



Strahlenschutzkommission

Geschäftsstelle der
Strahlenschutzkommission
Postfach 12 06 29
D-53048 Bonn

<http://www.ssk.de>

Neuberechnung der zulässigen Aktivitätskonzentrationen in der Fortluft und im Abwasser im Rahmen der Novellierung der Strahlenschutzverordnung (§ 47 Abs. 4)

Dokumentation der Ableitung der Grenzwerte

Stellungnahme der Strahlenschutzkommission

Verabschiedet in der 178. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 12. April 2002

Inhaltsverzeichnis

1	Problemstellung.....	4
2	Allgemeine Grundlagen	4
3	Zulässige Aktivitätskonzentrationen von Radionukliden in der Fortluft	5
3.1	Inhalation	5
3.2	Externe Exposition.....	6
3.2.1	Betasubmersion	7
3.2.2	Gammasubmersion.....	7
4	Zulässige Aktivitätskonzentrationen von Radionukliden im Abwasser	8
5	Überprüfung der Konservativität der abgeleiteten Aktivitätskonzentrationen in Fortluft und Abwasser anhand der AVV zu § 47 StrlSchV.....	8
5.1	Grundsätzliche Annahmen	8
5.2	Vergleichsrechnung nach AVV	11
5.3	Durchführung des Vergleichs: einfache Modelle - AVV	11
5.4	Ergebnisse des Vergleichs: einfache Modelle - AVV	12
6	Aktivitätskonzentrationen für Radionuklidgemische unbekannter Zusammensetzung.....	12
7	Vergleich mit den bisherigen Grenzwerten zulässiger Aktivitätskonzentrationen	12
8	Literaturverzeichnis.....	14
Anhang 1		
	Tabelle der zulässigen Aktivitätskonzentrationen in Fortluft und Abwasser	15
Anhang 2		
	Gegenüberstellung der zulässigen Konzentrationswerte für Edelgase auf Grund von Gamma- und Betasubmersion	28

Anhang 3

Radionuklide, deren zulässige Aktivitätskonzentrationen in der Fortluft und im Abwasser nach Berechnung der effektiven Dosen und der Organdosen reduziert wurden	29
--	----

Anhang 4

Zulässige Aktivitätskonzentrationen in der Fortluft für Radionuklidgemische unbekannter Zusammensetzung	32
--	----

Anhang 5

Maximal zulässige Aktivitätskonzentrationen im Abwasser für Radionuklidgemische unbekannter Zusammensetzung	33
--	----

1 Problemstellung

Die von der EU festgelegten Grundnormen zum Schutz der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlungen [EU 96] sind in nationale Rechtsvorschriften umzusetzen. Im Rahmen der dadurch notwendig gewordenen Novellierung der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) waren auch die Tabellen des alten § 46 „Schutz von Luft, Wasser und Boden“ (jetzt § 47 Abs. 4 „Begrenzung der Ableitung radioaktiver Stoffe“) neu zu berechnen. Diese Regelung des § 47 Abs. 4 der Novelle StrlSchV ermöglicht, dass bei Anlagen oder Einrichtungen, die keiner Genehmigung nach §§ 6, 7 oder 9 des Atomgesetzes (AtG) oder keines Planfeststellungsbeschlusses nach § 9b des AtG bedürfen, die zuständige Behörde von der Festlegung von jährlichen, maximalen Radioaktivitätsabgabemengen absehen kann, sofern zulässige Aktivitätskonzentrationen in Fortluft und Abwasser aus Strahlenschutzbereichen im Jahresdurchschnitt nicht überschritten werden.

Diese Regelung bezieht sich nur auf die Ableitung von radioaktiven Stoffen aus Anlagen oder Einrichtungen. Andere Quellen, wie z.B. Patienten, die nach einer Therapie vorzeitig aus Kliniken entlassen werden, sind nicht Inhalt dieser Regelung. Konsequenterweise wurden solche Quellen bei der Ableitung der zulässigen Aktivitätskonzentrationen auch nicht berücksichtigt. Liegen Erkenntnisse vor, dass solche Quellen signifikant zur Erhöhung der Radioaktivität in der Umwelt beitragen, sind sie gesondert zu betrachten.

Die Ableitung der zulässigen Aktivitätskonzentrationen wurde vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) im Auftrag des BMU auf der Basis von Empfehlungen des Ausschusses „Radioökologie“ bei der Strahlenschutzkommission (SSK) für Fortluft und Abwasser durchgeführt. Die dabei verwendeten Szenarien, Annahmen und Parameter werden in dieser Dokumentation zusammengestellt und erläutert.

2 Allgemeine Grundlagen

Zur Herleitung der zulässigen Aktivitätskonzentrationen wird davon ausgegangen, dass die in § 47 Abs. 1 StrlSchV festgelegten Grenzwerte für die effektive Dosis und die Organdosen der Bevölkerung durch die Ableitung von Radionukliden mit der Fortluft und dem Abwasser in der Umgebung einer Anlage oder Einrichtung nicht überschritten werden dürfen.

Zur Berechnung der zulässigen Aktivitätskonzentrationen werden zunächst einfache Expositionsszenarien für Abwasser und Fortluft verwendet und nur der Grenzwert für die effektive Dosis von 0,3 mSv pro a herangezogen. Die Konservativität der auf diese Art abgeleiteten Aktivitätskonzentrationen wird durch Vergleichsrechnungen mit der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV (AVV 90) überprüft, wobei neben der effektiven Dosis auch Organdosen berücksichtigt werden.

Gegenüber den bisher gültigen Rechtsgrundlagen haben sich folgende wesentliche Randbedingungen geändert:

- Statt wie bisher zwei Altersgruppen (Kleinkind und Erwachsener) sind gemäß der EURATOM-Grundnormen [EU 96] 6 Altersgruppen zu berücksichtigen.

Es werden die in den Grundnormen für ca. 800 Radionuklide festgelegten Dosiskoeffizienten und Dosisleistungskoeffizienten für die effektive Dosis durch Inhalation, Ingestion und Gammabestrahlung mit zwei Ausnahmen verwendet. Bei den Vergleichsrechnungen mit dem Modell der AVV 90 (siehe Kap. 5) werden für die Gammabestrahlung die bisherigen Dosisfaktoren [StrlSchV 89,2] weiterverwendet, um die Strahlenexposition in der unmittelbaren Umge-

bung eines Emittenten nicht zu unterschätzen. Dosisleistungskoeffizienten nach EU-Grundnormen liegen für Betasubmersion nicht vor; daher werden die Dosisleistungskoeffizienten aus [StrlSchV 89,2] verwendet. Für die übrigen Organe und Gewebe werden die Dosiskoeffizienten für Inhalation und Ingestion aus ICRP [ICRP 99] entnommen.

- Für die Ableitungen werden die Verzehrsmengen für Nahrungsmittel und Trinkwasser einschließlich der Berücksichtigung des Faktors zur Abdeckung des 95-Perzentils sowie die Atemraten aus der Anlage VII Teil B, Tabelle 1 und 2 StrlSchV verwendet. Allerdings bleibt der Muttermilchpfad für den Säugling (<1 a) unberücksichtigt. Statt dessen werden hohe Konsumraten für Kuhmilch angenommen (s. Tab. 4).

Die zulässigen Aktivitätskonzentrationen werden für alle Altersgruppen berechnet und der jeweils restriktivste Wert wird in die Strahlenschutzverordnung übernommen.

Alle natürlich vorkommenden Radionuklide, deren Aktivitäten nach Anlage III, Tabelle 1 StrlSchV „Freigrenzen, Freigabewerte für verschiedene Freigabeverfahren, Werte der Oberflächenkontamination“ nicht beschränkt sind, werden auch nicht in die Tabelle mit den zulässigen Aktivitätskonzentrationen aufgenommen.

3 Zulässige Aktivitätskonzentrationen von Radionukliden in der Fortluft

Zur Berechnung der zulässigen Aktivitätskonzentrationen von Radionukliden in der Fortluft wird in dem einfachen Modell angenommen, dass sich die Referenzperson während des ganzen Jahres in der unverdünnten Fortluft aufhält, diese entweder inhaliert oder dort einer externen Beta- und/oder Gammastrahlung ausgesetzt ist. In einem zweiten Schritt wird die Konservativität der mit dem einfachen Modell berechneten zulässigen Aktivitätskonzentrationen anhand des AVV-Modells überprüft (Kap. 5).

3.1 Inhalation

Als einfaches Expositionsmodell zur Ableitung der zulässigen Aktivitätskonzentrationen mit der Fortluft wird angenommen, dass eine Referenzperson die unverdünnte Fortluft direkt an der Freisetzungsstelle über den Zeitraum eines Jahres inhaliert. Die Berechnungen werden für alle aerosolförmigen Radionuklide (ca. 800) durchgeführt. Gemäß der EU-Richtlinie [EU 96] werden verschiedene chemische-physikalische Formen bei den Radioisotopen einiger Elemente zusätzlich berücksichtigt:

Tritium:	elementar, Wasser, organisch,
Kohlenstoff:	Dampf, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid,
Schwefel:	SO ₂
Nickel:	Karbonyl
Ruthen:	Tetroxid
Tellur:	Dampf
Iod:	elementar, Methyljodid
Quecksilber:	Dampf

Liegen Dosiskoeffizienten für mehrere Lungenretentionsklassen vor („fast“, „moderate“, „slow“), so wird jeweils der höchste Dosiskoeffizient verwendet, der zur restriktivsten zulässigen Aktivitätskonzentration führt.

Die Berechnung der Inhalationsdosis erfolgt nicht für die in [EU 96] aufgeführten Edelgase und einige kurzlebige, reine Betastrahler, wie C-11, N-13 und O-15. Für diese Radionuklide wird statt dessen die Beta- bzw. Gammasubmersion berücksichtigt.

Die Berechnung der zulässigen Aktivitätskonzentrationen für den Inhalationspfad erfolgt nach der Formel:

$$C_{r,Luft} = \frac{H_{eff}}{g_{h,r,j} \cdot V_j}$$

$C_{r,Luft}$ = Aktivitätskonzentration des Radionuklids r in der Fortluft in Bq/m³

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

$g_{h,r,j}$ = Dosiskoeffizient für Inhalation (h) für das Radionuklid r in Sv/Bq für die Altersgruppe j gemäß Richtlinie 96/29/EURATOM [EU 96]

V_j = Atemrate der Referenzperson der Altersgruppe j (m³/a, s. Tab. 1)

Tabelle 1: Altersabhängige Atemraten der Referenzpersonen

Altersgruppe	≤1 a	>1 - ≤2 a	>2 - ≤7 a	>7 - ≤12 a	>12 - ≤17 a	>17 a
Atemrate in m ³ /a	1100	1900	3200	5640	7300	8100

Die Ableitung der Konzentrationswerte erfolgt unabhängig vom Volumenstrom. Um die jährlichen Gesamtabgaben zu begrenzen, wird festgelegt, dass die im Anhang 1 aufgelisteten Aktivitätskonzentrationen nur für Fortluftströme bis 10⁵ m³/h gelten. Diese Begrenzung der Gesamtabgabe über den Volumenstrom wurde so gewählt, dass die jährlichen Gesamtabgaben kleiner sind als typische Genehmigungswerte für Anlagen oder Einrichtungen, die einer Genehmigung nach §§ 6, 7 oder 9 AtG oder eines Planfeststellungsbeschlusses nach § 9b AtG bedürfen.

Ist der Fortluftvolumenstrom größer als 10⁵ m³/h, ist ein radioökologisches Gutachten erforderlich, in dem maximal zulässige jährliche Aktivitätsabgaberraten zu ermitteln sind.

Auch bei kleineren Emittenten ist die Begrenzung der jährlichen Gesamtabgaben zu gewährleisten. Andererseits wird aber eine flexible Handhabung der zulässigen Radionuklidkonzentrationen in der Fortluft bei solchen Anlagen als sinnvoll erachtet. Bei Fortluftströmen bis zu 10⁴ m³/h sieht es der Ausschuss als akzeptabel an, bis zu 10 mal höhere Aktivitätskonzentrationen in der Fortluft zuzulassen als in Anhang 1 aufgelistet.

3.2 Externe Exposition

Auch bei der Strahlenexposition durch Beta- und Gammasubmersion wird von einem Aufenthalt der Referenzperson in der unverdünnten Fortluft über den Zeitraum eines Jahres ausgegangen. Die Berechnungen erfolgen für die in [EU 96] aufgeführten Edelgase und einige kurzlebige, reine Betastrahler, wie C-11, N-13 und O-15.

Bei der Ableitung von Aktivitätskonzentrationswerten für Edelgase wird die externe Strahlenexposition der Haut durch Betasubmersion sowie die effektive Dosis durch Gammasubmersion berechnet. Als Dosisgrenzwert für die Betasubmersion der Haut wird gemäß der Strahlenschutzverordnung 1,8 mSv pro a angenommen.

Anhang 2 enthält eine Gegenüberstellung der abgeleiteten Aktivitätskonzentrationswerte für Edelgase bei Gamma- und Betasubmersion. Die jeweils restriktiveren Aktivitätskonzentrationswerte, die in die Strahlenschutzverordnung übernommen werden, sind fett markiert.

Für die 3 kurzlebigen, reinen Betastrahler, die teilweise in der Nuklearmedizin verwendet werden, wird nur der Expositionspfad Betasubmersion der Haut berücksichtigt.

3.2.1 Betasubmersion

Die zulässigen Aktivitätskonzentrationen bei Betasubmersion der Haut werden nach folgender Gleichung berechnet:

$$C_{r,Luft} = \frac{H_{Haut}}{g_{H,r} \cdot t}$$

$C_{r,Luft}$ = Aktivitätskonzentration des Radionuklides r in der Fortluft in Bq/m³

H_{Haut} = Grenzwert der jährlichen Dosis für die Haut (0,0018 Sv/a)

$g_{H,r}$ = Dosisleistungskoeffizient für die Betasubmersion der Haut in [Sv/s]/[Bq/m³]

t = Umrechnungsfaktor = 3,15 E7 s/a

Dosisleistungskoeffizienten nach EU-Grundnormen liegen für Betasubmersion nicht vor, daher werden die Dosisleistungskoeffizienten nach AVV (Bundesanzeiger vom 30. Sept. 1989) verwendet.

3.2.2 Gammasubmersion

Die Berechnung der Gammasubmersion erfolgt nach dem Modell „Halbunendliche Volumenquelle“ und den Dosisleistungskoeffizienten aus den EU-Grundnormen. Bei diesem Modell hält sich die Referenzperson in einer Wolke auf, für die oberhalb des Erdbodens eine unendliche Ausdehnung mit konstanter Konzentration angenommen wird. Die Aufenthaltszeit beträgt ein Jahr. Zur Berechnung der Effektivdosis werden die von der EU veröffentlichten Dosisleistungskoeffizienten verwendet, die keine Differenzierung nach Altersgruppen vorsehen.

Die zulässigen Aktivitätskonzentrationen für Gammasubmersion durch Edelgase werden nach folgender Gleichung berechnet:

$$C_{r,Luft} = \frac{H_{eff}}{g_{\gamma,r}}$$

$C_{r,Luft}$ = Aktivitätskonzentration des Edelgases r in der Fortluft in Bq/m³

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

$g_{\gamma,r}$ = Dosisleistungskoeffizient für Gammasubmersion in [Sv/a]/[Bq/m³] gemäß
Richtlinie 96/29/EURATOM [EU 96]

4 Zulässige Aktivitätskonzentrationen von Radionuklid- den im Abwasser

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

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

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

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

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

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

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

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

Tabelle 2: Altersabhängiger, jährlicher Trinkwasserkonsum der Referenzpersonen

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

Die maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationswerte sind im Anhang 1 zusammengestellt. Analog der Fortluft wird eine flexible Handhabung dieser Werte in der Praxis für kleinere Anlagen und Einrichtungen als angemessen erachtet. Der Ausschuss hält es für vertretbar, dass bei Abwassermengen bis $10^5 \text{ m}^3/\text{a}$ die Radionuklidkonzentration im Abwasser bis zum 10-fachen der im Anhang 1 aufgeführten Werten betragen darf.

5 Überprüfung der Konservativität der abgeleiteten Aktivitätskonzentrationen in Fortluft und Abwasser anhand der AVV zu § 47 StrlSchV

5.1 Grundsätzliche Annahmen

Die Konservativität der mit den einfachen Modellen abgeleiteten zulässigen Aktivitätskonzentrationen für Fortluft und Abwasser werden durch Dosisberechnungen nach der AVV [AVV 90] überprüft. Neue und zusätzliche Parameter werden wie folgt festgelegt:

Fortluft

- Für den Fortluftpfad wird eine effektive Emissionshöhe von 20 m angenommen. Bei dieser Emissionshöhe liegt der Aufpunkt der maximalen Konzentration in ca. 100 m Entfernung vom Freisetzungsort. In dieser Entfernung ist die beaufschlagte Fläche näherungsweise groß genug, um gemäß der AVV alle pflanzlichen Nahrungsmittel für 1 Person anzubauen sowie Weidewirtschaft betreiben zu können.
- Dosisberechnungen werden sowohl für aerosolförmiges als auch für elementares Iod durchgeführt, und es werden beide Ergebnisse angegeben.

Abwasser

- Bei der Ableitung von Radionukliden mit dem Abwasser wird gemäß AVV davon ausgegangen, dass eine Strahlenexposition von Personen erst nach Einleitung des kontaminierten Abwassers in den Vorfluter erfolgt. Zur Berechnung der Radionuklidaktivität im Vorfluter ist eine Verdünnung der Aktivitätskonzentration durch unkontaminiertes Wasser auf dem Weg von der Einleitungsstelle bis in den Vorfluter zu berücksichtigen. Die Höhe des über ein Jahr gemittelten Verdünnungsfaktors ergibt sich aus der kontaminierten Abwassermenge des Emittenten, dem gesamten jährlichen Wasserdurchsatz der zu betrachtenden Kläranlage und dem mittleren Abfluss des Vorfluters. Auf der Basis von Erfahrungswerten kann ein Verdünnungsfaktor Einleitung/Vorfluter von 1000 für Abwassermengen bis zu $10^5 \text{ m}^3/\text{a}$ aus Strahlenschutzbereichen und einem Verdünnungsfaktor von 100 für Abwassermengen bis $10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ als abdeckend angesehen werden. Tabelle 3 zeigt, dass diese Verdünnungsfaktoren bereits bei einem kleinen Vorfluter mit einer Abflussmenge von $3,17 \text{ m}^3/\text{s}$ erreicht werden, wobei weitere Verdünnungen durch die kommunalen Abwässer noch gar nicht berücksichtigt sind. Auch aus großen Kliniken sind keine größeren Abwassermengen als $10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ zu erwarten: Dieser Wert entspricht, bei einem mittleren Wasserverbrauch eines Menschen von 150 l/d, dem jährlichen Bedarf von 18000 Menschen.

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

Abwasserabgabe			Verdünnungsfaktor	Erforderliche Abflussmengen des Vorfluters bei maximaler Abwasserabgabe
m^3/a	m^3/d	m^3/s		m^3/s
1,0 E+06	2740	0,03170	100	3,17
1,0 E+05	274	0,00317	1000	3,17
1,0 E+04	27	0,00032	1000	0,32
1,0 E+03	3	0,00003	1000	0,03

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

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

Ingestionspfad

Zur Berechnung der effektiven Dosis durch Ingestion werden die Dosiskoeffizienten der EURATOM-Grundnormen [EU-96] und die Verzehrsmengen aus der Anlage VII Teil B StrlSchV (ohne nach Süß- und Salzwasserfisch zu differenzieren) herangezogen. Die verwendeten Verzehrsmengen verschiedener Lebensmittelgruppen ergeben sich durch Multiplikation der Mittelwerte mit dem Faktor zur Abdeckung des 95-Perzentils in Spalte 8 (Tabelle 4).

Tabelle 4: Mittlere jährliche Verzehrsmengen

Altersgruppe Lebensmittel	≤ 1 Jahr kg/a	> 1 - ≤ 2 Jahre kg/a	> 2 - ≤ 7 Jahre kg/a	> 7 - ≤ 12 Jahre kg/a	> 12 - ≤ 17 Jahre kg/a	> 17 Jahre kg/a	Faktor zur Abdeckung des 95- Perzentils
Trinkwasser	55 ¹⁾	100	100	150	200	350	2
Milch, Milchpro- dukte	190 ²⁾	160	160	170	170	130	3
Fisch	0,5	3	3	4,5	5	7,5	5
Fleisch, Wurst, Eier	5	13	50	65	80	90	2
Getreide, Getreideprodukte	12	30	80	95	110	110	2
Einheimisches Frischobst, Obst- produkte, Säfte	25	45	65	65	60	35	3
Kartoffeln, Wur- zelgemüse, Säfte	30	40	45	55	55	55	3
Blattgemüse	3	6	7	9	11	13	3
Gemüse, Gemüse- produkte, Säfte	5	17	30	35	35	40	3

- 1) Zur jährlichen Trinkwassermenge des Säuglings von 55 l/a kommen 115 l/a, wenn angenommen wird, dass der Säugling nicht gestillt wird, sondern nur Milchfertigprodukte erhält, die überregional erzeugt werden und als nicht kontaminiert anzusetzen sind. Dabei wird angenommen, dass 0,2 kg Konzentrat (entspricht 1 l Milch) in 0,8 l Wasser aufgelöst wird.
- 2) Keine Berücksichtigung von Muttermilch, gesamter Milchkonsum erfolgt als Kuhmilch

Gamma-Bodenstrahlung

Die Berechnung der Gamma-Bodenstrahlung erfolgt nach AVV [AVV 90] unter der Annahme einer 50-jährigen Akkumulation der Radionuklide aus der Luft auf dem Boden. Dabei wird nach dieser konservativen Methode die Jahresdosis im 50. Betriebsjahr berücksichtigt, wobei für jedes Einzeljahr die entsprechende Jahresfreisetzung in Luft angenommen wird. Bei Iodisotopen wird jeweils die Form mit den größten Depositionsparametern verwendet. Die Dosisleistungskoeffizienten für Gamma-Bodenstrahlung sind der Strahlenschutzverordnung

von 1989 [StrlSchV 89,1] entnommen, da in den EURATOM-Grundnormen [EU 96] keine Dosisleistungskoeffizienten für Gamma-Bodenstrahlung unter Berücksichtigung von Tochternukliden enthalten sind.

5.2 Vergleichsrechnung nach AVV

Die Berechnungen nach AVV werden für Fortluft mit dem am BfS entwickelten Rechenprogramm LAR (Langzeit-Ausbreitungs-Rechnung) durchgeführt [W 90]. Dieses Programmsystem ermöglicht die Berechnung der effektiven Dosis und der Organdosen über alle Expositionspfade. Die Gesamtdosis ergibt sich aus der Summe der Teildosen aller in der AVV angegebenen Expositionspfade.

Kommen mehrere chemische Formen eines Radionuklids in Betracht, wird immer die Form verwendet, die zur höchsten Dosis über den betrachteten Expositionspfad führt. Bei Tritium und Radiokohlenstoff wurde zunächst die Inhalationsdosis bei der Ableitung der Grenzwerte nach dem einfachen Modell aus Konservativitätsgründen mit der Aerosolform gerechnet, während für die Ingestionsdosis bei den Vergleichsrechnungen die organisch gebundene Form angenommen wird, da diese Form zur grösstmöglichen Dosis über Ingestion führt. Radiokohlenstoff wird dann als $^{14}\text{CO}_2$ freigesetzt, das über Assimilation in die Nahrungskette gelangt. Für Iod wird in beiden Fällen die elementare Form angenommen, da diese sowohl zu einer höheren Inhalationsdosis führt als die anderen Iodformen als auch zu einer höheren Ingestionsdosis wegen der grösseren Depositionsgeschwindigkeit auf Boden und Bewuchs.

Zur Berechnung der radionuklidspezifischen Strahlenexposition nach AVV wird als Eingangsgröße die maximal mögliche jährliche Abgabemenge für jedes Radionuklid benötigt (Bq/a). Diese ergibt sich durch Multiplikation der zulässigen Aktivitätskonzentration (abgeleitet mit den in Abschnitt 3 beschriebenen einfachen Modellen) mit den jährlichen Fortluft- bzw. Abwasservolumina ($8,8 \cdot 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ für Fortluft und $1 \cdot 10^5 \text{ m}^3/\text{a}$ für Abwasser).

5.3 Durchführung des Vergleichs: einfache Modelle - AVV

Zur Beurteilung der Konservativität der Ergebnisse, die mit den vereinfachten Modellen erzielt wurden, wird wie folgt vorgegangen:

Zunächst wird die effektive Dosis durch die jährliche Ableitung eines Radionuklids in Höhe der mit dem einfachen Modell berechneten Aktivitätskonzentration nach AVV berechnet und das Ergebnis mit dem Dosisgrenzwert der Strahlenschutzverordnung von $0,3 \text{ mSv/a}$ verglichen.

Wenn die Dosisberechnung nach AVV für ein Radionuklid zeigt, dass der Grenzwert für die effektive Dosis von $0,3 \text{ mSv/a}$ zu weniger als 10% ausgeschöpft ist, wird die mit den einfachen Modellen abgeleitete radionuklidspezifische Aktivitätskonzentration als ausreichend konservativ angesehen und in die Strahlenschutzverordnung übernommen.

Der Wert von 10% ergibt sich aus der Überlegung, dass entsprechend der Gewebewichtungsfaktoren die Organdosen maximal zwischen 1% (Haut und Knochenoberfläche) und 20% (Gonaden) zur effektiven Dosis beitragen können. Diese Betrachtungsweise ist damit in jedem Falle abdeckend für alle Organe, deren Gewebewichtungsfaktoren mindestens 10% betragen. Für Organe mit Gewebewichtungsfaktoren kleiner als 10% sind andererseits aber auch die Dosisgrenzwerte höher (Haut und Knochenoberfläche: $1,8 \text{ mSv/a}$). Theoretisch ergibt sich daraus, dass der Grenzwert für diese beiden Organe im Extremfall einer effektiven Dosis von 6% entspricht. Da praktisch ausgeschlossen werden kann, dass nur ein Organ zur effektiven Dosis beiträgt, wird ein gerundeter Wert von 10 % als abdeckend betrachtet.

Wird ein Zehntel des Dosisgrenzwertes ($= 0,03 \text{ mSv/a}$) überschritten, so werden zusätzlich noch die Organdosen berechnet und die Ergebnisse mit den entsprechenden organspezifischen Dosisgrenzwerten nach § 47 Abs. 1 verglichen. Dazu wird jeweils der Quotient „berechnete Organdosis“ zu „entsprechendem Dosisgrenzwert“ gebildet.

Liegen alle organspezifischen Dosisquotienten eines Radionuklids <1 , sind keine Korrekturen bei der nach dem vereinfachten Modell abgeleiteten zulässigen Aktivitätskonzentration notwendig.

Zeigen die Berechnungen bei einem Radionuklid, dass ein oder mehrere Dosisquotienten >1 auftreten, so wird die mit dem vereinfachten Modell berechnete zulässige Aktivitätskonzentration durch den größten Dosisquotienten dividiert und dieser korrigierte Wert in die Strahlenschutzverordnung aufgenommen.

5.4 Ergebnisse des Vergleichs: einfache Modelle - AVV

Die Ergebnisse des Vergleichs einfache Modelle – AVV sind im Anhang 3 zusammengestellt. Aufgelistet sind nur die Radionuklide, bei denen eine Korrektur der Aktivitätskonzentrationen notwendig war.

Aufgrund der Berechnungen nach der AVV ergibt sich bei der Fortluft eine maximale Absenkung der zulässigen Aktivitätskonzentration bei Selen-79 um mehr als 2 Größenordnungen. Insgesamt waren bei 53 Radionukliden Korrekturen erforderlich. Erhöhte Strahlenexpositionen treten besonders über den Ingestionspfad auf.

Der Beitrag der Bodenstrahlung zur Dosis ist, trotz der Annahme einer 50jährigen Akkumulation, nur für Bi-207, Al-26, Hg-194 (durch die Anreicherung der Tochter Au-194) von Bedeutung.

Bei den zulässigen Aktivitätskonzentrationen im Abwasser mussten nur die Werte für 10 Radionuklide geändert werden.

6 Aktivitätskonzentrationen für Radionuklidgemische unbekannter Zusammensetzung

Sowohl für die Fortluft als auch für das Abwasser sind zulässige Aktivitätskonzentrationen für Radionuklidgemische unbekannter Zusammensetzung festzulegen. Der Grenzwert für unbekannte Gemische orientiert sich am restriktivsten Wert aller Radionuklide, beispielsweise an 2 E-5 Bq/m^3 für Cm-250 für die Fortluft. Können bestimmte Radionuklide in einem Gemisch ausgeschlossen werden, wird der jeweils strengste Grenzwert aus der Menge der übriggebliebenen Radionuklide grenzwertbestimmend. In den Anhängen 4 und 5 sind Grenzwerte für verschiedene Radionuklidgemische unbekannter Zusammensetzung für Fortluft und Abwasser angegeben. Die Werte sind dabei auf 5 bzw. 10 gerundet.

7 Vergleich mit den bisherigen Grenzwerten zulässiger Aktivitätskonzentrationen

Durch die Einführung von 6 Altersgruppen, veränderten Verzehrsgewohnheiten und z.T. höheren Dosiskoeffizienten ergibt die Neuberechnung für zahlreiche Radionuklide restriktivere zulässige Aktivitätskonzentrationen gegenüber den Werten des § 46 der alten Strahlenschutzverordnung. In den Tabellen 5 und 6 sind exemplarisch für einige Radionuklide alte und neue

Grenzwerte der zulässigen Aktivitätskonzentration in Fortluft und Abwasser gegenübergestellt.

Tabelle 5: Vergleich der alten und neuen Grenzwerte für Fortluft für ausgewählte Radionuklide

	Zulässige Aktivitätskonzentration in Fortluft (Fortluftvolumenstrom: $10^4 - 10^5 \text{ m}^3/\text{h}$)		
	Nach § 46 StrlSchV (alt) in Bq/m^3	Neu in Bq/m^3	$C_L(\text{neu})/C_L(\text{alt})$
H-3	3 E+03	1 E+02	0,03
C-14	9 E+01	6 E+00	0,07
Sr-90	5 E-02	1 E-01	2
Tc-99m	5 E+03	2 E+03	0,4
I-131	1 E+00	5 E-01	0,5
Cs-137	6 E+00	9 E-01	0,15
Pb-210	5 E-03	7 E-03	1,4
Ra-226	9 E-03	4 E-03	0,4

Tabelle 6: Vergleich der alten und neuen Grenzwerte für Abwasser für ausgewählte Nuklide

	Zulässige Aktivitätskonzentration in Abwasser (Abwassermenge: $> 100\,000 \text{ m}^3/\text{a}$)		
	nach § 46 StrlSchV (alt) in Bq/m^3	Neu in Bq/m^3	$C_W(\text{neu})/C_W(\text{alt})$
H-3	3 E+07	1 E+07	0,33
C-14	9 E+05	6 E+05	0,66
Co-60	7 E+04	2 E+04	0,29
Sr-90	3 E+03	4 E+03	1,3
Tc-99m	2 E+07	4 E+06	0,2
I-131	7 E+03	5 E+03	0,7
Cs-137	4 E+04	3 E+04	0,75
Po-210	3 E+02	3 E+01	0,1
Pb-210	1 E+02	1 E+02	1
Ra-226	4 E+02	2 E+02	0,5
Ra-228	5 E+02	3 E+01	0,06
U-234	3 E+03	2 E+03	0,66

Durch neue Dosiskoeffizienten ergeben sich erhebliche Grenzwertverschärfungen für H-3 und C-14 in der Fortluft. Gemäß den EU-Grundnormen wurden jeweils die Dosiskoeffizienten für die aerosolgebundenen Formen zur Ableitung der Werte herangezogen, was zu deutlich größeren Inhalationsdosen führt als Tritiumwasser und $^{14}\text{CO}_2$.

Für das Abwasser ergeben sich bei zahlreichen Radionukliden Grenzwertverschärfungen gegenüber den Werten in der alten Strahlenschutzverordnung, vor allem als Folge höherer Ingestionsdosiskoeffizienten für den neu in der Strahlenschutzverordnung betrachteten Säugling mit einem Alter $< 1a$ und der Annahme eines höheren jährlichen Trinkwasserkonsums. Erhebliche Reduzierungen der zulässigen Aktivitätskonzentrationen in Abwasser treten bei H-3, Co-60, Tc-99m, Po-210 und Ra-228 auf.

8 Literaturverzeichnis

- [AVV 90] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung:
Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen. Bundesanzeiger Nr. 64a, 31. März 1990
- [EU 96] Richtlinie 96/29/Euratom des Rates vom 13. Mai 1996 zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlungen. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 159, 29. Juni 1996
- [ICRP 99] The ICRP Database of Dose Coefficients: Workers and Members of the Public, Version 1.0. CD-ROM, distributed by Elsevier Science Ltd., 1999
- [StrlSchV 89,1] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV), Neufassung vom 30.6.1989. BGBl. I, 34, S. 1321-1375, 1989
- [StrlSchV 89,2] Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit:
Bekanntmachung der Dosisfaktoren, 5. September 1989, Bundesanzeiger Nr. 185a vom 30. September 1989
- [W 90] Wildermuth, H.; Haubelt, R.:
Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung kerntechnischer Anlagen auf der Grundlage aktueller Wetterdaten des Standortes. Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz. BMU-1991-323, 1990

Anhang 1

Tabelle der zulässigen Aktivitätskonzentrationen in Fortluft und Abwasser

Radionuklid		Zulässige Aktivitätskonzentrationen	
A=Aerosol (Luft) E=elementar (Luft) O=Organisch		in der Fortluft in Bq/m ³	im Abwasser in Bq/m ³
H-3	A	1 E+2	1 E+7
H-3	O		7 E+6
Be-7	A	6 E+2	5 E+6
Be-10	A	1	6 E+4
C-11	A	6 E+2	3 E+6
C-14	A	6	6 E+5
F-18	A	5 E+2	2 E+6
Na-22	A	1	4 E+4
Na-24	A	9 E+1	3 E+5
Mg-28	A	2 E+1	7 E+4
Al-26	A	5 E-1	1 E+4
Si-31	A	3 E+2	5 E+5
Si-32	A	3 E-1	1 E+5
P-32	A	1	3 E+4
P-33	A	2 E+1	3 E+5
S-35	A	2 E+1	7 E+5
S-35	O		1 E+5
Cl-36	A	1 E-1	1 E+4
Cl-38	A	5 E+2	6 E+5
Cl-39	A	6 E+2	9 E+5
K-42	A	2 E+2	2 E+5
K-43	A	2 E+2	4 E+5
K-44	A	1 E+3	9 E+5
K-45	A	2 E+3	1 E+6

Radionuklid		Zulässige Aktivitätskonzentrationen	
A=Aerosol (Luft) E=elementar (Luft) O=Organisch		in der Fortluft in Bq/m ³	im Abwasser in Bq/m ³
Ca-41	A	3	3 E+5
Ca-45	A	2	8 E+4
Ca-47	A	2 E+1	7 E+4
Sc-43	A	2 E+2	5 E+5
Sc-44	A	1 E+2	3 E+5
Sc-44m	A	2 E+1	4 E+4
Sa-46	A	5	8 E+4
Sc-47	A	4 E+1	1 E+5
Sc-48	A	3 E+1	7 E+4
Sc-49	A	7 E+2	9 E+5
Ti-44	A	3 E-1	2 E+4
Ti-45	A	3 E+2	6 E+5
V-47	A	8 E+2	1 E+6
V-48	A	1 E+1	6 E+4
V-49	A	8 E+2	2 E+6
Cr-48	A	1 E+2	6 E+5
Cr-49	A	8 E+2	1 E+6
Cr-51	A	8 E+2	3 E+6
Mn-51	A	6 E+2	8 E+5
Mn-52	A	2 E+1	7 E+4
Mn-52m	A	8 E+2	1 E+6
Mn-53	A	2 E+2	2 E+6
Mn-54	A	2 E+1	2 E+5
Mn-56	A	2 E+2	3 E+5

Radionuklid		Zulässige Aktivitätskonzentrationen	
		in der Fortluft in Bq/m ³	im Abwasser in Bq/m ³
A=Aerosol (Luft) E=elementar (Luft) O=Organisch			
Fe-52	A	4 E+1	7 E+4
Fe-55	A	2 E+1	1 E+5
Fe-59	A	8	2 E+4
Fe-60	A	1 E-1	1 E+3
Co-55	A	5 E+1	2 E+5
Co-56	A	5	4 E+4
Co-57	A	3 E+1	3 E+5
Co-58	A	2 E+1	1 E+5
Co-58m	A	2 E+3	4 E+6
Co-60	A	1	2 E+4
Co-60m	A	2 E+4	4 E+7
Co-61	A	6 E+2	1 E+6
Co-62m	A	1 E+3	1 E+6
Ni-56	A	3 E+1	2 E+5
Ni-57	A	5 E+1	1 E+5
Ni-59	A	8 E+1	1 E+6
Ni-63	A	3 E+1	6 E+5
Ni-65	A	3 E+2	4 E+5
Ni-66	A	2 E+1	3 E+4
Cu-60	A	7 E+2	1 E+6
Cu-61	A	4 E+2	1 E+6
Cu-64	A	3 E+2	2 E+6
Cu-67	A	5 E+1	4 E+5
Zn-62	A	5 E+1	2 E+5
Zn-63	A	7 E+2	1 E+6
Zn-65	A	3	3 E+4
Zn-69	A	1 E+3	3 E+6
Zn-69m	A	9 E+1	7 E+5
Zn-71m	A	2 E+2	6 E+5

Radionuklid		Zulässige Aktivitätskonzentrationen	
		in der Fortluft in Bq/m ³	im Abwasser in Bq/m ³
A=Aerosol (Luft) E=elementar (Luft) O=Organisch			
Zn-72	A	2 E+1	1 E+5
Ga-65	A	1 E+3	2 E+6
Ga-66	A	5 E+1	7 E+4
Ga-67	A	1 E+2	5 E+5
Ga-68	A	5 E+2	7 E+5
Ga-70	A	2 E+3	2 E+6
Ga-72	A	5 E+1	9 E+4
Ga-73	A	2 E+2	3 E+5
Ge-66	A	3 E+2	1 E+6
Ge-67	A	10 E+2	1 E+6
Ge-68	A	3	7 E+4
Ge-69	A	1 E+2	4 E+5
Ge-71	A	2 E+3	7 E+6
Ge-75	A	8 E+2	2 E+6
Ge-77	A	9 E+1	3 E+5
Ge-78	A	3 E+2	7 E+5
As-69	A	1 E+3	1 E+6
As-70	A	4 E+2	7 E+5
As-71	A	8 E+1	3 E+5
As-72	A	3 E+1	8 E+4
As-73	A	3 E+1	3 E+5
As-74	A	2 E+1	9 E+4
As-76	A	3 E+1	9 E+4
As-77	A	8 E+1	3 E+5
As-78	A	3 E+2	4 E+5
Se-70	A	3 E+2	9 E+5
Se-73	A	1 E+2	6 E+5
Se-73m	A	1 E+3	3 E+6
Se-75	A	2	4 E+4

Radionuklid		Zulässige Aktivitätskonzentrationen	
		in der Fortluft in Bq/m ³	im Abwasser in Bq/m ³
A=Aerosol (Luft) E=elementar (Luft) O=Organisch			
Se-79	A	4 E-2	5 E+3
Se-81	A	2 E+3	3 E+6
Se-81m	A	6 E+2	2 E+6
Se-83	A	8 E+2	2 E+6
Br-74	A	6 E+2	10 E+5
Br-74m	A	4 E+2	6 E+5
Br-75	A	5 E+2	1 E+6
Br-76	A	7 E+1	2 E+5
Br-77	A	3 E+2	1 E+6
Br-80	A	2 E+3	2 E+6
Br-80m	A	4 E+2	6 E+5
Br-82	A	5 E+1	1 E+5
Br-83	A	7 E+2	2 E+6
Br-84	A	7 E+2	9 E+5
Rb-79	A	1 E+3	2 E+6
Rb-81	A	6 E+2	2 E+6
Rb-81m	A	3 E+3	8 E+6
Rb-82m	A	2 E+2	1 E+6
Rb-83	A	2 E+1	8 E+4
Rb-84	A	2 E+1	4 E+4
Rb-86	A	1 E+1	3 E+4
Rb-87	A	8 E-1	6 E+4
Rb-88	A	1 E+3	8 E+5
Rb-89	A	2 E+3	2 E+6
Sr-80	A	2 E+2	2 E+5
Sr-81	A	7 E+2	1 E+6
Sr-82	A	3	1 E+4
Sr-83	A	8 E+1	3 E+5
Sr-85	A	4 E+1	1 E+5

Radionuklid		Zulässige Aktivitätskonzentrationen	
		in der Fortluft in Bq/m ³	im Abwasser in Bq/m ³
A=Aerosol (Luft) E=elementar (Luft) O=Organisch			
Sr-85m	A	6 E+3	2 E+7
Sr-87m	A	1 E+3	4 E+6
Sr-89	A	4	3 E+4
Sr-90	A	10 E-2	4 E+3
Sr-91	A	6 E+1	2 E+5
Sr-92	A	1 E+2	3 E+5
Y-86	A	5 E+1	1 E+5
Y- 86m	A	9 E+2	2 E+6
Y-87	A	7 E+1	2 E+5
Y-88	A	8	1 E+5
Y-90	A	2 E+1	3 E+4
Y-90m	A	3 E+2	5 E+5
Y-91	A	4	3 E+4
Y-91m	A	3 E+3	10 E+6
Y-92	A	1 E+2	2 E+5
Y-93	A	5 E+1	6 E+4
Y-94	A	8 E+2	9 E+5
Y-95	A	2 E+3	2 E+6
Zr-86	A	6 E+1	1 E+5
Zr-88	A	10 E-0	3 E+5
Zr-89	A	5 E+1	1 E+5
Zr-93	A	1	4 E+5
Zr-95	A	6	1 E+5
Zr-97	A	3 E+1	4 E+4
Nb-88	A	9 E+2	1 E+6
Nb-89 (66 m)	A	4 E+2	
Nb-89	A	2 E+2	3 E+5
Nb-90	A	4 E+1	8 E+4
Nb-93m	A	2 E+1	6 E+5

Radionuklid		Zulässige Aktivitätskonzentrationen	
		in der Fortluft in Bq/m ³	im Abwasser in Bq/m ³
A=Aerosol (Luft) E=elementar (Luft) O=Organisch			
Nb-94	A	8 E-1	6 E+4
Nb-95	A	2 E+1	2 E+5
Nb-95m	A	4 E+1	1 E+5
Nb-96	A	4 E+1	10 E+4
Nb-97	A	6 E+2	1 E+6
Nb-98m	A	4 E+2	7 E+5
Mo-90	A	8 E+1	5 E+5
Mo-93	A	2 E+1	1 E+5
Mo-93m	A	2 E+2	1 E+6
Mo-99	A	3 E+1	2 E+5
Mo-101	A	10 E+2	2 E+6
Tc-93	A	7 E+2	3 E+6
Tc-93m	A	1 E+3	4 E+6
Tc-94	A	2 E+2	7 E+5
Tc-94m	A	5 E+2	7 E+5
Tc-95	A	2 E+2	9 E+5
Tc-95m	A	3 E+1	2 E+5
Tc-96	A	4 E+1	1 E+5
Tc-96m	A	4 E+3	9 E+6
Tc-97m	A	8	1 E+5
Tc-97	A	2 E+1	9 E+5
Tc-98	A	8 E-1	4 E+4
Tc-99	A	3	9 E+4
Tc-99m	A	2 E+3	4 E+6
Tc-101	A	2 E+3	4 E+6
Tc-104	A	8 E+2	9 E+5
Ru-94	A	5 E+2	10 E+5
Ru-97	A	3 E+2	7 E+5
Ru-103	A	1 E+1	1 E+5

Radionuklid		Zulässige Aktivitätskonzentrationen	
		in der Fortluft in Bq/m ³	im Abwasser in Bq/m ³
A=Aerosol (Luft) E=elementar (Luft) O=Organisch			
Ru-105	A	2 E+2	3 E+5
Ru-106	A	6 E-1	1 E+4
Rh-99	A	4 E+1	2 E+5
Rh-99m	A	6 E+2	2 E+6
Rh-100	A	7 E+1	2 E+5
Rh-101	A	7	2 E+5
Rh-101m	A	1 E+2	5 E+5
Rh-102	A	2	5 E+4
Rh-102m	A	5	7 E+4
Rh-103m	A	1 E+4	2 E+7
Rh-105	A	9 E+1	2 E+5
Rh-106m	A	2 E+2	6 E+5
Rh-107	A	2 E+3	3 E+6
Pd-100	A	4 E+1	1 E+5
Pd-101	A	4 E+2	1 E+6
Pd-103	A	8 E+1	4 E+5
Pd-107	A	6 E+1	2 E+6
Pd-109	A	8 E+1	1 E+5
Ag-102	A	1 E+3	2 E+6
Ag-103	A	10 E+2	2 E+6
Ag-104	A	7 E+2	2 E+6
Ag-104m	A	9 E+2	2 E+6
Ag-105	A	1 E+1	2 E+5
Ag-106	A	2 E+3	2 E+6
Ag-106m	A	9	9 E+4
Ag-108m	A	4 E-1	4 E+4
Ag-110m	A	1	4 E+4
Ag-111	A	3	6 E+4
Ag-112	A	1 E+2	2 E+5

Radionuklid		Zulässige Aktivitätskonzentrationen	
		in der Fortluft in Bq/m ³	im Abwasser in Bq/m ³
A=Aerosol (Luft) E=elementar (Luft) O=Organisch			
Ag-115	A	9 E+2	1 E+6
Cd-104	A	7 E+2	2 E+6
Cd-107	A	4 E+2	1 E+6
Cd-109	A	4	4 E+4
Cd-113	A	10 E-2	9 E+3
Cd-113m	A	2 E-1	7 E+3
Cd-115	A	3 E+1	6 E+4
Cd-115m	A	5	2 E+4
Cd-117	A	2 E+2	3 E+5
Cd-117m	A	1 E+2	3 E+5
In-109	A	6 E+2	2 E+6
In-110	A	2 E+2	6 E+5
In-111	A	1 E+2	4 E+5
In-112	A	4 E+3	7 E+6
In-113m	A	1 E+3	3 E+6
In-114m	A	2	2 E+4
In-115m	A	5 E+2	9 E+5
In-116m	A	6 E+2	2 E+6
In-117	A	10 E+2	3 E+6
In-117m	A	4 E+2	6 E+5
In-119m	A	1 E+3	2 E+6
Sn-110	A	1 E+2	3 E+5
Sn-111	A	2 E+3	4 E+6
Sn-113	A	1 E+1	1 E+5
Sn-117m	A	1 E+1	1 E+5
Sn-119m	A	2 E+1	2 E+5
Sn-121	A	1 E+2	3 E+5
Sn-121m	A	4	2 E+5
Sn-123	A	3	4 E+4

Radionuklid		Zulässige Aktivitätskonzentrationen	
		in der Fortluft in Bq/m ³	im Abwasser in Bq/m ³
A=Aerosol (Luft) E=elementar (Luft) O=Organisch			
Sn-123m	A	1 E+3	2 E+6
Sn-125	A	1 E+1	3 E+4
Sn-126	A	1	2 E+4
Sn-127	A	2 E+2	4 E+5
Sn-128	A	3 E+2	6 E+5
Sb-115	A	2 E+3	4 E+6
Sb-116	A	2 E+3	3 E+6
Sb-116m	A	5 E+2	2 E+6
Sb-117	A	2 E+3	6 E+6
Sb-118m	A	2 E+2	7 E+5
Sb-119	A	5 E+2	1 E+6
Sb-120	A	3 E+1	1 E+5
Sb-122	A	3 E+1	5 E+4
Sb-124	A	4	4 E+4
Sb-124m	A	5 E+3	1 E+7
Sb-125	A	3	8 E+4
Sb-126	A	4 E-1	4 E+4
Sb-126m	A	1 E+3	2 E+6
Sb-127	A	2 E+1	5 E+4
Sb-128	A	6 E+1	1 E+5
Sb-129	A	1 E+2	2 E+5
Sb-130	A	5 E+2	10 E+5
Sb-131	A	6 E+2	8 E+5
Te-116	A	2 E+2	6 E+5
Te-121	A	7 E+1	3 E+5
Te-121m	A	4	3 E+4
Te-123	A	7 E-2	3 E+4
Te-123m	A	6	5 E+4
Te-125m	A	8	7 E+4

Radionuklid		Zulässige Aktivitätskonzentrationen	
		in der Fortluft in Bq/m ³	im Abwasser in Bq/m ³
A=Aerosol (Luft) E=elementar (Luft) O=Organisch			
Te-127	A	2 E+2	6 E+5
Te-127m	A	2	2 E+4
Te-129	A	7 E+2	1 E+6
Te-129m	A	4	2 E+4
Te-131	A	8 E+2	10 E+5
Te-131m	A	2 E+1	4 E+4
Te-132	A	9	2 E+4
Te-133	A	8 E+2	1 E+6
Te-133m	A	2 E+2	3 E+5
Te-134	A	4 E+2	8 E+5
I-120	E	5 E+1	2 E+5
I-120m	E	1 E+2	4 E+5
I-121	E	2 E+2	1 E+6
I-123	E	7 E+1	4 E+5
I-124	E	1	7 E+3
I-125	E	5 E-1	2 E+4
I-125	A	5 E-0	2 E+4
I-126	E	3 E-1	4 E+3
I-128	E	4 E+2	2 E+6
I-129	E	3 E-2	4 E+3
I-130	E	8	4 E+4
I-131	E	5 E-1	5 E+3
I-131	A	5 E-0	5 E+3
I-132	E	5 E+1	3 E+5
I-132m	E	5 E+1	4 E+5
I-133	E	3	2 E+4
I-134	E	2 E+2	8 E+5
I-135	E	1 E+1	9 E+4
Cs-125	A	1 E+3	2 E+6

Radionuklid		Zulässige Aktivitätskonzentrationen	
		in der Fortluft in Bq/m ³	im Abwasser in Bq/m ³
A=Aerosol (Luft) E=elementar (Luft) O=Organisch			
Cs-127	A	7 E+2	5 E+6
Cs-129	A	3 E+2	2 E+6
Cs-130	A	2 E+3	3 E+6
Cs-131	A	6 E+2	2 E+6
Cs-132	A	10 E+1	3 E+5
Cs-134	A	2	2 E+4
Cs-134m	A	6 E+2	4 E+6
Cs-135	A	4	2 E+5
Cs-135m	A	2 E+3	7 E+6
Cs-136	A	1 E+1	6 E+4
Cs-137	A	9 E-1	3 E+4
Cs-138	A	6 E+2	8 E+5
Ba-126	A	2 E+2	3 E+5
Ba-128	A	2 E+1	4 E+4
Ba-131	A	4 E+1	2 E+5
Ba-131m	A	4 E+3	2 E+7
Ba-133	A	4	4 E+4
Ba-133m	A	7 E+1	2 E+5
Ba-135m	A	8 E+1	3 E+5
Ba-139	A	4 E+2	6 E+5
Ba-140	A	6	3 E+4
Ba-141	A	8 E+2	1 E+6
Ba-142	A	1 E+3	3 E+6
La-131	A	1 E+3	3 E+6
La-132	A	1 E+2	2 E+5
La-135	A	2 E+3	3 E+6
La-137	A	4	8 E+5
La-138	A	2 E-1	1 E+4
La-140	A	3 E+1	4 E+4

Radionuklid		Zulässige Aktivitätskonzentrationen	
		in der Fortluft in Bq/m ³	im Abwasser in Bq/m ³
A=Aerosol (Luft) E=elementar (Luft) O=Organisch			
La-141	A	2 E+2	2 E+5
La-142	A	3 E+2	5 E+5
La-143	A	1 E+3	1 E+6
Ce-134	A	2 E+1	3 E+4
Ce-135	A	6 E+1	1 E+5
Ce-137	A	2 E+3	3 E+6
Ce-137m	A	7 E+1	1 E+5
Ce-139	A	2 E+1	3 E+5
Ce-141	A	9	1 E+5
Ce-143	A	4 E+1	7 E+4
Ce-144	A	6 E-1	1 E+4
Pr-136	A	2 E+3	2 E+6
Pr-137	A	1 E+3	2 E+6
Pr-138m	A	3 E+2	9 E+5
Pr-139	A	1 E+3	3 E+6
Pr-142	A	4 E+1	6 E+4
Pr-142m	A	3 E+3	4 E+6
Pr-143	A	1 E+1	6 E+4
Pr-144	A	1 E+3	1 E+6
Pr-145	A	1 E+2	2 E+5
Pr-147	A	1 E+3	2 E+6
Nd-136	A	5 E+2	9 E+5
Nd-138	A	9 E+1	1 E+5
Nd-139	A	2 E+3	4 E+6
Nd-139m	A	2 E+2	4 E+5
Nd-141	A	5 E+3	1 E+7
Nd-147	A	1 E+1	7 E+4
Nd-149	A	3 E+2	6 E+5
Nd-151	A	2 E+3	3 E+6

Radionuklid		Zulässige Aktivitätskonzentrationen	
		in der Fortluft in Bq/m ³	im Abwasser in Bq/m ³
A=Aerosol (Luft) E=elementar (Luft) O=Organisch			
Pm-141	A	2 E+3	2 E+6
Pm-143	A	2 E+1	5 E+5
Pm-144	A	4	1 E+5
Pm-145	A	1 E+1	6 E+5
Pm-146	A	2	9 E+4
Pm-147	A	7	3 E+5
Pm-148	A	1 E+1	3 E+4
Pm-148m	A	6	6 E+4
Pm-149	A	4 E+1	7 E+4
Pm-150	A	2 E+2	3 E+5
Pm-151	A	6 E+1	1 E+5
Sm-141	A	2 E+3	2 E+6
Sm-141m	A	8 E+2	1 E+6
Sm-142	A	3 E+2	4 E+5
Sm-145	A	2 E+1	4 E+5
Sm-146	A	3 E-3	6 E+2
Sm-151	A	9	6 E+5
Sm-153	A	5 E+1	1 E+5
Sm-155	A	2 E+3	3 E+6
Sm-156	A	1 E+2	3 E+5
Eu-145	A	5 E+1	2 E+5
Eu-146	A	4 E+1	1 E+5
Eu-147	A	3 E+1	2 E+5
Eu-148	A	1 E+1	1 E+5
Eu-149	A	1 E+2	9 E+5
Eu-150	A	7 E-1	3 E+4
Eu-152	A	9 E-1	5 E+4
Eu-152m	A	1 E+2	2 E+5
Eu-154	A	7 E-1	4 E+4

Radionuklid		Zulässige Aktivitätskonzentrationen	
		in der Fortluft in Bq/m ³	im Abwasser in Bq/m ³
A=Aerosol (Luft) E=elementar (Luft) O=Organisch			
Eu-155	A	5	2 E+5
Eu-156	A	10 E-0	4 E+4
Eu-157	A	8 E+1	1 E+5
Eu-158	A	5 E+2	8 E+5
Gd-145	A	1 E+3	2 E+6
Gd-146	A	5	9 E+4
Gd-147	A	7 E+1	2 E+5
Gd-148	A	1 E-3	5 E+2
Gd-149	A	4 E+1	2 E+5
Gd-151	A	3 E+1	4 E+5
Gd-153	A	1 E+1	3 E+5
Gd-159	A	1 E+2	2 E+5
Tb-147	A	3 E+2	6 E+5
Tb-149	A	7	4 E+5
Tb-150	A	2 E+2	4 E+5
Tb-151	A	1 E+2	3 E+5
Tb-153	A	1 E+2	4 E+5
Tb-154	A	8 E+1	2 E+5
Tb-155	A	2 E+2	5 E+5
Tb-156	A	3 E+1	10 E+4
Tb-156m	A	2 E+2	6 E+5
Tb-157	A	3 E+1	2 E+6
Tb-158	A	8 E-1	4 E+4
Tb-160	A	5	6 E+4
Tb-161	A	3 E+1	1 E+5
Dy-155	A	4 E+2	9 E+5
Dy-157	A	8 E+2	2 E+6
Dy-159	A	9 E+1	9 E+5
Dy-165	A	5 E+2	7 E+5

Radionuklid		Zulässige Aktivitätskonzentrationen	
		in der Fortluft in Bq/m ³	im Abwasser in Bq/m ³
A=Aerosol (Luft) E=elementar (Luft) O=Organisch			
Dy-166	A	2 E+1	5 E+4
Ho-155	A	1 E+3	2 E+6
Ho-157	A	6 E+3	2 E+7
Ho-159	A	5 E+3	1 E+7
Ho-161	A	4 E+3	6 E+6
Ho-162	A	1 E+4	3 E+7
Ho-162m	A	1 E+3	4 E+6
Ho-164	A	4 E+3	7 E+6
Ho-164m	A	3 E+3	4 E+6
Ho-166	A	4 E+1	6 E+4
Ho-166m	A	3 E-1	2 E+4
Ho-167	A	4 E+2	1 E+6
Er-161	A	5 E+2	1 E+6
Er-165	A	3 E+3	5 E+6
Er-169	A	3 E+1	2 E+5
Er-171	A	1 E+2	2 E+5
Er-172	A	3 E+1	9 E+4
Tm-162	A	2 E+3	3 E+6
Tm-166	A	2 E+2	4 E+5
Tm-167	A	3 E+1	2 E+5
Tm-170	A	5	6 E+4
Tm-171	A	3 E+1	6 E+5
Tm-172	A	3 E+1	5 E+4
Tm-173	A	2 E+2	3 E+5
Tm-175	A	1 E+3	3 E+6
Yb-162	A	2 E+3	4 E+6
Yb-166	A	4 E+1	1 E+5
Yb-167	A	5 E+3	1 E+7
Yb-169	A	1 E+1	1 E+5

Radionuklid		Zulässige Aktivitätskonzentrationen	
		in der Fortluft in Bq/m ³	im Abwasser in Bq/m ³
A=Aerosol (Luft) E=elementar (Luft) O=Organisch			
Yb-175	A	4 E+1	2 E+5
Yb-177	A	4 E+2	9 E+5
Yb-178	A	4 E+2	6 E+5
Lu-169	A	8 E+1	3 E+5
Lu-170	A	4 E+1	1 E+5
Lu-171	A	4 E+1	2 E+5
Lu-172	A	2 E+1	9 E+4
Lu-173	A	1 E+1	3 E+5
Lu-174	A	8	3 E+5
Lu-174m	A	8	1 E+5
Lu-176m	A	3 E+2	4 E+5
Lu-177	A	3 E+1	1 E+5
Lu-177m	A	2	5 E+4
Lu-178	A	1 E+3	2 E+6
Lu-178m	A	8 E+2	2 E+6
Lu-179	A	2 E+2	4 E+5
Hf-170	A	9 E+1	2 E+5
Hf-172	A	1	5 E+4
Hf-173	A	2 E+2	5 E+5
Hf-175	A	3 E+1	2 E+5
Hf-177m	A	3 E+2	1 E+6
Hf-178m	A	1 E-1	1 E+4
Hf-179m	A	9	7 E+4
Hf-180m	A	2 E+2	6 E+5
Hf-181	A	7	7 E+4
Hf-182	A	1 E-1	2 E+4
Hf-182m	A	7 E+2	2 E+6
Hf-183	A	5 E+2	1 E+6
Hf-184	A	9 E+1	2 E+5

Radionuklid		Zulässige Aktivitätskonzentrationen	
		in der Fortluft in Bq/m ³	im Abwasser in Bq/m ³
A=Aerosol (Luft) E=elementar (Luft) O=Organisch			
Ta-172	A	8 E+2	2 E+6
Ta-173	A	2 E+2	4 E+5
Ta-174	A	7 E+2	1 E+6
Ta-175	A	2 E+2	6 E+5
Ta-176	A	1 E+2	4 E+5
Ta-177	A	3 E+2	9 E+5
Ta-178	A	4 E+2	1 E+6
Ta-179	A	6 E+1	1 E+6
Ta-180m	A	7 E+2	2 E+6
Ta-182	A	3	6 E+4
Ta-182m	A	1 E+3	6 E+6
Ta-183	A	2 E+1	6 E+4
Ta-184	A	7 E+1	2 E+6
Ta-185	A	6 E+2	1 E+6
Ta-186	A	1 E+3	2 E+6
W-176	A	6 E+2	1 E+6
W-177	A	10 E+2	2 E+6
W-178	A	3 E+2	5 E+5
W-179	A	2 E+4	3 E+7
W-181	A	4 E+2	1 E+6
W-185	A	6 E+1	2 E+5
W-187	A	1 E+2	2 E+5
W-188	A	3 E+1	4 E+4
Re-177	A	2 E+3	4 E+6
Re-178	A	2 E+3	3 E+6
Re-181	A	1 E+2	2 E+5
Re-182	A	2 E+1	6 E+4
Re-184	A	2 E+1	10 E+4
Re-184m	A	5	5 E+4

Radionuklid		Zulässige Aktivitätskonzentrationen	
		in der Fortluft in Bq/m ³	im Abwasser in Bq/m ³
A=Aerosol (Luft) E=elementar (Luft) O=Organisch			
Re-186	A	3 E+1	5 E+4
Re-186m	A	1	3 E+4
Re-187	A	7 E+2	1 E+7
Re-188	A	4 E+1	5 E+4
Re-188m	A	2 E+3	2 E+6
Re-189	A	6 E+1	9 E+4
Os-180	A	2 E+3	6 E+6
Os-181	A	4 E+2	1 E+6
Os-182	A	8 E+1	2 E+5
Os-185	A	2 E+1	2 E+5
Os-189m	A	4 E+3	4 E+6
Os-191	A	2 E+1	1 E+5
Os-191m	A	2 E+2	8 E+5
Os-193	A	6 E+1	10 E+4
Os-194	A	4 E-1	3 E+4
Ir-182	A	1 E+3	2 E+6
Ir-184	A	2 E+2	6 E+5
Ir-185	A	2 E+2	4 E+5
Ir-186	A	9 E+1	2 E+5
Ir-187	A	4 E+2	8 E+5
Ir-188	A	7 E+1	2 E+5
Ir-189	A	6 E+1	4 E+5
Ir-190	A	1 E+1	9 E+4
Ir-190m	A	3 E+2	9 E+5
Ir-192	A	5	7 E+4
Ir-192m	A	9 E-1	7 E+4
Ir-193m	A	3 E+1	3 E+5
Ir-194	A	4 E+1	6 E+4
Ir-194m	A	3	5 E+4

Radionuklid		Zulässige Aktivitätskonzentrationen	
		in der Fortluft in Bq/m ³	im Abwasser in Bq/m ³
A=Aerosol (Luft) E=elementar (Luft) O=Organisch			
Ir-195	A	4 E+2	7 E+5
Ir-195m	A	2 E+2	4 E+5
Pt-186	A	7 E+2	1 E+6
Pt-188	A	6 E+1	1 E+5
Pt-189	A	5 E+2	8 E+5
Pt-191	A	2 E+2	3 E+5
Pt-193	A	2 E+1	2 E+6
Pt-193m	A	1 E+2	2 E+5
Pt-195m	A	9 E+1	1 E+5
Pt-197	A	2 E+2	2 E+5
Pt-197m	A	9 E+2	9 E+5
Pt-199	A	2 E+3	2 E+6
Pt-200	A	9 E+1	6 E+4
Au-193	A	3 E+2	7 E+5
Au-194	A	1 E+2	3 E+5
Au-195	A	2 E+1	4 E+5
Au-198	A	4 E+1	9 E+4
Au-198m	A	2 E+1	7 E+4
Au-199	A	4 E+1	2 E+5
Au-200	A	8 E+2	1 E+6
Au-200m	A	4 E+1	10 E+4
Au-201	A	2 E+3	3 E+6
Hg-193	A	4 E+2	3 E+6
Hg-193	O	9 E+2	1 E+6
Hg-193m	A	1 E+2	3 E+5
Hg-193m	O	2 E+2	8 E+5
Hg-194	A	1	1 E+5
Hg-194	O	4 E-1	7 E+3
Hg-195	A	4 E+2	9 E+5

Radionuklid		Zulässige Aktivitätskonzentrationen	
		in der Fortluft in Bq/m ³	im Abwasser in Bq/m ³
A=Aerosol (Luft) E=elementar (Luft) O=Organisch			
Hg-195	O	9 E+2	3 E+6
Hg-195m	A	6 E+1	2 E+5
Hg-195m	O	2 E+2	4 E+5
Hg-197	A	1 E+2	4 E+5
Hg-197	O	4 E+2	9 E+5
Hg-197m	A	6 E+1	2 E+5
Hg-197m	O	2 E+2	6 E+5
Hg-199m	A	9 E+2	2 E+6
Hg-199m	O	2 E+3	3 E+6
Hg-203	A	1 E+1	2 E+5
Hg-203	O	1 E+1	6 E+4
Tl-194	A	5 E+3	1 E+7
Tl-194m	A	1 E+3	2 E+6
Tl-195	A	2 E+3	4 E+6
Tl-197	A	2 E+3	4 E+6
Tl-198	A	4 E+2	2 E+6
Tl-198m	A	6 E+2	2 E+6
Tl-199	A	1 E+3	4 E+6
Tl-200	A	2 E+2	7 E+5
Tl-201	A	5 E+2	1 E+6
Tl-202	A	1 E+2	3 E+5
Tl-204	A	10 E-0	7 E+4
Pb-195m	A	1 E+3	3 E+6
Pb-198	A	4 E+2	2 E+6
Pb-199	A	7 E+2	3 E+6
Pb-200	A	9 E+1	4 E+5
Pb-201	A	2 E+2	9 E+5
Pb-202	A	2	3 E+4
Pb-202m	A	3 E+2	1 E+6

Radionuklid		Zulässige Aktivitätskonzentrationen	
		in der Fortluft in Bq/m ³	im Abwasser in Bq/m ³
A=Aerosol (Luft) E=elementar (Luft) O=Organisch			
Pb-203	A	1 E+2	6 E+5
Pb-205	A	4 E+1	4 E+5
Pb-209	A	5 E+2	2 E+6
Pb-210	A	7 E-3	1 E+2
Pb-211	A	3	3 E+5
Pb-212	A	2 E-1	6 E+3
Pb-214	A	2	3 E+5
Bi-200	A	8 E+2	2 E+6
Bi-201	A	4 E+2	9 E+5
Bi-202	A	5 E+2	1 E+6
Bi-203	A	10 E+1	3 E+5
Bi-205	A	3 E+1	1 E+5
Bi-206	A	2 E+1	6 E+4
Bi-207	A	1	9 E+4
Bi-210	A	4 E-1	6 E+4
Bi-210m	A	1 E-2	4 E+3
Bi-212	A	1	3 E+5
Bi-213	A	1	4 E+5
Bi-214	A	2	6 E+5
Po-203	A	7 E+2	3 E+6
Po-205	A	4 E+2	3 E+6
Po-207	A	3 E+2	2 E+6
Po-210	A	8 E-3	3 E+1
At-207	A	1 E+1	4 E+5
At-211	A	3 E-1	7 E+3
Fr-222	A	3	1 E+5
Fr-223	A	2 E+1	3 E+4
Ra-223	A	4 E-3	2 E+2
Ra-224	A	10 E-3	3 E+2

Radionuklid		Zulässige Aktivitätskonzentrationen	
		in der Fortluft in Bq/m ³	im Abwasser in Bq/m ³
A=Aerosol (Luft) E=elementar (Luft) O=Organisch			
Ra-225	A	4 E-3	1 E+2
Ra-226	A	4 E-3	2 E+2
Ra-227	A	8 E+1	8 E+5
Ra-228	A	2 E-3	3 E+1
Ac-224	A	3 E-1	9 E+4
Ac-225	A	4 E-3	2 E+3
Ac-226	A	3 E-2	6 E+3
Ac-227	A	7 E-5	3 E+1
Ac-228	A	9 E-1	1 E+5
Th-226	A	5 E-1	2 E+5
Th-227	A	3 E-3	3 E+1
Th-228	A	9 E-4	2 E+2
Th-229	A	2 E-4	8 E+1
Th-230	A	4 E-4	2 E+2
Th-231	A	9 E+1	2 E+5
Th-232	A	3 E-4	2 E+2
Th-234	A	5	2 E+4
Pa-227	A	5 E-1	2 E+5
Pa-228	A	5 E-1	7 E+4
Pa-230	A	4 E-2	3 E+4
Pa-231	A	3 E-4	7 E+1
Pa-232	A	4	1 E+5
Pa-233	A	8	9 E+4
Pa-234	A	8 E+1	2 E+5
U-230	A	2 E-3	1 E+3
U-231	A	8 E+1	3 E+5
U-232	A	1 E-3	4 E+2
U-233	A	4 E-3	2 E+3
U-234	A	4 E-3	2 E+3

Radionuklid		Zulässige Aktivitätskonzentrationen	
		in der Fortluft in Bq/m ³	im Abwasser in Bq/m ³
A=Aerosol (Luft) E=elementar (Luft) O=Organisch			
U-235	A	4 E-3	3 E+3
U-236	A	4 E-3	3 E+3
U-237	A	2 E+1	1 E+5
U-238	A	5 E-3	3 E+3
U-239	A	1 E+3	3 E+6
U-240	A	5 E+1	7 E+4
Np-232	A	3 E+2	1 E+7
Np-233	A	1 E+4	4 E+7
Np-234	A	5 E+1	1 E+5
Np-235	A	5 E+1	1 E+6
Np-236	A	5 E-3	5 E+3
Np-237	A	7 E-4	4 E+2
Np-238	A	1 E+1	9 E+4
Np-239	A	3 E+1	10 E+4
Np-240	A	3 E+2	1 E+6
Pu-234	A	1	4 E+5
Pu-235	A	2 E+4	4 E+7
Pu-236	A	9 E-4	4 E+2
Pu-237	A	9 E+1	8 E+5
Pu-238	A	3 E-4	2 E+2
Pu-239	A	3 E-4	2 E+2
Pu-240	A	3 E-4	2 E+2
Pu-241	A	2 E-2	2 E+4
Pu-242	A	3 E-4	2 E+2
Pu-243	A	4 E+2	9 E+5
Pu-244	A	3 E-4	2 E+2
Pu-245	A	6 E+1	1 E+5
Pu-246	A	4	3 E+4
Am-237	A	1 E+3	5 E+6

Radionuklid		Zulässige Aktivitätskonzentrationen	
		in der Fortluft in Bq/m ³	im Abwasser in Bq/m ³
A=Aerosol (Luft) E=elementar (Luft) O=Organisch			
Am-238	A	2 E+2	4 E+6
Am-239	A	1 E+2	3 E+5
Am-240	A	7 E+1	2 E+5
Am-241	A	4 E-4	2 E+2
Am-242	A	2	2 E+5
Am-242m	A	4 E-4	3 E+2
Am-243	A	4 E-4	3 E+2
Am-244	A	1 E+1	2 E+5
Am-244m	A	2 E+2	2 E+6
Am-245	A	6 E+2	1 E+6
Am-246	A	4 E+2	1 E+6
Am-246m	A	1 E+3	2 E+6
Cm-238	A	7	1 E+6
Cm-240	A	10 E-3	4 E+3
Cm-241	A	9 E-1	8 E+4
Cm-242	A	6 E-3	2 E+3
Cm-243	A	5 E-4	3 E+2
Cm-244	A	6 E-4	3 E+2
Cm-245	A	4 E-4	2 E+2
Cm-246	A	4 E-4	2 E+2
Cm-247	A	4 E-4	3 E+2
Cm-248	A	1 E-4	6 E+1
Cm-249	A	9 E+2	2 E+6
Cm-250	A	2 E-5	1 E+1
Bk-245	A	2 E+1	1 E+5

Radionuklid		Zulässige Aktivitätskonzentrationen	
		in der Fortluft in Bq/m ³	im Abwasser in Bq/m ³
A=Aerosol (Luft) E=elementar (Luft) O=Organisch			
Bk-246	A	9 E+1	2 E+5
Bk-247	A	5 E-4	10 E+1
Bk-249	A	2 E-1	4 E+4
Bk-250	A	4 E+1	6 E+5
Cf-244	A	3	9 E+5
Cf-246	A	7 E-2	2 E+4
Cf-248	A	4 E-3	6 E+2
Cf-249	A	5 E-4	10 E+1
Cf-250	A	1 E-3	2 E+2
Cf-251	A	5 E-4	10 E+1
Cf-252	A	2 E-3	2 E+2
Cf-253	A	2 E-2	9 E+3
Cf-254	A	8 E-4	8 E+1
Es-250	A	6 E+1	4 E+6
Es-251	A	2 E+1	5 E+5
Es-253	A	1 E-2	5 E+3
Es-254	A	4 E-3	6 E+2
Es-254m	A	7 E-2	2 E+4
Fm-252	A	1 E-1	2 E+4
Fm-253	A	8 E-2	4 E+4
Fm-254	A	5 E-1	2 E+5
Fm-255	A	1 E-1	3 E+4
Fm-257	A	5 E-3	9 E+2
Md-257	A	1	3 E+5
Md-258	A	6 E-3	1 E+3

Anhang 2

Gegenüberstellung der zulässigen Konzentrationswerte für Edelgase auf Grund von Gamma- und Betasubmersion

(Fortluftvolumenstrom: $10^4 - 10^5 \text{ m}^3/\text{h}$, die restriktiven Konzentrationswerte sind fett markiert.)

	Konzentration von Edelgasen, die über Gammasubmersion zu einer effektiven Jahresdosis von 0,3 mSv führt	Konzentration von Edelgasen, die über Betasubmersion zu einer jährlichen Hautdosis von 1,8 mSv führt
Radionuklid	Konzentration in Bq/m ³	Konzentration in Bq/m ³
Ar-37	2 E+08	¹⁾
Ar-39	7 E+04	6 E+03
Ar-41	2 E+02	2 E+03
Kr-74	2 E+02	1 E+03
Kr-76	5 E+02	5 E+05
Kr-77	2 E+02	1 E+03
Kr-79	9 E+02	6 E+04
Kr-81	4 E+04	3 E+07
Kr-81m	²⁾	5 E+06
Kr-83m	4 E+06	¹⁾
Kr-85	4 E+04	4 E+03
Kr-85m	1 E+03	4 E+03
Kr-87	2 E+02	7 E+02
Kr-88	1 E+02	2 E+03
Xe-120	6 E+02	3 E+04
Xe-121	1 E+02	2 E+03
Xe-122	4 E+03	3E+03
Xe-123	3 E+02	6 E+03
Xe-125	9 E+02	8 E+04
Xe-127	9 E+02	7 E+04
Xe-129m	1 E+04	1 E+04
Xe-131m	3 E+04	2 E+04
Xe-133m	7 E+03	7 E+03
Xe-133	7 E+03	2 E+04
Xe-135m	5 E+02	1 E+04
Xe-135	9 E+02	3 E+03
Xe-138	2 E+02	1 E+03

¹⁾ Es handelt sich um reine Isomerenübergänge

²⁾ Kein Dosisleistungskoeffizient, da Halbwertszeit mit $t_{1/2} = 13 \text{ s}$ zu klein ist.

Anhang 3

Radionuklide, deren zulässige Aktivitätskonzentrationen in der Fortluft und im Abwasser nach Berechnung der effektiven Dosen und der Organdosen reduziert wurden

Tabelle der Radionuklide, deren zulässige Aktivitätskonzentration in der Fortluft aufgrund der Berechnung der Effektivdosis (wesentlicher Expositionspfad: Direktstrahlung) oder der Organdosis (wesentlicher Expositionspfad: Ingestion) nach der AVV reduziert wurden (falls nicht anders angegeben, handelt es sich um Aerosole)

Gruppe der Radionuklide, bei denen die Bodenstrahlung dosisbestimmend ist:

Radionuklid	Organ mit der größten Grenzwert-überschreitung	Vielfaches des organspezifischen Dosisgrenzwerts	Altersgruppe in Jahren (a)	Anteil der Grenzwertüberschreitung durch Bodenstrahlung Faktor	Resultierender Reduktionsfaktor
Bi-207	Effektive Dosis	0,32	<1	4,7	0,20
Al-26	Effektive Dosis	0,09	<1	3,7	0,26
Hg-194	Effektive Dosis	0,32	<1	2,3	0,39

Gruppe der Radionuklide, bei denen der Ingestionspfad dosisbestimmend ist:

Radionuklid	Organ mit der größten Grenzwert-überschreitung	Vielfaches des organspezifischen Dosisgrenzwerts	Altersgruppe in Jahren (a)	Anteil der Grenzwertüberschreitung durch Bodenstrahlung Faktor	Resultierender Reduktionsfaktor
Se-79	Hoden	147	<1		0,0068
Cl-36	Effektive Dosis	45	<1		0,022
Ca-41	Rotes Knochenmark	43	<1		0,023
Pt-193	Unterer Dickdarm	40	<1		0,025
I-129 (elementar)	Schilddrüse	33	7-12		0,030
Na-22	Rotes Knochenmark	22	<1	2,0	0,043
I-125 (elementar)	Schilddrüse	14	2-7		0,071
Se-75	Nieren	13	<1		0,077
Hg-194 (organisch)	Nieren	10	>17	0,14	0,10
I-129	Schilddrüse	9,2	7-12		0,11
P-32	Rotes Knochenmark	8,9	<1		0,11

Radionuklid	Organ mit der größten Grenzwert- überschreitung	Vielfaches des organspezifischen Dosisgrenzwerts	Alters- gruppe in Jahren (a)	Anteil der Grenzwertüber- schreitung durch Bo- denstrahlung Faktor	Resul- tierender Reduk- tionsfaktor
Ag-111	Unterer Dickdarm	6,1	<1		0,16
Ca-45	Rotes Knochenmark	5,7	<1		0,18
I-126 (elementar)	Schilddrüse	5,5	1-2		0,18
Tl-204	Unterer Dickdarm	5,0	1-2		0,20
Mo-93	Rotes Knochenmark	5,0	2-7		0,20
I-131 (elementar)	Schilddrüse	4,3	<1		0,23
Hg-203 (organisch)	Nieren	4,2	2-7		0,24
Zn-65	Rotes Knochenmark	4,1	<1		0,24
W-188	Unterer Dickdarm	4,0	2-7		0,25
Ag-105	Unterer Dickdarm	3,9	<1		0,26
W-185	Unterer Dickdarm	3,8	2-7		0,26
I-125	Schilddrüse	3,5	2-7		0,29
Sn-126	Unterer Dickdarm	3,3	2-7	0,35	0,30
W-181	Unterer Dickdarm	3,2	2-7		0,31
Ag-108m	Leber	2,8	<1		0,36
Ag-106m	Ovarien	2,7	<1		0,37
Mn-53	Unterer Dickdarm	2,7	<1		0,37
I-124 (elementar)	Schilddrüse	2,7	<1		0,37
C-11 (CO ₂)	Magen	2,3	<1		0,43
Sr-90	Rotes Knochenmark	2,3	<1		0,43
Ag-110m	Unterer Dickdarm	2,2	<1		0,40
Rb-83	Rotes Knochenmark	1,9	<1		0,53
Cd-113m	Nieren	1,9	<1		0,53
Te-121m	Rotes Knochenmark	1,7	2-7		0,59
Fe-55	Rotes Knochenmark	1,6	<1		0,63
Sn-121m	Unterer Dickdarm	1,6	2-7		0,63
Te-127m	Rotes Knochenmark	1,6	2-7		0,63
Rb-86	Rotes Knochenmark	1,5	<1		0,67
Rb-84	Rotes Knochenmark	1,4	<1		0,71

Radionuklid	Organ mit der größten Grenzwert- überschreitung	Vielfaches des organspezifischen Dosisgrenzwerts	Alters- gruppe in Jahren (a)	Anteil der Grenzwertüber- schreitung durch Bo- denstrahlung Faktor	Resul- tierender Reduk- tionsfaktor
P-33	Rotes Knochenmark	1,4	<1		0,71
I-126	Schilddrüse	1,4	1-2		0,71
Pt-193m	Unterer Dickdarm	1,3	<1		0,77
Te-123m	Rotes Knochenmark	1,3	2-7		0,77
Pd-103	Unterer Dickdarm	1,2	<1		0,83
Pt-195m	Unterer Dickdarm	1,2	<1		0,83
Sn-123	Unterer Dickdarm	1,2	2-7		0,83
I-131	Schilddrüse	1,1	<1		0,91
Ra-228	Knochenoberfläche	1,1	<1		0,91
Pb-205	Rotes Knochenmark	1,1	<1		0,91

Tabelle der Radionuklide, deren zulässige Aktivitätskonzentrationen im Abwasser nach Be-
rechnung der effektiven Dosen und der Organdosen durch Ingestion reduziert wurden:

Radionuklid	Organ mit der größten Grenzwert- überschreitung	Anteil der Grenz- wertüberschreitun- g durch einzelnes Organ Faktor	Alters- gruppe in Jahren (a)	Anteil der Grenz- wertüberschreitung durch Berücksichti- gung aller Expo- sitionspfade Faktor	Resul- tierender Reduktions- faktor
Cl-36	Effektive Dosis		<1	7,1	0,14
Ir-192m	Effektive Dosis		<1	4,5	0,22
La-138	Effektive Dosis		<1	2,3	0,43
Eu-150(2)	Effektive Dosis		<1	2,3	0,43
Se-79	Hoden	2,3	<1		0,43
Se-79	Effektive Dosis		<1	2	0,51
Al-26	Effektive Dosis		<1	2	0,51
Te-123	Knochenoberfläche	1,6	<1		0,64
Ho-166m	Effektive Dosis		<1	1,5	0,66
Tb-158	Effektive Dosis		<1	1,3	0,77
Eu-152	Effektive Dosis		<1	1,1	0,92

Anhang 4

Zulässige Aktivitätskonzentrationen in der Fortluft für Radionuklidgemische unbekannter Zusammensetzung

Radionuklidgemisch	Zulässige Aktivitätskonzentrationen in Fortluft in Bq/m ³
Beliebiges Gemisch	1 E –5
Beliebiges Gemisch, wenn Ac-227 und Cm-250 unberücksichtigt bleiben können	1 E –4
Beliebiges Gemisch, wenn Ac-227, Th-229, Th-230, Th-232, Pa-231, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-242, Pu-244, Am-241, Am-242m, Am-243, Cm-245, Cm-246, Cm-247, Cm-248, Cm-250 unberücksichtigt bleiben können	5 E –4
Beliebiges Gemisch, wenn Ac-227, Th-228, Th-229, Th-230, Th-232, Pa-231, U-232, Np-237, Pu-236, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-242, Pu-244, Am-241, Am-242m, Am-243, Cm-243, Cm-244, Cm-245, Cm-246, Cm-247, Cm-248, Cm-250, Bk-247, Cf-249, Cf-251, Cf-254 unberücksichtigt bleiben können	1 E –3

Anhang 5

Maximal zulässige Aktivitätskonzentrationen im Abwasser für Radionuklidgemische unbekannter Zusammensetzung

Radionuklidgemisch	Zulässige Aktivitätskonzentrationen im Abwasser in Bq/m ³
Beliebiges Gemisch	1 E + 1
Beliebiges Gemisch, wenn Po-210, Ra-228, Ac-227 und Cm-250 unberücksichtigt bleiben können	5 E + 1
Beliebiges Gemisch, wenn Po-210, Ra-228, Ac-227, Th-229, Pa-231 Bk-247, Cm-248, Cm-250, Cf-249, Cf-251 und Cf-254 unberücksichtigt bleiben können	1 E + 2
Beliebiges Gemisch, wenn Sm-146, Gd-148, Pb-210, Po-210, Ra-223, Ra-224, Ra-225, Ra-226, Ra-228, Ac-227, Th-228, Th-229, Th-230, Th-232, Pa-231, U-232, Np-237, Pu-236, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-242, Pu-244, Am-241, Am-242m, Am-243, Cm-243, Cm-244, Cm-245, Cm-246, Cm-247, Cm-248, Cm-250, Bk-247, Cf-248, Cf-249, Cf-250, Cf-251, Cf-252, Cf-254, Es-254 und Fm-257 unberücksichtigt bleiben können	1 E + 3