



Endbericht

**Berechnung der Strahlenexposition der
Bevölkerung nach § 47 StrlSchV infolge der
Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser
der Technischen Universität München**

BS-Projekt-Nr. 1701-03

erstellt im Auftrag der
Technischen Universität München
Arcisstraße 21
80333 München

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

Aachen, 04.07.2018

Anmerkung:

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






AUTOREN

Dieser Bericht wurde von folgendem Bearbeiter erstellt:

- Dipl.-Phys. G. Hoppe

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

Im Rahmen des vorliegenden Berichts wurde für die zukünftig vorgesehene Ableitung anfallender radioaktiver Abwässer der Technischen Universität München in den Vorfluter Isar die resultierende potenzielle Strahlenexposition der umgebenden Bevölkerung gemäß § 47 Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) ermittelt. Als Berechnungsgrundlage wurde die „Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV“ vom 28. August 2012 verwendet. Die besonderen standort- und anlagenspezifischen Gegebenheiten sowie mögliche Vorbelastungen der Isar durch andere Einleiter oder Einleitungen wurden in geeigneter Weise berücksichtigt.

Im Ergebnis der durchgeführten Dosisberechnungen kann davon ausgegangen werden, dass die resultierende potenzielle Strahlenexposition infolge der zukünftig geplanten Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser der Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (inkl. des alten Forschungsreaktors München) und der Radiochemie München (inkl. des Zyklotrons und des Industriellen Anwenderzentrums) einschließlich der potenziellen Vorbelastungen durch andere Einleiter bzw. Einleitungen unterhalb der nach § 47 Abs. 1 StrlSchV einzuhaltenden Dosisgrenzwerte liegt.

Unter Einbeziehung möglicher Vorbelastungen ergibt sich die maximale Grenzwertausschöpfung von insgesamt 40,1 % mit einer zugehörigen Jahresdosis von 360,8 μSv für den Körperbereich „Schilddrüse“ in der Altersgruppe „ ≤ 1 Jahr mit Muttermilch“ im Nahbereich der Einleitstelle der Technischen Universität München. Bei der Effektivdosis ergibt sich in diesem Entfernungsbereich mit einer entsprechenden Gesamtjahresdosis von 44,9 μSv die höchste Grenzwertausschöpfung von 15,0 % ebenfalls in dieser Altersgruppe.



INHALTSVERZEICHNIS

Seite:

1. EINLEITUNG	1
2. RANDBEDINGUNGEN	2
2.1. Vorbemerkungen	2
2.2. Potenzielle Expositionspfade.....	2
2.3. Entfernungsbereiche.....	3
2.3.1. Entfernungsbereiche der TUM	4
2.3.2. Entfernungsbereiche anderer Einleiter oder Einleitungen	4
2.3.3. Entfernungsbereiche und deren Überschneidungsbereiche	5
2.4. Vermischungswassermengen	6
2.4.1. Vorbetrachtungen	6
2.4.2. Vermischungswassermengen für Ableitungen der TUM.....	6
2.4.3. Vermischungswassermengen für andere Einleiter bzw. Einleitungen	9
3. AKTIVITÄTSABGABEN MIT WASSER	11
3.1. Aktivitätsabgaben der TUM.....	11
3.1.1. Vorbetrachtungen	11
3.1.2. Aktivitätsabgaben des FRM II (inkl. FRM alt)	12
3.1.3. Aktivitätsabgaben der RCM (inkl. Zyklotron und IAZ)	13
3.2. Aktivitätsabgaben anderer Einleiter bzw. Einleitungen	15
3.2.1. Aktivitätsabgaben des KKI	15
3.2.2. Aktivitätsabgaben der SEA	16
4. BERECHNUNG DER POTENZIELLEN STRAHLENEXPOSITION	17
4.1. Erläuterungen zur Dosisberechnung	17
4.2. Ergebnisse der Dosisberechnung.....	19
4.2.1. Nahbereich TUM.....	20
4.2.2. Fernbereich TUM, Nahbereich KKI	21
4.2.3. Fernbereich TUM, Fernbereich KKI	22
5. LITERATURVERZEICHNIS	23
6. ANHANG.....	25

1. EINLEITUNG

Die Technische Universität München (TUM)¹ betreibt auf dem Gelände in Garching bei München verschiedene kerntechnische Einrichtungen. Anfallende radioaktive Abwässer dieser Einrichtungen werden chargenweise unter Einsatz von Spülwasser über einen unterirdischen Abgabekanal und ein sich anschließendes Einleitbauwerk flussmittig in die Isar bei Flusskilometer 130,3 abgeleitet. Zu unterscheiden sind aufgrund ihrer Herkunft, Sammlung und Abgabep Praxis die Abwasserabgaben

- der Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (FRM II: Forschungsreaktor München II) im Leistungsbetrieb, einschließlich des alten Forschungsreaktors München (FRM alt) im Restbetrieb² sowie
- der Radiochemie München (RCM), einschließlich des Zyklotrons und des Industriellen Anwenderzentrums (IAZ).

Nach § 47 Abs. 1 Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [SSV 17] darf die durch Ableitung radioaktiver Stoffe aus einer kerntechnischen Anlage oder Einrichtung mit Luft oder Wasser bedingte Strahlenexposition des Menschen jeweils folgende Dosisgrenzwerte im Kalenderjahr nicht überschreiten:

- | | |
|--|----------|
| 1) Effektive Dosis sowie Teilkörperdosis für Keimdrüsen, Gebärmutter und Rotes Knochenmark | 300 µSv |
| 2) Teilkörperdosis für alle Organe und Gewebe soweit nicht unter 1) und 3) genannt | 900 µSv |
| 3) Teilkörperdosis für Knochenoberfläche und Haut | 1800 µSv |

Der vorliegende Bericht wurde als Nachweisunterlage für das anstehende wasserrechtliche Genehmigungsverfahren zur Erlangung einer neuen wasserrechtlichen Erlaubnis erstellt. Die Unterlage enthält die Ergebnisse der durchgeführten Dosisberechnungen zur Abschätzung der resultierenden potenziellen Strahlenexposition von Referenzpersonen der Bevölkerung gemäß § 47 StrlSchV infolge der zukünftigen Ableitung radioaktiver Abwässer der genannten Einrichtungen der TUM. Als Berechnungsgrundlage wurde die „Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV“ (AVV) vom 28. August 2012 [AVV 12] verwendet.

Entsprechend der aktuellen Planung der TUM wurde unterstellt, dass die früheren Genehmigungswerte³ des FRM II für die radioaktiven Ableitungen mit Wasser der Anlage im Leistungsbetrieb auch zukünftig für die gemeinsamen Ableitungen des FRM II und des FRM alt unverändert fortgelten. Für die zukünftigen Ableitungen der RCM einschließlich des Zyklotrons und des IAZ wurden hingegen neue reduzierte Genehmigungswerte zugrunde gelegt. Die besonderen standort- und anlagenspezifischen Gegebenheiten sowie mögliche Vorbelastungen des Vorfluters Isar durch andere Einleiter oder Einleitungen wurden in geeigneter Weise berücksichtigt.

¹ Für Flexionen abgekürzter Begriffe wird dasselbe Kürzel verwendet.

² Im Rahmen dieses Berichts werden sämtliche sich nach der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs anschließenden Betriebsphasen bzw. -zustände eines Kernreaktors unter der Bezeichnung „Restbetrieb“ zusammengefasst.

³ Im Rahmen dieses Berichts wird der Begriff „Genehmigungswert“ im Sinne eines festgelegten Werts für die zulässige Ableitung radioaktiver Stoffe verwendet.

2. RANDBEDINGUNGEN

2.1. Vorbemerkungen

Gemäß der AVV zu § 47 StrlSchV [AVV 12] sind bei der Abschätzung der Strahlenexposition der Bevölkerung infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser aus einer kern-technischen Anlage alle aufgrund der örtlichen Besonderheiten des Anlagenstandorts oder aufgrund der Art der Anlage begründeten Expositionspfade (vgl. Abschnitt 2.2) zu berücksichtigen. Zu berechnen ist die Strahlenexposition an den ungünstigsten durch die Ableitungen der betrachteten Anlage beeinflussten Einwirkungsstellen (Nutzungsstelle bzw. Expositionsort). Diese sind entsprechend der AVV durch die Stellen in der Umgebung der Anlage bestimmt, an denen aufgrund der Verteilung der abgeleiteten Radionuklide und unter Berücksichtigung realer Nutzungsmöglichkeiten durch Aufenthalt oder Verzehr dort erzeugter Lebensmittel die jeweils potenziell höchsten Strahlenexpositionen für die Referenzpersonen resultieren.

Bei Ableitungen mit Wasser sind zudem aufgrund der sich mit der Entfernung zur Einleitstelle verändernden Ausbreitungsbedingungen unterschiedliche Entfernungsbereiche zu berücksichtigen (vgl. Abschnitt 2.3). Infolge der stattfindenden Vermischung der abgeleiteten Abwässer mit dem Wasser des Vorfluters verringern sich die Konzentrationen der emittierten radioaktiven Stoffe im Vorfluter mit zunehmender Entfernung von der Einleitstelle. Das Ausmaß der Vermischung und damit der potenziell resultierenden Strahlenexposition wird von dem Abflussanteil des Vorfluters (Vermischungswassermenge Q_V) bestimmt, mit dem sich die abgeleitete Aktivität auf dem Weg von der Einleitstelle bis zur betrachteten Einwirkungsstelle vermischt hat (vgl. Abschnitt 2.4).

2.2. Potenzielle Expositionspfade

Im Zusammenhang mit der hier untersuchten Aufgabenstellung (vgl. Abschnitt 1) kommen für den Standort der TUM in Abhängigkeit von der Entfernung zur Einleitstelle folgende mit E1, E2, E3, E4, E5 und E12 (Abkürzungen aus Berechnungsprogramm) bezeichnete, potentielle Expositionspfade in Betracht, deren Gesamtheit im Weiteren abkürzend auch „*Wasserpfad*“ genannt wird:

- E1: Trinkwasser
 - Trinkwasser, (Tw)
 - Muttermilch; (Mu)
- E2: Fischverzehr (kurz: Fisch)
 - Fisch, (Fi)
 - Muttermilch; (Mu)
- E3: Viehtränke
 - Tier - Milch, (Mi)
 - Tier - Fleisch, (Fl.)
 - Muttermilch; (Mu)

- E4: Berechnung landwirtschaftlicher Nutzflächen (kurz: Berechnung)
- Aufenthalt, (Bo)
 - Weidepflanze - Futter - Tier - Milch, (Mi)
 - Weidepflanze - Futter - Tier - Fleisch, (Fl)
 - Blattgemüse, (Bl)
 - pflanzliche Produkte ohne Blattgemüse, (Pf)
 - Muttermilch; (Mu)
- E5: Aufenthalt auf Ufersediment (kurz: Ufersediment); (Bo)
- E12: Landwirtschaftliche Nutzung von Überschwemmungsgebieten (kurz: Überschwemmungsgebiete)
- Aufenthalt, (Bo)
 - Weidepflanze - Futter - Tier - Milch, (Mi)
 - Weidepflanze - Futter - Tier - Fleisch, (Fl)
 - Blattgemüse, (Bl)
 - pflanzliche Produkte ohne Blattgemüse, (Pf)
 - Muttermilch. (Mu)

Eine Bündelung aller oben aufgeführten Einzelexpositionspfade des Wasserpfads ist als sehr hypothetisch einzustufen und gemäß AVV auch nicht anzusetzen. Dies gilt insbesondere für eine Addition der verschiedenen – im Weiteren auch kurz „Aufenthaltspfad A1“ und „Aufenthaltspfad A2“ genannten – potenziellen Einzelexpositionspfade zur äußeren Strahlenexposition durch Bodenstrahlung:

A1: Aufenthalt auf Ufersediment (E5: Bo),

A2: Aufenthalt auf Überschwemmungsgebieten (E12: Bo).

Im Unterschied zur Berechnung der inneren Strahlenexposition, bei der konservativ eine Überlagerung aller potentiellen Einzelexpositionspfade zur Ingestion zu unterstellen ist, wird daher bei der Abschätzung der äußeren Strahlenexposition durch Bodenstrahlung zur Vermeidung unrealistisch hoher Gesamtexpositionszeiten nur derjenige der beiden Aufenthaltspfade A1 und A2 berücksichtigt, der potentiell den jeweils höchsten Dosisbetrag liefert.

2.3. Entfernungsbereiche

Zur Abschätzung der potenziellen Strahlenexposition der Bevölkerung, sowohl durch die zukünftig vorgesehene Ableitung radioaktiver Abwässer der TUM als auch durch andere Einleiter bzw. Einleitungen, die zur Vorbelastung der Isar beitragen können, sind gemäß AVV aufgrund

- der unterschiedlichen geografischen Lagen der zugehörigen Einleitstellen,
- des Zutritts größerer Nebenflüsse in die Isar oder der Aus- bzw. Einleitung von Kanälen (hier Mittlerer-Isar-Kanal) sowie
- der sich mit zunehmender Entfernung von den Einleitstellen verändernden Ausbreitungsbedingungen

unterschiedliche Entfernungsbereiche, sowohl relativ zur Einleitstelle der TUM (vgl. Abschnitt 2.3.1) als auch relativ zu den Einleitstellen der verschiedenen anderen zu den Vorbelastungen der Isar beitragenden Einleiter bzw. Einleitungen (vgl. Abschnitt 2.3.2), zu betrachten. Einen zusam-

menfassenden Überblick über die Lage der verschiedenen im Rahmen dieses Berichts betrachteten Entfernungsbereiche und deren Überschneidungsbereiche gibt Abschnitt 2.3.3.

2.3.1. Entfernungsbereiche der TUM

Der radiologisch relevante Einwirkungsbereich der betrachteten radioaktiven Ableitungen der TUM (FRM II inkl. FRM alt sowie RCM inkl. Zyklotron und IAZ, vgl. Abschnitt 1) erstreckt sich über den gesamten Bereich der Isar von der Einleitstelle bei Flusskilometer 130,3 bis zur Einmündung in die Donau. Eine Betrachtung des weiteren Verlaufs der Donau ist aufgrund der dort anzunehmenden stark fortschreitenden Verdünnung nicht erforderlich. Bezüglich der Einleitstelle der TUM ist gemäß AVV zu unterscheiden zwischen (vgl. Abbildung 2-1)

- dem „*Nahbereich der TUM*“, d. h. dem Bereich geringerer Vermischung und kürzerer Fließzeiten in der näheren Umgebung der Einleitstelle sowie
- dem „*Fernbereich der TUM*“, d. h. dem Bereich vollständiger Vermischung und längerer Fließzeiten in größerer Entfernung von der Einleitstelle.

Ausgehend von den Fließzeitbedingungen der AVV und den vorliegenden hydrologischen Bedingungen repräsentiert der Isarabschnitt von der Einleitstelle der TUM bis zur Einmündung des Mittleren-Isar-Kanals in die Isar den Nahbereich der TUM. Der Fernbereich der TUM schließt sich dem Nahbereich unmittelbar an und erstreckt sich bis zur Einmündung der Isar in die Donau.

2.3.2. Entfernungsbereiche anderer Einleiter oder Einleitungen

Mögliche Vorbelastungen des Vorfluters Isar an relevanten Einwirkungsstellen stromabwärts der Einleitstelle der TUM ergeben sich

- durch die genehmigten Ableitungen der beiden Blöcke KKI-1 und KKI-2 des Kernkraftwerks Isar (KKI) sowie
- durch sonstige Einrichtungen und Anlagen (SEA), wie beispielsweise Forschungsinstitute, Krankenhäuser oder Kläranlagen, die radioaktive Stoffe direkt oder indirekt mit Wasser ableiten.

Für diese anderen Einleiter oder Einleitungen sind in Analogie zur TUM ebenfalls Entfernungsbereiche in geeigneter Weise festzulegen.

2.3.2.1. Entfernungsbereiche des KKI

Das KKI liegt in der Gemeinde Essenbach im niederbayerischen Landkreis Landshut am linken Ufer der Isar, die als Vorfluter für die Abwässer der Anlage genutzt wird. Die Anlage besteht aus zwei separaten Kraftwerksblöcken KKI-1 und KKI-2, deren Abwässer mit dem rücklaufenden Kühlwasser unmittelbar oberhalb des Turbineneinlaufs des Wasserkraftwerks Niederaichbach bei Flusskilometer 60,6 in die Isar eingeleitet werden.

Entsprechend der Vorgehensweise bei der TUM (vgl. Abschnitt 2.3.1) werden ausgehend von den Fließzeitbedingungen der AVV zur adäquaten Berücksichtigung möglicher Vorbelastungen infolge der Ableitung radioaktiver Abwässer des KKI der „Nahbereich des KKI“ und der „Fernbereich des KKI“ unterschieden. Hierbei ist zu beachten, dass sowohl der Nahbereich des KKI als auch der Fernbereich des KKI vollständig im Fernbereich der TUM liegen (vgl. Abbildung 2-1).

2.3.2.2. Entfernungsbereiche der SEA

Die Einleitstellen der verschiedenen Abwassersysteme, über die die Einleitung radioaktiver Stoffe der zu berücksichtigenden SEA (Forschungsinstitute, Krankenhäuser, Kläranlagen etc.) in die Isar erfolgt, verteilen sich entlang des gesamten Isarabschnitts oberhalb der Einleitstelle des KKI mit einem im Großraum München liegenden Schwerpunkt [LfU 18].

Im Rahmen dieses Berichts wird unterstellt, dass sich die radioaktiven Einleitungen der SEA jeweils sehr schnell mit dem gesamten Abfluss der Isar vollständig vermischen. Eine explizite Betrachtung unterschiedlicher Entfernungsbereiche bezogen auf die Einleitstellen der SEA wird daher als nicht erforderlich erachtet (vgl. Abbildung 2-1).

2.3.3. Entfernungsbereiche und deren Überschneidungsbereiche

Die nachfolgende Abbildung 2-1 gibt einen schematischen Überblick über die Lage der verschiedenen im Rahmen dieses Berichts betrachteten Entfernungsbereiche und deren Überschneidungsbereiche bezüglich der TUM und der anderen im Rahmen dieses Berichts betrachteten Einleiter oder Einleitungen (KKI, SEA). Zudem sind in der Abbildung die Lagen der Ausleitung (am Oberförhringer Wehr) und der Wiedereinleitung (bei Landshut) des Mittleren-Isar-Kanals sowie der hier relevanten Isarpegel Freising und Landshut/Birket dargestellt (vgl. Abschnitt 2.4.1).

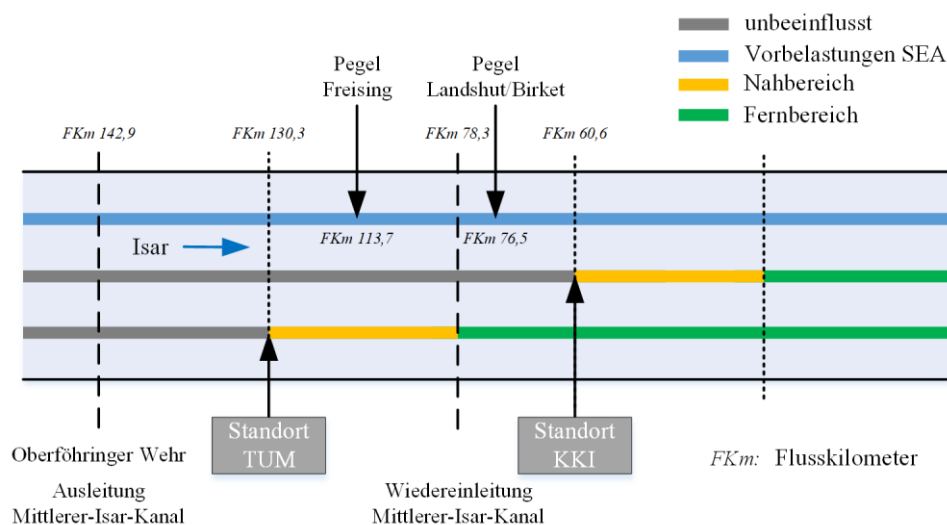


Abbildung 2-1: Schematische Darstellung der verschiedenen Entfernungsbereiche und deren Überschneidungsbereiche bezüglich der betrachteten Einleiter

2.4. Vermischungswassermengen

2.4.1. Vorbetrachtungen

Infolge der stattfindenden Vermischung der abgeleiteten Abwässer eines Einleiters mit dem Wasser des Vorfluters verringern sich die Konzentrationen der emittierten radioaktiven Stoffe im Vorfluter mit zunehmender Entfernung von der Einleitstelle. Das Ausmaß der Vermischung und damit der potenziell resultierenden Strahlenexposition wird dabei von dem Abflussanteil des Vorfluters (Vermischungswassermenge Q_V) bestimmt, mit dem sich die abgeleitete Aktivität auf dem Weg von der Einleitstelle bis zur betrachteten Einwirkungsstelle (Nutzungsstelle bzw. Expositionsort) vermischt hat.

In größerer Entfernung einer Einleitstelle (d. h. in deren Fernbereich) kann gemäß AVV stets von einer vollständigen Durchmischung der eingeleiteten Abwässer mit dem gesamten Abfluss des Vorfluters ausgegangen werden. Im Fernbereich der TUM ist der Abfluss der Isar durch die in Tabelle 2-1 dargestellten Langzeitmittelwerte (Zeitraum 1959 bis 2007) für den Abfluss der Isar am Pegel Landshut/Birket bestimmt, der sich ca. 16 Flusskilometer oberhalb der Einleitstelle des KKI bei Flusskilometer 76,5 befindet [LfU 17].

Tabelle 2-1: Mittlerer Abfluss der Isar am Pegel Landshut/Birket bei Flusskilometer 76,5 (Langzeitmittelwert 1959-2007) [LfU 17]

Mittlerer Abfluss Pegel Landshut/Birket (Langzeitmittelwert 1959-2007)	
im Kalenderjahr	162 m ³ /s
im Sommerhalbjahr	177 m ³ /s

In der näheren Umgebung einer Einleitstelle (d. h. in deren Nahbereich) hängt die wirksame Vermischungswassermenge allgemein stark von den örtlichen Gegebenheiten und den Einleitungsbedingungen ab. Demzufolge kann im Nahbereich meist nicht von einer vollständigen Vermischung der abgeleiteten radioaktiven Abwässer mit dem gesamten Abfluss des Vorfluters – der im Nahbereich der TUM durch die in der nachfolgenden Tabelle 2-2 angegebenen Langzeitmittelwerte (Zeitraum 1959 bis 2012) für den Abfluss der Isar am stromabwärts der TUM bei Flusskilometer 113,7 liegenden Pegel Freising charakterisiert wird [LfU 17] – bis zum Erreichen der relevanten Einwirkungsstelle ausgegangen werden.

Tabelle 2-2: Mittlerer Abfluss der Isar am Pegel Freising bei Flusskilometer 113,7 (Langzeitmittelwert 1959-2012) [LfU 17]

Mittlerer Abfluss Pegel Freising (Langzeitmittelwert 1959-2012)	
im Kalenderjahr	24,4 m ³ /s
im Sommerhalbjahr	32,3 m ³ /s

2.4.2. Vermischungswassermengen für Ableitungen der TUM

Gemäß den Planungen der TUM sollen die anfallenden radioaktiven Abwässer der TUM – d. h. des FRM II (inkl. FRM alt) und der RCM (inkl. Zyklotron und IAZ) – auch zukünftig weiterhin jeweils

separat und chargenweise unter Einsatz von Spülwasser über den bestehenden gemeinsamen unterirdischen Abgabekanal und dem sich anschließenden Einleitbauwerk flussmittig in die Isar abgeleitet werden. Der Einsatz von Spülwasser soll – ebenfalls wie bisher – sowohl vor und nach der Abwasserabgabe zur Spülung des Abgabekanal und des Einleitbauwerks als auch während des Abgabevorgangs zur Erhöhung der abgegebenen Wassermenge erfolgen. Die hierzu aus umliegenden Grundwasserbrunnen entnommene Spülwassermenge soll allerdings zukünftig zur Ressourcenschonung reduziert werden.

Im Auftrag der TUM wurde in den Jahren 2001 und 2017 das Ausmaß der sich unmittelbar unterhalb des Einleitungsbauwerks einstellenden Durchmischung des Abwassers der TUM mit dem Abfluss der Isar von der Firma Hydroisotop GmbH mittels Tracereinspeisung bei unterschiedlichen Abwassereinleitraten (Einspeiseraten) untersucht [HYD 01], [HYD 17]. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in der nachfolgenden Tabelle 2-3 zusammengefasst. Dargestellt ist der ermittelte Durchmischungsgrad in Abhängigkeit von den betrachteten Entfernungen zum Einleitungsbauwerk und von den verwendeten Abwassereinspeiseraten.

Tabelle 2-3: Ergebnisse der Durchmischungsmessungen 2001 [HYD 01] und 2017 [HYD 17]

Entfernung Einleitstelle TUM [m]	Durchmischungsgrad		
	Messung 2001 [%]	Messung 13.10.2017 [%]	Messung 16.10.2017 [%]
Einletrate	25 l/s	10 l/s	30 l/s
10	25	n. b.	n. b.
50	54 - 56	65	61
100	n. b.	73	71
1.000	88	95	92
1.750	95 - 97	96	90
5.800	99 - 100	99	99

n. b.: nicht bestimmt

In verschiedenen Abständen (10 m, 50 m, 100 m, 1.000 m, 1.750 m und 5.800 m) wurden i. d. R. mehrere Messprofile (mit Ausnahme im Abstand von 10 m) für unterschiedliche Einspeiseraten (10 l/s, 25 l/s und 30 l/s) erstellt. Im Abstand von 10 m wurde nur ein Messprofil bei einer Einspeiserate von 25 l/s aufgenommen. Im Ergebnis der Untersuchungen kann davon ausgegangen werden, dass die Durchmischung zum einen relativ schnell erfolgt und zum anderen der Grad der Durchmischung (zumindest ab einem Abstand von 50 m von der Einleitstelle) praktisch unabhängig von der konkreten Abwasserabflussrate ist, wenn diese im praxisrelevanten Bereich von 10 l/s bis 30 l/s liegt.

Ausgehend vom derzeitigen Kenntnisstand wurden zur Berechnung der in den verschiedenen hier relevanten Entfernungsbereichen der TUM (vgl. Abschnitt 2.3.1) resultierenden potenziellen Strahlenexposition der Bevölkerung infolge der Einleitung radioaktiver Abwässer des FRM II (inkl. FRM alt) sowie der RCM (inkl. Zyklotron und IAZ) über das Einleitungsbauwerk bei Flusskilometer 130,3 folgende Annahmen und Randbedingungen unterstellt:

- Mit den eingeleiteten radioaktiven Abwässern werden insbesondere weder Abwärme oder Nährstoffe in den Vorfluter abgeführt noch der Sauerstoffgehalt besonders erhöht. Daher wird davon ausgegangen, dass der unmittelbare Bereich um die Einleitstelle der TUM kein bevorzugter Aufenthaltsort von Fischen sein wird.

- Die Abgabe der radioaktiv kontaminierten Abwässer der TUM erfolgt diskontinuierlich, aber dennoch zeitlich gleichmäßig über das gesamte Jahr verteilt.
- Im Ergebnis der durchgeführten Durchmischungsuntersuchungen durch die Hydroisotop GmbH kann bei der vorgesehenen Abgabep Praxis – d. h. bei einer separaten, über das gesamte Jahr gleichmäßig verteilten, chargenweisen Abgabe von radioaktivem Abwasser (inkl. Spülwasser) des FRM II (inkl. FRM alt) und der RCM (inkl. Zyklotron und IAZ) zwischen 10 l/s bis 30 l/s – bereits in unmittelbarer Umgebung der Einleitungsstelle von einer relativ schnell erfolgenden Vermischung der von der TUM abgeleiteten Abwässer mit dem Abfluss der Isar ausgegangen werden (vgl. Tabelle 2-3).
- Ausgehend von den Ergebnissen der Durchmischungsuntersuchungen durch die Hydroisotop GmbH (vgl. Tabelle 2-3) wird konservativ im Nahbereich der TUM ein Durchmischungsgrad der Abwässer der TUM mit den in Tabelle 2-2 angegebenen Langzeitmittelwerten (Zeitraum 1959 bis 2012) des Abflusses der Isar am Pegel Freising bei Flusskilometer 113,7 von 20 % (entsprechend einer Vermischungswassermenge von 4,88 m³/s im Kalenderjahr und von 6,46 m³/s im Sommerhalbjahr) in Ansatz gebracht.
- Im Fernbereich der TUM kann von einer vollständigen Durchmischung der Abwässer der TUM mit dem gesamten Abfluss der Isar ausgegangen werden (vgl. Tabelle 2-3). In diesem Entfernungsbereich wird daher ein Durchmischungsgrad der Abwässer der TUM mit den in Tabelle 2-1 angegebenen Langzeitmittelwerten (Zeitraum 1959 bis 2007) des Abflusses der Isar am Pegel Landshut/Birket bei Flusskilometer 76,5 von 100 % (entsprechend einer Vermischungswassermenge von 162 m³/s im Kalenderjahr bzw. von 177 m³/s im Sommerhalbjahr) unterstellt.

Bemerkung: Bei diskontinuierlicher, aber dennoch zeitlich über das gesamte Jahr weitgehend gleichmäßig verteilter Ableitung der anfallenden radioaktiven Abwässer, kann zum Zwecke der Expositionsrechnung von einer quasikontinuierlichen Ableitung ausgegangen werden. Diese Vorgehensweise ist auch wegen der dann ebenfalls über das Gesamtjahr verteilten, d. h. ebenfalls quasikontinuierlichen Exposition über den Wasserpfad gerechtfertigt. Für eine über das Gesamtjahr verteilte, d. h. quasikontinuierliche Ableitung sind somit dosisbestimmend (1) die abgeleitete Gesamtaktivität und (2) die wirksame Vermischungswassermenge wie oben angesetzt.

Die nachfolgende Tabelle 2-4 fasst die hier zugrunde gelegten Vermischungswassermengen bezüglich der Aktivitätsabgaben der TUM in Abhängigkeit von den betrachteten Entfernungsbereichen zusammen.

Tabelle 2-4: Vermischungswassermengen bezüglich der Aktivitätsabgaben der TUM in Abhängigkeit von den relevanten Entfernungsbereichen der TUM

Einleiter	Vermischungswassermenge Q _v			
	Kalenderjahr		Sommerhalbjahr	
	Nahbereich ¹⁾	Fernbereich	Nahbereich	Fernbereich
TUM	4,88 m ³ /s	162 m ³ /s	6,46 m ³ /s	177 m ³ /s

¹⁾ Entfernungsbereiche bezogen auf den Standort der TUM

2.4.3. Vermischungswassermengen für andere Einleiter bzw. Einleitungen

Wie zuvor bereits erwähnt (vgl. Abschnitt 2.3.2) ergeben sich mögliche Vorbelastungen der Isar im Einwirkungsbereich der radioaktiven Ableitungen der TUM durch die genehmigten Ableitungen des KKI (Blöcke KKI-1 und KKI-2) sowie durch die Einleitungen der SEA (Krankenhäuser, Forschungsinstitute, Kläranlagen etc.). Für die Ableitungen dieser anderen Einleiter sind wie für die Ableitungen der TUM ebenfalls wirksame Vermischungswassermengen in geeigneter Weise festzulegen.

2.4.3.1. Vermischungswassermengen für Ableitungen des KKI

Die genehmigte Einleitung radioaktiver Abwässer des KKI (Blöcke KKI-1 und KKI-2) in die Isar erfolgt mit den rücklaufenden Kühlwassermengen über die entsprechenden Auslaufkanäle direkt oberhalb des Turbineneinlaufs des Wasserkraftwerks Niederaichbach bei Flusskilometer 60,6. Durch die konstruktive Gestaltung des Einleitbauwerks ist auf diese Weise sichergestellt, dass die abgegebenen Abwässer des KKI mit mindestens 70 m³/s Isarwasser vermischt werden. Im Nahbereich des KKI wird daher im Rahmen dieses Berichts eine Vermischungswassermenge von 70 m³/s für die radioaktiven Ableitungen der beiden Blöcke KKI-1 und KKI-2 angesetzt [TUM 18].

In größerer Entfernung von der Einleitstelle kann gemäß AVV von einer vollständigen Durchmischung der eingeleiteten Abwässer mit dem Wasser des Vorfluters ausgegangen werden. Im Fernbereich des KKI darf daher der gesamte mittlere Abfluss der Isar als Vermischungswassermenge in Ansatz gebracht werden. Die Festlegung dieses Parameters erfolgt hier auf Basis der in Tabelle 2-1 angegebenen Langzeitmittelwerte (Zeitraum 1959 bis 2007) von 162 m³/s im Kalenderjahr und von 177 m³/s im Sommerhalbjahr für den Abfluss der Isar am Pegel Landshut/Birket, der sich oberhalb der Einleitstelle des KKI bei Flusskilometer 76,5 befindet (vgl. Abbildung 2-1).

Die nachfolgende Tabelle 2-5 fasst die hier unterstellten Vermischungswassermengen bezüglich der Aktivitätsabgaben des KKI in Abhängigkeit von den hier relevanten Entfernungsbereichen zusammen.

Tabelle 2-5: Vermischungswassermengen bezüglich der Aktivitätsabgaben des KKI in Abhängigkeit von den relevanten Entfernungsbereichen der TUM und der Anlage selbst

Einleiter	Vermischungswassermenge Q _v			
	Kalenderjahr		Sommerhalbjahr	
	Nahbereich ¹⁾	Fernbereich	Nahbereich	Fernbereich
KKI (Nahbereich)	-	70 m ³ /s	-	70 m ³ /s
KKI (Fernbereich)	-	162 m ³ /s	-	177 m ³ /s

¹⁾ Entfernungsbereiche bezogen auf den Standort der TUM

2.4.3.2. Vermischungswassermengen für Ableitungen der SEA

Wie in Abschnitt 2.3.2.2 bereits erwähnt wird im Rahmen dieses Berichts unterstellt, dass sich die radioaktiven Einleitungen der SEA jeweils sehr schnell und vollständig mit dem gesamten Abfluss der Isar vermischen. Die für die Einleitungen der SEA wirksame Vermischungswassermenge wird daher im Nahbereich der TUM durch die Langzeitmittelwerte (Zeitraum 1959 bis 2012) für den Abfluss der Isar am Pegel Freising bei Flusskilometer 113,7 von 24,4 m³/s im Kalenderjahr und von 32,3 m³/s im Sommerhalbjahr (vgl. Tabelle 2-2) sowie im Fernbereich der TUM durch die entsprechenden Langzeitmittelwerte (Zeitraum 1959 bis 2007) für den Abfluss der Isar am Pegel Landshut/Birket bei Flusskilometer 76,5 von 162 m³/s im Kalenderjahr und von 177 m³/s im Sommerhalbjahr (vgl. Tabelle 2-1) bestimmt.

Die im Rahmen dieses Berichts angesetzten Vermischungswassermengen bezüglich der Aktivitätsabgaben der SEA sind in der nachfolgenden Tabelle 2-6 in Abhängigkeit von den betrachteten Entfernungsbereichen der TUM zusammengefasst.

Tabelle 2-6: Vermischungswassermengen bezüglich der Aktivitätsabgaben der SEA in Abhängigkeit von den relevanten Entfernungsbereichen der TUM

Einleiter	Vermischungswassermenge Q _v			
	Kalenderjahr		Sommerhalbjahr	
	Nahbereich ¹⁾	Fernbereich	Nahbereich	Fernbereich
SEA	24,4 m ³ /s	162 m ³ /s	32,3 m ³ /s	177 m ³ /s

¹⁾ Entfernungsbereiche bezogen auf den Standort der TUM

3. AKTIVITÄTSABGABEN MIT WASSER

3.1. Aktivitätsabgaben der TUM

Die wassergetragenen Aktivitätsabgaben der TUM werden – wie einleitend bereits erwähnt – entsprechend ihrer Herkunft, Sammlung und Abgabep Praxis unterteilt in Ableitungen des FRM II (inkl. FRM alt) und Ableitungen der RCM (inkl. Zyklotron und IAZ). Im Hinblick auf die Wahl eines geeigneten Nuklidvektors zur Berechnung der resultierenden Strahlenexposition über den Wasserpfad infolge der zukünftigen radioaktiven Ableitungen des FRM II (inkl. FRM alt) werden in Abschnitt 3.1.1 zunächst diesbezügliche Vorbetrachtungen allgemeinerer Art für Leichtwasserreaktoren durchgeführt. Die Festlegung der im Rahmen dieses Berichts zugrunde gelegten nuklidspezifischen Höchstwerte für die zukünftigen radioaktiven Abwasserabgaben erfolgt anschließend in Abschnitt 3.1.2 für den FRM II (inkl. FRM alt) und in Abschnitt 3.1.3 für die RCM (inkl. Zyklotron und IAZ).

3.1.1. Vorbetrachtungen

Für den Leistungsbetrieb von Leichtwasserreaktoren kann gemäß AVV zur Berechnung der resultierenden potenziellen Strahlenexposition von Referenzpersonen der allgemeinen Bevölkerung über den Wasserpfad der in Tabelle 3-1 angegebene Nuklidvektor NV1 zugrunde gelegt werden [AVV 12]. Die Anwendung dieses Nuklidvektors, der aus einem separaten Tritiumanteil und einem Modellgemisch für den verbleibenden Radionuklidanteil ohne Tritium (tritiumfreies Nuklidgemisch) besteht, ergibt eine konservative Abschätzung der Strahlenexposition, verglichen mit der durch reale Ableitungen über den Wasserpfad verursachten Strahlenexposition [BMU 92].

Tabelle 3-1: Nuklidvektoren von Kernkraftwerken im Leistungsbetrieb (Nuklidvektor NV1) und im Restbetrieb (Nuklidvektor NV2) für Ableitungen von radioaktiven Stoffen mit Wasser

Nuklid	Nuklidvektor NV1 - Leistungsbetrieb -	Nuklidvektor NV2 - Restbetrieb -
Tritiumfreies Nuklidgemisch		
Co 58	19 %	-
Co 60	20 %	31 %
Sr 90	1 %	2 %
I 131	10 %	-
Cs 134	20 %	23 %
Cs 137	30 %	41 %
Am 241	-	3 %
Summe	100 %	100 %
Tritium		
H-3	100 %	100 %

Zur konservativ abdeckenden Berechnung der potenziellen Strahlenexposition aufgrund radioaktiver Einleitungen eines Leichtwasserreaktors im Restbetrieb kann der in Tabelle 3-1 dargestellte Nuklidvektor NV2 angesetzt werden. Dieser Nuklidvektor ergibt sich unter der Annahme einer Abklingzeit von mindestens 0,5 Jahren unmittelbar aus dem Nuklidvektor NV1 für den Leistungsbetrieb, wobei pessimistisch der verbleibende und vergleichsweise schnell abklingende Restanteil an Co 58 vollständig dem Anteil an Co 60 hinzugeschlagen sowie anschließend ein durch das

Radionuklid Am 241 repräsentierter Actinoidenanteil von 3 % beigemischt werden. Die Ergänzung eines Actinoidenanteils berücksichtigt den Umstand, dass sich infolge der Rückbauarbeiten (Zerlegung, Dekontamination etc.) sowie aufgrund längerer Abklingvorgänge der relative Anteil mit Wasser freisetzbarer Actinoide im Anlagennuklidvektor erhöhen könnte und eine Ableitung dieser Nuklide mit dem Abwasser nicht vollständig ausgeschlossen werden kann. Die Höhe des angesetzten Actinoidenanteils orientiert sich dabei an den in [DIN 12] enthaltenen Beispielen möglicher Nuklidvektoren aus Kernkraftwerken im Rückbau für komplexere Kontaminationen mit geringfügigem Alpha-Anteil (vgl. [DIN 12], Tabelle B.1).

Aufgrund der unterschiedlichen Verteilung und dosisrelevanten Bedeutung der einzelnen Nuklide ergeben sich bei der Berechnung der Strahlenexposition über den Wasserpfad – sowohl von Referenzpersonen der Bevölkerung als auch von Referenzorganismen der umgebenden Flora & Fauna – bei Anwendung des Nuklidvektors NV2 für den Restbetrieb höhere Dosiswerte als bei Anwendung des Nuklidvektors NV1 für den Leistungsbetrieb. In diesem Sinne kann der Nuklidvektor NV2 für den Restbetrieb als radiologisch abdeckend für den durch den Nuklidvektor NV1 charakterisierten Leistungsbetrieb angesehen und für entsprechende Abschätzungen der infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser resultierenden potenziellen Strahlenexposition herangezogen werden.

3.1.2. Aktivitätsabgaben des FRM II (inkl. FRM alt)

Nach den aktuellen Planungen der TUM sollen die bisherigen Genehmigungswerte für die radioaktiven Ableitungen des FRM II mit Wasser im Leistungsbetrieb auch zukünftig für die gemeinsamen Ableitungen des FRM II im Leistungsbetrieb und des FRM alt im Restbetrieb fortgelten. Demnach dürfen zukünftig die wassergetragenen Aktivitätsabgaben des FRM II (inkl. FRM alt) in der Summe die in Tabelle 3-2 angegebenen Jahreshöchstwerte (Genehmigungswerte) für Tritium und für das tritiumfreie Radionuklidgemisch nicht überschreiten [TUM 18].

Tabelle 3-2: Fortgeltende Höchstwerte (Genehmigungswerte) für die zulässigen jährlichen Aktivitätsabgaben des FRM II (inkl. FRM alt) mit Wasser [TUM 18]

Fortgeltende Höchstwerte (Genehmigungswerte) für die zulässigen jährlichen Aktivitätsabgaben des FRM II (inkl. FRM alt) mit Wasser	
	FRM II (inkl. FRM alt)
Tritium H-3	$2,00 \cdot 10^{11}$ Bq/a
Nuklidgemisch ohne H-3	$2,00 \cdot 10^{09}$ Bq/a

Im vorliegenden Fall befindet sich der FRM alt im Unterschied zum FRM II nicht im Leistungsbetrieb, sondern im Restbetrieb. Daher wird im Rahmen dieses Berichts – ausgehend von den Vorbetrachtungen in Abschnitt 3.1.1 und unter Zugrundelegung der vorgesehenen Genehmigungswerte gemäß Tabelle 3-2 – zur konservativ abdeckenden Berechnung der potenziellen Strahlenexposition über den Wasserpfad aufgrund der radioaktiven Ableitungen des FRM II (inkl. FRM alt) der in der nachfolgenden Tabelle 3-3 angegebene Nuklidvektoren NV2 für den Restbetrieb von Leichtwasserreaktoren zugrunde gelegt. Der entsprechende Nuklidvektor NV1 für den Leistungsbetrieb (vgl. Abschnitt 3.1.1) von Leichtwasserreaktoren ist für Vergleichszwecke in der Tabelle ebenfalls dargestellt.

Tabelle 3-3: Nuklidspezifische Höchstwerte der zulässigen jährlichen Aktivitätsabgaben des FRM II (inkl. FRM alt) mit Wasser für den Leistungsbetrieb und für den Restbetrieb beider Anlagen

Nuklidspezifische Höchstwerte der zulässigen jährlichen Aktivitätsabgaben des FRM II (inkl. FRM alt) mit Wasser für den Leistungsbetrieb und für den Restbetrieb beider Anlagen					
Nuklid	FRM II (inkl. FRM alt) - Leistungsbetrieb - (Nuklidvektor NV1)		FRM II (inkl. FRM alt) - Restbetrieb - (Nuklidvektor NV2)		
	Abgabe [Bq/a]	Anteil	Abgabe [Bq/a]	Anteil	
Tritiumfreies Nuklidgemisch					
Co-58	3,80·10 ⁰⁸	19,0 %	-	-	
Co-60	4,00·10 ⁰⁸	20,0 %	6,20·10 ⁰⁸	31,0 %	
Sr-90	2,00·10 ⁰⁷	1,0 %	4,00·10 ⁰⁷	2,0 %	
I-131	2,00·10 ⁰⁸	10,0 %	-	-	
Cs-134	4,00·10 ⁰⁸	20,0 %	4,60·10 ⁰⁸	23,0 %	
Cs-137	6,00·10 ⁰⁸	30,0 %	8,20·10 ⁰⁸	41,0 %	
Am-241	-	-	6,00·10 ⁰⁷	3,0 %	
Summe	2,00·10 ⁰⁹	100,0 %	2,00·10 ⁰⁹	100,0 %	
Tritium					
H-3	2,00·10 ¹¹	100,0 %	2,00·10 ¹¹	100,0 %	

Bemerkung: Geplante bzw. fortgeltende Genehmigungswerte sind in der Tabelle grün hinterlegt

3.1.3. Aktivitätsabgaben der RCM (inkl. Zyklotron und IAZ)

Für die Aktivitätsabgaben mit Wasser der RCM, des Zyklotrons und des IAZ werden nach den aktuellen Planungen der TUM neue gemeinsame Genehmigungswerte beantragt. Die neuen Genehmigungswerte sollen dabei gegenüber den alten Genehmigungswerten für Tritium um 90 % und für das tritiumfreie Radionuklidgemisch um 50 % reduziert werden. Entsprechend dürfen die zukünftigen Aktivitätsabgaben der RCM (inkl. Zyklotron und IAZ) in der Summe die in Tabelle 3-4 angegebenen Jahreshöchstwerte (Genehmigungswerte) für Tritium und für das tritiumfreie Radionuklidgemisch nicht überschreiten [TUM 18].

Tabelle 3-4: Geplante Höchstwerte (Genehmigungswerte) für die zulässigen jährlichen Aktivitätsabgaben der RCM (inkl. Zyklotron und IAZ) mit Wasser [TUM 18]

Geplante Höchstwerte (Genehmigungswerte) für die zulässigen jährlichen Aktivitätsabgaben der RCM (inkl. Zyklotron und IAZ) mit Wasser	
	RCM (inkl. Zyklotron und IAZ)
Tritium H-3	3,70·10 ⁰⁹ Bq/a
Nuklidgemisch ohne H-3	5,55·10 ⁰⁸ Bq/a

In [SIE 98] wurde für den Zeitraum vor der Inbetriebnahme des IAZ die potenziell resultierende Strahlenexposition der allgemeinen Bevölkerung infolge der Ableitung der radioaktiven Abwässer der RCM (inkl. Zyklotron) radiologisch abdeckend abgeschätzt. Den Berechnungen zugrunde gelegt wurde der in Tabelle 3-5 dargestellte Nuklidvektor NV3(alt). Die Ergebnisse dieser Berechnungen – und damit auch der Nuklidvektor NV3(alt) – wurden ebenfalls als radiologisch abdeckend für die nach Inbetriebnahme des IAZ infolge der Ableitung der radioaktiven Abwässer der RCM (inkl. Zyklotron

und IAZ) resultierende potenzielle Strahlenexposition betrachtet und liegen den derzeit geltenden strahlenschutz- und wasserrechtlichen Genehmigungen der TUM zugrunde.

Gemäß [TUM 18] umfasst die Handhabung in der RCM bis auf die Isotope Br-80m, Br-82 und Re-188 alle Nuklide, mit denen auch im IAZ umgegangen wird. Ausgehend von der Nuklidverteilung des Nuklidvektors NV3(alt) und unter Berücksichtigung der mit [TUM 18] zur Verfügung gestellten Summenwerte und Jahresmittelwerte der Aktivitätsabgaben der RCM (inkl. Zyklotron und IAZ) für die Jahre 2011 bis 2017 wird anstelle des Nuklidvektors NV3(alt) der in Tabelle 3-5 angegebene Nuklidvektor NV3 als adäquat für eine radiologisch abdeckende Charakterisierung der zukünftig mit Wasser abgeleiteten radioaktiven Stoffe der RCM (inkl. Zyklotron und IAZ) erachtet und im Rahmen dieses Berichts zur Berechnung der resultierenden potenziellen Strahlenexposition angesetzt.

Tabelle 3-5: Nuklidspezifische Höchstwerte der jährlichen Aktivitätsabgaben der RCM (inkl. Zyklotron und IAZ) mit Wasser

Nuklidspezifische Höchstwerte der jährlichen Aktivitätsabgaben der RCM (inkl. Zyklotron und IAZ) mit Wasser					
Nuklid	RCM (inkl. Zyklotron) (Nuklidvektor NV3(alt))		RCM (inkl. Zyklotron und IAZ) (Nuklidvektor NV3)		
	Abgabe [Bq/a]	Anteil	Abgabe [Bq/a]	Anteil	
Tritiumfreies Nuklidgemisch					
Co-60	$5,55 \cdot 10^6$	0,50 %	$1,11 \cdot 10^8$	20,00 %	
Zn-65	$5,55 \cdot 10^6$	0,50 %	-	-	
Sr-90	$5,55 \cdot 10^6$	0,50 %	-	-	
Sb-125	$5,55 \cdot 10^6$	0,50 %	-	-	
Cs-137	$5,55 \cdot 10^6$	0,50 %	$1,11 \cdot 10^8$	20,00 %	
U-238	$3,55 \cdot 10^8$	32,00 %	-	-	
Pu-238	-	-	$1,67 \cdot 10^8$	30,00 %	
Pu-239	$7,27 \cdot 10^8$	65,50 %	-	-	
Am-241	-	-	$1,67 \cdot 10^8$	30,00 %	
Summe	$1,11 \cdot 10^9$	100,0 %	$5,55 \cdot 10^8$	100,0 %	
Tritium					
H-3	$3,70 \cdot 10^{10}$	100,0 %	$3,70 \cdot 10^9$	100,0 %	

Bemerkung: Geplante bzw. fortgeltende Genehmigungswerte sind in der Tabelle grün hinterlegt. Der Nuklidvektor NV3 bezieht sich auf die neu geplanten und der Nuklidvektor NV3(alt) auf die bisher gültigen Genehmigungswerte.

Bemerkungen:

- 1) Alpha-Strahler werden im Nuklidvektor NV3 durch die Actinoide Pu-238 und Am-241 radiologisch abgedeckt. Der Aktivitätsanteil von Alphastrahlern wurde von 97,5 % in NV3(alt) auf 60 % in NV3 reduziert. Der Anteil an Alpha-Strahlern in den kumulierten Abgaben der Jahre 2011 bis 2017 liegt deutlich unterhalb von 1 %.
- 2) Reine Beta-Strahler, deren Anteil in den kumulierten Abgaben der Jahre 2011 bis 2017 bei über 80 % liegt, werden durch die in NV3 berücksichtigten Actinoide radiologisch mit abgedeckt.
- 3) Beta/Gamma-Strahler, deren Anteil in den kumulierten Abgaben der Jahre 2011 bis 2017 bei über 15 % liegt, werden in NV3 radiologisch abdeckend durch Co-60 und Cs-137 repräsentiert. Um neben potenziellen externen Dosisbelastungen (Gamma-Bodenstrahlung) auch potenzielle interne Strahlenexpositionen durch Ingestion (insbesondere bei Kleinkinder) angemessen zu berücksichtigen, wurde in NV3 neben Co-60 auch Cs-137 mit gleichem Anteil angesetzt.

3.2. Aktivitätsabgaben anderer Einleiter bzw. Einleitungen

Mögliche Vorbelastungen der Isar im Einwirkungsbereich der radioaktiven Ableitungen der TUM ergeben sich (vgl. Abschnitte 2.3.2 und 2.4.3) durch die genehmigten Ableitungen des KKI (Blöcke KKI-1 und KKI-2) sowie durch Einleitungen der SEA (Krankenhäuser, Forschungsinstitute, Kläranlagen etc.). Nachfolgend werden die nuklidspezifischen Aktivitätsabgaben dieser anderen Einleiter bzw. Einleitungen beschrieben.

3.2.1. Aktivitätsabgaben des KKI

Im Zusammenhang mit der Erstellung von Nachweisunterlagen für neuere strahlenschutz- und wasserrechtliche Genehmigungsanträge des KKI wurden für die Ableitungen mit Wasser der beiden Blöcke KKI-1 im Restbetrieb und KKI-2 im Leistungsbetrieb die in der nachfolgenden Tabelle 3-6 angegebenen Jahreshöchstwerte (Genehmigungswerte) für Tritium und für das tritiumfreie Radionuklidgemisch zugrunde gelegt [TUM 18], [LfU 18].

Tabelle 3-6: Höchstwerte der jährlichen Aktivitätsabgaben (Genehmigungswerte) mit Wasser der Blöcke KKI-1 im Restbetrieb und KKI-2 im Leistungsbetrieb [TUM 18], [LfU 18]

Höchstwerte der jährlichen Aktivitätsabgaben (Genehmigungswerte) mit Wasser der Blöcke KKI-1 im Restbetrieb und KKI-2 im Leistungsbetrieb		
	KKI-1 (Restbetrieb)	KKI-2 (Leistungsbetrieb)
Tritium H-3	$1,85 \cdot 10^{13}$ Bq/a	$4,80 \cdot 10^{13}$ Bq/a
Nuklidgemisch ohne H-3	$1,10 \cdot 10^{11}$ Bq/a	$5,50 \cdot 10^{10}$ Bq/a

Die bei der Nachweisunterlagenerstellung angesetzten nuklidspezifischen Höchstwerte für radioaktive Ableitungen mit Wasser der beiden Blöcke KKI-1 im Restbetrieb (Nuklidvektor NV4) und KKI-2 im Leistungsbetrieb (Nuklidvektor NV5) sind in der nachfolgenden Tabelle 3-7 zusammengestellt und werden auch für die im Rahmen dieses Berichts durchgeführten Dosisberechnungen zugrunde gelegt [TUM 18].

Tabelle 3-7: Nuklidspezifische Höchstwerte der jährlichen Aktivitätsabgaben des Blocks KKI-1 im Restbetrieb und des Blocks KKI-2 im Leistungsbetrieb mit Wasser [TUM 18]

Nuklidspezifische Höchstwerte der jährlichen Aktivitätsabgaben der beiden Blöcke KKI-1 und KKI-2				
Nuklid	KKI-1 - Restbetrieb (Nuklidvektor NV4)		KKI-2 - Leistungsbetrieb (Nuklidvektor NV5)	
	Abgabe [Bq/a]	Anteil	Abgabe [Bq/a]	Anteil
Tritiumfreies Nuklidgemisch				
Co-58	-	-	$1,05 \cdot 10^{10}$	19,0 %
Co-60	$3,52 \cdot 10^{10}$	32,0 %	$1,10 \cdot 10^{10}$	20,0 %
Sr-90	$2,20 \cdot 10^{09}$	2,0 %	$5,50 \cdot 10^{08}$	1,0 %
I-131	-	-	$5,50 \cdot 10^{09}$	10,0 %
Cs-134	$2,64 \cdot 10^{10}$	24,0 %	$1,10 \cdot 10^{10}$	20,0 %
Cs-137	$4,62 \cdot 10^{10}$	42,0 %	$1,65 \cdot 10^{10}$	30,0 %
Summe	$1,10 \cdot 10^{11}$	100,0 %	$5,50 \cdot 10^{10}$	100,0 %
Tritium				
H-3	$1,85 \cdot 10^{13}$	100,0 %	$4,80 \cdot 10^{13}$	100,0 %

Bemerkung: Genehmigungswerte sind in der Tabelle grün hinterlegt.

Bemerkungen:

- 1) Das im Nuklidvektor NV5 enthaltene Nuklidgemisch ohne Tritium entspricht dem in der AVV vorgegebenen Modellgemisch.
- 2) Der Nuklidvektor NV4 ergibt sich unter der Annahme einer Abklingzeit von 0,5 Jahren unmittelbar aus dem Modellgemisch der AVV, wobei pessimistisch der verbleibende und vergleichsweise schnell abklingende Anteil an Co 58 von ca. 4,5 % vollständig dem Anteil an Co 60 zugeschlagen wurde (vgl. Abschnitt 3.1.1).

3.2.2. Aktivitätsabgaben der SEA

Eine detaillierte Auflistung der potentiellen radiologischen Vorbelastungen der Isar durch SEA wurde vom Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) in Form von nuklidabhängigen „realistischen Planungswerten (Stand 02/2018)“ der Kläranlagen und Abwassersysteme, über die die Einleitung der radioaktiven Stoffe in die Isar erfolgt, zur Verfügung gestellt [LfU 18]. In der nachfolgenden Tabelle 3-8 sind die durch nuklidspezifische Summation der realistischen Planungswerte der einzelnen Kläranlagen und Abwassersysteme gebildeten nuklidabhängigen summarischen Planungswerte für die jährlichen Aktivitätsabgaben der SEA bezogen auf die verschiedenen betrachteten Entfernungsbereiche der TUM angegeben. Die Berechnung der potenziellen radiologischen Vorbelastungen der Isar durch SEA erfolgte im Rahmen dieses Berichts mit Hilfe dieser nuklidabhängigen summarischen Planungswerte.

Tabelle 3-8: Nuklidabhängige summarische Planungswerte für die jährlichen Aktivitätsabgaben der SEA bezogen auf die betrachteten Entfernungsbereiche der TUM nach [LfU 18]

Nuklidabhängige summarische Planungswerte für die jährlichen Aktivitätsabgaben der SEA bezogen auf die betrachteten Entfernungsbereiche der TUM					
Nuklid	Nahbereich [Bq/a]	Fernbereich [Bq/a]	Nuklid	Nahbereich [Bq/a]	Fernbereich [Bq/a]
H-3	$1,02 \cdot 10^9$	$2,51 \cdot 10^9$	Cs-137	$8,44 \cdot 10^3$	$2,11 \cdot 10^4$
C-14	$7,98 \cdot 10^6$	$2,00 \cdot 10^7$	Ba-133	$2,27 \cdot 10^3$	$5,68 \cdot 10^3$
P-32	$8,69 \cdot 10^7$	$2,16 \cdot 10^8$	Sm-153	$6,49 \cdot 10^9$	$1,42 \cdot 10^{10}$
S-35	$3,24 \cdot 10^8$	$8,10 \cdot 10^8$	Lu-177	$3,96 \cdot 10^{11}$	$9,90 \cdot 10^{11}$
Cr-51	$1,76 \cdot 10^8$	$4,39 \cdot 10^8$	Re-186	$4,40 \cdot 10^7$	$1,10 \cdot 10^8$
Ga-67	$1,54 \cdot 10^8$	$3,77 \cdot 10^8$	Tl-201	$1,07 \cdot 10^{10}$	$2,67 \cdot 10^{10}$
Se-75	$5,50 \cdot 10^7$	$1,38 \cdot 10^8$	Pb-210	$2,63 \cdot 10^4$	$6,58 \cdot 10^4$
Y-90	$7,55 \cdot 10^{10}$	$1,89 \cdot 10^{11}$	Ra-223	$1,89 \cdot 10^8$	$4,72 \cdot 10^8$
Tc-99m	$1,54 \cdot 10^{12}$	$3,56 \cdot 10^{12}$	Ra-226	$1,56 \cdot 10^3$	$3,60 \cdot 10^3$
In-111	$1,02 \cdot 10^9$	$2,00 \cdot 10^9$	U-233	$6,00 \cdot 10^0$	$6,00 \cdot 10^0$
Sn-113	$2,40 \cdot 10^3$	$6,00 \cdot 10^3$	U-234	$1,80 \cdot 10^2$	$1,80 \cdot 10^2$
I-123	$1,28 \cdot 10^{10}$	$2,84 \cdot 10^{10}$	U-238	$1,81 \cdot 10^4$	$4,51 \cdot 10^4$
I-125	$1,15 \cdot 10^5$	$2,89 \cdot 10^5$	Pu-239	$1,32 \cdot 10^2$	$1,32 \cdot 10^2$
I-131	$2,70 \cdot 10^{10}$	$6,66 \cdot 10^{10}$	Pu-242	$4,00 \cdot 10^{-1}$	$1,00 \cdot 10^0$
I-133	$1,38 \cdot 10^{10}$	$3,44 \cdot 10^{10}$	Am-241	$2,15 \cdot 10^3$	$5,02 \cdot 10^3$
Cs-134	$2,67 \cdot 10^5$	$6,68 \cdot 10^5$			

4. BERECHNUNG DER POTENZIELLEN STRAHLENEXPOSITION

4.1. Erläuterungen zur Dosisberechnung

Die Berechnung der potenziellen Strahlenexposition der Bevölkerung infolge der Einleitung radioaktiver Abwässer der TUM in die Isar erfolgte auf Basis der in Abschnitt 2 festgelegten Randbedingungen. Betrachtet wurden Referenzpersonen der Altersgruppen „*≤ 1 Jahr ohne Muttermilch*“, „*≤ 1 Jahr mit Muttermilch*“, „*> 1 Jahr - 2 Jahre*“, „*> 2 Jahre - 7 Jahre*“, „*> 7 Jahre - 12 Jahre*“, „*> 12 Jahre - 17 Jahre*“ und „*> 17 Jahre*“ an den jeweils ungünstigsten durch die Einleitungen der TUM beeinflussten Einwirkungsstellen im Bereich des Vorfluters. Diese sind entsprechend der AVV durch die Stellen in der Umgebung der Einleitstelle bestimmt, an denen aufgrund der Verteilung der abgeleiteten Radionuklide und unter Berücksichtigung realer Nutzungsmöglichkeiten durch den Aufenthalt oder Verzehr dort erzeugter Lebensmittel die jeweils höchsten potenziellen Strahlenexpositionen für die Referenzpersonen resultieren. Die von den hier betrachteten Einleitungen der TUM verursachten potenziellen Strahlenexpositionen wurden daher sowohl im Fernbereich als auch im Nahbereich der Einleitstelle der TUM ermittelt. Mögliche Vorbelastungen der Isar durch Einleitungen anderer relevanter Einleiter oder Einleitungen (KKI, SEA) wurden ebenfalls an diesen Einwirkungsstellen im Nah- und Fernbereich der TUM berechnet.

Die bei den Berechnungen zugrunde gelegten Lebensgewohnheiten der Referenzpersonen (Lebensmittelverbrauch, Aufenthaltszeiten) wurden gemäß den Vorgaben der AVV angesetzt. Die entsprechenden Parameterwerte sind in der folgenden Tabelle 4-1 angegeben.

Tabelle 4-1: Lebensgewohnheiten für Referenzpersonen der Bevölkerung

Lebensmittelgruppe	Altersgruppenabhängige jährliche Verzehrmenge in [kg]						
	>17a	>12-17a	>7-12a	>2-7a	>1-2a	≤1a ¹⁾	
						mMu	oMu
Trinkwasser	700	400	300	200	200	110	430
Muttermilch	0	0	0	0	0	320	0
Fisch	37,5	25	22,5	15	15	2,5	2,5
Milchprodukte	390	510	510	480	480	135	135
Fleischprodukte	180	160	130	100	26	10	10
Blattgemüse	39	33	27	21	18	9	9
pfl. Produkte ohne Blattgemüse	610	670	655	580	366	204	204
Expositionspfad	Altersgruppenabhängige jährliche Aufenthaltszeiten in [h]						
	>17a	>12-17a	>7-12a	>2-7a	>1-2a	≤1a	
Ufersediment (E5: Bo)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
Überschwemmungsg. (E12: Bo)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	

¹⁾ mMu: mit Muttermilch; oMu: ohne Muttermilch

Entsprechendes gilt für die unterstellten Akkumulationszeiträume für die Anreicherung emittierter Radionuklide in der Umwelt (d. h. im Boden bzw. im Sediment) vor dem Bezugsjahr der Strahlenexposition sowie für die angenommenen Reduktionsfaktoren der γ -Dosisleistung (Uferfaktoren) zur Berücksichtigung einer ggf. endlichen Flächengeometrie (z. B. schmaler Uferstreifen) gegenüber einer unendlich ausgedehnten Flächenquelle bei Bodenstrahlung. Auch diese Parameter wurden gemäß den Vorgaben der AVV unter Einbeziehung der örtlichen Gegebenheiten festgelegt und sind in der nachfolgenden Tabelle 4-2 zusammengestellt.

Tabelle 4-2: Akkumulationszeiträume von Radionukliden im Boden oder Sediment und Reduktionsfaktoren der Bodenstrahlung in Abhängigkeit von den zugeordneten Entfernungsbereichen

Einleiter	Entfernungsbereich ¹⁾	Akkumulationszeit von Radionukliden für den Expositionspfad			Reduktionsfaktor γ -Bodenstrahlung für den Expositionspfad		
		E4	E5	E12	E4	E5 (A1)	E12 (A2)
TUM	Nahbereich	50 a	50 a	50 a	-	0,2	1,0
	Fernbereich	50 a	50 a	50 a	-	0,2	1,0
KKI	Nahbereich	-	-	-	-	-	-
	Fernbereich	50 a	50 a	50 a	-	0,2	1,0
SEA	Nahbereich	50 a	50 a	50 a	-	0,2	1,0
	Fernbereich	50 a	50 a	50 a	-	0,2	1,0

¹⁾ Entfernungsbereiche bezogen auf den Standort der TUM

Als Akkumulationszeitraum für die Anreicherung von Radionukliden im Boden oder Ufersediment wurde bei den Expositionspfaden Beregnung (E4), Ufersediment (E5) und Überschwemmungsgebiete (E12) für alle betrachteten Einleiter oder Einleitungen und zugeordneten Entfernungsbereiche die gemäß AVV zu unterstellende Betriebszeit kerntechnischer Anlagen von 50 Jahren zugrunde gelegt. Bei der Berechnung der externen Strahlenexposition durch γ -Bodenstrahlung über die betrachteten Aufenthaltspfade A1 und A2 (vgl. Abschnitt 2.2) wurde unabhängig vom Entfernungsbereich des KKI beim Expositionspfad Ufersediment (E5: Bo) ein schmaler Uferstreifen unterstellt und beim Expositionspfad Überschwemmungsgebiete (E12: Bo) von einer unendlich ausgedehnten Flächenquelle ausgegangen. Gemäß AVV wurde für die Reduktionsfaktoren der γ -Bodenstrahlung bei schmalen Uferstreifen ein Wert von 0,2 und bei unendlichen Flächenquellen von 1,0 angesetzt.

4.2. Ergebnisse der Dosisberechnung

Die berechneten Dosishöchstwerte für die resultierende potenzielle Strahlenexposition von Referenzpersonen der zu berücksichtigenden Altersgruppen der Bevölkerung (vgl. Abschnitt 4.1) infolge der Abgabe radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser des FRM II (inkl. FRM alt) und der RCM (inkl. Zyklotron und IAZ) liegen sowohl im Fernbereich als auch im Nahbereich der TUM einschließlich möglicher Vorbelastungen unterhalb der nach § 47 Abs. 1 StrlSchV einzuhaltenden Dosisgrenzwerte (vgl. Abschnitt 1).

Die Detailergebnisse der durchgeführten Dosisberechnungen sind im Anhang dieses Berichts in Form von ganzseitigen Tabellen dargestellt. Angegeben sind jeweils die ermittelten Höchstwerte für die effektive Jahresdosis und für die Jahresdosis der betrachteten Organe/Gewebe sowie die zugehörige Grenzwertausschöpfung in Abhängigkeit von den verschiedenen Altersgruppen und den betrachteten Entfernungsbereichen. Der Maximalwert der Grenzwertausschöpfung ist dabei durch Fettschrift hervorgehoben und farbig hinterlegt.

Bei der Interpretation der Ergebnisse muss beachtet werden, dass den durchgeführten Berechnungen Annahmen zugrunde liegen, die den hier dargestellten Dosiswerten eine deutlich konservative Tendenz verleihen. So wird insbesondere unterstellt, dass die angesetzten maximalen jährlichen Ableitungswerte der betrachteten Einleiter vollständig ausgeschöpft werden und dass sich die betrachteten Referenzpersonen ausschließlich von Nahrungsmitteln ernähren, die an den jeweils ungünstigsten Einwirkungsstellen erzeugt wurden. Ferner ist davon auszugehen, dass die angewendeten Rechenverfahren der AVV hinsichtlich der flächenbezogenen Aktivität abgelagerter Sedimente zu ungünstigeren Werten führen als detailliertere standortspezifische Betrachtungen.

In den nachfolgenden Unterabschnitten werden die wesentlichen Ergebnisse der durchgeführten Dosisberechnungen zusammengefasst. Angegeben sind jeweils die ermittelten Höchstwerte der potenziellen effektiven Jahresdosis sowie die ermittelten Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis für die Körperbereiche mit maximaler Grenzwertausschöpfung. Die mit den Angaben zur Grenzwertausschöpfung korrespondierenden Dosiswerte – und damit auch die zugehörigen potenziell am stärksten exponierten Altersgruppen – sind dabei in Fettschrift dargestellt. Die jeweiligen ableitungsabhängigen Maximalwerte sind zudem farblich hinterlegt.

4.2.1. Nahbereich TUM

Die nachfolgende Tabelle 4-3 fasst die wesentlichen Ergebnisse der durchgeführten Dosisberechnungen für den Nahbereich der TUM zusammen. Demnach ergibt sich in diesem Bereich infolge der radioaktiven Ableitungen des FRM II (inkl. FRM alt) und der RCM (inkl. Zyklotron und IAZ) unter Einbeziehung möglicher Vorbelastungen der Isar durch SEA die maximale Grenzwertausschöpfung von insgesamt 40,1 % mit einer zugehörigen Jahresdosis von 360,8 μSv für den Körperbereich „Schilddrüse“ in der Altersgruppe „ ≤ 1 Jahr mit Muttermilch“. Bei der Effektivdosis ergibt sich mit einer entsprechenden Gesamtjahresdosis von 44,9 μSv die höchste Grenzwertausschöpfung von 15,0 % ebenfalls in dieser Altersgruppe.

Tabelle 4-3: Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis der Körperbereiche von Referenzpersonen der Bevölkerung mit maximaler Grenzwertausschöpfung im Nahbereich der TUM

Körperbereich	Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis [μSv]							Grenzwert- ausschöpfung
	>17a	>12-17a	>7-12a	>2-7a	>1-2a	$\leq 1a$ ¹⁾ mMu	oMu	
Ableitungen TUM mit Vorbelastungen								
Ovarien	17,1	14,8	12,6	11,1	12,4	18,9	13,3	6,3%
Rotes Knochenmark	18,1	18,9	15,5	13,7	16,2	43,4	45,6	15,2%
Schilddrüse	77,9	81,7	99,6	141,2	231,8	360,8	130,2	40,1%
Effektiv	22,7	21,1	21,1	21,9	32,0	44,9	29,9	15,0%
Ableitungen FRM II (inkl. FRM alt)								
Ovarien	14,0	11,9	9,7	8,4	9,0	11,7	8,0	4,7%
Rotes Knochenmark	13,5	12,5	10,1	8,5	9,4	14,9	13,1	5,0%
Schilddrüse	13,3	11,6	9,7	8,6	9,5	11,8	8,1	1,5%
Effektiv	13,3	11,6	9,7	8,5	9,4	12,4	8,9	4,4%
Ableitungen RCM (inkl. Zyklotron und IAZ)								
Ovarien	2,2	2,1	1,9	1,7	1,6	3,7	4,6	1,5%
Rotes Knochenmark	3,3	2,9	3,0	3,2	3,9	17,7	26,0	8,7%
Schilddrüse	1,5	1,4	1,3	1,2	1,3	2,1	2,1	0,2%
Effektiv	2,6	2,3	2,2	2,1	2,2	6,4	8,7	2,9%
Ableitungen KKI (KKI-1 und KKI-2)								
Ovarien	-	-	-	-	-	-	-	-
Rotes Knochenmark	-	-	-	-	-	-	-	-
Schilddrüse	-	-	-	-	-	-	-	-
Effektiv	-	-	-	-	-	-	-	-
Vorbelastungen SEA								
Ovarien	0,9	0,8	1,0	1,0	1,7	3,5	0,7	1,2%
Rotes Knochenmark	1,3	3,5	2,4	2,0	2,8	10,8	6,4	3,6%
Schilddrüse	63,2	68,7	88,6	131,3	220,9	346,9	120,1	38,5%
Effektiv	6,8	7,2	9,2	11,2	20,3	26,1	12,2	8,7%

¹⁾ mMu: mit Muttermilch; oMu: ohne Muttermilch

4.2.2. Fernbereich TUM, Nahbereich KKI

Die nachfolgende Tabelle 4-4 fasst die wesentlichen Ergebnisse der durchgeführten Dosisberechnungen für den im Fernbereich der TUM liegenden Nahbereich des KKI zusammen. Demnach ergibt sich in diesem Bereich infolge der radioaktiven Ableitungen des FRM II (inkl. FRM alt) und der RCM (inkl. Zyklotron und IAZ) unter Einbeziehung möglicher Vorbelastungen der Isar durch KKI und SEA die maximale Grenzwertausschöpfung von insgesamt 26,3 % mit einer zugehörigen Jahresdosis von ca. 79,0 µSv für den Körperbereich „Ovarien“ in der Altersgruppe „> 17 Jahre“. Bei der Effektivdosis ergibt sich mit einer entsprechenden Gesamtjahresdosis von ca. 76,3 µSv die höchste Grenzwertausschöpfung von 25,4 % ebenfalls in dieser Altersgruppe.

Tabelle 4-4: Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis der Körperbereiche von Referenzpersonen der Bevölkerung mit maximaler Grenzwertausschöpfung in dem im Fernbereich der TUM liegenden Nahbereich des KKI

Körperbereich	Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis [µSv]							Grenzwert- ausschöpfung
	>17a	>12-17a	>7-12a	>2-7a	>1-2a	≤1a ¹⁾ mMu	oMu	
Ableitungen TUM mit Vorbelastungen								
Ovarien	79,0	67,7	55,5	48,4	53,0	67,0	42,2	26,3%
Rotes Knochenmark	75,5	71,3	57,3	48,3	53,2	72,6	50,1	25,2%
Schilddrüse	94,7	88,1	83,8	91,7	125,0	174,6	82,8	19,4%
Effektiv	76,3	67,4	57,1	51,7	59,0	75,5	47,0	25,4%
Ableitungen FRM II (inkl. FRM alt)								
Ovarien	1,2	1,2	1,1	1,1	1,2	1,4	1,2	0,5%
Rotes Knochenmark	1,1	1,2	1,1	1,1	1,2	1,5	1,3	0,5%
Schilddrüse	1,2	1,3	1,2	1,2	1,3	1,5	1,3	0,2%
Effektiv	1,2	1,2	1,1	1,1	1,2	1,4	1,2	0,5%
Ableitungen RCM (inkl. Zyklotron und IAZ)								
Ovarien	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,1%
Rotes Knochenmark	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,9	1,2	0,4%
Schilddrüse	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,0%
Effektiv	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,5	0,2%
Ableitungen KKI (KKI-1 und KKI-2)								
Ovarien	77,4	66,1	53,9	46,9	51,3	64,7	40,5	25,8%
Rotes Knochenmark	73,6	68,5	55,0	46,2	50,7	66,2	44,9	24,5%
Schilddrüse	77,1	68,6	59,1	55,4	65,0	83,8	50,3	8,6%
Effektiv	73,6	64,3	53,9	48,0	53,4	67,5	42,6	24,5%
Vorbelastungen SEA								
Ovarien	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,7	0,2	0,2%
Rotes Knochenmark	0,5	1,5	1,0	0,8	1,0	4,0	2,6	1,3%
Schilddrüse	16,3	18,0	23,3	34,9	58,4	89,0	31,0	9,9%
Effektiv	1,4	1,7	1,9	2,4	4,1	6,1	2,7	2,0%

¹⁾ mMu: mit Muttermilch; oMu: ohne Muttermilch

4.2.3. Fernbereich TUM, Fernbereich KKI

Die nachfolgende Tabelle 4-5 fasst die wesentlichen Ergebnisse der durchgeführten Dosisberechnungen für den im Fernbereich der TUM liegenden Fernbereich des KKI zusammen. Demnach ergibt sich in diesem Bereich infolge der radioaktiven Ableitungen des FRM II (inkl. FRM alt) und der RCM (inkl. Zyklotron und IAZ) unter Einbeziehung möglicher Vorbelastungen der Isar durch KKI und SEA die maximale Grenzwertausschöpfung von insgesamt 38,7 % mit einer zugehörigen Jahresdosis von 116,2 μSv bei der Effektivdosis in der Altersgruppe „ ≤ 1 Jahr mit Muttermilch“.

Tabelle 4-5: Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis der Körperbereiche von Referenzpersonen der Bevölkerung mit maximaler Grenzwertausschöpfung in dem im Fernbereich der TUM liegenden Fernbereich des KKI

Körperbereich	Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis [μSv]							Grenzwert- ausschöpfung
	>17a	>12-17a	>7-12a	>2-7a	>1-2a	$\leq 1a$ ¹⁾		
						mMu	oMu	
Ableitungen TUM mit Vorbelastungen								
Ovarien	92,7	93,2	86,0	84,6	91,1	107,8	88,6	35,9%
Rotes Knochenmark	89,4	93,2	85,0	82,3	89,5	109,1	92,1	36,4%
Schilddrüse	113,2	117,3	117,6	130,1	163,6	212,1	133,3	23,6%
Effektiv	91,5	93,5	88,2	88,5	97,6	116,2	93,7	38,7%
Ableitungen FRM II (inkl. FRM alt)								
Ovarien	1,2	1,2	1,1	1,1	1,2	1,4	1,2	0,5%
Rotes Knochenmark	1,1	1,2	1,1	1,1	1,2	1,5	1,3	0,5%
Schilddrüse	1,2	1,3	1,2	1,2	1,3	1,5	1,3	0,2%
Effektiv	1,2	1,2	1,1	1,1	1,2	1,4	1,2	0,5%
Ableitungen RCM (inkl. Zyklotron und IAZ)								
Ovarien	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,1%
Rotes Knochenmark	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,9	1,2	0,4%
Schilddrüse	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,0%
Effektiv	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,5	0,2%
Ableitungen KKI (KKI-1 und KKI-2)								
Ovarien	91,1	91,6	84,4	83,1	89,4	105,4	86,9	35,1%
Rotes Knochenmark	87,5	90,4	82,7	80,2	87,0	102,7	86,9	34,2%
Schilddrüse	95,5	97,8	92,9	93,8	103,6	121,3	100,7	13,5%
Effektiv	88,8	90,4	85,0	84,8	92,1	108,2	89,4	36,1%
Vorbelastungen SEA								
Ovarien	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,7	0,2	0,2%
Rotes Knochenmark	0,5	1,5	1,0	0,8	1,0	4,0	2,6	1,3%
Schilddrüse	16,3	18,0	23,3	34,9	58,4	89,0	31,0	9,9%
Effektiv	1,4	1,7	1,9	2,4	4,1	6,1	2,7	2,0%

¹⁾ mMu: mit Muttermilch; oMu: ohne Muttermilch

5. LITERATURVERZEICHNIS

- [AVV 12] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT
Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung (AVV) vom
28.08.2012: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe
aus Anlagen oder Einrichtungen; BAnz AT 05.09.2012 B1
- [BMU 92] BUNDESMINISTER FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (HRSG.)
Modelle, Annahmen und Daten mit Erläuterungen zur Berechnung der Strahlen-
exposition bei der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser zum Nachweis
der Einhaltung der Dosisgrenzwerte nach § 45 StrlSchV; Veröffentlichungen der
Strahlenschutzkommission, Band 17, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1992
- [DIN 12] DIN 25457-4:2012-10
Aktivitätsmessverfahren für die Freigabe von radioaktiven Stoffen und
kerntechnischen Anlagenteilen – Teil 4: Kontaminierter und aktivierter Metallschrott
- [HYD 01] HYDROISOTOP GMBH
Durchmischungsmessungen an der Isar unterhalb des Einleitbauwerkes des
Forschungsreaktors Garching - Ergebnisse eines Markierversuches mit kontinuierlicher
Eingabe im Mai 2001, Schweitenkirchen, 2001
- [HYD 17] HYDROISOTOP GMBH
Durchmischungsmessungen an der Isar unterhalb des Einleitbauwerkes des
Forschungsreaktors Garching - Ergebnisse eines Markierversuches mit kontinuierlicher
Eingabe im Oktober 2017, Schweitenkirchen, 2017
- [LFU 17] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (LFU BAYERN)
Jahrbuchseiten der Pegel Landshut/Birket und Freising, Hochwassernachrichtendienst
Bayern – Pegel Isar (aufgerufen am 01.04.2017)
- [LFU 18] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (LFU BAYERN)
Ermittlung der Vorbelastung für die Berechnung der Strahlenexposition für
Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Wasser, Schreiben vom 16.03.2018, Az. 4-4536.1-
17978/2018, Augsburg, 16.03.2018
- [SIE 98] SIEMENS AG - BEREICH ENERGIEERZEUGUNG (KWU)
Potentielle Strahlenexposition von Personen infolge der radiologischen Ableitungen
mit Wasser (§ 45 StrlSchV), FRM Standort Garching, Berichtsnummer: KWU NDS3-
2/1998/014, Offenbach, 06.04.1998
- [SSV 17] VERORDNUNG ÜBER DEN SCHUTZ VOR SCHÄDEN DURCH IONISIERENDE STRAHLEN
(STRAHLENSCHUTZVERORDNUNG - STRLSCHV)
Vom 20. Juli 2001 (BGBl. I 2001, S. 1714; BGBl. I 2002, S. 1459), zuletzt geändert
durch Artikel 6 des Gesetzes vom 27. Januar 2017 (BGBl. I 2017, S. 114).



[TUM 18] TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Eingangsdaten für die Berechnung der Strahlenexposition über den Wasserpfad infolge
der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser, München, 2018.

6. ANHANG

Gesamthöchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser des FRM II (inkl. FRM alt) und der RCM (inkl. Zyklotron und IAZ) einschließlich Vorbelastungen

Tabelle A1-1: Gesamthöchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung im Nahbereich der TUM infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser des FRM II (inkl. FRM alt) und der RCM (inkl. Zyklotron und IAZ) einschließlich Vorbelastungen (SEA)

Tabelle A1-2: Gesamthöchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung in dem im Fernbereich der TUM liegenden Nahbereich des KKI infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser des FRM II (inkl. FRM alt) und der RCM (inkl. Zyklotron und IAZ) einschließlich Vorbelastungen (KKI, SEA)

Tabelle A1-3: Gesamthöchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung in dem im Fernbereich der TUM liegenden Fernbereich des KKI infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser des FRM II (inkl. FRM alt) und der RCM (inkl. Zyklotron und IAZ) einschließlich Vorbelastungen (KKI, SEA)

Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser des FRM II (inkl. FRM alt)

Tabelle A2-1: Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung im Nahbereich der TUM infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser des FRM II (inkl. FRM alt)

Tabelle A2-2: Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung im Fernbereich der TUM infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser des FRM II (inkl. FRM alt)

Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser der RCM (inkl. Zyklotron und IAZ)

Tabelle A3-1: Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung im Nahbereich der TUM infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser der RCM (inkl. Zyklotron und IAZ)

Tabelle A3-1: Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung im Fernbereich der TUM infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser der RCM (inkl. Zyklotron und IAZ)

Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser des KKI (KKI-1 und KKI-2)

Tabelle A4-1: Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung in dem im Fernbereich der TUM liegenden Nahbereich des KKI infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser des KKI-1

Tabelle A4-2: Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung in dem im Fernbereich der TUM liegenden Nahbereich des KKI infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser des KKI-2

Tabelle A4-3: Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung in dem im Fernbereich der TUM liegenden Fernbereich des KKI infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser des KKI-1

Tabelle A4-4: Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung in dem im Fernbereich der TUM liegenden Fernbereich des KKI infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser des KKI-2

Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser durch sonstige Einrichtungen und Anlagen (SEA)

Tabelle A5-1: Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung im Nahbereich der TUM infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser durch sonstige Einrichtungen und Anlagen (SEA)

Tabelle A5-2: Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung im Fernbereich der TUM infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser durch sonstige Einrichtungen und Anlagen (SEA)

Tabelle A1-1: Gesamthöchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung im Nahbereich der TUM infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser des FRM II (inkl. FRM alt) und der RCM (inkl. Zyklotron und IAZ) einschließlich Vorbelastungen (SEA)

Organ/Gewebe	Gesamthöchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung im Nahbereich der TUM infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser des FRM II (inkl. FRM alt) und der RCM (inkl. Zyklotron und IAZ) einschließlich Vorbelastungen (SEA)													
	Jahresdosis [μSv]							Grenzwertausschöpfung						
	>17a	>12-17a	>7-12a	>2-7a	>1-2a	$\leq 1a$ ¹⁾		>17a	>12-17a	>7-12a	>2-7a	>1-2a	$\leq 1a$ ¹⁾	
					mMu	oMu						mMu	oMu	
ET Luftwege	15,2	13,5	11,6	10,5	11,9	16,8	10,7	1,7%	1,5%	1,3%	1,2%	1,3%	1,9%	1,2%
Lunge	14,7	13,0	10,8	9,6	10,9	15,8	10,0	1,6%	1,4%	1,2%	1,1%	1,2%	1,8%	1,1%
Blase	15,8	13,3	11,6	10,5	11,4	16,3	9,7	1,8%	1,5%	1,3%	1,2%	1,3%	1,8%	1,1%
Brust	13,0	11,5	9,9	9,1	10,4	14,6	9,7	1,4%	1,3%	1,1%	1,0%	1,2%	1,6%	1,1%
Gehirn	13,7	12,0	10,4	9,5	10,7	15,5	9,9	1,5%	1,3%	1,2%	1,1%	1,2%	1,7%	1,1%
Haut	13,0	11,2	10,0	9,3	10,6	15,0	10,1	0,7%	0,6%	0,6%	0,5%	0,6%	0,8%	0,6%
Hoden	14,8	13,0	11,0	9,9	11,0	17,6	13,3	4,9%	4,3%	3,7%	3,3%	3,7%	5,9%	4,4%
Knochenoberfl.	85,9	127,5	76,8	55,4	51,2	189,9	235,1	4,8%	7,1%	4,3%	3,1%	2,8%	10,6%	13,1%
Leber	22,0	19,0	17,8	17,2	17,2	43,5	48,0	2,4%	2,1%	2,0%	1,9%	1,9%	4,8%	5,3%
Speiseröhre	14,3	12,5	10,2	9,0	10,2	15,0	9,2	1,6%	1,4%	1,1%	1,0%	1,1%	1,7%	1,0%
Magen	16,4	14,0	12,4	11,8	15,2	22,8	12,7	1,8%	1,6%	1,4%	1,3%	1,7%	2,5%	1,4%
Dünndarm	18,6	15,7	14,8	13,9	19,1	19,6	14,4	2,1%	1,7%	1,6%	1,5%	2,1%	2,2%	1,6%
O Dickdarm	30,2	25,3	30,8	31,5	54,3	40,6	35,2	3,4%	2,8%	3,4%	3,5%	6,0%	4,5%	3,9%
U Dickdarm	49,1	40,0	54,3	59,4	105,9	71,8	66,0	5,5%	4,4%	6,0%	6,6%	11,8%	8,0%	7,3%
Dickdarm	38,2	31,6	41,0	43,6	76,8	54,2	48,7	4,2%	3,5%	4,6%	4,8%	8,5%	6,0%	5,4%
Milz	15,2	13,5	11,8	10,8	12,2	21,0	11,5	1,7%	1,5%	1,3%	1,2%	1,4%	2,3%	1,3%
Muskel	13,9	12,1	10,3	9,2	10,4	15,1	9,5	1,5%	1,3%	1,1%	1,0%	1,2%	1,7%	1,1%
Nebennieren	15,5	13,3	10,9	9,5	10,8	15,7	9,4	1,7%	1,5%	1,2%	1,1%	1,2%	1,7%	1,0%
Nieren	16,4	14,6	13,0	11,9	13,9	27,9	14,4	1,8%	1,6%	1,4%	1,3%	1,5%	3,1%	1,6%
Ovarien	17,1	14,8	12,6	11,1	12,4	18,9	13,3	5,7%	4,9%	4,2%	3,7%	4,1%	6,3%	4,4%
Pankreas	15,8	13,4	11,1	9,7	10,9	15,9	9,5	1,8%	1,5%	1,2%	1,1%	1,2%	1,8%	1,1%
R Knochenmark	18,1	18,9	15,5	13,7	16,2	43,4	45,6	6,0%	6,3%	5,2%	4,6%	5,4%	14,5%	15,2%
Schilddrüse	77,9	81,7	99,6	141,2	231,8	360,8	130,2	8,7%	9,1%	11,1%	15,7%	25,8%	40,1%	14,5%
Thymus	14,7	12,9	10,7	9,5	10,7	15,7	9,8	1,6%	1,4%	1,2%	1,1%	1,2%	1,7%	1,1%
Uterus	15,8	13,3	11,0	9,7	10,9	15,7	9,3	5,3%	4,4%	3,7%	3,2%	3,6%	5,2%	3,1%
Effektiv	22,7	21,1	21,1	21,9	32,0	44,9	29,9	7,6%	7,0%	7,0%	7,3%	10,7%	15,0%	10,0%

Hinweis: Der Maximalwert der Grenzwertausschöpfung ist in Fettschrift dargestellt und farbig hinterlegt.

¹⁾ mMu: mit Muttermilch; oMu: ohne Muttermilch

Tabelle A1-2: Gesamthöchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung in dem im Fernbereich der TUM liegenden Nahbereich des KKI infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser des FRM II (inkl. FRM alt) und der RCM (inkl. Zyklotron und IAZ) einschließlich Vorbelastungen (KKI, SEA)

Organ/Gewebe	Gesamthöchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung in dem im Fernbereich der TUM liegenden Nahbereich des KKI infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser des FRM II (inkl. FRM alt) und der RCM (inkl. Zyklotron und IAZ) einschließlich Vorbelastungen (KKI, SEA)													
	Jahresdosis [μSv]							Grenzwertausschöpfung						
	>17a	>12-17a	>7-12a	>2-7a	>1-2a	$\leq 1\text{a}^{1)}$		>17a	>12-17a	>7-12a	>2-7a	>1-2a	$\leq 1\text{a}^{1)}$	
					mMu	oMu						mMu	oMu	
ET Luftwege	75,6	67,0	56,4	50,6	56,2	69,8	46,3	8,4%	7,4%	6,3%	5,6%	6,2%	7,8%	5,1%
Lunge	72,9	64,3	52,7	46,3	51,5	64,7	42,8	8,1%	7,1%	5,9%	5,1%	5,7%	7,2%	4,8%
Blase	77,6	64,7	55,0	49,9	51,7	64,8	41,2	8,6%	7,2%	6,1%	5,5%	5,7%	7,2%	4,6%
Brust	64,7	57,2	48,2	43,9	49,1	60,6	41,7	7,2%	6,4%	5,4%	4,9%	5,5%	6,7%	4,6%
Gehirn	68,0	59,6	50,9	46,0	50,8	64,0	42,5	7,6%	6,6%	5,7%	5,1%	5,6%	7,1%	4,7%
Haut	64,4	55,3	48,4	44,6	49,8	61,9	43,0	3,6%	3,1%	2,7%	2,5%	2,8%	3,4%	2,4%
Hoden	69,2	60,2	49,9	44,6	49,2	62,2	40,7	23,1%	20,1%	16,6%	14,9%	16,4%	20,7%	13,6%
Knochenoberfl.	90,6	121,7	81,1	61,9	65,8	105,9	78,3	5,0%	6,8%	4,5%	3,4%	3,7%	5,9%	4,3%
Leber	75,9	66,0	55,5	49,3	54,1	70,3	46,0	8,4%	7,3%	6,2%	5,5%	6,0%	7,8%	5,1%
Speiseröhre	71,5	62,4	50,1	43,9	47,8	61,2	38,9	7,9%	6,9%	5,6%	4,9%	5,3%	6,8%	4,3%
Magen	73,9	63,0	52,0	47,7	52,7	68,3	42,4	8,2%	7,0%	5,8%	5,3%	5,9%	7,6%	4,7%
Dünndarm	78,6	66,3	54,3	47,9	52,8	66,1	41,6	8,7%	7,4%	6,0%	5,3%	5,9%	7,3%	4,6%
O Dickdarm	79,9	68,5	60,9	55,9	67,5	80,9	48,7	8,9%	7,6%	6,8%	6,2%	7,5%	9,0%	5,4%
U Dickdarm	92,4	74,6	74,1	73,3	93,3	109,2	59,9	10,3%	8,3%	8,2%	8,1%	10,4%	12,1%	6,7%
Dickdarm	84,6	71,5	65,8	63,5	78,1	93,3	53,7	9,4%	7,9%	7,3%	7,1%	8,7%	10,4%	6,0%
Milz	73,9	64,0	53,2	47,0	51,8	66,7	42,0	8,2%	7,1%	5,9%	5,2%	5,8%	7,4%	4,7%
Muskel	69,0	60,0	49,9	44,4	49,0	62,0	40,5	7,7%	6,7%	5,5%	4,9%	5,4%	6,9%	4,5%
Nebennieren	77,7	66,5	53,3	45,8	50,5	63,8	40,2	8,6%	7,4%	5,9%	5,1%	5,6%	7,1%	4,5%
Nieren	74,1	64,3	53,5	47,2	52,0	67,3	42,2	8,2%	7,1%	5,9%	5,2%	5,8%	7,5%	4,7%
Ovarien	79,0	67,7	55,5	48,4	53,0	67,0	42,2	26,3%	22,6%	18,5%	16,1%	17,7%	22,3%	14,1%
Pankreas	78,8	66,5	54,1	46,6	50,6	64,4	40,4	8,8%	7,4%	6,0%	5,2%	5,6%	7,2%	4,5%
R Knochenmark	75,5	71,3	57,3	48,3	53,2	72,6	50,1	25,2%	23,8%	19,1%	16,1%	17,7%	24,2%	16,7%
Schilddrüse	94,7	88,1	83,8	91,7	125,0	174,6	82,8	10,5%	9,8%	9,3%	10,2%	13,9%	19,4%	9,2%
Thymus	73,3	64,4	52,3	46,2	50,5	64,1	41,9	8,1%	7,2%	5,8%	5,1%	5,6%	7,1%	4,7%
Uterus	78,3	65,7	53,3	46,0	49,8	63,1	39,2	26,1%	21,9%	17,8%	15,3%	16,6%	21,0%	13,1%
Effektiv	76,3	67,4	57,1	51,7	59,0	75,5	47,0	25,4%	22,5%	19,0%	17,2%	19,7%	25,2%	15,7%

Hinweis: Der Maximalwert der Grenzwertausschöpfung ist in Fettschrift dargestellt und farbig hinterlegt.

¹⁾ mMu: mit Muttermilch; oMu: ohne Muttermilch

Tabelle A1-3: Gesamthöchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung in dem im Fernbereich der TUM liegenden Fernbereich des KKI infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser des FRM II (inkl. FRM alt) und der RCM (inkl. Zyklotron und IAZ) einschließlich Vorbelastungen (KKI, SEA)

Organ/Gewebe	Gesamthöchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung in dem im Fernbereich der TUM liegenden Fernbereich des KKI infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser des FRM II (inkl. FRM alt) und der RCM (inkl. Zyklotron und IAZ) einschließlich Vorbelastungen (KKI, SEA)													
	Jahresdosis [μSv]						Grenzwertausschöpfung							
	>17a	>12-17a	>7-12a	>2-7a	>1-2a	$\leq 1a$ ¹⁾	>17a	>12-17a	>7-12a	>2-7a	>1-2a	$\leq 1a$ ¹⁾	mMu	oMu
ET Luftwege	96,2	98,5	93,2	93,5	102,2	118,9	100,8	10,7%	10,9%	10,4%	10,4%	11,4%	13,2%	11,2%
Lunge	91,0	93,4	86,5	85,7	93,7	109,9	93,1	10,1%	10,4%	9,6%	9,5%	10,4%	12,2%	10,3%
Blase	91,8	91,0	85,8	86,1	90,1	105,8	87,6	10,2%	10,1%	9,5%	9,6%	10,0%	11,8%	9,7%
Brust	85,3	87,6	82,9	83,6	92,3	106,7	92,3	9,5%	9,7%	9,2%	9,3%	10,3%	11,9%	10,3%
Gehirn	87,4	89,3	84,8	85,3	93,1	109,2	92,7	9,7%	9,9%	9,4%	9,5%	10,3%	12,1%	10,3%
Haut	86,9	87,2	85,1	86,3	95,4	110,2	95,8	4,8%	4,8%	4,7%	4,8%	5,3%	6,1%	5,3%
Hoden	85,7	86,9	81,4	81,1	88,2	103,9	87,4	28,6%	29,0%	27,1%	27,0%	29,4%	34,6%	29,1%
Knochenoberfl.	102,8	133,7	105,3	95,5	102,8	142,1	120,9	5,7%	7,4%	5,8%	5,3%	5,7%	7,9%	6,7%
Leber	90,5	92,9	87,5	86,8	93,5	113,4	93,8	10,1%	10,3%	9,7%	9,6%	10,4%	12,6%	10,4%
Speiseröhre	85,1	86,5	78,9	77,6	83,8	99,5	82,5	9,5%	9,6%	8,8%	8,6%	9,3%	11,1%	9,2%
Magen	88,8	89,2	82,9	83,7	90,9	109,1	88,9	9,9%	9,9%	9,2%	9,3%	10,1%	12,1%	9,9%
Dünndarm	91,0	90,9	83,6	82,6	89,3	105,0	86,1	10,1%	10,1%	9,3%	9,2%	9,9%	11,7%	9,6%
O Dickdarm	94,2	94,4	91,9	92,5	104,6	120,8	95,4	10,5%	10,5%	10,2%	10,3%	11,6%	13,4%	10,6%
U Dickdarm	104,0	99,6	103,4	109,0	126,7	145,2	105,6	11,6%	11,1%	11,5%	12,1%	14,1%	16,1%	11,7%
Dickdarm	97,6	97,2	95,7	99,6	113,9	131,8	100,2	10,8%	10,8%	10,6%	11,1%	12,7%	14,6%	11,1%
Milz	88,8	89,9	84,0	83,0	90,1	107,8	88,5	9,9%	10,0%	9,3%	9,2%	10,0%	12,0%	9,8%
Muskel	85,4	86,5	81,3	80,8	88,0	103,8	87,1	9,5%	9,6%	9,0%	9,0%	9,8%	11,5%	9,7%
Nebennieren	89,7	90,4	82,1	80,0	86,6	102,5	84,2	10,0%	10,0%	9,1%	8,9%	9,6%	11,4%	9,4%
Nieren	89,1	90,3	84,3	83,3	90,4	108,6	88,7	9,9%	10,0%	9,4%	9,3%	10,0%	12,1%	9,9%
Ovarien	92,7	93,2	86,0	84,6	91,1	107,8	88,6	30,9%	31,1%	28,7%	28,2%	30,4%	35,9%	29,5%
Pankreas	90,3	90,3	82,6	80,7	86,7	102,9	84,3	10,0%	10,0%	9,2%	9,0%	9,6%	11,4%	9,4%
R Knochenmark	89,4	93,2	85,0	82,3	89,5	109,1	92,1	29,8%	31,1%	28,3%	27,4%	29,8%	36,4%	30,7%
Schilddrüse	113,2	117,3	117,6	130,1	163,6	212,1	133,3	12,6%	13,0%	13,1%	14,5%	18,2%	23,6%	14,8%
Thymus	89,9	91,8	84,7	83,9	90,9	107,1	90,1	10,0%	10,2%	9,4%	9,3%	10,1%	11,9%	10,0%
Uterus	88,8	88,6	80,4	79,0	84,4	99,8	81,4	29,6%	29,5%	26,8%	26,3%	28,1%	33,3%	27,1%
Effektiv	91,5	93,5	88,2	88,5	97,6	116,2	93,7	30,5%	31,2%	29,4%	29,5%	32,5%	38,7%	31,2%

Hinweis: Der Maximalwert der Grenzwertausschöpfung ist in Fettschrift dargestellt und farbig hinterlegt.

¹⁾ mMu: mit Muttermilch; oMu: ohne Muttermilch

Tabelle A2-1: Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung im Nahbereich der TUM infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser des FRM II (inkl. FRM alt)

Organ/Gewebe	Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung im <u>Nahbereich der TUM</u> infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser des FRM II (inkl. FRM alt)													
	Jahresdosis [μSv]						Grenzwertausschöpfung							
	>17a	>12-17a	>7-12a	>2-7a	>1-2a	$\leq 1a$ ¹⁾ mMu	$\leq 1a$ ¹⁾ oMu	>17a	>12-17a	>7-12a	>2-7a	>1-2a	$\leq 1a$ ¹⁾ mMu	$\leq 1a$ ¹⁾ oMu
ET Luftwege	13,3	11,6	9,7	8,6	9,5	11,8	8,1	1,5%	1,3%	1,1%	1,0%	1,1%	1,3%	0,9%
Lunge	12,8	11,2	9,1	7,9	8,7	10,9	7,5	1,4%	1,2%	1,0%	0,9%	1,0%	1,2%	0,8%
Blase	13,6	11,2	9,5	8,5	8,7	10,9	7,2	1,5%	1,2%	1,1%	0,9%	1,0%	1,2%	0,8%
Brust	11,3	9,9	8,3	7,4	8,3	10,2	7,3	1,3%	1,1%	0,9%	0,8%	0,9%	1,1%	0,8%
Gehirn	11,9	10,3	8,8	7,8	8,6	10,8	7,4	1,3%	1,1%	1,0%	0,9%	1,0%	1,2%	0,8%
Haut	11,3	9,6	8,3	7,6	8,4	10,4	7,5	0,6%	0,5%	0,5%	0,4%	0,5%	0,6%	0,4%
Hoden	12,3	10,6	8,7	7,7	8,4	10,9	7,8	4,1%	3,5%	2,9%	2,6%	2,8%	3,6%	2,6%
Knochenoberfl.	25,5	24,1	18,5	14,7	14,6	33,4	39,7	1,4%	1,3%	1,0%	0,8%	0,8%	1,9%	2,2%
Leber	13,8	11,9	10,0	8,8	9,5	13,5	10,8	1,5%	1,3%	1,1%	1,0%	1,1%	1,5%	1,2%
Speiseröhre	12,5	10,8	8,6	7,4	8,0	10,2	6,8	1,4%	1,2%	1,0%	0,8%	0,9%	1,1%	0,8%
Magen	12,9	10,9	8,9	8,1	8,8	11,4	7,4	1,4%	1,2%	1,0%	0,9%	1,0%	1,3%	0,8%
Dünndarm	13,7	11,5	9,3	8,1	8,8	11,1	7,2	1,5%	1,3%	1,0%	0,9%	1,0%	1,2%	0,8%
O Dickdarm	13,8	11,7	10,2	9,3	10,9	13,4	8,2	1,5%	1,3%	1,1%	1,0%	1,2%	1,5%	0,9%
U Dickdarm	15,8	12,6	12,3	12,0	14,9	18,1	9,8	1,8%	1,4%	1,4%	1,3%	1,7%	2,0%	1,1%
Dickdarm	14,5	12,2	11,0	10,5	12,6	15,5	8,9	1,6%	1,4%	1,2%	1,2%	1,4%	1,7%	1,0%
Milz	12,9	11,0	9,1	7,9	8,6	10,8	7,2	1,4%	1,2%	1,0%	0,9%	1,0%	1,2%	0,8%
Muskel	12,1	10,4	8,6	7,5	8,3	10,4	7,1	1,3%	1,2%	1,0%	0,8%	0,9%	1,2%	0,8%
Nebennieren	13,6	11,5	9,1	7,8	8,5	10,7	7,0	1,5%	1,3%	1,0%	0,9%	0,9%	1,2%	0,8%
Nieren	12,9	11,1	9,1	7,9	8,7	11,2	7,7	1,4%	1,2%	1,0%	0,9%	1,0%	1,2%	0,9%
Ovarien	14,0	11,9	9,7	8,4	9,0	11,7	8,0	4,7%	4,0%	3,2%	2,8%	3,0%	3,9%	2,7%
Pankreas	13,8	11,5	9,3	7,9	8,5	10,8	7,0	1,5%	1,3%	1,0%	0,9%	0,9%	1,2%	0,8%
R Knochenmark	13,5	12,5	10,1	8,5	9,4	14,9	13,1	4,5%	4,2%	3,4%	2,8%	3,1%	5,0%	4,4%
Schilddrüse	13,3	11,6	9,7	8,6	9,5	11,8	8,1	1,5%	1,3%	1,1%	1,0%	1,1%	1,3%	0,9%
Thymus	12,8	11,2	9,0	7,8	8,5	10,8	7,3	1,4%	1,2%	1,0%	0,9%	0,9%	1,2%	0,8%
Uterus	13,7	11,4	9,1	7,8	8,4	10,6	6,8	4,6%	3,8%	3,0%	2,6%	2,8%	3,5%	2,3%
Effektiv	13,3	11,6	9,7	8,5	9,4	12,4	8,9	4,4%	3,9%	3,2%	2,8%	3,1%	4,1%	3,0%

Hinweis: Der Maximalwert der Grenzwertausschöpfung ist in Fettschrift dargestellt und farbig hinterlegt.

¹⁾ mMu: mit Muttermilch; oMu: ohne Muttermilch

Tabelle A2-2: Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung im Fernbereich der TUM infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser des FRM II (inkl. FRM alt)

Organ/Gewebe	Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung im Fernbereich der TUM infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser des FRM II (inkl. FRM alt)													
	Jahresdosis [μSv]						Grenzwertausschöpfung							
	>17a	>12-17a	>7-12a	>2-7a	>1-2a	$\leq 1a$ ¹⁾ mMu	oMu	>17a	>12-17a	>7-12a	>2-7a	>1-2a	$\leq 1a$ ¹⁾ mMu	oMu
ET Luftwege	1,2	1,3	1,2	1,2	1,3	1,5	1,3	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,1%
Lunge	1,2	1,2	1,1	1,1	1,2	1,4	1,2	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,1%
Blase	1,2	1,2	1,1	1,1	1,2	1,3	1,1	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
Brust	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,4	1,2	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,1%
Gehirn	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,4	1,2	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,1%
Haut	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,4	1,2	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
Hoden	1,1	1,1	1,0	1,0	1,1	1,3	1,2	0,4%	0,4%	0,3%	0,3%	0,4%	0,4%	0,4%
Knochenoberfl.	1,7	1,7	1,5	1,4	1,4	2,4	2,4	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
Leber	1,2	1,2	1,1	1,1	1,2	1,5	1,3	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,1%
Speiseröhre	1,1	1,1	1,0	1,0	1,1	1,3	1,1	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
Magen	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,4	1,1	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,1%
Dünndarm	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,3	1,1	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
O Dickdarm	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,5	1,2	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,1%
U Dickdarm	1,3	1,2	1,3	1,3	1,5	1,8	1,3	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%	0,1%
Dickdarm	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4	1,6	1,3	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%	0,1%
Milz	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,3	1,1	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
Muskel	1,1	1,1	1,0	1,0	1,1	1,3	1,1	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
Nebennieren	1,1	1,2	1,0	1,0	1,1	1,3	1,1	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
Nieren	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,4	1,2	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,1%
Ovarien	1,2	1,2	1,1	1,1	1,2	1,4	1,2	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,5%	0,4%
Pankreas	1,1	1,2	1,1	1,0	1,1	1,3	1,1	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
R Knochenmark	1,1	1,2	1,1	1,1	1,2	1,5	1,3	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,5%	0,4%
Schilddrüse	1,2	1,3	1,2	1,2	1,3	1,5	1,3	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,1%
Thymus	1,1	1,2	1,1	1,1	1,2	1,4	1,2	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,1%
Uterus	1,1	1,1	1,0	1,0	1,1	1,3	1,1	0,4%	0,4%	0,3%	0,3%	0,4%	0,4%	0,4%
Effektiv	1,2	1,2	1,1	1,1	1,2	1,4	1,2	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,5%	0,4%

Hinweis: Der Maximalwert der Grenzwertausschöpfung ist in Fettschrift dargestellt und farbig hinterlegt.

¹⁾ mMu: mit Muttermilch; oMu: ohne Muttermilch

Tabelle A3-1: Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung im Nahbereich der TUM infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser der RCM (inkl. Zyklotron und IAZ)

Organ/Gewebe	Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung im <u>Nahbereich der TUM</u> infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser der RCM (inkl. Zyklotron und IAZ)													
	Jahresdosis [μSv]						Grenzwertausschöpfung							
	>17a	>12-17a	>7-12a	>2-7a	>1-2a	$\leq 1a$ ¹⁾	>17a	>12-17a	>7-12a	>2-7a	>1-2a	$\leq 1a$ ¹⁾	mMu	oMu
ET Luftwege	1,5	1,4	1,3	1,2	1,3	2,1	2,1	0,2%	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%
Lunge	1,4	1,3	1,2	1,1	1,2	2,0	2,0	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%
Blase	1,4	1,3	1,2	1,2	1,2	2,0	1,9	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%
Brust	1,3	1,2	1,1	1,1	1,2	1,9	2,0	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%
Gehirn	1,4	1,3	1,2	1,1	1,2	2,0	2,0	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%
Haut	1,4	1,2	1,2	1,2	1,3	2,0	2,1	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
Hoden	2,1	2,0	1,7	1,6	1,7	3,9	5,0	0,7%	0,7%	0,6%	0,5%	0,6%	1,3%	1,7%
Knochenoberfl.	50,5	37,7	31,9	26,7	22,2	100,6	152,2	2,8%	2,1%	1,8%	1,5%	1,2%	5,6%	8,5%
Leber	7,3	6,1	6,5	6,8	5,5	23,5	34,9	0,8%	0,7%	0,7%	0,8%	0,6%	2,6%	3,9%
Speiseröhre	1,3	1,3	1,1	1,0	1,1	1,9	1,9	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%
Magen	1,4	1,3	1,2	1,1	1,3	2,0	2,0	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%
Dünndarm	1,5	1,3	1,2	1,2	1,3	2,0	2,0	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%
O Dickdarm	1,6	1,5	1,5	1,5	1,9	2,5	2,5	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,3%	0,3%
U Dickdarm	2,0	1,8	2,1	2,3	3,0	3,5	3,5	0,2%	0,2%	0,2%	0,3%	0,3%	0,4%	0,4%
Dickdarm	1,8	1,6	1,7	1,9	2,3	3,0	2,9	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,3%	0,3%	0,3%
Milz	1,4	1,3	1,2	1,1	1,2	1,9	1,9	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%
Muskel	1,3	1,2	1,1	1,1	1,2	1,9	1,9	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%
Nebennieren	1,4	1,3	1,2	1,1	1,2	1,9	1,9	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%
Nieren	1,5	1,4	1,3	1,3	1,5	3,4	4,2	0,2%	0,2%	0,1%	0,1%	0,2%	0,4%	0,5%
Ovarien	2,2	2,1	1,9	1,7	1,6	3,7	4,6	0,7%	0,7%	0,6%	0,6%	0,5%	1,2%	1,5%
Pankreas	1,4	1,3	1,2	1,1	1,2	1,9	1,9	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%
R Knochenmark	3,3	2,9	3,0	3,2	3,9	17,7	26,0	1,1%	1,0%	1,0%	1,1%	1,3%	5,9%	8,7%
Schilddrüse	1,5	1,4	1,3	1,2	1,3	2,1	2,1	0,2%	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%
Thymus	1,4	1,3	1,2	1,1	1,2	1,9	2,0	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%
Uterus	1,4	1,3	1,1	1,1	1,2	1,9	1,9	0,5%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,6%	0,6%
Effektiv	2,6	2,3	2,2	2,1	2,2	6,4	8,7	0,9%	0,8%	0,7%	0,7%	0,7%	2,1%	2,9%

Hinweis: Der Maximalwert der Grenzwertausschöpfung ist in Fettschrift dargestellt und farbig hinterlegt.

¹⁾ mMu: mit Muttermilch; oMu: ohne Muttermilch

Tabelle A3-2: Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung im Fernbereich der TUM infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser der RCM (inkl. Zyklotron und IAZ)

Organ/Gewebe	Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung im Fernbereich der TUM infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser der RCM (inkl. Zyklotron und IAZ)													
	Jahresdosis [μSv]						Grenzwertausschöpfung							
	>17a	>12-17a	>7-12a	>2-7a	>1-2a	$\leq 1a$ ¹⁾ mMu	$\leq 1a$ ¹⁾ oMu	>17a	>12-17a	>7-12a	>2-7a	>1-2a	$\leq 1a$ ¹⁾ mMu	$\leq 1a$ ¹⁾ oMu
ET Luftwege	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Lunge	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Blase	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Brust	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Gehirn	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Haut	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Hoden	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
Knochenoberfl.	2,2	1,8	1,5	1,3	1,1	4,8	6,3	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,3%	0,4%
Leber	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	1,2	1,6	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,2%
Speiseröhre	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Magen	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Dünndarm	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
O Dickdarm	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
U Dickdarm	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Dickdarm	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Milz	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Muskel	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Nebennieren	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Nieren	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Ovarien	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
Pankreas	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R Knochenmark	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,9	1,2	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,3%	0,4%
Schilddrüse	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Thymus	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Uterus	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0%	0,1%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
Effektiv	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,5	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%

Hinweis: Der Maximalwert der Grenzwertausschöpfung ist in Fettschrift dargestellt und farbig hinterlegt.

¹⁾ mMu: mit Muttermilch; oMu: ohne Muttermilch

Tabelle A4-1: Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung in dem im Fernbereich der TUM liegenden Nahbereich des KKI infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser des KKI-1

Organ/Gewebe	Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung in dem im Fernbereich der TUM liegenden Nahbereich des KKI infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser des KKI-1													
	Jahresdosis [μSv]						Grenzwertausschöpfung							
	>17a	>12-17a	>7-12a	>2-7a	>1-2a	$\leq 1a$ ¹⁾ mMu	$\leq 1a$ ¹⁾ oMu	>17a	>12-17a	>7-12a	>2-7a	>1-2a	$\leq 1a$ ¹⁾ mMu	$\leq 1a$ ¹⁾ oMu
ET Luftwege	53,2	46,9	39,2	34,9	38,5	47,4	32,0	5,9%	5,2%	4,4%	3,9%	4,3%	5,3%	3,6%
Lunge	51,3	45,1	36,6	31,8	35,1	43,8	29,5	5,7%	5,0%	4,1%	3,5%	3,9%	4,9%	3,3%
Blase	54,6	45,3	38,2	34,3	35,2	43,8	28,3	6,1%	5,0%	4,2%	3,8%	3,9%	4,9%	3,1%
Brust	45,4	39,9	33,3	30,0	33,4	40,9	28,7	5,0%	4,4%	3,7%	3,3%	3,7%	4,5%	3,2%
Gehirn	47,8	41,7	35,3	31,6	34,7	43,3	29,3	5,3%	4,6%	3,9%	3,5%	3,9%	4,8%	3,3%
Haut	45,2	38,6	33,5	30,6	33,9	41,8	29,6	2,5%	2,1%	1,9%	1,7%	1,9%	2,3%	1,6%
Hoden	48,5	42,0	34,5	30,5	33,4	41,9	27,9	16,2%	14,0%	11,5%	10,2%	11,1%	14,0%	9,3%
Knochenoberfl.	59,9	66,8	48,8	38,4	41,1	54,3	37,7	3,3%	3,7%	2,7%	2,1%	2,3%	3,0%	2,1%
Leber	53,1	45,9	38,2	33,5	36,5	45,9	30,2	5,9%	5,1%	4,2%	3,7%	4,1%	5,1%	3,4%
Speiseröhre	50,3	43,7	34,7	30,0	32,4	41,2	26,7	5,6%	4,9%	3,9%	3,3%	3,6%	4,6%	3,0%
Magen	51,9	44,0	35,9	32,6	35,7	45,9	29,0	5,8%	4,9%	4,0%	3,6%	4,0%	5,1%	3,2%
Dünndarm	55,1	46,4	37,5	32,7	35,5	44,5	28,3	6,1%	5,2%	4,2%	3,6%	3,9%	4,9%	3,1%
O Dickdarm	55,3	47,3	41,3	37,3	44,0	53,9	32,2	6,1%	5,3%	4,6%	4,1%	4,9%	6,0%	3,6%
U Dickdarm	63,2	50,8	49,3	48,2	59,4	72,4	38,4	7,0%	5,6%	5,5%	5,4%	6,6%	8,0%	4,3%
Dickdarm	58,3	49,1	44,1	42,1	50,3	62,0	34,9	6,5%	5,5%	4,9%	4,7%	5,6%	6,9%	3,9%
Milz	51,8	44,6	36,6	31,9	34,9	43,6	28,3	5,8%	5,0%	4,1%	3,5%	3,9%	4,8%	3,1%
Muskel	48,5	42,0	34,6	30,4	33,3	41,9	27,8	5,4%	4,7%	3,8%	3,4%	3,7%	4,7%	3,1%
Nebennieren	54,6	46,6	37,0	31,4	34,4	43,1	27,6	6,1%	5,2%	4,1%	3,5%	3,8%	4,8%	3,1%
Nieren	51,9	44,7	36,7	32,0	35,0	43,7	28,4	5,8%	5,0%	4,1%	3,6%	3,9%	4,9%	3,2%
Ovarien	55,5	47,4	38,5	33,2	36,1	45,3	28,9	18,5%	15,8%	12,8%	11,1%	12,0%	15,1%	9,6%
Pankreas	55,4	46,6	37,6	32,0	34,5	43,5	27,8	6,2%	5,2%	4,2%	3,6%	3,8%	4,8%	3,1%
R Knochenmark	53,0	49,7	39,6	33,0	36,0	47,0	32,6	17,7%	16,6%	13,2%	11,0%	12,0%	15,7%	10,9%
Schilddrüse	53,2	46,9	39,2	34,9	38,5	47,4	32,0	5,9%	5,2%	4,4%	3,9%	4,3%	5,3%	3,6%
Thymus	51,5	45,1	36,2	31,7	34,4	43,3	28,8	5,7%	5,0%	4,0%	3,5%	3,8%	4,8%	3,2%
Uterus	55,0	46,0	36,9	31,5	33,9	42,6	26,9	18,3%	15,3%	12,3%	10,5%	11,3%	14,2%	9,0%
Effektiv	52,7	46,1	38,4	33,9	37,4	46,9	30,4	17,6%	15,4%	12,8%	11,3%	12,5%	15,6%	10,1%

Hinweis: Der Maximalwert der Grenzwertausschöpfung ist in Fettschrift dargestellt und farbig hinterlegt.

¹⁾ mMu: mit Muttermilch; oMu: ohne Muttermilch

Tabelle A4-2: Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung in dem im Fernbereich der TUM liegenden Nahbereich des KKI infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser des KKI-2

Organ/Gewebe	Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung in dem im Fernbereich der TUM liegenden Nahbereich des KKI infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser des KKI-2													
	Jahresdosis [μSv]						Grenzwertausschöpfung							
	>17a	>12-17a	>7-12a	>2-7a	>1-2a	$\leq 1a$ ¹⁾	>17a	>12-17a	>7-12a	>2-7a	>1-2a	$\leq 1a$ ¹⁾	mMu	oMu
ET Luftwege	20,8	18,4	15,6	14,2	15,9	20,0	12,6	2,3%	2,0%	1,7%	1,6%	1,8%	2,2%	1,4%
Lunge	20,1	17,7	14,7	13,1	14,7	18,7	11,7	2,2%	2,0%	1,6%	1,5%	1,6%	2,1%	1,3%
Blase	21,5	17,8	15,3	14,1	14,8	18,7	11,3	2,4%	2,0%	1,7%	1,6%	1,6%	2,1%	1,3%
Brust	17,9	15,8	13,5	12,4	14,1	17,6	11,4	2,0%	1,8%	1,5%	1,4%	1,6%	2,0%	1,3%
Gehirn	18,8	16,4	14,2	13,0	14,6	18,5	11,6	2,1%	1,8%	1,6%	1,4%	1,6%	2,1%	1,3%
Haut	17,8	15,2	13,5	12,6	14,2	17,9	11,7	1,0%	0,8%	0,7%	0,7%	0,8%	1,0%	0,7%
Hoden	19,2	16,6	14,0	12,7	14,2	18,0	11,2	6,4%	5,5%	4,7%	4,2%	4,7%	6,0%	3,7%
Knochenoberfl.	22,9	23,2	17,9	14,8	16,3	21,4	13,8	1,3%	1,3%	1,0%	0,8%	0,9%	1,2%	0,8%
Leber	20,9	18,0	15,3	13,7	15,2	19,4	11,9	2,3%	2,0%	1,7%	1,5%	1,7%	2,2%	1,3%
Speiseröhre	19,8	17,3	14,1	12,5	13,8	17,8	10,8	2,2%	1,9%	1,6%	1,4%	1,5%	2,0%	1,2%
Magen	20,5	17,4	14,5	13,4	15,0	19,5	11,6	2,3%	1,9%	1,6%	1,5%	1,7%	2,2%	1,3%
Dünndarm	21,7	18,3	15,1	13,5	15,0	19,1	11,3	2,4%	2,0%	1,7%	1,5%	1,7%	2,1%	1,3%
O Dickdarm	21,7	18,6	16,4	15,1	18,0	22,4	12,7	2,4%	2,1%	1,8%	1,7%	2,0%	2,5%	1,4%
U Dickdarm	24,6	19,8	19,3	19,0	23,6	29,2	14,9	2,7%	2,2%	2,1%	2,1%	2,6%	3,2%	1,7%
Dickdarm	22,8	19,2	17,5	16,8	20,3	25,4	13,6	2,5%	2,1%	1,9%	1,9%	2,3%	2,8%	1,5%
Milz	20,5	17,6	14,8	13,2	14,7	18,7	11,3	2,3%	2,0%	1,6%	1,5%	1,6%	2,1%	1,3%
Muskel	19,2	16,6	14,0	12,6	14,1	18,0	11,1	2,1%	1,8%	1,6%	1,4%	1,6%	2,0%	1,2%
Nebennieren	21,6	18,4	14,9	13,0	14,6	18,5	11,1	2,4%	2,0%	1,7%	1,4%	1,6%	2,1%	1,2%
Nieren	20,5	17,6	14,8	13,2	14,7	18,7	11,4	2,3%	2,0%	1,6%	1,5%	1,6%	2,1%	1,3%
Ovarien	21,9	18,7	15,5	13,7	15,2	19,3	11,5	7,3%	6,2%	5,2%	4,6%	5,1%	6,4%	3,8%
Pankreas	21,9	18,4	15,2	13,2	14,6	18,7	11,1	2,4%	2,0%	1,7%	1,5%	1,6%	2,1%	1,2%
R Knochenmark	20,6	18,8	15,4	13,2	14,7	19,2	12,3	6,9%	6,3%	5,1%	4,4%	4,9%	6,4%	4,1%
Schilddrüse	23,8	21,7	19,9	20,5	26,6	36,4	18,3	2,6%	2,4%	2,2%	2,3%	3,0%	4,0%	2,0%
Thymus	20,3	17,8	14,6	13,1	14,5	18,6	11,5	2,3%	2,0%	1,6%	1,5%	1,6%	2,1%	1,3%
Uterus	21,8	18,2	15,0	13,1	14,4	18,4	10,8	7,3%	6,1%	5,0%	4,4%	4,8%	6,1%	3,6%
Effektiv	20,9	18,2	15,5	14,1	16,1	20,6	12,2	7,0%	6,1%	5,2%	4,7%	5,4%	6,9%	4,1%

Hinweis: Der Maximalwert der Grenzwertausschöpfung ist in Fettschrift dargestellt und farbig hinterlegt.

¹⁾ mMu: mit Muttermilch; oMu: ohne Muttermilch

Tabelle A4-3: Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung in dem im Fernbereich der TUM liegenden Fernbereich des KKI infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser des KKI-1

Organ/Gewebe	Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung in dem im Fernbereich der TUM liegenden Fernbereich des KKI infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser des KKI-1													
	Jahresdosis [μSv]						Grenzwertausschöpfung							
	>17a	>12-17a	>7-12a	>2-7a	>1-2a	$\leq 1a$ ¹⁾	>17a	>12-17a	>7-12a	>2-7a	>1-2a	$\leq 1a$ ¹⁾	mMu	oMu
ET Luftwege	69,7	71,5	67,7	68,0	74,3	85,9	73,6	7,7%	7,9%	7,5%	7,6%	8,3%	9,5%	8,2%
Lunge	65,9	67,7	62,8	62,3	68,0	79,3	68,0	7,3%	7,5%	7,0%	6,9%	7,6%	8,8%	7,6%
Blase	66,3	65,9	62,2	62,4	65,3	76,2	63,9	7,4%	7,3%	6,9%	6,9%	7,3%	8,5%	7,1%
Brust	61,8	63,6	60,2	60,8	67,0	77,1	67,3	6,9%	7,1%	6,7%	6,8%	7,4%	8,6%	7,5%
Gehirn	63,3	64,8	61,6	62,0	67,6	78,8	67,7	7,0%	7,2%	6,8%	6,9%	7,5%	8,8%	7,5%
Haut	62,9	63,3	61,8	62,7	69,2	79,6	69,9	3,5%	3,5%	3,4%	3,5%	3,8%	4,4%	3,9%
Hoden	61,9	62,9	59,0	58,8	63,9	74,8	63,6	20,6%	21,0%	19,7%	19,6%	21,3%	24,9%	21,2%
Knochenoberfl.	69,9	75,9	67,5	64,3	69,8	82,7	70,1	3,9%	4,2%	3,7%	3,6%	3,9%	4,6%	3,9%
Leber	65,1	67,0	63,1	62,6	67,3	80,0	66,8	7,2%	7,4%	7,0%	7,0%	7,5%	8,9%	7,4%
Speiseröhre	61,5	62,6	57,2	56,3	60,7	71,6	60,1	6,8%	7,0%	6,4%	6,3%	6,7%	8,0%	6,7%
Magen	64,1	64,6	60,0	60,6	65,6	78,1	64,6	7,1%	7,2%	6,7%	6,7%	7,3%	8,7%	7,2%
Dünndarm	65,5	65,6	60,3	59,6	64,1	75,4	62,4	7,3%	7,3%	6,7%	6,6%	7,1%	8,4%	6,9%
O Dickdarm	67,1	67,7	65,4	65,8	73,2	85,5	67,9	7,5%	7,5%	7,3%	7,3%	8,1%	9,5%	7,5%
U Dickdarm	73,0	70,4	72,3	76,0	85,8	101,1	73,3	8,1%	7,8%	8,0%	8,4%	9,5%	11,2%	8,1%
Dickdarm	69,1	69,2	67,6	70,2	78,4	92,6	70,6	7,7%	7,7%	7,5%	7,8%	8,7%	10,3%	7,8%
Milz	64,1	64,9	60,6	59,8	64,9	76,0	63,9	7,1%	7,2%	6,7%	6,6%	7,2%	8,4%	7,1%
Muskel	61,8	62,7	59,0	58,7	63,8	74,8	63,6	6,9%	7,0%	6,6%	6,5%	7,1%	8,3%	7,1%
Nebennieren	64,8	65,4	59,5	58,0	62,7	73,8	61,4	7,2%	7,3%	6,6%	6,4%	7,0%	8,2%	6,8%
Nieren	64,2	65,1	60,8	60,0	65,0	76,3	64,1	7,1%	7,2%	6,8%	6,7%	7,2%	8,5%	7,1%
Ovarien	66,9	67,4	62,3	61,4	66,0	77,6	64,5	22,3%	22,5%	20,8%	20,5%	22,0%	25,9%	21,5%
Pankreas	65,2	65,4	59,9	58,5	62,8	74,1	61,5	7,2%	7,3%	6,7%	6,5%	7,0%	8,2%	6,8%
R Knochenmark	64,4	66,8	61,2	59,3	64,3	75,8	64,7	21,5%	22,3%	20,4%	19,8%	21,4%	25,3%	21,6%
Schilddrüse	69,7	71,5	67,7	68,0	74,3	85,9	73,6	7,7%	7,9%	7,5%	7,6%	8,3%	9,5%	8,2%
Thymus	65,0	66,5	61,4	60,9	65,9	77,2	65,7	7,2%	7,4%	6,8%	6,8%	7,3%	8,6%	7,3%
Uterus	64,1	64,1	58,2	57,2	61,1	71,8	59,3	21,4%	21,4%	19,4%	19,1%	20,4%	23,9%	19,8%
Effektiv	65,2	66,6	62,7	62,6	67,9	79,5	66,3	21,7%	22,2%	20,9%	20,9%	22,6%	26,5%	22,1%

Hinweis: Der Maximalwert der Grenzwertausschöpfung ist in Fettschrift dargestellt und farbig hinterlegt.

¹⁾ mMu: mit Muttermilch; oMu: ohne Muttermilch

Tabelle A4-4: Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung in dem im Fernbereich der TUM liegenden Fernbereich des KKI infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser des KKI-2

Organ/Gewebe	Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung in dem im Fernbereich der TUM liegenden Fernbereich des KKI infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser des KKI-2													
	Jahresdosis [μSv]						Grenzwertausschöpfung							
	>17a	>12-17a	>7-12a	>2-7a	>1-2a	$\leq 1a$ ¹⁾	>17a	>12-17a	>7-12a	>2-7a	>1-2a	$\leq 1a$ ¹⁾	mMu	oMu
ET Luftwege	25,0	25,4	23,9	23,9	26,2	30,6	25,4	2,8%	2,8%	2,7%	2,7%	2,9%	3,4%	2,8%
Lunge	23,7	24,1	22,2	22,0	24,1	28,4	23,5	2,6%	2,7%	2,5%	2,4%	2,7%	3,2%	2,6%
Blase	23,9	23,6	22,1	22,1	23,2	27,4	22,2	2,7%	2,6%	2,5%	2,5%	2,6%	3,0%	2,5%
Brust	22,1	22,6	21,3	21,4	23,7	27,6	23,3	2,5%	2,5%	2,4%	2,4%	2,6%	3,1%	2,6%
Gehirn	22,7	23,0	21,8	21,9	23,9	28,2	23,4	2,5%	2,6%	2,4%	2,4%	2,7%	3,1%	2,6%
Haut	22,5	22,5	21,8	22,1	24,5	28,4	24,2	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,4%	1,6%	1,3%
Hoden	22,3	22,5	21,0	20,8	22,7	26,9	22,1	7,4%	7,5%	7,0%	6,9%	7,6%	9,0%	7,4%
Knochenoberfl.	25,0	26,2	23,5	22,5	24,5	29,2	24,0	1,4%	1,5%	1,3%	1,3%	1,4%	1,6%	1,3%
Leber	23,5	23,9	22,3	22,1	23,8	28,6	23,1	2,6%	2,7%	2,5%	2,5%	2,6%	3,2%	2,6%
Speiseröhre	22,2	22,4	20,4	20,0	21,6	25,8	20,9	2,5%	2,5%	2,3%	2,2%	2,4%	2,9%	2,3%
Magen	23,1	23,1	21,3	21,5	23,3	28,1	22,4	2,6%	2,6%	2,4%	2,4%	2,6%	3,1%	2,5%
Dünndarm	23,7	23,5	21,5	21,2	22,8	27,1	21,7	2,6%	2,6%	2,4%	2,4%	2,5%	3,0%	2,4%
O Dickdarm	24,2	24,2	23,2	23,3	26,0	30,7	23,6	2,7%	2,7%	2,6%	2,6%	2,9%	3,4%	2,6%
U Dickdarm	26,4	25,2	25,7	27,0	30,6	36,4	25,5	2,9%	2,8%	2,9%	3,0%	3,4%	4,0%	2,8%
Dickdarm	25,0	24,7	24,0	24,9	27,9	33,3	24,5	2,8%	2,7%	2,7%	2,8%	3,1%	3,7%	2,7%
Milz	23,1	23,2	21,6	21,2	23,1	27,3	22,2	2,6%	2,6%	2,4%	2,4%	2,6%	3,0%	2,5%
Muskel	22,2	22,4	20,9	20,8	22,7	26,8	22,0	2,5%	2,5%	2,3%	2,3%	2,5%	3,0%	2,4%
Nebennieren	23,5	23,5	21,2	20,6	22,3	26,5	21,3	2,6%	2,6%	2,4%	2,3%	2,5%	2,9%	2,4%
Nieren	23,2	23,3	21,6	21,3	23,1	27,4	22,2	2,6%	2,6%	2,4%	2,4%	2,6%	3,0%	2,5%
Ovarien	24,2	24,2	22,2	21,7	23,4	27,9	22,4	8,1%	8,1%	7,4%	7,2%	7,8%	9,3%	7,5%
Pankreas	23,6	23,4	21,3	20,8	22,3	26,7	21,3	2,6%	2,6%	2,4%	2,3%	2,5%	3,0%	2,4%
R Knochenmark	23,1	23,6	21,6	20,9	22,7	26,9	22,2	7,7%	7,9%	7,2%	7,0%	7,6%	9,0%	7,4%
Schilddrüse	25,8	26,4	25,2	25,8	29,4	35,4	27,1	2,9%	2,9%	2,8%	2,9%	3,3%	3,9%	3,0%
Thymus	23,4	23,8	21,8	21,5	23,4	27,7	22,8	2,6%	2,6%	2,4%	2,4%	2,6%	3,1%	2,5%
Uterus	23,3	23,0	20,8	20,4	21,8	25,9	20,6	7,8%	7,7%	6,9%	6,8%	7,3%	8,6%	6,9%
Effektiv	23,6	23,8	22,3	22,2	24,2	28,7	23,0	7,9%	7,9%	7,4%	7,4%	8,1%	9,6%	7,7%

Hinweis: Der Maximalwert der Grenzwertausschöpfung ist in Fettschrift dargestellt und farbig hinterlegt.

¹⁾ mMu: mit Muttermilch; oMu: ohne Muttermilch

Tabelle A5-1: Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung im Nahbereich der TUM infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser durch sonstige Einrichtungen und Anlagen (SEA)

Organ/Gewebe	Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung im <u>Nahbereich der TUM</u> infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser durch sonstige Einrichtungen und Anlagen (SEA)													
	Jahresdosis [μSv]							Grenzwertausschöpfung						
	>17a	>12-17a	>7-12a	>2-7a	>1-2a	$\leq 1a$ ¹⁾		>17a	>12-17a	>7-12a	>2-7a	>1-2a	$\leq 1a$ ¹⁾	
					mMu	oMu							mMu	oMu
ET Luftwege	0,5	0,4	0,6	0,6	1,0	2,9	0,5	0,1%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,3%	0,1%
Lunge	0,5	0,4	0,5	0,6	1,0	2,9	0,5	0,1%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,3%	0,1%
Blase	0,8	0,8	0,9	0,9	1,4	3,4	0,6	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,4%	0,1%
Brust	0,4	0,4	0,5	0,5	0,8	2,5	0,5	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,3%	0,1%
Gehirn	0,4	0,4	0,5	0,5	0,9	2,8	0,5	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,3%	0,1%
Haut	0,4	0,4	0,5	0,5	0,8	2,5	0,5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%
Hoden	0,5	0,4	0,5	0,6	1,0	2,8	0,5	0,2%	0,1%	0,2%	0,2%	0,3%	0,9%	0,2%
Knochenoberfl.	9,9	65,8	26,4	14,0	14,5	56,0	43,2	0,5%	3,7%	1,5%	0,8%	0,8%	3,1%	2,4%
Leber	0,8	1,0	1,3	1,6	2,3	6,5	2,3	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,3%	0,7%	0,3%
Speiseröhre	0,5	0,4	0,5	0,6	1,0	2,9	0,5	0,1%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,3%	0,1%
Magen	2,1	1,8	2,3	2,6	5,1	9,4	3,3	0,2%	0,2%	0,3%	0,3%	0,6%	1,0%	0,4%
Dünndarm	3,5	2,8	4,3	4,7	9,0	6,6	5,2	0,4%	0,3%	0,5%	0,5%	1,0%	0,7%	0,6%
O Dickdarm	14,8	12,1	19,0	20,7	41,5	24,7	24,5	1,6%	1,3%	2,1%	2,3%	4,6%	2,7%	2,7%
U Dickdarm	31,3	25,5	40,0	45,0	88,1	50,2	52,6	3,5%	2,8%	4,4%	5,0%	9,8%	5,6%	5,8%
Dickdarm	21,9	17,8	28,3	31,2	61,9	35,8	36,9	2,4%	2,0%	3,1%	3,5%	6,9%	4,0%	4,1%
Milz	0,9	1,2	1,5	1,8	2,3	8,2	2,4	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%	0,3%	0,9%	0,3%
Muskel	0,5	0,4	0,6	0,6	1,0	2,8	0,5	0,1%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,3%	0,1%
Nebennieren	0,5	0,5	0,6	0,6	1,1	3,1	0,5	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,3%	0,1%
Nieren	1,9	2,0	2,5	2,6	3,7	13,3	2,5	0,2%	0,2%	0,3%	0,3%	0,4%	1,5%	0,3%
Ovarien	0,9	0,8	1,0	1,0	1,7	3,5	0,7	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,6%	1,2%	0,2%
Pankreas	0,6	0,5	0,7	0,7	1,1	3,2	0,5	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,4%	0,1%
R Knochenmark	1,3	3,5	2,4	2,0	2,8	10,8	6,4	0,4%	1,2%	0,8%	0,7%	0,9%	3,6%	2,1%
Schilddrüse	63,2	68,7	88,6	131,3	220,9	346,9	120,1	7,0%	7,6%	9,8%	14,6%	24,5%	38,5%	13,3%
Thymus	0,5	0,4	0,6	0,6	1,0	2,9	0,5	0,1%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,3%	0,1%
Uterus	0,7	0,6	0,8	0,8	1,4	3,2	0,6	0,2%	0,2%	0,3%	0,3%	0,5%	1,1%	0,2%
Effektiv	6,8	7,2	9,2	11,2	20,3	26,1	12,2	2,3%	2,4%	3,1%	3,7%	6,8%	8,7%	4,1%

Hinweis: Der Maximalwert der Grenzwertausschöpfung ist in Fettschrift dargestellt und farbig hinterlegt.

¹⁾ mMu: mit Muttermilch; oMu: ohne Muttermilch

Tabelle A5-2: Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung im Fernbereich der TUM infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser durch sonstige Einrichtungen und Anlagen (SEA)

Organ/Gewebe	Höchstwerte der potenziellen Jahresdosis von Referenzpersonen der Bevölkerung im Fernbereich der TUM infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser durch sonstige Einrichtungen und Anlagen (SEA)													
	Jahresdosis [μSv]						Grenzwertausschöpfung							
	>17a	>12-17a	>7-12a	>2-7a	>1-2a	$\leq 1\text{a}^{1)}$	>17a	>12-17a	>7-12a	>2-7a	>1-2a	$\leq 1\text{a}^{1)}$	mMu	oMu
ET Luftwege	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,6	0,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%
Lunge	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,6	0,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%
Blase	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,7	0,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%
Brust	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%
Gehirn	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,6	0,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%
Haut	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,5	0,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Hoden	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,6	0,2	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,1%
Knochenoberfl.	4,1	28,3	11,3	5,9	5,9	23,0	18,0	0,2%	1,6%	0,6%	0,3%	0,3%	1,3%	1,0%
Leber	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	2,1	1,0	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,1%
Speiseröhre	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,6	0,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%
Magen	0,3	0,3	0,4	0,4	0,7	1,3	0,5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%
Dünndarm	0,4	0,4	0,5	0,6	1,0	0,9	0,6	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
O Dickdarm	1,5	1,2	1,9	2,1	4,0	2,8	2,4	0,2%	0,1%	0,2%	0,2%	0,4%	0,3%	0,3%
U Dickdarm	3,1	2,6	3,9	4,5	8,5	5,6	5,1	0,3%	0,3%	0,4%	0,5%	0,9%	0,6%	0,6%
Dickdarm	2,2	1,8	2,8	3,1	6,0	4,0	3,6	0,2%	0,2%	0,3%	0,3%	0,7%	0,4%	0,4%
Milz	0,3	0,5	0,6	0,7	0,8	2,9	1,0	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,3%	0,1%
Muskel	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,6	0,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%
Nebennieren	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,6	0,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%
Nieren	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	3,3	1,0	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,4%	0,1%
Ovarien	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,7	0,2	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,1%
Pankreas	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,6	0,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%
R Knochenmark	0,5	1,5	1,0	0,8	1,0	4,0	2,6	0,2%	0,5%	0,3%	0,3%	0,3%	1,3%	0,9%
Schilddrüse	16,3	18,0	23,3	34,9	58,4	89,0	31,0	1,8%	2,0%	2,6%	3,9%	6,5%	9,9%	3,4%
Thymus	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,6	0,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%
Uterus	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,6	0,2	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,1%
Effektiv	1,4	1,7	1,9	2,4	4,1	6,1	2,7	0,5%	0,6%	0,6%	0,8%	1,4%	2,0%	0,9%

Hinweis: Der Maximalwert der Grenzwertausschöpfung ist in Fettschrift dargestellt und farbig hinterlegt.

¹⁾ mMu: mit Muttermilch; oMu: ohne Muttermilch

