeitlich ausgedehnten Verregnung des Wassers (z. B. im Sommerhalbjahr) zu betrachten wäre, konservativ vernachlässigt.

4.5.6 Anwendung für die radiologische Modellierung der Freigabe von Flüssigkeiten

Das hier beschriebene Modell eignet sich für die Modellierung der Freigabe von Flüssigkeiten, da durch die Verregnung ausgeschlossen wird, dass das Wasser bzw. die wässrige Flüssigkeit nach der Freigabe aufkonzentriert werden könnte. Gleichzeitig stellt die Verregnung einen einfach zu kontrollierenden Pfad der Anwendung dar. Es wird daher in Abschnitt 5.3 in verallgemeinerter Form der Herleitung von Freigabewerten der uneingeschränkten Freigabe für Flüssigkeiten zugrunde gelegt.

4.6 Szenarien zur Herleitung der Ableitungswerte gem. Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV

4.6.1 Regelung der StrlSchV

Die Werte in Anl. VII Teil D Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV stellen die maximal zulässige Aktivitätskonzentration im Wasser, das aus Strahlenschutzbereichen in Abwasserkanäle eingeleitet wird, dar. Sie werden in Anl. IV Teil A Nr. 2 StrlSchV auch im Hinblick auf die Freigabe flüssiger Stoffe herangezogen, wo festgelegt wird:

„Der Freigabe flüssiger Stoffe im Einzelfall gemäß § 29 Absatz 2 Satz 3 sind, soweit sie abgeleitet werden könnten, höchstens die Werte der Anlage VII Teil D Tabelle 4 Spalte 3 zugrunde zu legen.“

Hieraus ist ersichtlich, dass der Gesetzgeber die Werte der Anl. VII Teil D Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV prinzipiell auch als Freigabewerte für geeignet hält, dies aber einer Einzelfallbetrachtung vorbehält und diese Werte außerdem als Höchstgrenzen ansieht. Noch dazu muss es sich um Flüssigkeiten handeln, die auch „abgeleitet werden können“, die also die Anforderungen eines wasserrechtlichen Bescheids bzw. einer wasserrechtlichen Erlaubnis oder Bewilligung nach § 8 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) einhalten würden. Dies setzt voraus, dass es sich um Wasser handelt, dessen Menge und Schädlichkeit so gering ist, wie dies bei Einhaltung der jeweils in Betracht kommenden Verfahren (Abwasserbehandlung, Rückhalt) nach dem Stand der Technik möglich ist.

Die generelle Eignung und Anwendbarkeit der Werte in Anl. VII Teil D Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV für eine uneingeschränkte Freigabe wässriger Flüssigkeiten (unabhängig davon, ob die Flüssigkeiten Anforderungen einer wasserrechtlichen Erlaubnis oder Bewilligung einhalten würden) wurde allerdings bislang nicht gesondert betrachtet. In Vorbereitung hierzu werden in diesem Abschnitt zunächst die Szenarien dargestellt, die zur Herleitung dieser Werte geführt haben.

4.6.2 Beschreibung des Szenarios für die Ableitung von Abwasser

Die Stellungnahme der SSK über die zulässigen Aktivitätskonzentrationen in der Fortluft und im Abwasser (§ 47 Abs. 4 StrlSchV) [SSK 02] enthält Szenarien zur Herleitung der zulässigen Aktivitätskonzentrationen in Fortluft und Abwasser, auf deren Basis die Werte in Anl. VII Teil D Tab. 4 StrlSchV berechnet wurden. Sie bezieht sich damit zwar nicht auf die Freigabe von Flüssigkeiten, enthält allerdings in Abschnitt 4 ein Szenario für die Herleitung von Aktivitätskonzentrationen im Abwasser, welches auch im Hinblick auf die Freigabe von Flüssigkeiten berücksichtigt werden muss. Dieses Szenario ist im Folgenden wiedergegeben (wobei der im Text zitierte Anhang 1 hier nicht wiedergegeben wird):

„Zur Ableitung der zulässigen Aktivitätskonzentrationen im Abwasser wird in dem einfachen Modell angenommen, dass die Referenzperson ihr gesamtes Trinkwasser unverdünnt an der Einleitungsstelle des Abwassers einer Anlage oder Einrichtung in die öffentliche Kanalisation entnimmt.

Die Berechnung der zulässigen Aktivitätskonzentrationen $C_{r,w}$ für Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Wasser erfolgt nach der Formel

$$C_{r,w} = \frac{H_{eff}}{g_{g,r,j} \cdot U_{w,j} \cdot f}$$

$C_{r,w}$ = Aktivitätskonzentration des Radionuklids r im Abwasser in Bq/l

H_{eff} = Grenzwert der jährlichen effektiven Dosis (0,0003 Sv/a)

$g_{g,r,j}$ = Dosiskoeffizient für Ingestion für das Radionuklid r und die Altersgruppe j in Sv/Bq gemäß Richtlinie 96/29/EURATOM

$U_{w,j}$ = Jährlicher Trinkwasserkonsum für die Altersgruppe j in l/a (siehe Tab. 2)

f = Faktor zur Abdeckung des 95-Perzentils bezüglich des Trinkwasserkonsums ($f = 2$)

Tabelle 2: Altersabhängiger, jährlicher Trinkwasserkonsum der Referenzpersonen

Altersgruppe	≤ 1 a	$> 1 - \leq 2$ a	$> 2 - \leq 7$ a	$> 7 - \leq 12$ a	$> 12 - \leq 17$ a	> 17 a
$U_{w,j}$ in l/a	170	100	100	150	200	350

Die maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationswerte sind im Anhang 1 zusammengestellt. Analog der Fortluft wird eine flexible Handhabung dieser Werte in der Praxis für kleinere Anlagen und Einrichtungen als angemessen erachtet. Der Ausschuss hält es für vertretbar, dass bei Abwassermengen bis 10^5 m³/a die Radionuklidkonzentration im Abwasser bis zum 10-fachen der im Anhang 1 aufgeführten Werten betragen darf.“

4.6.3 Betrachtung der Konservativität des Szenarios

Die Stellungnahme der SSK [SSK 02] enthält darüber hinaus in Abschnitt 5 eine Betrachtung der Konservativität der Vorgehensweise zur Berechnung der Aktivitätskonzentrationen. Aus dem im Folgenden zitierten Abschnitt wird deutlich, dass zur Herleitung der Aktivitätskonzentrationswerte nur ein einfaches Szenario der direkten Trinkwasserentnahme betrachtet wurde und dass hierfür Durchsätze und Verdünnungsfaktoren von Kläranlagen in Deutschland verwendet wurden.

„Abwasser

Bei der Ableitung von Radionukliden mit dem Abwasser wird gemäß AVV davon ausgegangen, dass eine Strahlenexposition von Personen erst nach Einleitung des kontaminierten Abwassers in den Vorfluter erfolgt. Zur Berechnung der Radionuklidaktivität im Vorfluter ist eine Verdünnung der Aktivitätskonzentration durch unkontaminiertes Wasser auf dem Weg von der Einleitungsstelle bis in den Vorfluter zu berücksichtigen. Die Höhe des über ein Jahr gemittelten Verdünnungsfaktors ergibt sich aus der kontaminierten Abwassermenge des Emittenten, dem gesamten jährlichen Wasserdurchsatz der zu betrachtenden Kläranlage und dem mittleren Abfluss des Vorfluters. Auf der Basis von Erfahrungswerten kann ein Verdünnungsfaktor Einleitung/Vorfluter von 1.000 für Abwassermengen bis zu 10^5 m³/a aus Strahlenschutzbereichen und einem Verdünnungsfaktor von 100 für Abwassermengen bis 10^6 m³/a als abdeckend angesehen werden. Tabelle 3 zeigt, dass diese Verdünnungsfaktoren bereits bei einem kleinen Vorfluter mit einer Abflussmenge von 3,17 m³/s erreicht werden, wobei weitere Verdünnungen durch die kommunalen Abwässer noch gar nicht berücksichtigt sind. Auch aus großen Kliniken sind keine größeren Abwassermengen als 10^6 m³/a zu erwarten: Dieser Wert entspricht, bei einem mittleren Wasserverbrauch eines Menschen von 150 l/d, dem jährlichen Bedarf von 18.000 Menschen.

Tabelle 3: Erforderliche Abflussmengen des Vorfluters zur Erreichung eines vorgegebenen Verdünnungsfaktors für die Ableitung von Abwasser aus nuklearmedizinischen Kliniken und anderen Einrichtungen

Abwasserabgabe			Verdünnungs- faktor	Erforderliche Abflussmengen des Vorfluters bei maximaler Abwas- serabgabe
m ³ /a	m ³ /d	m ³ /s		
1,0E+06	2.740	0,03170	100	3,17
1,0E+05	274	0,00317	1.000	3,17
1,0E+04	27	0,00032	1.000	0,32
1,0E+03	3	0,00003	1.000	0,03

Die Konservativität der Verdünnungsfaktoren wird durch Ergebnisse von radionuklidspezifischen Messungen der Bundesanstalt für Gewässerkunde und des BfS in Oberflächengewässern, in den Abläufen von Kläranlagen und in Vorflutern belegt.

Beim Abwasserpfad bleiben alle Radionuklide unberücksichtigt, deren Halbwertszeit kleiner als 2 Tage ist, da angenommen werden kann, dass diese auf dem Weg in den Vorfluter weitgehend zerfallen.“

4.6.4 Einschätzung im Hinblick auf die Freigabe von wässrigen Flüssigkeiten

Das hier beschriebene Szenario der Ingestion von Trinkwasser aus oder hinter dem Vorfluter, in den kontaminiertes Abwasser eingeleitet wurde, beschreibt nicht in vollem Umfang die Möglichkeiten, die eine weitgehend uneingeschränkte Nutzung von freigegebenem Wasser oder freigegebenen wässrigen Flüssigkeiten allgemein zulassen würde. Das Szenario trifft daher auf Ableitungen zu, nicht jedoch auf andere Nutzungen des Wassers bzw. der wässrigen Flüssigkeiten. Für eine direkte Anwendung als Szenario für die Ableitung von Freigabewerten für die uneingeschränkte Freigabe von Wasser bzw. der wässrigen Flüssigkeiten ist es daher ohne Hinzuziehung weiterer Szenarien nicht geeignet.

4.7 Extreme Szenarien

4.7.1 Übersicht

Im Vorfeld und im Zuge der Einführung der Strahlenschutzverordnung von 2001 wurden von Gruppen, die der Freigabe nach § 29 StrlSchV kritisch gegenüberstehen, verschiedene, zum Teil extreme Szenarien in Zusammenhang mit der Freigabe von Flüssigkeiten ins Feld geführt. Auf diese Szenarien wird in den folgenden Abschnitten eingegangen, da sie zeigen, welche Besorgnisse in Teilen der Bevölkerung in Bezug auf die Freigabe vorliegen. Insbesondere werden hierbei Möglichkeiten der Aufkonzentration von Aktivitätsgehalten nach der Freigabe benannt.

Es ist nicht beabsichtigt, die folgenden Szenarien in die Modellierung in Abschnitt 5 dieses Berichtes mit einzubeziehen, sie dienen allerdings als Abgrenzung für Situationen, die von Modellen zur Freigabe von Flüssigkeiten ebenfalls abgedeckt sein müssen.

Um die seinerzeitige Situation in der Diskussion verständlich zu machen, wird die folgende viel zitierte Äußerung von Heinrich Messerschmidt aus Lüchow wiedergegeben, die sich auf die Umsetzung der Freigabe in der damals noch in der Beratung befindliche StrlSchV von 2001 bezog:

„Die Aufweichung der Strahlengrenzwerte, wie sie von *Atomminister* Trittin derzeit geplant ist, stellt nach Auffassung des BUND-Strahlenschutzexperten H. Messerschmidt „das größte

Menschenopfer an künftigen Krebstoten und genetischen Schäden [dar], welches je eine Bundesregierung der Atomindustrie zum Weiterbetrieb aller Anlagen des sogenannten Brennstoffkreislaufs in kostensparender Art gemacht hätte.“ Hintergrund sind Planungen des Ministerium, die Strahlenschutzgrenzwerte dahingehend zu senken, daß Atommüll zukünftig wie Hausmüll verbrannt werden kann, oder als Straßenbaumaterial verwendet werden darf.“ (Heinrich Messerschmidt, 29439 Lüchow, Wendlandstr. 14)

„Das Thema ist zu wichtig, um es einigen wenigen Experten und der Lobby der Atomwirtschaft zu überlassen. Es gilt die Frage zu beantworten, wieviel Krebserkrankungen, Todesfälle und Mißbildungen bei Neugeborenen die Gesellschaft bereit ist, der Atomwirtschaft jährlich zuzugestehen.“ (U. Jentzsch, Fachgruppe Radioaktivität, Bürgerinitiative Lüchow / Dannenberg, 30.11.1999)

4.7.2 Von der „Fachgruppe Radioaktivität“ betrachtete Szenarien

In ihrer „Stellungnahme zu ausgewählten Regelungen im Entwurf der Novellierung der Strahlenschutzverordnung vom 03.04.2000“ [FAC 00] führte die Fachgruppe Radioaktivität die im Folgenden dargestellten Szenarien auf. Ausgangspunkt war die Annahme, dass die jeweils betrachteten Radionuklide zum Trinkwasser „in einer Stadt, in der auch gleichzeitig Babynahrung in einer großen Fabrikationsanlage hergestellt wird, im großen Stil in organischer Lösungsform zugegeben [wird]. Die Ursachen einer solchen Zugabe können in Fehlverhalten, in Unkenntnis der radiologischen Auswirkungen, aber auch im Geschäftsinteresse einer kostengünstigen Beseitigung des schwachradioaktiven Abfalls ... zu suchen sein. Sie können aber auch in sektiererischer Verfolgung von Irrlehren (z.B. Hormesis) begründet sein.“ (Messerschmidt, 1999)

4.7.2.1 Szenario 1:

Ein Kleinkind trinkt Wasser, das H-3 in Höhe des Freigabewerts enthält.

- Freigabewert für H-3: 1.000 Bq/g (10^6 Bq/l)
- Aufnahme von Tritium über Trinkwasser: 205 l/a (gem. Anl. VII Teil B Tab. 1 StrlSchV)
- H-3-Gehalt im Wasser: 10^6 Bq/l, d. h. Aufnahme von H-3 pro Jahr $2 \cdot 10^8$ Bq
- Dosiskoeffizient: $6,4 \cdot 10^{-11}$ Sv/Bq
- Jahresdosis: 13 mSv/a

4.7.2.2 Szenario 2:

Ein Kleinkind trinkt Wasser, das I 131 in Höhe des Freigabewerts enthält.

- Freigabewert für I-131: 2 Bq/g (2.000 Bq/l)
- Aufnahme von Iod über Trinkwasser, 170 l/a
- I-131-Gehalt im Wasser: 2.000 Bq/l, d. h. Aufnahme von I-131 pro Jahr $3,4 \cdot 10^5$ Bq
- Dosiskoeffizient: $1,8 \cdot 10^{-7}$ Sv/Bq
- Jahresdosis: 61 mSv/a

4.7.3 Darstellung der Bürgerinitiative Lüchow–Dannenberg, Fachgruppe Radioaktivität

In der Unterlage [JEN 00] vergleicht die Bürgerinitiative Lüchow–Dannenberg, Fachgruppe Radioaktivität, die bisherigen Ableitungen aus Kernkraftwerken (im Beispiel Kernkraftwerk Lingen, KWL) und die damals neuen Freigaberegulungen gem. Anl. III Tab. 1 Sp. 5 StrlSchV. Sie führt Folgendes aus (die Fußnoten sind Teil der Unterlage):

„Unter dem Aspekt der Freigabe ergeben sich für unser Beispiel des Abwassers des Kraftwerks Lingen nachstehende Verhältnisse:

Tabelle 3. Freigabe am Beispiel des Abwassers des Atomkraftwerks Lingen (1975)

1	2	3	4	5	6	7	8
Abgabe (g)	Nuklid	Abgabe 1975 (Bq)	Abgabe 1975 (Bq/g)	uneingeschr. Freigabe (Bq/g) neu	zu 5 Abgabe/ Freigabe	Freigabe zur Beseitigung (Bq/g) neu	zu 7 Abgabe/ Freigabe
1,04E+10	Mn 54	3,30E+05	3,16E-05	4,00E-01	7,91E-05	1,00E+01	3,16E-06
	Co 57	1,70E+06	1,63E-04	2,00E+01	8,15E-06	1,00E+02	1,63E-06
	Co 58	1,80E+07	1,73E-03	9,00E-01	1,92E-03	9,00E+00	1,92E-04
	Co 60	4,80E+08	4,60E-02	1,00E-01	4,60E-01	4,00E+00	1,15E-02
	Sr 89	3,70E+08	3,55E-02	2,00E+01	1,77E-03	1,00E+02	3,55E-04
	Sr 90	4,40E+06	4,22E-04	2,00E+00	2,11E-04	2,00E+00	2,11E-04
	Zr 95	3,70E+07	3,55E-03	5,00E-01	7,10E-03	5,00E+00	7,10E-04
	Nb 95	7,40E+07	7,10E-03	2,00E+00	3,55E-03	1,00E+01	7,10E-04
	Ru 103	1,30E+07	1,25E-03	4,00E+00	3,12E-04	2,00E+01	6,23E-05
	J 131	4,40E+08	4,22E-02	2,00E+00	2,11E-02	2,00E+01	2,11E-03
	Cs 134	1,50E+08	1,44E-02	2,00E-01	7,19E-02	6,00E+00	2,40E-03
	Cs 137	3,40E+08	3,26E-02	5,00E-01	6,52E-02	1,00E+01	3,26E-03
	La 140	1,40E+07	1,34E-03	1,00E+01	1,34E-04	1,00E+01	1,34E-04
	Ce 141	4,10E+07	3,93E-03	7,00E+01	5,62E-05	1,00E+02	3,93E-05
	Ce 144	1,10E+07	1,05E-03	9,00E+00	1,17E-04	1,00E+02	1,05E-05
	H 3	6,10E+11	5,85E+01	1,00E+03	5,85E-02	1,00E+03	5,85E-02
	Summe		5,87E+01		6,92E-01		8,02E-02

Die Tabelle 3. liefert folgendes Ergebnis:

- Das Wasser kann entsprechend seiner Nuklidkonzentration uneingeschränkt freigegeben werden. Der Grenzwert für die uneingeschränkte Freigabe wird zu ca. 70 % ausgeschöpft. Es kann, - wie unter 2. gezeigt, nicht als Abwasser abgeleitet werden -, als Wirtschaftsgut z.B. in der Bauindustrie jedoch Verwendung finden. H. Messerschmidt⁷ hat abgeschätzt, daß ein Maurer einer Spezialkolonne, die Spritzwurf-Innenputz ausführt, bei Verwendung tritiumhaltigen Wassers, dessen Tritiumkonzentration dem maximalen Freigabewert entspricht, mit einer effektiven Dosis durch Inhalation und Ingestion von bis zu 24 mSv pro Jahr belastet werden kann. Das entspricht fast dem 100fachen des Grenzwertes.
- Der Vergleich (Spalte 4 und Spalte 8) ergibt, daß die Regelung in der geltenden StrlSchV gegenüber der Novelle um das ca. 7fache restriktiver ist, wenn man das Wasser als radioaktiven Abfall zur Beseitigung betrachtet. Der radioaktive Abfall, der nach StrlSchV beseitigt werden mußte, darf nunmehr als Wirtschaftsgut wieder verwendet werden.

Wie beim genehmigungsfreien Umgang wird auch bei der uneingeschränkten Freigabe schwachradioaktiver Müll unkontrolliert in die Umwelt freigesetzt. Die Erzeuger bzw. Besitzer von schwach radioaktivem Müll haben zukünftig einen Rechtsanspruch so zu verfahren.

⁷⁾ Heinrich Messerschmidt; „Dosisberechnung für die Allgemeinbevölkerung und Kleinkinder bis 1 Jahr am Beispiel des rezyklierten Tritiums H-3“; private Mitteilung; März 2000

Es ist nicht zu verstehen, daß einerseits für den Erzeuger ein Verdünnungsverbot besteht, andererseits jedoch eine unkontrollierte, zufallsbedingte Verdünnung unbedingt notwendig ist, um das 10 μ Sv - Konzept zu rechtfertigen.

Die Freigrenze für Tritium ist mit 1E+06 Bq/g festgelegt. Eine Mengenbegrenzung ist in der Novelle nicht vorgesehen. Eine Meldepflicht und Überwachung nach StrlSchV gibt es nicht. Ein Liter Wasser mit einer Konzentration der Freigrenze kann eine maximale Aktivität von 1E+09 Bq enthalten. Die natürliche Konzentration in Grundwasser, Seen und Flüssen beträgt maximal 0,3 Bq/l⁸. Eine Verdünnung mit Grundwasser um den Faktor 4E+10 ist notwendig, um eine Wasser mit einer 2fachen Konzentration des natürlichen Gehalts zu erhalten. Die dafür notwendige Wassermenge beträgt 2,5 Millionen m³. Bei der unbeschränkten Freigabe sind es immerhin noch 2,5 Tausend m³. Andererseits ist für Tritium eine maximale Konzentration im Abwasser von 6E+06 Bq/ m³ in der Novelle vorgegeben. Das entspricht einer Tritiumkonzentration von 6 Bq/g. Die unterschiedlichen Regelungen, bezeichnet als Freigrenze, Freigabe und maximal zulässige Aktivitätskonzentration, unterscheiden sich um viele Zehnerpotenzen. Der radioaktiven Verseuchung des Grundwassers ist somit Tür und Tor geöffnet.

Legt man für die effektive Folgedosis pro Inkorporation bei Ingestion einen Konversionsfaktor für Kleinkinder von 6,4E-11 Sv/Bq und für Erwachsene von 1,8E-11 Sv/Bq entsprechend der EU - Richtlinie zugrunde, so errechnet sich als Gefahrenpotential für ein Liter Wasser mit einer Tritiumkonzentration entsprechend der Freigrenze für Kleinkinder eine Effektivdosis von 64 mSv und für Erwachsene von 18 mSv. Um das 10 μ Sv - Konzept der EU - Richtlinie einzuhalten, dürfte pro Jahr ein Kleinkind nicht mehr als ca. 0,15 cm³ bzw. ein Erwachsener 0,5 cm³ als Nahrung oder Flüssigkeit zu sich nehmen. Bei Berücksichtigung des Flüssigkeitsbedarfs der „Referenzperson“ von 250 l (Kleinkind) bzw. 800 l (Erwachsener) ist eine Verdünnung um den Faktor von ca. 1,7 Millionen erforderlich.⁹ Bei der uneingeschränkten Freigabe beträgt der Faktor immerhin noch 1,7 Tausend. Doch wer garantiert die Einhaltung des 10 μ Sv - Konzeptes, wenn jede Kontrolle entfällt? Mit mehr oder weniger willkürlichen Szenarien und Rechenmodellen werden „harmlose“ Dosisbelastungen offiziell gerechtfertigt.¹⁰

Es ist nicht nachvollziehbar, wenn in der Novelle der StrlSchV von „nur geringfügiger Dosisbelastung“ bzw. in der EU - Richtlinie von „geringfügigen radiologischen Risiken, für die kein Regelungsbedarf besteht“ im Zusammenhang mit Freigrenzen und Freigabewerten gesprochen wird.“

In der weiteren Darstellung in [JEN 00] wird noch auf den „Vergleich zwischen Freigrenzen und Freigabewerten nach der Novelle der StrlSchV für die Nuklide im Abwasser des Atomkraftwerks Lingen“ und auf die „potentielle radiologische Belastung des Abwassers des Atomkraftwerks Lingen entsprechend der Konversionsfaktoren der Novelle der StrlSchV“ eingegangen. Hierbei wird auf Basis der in Abschnitt 4.7.2 angegeben Szenarien wiederholt ausgeführt, dass Überschreitungen des Richtwerts von 10 μ Sv/a möglich seien. Als Fazit wird festgehalten:

„Die überwiegende radiologische Belastung ist durch das Nuklid Tritium gegeben. Legt man die Verzehrsgewohnheit der Referenzperson nach der Novelle zu Grunde, bedarf es nur einer

⁸⁾ Länderarbeitsgemeinschaft „Wasserwirtschaft und Kernenergie“ KTA - 1504, März 1979

⁹⁾ Dabei sind Bedenken gegen die zu niedrigen Dosiskonversionsfaktoren nicht berücksichtigt. Eine Erhöhung der natürlichen Konzentration um das 2 500 000 000fache bei der Freigrenze bzw. 2 500 000fache bei der Freigabe soll radiologisch unbedenklich sein?

¹⁰⁾ Die gemessene hohe Anreicherung von Tritium in der Natur, die man in England, verursacht durch das Abwasser einer radiochemischen Fabrik, aufgefunden hat, wird offiziell schlicht ignoriert.

Verdünnung um ca. den Faktor 200 bzw. 30, um dem 10 μSv -Konzept bzw. 1 Mann-Sievert-Konzept zu entsprechen.“

4.7.4 Darstellung der GruppeÖkologie [ÖKO 00]

Durch die GruppeÖkologie wurde ebenfalls eine Unterlage [ÖKO 00] vorgelegt, in der die Novellierung der StrlSchV im Hinblick auf die Einbeziehung von Freigabewerten für Flüssigkeiten kritisiert wurde. Hierin heißt es (die Zitate in eckigen Klammern sind der genannten Unterlage zu entnehmen):

„Nach dem Novellierungsentwurf zur Strahlenschutzverordnung ist bei Unterschreitung bestimmter Freigabewerte auch die Freigabe von Flüssigkeiten zulässig. Mengenbegrenzungen werden hierfür nicht eingeführt. In Kapitel 6.1.1 [dieser Unterlage] wurde bereits darauf hingewiesen, dass es dafür in der IAEA-Empfehlung zum 10 μSv -Konzept keine Grundlage gibt und in der EU-Richtlinie hierauf kein konkreter Bezug genommen wird. Es sind auch keine Studien oder Untersuchungen bekannt, die eine Grundlage für die Festlegung der in [BMU 1999] enthaltenen Freigabewerte für Flüssigkeiten bieten könnten. Es ist unabdingbar, dass insbesondere bei großen Flüssigkeitsmengen in Bezug auf die Strahlenbelastung auch plausible Extremszenarien berücksichtigt werden müssen. Zumal nach der neuen Strahlenschutzverordnung auch die uneingeschränkte Freigabe zulässig sein soll. Dies kann nicht mit dem Hinweis auf probabilistische Ansätze entkräftet werden, da in bestimmten Bereichen probabilistische Betrachtungen irreführend sind.

Es wird hier ohne Bewertung auf beispielhafte Berechnungen von Strahlenbelastungen aufgrund der Freigabe von Wasser unter Einhaltung der Freigabewerte und mit Berücksichtigung der im Novellierungsentwurf festgelegten Dosisfaktoren und Verzehrmenngen hingewiesen:

- Aus der Aufnahme durch Ingestion von 1 l Wasser mit einer Tritium (H-3) Konzentration entsprechend dem Freigabewert von 10^3 Bq/g folgt bereits eine Strahlenbelastung für einen Erwachsenen von 18 μSv und für ein Kleinkind von 64 μSv [JENTZSCH 1999].
- Bei einem Inhalationsszenario für einen Maurer in einer Kolonne für Spritzwurf-Innenputz ergibt sich mit entsprechend dem Freigabewert für H-3 belastetem Anmachwasser für den Mörtel eine Strahlenbelastung von ca. 32.000 $\mu\text{Sv/a}$ [MESSERSCHMIDT 1999a].
- Sollte die gesamte jährliche Wasseraufnahme eines Kleinkindes durch Trinken und Nahrungsverdünnung mit freigegebenen Wasser erfolgen, ergibt sich mit dem H-3 Freigabewert eine Strahlenbelastung von ca. 13.000 $\mu\text{Sv/a}$ [MESSERSCHMIDT 1999a].
- Für die Radionuklide I-131 bzw. I-129 ergibt sich bei ähnlichem Szenario für einen ungestillten Säugling eine Strahlenbelastung von 61.200 $\mu\text{Sv/a}$ bzw. 12.000 $\mu\text{Sv/a}$ [MESSERSCHMIDT 1999b].

Bei diesen Beispielrechnungen ergeben sich Überschreitungen des Wertes von 10 $\mu\text{Sv/a}$ bis zum 6.000-fachen.

Aus den zulässigen Freigabewerten für Flüssigkeiten (ohne Mengenbegrenzung) können sich paradoxe Situationen ergeben. Die unter Einhaltung des Freigabewertes für H-3 oder C-14 freigegebene Menge Flüssigkeit könnte zwar ohne jede Einschränkung durch die zukünftige Strahlenschutzverordnung verwendet, also zum Beispiel bei Gorleben in die Elbe geschüttet werden. Für den Fall der Genehmigung der Pilot-Konditionierungsanlage (PKA) dürfte dieses Wasser aber nicht über deren Abwasserleitung in die Elbe eingeleitet werden, da die schon

relativ hoch beantragten Abgabewerte der PKA noch um das drei- (H-3) bzw. knapp fünffache (C-14) überschritten würden. Ähnlich paradoxe Situationen können auch [JENTZSCH 1999] entnommen werden.

Die Werte für die uneingeschränkte Freigabe von Bauschutt in [BMU 1999] sind 0,4 Bq/g für Cs-137 bzw. 0,09 Bq/g für Co-60. Diese beiden Nuklide sind dominierend für die Strahlenbelastung bei einer Freigabe der Betonstrukturen des Kontrollbereiches von Atomkraftwerken. In einer Studie für die Europäische Kommission wird für die Freigabe entsprechender Materialien dagegen ein deutlich niedrigerer Wert von 0,025 Bq/g für die beiden genannten Radionuklide zusammen empfohlen [RAUH 1995].“

4.7.5 Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich - Erörterungstermin 2003

4.7.5.1 Hintergrund

Zur Erlangung der ersten Stilllegungsgenehmigung für das Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich (KMK) hatte die RWE Power AG einen Sicherheitsbericht vorgelegt [RWE 03], in dem unter anderem der Umbau des Notstandsgebäudes zum Standortlager und der Betrieb dieses geplanten Standortlagers beschrieben wurde. Da dieser Betrieb noch für eine erhebliche Zeitspanne über den Restbetrieb und den Abbau der Anlage Mülheim-Kärlich hinaus vorgesehen war, wurde in diesem Zusammenhang beantragt, die geringen Wassermengen, die aus einem solchen Lagerbetrieb in fernerer Zukunft anfallen würden (Kondenswasser bei der Luftentfeuchtung, Sanitärwasser im Rahmen von Anlagenbegehungen und Wartungen), nicht durch eine Ableitungsgenehmigung im Sinne von § 47 StrlSchV, sondern durch eine Freigabe nach § 29 StrlSchV zu behandeln. Hintergrund war, dass diese Wässer nur diskontinuierlich anfallen würden und der Aufwand für eine Einleitung in den Rhein (Genehmigung nach § 47 StrlSchV, Aufrechterhaltung der Ableitungswege usw.) in keinem Verhältnis zur Menge und evtl. Aktivitätsgehalt stand.

Dieser Vorschlag seitens RWE Power wurde durch Einwender im Rahmen der Öffentlichkeitsbeteiligung während des Genehmigungsverfahrens vollständig anders interpretiert. Es wurde vermutet, dass in großem Umfang Abwasser aus der Stilllegung und dem Rückbau des Kernkraftwerks nicht mehr durch Ableitungen, sondern durch Freigabe entsorgt werden sollten. Einwendungen, die diesen Umstand nicht verkannten, nahmen allerdings immer noch beliebig große Abwassermengen an, die auf diese Weise entsorgt werden sollten. Hierzu wurden Einwendung entsprechend dem in Abschnitt 4.7.5.2 zitierten Beispiel formuliert. KMK antwortete im Rahmen des Erörterungstermins mit einer Stellungnahme gemäß Abschnitt 4.7.5.3.

4.7.5.2 Einwendung

Im Rahmen der Zusammenstellung von Einwendungen für den Erörterungstermin wurden solche zur Freigabe von Abwässern von KMK wie folgt zusammengefasst:

„Eine uneingeschränkte Freigabe radioaktiver Abwässer aus dem Standortlager ist nicht genehmigungsfähig.

Begründung: Es sind plausible Szenarien denkbar, die zu einer unzulässigen Strahlenbelastung von Menschen führen können.“

Bei diesen Szenarien bezogen sich die Einwender auf solche, die in den Beispielen in den vorangegangenen Abschnitten 4.7.2 bis 4.7.4 wiedergegeben wurden.

4.7.5.3 Stellungnahme von KMK

Die von KMK für den Erörterungstermin ausgearbeitete Stellungnahme zu der in Abschnitt 4.7.5.2 genannten Einwendung lautete wie folgt:

„In Abschnitt 6.4 des Sicherheitsberichts wird angesprochen, dass in geringen Mengen anfallende Abwässer aus dem Kontrollbereich des Standortlagers entweder direkt von dort unter Einhaltung des 10 μ Sv-Konzepts nach § 29 Abs. 2 StrlSchV freigegeben oder nach § 69 StrlSchV an die Anlage KMK oder eine andere Anlage/Einrichtung zur Behandlung abgegeben werden sollen, da für das Standortlager keine Ableitungen mit dem Abwasser vorgesehen sind. (Die Überwachung von Aktivitätsableitungen mit Abwässern aus der Anlage KMK wird im Sicherheitsbericht in Abschnitt 4.4 beschrieben.)

Im Sicherheitsbericht wird Bezug genommen auf die Einhaltung des 10 μ Sv-Konzepts für den Fall, dass das anfallende Wasser nach § 29 Abs. 2 StrlSchV freigegeben werden soll. In diesem Fall wäre eine Einzelfallbetrachtung, für welche § 29 Abs. 2 Satz 3 StrlSchV die Grundlage bildet, durchzuführen: *„für Stoffe, die die Freigrenzen der Anlage III Tabelle 1 Spalte 3 nicht überschreiten, [kann] der Nachweis, dass für Einzelpersonen der Bevölkerung nur eine effektive Dosis im Bereich von 10 Mikrosievert im Kalenderjahr auftreten kann, unter Berücksichtigung der Festlegungen der Anlage IV Teil A Nummer 2 [dies sind spezielle Annahmen für die Modellierung] auch auf andere Weise geführt werden.“*

Durch eine solche Einzelfallbetrachtung, welche die radiologische Bewertung des konkreten Einzelfalls zum Inhalt hat (Dosisberechnung durch eine bestimmte Freigabe), können spezielle Freigabekriterien ermittelt werden, bei deren Einhaltung die Freigabe wie vorgesehen erfolgen kann. Die abgeleiteten numerischen Kriterien müssen nicht notwendigerweise mit den Werten z.B. der Anl. III Tab. 1 Sp. 5 StrlSchV identisch sein.

Eine solche, auf einer Einzelfallbetrachtung beruhende Freigabe wäre dennoch als „uneingeschränkt“ zu bezeichnen, da das freigegebene Wasser nach der Freigabe keiner weiteren Einschränkung hinsichtlich des Verbleibs, seiner Verwendung usw. unterliegen würde, jedoch ist diese Begriffsbestimmung im Falle einer Freigabe auf der Basis einer Einzelfallbetrachtung nicht relevant.

Es soll an dieser Stelle nochmals betont werden, dass die hier angesprochene Freigabe von Abwässern keine Ableitung im Sinne des § 47 StrlSchV wäre, die in § 3 Abs. 2 StrlSchV wie folgt definiert ist: *Ableitungen: Abgabe flüssiger, aerosolgebundener oder gasförmiger radioaktiver Stoffe aus Anlagen und Einrichtungen auf hierfür vorgesehenen Wegen.*“

Ähnliche Einwendungen fanden sich im Jahr 2014 im Zuge des Erörterungstermins für die Erlangung der Stilllegungsgenehmigung 2b für die Anlage Mülheim-Kärlich („Genehmigung für die Abbauphase 2b im Rahmen des Abbaus des Kernkraftwerks Mülheim-Kärlich“ vom 08.10.2015). Auf die Bedeutung dieser Einwendungen für die Diskussion von Freigabewerten für Flüssigkeiten wird in Abschnitt 4.9 eingegangen.

4.8 Modellierung gemäß TECDOC 1000 der IAEA

Die Empfehlung TECDOC 1000 „Clearance of materials resulting from the use of radionuclides in medicine, industry and research“ der IAEA [IAE 98] wird hier der Vollständigkeit halber ebenfalls angeführt, da hierin für die Freigabe von Flüssigkeiten ein Modell dargestellt und angewendet wird, das von der Auslegung her eher der Modellierung gemäß der AVV zu § 47 StrlSchV entspricht (vgl. Anhang B von TECDOC 1000). Auf Basis der in TECDOC 1000 dargestellten radiologischen Untersuchungen, die vor allem auf feste Abfälle ausgerichtet sind, wird für kleine Abfallmengen („moderate amounts“, Massen von nicht mehr als ca. 3 Mg) die Anwendung der Freigrenzen nach Anl. III Tab. 1 Sp. 3 StrlSchV als Freigabewerte empfohlen. Diese Unterlage bezieht insbesondere die in Abschnitt 3.3.2.2 dargestellten Radionuklide ein.

Zum Aufkommen und zu den Entstehungsprozessen der flüssigen Abfälle macht TECDOC 1000 die folgenden Ausführungen:

“4.2.2. Liquid releases

This section deals with releases of aqueous liquid waste. Non-aqueous liquid waste, such as organic waste and contaminated liquid scintillant are normally disposed of by incineration which would give rise to exposures as described in Sections 4.2.1 and 4.2.3.

A frequently used route for the disposal of very low level liquid waste is via the ordinary sewer system. In this case the exposure of sewage system workers needs to be evaluated. Also treatment of sewage may result in a contaminated sludge and a contaminated liquid, which is discharged to a water body. The sludge might be incinerated giving rise to contaminated airborne effluent and solid residue. Alternatively, the sludge might be treated and used as fertilizer, giving rise to exposures similar to those following deposition of radionuclides after atmospheric release. Yet another possibility is that the sludge is disposed of as solid waste.

The liquid effluent, or the sewage stream itself, may be discharged directly into a surface water body: a river, a lake, an estuary or the marine environment. Generally this results in considerable dilution which can be taken into account in assessing clearance levels. However, it is important to be sure that no circumstances could arise where this dilution does not occur.

Following release of liquid effluent to a river, the effluent is carried downstream and consideration has to be given to all the potential uses of the river water which might give rise to radiation exposure. The pathways of interest include: ingestion of drinking water; ingestion of fish taken from the river; and ingestion of foods derived from land irrigated with river water. In addition, some radionuclides may become attached to sediments and fall to the river bed. These sediments might then act as a source of external irradiation or give rise to intake via inhalation. Sediments are also applied to agricultural land in some cases and so may give rise to the transfer of radionuclides through the terrestrial foodchain. The possible build-up of long-lived radionuclides in sediment and subsequent exposure pathways, therefore, also has to be considered. For very short lived radionuclides, the assessment should concentrate on the drinking water pathway.

Similar considerations also apply to releases to other water bodies. Another possibility for liquid waste disposal is discharge to a seepage pit. In this case radionuclides would be retained in the pit, or be carried away with the leachate. On closure of such a pit, radioactive material would be buried. Both the buried material and the leachate can be assessed in a similar fashion to solid waste disposal as discussed in Section 4.2.3.

Models for assessing the release of radionuclides to water bodies and to sewers, together with the subsequent exposure pathways are given in IAEA Safety Series No. 57. These models have been used to derive the generic clearance levels for liquid discharges as outlined in Section 5.”

Die Details zur Modellierung für flüssige Abfälle finden sich in Abschnitt 5 wie folgt

“5.2. GENERIC CLEARANCE LEVELS FOR AQUATIC RELEASES

The generic clearance values for liquid releases to sewers or freshwater bodies are given in Table IV [*hier: Tabelle 4.15*] and their derivation is outlined in Appendix B. For discharge to sewers two extreme possible scenarios were considered: assuming that no radioactive material is retained in sewage sludge but it is all discharged to the water body in liquid form; and assuming that all of the radioactive material discharged is retained in the sewage sludge at the sewage treatment works. Radiation doses were calculated for both cases and the most restrictive level used to give the generic values in Table IV [*hier: Tabelle 4.15*]. If the waste is

discharged directly to a river and the sewage scenario is the most restrictive, then the doses will be overestimated. The release is assumed to occur into a relatively small river with a low flow rate and a receptor location 1 km downstream of the release point. Changes in these assumptions, particularly changing the river size and flow rate can have a significant effect on the resultant doses. Releases to an estuary or to the marine environment will result in lower doses. However, releases to a lake may result in higher doses and need to be considered separately.

For radionuclides in sewage sludge, two exposure pathways were considered: external irradiation and inhalation of resuspended material. For releases to a river, the pathways considered were: ingestion of drinking water; ingestion of fish; and external irradiation from contaminated sediments. The transfer of radionuclides to the terrestrial food-chains due to irrigation or treatment with sewage sludge has not been considered in these calculations. In particular circumstances, these pathways may be important and should be considered.

Table IV [*hier: Tabelle 4.15*] indicates which exposure pathways are most important in determining the clearance levels for aquatic releases.”

Die folgende Tabelle 4.15 gibt die in TECDOC 1000 berechneten Ableitungswerte für flüssige Abfälle an, die unter der Annahme einer jährlichen Ableitungsmenge in volumenbezogene Grenzwerte für die jeweilige nuklidspezifische Aktivität umgerechnet werden können.

Tabelle 4.15: Abgeleitete Freigabewerte für die uneingeschränkte Freigabe flüssiger Abfälle aus TECDOC 1000 [IAE 98]

Radionuclide	Annual release rate [Bq/a]	Main exposure pathways
H-3	$1 \cdot 10^{12}$	River - Ingestion
C-14	$1 \cdot 10^{10}$	River - Ingestion
Na-22	$1 \cdot 10^5$	Sewage - External
Na-24	$1 \cdot 10^8$	Sewage - External
P-32	$1 \cdot 10^6$	River - Ingestion fish
S-35	$1 \cdot 10^9$	River - Ingestion fish
Cl-36	$1 \cdot 10^{10}$	River - Ingestion fish and water
K-42	$1 \cdot 10^9$	Sewage - External
Ca-45	$1 \cdot 10^{10}$	River - Ingestion fish and water
Ca-47	$1 \cdot 10^8$	Sewage - External
Cr-51	$1 \cdot 10^8$	Sewage - External
Fe-59	$1 \cdot 10^6$	Sewage - External
Co-57	$1 \cdot 10^9$	Sewage - External
Co-58	$1 \cdot 10^8$	Sewage - External
Ga-67	$1 \cdot 10^8$	Sewage - External
Se-75	$1 \cdot 10^6$	Sewage - External
Sr-85	$1 \cdot 10^6$	Sewage - External
Sr-89	$1 \cdot 10^9$	River - Ingestion fish and water
Y-90	$1 \cdot 10^{10}$	River - Ingestion fish and water
Mo-99	$1 \cdot 10^8$	Sewage - External
Tc-99	$1 \cdot 10^{10}$	River - Ingestion fish and water
Tc-99m	$1 \cdot 10^9$	Sewage - External

Radionuclide	Annual release rate [Bq/a]	Main exposure pathways
In-111	$1 \cdot 10^8$	Sewage - External
I-123	$1 \cdot 10^9$	Sewage - External
I-125	$1 \cdot 10^8$	Sewage - External
I-131	$1 \cdot 10^7$	Sewage - External
Xe-127	not applicable	
Xe-133	not applicable	
Pm-147	$1 \cdot 10^{10}$	Sewage - External and River - Ingestion fish and water
Er-169	$1 \cdot 10^{10}$	River - Ingestion fish and water
Au-198	$1 \cdot 10^8$	Sewage - External
Hg-197	$1 \cdot 10^9$	Sewage - External
Hg-203	$1 \cdot 10^7$	Sewage - External
Tl-201	$1 \cdot 10^8$	Sewage - External
Ra-226	$1 \cdot 10^6$	Sewage - External
Th-232	$1 \cdot 10^6$	Sewage - External

4.9 Zusammenfassung der Ergebnisse der radiologischen Betrachtungen

Die Durchmusterung der verschiedenen Szenarien für die Freigabe flüssiger Reststoffe und Abfälle in den Abschnitten 4.2 bis 4.8 legt in Verbindung mit den Daten zum Aufkommen der verschiedenen flüssigen Reststoffe aus Abschnitt 3 die folgenden Schlüsse hinsichtlich der radiologischen Modellierung in Abschnitt 5 nahe:

- Die Unterscheidung zwischen wässrigen und ölhaltigen bzw. organischen Flüssigkeiten ist für die Modellierung unbedingt beizubehalten.
- Für ölhaltige bzw. organische Flüssigkeiten ist die direkte Wiederverwendung, die Verwertung nach Filtration sowie die Beseitigung durch Verbrennung zu betrachten. Hierbei ist auch der Filtrerrückstand zu betrachten, da sich darin die Aktivität anreichern kann. Diese Betrachtungen wurden bereits umfassend in [DEC 00] durchgeführt.
- Für wässrige Flüssigkeiten scheint die Möglichkeit der Aufkonzentration und somit die erhöhte Ausschöpfung der Freigabewerte in der Bewertung der Szenarien durch die Öffentlichkeit eine sehr erhebliche Rolle zu spielen, wie die Beispiele in Abschnitt 4.7 zeigen. Es liegt daher nahe, durch die Art der Abgabe automatisch sicherzustellen, dass keine Aufkonzentration stattfinden kann, und dies in den betrachteten Szenarien auch einzubeziehen. Die effektivste Art, eine Aufkonzentration in jedweder Form zu unterbinden, ist die Verregnung des Wassers oder die Abgabe in einen Vorfluter.
- In Fall wässriger Flüssigkeiten erscheint es außerdem sinnvoll, die Masse der pro Jahr von einem Anwender „uneingeschränkt“ freizugebenden Flüssigkeiten zu begrenzen. Der Grund ist, dass andernfalls die Trennung zu Ableitungen im Sinne von § 47 StrlSchV aufgehoben werden würde. Eine sinnvolle Begrenzung der Freigabe könnte beispielsweise bei 100 m³ bzw. 100 Mg erfolgen, was analog zu den Regelungen für die Freigabe zur Beseitigung für kleinere Anwender (§ 29 Abs. 2 Nr. 2 Buchst. a bzw. b Doppelbuchst. aa StrlSchV) gestaltet wäre. Hierdurch können die Teile der radiologischen Modellierung, die von der Gesamtmenge freigegebener Restaktivität abhängen, verlässlich gestaltet werden.

- In allen Modellteilen, die einen Transport der freigegebenen Flüssigkeiten involvieren, ist ein Szenario für den Transportfahrer einzubeziehen. Dieser kann sich als relevant für die Exposition durch externe Bestrahlung erweisen.
- Es sind alle Radionuklide einzubeziehen, für die Freigabewerte in Anl. III Tab. 1 StrlSchV existieren, damit Konsistenz zu den übrigen Sätzen von Freigabewerten gewahrt bleibt.

5. RADIOLOGISCHE MODELLIERUNG VERSCHIEDENER FREIGABEOPTIONEN

5.1 Übersicht

In diesem Abschnitt erfolgen radiologische Bewertungen zur Freigabe von Flüssigkeiten. Entsprechend der Aufteilung in Abschnitt 3 sowie der Darstellung der bisher verwendeten Szenarien in den Abschnitten 4.2 und 4.5 wird die Argumentation getrennt für

- Öle und organische Flüssigkeiten, für die keine wesentliche Aufkonzentration möglich ist, (Abschnitt 5.2) und
- wässrige Flüssigkeiten einschließlich Wasser (Abschnitt 5.3)

durchgeführt.

Die Modellierungen werden nicht mit dem Ziel durchgeführt, neue Sätze von Freigabewerten abzuleiten, sondern es werden bestehende Wertesätze auf ihre Anwendbarkeit im Hinblick auf die Einhaltung des Dosisrichtwerts von 10 μSv im Kalenderjahr geprüft. Hierdurch wird vermieden, dass für Flüssigkeiten weitere eigenständige Sätze von Freigabewerten geschaffen werden, die in der praktischen Anwendung der Freigaberegungen zur Verkomplizierung führen könnten.

5.2 Freigabe von Ölen und organischen Flüssigkeiten

5.2.1 Freigabe zur Wiederverwendung bzw. Verwertung

Für die Wiederverwendung bzw. Verwertung von Ölen und organischen Flüssigkeiten wurden bereits im Vorfeld der Strahlenschutzverordnung von 2001 radiologische Betrachtungen durchgeführt, die in Abschnitt 4.2 beschrieben sind. Unter Berücksichtigung der in Abschnitt 3 angegebenen neuen Daten zu Verwendung und Verwertung bzw. Beseitigung von Ölen und organischen Flüssigkeiten kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass an diesen Szenarien keine Änderungen notwendig sind. Hierfür sprechen folgende Gründe:

- Turbinenöle und Öle aus Pumpen u. ä. Komponenten auf Kernkraftwerken stellen weiterhin eine der Hauptquellen für freigegebene Öle dar. Werden diese zur Verwertung abgegeben, so werden sie vorher von darin enthaltenen festen Stoffen (Metallspäne, Abrieb) durch Filtration gereinigt.
- Sonstige Schmiermittel stellen nur einen geringen Anteil an der Freigabe dar.
- Transformatorenöle können zwar aus Überwachungsbereichen stammen, sind aber nie mit Aktivität in Berührung gekommen.
- Sonstige Altöle liegen mengenmäßig weit hinter Turbinenölen.
- Schlämme stellen insgesamt nur ein sehr geringes Aufkommen aus Kernkraftwerken dar.

Die im Vorfeld der Strahlenschutzverordnung von 2001 getroffenen Annahmen bzgl. der Wiederverwendung bzw. Verwertung von Ölen und organischen Flüssigkeiten sind in ihrer Natur so generisch angelegt, dass eine Veränderungen nicht notwendig erscheint.

Die in der Untersuchung [DEC 00] durchgeführte Modellierung für die Wiederverwendung bzw. Verwertung von Ölen und organischen Flüssigkeiten beruhen vollständig auf Szenarien zur externen Bestrahlung. Da hiermit gezeigt wurde, dass die Freigabewerte nach Anl. III Tab. 1 Sp. 5 StrlSchV für die Wiederverwendung bzw. Verwertung geeignet sind, stellt sich nun die Frage, ob die Gültigkeit auf einfache auch für die neuen Freigabewerte nach Anh. VII Tab. A Teil 1 der EU-Grundnormen [EUR 14] gezeigt werden kann. Hierzu werden in Tabelle 5.1 die Freigabewerte nach Anl. III Tab. 1 Sp. 5 StrlSchV mit den neuen Freigabewerten nach Anh. VII Tab. A Teil 1 der EU-Grundnormen für diejenigen Radionuklide verglichen, die in der Übersicht in Tabelle 3.5 aufgeführt sind. Diejenigen

Radionuklide, die in relevantem Maße Gammastrahlung abgeben, sind für den Vergleich im engeren Sinne relevant und sind in der Tabelle hervorgehoben.

Tabelle 5.1: Vergleich der Freigabewerte nach Anl. III Tab. 1 Sp. 5 StrlSchV mit den neuen Freigabewerten nach Anh. VII Tab. A Teil 1 der EU-Grundnormen [EUR 14], gammastrahlende Nuklide hervorgehoben

Nuklid	HWZ	FGW Sp. 5 [Bq/g]	FGW EU-Grundn. [Bq/g]
Fe-55	2,7 a	200	1.000
Ni-59	7,5·10 ⁴ a	300	100
Ni-63	100,0 a	300	100
Co-60	5,3 a	0,1	0,1
Sr-90+	28,5 a	0,6	1
Ag-108m	127 a	0,2	0,1*
Cs-137+	30,2 a	0,5	0,1
Eu-152	13,3 a	0,2	0,1
Eu-154	8,8 a	0,2	0,1
Eu-155	4,8 a	30	1
Pu-239/240	2,4·10 ⁴ / 6,6·10 ³ a	0,04	0,1
Pu-241	14,4 a	2	10
Am-241	432,6 a	0,05	0,1

*) berechnet mit identischen Szenarien in [BS 15]

Es wird deutlich, dass für alle gammastrahlenden Radionuklide, die in der Kontamination von Kernkraftwerken relevant sein können, die Freigabewerte nach Anh. VII Tab. A Teil 1 der EU-Grundnormen kleiner oder gleich den Freigabewerten nach Anl. III Tab. 1 Sp. 5 StrlSchV sind. Daher ist es nicht notwendig, die Freigabewerte nach Anl. III Tab. 1 Sp. 5 StrlSchV für die Freigabe flüssiger Reststoffe beizubehalten, sondern es können die neuen Freigabewerte für die uneingeschränkte Freigabe für diesen Zweck herangezogen werden.

Es kann daher die Empfehlung ausgesprochen werden, die Freigabewerte gemäß Anh. VII Tab. A Teil 1 der EU-Grundnormen [EUR 14] für Öle und organische Flüssigkeiten anzuwenden.

5.2.2 Freigabe zur Beseitigung (Verbrennung)

Für die Verbrennung von Ölen und organischen Flüssigkeiten in einer konventionellen Abfallverbrennungsanlage oder im Rahmen der Mitverbrennung dieser Flüssigkeiten mit anderen Abfällen liegt mit der SSK-Empfehlung von 2006 [SSK 06] ein radiologisches Modell vor, das die Freigabe solcher Flüssigkeiten zur Verbrennung in vollem Umfang abdeckt. Hierbei wurden die Massenbereiche 100 Mg/a und 1.000 Mg/a unterschieden. Die hieraus resultierenden Freigabewerte sind in Anl. III Tab. 1 Sp. 9b bzw. 9d StrlSchV aufgeführt. Aus gegenwärtiger Sicht besteht keine Notwendigkeit, diese Freigabewerte anzupassen.

Vor dem Hintergrund der Tatsache, dass nach der Freigabe von Ölen und organischen Flüssigkeiten zur Beseitigung durch Verbrennung keine Reststoffe entstehen, die in irgendeiner Weise verwertet oder wiederverwendet werden könnten, besteht keine Notwendigkeit, die Kompatibilität der Freigabewerte nach Anl. III Tab. 1 Sp. 9b bzw. 9d StrlSchV mit den Werten nach Anh. VII Tab. A Teil 1 der EU-Grundnormen [EUR 14] zu prüfen.

5.3 Uneingeschränkte Freigabe von wässrigen Flüssigkeiten (zur Verregnung oder Einleitung in den Vorfluter)

5.3.1 Übersicht

In diesem Abschnitt wird die in Abschnitt 4.6.1 angesprochene Regelung in Anl. IV Teil A Nr. 2 StrlSchV substantiiert, indem untersucht wird, ob die Werte in Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV für die uneingeschränkte Freigabe von Wasser und wässrigen Flüssigkeiten allgemein und nicht nur auf einen Einzelfall bezogen Anwendung finden können.

Ein radiologisches Modell, das die „uneingeschränkte“ Freigabe¹¹ von Wasser oder sonstigen wässrigen Flüssigkeiten zum Gegenstand hat, muss die in Abschnitt 4.9 aufgeführten Randbedingungen berücksichtigen. Die hier durchgeführte radiologische Modellierung geht daher von folgenden Ansätzen aus, wobei im Folgenden der Einfachheit halber immer auf „Wasser“ Bezug genommen wird:

- Es wird die Freigabe von 100 m³ Wasser von einem Verursacher betrachtet.
- Es wird die Verregnung des Wassers auf einer Grünfläche im radiologischen Modell erfasst. Alternativ kann auch die direkte Einleitung des Wassers in die Kanalisation bzw. die Abgabe an eine Kläranlage erfolgen. Hiermit gleichgestellt sind ähnliche Verwertungsarten, etwa die Nutzung von salzhaltigem Wasser für die Vermeidung von Glatteis im Winter.
- Andere Abgaben wie etwa die Übergabe an einen Industriebetrieb zur Nutzung des freigegebenen Wassers in Prozessen usw. sind von dem radiologischen Modell nicht abgedeckt.
- Für die Durchführung der Freigabe wird die Anwendung der Werte in Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV unterstellt. Diese Werte bilden die Ausgangsaktivität im freizugebenden Wasser.
- Zwischen dem Zeitpunkt der Durchführung der Freigabemessung und der Verregnung wird eine Wartezeit von 0,01 a entsprechend ca. 3,5 Tagen angesetzt.

Das radiologische Modell folgt im Wesentlichen demjenigen, das in Abschnitt 4.5 für einen konkreten Standort erstellt und zur Berechnung von resultierenden Dosen verwendet worden ist. Allerdings werden die Parameter an die für eine „uneingeschränkte“ Freigabe mit beliebiger Charakteristik des Standorts angepasst.

Das radiologische Modell lässt sich insgesamt wie folgt beschreiben:

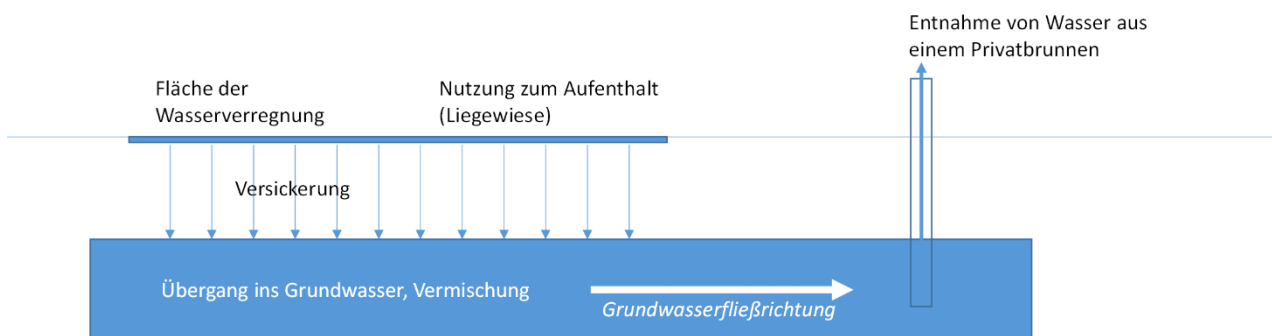
- Es wird die Situation modelliert, dass insgesamt 100 m³ freigegebenes Wasser, dessen Aktivität die Werte in Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV nicht überschreitet, mittels eines hierfür geeigneten Fahrzeugs auf Grünflächen zur Bewässerung oder auf versiegelten Flächen zur Bindung von Staub verregnet wird.
- Da der Tank des Fahrzeugs, von dem aus die Bewässerung erfolgt, nur eine begrenzte Kapazität hat, wird davon ausgegangen, dass immer nur diejenige Fläche, für die das geladene Wasser ausreicht, bewässert wird, und dass bei den verschiedenen Fahrten immer dieselbe Fläche bewässert wird. Konservativ wird hierbei von einer Grünfläche ausgegangen, in welche die Aktivität einsickern kann und welche als Liegewiese genutzt wird.
- Es wird ferner berücksichtigt, dass das versickerte Wasser bis in den Grundwasserleiter gelangen kann und von dort stromab von dem Bereich, wo die Verregnung erfolgt, aus einem

¹¹⁾ wie schon in der Überschrift angedeutet und in Abschnitt 4.9 ausgeführt, impliziert an dieser Stelle die „uneingeschränkte Freigabe“ von Wasser und wässrigen Flüssigkeiten die Verhinderung einer Aufkonzentration nach Freigabe. Die hier entwickelten Szenarien decken zwar alle für die Praxis relevanten Fälle der späteren Verwendung oder Behandlung ab, entsprechen aber nicht im vollen Wortsinn einer ohne jede Einschränkung bzgl. der späteren Verwendung oder Behandlung erfolgenden Freigabe. Das Wort „uneingeschränkt“ wird daher hier und im Folgenden in Anführungszeichen gesetzt, wenn es in diesem Kontext zu verstehen ist.

Privatbrunnen entnommen wird und für verschiedene Pfade (Trinkwasser, Bewässerung eines Gartens usw.) genutzt wird.

- Es werden die folgenden Szenarien und Expositionspfade mit einbezogen:
 - Fahrer des Fahrzeugs, von dem aus die Bewässerung erfolgt: Exposition durch externe Gamma-Bestrahlung durch das Wasser im Tank während der gesamten Fahrzeit bis zum Leeren des Tanks. Inhalation und Ingestion sind ausgeschlossen.
 - Personen, die sich auf der berechneten Fläche aufhalten und diese als Liegewiese nutzen: externe Beta- und Gamma-Bestrahlung durch die oberflächennah eingedrungenen Radionuklide aus der Beregnung. Inhalation und Ingestion spielen keine Rolle, da das Wasser samt der darin befindlichen Radionuklide in die Bodenschicht eindringt.
 - Personen, die Grundwasser aus einem Privatbrunnen stromab der berechneten Fläche nutzen: Sekundäringestion über verschiedene radioökologische Pfade (Trinkwasser, beregneten Nutzpflanzen).
 - Eine schematische Übersicht des Modellteils für die Ingestion zeigt Abbildung 5.1.
- Die Exposition weitere Personengruppen ist im Rahmen dieser Modellannahmen nicht relevant. Die genannten Gruppen decken alle möglichen Expositionsumstände ab.
- Für den Fall, dass das Wasser in die Kanalisation gegeben oder direkt einer Kläranlage zugeführt wird, erfolgt eine Betrachtung unter Anwendung der SSK-Empfehlung [SSK 02], auf deren Basis die Werte der Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV hergeleitet wurden, da diese SSK-Empfehlung die radiologische Betrachtung u. a. von wässrigen Ableitungen enthält.

Abbildung 5.1: Schematische Übersicht des Modells für die Ingestion



5.3.2 Beschreibung der Szenarien und Parameterwerte

5.3.2.1 Größe der berechneten Fläche

Es wird davon ausgegangen, dass die Beregnung von einem sog. Schwemmfahrzeug aus erfolgt, das für Straßenreinigung und Bewässerung auch auf Grünflächen ausgerüstet ist. Das in Abbildung 5.2 gezeigte Fahrzeug ist auch für die Befahrung von Naherholungsgebieten geeignet und kann mit einem Anbau für die Verregnung von Wasser ausgestattet werden. Der Tank fasst 2 m³.

Abbildung 5.2: Schwemmfahrzeug mit 2,2 m³-Tank zur Straßenreinigung und Bewässerung [ASH 16]



Unterstellt man konservativ, dass immer nur dieselbe Fläche beregnet wird, für die das Tankvolumen ausreicht, so gelangt man zu folgender Abschätzung:

- Die Wassermenge, die maximal aus dem Tank zur Verregnung gelangt, liegt bei ca. 100 l/min, woraus sich eine Betriebszeit von 20 min ergibt.
- Unterstellt man eine Fahrgeschwindigkeit von 7 bis 8 km/h (ca. 2 m/s), so könnte in der genannten Zeit eine Fläche von ca. 2.500 m Länge beregnet werden. Die Breite dieser Fläche wird von der Anbringung und Einstellung der Düsen, aus denen das Wasser austritt, bestimmt. Erfolgt die Beregnung von einer Vorrichtung aus, die etwa so breit wie die Fahrzeugbreite ist (ca. 1,5 m), so kann eine Fläche von ca. 4.000 m² in einer Fahrt beregnet werden.
- Bei einer solchen Beregnung werden somit ca. 2.000 l auf 4.000 m² ausgebracht, was einer Beregnungsrate von 0,5 l/m² entspricht.
- Diese Beregnungsrate liegt in der gleichen Größenordnung wie der in Tab. 4 der AVV zu § 47 StrlSchV [BMU 12] angegebene Wert von 1 l/(m²·d).

Für die folgende Modellierung (insbesondere Abschnitt 5.3.2.4) werden die in Tabelle 5.2 dargestellten Parameter der Fläche angenommen.

Tabelle 5.2: Parameter der Fläche, auf der die Verregnung stattfindet

Parameter	Wert	Einheit
Ausdehnung der Fläche	4.000	m ²
Seitenlänge	64	m

5.3.2.2 Fahrer des Fahrzeuges, von dem aus die Beregnung erfolgt

Der Fahrer des Schwemmfahrzeugs wird durch die Wassermenge, die sich im Tank hinter ihm befindet, exponiert. Hierbei handelt es sich ausschließlich um externe Bestrahlung durch gammastrahlende Radionuklide, Ingestion und Inhalation sind für den Fahrer ausgeschlossen. Es wird unterstellt, dass der Fahrer zusätzlich zu der Zeit, die die eigentliche Verregnung des Wassers benötigt, einige Zeit braucht, um die betreffende Grünfläche zu erreichen. Diesem Umstand wird konservativ dadurch Rechnung getragen, dass pro Fahrt eine Anfahrtszeit von 40 Minuten unterstellt wird, sodass sich insgesamt eine Expositionszeit von 60 Minuten pro Fahrt mit vollständig oder teilweise gefülltem Tank ergibt. Während der Rückfahrt mit leerem Tank erfolgt keine Exposition. Ferner wird konser-

vativ unberücksichtigt gelassen, dass die abnehmende Wassermenge während der Verregnung zu einer Reduktion der Dosisleistung am Ort des Fahrers führt. Es ergeben sich die in Tabelle 5.3 angegebenen Parameter für die Exposition des Fahrers.

Tabelle 5.3: Parameter für die Exposition des Fahrers

Parameter	Wert	Einheit
Anzahl Fahrten pro Jahr	50	1/a
Zeit pro Fahrt (20 min Verregnung + 40 min Anfahrt)	1	h
Expositionszeit	50	h/a
Dosiskoeffizient	nuklidabhängig, Geometrie Ladung hinter dem Fahrer, > 2 m ³ , Abschirmung durch Fahrerkabine	

Die Dosiskoeffizienten für die Expositionsgeometrie am Ort des Fahrersitzes werden an die Geometrie angepasst berechnet. Hierbei werden die Selbstabsorption im Wasser und die Abschirmung durch die Fahrerkabine berücksichtigt.

5.3.2.3 Personen, die sich auf der berechneten Fläche (Liegewiese) aufhalten

Wenn das Wasser verregnet wird, gelangen die darin enthaltenen Radionuklide zunächst an die Oberfläche der Grünfläche und versickern anschließend entsprechend der für die zugehörigen Elemente oder chemischen Verbindungen zutreffenden Retardation durch die Bodenmatrix. Anfangs sind sie jedoch noch oberflächlich vorhanden, so dass hier konservativ unterstellt wird, dass eine Person, die sich direkt auf dieser Fläche aufhält (Liegewiese), eine Dosis durch beta- und gammastrahlende Radionuklide erhält. Es werden die für eine (quasi) unendlich ausgedehnte ebene Fläche mit rein oberflächlicher Kontamination geltenden Dosiskoeffizienten verwendet.

Da es sich bei der berechneten Fläche notwendigerweise um eine öffentliche Fläche handelt, wird hinsichtlich der Expositionszeit konservativ unterstellt, dass sich eine Person für insgesamt 200 h/a auf dieser Fläche aufhält und diese als Liegewiese nutzt. Dies würde z. B. der Nutzung für je 2 Stunden pro Tag an 100 Sommertagen entsprechen.

Tabelle 5.4: Parameter für die Exposition einer Person auf der Liegewiese

Parameter	Wert	Einheit
Expositionszeit	200	h/a
Dosiskoeffizient	nuklidabhängig, für beta- und gammastrahlende Nuklide, Geometrie unendlich ausgedehnte Fläche mit oberflächlicher Kontamination	

5.3.2.4 Personen, die Wasser über einen Privatbrunnen nutzen

Das verregnete Wasser sickert in das Erdreich der Grünfläche ein und gelangt schließlich in den darunterliegenden Grundwasserleiter. In Analogie zum entsprechenden Expositionspfad in der SSK-Empfehlung zur Freigabe zur Beseitigung [SSK 06] wird angenommen, dass Grundwasser aus diesem Grundwasserleiter über einen Privatbrunnen zur Nutzung als Trinkwasser sowie zur Beregnung von angebauten Nutzpflanzen verwendet wird. Dabei werden die Pfade

- Trinkwasser,
- Tränke – Kuh – Milch,
- Tränke – Tier – Fleisch,

- Berechnung – Futterpflanze – Kuh – Milch,
- Berechnung – Futterpflanze – Tier – Fleisch,
- Berechnung – Pflanze (sämtliche Pflanzen aus der AVV) und
- Muttermilch infolge der Aufnahme radioaktiver Stoffe durch die Mutter über die oben genannten Ingestionspfade

berücksichtigt. Die Verzehrsmengen werden entsprechend den Vorgaben aus Anl. VII Teil B Tab. 1 StrlSchV für die 6 Altersgruppen ohne Anwendung der Faktoren in Sp. 8 dieser Tabelle gewählt.

Die Position des Privatbrunnens kann sich nicht auf dem berechneten Gelände befinden, da es sich dann nicht um eine öffentliche Grünfläche handeln könnte. Stattdessen wird wie im Modell aus [SSK 06] angenommen, dass sich der Privatbrunnen 500 m in Grundwasserfließrichtung von der Begrenzung der berechneten Fläche befindet.

Die Parameter, die für die Berechnung der Ausbreitung der Radionuklide im Grundwasserleiter verwendet werden, sind in Tabelle 5.5 angegeben, wobei die K_d -Werte für den Grundwasserleiter separat in Tabelle 5.6 aufgeführt sind. Modelliert wird der Übertritt von 100 % der Aktivität aus der berechneten Fläche ins Grundwasser ohne Berücksichtigung der Zeit, die die Radionuklide für den Transport durch die ungesättigte Zone oberhalb des Grundwasserleiters benötigen.

Der Transport der Radionuklide im Grundwasserleiter wird in Analogie zum Deponiemodell berechnet, das in RP 114 [EUR 00B] verwendet wird. Allerdings wird im hier vorliegenden Fall der Transport durch die anwachsende Halde nicht verwendet, sondern das Verregnungswasser geht direkt in den Grundwasserleiter über, ohne durch weitere Bodenschichten sickern zu müssen. Auf dem Weg zum Brunnen werden die hydrogeologischen Parameter wie in RP 114 [EUR 00B] berücksichtigt. Die volumenbezogene Aktivität C_W im Brunnenwasser ergibt sich damit zu¹²

$$C_W = C_m \cdot \frac{V_B \cdot \rho_W}{h \cdot F \cdot \lambda \cdot t_1 \cdot (n + \rho_{aq} \cdot K_d)} \cdot e^{-\lambda \cdot (t_{0B} + t_{0F})} \cdot (e^{\lambda \cdot t_{0F}} - 1) \quad (G 5-1)$$

Dabei sind

C_m	massenbezogene Aktivität des freigegebenen Wassers ($C_m = C_V / \rho_W$)
C_V	volumenbezogene Aktivität des freigegebenen Wassers
$\rho_W = 1 \text{ g/cm}^3$	Dichte des Wassers
V_B	Volumen des im Betrachtungszeitraum freigegebenen Wassers
h	Mächtigkeit des Grundwasserleiters
F	Fläche bei der Verregnung
λ	Zerfallskonstante (nuklidspezifisch)
t_1	Betrachtungszeitraum für Verregnung (1 Jahr)
n	effektive Porosität des Grundwasserleiters
ρ_{aq}	Dichte des Grundwasserleiters
K_d	K_d -Wert
t_{0B}, t_{0F}	Transportzeiten (zum Brunnen und entlang Berechnungsfläche)

Die Transportzeiten berechnen sich aus

$$t_{0B} = \frac{S_B}{v_{NG}} \quad (G 5-2)$$

¹² Mit dem Parameter für die Wachstumsrate der Deponie $r = 0$ und der im Betrachtungszeitraum von einem Jahr freigegebenen Aktivität $A = C_m \cdot \rho_W \cdot V_B / t_1$

$$t_{0F} = \frac{\sqrt{F}}{v_{NG}} \quad (\text{G 5-3})$$

mit

$$v_{NG} = \frac{s_B \cdot k_f \cdot \frac{dh}{dl}}{n + \rho_{aq} \cdot K_d}$$

s_B Abstand zum Brunnen
 k_f Durchlässigkeitswert
 $\frac{dh}{dl}$ hydraulischer Gradient
 n effektive Porosität
 ρ_{aq} Dichte im Grundwasserleiter
 K_d K_d-Werte im Grundwasserleiter

Der radioaktive Zerfall wurde während der Migrationszeit der Radionuklide im Grundwasserleiter in die Berechnungen einbezogen.

Tabelle 5.5: Parameter für die Exposition einer Person durch Nutzung des Wassers aus einem Privatbrunnen

Parameter	Wert	Einheit
Mächtigkeit Grundwasserleiter h	5	m
Durchlässigkeitswert Grundwasserleiter k_f	0,003	m/s
hydraulischer Gradient im Grundwasserleiter dh/dl	0,02	-
effektive Porosität im Grundwasserleiter n	0,2	-
Dichte im Grundwasserleiter ρ_{aq}	1,86	Mg/m ³ =g/cm ³
K _d -Werte im Grundwasserleiter → Tabelle 5.6	elementabhängig	m ³ /Mg
Abstand zum Brunnen s_B	500	m
Fläche zur Verregnung	4.000	m ²
Verzehrmengen pro Jahr	abhängig von Lebensmittel und Altersgruppe gem. Anl. VII Tab. 1 StrlSchV	
Ingestionsdosisfaktoren	nuklidabhängig, gem. [EUR 96]	

Tabelle 5.6: K_d -Werte in m^3/Mg im Grundwasserleiter

Element	Wert	Element	Wert	Element	Wert	Element	Wert	Element	Wert
H	0,01	Ni	10	In	10	Yb	10	Pa	10
Be	1	Cu	1	Sn	1	Lu	10	U	10
C	0,01	Zn	1	Sb	1	Hf	100	Np	10
O	0,01	Ga	10	Te	1	Ta	10	Pu	100
F	0,1	Ge	10	I	0,01	W	1	Am	100
Na	1	As	1	Cs	10	Re	0,1	Cm	100
Si	10	Se	1	Ba	1	Os	10	Bk	100
P	1	Br	0,01	La	10	Ir	10	Cf	100
S	1	Rb	10	Ce	10	Pt	10	Es	100
Cl	0,01	Sr	1	Pr	10	Au		Fm	100
K	1	Y	10	Nd	10	Au	10	N	
Ca	1	Zr	100	Pm	10	Hg	1	Mg	
Sc		Nb	10	Sm	10	Tl	10	Al	
Sc	1	Mo	1	Eu	10	Pb	100	Fr	
Ti		Tc	0,01	Gd	10	Bi	10	Md	
V	1	Ru	1	Tb	10	Po	10		
Cr	10	Rh	1	Dy	10	At	1		
Mn	1	Pd	1	Ho	10	Ra	10		
Fe	10	Ag	1	Er	10	Ac	10		
Co	10	Cd	1	Tm	10	Th	1.000		

Für dieses Szenario besteht keine Möglichkeit der Exposition durch externe Bestrahlung oder Inhalation.

5.3.2.5 Direkte Einleitung des Wassers in die Kanalisation

Die direkte Einleitung des Wassers in die Kanalisation anstelle der Verregnung ist ebenfalls möglich. Da davon ausgegangen wurde, dass die Konzentration der Radionuklide im Wasser die Werte gemäß Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV einhält, gelten in diesem Falle hinsichtlich der daraus resultierenden Dosis die Bewertungen in der SSK-Empfehlung [SSK 02], in welcher diese Werte abgeleitet wurden, in vollem Umfang. Hierbei sind die folgenden beiden Punkte zu berücksichtigen:

- In der SSK-Empfehlung [SSK 02] wurde eine insgesamt abgeleitete Wassermenge pro Jahr von 10^6 m^3 unterstellt. Der Aktivitätsgehalt in dieser Wassermenge wurde für jedes Einzelnuclid in Höhe des Wertes in Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV unterstellt. Im vorliegenden Fall wird dagegen lediglich die Einleitung von $100 \text{ m}^3/\text{a}$ angenommen. Der hieraus resultierende Faktor von 10^{-4} geht linear in die Dosisbewertung mit ein.
- Die Bewertung in der SSK-Empfehlung [SSK 02] erfolgte bezüglich eines Dosisgrenzwerts von $300 \text{ } \mu\text{Sv}$ im Kalenderjahr gemäß § 47 Abs. 1 Nr. 1 Abs. StrlSchV, während im vorliegenden Fall ein Dosisrichtwert von $10 \text{ } \mu\text{Sv}$ im Kalenderjahr angesetzt wird, da es sich um eine Freigabe im Sinne von § 29 StrlSchV handelt. Das Verhältnis der beiden Dosisgrenz- bzw. -richtwerte liegt bei 30.

Aufgrund der einfachen Gestaltung des radiologischen Modells der SSK-Empfehlung [SSK 02] können die beiden Verhältniszahlen einfach miteinander verrechnet werden ($30 \cdot 10^{-4} = 0,003$). Dies bedeutet, dass bei Einhaltung der Aktivitätswerte gemäß Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV und einer Ableitung von lediglich 100 m³/a mit resultierenden Dosen deutlich unterhalb von 10 µSv im Kalenderjahr zu rechnen ist. Die direkte Einleitung des Wassers in die Kanalisation anstelle der Verregnung ist daher in vollem Umfang möglich. Auf dieses Szenario wird im Rahmen der Darstellung der Ergebnisse (Abschnitt 5.3.3) daher nicht weiter eingegangen.

5.3.3 Ergebnisse für die effektive Individualdosis bei Einhaltung der Werte nach Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Tabelle 5.7 zusammengestellt. Diese Tabelle zeigt die folgenden Daten der radiologischen Berechnungen:

- Die ersten beiden Spalten zeigen die Namen der Radionuklide gem. Anl. III Tab. 1 und Anl. VII Tab. 4 StrlSchV. Zwischen diesen beiden Spalten bestehen geringfügige Unterschiede insbesondere bzgl. der Bezeichnung von angeregten Zuständen. Die jeweilige Zuordnung erfolgte entsprechend der Halbwertszeit und der sonstigen radiologischen Eigenschaften der Radionuklide.
- Die 3. Spalte zeigt die Aktivitätskonzentrationen gem. Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV.
- Die 4. bis 6. Spalte zeigen den Dosiskonversionsfaktor (DK), die Aktivität im Wasser und die resultierende Dosis für das Transportszenario (T).
- Die 7. bis 9. Spalte zeigen den Dosiskonversionsfaktor (DK), die flächenbezogene Aktivität auf dem Erdboden und die resultierende Dosis für die externe Bestrahlung durch gammastrahlende Radionuklide bei Nutzung der berechneten Fläche als Liegewiese.
- Die 10. bis 12. Spalte zeigen die entsprechenden Daten für die externe Bestrahlung durch betastrahlende Radionuklide bei Nutzung der berechneten Fläche als Liegewiese.
- Die 13. Spalte zeigt die Summe der beiden vorgenannten Dosen bei Nutzung der berechneten Fläche als Liegewiese.
- Die 14. bis 17. Spalte zeigen den für das betreffende Radionuklid maximalen Dosiskonversionsfaktor für die verschiedenen radioökologischen Pfade, die massenbezogene Aktivität im betreffenden Nahrungsmittel, die volumenbezogene Aktivität im Grundwasser und die insgesamt über das Szenario für die Sekundäringestion (Privatbrunnen) resultierende Dosis.
- Alle Berechnungsergebnisse wurden so wiedergegeben, wie sie in der zugehörigen Excel-Berechnungstabelle ermittelt wurden. Dies bedeutet, dass auch sehr niedrige Aktivitätswerte als Zahl angegeben werden, für die praktische Anwendung sind sie durch 0 zu ersetzen.

Tabelle 5.7: Ergebnisse der Dosisberechnungen für die Aktivitäten im Wasser gem. Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV

Nuklidname		Aktiv.	T – DK	T – Akt.	T- Dosis	B γ - DK	B γ – Akt.	B γ – Dosis	B β - DK	B β – Akt.	B β - Dosis	B β + γ - Dosis	I - DK _{max}	I – Akt.	I – A. GW	I - Dosis
A.III T.1	A.VII T.4	[Bq/m³]	[(mSv/h)/ (Bq/g)]	[Bq/g]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m²)]	[Bq/m²]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m²)]	[Bq/m²]	[μ Sv/a]	[μ Sv/a]	(μ Sv/a)/ (Bq/l)	[(Bq/m³)/ (Bq/g)]	[Bq/dm³]	[μ Sv/a]
H-3	H-3	1,0E+07	0,0E+00	1,0E+01	0,0E+00	0,0E+00	2,5E+05	0,0E+00	0,0E+00	2,5E+05	0,0E+00	0,0E+00	8,6E-02	1,6E+02	1,6E+00	1,4E-01
Be-7	Be-7	5,0E+06	1,9E-06	5,0E+00	4,5E-01	2,2E-13	1,2E+05	5,1E+00	0,0E+00	1,2E+05	0,0E+00	5,1E+00	5,3E-02	1,1E+01	5,3E-02	2,8E-03
Be-10	Be-10	6,0E+04	0,0E+00	6,0E-02	0,0E+00	0,0E+00	1,5E+03	0,0E+00	2,6E-10	1,5E+03	7,7E-07	7,7E-07	5,8E+00	1,7E+02	9,9E-03	5,7E-02
C-11	C-11	3,0E+06	3,9E-05	3,0E+00	1,1E-77	4,4E-12	7,4E+04	1,2E-76	2,7E-10	7,4E+04	7,6E-83	1,2E-76	7,4E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
C-14	C-14	6,0E+05	0,0E+00	6,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	1,5E+04	0,0E+00	9,0E-11	1,5E+04	2,6E-06	2,6E-06	9,6E+00	1,7E+02	9,9E-02	9,5E-01
F-18	F-18	2,0E+06	3,8E-05	2,0E+00	1,4E-14	4,3E-12	4,9E+04	1,6E-13	2,6E-10	4,9E+04	9,6E-20	1,6E-13	1,2E-01	3,2E-147	6,4E-150	7,4E-151
Na-22	Na-22	4,0E+04	9,3E-05	4,0E-02	1,9E-01	8,2E-12	9,8E+02	1,6E+00	2,4E-10	9,8E+02	4,7E-07	1,6E+00	7,0E+01	1,4E+02	5,7E-03	4,0E-01
Na-24	Na-24	3,0E+05	1,9E-04	3,0E-01	4,8E-02	1,2E-11	7,4E+03	3,1E-01	0,0E+00	7,4E+03	0,0E+00	3,1E-01	1,5E+00	6,3E-96	1,9E-99	2,8E-99
Mg-28	Mg-28	7,0E+04	1,4E-04	7,0E-02	2,7E-02	1,0E-11	1,7E+03	1,9E-01	3,1E-10	1,7E+03	5,8E-08	1,9E-01	2,8E+00	1,6E-05	1,1E-09	3,0E-09
Al-26	Al-26	1,0E+04	1,2E-04	1,0E-02	5,8E-02	9,3E-12	2,5E+02	4,5E-01	2,5E-10	2,5E+02	1,2E-07	4,5E-01	1,4E+01	1,7E+02	1,7E-03	2,3E-02
Si-31	Si-31	5,0E+05	4,0E-08	5,0E-01	8,5E-14	3,0E-15	1,2E+04	6,2E-13	2,5E-10	1,2E+04	5,2E-16	6,2E-13	4,1E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Si-32	Si-32	1,0E+05	0,0E+00	1,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	2,5E+03	0,0E+00	1,6E-10	2,5E+03	7,8E-07	7,8E-07	2,3E+01	1,6E+02	1,6E-02	3,7E-01
P-32	P-32	3,0E+04	0,0E+00	3,0E-02	0,0E+00	0,0E+00	7,4E+02	0,0E+00	2,7E-10	7,4E+02	3,4E-07	3,4E-07	2,1E+01	6,1E-03	1,8E-07	3,9E-06
P-33	P-33	3,0E+05	0,0E+00	3,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	7,4E+03	0,0E+00	1,6E-10	7,4E+03	2,1E-06	2,1E-06	2,5E+00	5,3E-01	1,6E-04	3,9E-04
S-35	S-35	7,0E+05	0,0E+00	7,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	1,7E+04	0,0E+00	9,0E-11	1,7E+04	3,0E-06	3,0E-06	9,9E+00	3,1E+01	2,2E-02	2,2E-01
Cl-36	Cl-36	1,0E+04	5,9E-10	1,0E-02	3,0E-07	6,6E-17	2,5E+02	3,2E-06	2,5E-10	2,5E+02	1,2E-07	3,4E-06	2,9E+02	1,7E+02	1,7E-03	4,8E-01
Cl-38	Cl-38	6,0E+05	6,8E-05	6,0E-01	5,6E-43	4,5E-12	1,5E+04	3,6E-42	0,0E+00	1,5E+04	0,0E+00	3,6E-42	4,0E-01	4,7E-246	2,8E-249	1,1E-249
Cl-39	Cl-39	9,0E+05	6,4E-05	9,0E-01	9,6E-29	5,0E-12	2,2E+04	7,4E-28	0,0E+00	2,2E+04	0,0E+00	7,4E-28	2,7E-01	1,4E-164	1,3E-167	3,5E-168
K-42	K-42	2,0E+05	1,3E-05	2,0E-01	9,2E-04	8,9E-13	4,9E+03	6,4E-03	2,9E-10	4,9E+03	2,0E-08	6,4E-03	1,2E+00	3,5E-116	6,9E-120	8,4E-120
K-43	K-43	4,0E+05	3,7E-05	4,0E-01	4,8E-02	4,2E-12	9,8E+03	5,3E-01	2,7E-10	9,8E+03	3,5E-07	5,3E-01	5,5E-01	1,9E-64	7,6E-68	4,2E-68
K-44	K-44	9,0E+05	1,1E-04	9,0E-01	1,4E-71	7,5E-12	2,2E+04	9,5E-71	0,0E+00	2,2E+04	0,0E+00	9,5E-71	2,4E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
K-45	K-45	1,0E+06	7,9E-05	1,0E+00	1,2E-91	6,1E-12	2,5E+04	9,0E-91	0,0E+00	2,5E+04	0,0E+00	9,0E-91	1,5E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ca-41	Ca-41	3,0E+05	0,0E+00	3,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	7,4E+03	0,0E+00	0,0E+00	7,4E+03	0,0E+00	0,0E+00	3,4E+00	1,7E+02	5,0E-02	1,7E-01
Ca-45	Ca-45	8,0E+04	0,0E+00	8,0E-02	0,0E+00	0,0E+00	2,0E+03	0,0E+00	1,6E-10	2,0E+03	6,2E-07	6,2E-07	1,1E+01	6,7E+01	5,4E-03	5,7E-02
Ca-47	Ca-47	7,0E+04	4,8E-05	7,0E-02	9,6E-02	3,9E-12	1,7E+03	7,6E-01	2,7E-10	1,7E+03	5,4E-07	7,6E-01	5,1E+00	2,8E-12	1,9E-16	9,8E-16
Sc-43	Sc-43	5,0E+05	3,8E-05	5,0E-01	1,6E-07	4,3E-12	1,2E+04	1,7E-06	2,4E-10	1,2E+04	9,7E-13	1,7E-06	3,9E-01	2,4E-35	1,2E-38	4,6E-39
Sc-44	Sc-44m	3,0E+05	9,0E-05	3,0E-01	4,8E-01	8,2E-12	7,4E+03	4,3E+00	2,6E-10	7,4E+03	1,4E-06	4,3E+00	5,8E+00	5,0E-01	1,5E-04	8,7E-04
Sc-44m	Sc-44	4,0E+04	8,1E-05	4,0E-02	3,7E-08	8,0E-12	9,8E+02	3,5E-07	9,0E-11	9,8E+02	4,0E-14	3,5E-07	7,5E-01	1,3E-34	5,0E-39	3,8E-39

Nuklidname		Aktiv.	T – DK	T – Akt.	T- Dosis	B γ - DK	B γ – Akt.	B γ – Dosis	B β - DK	B β – Akt.	B β - Dosis	B β + γ - Dosis	I - DK _{max}	I – Akt.	I – A. GW	I - Dosis
A.III T.1	A.VII T.4	[Bq/m ³]	[(mSv/h)/ (Bq/g)]	[Bq/g]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m ²)]	[Bq/m ²]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m ²)]	[Bq/m ²]	[μ Sv/a]	[μ Sv/a]	(μ Sv/a)/ (Bq/l)	[(Bq/m ³)/ (Bq/g)]	[Bq/dm ³]	[μ Sv/a]
Sc-46	Sc-46	8,0E+04	8,9E-05	8,0E-02	3,4E-01	7,2E-12	2,0E+03	2,7E+00	1,9E-10	2,0E+03	7,3E-07	2,7E+00	3,9E+00	1,4E+02	1,1E-02	4,3E-02
Sc-47	Sc-47	1,0E+05	1,2E-06	1,0E-01	2,8E-03	6,6E-13	2,5E+03	1,5E-01	7,9E-10	2,5E+03	1,8E-06	1,5E-01	1,3E+00	2,4E+00	2,4E-04	3,2E-04
Sc-48	Sc-48	7,0E+04	1,5E-04	7,0E-02	1,3E-01	1,2E-11	1,7E+03	1,0E+00	2,2E-10	1,7E+03	1,9E-07	1,0E+00	2,8E+00	6,9E-02	4,8E-06	1,4E-05
Sc-49	Sc-49	9,0E+05	4,8E-08	9,0E-01	4,5E-31	3,2E-15	2,2E+04	3,0E-30	0,0E+00	2,2E+04	0,0E+00	3,0E-30	2,2E-01	2,5E-146	2,3E-149	4,9E-150
Ti-44	Ti-44	2,0E+04	9,0E-05	2,0E-02	9,0E-02	9,1E-12	4,9E+02	8,9E-01	0,0E+00	4,9E+02	0,0E+00	8,9E-01	2,3E+01	1,7E+02	3,3E-03	7,6E-02
Ti-45	Ti-45	6,0E+05	3,4E-05	6,0E-01	2,7E-09	3,8E-12	1,5E+04	3,0E-08	2,7E-10	1,5E+04	2,2E-14	3,0E-08	3,4E-01	7,0E-45	4,2E-48	1,5E-48
V-47	V-47	1,0E+06	3,9E-05	1,0E+00	5,2E-49	4,3E-12	2,5E+04	5,7E-48	0,0E+00	2,5E+04	0,0E+00	5,7E-48	1,6E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
V-48	V-48	6,0E+04	1,3E-04	6,0E-02	3,3E-01	1,0E-11	1,5E+03	2,6E+00	7,9E-10	1,5E+03	2,0E-06	2,6E+00	3,5E+00	1,8E-02	1,1E-06	3,7E-06
V-49	V-49	2,0E+06	0,0E+00	2,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	0,0E+00	8,5E-02	1,1E+02	2,1E-01	1,8E-02
Cr-48	Cr-48	6,0E+05	1,6E-05	6,0E-01	2,9E-02	2,8E-12	1,5E+04	5,0E-01	0,0E+00	1,5E+04	0,0E+00	5,0E-01	4,8E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Cr-49	Cr-49	1,0E+06	3,7E-05	1,0E+00	3,0E-38	4,7E-12	2,5E+04	3,8E-37	0,0E+00	2,5E+04	0,0E+00	3,8E-37	1,5E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Cr-51	Cr-51	3,0E+06	9,8E-07	3,0E+00	1,3E-01	1,6E-13	7,4E+04	2,1E+00	0,0E+00	7,4E+04	0,0E+00	2,1E+00	1,0E-01	5,6E-19	1,7E-21	1,7E-22
Mn-51	Mn-51	8,0E+05	3,9E-05	8,0E-01	8,3E-35	4,3E-12	2,0E+04	9,0E-34	0,0E+00	2,0E+04	0,0E+00	9,0E-34	2,4E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Mn-52	Mn-52	7,0E+04	1,5E-04	7,0E-02	3,4E-01	1,2E-11	1,7E+03	2,7E+00	1,0E-10	1,7E+03	2,2E-07	2,7E+00	2,6E+00	1,0E-09	7,2E-14	1,9E-13
Mn-52m	Mn-52m	1,0E+06	1,0E-04	1,0E+00	1,1E-74	8,9E-12	2,5E+04	9,1E-74	0,0E+00	2,5E+04	0,0E+00	9,1E-74	1,7E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Mn-53	Mn-53	2,0E+06	0,0E+00	2,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	0,0E+00	3,8E-01	1,7E+02	3,3E-01	1,3E-01
Mn-54	Mn-54	2,0E+05	3,6E-05	2,0E-01	3,6E-01	3,1E-12	4,9E+03	3,0E+00	0,0E+00	4,9E+03	0,0E+00	3,0E+00	2,1E+00	1,0E+02	2,1E-02	4,4E-02
Mn-56	Mn-56	3,0E+05	7,6E-05	3,0E-01	6,9E-11	5,8E-12	7,4E+03	5,1E-10	2,4E-10	7,4E+03	2,1E-16	5,1E-10	5,8E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Fe-52	Fe-52	7,0E+04	1,1E-04	7,0E-02	2,5E-04	1,1E-11	1,7E+03	2,4E-03	2,2E-10	1,7E+03	4,8E-10	2,4E-03	3,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Fe-55	Fe-55	1,0E+05	9,2E-16	1,0E-01	4,6E-12	1,1E-21	2,5E+03	5,2E-10	0,0E+00	2,5E+03	0,0E+00	5,2E-10	3,4E+00	4,3E+01	4,3E-03	1,5E-02
Fe-59	Fe-59	2,0E+04	5,3E-05	2,0E-02	5,0E-02	4,1E-12	4,9E+02	3,8E-01	1,9E-10	4,9E+02	1,8E-07	3,8E-01	1,2E+01	2,4E-11	4,8E-16	5,7E-15
Fe-60	Fe-60	1,0E+03	1,7E-07	1,0E-03	8,3E-06	2,0E-14	2,5E+01	9,6E-05	9,0E-11	2,5E+01	4,4E-09	9,6E-05	3,9E+02	1,7E+02	1,7E-04	6,5E-02
Co-55	Co-55	2,0E+05	8,4E-05	2,0E-01	2,6E-02	7,8E-12	4,9E+03	2,4E-01	2,5E-10	4,9E+03	7,7E-08	2,4E-01	1,3E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Co-56	Co-56	4,0E+04	1,6E-04	4,0E-02	3,1E-01	1,2E-11	9,8E+02	2,3E+00	1,2E-10	9,8E+02	2,3E-07	2,3E+00	8,4E+00	6,1E-06	2,4E-10	2,0E-09
Co-57	Co-57	3,0E+05	6,8E-07	3,0E-01	1,0E-02	7,8E-13	7,4E+03	1,1E+00	1,1E-11	7,4E+03	1,6E-07	1,1E+00	1,2E+00	1,2E+00	3,7E-04	4,2E-04
Co-58	Co-58	1,0E+05	4,1E-05	1,0E-01	2,0E-01	3,8E-12	2,5E+03	1,8E+00	4,1E-11	2,5E+03	1,9E-07	1,8E+00	2,4E+00	1,3E-06	1,3E-10	3,1E-10
Co-58m	Co-58m	4,0E+06	2,1E-07	4,0E+00	4,6E-05	2,0E-14	9,8E+04	4,2E-04	1,1E-11	9,8E+04	2,4E-09	4,2E-04	5,6E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Co-60	Co-60	2,0E+04	1,1E-04	2,0E-02	1,1E-01	8,4E-12	4,9E+02	8,3E-01	1,8E-10	4,9E+02	1,8E-07	8,3E-01	2,3E+01	8,3E+01	1,7E-03	3,9E-02
Co-60m	Co-60m	4,0E+07	1,5E-07	4,0E+01	1,9E-152	1,9E-14	9,8E+05	2,2E-151	9,0E-11	9,8E+05	1,1E-155	2,2E-151	4,7E-03	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Co-61	Co-61	1,0E+06	1,7E-06	1,0E+00	8,8E-18	5,1E-13	2,5E+04	2,5E-16	2,5E-10	2,5E+04	1,3E-21	2,5E-16	1,8E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Co-62m	Co-62m	1,0E+06	5,5E-07	1,0E+00	4,1E-116	4,0E-14	2,5E+04	2,9E-115	0,0E+00	2,5E+04	0,0E+00	2,9E-115	1,1E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00

Nuklidname		Aktiv.	T – DK	T – Akt.	T- Dosis	B γ - DK	B γ – Akt.	B γ – Dosis	B β - DK	B β – Akt.	B β - Dosis	B β + γ - Dosis	I - DK _{max}	I – Akt.	I – A. GW	I - Dosis
A.III T.1	A.VII T.4	[Bq/m³]	[(mSv/h)/ (Bq/g)]	[Bq/g]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m²)]	[Bq/m²]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m²)]	[Bq/m²]	[μ Sv/a]	[μ Sv/a]	(μ Sv/a)/ (Bq/l)	[(Bq/m³)/ (Bq/g)]	[Bq/dm³]	[μ Sv/a]
Ni-56	Ni-56	2,0E+05	1,0E-05	2,0E-01	6,6E-02	7,5E-13	4,9E+03	4,9E-01	2,7E-10	4,9E+03	1,8E-06	4,9E-01	2,0E+00	8,8E-90	1,8E-93	3,6E-93
Ni-57	Ni-57	1,0E+05	8,5E-05	1,0E-01	7,8E-02	6,8E-12	2,5E+03	6,2E-01	7,9E-10	2,5E+03	7,1E-07	6,2E-01	1,8E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ni-59	Ni-59	1,0E+06	5,9E-12	1,0E+00	3,0E-07	6,6E-19	2,5E+04	3,2E-06	0,0E+00	2,5E+04	0,0E+00	3,2E-06	5,6E-01	1,7E+02	1,7E-01	9,2E-02
Ni-63	Ni-63	6,0E+05	0,0E+00	6,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	1,5E+04	0,0E+00	1,8E-12	1,5E+04	5,3E-08	5,3E-08	1,4E+00	1,6E+02	9,6E-02	1,3E-01
Ni-65	Ni-65	4,0E+05	2,5E-05	4,0E-01	1,7E-11	1,8E-12	9,8E+03	1,2E-10	2,6E-10	9,8E+03	1,7E-16	1,2E-10	5,2E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ni-66	Ni-66	3,0E+04	3,4E-06	3,0E-02	1,7E-03	2,8E-13	7,4E+02	1,3E-02	9,1E-11	7,4E+02	4,4E-08	1,3E-02	8,8E+00	3,6E-241	1,1E-245	9,5E-245
Cu-60	Cu-60	1,0E+06	1,7E-04	1,0E+00	1,3E-66	1,4E-11	2,5E+04	1,0E-65	0,0E+00	2,5E+04	0,0E+00	1,0E-65	1,6E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Cu-61	Cu-61	1,0E+06	3,2E-05	1,0E+00	1,9E-08	3,5E-12	2,5E+04	2,1E-07	2,7E-10	2,5E+04	1,6E-13	2,1E-07	1,6E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Cu-64	Cu-64	2,0E+06	7,3E-06	2,0E+00	6,1E-03	8,1E-13	4,9E+04	6,6E-02	5,7E-10	4,9E+04	4,7E-07	6,6E-02	1,2E-01	4,8E-113	9,6E-116	1,1E-116
Cu-67	Cu-67	4,0E+05	1,5E-06	4,0E-01	1,1E-02	6,7E-13	9,8E+03	4,9E-01	7,9E-10	9,8E+03	5,8E-06	4,9E-01	4,8E-01	1,6E-22	6,3E-26	3,0E-26
Zn-62	Zn-62	2,0E+05	5,3E-05	2,0E-01	7,5E-04	5,9E-12	4,9E+03	8,2E-03	8,6E-11	4,9E+03	1,2E-09	8,2E-03	1,5E+00	3,5E-155	7,0E-159	1,1E-158
Zn-63	Zn-63	1,0E+06	4,3E-05	1,0E+00	1,3E-41	4,6E-12	2,5E+04	1,3E-40	0,0E+00	2,5E+04	0,0E+00	1,3E-40	2,2E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Zn-65	Zn-65	3,0E+04	2,6E-05	3,0E-02	3,8E-02	2,0E-12	7,4E+02	2,9E-01	3,8E-12	7,4E+02	5,5E-09	2,9E-01	4,2E+01	9,1E+01	2,7E-03	1,1E-01
Zn-69	Zn-69	3,0E+06	2,1E-10	3,0E+00	2,7E-33	2,7E-17	7,4E+04	3,4E-32	0,0E+00	7,4E+04	0,0E+00	3,4E-32	8,7E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Zn-69m	Zn-69m	7,0E+05	1,5E-05	7,0E-01	6,5E-03	1,9E-12	1,7E+04	7,8E-02	5,7E-11	1,7E+04	2,4E-08	7,8E-02	5,8E-01	3,7E-104	2,6E-107	1,5E-107
Zn-71m	Zn-71m	6,0E+05	6,0E-05	6,0E-01	3,9E-07	6,6E-12	1,5E+04	4,2E-06	2,6E-10	1,5E+04	1,7E-12	4,2E-06	3,5E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Zn-72	Zn-72	1,0E+05	7,3E-05	1,0E-01	9,8E-02	6,3E-12	2,5E+03	8,4E-01	1,6E-10	2,5E+03	2,1E-07	8,4E-01	3,6E+00	2,5E-30	2,5E-34	8,8E-34
Ga-65	Ga-65	2,0E+06	4,3E-05	2,0E+00	2,9E-104	5,1E-12	4,9E+04	3,5E-103	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	3,5E-103	9,3E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ga-66	Ga-66	7,0E+04	1,1E-04	7,0E-02	6,1E-04	8,0E-12	1,7E+03	4,6E-03	2,7E-10	1,7E+03	1,6E-09	4,6E-03	2,6E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ga-67	Ga-67	5,0E+05	3,0E-06	5,0E-01	3,4E-02	8,7E-13	1,2E+04	9,8E-01	8,7E-11	1,2E+04	9,8E-07	9,8E-01	4,0E-01	1,4E-167	7,1E-171	2,8E-171
Ga-68	Ga-68	7,0E+05	3,7E-05	7,0E-01	5,1E-24	4,1E-12	1,7E+04	5,5E-23	2,4E-10	1,7E+04	3,2E-29	5,5E-23	2,6E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ga-70	Ga-70	2,0E+06	3,1E-07	2,0E+00	3,9E-77	2,7E-14	4,9E+04	3,4E-76	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	3,4E-76	8,4E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ga-72	Ga-72	9,0E+04	1,2E-04	9,0E-02	7,3E-03	9,0E-12	2,2E+03	5,4E-02	2,6E-10	2,2E+03	1,6E-08	5,4E-02	2,2E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ga-73	Ga-73	3,0E+05	1,1E-05	3,0E-01	6,1E-07	1,7E-12	7,4E+03	9,2E-06	2,5E-10	7,4E+03	1,4E-11	9,2E-06	6,5E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ge-66	Ge-66	1,0E+06	3,9E-05	1,0E+00	4,2E-12	4,2E-12	2,5E+04	4,4E-11	1,6E-10	2,5E+04	1,7E-17	4,4E-11	5,7E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ge-67	Ge-67	1,0E+06	1,2E-08	1,0E+00	9,8E-88	3,4E-15	2,5E+04	2,8E-86	0,0E+00	2,5E+04	0,0E+00	2,8E-86	1,9E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ge-68	Ge-68	7,0E+04	3,7E-05	7,0E-02	1,3E-01	4,1E-12	1,7E+03	1,4E+00	0,0E+00	1,7E+03	0,0E+00	1,4E+00	1,4E+02	1,2E+00	8,4E-05	1,2E-02
Ge-69	Ge-69	4,0E+05	4,0E-05	4,0E-01	1,7E-01	3,6E-12	9,8E+03	1,5E+00	4,6E-10	9,8E+03	1,9E-06	1,5E+00	5,1E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ge-71	Ge-71	7,0E+06	0,0E+00	7,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,7E+05	0,0E+00	0,0E+00	1,7E+05	0,0E+00	0,0E+00	2,2E-01	2,1E-47	1,4E-49	3,2E-50
Ge-75	Ge-75	2,0E+06	9,4E-07	2,0E+00	7,0E-21	1,8E-13	4,9E+04	1,3E-19	2,4E-10	4,9E+04	1,8E-24	1,3E-19	1,4E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ge-77	Ge-77	3,0E+05	4,0E-05	3,0E-01	2,8E-03	4,6E-12	7,4E+03	3,1E-02	2,6E-10	7,4E+03	1,8E-08	3,1E-02	7,9E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00

Nuklidname		Aktiv.	T – DK	T – Akt.	T- Dosis	B γ - DK	B γ – Akt.	B γ – Dosis	B β - DK	B β – Akt.	B β - Dosis	B β + γ - Dosis	I - DK _{max}	I – Akt.	I – A. GW	I - Dosis
A.III T.1	A.VII T.4	[Bq/m³]	[(mSv/h)/ (Bq/g)]	[Bq/g]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m²)]	[Bq/m²]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m²)]	[Bq/m²]	[μ Sv/a]	[μ Sv/a]	(μ Sv/a)/ (Bq/l)	[(Bq/m³)/ (Bq/g)]	[Bq/dm³]	[μ Sv/a]
Ge-78	Ge-78	7,0E+05	2,8E-05	7,0E-01	1,0E-18	3,1E-12	1,7E+04	1,1E-17	2,4E-10	1,7E+04	8,4E-24	1,1E-17	4,2E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
As-69	As-69	1,0E+06	4,4E-05	1,0E+00	2,4E-104	4,8E-12	2,5E+04	2,6E-103	0,0E+00	2,5E+04	0,0E+00	2,6E-103	1,4E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
As-70	As-70	7,0E+05	1,7E-04	7,0E-01	4,8E-30	1,5E-11	1,7E+04	4,0E-29	0,0E+00	1,7E+04	0,0E+00	4,0E-29	2,6E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
As-71	As-71	3,0E+05	1,9E-05	3,0E-01	1,1E-01	2,6E-12	7,4E+03	1,5E+00	2,3E-10	7,4E+03	1,3E-06	1,5E+00	6,2E-01	2,6E-21	7,9E-25	4,8E-25
As-72	As-72	8,0E+04	7,3E-05	8,0E-02	2,8E-02	7,1E-12	2,0E+03	2,7E-01	2,7E-10	2,0E+03	1,0E-07	2,7E-01	2,4E+00	6,3E-55	5,0E-59	1,2E-58
As-73	As-73	3,0E+05	2,1E-14	3,0E-01	3,1E-10	3,1E-14	7,4E+03	4,4E-02	6,0E-11	7,4E+03	8,6E-07	4,4E-02	8,4E-01	2,7E+01	8,0E-03	6,7E-03
As-74	As-74	9,0E+04	3,0E-05	9,0E-02	1,2E-01	3,1E-12	2,2E+03	1,2E+00	2,6E-10	2,2E+03	1,0E-06	1,2E+00	2,3E+00	4,5E-02	4,1E-06	9,5E-06
As-76	As-76	9,0E+04	1,7E-05	9,0E-02	7,6E-03	1,6E-12	2,2E+03	7,1E-02	2,8E-10	2,2E+03	1,2E-07	7,1E-02	2,2E+00	1,8E-54	1,7E-58	3,6E-58
As-77	As-77	3,0E+05	2,4E-07	3,0E-01	7,4E-04	4,1E-14	7,4E+03	1,3E-02	2,5E-10	7,4E+03	7,5E-07	1,3E-02	5,8E-01	1,6E-36	4,9E-40	2,9E-40
As-78	As-78	4,0E+05	5,6E-05	4,0E-01	4,0E-18	4,6E-12	9,8E+03	3,2E-17	3,4E-10	9,8E+03	2,3E-23	3,2E-17	4,3E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Se-70	Se-70	9,0E+05	9,2E-05	9,0E-01	1,2E-38	9,1E-12	2,2E+04	1,2E-37	0,0E+00	2,2E+04	0,0E+00	1,2E-37	5,3E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Se-73	Se-73	6,0E+05	3,8E-05	6,0E-01	2,4E-04	4,9E-12	1,5E+04	3,0E-03	2,4E-10	1,5E+04	1,4E-09	3,0E-03	1,0E+00	4,9E-201	2,9E-204	3,0E-204
Se-73m	Se-73m	3,0E+06	2,0E-06	3,0E+00	5,0E-41	2,6E-13	7,4E+04	6,4E-40	2,5E-10	7,4E+04	6,1E-45	6,4E-40	1,8E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Se-75	Se-75	4,0E+04	8,5E-06	4,0E-02	1,7E-02	2,1E-12	9,8E+02	4,0E-01	1,7E-11	9,8E+02	3,3E-08	4,0E-01	4,4E+01	4,9E+01	1,9E-03	8,6E-02
Se-79	Se-79	5,0E+03	0,0E+00	5,0E-03	0,0E+00	0,0E+00	1,2E+02	0,0E+00	1,1E-10	1,2E+02	2,8E-08	2,8E-08	7,5E+02	1,7E+02	8,3E-04	6,2E-01
Se-81	Se-81	3,0E+06	2,5E-07	3,0E+00	3,0E-88	3,2E-14	7,4E+04	3,8E-87	0,0E+00	7,4E+04	0,0E+00	3,8E-87	1,3E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Se-81m	Se-81m	2,0E+06	1,7E-07	2,0E+00	4,0E-30	1,1E-13	4,9E+04	2,4E-28	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	2,4E-28	3,4E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Se-83	Se-83	2,0E+06	3,0E-08	2,0E+00	3,0E-74	3,2E-15	4,9E+04	3,2E-73	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	3,2E-73	2,3E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Br-74	Br-74	1,0E+06	1,9E-04	1,0E+00	4,3E-62	1,4E-11	2,5E+04	3,3E-61	0,0E+00	2,5E+04	0,0E+00	3,3E-61	3,7E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Br-74m	Br-74m	6,0E+05	1,6E-04	6,0E-01	1,8E-34	1,4E-11	1,5E+04	1,5E-33	0,0E+00	1,5E+04	0,0E+00	1,5E-33	6,0E-01	5,9E-199	3,5E-202	2,1E-202
Br-75	Br-75	1,0E+06	4,3E-05	1,0E+00	9,2E-17	5,3E-12	2,5E+04	1,1E-15	2,6E-10	2,5E+04	5,5E-22	1,1E-15	3,7E-01	1,8E-94	1,8E-97	6,8E-98
Br-76	Br-76	2,0E+05	1,2E-04	2,0E-01	2,7E-02	9,5E-12	4,9E+03	2,2E-01	2,6E-10	4,9E+03	6,0E-08	2,2E-01	2,1E+00	2,2E-08	4,4E-12	9,5E-12
Br-77	Br-77	1,0E+06	1,1E-05	1,0E+00	1,9E-01	1,4E-12	2,5E+04	2,4E+00	0,0E+00	2,5E+04	0,0E+00	2,4E+00	4,3E-01	2,4E-01	2,4E-04	1,1E-04
Br-80	Br-80	2,0E+06	3,0E-06	2,0E+00	3,3E-91	3,1E-13	4,9E+04	3,3E-90	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	3,3E-90	1,5E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Br-80m	Br-80m	6,0E+05	2,5E-06	6,0E-01	7,7E-08	3,1E-13	1,5E+04	9,4E-07	9,4E-11	1,5E+04	2,9E-12	9,4E-07	7,0E-01	4,7E-34	2,8E-37	2,0E-37
Br-82	Br-82	1,0E+05	1,1E-04	1,0E-01	1,0E-01	9,9E-12	2,5E+03	8,7E-01	7,9E-10	2,5E+03	6,9E-07	8,7E-01	2,3E+00	4,6E-03	4,6E-07	1,0E-06
Br-83	Br-83	2,0E+06	2,7E-07	2,0E+00	2,7E-13	2,9E-14	4,9E+04	2,9E-12	2,7E-10	4,9E+04	2,7E-16	2,9E-12	2,1E-01	3,0E-63	6,0E-66	1,3E-66
Br-84	Br-84	9,0E+05	7,8E-05	9,0E-01	5,7E-50	5,5E-12	2,2E+04	3,9E-49	3,1E-10	2,2E+04	2,3E-55	3,9E-49	4,1E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Rb-79	Rb-79	2,0E+06	5,2E-05	2,0E+00	3,7E-69	6,1E-12	4,9E+04	4,4E-68	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	4,4E-68	1,3E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Rb-81	Rb-81	2,0E+06	2,0E-06	2,0E+00	3,5E-07	6,9E-13	4,9E+04	1,2E-05	2,7E-10	4,9E+04	4,5E-11	1,2E-05	1,3E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Rb-81m	Rb-81m	8,0E+06	8,9E-07	8,0E+00	1,6E-53	1,6E-13	2,0E+05	2,8E-52	0,0E+00	2,0E+05	0,0E+00	2,8E-52	3,6E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00

Nuklidname		Aktiv.	T – DK	T – Akt.	T- Dosis	B γ - DK	B γ – Akt.	B γ – Dosis	B β - DK	B β – Akt.	B β - Dosis	B β + γ - Dosis	I - DK _{max}	I – Akt.	I – A. GW	I - Dosis
A.III T.1	A.VII T.4	[Bq/m ³]	[(mSv/h)/ (Bq/g)]	[Bq/g]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m ²)]	[Bq/m ²]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m ²)]	[Bq/m ²]	[μ Sv/a]	[μ Sv/a]	(μ Sv/a)/ (Bq/l)	[(Bq/m ³)/ (Bq/g)]	[Bq/dm ³]	[μ Sv/a]
Rb-82m	Rb-82m	1,0E+06	1,2E-04	1,0E+00	5,2E-04	1,1E-11	2,5E+04	4,5E-03	1,0E-10	2,5E+04	4,2E-10	4,5E-03	2,1E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Rb-83	Rb-83	8,0E+04	1,9E-05	8,0E-02	7,4E-02	2,1E-12	2,0E+03	7,9E-01	0,0E+00	2,0E+03	0,0E+00	7,9E-01	6,0E+00	3,5E-05	2,8E-09	1,7E-08
Rb-84	Rb-84	4,0E+04	3,7E-05	4,0E-02	6,9E-02	3,4E-12	9,8E+02	6,2E-01	7,6E-10	9,8E+02	1,4E-06	6,2E-01	7,3E+00	1,7E-15	7,0E-20	5,1E-19
Rb-86	Rb-86	3,0E+04	4,2E-06	3,0E-02	5,5E-03	3,3E-13	7,4E+02	4,2E-02	2,6E-10	7,4E+02	3,4E-07	4,2E-02	9,1E+00	1,0E-28	3,0E-33	2,7E-32
Rb-87	Rb-87	6,0E+04	0,0E+00	6,0E-02	0,0E+00	0,0E+00	1,5E+03	0,0E+00	1,5E-10	1,5E+03	4,4E-07	4,4E-07	2,9E+01	1,7E+02	9,9E-03	2,9E-01
Rb-88	Rb-88	8,0E+05	3,0E-05	8,0E-01	1,4E-89	2,1E-12	2,0E+04	9,3E-89	3,0E-10	2,0E+04	1,3E-94	9,3E-89	2,6E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Rb-89	Rb-89	2,0E+06	1,0E-04	2,0E+00	1,6E-102	7,3E-12	4,9E+04	1,1E-101	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	1,1E-101	1,3E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Sr-80	Sr-80	2,0E+05	6,3E-05	2,0E-01	8,0E-16	7,0E-12	4,9E+03	8,7E-15	1,0E-10	4,9E+03	1,3E-21	8,7E-15	8,2E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Sr-81	Sr-81	1,0E+06	1,3E-07	1,0E+00	6,7E-74	4,5E-14	2,5E+04	2,2E-72	0,0E+00	2,5E+04	0,0E+00	2,2E-72	1,9E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Sr-82	Sr-82	1,0E+04	4,3E-05	1,0E-02	2,0E-02	4,7E-12	2,5E+02	2,1E-01	0,0E+00	2,5E+02	0,0E+00	2,1E-01	1,9E+01	5,5E-01	5,5E-06	1,1E-04
Sr-83	Sr-83	3,0E+05	3,1E-05	3,0E-01	7,2E-02	3,1E-12	7,4E+03	7,0E-01	7,9E-10	7,4E+03	1,8E-06	7,0E-01	8,3E-01	6,5E-44	2,0E-47	1,6E-47
Sr-85	Sr-85	1,0E+05	2,0E-05	1,0E-01	9,5E-02	2,2E-12	2,5E+03	1,0E+00	1,7E-12	2,5E+03	8,0E-09	1,0E+00	2,6E+00	1,7E+01	1,7E-03	4,5E-03
Sr-85m	Sr-85m	2,0E+07	4,6E-06	2,0E+01	1,8E-23	1,2E-12	4,9E+05	4,4E-22	0,0E+00	4,9E+05	0,0E+00	4,4E-22	1,2E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Sr-87m	Sr-87m	4,0E+06	1,1E-05	4,0E+00	9,5E-10	1,5E-12	9,8E+04	1,2E-08	0,0E+00	9,8E+04	0,0E+00	1,2E-08	5,3E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Sr-89	Sr-89	3,0E+04	7,7E-09	3,0E-02	1,1E-05	6,5E-16	7,4E+02	9,1E-05	2,6E-10	7,4E+02	3,7E-07	9,1E-05	1,1E+01	9,2E+00	2,8E-04	3,1E-03
Sr-90	Sr-90	4,0E+03	1,4E-12	4,0E-03	2,8E-10	1,5E-18	9,8E+01	3,0E-08	7,9E-10	9,8E+01	1,6E-07	1,8E-07	2,0E+02	1,6E+02	6,5E-04	1,3E-01
Sr-91	Sr-91	2,0E+05	4,0E-05	2,0E-01	7,3E-04	3,6E-12	4,9E+03	6,5E-03	2,6E-10	4,9E+03	4,7E-09	6,5E-03	1,2E+00	3,3E-149	6,6E-153	7,6E-153
Sr-92	Sr-92	3,0E+05	6,6E-05	3,0E-01	1,8E-10	4,9E-12	7,4E+03	1,3E-09	2,2E-10	7,4E+03	5,8E-16	1,3E-09	1,2E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Y-86	Y-86	1,0E+05	1,5E-04	1,0E-01	1,3E-02	1,3E-11	2,5E+03	1,0E-01	2,2E-10	2,5E+03	1,7E-08	1,0E-01	1,6E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Y-86m	Y-86m	2,0E+06	1,2E-05	2,0E+00	1,2E-33	1,7E-12	4,9E+04	1,8E-32	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	1,8E-32	1,7E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Y-87	Y-87	2,0E+05	2,7E-05	2,0E-01	1,3E-01	3,3E-12	4,9E+03	1,5E+00	1,0E-10	4,9E+03	4,7E-07	1,5E+00	1,0E+00	2,4E-164	4,7E-168	4,9E-168
Y-88	Y-88	1,0E+05	1,2E-04	1,0E-01	5,9E-01	8,8E-12	2,5E+03	4,2E+00	0,0E+00	2,5E+03	0,0E+00	4,2E+00	2,7E+00	6,5E-04	6,5E-08	1,8E-07
Y-90	Y-90	3,0E+04	1,4E-12	3,0E-02	8,2E-10	1,5E-18	7,4E+02	8,7E-08	2,7E-10	7,4E+02	1,6E-07	2,4E-07	6,7E+00	1,2E-204	3,5E-209	2,4E-208
Y-90m	Y-90m	5,0E+05	2,0E-05	5,0E-01	2,7E-09	3,0E-12	1,2E+04	3,9E-08	9,0E-11	1,2E+04	1,2E-14	3,9E-08	6,7E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Y-91	Y-91	3,0E+04	1,4E-07	3,0E-02	2,0E-04	1,1E-14	7,4E+02	1,5E-03	2,6E-10	7,4E+02	3,7E-07	1,5E-03	8,4E+00	2,6E-08	7,9E-13	6,6E-12
Y-91m	Y-91m	1,0E+07	2,1E-05	1,0E+01	1,5E-31	2,2E-12	2,5E+05	1,5E-30	0,0E+00	2,5E+05	0,0E+00	1,5E-30	2,5E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Y-92	Y-92	2,0E+05	1,1E-05	2,0E-01	3,9E-09	9,0E-13	4,9E+03	3,1E-08	5,1E-10	4,9E+03	1,8E-13	3,1E-08	1,3E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Y-93	Y-93	6,0E+04	3,9E-06	6,0E-02	3,0E-05	3,5E-13	1,5E+03	2,6E-04	3,1E-10	1,5E+03	2,4E-09	2,6E-04	3,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Y-94	Y-94	9,0E+05	3,4E-05	9,0E-01	3,2E-85	2,7E-12	2,2E+04	2,6E-84	0,0E+00	2,2E+04	0,0E+00	2,6E-84	2,1E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Y-95	Y-95	2,0E+06	4,9E-05	2,0E+00	9,4E-154	3,3E-12	4,9E+04	6,3E-153	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	6,3E-153	1,2E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Zr-86	Zr-86	1,0E+05	6,1E-05	1,0E-01	7,7E-03	5,2E-12	2,5E+03	6,4E-02	2,5E-10	2,5E+03	3,1E-08	6,4E-02	2,1E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00

Nuklidname		Aktiv.	T – DK	T – Akt.	T- Dosis	B γ - DK	B γ – Akt.	B γ – Dosis	B β - DK	B β – Akt.	B β - Dosis	B β + γ - Dosis	I - DK _{max}	I – Akt.	I – A. GW	I - Dosis
A.III T.1	A.VII T.4	[Bq/m ³]	[(mSv/h)/ (Bq/g)]	[Bq/g]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m ²)]	[Bq/m ²]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m ²)]	[Bq/m ²]	[μ Sv/a]	[μ Sv/a]	(μ Sv/a)/ (Bq/l)	[(Bq/m ³)/ (Bq/g)]	[Bq/dm ³]	[μ Sv/a]
Zr-88	Zr-88	3,0E+05	5,3E-05	3,0E-01	7,7E-01	4,6E-12	7,4E+03	6,6E+00	0,0E+00	7,4E+03	0,0E+00	6,6E+00	1,9E+00	6,3E-65	1,9E-68	3,5E-68
Zr-89	Zr-89	1,0E+05	4,9E-05	1,0E-01	1,1E-01	4,3E-12	2,5E+03	9,8E-01	1,6E-10	2,5E+03	3,6E-07	9,8E-01	1,4E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Zr-93	Zr-93	4,0E+05	0,0E+00	4,0E-01	0,0E+00	2,5E-15	9,8E+03	4,9E-03	4,8E-11	9,8E+03	9,4E-07	4,9E-03	4,2E+00	1,7E+02	6,6E-02	2,8E-01
Zr-95	Zr-95	1,0E+05	4,7E-05	1,0E-01	2,2E-01	4,2E-12	2,5E+03	2,0E+00	3,1E-10	2,5E+03	1,5E-06	2,0E+00	4,3E+00	2,5E-84	2,5E-88	1,1E-87
Zr-97	Zr-97	4,0E+04	5,8E-05	4,0E-02	3,1E-03	5,4E-12	9,8E+02	2,8E-02	2,6E-10	9,8E+02	1,4E-08	2,8E-02	4,9E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Nb-88	Nb-88	1,0E+06	1,3E-09	1,0E+00	4,3E-114	1,8E-16	2,5E+04	5,6E-113	8,0E-10	2,5E+04	2,5E-114	5,9E-113	1,5E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Nb-89	Nb-89	3,0E+05	5,8E-05	3,0E-01	8,7E-14	5,2E-12	7,4E+03	7,7E-13	2,8E-10	7,4E+03	4,2E-19	7,7E-13	7,1E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Nb-90	Nb-90	8,0E+04	1,0E-04	8,0E-02	6,5E-03	6,7E-12	2,0E+03	4,1E-02	4,0E-10	2,0E+03	2,4E-08	4,1E-02	2,5E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Nb-93m	Nb-93m	6,0E+05	0,0E+00	6,0E-01	0,0E+00	2,5E-15	1,5E+04	7,4E-03	0,0E+00	1,5E+04	0,0E+00	7,4E-03	3,6E+00	1,3E+02	7,9E-02	2,9E-01
Nb-94	Nb-94	6,0E+04	6,7E-05	6,0E-02	2,0E-01	6,0E-12	1,5E+03	1,8E+00	2,2E-10	1,5E+03	6,5E-07	1,8E+00	4,5E+01	1,7E+02	9,9E-03	4,4E-01
Nb-95	Nb-95	2,0E+05	3,2E-05	2,0E-01	3,0E-01	2,9E-12	4,9E+03	2,7E+00	7,3E-11	4,9E+03	6,7E-07	2,7E+00	5,2E+00	9,0E-15	1,8E-18	9,4E-18
Nb-95m	Nb-95m	1,0E+05	3,9E-06	1,0E-01	9,7E-03	5,7E-13	2,5E+03	1,4E-01	2,2E-10	2,5E+03	5,3E-07	1,4E-01	1,7E+00	2,0E-151	2,0E-155	3,4E-155
Nb-96	Nb-96	1,0E+05	1,0E-04	1,0E-01	3,9E-02	9,2E-12	2,5E+03	3,4E-01	2,5E-10	2,5E+03	9,1E-08	3,4E-01	2,1E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Nb-97	Nb-97	1,0E+06	2,7E-05	1,0E+00	1,5E-22	2,6E-12	2,5E+04	1,4E-21	2,6E-10	2,5E+04	1,4E-27	1,4E-21	1,7E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Nb-98m	Nb-98m	7,0E+05	1,2E-04	7,0E-01	5,8E-31	1,0E-11	1,7E+04	4,7E-30	0,0E+00	1,7E+04	0,0E+00	4,7E-30	2,7E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Mo-90	Mo-90	5,0E+05	0,0E+00	5,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	1,2E+04	0,0E+00	2,7E-10	1,2E+04	1,2E-10	1,2E-10	3,8E-01	1,5E-258	7,3E-262	2,8E-262
Mo-93	Mo-93	1,0E+05	0,0E+00	1,0E-01	0,0E+00	1,7E-14	2,5E+03	8,4E-03	0,0E+00	2,5E+03	0,0E+00	8,4E-03	1,4E+01	1,7E+02	1,7E-02	2,2E-01
Mo-93m	Mo-93m	1,0E+06	1,0E-04	1,0E+00	7,0E-04	8,3E-12	2,5E+04	5,7E-03	1,6E-10	2,5E+04	1,1E-09	5,7E-03	1,8E-01	7,5E-210	7,5E-213	1,3E-213
Mo-99	Mo-99	2,0E+05	6,3E-06	2,0E-01	2,5E-02	1,2E-12	4,9E+03	4,6E-01	2,6E-10	4,9E+03	1,0E-06	4,6E-01	1,3E+00	4,4E-21	8,8E-25	1,1E-24
Mo-101	Mo-101	2,0E+06	6,5E-05	2,0E+00	2,8E-108	5,7E-12	4,9E+04	2,4E-107	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	2,4E-107	1,3E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Tc-93	Tc-93	3,0E+06	7,0E-05	3,0E+00	2,7E-09	5,2E-12	7,4E+04	1,9E-08	8,9E-11	7,4E+04	3,3E-15	1,9E-08	5,8E-02	4,1E-55	1,2E-57	7,2E-59
Tc-93m	Tc-93m	4,0E+06	4,3E-05	4,0E+00	3,4E-36	3,4E-12	9,8E+04	2,7E-35	1,6E-10	9,8E+04	1,3E-41	2,7E-35	5,0E-02	2,1E-210	8,5E-213	4,3E-214
Tc-94	Tc-94	7,0E+05	1,1E-04	7,0E-01	1,6E-05	1,0E-11	1,7E+04	1,4E-04	2,4E-10	1,7E+04	3,2E-11	1,4E-04	2,6E-01	1,2E-30	8,1E-34	2,1E-34
Tc-94m	Tc-94m	7,0E+05	8,1E-05	7,0E-01	1,0E-30	7,3E-12	1,7E+04	9,0E-30	0,0E+00	1,7E+04	0,0E+00	9,0E-30	2,8E-01	5,6E-176	3,9E-179	1,1E-179
Tc-95	Tc-95	9,0E+05	3,3E-05	9,0E-01	7,2E-02	3,0E-12	2,2E+04	6,4E-01	0,0E+00	2,2E+04	0,0E+00	6,4E-01	2,1E-01	1,6E-06	1,4E-09	3,1E-10
Tc-95m	Tc-95m	2,0E+05	2,7E-05	2,0E-01	2,6E-01	3,0E-12	4,9E+03	2,8E+00	0,0E+00	4,9E+03	0,0E+00	2,8E+00	3,6E+00	1,3E+02	2,6E-02	9,3E-02
Tc-96	Tc-96	1,0E+05	1,1E-04	1,0E-01	3,0E-01	9,4E-12	2,5E+03	2,5E+00	0,0E+00	2,5E+03	0,0E+00	2,5E+00	1,5E+00	4,4E+00	4,4E-04	6,5E-04
Tc-96m	Tc-96m	9,0E+06	8,4E-07	9,0E+00	6,9E-32	7,4E-14	2,2E+05	5,9E-31	0,0E+00	2,2E+05	0,0E+00	5,9E-31	3,3E-02	1,1E-177	9,8E-180	3,2E-181
Tc-97m	Tc-97m	1,0E+05	1,9E-10	1,0E-01	9,3E-07	1,7E-14	2,5E+03	8,3E-03	8,7E-11	2,5E+03	4,2E-07	8,3E-03	8,1E+00	1,4E+02	1,4E-02	1,1E-01
Tc-97	Tc-97	9,0E+05	0,0E+00	9,0E-01	0,0E+00	1,8E-14	2,2E+04	7,8E-02	5,6E-12	2,2E+04	2,5E-07	7,8E-02	2,8E+00	1,7E+02	1,5E-01	4,2E-01
Tc-98	Tc-98	4,0E+04	5,9E-05	4,0E-02	1,2E-01	5,5E-12	9,8E+02	1,1E+00	2,3E-10	9,8E+02	4,5E-07	1,1E+00	6,6E+01	1,7E+02	6,6E-03	4,4E-01

Nuklidname		Aktiv.	T – DK	T – Akt.	T- Dosis	B γ - DK	B γ – Akt.	B γ – Dosis	B β - DK	B β – Akt.	B β - Dosis	B β + γ - Dosis	I - DK _{max}	I – Akt.	I – A. GW	I - Dosis
A.III T.1	A.VII T.4	[Bq/m ³]	[(mSv/h)/ (Bq/g)]	[Bq/g]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m ²)]	[Bq/m ²]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m ²)]	[Bq/m ²]	[μ Sv/a]	[μ Sv/a]	(μ Sv/a)/ (Bq/l)	[(Bq/m ³)/ (Bq/g)]	[Bq/dm ³]	[μ Sv/a]
Tc-99	Tc-99	9,0E+04	2,4E-13	9,0E-02	1,1E-09	4,2E-18	2,2E+03	1,8E-06	1,6E-10	2,2E+03	7,1E-07	2,5E-06	2,9E+01	1,7E+02	1,5E-02	4,3E-01
Tc-99m	Tc-99m	4,0E+06	9,4E-07	4,0E+00	7,7E-06	8,0E-13	9,8E+04	6,4E-04	3,3E-11	9,8E+04	2,6E-10	6,4E-04	4,3E-02	1,0E-24	4,0E-27	1,7E-28
Tc-101	Tc-101	4,0E+06	1,0E-05	4,0E+00	6,6E-112	1,7E-12	9,8E+04	1,0E-110	0,0E+00	9,8E+04	0,0E+00	1,0E-110	5,2E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Tc-104	Tc-104	9,0E+05	8,0E-05	9,0E-01	1,1E-86	6,7E-12	2,2E+04	9,0E-86	0,0E+00	2,2E+04	0,0E+00	9,0E-86	2,2E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ru-94	Ru-94	1,0E+06	4,9E-05	1,0E+00	6,7E-31	4,9E-12	2,5E+04	6,5E-30	0,0E+00	2,5E+04	0,0E+00	6,5E-30	3,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ru-97	Ru-97	7,0E+05	5,2E-06	7,0E-01	7,6E-02	1,2E-12	1,7E+04	1,8E+00	0,0E+00	1,7E+04	0,0E+00	1,8E+00	2,6E-01	6,5E-20	4,5E-23	1,2E-23
Ru-103	Ru-103	1,0E+05	1,9E-05	1,0E-01	8,9E-02	2,2E-12	2,5E+03	9,9E-01	1,3E-10	2,5E+03	5,8E-07	9,9E-01	2,0E+00	4,0E+00	4,0E-04	7,8E-04
Ru-105	Ru-105	3,0E+05	3,0E-05	3,0E-01	5,1E-07	3,1E-12	7,4E+03	5,3E-06	2,6E-10	7,4E+03	4,4E-12	5,3E-06	6,8E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ru-106	Ru-106	1,0E+04	8,2E-06	1,0E-02	4,1E-03	8,3E-13	2,5E+02	4,1E-02	5,7E-10	2,5E+02	2,8E-07	4,1E-02	3,2E+01	1,1E+02	1,1E-03	3,6E-02
Rh-99	Rh-99m	2,0E+05	0,0E+00	2,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	4,9E+03	0,0E+00	2,7E-10	4,9E+03	6,5E-12	6,5E-12	1,2E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Rh-99m	Rh-99	2,0E+06	0,0E+00	2,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	2,7E-10	4,9E+04	2,3E-05	2,3E-05	1,3E+00	1,9E-02	3,9E-05	5,2E-05
Rh-100	Rh-100	2,0E+05	1,2E-04	2,0E-01	6,5E-02	9,3E-12	4,9E+03	4,9E-01	9,0E-11	4,9E+03	4,8E-08	4,9E-01	1,3E+00	7,9E-69	1,6E-72	2,0E-72
Rh-101	Rh-101	2,0E+05	4,7E-06	2,0E-01	4,7E-02	1,7E-12	4,9E+03	1,7E+00	0,0E+00	4,9E+03	0,0E+00	1,7E+00	3,5E+00	1,5E+02	2,9E-02	1,0E-01
Rh-101m	Rh-101m	5,0E+05	8,9E-06	5,0E-01	1,2E-01	1,5E-12	1,2E+04	2,0E+00	0,0E+00	1,2E+04	0,0E+00	2,0E+00	4,7E-01	6,6E-13	3,3E-16	1,6E-16
Rh-102	Rh-102m	5,0E+04	8,7E-05	5,0E-02	2,2E-01	8,3E-12	1,2E+03	2,0E+00	0,0E+00	1,2E+03	0,0E+00	2,0E+00	1,2E+01	8,2E+01	4,1E-03	4,8E-02
Rh-102m	Rh-102	7,0E+04	2,0E-05	7,0E-02	6,8E-02	2,1E-12	1,7E+03	7,2E-01	2,3E-10	1,7E+03	7,8E-07	7,2E-01	8,6E+00	1,4E+02	1,0E-02	8,6E-02
Rh-103m	Rh-103m	2,0E+07	0,0E+00	2,0E+01	0,0E+00	3,2E-15	4,9E+05	1,9E-29	0,0E+00	4,9E+05	0,0E+00	1,9E-29	1,2E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Rh-105	Rh-105	2,0E+05	2,4E-06	2,0E-01	4,2E-03	3,9E-13	4,9E+03	6,8E-02	2,1E-10	4,9E+03	3,6E-07	6,8E-02	1,0E+00	3,5E-40	7,0E-44	7,3E-44
Rh-106m	Rh-106m	6,0E+05	1,2E-04	6,0E-01	3,5E-12	1,0E-11	1,5E+04	3,1E-11	2,7E-10	1,5E+04	8,2E-18	3,1E-11	3,5E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Rh-107	Rh-107	3,0E+06	9,8E-06	3,0E+00	1,6E-73	1,5E-12	7,4E+04	2,5E-72	0,0E+00	7,4E+04	0,0E+00	2,5E-72	7,2E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pd-100	Pd-100	1,0E+05	7,7E-05	1,0E-01	1,9E-01	6,6E-12	2,5E+03	1,6E+00	8,9E-11	2,5E+03	2,2E-07	1,6E+00	2,8E+00	1,1E-15	1,1E-19	3,2E-19
Pd-101	Pd-101	1,0E+06	1,3E-05	1,0E+00	5,0E-04	1,5E-12	2,5E+04	5,7E-03	0,0E+00	2,5E+04	0,0E+00	5,7E-03	2,4E-01	1,1E-169	1,1E-172	2,6E-173
Pd-103	Pd-103	4,0E+05	3,7E-09	4,0E-01	6,4E-05	3,2E-14	9,8E+03	5,5E-02	0,0E+00	9,8E+03	0,0E+00	5,5E-02	7,2E-01	3,1E-02	1,2E-05	8,9E-06
Pd-107	Pd-107	2,0E+06	0,0E+00	2,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	0,0E+00	3,6E-01	1,7E+02	3,3E-01	1,2E-01
Pd-109	Pd-109	1,0E+05	2,6E-08	1,0E-01	1,5E-06	4,3E-14	2,5E+03	2,5E-04	2,7E-10	2,5E+03	1,6E-08	2,5E-04	1,6E+00	9,2E-105	9,2E-109	1,5E-108
Ag-102	Ag-102	2,0E+06	1,2E-04	2,0E+00	2,3E-122	1,1E-11	4,9E+04	2,1E-121	2,7E-10	4,9E+04	5,0E-128	2,1E-121	1,7E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ag-103	Ag-103	2,0E+06	3,1E-05	2,0E+00	2,4E-24	3,5E-12	4,9E+04	2,7E-23	2,2E-10	4,9E+04	1,7E-29	2,7E-23	1,9E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ag-104	Ag-104	2,0E+06	0,0E+00	2,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	4,9E-10	4,9E+04	6,4E-28	6,4E-28	2,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ag-104m	Ag-104m	2,0E+06	0,0E+00	2,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	0,0E+00	2,3E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ag-105	Ag-105	2,0E+05	1,8E-05	2,0E-01	1,7E-01	2,4E-12	4,9E+03	2,2E+00	0,0E+00	4,9E+03	0,0E+00	2,2E+00	5,8E+00	4,8E+00	9,6E-04	5,6E-03
Ag-106	Ag-106	2,0E+06	2,7E-05	2,0E+00	2,9E-66	3,0E-12	4,9E+04	3,2E-65	2,6E-10	4,9E+04	2,8E-71	3,2E-65	1,5E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00

Nuklidname		Aktiv.	T – DK	T – Akt.	T- Dosis	B γ - DK	B γ – Akt.	B γ – Dosis	B β - DK	B β – Akt.	B β - Dosis	B β + γ - Dosis	I - DK _{max}	I – Akt.	I – A. GW	I - Dosis
A.III T.1	A.VII T.4	[Bq/m ³]	[(mSv/h)/ (Bq/g)]	[Bq/g]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m ²)]	[Bq/m ²]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m ²)]	[Bq/m ²]	[μ Sv/a]	[μ Sv/a]	(μ Sv/a)/ (Bq/l)	[(Bq/m ³)/ (Bq/g)]	[Bq/dm ³]	[μ Sv/a]
Ag-106m	Ag-106m	9,0E+04	1,2E-04	9,0E-02	3,8E-01	1,0E-11	2,2E+03	3,4E+00	0,0E+00	2,2E+03	0,0E+00	3,4E+00	9,8E+00	5,9E-06	5,3E-10	5,2E-09
Ag-108m	Ag-108m	4,0E+04	6,5E-05	4,0E-02	1,3E-01	6,7E-12	9,8E+02	1,3E+00	5,2E-11	9,8E+02	1,0E-07	1,3E+00	1,3E+02	1,7E+02	6,6E-03	8,6E-01
Ag-110m	Ag-110m	4,0E+04	1,2E-04	4,0E-02	2,4E-01	1,0E-11	9,8E+02	2,0E+00	8,2E-11	9,8E+02	1,6E-07	2,0E+00	5,2E+01	9,2E+01	3,7E-03	1,9E-01
Ag-111	Ag-111	6,0E+04	8,3E-07	6,0E-02	1,8E-03	1,3E-13	1,5E+03	2,7E-02	2,7E-10	1,5E+03	5,7E-07	2,7E-02	1,3E+01	5,9E-07	3,6E-11	4,5E-10
Ag-112	Ag-112	2,0E+05	0,0E+00	2,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	4,9E+03	0,0E+00	4,0E-10	4,9E+03	1,5E-14	1,5E-14	2,2E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ag-115	Ag-115	1,0E+06	1,8E-05	1,0E+00	6,3E-80	1,6E-12	2,5E+04	5,5E-79	0,0E+00	2,5E+04	0,0E+00	5,5E-79	2,9E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Cd-104	Cd-104	2,0E+06	0,0E+00	2,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	0,0E+00	1,9E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Cd-107	Cd-107	1,0E+06	1,9E-07	1,0E+00	8,3E-07	1,1E-13	2,5E+04	4,6E-05	0,0E+00	2,5E+04	0,0E+00	4,6E-05	1,6E-01	1,8E-220	1,8E-223	2,8E-224
Cd-109	Cd-109	4,0E+04	1,1E-09	4,0E-02	2,2E-06	7,6E-14	9,8E+02	1,5E-02	2,0E-10	9,8E+02	3,9E-07	1,5E-02	9,3E+00	1,2E+02	4,8E-03	4,5E-02
Cd-113	Cd-113	9,0E+03	0,0E+00	9,0E-03	0,0E+00	0,0E+00	2,2E+02	0,0E+00	1,6E-10	2,2E+02	7,1E-08	7,1E-08	1,9E+02	1,7E+02	1,5E-03	2,8E-01
Cd-113m	Cd-113m	7,0E+03	1,6E-09	7,0E-03	5,6E-07	3,4E-16	1,7E+02	1,2E-05	2,3E-10	1,7E+02	7,8E-08	1,2E-05	1,1E+02	1,6E+02	1,1E-03	1,2E-01
Cd-115	Cd-115	6,0E+04	1,1E-05	6,0E-02	1,1E-02	1,5E-12	1,5E+03	1,4E-01	2,7E-10	1,5E+03	2,6E-07	1,4E-01	3,3E+00	3,0E-26	1,8E-30	5,8E-30
Cd-115m	Cd-115m	2,0E+04	1,4E-06	2,0E-02	1,4E-03	1,2E-13	4,9E+02	1,1E-02	2,6E-10	4,9E+02	2,4E-07	1,1E-02	1,2E+01	6,2E+00	1,2E-04	1,5E-03
Cd-117	Cd-117	3,0E+05	5,1E-05	3,0E-01	1,9E-11	4,7E-12	7,4E+03	1,8E-10	2,5E-10	7,4E+03	9,3E-17	1,8E-10	7,6E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Cd-117m	Cd-117m	3,0E+05	1,1E-04	3,0E-01	2,2E-08	8,8E-12	7,4E+03	1,8E-07	2,2E-10	7,4E+03	4,5E-14	1,8E-07	6,2E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
In-109	In-109	2,0E+06	2,3E-05	2,0E+00	1,2E-06	2,6E-12	4,9E+04	1,3E-05	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	1,3E-05	1,2E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
In-110	In-110	6,0E+05	0,0E+00	6,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	1,5E+04	0,0E+00	4,0E-10	1,5E+04	4,8E-11	4,8E-11	3,2E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
In-111	In-111	4,0E+05	7,7E-06	4,0E-01	6,2E-02	2,2E-12	9,8E+03	1,7E+00	4,8E-11	9,8E+03	3,8E-07	1,7E+00	5,2E-01	7,0E-195	2,8E-198	1,5E-198
In-112	In-112	7,0E+06	1,1E-05	7,0E+00	7,7E-108	1,2E-12	1,7E+05	8,2E-107	0,0E+00	1,7E+05	0,0E+00	8,2E-107	2,6E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
In-113m	In-113m	3,0E+06	8,9E-06	3,0E+00	1,6E-16	1,2E-12	7,4E+04	2,1E-15	0,0E+00	7,4E+04	0,0E+00	2,1E-15	6,5E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
In-114m	In-114m	2,0E+04	2,5E-06	2,0E-02	2,4E-03	4,1E-13	4,9E+02	3,8E-02	7,9E-10	4,9E+02	7,3E-07	3,8E-02	1,7E+01	6,0E-10	1,2E-14	2,0E-13
In-115m	In-115m	9,0E+05	4,9E-06	9,0E-01	2,9E-07	7,8E-13	2,2E+04	4,5E-06	6,8E-10	2,2E+04	4,0E-11	4,5E-06	2,1E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
In-116m	In-116m	2,0E+06	1,1E-04	2,0E+00	1,1E-28	8,5E-12	4,9E+04	8,4E-28	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	8,4E-28	1,2E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
In-117	In-117	3,0E+06	2,3E-05	3,0E+00	7,8E-37	3,2E-12	7,4E+04	1,0E-35	0,0E+00	7,4E+04	0,0E+00	1,0E-35	7,1E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
In-117m	In-117m	6,0E+05	8,2E-06	6,0E-01	5,9E-15	1,3E-12	1,5E+04	9,1E-14	2,5E-10	1,5E+04	1,8E-19	9,1E-14	3,2E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
In-119m	In-119m	2,0E+06	0,0E+00	2,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	0,0E+00	1,3E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Sn-110	Sn-110	3,0E+05	4,7E-05	3,0E-01	2,6E-07	5,2E-12	7,4E+03	2,8E-06	0,0E+00	7,4E+03	0,0E+00	2,8E-06	9,3E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Sn-111	Sn-111	4,0E+06	6,5E-08	4,0E+00	1,8E-47	1,8E-14	9,8E+04	5,1E-46	0,0E+00	9,8E+04	0,0E+00	5,1E-46	6,1E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Sn-113	Sn-113	1,0E+05	9,0E-06	1,0E-01	4,4E-02	1,3E-12	2,5E+03	6,1E-01	9,6E-11	2,5E+03	4,6E-07	6,1E-01	5,0E+00	4,6E+01	4,6E-03	2,3E-02
Sn-117m	Sn-117m	1,0E+05	1,5E-06	1,0E-01	6,2E-03	9,1E-13	2,5E+03	3,7E-01	0,0E+00	2,5E+03	0,0E+00	3,7E-01	2,1E+00	3,7E-03	3,7E-07	8,0E-07
Sn-119m	Sn-119m	2,0E+05	1,5E-13	2,0E-01	1,5E-09	3,0E-14	4,9E+03	2,9E-02	0,0E+00	4,9E+03	0,0E+00	2,9E-02	3,2E+00	1,0E+02	2,0E-02	6,4E-02

Nuklidname		Aktiv.	T – DK	T – Akt.	T- Dosis	B γ - DK	B γ – Akt.	B γ – Dosis	B β - DK	B β – Akt.	B β - Dosis	B β + γ - Dosis	I - DK _{max}	I – Akt.	I – A. GW	I - Dosis
A.III T.1	A.VII T.4	[Bq/m³]	[(mSv/h)/ (Bq/g)]	[Bq/g]	[μSv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m²)]	[Bq/m²]	[μSv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m²)]	[Bq/m²]	[μSv/a]	[μSv/a]	(μSv/a)/ (Bq/l)	[(Bq/m³)/ (Bq/g)]	[Bq/dm³]	[μSv/a]
Sn-121	Sn-121	3,0E+05	0,0E+00	3,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	7,4E+03	0,0E+00	2,1E-10	7,4E+03	3,2E-07	3,2E-07	5,9E-01	8,3E-53	2,5E-56	1,5E-56
Sn-121m	Sn-121m	2,0E+05	0,0E+00	2,0E-01	0,0E+00	1,5E-14	4,9E+03	1,5E-02	5,7E-11	4,9E+03	5,6E-07	1,5E-02	1,0E+01	1,6E+02	3,3E-02	3,3E-01
Sn-123	Sn-123	4,0E+04	3,1E-07	4,0E-02	6,0E-04	2,4E-14	9,8E+02	4,6E-03	2,6E-10	9,8E+02	5,0E-07	4,6E-03	1,6E+01	5,3E+01	2,1E-03	3,3E-02
Sn-123m	Sn-123m	2,0E+06	1,5E-06	2,0E+00	4,6E-41	8,5E-13	4,9E+04	2,5E-39	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	2,5E-39	1,1E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Sn-125	Sn-125	3,0E+04	1,5E-05	3,0E-02	1,7E-02	1,2E-12	7,4E+02	1,4E-01	2,4E-10	7,4E+02	2,7E-07	1,4E-01	9,2E+00	4,7E-05	1,4E-09	1,3E-08
Sn-126	Sn-126	2,0E+04	1,4E-05	2,0E-02	1,4E-02	1,8E-12	4,9E+02	1,7E-01	1,8E-10	4,9E+02	1,8E-07	1,7E-01	1,4E+02	1,7E+02	3,3E-03	4,6E-01
Sn-127	Sn-127	4,0E+05	5,8E-07	4,0E-01	3,1E-15	5,9E-14	9,8E+03	3,2E-14	2,8E-10	9,8E+03	1,5E-18	3,2E-14	5,3E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Sn-128	Sn-128	6,0E+05	3,1E-05	6,0E-01	1,5E-27	3,6E-12	1,5E+04	1,7E-26	0,0E+00	1,5E+04	0,0E+00	1,7E-26	4,8E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Sb-115	Sb-115	4,0E+06	3,4E-05	4,0E+00	3,2E-49	3,8E-12	9,8E+04	3,5E-48	0,0E+00	9,8E+04	0,0E+00	3,5E-48	5,5E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Sb-116	Sb-116	3,0E+06	9,9E-05	3,0E+00	9,3E-100	8,1E-12	7,4E+04	7,4E-99	0,0E+00	7,4E+04	0,0E+00	7,4E-99	6,0E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Sb-116m	Sb-116m	2,0E+06	1,3E-04	2,0E+00	7,4E-26	1,2E-11	4,9E+04	6,4E-25	2,3E-10	4,9E+04	1,2E-31	6,4E-25	1,1E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Sb-117	Sb-117	6,0E+06	2,5E-06	6,0E+00	2,9E-10	1,0E-12	1,5E+05	1,1E-08	0,0E+00	1,5E+05	0,0E+00	1,1E-08	3,6E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Sb-118m	Sb-118m	7,0E+05	1,1E-04	7,0E-01	2,0E-05	9,4E-12	1,7E+04	1,7E-04	5,7E-11	1,7E+04	1,0E-11	1,7E-04	2,9E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Sb-119	Sb-119	1,0E+06	0,0E+00	1,0E+00	0,0E+00	6,4E-14	2,5E+04	6,4E-02	0,0E+00	2,5E+04	0,0E+00	6,4E-02	1,9E-01	5,0E-37	5,0E-40	9,4E-41
Sb-120	Sb-120	1,0E+05	1,7E-05	1,0E-01	2,3E-101	1,9E-12	2,5E+03	2,5E-100	0,0E+00	2,5E+03	0,0E+00	2,5E-100	3,8E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Sb-122	Sb-122	5,0E+04	1,8E-05	5,0E-02	1,7E-02	1,8E-12	1,2E+03	1,7E-01	2,6E-10	1,2E+03	2,5E-07	1,7E-01	4,1E+00	1,8E-21	8,9E-26	3,7E-25
Sb-124	Sb-124	4,0E+04	8,0E-05	4,0E-02	1,5E-01	6,5E-12	9,8E+02	1,2E+00	2,4E-10	9,8E+02	4,5E-07	1,2E+00	8,2E+00	1,5E+01	5,8E-04	4,8E-03
Sb-124m	Sb-124m	1,0E+07	1,8E-05	1,0E+01	0,0E+00	1,8E-12	2,5E+05	0,0E+00	0,0E+00	2,5E+05	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Sb-125	Sb-125	8,0E+04	1,6E-05	8,0E-02	6,4E-02	1,9E-12	2,0E+03	7,4E-01	2,1E-10	2,0E+03	8,2E-07	7,4E-01	5,9E+00	1,4E+02	1,1E-02	6,8E-02
Sb-126	Sb-126	4,0E+04	1,1E-04	4,0E-02	1,9E-01	1,1E-11	9,8E+02	1,8E+00	2,3E-10	9,8E+02	3,6E-07	1,8E+00	4,8E+00	1,3E-03	5,3E-08	2,6E-07
Sb-126m	Sb-126m	2,0E+06	6,3E-05	2,0E+00	8,1E-83	6,4E-12	4,9E+04	8,0E-82	2,4E-10	4,9E+04	3,0E-88	8,0E-82	8,7E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Sb-127	Sb-127	5,0E+04	2,8E-05	5,0E-02	3,6E-02	2,8E-12	1,2E+03	3,6E-01	2,5E-10	1,2E+03	3,2E-07	3,6E-01	4,1E+00	1,0E-14	5,2E-19	2,2E-18
Sb-128	Sb-128	1,0E+05	1,2E-04	1,0E-01	7,4E-04	1,2E-11	2,5E+03	7,0E-03	2,6E-10	2,5E+03	1,5E-09	7,0E-03	1,4E+00	1,7E-159	1,7E-163	2,4E-163
Sb-129	Sb-129	2,0E+05	6,0E-05	2,0E-01	5,4E-07	5,2E-12	4,9E+03	4,6E-06	2,5E-10	4,9E+03	2,2E-12	4,6E-06	1,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Sb-130	Sb-130	1,0E+06	1,3E-04	1,0E+00	5,3E-40	1,2E-11	2,5E+04	5,0E-39	0,0E+00	2,5E+04	0,0E+00	5,0E-39	2,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Sb-131	Sb-131	8,0E+05	8,1E-05	8,0E-01	5,8E-69	6,8E-12	2,0E+04	4,7E-68	0,0E+00	2,0E+04	0,0E+00	4,7E-68	3,3E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Te-116	Te-116	6,0E+05	7,8E-05	6,0E-01	5,9E-11	6,7E-12	1,5E+04	5,0E-10	9,7E-11	1,5E+04	7,2E-17	5,0E-10	3,5E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Te-121	Te-121	3,0E+05	2,2E-05	3,0E-01	2,9E-01	2,4E-12	7,4E+03	3,1E+00	0,0E+00	7,4E+03	0,0E+00	3,1E+00	1,2E+00	8,2E-02	2,5E-05	2,9E-05
Te-121m	Te-121m	3,0E+04	1,9E-05	3,0E-02	2,8E-02	2,7E-12	7,4E+02	3,8E-01	1,1E-10	7,4E+02	1,7E-07	3,8E-01	3,6E+01	6,4E+01	1,9E-03	6,9E-02
Te-123	Te-123	3,0E+04	0,0E+00	3,0E-02	0,0E+00	1,3E-16	7,4E+02	1,9E-05	0,0E+00	7,4E+02	0,0E+00	1,9E-05	5,9E+02	1,7E+02	5,0E-03	2,9E+00
Te-123m	Te-123m	5,0E+04	1,4E-06	5,0E-02	3,5E-03	8,6E-13	1,2E+03	2,1E-01	2,3E-10	1,2E+03	5,5E-07	2,1E-01	2,2E+01	4,9E+01	2,4E-03	5,4E-02

Nuklidname		Aktiv.	T – DK	T – Akt.	T- Dosis	B γ - DK	B γ – Akt.	B γ – Dosis	B β - DK	B β – Akt.	B β - Dosis	B β + γ - Dosis	I - DK _{max}	I – Akt.	I – A. GW	I - Dosis
A.III T.1	A.VII T.4	[Bq/m³]	[(mSv/h)/ (Bq/g)]	[Bq/g]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m²)]	[Bq/m²]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m²)]	[Bq/m²]	[μ Sv/a]	[μ Sv/a]	(μ Sv/a)/ (Bq/l)	[(Bq/m³)/ (Bq/g)]	[Bq/dm³]	[μ Sv/a]
Te-125m	Te-125m	7,0E+04	8,4E-10	7,0E-02	2,8E-06	1,1E-13	1,7E+03	3,6E-02	0,0E+00	1,7E+03	0,0E+00	3,6E-02	1,1E+01	1,3E+01	9,1E-04	9,5E-03
Te-127	Te-127	6,0E+05	1,7E-07	6,0E-01	7,6E-06	2,2E-14	1,5E+04	9,9E-05	2,4E-10	1,5E+04	1,1E-08	9,9E-05	3,2E-01	1,1E-153	6,6E-157	2,1E-157
Te-127m	Te-127m	2,0E+04	1,7E-07	2,0E-02	1,6E-04	5,8E-14	4,9E+02	5,5E-03	4,2E-10	4,9E+02	4,0E-07	5,5E-03	4,6E+01	4,3E+01	8,6E-04	4,0E-02
Te-129	Te-129	1,0E+06	2,2E-06	1,0E+00	2,0E-24	2,6E-13	2,5E+04	2,3E-23	2,6E-13	2,5E+04	2,3E-31	2,3E-23	1,6E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Te-129m	Te-129m	2,0E+04	2,6E-06	2,0E-02	2,4E-03	3,1E-13	4,9E+02	2,8E-02	2,6E-10	4,9E+02	2,4E-07	2,8E-02	2,5E+01	2,1E+00	4,3E-05	1,1E-03
Te-131	Te-131	1,0E+06	1,5E-05	1,0E+00	3,5E-64	2,0E-12	2,5E+04	4,6E-63	3,2E-10	2,5E+04	7,3E-69	4,6E-63	2,9E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Te-131m	Te-131m	4,0E+04	6,5E-05	4,0E-02	1,7E-02	6,1E-12	9,8E+02	1,6E-01	2,5E-10	9,8E+02	6,5E-08	1,6E-01	9,2E+00	1,7E-47	6,7E-52	6,1E-51
Te-132	Te-132	2,0E+04	9,0E-05	2,0E-02	4,1E-02	8,9E-12	4,9E+02	4,0E-01	1,5E-10	4,9E+02	6,6E-08	4,0E-01	1,1E+01	6,5E-18	1,3E-22	1,4E-21
Te-133	Te-133	1,0E+06	4,9E-05	1,0E+00	1,7E-127	4,5E-12	2,5E+04	1,5E-126	0,0E+00	2,5E+04	0,0E+00	1,5E-126	2,9E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Te-133m	Te-133m	3,0E+05	8,2E-05	3,0E-01	3,3E-29	7,2E-12	7,4E+03	2,8E-28	0,0E+00	7,4E+03	0,0E+00	2,8E-28	1,1E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Te-134	Te-134	8,0E+05	6,7E-05	8,0E-01	3,6E-38	6,8E-12	2,0E+04	3,6E-37	0,0E+00	2,0E+04	0,0E+00	3,6E-37	3,2E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
I-120	I-120	2,0E+05	8,7E-05	2,0E-01	3,5E-20	7,8E-12	4,9E+03	3,0E-19	2,9E-10	4,9E+03	1,1E-25	3,0E-19	8,8E-01	5,0E-112	1,0E-115	8,8E-116
I-120m	I-120m	4,0E+05	0,0E+00	4,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	9,8E+03	0,0E+00	8,0E-10	9,8E+03	2,1E-35	2,1E-35	5,2E-01	1,2E-172	4,7E-176	2,4E-176
I-121	I-121	1,0E+06	1,1E-05	1,0E+00	2,0E-13	1,9E-12	2,5E+04	3,3E-12	9,7E-11	2,5E+04	1,7E-18	3,3E-12	1,4E-01	1,1E-71	1,1E-74	1,6E-75
I-123	I-123	4,0E+05	2,0E-06	4,0E-01	4,0E-04	9,5E-13	9,8E+03	1,9E-02	4,9E-11	9,8E+03	9,7E-09	1,9E-02	5,0E-01	1,4E-10	5,7E-14	2,8E-14
I-124	I-124	7,0E+03	4,6E-05	7,0E-03	8,8E-03	4,2E-12	1,7E+02	7,8E-02	2,2E-10	1,7E+02	4,1E-08	7,8E-02	2,8E+01	4,0E+00	2,8E-05	8,0E-04
I-125	I-125	2,0E+04	0,0E+00	2,0E-02	0,0E+00	1,3E-13	4,9E+02	1,2E-02	0,0E+00	4,9E+02	0,0E+00	1,2E-02	2,7E+01	1,3E+02	2,5E-03	6,8E-02
I-126	I-126	4,0E+03	1,7E-05	4,0E-03	2,7E-03	1,8E-12	9,8E+01	2,9E-02	8,0E-10	9,8E+01	1,3E-07	2,9E-02	5,5E+01	5,0E+01	2,0E-04	1,1E-02
I-128	I-128	2,0E+06	3,2E-06	2,0E+00	1,4E-64	3,8E-13	4,9E+04	1,6E-63	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	1,6E-63	1,3E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
I-129	I-129	4,0E+03	0,0E+00	4,0E-03	0,0E+00	8,3E-14	9,8E+01	1,6E-03	6,5E-11	9,8E+01	1,3E-08	1,6E-03	3,0E+02	1,7E+02	6,6E-04	2,0E-01
I-130	I-130	4,0E+04	8,7E-05	4,0E-02	1,3E-03	8,5E-12	9,8E+02	1,2E-02	2,7E-12	9,8E+02	3,9E-11	1,2E-02	4,8E+00	2,1E-11	8,4E-16	4,0E-15
I-131	I-131	5,0E+03	1,3E-05	5,0E-03	2,4E-03	1,8E-12	1,2E+02	3,2E-02	2,4E-10	1,2E+02	4,3E-08	3,2E-02	4,4E+01	2,4E+01	1,2E-04	5,2E-03
I-132	I-132	3,0E+05	9,5E-05	3,0E-01	4,5E-12	8,6E-12	7,4E+03	4,0E-11	2,6E-10	7,4E+03	1,2E-17	4,0E-11	6,8E-01	3,6E-66	1,1E-69	7,3E-70
I-132m	I-132m	4,0E+05	3,6E-05	4,0E-01	6,1E-20	3,5E-12	9,8E+03	5,7E-19	7,6E-10	9,8E+03	1,3E-24	5,7E-19	7,0E-01	3,9E-110	1,6E-113	1,1E-113
I-133	I-133	2,0E+04	2,4E-05	2,0E-02	1,3E-03	2,5E-12	4,9E+02	1,3E-02	2,6E-10	4,9E+02	1,4E-08	1,3E-02	1,1E+01	3,2E-06	6,4E-11	7,2E-10
I-134	I-134	8,0E+05	1,1E-04	8,0E-01	3,0E-30	9,3E-12	2,0E+04	2,5E-29	2,7E-10	2,0E+04	7,5E-36	2,5E-29	2,5E-01	2,7E-174	2,1E-177	5,3E-178
I-135	I-135	9,0E+04	7,5E-05	9,0E-02	3,2E-05	6,0E-12	2,2E+03	2,5E-04	2,5E-10	2,2E+03	1,1E-10	2,5E-04	2,3E+00	1,6E-22	1,4E-26	3,2E-26
Cs-125	Cs-125	2,0E+06	2,6E-05	2,0E+00	3,3E-34	3,0E-12	4,9E+04	3,6E-33	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	3,6E-33	9,2E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Cs-127	Cs-127	5,0E+06	1,5E-05	5,0E+00	2,2E-04	1,9E-12	1,2E+05	2,8E-03	0,0E+00	1,2E+05	0,0E+00	2,8E-03	4,2E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Cs-129	Cs-129	2,0E+06	8,7E-06	2,0E+00	1,3E-01	1,3E-12	4,9E+04	1,9E+00	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	1,9E+00	1,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Cs-130	Cs-130	3,0E+06	1,9E-05	3,0E+00	1,8E-54	2,1E-12	7,4E+04	2,0E-53	0,0E+00	7,4E+04	0,0E+00	2,0E-53	7,7E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00

Nuklidname		Aktiv.	T – DK	T – Akt.	T- Dosis	B γ - DK	B γ – Akt.	B γ – Dosis	B β - DK	B β – Akt.	B β - Dosis	B β + γ - Dosis	I - DK _{max}	I – Akt.	I – A. GW	I - Dosis
A.III T.1	A.VII T.4	[Bq/m ³]	[(mSv/h)/ (Bq/g)]	[Bq/g]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m ²)]	[Bq/m ²]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m ²)]	[Bq/m ²]	[μ Sv/a]	[μ Sv/a]	(μ Sv/a)/ (Bq/l)	[(Bq/m ³)/ (Bq/g)]	[Bq/dm ³]	[μ Sv/a]
Cs-131	Cs-131	2,0E+06	0,0E+00	2,0E+00	0,0E+00	7,6E-14	4,9E+04	5,7E-01	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	5,7E-01	1,2E-01	4,7E-56	9,3E-59	1,1E-59
Cs-132	Cs-132	3,0E+05	2,9E-05	3,0E-01	2,9E-01	2,8E-12	7,4E+03	2,8E+00	0,0E+00	7,4E+03	0,0E+00	2,8E+00	6,9E-01	1,7E-83	5,2E-87	3,6E-87
Cs-134	Cs-134	2,0E+04	6,5E-05	2,0E-02	6,5E-02	6,1E-12	4,9E+02	5,9E-01	1,8E-10	4,9E+02	1,8E-07	5,9E-01	4,6E+01	2,8E+01	5,6E-04	2,6E-02
Cs-134m	Cs-134m	4,0E+06	1,1E-07	4,0E+00	1,8E-11	1,4E-13	9,8E+04	2,3E-09	1,6E-10	9,8E+04	2,6E-14	2,3E-09	5,2E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Cs-135	Cs-135	2,0E+05	0,0E+00	2,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	4,9E+03	0,0E+00	1,1E-10	4,9E+03	1,1E-06	1,1E-06	7,2E+00	1,7E+02	3,3E-02	2,4E-01
Cs-135m	Cs-135m	7,0E+06	6,9E-05	7,0E+00	3,2E-29	6,0E-12	1,7E+05	2,8E-28	0,0E+00	1,7E+05	0,0E+00	2,8E-28	3,0E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Cs-136	Cs-136	6,0E+04	9,0E-05	6,0E-02	2,2E-01	8,1E-12	1,5E+03	2,0E+00	2,3E-10	1,5E+03	5,5E-07	2,0E+00	4,1E+00	1,7E-41	1,0E-45	4,3E-45
Cs-137	Cs-137	3,0E+04	2,3E-05	3,0E-02	3,5E-02	2,2E-12	7,4E+02	3,3E-01	2,8E-10	7,4E+02	4,1E-07	3,3E-01	4,1E+01	1,5E+02	4,4E-03	1,8E-01
Cs-138	Cs-138	8,0E+05	1,0E-04	8,0E-01	1,7E-47	7,9E-12	2,0E+04	1,3E-46	0,0E+00	2,0E+04	0,0E+00	1,3E-46	2,6E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ba-126	Ba-126	3,0E+05	6,2E-05	3,0E-01	1,4E-16	6,8E-12	7,4E+03	1,5E-15	0,0E+00	7,4E+03	0,0E+00	1,5E-15	5,8E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ba-128	Ba-128	4,0E+04	3,5E-05	4,0E-02	2,5E-02	4,1E-12	9,8E+02	2,8E-01	0,0E+00	9,8E+02	0,0E+00	2,8E-01	4,4E+00	5,6E-24	2,2E-28	9,7E-28
Ba-131	Ba-131	2,0E+05	1,4E-05	2,0E-01	1,1E-01	2,1E-12	4,9E+03	1,7E+00	9,0E-11	4,9E+03	7,1E-07	1,7E+00	1,0E+00	5,6E-04	1,1E-07	1,1E-07
Ba-131m	Ba-131m	2,0E+07	1,7E-07	2,0E+01	6,0E-110	4,6E-13	4,9E+05	1,6E-107	0,0E+00	4,9E+05	0,0E+00	1,6E-107	1,3E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ba-133	Ba-133	4,0E+04	1,1E-05	4,0E-02	2,1E-02	2,0E-12	9,8E+02	3,8E-01	9,0E-11	9,8E+02	1,8E-07	3,8E-01	9,6E+00	1,6E+02	6,4E-03	6,1E-02
Ba-133m	Ba-133m	2,0E+05	1,3E-06	2,0E-01	2,7E-03	3,1E-13	4,9E+03	6,2E-02	2,4E-10	4,9E+03	4,8E-07	6,2E-02	9,2E-01	4,0E-37	7,9E-41	7,3E-41
Ba-135m	Ba-135m	3,0E+05	1,1E-06	3,0E-01	2,1E-03	2,9E-13	7,4E+03	5,1E-02	0,0E+00	7,4E+03	0,0E+00	5,1E-02	7,2E-01	1,1E-49	3,3E-53	2,3E-53
Ba-139	Ba-139	6,0E+05	6,9E-07	6,0E-01	1,8E-21	2,5E-13	1,5E+04	6,4E-20	2,6E-10	1,5E+04	6,7E-25	6,4E-20	3,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ba-140	Ba-140	3,0E+04	8,1E-05	3,0E-02	1,0E-01	6,6E-12	7,4E+02	8,0E-01	2,5E-10	7,4E+02	3,0E-07	8,0E-01	1,0E+01	1,9E-03	5,6E-08	5,8E-07
Ba-141	Ba-141	1,0E+06	3,2E-05	1,0E+00	3,6E-87	3,6E-12	2,5E+04	3,9E-86	0,0E+00	2,5E+04	0,0E+00	3,9E-86	2,2E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ba-142	Ba-142	3,0E+06	5,2E-05	3,0E+00	3,4E-149	4,6E-12	7,4E+04	2,9E-148	0,0E+00	7,4E+04	0,0E+00	2,9E-148	1,1E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
La-131	La-131	3,0E+06	2,2E-05	3,0E+00	4,9E-27	3,0E-12	7,4E+04	6,4E-26	0,0E+00	7,4E+04	0,0E+00	6,4E-26	7,9E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
La-132	La-132	2,0E+05	8,0E-05	2,0E-01	2,6E-06	7,3E-12	4,9E+03	2,3E-05	2,6E-10	4,9E+03	8,2E-12	2,3E-05	8,2E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
La-135	La-135	3,0E+06	3,9E-07	3,0E+00	2,6E-03	1,3E-13	7,4E+04	8,7E-02	0,0E+00	7,4E+04	0,0E+00	8,7E-02	6,0E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
La-137	La-137	8,0E+05	0,0E+00	8,0E-01	0,0E+00	8,9E-14	2,0E+04	3,5E-01	0,0E+00	2,0E+04	0,0E+00	3,5E-01	4,6E-01	1,7E+02	1,3E-01	6,1E-02
La-138	La-138	1,0E+04	5,5E-05	1,0E-02	2,7E-02	4,1E-12	2,5E+02	2,0E-01	5,7E-11	2,5E+02	2,8E-08	2,0E-01	5,4E+00	1,7E+02	1,7E-03	9,0E-03
La-140	La-140	4,0E+04	1,0E-04	4,0E-02	4,5E-02	7,9E-12	9,8E+02	3,4E-01	2,7E-10	9,8E+02	1,2E-07	3,4E-01	4,3E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
La-141	La-141	2,0E+05	1,2E-06	2,0E-01	2,3E-09	9,0E-14	4,9E+03	1,6E-08	2,7E-10	4,9E+03	5,0E-13	1,6E-08	9,4E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
La-142	La-142	5,0E+05	1,0E-04	5,0E-01	1,1E-17	7,3E-12	1,2E+04	7,5E-17	2,7E-10	1,2E+04	2,8E-23	7,5E-17	4,1E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
La-143	La-143	1,0E+06	1,1E-05	1,0E+00	6,0E-113	8,6E-13	2,5E+04	4,5E-112	0,0E+00	2,5E+04	0,0E+00	4,5E-112	1,7E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ce-134	Ce-134	3,0E+04	2,7E-05	3,0E-02	1,8E-02	3,1E-12	7,4E+02	2,1E-01	0,0E+00	7,4E+02	0,0E+00	2,1E-01	6,1E+00	6,0E-173	1,8E-177	1,1E-176
Ce-135	Ce-135	1,0E+05	3,0E-05	1,0E-01	4,8E-03	3,6E-12	2,5E+03	5,6E-02	0,0E+00	2,5E+03	0,0E+00	5,6E-02	1,5E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00

Nuklidname		Aktiv.	T – DK	T – Akt.	T- Dosis	B γ - DK	B γ – Akt.	B γ – Dosis	B β - DK	B β – Akt.	B β - Dosis	B β + γ - Dosis	I - DK _{max}	I – Akt.	I – A. GW	I - Dosis
A.III T.1	A.VII T.4	[Bq/m³]	[(mSv/h)/ (Bq/g)]	[Bq/g]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m²)]	[Bq/m²]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m²)]	[Bq/m²]	[μ Sv/a]	[μ Sv/a]	(μ Sv/a)/ (Bq/l)	[(Bq/m³)/ (Bq/g)]	[Bq/dm³]	[μ Sv/a]
Ce-137	Ce-137	3,0E+06	4,1E-07	3,0E+00	7,2E-05	1,4E-13	7,4E+04	2,5E-03	0,0E+00	7,4E+04	0,0E+00	2,5E-03	5,6E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ce-137m	Ce-137m	1,0E+05	1,2E-06	1,0E-01	1,1E-03	3,4E-13	2,5E+03	2,8E-02	2,2E-10	2,5E+03	1,8E-07	2,8E-02	1,4E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ce-139	Ce-139	3,0E+05	1,6E-06	3,0E-01	2,4E-02	9,0E-13	7,4E+03	1,3E+00	3,6E-11	7,4E+03	5,2E-07	1,3E+00	9,1E-01	1,1E-02	3,2E-06	2,9E-06
Ce-141	Ce-141	1,0E+05	5,7E-07	1,0E-01	2,6E-03	4,7E-13	2,5E+03	2,1E-01	2,9E-10	2,5E+03	1,3E-06	2,1E-01	2,1E+00	5,3E-16	5,3E-20	1,1E-19
Ce-143	Ce-143	7,0E+04	8,6E-06	7,0E-02	4,8E-03	1,3E-12	1,7E+03	7,0E-02	2,7E-10	1,7E+03	1,5E-07	7,0E-02	2,8E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ce-144	Ce-144	1,0E+04	1,4E-06	1,0E-02	7,0E-04	2,1E-13	2,5E+02	1,0E-02	7,2E-10	2,5E+02	3,5E-07	1,0E-02	2,5E+01	1,5E+00	1,5E-05	3,9E-04
Pr-136	Pr-136	2,0E+06	8,5E-05	2,0E+00	1,2E-120	8,0E-12	4,9E+04	1,1E-119	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	1,1E-119	8,0E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pr-137	Pr-137	2,0E+06	1,4E-05	2,0E+00	3,3E-21	1,5E-12	4,9E+04	3,6E-20	2,2E-10	4,9E+04	5,2E-26	3,6E-20	9,4E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pr-138m	Pr-138m	9,0E+05	1,0E-04	9,0E-01	1,6E-12	9,5E-12	2,2E+04	1,5E-11	2,3E-10	2,2E+04	3,6E-18	1,5E-11	2,2E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pr-139	Pr-139	3,0E+06	4,1E-06	3,0E+00	6,4E-07	5,2E-13	7,4E+04	8,0E-06	8,6E-11	7,4E+04	1,3E-11	8,0E-06	7,0E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pr-142	Pr-142	6,0E+04	2,7E-06	6,0E-02	3,3E-04	1,9E-13	1,5E+03	2,3E-03	2,4E-10	1,5E+03	2,9E-08	2,3E-03	3,2E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pr-142m	Pr-142m	4,0E+06	3,2E-08	4,0E+00	2,3E-111	2,2E-15	9,8E+04	1,6E-110	0,0E+00	9,8E+04	0,0E+00	1,6E-110	8,2E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pr-143	Pr-143	6,0E+04	3,8E-13	6,0E-02	9,3E-10	3,4E-20	1,5E+03	8,4E-09	2,5E-10	1,5E+03	6,1E-07	6,2E-07	3,2E+00	7,8E-40	4,7E-44	1,5E-43
Pr-144	Pr-144	1,0E+06	1,3E-06	1,0E+00	1,6E-93	9,7E-14	2,5E+04	1,1E-92	2,7E-10	2,5E+04	3,2E-97	1,1E-92	1,4E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pr-145	Pr-145	2,0E+05	7,8E-07	2,0E-01	3,0E-07	7,0E-14	4,9E+03	2,7E-06	2,6E-10	4,9E+03	1,0E-10	2,7E-06	1,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pr-147	Pr-147	2,0E+06	2,8E-09	2,0E+00	2,0E-122	5,2E-16	4,9E+04	3,6E-121	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	3,6E-121	8,6E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Nd-136	Nd-136	9,0E+05	6,1E-05	9,0E-01	1,5E-31	6,3E-12	2,2E+04	1,5E-30	0,0E+00	2,2E+04	0,0E+00	1,5E-30	2,6E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Nd-138	Nd-138	1,0E+05	3,1E-05	1,0E-01	8,9E-07	3,4E-12	2,5E+03	9,6E-06	2,6E-10	2,5E+03	7,5E-12	9,6E-06	1,5E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Nd-139	Nd-139	4,0E+06	1,6E-05	4,0E+00	1,6E-53	1,8E-12	9,8E+04	1,7E-52	0,0E+00	9,8E+04	0,0E+00	1,7E-52	5,1E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Nd-139m	Nd-139m	4,0E+05	2,5E-06	4,0E-01	8,1E-07	3,1E-13	9,8E+03	9,6E-06	2,6E-10	9,8E+03	8,2E-11	9,6E-06	4,8E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Nd-141	Nd-141	1,0E+07	1,9E-06	1,0E+01	2,4E-11	2,9E-13	2,5E+05	3,6E-10	0,0E+00	2,5E+05	0,0E+00	3,6E-10	1,7E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Nd-147	Nd-147	7,0E+04	3,6E-06	7,0E-02	9,9E-03	6,5E-13	1,7E+03	1,8E-01	2,6E-10	1,7E+03	7,2E-07	1,8E-01	2,7E+00	2,2E-49	1,5E-53	4,1E-53
Nd-149	Nd-149	6,0E+05	1,0E-05	6,0E-01	1,7E-16	1,8E-12	1,5E+04	2,8E-15	2,6E-10	1,5E+04	4,1E-21	2,8E-15	3,8E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Nd-151	Nd-151	3,0E+06	3,2E-05	3,0E+00	2,6E-127	3,4E-12	7,4E+04	2,6E-126	0,0E+00	7,4E+04	0,0E+00	2,6E-126	8,5E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pm-141	Pm-141	2,0E+06	3,0E-05	2,0E+00	5,2E-76	3,1E-12	4,9E+04	5,3E-75	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	5,3E-75	9,2E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pm-143	Pm-143	5,0E+05	1,2E-05	5,0E-01	3,0E-01	1,2E-12	1,2E+04	3,0E+00	0,0E+00	1,2E+04	0,0E+00	3,0E+00	7,3E-01	1,1E+00	5,5E-04	4,0E-04
Pm-144	Pm-144	1,0E+05	6,2E-05	1,0E-01	3,1E-01	6,3E-12	2,5E+03	3,0E+00	0,0E+00	2,5E+03	0,0E+00	3,0E+00	3,0E+00	4,2E+00	4,2E-04	1,2E-03
Pm-145	Pm-145	6,0E+05	3,5E-11	6,0E-01	1,1E-06	1,3E-13	1,5E+04	3,7E-01	0,0E+00	1,5E+04	0,0E+00	3,7E-01	6,3E-01	1,3E+02	8,1E-02	5,1E-02
Pm-146	Pm-146	9,0E+04	2,9E-05	9,0E-02	1,3E-01	3,1E-12	2,2E+03	1,4E+00	1,6E-10	2,2E+03	7,0E-07	1,4E+00	4,1E+00	8,5E+01	7,7E-03	3,2E-02
Pm-147	Pm-147	3,0E+05	1,7E-11	3,0E-01	2,5E-07	2,6E-17	7,4E+03	3,9E-05	1,3E-10	7,4E+03	1,9E-06	4,0E-05	1,5E+00	4,1E+01	1,2E-02	1,8E-02
Pm-148	Pm-148	3,0E+04	2,5E-05	3,0E-02	2,4E-02	2,0E-12	7,4E+02	1,9E-01	2,6E-10	7,4E+02	2,4E-07	1,9E-01	6,6E+00	1,1E-101	3,4E-106	2,3E-105

Nuklidname		Aktiv.	T – DK	T – Akt.	T- Dosis	B γ - DK	B γ – Akt.	B γ – Dosis	B β - DK	B β – Akt.	B β - Dosis	B β + γ - Dosis	I - DK _{max}	I – Akt.	I – A. GW	I - Dosis
A.III T.1	A.VII T.4	[Bq/m³]	[(mSv/h)/ (Bq/g)]	[Bq/g]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m²)]	[Bq/m²]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m²)]	[Bq/m²]	[μ Sv/a]	[μ Sv/a]	(μ Sv/a)/ (Bq/l)	[(Bq/m³)/ (Bq/g)]	[Bq/dm³]	[μ Sv/a]
Pm-148m	Pm-148m	6,0E+04	8,0E-05	6,0E-02	2,3E-01	8,0E-12	1,5E+03	2,2E+00	5,7E-10	1,5E+03	1,6E-06	2,2E+00	4,2E+00	2,1E-12	1,3E-16	5,2E-16
Pm-149	Pm-149	7,0E+04	3,7E-07	7,0E-02	4,1E-04	5,7E-14	1,7E+03	6,3E-03	2,6E-10	1,7E+03	2,9E-07	6,3E-03	2,6E+00	3,6E-247	2,5E-251	6,6E-251
Pm-150	Pm-150	3,0E+05	6,1E-05	3,0E-01	1,3E-10	5,3E-12	7,4E+03	1,1E-09	2,5E-10	7,4E+03	5,3E-16	1,1E-09	6,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pm-151	Pm-151	1,0E+05	1,0E-05	1,0E-01	5,9E-03	1,5E-12	2,5E+03	8,9E-02	2,7E-10	2,5E+03	1,6E-07	8,9E-02	1,7E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Sm-141	Sm-141	2,0E+06	6,3E-05	2,0E+00	3,8E-155	6,3E-12	4,9E+04	3,7E-154	2,7E-10	4,9E+04	1,6E-160	3,7E-154	1,2E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Sm-141m	Sm-141m	1,0E+06	1,1E-05	1,0E+00	5,0E-71	1,2E-12	2,5E+04	5,1E-70	0,0E+00	2,5E+04	0,0E+00	5,1E-70	1,9E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Sm-142	Sm-142	4,0E+05	3,5E-05	4,0E-01	1,0E-22	3,9E-12	9,8E+03	1,1E-21	5,7E-11	9,8E+03	1,6E-28	1,1E-21	4,7E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Sm-145	Sm-145	4,0E+05	6,3E-10	4,0E-01	1,3E-05	2,7E-13	9,8E+03	5,3E-01	0,0E+00	9,8E+03	0,0E+00	5,3E-01	9,6E-01	3,3E+00	1,3E-03	1,3E-03
Sm-146	Sm-146	6,0E+02	0,0E+00	6,0E-04	0,0E+00	0,0E+00	1,5E+01	0,0E+00	0,0E+00	1,5E+01	0,0E+00	0,0E+00	6,4E+02	1,7E+02	9,9E-05	6,3E-02
Sm-151	Sm-151	6,0E+05	0,0E+00	6,0E-01	0,0E+00	1,5E-17	1,5E+04	4,4E-05	2,9E-12	1,5E+04	8,5E-08	4,4E-05	6,4E-01	1,6E+02	9,5E-02	6,1E-02
Sm-153	Sm-153	1,0E+05	9,1E-08	1,0E-01	1,2E-04	3,5E-13	2,5E+03	4,6E-02	2,5E-10	2,5E+03	3,3E-07	4,6E-02	1,8E+00	1,8E-283	1,8E-287	3,3E-287
Sm-155	Sm-155	3,0E+06	5,6E-07	3,0E+00	8,4E-73	6,4E-13	7,4E+04	9,5E-71	0,0E+00	7,4E+04	0,0E+00	9,5E-71	7,7E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Sm-156	Sm-156	3,0E+05	2,9E-06	3,0E-01	6,7E-05	7,4E-13	7,4E+03	1,7E-03	2,2E-10	7,4E+03	5,0E-09	1,7E-03	7,2E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Eu-145	Eu-145	2,0E+05	5,5E-05	2,0E-01	3,6E-01	4,5E-12	4,9E+03	2,9E+00	0,0E+00	4,9E+03	0,0E+00	2,9E+00	1,1E+00	5,5E-92	1,1E-95	1,2E-95
Eu-146	Eu-146	1,0E+05	1,0E-04	1,0E-01	2,9E-01	8,8E-12	2,5E+03	2,5E+00	9,0E-11	2,5E+03	2,5E-07	2,5E+00	1,9E+00	5,7E-119	5,7E-123	1,1E-122
Eu-147	Eu-147	2,0E+05	1,6E-05	2,0E-01	1,4E-01	1,8E-12	4,9E+03	1,6E+00	5,7E-11	4,9E+03	5,0E-07	1,6E+00	9,1E-01	4,5E-22	8,9E-26	8,1E-26
Eu-148	Eu-148	1,0E+05	9,1E-05	1,0E-01	4,3E-01	8,7E-12	2,5E+03	4,1E+00	0,0E+00	2,5E+03	0,0E+00	4,1E+00	2,5E+00	5,1E-09	5,1E-13	1,3E-12
Eu-149	Eu-149	9,0E+05	1,0E-06	9,0E-01	4,4E-02	2,9E-13	2,2E+04	1,2E+00	0,0E+00	2,2E+04	0,0E+00	1,2E+00	3,2E-01	1,1E-04	9,7E-08	3,2E-08
Eu-150	Eu-150	3,0E+04	5,8E-05	3,0E-02	8,6E-02	6,5E-12	7,4E+02	9,5E-01	0,0E+00	7,4E+02	0,0E+00	9,5E-01	5,5E+00	1,5E+02	4,5E-03	2,5E-02
Eu-152	Eu-152	5,0E+04	4,7E-05	5,0E-02	1,2E-01	4,4E-12	1,2E+03	1,1E+00	1,6E-10	1,2E+03	3,9E-07	1,1E+00	6,7E+00	1,3E+02	6,3E-03	4,2E-02
Eu-152m	Eu-152m	2,0E+05	1,3E-05	2,0E-01	1,8E-04	1,2E-12	4,9E+03	1,6E-03	2,6E-10	4,9E+03	3,7E-09	1,6E-03	1,2E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Eu-154	Eu-154	4,0E+04	5,2E-05	4,0E-02	1,0E-01	4,6E-12	9,8E+02	9,1E-01	3,4E-10	9,8E+02	6,7E-07	9,1E-01	1,0E+01	1,1E+02	4,3E-03	4,5E-02
Eu-155	Eu-155	2,0E+05	5,1E-08	2,0E-01	5,1E-04	3,8E-13	4,9E+03	3,8E-01	8,7E-11	4,9E+03	8,5E-07	3,8E-01	1,8E+00	7,7E+01	1,5E-02	2,7E-02
Eu-156	Eu-156	4,0E+04	5,5E-05	4,0E-02	9,3E-02	4,1E-12	9,8E+02	6,9E-01	2,5E-10	9,8E+02	4,2E-07	6,9E-01	5,1E+00	1,8E-35	7,3E-40	3,7E-39
Eu-157	Eu-157	1,0E+05	9,0E-06	1,0E-01	8,2E-04	1,3E-12	2,5E+03	1,2E-02	2,4E-10	2,5E+03	2,1E-08	1,2E-02	1,4E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Eu-158	Eu-158	8,0E+05	5,5E-05	8,0E-01	7,1E-35	4,5E-12	2,0E+04	5,7E-34	0,0E+00	2,0E+04	0,0E+00	5,7E-34	2,4E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Gd-145	Gd-145	2,0E+06	1,1E-04	2,0E+00	1,6E-68	7,9E-12	4,9E+04	1,1E-67	2,7E-10	4,9E+04	3,9E-74	1,1E-67	1,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Gd-146	Gd-146	9,0E+04	7,9E-05	9,0E-02	3,4E-01	8,3E-12	2,2E+03	3,5E+00	2,3E-10	2,2E+03	9,6E-07	3,5E+00	4,2E+00	2,4E-10	2,1E-14	8,8E-14
Gd-147	Gd-147	2,0E+05	8,7E-07	2,0E-01	1,8E-03	9,9E-14	4,9E+03	2,0E-02	2,6E-10	4,9E+03	5,2E-07	2,0E-02	1,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Gd-148	Gd-148	5,0E+02	0,0E+00	5,0E-04	0,0E+00	0,0E+00	1,2E+01	0,0E+00	0,0E+00	1,2E+01	0,0E+00	0,0E+00	7,2E+02	1,6E+02	7,9E-05	5,6E-02
Gd-149	Gd-149	2,0E+05	1,6E-05	2,0E-01	1,2E-01	2,5E-12	4,9E+03	1,9E+00	9,7E-11	4,9E+03	7,2E-07	1,9E+00	9,1E-01	1,5E-58	2,9E-62	2,6E-62

Nuklidname		Aktiv.	T – DK	T – Akt.	T- Dosis	B γ - DK	B γ – Akt.	B γ – Dosis	B β - DK	B β – Akt.	B β - Dosis	B β + γ - Dosis	I - DK _{max}	I – Akt.	I – A. GW	I - Dosis
A.III T.1	A.VII T.4	[Bq/m³]	[(mSv/h)/ (Bq/g)]	[Bq/g]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m²)]	[Bq/m²]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m²)]	[Bq/m²]	[μ Sv/a]	[μ Sv/a]	(μ Sv/a)/ (Bq/l)	[(Bq/m³)/ (Bq/g)]	[Bq/dm³]	[μ Sv/a]
Gd-151	Gd-151	4,0E+05	6,2E-07	4,0E-01	1,2E-02	3,4E-13	9,8E+03	6,5E-01	5,7E-11	9,8E+03	1,1E-06	6,5E-01	7,3E-01	3,7E-03	1,5E-06	1,1E-06
Gd-153	Gd-153	3,0E+05	5,1E-08	3,0E-01	7,6E-04	5,7E-13	7,4E+03	8,4E-01	4,0E-11	7,4E+03	5,8E-07	8,4E-01	1,1E+00	6,5E-01	1,9E-04	2,1E-04
Gd-159	Gd-159	2,0E+05	1,5E-06	2,0E-01	5,6E-04	2,7E-13	4,9E+03	9,9E-03	2,7E-10	4,9E+03	1,0E-07	9,9E-03	1,2E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Tb-147	Tb-147	6,0E+05	8,0E-05	6,0E-01	7,2E-16	7,2E-12	1,5E+04	6,3E-15	2,5E-10	1,5E+04	2,2E-21	6,3E-15	3,6E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Tb-149	Tb-149	4,0E+05	5,5E-05	4,0E-01	4,3E-07	5,2E-12	9,8E+03	4,0E-06	1,1E-06	9,8E+03	8,8E-09	4,0E-06	5,3E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Tb-150	Tb-150	4,0E+05	0,0E+00	4,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	9,8E+03	0,0E+00	6,3E-10	9,8E+03	3,2E-13	3,2E-13	5,4E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Tb-151	Tb-151	3,0E+05	3,4E-05	3,0E-01	1,6E-02	4,3E-12	7,4E+03	2,0E-01	1,1E-10	7,4E+03	5,3E-08	2,0E-01	5,9E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Tb-153	Tb-153	4,0E+05	8,1E-06	4,0E-01	5,5E-02	1,5E-12	9,8E+03	1,0E+00	8,6E-11	9,8E+03	5,7E-07	1,0E+00	5,1E-01	1,3E-233	5,3E-237	2,7E-237
Tb-154	Tb-154	2,0E+05	0,0E+00	2,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	4,9E+03	0,0E+00	3,2E-10	4,9E+03	1,9E-07	1,9E-07	1,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Tb-155	Tb-155	5,0E+05	1,6E-06	5,0E-01	2,5E-02	9,7E-13	1,2E+04	1,5E+00	5,7E-11	1,2E+04	8,7E-07	1,5E+00	4,2E-01	1,4E-102	6,9E-106	2,9E-106
Tb-156	Tb-156	1,0E+05	7,8E-05	1,0E-01	2,4E-01	7,3E-12	2,5E+03	2,2E+00	1,1E-10	2,5E+03	3,4E-07	2,2E+00	2,0E+00	1,4E-105	1,4E-109	2,8E-109
Tb-156m	Tb-156n	6,0E+05	1,0E-05	6,0E-01	2,1E-06	1,1E-12	1,5E+04	2,3E-05	0,0E+00	1,5E+04	0,0E+00	2,3E-05	4,3E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Tb-157	Tb-157	2,0E+06	2,4E-17	2,0E+00	2,4E-12	4,2E-14	4,9E+04	4,1E-01	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	4,1E-01	2,1E-01	1,6E+02	3,2E-01	6,6E-02
Tb-158	Tb-158	4,0E+04	3,3E-05	4,0E-02	6,5E-02	3,1E-12	9,8E+02	6,0E-01	1,7E-10	9,8E+02	3,2E-07	6,0E-01	5,5E+00	1,6E+02	6,5E-03	3,6E-02
Tb-160	Tb-160	6,0E+04	4,7E-05	6,0E-02	1,4E-01	4,2E-12	1,5E+03	1,2E+00	3,4E-10	1,5E+03	9,7E-07	1,2E+00	5,1E+00	1,9E-06	1,1E-10	5,7E-10
Tb-161	Tb-161	1,0E+05	2,1E-08	1,0E-01	7,4E-05	1,6E-13	2,5E+03	5,4E-02	2,2E-10	2,5E+03	7,4E-07	5,4E-02	1,8E+00	4,3E-79	4,3E-83	7,8E-83
Dy-155	Dy-155	9,0E+05	2,1E-05	9,0E-01	2,0E-03	2,6E-12	2,2E+04	2,5E-02	0,0E+00	2,2E+04	0,0E+00	2,5E-02	2,3E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Dy-157	Dy-157	2,0E+06	9,7E-06	2,0E+00	5,5E-04	1,7E-12	4,9E+04	9,7E-03	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	9,7E-03	9,5E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Dy-159	Dy-159	9,0E+05	1,3E-10	9,0E-01	5,8E-06	2,1E-13	2,2E+04	9,0E-01	0,0E+00	2,2E+04	0,0E+00	9,0E-01	3,6E-01	1,7E-02	1,5E-05	5,4E-06
Dy-165	Dy-165	7,0E+05	7,1E-07	7,0E-01	1,2E-13	1,2E-13	1,7E+04	2,1E-12	2,6E-10	1,7E+04	4,5E-17	2,1E-12	2,8E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Dy-166	Dy-166	5,0E+04	6,6E-07	5,0E-02	7,8E-04	2,9E-13	1,2E+03	3,4E-02	7,9E-10	1,2E+03	9,2E-07	3,4E-02	6,1E+00	1,2E-160	5,8E-165	3,5E-164
Ho-155	Ho-155	2,0E+06	1,5E-05	2,0E+00	1,6E-33	2,2E-12	4,9E+04	2,2E-32	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	2,2E-32	9,6E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ho-157	Ho-157	2,0E+07	2,3E-07	2,0E+01	5,0E-127	4,6E-14	4,9E+05	1,0E-125	0,0E+00	4,9E+05	0,0E+00	1,0E-125	1,5E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ho-159	Ho-159	1,0E+07	7,5E-06	1,0E+01	4,7E-48	1,9E-12	2,5E+05	1,2E-46	0,0E+00	2,5E+05	0,0E+00	1,2E-46	1,5E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ho-161	Ho-161	6,0E+06	4,1E-08	6,0E+00	2,8E-13	2,7E-13	1,5E+05	1,8E-10	5,7E-11	1,5E+05	3,8E-16	1,8E-10	3,0E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ho-162	Ho-162	3,0E+07	3,3E-06	3,0E+01	1,4E-105	4,9E-13	7,4E+05	2,0E-104	0,0E+00	7,4E+05	0,0E+00	2,0E-104	7,5E-03	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ho-162m	Ho-162m	4,0E+06	1,3E-06	4,0E+00	6,2E-25	2,0E-13	9,8E+04	9,1E-24	2,7E-10	9,8E+04	1,3E-28	9,1E-24	5,5E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ho-164	Ho-164	7,0E+06	9,2E-08	7,0E+00	1,4E-57	1,4E-13	1,7E+05	2,1E-55	0,0E+00	1,7E+05	0,0E+00	2,1E-55	2,6E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ho-164m	Ho-164m	4,0E+06	3,9E-08	4,0E+00	6,1E-45	2,8E-13	9,8E+04	4,3E-42	0,0E+00	9,8E+04	0,0E+00	4,3E-42	5,4E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ho-166	Ho-166	6,0E+04	8,6E-07	6,0E-02	2,7E-04	1,3E-13	1,5E+03	3,8E-03	2,7E-10	1,5E+03	8,3E-08	3,8E-03	3,5E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ho-166m	Ho-166m	2,0E+04	6,2E-05	2,0E-02	6,2E-02	6,8E-12	4,9E+02	6,6E-01	2,5E-10	4,9E+02	2,5E-07	6,6E-01	1,1E+01	1,6E+02	3,3E-03	3,6E-02

Nuklidname		Aktiv.	T – DK	T – Akt.	T- Dosis	B γ - DK	B γ – Akt.	B γ – Dosis	B β - DK	B β – Akt.	B β - Dosis	B β + γ - Dosis	I - DK _{max}	I – Akt.	I – A. GW	I - Dosis
A.III T.1	A.VII T.4	[Bq/m ³]	[(mSv/h)/ (Bq/g)]	[Bq/g]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m ²)]	[Bq/m ²]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m ²)]	[Bq/m ²]	[μ Sv/a]	[μ Sv/a]	(μ Sv/a)/ (Bq/l)	[(Bq/m ³)/ (Bq/g)]	[Bq/dm ³]	[μ Sv/a]
Ho-167	Ho-167	1,0E+06	1,1E-05	1,0E+00	1,7E-09	1,8E-12	2,5E+04	2,8E-08	2,3E-10	2,5E+04	3,4E-14	2,8E-08	1,9E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Er-161	Er-161	1,0E+06	2,2E-07	1,0E+00	6,7E-11	1,7E-13	2,5E+04	5,1E-09	2,6E-10	2,5E+04	7,7E-14	5,1E-09	1,5E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Er-165	Er-165	5,0E+06	3,5E-14	5,0E+00	2,5E-11	1,8E-13	1,2E+05	1,3E-02	0,0E+00	1,2E+05	0,0E+00	1,3E-02	3,7E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Er-169	Er-169	2,0E+05	4,5E-12	2,0E-01	3,5E-08	1,8E-17	4,9E+03	1,3E-05	1,6E-10	4,9E+03	1,2E-06	1,4E-05	9,7E-01	8,3E-58	1,7E-61	1,6E-61
Er-171	Er-171	2,0E+05	9,7E-06	2,0E-01	3,0E-05	1,9E-12	4,9E+03	5,8E-04	2,4E-10	4,9E+03	7,2E-10	5,8E-04	8,6E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Er-172	Er-172	9,0E+04	2,6E-05	9,0E-02	3,4E-02	2,8E-12	2,2E+03	3,6E-01	4,6E-10	2,2E+03	5,9E-07	3,6E-01	3,5E+00	4,0E-266	3,6E-270	1,3E-269
Tm-162	Tm-162	3,0E+06	0,0E+00	3,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	7,4E+04	0,0E+00	0,0E+00	7,4E+04	0,0E+00	0,0E+00	6,2E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Tm-166	Tm-166	4,0E+05	8,3E-05	4,0E-01	6,2E-04	6,8E-12	9,8E+03	5,0E-03	1,1E-10	9,8E+03	8,4E-10	5,0E-03	4,5E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Tm-167	Tm-167	2,0E+05	2,0E-06	2,0E-01	1,5E-02	7,6E-13	4,9E+03	5,7E-01	0,0E+00	4,9E+03	0,0E+00	5,7E-01	1,3E+00	8,8E-59	1,8E-62	2,3E-62
Tm-170	Tm-170	6,0E+04	4,3E-10	6,0E-02	1,3E-06	2,4E-14	1,5E+03	7,0E-03	2,3E-10	1,5E+03	6,6E-07	7,0E-03	5,6E+00	5,4E-03	3,2E-07	1,8E-06
Tm-171	Tm-171	6,0E+05	1,5E-12	6,0E-01	4,5E-08	3,7E-15	1,5E+04	1,1E-02	2,6E-11	1,5E+04	7,6E-07	1,1E-02	6,1E-01	2,5E+01	1,5E-02	8,9E-03
Tm-172	Tm-172	5,0E+04	2,1E-05	5,0E-02	2,0E-02	1,6E-12	1,2E+03	1,5E-01	2,6E-10	1,2E+03	2,5E-07	1,5E-01	4,1E+00	2,9E-206	1,4E-210	5,9E-210
Tm-173	Tm-173	3,0E+05	1,4E-05	3,0E-01	1,3E-04	1,8E-12	7,4E+03	1,7E-03	2,7E-10	7,4E+03	2,5E-09	1,7E-03	7,1E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Tm-175	Tm-175	3,0E+06	0,0E+00	3,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	7,4E+04	0,0E+00	0,0E+00	7,4E+04	0,0E+00	0,0E+00	6,7E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Yb-162	Yb-162	4,0E+06	4,1E-06	4,0E+00	1,0E-84	1,2E-12	9,8E+04	3,0E-83	0,0E+00	9,8E+04	0,0E+00	3,0E-83	6,9E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Yb-166	Yb-166	1,0E+05	1,7E-08	1,0E-01	2,8E-05	1,4E-15	2,5E+03	2,3E-04	0,0E+00	2,5E+03	0,0E+00	2,3E-04	1,7E+00	2,2E-231	2,2E-235	3,7E-235
Yb-167	Yb-167	1,0E+07	2,6E-09	1,0E+01	4,4E-94	1,0E-15	2,5E+05	1,7E-92	0,0E+00	2,5E+05	0,0E+00	1,7E-92	1,7E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Yb-169	Yb-169	1,0E+05	3,0E-06	1,0E-01	1,4E-02	1,7E-12	2,5E+03	7,9E-01	1,6E-10	2,5E+03	7,2E-07	7,9E-01	1,9E+00	2,9E-16	2,9E-20	5,5E-20
Yb-175	Yb-175	2,0E+05	2,3E-06	2,0E-01	1,3E-02	4,0E-13	4,9E+03	2,1E-01	2,3E-10	4,9E+03	1,2E-06	2,1E-01	1,1E+00	1,6E-130	3,2E-134	3,5E-134
Yb-177	Yb-177	9,0E+05	7,3E-06	9,0E-01	5,1E-15	8,1E-13	2,2E+04	5,6E-14	2,5E-10	2,2E+04	1,7E-19	5,6E-14	2,3E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Yb-178	Yb-178	6,0E+05	2,8E-06	6,0E-01	3,4E-23	2,4E-13	1,5E+04	2,9E-22	2,3E-10	1,5E+04	2,7E-27	2,9E-22	3,7E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Lu-169	Lu-169	3,0E+05	1,2E-07	3,0E-01	2,9E-04	6,7E-14	7,4E+03	1,6E-02	2,4E-10	7,4E+03	5,9E-07	1,6E-02	8,3E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Lu-170	Lu-170	1,0E+05	0,0E+00	1,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	2,5E+03	0,0E+00	2,9E-10	2,5E+03	4,0E-07	4,0E-07	1,6E+00	1,1E-271	1,1E-275	1,7E-275
Lu-171	Lu-171	2,0E+05	2,3E-05	2,0E-01	1,7E-01	2,6E-12	4,9E+03	1,9E+00	1,5E-10	4,9E+03	1,1E-06	1,9E+00	1,3E+00	5,8E-66	1,2E-69	1,5E-69
Lu-172	Lu-172	9,0E+04	8,0E-05	9,0E-02	2,5E-01	7,3E-12	2,2E+03	2,2E+00	1,6E-10	2,2E+03	4,8E-07	2,2E+00	2,2E+00	2,3E-81	2,1E-85	4,6E-85
Lu-173	Lu-173	3,0E+05	2,0E-06	3,0E-01	3,0E-02	9,0E-13	7,4E+03	1,3E+00	8,9E-11	7,4E+03	1,3E-06	1,3E+00	1,1E+00	1,1E+01	3,2E-03	3,5E-03
Lu-174	Lu-174	3,0E+05	2,9E-06	3,0E-01	4,4E-02	4,9E-13	7,4E+03	7,3E-01	8,9E-11	7,4E+03	1,3E-06	7,3E-01	1,3E+00	5,9E+01	1,8E-02	2,3E-02
Lu-174m	Lu-174m	1,0E+05	5,4E-07	1,0E-01	2,7E-03	3,5E-13	2,5E+03	1,7E-01	1,6E-10	2,5E+03	7,7E-07	1,7E-01	2,3E+00	1,4E-02	1,4E-06	3,3E-06
Lu-176m	Lu-176m	4,0E+05	4,2E-09	4,0E-01	4,7E-12	8,5E-14	9,8E+03	9,2E-09	2,5E-10	9,8E+03	2,7E-13	9,2E-09	4,3E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Lu-177	Lu-177	1,0E+05	4,8E-07	1,0E-01	1,6E-03	1,9E-13	2,5E+03	6,3E-02	7,9E-10	2,5E+03	2,6E-06	6,3E-02	1,3E+00	5,2E-82	5,2E-86	7,0E-86
Lu-177m	Lu-177m	5,0E+04	2,3E-05	5,0E-02	5,7E-02	5,2E-12	1,2E+03	1,3E+00	1,1E-10	1,2E+03	2,8E-07	1,3E+00	6,2E+00	4,1E-02	2,1E-06	1,3E-05

Nuklidname		Aktiv.	T – DK	T – Akt.	T- Dosis	B γ - DK	B γ – Akt.	B γ – Dosis	B β - DK	B β – Akt.	B β - Dosis	B β + γ - Dosis	I - DK _{max}	I – Akt.	I – A. GW	I - Dosis
A.III T.1	A.VII T.4	[Bq/m ³]	[(mSv/h)/ (Bq/g)]	[Bq/g]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m ²)]	[Bq/m ²]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m ²)]	[Bq/m ²]	[μ Sv/a]	[μ Sv/a]	(μ Sv/a)/ (Bq/l)	[(Bq/m ³)/ (Bq/g)]	[Bq/dm ³]	[μ Sv/a]
Lu-178	Lu-178	2,0E+06	5,1E-06	2,0E+00	9,1E-57	4,4E-13	4,9E+04	7,6E-56	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	7,6E-56	1,3E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Lu-178m	Lu-178m	2,0E+06	2,8E-05	2,0E+00	8,0E-69	5,0E-12	4,9E+04	1,4E-67	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	1,4E-67	9,2E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Lu-179	Lu-179	4,0E+05	6,4E-07	4,0E-01	2,3E-08	1,6E-13	9,8E+03	5,4E-07	2,6E-10	9,8E+03	9,2E-12	5,4E-07	5,2E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Hf-170	Hf-170	2,0E+05	0,0E+00	2,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	4,9E+03	0,0E+00	9,0E-11	4,9E+03	2,0E-08	2,0E-08	1,1E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Hf-172	Hf-172	5,0E+04	4,6E-07	5,0E-02	1,2E-03	6,3E-13	1,2E+03	1,5E-01	1,0E-10	1,2E+03	2,5E-07	1,5E-01	3,0E+01	7,8E-07	3,9E-11	1,2E-09
Hf-173	Hf-173	5,0E+05	7,2E-06	5,0E-01	1,4E-02	2,2E-12	1,2E+04	4,2E-01	9,0E-11	1,2E+04	1,7E-07	4,2E-01	4,1E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Hf-175	Hf-175	2,0E+05	1,0E-05	2,0E-01	9,6E-02	1,8E-12	4,9E+03	1,7E+00	8,6E-11	4,9E+03	8,1E-07	1,7E+00	7,1E+00	4,3E-77	8,6E-81	6,1E-80
Hf-177m	Hf-177n	1,0E+06	2,4E-05	1,0E+00	1,9E-31	5,6E-12	2,5E+04	4,3E-30	0,0E+00	2,5E+04	0,0E+00	4,3E-30	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Hf-178m	Hf-178n	1,0E+04	2,8E-05	1,0E-02	1,4E-02	5,1E-12	2,5E+02	2,5E-01	0,0E+00	2,5E+02	0,0E+00	2,5E-01	0,0E+00	5,1E+01	5,1E-04	0,0E+00
Hf-179m	Hf-179n	7,0E+04	4,2E-06	7,0E-02	1,3E-02	1,3E-12	1,7E+03	4,0E-01	0,0E+00	1,7E+03	0,0E+00	4,0E-01	0,0E+00	1,1E-215	7,6E-220	0,0E+00
Hf-180m	Hf-180m	6,0E+05	3,0E-05	6,0E-01	1,4E-05	4,8E-12	1,5E+04	2,3E-04	0,0E+00	1,5E+04	0,0E+00	2,3E-04	3,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Hf-181	Hf-181	7,0E+04	1,7E-05	7,0E-02	5,6E-02	2,5E-12	1,7E+03	8,1E-01	2,2E-10	1,7E+03	7,0E-07	8,1E-01	1,6E+01	1,2E-127	8,4E-132	1,4E-130
Hf-182	Hf-182	2,0E+04	5,9E-05	2,0E-02	5,9E-02	6,0E-12	4,9E+02	5,9E-01	5,7E-11	4,9E+02	5,6E-08	5,9E-01	9,3E+01	1,7E+02	3,3E-03	3,1E-01
Hf-182m	Hf-182m	2,0E+06	1,0E-06	2,0E+00	1,8E-27	5,4E-13	4,9E+04	9,5E-26	2,2E-10	4,9E+04	3,8E-31	9,5E-26	8,8E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Hf-183	Hf-183	1,0E+06	4,4E-08	1,0E+00	4,1E-28	1,3E-14	2,5E+04	1,2E-26	2,7E-10	2,5E+04	2,5E-30	1,2E-26	2,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Hf-184	Hf-184	2,0E+05	0,0E+00	2,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	4,9E+03	0,0E+00	2,5E-10	4,9E+03	9,7E-13	9,7E-13	1,5E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ta-172	Ta-172	2,0E+06	6,9E-05	2,0E+00	6,5E-43	6,7E-12	4,9E+04	6,2E-42	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	6,2E-42	1,2E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ta-173	Ta-173	4,0E+05	1,3E-05	4,0E-01	1,1E-09	2,0E-12	9,8E+03	1,5E-08	2,3E-10	9,8E+03	1,8E-14	1,5E-08	4,7E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ta-174	Ta-174	1,0E+06	3,0E-05	1,0E+00	1,1E-23	3,5E-12	2,5E+04	1,2E-22	2,7E-10	2,5E+04	9,6E-29	1,2E-22	1,3E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ta-175	Ta-175	6,0E+05	6,1E-08	6,0E-01	5,6E-06	1,1E-14	1,5E+04	9,9E-05	2,7E-10	1,5E+04	2,5E-08	9,9E-05	3,6E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ta-176	Ta-176	4,0E+05	9,1E-05	4,0E-01	1,0E-03	7,0E-12	9,8E+03	7,5E-03	1,0E-10	9,8E+03	1,1E-09	7,5E-03	5,2E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ta-177	Ta-177	9,0E+05	3,6E-07	9,0E-01	5,5E-03	3,7E-13	2,2E+04	5,6E-01	0,0E+00	2,2E+04	0,0E+00	5,6E-01	2,2E-01	1,3E-232	1,2E-235	2,5E-236
Ta-178	Ta-178m	1,0E+06	2,8E-06	1,0E+00	9,2E-13	5,4E-13	2,5E+04	1,7E-11	0,0E+00	2,5E+04	0,0E+00	1,7E-11	1,4E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ta-179	Ta-179	1,0E+06	4,8E-11	1,0E+00	2,4E-06	1,6E-13	2,5E+04	7,8E-01	0,0E+00	2,5E+04	0,0E+00	7,8E-01	2,4E+00	1,7E+01	1,7E-02	4,1E-02
Ta-180m	Ta-180	2,0E+06	1,4E-05	2,0E+00	7,6E-04	2,9E-12	4,9E+04	1,5E-02	2,9E-10	4,9E+04	1,5E-08	1,5E-02	1,2E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ta-182	Ta-182	6,0E+04	5,3E-05	6,0E-02	1,5E-01	4,7E-12	1,5E+03	1,4E+00	2,3E-10	1,5E+03	6,6E-07	1,4E+00	4,1E+01	1,6E-03	9,3E-08	3,8E-06
Ta-182m	Ta-182n	6,0E+06	0,0E+00	6,0E+00	0,0E+00	4,2E-19	1,5E+05	1,4E-105	0,0E+00	1,5E+05	0,0E+00	1,4E-105	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ta-183	Ta-183	6,0E+04	5,2E-06	6,0E-02	9,6E-03	1,6E-12	1,5E+03	2,8E-01	2,7E-10	1,5E+03	4,9E-07	2,8E-01	3,4E+00	3,0E-107	1,8E-111	6,2E-111
Ta-184	Ta-184	2,0E+06	0,0E+00	2,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	2,7E-10	4,9E+04	2,5E-08	2,5E-08	1,4E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ta-185	Ta-185	1,0E+06	2,0E-06	1,0E+00	4,8E-34	7,7E-13	2,5E+04	1,8E-32	0,0E+00	2,5E+04	0,0E+00	1,8E-32	1,8E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ta-186	Ta-186	2,0E+06	0,0E+00	2,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	0,0E+00	8,2E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00

Nuklidname		Aktiv.	T – DK	T – Akt.	T- Dosis	B γ - DK	B γ – Akt.	B γ – Dosis	B β - DK	B β – Akt.	B β - Dosis	B β + γ - Dosis	I - DK _{max}	I – Akt.	I – A. GW	I - Dosis
A.III T.1	A.VII T.4	[Bq/m ³]	[(mSv/h)/ (Bq/g)]	[Bq/g]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m ²)]	[Bq/m ²]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m ²)]	[Bq/m ²]	[μ Sv/a]	[μ Sv/a]	(μ Sv/a)/ (Bq/l)	[(Bq/m ³)/ (Bq/g)]	[Bq/dm ³]	[μ Sv/a]
W-176	W-176	1,0E+06	1,7E-05	1,0E+00	2,3E-11	2,3E-12	2,5E+04	3,2E-10	9,1E-11	2,5E+04	1,2E-16	3,2E-10	2,4E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
W-177	W-177	2,0E+06	2,6E-05	2,0E+00	2,6E-12	3,6E-12	4,9E+04	3,6E-11	1,1E-10	4,9E+04	1,1E-17	3,6E-11	1,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
W-178	W-178	5,0E+05	2,8E-06	5,0E-01	6,2E-02	6,4E-13	1,2E+04	1,4E+00	0,0E+00	1,2E+04	0,0E+00	1,4E+00	5,3E-01	1,9E-01	9,6E-05	5,1E-05
W-179	W-179	3,0E+07	1,1E-09	3,0E+01	3,0E-46	2,9E-13	7,4E+05	8,0E-42	0,0E+00	7,4E+05	0,0E+00	8,0E-42	7,4E-03	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
W-181	W-181	1,0E+06	1,5E-09	1,0E+00	7,6E-05	2,3E-13	2,5E+04	1,1E+00	1,1E-11	2,5E+04	5,3E-07	1,1E+00	4,3E-01	4,9E+01	4,9E-02	2,1E-02
W-185	W-185	2,0E+05	1,3E-10	2,0E-01	1,2E-06	3,1E-16	4,9E+03	2,9E-04	1,3E-10	4,9E+03	1,2E-06	3,0E-04	2,6E+00	2,4E+01	4,7E-03	1,2E-02
W-187	W-187	2,0E+05	1,6E-05	2,0E-01	1,3E-02	1,9E-12	4,9E+03	1,4E-01	2,7E-10	4,9E+03	2,1E-07	1,4E-01	1,2E+00	6,1E-60	1,2E-63	1,5E-63
W-188	W-188	4,0E+04	1,5E-06	4,0E-02	2,9E-03	2,8E-13	9,8E+02	5,3E-02	1,6E-10	9,8E+02	3,0E-07	5,3E-02	1,6E+01	2,0E+01	8,1E-04	1,3E-02
Re-177	Re-177	4,0E+06	2,1E-06	4,0E+00	3,4E-114	3,0E-13	9,8E+04	4,7E-113	2,9E-10	9,8E+04	4,5E-118	4,7E-113	6,6E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Re-178	Re-178	3,0E+06	1,1E-09	3,0E+00	1,9E-124	2,6E-16	7,4E+04	4,3E-123	0,0E+00	7,4E+04	0,0E+00	4,3E-123	7,1E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Re-181	Re-181	2,0E+05	2,7E-05	2,0E-01	1,3E-02	3,5E-12	4,9E+03	1,6E-01	2,9E-10	4,9E+03	1,3E-07	1,6E-01	1,0E+00	1,2E-12	2,5E-16	2,6E-16
Re-182	Re-182	6,0E+04	6,5E-05	6,0E-02	7,5E-02	7,3E-12	1,5E+03	8,3E-01	2,2E-10	1,5E+03	2,5E-07	8,3E-01	3,6E+00	6,0E-03	3,6E-07	1,3E-06
Re-184	Re-184	1,0E+05	3,6E-05	1,0E-01	1,7E-01	3,6E-12	2,5E+03	1,6E+00	9,0E-11	2,5E+03	4,1E-07	1,6E+00	4,5E+00	8,0E+01	8,0E-03	3,6E-02
Re-184m	Re-184m	5,0E+04	2,9E-05	5,0E-02	7,2E-02	3,5E-12	1,2E+03	8,4E-01	7,4E-10	1,2E+03	1,8E-06	8,4E-01	1,7E+01	1,4E+02	7,0E-03	1,2E-01
Re-186	Re-186	5,0E+04	1,1E-07	5,0E-02	1,5E-04	1,3E-13	1,2E+03	1,6E-02	2,7E-10	1,2E+03	3,4E-07	1,6E-02	5,0E+00	1,1E-01	5,6E-06	2,8E-05
Re-186m	Re-186m	3,0E+04	1,2E-07	3,0E-02	1,7E-04	2,1E-13	7,4E+02	3,1E-02	5,7E-10	7,4E+02	8,4E-07	3,1E-02	1,2E+02	1,7E+02	5,0E-03	6,0E-01
Re-187	Re-187	1,0E+07	0,0E+00	1,0E+01	0,0E+00	0,0E+00	2,5E+05	0,0E+00	2,6E-10	2,5E+05	1,3E-04	1,3E-04	2,7E-01	1,7E+02	1,7E+00	4,4E-01
Re-188	Re-188	5,0E+04	1,5E-06	5,0E-02	1,1E-04	2,8E-13	1,2E+03	1,9E-03	2,4E-10	1,2E+03	1,6E-08	1,9E-03	4,2E+00	5,1E-15	2,5E-19	1,1E-18
Re-188m	Re-188m	2,0E+06	2,6E-08	2,0E+00	1,8E-88	4,8E-15	4,9E+04	3,2E-87	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	3,2E-87	1,6E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Re-189	Re-189	9,0E+04	1,2E-06	9,0E-02	4,5E-04	2,9E-13	2,2E+03	1,0E-02	2,7E-10	2,2E+03	9,9E-08	1,0E-02	2,5E+00	4,2E-10	3,8E-14	9,2E-14
Os-180	Os-180	6,0E+06	3,8E-05	6,0E+00	2,6E-73	4,0E-12	1,5E+05	2,7E-72	0,0E+00	1,5E+05	0,0E+00	2,7E-72	3,7E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Os-181	Os-181	1,0E+06	1,9E-06	1,0E+00	7,9E-17	2,4E-13	2,5E+04	9,8E-16	2,7E-10	2,5E+04	1,1E-20	9,8E-16	2,4E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Os-182	Os-182	2,0E+05	2,5E-05	2,0E-01	1,6E-02	3,5E-12	4,9E+03	2,2E-01	9,0E-11	4,9E+03	5,7E-08	2,2E-01	1,7E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Os-185	Os-185	2,0E+05	2,8E-05	2,0E-01	2,7E-01	2,9E-12	4,9E+03	2,8E+00	6,1E-12	4,9E+03	5,8E-08	2,8E+00	9,8E+00	1,2E-04	2,4E-08	2,4E-07
Os-189m	Os-189m	4,0E+06	0,0E+00	4,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	9,8E+04	0,0E+00	0,0E+00	9,8E+04	0,0E+00	0,0E+00	4,9E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Os-191	Os-191	1,0E+05	2,1E-07	1,0E-01	8,9E-04	4,6E-13	2,5E+03	1,9E-01	1,1E-10	2,5E+03	4,7E-07	1,9E-01	4,0E+00	3,3E-35	3,3E-39	1,3E-38
Os-191m	Os-191m	8,0E+05	5,2E-11	8,0E-01	2,0E-08	3,5E-14	2,0E+04	1,3E-03	1,1E-10	2,0E+04	4,3E-08	1,3E-03	3,4E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Os-193	Os-193	1,0E+05	1,8E-06	1,0E-01	1,2E-03	3,3E-13	2,5E+03	2,2E-02	2,4E-10	2,5E+03	1,6E-07	2,2E-02	2,2E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Os-194	Os-194	3,0E+04	3,3E-06	3,0E-02	4,9E-03	4,1E-13	7,4E+02	6,0E-02	5,7E-11	7,4E+02	8,4E-08	6,0E-02	9,5E+01	9,0E+01	2,7E-03	2,6E-01
Ir-182	Ir-182	2,0E+06	1,5E-07	2,0E+00	4,1E-108	2,4E-14	4,9E+04	6,5E-107	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	6,5E-107	1,4E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ir-184	Ir-184	6,0E+05	0,0E+00	6,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	1,5E+04	0,0E+00	5,7E-10	1,5E+04	4,8E-14	4,8E-14	3,5E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00

Nuklidname		Aktiv.	T – DK	T – Akt.	T- Dosis	B γ - DK	B γ – Akt.	B γ – Dosis	B β - DK	B β – Akt.	B β - Dosis	B β + γ - Dosis	I - DK _{max}	I – Akt.	I – A. GW	I - Dosis
A.III T.1	A.VII T.4	[Bq/m ³]	[(mSv/h)/ (Bq/g)]	[Bq/g]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m ²)]	[Bq/m ²]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m ²)]	[Bq/m ²]	[μ Sv/a]	[μ Sv/a]	(μ Sv/a)/ (Bq/l)	[(Bq/m ³)/ (Bq/g)]	[Bq/dm ³]	[μ Sv/a]
Ir-185	Ir-185	4,0E+05	1,7E-07	4,0E-01	5,1E-05	1,8E-14	9,8E+03	5,2E-04	2,4E-10	9,8E+03	6,9E-08	5,2E-04	5,9E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ir-186	Ir-186	2,0E+05	0,0E+00	2,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	4,9E+03	0,0E+00	3,8E-10	4,9E+03	9,6E-08	9,6E-08	8,9E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ir-187	Ir-187	8,0E+05	9,6E-06	8,0E-01	1,2E-03	1,3E-12	2,0E+04	1,6E-02	1,0E-10	2,0E+04	1,2E-08	1,6E-02	2,6E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ir-188	Ir-188	2,0E+05	0,0E+00	2,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	4,9E+03	0,0E+00	2,7E-10	4,9E+03	6,2E-07	6,2E-07	1,1E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ir-189	Ir-189	4,0E+05	5,0E-07	4,0E-01	8,2E-03	4,5E-13	9,8E+03	7,3E-01	5,7E-11	9,8E+03	9,2E-07	7,3E-01	6,7E-01	6,1E-41	2,4E-44	1,6E-44
Ir-190	Ir-190	9,0E+04	1,1E-04	9,0E-02	4,0E-01	1,4E-11	2,2E+03	4,8E+00	1,0E-10	2,2E+03	3,7E-07	4,8E+00	2,6E+00	4,0E-45	3,6E-49	9,6E-49
Ir-190m	Ir-190m	9,0E+05	2,0E-07	9,0E-01	2,5E-26	2,5E-14	2,2E+04	3,0E-25	0,0E+00	2,2E+04	0,0E+00	3,0E-25	2,8E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ir-192	Ir-192	7,0E+04	2,7E-05	7,0E-02	9,2E-02	3,9E-12	1,7E+03	1,3E+00	2,6E-10	1,7E+03	8,6E-07	1,3E+00	5,0E+00	2,7E-06	1,9E-10	9,5E-10
Ir-192m	Ir-192m	7,0E+04	1,2E-09	7,0E-02	0,0E+00	3,0E-16	1,7E+03	0,0E+00	9,0E-11	1,7E+03	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ir-193m	Ir-193m	3,0E+05	4,2E-12	3,0E-01	4,9E-08	2,0E-15	7,4E+03	2,3E-03	0,0E+00	7,4E+03	0,0E+00	2,3E-03	8,4E-01	1,8E-51	5,3E-55	4,4E-55
Ir-194	Ir-194n	6,0E+04	3,3E-06	6,0E-02	9,7E-03	4,0E-13	1,5E+03	1,2E-01	2,4E-10	1,5E+03	6,9E-07	1,2E-01	0,0E+00	6,9E-02	4,1E-06	0,0E+00
Ir-194m	Ir-194	5,0E+04	3,2E-08	5,0E-02	3,4E-06	3,1E-13	1,2E+03	3,3E-03	1,1E-10	1,2E+03	1,2E-08	3,3E-03	3,5E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ir-195	Ir-195	7,0E+05	1,2E-07	7,0E-01	1,1E-13	3,5E-13	1,7E+04	3,4E-11	2,5E-10	1,7E+04	2,4E-16	3,4E-11	2,8E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ir-195m	Ir-195m	4,0E+05	8,8E-10	4,0E-01	2,0E-12	6,0E-15	9,8E+03	1,3E-09	2,6E-10	9,8E+03	5,9E-13	1,3E-09	5,5E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pt-186	Pt-186	1,0E+06	0,0E+00	1,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	2,5E+04	0,0E+00	2,5E-10	2,5E+04	2,5E-18	2,5E-18	2,4E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pt-188	Pt-188	1,0E+05	3,3E-06	1,0E-01	1,3E-02	1,1E-12	2,5E+03	4,3E-01	1,1E-10	2,5E+03	4,4E-07	4,3E-01	2,5E+00	3,2E-53	3,2E-57	8,1E-57
Pt-189	Pt-189	8,0E+05	1,4E-05	8,0E-01	2,1E-03	2,2E-12	2,0E+04	3,2E-02	1,1E-10	2,0E+04	1,7E-08	3,2E-02	2,8E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pt-191	Pt-191	3,0E+05	6,7E-06	3,0E-01	4,1E-02	1,5E-12	7,4E+03	9,0E-01	1,0E-10	7,4E+03	6,1E-07	9,0E-01	7,5E-01	4,5E-195	1,4E-198	1,0E-198
Pt-193	Pt-193	2,0E+06	4,0E-10	2,0E+00	4,0E-05	2,0E-13	4,9E+04	1,9E+00	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	1,9E+00	9,4E-01	1,5E+02	3,1E-01	2,9E-01
Pt-193m	Pt-193m	2,0E+05	1,2E-09	2,0E-01	6,6E-06	6,2E-14	4,9E+03	3,4E-02	5,7E-10	4,9E+03	3,1E-06	3,4E-02	1,3E+00	7,6E-126	1,5E-129	2,0E-129
Pt-195m	Pt-195m	1,0E+05	3,8E-08	1,0E-01	1,0E-04	4,5E-13	2,5E+03	1,2E-01	0,0E+00	2,5E+03	0,0E+00	1,2E-01	1,8E+00	3,1E-133	3,1E-137	5,5E-137
Pt-197	Pt-197	2,0E+05	1,3E-07	2,0E-01	6,1E-05	1,4E-13	4,9E+03	6,4E-03	2,5E-10	4,9E+03	1,2E-07	6,4E-03	1,1E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pt-197m	Pt-197m	9,0E+05	1,3E-06	9,0E-01	1,4E-18	4,1E-13	2,2E+04	4,4E-17	2,7E-10	2,2E+04	2,9E-22	4,4E-17	3,1E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pt-199	Pt-199	2,0E+06	7,2E-06	2,0E+00	2,8E-52	8,8E-13	4,9E+04	3,4E-51	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	3,4E-51	1,2E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pt-200	Pt-200	6,0E+04	1,0E-05	6,0E-02	2,4E-04	1,2E-12	1,5E+03	2,7E-03	2,3E-10	1,5E+03	5,2E-09	2,7E-03	3,4E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Au-193	Au-193	7,0E+05	2,0E-06	7,0E-01	2,3E-03	9,0E-13	1,7E+04	9,9E-02	9,0E-11	1,7E+04	9,9E-08	9,9E-02	2,6E-01	8,2E-07	5,7E-10	1,5E-10
Au-194	Au-194	3,0E+05	4,0E-05	3,0E-01	1,2E-01	4,0E-12	7,4E+03	1,2E+00	5,7E-11	7,4E+03	1,7E-07	1,2E+00	6,3E-01	2,2E-02	6,6E-06	4,1E-06
Au-195	Au-195	4,0E+05	1,7E-08	4,0E-01	3,3E-04	5,2E-13	9,8E+03	1,0E+00	5,7E-11	9,8E+03	1,1E-06	1,0E+00	8,8E-01	1,5E+02	6,1E-02	5,4E-02
Au-198	Au-198	9,0E+04	1,4E-05	9,0E-02	2,5E-02	1,8E-12	2,2E+03	3,2E-01	2,6E-10	2,2E+03	4,5E-07	3,2E-01	2,2E+00	8,6E-01	7,7E-05	1,7E-04
Au-198m	Au-198m	7,0E+04	1,3E-05	7,0E-02	1,5E-02	3,6E-12	1,7E+03	4,1E-01	2,5E-10	1,7E+03	2,9E-07	4,1E-01	3,3E+00	3,5E-01	2,4E-05	8,1E-05
Au-199	Au-199	2,0E+05	1,0E-06	2,0E-01	4,6E-03	5,7E-13	4,9E+03	2,5E-01	8,0E-10	4,9E+03	3,5E-06	2,5E-01	9,8E-01	1,8E+00	3,6E-04	3,5E-04

Nuklidname		Aktiv.	T – DK	T – Akt.	T- Dosis	B γ - DK	B γ – Akt.	B γ – Dosis	B β - DK	B β – Akt.	B β - Dosis	B β + γ - Dosis	I - DK _{max}	I – Akt.	I – A. GW	I - Dosis
A.III T.1	A.VII T.4	[Bq/m ³]	[(mSv/h)/ (Bq/g)]	[Bq/g]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m ²)]	[Bq/m ²]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m ²)]	[Bq/m ²]	[μ Sv/a]	[μ Sv/a]	(μ Sv/a)/ (Bq/l)	[(Bq/m ³)/ (Bq/g)]	[Bq/dm ³]	[μ Sv/a]
Au-200	Au-200	1,0E+06	1,1E-05	1,0E+00	1,1E-33	1,0E-12	2,5E+04	9,7E-33	0,0E+00	2,5E+04	0,0E+00	9,7E-33	1,8E-01	5,6E-173	5,6E-176	1,0E-176
Au-200m	Au-200m	1,0E+05	1,8E-06	1,0E-01	3,5E-04	1,6E-13	2,5E+03	3,0E-03	2,6E-10	2,5E+03	5,0E-08	3,0E-03	2,0E+00	2,4E-06	2,4E-10	4,8E-10
Au-201	Au-201	3,0E+06	1,2E-06	3,0E+00	2,4E-62	1,5E-13	7,4E+04	2,8E-61	0,0E+00	7,4E+04	0,0E+00	2,8E-61	6,7E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Hg-193	Hg-193	3,0E+06	2,9E-07	3,0E+00	4,9E-09	1,3E-13	7,4E+04	2,1E-07	2,4E-10	7,4E+04	4,0E-12	2,1E-07	2,2E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Hg-193m	Hg-193m	8,0E+05	1,0E-09	8,0E-01	2,4E-07	4,5E-16	2,0E+04	1,0E-05	2,7E-10	2,0E+04	6,2E-08	1,0E-05	7,8E-01	1,0E-121	8,3E-125	6,5E-125
Hg-194	Hg-194	1,0E+05	4,0E-05	1,0E-01	2,0E-01	4,1E-12	2,5E+03	2,0E+00	0,0E+00	2,5E+03	0,0E+00	2,0E+00	3,6E+01	1,7E+02	1,7E-02	6,0E-01
Hg-195	Hg-195	3,0E+06	5,5E-06	3,0E+00	1,8E-03	9,1E-13	7,4E+04	2,9E-02	1,0E-10	7,4E+04	3,3E-08	2,9E-02	2,1E-01	3,9E-145	1,2E-147	2,4E-148
Hg-195m	Hg-195m	4,0E+05	2,6E-06	4,0E-01	1,2E-02	4,8E-13	9,8E+03	2,2E-01	2,5E-10	9,8E+03	1,1E-06	2,2E-01	1,3E+00	5,1E-34	2,0E-37	2,7E-37
Hg-197	Hg-197	9,0E+05	2,4E-08	9,0E-01	4,2E-04	4,4E-13	2,2E+04	7,6E-01	1,1E-10	2,2E+04	2,0E-06	7,6E-01	5,4E-01	1,5E-21	1,4E-24	7,5E-25
Hg-197m	Hg-197m	6,0E+05	4,1E-07	6,0E-01	9,7E-04	5,8E-13	1,5E+04	1,3E-01	2,2E-10	1,5E+04	5,0E-07	1,3E-01	1,2E+00	8,2E-60	4,9E-63	6,0E-63
Hg-199m	Hg-199m	3,0E+06	2,6E-06	3,0E+00	9,8E-39	1,1E-12	7,4E+04	3,8E-37	0,0E+00	7,4E+04	0,0E+00	3,8E-37	8,0E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Hg-203	Hg-203	2,0E+05	6,3E-06	2,0E-01	6,0E-02	1,2E-12	4,9E+03	1,2E+00	1,8E-10	4,9E+03	1,7E-06	1,2E+00	2,0E+01	7,2E+00	1,4E-03	2,8E-02
Tl-194	Tl-194	1,0E+07	0,0E+00	1,0E+01	0,0E+00	0,0E+00	2,5E+05	0,0E+00	0,0E+00	2,5E+05	0,0E+00	0,0E+00	1,6E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Tl-194m	Tl-194m	2,0E+06	0,0E+00	2,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	0,0E+00	1,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Tl-195	Tl-195	4,0E+06	5,0E-07	4,0E+00	1,8E-24	8,2E-14	9,8E+04	2,9E-23	2,7E-10	9,8E+04	9,6E-28	2,9E-23	6,9E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Tl-197	Tl-197	4,0E+06	1,5E-05	4,0E+00	1,6E-09	2,0E-12	9,8E+04	2,0E-08	5,7E-11	9,8E+04	5,7E-15	2,0E-08	6,7E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Tl-198	Tl-198	2,0E+06	8,3E-05	2,0E+00	8,8E-05	7,1E-12	4,9E+04	7,3E-04	5,7E-11	4,9E+04	5,9E-11	7,3E-04	1,2E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Tl-198m	Tl-198m	2,0E+06	5,0E-05	2,0E+00	3,9E-14	5,8E-12	4,9E+04	4,4E-13	2,2E-10	4,9E+04	1,6E-19	4,4E-13	1,4E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Tl-199	Tl-199	4,0E+06	5,8E-06	4,0E+00	3,2E-04	1,3E-12	9,8E+04	7,0E-03	9,0E-11	9,8E+04	4,9E-09	7,0E-03	6,1E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Tl-200	Tl-200	7,0E+05	5,2E-05	7,0E-01	1,8E-01	5,2E-12	1,7E+04	1,7E+00	5,7E-11	1,7E+04	1,9E-07	1,7E+00	3,5E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Tl-201	Tl-201	1,0E+06	2,5E-07	1,0E+00	5,3E-03	5,8E-13	2,5E+04	1,2E+00	5,7E-11	2,5E+04	1,2E-06	1,2E+00	2,4E-01	9,9E-180	9,9E-183	2,4E-183
Tl-202	Tl-202	3,0E+05	1,5E-05	3,0E-01	1,8E-01	2,2E-12	7,4E+03	2,6E+00	0,0E+00	7,4E+03	0,0E+00	2,6E+00	1,3E+00	3,2E-44	9,6E-48	1,2E-47
Tl-204	Tl-204	7,0E+04	3,1E-11	7,0E-02	1,1E-07	7,8E-15	1,7E+03	2,7E-03	2,4E-10	1,7E+03	8,2E-07	2,7E-03	3,1E+01	6,3E+01	4,4E-03	1,4E-01
Pb-195m	Pb-195m	3,0E+06	2,8E-08	3,0E+00	1,2E-108	4,7E-15	7,4E+04	1,9E-107	0,0E+00	7,4E+04	0,0E+00	1,9E-107	6,4E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pb-198	Pb-198	2,0E+06	3,1E-05	2,0E+00	3,2E-11	3,9E-12	4,9E+04	3,8E-10	1,1E-10	4,9E+04	1,1E-16	3,8E-10	1,5E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pb-199	Pb-199	3,0E+06	3,8E-05	3,0E+00	1,5E-17	3,9E-12	7,4E+04	1,5E-16	8,0E-11	7,4E+04	3,0E-23	1,5E-16	8,3E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pb-200	Pb-200	4,0E+05	2,0E-05	4,0E-01	2,3E-02	2,9E-12	9,8E+03	3,4E-01	1,5E-10	9,8E+03	1,7E-07	3,4E-01	6,4E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pb-201	Pb-201	9,0E+05	2,7E-05	9,0E-01	1,9E-03	3,4E-12	2,2E+04	2,4E-02	9,7E-11	2,2E+04	6,7E-09	2,4E-02	2,2E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pb-202	Pb-202	3,0E+04	1,5E-05	3,0E-02	2,2E-02	2,6E-12	7,4E+02	3,9E-01	0,0E+00	7,4E+02	0,0E+00	3,9E-01	2,7E+01	1,7E+02	5,0E-03	1,3E-01
Pb-202m	Pb-202m	1,0E+06	8,1E-05	1,0E+00	1,7E-07	7,8E-12	2,5E+04	1,5E-06	7,4E-10	2,5E+04	1,5E-12	1,5E-06	1,6E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pb-203	Pb-203	6,0E+05	6,9E-06	6,0E-01	6,5E-02	1,7E-12	1,5E+04	1,5E+00	5,7E-11	1,5E+04	5,2E-07	1,5E+00	3,5E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00

Nuklidname		Aktiv.	T – DK	T – Akt.	T- Dosis	B γ - DK	B γ – Akt.	B γ – Dosis	B β - DK	B β – Akt.	B β - Dosis	B β + γ - Dosis	I - DK _{max}	I – Akt.	I – A. GW	I - Dosis
A.III T.1	A.VII T.4	[Bq/m³]	[(mSv/h)/ (Bq/g)]	[Bq/g]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m²)]	[Bq/m²]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m²)]	[Bq/m²]	[μ Sv/a]	[μ Sv/a]	(μ Sv/a)/ (Bq/l)	[(Bq/m³)/ (Bq/g)]	[Bq/dm³]	[μ Sv/a]
Pb-205	Pb-205	4,0E+05	3,1E-09	4,0E-01	6,3E-05	3,7E-13	9,8E+03	7,2E-01	0,0E+00	9,8E+03	0,0E+00	7,2E-01	9,0E-01	1,7E+02	6,6E-02	6,0E-02
Pb-209	Pb-209	2,0E+06	0,0E+00	2,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	2,2E-10	4,9E+04	1,6E-13	1,6E-13	1,2E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pb-210	Pb-210	1,0E+02	4,0E-10	1,0E-04	2,0E-09	9,4E-15	2,5E+00	4,6E-06	5,3E-10	2,5E+00	2,6E-09	4,6E-06	1,6E+04	3,2E+01	3,2E-06	5,1E-02
Pb-211	Pb-211	3,0E+05	4,0E-06	3,0E-01	8,3E-46	4,7E-13	7,4E+03	9,7E-45	0,0E+00	7,4E+03	0,0E+00	9,7E-45	6,7E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pb-212	Pb-212	6,0E+03	4,8E-05	6,0E-03	4,8E-05	4,1E-12	1,5E+02	4,0E-04	4,6E-10	1,5E+02	4,4E-10	4,0E-04	3,3E+01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pb-214	Pb-214	3,0E+05	3,6E-05	3,0E-01	4,5E-60	3,4E-12	7,4E+03	4,2E-59	0,0E+00	7,4E+03	0,0E+00	4,2E-59	7,1E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Bi-200	Bi-200	2,0E+06	1,4E-07	2,0E+00	4,6E-46	3,9E-14	4,9E+04	1,2E-44	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	1,2E-44	1,1E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Bi-201	Bi-201	9,0E+05	4,3E-06	9,0E-01	4,2E-16	5,3E-13	2,2E+04	5,1E-15	3,2E-10	2,2E+04	3,1E-20	5,1E-15	2,4E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Bi-202	Bi-202	1,0E+06	9,9E-05	1,0E+00	2,3E-15	9,7E-12	2,5E+04	2,2E-14	7,9E-10	2,5E+04	1,8E-20	2,2E-14	1,4E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Bi-203	Bi-203	3,0E+05	1,8E-06	3,0E-01	1,6E-04	3,2E-13	7,4E+03	2,7E-03	2,7E-10	7,4E+03	2,3E-08	2,7E-03	8,1E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Bi-205	Bi-205	1,0E+05	0,0E+00	1,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	2,5E+03	0,0E+00	2,5E-10	2,5E+03	1,0E-06	1,0E-06	1,5E+00	3,5E-35	3,5E-39	5,1E-39
Bi-206	Bi-206	6,0E+04	1,4E-04	6,0E-02	2,7E-01	1,2E-11	1,5E+03	2,4E+00	5,7E-10	1,5E+03	1,1E-06	2,4E+00	3,1E+00	2,4E-87	1,4E-91	4,5E-91
Bi-207	Bi-207	9,0E+04	6,3E-05	9,0E-02	2,8E-01	5,9E-12	2,2E+03	2,6E+00	1,2E-10	2,2E+03	5,3E-07	2,6E+00	1,1E+01	1,5E+02	1,3E-02	1,5E-01
Bi-210	Bi-210	6,0E+04	2,2E-11	6,0E-02	3,9E-08	2,8E-18	1,5E+03	5,0E-07	2,6E-11	1,5E+03	4,7E-08	5,4E-07	4,3E+02	6,4E-109	3,8E-113	1,7E-110
Bi-210m	Bi-210m	4,0E+03	7,4E-06	4,0E-03	1,5E-03	1,3E-12	9,8E+01	2,6E-02	5,7E-11	9,8E+01	1,1E-08	2,6E-02	2,3E+02	1,7E+02	6,6E-04	1,5E-01
Bi-212	Bi-212	3,0E+05	5,0E-05	3,0E-01	5,3E-27	3,6E-12	7,4E+03	3,8E-26	1,7E-10	7,4E+03	1,8E-32	3,8E-26	6,9E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Bi-213	Bi-213	4,0E+05	4,6E-06	4,0E-01	1,7E-36	5,8E-13	9,8E+03	2,1E-35	2,6E-10	9,8E+03	9,6E-41	2,1E-35	5,4E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Bi-214	Bi-214	6,0E+05	6,8E-05	6,0E-01	5,6E-80	5,2E-12	1,5E+04	4,2E-79	2,6E-10	1,5E+04	2,1E-85	4,2E-79	3,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Po-203	Po-203	3,0E+06	5,9E-05	3,0E+00	6,4E-43	5,2E-12	7,4E+04	5,5E-42	0,0E+00	7,4E+04	0,0E+00	5,5E-42	6,3E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Po-205	Po-205	3,0E+06	6,0E-05	3,0E+00	1,1E-15	5,5E-12	7,4E+04	1,0E-14	9,1E-11	7,4E+04	1,7E-21	1,0E-14	7,6E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Po-207	Po-207	2,0E+06	5,2E-05	2,0E+00	1,5E-04	4,9E-12	4,9E+04	1,4E-03	5,7E-11	4,9E+04	1,6E-10	1,4E-03	9,5E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Po-210	Po-210	3,0E+01	4,2E-10	3,0E-05	6,1E-10	3,7E-17	7,4E-01	5,3E-09	0,0E+00	7,4E-01	0,0E+00	5,3E-09	1,3E+04	1,1E-02	3,3E-10	4,5E-06
At-207	At-207	4,0E+05	8,7E-06	4,0E-01	3,8E-16	8,3E-13	9,8E+03	3,5E-15	3,2E-10	9,8E+03	1,4E-20	3,5E-15	1,7E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
At-211	At-211	7,0E+03	2,7E-07	7,0E-03	2,1E-08	2,6E-13	1,7E+02	2,0E-06	0,0E+00	1,7E+02	0,0E+00	2,0E-06	8,6E+01	3,0E-199	2,1E-204	1,8E-202
Fr-222	Fr-222	1,0E+05	4,3E-06	1,0E-01	6,8E-114	9,3E-13	2,5E+03	1,5E-112	2,6E-10	2,5E+03	4,1E-118	1,5E-112	1,3E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Fr-223	Fr-223	3,0E+04	7,3E-07	3,0E-02	2,6E-76	3,0E-13	7,4E+02	1,0E-74	3,0E-10	7,4E+02	1,0E-79	1,0E-74	7,3E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ra-223	Ra-223	2,0E+02	8,1E-06	2,0E-04	6,5E-05	1,5E-12	4,9E+00	1,2E-03	9,4E-11	4,9E+00	7,4E-10	1,2E-03	1,3E+03	2,1E-47	4,1E-54	5,4E-51
Ra-224	Ra-224	3,0E+02	4,6E-05	3,0E-04	3,4E-04	3,8E-12	7,4E+00	2,8E-03	3,3E-12	7,4E+00	2,4E-11	2,8E-03	6,6E+02	4,2E-150	1,2E-156	8,2E-154
Ra-225	Ra-225	1,0E+02	3,2E-06	1,0E-04	1,4E-05	4,9E-13	2,5E+00	2,0E-04	1,7E-10	2,5E+00	7,1E-10	2,0E-04	1,8E+03	2,0E-36	2,0E-43	3,7E-40
Ra-226	Ra-226	2,0E+02	7,5E-05	2,0E-04	7,5E-04	6,5E-12	4,9E+00	6,3E-03	2,3E-09	4,9E+00	2,3E-08	6,3E-03	1,8E+04	1,6E+02	3,3E-05	5,8E-01
Ra-227	Ra-227	8,0E+05	0,0E+00	8,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	2,0E+04	0,0E+00	2,5E-10	2,0E+04	3,0E-43	3,0E-43	2,5E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00

Nuklidname		Aktiv.	T – DK	T – Akt.	T- Dosis	B γ - DK	B γ – Akt.	B γ – Dosis	B β - DK	B β – Akt.	B β - Dosis	B β + γ - Dosis	I - DK _{max}	I – Akt.	I – A. GW	I - Dosis
A.III T.1	A.VII T.4	[Bq/m ³]	[(mSv/h)/ (Bq/g)]	[Bq/g]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m ²)]	[Bq/m ²]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m ²)]	[Bq/m ²]	[μ Sv/a]	[μ Sv/a]	(μ Sv/a)/ (Bq/l)	[(Bq/m ³)/ (Bq/g)]	[Bq/dm ³]	[μ Sv/a]
Ra-228	Ra-228	3,0E+01	7,6E-05	3,0E-05	1,1E-04	6,5E-12	7,4E-01	9,6E-04	1,6E-09	7,4E-01	2,3E-09	9,6E-04	1,5E+04	8,8E+01	2,6E-06	4,0E-02
Ac-224	Ac-224	9,0E+04	3,6E-06	9,0E-02	5,2E-12	1,4E-12	2,2E+03	2,0E-10	5,7E-11	2,2E+03	8,1E-17	2,0E-10	1,9E+01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ac-225	Ac-225	2,0E+03	4,1E-06	2,0E-03	3,2E-04	6,4E-13	4,9E+01	4,9E-03	2,4E-11	4,9E+01	1,8E-09	4,9E-03	1,0E+02	2,7E-54	5,4E-60	5,5E-58
Ac-226	Ac-226	6,0E+03	3,0E-07	6,0E-03	1,1E-05	7,5E-14	1,5E+02	2,8E-04	2,7E-10	1,5E+02	1,0E-08	2,8E-04	3,1E+01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Ac-227	Ac-227	3,0E+01	1,0E-05	3,0E-05	1,6E-05	2,1E-12	7,4E-01	3,1E-04	9,4E-10	7,4E-01	1,4E-09	3,1E-04	1,5E+04	1,4E+02	4,2E-06	6,3E-02
Ac-228	Ac-228	1,0E+05	4,0E-05	1,0E-01	1,0E-05	3,6E-12	2,5E+03	9,0E-05	3,1E-10	2,5E+03	7,7E-11	9,0E-05	1,6E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Th-226	Th-226	2,0E+05	3,9E-07	2,0E-01	6,3E-55	9,7E-14	4,9E+03	1,5E-53	0,0E+00	4,9E+03	0,0E+00	1,5E-53	9,5E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Th-227	Th-227	3,0E+01	6,4E-06	3,0E-05	8,4E-06	1,3E-12	7,4E-01	1,7E-04	2,7E-11	7,4E-01	3,5E-11	1,7E-04	6,7E+02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Th-228	Th-228	2,0E+02	5,9E-05	2,0E-04	5,9E-04	4,9E-12	4,9E+00	4,8E-03	2,2E-09	4,9E+00	2,2E-08	4,8E-03	2,1E+03	3,6E-77	7,1E-84	1,5E-80
Th-229	Th-229	8,0E+01	7,7E-06	8,0E-05	3,1E-05	1,6E-12	2,0E+00	6,1E-04	1,3E-09	2,0E+00	5,1E-09	6,1E-04	6,4E+03	1,6E+02	1,3E-05	8,0E-02
Th-230	Th-230	2,0E+02	3,2E-06	2,0E-04	3,2E-05	2,8E-13	4,9E+00	2,7E-04	1,1E-10	4,9E+00	1,1E-09	2,7E-04	2,1E+03	1,6E+02	3,3E-05	7,1E-02
Th-231	Th-231	2,0E+05	1,3E-08	2,0E-01	1,2E-05	8,2E-14	4,9E+03	7,4E-03	2,2E-10	4,9E+03	2,0E-07	7,4E-03	8,4E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Th-232	Th-232	2,0E+02	1,0E-04	2,0E-04	1,0E-03	8,6E-12	4,9E+00	8,5E-03	3,7E-09	4,9E+00	3,6E-08	8,5E-03	1,8E+04	1,7E+02	3,3E-05	5,9E-01
Th-234	Th-234	2,0E+04	7,9E-07	2,0E-02	7,1E-04	1,2E-13	4,9E+02	1,1E-02	1,1E-10	4,9E+02	9,6E-08	1,1E-02	9,7E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pa-227	Pa-227	2,0E+05	1,0E-06	2,0E-01	4,8E-44	1,6E-13	4,9E+03	7,2E-43	0,0E+00	4,9E+03	0,0E+00	7,2E-43	1,2E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pa-228	Pa-228	7,0E+04	5,2E-05	7,0E-02	1,2E-02	5,2E-12	1,7E+03	1,1E-01	1,5E-10	1,7E+03	3,2E-08	1,1E-01	5,9E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pa-230	Pa-230	3,0E+04	1,3E-08	3,0E-02	1,7E-05	3,3E-15	7,4E+02	4,2E-04	2,4E-10	7,4E+02	3,0E-07	4,2E-04	1,5E+01	7,6E-31	2,3E-35	3,4E-34
Pa-231	Pa-231	7,0E+01	1,1E-05	7,0E-05	3,9E-05	2,2E-12	1,7E+00	7,6E-04	9,1E-10	1,7E+00	3,1E-09	7,6E-04	2,0E+04	1,7E+02	1,2E-05	2,3E-01
Pa-232	Pa-232	1,0E+05	3,9E-05	1,0E-01	2,8E-02	3,6E-12	2,5E+03	2,6E-01	7,4E-10	2,5E+03	5,3E-07	2,6E-01	1,7E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pa-233	Pa-233	9,0E+04	5,4E-06	9,0E-02	2,2E-02	1,1E-12	2,2E+03	4,6E-01	3,0E-10	2,2E+03	1,2E-06	4,6E-01	2,4E+00	1,7E-19	1,5E-23	3,7E-23
Pa-234	Pa-234	2,0E+05	5,7E-05	2,0E-01	7,3E-05	5,6E-12	4,9E+03	7,0E-04	8,9E-10	4,9E+03	1,1E-09	7,0E-04	1,1E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
U-230	U-230	1,0E+03	4,0E-07	1,0E-03	1,8E-05	1,0E-13	2,5E+01	4,5E-04	0,0E+00	2,5E+01	0,0E+00	4,5E-04	2,2E+02	1,2E-25	1,2E-31	2,8E-29
U-231	U-231	3,0E+05	0,0E+00	3,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	7,4E+03	0,0E+00	0,0E+00	7,4E+03	0,0E+00	0,0E+00	6,8E-01	4,7E-130	1,4E-133	9,7E-134
U-232	U-232	4,0E+02	5,5E-05	4,0E-04	1,1E-03	4,6E-12	9,8E+00	9,0E-03	2,6E-09	9,8E+00	5,1E-08	9,0E-03	3,0E+03	1,6E+02	6,3E-05	1,9E-01
U-233	U-233	2,0E+03	7,5E-08	2,0E-03	7,5E-06	1,6E-14	4,9E+01	1,6E-04	1,2E-11	4,9E+01	1,2E-09	1,6E-04	2,2E+02	1,7E+02	3,3E-04	7,3E-02
U-234	U-234	2,0E+03	2,4E-10	2,0E-03	2,4E-08	7,0E-16	4,9E+01	6,9E-06	7,9E-13	4,9E+01	7,8E-11	6,9E-06	1,7E+02	1,7E+02	3,3E-04	5,7E-02
U-235	U-235	3,0E+03	2,3E-06	3,0E-03	3,4E-04	1,0E-12	7,4E+01	1,5E-02	4,7E-10	7,4E+01	6,9E-08	1,5E-02	1,8E+02	1,7E+02	5,0E-04	9,1E-02
U-236	U-236	3,0E+03	1,7E-07	3,0E-03	2,6E-05	1,5E-14	7,4E+01	2,2E-04	4,6E-13	7,4E+01	6,8E-11	2,2E-04	1,5E+02	1,7E+02	5,0E-04	7,4E-02
U-237	U-237	1,0E+05	1,2E-06	1,0E-01	4,2E-03	8,1E-13	2,5E+03	2,7E-01	2,2E-10	2,5E+03	7,3E-07	2,7E-01	1,8E+00	9,5E-81	9,5E-85	1,8E-84
U-238	U-238	3,0E+03	8,0E-07	3,0E-03	1,2E-04	1,2E-13	7,4E+01	1,8E-03	1,0E-09	7,4E+01	1,5E-07	1,8E-03	1,5E+02	1,7E+02	5,0E-04	7,6E-02
U-239	U-239	3,0E+06	4,6E-07	3,0E+00	2,4E-69	3,0E-13	7,4E+04	1,5E-67	2,4E-10	7,4E+04	1,2E-72	1,5E-67	8,7E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00

Nuklidname		Aktiv.	T – DK	T – Akt.	T- Dosis	B γ - DK	B γ – Akt.	B γ – Dosis	B β - DK	B β – Akt.	B β - Dosis	B β + γ - Dosis	I - DK _{max}	I – Akt.	I – A. GW	I - Dosis
A.III T.1	A.VII T.4	[Bq/m ³]	[(mSv/h)/ (Bq/g)]	[Bq/g]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m ²)]	[Bq/m ²]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m ²)]	[Bq/m ²]	[μ Sv/a]	[μ Sv/a]	(μ Sv/a)/ (Bq/l)	[(Bq/m ³)/ (Bq/g)]	[Bq/dm ³]	[μ Sv/a]
U-240	U-240	7,0E+04	1,3E-05	7,0E-02	6,1E-04	1,3E-12	1,7E+03	5,8E-03	2,1E-10	1,7E+03	9,5E-09	5,8E-03	2,8E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Np-232	Np-232	1,0E+07	4,4E-05	1,0E+01	4,3E-107	4,9E-12	2,5E+05	4,7E-106	1,1E-10	2,5E+05	1,1E-112	4,7E-106	1,9E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Np-233	Np-233	4,0E+07	3,7E-07	4,0E+01	1,3E-44	5,4E-13	9,8E+05	1,9E-42	0,0E+00	9,8E+05	0,0E+00	1,9E-42	4,5E-03	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Np-234	Np-234	1,0E+05	4,7E-05	1,0E-01	1,3E-01	3,8E-12	2,5E+03	1,1E+00	5,7E-11	2,5E+03	1,6E-07	1,1E+00	1,4E+00	4,0E-124	4,0E-128	5,4E-128
Np-235	Np-235	1,0E+06	2,8E-09	1,0E+00	1,4E-04	1,5E-14	2,5E+04	7,5E-02	0,0E+00	2,5E+04	0,0E+00	7,5E-02	2,7E-01	5,7E+00	5,7E-03	1,6E-03
Np-236	Np-236m	5,0E+03	7,5E-07	5,0E-03	1,3E-05	8,8E-13	1,2E+02	1,4E-03	2,4E-10	1,2E+02	3,9E-09	1,4E-03	8,7E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Np-237	Np-237	4,0E+02	5,4E-06	4,0E-04	1,1E-04	1,3E-12	9,8E+00	2,5E-03	6,4E-10	9,8E+00	1,3E-08	2,5E-03	9,2E+02	1,7E+02	6,6E-05	6,1E-02
Np-238	Np-238	9,0E+04	2,8E-05	9,0E-02	3,8E-02	2,3E-12	2,2E+03	3,1E-01	2,1E-10	2,2E+03	2,7E-07	3,1E-01	2,2E+00	3,2E-258	2,9E-262	6,4E-262
Np-239	Np-239	1,0E+05	2,5E-06	1,0E-01	4,2E-03	1,0E-12	2,5E+03	1,7E-01	4,1E-10	2,5E+03	6,9E-07	1,7E-01	1,9E+00	4,0E-232	4,0E-236	7,8E-236
Np-240	Np-240	1,0E+06	4,9E-05	1,0E+00	1,1E-24	5,0E-12	2,5E+04	1,1E-23	6,2E-10	2,5E+04	1,3E-29	1,1E-23	1,9E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pu-234	Pu-234	4,0E+05	2,9E-06	4,0E-01	5,9E-05	2,4E-13	9,8E+03	4,7E-04	0,0E+00	9,8E+03	0,0E+00	4,7E-04	4,5E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pu-235	Pu-235	4,0E+07	0,0E+00	4,0E+01	0,0E+00	0,0E+00	9,8E+05	0,0E+00	2,5E-10	9,8E+05	1,3E-66	1,3E-66	4,7E-03	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pu-236	Pu-236	4,0E+02	2,1E-06	4,0E-04	4,2E-05	1,7E-13	9,8E+00	3,4E-04	9,6E-11	9,8E+00	1,9E-09	3,4E-04	9,4E+02	5,6E-04	2,2E-10	2,1E-07
Pu-237	Pu-237	8,0E+05	7,4E-08	8,0E-01	2,8E-03	3,2E-13	2,0E+04	1,2E+00	0,0E+00	2,0E+04	0,0E+00	1,2E+00	3,1E-01	2,2E-119	1,7E-122	5,3E-123
Pu-238	Pu-238	2,0E+02	3,1E-11	2,0E-04	3,1E-10	1,4E-16	4,9E+00	1,3E-07	1,1E-11	4,9E+00	1,1E-10	1,4E-07	1,6E+03	1,1E+02	2,2E-05	3,6E-02
Pu-239	Pu-239	2,0E+02	9,6E-10	2,0E-04	9,6E-09	3,6E-16	4,9E+00	3,5E-07	4,3E-14	4,9E+00	4,2E-13	3,5E-07	1,7E+03	1,7E+02	3,3E-05	5,7E-02
Pu-240	Pu-240	2,0E+02	2,6E-11	2,0E-04	2,6E-10	1,5E-16	4,9E+00	1,5E-07	9,2E-18	4,9E+00	9,0E-17	1,5E-07	1,7E+03	1,6E+02	3,3E-05	5,6E-02
Pu-241	Pu-241	2,0E+04	2,0E-11	2,0E-02	2,0E-08	4,0E-15	4,9E+02	3,9E-04	1,6E-13	4,9E+02	1,6E-10	3,9E-04	6,7E+01	1,3E+01	2,6E-04	1,8E-02
Pu-242	Pu-242	2,0E+02	7,6E-09	2,0E-04	7,6E-08	7,6E-16	4,9E+00	7,4E-07	1,6E-17	4,9E+00	1,6E-16	7,4E-07	1,6E+03	1,7E+02	3,3E-05	5,4E-02
Pu-243	Pu-243	9,0E+05	9,9E-08	9,0E-01	2,1E-08	1,5E-13	2,2E+04	3,2E-06	2,3E-10	2,2E+04	4,8E-11	3,2E-06	2,2E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pu-244	Pu-244	2,0E+02	1,4E-05	2,0E-04	1,4E-04	1,3E-12	4,9E+00	1,3E-03	4,7E-10	4,9E+00	4,6E-09	1,3E-03	1,7E+03	1,7E+02	3,3E-05	5,5E-02
Pu-245	Pu-245	1,0E+05	1,5E-05	1,0E-01	2,2E-04	1,9E-12	2,5E+03	2,8E-03	2,7E-10	2,5E+03	4,1E-09	2,8E-03	1,8E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Pu-246	Pu-246	3,0E+04	4,5E-05	3,0E-02	5,4E-02	4,3E-12	7,4E+02	5,0E-01	1,7E-10	7,4E+02	2,0E-07	5,0E-01	8,1E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Am-237	Am-237	5,0E+06	8,8E-11	5,0E+00	4,5E-27	3,9E-16	1,2E+05	2,0E-24	2,5E-10	1,2E+05	1,3E-26	2,0E-24	3,7E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Am-238	Am-238	4,0E+06	3,5E-05	4,0E+00	4,9E-16	3,5E-12	9,8E+04	4,7E-15	0,0E+00	9,8E+04	0,0E+00	4,7E-15	5,4E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Am-239	Am-239	3,0E+05	0,0E+00	3,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	7,4E+03	0,0E+00	5,7E-11	7,4E+03	5,1E-09	5,1E-09	5,6E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Am-240	Am-240	2,0E+05	4,2E-05	2,0E-01	1,3E-01	3,9E-12	4,9E+03	1,2E+00	1,1E-10	4,9E+03	3,4E-07	1,2E+00	1,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Am-241	Am-241	2,0E+02	1,6E-09	2,0E-04	1,6E-08	1,3E-13	4,9E+00	1,3E-04	5,5E-12	4,9E+00	5,4E-11	1,3E-04	1,5E+03	1,5E+02	3,0E-05	4,6E-02
Am-242	Am-242	2,0E+05	2,6E-08	2,0E-01	5,8E-06	8,7E-14	4,9E+03	1,9E-03	1,9E-10	4,9E+03	4,3E-08	1,9E-03	1,8E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Am-242m	Am-242m	3,0E+02	1,7E-07	3,0E-04	2,5E-06	1,1E-13	7,4E+00	1,5E-04	3,9E-10	7,4E+00	5,7E-09	1,5E-04	2,0E+03	1,3E+02	3,8E-05	7,7E-02
Am-243	Am-243	3,0E+02	2,5E-06	3,0E-04	3,7E-05	1,4E-12	7,4E+00	2,0E-03	8,3E-10	7,4E+00	1,2E-08	2,0E-03	1,5E+03	1,6E+02	4,9E-05	7,3E-02

Nuklidname		Aktiv.	T – DK	T – Akt.	T- Dosis	B γ - DK	B γ – Akt.	B γ – Dosis	B β - DK	B β – Akt.	B β - Dosis	B β + γ - Dosis	I - DK _{max}	I – Akt.	I – A. GW	I - Dosis
A.III T.1	A.VII T.4	[Bq/m ³]	[(mSv/h)/ (Bq/g)]	[Bq/g]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m ²)]	[Bq/m ²]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m ²)]	[Bq/m ²]	[μ Sv/a]	[μ Sv/a]	(μ Sv/a)/ (Bq/l)	[(Bq/m ³)/ (Bq/g)]	[Bq/dm ³]	[μ Sv/a]
Am-244	Am-244	2,0E+05	3,4E-05	2,0E-01	8,3E-04	3,3E-12	4,9E+03	7,8E-03	2,7E-10	4,9E+03	6,6E-09	7,8E-03	1,2E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Am-244m	Am-244m	2,0E+06	4,4E-07	2,0E+00	5,7E-63	3,7E-14	4,9E+04	4,6E-62	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	4,6E-62	8,0E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Am-245	Am-245	1,0E+06	4,6E-07	1,0E+00	3,1E-15	1,5E-13	2,5E+04	1,0E-13	2,7E-10	2,5E+04	1,8E-18	1,0E-13	1,5E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Am-246	Am-246	1,0E+06	2,7E-05	1,0E+00	3,5E-41	3,2E-12	2,5E+04	4,0E-40	0,0E+00	2,5E+04	0,0E+00	4,0E-40	1,4E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Am-246m	Am-246m	2,0E+06	4,4E-05	2,0E+00	2,1E-63	3,7E-12	4,9E+04	1,7E-62	0,0E+00	4,9E+04	0,0E+00	1,7E-62	8,4E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Cm-238	Cm-238	1,0E+06	1,4E-05	1,0E+00	7,0E-12	1,4E-12	2,5E+04	6,8E-11	5,7E-11	2,5E+04	2,8E-17	6,8E-11	2,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Cm-240	Cm-240	4,0E+03	4,9E-12	4,0E-03	8,9E-10	7,7E-18	9,8E+01	1,4E-07	0,0E+00	9,8E+01	0,0E+00	1,4E-07	7,4E+01	1,7E-200	6,7E-206	5,0E-204
Cm-241	Cm-241	8,0E+04	1,5E-05	8,0E-02	5,5E-02	2,4E-12	2,0E+03	8,5E-01	7,9E-10	2,0E+03	2,9E-06	8,5E-01	3,2E+00	5,2E-165	4,1E-169	1,3E-168
Cm-242	Cm-242	2,0E+03	9,7E-11	2,0E-03	9,5E-09	1,0E-16	4,9E+01	9,6E-07	5,3E-14	4,9E+01	5,1E-12	9,6E-07	2,2E+02	1,1E-32	2,2E-38	4,9E-36
Cm-243	Cm-243	3,0E+02	1,9E-06	3,0E-04	2,9E-05	7,4E-13	7,4E+00	1,1E-03	1,9E-10	7,4E+00	2,9E-09	1,1E-03	1,3E+03	4,9E+01	1,5E-05	1,9E-02
Cm-244	Cm-244	3,0E+02	1,0E-10	3,0E-04	1,5E-09	8,0E-17	7,4E+00	1,2E-07	1,9E-20	7,4E+00	2,9E-19	1,2E-07	1,2E+03	2,2E+01	6,6E-06	7,8E-03
Cm-245	Cm-245	2,0E+02	4,0E-07	2,0E-04	4,0E-06	5,8E-13	4,9E+00	5,7E-04	1,9E-10	4,9E+00	1,9E-09	5,7E-04	1,7E+03	1,6E+02	3,3E-05	5,6E-02
Cm-246	Cm-246	2,0E+02	1,8E-15	2,0E-04	1,8E-14	5,6E-17	4,9E+00	5,5E-08	1,5E-21	4,9E+00	1,5E-20	5,5E-08	1,5E+03	1,6E+02	3,3E-05	4,9E-02
Cm-247	Cm-247	3,0E+02	1,1E-05	3,0E-04	1,6E-04	1,6E-12	7,4E+00	2,3E-03	2,5E-10	7,4E+00	3,7E-09	2,3E-03	1,4E+03	1,7E+02	5,0E-05	6,9E-02
Cm-248	Cm-248	6,0E+01	1,9E-07	6,0E-05	5,6E-07	1,9E-14	1,5E+00	5,6E-06	3,7E-16	1,5E+00	1,1E-15	5,6E-06	5,7E+03	1,7E+02	9,9E-06	5,7E-02
Cm-249	Cm-249	2,0E+06	7,4E-07	2,0E+00	1,5E-26	8,1E-14	4,9E+04	1,7E-25	2,6E-10	4,9E+04	5,4E-30	1,7E-25	8,5E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Cm-250	Cm-250	1,0E+01	1,4E-05	1,0E-05	6,9E-06	1,3E-12	2,5E-01	6,4E-05	0,0E+00	2,5E-01	0,0E+00	6,4E-05	3,2E+04	1,6E+02	1,6E-06	5,2E-02
Bk-245	Bk-245	1,0E+05	2,7E-06	1,0E-01	8,2E-03	1,3E-12	2,5E+03	3,9E-01	1,7E-10	2,5E+03	5,0E-07	3,9E-01	1,3E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Bk-246	Bk-246	2,0E+05	0,0E+00	2,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	4,9E+03	0,0E+00	2,5E-10	4,9E+03	6,0E-07	6,0E-07	8,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Bk-247	Bk-247	1,0E+02	2,5E-06	1,0E-04	1,2E-05	9,9E-13	2,5E+00	4,8E-04	1,1E-10	2,5E+00	5,6E-10	4,8E-04	3,9E+03	1,6E+02	1,6E-05	6,3E-02
Bk-249	Bk-249	4,0E+04	2,7E-08	4,0E-02	5,4E-05	4,0E-15	9,8E+02	7,7E-04	7,9E-14	9,8E+02	1,5E-10	7,7E-04	1,8E+01	4,2E-16	1,7E-20	3,0E-19
Bk-250	Bk-250	6,0E+05	4,0E-05	6,0E-01	7,5E-09	3,2E-12	1,5E+04	6,0E-08	2,7E-10	1,5E+04	5,1E-14	6,0E-08	3,2E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Cf-244	Cf-244	9,0E+05	0,0E+00	9,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	2,2E+04	0,0E+00	0,0E+00	2,2E+04	0,0E+00	0,0E+00	2,4E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Cf-246	Cf-246	2,0E+04	5,2E-11	2,0E-02	9,6E-09	1,4E-16	4,9E+02	2,5E-06	0,0E+00	4,9E+02	0,0E+00	2,5E-06	1,1E+01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00

Nuklidname		Aktiv.	T – DK	T – Akt.	T- Dosis	B γ - DK	B γ – Akt.	B γ – Dosis	B β - DK	B β – Akt.	B β - Dosis	B β + γ - Dosis	I - DK _{max}	I – Akt.	I – A. GW	I - Dosis
A.III T.1	A.VII T.4	[Bq/m ³]	[(mSv/h)/ (Bq/g)]	[Bq/g]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m ²)]	[Bq/m ²]	[μ Sv/a]	[(Sv/h)/ (Bq/m ²)]	[Bq/m ²]	[μ Sv/a]	[μ Sv/a]	(μ Sv/a)/ (Bq/l)	[(Bq/m ³)/ (Bq/g)]	[Bq/dm ³]	[μ Sv/a]
Cf-248	Cf-248	6,0E+02	1,8E-11	6,0E-04	5,3E-10	1,7E-16	1,5E+01	4,9E-07	6,1E-12	1,5E+01	1,8E-10	4,9E-07	6,2E+02	2,1E-15	1,3E-21	7,9E-19
Cf-249	Cf-249	1,0E+02	1,1E-05	1,0E-04	5,4E-05	1,6E-12	2,5E+00	7,7E-04	3,2E-11	2,5E+00	1,6E-10	7,7E-04	3,7E+03	1,5E+02	1,5E-05	5,6E-02
Cf-250	Cf-250	2,0E+02	5,7E-11	2,0E-04	5,7E-10	1,1E-15	4,9E+00	1,1E-06	4,8E-13	4,9E+00	4,7E-12	1,1E-06	2,3E+03	1,0E+01	2,1E-06	4,8E-03
Cf-251	Cf-251	1,0E+02	1,2E-06	1,0E-04	6,0E-06	6,9E-13	2,5E+00	3,4E-04	2,1E-10	2,5E+00	1,0E-09	3,4E-04	3,8E+03	1,6E+02	1,6E-05	6,0E-02
Cf-252	Cf-252	2,0E+02	2,1E-11	2,0E-04	2,0E-10	1,0E-15	4,9E+00	1,0E-06	3,9E-13	4,9E+00	3,8E-12	1,0E-06	2,0E+03	2,1E-04	4,1E-11	8,2E-08
Cf-253	Cf-253	9,0E+03	6,4E-09	9,0E-03	2,5E-06	1,4E-15	2,2E+02	5,2E-05	1,5E-10	2,2E+02	5,7E-08	5,2E-05	3,8E+01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Cf-254	Cf-254	8,0E+01	0,0E+00	8,0E-05	0,0E+00	0,0E+00	2,0E+00	0,0E+00	5,0E-09	2,0E+00	1,9E-08	1,9E-08	3,3E+03	2,8E-89	2,2E-96	7,3E-93
Es-250	Es-250	4,0E+06	5,7E-15	4,0E+00	9,7E-13	1,1E-19	9,8E+04	1,8E-09	2,7E-10	9,8E+04	4,6E-08	4,8E-08	2,3E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Es-251	Es-251	5,0E+05	0,0E+00	5,0E-01	0,0E+00	0,0E+00	1,2E+04	0,0E+00	0,0E+00	1,2E+04	0,0E+00	0,0E+00	4,1E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Es-253	Es-253	5,0E+03	1,1E-08	5,0E-03	2,5E-06	2,8E-15	1,2E+02	6,0E-05	0,0E+00	1,2E+02	0,0E+00	6,0E-05	4,1E+01	1,7E-264	8,5E-270	3,5E-268
Es-254	Es-254	6,0E+02	4,0E-05	6,0E-04	1,2E-03	3,5E-12	1,5E+01	1,0E-02	7,0E-11	1,5E+01	2,0E-09	1,0E-02	6,4E+02	7,0E-19	4,2E-25	2,7E-22
Es-254m	Es-254m	2,0E+04	9,6E-08	2,0E-02	2,0E-05	9,2E-15	4,9E+02	1,9E-04	2,5E-10	4,9E+02	5,2E-08	1,9E-04	1,4E+01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Fm-252	Fm-252	2,0E+04	2,2E-11	2,0E-02	2,0E-09	2,6E-16	4,9E+02	2,3E-06	0,0E+00	4,9E+02	0,0E+00	2,3E-06	1,0E+01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Fm-253	Fm-253	4,0E+04	8,4E-10	4,0E-02	7,3E-07	2,3E-16	9,8E+02	1,9E-05	0,0E+00	9,8E+02	0,0E+00	1,9E-05	9,2E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Fm-254	Fm-254	2,0E+05	3,6E-11	2,0E-01	2,6E-15	1,8E-15	4,9E+03	1,2E-11	0,0E+00	4,9E+03	0,0E+00	1,2E-11	1,2E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Fm-255	Fm-255	3,0E+04	4,2E-09	3,0E-02	3,0E-07	2,2E-14	7,4E+02	1,5E-04	1,0E-10	7,4E+02	7,3E-09	1,5E-04	7,1E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Fm-257	Fm-257	9,0E+02	1,1E-06	9,0E-04	4,9E-05	6,7E-13	2,2E+01	2,9E-03	1,8E-10	2,2E+01	7,9E-09	2,9E-03	3,6E+02	1,7E-53	1,5E-59	5,5E-57
Md-257	Md-257	3,0E+05	2,0E-09	3,0E-01	5,0E-10	1,2E-15	7,4E+03	2,9E-08	0,0E+00	7,4E+03	0,0E+00	2,9E-08	1,3E+00	1,3E-24	3,8E-28	5,0E-28
Md-258	Md-258	1,0E+03	5,1E-06	1,0E-03	2,4E-04	4,4E-13	2,5E+01	2,1E-03	0,0E+00	2,5E+01	0,0E+00	2,1E-03	2,5E+02	1,3E+02	1,3E-04	3,2E-02

5.3.4 Interpretation der Ergebnisse

Die in Tabelle 5.7 gezeigten Ergebnisse der Dosisberechnungen für das in Abschnitt 5.3 beschriebene radiologische Modell lassen folgende Interpretation zu:

- Bei Einhaltung der volumenbezogenen Aktivitäten im freizugebenden Wasser gem. Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV ist im Falle der Verregnung von bis zu 100 m³ im Kalenderjahr für alle Radionuklide die Einhaltung des Dosisrichtwerts von 10 µSv im Kalenderjahr nachgewiesen.
- Diese Aussage gilt auch für die Möglichkeit, dass das Wasser nicht verregnet, sondern direkt in die Kanalisation eingeleitet oder an eine Kläranlage abgegeben wird.
- Die hier beschriebene Vorgehensweise stellt sicher, dass für das freigegebene Wasser keine Möglichkeit der Aufkonzentration besteht, woraus sich eine nachträgliche Erhöhung der Konzentration der Radionuklide im Wasser ergeben könnte.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Werte in Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV als Freigabewerte für die „uneingeschränkte“ Freigabe von Wasser und wässrigen Flüssigkeiten geeignet sind, wenn die freizugebende Menge 100 m³ im Kalenderjahr nicht übersteigt und sichergestellt wird, dass das Wasser verregnet oder gleichwertig verwendet oder in eine Kläranlage oder die Kanalisation eingeleitet wird. Daher ist die Einschränkung in Anl. IV Teil A Nr. 2 StrlSchV, wonach diese Werte nur für Einzelfallbetrachtungen als Höchstgrenzen anzusehen wären (vgl. Abschnitt 4.6.1), nicht mehr notwendig, die Werte sind vielmehr unmittelbar als Freigabewerte in der genannten Weise geeignet.

5.3.5 Vergleich der Freigabewerte für wässrige Flüssigkeiten mit den neuen Freigrenzen

Für einen Vergleich der in der vorliegenden radiologischen Modellierung verwendeten Werte gemäß Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV mit den Werten nach Anh. VII Tab. A Teil 1 der EU-Grundnormen [EUR 14] werden zunächst die Werte der Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 aus der Einheit [Bq/m³] in massenbezogene Aktivitäten in [Bq/g] umgerechnet, wobei als Dichte des flüssigen Mediums der Wert 1 g/cm³ angewendet wird. Für Radionuklide, für die in Anh. VII Tab. A Teil 1 der EU-Grundnormen kein Wert vorliegt, wurden im Rahmen eines BfS-Forschungsvorhabens Werte mittels der identischen Vorgehensweise berechnet [BS 15]. Diese Werte wurden für den hier durchgeführten Vergleich herangezogen.

Werden die sich ergebenden massenbezogenen Aktivitätswerte der Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 mit den (ergänzten) Werten nach Anh. VII Tab. A Teil 1 der EU-Grundnormen verglichen, so ergeben sich die beiden in Tabelle 5.8 aufgeführten Nuklide, für die die Werte der EU-Grundnormen geringfügig kleiner sind.

Tabelle 5.8: Ergebnis des Vergleichs der Werte gemäß Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV (nach Umrechnung mit Dichte 1 g/cm³) mit den Werten nach Anh. VII Tab. A Teil 1 der EU-Grundnormen

Nuklid	Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV	Anh. VII Tab. A Teil 1 EU-BSS	Halbwertszeit	Ergebnis
Mn-54	2·10 ⁵ Bq/m ³ 0,2 Bq/g	0,1 Bq/g (ungerundet 0,15 Bq/g)	312 d	kompatibel
Tb-149	4·10 ⁵ Bq/m ³ 0,4 Bq/g	0,1 Bq/g (begrenzt durch Haut-Szenario, alle übrigen Szenarien liefern mind. 3 Größenordnungen höhere Freigabewerte)	4,1 h	kompatibel in Anbetracht der kurzen Halbwertszeit

Im Falle von Mn-54 liegt unter Berücksichtigung der Rundung der Werte keine Inkompatibilität vor. Bei Tb-149 wird diese nur durch die Tatsache begründet, dass aufgrund der kurzen Halbwertszeit dieses Nuklids das Szenario der Hautkontamination (vgl. [IAE 05] und die ausführliche Darstellung in [BS 15]) führend ist, welche zu restriktiven Werten führt. Ein solches Szenario ist im Rahmen der im vorliegenden Bericht durchgeführten Modellierung allerdings vollständig auszuschließen. In Anbetracht der sehr kurzen Halbwertszeit dieses Nuklids ist somit auch für dieses Nuklid Kompatibilität beider Werte gegeben.

Da sich für alle anderen Radionuklide aus den Werten der Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV unmittelbar kleinere oder höchstens gleich große Werte wie in Anh. VII Tab. A Teil 1 der EU-Grundnormen ergeben und da durch das hier untersuchte Verregnen (oder alternativ die Einleitung in die Kanalisation) die Vermeidung jeder Aufkonzentration sichergestellt ist, ist Kompatibilität zwischen beiden Wertesätzen gegeben.

6. EMPFEHLUNG ZUR VORGEHENSWEISE

In der vorliegenden radiologischen Betrachtung der Freigabe von Flüssigkeiten wurden die folgenden Schlussfolgerungen gezogen:

- Für Öle und organische Flüssigkeiten, die zur Verwertung freigegeben werden sollen, eignen sich die Freigabewerte für die uneingeschränkte Freigabe. Dies sind gegenwärtig die Werte gemäß Anl. III Tab. 1 Sp. 5 StrlSchV. Zukünftig können die Werte gemäß Anh. VII Tab. A Teil 1 der EU-Grundnormen [EUR 14] angewendet werden. Selbstverständlich kann bei dieser Art der Freigabe auch eine Beseitigung der Öle und organischen Flüssigkeiten durch Verbrennung erfolgen.
- Für Öle und organische Flüssigkeiten, die speziell zur Beseitigung durch Verbrennung freigegeben werden sollen, eignen sich wie bisher die Freigabewerte nach Anl. III Tab. 1 Sp. 9b bzw. 9d StrlSchV.
- Für wässrige Flüssigkeiten einschließlich Wasser wurde gezeigt, dass die Anwendung der Werte gemäß Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV für den Fall, dass das Wasser zur Verregnung auf Grünflächen oder vergleichbaren Zwecken freigegeben wird und dass die Gesamtmenge nicht mehr als 100 m³ pro Jahr beträgt, Kompatibilität mit dem Dosisrichtwert von 10 µSv/a nachgewiesen werden kann. Die Werte gemäß Anl. VII Tab. 4 Sp. 3 StrlSchV eignen sich daher als Freigabewerte für die „uneingeschränkte“ Freigabe von Wasser und wässrigen Flüssigkeiten unter den genannten Voraussetzungen. Hierbei kann auch alternativ eine Ableitung dieser Flüssigkeiten in die Kanalisation oder die Abgabe an eine Kläranlage erfolgen.

7. LITERATURVERZEICHNIS

- [AAV 06] ABFALLABLAGERUNGSVERORDNUNG (ABFABLV)
vom 20. Februar 2001 (BGBl. I S. 305), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 13. Dezember 2006 (BGBl. I S. 2860)
- [ANO 94] ANONYMUS
Ueber Fortschritte in der Bierbrauerei
Polytechnisches Journal 1894, Band 294, S. 285–288
<http://dingler.culture.hu-berlin.de/article/pj294/ar294074>
- [AÖV 12] ALTÖLVERORDNUNG (ALTÖLV)
in der Fassung der Bekanntmachung vom 16. April 2002 (BGBl. I S. 1368), zuletzt geändert durch Artikel 5 Absatz 14 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212)
- [ASH 16] ASH GROUP
<http://www.aebi-schmidt.de/de/produkte/strassenreinigung/schmidt-cityjet-3000>
aufgerufen Feb. 2016
- [BAR 10] BARTHEL, R. ET AL.
Standortbezogene Freigabe von Zutrittslösungen aus der Schachtanlage Asse
Abschlussbericht zu BS-Projekt-Nr. 0807-10 und 0905-02, erstellt im Auftrag der Asse GmbH, Remlingen, Februar 2010
- [BIG 16] BUNDES-IMMISSIONSSCHUTZGESETZ (BIMSCHG)
in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 26. Juli 2016 (BGBl. I S. 1839)
- [BMU 12] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT
Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 der Strahlenschutzverordnung (Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus Anlagen oder Einrichtungen) vom 28. August 2012, veröffentlicht am 5. September 2012 im BAnz AT 05.09.2012 B1
- [BMU 15] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT
Webseite zum Thema „Klärschlamm“ www.bmub.bund.de, aufgerufen im August 2016
- [BS 15] BRENK SYSTEMPLANUNG GMBH
Überarbeitung der Strahlenschutzverordnung bzgl. der Freigrenzen von radioaktiven Stoffen zur Umsetzung der neuen EURATOM-Grundnormen in deutsches Recht
Bericht zu AP1 und AP2 des BfS-Forschungsvorhabens 3614S70051, Aachen, 03.08.2015
- [CEC 93] KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN
Principles and Methods for Establishing Concentrations and Quantities (Exemption values) Below which Reporting is not Required in the European Directive
Report Radiation Protection 65, Doc. XI-028/93, Brüssel, 1993

- [DEC 93] DECKERT, A.; HOPPE, G.; JOHN, T.; THIERFELDT, S.
Strahlenexposition durch konventionelle Beseitigung von Abfällen mit Restaktivität
Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz des BMU, ISSN 0724-3316,
BMU-1994-393, angefertigt von Brenk Systemplanung, Aachen, 1993
- [DEC 97] DECKERT, A.; THIERFELDT, S. (BRENK SYSTEMPLANUNG)
Konservativitätsanalysen bei Freigabegrenzwerten
Endbericht zum Forschungsvorhaben 02S 7635 5 des BMBF, Aachen, 1997
- [DEC 98] DECKERT, A.; THIERFELDT, S. (BRENK SYSTEMPLANUNG)
Berechnung massenspezifischer Freigabewerte für schwach radioaktive Reststoffe
BMU-1998-520, Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz des BMU,
ISSN 0724-3316, Brenk Systemplanung, Aachen, 1998
- [DEC 99] DECKERT, A.; THIERFELDT, S.
Radiologische Bewertung einer Kontamination: Entscheidungshilfe zur Festlegung von flächenbezogenen Freigabewerten
Endbericht zu Vorhaben St.Sch. 4149 des BMU, Brenk Systemplanung, 1999
Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, BMU-2000-559
- [DEC 99B] DECKERT, A.
Basis for the definition of surface contamination clearance levels for recycling or reuse of metals arising from the dismantling of nuclear installations
Brenk Systemplanung GmbH; Bericht in der Reihe Radiation Protection 101
European Commission; Luxemburg, 1999
- [DEC 00] DECKERT, A.; THIERFELDT, S.; KUGELER, E.
Herleitung von Freigabewerten für flüssige Reststoffe
Bericht erstellt im Rahmen des Vorhabens St.Sch.4149, Brenk Systemplanung GmbH,
Aachen, März 2000
- [DIN 13] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG
Aktivitätsmessverfahren für die Freigabe von radioaktiven Stoffen und kerntechnischen Anlagenteilen — Teil 4: Kontaminierter und aktivierter Metallschrott
DIN 25457-4, April 2013
- [DIN 12] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG
Aktivitätsmessverfahren für die Freigabe von radioaktiven Stoffen und kerntechnischen Anlagenteilen – Teil 4: Kontaminierter und aktivierter Metallschrott
DIN 25457-4:2012-10
- [DIN 14] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG
Aktivitätsmessverfahren für die Freigabe von radioaktiven Stoffen und kerntechnischen Anlagenteilen - Teil 1: Grundlagen
DIN 25457-1, Überarbeitung 2014

- [DV 16] DEPONIEVERORDNUNG (DEPV)
vom 27. April 2009 (BGBl. I S. 900), zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 4. März 2016 (BGBl. I S. 382)
- [ENK 16] ENBW KERNKRAFT GMBH (ENKK)
Angaben zum Umfang der im Kernkraftwerk Philippsburg (KKP) in den Jahren 2011 bis 2013 angefallenen flüssigen Reststoffe, Philippsburg, 2016
- [EUR 96] EUROPÄISCHE KOMMISSION
Richtlinie 96/29/EURATOM des Rates vom 13. Mai 1996 zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlungen
ABl. Nr. L 159 vom 29. Juni 1996, S. 1
- [EUR 98] EUROPÄISCHE KOMMISSION
Recommended radiological protection criteria for the recycling of metals from the dismantling of nuclear installations
Radiation Protection No. 89, Luxemburg, 1998, ISBN 92-828-3284-8
- [EUR 00] EUROPÄISCHE KOMMISSION
Recommended radiological protection criteria for the clearance of buildings and building rubble from the dismantling of nuclear installations
Radiation Protection No. 113, Luxemburg, 2000, ISBN 92-828-9172-0
- [EUR 00B] EUROPÄISCHE KOMMISSION
Definition of clearance levels for the release of radioactively contaminated buildings and building rubble, Final report, RP 114, Luxemburg, 2000, ISBN 92-828-9170-4
- [EUR 00C] EUROPÄISCHE KOMMISSION
Methodology and models used to calculate individual and collective doses from the recycling of metals from the dismantling of nuclear installations, Radiation Protection No. 117, Luxemburg, 2000, ISBN 92-828-9171-2
- [EUR 03] EUROPÄISCHE KOMMISSION
Evaluation of the application of the concepts of exemption and clearance for practices according to title III of Council Directive 96/29/Euratom of 13 May 1996 in EU Member States - Volume 1: Main Report
Report Radiation Protection 134, Luxemburg, 2003
- [EUR 07] EUROPEAN COMMISSION
A Review of Consumer Products Containing Radioactive Substances in the European Union;
Radiation Protection 146; Luxembourg, April 2007
- [EUR 14] RAT DER EUROPÄISCHEN UNION
Richtlinie 2013/59/EURATOM des Rates vom 5. Dezember 2013 zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung und zur Aufhebung der Richtlinien 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom und 2003/122/Euratom

- [FAC 00] FACHGRUPPE RADIOAKTIVITÄT
Stellungnahme zu ausgewählten Regelungen im Entwurf der Novellierung der Strahlenschutzverordnung vom 03.04.2000
Unterlage der Fachgruppe Radioaktivität übergeben an das BMU im Rahmen der Verbändeanhörung zur StrlSchV von 2001, abgerufen im Jahr 2000 unter <http://www.oneworld-web.de/castor/technik/radioaktivitaet/strlschv3.html>
- [HEU 14] HEUBEN, M.; MOTZ, H.
Schlacken aus der Metallurgie, Band 3 – Chancen für Wirtschaft und Umwelt
TK Verlag, Neuruppin, 2014; ISBN 978-3-944310-17-6
- [IAE 98] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (ED.)
Clearance of materials resulting from the use of radionuclides in medicine, industry and research; TECDOC 1000, Wien, 1998
- [IAE 04] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance, Safety Standards Series No. RS-G-1.7, Safety Guide, Vienna 2004
- [IAE 05] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
Derivation of Activity Concentration Values for Exclusion, Exemption and Clearance
Safety Report Series No. 44, Vienna, 2005
- [IAE 08] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
Cyclotron produced radionuclides: Principle and Practice. Technical Report Series No. 465, Vienna, 2008
- [IAE 09] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
Cyclotron produced radionuclides: Physical Characteristics and Production Methods. Technical Report Series No. 468, Vienna, 2009
- [IAE 09A] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
Technetium-99m Radiopharmaceuticals: Status and Trends. IAEA Radioisotopes and Radiopharmaceutical Series No. 1, Vienna, 2009
- [IAE 12] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
Cyclotron produced radionuclides: Operation and maintenance of gas and liquid targets. IAEA Radioisotopes and Radiopharmaceutical Series No. 4, Vienna, 2012
- [ICR 77] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION
Recommendations of the International Commission on Radiological Protection ICRP Publication 26, Oxford, 1977

- [JEN 00] JENTZSCH, U.
Stellungnahme zu ausgewählten Regelungen im Entwurf der Novellierung der Strahlenschutzverordnung vom 03.04.2000
Unterlage der Bürgerinitiative Lüchow–Dannenberg, Fachgruppe Radioaktivität, übergeben an das BMU im Rahmen der Verbändeanhörung zur StrlSchV von 2001
- [JEP 13] JEPSEN, D.; DRACHENBERG, I.
Altölströme in Deutschland, Stand 2006
in Müllhandbuch, Erich Schmidt Verlag GmbH und Co. KG, 2013
- [JOH 93] JOHN, T.; DECKERT, A.; THIERFELDT, S.
Untersuchung zur schadlosen Verwertung von Bauschutt und Gebäudeteilen
Teilbericht aus BMU-1994-394, Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz des BMU, ISSN 0724-3316, angefertigt von Brenk Systemplanung, Aachen, 1993
- [KIS 93] KISTINGER, S.; DECKERT, A.; GRAF, R.; GÖRTZ, R.; GOLDAMMER, W.; THIERFELDT, S.
Teil: Ermittlung der radiologischen Konsequenzen der schadlosen Verwertung von α -haltigem Metallschrott
Brenk Systemplanung, Aachen, 1993; BMU 1994-394, Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz des BMU, ISSN 0724-3316
- [KOC 87] KOCHER, D.C.; ECKERMANN, K.F.
Electron Dose-Rate Conversion Factors for External Exposure of the Skin from Uniformly Deposited Activity on the Body Surface, Health Physics, Vol. 53, No. 2, 1987, p. 135 - 141
- [KSV 15] KLÄRSCHLAMMVERORDNUNG (ABFKLÄRV)
vom 15. April 1992 (BGBl. I S. 912), zuletzt geändert durch Artikel 74 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474)
- [KTA 08] KERNTechnischer Ausschuss
Sicherheitstechnische Regel KTA 1504, Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser, Fassung 11/07 (BANz Nr. 9a vom 17.01.2008)
- [KUB77] KUBOTA, M.; AMANO, H.
Preparation of ^{99}Mo , ^{132}Te isotopes and $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{132}I generators
Journal of Radioanalytical Chemistry, 1977, Volume 40, Issue 1 - 2, pp 41 - 49
- [KWG 16] KREISLAUFWIRTSCHAFTSGESETZ (KRWG)
vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212), zuletzt geändert durch Artikel 4 des Gesetzes vom 4. April 2016 (BGBl. I S. 569)
- [LEH 95] LEHR, F.; REINECKE, H. J.
Radioaktive Abfälle in Forschung, Technik und Medizin und deren Entsorgung,
27. Jahrestag Fachverband für Strahlenschutz, 1995

- [LER 13] LEHRMANN, F.
Überblick über die thermische Klärschlammbehandlung, Schwaben-ING GmbH, Kornwestheim 2013
- [NMU 16] NIEDERSÄCHSISCHEN MINISTERIUM FÜR UMWELT, ENERGIE UND KLIMASCHUTZ
Webseite zum Thema „Brennelementfertigung“
http://www.umwelt.niedersachsen.de/atomaufsicht_strahlenschutz/brennelementfertigung/8452.html; aufgerufen im Mai 2016
- [ÖKO 97] NIEDERSÄCHSISCHES UMWELTMINISTERIUM UND MINERALÖL-RAFFINERIE DOLLBERGEN GMBH (HRSG.)
Altöl – Brennstoff oder Schmierstoff? – Vorrangprüfung nach Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz, wissenschaftliche Bearbeitung: Ökopol, Institut für Ökologie und Politik GmbH, Druckerei Zollenspieker GmbH, Hamburg, 1997
- [ÖKO 00] GRUPPEÖKOLOGIE
Freigabe schwachaktiver Reststoffe
Unterlage der GruppeÖkologie, übergeben an das BMU im Rahmen der Verbändeanhörung zur StrlSchV von 2001
- [PAV 12] PCB/PCT-ABFALLVERORDNUNG (PCPABFALLV)
vom 26. Juni 2000 (BGBl. I S. 932), zuletzt geändert durch Artikel 5 Absatz 21 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212)
- [POS 95] POSCHNER, J.; SCHALLER, G.
Richtwerte für die spezifische Aktivität von schwach radioaktiv kontaminierten Abfällen, die konventionell entsorgt werden
Bundesamt für Strahlenschutz, Inst. f. Strahlenhygiene
Reihe BfS-ISH-Berichte, BfS-ISH-169/95, Januar 1995
- [PTB 10] PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT (PTB)
Katalog - Aktivitätsnormale. 2010 https://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/fachabteilungen/abteilung_6/6.1/6.11/katalog_de.pdf
- [ROT 11] ROTOP PHARMAKA GMBH
Gebrauchsinformation und Fachinformation für Pertector, Radionuklidgenerator 2,3 – 57,1 GBq, Zulassung von 2011
<http://www.rotop-pharmaka.de/unsere-produkte/99mo99mtc-generator/> (abgerufen Jan. 2015); Rossendorf
- [RWE 03] RWE POWER AG
Sicherheitsbericht: Stilllegung und Abbau des Kernkraftwerks Mülheim-Kärlich
Dok.-Nr. STM-1-02.0000-001/C, Mülheim-Kärlich, 10.01.2013

- [SSK 98] STRAHLENSCHUTZKOMMISSION
Freigabe von Materialien, Gebäuden und Bodenflächen mit geringfügiger Radioaktivität aus anzeige- und genehmigungspflichtigem Umgang
Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet auf der 151. Sitzung im Februar 1998, Berichte der Strahlenschutzkommission (SSK) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Heft 16, Gustav Fischer Verlag, 1998
- [SSK 02] STRAHLENSCHUTZKOMMISSION
Neuberechnung der zulässigen Aktivitätskonzentrationen in der Fortluft und im Abwasser im Rahmen der Novellierung der Strahlenschutzverordnung (§ 47 Abs. 4) - Dokumentation der Ableitung der Grenzwerte
Stellungnahme der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 178. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 12. April 2002
- [SSK 06] STRAHLENSCHUTZKOMMISSION
Freigabe von Stoffen zur Beseitigung
Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 213. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 06. Dezember 2006, Heft 54 (2007)
- [STU 94] STUBENRAUCH, S.; HEMPFLING, R.; SIMMLEIT, N.; MATHEWS, T.; DOETSCH, P.
Abschätzung der Schadstoffexposition in Abhängigkeit von Expositionsszenarien und Nutzergruppen: II. Vorschläge für orale Aufnahmeraten von Boden, Badeseewasser und Nahrungsmitteln des Eigenanbaus. UWSF-Zeitschrift für Umweltchem. Ökotox. 6 (3), 1994.
- [TAL 02] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT
Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) vom 24. Juli 2002, GMBI. 2002, Heft 25 – 29, S. 511 – 605
- [TP 04] TWINNING PROJEKT CZ 2002/IB/EN/01
Entsorgung von Altöl, Seminarreihe zur Anwendung von Europäischem Recht im Bereich Abfallwirtschaft, März 2004
- [UBA 08] UMWELTBUNDESAMT
Bericht zu den Auswirkungen von REACH auf Recycling/ Verwertung, 2. ergänzte Fassung vom 21. Februar 2008.
- [VDZ 97] VEREIN DEUTSCHER ZEMENTWERKE E.V. – FORSCHUNGSINST. DER ZEMENTINDUSTRIE
Altöl – Wo Abfall Wunder wirkt, Düsseldorf, 1997
- [WAT 87] WATZEL, G.
Technik und Kosten bei der Stilllegung von Kernkraftwerken nach Ende ihrer Einsatzdauer, Fortschrittsberichte VDI, Umwelttechnik Nr.52, Verlag des Vereins Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, 1987
- [WER 15] WERNER, D.; FEINHALS, J.; KLUG, M.
Freigabe von Flusssäure
Vortrag auf dem 9. Freigabesymposium der TÜV NORD Akademie, Lübeck-Travemünde, 14.-16. September 2015

[WIK 16A] WIKIPEDIA
www.wikipedia.de, Stichwort „Klärschlamm“
aufgerufen Mai 2016

[WIK 16B] WIKIPEDIA
www.wikipedia.de, Stichwort „Flusssäure“
aufgerufen April 2016

| Verantwortung für Mensch und Umwelt |

Kontakt:

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 10 01 49

38201 Salzgitter

Telefon: + 49 30 18333 - 0

Telefax: + 49 30 18333 - 1885

Internet: www.bfs.de

E-Mail: ePost@bfs.de

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.



Bundesamt für Strahlenschutz