

**11.12.19**

U - AV - In - Wi

## **Allgemeine Verwaltungsvorschrift der Bundesregierung**

---

### **Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ermittlung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch genehmigungs- oder anzeigebedürftige Tätigkeiten (AVV Tätigkeiten)**

#### **A. Problem und Ziel**

Nach § 100 und § 101 der Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2036) (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) ist für in diesen Paragraphen festgelegte Tätigkeiten die im Genehmigungs- oder Anzeigeverfahren zu erwartende bzw. die im Kalenderjahr erhaltene Exposition für Einzelpersonen der Bevölkerung zu ermitteln.

Um die Regelungen der §§ 100 und 101 StrlSchV vollziehen zu können, sind Vorschriften für die Berechnung der Exposition und Vorgaben über zugrunde zu legende Annahmen erforderlich. Dementsprechend sehen § 100 Absatz 3 und § 101 Absatz 1 StrlSchV vor, dass die Bundesregierung entsprechende Allgemeine Verwaltungsvorschriften erlässt. Darüber hinaus macht die Übergangsvorschrift § 193 Absatz 1 StrlSchV den Beginn der Anwendung von § 99 Absatz 1 und § 100 Absatz 1 und 4 StrlSchV vom Inkrafttreten dieser Allgemeinen Verwaltungsvorschriften abhängig.

#### **B. Lösung**

Die vorliegende Allgemeine Verwaltungsvorschrift stellt Vorschriften für die Berechnung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung bereit und macht Vorgaben über zugrunde zu legende Annahmen. Hierdurch ist ein bundeseinheitlicher Vollzug der §§ 100 und 101 StrlSchV sichergestellt und die Übergangsvorschrift § 193 Absatz 1 wird erfüllt, so dass zum dort angegebenen Zeitpunkt § 99 Absatz 1 und § 100 Absatz 1 und 4 StrlSchV in Kraft treten.

#### **C. Alternativen**

Keine.

## **D. Haushaltsausgaben ohne Erfüllungsaufwand**

Für Bund, Länder und Kommunen fallen keine Haushaltsausgaben ohne Erfüllungsaufwand an.

Die Mehrbedarfe aus dem Erfüllungsaufwand sollen im Bereich des Bundes finanziell und stellenmäßig in den jeweiligen Einzelplänen ausgeglichen werden.

## **E. Erfüllungsaufwand**

### **E.1 Erfüllungsaufwand für Bürgerinnen und Bürger**

Keiner.

### **E.2 Erfüllungsaufwand für die Wirtschaft**

Es entsteht ein jährlicher Erfüllungsaufwand von 988.152 Euro. Einmaliger Erfüllungsaufwand entsteht in Höhe von 4.000.000 Euro. Zwei Informationspflichten mit jährlichen Bürokratiekosten von 781.176 Euro wurden neu eingeführt (im Erfüllungsaufwand enthalten).

Der Erfüllungsaufwand dient der 1:1-Umsetzung der Richtlinie 2013/59/Euratom und fällt daher unter die Ausnahmeregelung für den „one in one out“-Grundsatz.

### **E.3 Erfüllungsaufwand für die Verwaltung**

Auf Länderebene entsteht ein jährlicher Erfüllungsaufwand von 2.494.836 Euro und ein einmaliger Erfüllungsaufwand von 3.392.963 Euro.

Auf Bundesebene entsteht ein jährlicher Erfüllungsaufwand von 115.104 Euro und ein einmaliger Erfüllungsaufwand von 805.208 Euro.

## **F. Weitere Kosten**

Die Wirtschaft wird nicht mit sonstigen Kosten belastet. Auswirkungen auf Einzelpreise oder das Preisniveau, insbesondere auf das Verbraucherpreisniveau, sind nicht zu erwarten.

**11.12.19**

U - AV - In - Wi

**Allgemeine  
Verwaltungsvorschrift  
der Bundesregierung**

---

**Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ermittlung der Exposition  
von Einzelpersonen der Bevölkerung durch genehmigungs- oder  
anzeigebedürftige Tätigkeiten (AVV Tätigkeiten)**

Bundesrepublik Deutschland  
Die Bundeskanzlerin

Berlin, 11. Dezember 2019

An den  
Präsidenten des Bundesrates  
Herrn Ministerpräsidenten  
Dr. Dietmar Woidke

Sehr geehrter Herr Präsident,

hiermit übersende ich die von der Bundesregierung beschlossene

Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ermittlung der Exposition von  
Einzelpersonen der Bevölkerung durch genehmigungs- oder anzeige-  
bedürftige Tätigkeiten (AVV Tätigkeiten)

mit Begründung und Vorblatt.

Ich bitte, die Zustimmung des Bundesrates aufgrund des Artikels 85 Absatz 2 des  
Grundgesetzes herbeizuführen.

Federführend ist das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit.

Die Stellungnahme des Nationalen Normenkontrollrates gemäß § 6 Absatz 1 NKRG ist als Anlage beigefügt.

Mit freundlichen Grüßen

Dr. Angela Merkel

# Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ermittlung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch genehmigungs- oder anzeigebedürftige Tätigkeiten (AVV Tätigkeiten)

Vom ...

Auf Grund des Artikels 85 Absatz 2 Satz 1 des Grundgesetzes in Verbindung mit § 100 Absatz 3 und § 101 Absatz 1 Satz 3 der Strahlenschutzverordnung vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2036) erlässt die Bundesregierung mit Zustimmung des Bundesrates folgende Allgemeine Verwaltungsvorschrift:

## Inhaltsverzeichnis

1	Anwendungsbereich .....	7
2	Begriffsbestimmungen .....	8
3	Ziele und Grundsätze zur Ermittlung der Exposition.....	10
4	Wirksame Quellen der Exposition bei mehreren Quellen.....	13
4.1	Räumliche Kriterien .....	13
4.2	Dosiskriterien.....	13
5	Prospektive und retrospektive Berechnung der Exposition.....	15
5.1	Prospektive Berechnung der Exposition.....	15
5.2	Retrospektive Berechnung der Exposition .....	16
6	Ausbreitung radioaktiver Stoffe und Umgebungskontamination infolge von Ableitungen mit Luft.....	17
6.1	Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre .....	17
6.1.1	Rechengebiet und Aufpunkte.....	17
6.1.2	Bodenrauigkeit und Verdrängungshöhe .....	18

6.1.3	Berücksichtigung von Bebauung .....	19
6.1.4	Berücksichtigung von Geländeunebenheiten .....	19
6.1.5	Meteorologische Daten.....	19
6.1.6	Quellterm des Emittenten.....	20
6.1.7	Effektive Emissionshöhe.....	21
6.1.8	Berücksichtigung der statistischen Unsicherheit .....	21
6.1.9	Radioaktiver Zerfall.....	22
6.2	Umgebungskontamination infolge von Ableitungen mit Luft.....	22
6.2.1	Trockene Ablagerung (Deposition und Sedimentation).....	22
6.2.2	Nasse Ablagerung.....	22
6.2.3	Kontamination von Boden und Pflanzen.....	23
7	Ausbreitung radioaktiver Stoffe und Umgebungskontamination infolge von Ableitungen mit Wasser .....	27
7.1	Ausbreitung radioaktiver Stoffe in Oberflächengewässern .....	27
7.1.1	Anwendungsbereich der Rechenmodelle .....	27
7.1.2	Ausbreitung radioaktiver Stoffe in Fließgewässern.....	27
7.1.3	Ausbreitung radioaktiver Stoffe in stehenden Gewässern .....	30
7.2	Umgebungskontamination infolge von Ableitungen mit Wasser .....	31
7.2.1	Kontamination von Ufersediment.....	31
7.2.2	Kontamination des Bodens in Überschwemmungsgebieten .....	32
7.2.3	Kontamination des Sediments von Spülfeldern .....	33
7.2.4	Kontamination von Boden und Pflanzen infolge Beregnung .....	33
7.2.5	Kontamination von Pflanzen auf Überschwemmungsgebieten.....	35
8	Exposition des Menschen infolge der Ableitung mit Luft .....	36
8.1	Expositionswege .....	36
8.2	Aufenthaltsorte der repräsentativen Person.....	36
8.3	Erzeugung von Lebensmitteln.....	37
8.4	Berechnung der äußeren Exposition.....	37
8.4.1	Exposition durch Betastrahlung innerhalb der Abluftfahne (Betasubmersion).....	38
8.4.2	Exposition durch Gammastrahlung aus der Abluftfahne (Gammastrahlung).....	38
8.4.3	Exposition durch Gammastrahlung der am Boden abgelagerten radioaktiven Stoffe (Bodenstrahlung).....	39
8.5	Berechnung der inneren Exposition .....	41
8.5.1	Exposition durch Aufnahme radioaktiver Stoffe mit der Atemluft (Inhalation).....	41
8.5.2	Exposition durch Aufnahme radioaktiver Stoffe beim Verzehr von Lebensmitteln und Muttermilch (Ingestion) .....	42

9	Exposition des Menschen infolge der Ableitung mit Wasser.....	46
9.1	Expositionspfade .....	46
9.2	Aufenthaltsorte der repräsentativen Person .....	46
9.3	Erzeugung von Lebensmitteln .....	47
9.4	Berechnung der äußeren Exposition .....	47
9.4.1	Exposition durch Aufenthalt auf Ufersediment .....	48
9.4.2	Exposition durch Aufenthalt auf Überschwemmungsgebieten .....	49
9.4.3	Exposition durch Aufenthalt auf Spülfeldern .....	50
9.5	Berechnung der inneren Exposition .....	51
9.5.1	Kontamination von Fischfleisch.....	54
9.5.2	Kontamination von Lebensmitteln infolge Beregnung.....	54
9.5.3	Kontamination von Milch und Fleisch durch Tränkwasser.....	55
9.5.4	Landwirtschaftliche Nutzung auf Überschwemmungsgebieten .....	55
9.6	Landwirtschaftliche Nutzung von Fluss- und Klärschlamm .....	56
10	Exposition des Menschen durch ionisierende Strahlung aus Anlagen und Einrichtungen .....	57
10.1	Grundsätzliches Vorgehen.....	57
10.2	Aufenthaltsorte der repräsentativen Person .....	57
10.3	Prospektive Berechnung der Exposition.....	58
10.4	Retrospektive Ermittlung der Exposition.....	58
11	Inkrafttreten, Außerkrafttreten, Übergangsvorschrift.....	60
Anhang A1.	Symbolverzeichnis.....	61
Anhang A2.	Dosis- und Dosisleistungskoeffizienten (Betasubmersion, Gammasubmersion, Gammabodenstrahlung, Inhalation, Ingestion) .....	67
A2.1	Dosisleistungskoeffizienten für Betasubmersion $g_{\beta,r,eff}$ ( $Sv \cdot m^3 \cdot Bq^{-1} \cdot s^{-1}$ ).....	67
A2.2	Dosisleistungskoeffizienten für Gammasubmersion $g_{\gamma,r,eff}$ ( $Sv \cdot m^2 \cdot Bq^{-1} \cdot s^{-1}$ ) und für Gammabodenstrahlung $g_{b,r,eff}$ ( $Sv \cdot m^2 \cdot Bq^{-1} \cdot s^{-1}$ ) und Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung der Körpergeometrie der Referenzpersonen bei Gammasubmersion und Gammabodenstrahlung.....	68
A2.3	Inhalationsdosiskoeffizienten $g_{h,r,eff}$ ( $Sv \cdot Bq^{-1}$ ) und Ingestionsdosiskoeffizienten $g_{g,r,eff}$ ( $Sv \cdot Bq^{-1}$ ).....	68
Anhang A3.	Daten zur Berechnung des Radionuklidtransports.....	72
Anhang A4.	Lebensgewohnheiten der repräsentativen Person .....	86
Anhang A5.	Berechnung der Gammasubmersion für Gamma-Energien von 1 MeV (Energiegruppe 1) und 0,1 MeV (Energiegruppe 2) .....	88
Anhang A6.	Radionuklidgemische für Ableitungen mit Luft und Wasser.....	90
A6.1	Radionuklidgemische für Ableitungen mit Luft.....	90
A6.2	Radionuklidgemisch für Ableitungen mit Wasser .....	91

Anhang A7. Berücksichtigung von radioaktiven Tochternukliden bei der Berechnung der Exposition .....	91
A7.1 Expositionspfade .....	91
A7.2 Exposition des Menschen infolge der Ableitung mit Luft oder Wasser .....	92
A7.3 Vereinfachende Näherungslösungen .....	95
Anhang A8. Faktoren für die Exposition infolge der Ableitung künstlicher Radionuklide mit Luft und Wasser bei Genehmigungsverfahren .....	96

## 1 Anwendungsbereich

1.1 Diese Allgemeine Verwaltungsvorschrift ist für die Ermittlung der zu erwartenden Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung nach § 100 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) anzuwenden (prospektive Ermittlung). Sie dient der Feststellung im Rahmen des Genehmigungs- oder Anzeigeverfahrens für eine Tätigkeit nach § 4 Absatz 1 Satz 1 Nummer 1, 3, 4, 5, 6, 7 oder 8 des Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG), ob der Strahlenschutzverantwortliche die technische Auslegung und den Betrieb seiner Anlage oder Einrichtung so geplant hat, dass die Exposition der repräsentativen Person die Grenzwerte des § 80 StrlSchG und des § 99 StrlSchV nicht überschreitet.

1.2 Diese Allgemeine Verwaltungsvorschrift ist zudem bei der Ermittlung der erhaltenen Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung nach § 101 StrlSchV anzuwenden (retrospektive Ermittlung), und zwar für die jährlich durchzuführende Ermittlung der Körperdosen nach § 80 Absatz 1 und 2 StrlSchG, die eine repräsentative Person im vorherigen Kalenderjahr durch genehmigte oder angezeigte Tätigkeiten nach § 101 Absatz 1 Nummer 1, auch in Verbindung mit Absatz 3, der Strahlenschutzverordnung erhalten hat.

1.3 Diese Allgemeine Verwaltungsvorschrift ist nicht anzuwenden auf:

1. Berechnungen der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch in der Überwachung verbleibende Rückstände nach § 63 Absatz 1 StrlSchG,
2. Prognoserechnungen im Rahmen von Langzeitsicherheitsanalysen,
3. Berechnungen der Exposition beruflich exponierter Personen,
4. Expositionsszenarien, mit denen Freigrenzen und Freigabewerte berechnet werden,
5. Neuberechnungen der in Anlage 11 Teil D StrlSchV aufgeführten maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationen aus Strahlenschutzbereichen, sowie auf
6. bestehende Expositionssituationen und Notfallexpositionssituationen.

## 2 Begriffsbestimmungen

Für diese Allgemeine Verwaltungsvorschrift gelten die folgenden Begriffsbestimmungen:

2.1 **Ableitung:** Abgabe flüssiger, an Schwebstoffe gebundener oder gasförmiger radioaktiver Stoffe auf hierfür vorgesehenen Wegen (§ 1 Absatz 1 StrlSchV).

2.2 **Anlagen und Einrichtungen:** Kerntechnische Anlagen nach § 2 Absatz 3a Nummer 1 AtG, Anlagen im Sinne des § 9a Absatz 3 Satz 1 erster Halbsatz zweiter Satzteil AtG, Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung nach § 5 Absatz 2 StrlSchG und Einrichtungen nach § 5 Absatz 12 StrlSchG.

2.3 **Nach- und Restbetriebsphase:** Zeitraum, der die Stilllegung, den sicheren Einschluss und den Abbau umfasst.

2.4 **Quelle:**

1. Bei Ableitungen mit Luft oder Wasser der Ort, an dem die radioaktiven Stoffe in die Umwelt gelangen.
2. Bei der äußeren Exposition eine Anlage zur Erzeugung ionisierender Strahlung, eine Röntgeneinrichtung, ein Störstrahler, ein umschlossener radioaktiver Stoff oder ein räumlich abgegrenzter offener radioaktiver Stoff, der nicht abgeleitet wird. Die Quelle kann jeweils ortsfest oder mobil sein. Wenn beim Betrieb eines technischen Geräts Radionuklide erzeugt werden, die im Gerät verbleiben, und außerdem ionisierende Strahlung außerhalb des Geräts aufgrund seines Einsatzzwecks auftritt, werden die erzeugten Radionuklide und die ionisierende Strahlung außerhalb des Geräts als eine Quelle zusammengefasst.

2.5 **Referenzperson:** Hypothetische, idealisierte Personen der sechs Altersgruppen der Anlage 11 Teil B Tabelle 1 StrlSchV, denen für dosimetrische Zwecke standardisierte Eigenschaften zugeschrieben werden. Die Organdosen der Referenzperson sind die Mittelwerte der entsprechenden Dosiswerte des männlichen und weiblichen Referenzmenschen. Die effektive Dosis der Referenzperson ist die Summe der Organdosen der Referenzperson, die mit den entsprechenden Gewebe-Wichtungsfaktoren gewichtet werden.

2.6 **Repräsentative Person:** Hypothetische Personen der sechs Altersgruppen der Anlage 11 Teil B Tabelle 1 StrlSchV, die aufgrund ihrer Lebensgewohnheiten für höher exponierte Bevölkerungsgruppen in der jeweiligen Altersgruppe repräsentativ sind. Extreme Lebensgewohnheiten werden nicht berücksichtigt.

2.7 **Sommerhalbjahr:** Zeitraum vom 1. Mai bis 31. Oktober eines Kalenderjahrs.

2.8 **Umgebung einer Anlage oder Einrichtung:**

1. Bei Ableitungen mit Luft das kreisförmige Gebiet um den Ort der Ableitung, dessen Radius mindestens das 50-fache der baulichen Emissionshöhe, mindestens aber 5 km beträgt,
2. bei Ableitungen mit Wasser ausgehend von der Einleitungsstelle die Oberflächengewässer und deren Umgebung, die aufgrund des Radionuklidtransports im Wasserkörper und der Wasserentnahme kontaminiert werden können und

3. bei äußeren Expositionen durch ionisierende Strahlung aus Anlagen und Einrichtungen das Gebiet bis zu einem Abstand von 500 m bei kerntechnischen Anlagen und bis zu einem Abstand von 100 m bei sonstigen Anlagen und Einrichtungen.

Das Betriebsgelände einer Anlage oder Einrichtung gehört nur dann zur Umgebung, wenn es für die Bevölkerung zugänglich ist.

### 3 Ziele und Grundsätze zur Ermittlung der Exposition

3.1 Ziel dieser Allgemeinen Verwaltungsvorschrift ist es, die Modelle und Parameter zur Berechnung der Exposition so festzulegen, dass bei deren Anwendung die zu erwartende oder erhaltene Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung nicht unterschätzt wird. Die Körperdosen der repräsentativen Person sollen so realistisch berechnet werden, wie mit vertretbarem Aufwand möglich. Bei der Berechnung der zu erwartenden Exposition infolge der Ableitung künstlicher Radionuklide mit Luft oder Wasser sind generische radionuklidspezifische und expositionspfadspezifische Faktoren anzuwenden, um das bisherige Maß an Konservativität des Strahlenschutzes beizubehalten.

3.2 Für die repräsentative Person ist die effektive Dosis im Kalenderjahr (Jahresdosis) zu berechnen<sup>1</sup>. Die Jahresdosis ist bei Anlagen und Einrichtungen als Summe der Dosen durch äußere und innere Exposition aufgrund der ionisierenden Strahlung aus Anlagen oder Einrichtungen sowie der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser unter Berücksichtigung der Beiträge nach § 99 Absatz 2 StrlSchV zu berechnen. Modellrechnungen zeigen, dass die Organ-Äquivalentdosen der repräsentativen Person für die Augenlinse und die Haut kleiner als die Grenzwerte in § 80 Absatz 2 StrlSchG sind, wenn der Grenzwert für die effektive Dosis in § 80 Absatz 1 StrlSchG und die Grenzwerte für die effektive Dosis infolge von Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser in § 99 Absatz 1 StrlSchV nicht überschritten werden. Eine gesonderte Berechnung der Organ-Äquivalentdosen der Augenlinse und der Haut erfolgt daher nicht.

3.3 Bei äußerer Exposition ist die effektive Dosis der repräsentativen Person für das Bezugsjahr, bei innerer Exposition die effektive Folgedosis über 50 Jahre bei Erwachsenen und bis einschließlich des 70. Lebensjahres bei allen anderen Altersgruppen der Anlage 11 Teil B Tabelle 1 StrlSchV aufgrund der Inkorporation im Bezugsjahr zu berechnen. Bei Expositionspfaden, die nach der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser mit einer Anreicherung in der Umwelt verbunden sind, ist bei der prospektiven Berechnung die Akkumulation während der zu erwartenden Gesamtdauer der Emissionen (Betriebsphase und gegebenenfalls auch Nach- **und Restbetriebsphase**), mindestens aber während einer Dauer von 50 Jahren vor dem Bezugsjahr zu berücksichtigen, sofern aufgrund der Besonderheiten der Anlage oder Einrichtung nicht von einer kürzeren Gesamtdauer der Emissionen ausgegangen werden kann. Bei der retrospektiven Berechnung ist die tatsächliche Akkumulationszeit vor dem Bezugsjahr zu berücksichtigen.

3.4 Die Exposition ist für die repräsentative Person in den Altersgruppen der Anlage 11 Teil B Tabelle 1 StrlSchV an den ungünstigsten Einwirkungsstellen zu berechnen. Die ungünstigsten Einwirkungsstellen sind die Stellen in der Umgebung einer Anlage oder Einrichtung, bei denen aufgrund der Verteilung der abgeleiteten radioaktiven Stoffe in der Umwelt und der ionisierenden Strahlung aus der Anlage oder Einrichtung durch Aufenthalt oder durch den Verzehr dort erzeugter Lebensmittel die höchsten Expositionen der repräsentativen Person zu erwarten sind. Zum Nachweis, dass die Exposition der repräsentativen Person den Grenzwert nach § 99 StrlSchV nicht überschreitet, ist die Exposition infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser jeweils getrennt zu betrachten. Zum Nachweis, dass die Exposition der repräsentativen Person die Grenzwerte nach § 80

---

<sup>1</sup> Für Ableitungen mit Radionuklidgemischen ist es zulässig, die effektive Dosis mit den einzelnen radionuklidspezifischen Effektivdosiskoeffizienten zu berechnen.

StrlSchG nicht überschreitet, sowie bei der Ermittlung der erhaltenen Exposition der repräsentativen Person nach § 101 StrlSchV ist die Summe der Expositionen infolge der Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft und Wasser und durch die ionisierende Strahlung aus der Anlage oder Einrichtung zu betrachten. Bei der prospektiven Berechnung der Exposition sind die Nutzungsmöglichkeiten<sup>2</sup> in der Umgebung der Anlage oder Einrichtung, bei der retrospektiven Berechnung die tatsächliche Nutzung in der Umgebung der Anlage oder Einrichtung zu berücksichtigen. Für die Berechnung der Exposition infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser sind der Nahbereich (Anlagerungszeit an Schwebstoffe ≤ 10 Stunden) und der Fernbereich (Anlagerungszeit an Schwebstoffe ≥ 5 Tage) zu betrachten. Bei Vorflutern ist zusätzlich der Mündungsbereich in den größeren Vorfluter zu betrachten. Falls dieser Bereich nicht zum Nah- oder Fernbereich gezählt werden kann, ist die Zeitabhängigkeit der Anlagerung an Schwebstoffe zu berücksichtigen.

3.5 Zur Berechnung der Vorbelastung gemäß § 99 Absatz 2 StrlSchV infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser aus Anlagen, die einer Genehmigung nach §§ 6, 7, 9 oder 9b AtG oder eines Planfeststellungsbeschlusses nach § 9b AtG bedürfen, oder aus Einrichtungen ist bei der prospektiven Berechnung der Exposition von den durch Genehmigungen festgesetzten höchstzulässigen Emissionen auszugehen. Bei der retrospektiven Ermittlung der Exposition sind die im betrachteten Zeitraum tatsächlich aus Anlagen und Einrichtungen abgeleiteten Aktivitäten zu berücksichtigen, sofern die jeweilige Anlage oder Einrichtung nach § 101 Absatz 3 StrlSchV zu berücksichtigen ist.

3.6 Bei der Berechnung der Vorbelastung gemäß § 99 Absatz 2 StrlSchV durch Anlagen nach § 102 Absatz 2 StrlSchV, die keiner Genehmigung nach §§ 6, 7, 9 oder 9b AtG und keines Planfeststellungsbeschlusses nach § 9b AtG bedürfen, oder durch Einrichtungen, wobei deren Betreiber zur Einhaltung der in Anlage 11 Teil D StrlSchV genannten zulässigen Aktivitätskonzentrationen verpflichtet sind, sind bei der prospektiven Berechnung der Exposition Erfahrungs- oder realistische Planungswerte für die Ableitung von radioaktiven Stoffen zugrunde zu legen. Bei der retrospektiven Ermittlung der Exposition sind die im betrachteten Zeitraum tatsächlich aus Anlagen und Einrichtungen abgeleiteten Aktivitätskonzentrationen, Luft- und Wassermengen sowie die tatsächlichen gemessenen oder aus Messungen abgeleiteten atmosphärischen und hydrologischen Parameter zu berücksichtigen, sofern die jeweilige Anlage oder Einrichtung nach § 101 Absatz 3 StrlSchV zu berücksichtigen ist.

3.7 Die in Anlage 11 Teil A Nummer 1, 2 und 3 StrlSchV festgelegten Expositionspfade sind in der Regel in die Berechnung einzubeziehen. Nach Anlage 11 Teil A StrlSchV gilt: „Expositionspfade bleiben unberücksichtigt oder zusätzliche Expositionspfade ... sind zu berücksichtigen, wenn dies aufgrund der örtlichen Besonderheiten des Standortes oder aufgrund der Art der kerntechnischen Anlage, der Art der Anlage im Sinne des § 9a Absatz 3 Satz 1 erster Halbsatz zweiter Satzteil des Atomgesetzes, der Art der Anlage zur Erzeugung ionisierender Strahlung, der Art der anderen Einrichtung ... begründet ist.“

3.8 Bei der Ermittlung der für Einzelpersonen zu erwartenden Exposition gemäß § 100 StrlSchV ist das Ergebnis mit den expositionspfadspezifischen Faktoren in Anhang A8 Tabelle 20 und bei Iodisotopen mit den generischen radionuklidspezifischen Faktoren in Anhang A8 Tabelle 19 zu multiplizieren, um in Genehmigungsverfahren das bisherige Maß an Konservativität des

---

<sup>2</sup> Unter Einbeziehung auch möglicher künftiger Änderungen der Besiedlung oder künftiger Nutzung, soweit diese nicht prinzipiell aufgrund der ökologischen Verhältnisse während der Betriebsphase und gegebenenfalls der Nach- und Restbetriebsphase der Anlage oder Einrichtung außer Betracht bleiben müssen.

Strahlenschutzes bei der Festlegung von Höchstwerten für die Ableitung künstlicher Radionuklide beizubehalten. Die generischen radionuklidspezifischen Faktoren kompensieren für Iodisotope den Wegfall der Organodosisgrenzwerte bei der Ableitung künstlicher Radionuklide mit Luft oder Wasser, die bisher in einigen Fällen begrenzend waren. Die expositionspfadspezifischen Faktoren tragen der Tatsache Rechnung, dass das Berechnungsverfahren insgesamt weniger konservativ als in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 der am 31.12.2018 außer Kraft getretenen Strahlenschutzverordnung ausgelegt ist. Diese Faktoren sind bei der retrospektiven Berechnung der Exposition nicht anzuwenden.

## 4 Wirksame Quellen der Exposition bei mehreren Quellen

Sind bei der Ermittlung der zu erwartenden Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung gemäß § 100 Absatz 1 StrlSchV im Rahmen des Genehmigungs- oder Anzeigeverfahrens zusätzliche Quellen nach § 80 Absatz 4 StrlSchG in Verbindung mit § 99 Absatz 2 StrlSchV zu berücksichtigen, sind hierfür die Kriterien in den Abschnitten 4.1 und 4.2 anzuwenden. Die Berücksichtigung zusätzlicher Quellen im Rahmen der Ermittlung der erhaltenen Exposition gemäß § 101 Absatz 1 StrlSchV erfolgt nach § 101 Absatz 3 StrlSchV.

### 4.1 Räumliche Kriterien

4.1.1 Bei Ableitungen mit Luft ist das kreisförmige Gebiet um den Ort der Ableitung zu berücksichtigen, dessen Radius mindestens das 50-fache der baulichen Emissionshöhe, mindestens aber 5 km beträgt. Das Gebiet kann kleiner gewählt werden, sofern nachgewiesen wird, dass die ungünstigsten Einwirkungsstellen innerhalb des kleineren Gebiets liegen.

4.1.2 Bei Ableitungen mit Wasser sind ausgehend von der Einleitungsstelle die Oberflächengewässer und deren Umgebung zu betrachten, die aufgrund des Radionuklidtransports im Wasserkörper und der Wasserentnahme kontaminiert werden können.

4.1.3 Die äußere Expositionen durch ionisierende Strahlung aus kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen sind bis zu einem Abstand von 500 m und bei sonstigen Anlagen und Einrichtungen bis zu einem Abstand von 100 m zu betrachten.

### 4.2 Dosiskriterien

4.2.1 Quellen, die zu einer Exposition der repräsentativen Person höchstens im Bereich von 10  $\mu\text{Sv}$  im Kalenderjahr führen – auch die in § 102 Absatz 2 Satz 1 StrlSchV genannten Anlagen und Einrichtungen, welche die nach Anlage 11 Teil D StrlSchV zulässigen Aktivitätskonzentrationen für Ableitungen von Radionukliden mit Luft oder Wasser aus Strahlenschutzbereichen im Jahresdurchschnitt einhalten müssen – können unberücksichtigt bleiben, sofern höchstens 10 dieser Quellen und keine weiteren Quellen zusammenwirken. Andernfalls sind alle Quellen zu berücksichtigen.

4.2.2 Quellen mit ausschließlich natürlichen Radionukliden, die zu einer Exposition der repräsentativen Person im Bereich von 100  $\mu\text{Sv}$  im Kalenderjahr führen, können unberücksichtigt bleiben, sofern höchstens 10 dieser Quellen und keine weiteren Quellen zusammenwirken. Andernfalls sind alle Quellen zu berücksichtigen.

4.2.3 Die Berechnung der äußeren Exposition durch ionisierende Strahlung aus einer Anlage oder Einrichtung kann entfallen, wenn sichergestellt ist, dass der Dosisbeitrag (effektive Dosis) zur Exposition der repräsentativen Person durch alle Expositionspfade für diese Anlage oder Einrichtung 10 % nicht überschreitet und die Dosisgrenzwerte für die Bevölkerung sicher eingehalten werden (siehe auch Abschnitt 10.1). Der Nachweis zur Einhaltung des 10 %-Kriteriums kann mit einem vereinfachten, konservativen Verfahren zur Berechnung der äußeren Exposition durch ionisierende Strahlung aus einer Anlage oder Einrichtung erbracht werden. Ebenso kann der Nachweis, dass die

Dosisgrenzwerte für die Bevölkerung sicher eingehalten werden, mit vereinfachten, konservativen Verfahren erbracht werden.

4.2.4 Bei mehr als 10 Anlagen und Einrichtungen nach § 102 Absatz 2 StrISchV muss das Zusammenwirken der Quellen stets berücksichtigt werden.

## 5 Prospektive und retrospektive Berechnung der Exposition

### 5.1 Prospektive Berechnung der Exposition

Bei der prospektiven Berechnung der Exposition sind ungünstige generische Verhältnisse und generische Werte für die Modellparameter zugrunde zu legen, unmögliche Szenarien, wie z. B. der Daueraufenthalt der repräsentativen Person im Freien, jedoch auszuschließen. Die berechneten effektiven Dosen infolge der Ableitung künstlicher Radionuklide mit Luft oder Wasser sind mit den generischen radionuklidspezifischen Faktoren in Anhang A8 Tabelle 19 und den expositionspfadspezifischen Faktoren in Anhang A8 Tabelle 20 zu multiplizieren. Es ist wie folgt vorzugehen:

1. Bei Ableitungen mit Luft ist für die Ausbreitungsrechnung das Lagrange-Partikel-Modell zu verwenden. Für die prospektive Berechnung der Exposition ist eine langjährige Wetterstatistik oder die Zeitreihe eines repräsentativen Jahres zugrunde zu legen (siehe Abschnitt 6.1.5). Liegen keine Messungen am Standort der Anlage oder Einrichtung vor, können Daten einer geeigneten Station des Deutschen Wetterdienstes oder einer anderen entsprechend ausgerüsteten Station verwendet werden, sofern diese auf den betrachteten Standort gemäß der Richtlinie VDI 3783 Blatt 20 übertragbar sind. Im Einzelfall kann die zuständige Behörde zur Berücksichtigung von Besonderheiten des Standorts oder der kerntechnischen Anlage nach § 2 Absatz 3a Nummer 1 AtG, der Anlage im Sinne des § 9a Absatz 3 Satz 1 erster Halbsatz zweiter Satzteil AtG, der Anlage zur Erzeugung ionisierender Strahlung nach § 5 Absatz 2 StrlSchG oder der Einrichtung nach § 5 Absatz 12 StrlSchG die Anwendung anderer Verfahren anordnen oder zulassen.
2. Bei Ableitungen mit Wasser sind für die prospektive Berechnung der Exposition langjährige Mittelwerte der Wasserführung der Vorfluter und der Fließzeiten zugrunde zu legen.
3. Es werden die zu genehmigenden bzw. zu erwartenden Höchstwerte für die Emissionen sowie die berechnete äußere Exposition durch ionisierende Strahlung aus Anlagen und Einrichtungen in der Umgebung des Standortes berücksichtigt.
4. Es werden die potentiellen Expositionspfade gemäß den Abschnitten 8.1, 9.1 und 10 zugrunde gelegt. Dabei sind die Nutzungsmöglichkeiten in der Umgebung des Standorts maßgebend.
5. Zur Berechnung der Ingestionsdosis (effektive Folgedosis) durch Lebensmittel sind die Lebensmittelgruppen gemäß Anhang A4 Tabelle 10 zugrunde zu legen, sofern aufgrund der Prägung des Gebietes die Lebensmittelgruppe in der Umgebung des Standorts grundsätzlich erzeugt werden könnte.
6. Die Beregnung von pflanzlichen Nahrungsmitteln außer Blattgemüse, von Blattgemüse und von Weidebewuchs ist bei der prospektiven Berechnung der Exposition stets zu berücksichtigen.
7. Für die Anreicherung radioaktiver Stoffe im Boden und in anderen Umweltmedien ist die zu erwartende Gesamtdauer der Emissionen (Betriebsphase und gegebenenfalls auch Nach- **und Rest**betriebsphase), mindestens aber eine Dauer von 50 Jahren zugrunde zu legen, sofern aufgrund der Besonderheiten der Anlage oder Einrichtung nicht von einer kürzeren Gesamtdauer der Emissionen ausgegangen werden kann.
8. Es sind die generischen Aufenthaltszeiten und -orte der repräsentativen Person in Anhang A4 Tabelle 12 zugrunde zu legen.

## 5.2 Retrospektive Berechnung der Exposition

Bei der retrospektiven Berechnung der Exposition sind die standortspezifischen Verhältnisse, gegebenenfalls auch standortspezifische Modellparameter sowie aktuelle repräsentative statistische Daten, im betrachteten Zeitraum zu berücksichtigen. Die generischen radionuklidspezifischen Faktoren und die expositionspfadspezifischen Faktoren sind bei der retrospektiven Berechnung nicht anzuwenden. Basierend auf Anlage 11 Teil C StrlSchV ist wie folgt vorzugehen:

1. Bei Ableitungen mit Luft ist für die Ausbreitungsrechnung das Lagrange-Partikel-Modell zu verwenden. Für die retrospektive Berechnung der Exposition sind die meteorologischen Daten des betrachteten Zeitraums zugrunde zu legen. Liegen keine Messungen am Standort der Anlage oder Einrichtung vor, können Daten einer geeigneten Station des Deutschen Wetterdienstes oder einer anderen entsprechend ausgerüsteten Station verwendet werden, sofern diese auf den betrachteten Standort gemäß der Richtlinie VDI 3783 Blatt 20 übertragbar sind. Im Einzelfall kann die zuständige Behörde zur Berücksichtigung von Besonderheiten des Standorts oder der kerntechnischen Anlage nach § 2 Absatz 3a Nummer 1 AtG, der Anlage im Sinne des § 9a Absatz 3 Satz 1 erster Halbsatz zweiter Satzteil AtG, der Anlage zur Erzeugung ionisierender Strahlung nach § 5 Absatz 2 StrlSchG oder der Einrichtung nach § 5 Absatz 12 StrlSchG die Anwendung anderer Verfahren anordnen oder zulassen.
2. Bei Ableitungen mit Wasser ist für die retrospektive Berechnung der Exposition der Mittelwert der Wasserführung der Vorfluter und der Fließzeiten im betrachteten Zeitraum heranzuziehen.
3. Es werden die gemessenen oder bilanzierten tatsächlichen Emissionen sowie die gemessene oder berechnete ionisierende Strahlung aus der Anlage oder Einrichtung während des betrachteten Zeitraumes berücksichtigt.
4. Es werden nur diejenigen Expositionspfade zugrunde gelegt, die aufgrund der realen Gegebenheiten in der Umgebung des Standortes im betrachteten Zeitraum tatsächlich zur Exposition beitragen. Dabei ist insbesondere die tatsächliche Nutzung (nicht die Nutzungsmöglichkeiten) in der Umgebung maßgebend. Ausgehend von den Landnutzungsklassen des Landbedeckungsmodells Deutschland (LBM-DE)<sup>3</sup> oder einer gleichwertigen Datengrundlage sind hierbei im Abstand von höchstens 5 Jahren die Flächen für die Erzeugung pflanzlicher oder tierischer Nahrungsmittel oder für die Gewinnung von Trinkwasser zu ermitteln (siehe auch Anhang A3 Tabelle 9).
5. Zur Berechnung der Ingestionsdosis (effektive Folgedosis) durch Lebensmittel sind bevorzugt nur diejenigen Lebensmittelgruppen zu berücksichtigen, die im betrachteten Zeitraum in der Umgebung des Standortes tatsächlich erzeugt wurden. Falls diese Informationen nicht mit vertretbarem Aufwand ermittelt werden können, sind ersatzweise die generischen Annahmen in Anhang A4 Tabelle 10 zugrunde zu legen.
6. Die Berechnung von pflanzlichen Nahrungsmitteln außer Blattgemüse, von Blattgemüse und von Weidebewuchs ist bei der retrospektiven Berechnung der Exposition nur dann zu berücksichtigen, wenn diese im betrachteten Zeitraum in der Umgebung des Standortes tatsächlich beregnet

---

<sup>3</sup> Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main

wurden. Falls diese Informationen nicht mit vertretbarem Aufwand ermittelt werden können, kann wie bei der prospektiven Berechnung der Exposition vorgegangen werden.

7. Für die Anreicherung radioaktiver Stoffe im Boden und in anderen Umweltmedien wird einzelfallbezogen die tatsächliche Gesamtdauer der Emissionen unterstellt (Betriebsphase und gegebenenfalls auch Nach- **und Rest**betriebsphase).
8. Es sind bevorzugt die tatsächlichen Aufenthaltszeiten und -orte der repräsentativen Person während des betrachteten Zeitraums zu berücksichtigen. Falls diese Informationen nicht mit vertretbarem Aufwand ermittelt werden können, sind ersatzweise die generischen Annahmen in Anhang A4 Tabelle 12 zugrunde zu legen.

Bei der retrospektiven Berechnung der Exposition im betrachteten Zeitraum ist die Kontamination der Umwelt infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft und Wasser in den Vorjahren zu berücksichtigen. Falls die zur Berechnung erforderlichen Daten für die Vorjahre nicht vorliegen und nicht mit vertretbarem Aufwand ermittelt werden können, können diese Daten durch konservative Schätzungen ersetzt werden.

## 6 Ausbreitung radioaktiver Stoffe und Umgebungskontamination infolge von Ableitungen mit Luft

### 6.1 Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre

Bei Ableitungen mit Luft ist die atmosphärische Ausbreitungsrechnung unter Verwendung des Lagrange-Partikel-Modells der Richtlinie VDI 3945 Blatt 3 in Kombination mit einem vorgeschalteten mikroskaligen oder mesoskaligen, diagnostischen oder prognostischen Windfeldmodell durchzuführen. Dieses Windfeldmodell erstellt das dreidimensionale Windfeld und Turbulenzfeld für das gesamte Rechengebiet anhand von meteorologischen Daten und Grenzschichtmodellen für meteorologische Parameter der Richtlinie VDI 3783 Blatt 8.

Lagrange-Partikel-Modelle ermöglichen unter anderem die Berücksichtigung ungleichmäßiger Emissionen, bodennaher Emissionen sowie von flächenhaften Emissionen. Die Aktivitätskonzentration in der Luft, die trockene und nasse Ablagerung der Radionuklide, die Gamma- und Betasubmersion sind orts aufgelöst in der Umgebung des Emittenten zu berechnen, wobei die effektive Emissionshöhe (siehe Abschnitt 6.1.7) zugrunde zu legen ist.

#### 6.1.1 Rechengebiet und Aufpunkte

Das Rechengebiet umfasst mindestens das kreisförmige Gebiet um den Ort des Emittenten, dessen Radius das 50-fache der baulichen Emissionshöhe, mindestens aber 5 km beträgt. Das Gebiet kann kleiner gewählt werden, sofern nachgewiesen wird, dass die ungünstigsten Einwirkungsstellen innerhalb des kleineren Gebiets liegen. Tragen mehrere räumlich getrennte Emittenten zur Exposition bei, dann besteht das Rechengebiet mindestens aus der Vereinigung der jeweiligen Rechengebiete. Bei besonderen Geländebedingungen, wie z. B. einer ausgeprägten, weiträumigen Orographie, kann es erforderlich sein, das Rechengebiet größer zu wählen.

Die horizontale Maschenweite ist so zu wählen, dass sowohl Ort als auch Betrag der Expositionmaxima mit hinreichender Sicherheit bestimmt werden können. In der Regel ist das dann gewährleistet, wenn die horizontale Maschenweite die bauliche Emissionshöhe nicht überschreitet. Ist die Entfernung vom Emittenten größer als das Zehnfache der baulichen Emissionshöhe, kann die horizontale Maschenweite proportional zur Entfernung größer gewählt werden. Geringere Maschenweiten sind anzuwenden

- bei bodennahen Freisetzungen,
- wenn eine Beeinflussung der Ausbreitung durch umliegende Gebäude zu berücksichtigen ist oder
- wenn Abstände zwischen Freisetzungsort und Einwirkungsstelle zu erwarten sind, die in der Größenordnung der Maschenweite liegen.

Im Nahbereich um den Emittenten müssen die Gebäudestrukturen im Modell räumlich aufgelöst werden können.

Es können auch genestete Rechengitter zugrunde gelegt werden, d. h. eine höhere räumliche Auflösung in unmittelbarer Nähe des Emittenten und die Vergrößerung der Gitterweite bei wachsender Entfernung zum Emittenten.

Als Aufpunkte werden alle im Rechengebiet befindlichen Bebauungen und Aufenthaltsorte im Freien betrachtet. Die Aktivitätskonzentration ist im gesamten Rechengebiet zu berechnen. Die Aktivitätskonzentration in der bodennahen Luft ist an den Aufpunkten als Mittelwert über die unterste Gitterzelle, die vom Erdboden bis 3 m Höhe über dem Erdboden reicht, zu berechnen. Damit ist sie repräsentativ für eine Aufpunkthöhe in 1,5 m über Grund. Zur Berechnung der Gammasubmersion und der nassen Ablagerung sind alle Gitterzellen im Rechengebiet bis zu einer Höhe von 1500 m zu berücksichtigen. Diese Allgemeine Veraltungsvorschrift macht keine weiteren Vorgaben für die vertikale Höhe der Gitterzellen. Die für ein Volumen oder eine Fläche des Rechengitters berechneten Mittelwerte der Aktivitätskonzentration, der Gammasubmersion und der Depositionsraten gelten für alle darin enthaltenen Aufpunkte.

### 6.1.2 Bodenrauigkeit und Verdrängungshöhe

Für die Erstellung des dreidimensionalen Windfelds und des Turbulenzfelds wird die Bodenrauigkeit des Geländes durch eine mittlere Rauigkeitslänge  $z_0$  parametrisiert. Es ist ein Gebiet zu betrachten, dessen Radius der 15-fachen baulichen Emissionshöhe entspricht, mindestens aber 150 m beträgt. Dabei wird zwischen prospektiver und retrospektiver Berechnung unterschieden:

- Bei der prospektiven Berechnung ist für die mittlere Rauigkeitslänge  $z_0 = 0,10$  m zu wählen. Dies ist ein plausibler, im Hinblick auf die zu erwartende Exposition in den meisten Fällen insgesamt ungünstiger Wert.
- Bei der retrospektiven Berechnung ist die mittlere Rauigkeitslänge  $z_0$  aus aktuellen Daten zur Bodenbedeckung zu bestimmen. Hierzu können die Landnutzungsklassen des Landbedeckungsmodells Deutschland (LBM-DE) in Verbindung mit Anhang A3 Tabelle 9 herangezogen werden. Ist das Rechengebiet aus Flächenstücken mit unterschiedlicher Bodenrauigkeit zusammengesetzt, ist eine mittlere Rauigkeitslänge durch arithmetische

Mittelung mit Wichtung entsprechend dem jeweiligen Flächenanteil zu bestimmen und anschließend auf den nächstgelegenen Wert in Anhang A3 Tabelle 9 zu runden.

Als weiterer Parameter ist bei der Erstellung des dreidimensionalen Windfelds und des Turbulenzfelds die Verdrängungshöhe  $d$  zu berücksichtigen, die als die sechsfache mittlere Rauiglängslänge  $z_0$  anzusetzen ist ( $d = 6 \cdot z_0$ ).

### 6.1.3 Berücksichtigung von Bebauung

Einflüsse von Bebauung auf die Immission im Rechengebiet sollen im Rahmen der Berechnung berücksichtigt werden. Für die folgende Betrachtung können Gebäude, deren Entfernung vom Emittenten größer als das Sechsfache ihrer Höhe und größer als das Sechsfache der baulichen Emissionshöhe ist, vernachlässigt werden.

Bei einem mesoskaligen diagnostischen Windfeldmodell ist wie folgt zu verfahren:

Beträgt die bauliche Emissionshöhe mehr als das 1,2-fache der Gebäudehöhen oder haben Gebäude, für die diese Bedingung nicht erfüllt ist, einen Abstand von mehr als dem Sechsfachen ihrer Höhe vom Emittenten, kann in der Regel folgendermaßen verfahren werden:

- a) Sofern die bauliche Emissionshöhe mehr als das 1,7-fache der Gebäudehöhen beträgt, ist die Berücksichtigung der Bebauung durch Rauiglängslänge und Verdrängungshöhe ausreichend.
- b) Sofern die bauliche Emissionshöhe zwischen dem 1,2- und 1,7-fachen der Gebäudehöhen beträgt und eine freie Abströmung gewährleistet ist, können die Einflüsse mit Hilfe eines mesoskaligen Windfeldmodells für die Gebäudeumströmung berücksichtigt werden.

Maßgeblich für die Beurteilung der Gebäudehöhen nach a) oder b) sind alle Gebäude, deren Abstand vom Emittenten weniger als das Sechsfache der baulichen Emissionshöhe beträgt.

Sind die Anforderungen eines mesoskaligen diagnostischen Windfeldmodells nicht erfüllt, ist ein mikroskaliges diagnostisches Windfeldmodell oder ein prognostisches Windfeldmodell (mikroskalig oder mesoskalig) zu verwenden.

### 6.1.4 Berücksichtigung von Geländeunebenheiten

Auch Unebenheiten des Geländes sind in der Regel nur zu berücksichtigen, falls innerhalb des Rechengebietes Höhendifferenzen zum Emissionsort von mehr als 50 m und Steigungen von mehr als 1:20 auftreten. Die Steigung ist dabei aus der Höhendifferenz über eine Strecke von 100 m zu bestimmen.

### 6.1.5 Meteorologische Daten

Meteorologische Daten sind als Stundenmittel anzugeben, wobei die Windgeschwindigkeit gemäß der Richtlinie VDI 3786 Blatt 2 vektoriell zu mitteln ist. Die vertikalen Windprofile des Windfeldes sind gemäß der Richtlinie VDI 3783 Blatt 8 - meteorologische Grenzschichtprofile - zu bestimmen. Hierzu

werden neben der Rauigkeitslänge die Stundenmittelwerte von Windrichtung und Windgeschwindigkeit in Messhöhe und die Obukhov-Länge benötigt. Ist der Wert der Obukhov-Länge nicht bekannt, ist alternativ die Ausbreitungsklasse nach Klug/Manier (I bis V) festzulegen (Sicherheitstechnische Regel KTA 1508) und nach der Richtlinie VDI 3783 Blatt 8 der Wert der Obukhov-Länge zu bestimmen. Des Weiteren sind die Stundensummen des Niederschlages anzugeben.

Für die prospektive Berechnung der atmosphärischen Ausbreitung ist eine ausreichend aktuelle meteorologische Zeitreihe stündlich gemittelter meteorologischer Daten zu verwenden, die einen Zeitraum von mindestens fünf Kalenderjahren zu mindestens 90 % abdeckt. Alternativ kann auch die Zeitreihe eines so genannten repräsentativen Jahres nach der Richtlinie VDI 3783 Blatt 20 verwendet werden. Diese Zeitreihe ist mit den meteorologischen Daten zur Berechnung der nassen Ablagerung zu ergänzen. Falls die Niederschlagsmengen im repräsentativen Jahr im Sommerhalbjahr und im Gesamtjahr um höchstens 50 % vom jeweiligen Median über zehn Kalenderjahre abweichen, sind zur Berechnung der nassen Ablagerung die meteorologischen Daten des repräsentativen Jahres zu verwenden. Andernfalls ist ersatzweise das Kalenderjahr aus dem zehnjährigen Zeitraum zu wählen, bei dem die Niederschlagsmengen im Sommerhalbjahr und im Gesamtjahr am geringsten vom jeweiligen Median über zehn Kalenderjahre abweichen.

Für die prospektive Berechnung der atmosphärischen Ausbreitung kann auch eine langjährige 4-parametrische Wetterstatistik herangezogen werden, wobei die Einteilung der Sektoren, die Klasseneinteilung für die Windgeschwindigkeit und die Klasseneinteilung für die Niederschlagsmenge gemäß der Sicherheitstechnischen Regel KTA 1508 zu wählen sind. Liegen Messwerte in mehreren Messhöhen vor, ist die Messreihe zu verwenden, deren Messhöhe der baulichen Emissionshöhe am nächsten liegt. Liegen keine Messungen am Standort der Anlage oder Einrichtung vor, können Daten einer geeigneten Station des Deutschen Wetterdienstes oder einer anderen entsprechend ausgerüsteten Station verwendet werden, sofern diese auf den betrachteten Standort gemäß der Richtlinie VDI 3783 Blatt 20 übertragbar sind.

Bei der retrospektiven Berechnung der atmosphärischen Ausbreitung ist die tatsächliche meteorologische Zeitreihe stündlich gemittelter meteorologischer Daten während der Betriebszeit der Anlage oder Einrichtung heranzuziehen. Falls diese meteorologische Zeitreihe für die Jahre vor dem betrachteten Zeitraum nicht vorliegt und nicht mit vertretbarem Aufwand ermittelt werden kann, kann für diese Jahre wie bei der prospektiven Berechnung der atmosphärischen Ausbreitung vorgegangen werden.

#### 6.1.6 Quellterm des Emittenten

Bei zeitlichen Schwankungen der Emissionsparameter sind diese als Zeitreihe (Stundenmittel) anzugeben. Ist eine solche Zeitreihe nicht verfügbar oder nicht verwendbar, sind für die prospektive Berechnung die ungünstigsten zu erwartenden Ableitungen zugrunde zu legen. Für die retrospektive Berechnung können in diesem Fall die Jahresmittelwerte des betrachteten Zeitraumes angesetzt werden, sofern die pro Tag, das heißt in Zeiträumen von je 24 Stunden, emittierte Aktivitätsmenge nicht größer als 1/100 der gleichmäßig über das Jahr verteilt angenommenen Jahresemission ist. Das Verfahren für die retrospektive Berechnung der Exposition kann auch bei der prospektiven Berechnung angewendet werden, sofern keine ungünstigeren Ableitungen zu erwarten sind.

Werden radioaktive Stoffe vom Dach eines Gebäudes an mehreren Orten mit Luft abgeleitet, sollten diese Orte wegen der unterschiedlichen Ablufteigenschaften jeweils als Einzelquelle betrachtet werden. Es ist jedoch zulässig, mehrere Orte auf einer Fläche von höchstens 20 m x 20 m als eine Quelle zusammenzufassen, sofern die Ablufteigenschaften dieser Quelle so gewählt werden, dass eine Unterschätzung der Exposition der repräsentativen Person nicht zu erwarten ist.

Für die prospektive Berechnung der Exposition sind alle mit Luft abgeleiteten Radionuklide zu berücksichtigen. Hierbei ist von den Radionuklidgemischen auszugehen, deren Ableitung mit Luft während der Betriebsphase und gegebenenfalls auch Nach- **und Rest**betriebsphase zu erwarten ist. Bei Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren sind für die Ableitungen von Edelgasen und Schwebstoffen mit Luft im Leistungsbetrieb die Radionuklidgemische in Anhang A6.1 zugrunde zu legen. Für die Nach- **und Rest**betriebsphase von Kernkraftwerken ist von den Radionuklidgemischen auszugehen, deren Ableitung mit der Luft durch die Stilllegung, den sicheren Einschluss und den Abbau zu erwarten ist.

Für die retrospektive Berechnung der Exposition sind die gemessenen oder bilanzierten tatsächlichen Ableitungen mit Luft zugrunde zu legen.

#### 6.1.7 Effektive Emissionshöhe

Die effektive Emissionshöhe auf Grund thermischer bzw. mechanischer Effekte ist gemäß der Richtlinie VDI 3782 Blatt 3 zu bestimmen. Die effektive Emissionshöhe ist der atmosphärischen Ausbreitungsrechnung unter Verwendung des Lagrange-Partikel-Modells der Richtlinie VDI 3945 Blatt 3 zugrunde zu legen.

#### 6.1.8 Berücksichtigung der statistischen Unsicherheit

Die mit dem Lagrange-Partikel-Modell gemäß der Richtlinie VDI 3945 Blatt 3 berechneten räumlichen Verteilungen für die Aktivitätskonzentration und die trockenen und nassen Ablagerungsraten haben eine statistische Unsicherheit. Die Gesamtpartikelzahl ist so hoch zu wählen, dass die statistische Unsicherheit der folgenden Immissionskennwerte an den ungünstigsten Aufpunkten aufgrund der Partikelzahlen in den Gitterzellen 5 % nicht überschreitet:

- Jahresmittelwert und Halbjahresmittelwert (Sommerhalbjahr) der Aktivitätskonzentration in der bodennahen Luft
- Trocken abgelagerte Aktivität des Radionuklids  $r$  während des gesamten Kalenderjahres und während des Sommerhalbjahres
- Nass abgelagerte Aktivität des Radionuklids  $r$  während des gesamten Kalenderjahres und während des Sommerhalbjahres

Wenn die Gesamtpartikelzahl niedriger gewählt wird, ist die Unsicherheit der oben genannten Immissionskennwerte zu berücksichtigen und die berechneten Beiträge zur Exposition sind zu korrigieren. Hierbei ist jeder Beitrag zur Exposition, der durch diese Immissionskennwerte beeinflusst wird, um die Unsicherheit des jeweiligen Immissionskennwerts nach oben zu korrigieren und die

Korrektur zu dokumentieren. Dieses Verfahren ist bei der retrospektiven Berechnung der Exposition nicht zulässig, wenn durch diese Korrekturen die berechnete Exposition um mehr als 10 % erhöht wird.

### 6.1.9 Radioaktiver Zerfall

Der radioaktive Zerfall des Radionuklids  $r$  während der Transportzeit eines Partikels vom Emissionsort bis zum Aufpunkt wird über die physikalische Zerfallskonstante berücksichtigt. Tochternuklide, die sich während des Transports in der Atmosphäre bilden, werden über die Dosis- und Dosisleistungskoeffizienten berücksichtigt (siehe Anhang A2).

## 6.2 Umgebungskontamination infolge von Ableitungen mit Luft

### 6.2.1 Trockene Ablagerung (Deposition und Sedimentation)

Die durch trockene Ablagerung entstehende Bodenkontaminationsrate  $F_r(x, y)$  (in  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) am Ort  $(x, y)$  wird mithilfe eines Lagrange-Partikel-Modells gemäß der Richtlinie VDI 3945 Blatt 3 berechnet. Hierbei sind die in Anhang A3 Tabelle 8 aufgeführten stoffspezifischen Werte für die Depositions- und die Sedimentationsgeschwindigkeiten der Schwebstoffe und Gase zugrunde zu legen.

### 6.2.2 Nasse Ablagerung

Die Bodenkontaminationsrate durch Niederschlag  $W_r(x, y)$  am Ort  $(x, y)$  ist proportional zu der über die  $z$ -Koordinate integrierten Konzentrationsverteilung in der Atmosphäre:

$$W_r(x, y) = \int_{z=0}^{z_{\max}} \Lambda \cdot C_r^L(x, y, z) dz \quad (1)$$

Hier bedeuten:

$W_r(x, y)$ : Bodenkontaminationsrate durch das Radionuklid  $r$  infolge Niederschlag am Ort  $(x, y)$  in  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

$\Lambda$ : Auswaschfaktor in  $\text{s}^{-1}$

$z_{\max}$ : Obere Integrationsgrenze zur Berechnung der Bodenkontaminationsrate durch Niederschlag in m (Höhe 1500 m)

$C_r^L(x, y, z)$ : Aktivitätskonzentration des Radionuklids  $r$  in der Luft am Ort  $(x, y, z)$  in  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$

Es ist

$$\Lambda = \Lambda_0 \cdot \left(\frac{I}{I_0}\right)^k \quad (2)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$\Lambda_0$ : Stoffspezifischer Auswaschfaktor für die Niederschlagsintensität  $I_0$  in  $s^{-1}$ , siehe Anhang A3 Tabelle 8

$I$ : Niederschlagsintensität in  $mm \cdot h^{-1}$

$I_0$ : Niederschlagsintensität  $1 \text{ mm} \cdot h^{-1}$

$\kappa$ : Stoffspezifischer Auswaschexponent  $\kappa = 0,8$  für Schwebstoffe und Iod  
 $\kappa = 1,0$  für tritiiertes Wasser

### 6.2.3 Kontamination von Boden und Pflanzen

Die Bodenkontamination ergibt sich als Summe der trocken und nass abgelagerten Aktivität. Die flächenbezogene Bodenkontamination durch das Radionuklid  $r$  am Ende des  $k$ -ten Betriebsjahres ist:

$$B_{k,r} = \frac{1}{\lambda_r} \cdot [1 - \exp(-\lambda_r \cdot t_{1a})] \cdot \sum_{i=1}^k [\bar{F}_{i,r}(x,y) + \bar{W}_{i,r}(x,y)] \cdot \exp[-(k-i) \cdot \lambda_r \cdot t_{1a}] \quad (3)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$i$ : Index zur Kennzeichnung des Betriebsjahres

$B_{k,r}$ : Flächenbezogene Bodenkontamination durch das Radionuklid  $r$  am Ende des  $k$ -ten Betriebsjahres in  $Bq \cdot m^{-2}$

$\lambda_r$ : Physikalische Zerfallskonstante des Radionuklids  $r$  in  $s^{-1}$

$\bar{F}_{i,r}(x,y)$ : Mittlere Bodenkontaminationsrate durch das Radionuklid  $r$  infolge trockener Ablagerung am Ort  $(x,y)$  während des  $i$ -ten Betriebsjahres in  $Bq \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$

$\bar{W}_{i,r}(x,y)$ : Mittlere Bodenkontaminationsrate durch das Radionuklid  $r$  infolge Niederschlag am Ort  $(x,y)$  während des  $i$ -ten Betriebsjahres in  $Bq \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$

$t_{1a}$ : Zeitdauer eines Jahres in  $s$ ;  $t_{1a} = 3,15 \cdot 10^7 \text{ s}$

Radionuklide werden aus dem Wurzelbereich der Pflanzen in tiefere Bodenschichten transportiert. Das Verweilen der Radionuklide im Wurzelbereich (Pflugschartiefe 20 cm bei Ackerboden, 10 cm bei Weideboden) wird durch eine elementspezifische Verweilkonstante berücksichtigt. Die spezifische Aktivität  $C_{k,r}^m$  des Radionuklids  $r$  im Wurzelbereich am Ende des  $k$ -ten Betriebsjahres ist analog zu Gleichung (3):

$$C_{k,r}^m = \frac{1}{p^m \cdot \lambda_{\text{eff},r}^{\text{Bo}}} \cdot [1 - \exp(-\lambda_{\text{eff},r}^{\text{Bo}} \cdot t_{1a})] \cdot \sum_{i=1}^k [\bar{F}_{i,r}(x,y) + \bar{W}_{i,r}(x,y)] \cdot \exp[-(k-i) \cdot \lambda_{\text{eff},r}^{\text{Bo}} \cdot t_{1a}] \quad (4)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$C_{k,r}^m$ : Spezifische Aktivität des Radionuklids r im Wurzelbereich am Ende des k-ten Betriebsjahres in  $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  Trockenmasse; m = A für Ackerboden, m = Wd für Weideboden

$p^m$ : Flächentrockenmasse des Bodens in  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ; m = A für Ackerboden, m = Wd für Weideboden

$\lambda_{\text{eff},r}^{\text{Bo}}$ : Effektive Verweilkonstante für das Verbleiben des Radionuklids r im Wurzelbereich der Pflanzen in  $\text{s}^{-1}$

$$\lambda_{\text{eff},r}^{\text{Bo}} = \lambda_r + \lambda_{m,r}$$

$\lambda_{m,r}$ : Verweilkonstante des Radionuklids r im Wurzelbereich aufgrund des Transports in tiefere Bodenschichten in  $\text{s}^{-1}$ , siehe Anhang A3 Tabelle 3

Für alle Radionuklide außer Tritium (H-3), Kohlenstoff 11 (C-11) und Kohlenstoff 14 (C-14) ergibt sich die spezifische Aktivität in und auf der Pflanze am Ende des k-ten Betriebsjahres aus den Beiträgen der direkt auf der Pflanze abgelagerten Aktivität und der über die Wurzel aufgenommenen Aktivität:

$$C_{k,r}^n = [\bar{F}_{k,r}^S(x,y) + f_W \cdot \bar{W}_{k,r}^S(x,y)] \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_{\text{eff},r}^{\text{Pf}} \cdot t_e^n)}{Y^n \cdot \lambda_{\text{eff},r}^{\text{Pf}}} + C_{k,r}^m \cdot T_r^n \quad (5)$$

mit  $C_{k,r}^m$  gemäß Gleichung (4).

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

n: Index zur Kennzeichnung der Pflanzen, siehe Anhang A3 Tabelle 3

m: Index zur Kennzeichnung des Bodens, siehe Anhang A3 Tabelle 3

$C_{k,r}^n$ : Spezifische Aktivität des Radionuklids r in und auf der Pflanze der Gruppe n am Ende des k-ten Betriebsjahres in  $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  Feuchtmasse

$\bar{F}_{k,r}^S(x,y)$ : Mittlere Kontaminationsrate durch das Radionuklid r infolge trockener Ablagerung am Ort (x,y) während des Sommerhalbjahrs vom 1. Mai bis 31. Oktober im k-ten Betriebsjahr in  $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

$\bar{W}_{k,r}^S(x,y)$ : Mittlere Kontaminationsrate durch das Radionuklid r infolge Niederschlag am Ort (x,y) während des Sommerhalbjahrs vom 1. Mai bis 31. Oktober im k-ten Betriebsjahr in  $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

- $f_W$ : Anteil der durch Niederschlag oder infolge Beregnung auf der Pflanze abgelagerten Aktivität, siehe Anhang A3 Tabelle 3
- $\lambda_{\text{eff},r}^{\text{Pf}}$ : Effektive Verweilkonstante für das Verbleiben des Radionuklids  $r$  auf der Pflanze in  $s^{-1}$
- $$\lambda_{\text{eff},r}^{\text{Pf}} = \lambda_r + \lambda_V$$
- $\lambda_V$ : Verweilkonstante für das Verbleiben des Radionuklids  $r$  auf der Pflanze in  $s^{-1}$ , siehe Anhang A3 Tabelle 3
- $\lambda_r$ : Physikalische Zerfallskonstante des Radionuklids  $r$  in  $s^{-1}$
- $t_e^n$ : Kontaminationszeit für Pflanzen der Gruppe  $n$  während der Wachstumsperiode in  $s$ , siehe Anhang A3 Tabelle 3
- $Y^n$ : Ertrag bzw. Bewuchsdichte von Pflanzen der Gruppe  $n$  in  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$  Feuchtmasse, siehe Anhang A3 Tabelle 3
- $T_r^n$ : Transferfaktor vom Boden zur Pflanze der Gruppe  $n$  für das Radionuklid  $r$  in  $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  Feuchtmasse pro  $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  Trockenboden, jeweils für pflanzliche Nahrungsmittel ( $n = \text{Pf}, \text{Bl}$ ) oder für Weidepflanzen ( $n = \text{Wd}$ ), siehe Anhang A3 Tabelle 4

Zur Berücksichtigung der Bildung radioaktiver Tochternuklide wird auf Anhang A7 verwiesen.

Die Gleichungen (4) und (5) sind für die prospektive und retrospektive Berechnung der spezifischen Aktivitäten im Wurzelbereich sowie auf und in der Pflanze heranzuziehen. Für die prospektive Berechnung ist das auf die zu erwartende Gesamtdauer der Emissionen (Betriebsphase und gegebenenfalls auch Nach- **und Rest**betriebsphase), mindestens aber auf eine Dauer von 50 Jahren folgende Kalenderjahr zu betrachten, sofern aufgrund der Besonderheiten der Anlage oder Einrichtung nicht von einer kürzeren Gesamtdauer der Emissionen ausgegangen werden kann. Für die retrospektive Berechnung ist die tatsächliche Gesamtdauer der Emissionen bis zum betrachteten Zeitraum anzusetzen.

Bei der Berechnung der spezifischen Aktivität von H-3 in den Pflanzen ist die Wasseraufnahme aus der Luftfeuchte (einschließlich Kondensation) und den Niederschlägen zu berücksichtigen. Es wird bei der Aufnahme von Tritium in Form von tritiiertem Wasser angenommen, dass es in die Pflanzen, bezogen auf Wasserstoff (H-1), in dem Verhältnis aufgenommen wird, wie es in der Luft oder in der Bodenfeuchte vorliegt. Die spezifische Aktivität von H-3 in der Pflanze ist nach der folgenden Formel zu berechnen:

$$C_{k,H-3}^n = f_H^{\text{Pf}} \cdot \left( f_L \cdot \frac{\bar{C}_{k,H-3}^S}{\bar{\Psi}^S} + f_N \cdot \frac{t_{1a}}{2} \cdot \frac{\bar{W}_{k,H-3}^S}{J_k^S \cdot \rho_W} \right) \quad (6)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

- $C_{k,H-3}^n$ : Spezifische Aktivität von Tritium in Pflanzen der Gruppe  $n$  am Ende des  $k$ -ten Betriebsjahres in  $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  Feuchtmasse

- $f_H^{Pf}$ : Massenanteil des Wassers in der Pflanze (dimensionslos), siehe Anhang A3 Tabelle 3
- $\bar{C}_{k,H-3}^S$ : Mittlere Aktivitätskonzentration von H-3 in der bodennahen Luft während des Sommerhalbjahrs vom 1. Mai bis 31. Oktober im k-ten Betriebsjahr in  $Bq \cdot m^{-3}$
- $\bar{\Psi}^S$ : Mittlere absolute Luftfeuchte während der Wachstumsperiode am betrachteten Ort in  $kg \cdot m^{-3}$ , siehe Anhang A3 Tabelle 3
- $\bar{W}_{k,H-3}^S$ : Mittlere Kontaminationsrate durch Niederschlag von tritiiertem Wasser während des Sommerhalbjahrs vom 1. Mai bis 31. Oktober im k-ten Betriebsjahr in  $Bq \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$
- $J_k^S$ : Mittlere Niederschlagshöhe für das Sommerhalbjahr des k-ten Betriebsjahres in  $l \cdot m^{-2}$
- $f_L, f_N$ : Anteil des Tritiuminventars in der Pflanze, der aus der Luftfeuchte ( $f_L$ ) bzw. aus den Niederschlägen ( $f_N$ ) stammt (dimensionslos), siehe Anhang A3 Tabelle 3
- $\rho_W$ : Dichte des Wassers in  $kg \cdot l^{-1}$ , siehe Anhang A3 Tabelle 3

Die Aufnahme von C-14 in die Pflanzen erfolgt durch Photosynthese. Die Kohlenstoff-Isotope (C-14 und stabile Kohlenstoff-Isotope) werden in dem gleichen Verhältnis in die Pflanzen eingebaut, wie sie in der Luft in Form von  $CO_2$  am betrachteten Ort vorliegen. Die spezifische Aktivität in den Pflanzen ist zu berechnen nach:

$$C_{k,C-14}^n = \bar{C}_{k,C-14}^S \cdot \frac{f_C^n}{C_C^L} \quad (7)$$

Hier bedeuten:

- $C_{k,C-14}^n$ : Spezifische Aktivität von C-14 in Pflanzen der Gruppe n am Ende des k-ten Betriebsjahres in  $Bq \cdot kg^{-1}$  Feuchtmasse
- $\bar{C}_{k,C-14}^S$ : Mittlere Aktivitätskonzentration von C-14 in Form von  $CO_2$  in der bodennahen Luft während des Sommerhalbjahrs vom 1. Mai bis 31. Oktober im k-ten Betriebsjahr in  $Bq \cdot m^{-3}$
- $f_C^n$ : Massenanteil des Kohlenstoffs in der Pflanze (dimensionslos), siehe Anhang A3 Tabelle 3
- $C_C^L$ : Kohlenstoffkonzentration der Luft in  $kg \cdot m^{-3}$ , siehe Anhang A3 Tabelle 3

Gleichung (7) ist bei kurzzeitigen Emissionen sowie bei C-11 nicht anzuwenden. Die spezifische Aktivität von C-11 in Pflanzen kann unberücksichtigt bleiben, da wegen der kurzen physikalischen Halbwertszeit die Exposition durch Ingestion gegenüber der Exposition durch Inhalation vernachlässigbar ist.

## 7 Ausbreitung radioaktiver Stoffe und Umgebungskontamination infolge von Ableitungen mit Wasser

### 7.1 Ausbreitung radioaktiver Stoffe in Oberflächengewässern

Radioaktive Stoffe, die mit Wasser abgeleitet werden, gelangen oft über das kommunale Abwasser in Oberflächengewässer. Die Verdünnung durch die Vermischung des abgeleiteten Wassers mit dem kommunalen Abwasser ist bei der prospektiven Berechnung der Exposition nicht zu betrachten, sie kann jedoch bei der retrospektiven Berechnung der Exposition berücksichtigt werden.

#### 7.1.1 Anwendungsbereich der Rechenmodelle

Die Rechenmodelle gelten für die Einleitung radioaktiver Stoffe in fließende und stehende Gewässer.

Für die Berechnungen werden die Mündungen und Tidebereiche der Flüsse Elbe, Ems und Weser wie folgt festgelegt:

Fluss	Mündung	Tidebereich ab
Elbe	Brunsbüttel (NOK)	Stauwehr Geesthacht
Ems	Emden	Wehranlage Herbrum
Weser	Bremerhaven	Bremer Weserwehr

Bei Einleitung in den Tidebereich von Fließgewässern sind spezielle Parameter zu berücksichtigen, die bei den Modellen angegeben sind (siehe Abschnitt 7.1.2 b)).

#### 7.1.2 Ausbreitung radioaktiver Stoffe in Fließgewässern

Die Konzentration  $C_r^W$  des Radionuklids  $r$  im Fließgewässer ist für den jeweiligen Expositionspfad folgendermaßen zu berechnen:

$$C_r^W = a_w \cdot \frac{A_r}{Q} \cdot f_v \cdot \exp(-\lambda_r \cdot t_f) \quad (8)$$

Hier bedeuten:

$C_r^W$ : Aktivitätskonzentration des Radionuklids  $r$  im Fließgewässer in  $\text{Bq} \cdot \text{l}^{-1}$

$A_r$ : Jährlich abgeleitete Aktivität des Radionuklids  $r$  in  $\text{Bq}$

$a_w$ : Umrechnungsfaktor:  $3,2 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{l}^{-1}$

$Q$ : Abfluss der zu betrachtenden Anlage oder Einrichtung in  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .  $Q$  ist für Kernkraftwerke gleich dem Abfluss des Kühlwassers zu setzen, weil radioaktive Abwässer immer zuerst in den Kühlwasserstrom eingeleitet werden. Bei Kühlturbetrieb gibt es einen Strom von Abschlamm- und Nebenkühlwasser;  $Q$  ist gleich dessen Abfluss zu setzen.

- $f_v$ : Mischungsverhältnis zwischen Abfluss der zu betrachtenden Anlage oder Einrichtung und Abfluss des Fließgewässers am betrachteten Ort (dimensionslos)
- $\lambda_r$ : Physikalische Zerfallskonstante des Radionuklids  $r$  in  $s^{-1}$
- $t_f$ : Fließzeit zwischen Einleitungsstelle und betrachtetem Ort in  $s$

Für die prospektive Berechnung der Exposition sind alle mit Wasser abgeleiteten Radionuklide zu berücksichtigen. Hierbei ist von den Radionuklidgemischen auszugehen, deren Ableitung mit Wasser während der Betriebsphase und gegebenenfalls auch Nach- **und Rest**betriebsphase zu erwarten ist. Bei Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren ist für die Ableitung mit Wasser im Leistungsbetrieb das Radionuklidgemisch in Anhang A6.2 zugrunde zu legen. Für die Nach- **und Rest**betriebsphase von Kernkraftwerken ist von den Radionuklidgemischen auszugehen, deren Ableitung mit dem Wasser durch die Stilllegung, den sicheren Einschluss und den Abbau zu erwarten ist.

Für die retrospektive Berechnung der Exposition sind die gemessenen oder bilanzierten tatsächlichen Ableitungen mit Wasser zugrunde zu legen.

#### a) Einleitungen oberhalb der Tidegrenze

Von der Einleitungsstelle ausgehend bildet sich im Vorfluter stromabwärts eine Abwasserfahne aus, die sich allmählich mit dem Wasser des Vorfluters mischt. Direkt an der Einleitungsstelle beträgt  $f_v = 1$ , nach vollständiger Durchmischung ist:

$$f_v = \frac{Q}{MQ} \quad (9)$$

$MQ$  ist der mittlere Abfluss (Mittelwasser) in  $m^3 \cdot s^{-1}$  nach DIN 4049 Teil 3. Im Abstand  $x$  von der Einleitungsstelle in Fließrichtung ist das Mischungsverhältnis:

$$f_v = \begin{cases} \frac{Q}{MQ} \cdot P & \text{falls } \frac{Q}{MQ} \cdot P \leq 1 \\ 1 & \text{falls } \frac{Q}{MQ} \cdot P > 1 \end{cases} \quad (10)$$

Der dimensionslose Mischungskoeffizient  $P$  ist näherungsweise:

$$P = \begin{cases} \frac{56,8 \cdot (MQ)^{0,237}}{\sqrt{x}} & \text{falls } \frac{56,8 \cdot (MQ)^{0,237}}{\sqrt{x}} \geq 1 \\ 1 & \text{falls } \frac{56,8 \cdot (MQ)^{0,237}}{\sqrt{x}} < 1 \end{cases} \quad (11)$$

mit  $MQ$  in  $m^3 \cdot s^{-1}$  und  $x$  in  $m$ .

Für die Expositionspfade „Beregnung – Futterpflanze – Kuh – Milch“, „Beregnung – Futterpflanze – Tier – Fleisch“ und „Beregnung – Pflanze“ ist statt MQ der mittlere Abfluss für das Sommerhalbjahr SoMQ zu verwenden.

Für die prospektive und retrospektive Berechnung der Exposition wird auf Abschnitt 5 verwiesen. Für die Entfernung x der Entnahmestelle von der Einleitungsstelle in Fließrichtung ist bei der prospektiven Berechnung  $x = 100$  m, bei der retrospektiven Berechnung der tatsächliche Wert im Bezugszeitraum anzusetzen. Die Entnahmestelle ist die Stelle im Vorfluter, an der Wasser für die Verwendung als Trinkwasser, Tränkwasser oder Beregnungswasser entnommen wird.

Ist aufgrund der ökologischen Verhältnisse während der Betriebsphase und gegebenenfalls der Nach- und Restbetriebsphase der Anlage oder Einrichtung von einem abweichenden Mischungsverhältnis auszugehen, kann dieses der prospektiven Berechnung zugrunde gelegt werden. Ist aufgrund der örtlichen Besonderheiten im Bezugszeitraum von einem abweichenden Mischungsverhältnis auszugehen, ist dieses bevorzugt der retrospektiven Berechnung zugrunde zu legen.

#### b) Einleitungen unterhalb der Tidegrenze

Von der Einleitungsstelle kann sich, bedingt durch den Tideeinfluss, sowohl stromabwärts als auch stromaufwärts eine Abwasserfahne ausbilden. Da das Vermischungsverhältnis  $f_v$  in unmittelbarer Nähe der Einleitungsstelle stark von den örtlichen Gegebenheiten abhängt (bei Kernkraftwerken evtl. Rückführung kontaminierten Wassers in den Kühlkreislauf), kann es nur nach detaillierten ortsspezifischen Untersuchungen festgelegt werden. Es ist zulässig, das Mischungsverhältnis mit einem allgemein anerkannten hydrologischen Modell zu berechnen.

Für die maximale Vermischung des Abwassers stromabwärts kann nicht die gesamte vorbeiflutende Wassermenge in Ansatz gebracht werden, sondern nur der jeweilige Oberwasserzufluss, der bei der Berechnung der Vermischung als konstant und kontinuierlich anzusetzen ist:

$$f_v = \frac{Q}{MQ_0} \quad (12)$$

Hier ist  $MQ_0$  der mittlere Oberwasserzufluss in  $m^3 \cdot s^{-1}$  nach DIN 4049 Teil 3, das heißt der Abfluss von oberhalb der Tidegrenze.

Für die Expositionspfade "Beregnung – Futterpflanze – Kuh – Milch", "Beregnung – Futterpflanze – Tier – Fleisch" und "Beregnung – Pflanze" ist statt  $MQ_0$  der mittlere Oberwasserzufluss für das Sommerhalbjahr  $SoMQ_0$  zu verwenden.

Für die prospektive und retrospektive Berechnung der Exposition wird auf Abschnitt 5 verwiesen. Für die Entfernung x der Entnahmestelle von der Einleitungsstelle stromabwärts ist bei der prospektiven Berechnung  $x = 100$  m, bei der retrospektiven Berechnung der tatsächliche Wert im Bezugszeitraum anzusetzen.

### 7.1.3 Ausbreitung radioaktiver Stoffe in stehenden Gewässern

Bei der Einleitung von Radionukliden in stehende Gewässer bis maximal 400 km<sup>2</sup> wird eine vollständige Durchmischung angenommen. Die Konzentration  $C_{k,r}^W$  des Radionuklids  $r$  im stehenden Gewässer am Ende des  $k$ -ten Betriebsjahres ist für den jeweiligen Expositionspfad nach folgender Gleichung rekursiv zu berechnen:

$$C_{k,r}^W = C_{k-1,r}^W \cdot \exp(-\lambda_{\text{eff},k,r}^{\text{Gew}} \cdot t_{1a}) + \frac{1}{\lambda_{\text{eff},k,r}^{\text{Gew}}} \cdot \frac{1}{V_{\text{Gew}}} \cdot \left( \sum_j C_{k,r}^j \cdot MQ_k^j + \frac{A_r}{1000 \cdot t_{1a}} \right) \cdot [1 - \exp(-\lambda_{\text{eff},k,r}^{\text{Gew}} \cdot t_{1a})] \quad (13)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeutet hier:

$j$ : Index zur Kennzeichnung des Zuflusses des stehenden Gewässers

$C_{k,r}^W$ : Aktivitätskonzentration des Radionuklids  $r$  im stehenden Gewässer am Ende des  $k$ -ten Betriebsjahres in  $\text{Bq} \cdot \text{l}^{-1}$ .  $C_{0,r}^W$  ist die Aktivitätskonzentration des Radionuklids  $r$  im stehenden Gewässer zu Beginn der Betriebsphase (Beginn der Einleitung).

$\lambda_{\text{eff},k,r}^{\text{Gew}}$ : Effektive Verweilkonstante für das Verbleiben des Radionuklids  $r$  im stehenden Gewässer während des  $k$ -ten Betriebsjahres in  $\text{s}^{-1}$

$$\lambda_{\text{eff},k,r}^{\text{Gew}} = \lambda_r + \frac{1}{V_{\text{Gew}}} \sum_j MQ_k^j$$

$V_{\text{Gew}}$ : Volumen des stehenden Gewässers in  $\text{m}^3$

$MQ_k^j$ : Mittlerer Abfluss (Mittelwasser) des Zuflusses  $j$  während des  $k$ -ten Betriebsjahres in  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

$C_{k,r}^j$ : Mittlere Aktivitätskonzentration des Radionuklids  $r$  im Zufluss  $j$  während des  $k$ -ten Betriebsjahres in  $\text{Bq} \cdot \text{l}^{-1}$

$t_{1a}$ : Zeitdauer eines Jahres in  $\text{s}$ ;  $t_{1a} = 3,15 \cdot 10^7 \text{ s}$

Die Aktivitätskonzentration des Bodensees (Obersee) ist mit einem allgemein anerkannten hydrologischen Modell oder unter der Annahme einer vollständigen Durchmischung zu berechnen.

Für die prospektive Berechnung der Exposition sind alle mit Wasser abgeleiteten Radionuklide zu berücksichtigen. Hierbei ist von den Radionuklidgemischen auszugehen, deren Ableitung mit Wasser während der Betriebsphase und gegebenenfalls auch Nach- **und Rest**betriebsphase zu erwarten ist.

Für die retrospektive Berechnung der Exposition sind die gemessenen oder bilanzierten tatsächlichen Ableitungen mit Wasser zugrunde zu legen.

Für weitere Einzelheiten zur die prospektiven und retrospektiven Berechnung der Exposition wird auf Abschnitt 5 verwiesen.

## 7.2 Umgebungskontamination infolge von Ableitungen mit Wasser

Das Gleichgewicht im Wasser-Schwebstoff-System stellt sich nicht sofort ein. Die zeitabhängige Anlagerung der Radionuklide an Schwebstoffe wird mit der elementspezifischen Anlagerungskonstante  $\lambda_{\text{Anl},r}$  beschrieben. Für die spezifische Aktivität in Schwebstoffen  $C_r^{\text{Sch}}$  gilt:

$$C_r^{\text{Sch}} = \begin{cases} K_{\text{Se},r} \cdot [1 - \exp(-\lambda_{\text{Anl},r} \cdot t_f)] \cdot C_r^{\text{W}} & \text{falls } T_{\text{Anl},r} > 0 \\ K_{\text{Se},r} \cdot C_r^{\text{W}} & \text{falls } T_{\text{Anl},r} = 0 \end{cases} \quad (14)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeutet hier:

$C_r^{\text{Sch}}$ : Spezifische Aktivität des Radionuklids  $r$  in Schwebstoffen in  $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  Trockenmasse

$K_{\text{Se},r}$ : Konzentrationsfaktor für Schwebstoffe für das Radionuklid  $r$  in  $\text{l} \cdot \text{kg}^{-1}$ , siehe Anhang A3 Tabelle 6

$\lambda_{\text{Anl},r}$ : Anlagerungskonstante des Radionuklids  $r$  an Schwebstoffe in  $\text{s}^{-1}$ , siehe Anhang A3 Tabelle 6

$$\lambda_{\text{Anl},r} = \frac{\ln 2}{T_{\text{Anl},r}}$$

$T_{\text{Anl},r}$ : Halbwertszeit für die Anlagerung des Radionuklids  $r$  an Schwebstoffe in Oberflächengewässern in  $\text{s}$ , siehe Anhang A3 Tabelle 6

Die Reichweite des Nahbereiches bzw. der Beginn des Fernbereiches werden bei Fließgewässern durch die Kontaktzeit der Radionuklide mit den Schwebstoffen von der Einleitungsstelle bis zum betrachteten Ort bestimmt (siehe Abschnitt 3) und sind damit abhängig von der Fließgeschwindigkeit des Vorfluters. Im Nahbereich eines Fließgewässers ist  $t_f = 10 \text{ h}$ , im Fernbereich eines Fließgewässers und bei stehenden Oberflächengewässern  $t_f = 5 \text{ d}$  zu setzen.

Für die prospektive Berechnung ist das auf die zu erwartende Gesamtdauer der Emissionen (Betriebsphase und gegebenenfalls auch Nach- **und Rest**betriebsphase), mindestens aber auf eine Dauer von 50 Jahren folgende Kalenderjahr zu betrachten, sofern aufgrund der Besonderheiten der Anlage oder Einrichtung nicht von einer kürzeren Gesamtdauer der Emissionen ausgegangen werden kann. Für die retrospektive Berechnung ist die tatsächliche Gesamtdauer der Emissionen bis zum betrachteten Zeitraum anzusetzen.

### 7.2.1 Kontamination von Ufersediment

Zur Berechnung der Kontamination des Ufersediments kann vereinfachend von einer konstanten Sedimentationsgeschwindigkeit ausgegangen werden. Die flächenbezogene Aktivität des Radionuklids  $r$  im Ufersediment am Ende des  $k$ -ten Betriebsjahres ist:

$$O_{k,r}^{\text{U}} = \frac{1}{\lambda_r} \cdot [1 - \exp(-\lambda_r \cdot t_{1a})] \cdot \sum_{i=1}^k \rho_{\text{Se}} \cdot v_{\text{Se}} \cdot \bar{C}_{i,r}^{\text{Sch}} \cdot \exp[-(k-i) \cdot \lambda_r \cdot t_{1a}] \quad (15)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$O_{k,r}^U$ : Flächenbezogene Aktivität des Radionuklids  $r$  im Ufersediment am Ende des  $k$ -ten Betriebsjahres in  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$

$\rho_{\text{Se}}$ : Dichte des Sediments in  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$  Trockenmasse, siehe Anhang A3 Tabelle 3

$v_{\text{Se}}$ : Sedimentationsgeschwindigkeit in  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , siehe Anhang A3 Tabelle 3

$\bar{C}_{i,r}^{\text{Sch}}$ : Mittlere spezifische Aktivität des Radionuklids  $r$  in Schwebstoffen im  $i$ -ten Betriebsjahr in  $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  Trockenmasse

Die mittlere spezifische Aktivität  $\bar{C}_{i,r}^{\text{Sch}}$  des Radionuklids  $r$  in Schwebstoffen im  $i$ -ten Betriebsjahr ist nach Gleichung (14) zu berechnen. Die Verlagerung der Radionuklide in tiefere Bodenschichten bleibt unberücksichtigt. Mit Gleichung (15) sind für die langfristige Betrachtung auch sich periodisch wiederholende Ablagerungen, wie z. B. durch jährliche Überschwemmungen, mit abgedeckt.

Zur Berücksichtigung der Bildung radioaktiver Tochternuklide wird auf Anhang A7 verwiesen.

Für die prospektive Berechnung der Kontamination ist das auf die zu erwartende Gesamtdauer der Emissionen (Betriebsphase und gegebenenfalls auch Nach- **und Rest**betriebsphase), mindestens aber auf eine Dauer von 50 Jahren folgende Kalenderjahr zu betrachten, sofern aufgrund der Besonderheiten der Anlage oder Einrichtung nicht von einer kürzeren Gesamtdauer der Emissionen ausgegangen werden kann. Für die retrospektive Berechnung ist die tatsächliche Gesamtdauer der Emissionen zugrunde zu legen.

### 7.2.2 Kontamination des Bodens in Überschwemmungsgebieten

Zur Berechnung der Kontamination des Bodens in Überschwemmungsgebieten wird vom Modellansatz in Abschnitt 7.2.1 ausgegangen. Zusätzlich wird das Eindringen der Radionuklide in tiefere Bodenschichten infolge regelmäßiger Überflutungen durch die effektive Verweilkonstante  $\lambda_{\text{eff},r}^{\text{Ü}}$  berücksichtigt. Die flächenbezogene Aktivität des Radionuklids  $r$  in der oberen Bodenschicht auf Überschwemmungsgebieten am Ende des  $k$ -ten Betriebsjahres ist:

$$O_{k,r}^{\text{Ü}} = \frac{1}{\lambda_{\text{eff},r}^{\text{Ü}}} \cdot [1 - \exp(-\lambda_{\text{eff},r}^{\text{Ü}} \cdot t_{1a})] \cdot \sum_{i=1}^k \rho_{\text{Se}} \cdot v_{\text{Se}} \cdot \bar{C}_{i,r}^{\text{Sch}} \cdot \exp[-(k-i) \cdot \lambda_{\text{eff},r}^{\text{Ü}} \cdot t_{1a}] \quad (16)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$O_{k,r}^{\text{Ü}}$ : Flächenbezogene Aktivität des Radionuklids  $r$  in der oberen Bodenschicht auf Überschwemmungsgebieten am Ende des  $k$ -ten Betriebsjahres in  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$

$\lambda_{\text{eff},r}^{\text{Ü}}$ : Effektive Verweilkonstante für das Radionuklid  $r$  auf Überschwemmungsgebieten in  $\text{s}^{-1}$

$$\lambda_{\text{eff},r}^{\text{Ü}} = \lambda_r + \lambda_{\text{Ü}}$$

$\lambda_{ij}$ : Verweilkonstante zur Berücksichtigung des Eindringens der Radionuklide in tiefere Bodenschichten in Überschwemmungsgebieten in  $s^{-1}$ , siehe Anhang A3 Tabelle 3

Die mittlere spezifische Aktivität  $\bar{C}_{i,r}^{Sch}$  des Radionuklids  $r$  in Schwebstoffen im  $i$ -ten Betriebsjahr ist nach Gleichung (14) zu berechnen.

Zur Berücksichtigung der Bildung radioaktiver Tochternuklide wird auf Anhang A7 verwiesen.

Für die prospektive Berechnung der Kontamination ist das auf die zu erwartende Gesamtdauer der Emissionen (Betriebsphase und gegebenenfalls auch Nach- **und Rest**betriebsphase), mindestens aber auf eine Dauer von 50 Jahren folgende Kalenderjahr zu betrachten, sofern aufgrund der Besonderheiten der Anlage oder Einrichtung nicht von einer kürzeren Gesamtdauer der Emissionen ausgegangen werden kann. Für die retrospektive Berechnung ist die tatsächliche Gesamtdauer der Emissionen zugrunde zu legen.

### 7.2.3 Kontamination des Sediments von Spülfeldern

Zur Berechnung der Kontamination von Spülfeldern wird davon ausgegangen, dass sich Sediment zwischen zwei Ausbaggerungen im Abstand von  $k_a$  Jahren kontinuierlich im Oberflächengewässer ablagert. Die mittlere spezifische Aktivität  $\bar{C}_{k_a,r}^{Se}$  der Sedimentschicht zum Zeitpunkt des Ausbaggerns (nach einer Sedimentationsdauer von  $k_a$  Jahren im Oberflächengewässer) ist:

$$\bar{C}_{k_a,r}^{Se} = \frac{1}{\lambda_r \cdot k_a \cdot t_{1a}} \cdot [1 - \exp(-\lambda_r \cdot t_{1a})] \cdot \sum_{i=1}^{k_a} \bar{C}_{i,r}^{Sch} \cdot \exp[-(k_a - i) \cdot \lambda_r \cdot t_{1a}] \quad (17)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$\bar{C}_{k_a,r}^{Se}$ : Die mittlere spezifische Aktivität des Radionuklids  $r$  in der Sedimentschicht zum Zeitpunkt des Ausbaggerns in  $Bq \cdot kg^{-1}$  Trockenmasse

$k_a$ : Anzahl der Jahre zwischen zwei Ausbaggerungen (dimensionslos), ortsspezifisch

Die mittlere spezifische Aktivität  $\bar{C}_{i,r}^{Sch}$  des Radionuklids  $r$  in Schwebstoffen im  $i$ -ten Betriebsjahr ist nach Gleichung (14) zu berechnen.

Zur Berücksichtigung der Bildung radioaktiver Tochternuklide wird auf Anhang A7 verwiesen.

Für die prospektive Berechnung der Kontamination ist die ortsspezifisch zu erwartende Zeit zwischen zwei Ausbaggerungen zu betrachten. Für die retrospektive Berechnung ist die tatsächliche Zeit zwischen zwei Ausbaggerungen zugrunde zu legen.

### 7.2.4 Kontamination von Boden und Pflanzen infolge Beregnung

Die Beregnung landwirtschaftlicher Flächen während der Vegetationsperiode (Sommerhalbjahr) führt zur Bodenkontamination. Der Transport der Radionuklide aus dem Wurzelbereich (Pflugschartiefe 20

cm bei Ackerboden, 10 cm bei Weideboden) wird durch eine elementspezifische Verweilkontante berücksichtigt. Die spezifische Aktivität  $C_{k,r}^m$  des Radionuklids  $r$  im Wurzelbereich am Ende des  $k$ -ten Betriebsjahres ist:

$$C_{k,r}^m = \frac{1}{p^m \cdot \lambda_{\text{eff},r}^{\text{Bo}}} \cdot [1 - \exp(-0,5 \cdot \lambda_{\text{eff},r}^{\text{Bo}} \cdot t_{1a})] \cdot \sum_{i=1}^k W_k \cdot \bar{C}_{i,r}^W \cdot \exp[-(k-i) \cdot \lambda_{\text{eff},r}^{\text{Bo}} \cdot t_{1a}] \quad (18)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$W_k$ : Berechnungsrate während der Weidezeit und der Wachstumszeit von pflanzlichen Nahrungsmitteln im  $k$ -ten Betriebsjahr in  $\text{l} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

$\bar{C}_{i,r}^W$ : Mittlere Aktivitätskonzentration des Radionuklids  $r$  im Berechnungswasser während des  $i$ -ten Betriebsjahres in  $\text{Bq} \cdot \text{l}^{-1}$

Die mittlere Aktivitätskonzentration des Radionuklids  $r$  im Berechnungswasser während des  $i$ -ten Betriebsjahres ist nach den Gleichungen (8) oder (13) zu berechnen.

Für alle Radionuklide außer Tritium (H-3), Kohlenstoff 11 (C-11) und Kohlenstoff 14 (C-14) ergibt sich die spezifische Aktivität in und auf der Pflanze am Ende des  $k$ -ten Betriebsjahres aus den Beiträgen der direkt auf der Pflanze abgelagerten Aktivität und der über die Wurzel aufgenommenen Aktivität:

$$C_{k,r}^n = W_k \cdot \bar{C}_{k,r}^W \cdot f_W \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_{\text{eff},r}^{\text{Pf}} \cdot t_W^n)}{Y^n \cdot \lambda_{\text{eff},r}^{\text{Pf}}} + C_{k,r}^m \cdot T_r^n \quad (19)$$

mit  $C_{k,r}^m$  gemäß Gleichung (18).

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeutet hier:

$t_W^n$ : Zeitdauer, während der Pflanzen der Gruppe  $n$  während der Wachstumsperiode infolge Beregnung oberirdisch kontaminiert werden, in  $s$ , siehe Anhang A3 Tabelle 3

Zur Berücksichtigung der Bildung radioaktiver Tochternuklide wird auf Anhang A7 verwiesen.

Die Gleichungen (18) und (19) sind für die prospektive und retrospektive Berechnung der spezifischen Aktivitäten im Wurzelbereich sowie auf und in der Pflanze heranzuziehen. Für die prospektive Berechnung der Exposition ist das auf die zu erwartende Gesamtdauer der Emissionen (Betriebsphase und gegebenenfalls auch Nach- und Restbetriebsphase), mindestens aber auf eine Dauer von 50 Jahren folgende Kalenderjahr zugrunde zu legen, sofern aufgrund der Besonderheiten der Anlage oder Einrichtung nicht von einer kürzeren Gesamtdauer der Emissionen ausgegangen werden kann. Für die retrospektive Berechnung der Exposition ist die tatsächliche Gesamtdauer der Emissionen bis zum betrachteten Zeitraum anzusetzen.

Anstelle von Gleichung (19) ist für Tritium in Form tritiierten Wassers die spezifische Aktivität  $C_{k,H-3}^n$  in pflanzlichen Nahrungsmitteln außer Blattgemüse, in Blattgemüse und in Weidepflanzen gleich der

mittleren Aktivitätskonzentration  $\bar{C}_{k,H-3}^W$  des Berechnungswassers während des k-ten Betriebsjahres zu setzen.

Anstelle von Gleichung (19) ist die spezifische Aktivität von C-14 in pflanzlichen Nahrungsmitteln außer Blattgemüse, in Blattgemüse und in Weidepflanzen wie folgt zu berechnen:

$$C_{k,C-14}^n = \frac{W_k \cdot \bar{C}_{k,C-14}^W \cdot f_C^n}{V_C} \quad (20)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$C_{k,C-14}^n$ : Spezifische Aktivität von C-14 in pflanzlichen Nahrungsmitteln außer Blattgemüse (n = Pf), in Blattgemüse (n = Bl) und in Weidepflanzen (n = Wd) in  $Bq \cdot kg^{-1}$  Pflanzen-Feuchtmasse

$f_C^n$ : Massenanteil des Kohlenstoffs in Pflanzen (dimensionslos), siehe Anhang A3 Tabelle 3

$V_C$ : Assimilationsrate in  $kg \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$ , siehe Anhang A3 Tabelle 3

Die spezifische Aktivität von C-11 kann wegen der kurzen physikalischen Halbwertszeit unberücksichtigt bleiben, sofern nur ein vernachlässigbarer Beitrag zur Exposition zu erwarten ist.

### 7.2.5 Kontamination von Pflanzen auf Überschwemmungsgebieten

Bei der landwirtschaftlichen Nutzung von Überschwemmungsgebieten ergibt sich die spezifische Aktivität in der Pflanze am Ende des k-ten Betriebsjahres aus der über die Wurzel aufgenommenen Aktivität:

$$C_{k,r}^n = \frac{O_{k,r}^{\ddot{u}}}{p^m} \cdot T_r^n \quad (21)$$

mit  $O_{k,r}^{\ddot{u}}$  gemäß Gleichung (16).

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeutet hier:

$T_r^n$ : Transferfaktor vom Boden zur Pflanze für das Radionuklid r in  $Bq \cdot kg^{-1}$  Feuchtmasse pro  $Bq \cdot kg^{-1}$  Trockenboden, jeweils für pflanzliche Nahrungsmittel (n = Pf, Bl) oder für Weidepflanzen (n = Wd), siehe Anhang A3 Tabelle 4

## 8 Exposition des Menschen infolge der Ableitung mit Luft

### 8.1 Expositionspfade

Bei der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft sind folgende Expositionspfade zu berücksichtigen:

Zur Berechnung der äußeren Exposition:

1. Exposition durch Betastrahlung innerhalb der Abluftfahne (Betasubmersion)
2. Exposition durch Gammastrahlung aus der Abluftfahne (Gammasubmersion)
3. Exposition durch Gammastrahlung der am Boden abgelagerten radioaktiven Stoffe (Gammabodenstrahlung)

Zur Berechnung der inneren Exposition:

4. Exposition durch Aufnahme radioaktiver Stoffe mit der Atemluft (Inhalation)
5. Exposition durch Aufnahme radioaktiver Stoffe mit Lebensmitteln (Ingestion) auf dem Weg
  - 5.1. Luft – Pflanze
  - 5.2. Luft – Futterpflanze – Kuh – Milch
  - 5.3. Luft – Futterpflanze – Tier – Fleisch
  - 5.4. Luft – Muttermilch
  - 5.5. Luft – Nahrung – Muttermilch

### 8.2 Aufenthaltsorte der repräsentativen Person

Bei der Berechnung der Exposition sind die Stellen zugrunde zu legen, an denen sich die höchsten effektiven Dosen ergeben. Dabei sind für den Aufenthalt der repräsentativen Person die Stellen im Freien und in Gebäuden zugrunde zu legen, an denen jeweils die Summe der effektiven Dosis aus äußerer Exposition und der effektiven Folgedosis aus Inhalation am höchsten ist. Hierbei ist für die äußere Exposition sowohl die äußere Exposition infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft allein als auch die Summe der äußeren Exposition infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft und der äußeren Exposition durch ionisierende Strahlung aus Anlagen und Einrichtungen zu betrachten. Bei der Festlegung der Aufenthaltsorte der repräsentativen Person in Gebäuden und im Freien ist wie folgt vorzugehen:

Beim Aufenthalt in Gebäuden, in denen mit radioaktiven Stoffen umgegangen oder ionisierende Strahlung erzeugt wird, sind die Stellen zu betrachten, an denen das Produkt aus der zeitlich gemittelten Ortsdosisleistung und der Aufenthaltsdauer aufgrund der geplanten oder tatsächlichen Nutzung des Gebäudes maximal wird. An diesen Stellen ist auszuschließen, dass infolge einer kurzzeitigen äußeren Exposition durch ionisierende Strahlung die Dosisgrenzwerte für die Bevölkerung überschritten werden.

Beim Aufenthalt im Freien kann die ungünstigste Einwirkungsstelle auf einer Fläche liegen, auf der ein Daueraufenthalt während der Betriebsphase und gegebenenfalls auch Nach- **und Rest**betriebsphase ausgeschlossen ist. In diesem Fall kann die gesamte Aufenthaltsdauer im Freien nach Anhang A4 Tabelle 12 aufgeteilt werden. Für die ungünstigste Einwirkungsstelle, an der ein Daueraufenthalt

ausgeschlossen ist, ist eine konservative Aufenthaltsdauer anzusetzen. Für die verbleibende Aufenthaltsdauer im Freien ist die ungünstigste Einwirkungsstelle zu betrachten, an der während der Betriebsphase und gegebenenfalls auch Nach- **und Rest**betriebsphase ein Daueraufenthalt nicht ausgeschlossen ist.

Für die prospektive Berechnung der Exposition sind die Nutzungsmöglichkeiten zugrunde zu legen.

Für die retrospektive Berechnung der Exposition sind die standortspezifischen Verhältnisse und die tatsächliche Nutzung im betrachteten Zeitraum zu betrachten. Bevorzugt sind die realen Aufenthaltszeiten und -orte der repräsentativen Person im Freien und in Gebäuden während des betrachteten Zeitraums zugrunde zu legen. Falls diese Informationen nicht mit vertretbarem Aufwand ermittelt werden können, sind ersatzweise die generischen Annahmen in Anhang A4 Tabelle 12 heranzuziehen.

### 8.3 Erzeugung von Lebensmitteln

Für die Erzeugung jeder Lebensmittelgruppe ist jeweils die Stelle auszuwählen, für die sich unter Berücksichtigung der Ernährungsgewohnheiten nach Anhang A4 Tabelle 10 die höchste effektive Folgedosis durch den Verzehr dieser Lebensmittelgruppe ergibt.

Für die prospektive Berechnung der Exposition sind die Nutzungsmöglichkeiten zugrunde zu legen.

Für die retrospektive Berechnung der Exposition sind die standortspezifischen Verhältnisse und die tatsächliche Nutzung im betrachteten Zeitraum zu betrachten. Insbesondere sind zur Berechnung der Ingestionsdosis (effektive Folgedosis) nur die Lebensmittelgruppen zu berücksichtigen, die im betrachteten Zeitraum in der Umgebung des Standortes erzeugt wurden.

### 8.4 Berechnung der äußeren Exposition

Die Jahresdosis (effektive Dosis) durch äußere Exposition durch das Radionuklid  $r$  ergibt sich bei der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Luft aus der Summe der Jahresdosen durch Gammasubmersion, Gammabodenstrahlung und Betasubmersion.

Es ist:

$$E_{a,r} = E_{\gamma,r} + E_{b,r} + E_{\beta,r} \quad (22)$$

Hierin bedeuten:

$E_{a,r}$ : Jahresdosis (effektive Dosis) durch äußere Exposition über den Luftpfad durch das Radionuklid  $r$  in Sv

$E_{\gamma,r}$ : Jahresdosis (effektive Dosis) durch Gammasubmersion durch das Radionuklid  $r$  in Sv

$E_{b,r}$ : Jahresdosis (effektive Dosis) durch Gammabodenstrahlung infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft durch das Radionuklid  $r$  in Sv

$E_{\beta,r}$ : Jahresdosis (effektive Dosis) durch Betasubmersion durch das Radionuklid  $r$  in Sv

Die Jahresdosis (effektive Dosis) durch äußere Exposition infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft ergibt sich zu:

$$E_{a,ges} = \sum_r E_{a,r} \quad (23)$$

Die Berechnung der drei Anteile an der Jahresdosis (effektive Dosis) durch äußere Exposition infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft durch das Radionuklid  $r$  ist wie in den Abschnitten 8.4.1 bis 8.4.3 beschrieben durchzuführen.

#### 8.4.1 Exposition durch Betastrahlung innerhalb der Abluftfahne (Betasubmersion)

Die Exposition durch Betasubmersion  $E_{\beta,r}$  ist der Aktivitätskonzentration des Radionuklids  $r$  in der Luft am betrachteten Ort ( $x, y, z = 0$ ) direkt proportional:

$$E_{\beta,r} = \bar{C}_r^L(x, y, z = 0) \cdot (t_{Fr} + f_{Ge,\beta} \cdot t_{Ge}) \cdot g_{\beta,r,eff} \quad (24)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$\bar{C}_r^L(x, y, z = 0)$ : Jahresmittel der Aktivitätskonzentration des Radionuklids  $r$  in der bodennahen Luft am Ort ( $x, y, z = 0$ ) in  $Bq \cdot m^{-3}$

$t_{Fr}$ : Jährliche Aufenthaltsdauer im Freien in s, siehe Anhang A4 Tabelle 12

$t_{Ge}$ : Jährliche Aufenthaltsdauer in Gebäuden in s, siehe Anhang A4 Tabelle 12

$f_{Ge,\beta}$ : Reduktionsfaktor für Betasubmersion bei Aufenthalt in Gebäuden (dimensionslos), siehe Anhang A4 Tabelle 12

$g_{\beta,r,eff}$ : Dosisleistungskoeffizient für die effektive Dosis durch Betasubmersion des Radionuklids  $r$  in  $Sv \cdot m^3 \cdot Bq^{-1} \cdot s^{-1}$ , siehe Anhang A2.1

Bilden sich während des Transports in der Atmosphäre Tochternuklide, so ist bei der Berechnung der effektiven Dosis der Dosisleistungskoeffizient des primären Radionuklides mit Berücksichtigung der Tochternuklide anzuwenden.

#### 8.4.2 Exposition durch Gammastrahlung aus der Abluftfahne (Gammastrahlung)

Bei der Berechnung der Exposition durch Gammastrahlung sind wegen der großen Reichweite der Gammastrahlung alle Beiträge aus der Abluftfahne zu berücksichtigen. Die Gammastrahlung ist gemäß der Richtlinie VDI 3945 Blatt 3 zu berechnen.

Der Dosisberechnung sind zwei Energiegruppen, oberhalb (Energiegruppe 1) und unterhalb von 0,2 MeV (Energiegruppe 2), zugrunde zu legen. Es ist zulässig, die Gammastrahlung für die Gamma-

Energien unter 0,2 MeV durch die Gammasubmersion für 0,1 MeV und für die höheren Gamma-Energien durch die Gammasubmersion für 1 MeV zu beschreiben. Damit ergibt sich für die Exposition durch Gammasubmersion  $E_{\gamma,r}$ :

$$E_{\gamma,r} = g_{\gamma,r,\text{eff}} \cdot [f_r \cdot \bar{G}_{\gamma 1} \cdot c_{\text{Geo},\gamma 1} + (1 - f_r) \cdot \bar{G}_{\gamma 2} \cdot c_{\text{Geo},\gamma 2}] \cdot (t_{\text{Fr}} + f_{\text{Ge},\gamma} \cdot t_{\text{Ge}}) \quad (25)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$g_{\gamma,r,\text{eff}}$ : Dosisleistungskoeffizient für die effektive Dosis durch Gammasubmersion des Radionuklids  $r$  in  $\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ , siehe Anhang A2.2

$\bar{G}_{\gamma 1}$ : Jahresmittel der Gammasubmersion für die Energiegruppe 1 bei der Gamma-Energie 1 MeV in  $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$ , siehe Anhang A5

$\bar{G}_{\gamma 2}$ : Jahresmittel der Gammasubmersion für die Energiegruppe 2 bei der Gamma-Energie 0,1 MeV in  $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$ , siehe Anhang A5

$f_r$ : Anteil des Gamma-Energieemissionsspektrums des Radionuklids  $r$  oberhalb der Energie 0,2 MeV, siehe Anhang A2.2

$$f_r = \frac{\sum_{E_i > 0,2 \text{ MeV}} Y_i \cdot E_i}{\sum_i Y_i \cdot E_i}$$

mit

$E_i$ : Gamma-Energie in MeV

$Y_i$ : pro Zerfall emittierte Gamma-Quanten der Energie  $E_i$

$c_{\text{Geo},\gamma 1}$ : Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Körpergeometrie der Referenzpersonen bei Gammasubmersion für die Energiegruppe 1 bei der Gamma-Energie 1 MeV, siehe Anhang A2.2

$c_{\text{Geo},\gamma 2}$ : Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Körpergeometrie der Referenzpersonen bei Gammasubmersion für die Energiegruppe 2 bei der Gamma-Energie 0,1 MeV, siehe Anhang A2.2

$f_{\text{Ge},\gamma}$ : Reduktionsfaktor für Gammasubmersion bei Aufenthalt in Gebäuden (dimensionslos), siehe Anhang A4 Tabelle 12

Bilden sich während des Transports in der Atmosphäre Tochternuklide, so ist bei der Berechnung der effektiven Dosis der Dosisleistungskoeffizient des primären Radionuklids mit Berücksichtigung der Tochternuklide anzuwenden.

### 8.4.3 Exposition durch Gammastrahlung der am Boden abgelagerten radioaktiven Stoffe (Bodenstrahlung)

Gammastrahlung, die von am Boden abgelagerten Radionukliden ausgesandt wird, kann aus einem Umkreis von bis zu einigen hundert Metern zur äußeren Exposition beitragen. In diesem Umkreis um

die Einwirkungsstelle ist von der gleichen abgelagerten Aktivität wie an der betrachteten Einwirkungsstelle auszugehen. Die Bodenkontamination am Ende des k-ten Betriebsjahres ergibt sich aus Gleichung (3). Die Jahresdosis (effektive Dosis) durch Gammabodenstrahlung  $E_{b,r}$  des Radionuklids  $r$  während des k-ten Betriebsjahres ergibt sich zu:

$$E_{b,r} = g_{b,r,eff} \cdot b \cdot [f_r \cdot c_{Geo,b1} + (1 - f_r) \cdot c_{Geo,b2}] \cdot \frac{t_{Fr} + f_{Ge,b} \cdot t_{Ge}}{t_{Fr} + t_{Ge}} \cdot \left[ B_{k-1,r} \cdot K_1 + \frac{1}{\lambda_r} \cdot (\bar{F}_{k,r} + \bar{W}_{k,r}) \cdot (t_{1a} - K_1) \right] \quad (26)$$

mit der Hilfsgröße

$$K_1 = \frac{1}{\lambda_r} \cdot [1 - \exp(-\lambda_r \cdot t_{1a})] \quad (27)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$g_{b,r,eff}$ : Dosisleistungskoeffizient für die effektive Dosis durch Gammabodenstrahlung des Radionuklids  $r$  in  $Sv \cdot m^2 \cdot Bq^{-1} \cdot s^{-1}$ , siehe Anhang A2.2

$b$ : Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Bodenrauigkeit und des Eindringens in tiefere Bodenschichten, es ist  $b = 0,5$  zu setzen.

$c_{Geo,b1}$ : Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Körpergeometrie der Referenzpersonen bei Gammabodenstrahlung für die Energiegruppe 1 bei der Gamma-Energie 1 MeV, siehe Anhang A2.2

$c_{Geo,b2}$ : Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Körpergeometrie der Referenzpersonen bei Gammabodenstrahlung für die Energiegruppe 2 bei der Gamma-Energie 0,1 MeV, siehe Anhang A2.2

$f_{Ge,b}$ : Reduktionsfaktor für Gammabodenstrahlung bei Aufenthalt in Gebäuden (dimensionslos), siehe Anhang A4 Tabelle 12

$B_{k,r}$ : Flächenbezogene Bodenkontamination durch das Radionuklid  $r$  am Ende des k-ten Betriebsjahres in  $Bq \cdot m^{-2}$

$\bar{F}_{k,r}$ : Mittlere Bodenkontaminationsrate durch das Radionuklid  $r$  infolge trockener Ablagerung während des k-ten Betriebsjahres in  $Bq \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$

$\bar{W}_{k,r}$ : Mittlere Bodenkontaminationsrate durch das Radionuklid  $r$  infolge Niederschlag während des k-ten Betriebsjahres in  $Bq \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$

$t_{1a}$ : Zeitdauer eines Jahres in s;  $t_{1a} = 3,15 \cdot 10^7$  s

Bilden sich während der Betriebsphase der Anlage oder Einrichtung nach der Ablagerung radioaktiver Stoffe auf dem Boden Tochternuklide, so ist bei der Berechnung der effektiven Dosis der Dosisleistungskoeffizient des primären Radionuklids mit Berücksichtigung der Tochternuklide anzuwenden.

Die Gleichungen (3) und (26) sind für die prospektive und retrospektive Berechnung der Gammabodenstrahlung heranzuziehen. Für die prospektive Berechnung der Exposition ist das auf die zu erwartende Gesamtdauer der Emissionen (Betriebsphase und gegebenenfalls auch Nach- **und Restbetriebsphase**), mindestens aber auf eine Dauer von 50 Jahren folgende Kalenderjahr zugrunde zu legen, sofern aufgrund der Besonderheiten der Anlage oder Einrichtung nicht von einer kürzeren Gesamtdauer der Emissionen ausgegangen werden kann. Für die retrospektive Berechnung der Exposition ist die tatsächliche Gesamtdauer der Emissionen bis zum betrachteten Zeitraum anzusetzen. Die meteorologischen Daten sind für den jeweiligen Berechnungszweck gemäß Abschnitt 6.1.5 zu wählen.

## 8.5 Berechnung der inneren Exposition

Die Jahresdosis (effektive Folgedosis) durch innere Exposition infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft durch das Radionuklid  $r$  ergibt sich aus der Summe der Jahresdosis durch Inhalation und der Jahresdosis durch Ingestion:

$$E_{i,r} = E_{h,r} + E_{g,r} \quad (28)$$

Hierin bedeuten:

$E_{i,r}$ : Jahresdosis (effektive Folgedosis) durch innere Exposition infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft durch das Radionuklid  $r$  in Sv

$E_{h,r}$ : Jahresdosis (effektive Folgedosis) durch Inhalation des Radionuklids  $r$  in Sv

$E_{g,r}$ : Jahresdosis (effektive Folgedosis) durch Ingestion des Radionuklids  $r$  in Sv

Die Jahresdosis (effektive Folgedosis) durch innere Exposition infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft ergibt sich zu:

$$E_{i,ges} = \sum_r E_{i,r} \quad (29)$$

Die Berechnung der beiden Anteile an der Jahresdosis (effektive Folgedosis) durch das Radionuklid  $r$  ist wie in den Abschnitten 8.5.1 und 8.5.2 beschrieben durchzuführen.

### 8.5.1 Exposition durch Aufnahme radioaktiver Stoffe mit der Atemluft (Inhalation)

Die Exposition durch Inhalation des Radionuklids  $r$  ist proportional zu der am betrachteten Ort inhalierten Aktivität. Die Jahresdosis (effektive Folgedosis)  $E_{h,r}$  ist:

$$E_{h,r} = \bar{C}_r^L(x, y, z = 0) \cdot \dot{V} \cdot t_{1a} \cdot g_{h,r,eff} \quad (30)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$\dot{V}$ : Atemrate in  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , siehe Anhang A4 Tabelle 11

$g_{h,r,\text{eff}}$ : Dosiskoeffizient für die effektive Folgedosis durch Inhalation des Radionuklids  $r$  in  $\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$ , siehe Anhang A2.3

Tochternuklide, die während der Transportzeit vom Emittenten bis zum Aufenthaltsort der repräsentativen Person gebildet werden, können bei der Berechnung der Jahresdosen durch Inhalation unberücksichtigt bleiben.

### 8.5.2 Exposition durch Aufnahme radioaktiver Stoffe beim Verzehr von Lebensmitteln und Muttermilch (Ingestion)

Die Exposition durch Ingestion ergibt sich durch die mit Lebensmitteln und Muttermilch aufgenommene Aktivität. Für die Annahmen über die Ernährungsgewohnheiten der repräsentativen Person gilt Anhang A4 Tabelle 10.

Die Jahresdosis (effektive Folgedosis)  $E_{g,r}$  ohne Berücksichtigung von Dekontaminationseffekten bei der lebensmitteltechnologischen und haushaltsmäßigen Zubereitung ist für die repräsentative Person in den Altersgruppen  $> 1$  a:

$$E_{g,r} = (f_{\text{Pf}} \cdot U^{\text{Pf}} \cdot \tilde{C}_r^{\text{Pf}} + f_{\text{Bl}} \cdot U^{\text{Bl}} \cdot \tilde{C}_r^{\text{Bl}} + f_{\text{Mi}} \cdot U^{\text{Mi}} \cdot \tilde{C}_r^{\text{Mi}} + f_{\text{Fl}} \cdot U^{\text{Fl}} \cdot \tilde{C}_r^{\text{Fl}}) \cdot g_{g,r,\text{eff}} \quad (31)$$

Hierin bedeuten:

$E_{g,r}$ : Jahresdosis (effektive Folgedosis) durch Ingestion des Radionuklids  $r$  in Sv

$U^n$ : Jährliche Verzehrsmenge der Lebensmittelgruppe  $n$  in kg, siehe Anhang A4 Tabelle 10

$n = \text{Pf}$ : pflanzliche Nahrungsmittel außer Blattgemüse

$n = \text{Bl}$ : Blattgemüse

$n = \text{Mi}$ : Milch und Milchprodukte

$n = \text{Fl}$ : Fleisch und Fleischwaren

$f_n$ : Anteil der Lebensmittelgruppe  $n$ , der infolge von Ableitungen mit Luft kontaminiert ist (dimensionslos), siehe Anhang A3 Tabelle 3

$\tilde{C}_r^{\text{Pf}}$ : Spezifische Aktivität des Radionuklids  $r$  in pflanzlichen Nahrungsmitteln außer Blattgemüse zum Zeitpunkt des Verzehrs in  $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ , siehe Gleichung (36)

$\tilde{C}_r^{\text{Bl}}$ : Spezifische Aktivität des Radionuklids  $r$  in Blattgemüse zum Zeitpunkt des Verzehrs in  $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ , siehe Gleichung (36)

$\tilde{C}_r^{\text{Mi}}$ : Spezifische Aktivität des Radionuklids  $r$  in Milch und Milchprodukten zum Zeitpunkt des Verzehrs in  $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ , siehe Gleichungen (36) und (37)

$\tilde{C}_r^{Fl}$ : Spezifische Aktivität des Radionuklids  $r$  in Fleisch und Fleischwaren zum Zeitpunkt des Verzehrs in  $Bq \cdot kg^{-1}$ , siehe Gleichungen (36) und (39)

$g_{g,r,eff}$ : Dosiskoeffizient für die effektive Folgedosis durch Ingestion des Radionuklids  $r$  in  $Sv \cdot Bq^{-1}$ , siehe Anhang A2.3

Für die repräsentative Person in der Altersgruppe  $\leq 1$  a ist der Verzehr von Beikost und die Aufnahme von Muttermilch bzw. Säuglingsmilch zu berücksichtigen. Dosiskoeffizienten für den Verzehr von Muttermilch bei Ingestion ( $g_{g,r,eff}^{MM}$ ) oder Inhalation ( $g_{h,r,eff}^{MM}$ ) von Radionukliden durch die Mutter stehen nicht für alle Radionuklide zur Verfügung (siehe Anhang A2.3 Tabelle 2). Die Jahresdosis (effektive Folgedosis) ohne Berücksichtigung von Dekontaminationseffekten bei der lebensmitteltechnologischen und haushaltsmäßigen Zubereitung ist für die repräsentative Person der Altersgruppe  $\leq 1$  a daher wie folgt zu berechnen:

Stehen für das Radionuklid  $r$  Dosiskoeffizienten  $g_{g,r,eff}^{MM}$  und  $g_{h,r,eff}^{MM}$  zur Verfügung, ist

$$E_{g,r} = (f_{Pf} \cdot U_{\leq 1a}^{Pf} \cdot \tilde{C}_r^{Pf} + f_{Bl} \cdot U_{\leq 1a}^{Bl} \cdot \tilde{C}_r^{Bl} + f_{Mi} \cdot U_{\leq 1a}^{Mi} \cdot \tilde{C}_r^{Mi} + f_{Fl} \cdot U_{\leq 1a}^{Fl} \cdot \tilde{C}_r^{Fl}) \cdot g_{g,r,eff} + A_r^{g;1a} \cdot g_{g,r,eff}^{MM} + A_r^{h;1a} \cdot g_{h,r,eff}^{MM} \quad (32)$$

Andernfalls ist

$$E_{g,r} = \left[ f_{Pf} \cdot U_{\leq 1a}^{Pf} \cdot \tilde{C}_r^{Pf} + f_{Bl} \cdot U_{\leq 1a}^{Bl} \cdot \tilde{C}_r^{Bl} + f_{Mi} \cdot U_{\leq 1a}^{Mi} \cdot \tilde{C}_r^{Mi} + f_{Fl} \cdot U_{\leq 1a}^{Fl} \cdot \tilde{C}_r^{Fl} + \frac{1}{365 \cdot a_d} \cdot (A_r^{g;1a} \cdot T_r^{MM,g} + A_r^{h;1a} \cdot T_r^{MM,h}) \cdot U^{MM} \right] \cdot g_{g,r,eff} \quad (33)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$a_d$ : Zeitraum eines Tages;  $a_d = 1$  d

$A_r^{g;1a}$ : Aktivität des Radionuklids  $r$  in Bq, die jährlich von der Mutter durch Ingestion von Lebensmitteln aufgenommen wird, siehe Gleichung (34)

$A_r^{h;1a}$ : Aktivität des Radionuklids  $r$  in Bq, die jährlich von der Mutter durch Inhalation aufgenommen wird, siehe Gleichung (35)

$T_r^{MM,g}$ : Transferfaktor des Radionuklids  $r$  von Lebensmitteln in die Muttermilch in  $d \cdot kg^{-1}$ , siehe Anhang A3 Tabelle 5. Beim Verzehr von Säuglingsmilch ist  $T_r^{MM,g} = 0$  zu setzen.

$T_r^{MM,h}$ : Transferfaktor des Radionuklids  $r$  von der Atemluft in die Muttermilch in  $d \cdot kg^{-1}$ , siehe Anhang A3 Tabelle 5. Beim Verzehr von Säuglingsmilch ist  $T_r^{MM,h} = 0$  zu setzen.

$U^{MM}$ : Jährliche Verzehrsmenge an Muttermilch in kg, siehe Anhang A4 Tabelle 10

Die von der stillenden Mutter durch Ingestion von Lebensmitteln aufgenommene Aktivität des Radionuklids  $r$  ist wie folgt zu berechnen:

$$A_r^{g;1a} = f_{Pf} \cdot U_{>17a}^{Pf} \cdot \tilde{C}_r^{Pf} + f_{Bl} \cdot U_{>17a}^{Bl} \cdot \tilde{C}_r^{Bl} + f_{Mi} \cdot U_{>17a}^{Mi} \cdot \tilde{C}_r^{Mi} + f_{Fl} \cdot U_{>17a}^{Fl} \cdot \tilde{C}_r^{Fl} \quad (34)$$

Hierbei sind für die Mutter die mittleren jährlichen Verzehrsmengen in Anhang A4 Tabelle 10 anzusetzen.

Die von der stillenden Mutter durch Inhalation aufgenommene Aktivität des Radionuklids  $r$  ist wie folgt zu berechnen:

$$A_r^{h;1a} = \bar{C}_r^L(x, y, z = 0) \cdot \dot{V}_{>17a} \cdot t_{1a} \quad (35)$$

Die spezifische Aktivität  $\tilde{C}_r^n$  des Radionuklids  $r$  in der Lebensmittelgruppe  $n$  ( $n = Pf, Bl, Mi, Fl$ ) zum Zeitpunkt des Verzehrs ergibt sich aus der spezifischen Aktivität  $C_r^n$  zum Zeitpunkt der Produktion und dem radioaktiven Zerfall zwischen Produktion und Verzehr. Sie ist ohne Berücksichtigung von Dekontaminationseffekten zu berechnen nach:

$$\tilde{C}_r^n = C_r^n \cdot \exp(-\lambda_r \cdot t_v^n) \quad (36)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$t_v^n$ : Zeit zwischen Produktion und Verzehr der Lebensmittelgruppe  $n$  ( $n = Pf, Bl, Mi, Fl$ ) in s, siehe Anhang A3 Tabelle 3

Die spezifische Aktivität  $C_r^{Mi}$  des Radionuklids  $r$  in der Milch ist zu berechnen nach:

$$C_r^{Mi} = C_r^{Fu} \cdot \dot{M}_{Fu} \cdot T_r^{Mi} \quad (37)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$C_r^{Fu}$ : Spezifische Aktivität des Radionuklids  $r$  im Futter der Tiere (Weidebewuchs) in  $Bq \cdot kg^{-1}$ , siehe Gleichung (38)

$\dot{M}_{Fu}$ : Tägliche Aufnahme von Futter (Weidebewuchs) in  $kg \cdot d^{-1}$  Feuchtmasse, siehe Anhang A3 Tabelle 3

$T_r^{Mi}$ : Transferfaktor des Radionuklids  $r$  vom Futter in die Milch in  $d \cdot kg^{-1}$ , siehe Anhang A3 Tabelle 4

Die spezifische Aktivität des Radionuklids  $r$  im Futter ist, falls dieses gelagerte Futter von der Weide stammt, zu berechnen nach:

$$C_r^{Fu} = [f_p + (1 - f_p) \cdot \exp(-\lambda_r \cdot t_v^{Lf})] \cdot C_r^{Wd} \quad (38)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$f_p$ : Bruchteil des Jahres, in dem Tiere auf der Weide grasen (dimensionslos), siehe Anhang A3 Tabelle 3

$t_v^{Lf}$ : Zeit zwischen Ernte und Verzehr von Lagerfutter in s, siehe Anhang A3 Tabelle 3

$C_r^{Wd}$ : Spezifische Aktivität des Radionuklids r in der Weidepflanze zum Zeitpunkt des Grasens bzw. zum Zeitpunkt der Ernte in  $Bq \cdot kg^{-1}$ , nach Gleichung (5), (6) oder (7) berechnet

Die spezifische Aktivität des Fleisches ist zu berechnen nach:

$$C_r^{Fl} = C_r^{Fu} \cdot \dot{M}_{Fu} \cdot T_r^{Fl} \quad (39)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$C_r^{Fl}$ : Spezifische Aktivität des Radionuklids r im Fleisch in  $Bq \cdot kg^{-1}$

$T_r^{Fl}$ : Transferfaktor des Radionuklids r vom Futter in das Fleisch in  $d \cdot kg^{-1}$ , siehe Anhang A3 Tabelle 4

Zur Berücksichtigung der Exposition durch radioaktive Tochternuklide wird auf Anhang A7 verwiesen. Die Jahresdosis (effektive Folgedosis) im k-ten Betriebsjahr ergibt sich aus der Summe der Jahresdosis des primären Radionuklids und den Jahresdosen der Tochternuklide.

## 9 Exposition des Menschen infolge der Ableitung mit Wasser

### 9.1 Expositionspfade

Bei der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser sind folgende Expositionspfade zu berücksichtigen:

Zur Berechnung der äußeren Exposition:

1. Exposition durch Aufenthalt auf Sediment (Gammabodenstrahlung auf Ufersediment oder Spülfeld oder Überschwemmungsgebiet)

Zur Berechnung der inneren Exposition:

2. Exposition durch Aufnahme radioaktiver Stoffe mit Lebensmitteln (Ingestion) auf dem Weg
  - 2.1. Trinkwasser
  - 2.2. Wasser – Fisch
  - 2.3. Viehtränke – Kuh – Milch
  - 2.4. Viehtränke – Tier – Fleisch
  - 2.5. Beregnung – Futterpflanze – Kuh – Milch
  - 2.6. Beregnung – Futterpflanze – Tier – Fleisch
  - 2.7. Beregnung – Pflanze
  - 2.8. Muttermilch infolge der Aufnahme radioaktiver Stoffe durch die Mutter über die oben genannten Ingestionspfade

Wenn dies aufgrund der örtlichen Besonderheiten des Standortes begründet ist, sind außerdem zu berücksichtigen:

3. Landwirtschaftliche Nutzung auf Überschwemmungsgebieten
4. Landwirtschaftliche Nutzung von Fluss- und Klärschlamm

### 9.2 Aufenthaltsorte der repräsentativen Person

Bei der Berechnung der Exposition sind die Stellen zugrunde zu legen, an denen sich die höchsten effektiven Dosen ergeben. Dabei sind für den Aufenthalt der repräsentativen Person die Stellen maximaler äußerer Exposition im Nah- bzw. Fernbereich zu berücksichtigen. Hierbei ist im Nahbereich für die äußere Exposition sowohl die äußere Exposition infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser allein als auch die Summe der äußeren Exposition infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser und der äußeren Exposition durch ionisierende Strahlung aus Anlagen und Einrichtungen zu betrachten.

Beim Aufenthalt in Gebäuden, in denen mit radioaktiven Stoffen umgegangen oder ionisierende Strahlung erzeugt wird, sind die Stellen zu betrachten, an denen das Produkt aus der zeitlich gemittelten Ortsdosisleistung und der Aufenthaltsdauer aufgrund der geplanten oder tatsächlichen Nutzung des Gebäudes maximal wird. An diesen Stellen ist auszuschließen, dass infolge einer kurzzeitigen äußeren Exposition durch ionisierende Strahlung die Dosisgrenzwerte für die Bevölkerung überschritten werden.

Für die prospektive Berechnung der Exposition sind die Nutzungsmöglichkeiten zugrunde zu legen.

Für die retrospektive Berechnung der Exposition sind die standortspezifischen Verhältnisse und die tatsächliche Nutzung im betrachteten Zeitraum zu betrachten. Bevorzugt sind die realen Aufenthaltszeiten und -orte der repräsentativen Person im Freien während des betrachteten Zeitraums zugrunde zu legen. Falls diese Informationen nicht mit vertretbarem Aufwand ermittelt werden können, sind ersatzweise die generischen Annahmen in Anhang A4 Tabelle 12 heranzuziehen.

### 9.3 Erzeugung von Lebensmitteln

Für die Erzeugung jeder Lebensmittelgruppe ist jeweils die Stelle auszuwählen, für die sich im Nah- oder Fernbereich unter Berücksichtigung der Ernährungsgewohnheiten der Anlage 11 Teil B Tabelle 1 StrlSchV die höchste effektive Folgedosis durch den Verzehr dieser Lebensmittelgruppe ergibt.

Für die prospektive Berechnung der Exposition sind die Nutzungsmöglichkeiten zugrunde zu legen.

Für die retrospektive Berechnung der Exposition sind die standortspezifischen Verhältnisse und die tatsächliche Nutzung im betrachteten Zeitraum zu betrachten. Insbesondere sind zur Berechnung der Ingestionsdosis (effektive Folgedosis) nur die Lebensmittelgruppen zu berücksichtigen, die im betrachteten Zeitraum im Nah- und Fernbereich erzeugt wurden.

### 9.4 Berechnung der äußeren Exposition

Die Jahresdosis (effektive Dosis) durch äußere Exposition durch das Radionuklid  $r$  ergibt sich durch Aufenthalt auf Ufersediment oder auf Überschwemmungsgebieten oder auf Spülfeldern:

$$E_{a,r} = E_{U,r} \text{ oder} \quad (40)$$

$$E_{a,r} = E_{\ddot{U},r} \text{ oder} \quad (41)$$

$$E_{a,r} = E_{Sp,r} \quad (42)$$

Es bedeuten:

$E_{a,r}$ : Jahresdosis (effektive Dosis) durch äußere Exposition infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe in Oberflächengewässer durch das Radionuklid  $r$  in Sv

$E_{U,r}$ : Jahresdosis (effektive Dosis) durch äußere Exposition beim Aufenthalt auf Ufersediment durch das Radionuklid  $r$  in Sv

$E_{\ddot{U},r}$ : Jahresdosis (effektive Dosis) durch äußere Exposition beim Aufenthalt auf Überschwemmungsgebieten durch das Radionuklid  $r$  in Sv

$E_{Sp,r}$ : Jahresdosis (effektive Dosis) durch äußere Exposition beim Aufenthalt auf Spülfeldern durch das Radionuklid  $r$  in Sv

Die Jahresdosis (effektive Dosis) durch äußere Exposition infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe in Oberflächengewässer ergibt sich aus der Summe der Dosisbeiträge durch alle Radionuklide:

$$E_{a,ges} = \sum_r E_{a,r} \quad (43)$$

#### 9.4.1 Exposition durch Aufenthalt auf Ufersediment

Die Jahresdosis (effektive Dosis)  $E_{U,r}$  bei Aufenthalt auf Ufersediment durch das Radionuklid  $r$  während des  $k$ -ten Betriebsjahres ergibt sich zu:

$$E_{U,r} = g_{b,r,eff} \cdot f_U \cdot t_A \cdot [f_r \cdot c_{Geo,b1} + (1 - f_r) \cdot c_{Geo,b2}] \cdot \left[ O_{k-1,r}^U \cdot K_1 + \frac{1}{\lambda_r} \cdot \rho_{Se} \cdot v_{Se} \cdot \bar{C}_{i,r}^{Sch} \cdot (t_{1a} - K_1) \right] \quad (44)$$

mit der Hilfsgröße

$$K_1 = \frac{1}{\lambda_r} \cdot [1 - \exp(-\lambda_r \cdot t_{1a})] \quad (45)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$E_{U,r}$ : Jahresdosis (effektive Dosis) durch äußere Exposition während des  $k$ -ten Betriebsjahres durch das Radionuklid  $r$  bei Aufenthalt auf Ufersediment in Sv

$g_{b,r,eff}$ : Dosisleistungskoeffizient für die effektive Dosis durch Gammabodenstrahlung des Radionuklids  $r$  in  $Sv \cdot m^2 \cdot Bq^{-1} \cdot s^{-1}$ , siehe Anhang A2.2

$f_U$ : Faktor, der die endliche Geometrie des Uferstreifens gegenüber einer unendlich ausgedehnten, homogen kontaminierten Fläche berücksichtigt. ( $f_U = 1,0$  für unendlich ausgedehnte, homogen kontaminierte Fläche,  $f_U = 0,2$  für Uferstreifen)

$f_r$ : Anteil des Gamma-Energieemissionsspektrums des Radionuklids  $r$  oberhalb der Energie 0,2 MeV, siehe Anhang A2.2

$$f_r = \frac{\sum_{E_i > 0,2 \text{ MeV}} Y_i \cdot E_i}{\sum_i Y_i \cdot E_i}$$

mit

$E_i$ : Gamma-Energie in MeV

$Y_i$ : pro Zerfall emittierte Gamma-Quanten der Energie  $E_i$

$c_{Geo,b1}$ : Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Körpergeometrie der Referenzpersonen bei Gammabodenstrahlung für die Energiegruppe 1 bei der Gamma-Energie 1 MeV, siehe Anhang A2.2

$c_{Geo,b2}$ : Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Körpergeometrie der Referenzpersonen bei Gammabodenstrahlung für die Energiegruppe 2 bei der Gamma-Energie 0,1 MeV, siehe Anhang A2.2

$O_{k,r}^U$ : Flächenbezogene Aktivität des Radionuklids  $r$  im Ufersediment am Ende des  $k$ -ten Betriebsjahres in  $Bq \cdot m^{-2}$

$\lambda_r$ : Physikalische Zerfallskonstante des Radionuklids  $r$  in  $s^{-1}$

$\rho_{Se}$ : Dichte des Sediments in  $kg \cdot m^{-3}$  Trockenmasse, siehe Anhang A3 Tabelle 3

$v_{Se}$ : Sedimentationsgeschwindigkeit in  $m \cdot s^{-1}$ , siehe Anhang A3 Tabelle 3

$\bar{C}_{i,r}^{Sch}$ : Mittlere spezifische Aktivität des Radionuklids  $r$  in Schwebstoffen im  $i$ -ten Betriebsjahr in  $Bq \cdot kg^{-1}$  Trockenmasse

$t_{1a}$ : Zeitdauer eines Jahres in s;  $t_{1a} = 3,15 \cdot 10^7$  s

$t_A$ : Jährliche Aufenthaltszeit am Ufer oder auf Überschwemmungsgebieten oder auf Spülfeldern in s, siehe Anhang A4 Tabelle 12

Die flächenbezogene Aktivität des Radionuklids  $r$  im Ufersediment am Ende des  $k$ -ten Betriebsjahres ist nach Gleichung (15) zu berechnen.

Bilden sich während der Betriebsphase der Anlage oder Einrichtung nach der Ablagerung radioaktiver Schwebstoffe auf dem Ufer Tochternuklide, so ist bei der Berechnung der effektiven Dosis der Dosisleistungskoeffizient des primären Radionuklids mit Berücksichtigung der Tochternuklide anzuwenden.

Die Gleichungen (15) und (44) sind für die prospektive und retrospektive Berechnung der Gammabodenstrahlung heranzuziehen. Für die prospektive Berechnung der Exposition ist das auf die zu erwartende Gesamtdauer der Emissionen (Betriebsphase und gegebenenfalls auch Nach- **und Restbetriebsphase**), mindestens aber auf eine Dauer von 50 Jahren folgende Kalenderjahr zugrunde zu legen, sofern aufgrund der Besonderheiten der Anlage oder Einrichtung nicht von einer kürzeren Gesamtdauer der Emissionen ausgegangen werden kann. Für die retrospektive Berechnung der Exposition ist die tatsächliche Gesamtdauer der Emissionen bis zum betrachteten Zeitraum anzusetzen.

#### 9.4.2 Exposition durch Aufenthalt auf Überschwemmungsgebieten

Die Jahresdosis (effektive Dosis)  $E_{\bar{U},r}$  durch das Radionuklid  $r$  bei Aufenthalt auf Überschwemmungsgebieten während des  $k$ -ten Betriebsjahres ergibt sich zu:

$$E_{\bar{U},r} = g_{b,r,eff} \cdot t_A \cdot \left[ f_r \cdot c_{Geo,b1} + (1 - f_r) \cdot c_{Geo,b2} \right] \cdot \left[ O_{k-1,r}^U \cdot K'_1 + \frac{1}{\lambda_{eff,r}^U} \cdot \rho_{Se} \cdot v_{Se} \cdot \bar{C}_{i,r}^{Sch} \cdot (t_{1a} - K'_1) \right] \quad (46)$$

mit der Hilfsgröße

$$K'_1 = \frac{1}{\lambda_{\text{eff},r}^{\ddot{u}}} \cdot [1 - \exp(-\lambda_{\text{eff},r}^{\ddot{u}} \cdot t_{1a})] \quad (47)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeutet hier:

$E_{\ddot{u},r}$ : Jahresdosis (effektive Dosis) durch äußere Exposition während des k-ten Betriebsjahres durch das Radionuklid r bei Aufenthalt auf Überschwemmungsgebieten in Sv

$O_{k,r}^{\ddot{u}}$ : Flächenbezogene Aktivität des Radionuklids r in der oberen Bodenschicht auf Überschwemmungsgebieten am Ende des k-ten Betriebsjahres in Bq·m<sup>-2</sup>

$\lambda_{\text{eff},r}^{\ddot{u}}$ : Effektive Verweilkonstante für das Radionuklid r auf Überschwemmungsgebieten in s<sup>-1</sup>

$$\lambda_{\text{eff},r}^{\ddot{u}} = \lambda_r + \lambda_{\ddot{u}}$$

$\lambda_{\ddot{u}}$ : Verweilkonstante zur Berücksichtigung des Eindringens der Radionuklide in tiefere Bodenschichten in Überschwemmungsgebieten in s<sup>-1</sup>, siehe Anhang A3 Tabelle 3

Die flächenbezogene Aktivität des Radionuklids r in der oberen Bodenschicht auf Überschwemmungsgebieten am Ende des k-ten Betriebsjahres ist nach Gleichung (16) zu berechnen.

Bilden sich während der Betriebsphase der Anlage oder Einrichtung nach der Ablagerung radioaktiver Schwebstoffe auf dem Überschwemmungsgebiet Tochternuklide, so ist bei der Berechnung der effektiven Dosis der Dosisleistungskoeffizient des primären Radionuklids mit Berücksichtigung der Tochternuklide anzuwenden.

Die Gleichungen (16) und (46) sind für die prospektive und retrospektive Berechnung der Gammabodenstrahlung heranzuziehen. Für die prospektive Berechnung der Exposition ist das auf die zu erwartende Gesamtdauer der Emissionen (Betriebsphase und gegebenenfalls auch Nach- **und Rest**betriebsphase), mindestens aber auf eine Dauer von 50 Jahren folgende Kalenderjahr zugrunde zu legen, sofern aufgrund der Besonderheiten der Anlage oder Einrichtung nicht von einer kürzeren Gesamtdauer der Emissionen ausgegangen werden kann. Für die retrospektive Berechnung der Exposition ist die tatsächliche Gesamtdauer der Emissionen bis zum betrachteten Zeitraum anzusetzen.

#### 9.4.3 Exposition durch Aufenthalt auf Spülfeldern

Die Jahresdosis (effektive Dosis)  $E_{\text{Sp},r}$  durch das Radionuklid r bei Aufenthalt auf Spülfeldern ist wie folgt zu berechnen:

$$E_{\text{Sp},r} = \bar{C}_{k_a,r}^{\text{Se}} \cdot \rho_{\text{Sp}} \cdot U_r \cdot t_A \cdot g_{b,r,\text{eff}} \cdot \exp(-\lambda_r \cdot t_{\text{Sp}}) \cdot [f_r \cdot c_{\text{Geo},b1} + (1 - f_r) \cdot c_{\text{Geo},b2}] \quad (48)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$E_{\text{Sp},r}$ : Jahresdosis (effektive Dosis) durch äußere Exposition während des k-ten Betriebsjahres durch das Radionuklid r bei Aufenthalt auf Spülfeldern in Sv

$\bar{C}_{k_a,r}^{Se}$ : Mittlere spezifische Aktivität des Radionuklids  $r$  im Sediment zum Zeitpunkt des Ausbaggerns in  $Bq \cdot kg^{-1}$  Trockenmasse

$\rho_{Sp}$ : Dichte des Spülfeldbodens in  $kg \cdot m^{-3}$  Trockenmasse, siehe Anhang A3 Tabelle 3

$U_r$ : Effektive Schichtdicke des Spülfeldbodens zur Berücksichtigung der Selbstabschirmung in  $m$ , siehe Anhang A3 Tabelle 3

$t_{Sp}$ : Zeit zwischen dem Aufspülen und der Begehbarkeit in  $s$ , siehe Anhang A3 Tabelle 3

Die mittlere spezifische Aktivität  $\bar{C}_{k_a,r}^{Se}$  der Sedimentschicht zum Zeitpunkt des Ausbaggerns (nach einer Sedimentationsdauer von  $k_a$  Jahren im Oberflächengewässer) ist nach Gleichung (17) zu berechnen.

Bilden sich während der Betriebsphase der Anlage oder Einrichtung nach dem Aufspülen radioaktiver Stoffe auf dem Spülfeld Tochternuklide, so ist bei der Berechnung der effektiven Dosis der Dosisleistungskoeffizient des primären Radionuklids mit Berücksichtigung der Tochternuklide anzuwenden.

Für die prospektive Berechnung der Gammabodenstrahlung ist die ortsspezifisch zu erwartende Zeit zwischen zwei Ausbaggerungen zu betrachten. Für die retrospektive Berechnung ist die tatsächliche Zeit zwischen zwei Ausbaggerungen zugrunde zu legen.

## 9.5 Berechnung der inneren Exposition

Die innere Exposition ergibt sich durch die mit Lebensmitteln und Muttermilch aufgenommene Aktivität. Für die Annahmen über die Ernährungsgewohnheiten der repräsentativen Person gilt Anhang A4 Tabelle 10.

Die Jahresdosis (effektive Folgedosis) durch innere Exposition infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser ergibt sich aus der Summe der Dosisbeiträge durch alle Radionuklide  $r$  zu:

$$E_{i,ges} = \sum_r E_{g,r} \quad (49)$$

Die Jahresdosis (effektive Folgedosis)  $E_{g,r}$  ohne Berücksichtigung von Dekontaminationseffekten bei der lebensmitteltechnologischen und haushaltsmäßigen Zubereitung ist für die repräsentative Person in den Altersgruppen  $> 1$  a:

$$E_{g,r} = (f_{Tw} \cdot U^{Tw} \cdot \tilde{C}_r^{Tw} + f_{Fi} \cdot U^{Fi} \cdot \tilde{C}_r^{Fi} + f_{Pf} \cdot U^{Pf} \cdot \tilde{C}_r^{Pf} + f_{Bl} \cdot U^{Bl} \cdot \tilde{C}_r^{Bl} + f_{Mi} \cdot U^{Mi} \cdot \tilde{C}_r^{Mi} + f_{Fl} \cdot U^{Fl} \cdot \tilde{C}_r^{Fl}) \cdot g_{g,r,eff} \quad (50)$$

Hierin bedeuten:

$E_{g,r}$ : Jahresdosis (effektive Folgedosis) durch Ingestion des Radionuklids  $r$  in  $Sv$

$U^n$ : Jährliche Verzehrsmenge der Lebensmittelgruppe  $n$  in  $kg$ , siehe Anhang A4 Tabelle 10

n = Tw: Trinkwasser

n = Fi: Fischfleisch

n = Pf: pflanzliche Nahrungsmittel außer Blattgemüse

n = Bl: Blattgemüse

n = Mi: Milch und Milchprodukte

n = Fl: Fleisch und Fleischwaren

$f_n$ : Anteil der Lebensmittelgruppe n, der infolge von Ableitungen mit Wasser kontaminiert ist (dimensionslos), siehe Anhang A3 Tabelle 3

$\tilde{C}_r^{Tw}$ : Spezifische Aktivität des Radionuklids r im Trinkwasser zum Zeitpunkt des Verzehrs in  $Bq \cdot kg^{-1}$

$\tilde{C}_r^{Fi}$ : Spezifische Aktivität des Radionuklids r in Fischfleisch zum Zeitpunkt des Verzehrs in  $Bq \cdot kg^{-1}$ , siehe Gleichungen (54) und (56)

$\tilde{C}_r^{Pf}$ : Spezifische Aktivität des Radionuklids r in pflanzlichen Nahrungsmitteln außer Blattgemüse zum Zeitpunkt des Verzehrs in  $Bq \cdot kg^{-1}$ , siehe Gleichung (54) sowie die Abschnitte 9.5.2 und 9.5.4

$\tilde{C}_r^{Bl}$ : Spezifische Aktivität des Radionuklids r in Blattgemüse zum Zeitpunkt des Verzehrs in  $Bq \cdot kg^{-1}$ , siehe Gleichung (54) sowie die Abschnitte 9.5.2 und 9.5.4

$\tilde{C}_r^{Mi}$ : Spezifische Aktivität des Radionuklids r in Milch und Milchprodukten zum Zeitpunkt des Verzehrs in  $Bq \cdot kg^{-1}$ , siehe Gleichung (59) sowie die Abschnitte 9.5.2, 9.5.3 und 9.5.4

$\tilde{C}_r^{Fl}$ : Spezifische Aktivität des Radionuklids r in Fleisch und Fleischwaren zum Zeitpunkt des Verzehrs in  $Bq \cdot kg^{-1}$ , siehe Gleichung (60) sowie die Abschnitte 9.5.2, 9.5.3 und 9.5.4

$g_{g,r,eff}$ : Dosiskoeffizient für die effektive Folgedosis durch Ingestion des Radionuklids r in  $Sv \cdot Bq^{-1}$ , siehe Anhang A2.3

Für die repräsentative Person in der Altersgruppe  $\leq 1$  a ist der Verzehr von Beikost und die Aufnahme von Muttermilch bzw. Säuglingsmilch zu berücksichtigen. Dosiskoeffizienten für den Verzehr von Muttermilch bei Ingestion ( $g_{g,r,eff}^{MM}$ ) von Radionukliden durch die Mutter stehen nicht für alle Radionuklide zur Verfügung (siehe Anhang A2.3 Tabelle 2). Die Jahresdosis (effektive Folgedosis) ohne Berücksichtigung von Dekontaminationseffekten bei der lebensmitteltechnologischen und haushaltsmäßigen Zubereitung ist für die repräsentative Person der Altersgruppe  $\leq 1$  a daher wie folgt zu berechnen:

Stehen für das Radionuklid r Dosiskoeffizienten  $g_{g,r,eff}^{MM}$  zur Verfügung, ist

$$E_{g,r} = (f_{Tw} \cdot U_{\leq 1a}^{Tw} \cdot \tilde{C}_r^{Tw} + f_{Fi} \cdot U_{\leq 1a}^{Fi} \cdot \tilde{C}_r^{Fi} + f_{Pf} \cdot U_{\leq 1a}^{Pf} \cdot \tilde{C}_r^{Pf} + f_{Bl} \cdot U_{\leq 1a}^{Bl} \cdot \tilde{C}_r^{Bl} + f_{Mi} \cdot U_{\leq 1a}^{Mi} \cdot \tilde{C}_r^{Mi} + f_{Fl} \cdot U_{\leq 1a}^{Fl} \cdot \tilde{C}_r^{Fl}) \cdot g_{g,r,eff} + A_r^{g;1a} \cdot g_{g,r,eff}^{MM} \quad (51)$$

Andernfalls ist

$$E_{g,r} = \left[ f_{Tw} \cdot U_{\leq 1a}^{Tw} \cdot \tilde{C}_r^{Tw} + f_{Fi} \cdot U_{\leq 1a}^{Fi} \cdot \tilde{C}_r^{Fi} + f_{Pf} \cdot U_{\leq 1a}^{Pf} \cdot \tilde{C}_r^{Pf} + f_{Bl} \cdot U_{\leq 1a}^{Bl} \cdot \tilde{C}_r^{Bl} + f_{Mi} \cdot U_{\leq 1a}^{Mi} \cdot \tilde{C}_r^{Mi} + f_{Fl} \cdot U_{\leq 1a}^{Fl} \cdot \tilde{C}_r^{Fl} + \frac{1}{365 \cdot a_d} \cdot A_r^{g:1a} \cdot T_r^{MM,g} \cdot U^{MM} \right] \cdot g_{g,r,eff} \quad (52)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$a_d$ : Zeitraum eines Tages;  $a_d = 1 \text{ d}$

$A_r^{g:1a}$ : Aktivität des Radionuklids  $r$  in Bq, die jährlich von der Mutter durch Ingestion von Lebensmitteln aufgenommen wird, siehe Gleichung (53)

$T_r^{MM,g}$ : Transferfaktor des Radionuklids  $r$  von Lebensmitteln in die Muttermilch in  $\text{d} \cdot \text{kg}^{-1}$ , siehe Anhang A3 Tabelle 5. Beim Verzehr von Säuglingsmilch ist  $T_r^{MM,g} = 0$  zu setzen.

$U^{MM}$ : Jährliche Verzehrsmenge an Muttermilch in kg, siehe Anhang A4 Tabelle 10

Die von der stillenden Mutter durch Ingestion von Lebensmitteln aufgenommene Aktivität des Radionuklids  $r$  ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$A_r^{g:1a} = f_{Tw} \cdot U_{\leq 1a}^{Tw} \cdot \tilde{C}_r^{Tw} + f_{Fi} \cdot U_{\leq 1a}^{Fi} \cdot \tilde{C}_r^{Fi} + f_{Pf} \cdot U_{>17a}^{Pf} \cdot \tilde{C}_r^{Pf} + f_{Bl} \cdot U_{>17a}^{Bl} \cdot \tilde{C}_r^{Bl} + f_{Mi} \cdot U_{>17a}^{Mi} \cdot \tilde{C}_r^{Mi} + f_{Fl} \cdot U_{>17a}^{Fl} \cdot \tilde{C}_r^{Fl} \quad (53)$$

Hierbei sind für die Mutter die mittleren jährlichen Verzehrsmengen in Anhang A4 Tabelle 10 anzusetzen.

Die spezifische Aktivität bzw. Aktivitätskonzentration  $\tilde{C}_r^n$  des Radionuklids  $r$  in der Lebensmittelgruppe  $n$  ( $n = \text{Fi, Pf, Bl, Mi, Fl}$ ) zum Zeitpunkt des Verzehrs ergibt sich aus der spezifischen Aktivität  $C_r^n$  zum Zeitpunkt der Produktion und dem radioaktiven Zerfall zwischen Produktion und Verzehr. Sie ist ohne Berücksichtigung von Dekontaminationseffekten zu berechnen nach:

$$\tilde{C}_r^n = C_r^n \cdot \exp(-\lambda_r \cdot t_v^n) \quad (54)$$

$$\tilde{C}_r^{Tw} = C_r^W \cdot \exp(-\lambda_r \cdot t_v^{Tw}) \quad (55)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeutet hier:

$t_v^n$ : Zeit zwischen Produktion und Verzehr der Lebensmittelgruppe  $n$  ( $n = \text{Tw, Fi, Pf, Bl, Mi, Fl}$ ) in s, siehe Anhang A3 Tabelle 3

Zur Berücksichtigung der Exposition durch radioaktive Tochternuklide wird auf Anhang A7 verwiesen. Die Jahresdosis (effektive Folgedosis) im k-ten Betriebsjahr ergibt sich aus der Summe der Jahresdosis des primären Radionuklids und den Jahresdosen der Tochternuklide.

### 9.5.1 Kontamination von Fischfleisch

Die spezifische Aktivität  $C_r^{Fi}$  des Radionuklids r in Fischfleisch ergibt sich zu:

$$C_r^{Fi} = C_r^W \cdot T_r^{Fi} \quad (56)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeutet hier:

$T_r^{Fi}$ : Konzentrationsfaktor für das Radionuklid r im Fischfleisch in  $l \cdot kg^{-1}$ , siehe Anhang A3 Tabelle 7

### 9.5.2 Kontamination von Lebensmitteln infolge Beregnung

Durch die Beregnung mit kontaminiertem Wasser können pflanzliche Lebensmittel (Lebensmittelgruppen n = Pf, BI) und Futtermittel (Weidebewuchs) kontaminiert werden und dadurch auch Milch (Lebensmittelgruppe n = Mi) und Fleisch (Lebensmittelgruppe n = FI). Die spezifische Aktivität des Radionuklids r in pflanzlichen Nahrungsmitteln außer Blattgemüse  $C_r^{Pf}$  und Blattgemüse  $C_r^{Bl}$  infolge Beregnung ist nach den Gleichungen (19) und (20) zu berechnen. Anstelle von Gleichung (19) ist für Tritium in Form tritiierten Wassers die spezifische Aktivität  $C_{k,H-3}^n$  in pflanzlichen Nahrungsmitteln außer Blattgemüse, in Blattgemüse und in Weidepflanzen gleich der mittleren Aktivitätskonzentration  $\bar{C}_{k,H-3}^W$  des Beregnungswassers während des k-ten Betriebsjahres zu setzen. Die Aktivitätskonzentration des Radionuklids r im Beregnungswasser ist nach den Gleichungen (8) und (13) zu berechnen.

Die spezifische Aktivität des Radionuklids r in Milch  $C_r^{Mi}$  und in Fleisch  $C_r^{FI}$  durch kontaminiertes Futter ergibt sich zu:

$$C_r^{Mi} = C_r^{Fu} \cdot \dot{M}_{Fu} \cdot T_r^{Mi} \quad (57)$$

$$C_r^{FI} = C_r^{Fu} \cdot \dot{M}_{Fu} \cdot T_r^{FI} \quad (58)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$C_r^{Fu}$ : Spezifische Aktivität des Radionuklids r im Futter der Tiere (Weidebewuchs) in  $Bq \cdot kg^{-1}$

$\dot{M}_{Fu}$ : Tägliche Aufnahme von Futter (Weidebewuchs) in  $kg \cdot d^{-1}$  Feuchtmasse, siehe Anhang A3 Tabelle 3

$T_r^{Mi}$ : Transferfaktor des Radionuklids r vom Futter in die Milch in  $d \cdot kg^{-1}$ , siehe Anhang A3 Tabelle 4

$T_r^{Fl}$ : Transferfaktor des Radionuklids  $r$  vom Futter in das Fleisch in  $d \cdot kg^{-1}$ , siehe Anhang A3 Tabelle 4

Die spezifische Aktivität des Radionuklids  $r$  im Futter der Tiere ergibt sich aus Gleichung (38), wobei die spezifischen Aktivitäten in der Weidepflanze und im Lagerfutter nach den Gleichungen (19) und (20) zu berechnen sind. Für Tritium in Form tritiierten Wassers ist die spezifische Aktivität in Weidepflanzen gleich der des Beregnungswassers zu setzen.

### 9.5.3 Kontamination von Milch und Fleisch durch Tränkwasser

Die spezifische Aktivität des Radionuklids  $r$  in Milch  $C_r^{Mi}$  und in Fleisch  $C_r^{Fl}$  durch Tränkwasser ergibt sich zu:

$$C_r^{Mi} = C_r^W \cdot L \cdot T_r^{Mi} \quad (59)$$

$$C_r^{Fl} = C_r^W \cdot L \cdot T_r^{Fl} \quad (60)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$L$ : Täglicher Wasserkonsum der Kuh in  $l \cdot d^{-1}$ , siehe Anhang A3 Tabelle 3

$T_r^{Mi}$ : Transferfaktor des Radionuklids  $r$  vom Tränkwasser in die Milch in  $d \cdot kg^{-1}$ , siehe Anhang A3 Tabelle 4

$T_r^{Fl}$ : Transferfaktor des Radionuklids  $r$  vom Tränkwasser in das Fleisch in  $d \cdot kg^{-1}$ , siehe Anhang A3 Tabelle 4

Die Aufnahme von C-11-Kohlendioxid und C-14-Kohlendioxid im Tränkwasser ist nicht zu berücksichtigen.

### 9.5.4 Landwirtschaftliche Nutzung auf Überschwemmungsgebieten

Bei der landwirtschaftlichen Nutzung auf Überschwemmungsgebieten ist die spezifische Aktivität des Radionuklids  $r$  in pflanzlichen Nahrungsmitteln außer Blattgemüse  $C_r^{Pf}$ , in Blattgemüse  $C_r^{Bl}$  und in Weidebewuchs  $C_r^{Wd}$  am Ende des  $k$ -ten Betriebsjahres nach Gleichung (21) zu berechnen.

Bei der Nutzung von Überschwemmungsgebieten für Weidewirtschaft sind die spezifische Aktivität des Radionuklids  $r$  in Milch  $C_r^{Mi}$  nach Gleichung (57) und die spezifische Aktivität des Radionuklids  $r$  in Fleisch  $C_r^{Fl}$  nach Gleichung (58) aus der spezifischen Aktivität  $C_r^{Fu}$  im Futter zu berechnen. Die spezifische Aktivität  $C_r^{Fu}$  im Futter am Ende des  $k$ -ten Betriebsjahres ergibt sich aus Gleichung (38).

Für die prospektive Berechnung der Exposition ist das auf die zu erwartende Gesamtdauer der Emissionen (Betriebsphase und gegebenenfalls auch Nach- **und Rest**betriebsphase), mindestens aber auf eine Dauer von 50 Jahren folgende Kalenderjahr zu betrachten, sofern aufgrund der Besonderheiten der Anlage oder Einrichtung nicht von einer kürzeren Gesamtdauer der Emissionen

ausgegangen werden kann. Für die retrospektive Berechnung der Exposition ist die tatsächliche Gesamtdauer der Emissionen bis zum betrachteten Zeitraum anzusetzen.

## 9.6 Landwirtschaftliche Nutzung von Fluss- und Klärschlamm

Ausgehend von der spezifischen Aktivität im frischen Sediment bzw. der mittleren spezifischen Aktivität im Sediment oder im Klärschlamm sind die äußere Exposition durch den Schlamm und die innere Exposition durch den Aktivitätstransfer in Lebensmittel gemäß Anlage 11 Teil B Tabelle 1 und Tabelle 3 StrlSchV zu berechnen. Dabei sind auch die örtlichen Gegebenheiten, die Häufigkeit der Auftragung, die Art der Schlammgewinnung und Aufbereitung (z. B. Vermischung und Trocknung) und die Durchmischung mit dem Ackerboden zu berücksichtigen.

## 10 Exposition des Menschen durch ionisierende Strahlung aus Anlagen und Einrichtungen

### 10.1 Grundsätzliches Vorgehen

Zur Berechnung der äußeren Exposition durch ionisierende Strahlung aus Anlagen und Einrichtungen stehen keine vereinfachten Berechnungsverfahren zur Verfügung, welche die Vielfalt der Anwendungsfälle angemessen abdecken würden. Die Strahlungsfelder (Gammastrahlung, Röntgenstrahlung, Neutronenstrahlung) in den für die Bevölkerung zugänglichen Bereichen sind mithilfe von allgemein anerkannten Simulationsverfahren zu berechnen (z. B. MCNP, SCALE, PENELOPE).

Bei der Berechnung der Exposition der repräsentativen Person sind folgende Einflussgrößen zu berücksichtigen:

- Radionuklidinventar und dessen räumliche Verteilung
- Typ, Standort und Betriebszustände (Betriebszeiten, Betriebsdauern, Strahlgeometrie usw.) des technischen Geräts, bei dessen Betrieb ionisierende Strahlung erzeugt wird
- Normen zum baulichen Strahlenschutz sowie sonstige technische und bauliche Maßnahmen, die abschirmend wirken oder auf sonstige Weise die Ortsdosisleistung während des Betriebs reduzieren
- Aufenthaltsdauern und Aufenthaltsorte der repräsentativen Person in den für die Bevölkerung zugänglichen Bereichen in der Umgebung der Anlage oder Einrichtung

Zu Berechnungszwecken sind einer mobilen Quelle repräsentative Standorte und repräsentative Verweilzeiten an diesen Standorten zuzuordnen, wobei jeder repräsentative Standort und die dazugehörige Verweilzeit rechnerisch als Einzelquelle zu betrachten ist.

Die Berechnung der äußeren Exposition durch ionisierende Strahlung aus einer Anlage oder Einrichtung kann entfallen, wenn sichergestellt ist, dass der Dosisbeitrag (effektive Dosis) zur Exposition der repräsentativen Person durch alle Expositionspfade für diese Anlage oder Einrichtung 10 % nicht überschreitet und die Dosisgrenzwerte für die Bevölkerung sicher eingehalten werden. Der Nachweis zur Einhaltung des 10 %-Kriteriums kann mit einem vereinfachten, konservativen Verfahren zur Berechnung der äußeren Exposition durch ionisierende Strahlung aus einer Anlage oder Einrichtung erbracht werden, sofern ein für den konkreten Fall geeignetes Verfahren zur Verfügung steht. Ebenso kann der Nachweis, dass die Dosisgrenzwerte für die Bevölkerung sicher eingehalten werden, mit vereinfachten, konservativen Verfahren erbracht werden.

### 10.2 Aufenthaltsorte der repräsentativen Person

Bei der Berechnung der Exposition sind die Stellen zugrunde zu legen, an denen sich die höchsten effektiven Dosen ergeben. Dabei sind für den Aufenthalt der repräsentativen Person die Stellen im Freien und in Gebäuden zugrunde zu legen, an denen

- im Fall der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft die Summe der äußeren Exposition durch ionisierende Strahlung aus Anlagen und Einrichtungen, der äußeren Exposition infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft und der inneren Exposition durch Inhalation (siehe Abschnitt 8.4),
- im Fall der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser die Summe der äußeren Exposition durch ionisierende Strahlung aus Anlagen und Einrichtungen und der äußeren Exposition infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser (siehe Abschnitt 8.49.4) und
- im Fall keiner Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser die äußere Exposition durch ionisierende Strahlung aus Anlagen und Einrichtungen

jeweils am höchsten ist. Bei der Festlegung der Aufenthaltsorte der repräsentativen Person in Gebäuden und im Freien ist wie folgt vorzugehen:

Beim Aufenthalt in Gebäuden, in denen mit radioaktiven Stoffen umgegangen oder ionisierende Strahlung erzeugt wird, sind die Stellen zu betrachten, an denen das Produkt aus der zeitlich gemittelten Ortsdosisleistung und der Aufenthaltsdauer aufgrund der geplanten oder tatsächlichen Nutzung des Gebäudes maximal wird. An diesen Stellen ist auszuschließen, dass infolge einer kurzzeitigen äußeren Exposition durch ionisierende Strahlung die Dosisgrenzwerte für die Bevölkerung überschritten werden.

Beim Aufenthalt im Freien kann die ungünstigste Einwirkungsstelle auf einer Fläche liegen, auf der ein Daueraufenthalt während der Betriebsphase und gegebenenfalls auch Nach- **und Rest**betriebsphase ausgeschlossen ist. In diesem Fall kann die gesamte Aufenthaltsdauer im Freien nach Anhang A4 Tabelle 12 aufgeteilt werden. Für die ungünstigste Einwirkungsstelle, an der ein Daueraufenthalt ausgeschlossen ist, ist eine konservative Aufenthaltsdauer anzusetzen. Für die verbleibende Aufenthaltsdauer im Freien ist die ungünstigste Einwirkungsstelle zu betrachten, an der während der Betriebsphase und gegebenenfalls auch Nach- **und Rest**betriebsphase ein Daueraufenthalt nicht ausgeschlossen ist.

### 10.3 Prospektive Berechnung der Exposition

Die zu erwartende Exposition der repräsentativen Person ist unter Berücksichtigung der zu erwartenden oder geplanten in Abschnitt 10.1 genannten Einflussgrößen zu berechnen.

Es können vereinfachend Erfahrungswerte herangezogen werden, sofern die technischen Geräte, die zu erwartenden Betriebszustände und der bauliche Strahlenschutz vergleichbar sind und die Dosisgrenzwerte für die Bevölkerung sicher eingehalten werden.

### 10.4 Retrospektive Ermittlung der Exposition

Die im Betrachtungszeitraum erhaltene Exposition der repräsentativen Person kann durch Simulationsrechnungen oder durch Messungen ermittelt werden.

Die Messungen der Strahlungsfelder sind an repräsentativen, für die Bevölkerung zugänglichen Stellen vorzunehmen. Die Messungen sind während Betriebszuständen durchzuführen, die für den betrachteten Zeitraum repräsentativ sind.

Bei der retrospektiven Berechnung der Exposition sind die tatsächlichen in Abschnitt 10.1 genannten Einflussgrößen im betrachteten Zeitraum zugrunde zu legen. Hierbei ist bevorzugt von den tatsächlichen Aufenthaltszeiten und Aufenthaltsorten der repräsentativen Person auszugehen. Falls diese nicht mit vertretbarem Aufwand ermittelt werden können, sind unter Berücksichtigung der lokalen Gegebenheiten realitätsnahe konservative Annahmen zu treffen. Hierbei sind die generischen Daten in Anhang A4 Tabelle 12 zu beachten.

Bei Anlagen und Einrichtungen zur Anwendung ionisierender Strahlung oder radioaktiver Stoffe am Menschen oder am Tier können vereinfachend Erfahrungswerte herangezogen werden, sofern die technischen Geräte, die Betriebszustände im betrachteten Zeitraum und der bauliche Strahlenschutz vergleichbar sind.

## 11 Inkrafttreten, Außerkrafttreten, Übergangsvorschrift

11.1 Diese Allgemeine Verwaltungsvorschrift tritt am ersten Tag des dritten auf die Veröffentlichung folgenden Kalendermonats in Kraft.

11.2 Die Allgemeine Verwaltungsvorschrift vom 28. August 2012 („Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus Anlagen oder Einrichtungen“, BAnz AT 05.09.2012 B1 vom 5. September 2012) zu § 47 der Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 in der bis zum 31. Dezember 2018 geltenden Fassung tritt mit Ablauf der in § 193 Absatz 1 Nummer 2 StrlSchV genannten Übergangsfrist außer Kraft. Bis zu diesem Zeitpunkt ist sie nach Inkrafttreten nach Absatz 11.1 nur noch im Rahmen des § 193 Absatz 1 StrlSchV anzuwenden.

## Anhang A1. Symbolverzeichnis

Tabelle 1: Symbolverzeichnis zu den Abschnitten 1 bis 11

Symbol	Definition
$a_d$	Zeitraum eines Tages: $a_d = 1 \text{ d}$
$a_{ri-1,ri}$	Anteil der Zerfälle des Radionuklids $ri-1$ , die zum Radionuklid $ri$ führen
$a_w$	Umrechnungsfaktor: $3,2 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{l}^{-1}$
$A_r$	Jährlich abgeleitete Aktivität des Radionuklids $r$ in Bq
$A_r^{g;1a}$	Aktivität des Radionuklids $r$ in Bq, die jährlich von der stillenden Mutter durch Ingestion von Lebensmitteln aufgenommen wird
$A_r^{h;1a}$	Aktivität des Radionuklids $r$ in Bq, die jährlich von der stillenden Mutter durch Inhalation aufgenommen wird
$b$	Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Bodenrauigkeit und des Eindringens in tiefere Bodenschichten (dimensionslos)
$B_{k,r}$	Flächenbezogene Bodenkontamination durch das Radionuklid $r$ am Ende des $k$ -ten Betriebsjahres in $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$
$C_{\text{Geo},b1}$	Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Körpergeometrie der Referenzpersonen bei Gammabodenstrahlung bei der Gamma-Energie 1 MeV (dimensionslos)
$C_{\text{Geo},b2}$	Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Körpergeometrie der Referenzpersonen bei Gammabodenstrahlung bei der Gamma-Energie 0,1 MeV (dimensionslos)
$C_{\text{Geo},\gamma 1}$	Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Körpergeometrie der Referenzpersonen bei Gammasubmersion bei der Gamma-Energie 1 MeV (dimensionslos)
$C_{\text{Geo},\gamma 2}$	Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Körpergeometrie der Referenzpersonen bei Gammasubmersion bei der Gamma-Energie 0,1 MeV (dimensionslos)
$C_C^L$	Kohlenstoffkonzentration der Luft in $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
$\bar{C}_{i,r}^{\text{Sch}}$	Mittlere spezifische Aktivität des Radionuklids $r$ in Schwebstoffen im $i$ -ten Betriebsjahr in $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ Trockenmasse
$\bar{C}_{i,r}^W$ $\bar{C}_{k,r}^W$	Mittlere Aktivitätskonzentration des Radionuklids $r$ im Beregnungswasser im $i$ -ten bzw. $k$ -ten Betriebsjahr in $\text{Bq} \cdot \text{l}^{-1}$
$\bar{C}_{k,C-14}^S$	Mittlere Aktivitätskonzentration von C-14 in der bodennahen Luft während des Sommerhalbjahrs vom 1. Mai bis 31. Oktober im $k$ -ten Betriebsjahr in $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$
$C_{k,H-3}^n$	Spezifische Aktivität von Tritium in Pflanzen der Gruppe $n$ in $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ Feuchtmasse
$\bar{C}_{k,H-3}^S$	Mittlere Aktivitätskonzentration von H-3 in der bodennahen Luft während des Sommerhalbjahrs vom 1. Mai bis 31. Oktober im $k$ -ten Betriebsjahr in $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$
$C_{k,r}^j$	Mittlere Aktivitätskonzentration des Radionuklids $r$ im Zufluss $j$ während des $k$ -ten Betriebsjahres in $\text{Bq} \cdot \text{l}^{-1}$

Symbol	Definition
$C_{k,r}^m$	Spezifische Aktivität des Radionuklids r im Wurzelbereich von Ackerboden (m = A) oder Weideboden (m = Wd) am Ende des k-ten Betriebsjahres in $Bq \cdot kg^{-1}$ Trockenmasse
$C_{k,r}^n$	Spezifische Aktivität des Radionuklids r in und auf Pflanzen der Gruppe n am Ende des k-ten Betriebsjahres in $Bq \cdot kg^{-1}$ Feuchtmasse
$C_{k,r}^W$	Aktivitätskonzentration des Radionuklids r im stehenden Gewässer am Ende des k-ten Betriebsjahres in $Bq \cdot l^{-1}$
$\bar{C}_{k_a,r}^{Se}$	Mittlere spezifische Aktivität des Radionuklids r im Sediment zum Zeitpunkt des Ausbaggerns in $Bq \cdot kg^{-1}$ Trockenmasse
$C_r^{Fu}$	Spezifische Aktivität des Radionuklids r im Futter der Tiere (Weidebewuchs) in $Bq \cdot kg^{-1}$
$C_r^L(x, y, z)$	Aktivitätskonzentration des Radionuklids r in der Luft am Ort (x, y, z) in $Bq \cdot m^{-3}$
$\bar{C}_r^L(x, y, z = 0)$	Jahresmittel der Aktivitätskonzentration des Radionuklids r in der bodennahen Luft am Ort (x, y, z = 0) in $Bq \cdot m^{-3}$
$\tilde{C}_r^n$	Spezifische Aktivität des Radionuklids r zum Zeitpunkt des Verzehrs in $Bq \cdot kg^{-1}$ n = Tw: Trinkwasser n = Fi: Fischfleisch n = Pf: pflanzliche Nahrungsmittel außer Blattgemüse n = Bl: Blattgemüse n = Mi: Milch und Milchprodukte n = Fl: Fleisch und Fleischwaren
$C_r^{Sch}$	Spezifische Aktivität des Radionuklids r in Schwebstoffen in $Bq \cdot kg^{-1}$ Trockenmasse
$C_r^W$	Konzentration des Radionuklids r im Oberflächengewässer (Fließgewässer, stehendes Gewässer) in $Bq \cdot l^{-1}$
$C_r^{Wd}$	Spezifische Aktivität des Radionuklids r in der Weidepflanze zum Zeitpunkt der Ernte in $Bq \cdot kg^{-1}$
$E_{a,r}$	Jahresdosis (effektive Dosis) durch äußere Exposition des Radionuklids r in Sv
$E_{b,r}$	Jahresdosis (effektive Dosis) durch Gammabodenstrahlung des Radionuklids r in Sv
$E_{\beta,r}$	Jahresdosis (effektive Dosis) durch Betasubmersion des Radionuklids r in Sv
$E_{g,r}$	Jahresdosis (effektive Folgedosis) durch Ingestion des Radionuklids r in Sv
$E_{\gamma,r}$	Jahresdosis (effektive Dosis) durch Gammasubmersion des Radionuklids r in Sv
$E_{h,r}$	Jahresdosis (effektive Folgedosis) durch Inhalation des Radionuklids r in Sv
$E_i$	Gamma-Energie in MeV
$E_{i,r}$	Jahresdosis (effektive Folgedosis) durch innere Exposition des Radionuklids r in Sv
$E_{Sp,r}$	Jahresdosis (effektive Dosis) durch äußere Exposition des Radionuklids r beim Aufenthalt auf Spülfeldern in Sv
$E_{U,r}$	Jahresdosis (effektive Dosis) durch äußere Exposition des Radionuklids r beim Aufenthalt auf Ufersediment in Sv

Symbol	Definition
$E_{\ddot{U},r}$	Jahresdosis (effektive Dosis) durch äußere Exposition des Radionuklids r beim Aufenthalt auf Überschwemmungsgebieten in Sv
$f_C^n$	Massenanteil des Kohlenstoffs in pflanzlichen Nahrungsmitteln (n = Pf), Blattgemüse (n = Bl) und Weidepflanzen (n = Wd)
$f_{Ge,b}$	Reduktionsfaktor für Gammabodenstrahlung bei Aufenthalt in Gebäuden (dimensionslos)
$f_{Ge,\gamma}$	Reduktionsfaktor für Gammasubmersion bei Aufenthalt in Gebäuden (dimensionslos)
$f_H^{Pf}$	Massenanteil des Wassers an der gesamten Pflanzenmasse (dimensionslos)
$f_L$	Anteil des Tritiuminventars in der Pflanze, der aus der Luftfeuchte stammt (dimensionslos)
$f_n$	Anteil der Lebensmittelgruppe n, der infolge von Ableitungen mit Luft oder Wasser kontaminiert ist (dimensionslos)
$f_N$	Anteil des Tritiuminventars in der Pflanze, der aus Niederschlägen stammt (dimensionslos)
$f_p$	Bruchteil des Jahres, in dem die Tiere auf der Weide grasen (dimensionslos)
$f_r$	Anteil des Gamma-Energieemissionsspektrums des Radionuklids r oberhalb der Energie 0,2 MeV (dimensionslos)
$f_U$	Faktor, der die endliche Geometrie des Uferstreifens gegenüber einer unendlich ausgedehnten, homogen kontaminierten Fläche berücksichtigt (dimensionslos)
$f_v$	Mischungsverhältnis zwischen Abfluss der zu betrachtenden Anlage oder Einrichtung und Abfluss des Fließgewässers am betrachteten Ort (dimensionslos)
$f_W$	Anteil der durch Niederschlag oder infolge Beregnung auf der Pflanze abgelagerten Aktivität (dimensionslos)
$\bar{F}_{i,r}$ $\bar{F}_{k,r}$	Mittlere Bodenkontaminationsrate durch trockene Ablagerung des Radionuklids r während des i-ten bzw. k-ten Betriebsjahres in $Bq \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$
$\bar{F}_{k,r}^S(x, y)$	Mittlere Bodenkontaminationsrate durch trockene Ablagerung des Radionuklids r am Ort (x, y) während des Sommerhalbjahrs vom 1. Mai bis 31. Oktober im k-ten Betriebsjahr in $Bq \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$
$g_{b,r,eff}$	Dosisleistungskoeffizient für die effektive Dosis durch Gammabodenstrahlung des Radionuklids r in $Sv \cdot m^2 \cdot Bq^{-1} \cdot s^{-1}$
$g_{\beta,r,eff}$	Dosisleistungskoeffizient für die effektive Dosis durch Betasubmersion des Radionuklids r in $Sv \cdot m^3 \cdot Bq^{-1} \cdot s^{-1}$
$g_{g,r,eff}$	Dosiskoeffizient für die effektive Folgedosis durch Ingestion des Radionuklids r in $Sv \cdot Bq^{-1}$
$g_{\gamma,r,eff}$	Dosisleistungskoeffizient für die effektive Dosis durch Gammasubmersion des Radionuklids r in $Sv \cdot m^2 \cdot Bq^{-1} \cdot s^{-1}$
$g_{h,r,eff}$	Dosiskoeffizient für die effektive Folgedosis durch Inhalation des Radionuklids r in $Sv \cdot Bq^{-1}$
$\bar{G}_{\gamma 1}$	Jahresmittel der Gammasubmersion bei der Gamma-Energie 1 MeV in $Bq \cdot m^{-2}$

Symbol	Definition
$\bar{G}_{\gamma 2}$	Jahresmittel der Gammasubmersion bei der Gamma-Energie 0,1 MeV in $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$
i	Index zur Kennzeichnung des Betriebsjahres
I	Niederschlagsintensität in $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$
$I_0$	Niederschlagsintensität von $1 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$
j	Index zur Kennzeichnung des Zuflusses des stehenden Gewässers
$J_k^s$	Mittlere Niederschlagshöhe für das Sommerhalbjahr des k-ten Betriebsjahres in $\text{l}\cdot\text{m}^{-2}$
k	Index zur Kennzeichnung des letzten betrachteten Betriebsjahres
$k_a$	Anzahl der Jahre zwischen zwei Ausbaggerungen
$\kappa$	Stoffspezifischer Auswaschexponent
$K_{\text{Se},r}$	Konzentrationsfaktor für Schwebstoffe für das Radionuklid r in $\text{l}\cdot\text{kg}^{-1}$
$K_1$	Hilfsgröße; $K_1 = \frac{1}{\lambda_r} \cdot [1 - \exp(-\lambda_r \cdot t_{1a})]$
$K'_1$	Hilfsgröße; $K'_1 = \frac{1}{\lambda_{\text{eff},r}^{\ddot{u}}} \cdot [1 - \exp(-\lambda_{\text{eff},r}^{\ddot{u}} \cdot t_{1a})]$
L	Täglicher Wasserkonsum des Rinds in $\text{l}\cdot\text{d}^{-1}$
$\lambda_{\text{Anl},r}$	Anlagerungskonstante des Radionuklids r an Schwebstoffe in $\text{s}^{-1}$
$\lambda_{\text{eff},k,r}^{\text{Gew}}$	Effektive Verweilkonstante für das Verbleiben des Radionuklids r im stehenden Gewässer während des k-ten Betriebsjahres in $\text{s}^{-1}$
$\lambda_{\text{eff},r}^{\text{Bo}}$	Effektive Verweilkonstante für das Verbleiben des Radionuklids r im Wurzelbereich der Pflanzen in $\text{s}^{-1}$
$\lambda_{\text{eff},r}^{\text{Pf}}$	Effektive Verweilkonstante des Radionuklids r für das Verbleiben auf der Vegetation in $\text{s}^{-1}$
$\lambda_{\text{eff},r}^{\ddot{u}}$	Effektive Verweilkonstante zur Berücksichtigung des Eindringens des Radionuklids r in tiefere Bodenschichten auf Überschwemmungsgebieten in $\text{s}^{-1}$
$\lambda_{\text{m},r}$	Verweilkonstante des Radionuklids r im Wurzelbereich von Acker- und Weideböden aufgrund des Transports in tiefere Bodenschichten in $\text{s}^{-1}$
$\lambda_r$	Physikalische Zerfallskonstante des Radionuklids r in $\text{s}^{-1}$
$\lambda_{\ddot{u}}$	Verweilkonstante zur Berücksichtigung des Eindringens der Radionuklide in tiefere Bodenschichten in Überschwemmungsgebieten in $\text{s}^{-1}$
$\lambda_v$	Verweilkonstante für das Verbleiben der Radionuklide auf der Vegetation in $\text{s}^{-1}$
$\Lambda$	Auswaschfaktor in $\text{s}^{-1}$
$\Lambda_0$	Stoffspezifischer Auswaschfaktor für die Niederschlagsintensität $I_0$ ( $1 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ ) in $\text{s}^{-1}$
m	Index zur Kennzeichnung des Bodens m = A für Ackerboden m = Wd für Weideboden
$\dot{M}_{\text{Fu}}$	Tägliche Aufnahme von Futter (Weidebewuchs) in $\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$ Feuchtmasse
MQ	Mittlerer Abfluss (Mittelwasser) nach DIN 4049 Teil 3 in $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
$\text{MQ}_k^j$	Mittlerer Abfluss (Mittelwasser) des Zuflusses j während des k-ten Betriebsjahres in $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
$\text{MQ}_0$	Mittlerer Oberwasserzufluss nach DIN 4049 Teil 3 in $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
n	Index zur Bezeichnung der Lebensmittelgruppe:

Symbol	Definition
	<p>n = Pf für pflanzliche Nahrungsmittel außer Blattgemüse</p> <p>n = Bl für Blattgemüse</p> <p>n = Mi für Milch und Milchprodukte</p> <p>n = Fl für Fleisch und Fleischwaren</p> <p>n = Fi für Fischfleisch</p> <p>n = Tw für Trinkwasser</p> <p>n = MM für Muttermilch, Milchfertigprodukte mit Trinkwasser</p>
$O_{k,r}^U$	Flächenbezogene Aktivität des Radionuklids r im Ufersediment am Ende des k-ten Betriebsjahres in $Bq \cdot m^{-2}$
$O_{k,r}^{\ddot{U}}$	Flächenbezogene Aktivität des Radionuklids r in der oberen Bodenschicht auf Überschwemmungsgebieten am Ende des k-ten Betriebsjahres in $Bq \cdot m^{-2}$
$O_r^{\ddot{U}}$	Zeitabhängige flächenbezogene Aktivität des Radionuklids r in der oberen Bodenschicht auf Überschwemmungsgebieten in $Bq \cdot m^{-2}$
$p^m$	Flächentrockenmasse des Bodens in $kg \cdot m^{-2}$ m = A für Ackerboden, m = Wd für Weideboden
P	Mischungskoeffizient für Fließgewässer (dimensionslos)
$\bar{\psi}^S$	Mittlere absolute Luftfeuchte während der Wachstumszeit in $kg \cdot m^{-3}$
Q	Abfluss der zu betrachtenden Anlage oder Einrichtung in $m^3 \cdot s^{-1}$
r	Index zur Bezeichnung des Radionuklids
ri	Index zur Bezeichnung der Radionuklide innerhalb einer Zerfallskette
$\rho_{Se}$	Dichte des Sediments in $kg \cdot m^{-3}$ Trockenmasse
$\rho_{Sp}$	Dichte des Spülfeldbodens in $kg \cdot m^{-3}$ Trockenmasse
$\rho_w$	Dichte des Wassers in $kg \cdot l^{-1}$
SoMQ	Mittlerer Abfluss für das Sommerhalbjahr in $m^3 \cdot s^{-1}$
SoMQ <sub>0</sub>	Mittlerer Oberwasserzufluss für das Sommerhalbjahr in $m^3 \cdot s^{-1}$
t <sub>a</sub>	Zeit zwischen zwei Ausbaggerungen
t <sub>A</sub>	Jährliche Aufenthaltszeit am Ufer oder auf Überschwemmungsgebieten oder auf Spülfeldern in s
t <sub>e</sub> <sup>n</sup>	Zeitdauer, während der Pflanzen während der Wachstumsperiode der Abluftfahne ausgesetzt sind, in s
t <sub>f</sub>	Fließzeit zwischen Einleitungsstelle und betrachtetem Ort in s
t <sub>Fr</sub>	Jährliche Aufenthaltsdauer im Freien in s
t <sub>Ge</sub>	Jährliche Aufenthaltsdauer in Gebäuden in s
t <sub>Sp</sub>	Zeit zwischen dem Aufspülen eines Spülfeldes und der Begehrbarkeit in s
t <sub>v</sub> <sup>n</sup>	<p>Zeit zwischen Produktion und Verbrauch von Lebens- bzw. Futtermitteln in s</p> <p>n = Wd Zeit zwischen Ernte und Verzehr von Weidepflanzen</p> <p>n = Lf Zeit zwischen Ernte und Verzehr von Lagerfutter</p> <p>n = Bl Zeit zwischen Ernte und Verzehr von gartenfrischem Blattgemüse</p> <p>n = Pf Zeit zwischen Ernte und Verzehr von gelagertem Gemüse, pflanzlichen Nahrungsmitteln außer Blattgemüse</p> <p>n = Mi Zeit zwischen Melken und Milchverzehr</p> <p>n = Fl Zeit zwischen Schlachten und Fleischverzehr</p>

Symbol	Definition
	$n = Tw$ Zeit zwischen Entnahme aus dem Oberflächengewässer und Einspeisung in das Trinkwassernetz
$t_W^n$	Zeitdauer, während der Pflanzen während der Wachstumsperiode infolge Beregnung oberirdisch kontaminiert werden, in s $n = Wd$ Zeit bis zum erneuten Abweiden desselben Weidestücks $n = Pf, Bl$ mittlere Vegetationszeit von pflanzlichen Nahrungsmitteln außer Blattgemüse und von Blattgemüse
$t_{1a}$	Zeitdauer eines Jahres in s: $t_{1a} = 3,15 \cdot 10^7$ s
$T_{Anl,r}$	Halbwertszeit für die Anlagerung des Radionuklids r an Schwebstoffe in Oberflächengewässern in s
$T_r^{Fi}$	Konzentrationsfaktor vom Wasser in das Fischfleisch für das Radionuklid r in $l \cdot kg^{-1}$
$T_r^{Fl}$	Transferfaktor vom Futter bzw. Tränkwasser in das Fleisch für das Radionuklid r in $d \cdot kg^{-1}$
$T_r^{Mi}$	Transferfaktor vom Futter bzw. Tränkwasser in die Milch für das Radionuklid r in $d \cdot kg^{-1}$
$T_r^{MM,g}$	Transferfaktor von Lebensmitteln in die Muttermilch für das Radionuklid r in $d \cdot kg^{-1}$
$T_r^{MM,h}$	Transferfaktor von der Atemluft in die Muttermilch für das Radionuklid r in $d \cdot kg^{-1}$
$T_r^n$	Transferfaktor vom Boden zur Pflanze für das Radionuklid r in $Bq \cdot kg^{-1}$ Feuchtmasse pro $Bq \cdot kg^{-1}$ Trockenboden $n = Pf$ pflanzliche Nahrungsmittel außer Blattgemüse $n = Bl$ Blattgemüse $n = Wd$ Weidepflanzen
$U^{MM}$	Jährliche Verzehrsmenge von Muttermilch in kg
$U^n$	Jährliche Verzehrsmenge der Lebensmittelgruppe n in kg $n = Tw$ Trinkwasser $n = Fi$ Fischfleisch $n = Pf$ pflanzliche Nahrungsmittel außer Blattgemüse $n = Bl$ Blattgemüse $n = Mi$ Milch und Milchprodukte $n = Fl$ Fleisch und Fleischwaren
$U_r$	Effektive Schichtdicke zur Berücksichtigung der Selbstabschirmung in m
$v_g$	Depositionsgeschwindigkeit für trockene Ablagerung in $m \cdot s^{-1}$
$v_s$	Sedimentationsgeschwindigkeit für trockene Ablagerung in $m \cdot s^{-1}$
$v_{Se}$	Sedimentationsgeschwindigkeit im Wasserkörper in $m \cdot s^{-1}$
$\dot{V}$	Atemrate in $m^3 \cdot s^{-1}$
$V_C$	Assimilationsrate für Kohlenstoff in $kg \cdot s^{-1} \cdot m^2$
$V_{Gew}$	Volumen des stehenden Gewässers in $m^3$
$\bar{W}_{i,r}$	Mittlere Bodenkontaminationsrate durch das Radionuklid r infolge
$\bar{W}_{k,r}$	Niederschlag während des i-ten bzw. k-ten Betriebsjahres in $Bq \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$

Symbol	Definition
$W_k$	Berechnungsrate während der Weidezeit und der Wachstumszeit von pflanzlichen Nahrungsmitteln im k-ten Betriebsjahr in $l \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$
$\bar{W}_{k,H-3}^S$	Mittlere Kontaminationsrate durch Niederschlag von tritiiertem Wasser während des Sommerhalbjahrs vom 1. Mai bis 31. Oktober im k-ten Betriebsjahr in $Bq \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$
$\bar{W}_{k,r}^S$	Mittlere Kontaminationsrate durch nasse Ablagerung des Radionuklids r während des Sommerhalbjahrs vom 1. Mai bis 31. Oktober im k-ten Betriebsjahr in $Bq \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$
$W_r(x, y)$	Bodenkontaminationsrate durch das Radionuklid r infolge Niederschlag am Ort $(x, y)$ in $Bq \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$
x	Ortskoordinate; Entfernung der Wasserentnahmestelle von der Einleitungsstelle in Fließrichtung in m
x, y, z	Ortskoordinaten
$Y^n$	Ertrag bzw. Bewuchsdichte in $kg \cdot m^{-2}$ Feuchtmasse n = Bl Ertrag von Blattgemüse n = Pf Ertrag von pflanzlichen Nahrungsmitteln außer Blattgemüse n = Wd Bewuchsdichte von Weidepflanzen
$Y_i$	Pro Zerfall emittierte Gamma-Quanten der Energie $E_i$
$z_{max}$	Obere Integrationsgrenze zur Berechnung der Bodenkontaminationsrate durch Niederschlag in m
$z_0$	Rauigkeitslänge zur Beschreibung der Bodenrauigkeit des Geländes in m

## Anhang A2. Dosis- und Dosisleistungskoeffizienten (Betasubmersion, Gammasubmersion, Gammabodenstrahlung, Inhalation, Ingestion)

### A2.1 Dosisleistungskoeffizienten für Betasubmersion $g_{\beta,r,eff}$ ( $Sv \cdot m^3 \cdot Bq^{-1} \cdot s^{-1}$ )

Es sind die Dosisleistungskoeffizienten für Betasubmersion gemäß Anlage 18 Teil B Nummer 4 StrlSchV zu verwenden.

Die Dosisleistungskoeffizienten sind jeweils ohne und mit Berücksichtigung von Folgenukliden (Tochternukliden) angegeben.

Bei der Berechnung der Dosisleistungskoeffizienten mit Berücksichtigung der Tochternuklide ist eine Transportzeit zwischen Emissionsort und Einwirkungsstelle von 100 Sekunden berücksichtigt worden. Die angegebenen Dosisleistungskoeffizienten ohne Berücksichtigung der Tochternuklide berücksichtigen keinen radioaktiven Zerfall, die Transportzeit ist Null.

## A2.2 Dosisleistungskoeffizienten für Gammasubmersion $g_{v,r,eff}$ ( $Sv \cdot m^2 \cdot Bq^{-1} \cdot s^{-1}$ ) und für Gammabodenstrahlung $g_{b,r,eff}$ ( $Sv \cdot m^2 \cdot Bq^{-1} \cdot s^{-1}$ ) und Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung der Körpergeometrie der Referenzpersonen bei Gammasubmersion und Gammabodenstrahlung

Es sind die Dosisleistungskoeffizienten für Gammasubmersion und Gammabodenstrahlung sowie die Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung der Körpergeometrie der Referenzpersonen bei äußerer Exposition gemäß Anlage 18 Teil B Nummer 4 StrlSchV zu verwenden.

Die Dosisleistungskoeffizienten in der oben genannten Zusammenstellung sind auf Referenzpersonen der Altersgruppe > 17 a bezogen.

Für Referenzpersonen der Altersgruppen  $\leq 17$  a sind wegen der geringeren Organabschirmung und der geringeren Körpergröße die jeweils genannten Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung der Körpergeometrie der Referenzpersonen anzuwenden.

Bei der Berechnung des Anteils der Tochternuklide am Dosisleistungskoeffizient für Gammasubmersion ist eine Zerfallszeit des Mutternuklides von 200 Sekunden angenommen worden. Der Dosisleistungskoeffizient für Gammasubmersion mit Berücksichtigung der Tochternuklide setzt sich zusammen aus dem Dosisleistungskoeffizient (ohne Berücksichtigung einer Zerfallszeit) des Mutternuklids und dem Beitrag der Tochternuklide, die während der Zerfallszeit von 200 Sekunden gebildet worden sind.

Die Berechnung der Dosisleistungskoeffizienten für Gammabodenstrahlung erfolgte unter Berücksichtigung der Beiträge der Tochternuklide nach einer 50 Jahre dauernden kontinuierlichen Ablagerung des Radionuklids  $r$ .

Die Dosisleistungskoeffizienten sind jeweils ohne und mit Berücksichtigung von Tochternukliden angegeben.

Der Faktor  $f_r$  für Gammasubmersion bezieht sich jeweils auf die Werte ohne Berücksichtigung von Tochternukliden.

Zerfällt ein Radionuklid ohne Gammastrahlung in einen Gammastrahler (z. B. Cs-137 – Ba-137m), so ist zusätzlich der Faktor  $f_r$  für das Tochternuklid zu berücksichtigen.

## A2.3 Inhalationsdosiskoeffizienten $g_{h,r,eff}$ ( $Sv \cdot Bq^{-1}$ ) und Ingestionsdosiskoeffizienten $g_{g,r,eff}$ ( $Sv \cdot Bq^{-1}$ )

Es sind die Dosiskoeffizienten für Inhalation und Ingestion gemäß Anlage 18 Teil B Nummer 4 StrlSchV zu verwenden.

Für C-14 ist der Inhalationsdosiskoeffizient für CO<sub>2</sub> bzw. der Ingestionsdosiskoeffizient für organische Verbindungen anzuwenden. Ist die chemische Verbindung des mit Luft abgeleiteten C-14 bekannt, kann der jeweilige Inhalationsdosiskoeffizient herangezogen werden.

Bei Unkenntnis der Lungenabsorptionsklasse bzw. Ingestionsklasse der Radionuklidverbindung ist die ungünstigste Klasse den Berechnungen der effektiven Folgedosis zugrunde zu legen, d. h. die Klasse, die den höchsten Beitrag zur effektiven Folgedosis ergibt. Der Berechnung der effektiven Folgedosis ist für jedes Radionuklid die Lungenabsorptions- bzw. Ingestionsklasse zugrunde zu legen, bei der der höchste Dosiskoeffizient für die effektive Folgedosis vorliegt.

Für den Muttermilchpfad sind zusätzlich die Dosiskoeffizienten in Tabelle 2 zu verwenden.

Tabelle 2: Dosiskoeffizienten für den Verzehr von Muttermilch bei Ingestion ( $g_{g,r,eff}^{MM}$ ) oder Inhalation ( $g_{h,r,eff}^{MM}$ ) von Radionukliden durch die Mutter

Radionuklid	Ingestion durch die Mutter $g_{g,r,eff}^{MM}$ (Sv·Bq <sup>-1</sup> )	Inhalation durch die Mutter $g_{h,r,eff}^{MM}$ (Sv·Bq <sup>-1</sup> )
H-3	1,8·10 <sup>-11</sup> (OBT) 1,1·10 <sup>-11</sup> (HTO)	3,7·10 <sup>-12</sup> (Schwebstoffe) 1,8·10 <sup>-11</sup> (OBT gasförmig) 1,1·10 <sup>-13</sup> (tritiertes Methan) 1,0·10 <sup>-15</sup> (elementares Tritium) 1,1·10 <sup>-11</sup> (HTO gasförmig)
C-14	1,8·10 <sup>-10</sup>	6,3·10 <sup>-11</sup> (Schwebstoffe) 1,9·10 <sup>-10</sup> (gasförmig)
Na-22	7,0·10 <sup>-10</sup>	2,3·10 <sup>-10</sup>
Na-24	3,0·10 <sup>-12</sup>	1,1·10 <sup>-12</sup>
Mg-28	1,2·10 <sup>-10</sup>	7,0·10 <sup>-11</sup>
P-32	8,2·10 <sup>-10</sup>	3,3·10 <sup>-10</sup>
P-33	8,3·10 <sup>-11</sup>	3,3·10 <sup>-11</sup>
S-35	1,9·10 <sup>-10</sup>	1,7·10 <sup>-10</sup>
K-42	7,0·10 <sup>-12</sup>	2,6·10 <sup>-12</sup>
K-43	6,5·10 <sup>-12</sup>	2,2·10 <sup>-12</sup>
Ca-45	9,9·10 <sup>-10</sup>	8,2·10 <sup>-10</sup>
Ca-47	7,7·10 <sup>-10</sup>	7,1·10 <sup>-10</sup>
Fe-55	1,6·10 <sup>-11</sup>	2,0·10 <sup>-11</sup>
Fe-59	4,0·10 <sup>-11</sup>	4,9·10 <sup>-11</sup>
Co-57	5,8·10 <sup>-11</sup>	1,2·10 <sup>-10</sup>
Co-58	1,3·10 <sup>-10</sup>	2,9·10 <sup>-10</sup>
Co-60	1,1·10 <sup>-9</sup>	2,5·10 <sup>-9</sup>
Ni-59	1,3·10 <sup>-12</sup>	6,4·10 <sup>-12</sup> (Schwebstoffe) 2,5·10 <sup>-11</sup> (Nickelcarbonyl gasförmig)
Ni-63	3,2·10 <sup>-12</sup>	1,6·10 <sup>-11</sup> (Schwebstoffe) 6,4·10 <sup>-11</sup> (Nickelcarbonyl gasförmig)
Zn-65	6,5·10 <sup>-10</sup>	3,8·10 <sup>-10</sup>
Se-75	1,9·10 <sup>-9</sup>	7,8·10 <sup>-10</sup>
Se-79	5,6·10 <sup>-9</sup>	2,2·10 <sup>-9</sup>
Sr-89	1,1·10 <sup>-9</sup>	9,3·10 <sup>-10</sup>

Radionuklid	Ingestion durch die Mutter $g_{g,r,eff}^{MM} (Sv \cdot Bq^{-1})$	Inhalation durch die Mutter $g_{h,r,eff}^{MM} (Sv \cdot Bq^{-1})$
Sr-90	$8,9 \cdot 10^{-9}$	$7,2 \cdot 10^{-9}$
Zr-95	$2,2 \cdot 10^{-12}$	$5,2 \cdot 10^{-11}$
Nb-94	$6,2 \cdot 10^{-12}$	$1,5 \cdot 10^{-10}$
Nb-95	$3,6 \cdot 10^{-13}$	$9,0 \cdot 10^{-12}$
Mo-99	$4,9 \cdot 10^{-12}$	$1,6 \cdot 10^{-12}$
Tc-99m	$7,2 \cdot 10^{-12}$	$6,8 \cdot 10^{-12}$
Ru-103	$6,4 \cdot 10^{-12}$	$3,2 \cdot 10^{-11}$ (Schwebstoffe) $6,9 \cdot 10^{-11}$ (Ruthentetroxid)
Ru-106	$1,0 \cdot 10^{-10}$	$5,1 \cdot 10^{-10}$ (Schwebstoffe) $1,1 \cdot 10^{-9}$ (Ruthentetroxid)
Ag-108m	$1,7 \cdot 10^{-10}$	$8,3 \cdot 10^{-10}$
Ag-110m	$1,6 \cdot 10^{-10}$	$8,3 \cdot 10^{-10}$
Sb-124	$5,7 \cdot 10^{-11}$	$1,4 \cdot 10^{-10}$
Sb-125	$2,8 \cdot 10^{-11}$	$7,0 \cdot 10^{-11}$
Sb-126	$3,5 \cdot 10^{-11}$	$9,1 \cdot 10^{-11}$
Sb-127	$2,1 \cdot 10^{-11}$	$5,5 \cdot 10^{-11}$
Te-127m	$6,3 \cdot 10^{-11}$	$5,7 \cdot 10^{-11}$ (Schwebstoffe) $1,7 \cdot 10^{-10}$ (gasförmig)
Te-129m	$4,7 \cdot 10^{-11}$	$4,3 \cdot 10^{-11}$ (Schwebstoffe) $1,3 \cdot 10^{-10}$ (gasförmig)
Te-131m	$1,1 \cdot 10^{-9}$	$8,0 \cdot 10^{-10}$ (Schwebstoffe) $2,4 \cdot 10^{-9}$ (gasförmig)
Te-132	$2,4 \cdot 10^{-10}$	$1,9 \cdot 10^{-10}$ (Schwebstoffe) $5,5 \cdot 10^{-10}$ (gasförmig)
I-125	$8,8 \cdot 10^{-9}$	$3,0 \cdot 10^{-9}$ (Schwebstoffe) $6,2 \cdot 10^{-9}$ (Methyljodid) $7,8 \cdot 10^{-9}$ (gasförmig)
I-129	$3,5 \cdot 10^{-8}$	$1,2 \cdot 10^{-8}$ (Schwebstoffe) $2,5 \cdot 10^{-8}$ (Methyljodid) $3,2 \cdot 10^{-8}$ (gasförmig)
I-131	$2,8 \cdot 10^{-8}$	$9,5 \cdot 10^{-9}$ (Schwebstoffe) $2,0 \cdot 10^{-8}$ (Methyljodid) $2,5 \cdot 10^{-8}$ (gasförmig)
I-132	$9,0 \cdot 10^{-11}$	$3,1 \cdot 10^{-11}$ (Schwebstoffe) $7,0 \cdot 10^{-11}$ (Methyljodid) $8,0 \cdot 10^{-11}$ (gasförmig)
I-133	$5,5 \cdot 10^{-9}$	$1,9 \cdot 10^{-9}$ (Schwebstoffe) $4,0 \cdot 10^{-9}$ (Methyljodid) $5,0 \cdot 10^{-9}$ (gasförmig)
I-134	$1,0 \cdot 10^{-11}$	$3,8 \cdot 10^{-12}$ (Schwebstoffe) $9,5 \cdot 10^{-12}$ (Methyljodid) $1,0 \cdot 10^{-11}$ (gasförmig)

Radionuklid	Ingestion durch die Mutter $g_{g,r,eff}^{MM} (Sv \cdot Bq^{-1})$	Inhalation durch die Mutter $g_{h,r,eff}^{MM} (Sv \cdot Bq^{-1})$
I-135	$7,0 \cdot 10^{-10}$	$2,4 \cdot 10^{-10}$ (Schwebstoffe) $5,0 \cdot 10^{-10}$ (Methyliodid) $6,0 \cdot 10^{-10}$ (gasförmig)
Cs-134	$2,3 \cdot 10^{-9}$	$8,0 \cdot 10^{-10}$
Cs-136	$3,5 \cdot 10^{-10}$	$1,2 \cdot 10^{-10}$
Cs-137	$1,9 \cdot 10^{-9}$	$6,8 \cdot 10^{-10}$
Ba-133	$7,0 \cdot 10^{-11}$	$8,8 \cdot 10^{-11}$
Ba-140	$1,0 \cdot 10^{-10}$	$1,3 \cdot 10^{-10}$
Ce-141	$8,0 \cdot 10^{-14}$	$4,0 \cdot 10^{-11}$
Ce-144	$7,6 \cdot 10^{-13}$	$3,7 \cdot 10^{-10}$
Pb-210	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-7}$
Po-210	$2,8 \cdot 10^{-7}$	$8,8 \cdot 10^{-8}$
Ra-224	$6,0 \cdot 10^{-9}$	$8,0 \cdot 10^{-9}$
Ra-226	$1,5 \cdot 10^{-8}$	$1,9 \cdot 10^{-8}$
Ra-228	$9,7 \cdot 10^{-8}$	$1,2 \cdot 10^{-7}$
Th-228	$7,9 \cdot 10^{-10}$	$2,7 \cdot 10^{-7}$
Th-230	$5,3 \cdot 10^{-11}$	$2,6 \cdot 10^{-8}$
Th-232	$8,6 \cdot 10^{-11}$	$3,9 \cdot 10^{-8}$
Th-234	$4,6 \cdot 10^{-13}$	$2,2 \cdot 10^{-10}$
U-232	$1,4 \cdot 10^{-9}$	$1,7 \cdot 10^{-8}$
U-233	$1,9 \cdot 10^{-10}$	$2,3 \cdot 10^{-9}$
U-234	$1,9 \cdot 10^{-10}$	$2,3 \cdot 10^{-9}$
U-235	$1,8 \cdot 10^{-10}$	$2,2 \cdot 10^{-9}$
U-236	$1,8 \cdot 10^{-10}$	$2,2 \cdot 10^{-9}$
U-238	$1,7 \cdot 10^{-10}$	$2,1 \cdot 10^{-9}$
Np-237	$4,5 \cdot 10^{-11}$	$2,2 \cdot 10^{-8}$
Np-239	$1,3 \cdot 10^{-13}$	$6,5 \cdot 10^{-11}$
Pu-238	$5,1 \cdot 10^{-11}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$
Pu-239	$5,3 \cdot 10^{-11}$	$2,6 \cdot 10^{-8}$
Pu-240	$5,3 \cdot 10^{-11}$	$2,6 \cdot 10^{-8}$
Pu-241	$7,4 \cdot 10^{-13}$	$3,5 \cdot 10^{-10}$
Am-241	$5,3 \cdot 10^{-11}$	$2,6 \cdot 10^{-8}$
Am-243	$5,2 \cdot 10^{-11}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$
Cm-242	$7,3 \cdot 10^{-12}$	$3,6 \cdot 10^{-9}$
Cm-244	$4,1 \cdot 10^{-11}$	$2,0 \cdot 10^{-8}$

## Anhang A3. Daten zur Berechnung des Radionuklidtransports

Tabelle 3: Allgemeine Daten zur Berechnung des Radionuklidtransports

Symbol	Definition	Wert
$C_C^L$	mittlere Kohlenstoffkonzentration der Luft (400 ppmV)	$2,0 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
$f_C^n$	Massenanteil des Kohlenstoffs in n = Pf, Bl (pflanzlichen Nahrungsmitteln und Blattgemüse) n = Wd (Weidepflanzen)	0,18 0,09
$f_H^{Pf}$	Anteil des Wassers an der gesamten Pflanzenmasse	0,8
$f_L$	Anteil des Tritiuminventars in der Pflanze, der aus der Luftfeuchte stammt	0,3
$f_n$	Anteil der Lebensmittelgruppe n, der infolge von Ableitungen mit Luft oder Wasser kontaminiert ist: n = Pf für pflanzliche Nahrungsmittel außer Blattgemüse n = Bl für Blattgemüse n = Mi für Milch und Milchprodukte n = Fl für Fleisch und Fleischwaren n = Fi für Fischfleisch n = Tw für Trinkwasser n = MM für Muttermilch, Milchfertigprodukte mit Trinkwasser	0,5 0,5 0,5 0,5 0,5 1 1
$f_N$	Anteil des Tritiuminventars in der Pflanze aus den Niederschlägen	0,7
$f_p$	Bruchteil des Jahres, in dem die Tiere auf der Weide grasen	0,5
$f_U$	Faktor, der die endliche Geometrie des Uferstreifens gegenüber einer unendlich ausgedehnten, homogen kontaminierten Fläche berücksichtigt: Aufenthalt am Flussufer oberhalb der Tidegrenze Aufenthalt auf trockengefallenen Flusssedimenten unterhalb der Tidegrenze	0,2 1,0
$f_w$	Anteil der durch Niederschlag oder infolge Beregnung auf der Pflanze abgelagerten Aktivität	0,3

Symbol	Definition	Wert												
$\bar{\psi}^S$	mittlere absolute Luftfeuchte während der Wachstumszeit	0,009 kg·m <sup>-3</sup>												
L	täglicher Wasserkonsum des Rinds	100 l·d <sup>-1</sup>												
$\lambda_{Anl,r}$	Anlagerungskonstante des Radionuklids r in s <sup>-1</sup> , siehe Anhang A3 Tabelle 6 Elementgruppe 1: Elementgruppe 2: Elementgruppe 3:	$\infty$ 5·10 <sup>-6</sup> s <sup>-1</sup> 3·10 <sup>-6</sup> s <sup>-1</sup>												
$\lambda_{eff,r}^{Bo}$	effektive Verweilkonstante für das Verbleiben des Radionuklids r im Wurzelbereich der Pflanzen $\lambda_{eff,r}^{Bo} = \lambda_{m,r} + \lambda_r$													
$\lambda_r$	physikalische Zerfallskonstante des Radionuklids r in s <sup>-1</sup>													
$\lambda_{m,r}$	Verweilkonstante der Radionuklide aufgrund des Transports in tiefere Bodenschichten  – für Tc, Cl – für Sr, Ru, I – für Cs, Aktiniden – nicht aufgeführte Elemente sind aufgrund ihrer chemischen Verwandtschaft zu angegebenen Elementen oder aufgrund von Literaturwerten in die entsprechende Gruppe einzuordnen. Ansonsten sind sie der Gruppe der Aktiniden zuzuordnen.	<table style="width: 100%; border: none;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;"></th> <th style="width: 35%; text-align: center;">Acker</th> <th style="width: 35%; text-align: center;">Weide</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>– für Tc, Cl</td> <td style="text-align: center;">10<sup>-8</sup> s<sup>-1</sup></td> <td style="text-align: center;">2,0·10<sup>-8</sup> s<sup>-1</sup></td> </tr> <tr> <td>– für Sr, Ru, I</td> <td style="text-align: center;">10<sup>-9</sup> s<sup>-1</sup></td> <td style="text-align: center;">2,0·10<sup>-9</sup> s<sup>-1</sup></td> </tr> <tr> <td>– für Cs, Aktiniden</td> <td style="text-align: center;">10<sup>-10</sup> s<sup>-1</sup></td> <td style="text-align: center;">2,0·10<sup>-10</sup> s<sup>-1</sup></td> </tr> </tbody> </table>		Acker	Weide	– für Tc, Cl	10 <sup>-8</sup> s <sup>-1</sup>	2,0·10 <sup>-8</sup> s <sup>-1</sup>	– für Sr, Ru, I	10 <sup>-9</sup> s <sup>-1</sup>	2,0·10 <sup>-9</sup> s <sup>-1</sup>	– für Cs, Aktiniden	10 <sup>-10</sup> s <sup>-1</sup>	2,0·10 <sup>-10</sup> s <sup>-1</sup>
	Acker	Weide												
– für Tc, Cl	10 <sup>-8</sup> s <sup>-1</sup>	2,0·10 <sup>-8</sup> s <sup>-1</sup>												
– für Sr, Ru, I	10 <sup>-9</sup> s <sup>-1</sup>	2,0·10 <sup>-9</sup> s <sup>-1</sup>												
– für Cs, Aktiniden	10 <sup>-10</sup> s <sup>-1</sup>	2,0·10 <sup>-10</sup> s <sup>-1</sup>												
$\lambda_{eff,r}^{Pf}$	effektive Verweilkonstante des Radionuklids r für das Verbleiben auf der Vegetation $\lambda_{eff,r}^{Pf} = \lambda_V + \lambda_r$													
$\lambda_V$	Verweilkonstante für das Verbleiben der Radionuklide auf der Vegetation (Halbwertszeit 14 Tage)	5,7·10 <sup>-7</sup> s <sup>-1</sup>												
$\lambda_{eff,r}^{\ddot{U}}$	effektive Verweilkonstante des Radionuklids r in Überschwemmungsgebieten $\lambda_{eff,r}^{\ddot{U}} = \lambda_{\ddot{U}} + \lambda_r$													
$\lambda_{\ddot{U}}$	Verweilkonstante zur Berücksichtigung des Eindringens der Radionuklide in tiefere Bodenschichten in Überschwemmungsgebieten	3·10 <sup>-9</sup> s <sup>-1</sup>												
$\dot{M}_{Fu}$	tägliche Aufnahme von Futter (Weidebewuchs, Feuchtmasse)	70 kg·d <sup>-1</sup>												
$p^m$	Flächentrockenmasse des Bodens													

Symbol	Definition	Wert
	m = A für Ackerboden (Pflugschartiefe 20 cm): $p^A$	280 kg·m <sup>-2</sup>
	m = Wd für Weideboden (10 cm Tiefe): $p^{Wd}$	120 kg·m <sup>-2</sup>
$\rho_{Se}$	Dichte des Sediments (Trockenmasse)	700 kg·m <sup>-3</sup>
$\rho_{Sp}$	Dichte des Spülfeldbodens (Trockenmasse)	1200 kg·m <sup>-3</sup>
$\rho_W$	Dichte des Wassers	1 kg·l <sup>-1</sup>
$t_a$	Zeit zwischen zwei Ausbaggerungen in s	ortsspezifisch
$t_e^n$	Zeit, in der Pflanzen während der Wachstumsperiode der Abluftfahne ausgesetzt sind n = Pf für pflanzliche Nahrungsmittel außer Blattgemüse ( $t_e^{Pf} = 60$ Tage)	5,2·10 <sup>6</sup> s
	n = Bl für Blattgemüse ( $t_e^{Bl} = 60$ Tage)	5,2·10 <sup>6</sup> s
	n = Wd für Weidepflanzen ( $t_e^{Wd} = 30$ Tage)	2,6·10 <sup>6</sup> s
$t_R$	Anzahl der Tage im Jahr, an denen beregnet wird	180
$t_{Sp}$	Zeit zwischen dem Aufspülen eines Spülfeldes und der Begehbarkeit (ca. 3 Jahre)	10 <sup>8</sup> s
$t_v^n$	Zeit zwischen Produktion und Verbrauch von Nahrungs- bzw. Futtermitteln n = Wd Zeit zwischen Ernte und Verzehr von Weidepflanzen ( $t_v^{Wd} = 0$ Tage)	0 s
	n = Lf Zeit zwischen Ernte und Verzehr von Lagerfutter ( $t_v^{Lf} = 90$ Tage)	7,8·10 <sup>6</sup> s
	n = Bl Zeit zwischen Ernte und Verzehr von gartenfrischem Blattgemüse ( $t_v^{Bl} = 0$ Tage)	0 s
	n = Pf Zeit zwischen Ernte und Verzehr von gelagertem Gemüse, pflanzlichen Nahrungsmitteln außer Blattgemüse ( $t_v^{Pf} = 60$ Tage)	5,2·10 <sup>6</sup> s
	n = Mi Zeit zwischen Melken und Milchverzehr ( $t_v^{Mi} = 0$ Tage)	0 s

Symbol	Definition	Wert
	<p>n = Fl Zeit zwischen Schlachten und Fleischverzehr (<math>t_v^{Fl} = 20</math> Tage)</p> <p>n = Fi Zeit zwischen Fischfang und Fischverzehr (<math>t_v^{Fi} = 0</math> Tage)</p> <p>n = Tw Zeit zwischen Entnahme aus den Oberflächengewässern und der Einspeisung in das Trinkwassernetz <math>t_v^{Tw}</math> in s</p>	<p><math>1,7 \cdot 10^6</math> s</p> <p>0 s</p> <p>ortsspezifisch</p>
$t_W^n$	<p>Zeit, in der Pflanzen während der Wachstumsperiode infolge Beregnung oberirdisch kontaminiert werden</p> <p>n = Wd Zeit bis zum erneuten Abweiden desselben Weidestücks (<math>t_W^{Wd} = 30</math> Tage)</p> <p>n = Pf, Bl mittlere Vegetationszeit von pflanzlichen Nahrungsmitteln außer Blattgemüse und von Blattgemüse (<math>t_W^{Pf} = t_W^{Bl} = 60</math> Tage)</p>	<p><math>2,6 \cdot 10^6</math> s</p> <p><math>5,2 \cdot 10^6</math> s</p>
$U_r$	Effektive Schichtdicke zur Berücksichtigung der Selbstabschirmung von Gamma-Energien bis zu 1,5 MeV	0,05 m
$V_C$	Assimilationsrate für Kohlenstoff	$10^{-7} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
$v_{Se}$	mittlere Sedimentationsgeschwindigkeit (ca. 0,65 cm pro Jahr)	$2,1 \cdot 10^{-10} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
$W$	Beregnungsrate während der Weidezeit und der Wachstumszeit von pflanzlichen Nahrungsmitteln ( $1 \text{ l m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ )	$1,2 \cdot 10^{-5} \text{ l} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
$Y^n$	<p>Ertrag bzw. Bewuchsdichte (Feuchtmasse)</p> <p>n = Bl Ertrag von Blattgemüse <math>Y^{Bl}</math></p> <p>n = Pf Ertrag von pflanzlichen Nahrungsmitteln außer Blattgemüse <math>Y^{Pf}</math></p> <p>n = Wd Bewuchsdichte von Weidepflanzen <math>Y^{Wd}</math></p>	<p><math>1,6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}</math></p> <p><math>2,4 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}</math></p> <p><math>0,85 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}</math></p>

Tabelle 4: Transferfaktoren zur Berechnung des Radionuklidtransportes

Element	$T_R^{Wd}$ in $\frac{Bq/kg FM}{Bq/kg TM}$ (-)	$T_R^{Pf}, T_R^{Bl}$ in $\frac{Bq/kg FM}{Bq/kg TM}$ (-)	$T_R^{Mi 1)}$ in (d·kg <sup>-1</sup> Milch)	$T_R^{Fl}$ in (d·kg <sup>-1</sup> Fleisch)
H	- <sup>3)</sup>	- <sup>3)</sup>	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
Be	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$
C	- <sup>3)</sup>	- <sup>3)</sup>	$2 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$
F	$3 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-1}$
Na	$4 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-2}$
Mg	$6 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-2}$
Al	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Si	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-5}$
P	$5 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^0$	$3 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-2}$
S	$9 \cdot 10^{-1}$	$9 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$
Cl	$1 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^1$	$2 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-2}$
K	$1 \cdot 10^0$	$1 \cdot 10^0$	$6 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-2}$
Ca	$2 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Sc	$2 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-2}$
V	$3 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-3}$
Cr	$4 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$
Mn	$1 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$
Fe	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-2}$
Co	$9 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-2}$
Ni	$5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Cu	$2 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$
Zn	$2 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-1}$
Ga	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-1}$
Ge	$2 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-1}$
As	$6 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Se	$5 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-2}$
Br	$1 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$
Rb	$9 \cdot 10^{-1}$	$9 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$
Sr	$3 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Y	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Zr	$1 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-2}$
Nb	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-1}$
Mo	$2 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$
Tc	$2 \cdot 10^1$	$6 \cdot 10^0$	$1 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-2}$
Ru	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Rh	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Pd	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-3}$
Ag	$2 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$

Element	$T_R^{Wd}$ in $\frac{Bq/kg FM}{Bq/kg TM}$ (-)	$T_R^{Pf}, T_R^{Bl}$ in $\frac{Bq/kg FM}{Bq/kg TM}$ (-)	$T_R^{Mi 1)}$ in (d·kg <sup>-1</sup> Milch)	$T_R^{Fl}$ in (d·kg <sup>-1</sup> Fleisch)
Cd	$8 \cdot 10^{-1}$	$8 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-3}$
In	$3 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-3}$
Sn	$2 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-2}$
Sb	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Te	$2 \cdot 10^0$	$2 \cdot 10^0$	$3 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-2}$
I	$1 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$
Cs	$5 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-2}$
Ba	$2 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$
La	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Ce	$7 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Pr	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Nd	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-3}$
Pm	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Sm	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Eu	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Gd	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-3}$
Tb	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Dy	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-3}$
Ho	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Er	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-3}$
Tm	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Yb	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-3}$
Lu	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Hf	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-1}$
Ta	$7 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-1}$
W	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-2}$
Re	$3 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$
Os	$5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-1}$
Ir	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Pt	$5 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$
Au	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-3}$
Hg	$7 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-1}$
Tl	$3 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-2}$
Pb	$2 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$
Bi	$2 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-2}$
Po	$2 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-3}$
At	$3 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-1}$
Ra	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-4}$

Element	$T_R^{Wd}$ in $\frac{Bq/kg FM}{Bq/kg TM}$ (-)	$T_R^{Pf}, T_R^{Bl}$ in $\frac{Bq/kg FM}{Bq/kg TM}$ (-)	$T_R^{Mi 1)}$ in (d·kg <sup>-1</sup> Milch)	$T_R^{Fl}$ in (d·kg <sup>-1</sup> Fleisch)
Ac	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-2}$
Th	$2 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-4}$
Pa	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-3}$
U	$9 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$
Np	$1 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-4}$
Pu	$1 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-6}$
Am	$3 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-4}$
Cm	$2 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$
Bk	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$
Cf	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$

1) Für diesen Transferfaktor wird in der Literatur üblicherweise die Einheit d·l<sup>-1</sup> verwendet.

2) FM = Feuchtmasse  
TM = Trockenmasse

3) Entfällt, Berechnung erfolgt nach dem spezifischen Aktivitätsmodell

Ist aufgrund standortspezifischer Besonderheiten die Annahme begründet, dass andere Transferfaktoren Boden/Pflanze ( $T_R^{Pf}$ ) oder Boden/Weidepflanze ( $T_R^{Wd}$ ) vorliegen, so sind diese so zugrunde zu legen, dass bei dem Gesamtergebnis eine Unterschätzung der Exposition nicht zu erwarten ist.

Die Zahlenwerte wurden unter Berücksichtigung internationaler Publikationen aktualisiert. Es können daher Abweichungen zu anderen Berechnungsvorschriften auftreten.

Tabelle 5: Transferfaktoren zur Berechnung des Übergangs inkorporierter Radionuklide in die Muttermilch

Element	$T_R^{MM,g 1)}$ (d·kg <sup>-1</sup> Muttermilch)	$T_R^{MM,h 1)}$ (d·kg <sup>-1</sup> Muttermilch)
H	0,5	0,2 (Schwebstoffe) 0,5 (HTO, OBT) 0,005 (tritiertes Methan) $5 \cdot 10^{-5}$ (elementares Tritium)
Be	0,006	0,1
C	0,3	0,1 (Schwebstoffe, CO) 0,3 (CO <sub>2</sub> , Kohlenstoffdampf)
F	0,02	0,007
Na	0,05	0,02
Mg	0,1	0,06

Element	$T_r^{MM,g\ 1)}$ (d·kg <sup>-1</sup> Muttermilch)	$T_r^{MM,h\ 1)}$ (d·kg <sup>-1</sup> Muttermilch)
Al	0,02	0,3
Si	0,2	0,3
P	0,1	0,04
S	0,2	0,07 (Schwebstoffe, anorganisch) 0,2 (CS <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> )
Cl	0,08	0,03
K	0,2	0,07
Ca	0,4	0,3
Sc	0,1	0,01
V	0,04	0,3
Cr	0,2	0,3
Mn	0,002	0,005
Fe	0,04	0,1
Co	0,1	0,3
Ni	0,3	0,3 (Schwebstoffe) 1 (Nickelcarbonyl)
Cu	0,2	0,1
Zn	0,2	0,1
Ga	0,02	0,3
Ge	1	0,4
As	0,1	0,04
Se	0,3	0,1
Br	0,07	0,03
Rb	0,4	0,1
Sr	0,1	0,09
Y	0,02	0,1
Zr	0,07	0,3
Nb	0,02	0,3
Mo	0,03	0,01
Tc	0,6	0,4
Ru	0,03	0,2 (Schwebstoffe) 0,6 (Ruthentetroxid)
Rh	0,3	0,3
Pd	0,3	0,3
Ag	0,2	0,3
Cd	0,2	0,3
In	0,02	0,3
Sn	0,004	0,05
Sb	0,04	0,1
Te	0,4	0,3 (Schwebstoffe) 1 (elementares Tellur)

Element	$T_r^{MM,g 1)}$ (d·kg <sup>-1</sup> Muttermilch)	$T_r^{MM,h 1)}$ (d·kg <sup>-1</sup> Muttermilch)
I	0,6	0,2 (Schwebstoffe) 0,6 (elementares Iod) 0,4 (Methyliodid)
Cs	0,3	0,1
Ba	0,02	0,03
La	0,03	0,3
Ce	0,03	0,3
Pr	0,03	0,1
Nd	0,03	0,1
Pm	0,03	0,1
Sm	0,03	0,1
Eu	0,03	0,1
Gd	0,03	0,3
Tb	0,03	0,1
Dy	0,03	0,1
Ho	0,03	0,1
Er	0,03	0,1
Tm	0,03	0,1
Yb	0,03	0,1
Lu	0,03	0,1
Hf	0,002	0,3
Ta	0,001	0,1
W	0,4	0,3
Re	0,9	0,4
Os	0,1	0,3
Ir	0,1	0,3
Pt	0,1	0,3
Au	0,1	0,3
Hg	0,2	0,3 (Schwebstoffe, anorganisch) 0,8 (Quecksilberdampf) 0,1 (Schwebstoffe, organisch)
Tl	1	0,4
Pb	0,2	0,3
Bi	0,06	0,3
Po	0,6	0,3
At	1	0,4
Ra	0,2	0,3
Ac	6·10 <sup>-4</sup>	0,3
Th	0,02	0,3
Pa	6·10 <sup>-4</sup>	0,1
U	0,02	0,2

Element	$T_r^{MM,g \ 1)}$ (d·kg <sup>-1</sup> Muttermilch)	$T_r^{MM,h \ 1)}$ (d·kg <sup>-1</sup> Muttermilch)
Np	6·10 <sup>-4</sup>	0,3
Pu	6·10 <sup>-4</sup>	0,3
Am	6·10 <sup>-4</sup>	0,3
Cm	6·10 <sup>-4</sup>	0,3
Bk	6·10 <sup>-4</sup>	0,1
Cf	6·10 <sup>-4</sup>	0,1

<sup>1)</sup> Für diesen Transferfaktor wird in der Literatur üblicherweise die Einheit d·l<sup>-1</sup> verwendet.

Ist aufgrund spezifischer Besonderheiten die Annahme begründet, dass für den Übergang inkorporierter Aktivität in die Muttermilch andere Transferfaktoren für den Ingestionspfad ( $T_r^{MM,g}$ ) oder den Inhalationspfad ( $T_r^{MM,h}$ ) vorliegen, so sind diese so zugrunde zu legen, dass bei dem Gesamtergebnis eine Unterschätzung der Exposition nicht zu erwarten ist. Die Produkte aus den Transferfaktoren und der täglichen Verzehrsmenge an Muttermilch dürfen den Wert 1 nicht überschreiten.

Die Transferfaktoren für den Inhalationspfad wurden für die ungünstigste Lungenabsorptionsklasse berechnet. Es können daher Abweichungen zu anderen Berechnungsvorschriften auftreten.

Tabelle 6: Daten für die Anlagerung von Radionukliden in Oberflächengewässern an Schwebstoffe

Elementgruppe	$K_{Se,r}$ (l·kg <sup>-1</sup> )	$T_{Anl,r}$ (d)	$\lambda_{Anl,r}$ (s <sup>-1</sup> )	Elemente
1	200	0	-	Sr, Tc, Te, Nb
2	5000	1,5	5·10 <sup>-6</sup>	Cs, Zn, Y, La, I, Sb, Ra
3	18000	2,5	3·10 <sup>-6</sup>	Co, Ce, Ru, Mn, Cr, Fe, Zr, Ni, Ag, Aktiniden

Elemente, die nicht aufgeführt sind, sind gemäß ihrer chemischen Verwandtschaft zu angegebenen Elementen in die entsprechende Gruppe einzuordnen. Falls dies nicht möglich ist, sind sie der Gruppe mit der größten Halbwertszeit für die Anlagerung an Schwebstoffe zuzuordnen.

Die Zahlenwerte wurden unter Berücksichtigung internationaler Publikationen aktualisiert. Es können daher Abweichungen zu anderen Berechnungsvorschriften auftreten.

Tabelle 7: Konzentrationsfaktoren für Fischfleisch

Element	Konzentrationsfaktor $T_r^{Fi}$ in l·kg <sup>-1</sup>	
	Festwert	Gleichung <sup>1)</sup>
H	1	
C	8000 <sup>2)</sup>	

Element	Konzentrationsfaktor $T_r^{Fi}$ in $l \cdot kg^{-1}$	
	Festwert	Gleichung <sup>1)</sup>
Na	75	
Mg	40	
Al	50	
P	2000	$2 \cdot 10^5 / (P)_w$
Cl	45	
K	3000	$4,88 \cdot 10^6 / (K)_w$
Ca	10	$7,22 \cdot 10^5 / (Ca)_w^{1,2}$
Sc	200	
Ti	200	
V	100	
Cr	40	
Mn	100	$137 / (Mn)_w^{0,9}$
Fe	100	$14500 / (Fe)_w^{1,22}$
Co	75	$3,29 / (Co)_w^{0,74}$
Ni	20	
Cu	250	
Zn	400	$5160 / (Zn)_w$
As	350	
Se	6000	
Br	90	
Rb	5000	
Sr	3	$7,22 \cdot 10^5 / (Ca)_w^{1,2}$
Y	40	
Zr	20	
Nb	200	
Mo	2	
Tc	80	
Ru	100	
Ag	10	$1,25 / (Ag)_w^{0,85}$
Cd	200	
Sn	3000	
Sb	35	
I	30	
Cs	2500	$4,88 \cdot 10^6 / (K)_w$
Ba	1	
La	35	
Ce	25	

Element	Konzentrationsfaktor $T_r^{Fi}$ in $l \cdot kg^{-1}$	
	Festwert	Gleichung <sup>1)</sup>
Pm	25	
Eu	150	
Tb	400	
Hf	1000	
Au	250	
Hg	6000	
Tl	900	
Pb	25	
Bi	15	
Po	35	
Ra	4	
Th	30	
U	1	
Np	10	
Pu	8	
Am	25	
Cm	25	

<sup>1)</sup>  $(P)_w, (K)_w, (Ca)_w, (Mn)_w, (Fe)_w, (Co)_w, (Zn)_w$  und  $(Ag)_w$  ist die jeweilige Elementkonzentration im Wasser in  $\mu g \cdot l^{-1}$

<sup>2)</sup> berechnet aus  $T_{C-14}^{Fi} = \frac{f_C^{Fi}}{f_C^W}$  mit  $f_C^{Fi} = 0,2$  (Massenanteil des Kohlenstoffs im Fischfleisch) und  $f_C^W = 25 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot l^{-1}$  (Konzentration von anorganischem Kohlenstoff in Wasser)

Sofern die jeweilige Elementkonzentration im Wasser bekannt ist, ist es zulässig, abweichend von dem Festwert in Spalte 2, den Konzentrationsfaktor für Fischfleisch nach der Gleichung in Spalte 3 zu berechnen.

Elemente, die nicht aufgeführt sind, sind gemäß ihrer chemischen Verwandtschaft den angegebenen Elementen zuzuordnen.

Tabelle 8: Depositions- ( $v_g$ ) und Sedimentationsgeschwindigkeiten ( $v_s$ ) für trockene Ablagerung sowie Auswaschfaktoren  $\Lambda_0$  für  $I_0 = 1 \text{ mm} \cdot h^{-1}$

Emittierte Substanz	$v_g$ in $m \cdot s^{-1}$	$v_s$ in $m \cdot s^{-1}$	$\Lambda_0$ in $s^{-1}$
Iod			
elementar	$1 \cdot 10^{-2}$	-	$7 \cdot 10^{-5}$
organisch	$1 \cdot 10^{-4}$	-	$7 \cdot 10^{-7}$
Quecksilber			
elementar	$1 \cdot 10^{-2}$	-	$7 \cdot 10^{-5}$
organisch	$1 \cdot 10^{-4}$	-	$7 \cdot 10^{-7}$
tritiiertes Wasser	-	-	$3,5 \cdot 10^{-5}$

Emittierte Substanz	$v_g$ in $m \cdot s^{-1}$	$v_s$ in $m \cdot s^{-1}$	$\Lambda_0$ in $s^{-1}$
Schwebstoffe *)			
Klasse 1 (<2,5 $\mu m$ )	$1 \cdot 10^{-3}$	0	$0,3 \cdot 10^{-4}$
Klasse 2 (2,5-10 $\mu m$ )	$1 \cdot 10^{-2}$	0	$1,5 \cdot 10^{-4}$
Klasse 3 (10-50 $\mu m$ )	$5 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$4,4 \cdot 10^{-4}$
Klasse 4 (>50 $\mu m$ )	$2 \cdot 10^{-1}$	$1,5 \cdot 10^{-1}$	$4,4 \cdot 10^{-4}$

\*) Partikelgrößenklassen gemäß aerodynamischem Durchmesser der Schwebstoffe

Ist die Partikelgrößenverteilung nicht im Einzelnen bekannt, dann sind Schwebstoffteilchen mit aerodynamisch äquivalentem Partikeldurchmesser kleiner als 10  $\mu m$  wie Schwebstoff der Klasse 2 (2,5-10  $\mu m$ ) zu behandeln. Für Schwebstoffteilchen mit einem aerodynamischen Durchmesser größer als 10  $\mu m$  sind in diesem Fall für die Depositionsgeschwindigkeit der Wert  $7 \cdot 10^{-2} m \cdot s^{-1}$ , für die Sedimentationsgeschwindigkeit der Wert  $6 \cdot 10^{-2} m \cdot s^{-1}$  und für den Auswaschfaktor der Wert  $\Lambda_0 = 4,4 \cdot 10^{-4} s^{-1}$  zu verwenden. Bei dieser Aufteilung sind der Entstehungsprozess der Partikel, der Transport der Partikel bis zur Emissionsvorrichtung sowie gegebenenfalls die Filterung des abzuleitenden Luftstroms zu berücksichtigen.

Bei der Emission von I-131 aus Kernkraftwerken ist davon auszugehen, dass maximal 50 % des I-131 in elementarer Form vorliegt.

Tabelle 9: Mittlere Rauigkeitslänge in Abhängigkeit von den Landnutzungsklassen des Landbedeckungsmodells Deutschland (LBM-DE) (in Klammern Kennzahlen der LBM-DE-Klassen)

$z_0$ in m	Klasse des Landbedeckungsmodells Deutschland
0,01	Strände, Dünen und Sandflächen (331); Wasserflächen (512)
0,02	Flächen mit spärlicher Vegetation (333); Salzwiesen (421); in der Gezeitenzone liegende Flächen (423); Gewässerläufe (511); Mündungsgebiete (522)
0,05	Abbauf Flächen (131); Deponien und Abraumhalden (132); Sport- und Freizeitanlagen (142); Gletscher und Dauerschneegebiete (335); Lagunen (521)
0,10	Flughäfen (124); nicht bewässertes Ackerland (211); Wiesen und Weiden (231); Brandflächen (334); Sümpfe (411); Torfmoore (412); Meere und Ozeane (523)
0,20	Straßen, Eisenbahn (122); städtische Grünflächen (141); Weinbauflächen (221); natürliches Grünland (321); Heiden und Moorheiden (322); Felsflächen ohne Vegetation (332)
0,50	Hafengebiete (123); Obst- und Beerenobstbestände (222); Wald-Strauch-Übergangsstadien (324)
1,00	Nicht durchgängig städtische Prägung (112); Industrie- und Gewerbeflächen (121); Baustellen (133)

- 1,50 Nadelwälder (312); Mischwälder (313)
- 2,00 Durchgängig städtische Prägung (111); Laubwälder (311)

## Anhang A4. Lebensgewohnheiten der repräsentativen Person

Tabelle 10: Jährliche Verzehrsmengen der repräsentativen Person

1	2	Jährliche Verzehrsmenge in kg						8
		3	4	5	6	7		
Altersgruppe	≤ 1 Jahr	> 1 - ≤ 2 Jahre	> 2 - ≤ 7 Jahre	> 7 - ≤ 12 Jahre	> 12 - ≤ 17 Jahre	> 17 Jahre		
Lebensmittel								
Trinkwasser	55 <sup>1)</sup>	100	100	150	200	350	2	
Muttermilch, Milchfertigprodukte mit Trinkwasser	200 <sup>1,2)</sup>	-	-	-	-	-	1,6	
Milch, Milchprodukte	45	160	160	170	170	130	3	
Fisch <sup>3)</sup>	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, Obstprodukte, Säfte	25	45	65	65	60	35	3	
Kartoffeln, Wurzelgemüse, Säfte	30	40	45	55	55	55	3	
Blattgemüse	3	6	7	9	11	13	3	
Gemüse, Gemüseprodukte, Säfte	5	17	30	35	35	40	3	

<sup>1)</sup> Mengenangabe in Liter pro Jahr.

Zur jährlichen Trinkwassermenge des Säuglings von 55 l kommen 160 l, 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 werden.

<sup>2)</sup> Je nach Nuklidzusammensetzung ist die ungünstigste Ernährungsvariante zugrunde zu legen.

<sup>3)</sup> Der Anteil von Süßwasserfisch am Gesamtfischverzehr beträgt im Mittel ca. 17 % und ist den regionalen Besonderheiten anzupassen.

Für die Lebensmittelgruppe, die bei mittleren jährlichen Verzehrsmengen (Spalten 2 bis 7) zur höchsten Ingestionsdosis (effektive Folgedosis) führt, ist zur Berücksichtigung des 95. Perzentils die mittlere jährliche Verzehrsmenge mit dem Faktor in Spalte 8 zu multiplizieren. Zur Festlegung der dosisdominierenden Lebensmittelgruppe sind alle pflanzlichen Nahrungsmittel außer Blattgemüse zu einer Lebensmittelgruppe zusammenzufassen. Für alle übrigen, nicht dosisdominierenden Lebensmittelgruppen sind die mittleren jährlichen Verzehrsmengen anzusetzen.

Beim Verzehr von Muttermilch und Säuglingsmilch (Milchfertigprodukte mit Trinkwasser) während des ersten Lebensjahres sind zwei signifikante Stellen für den Faktor in Spalte 8 sinnvoll. Dies gilt nicht für die übrigen Lebensmittelgruppen, bei denen die Faktoren in Spalte 8 für alle sechs Altersgruppen abdeckend sind.

Tabelle 11: Atemraten der repräsentativen Person

Altersgruppe	≤ 1 Jahr	> 1 - ≤ 2 Jahre	> 2 - ≤ 7 Jahre	> 7 - ≤ 12 Jahre	> 12 - ≤ 17 Jahre	> 17 Jahre
Atemrate in $m^3 \cdot s^{-1}$	$3,5 \cdot 10^{-5}$	$6,0 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$

Tabelle 12: Aufenthaltszeiten der repräsentativen Person und Reduktionsfaktoren

Expositionspfade	Aufenthaltsdauern und -orte	Reduktionsfaktor
Betastrahlung innerhalb der Abluftfahne	$6,3 \cdot 10^6$ s (1760 h) pro Kalenderjahr im Freien	1
	$2,5 \cdot 10^7$ s (7000 h) pro Kalenderjahr in Gebäuden	1
Gammastrahlung aus der Abluftfahne	$6,3 \cdot 10^6$ s (1760 h) pro Kalenderjahr im Freien	1
	$2,5 \cdot 10^7$ s (7000 h) pro Kalenderjahr in Gebäuden	0,3
Gammastrahlung der am Boden abgelagerten radioaktiven Stoffe	$6,3 \cdot 10^6$ s (1760 h) pro Kalenderjahr im Freien	1
	$2,5 \cdot 10^7$ s (7000 h) pro Kalenderjahr in Gebäuden	0,3
Inhalation radioaktiver Stoffe	$6,3 \cdot 10^6$ s (1760 h) pro Kalenderjahr im Freien	1
	$2,5 \cdot 10^7$ s (7000 h) pro Kalenderjahr in Gebäuden	1
Aufenthalt auf Sediment	$2,7 \cdot 10^6$ s (760 h) pro Kalenderjahr	1
Ionisierende Strahlung aus Anlagen und Einrichtungen	$6,3 \cdot 10^6$ s (1760 h) pro Kalenderjahr im Freien	1
	$2,5 \cdot 10^7$ s (7000 h) pro Kalenderjahr in Gebäuden	fallspezifisch *)

\*) Fallspezifische Reduktionsfaktoren für ionisierende Strahlung aus Anlagen und Einrichtungen (Gammastrahlung und Röntgenstrahlung) bei Aufenthalt in Gebäuden:

- 0,3 bei kerntechnischen Anlagen nach § 2 Absatz 3a Nummer 1 AtG, Anlagen im Sinne des § 9a Absatz 3 Satz 1 erster Halbsatz zweiter Satzteil des AtG,
- 0,3 bei Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung nach § 5 Absatz 2 StrlSchG und Einrichtungen nach § 5 Absatz 12 StrlSchG, die sich nicht im selben Wohngebäude wie die repräsentative Person befinden,
- 1 bei Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung nach § 5 Absatz 2 StrlSchG und Einrichtungen nach § 5 Absatz 12 StrlSchG, die sich im selben Wohngebäude wie die repräsentative Person befinden.

Bei Neutronenstrahlung ist der Reduktionsfaktor 1 zu verwenden.

Für die prospektive Berechnung der Exposition sind die in Tabelle 12 genannten Zahlenwerte für die jeweiligen Expositionspfade zu verwenden. Für den Aufenthalt im Freien sind folgende Fälle zu betrachten:

Die repräsentative Person hält sich im Freien entweder 760 Stunden pro Kalenderjahr auf Sediment (Ufersediment oder Überschwemmungsgebiete oder Spülfelder) und die restlichen 1000 Stunden pro Kalenderjahr an anderen Stellen oder 1760 Stunden pro Kalenderjahr an anderen Stellen im Freien auf. Für die prospektive Berechnung der Exposition ist die insgesamt ungünstigste Variante zugrunde zu legen.

Für die retrospektive Berechnung der Exposition sind, falls bekannt oder mit vertretbarem Aufwand ermittelbar, die tatsächlichen Aufenthaltsdauern und -orte während des betrachteten Zeitraums zugrunde zu legen. Andernfalls ist wie bei der prospektiven Berechnung der Exposition zu verfahren.

## Anhang A5. Berechnung der Gammasubmersion für Gamma-Energien von 1 MeV (Energiegruppe 1) und 0,1 MeV (Energiegruppe 2)

Die Gammasubmersion  $G(x, y, z = 0)$  ist gemäß der Richtlinie VDI 3945 Blatt 3 zu berechnen:

$$G(x, y, z = 0) = \int C_r^L(x', y', z') \cdot \frac{B(\mu R) \cdot K(\mu z', \mu s) \cdot \exp(-\mu R)}{4\pi R^2} dx' dy' dz' \quad (61)$$

Hierin bedeuten:

$G(x, y, z = 0)$ : Gammasubmersion am Aufpunkt  $(x, y, z = 0)$  in  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$

$x, y, z$ : Koordinaten des Aufpunkts

$x', y', z'$ : Koordinaten des Quellpunkts

$C_r^L(x', y', z')$ : Aktivitätskonzentration des Radionuklids  $r$  in der Luft am Ort  $(x', y', z')$  in  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$

$B(\mu R)$ : Dosisaufbaufaktor in Luft ohne Einfluss des Bodens (dimensionslos)

$K(\mu z', \mu s)$ : Korrekturfaktor für den Einfluss des Bodens (dimensionslos)

$\mu$ : Gesamtschwächungskoeffizient für Gammastrahlen in Luft in  $\text{m}^{-1}$

$s$ : Horizontaler Abstand zwischen der senkrechten Projektion vom Volumenelement der Abluftfahne auf den Boden und Aufpunkt in m

$$s = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2}$$

$R$ : Abstand zwischen dem Volumenelement der Abluftfahne am Ort  $(x', y', z')$  und dem Aufpunkt  $(x, y, z = 0)$  in m

$$R = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2 + z'^2}$$

Die Gammasubmersion gemäß Gleichung (61) ist für die Energiegruppe 1 ( $E_{\gamma 1} = 1 \text{ MeV}$ ) und die Energiegruppe 2 ( $E_{\gamma 2} = 0,1 \text{ MeV}$ ) zu berechnen.

Für den Dosisaufbaufaktor  $B(\mu R)$  in Luft ohne Einfluss des Bodens für die Energiegruppe 1 ( $E_{\gamma 1} = 1 \text{ MeV}$ ) und die Energiegruppe 2 ( $E_{\gamma 2} = 0,1 \text{ MeV}$ ) sind folgende Näherungsformeln anzuwenden:

$$B_{E_{\gamma}}(\mu_{E_{\gamma}} \cdot R) = 1 + \sum_{m=1}^5 b_{E_{\gamma},m} \cdot (\mu_{E_{\gamma}} \cdot R)^m \quad (62)$$

mit

$$\mu_{1\text{MeV}} = 7,78 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$$

$$\mu_{0,1\text{MeV}} = 1,82 \cdot 10^{-2} \text{ m}^{-1}$$

Hierbei steht  $E_{\gamma}$  abkürzend für  $E_{\gamma 1}$  bzw.  $E_{\gamma 2}$ .

Die Koeffizienten  $b_{E_{\gamma},m}$  sind in der Tabelle 13 angegeben:

Tabelle 13: Koeffizienten  $b_{E_{\gamma},m}$  zur Berechnung des Dosisaufbaufaktors in Luft bei Gammasubmersion

	m = 1	m = 2	m = 3	m = 4	m = 5
$b_{1\text{MeV},m}$	$7,7 \cdot 10^{-1}$	$3,5 \cdot 10^{-1}$	$-4,0 \cdot 10^{-2}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$-8,2 \cdot 10^{-5}$
$b_{0,1\text{MeV},m}$	1,9	1,7	$-3,4 \cdot 10^{-2}$	$3,9 \cdot 10^{-2}$	$-2,1 \cdot 10^{-3}$

Die Koeffizienten  $b_{1\text{MeV},m}$  gelten für den Bereich  $\mu_{1\text{MeV}} \cdot R < 15$ , für größere  $\mu_{1\text{MeV}} \cdot R$  kann  $B_{1\text{MeV}} = B_{1\text{MeV}}(15)$  gesetzt werden.

Der Korrekturfaktor  $K_{E_{\gamma}}(\mu_{E_{\gamma}} z', \mu_{E_{\gamma}} s)$  für den Einfluss des Bodens bei Gammasubmersion ist nach folgender Näherungsformel zu berechnen:

$$K_{E_{\gamma}}(\mu_{E_{\gamma}} z', \mu_{E_{\gamma}} s) \approx \sum_{k=0}^3 \sum_{m=0}^3 a_{k,m} \cdot (\mu_{E_{\gamma}} z')^k \cdot \exp\left(-\frac{m}{2} \cdot \mu_{E_{\gamma}} s\right) \quad (63)$$

Die Koeffizienten  $a_{k,m}$  für die Energiegruppe 1 ( $E_{\gamma 1} = 1 \text{ MeV}$ ) und die Energiegruppe 2 ( $E_{\gamma 2} = 0,1 \text{ MeV}$ ) sind in Tabelle 14 und Tabelle 15 angegeben.

Tabelle 14: Koeffizienten  $a_{k,m}$  zur Berechnung des Korrekturfaktors für den Einfluss des Bodens bei Gammasubmersion für  $E_{\gamma 1} = 1 \text{ MeV}$

$E_{\gamma 1} = 1 \text{ MeV}$	$m = 0$	$m = 1$	$m = 2$	$m = 3$
$k = 0$	0,485	0,064	1,705	-1,179
1	0,137	1,878	-4,817	2,883
2	-0,0035	-0,8569	2,0527	-1,2552
3	-0,0018	0,0997	-0,2392	0,1503

Tabelle 15: Koeffizienten  $a_{k,m}$  zur Berechnung des Korrekturfaktors für den Einfluss des Bodens bei Gammasubmersion für  $E_{\gamma 2} = 0,1 \text{ MeV}$

$E_{\gamma 2} = 0,1 \text{ MeV}$	$m = 0$	$m = 1$	$m = 2$	$m = 3$
$k = 0$	0,279	0,595	-0,205	0,622
1	0,135	0,866	-0,716	-0,578
2	-0,0131	-0,324	0,1103	0,2892
3	0,0003	0,0313	-0,0017	-0,0337

## Anhang A6. Radionuklidgemische für Ableitungen mit Luft und Wasser

### A6.1 Radionuklidgemische für Ableitungen mit Luft

Für Kernkraftwerke mit Leichtwasserreaktoren ist bei der prospektiven Berechnung der Exposition im Leistungsbetrieb von folgenden Modellgemischen für die emittierten Radionuklide auszugehen (gilt nur für Abgaben bis max.  $10^{15} \text{ Bq}\cdot\text{a}^{-1}$ ), falls keine spezifischen Abgabewerte vorliegen. Die Modellgemische beziehen sich nicht auf alle abgeleiteten Radionuklide, sondern nur auf die Ableitungen von Edelgasen mit Luft (Tabelle 16) und auf die Ableitungen von Schwebstoffen mit Luft (Tabelle 17).

Tabelle 16: Radionuklidgemisch für Ableitungen von Edelgasen mit Luft

	Siedewasserreaktor	Druckwasserreaktor
Kr-85m	2 %	2 %
Kr-85	2 %	2 %
Kr-87	1 %	1 %
Kr-88	3 %	3 %
Kr-89	3 %	0 %
Xe-131m	2 %	1 %
Xe-133	70 %	80 %
Xe-135m	2 %	0 %
Xe-135	2 %	10 %
Xe-137	8 %	0 %
Xe-138	5 %	1 %

Tabelle 17: Radionuklidgemisch für Ableitungen von Schwebstoffen mit Luft

	Leichtwassergekühlte Reaktoren
Co-58	10 %
Co-60	40 %
Cs-134	15 %
Cs-137	34 %
Sr-90	1 %

Die Angaben beziehen sich auf die Gesamtschwebstoffaktivität mit Ausnahme von Iod.

Bei der Schwebstoffaktivität ist von einer Berücksichtigung der kurzlebigen Radionuklide mit einer Halbwertszeit < 8 Tage abzusehen.

## A6.2 Radionuklidgemisch für Ableitungen mit Wasser

Für Kernkraftwerke mit Leichtwasserreaktoren ist bei der prospektiven Berechnung der Exposition im Leistungsbetrieb, falls keine spezifischen Daten vorliegen, das folgende Modellgemisch für die Rechnung anzusetzen (Angaben bezogen auf die Gesamtaktivität, mit Ausnahme von Tritium):

Tabelle 18: Radionuklidgemisch für Ableitungen mit Wasser

Co-58	19 %
Co-60	20 %
Sr-90	1 %
I-131	10 %
Cs-134	20 %
Cs-137	30 %

Ist die Grabenbewässerung oder der Sedimentauftrag auf landwirtschaftliche Nutzflächen zu berücksichtigen, so muss die Konservativität des Gemisches überprüft werden.

## Anhang A7. Berücksichtigung von radioaktiven Tochternukliden bei der Berechnung der Exposition

### A7.1 Expositionspfade

Radioaktive Tochternuklide können nach der Ableitung radioaktiver Stoffe beim Transport in der Atmosphäre oder im Vorfluter, nach der Ablagerung auf Pflanzen und Böden und im Sediment entstehen. Soweit die Beiträge der Tochternuklide zur Exposition während der Betriebsphase relevant sind, sind sie in den entsprechenden Dosiskoeffizienten und Dosisleistungskoeffizienten, z. B. für Beta- und Gammasubmersion und für Gammabodenstrahlung, berücksichtigt. Bei langlebigen Radionukliden

mit radioaktiven Tochternukliden ist zu prüfen, ob durch Aufbau der Aktivität der Tochternuklide im Boden auf folgenden Expositionspfaden relevante Expositionen auftreten:

Bei der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft:

1. Gammabodenstrahlung
2. Ingestion von Blattgemüse und anderen pflanzlichen Nahrungsmitteln, Fleisch, Milch und Muttermilch

Bei der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser:

3. Gammabodenstrahlung auf Ufersedimenten, Überschwemmungsgebieten und Spülfeldern
4. Ingestion von Blattgemüse und anderen pflanzlichen Nahrungsmitteln, Fleisch und Milch, die aus Gebieten stammen, die mit kontaminiertem Wasser beregnet wurden
5. Ingestion von Blattgemüse und anderen pflanzlichen Nahrungsmitteln, Fleisch und Milch, die auf Überschwemmungsgebieten erzeugt wurden
6. Ingestion von Muttermilch

Bei der Berechnung der flächenbezogenen Aktivität oder der spezifischen Aktivität im Oberboden ist gegebenenfalls die Verlagerung der Radionuklide in tiefere Bodenschichten zu berücksichtigen (siehe Abschnitt 6.2.3). Die Gleichungen, welche Bildung und Zerfall der Radionuklide einer Zerfallskette beschreiben, sind entsprechend zu modifizieren.

## A7.2 Exposition des Menschen infolge der Ableitung mit Luft oder Wasser

Für die flächenbezogene Aktivität des Radionuklids  $r_i$  im Boden im  $k$ -ten Kalenderjahr nach Beginn der Ableitungen (Betriebsphase und Nach- **und Rest**betriebsphase) ergibt sich unter Berücksichtigung der Tochternuklide folgendes System gewöhnlicher Differentialgleichungen:

$$\frac{dB_{k,r_i}(t)}{dt} = \dot{Q}_{k,r_i} + \lambda_{r_{i-1}} \cdot a_{r_{i-1},r_i} \cdot B_{k,r_{i-1}}(t) - (\lambda_{r_i} + \lambda_{v,r_i}) \cdot B_{k,r_i}(t) \quad (64)$$

Das System gewöhnlicher Differentialgleichungen besteht aus je einer Gleichung für das Mutternuklid und jedes berücksichtigte Tochternuklid.

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$r_i$ : Index zur Bezeichnung der Radionuklide innerhalb der Zerfallskette. Es ist

$r_i = 1$  für das Mutternuklid

$r_i = 2, 3, 4 \dots$  für das 1., 2., 3. ... Tochternuklid.

$B_{k,r_i}(t)$ : Flächenbezogene Aktivität des Radionuklids  $r_i$  im  $k$ -ten Kalenderjahr in  $Bq \cdot m^{-2}$

$a_{r_{i-1},r_i}$ : Anteil der Zerfälle des Radionuklids  $r_{i-1}$ , die zum Radionuklid  $r_i$  führen

$\dot{Q}_{k,ri}$ : Flächenbezogene Aktivitätsdepositionsrate des Radionuklids  $ri$  im  $k$ -ten Kalenderjahr in  $Bq \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$

$\dot{Q}_{k,ri} = \dot{Q}_{B,k,ri}$  für trockene und nasse Ablagerung, siehe Gleichungen (67) und (70)

$\dot{Q}_{k,ri} = \dot{Q}_{W,k,ri}$  für Beregnung, siehe Gleichungen (68) und (71)

$\dot{Q}_{k,ri} = \dot{Q}_{Ü,k,ri}$  für Überschwemmungsgebiete und auf Ufersedimenten, siehe Gleichungen (69) und (72)

$\lambda_{v,ri}$ : Verweilkonstante des Radionuklids  $ri$  im Wurzelbereich der Pflanzen ( $\lambda_{Ü}$  oder  $\lambda_{m,r}$ )

Zur Berechnung der Gammabodenstrahlung infolge trockener und nasser Ablagerung sowie bei Ufersedimenten ist  $\lambda_{v,ri} = 0$  zu setzen.

Gleichung (64) setzt voraus, dass die Zerfallskette für die dosisdominierenden Radionuklide nicht verzweigt ist. Verzweigte Zerfallsketten sind durch eine geeignete Indizierung der Radionuklide zu berücksichtigen.

Wegen der Indizierung der Radionuklide und der flächenbezogenen Aktivitätsdepositionsraten sind alle Radionuklide, die im Emissionsspektrum der Ableitung vorkommen, als Mutternuklid ( $ri = 1$ ) zu betrachten, unabhängig davon, ob sie als Tochternuklid auch in anderen Zerfallsketten auftreten.

Die flächenbezogenen Aktivitäten der Radionuklide am Ende des Vorjahres bilden die Anfangswerte für das Folgejahr. Daraus ergeben sich die folgenden Randbedingungen für das  $k$ -te Kalenderjahr (Betriebsphase und Nach- **und Rest**betriebsphase):

$$B_{1,ri}(0) = 0 \quad \text{für alle } ri \quad (65)$$

$$B_{k,ri}(0) = B_{k-1,ri}(t_{1a}) \quad \text{für alle } ri \text{ und } k > 1 \quad (66)$$

Bei der Berechnung der flächenbezogenen Aktivität des Radionuklids  $ri$  sind die Betriebsphase und die Nach- **und Rest**betriebsphase zu unterscheiden. In der Betriebsphase ist die flächenbezogene Aktivitätsdepositionsrate im  $k$ -ten Kalenderjahr

durch trockene und nasse Ablagerung

$$\dot{Q}_{B,k,ri} = \begin{cases} \bar{F}_{k,ri} + \bar{W}_{k,ri} & \text{falls } ri = 1 \\ 0 & \text{falls } ri > 1 \end{cases} \quad (67)$$

durch Beregnung

$$\dot{Q}_{W,k,ri} = \begin{cases} \frac{1}{2} \cdot W_k \cdot \bar{C}_{k,ri}^W & \text{falls } ri = 1 \\ 0 & \text{falls } ri > 1 \end{cases} \quad (68)$$

durch Überschwemmung und auf Ufersedimenten

$$\dot{Q}_{\ddot{u},k,ri} = \begin{cases} \rho_{Se} \cdot v_{Se} \cdot \bar{C}_{k,ri}^{Sch} & \text{falls } ri = 1 \\ 0 & \text{falls } ri > 1 \end{cases} \quad (69)$$

In der Nach- **und Rest**betriebsphase sind die flächenbezogenen Aktivitätsdepositionsraten

$$\dot{Q}_{B,k,ri} = 0 \quad \text{für alle } k, ri \quad (70)$$

$$\dot{Q}_{W,k,ri} = 0 \quad \text{für alle } k, ri \quad (71)$$

$$\dot{Q}_{\ddot{u},k,ri} = 0 \quad \text{für alle } k, ri \quad (72)$$

Die flächenbezogene Aktivität ist nach Gleichung (64) iterativ für jedes Kalenderjahr zu berechnen. In der Betriebsphase sind die Anfangsbedingungen gemäß den Gleichungen (65) und (66) sowie  $\dot{Q}_{B,k,ri}$  nach Gleichung (67),  $\dot{Q}_{W,k,ri}$  nach Gleichung (68) und  $\dot{Q}_{\ddot{u},k,ri}$  nach Gleichung (69) zu berücksichtigen. In der Nach- **und Rest**betriebsphase ist die Anfangsbedingung gemäß Gleichung (66) sowie  $\dot{Q}_{B,k,ri}$  nach Gleichung (70),  $\dot{Q}_{W,k,ri}$  nach Gleichung (71) und  $\dot{Q}_{\ddot{u},k,ri}$  nach Gleichung (72) zu berücksichtigen.

Die spezifische Aktivität des Radionuklids  $ri$  im Wurzelbereich im  $k$ -ten Kalenderjahr ist:

$$C_{k,ri}^{Bo}(t) = \frac{B_{k,ri}(t)}{p^m} \quad (73)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeutet hier:

$C_{k,ri}^{Bo}(t)$ : Spezifische Aktivität des Radionuklids  $ri$  im Wurzelbereich im  $k$ -ten Kalenderjahr in  $Bq \cdot kg^{-1}$  Trockenmasse;  $m = A$  für Ackerboden,  $m = Wd$  für Weideboden

Die spezifische Aktivität  $C_{k,ri}^n$  des Tochternuklids  $ri$  in pflanzlichen Nahrungsmitteln außer Blattgemüse ( $n = Pf$ ), in Blattgemüse ( $n = Bl$ ) und in Weidepflanzen ( $n = Wd$ ) ist im  $k$ -ten Kalenderjahr wie folgt zu berechnen:

$$C_{k,ri}^n = C_{k,ri}^{Bo}(t_{1a}) \cdot T_{ri}^n \quad (74)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeutet hier:

$T_{ri}^n$ : Transferfaktor vom Boden zur Pflanze für das Radionuklid  $ri$  in  $Bq \cdot kg^{-1}$  Feuchtmasse pro  $Bq \cdot kg^{-1}$  Trockenboden, jeweils für pflanzliche Nahrungsmittel ( $n = Pf, Bl$ ) oder für Weidepflanzen ( $n = Wd$ ), siehe Anhang A3 Tabelle 4

Die Jahresdosis (effektive Folgedosis) durch Ingestion des Radionuklids  $ri$  ist wie in den Abschnitten 8.5.2 und 9.5 beschrieben zu berechnen, wobei sich die spezifische Aktivität des Tochternuklids  $ri$  in

pflanzlichen Nahrungsmitteln außer Blattgemüse ( $n = Pf$ ), in Blattgemüse ( $n = Bl$ ) und in Weidepflanzen ( $n = Wd$ ) gemäß Gleichung (74) ergibt.

Die Jahresdosis (effektive Dosis) durch Gammabodenstrahlung des Radionuklids  $r_i$  während des  $k$ -ten Kalenderjahres (Betriebs- und Nach- **und Restbetriebsphase**) ist

- bei nasser und trockener Ablagerung radioaktiver Stoffe gemäß Gleichung (26),
- bei Aufenthalt auf Ufersediment gemäß Gleichung (44) und
- bei Aufenthalt auf Überschwemmungsgebieten gemäß Gleichung (46)

zu berechnen, wobei  $B_{k,r_i}$  am Ende des  $k$ -ten Kalenderjahres auszuwerten ist.

Zur Berechnung der Jahresdosis (effektive Dosis) durch Gammabodenstrahlung bei Aufenthalt auf Spülfeldern ist es ausreichend, wie in Abschnitt 9.4.3 eine einmalige Aufbringung von ausgebaggertem Sediment zu betrachten. Nach der Aufbringung zum Zeitpunkt  $t = 0$  ist die mittlere spezifische Aktivität  $\bar{C}_{r_i}^{Se}(t)$  zu berechnen nach:

$$\frac{d\bar{C}_{r_i}^{Se}(t)}{dt} = -\lambda_{r_i} \cdot \bar{C}_{r_i}^{Se}(t) \quad \text{falls } r_i = 1 \quad (75)$$

$$\frac{d\bar{C}_{r_i}^{Se}(t)}{dt} = \lambda_{r_{i-1}} \cdot a_{r_{i-1},r_i} \cdot \bar{C}_{r_{i-1}}^{Se}(t) - \lambda_{r_i} \cdot \bar{C}_{r_i}^{Se}(t) \quad \text{falls } r_i > 1 \quad (76)$$

Die mittlere spezifische Aktivität des Radionuklids  $r_i$  zum Zeitpunkt des Ausbaggerns  $\bar{C}_{r_i}^{Se}(t = 0)$  ist nach Gleichung (17) zu berechnen.

Die Jahresdosis (effektive Dosis) durch Gammabodenstrahlung bei Aufenthalt auf Spülfeldern ist gemäß Gleichung (48) zu berechnen, wobei  $C_{r_i}^{Se}(t)$  zu dem Zeitpunkt auszuwerten ist, an dem das Spülfeld begehbar ( $t > t_{Sp}$ ) und die Summe der Beiträge aller Radionuklide  $r_i$  zur effektiven Dosis durch Gammabodenstrahlung maximal ist.

### A7.3 Vereinfachende Näherungslösungen

Bei zeitabhängigen Dosisberechnungen für Zerfallsketten sind im Einzelfall gleichwertige vereinfachende Näherungslösungen bei der Berechnung zulässig. Eine solche Vereinfachung ist bei der prospektiven Berechnung der Exposition infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser z. B. die Annahme, dass jedes Tochternuklid mit der gleichen Aktivität vorliegt wie das Mutternuklid am Ende der Betriebsphase oder die Nichtberücksichtigung des Dosisbeitrags der Tochternuklide, wenn nachgewiesen wurde, dass dieser Beitrag vernachlässigbar ist.

## Anhang A8. Faktoren für die Exposition infolge der Ableitung künstlicher Radionuklide mit Luft und Wasser bei Genehmigungsverfahren

Tabelle 19: Generische radionuklidspezifische Faktoren

Expositionsprofil	Faktor	Radionuklide
Gammabodenstrahlung	2	I-125
	1	I-131
Gammasubmersion	2	I-125, I-131
Ingestion	7	I-125, I-131
Betasubmersion und Inhalation	7	I-125, I-131

Tabelle 20: Expositionspfadspezifische Faktoren

Expositionspfad	Faktor
<hr/>	
Bei Ableitung mit Luft:	
- Betasubmersion	1
- Gammasubmersion	2
- Gammabodenstrahlung	2
- Inhalation	1
- Ingestion von Lebensmitteln	3
<hr/>	
Bei Ableitung mit Wasser:	
- Gammabodenstrahlung auf Sediment	1
- Ingestion von Lebensmitteln	3

## Begründung

### A. Allgemeiner Teil

#### I. Zielsetzung und Notwendigkeit der Regelungen

Die Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 5. Dezember 2018 legt in § 100 Absatz 1 fest, dass im Rahmen von Genehmigungs- oder Anzeigeverfahren für Tätigkeiten sowie für in der Überwachung verbleibende Rückstände der Strahlenschutzverantwortliche die zu erwartende Exposition für eine Einzelperson der Bevölkerung (repräsentative Person) zu ermitteln hat. Dies dient der Einhaltung der Grenzwerte des § 80 des Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG) und des § 99 StrlSchV. Die zuständige Behörde kann davon ausgehen, dass die Einhaltung gewährleistet ist, wenn dies unter Zugrundelegung dieser Allgemeinen Verwaltungsvorschrift nachgewiesen wird.

Durch § 101 Absatz 1 StrlSchV ist festgelegt, dass die zuständige Behörde jährlich die von einer repräsentativen Person der Bevölkerung im vorhergehenden Kalenderjahr erhaltenen Körperdosen nach § 80 Absatz 1 und 2 StrlSchG für die durch § 101 Absatz 1 in Verbindung mit Absatz 2 bestimmten Tätigkeiten zu ermitteln hat. Mit der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift wird die Anforderung konkretisiert.

Diese Allgemeine Verwaltungsvorschrift wird auf Grundlage von § 100 Absatz 3 und § 101 Absatz 1 StrlSchV erlassen. Die Übergangsvorschrift § 193 Absatz 1 StrlSchV macht den Beginn der Anwendung von § 99 Absatz 1 und § 100 Absatz 1 und 4 StrlSchV vom Inkrafttreten dieser Allgemeinen Verwaltungsvorschrift abhängig. Davor ist weiterhin § 47 Absatz 2 in Verbindung mit Absatz 1 und Anlage VII der Strahlenschutzverordnung in der bis zum 31. Dezember 2018 geltenden Fassung anzuwenden.

#### II. Wesentlicher Inhalt des Entwurfs

Diese Allgemeine Verwaltungsvorschrift enthält Verfahren zur Berechnung der Ausbreitung radioaktiver Stoffe und zur Berechnung der Umgebungskontamination bei Ableitungen mit der Luft und mit dem Wasser sowie Verfahren zur Berechnung der jeweils resultierenden Exposition einer repräsentativen Person der Bevölkerung und zur Berechnung der Exposition durch ionisierende Strahlung aus Anlagen und Einrichtungen.

Die Allgemeine Verwaltungsvorschrift legt Verfahren und Parameter zur Berechnung der zu erwartenden Exposition (prospektive Berechnung) und der erhaltenen Exposition (retrospektive Berechnung) einer repräsentativen Person der Bevölkerung in einer Weise fest, die sicherstellt, dass die zu erwartende oder erhaltene Exposition nicht unterschätzt wird. Gleichzeitig soll die Exposition so realistisch wie mit vertretbarem Aufwand möglich berechnet werden.

Bei der Berechnung der zu erwartenden Exposition werden generische Verhältnisse unterstellt; bei der Berechnung der erhaltenen Exposition sind standortspezifische Verhältnisse zu berücksichtigen. Dies betrifft z. B. die Anreicherungszeit abgeleiteter radioaktiver Stoffe in der Umwelt, die Nutzungsmöglichkeiten in der Umgebung einer Anlage oder Einrichtung und die Höhe abgeleiteter Aktivitäten.

Für die Ermittlung weiterer Tätigkeiten, die in die Berechnung der Exposition gemäß § 80 Absatz 4 StrlSchG und § 99 Absatz 2 StrlSchV einzubeziehen sind, enthält die Allgemeine Verwaltungsvorschrift raum- und dosisbezogene Entscheidungskriterien.

Bei der prospektiven Berechnung der Exposition durch Ableitungen von Radionukliden mit Luft oder Wasser werden radionuklidspezifische und expositionspfadspezifische Faktoren zur Anwendung gebracht, die bewirken sollen, dass im Genehmigungsverfahren das

bisherige Maß der Konservativität der am 31.12.2018 außer Kraft getretenen Strahlenschutzverordnung hinsichtlich der Festlegung von Höchstwerten für die Ableitung künstlicher Radionuklide beibehalten wird.

Die Allgemeine Verwaltungsvorschrift enthält in Anhang A7 detaillierte Berechnungsvorschriften, um bei langlebigen Radionukliden den Aufbau der Tochternuklide im Boden und die daraus resultierende Exposition der repräsentativen Person zu berechnen.

Im Vergleich zu der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 der am 31.12.2018 außer Kraft getretenen Strahlenschutzverordnung wurden die Berechnungsverfahren im Wesentlichen wie folgt geändert oder erweitert:

- Ausrichtung der Berechnungsverfahren auf Jahresdosen und auf die Eignung zur prospektiven und retrospektiven Berechnung der Exposition
- Realitätsnähere Lebensgewohnheiten der Einzelpersonen der Bevölkerung (repräsentative Person)
- Berücksichtigung der Exposition durch ionisierende Strahlung aus Anlagen und Einrichtungen (Direktstrahlung)
- Berücksichtigung stehender Oberflächengewässer
- Ablösung des Gauß-Fahnen-Modells durch ein Lagrange-Partikel-Modell
- Modifizierung des Berechnungsverfahrens für den Muttermilchpfad
- Berücksichtigung der Abschirmwirkung von Gebäuden bei Gammabodenstrahlung und fallspezifisch bei der Direktstrahlung
- Berücksichtigung des Anteils der Lebensmittelgruppen, der durch die wirksamen Quellen, kontaminiert ist
- Ausschluss der Wasserentnahme aus dem Oberflächengewässer direkt an der Einleitungsstelle

### III. Alternativen

Keine.

### IV. Haushaltsausgaben ohne Erfüllungsaufwand

Für Bund, Länder und Kommunen fallen keine Haushaltsausgaben ohne Erfüllungsaufwand an.

### V: Erfüllungsaufwand

Diese Allgemeine Verwaltungsvorschrift enthält Vorgaben zur Ermittlung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch genehmigungs- oder anzeigebedürftige Tätigkeiten. Im Wesentlichen handelt es sich um Berechnungsvorschriften. Der Erfüllungsaufwand wird nicht unmittelbar alleine durch die AVV, sondern durch die konkretisierten Normen der Strahlenschutzverordnung, die am 31.12.2018 in Kraft getreten ist, ausgelöst. Dieser ist seinerzeit nicht abgeschätzt worden.

Zur Höhe des Erfüllungsaufwands können nur grobe Abschätzungen durchgeführt werden, da die tatsächlichen Kosten extrem vom jeweiligen Einzelfall und seinen Randbedingungen abhängen.

Erfüllungsaufwand tritt in Zusammenhang mit folgenden Vorgaben auf:

Regelung	Vorgabe	Normadressat
----------	---------	--------------

§ 100 Absatz 1 StrlSchV in Verbindung mit Absatz 2	1. Ermittlung der für Einzelpersonen der Bevölkerung zu erwartenden Exposition durch Tätigkeiten nach § 4 Absatz 1 Nr. 8 StrlSchG, die nicht § 100 Absatz 2 Nr. 2 StrlSchV genügen. ( <b>Informationspflicht</b> )	Verwaltung (Länder), Wirtschaft
§ 101 Absatz 1 StrlSchV in Verbindung mit Absatz 2	2. Ermittlung der von Einzelpersonen der Bevölkerung erhaltenen Dosis durch Tätigkeiten nach § 4 Absatz 1 Nr. 1 und Nr. 7 StrlSchG, die nicht unter § 101 Absatz 2 Nr. 1 bis 3 StrlSchV fallen und eine effektive Dosis von 0,1 mSv im Kalenderjahr überschreiten.	Verwaltung (Länder)
§ 101 Absatz 4 StrlSchV	3. Mitteilung von Daten, die zur Ermittlung der von Einzelpersonen der Bevölkerung erhaltenen Dosis bei Tätigkeiten nach § 4 Absatz 1 Nr. 1 und Nr. 7 StrlSchG, die nicht unter § 101 Absatz 2 Nr. 1 bis 3 StrlSchV fallen und eine effektive Dosis von 0,1 mSv im Kalenderjahr überschreiten, benötigt werden. ( <b>Informationspflicht</b> )	Wirtschaft
§ 101 Absatz 5 StrlSchV	4. Dokumentation der von Einzelpersonen der Bevölkerung erhaltenen Dosis durch Tätigkeiten nach § 4 Absatz 1 Nr. 1 und Nr. 7 StrlSchG, die nicht unter § 101 Absatz 2 Nr. 1 bis 3 StrlSchV fallen und eine effektive Dosis von 0,1 mSv im Kalenderjahr überschreiten.	Verwaltung (Länder)
§ 101 Absatz 1 StrlSchV in Verbindung mit Absatz 6	5. Ermittlung der von Einzelpersonen der Bevölkerung erhaltenen Dosis durch Anlagen oder Einrichtungen nach §§ 6, 7, 9 oder § 9b AtG.	Verwaltung (Bund)
Anlage 11 Teil C Nr. 4 StrlSchV	6. Berechnung der atmosphärischen Ausbreitung mittels Lagrange-Partikel-Modell.	Wirtschaft, Verwaltung (Länder)

## 1. Erfüllungsaufwand für Bürgerinnen und Bürger

Keiner.

## 2. Erfüllungsaufwand für die Wirtschaft

### Zu Vorgabe 1:

Erfüllungsaufwand entsteht in Zusammenhang mit genehmigungspflichtigen Röntgeneinrichtungen und Störstrahlern.

Basierend auf den Ergebnissen einer Länderabfrage wird vereinfachend davon ausgegangen, dass deutschlandweit jährlich bei der Hälfte der Genehmigungsanträge, die nach § 100 Absatz 2 Nr. 2 Buchstabe c auf eine mögliche Überschreitung von Grenzwerten aufgrund des Beitrags weiterer Strahlungsquellen geprüft werden, d. h. bei 320 Genehmigungsanträgen, die Ermittlung der zu erwartenden Exposition für eine Einzelperson der Bevölkerung durch den Strahlenschutzverantwortlichen erforderlich ist (siehe auch Abschnitt „Zu Vorgabe 1“ unter „3. Erfüllungsaufwand für die Verwaltung“). Der Aufwand hängt davon ab, wieviel weitere Tätigkeiten hierbei einzubeziehen sind und welche radiologischen Eigenschaften diese Tätigkeiten haben, d. h. ob Ableitungen radioaktiver Stoffe oder ob Direktstrahlung für die Ermittlung der zu erwartenden Exposition zu berücksichtigen sind. Verallgemeinernd wird für die Ermittlung der Exposition ein Zeitaufwand von 40 Arbeitsstunden pro betroffenem Genehmigungsantrag angesetzt. Nach der Lohnkostentabelle Wirtschaft im Anhang VI des Leitfadens zur Ermittlung und Darstellung des Erfüllungsaufwands in Regelungsvorhaben der Bundesregierung (Stand Dezember 2018) betragen die Lohnkosten für die Erbringung von freiberuflichen, wissenschaftlichen und technischen Dienstleistungen 58,80 Euro pro Stunde. Damit ergibt sich ein **Personalaufwand von 752.640 Euro jährlich**.

### **Zu Vorgabe 3 (Informationspflicht):**

Die Belastung entsteht aufgrund des Umgangs mit radioaktiven Stoffen und durch Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung soweit sie nicht am Menschen außerhalb der Medizin eingesetzt werden, nicht im Zusammenhang mit der Exposition von Tierbegleitpersonen in der Tierheilkunde stehen, es sich nicht um lediglich anzeigepflichtige Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung handelt und eine effektive Dosis einer Einzelperson der Bevölkerung von 0,1 mSv im Kalenderjahr überschritten wird.

Entsprechend dem Vorgehen unter Nummer 3. zu Vorgabe 2 unter „Erfüllungsaufwand für die Verwaltung“ wird von deutschlandweit 1200 Fällen pro Jahr ausgegangen, in denen durch den Strahlenschutzverantwortlichen Daten an die zuständige Behörde mitgeteilt werden müssen, die zur Ermittlung der erhaltenen Exposition einer Einzelperson der Bevölkerung benötigt werden. Da die Fallzahl 10.000 unterschreitet, wird zur Ermittlung der Belastung das Vereinfachte Verfahren für Informationspflichten der Wirtschaft gemäß Anhang IV des Leitfadens zur Ermittlung und Darstellung des Erfüllungsaufwands angewandt. Die Informationspflicht wird der Kostenklasse „Meldungen bestimmter Tätigkeiten und Berichterstattungspflichten, die ausgewählte Wirtschaftsbereiche betreffen“ zugeordnet, wodurch der Kostenfaktor 23,78 Euro anzuwenden ist. Der Personalaufwand beläuft sich damit insgesamt auf **28.536 Euro pro Jahr**.

### **Zu Vorgabe 6:**

Für Ausbreitungsrechnungen zu Ableitungen aus Anlagen oder Einrichtungen zum Zweck der Berechnung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung ist nach der Strahlenschutzverordnung ein Lagrange-Partikel-Modell zu verwenden. Nach der am 31.12.2018 außer Kraft getretenen alten Strahlenschutzverordnung war ein Gauß-Modell vorgeschrieben. Mit dieser Änderung wird ein Umstellungsaufwand verbunden sein, der durch Änderungen an Hard- und Software bedingt ist. Es ist davon auszugehen, dass für die Rechnung das vom BfS seit mehreren Jahren bereitgestellte Modell ARTM eingesetzt wird, so dass für dessen Beschaffung keine Kosten entstehen. Nach Abschätzungen im Rahmen der Länder- und Verbändebeteiligung ist für Hard- und Softwaremaßnahmen zur Umstellung auf das Lagrange-Partikel-Verfahren mit einem Sachaufwand von 40.000 Euro pro Umstellung zu rechnen. Ausgehend von 100 Umstellungen ergibt sich ein **einmaliger Sachaufwand von 4.000.000 Euro**.

Personalaufwand durch Anwendung des Lagrange-Partikel-Verfahrens gegenüber dem bisherigen Gaußverfahren entsteht im Zuge von Genehmigungsverfahren für Tätigkeiten nach § 4 Absatz 1 Nr. 1 und Nr. 3 bis Nr. 7. In Analogie zu Vorgabe 2 Nr. 2 unter „Erfüllungsaufwand für die Verwaltung“ wird von ca. 1100 entsprechenden Genehmigungsanträgen ausgegangen, sowie vom Erfordernis einer Ausbreitungsrechnung in 10 % der Fälle in Analogie zu Vorgabe 2 Nr. 3 unter „Erfüllungsaufwand für die Verwaltung“. Unter Zugrundelegung von 32 Stunden personellen Mehraufwands pro Antrag gegenüber dem Einsatz eines Gauß-Modells ergibt sich bei Lohnkosten von 58,80 Euro pro Stunde des höheren Dienstes ein **Personalaufwand von 206.976 Euro jährlich**.

#### Zusammenfassung des Erfüllungsaufwands für die Wirtschaft:

Vorgabe/Informationspflicht	Personalaufwand jährlich [Euro]	Personalaufwand einmalig [Euro]	Sachaufwand jährlich [Euro]	Sachaufwand einmalig [Euro]
Vorgabe 1 (Informationspflicht)	752.640			
Vorgabe 3 (Informationspflicht)	28.536			
Vorgabe 6	206.976			4.000.000
<b>Summe</b>	<b>988.152</b>			<b>4.000.000</b>
<b>davon Bürokratietoken</b>	<b>781.176</b>			

Der anfallende Erfüllungsaufwand für die Wirtschaft wird im Wesentlichen durch Regelungen der Strahlenschutzverordnung hervorgerufen. Die Vorgaben 1, 3 und 6 dienen, wie bereits in der Begründung zu der Strahlenschutzverordnung festgestellt, der 1:1-Umsetzung der Richtlinie 2013/59/Euratom. Die Vorgaben 1 und 3 setzen die Richtlinie bezüglich der Artikel 12 und 65 und 66 um. Das in Vorgabe 6 geforderte Lagrange-Partikel-Modell für atmosphärische Ausbreitungsrechnungen ist als einziges Modell dazu geeignet, für alle Umgebungssituationen eine realistische Berechnung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung gemäß Artikel 66 Absatz 2 und 3 zu ermöglichen. Zudem dient die Verwendung dieses Modells der Berücksichtigung des gegenwärtigen Stands der Technik, wie in Artikel 5 der Richtlinie gefordert. Hinsichtlich Vorgabe 6 kann die zuständige Behörde laut Anlage 11 Teil C Nr. 4 Satz 3 StrlSchV auch andere Verfahren zulassen, falls dies sachgerecht ist, z. B. das gemäß der am 31.12.2018 außer Kraft getretenen Strahlenschutzverordnung angewandte Gauß-Verfahren. Falls hiervon in erheblichem Umfang Gebrauch gemacht würde, ergäbe sich zu Vorgabe 6 ein deutlich geringerer Personal- und Sachaufwand.

Im Rahmen der Erstellung dieser Allgemeinen Verwaltungsvorschrift auf Grundlage von § 100 Absatz 3 und § 101 Absatz 1 StrlSchV wurde bei der Folgenabschätzung der Leitfadens zur Berücksichtigung der Belange mittelständischer Unternehmen (KMU-Test) berücksichtigt. Die Strahlenschutzverordnung dient der Umsetzung der Richtlinie 2013/59/Euratom. Diese sieht keine speziellen Erleichterungen für mittelständische Unternehmen vor, denn die Einhaltung von Dosisgrenzwerten gilt unabhängig von der Unternehmensgröße. Jedoch

sehen § 100 Absatz 2 und § 101 Absatz 2 Ausnahmen von der Expositionsermittlung vor. Hierunter können insbesondere auch mittelständische Unternehmen fallen.

### 3. Erfüllungsaufwand für die Verwaltung

#### Zu Vorgabe 1:

Erfüllungsaufwand entsteht in Zusammenhang mit genehmigungspflichtigen Röntgeneinrichtungen und Störstrahlern.

Zunächst ist aufgrund § 100 Absatz 2 Nummer 2 Buchstabe c seitens der zuständigen Länderbehörde zu prüfen, ob es weitere Tätigkeiten gibt, die im Zusammenspiel mit der zu genehmigenden dazu führen könnten, dass Grenzwerte für die Exposition der Bevölkerung überschritten werden. Dies geschieht unter Anwendung von Kapitel 4 der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift. Basierend auf den Ergebnissen einer Abfrage bei den zuständigen Länderbehörden wird vereinfachend davon ausgegangen, dass diese Prüfung jährlich bei deutschlandweit 640 Genehmigungsverfahren durchzuführen ist. Als erforderlicher Zeitaufwand werden jeweils zwei Arbeitstage (16 Stunden) des höheren Dienstes angesetzt. Nach der Lohnkostentabelle Verwaltung im Anhang VII des Leitfadens zur Ermittlung und Darstellung des Erfüllungsaufwands betragen die entsprechenden Lohnkosten in den Ländern 60,50 Euro pro Stunde. Es ergibt sich damit ein **Personalaufwand von 619.520 Euro jährlich für die Länder**.

Basierend auf den Ergebnissen der oben genannten Länderabfrage wird davon ausgegangen, dass die oben genannte Prüfung jährlich deutschlandweit bei 320 Genehmigungsanträgen ergibt, dass die Ermittlung der zu erwartenden Exposition für eine Einzelperson der Bevölkerung erforderlich ist. Dies hat zwar durch den Strahlenschutzverantwortlichen zu erfolgen, muss jedoch von der zuständigen Länderbehörde geprüft werden. Es wird davon ausgegangen, dass hierfür 16 Arbeitsstunden des höheren Dienstes erforderlich sind. Bei Lohnkosten von 60,50 Euro pro Stunde gemäß Lohnkostentabelle Verwaltung im Anhang VII des Leitfadens zur Ermittlung und Darstellung des Erfüllungsaufwands ergibt sich ein weiterer **Personalaufwand von 309.760 Euro jährlich für die Länder**.

#### Zu Vorgabe 2:

Erfüllungsaufwand entsteht aufgrund des Umgangs mit radioaktiven Stoffen und durch Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung

1. einmalig durch die Feststellung der bereits genehmigten Tätigkeiten, für die jährlich die Dosis zu ermitteln ist.  
Die Anzahl der Genehmigungen nach § 4 Absatz 1 Nr. 1 und Nr. 7 StrlSchG beträgt deutschlandweit etwa 11000. Es wird davon ausgegangen, dass 75 % der Fälle unmittelbar als nicht betroffen identifiziert werden kann. Geht man von einem Zeitaufwand von jeweils 30 Minuten durch einen Mitarbeiter des höheren Dienstes aus, ergibt sich unter Anwendung der Lohnkosten von 60,50 Euro pro Stunde nach der Lohnkostentabelle Verwaltung im Anhang VII des Leitfadens zur Ermittlung und Darstellung des Erfüllungsaufwands ein Personalaufwand von 249.563 Euro. Von den verbleibenden 25 % der Fälle (2750) wird angenommen, dass sich bei 20% mit einem Arbeitsaufwand von jeweils 4 Stunden klären lässt, ob sie betroffen sind (in der Summe 8800 Stunden) und für die verbleibenden 5 % der Fälle jeweils ein Aufwand von 5 Arbeitstagen erforderlich ist (in der Summe 22000 Stunden). Bei Lohnkosten von 60,50 Euro pro Stunde des höheren Dienstes in den Ländern gemäß Lohnkostentabelle Verwaltung im Anhang VII des Leitfadens zur Ermittlung und Darstellung des Erfüllungsaufwands ergibt sich ein Personalaufwand von 1.863.400 Euro.

Insgesamt entsteht somit **einmalig ein Personalaufwand von 2.112.963 Euro für die Länder.**

2. jährlich durch die Feststellung neu genehmigter Tätigkeiten, für die jährlich die Dosis zu ermitteln ist.  
Es wird davon ausgegangen, dass jährlich 10 % neue Genehmigungen nach § 4 Absatz 1 Nr. 1 und Nr. 7 StrlSchG erteilt werden und dass in 75 % der Fälle schon das Genehmigungsverfahren ergibt, dass keine Betroffenheit besteht. Für die restlichen 25 % der Fälle (275) werden die Annahmen von 1. zugrunde gelegt. Dies führt zu einem **jährlichen Personalaufwand von 186.340 Euro für die Länder.**
3. jährlich durch die Dosisermittlung.  
Aufgrund einer Länderabfrage wird davon ausgegangen, dass sich deutschlandweit für 10 % der genehmigten Tätigkeiten nach § 4 Absatz 1 Nr. 1 StrlSchG (d. h. etwa 1000) und 20 % der genehmigten Tätigkeiten nach § 4 Absatz 1 Nr. 7 StrlSchG (d. h. etwa 200) die Notwendigkeit der jährlichen Dosisermittlung ergibt. Da die Dosisermittlung bezogen auf die einzelne Tätigkeit stattfindet, weitere Quellen somit außer in extrem seltenen Ausnahmefällen (§ 101 Absatz 3 StrlSchV) nicht einbezogen werden müssen, wird jeweils ein Aufwand von zwei Arbeitstagen des höheren Dienstes zugrunde gelegt. Bei Lohnkosten von 60,50 Euro pro Stunde in den Ländern ergibt dies einen **jährlichen Personalaufwand von 1.161.600 Euro für die Länder.** Die Berechnung der Exposition durch Direktstrahlung erfordert die Nutzung von Strahlungstransport-Simulationsverfahren. Hierfür fallen jährlich für Fortbildungsmaßnahmen etwa 3100 Euro an Sachkosten (Teilnahmegebühr, Reisekosten für 2 Mitarbeiter) und 4840 Euro an Personalkosten pro Land (2 Mitarbeiter hD, jeweils 5 Tage) an, insgesamt **für die Länder ein jährlicher Personalaufwand von 77.440 Euro und ein jährlicher Sachaufwand von 49600 Euro.** Zusätzlich entsteht für die 1200 Fälle nach Abschnitt 5.2 Nr. 4 dieser Allgemeinen Verwaltungsvorschrift alle 5 Jahre ein Erfüllungsaufwand für die Ermittlung der Flächen für die Erzeugung pflanzlicher und tierischer Nahrungsmittel und für die Gewinnung von Trinkwasser. Unter der Annahme, dass hierfür pro Tätigkeit, für die eine jährliche Dosisermittlung erforderlich ist, ein Arbeitstag des gehobenen Dienstes benötigt wird, ergibt sich bei gleichmäßiger Verteilung auf die 5 Jahre ein **zusätzlicher jährlicher Personalaufwand von 78336 Euro für die Länder.**

#### **Zu Vorgabe 4.:**

Der Erfüllungsaufwand entsteht für die Dokumentation der von Einzelpersonen der Bevölkerung erhaltenen Exposition aufgrund des Umgangs mit radioaktiven Stoffen und durch Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung soweit sie nicht am Menschen außerhalb der Medizin eingesetzt werden, nicht im Zusammenhang mit der Exposition von Tierbegleitpersonen in der Tierheilkunde stehen, es sich nicht um lediglich anzeigepflichtige Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung handelt und eine effektive Dosis von 0,1 mSv im Kalenderjahr überschritten wird.

1. Es wird davon ausgegangen, dass ein einmaliger Aufwand dadurch entsteht, dass in jedem Land ein System zur Dokumentation der Expositionen eingerichtet werden muss. Hierfür wird ein Arbeitsaufwand eines Dienstleisters von 4 Wochen zu je 5 Arbeitstagen unterstellt. Bei einem Tagessatz von 1000 Euro entspricht dies deutschlandweit einem **einmaligen Sachaufwand von 320.000 Euro für die Länder.**
2. Entsprechend dem Vorgehen unter Nummer 3. zu Vorgabe 2 unter „Erfüllungsaufwand für die Verwaltung“ wird davon ausgegangen, dass eine jährliche Dokumentation der von einer Einzelperson der Bevölkerung erhaltenen Dosis

bundesweit in 1200 Fällen pro Jahr erfolgt. Pro Fall wird ein Arbeitsaufwand des gehobenen Dienstes von 15 Minuten veranschlagt. Dies führt mit Lohnkosten von 40,80 Euro pro Stunde deutschlandweit zu einem **Personalaufwand von 12.240 Euro jährlich für die Länder.**

3. Für den **Sachaufwand** für technische Komponenten für 1. wird pro Land einmalig von 20.000 Euro ausgegangen, d. h. **einmalig 320.000 Euro deutschlandweit für die Länder.**

#### **Zu Vorgabe 5.:**

Schon bisher wurde vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) die im Kalenderjahr von einer Einzelperson der Bevölkerung erhaltene Dosis für Kernkraftwerke und Lagerstandorte berechnet. Aufgrund der Vorgaben der Strahlenschutzverordnung zur realitätsnahen Dosisermittlung ergeben sich Änderungen gegenüber dem bisherigen Verfahren. Dadurch ist nach Schätzungen des BfS mit folgendem Erfüllungsaufwand zu rechnen:

1. Für Konzeption und Realisierung eines Softwarepakets zur Dosisermittlung gemäß den neuen Vorgaben werden 3520 Stunden veranschlagt. Dies führt bei Zugrundelegung der Lohnkosten einer Person des höheren Dienstes im Bund von 65,40 Euro pro Stunde zu einem **einmaligen Personalaufwand von 230.208 Euro für den Bund.**
2. Für den **jährlichen Personalaufwand** zur Ermittlung der Exposition aufgrund der neuen Vorgaben werden konservativ 1760 Stunden des höheren Dienstes, entsprechend **115.104 Euro für den Bund** geschätzt.
3. Folgender einmaliger Sachaufwand wird geschätzt:
  - Für eine Datenbank zu den Standortparametern 250.000 Euro.
  - In Zusammenhang mit den Softwarearbeiten 25.000 Euro für Entwicklungs- und Auswertewerkzeuge.
  - Für Speicher- und Backupsysteme sowie Aufbau von Clustern 300.000 Euro.Insgesamt entsteht damit ein **einmaliger geschätzter Sachaufwand von 575.000 Euro für den Bund.**

Die Mehrbedarfe aus dem Erfüllungsaufwand sollen im Bereich des Bundes finanziell und stellenmäßig in den jeweiligen Einzelplänen ausgeglichen werden.

#### **Zu Vorgabe 6.:**

Für Ausbreitungsrechnungen zu Ableitungen aus Anlagen oder Einrichtungen zum Zweck der Berechnung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung ist nach der Strahlenschutzverordnung ein Lagrange-Partikel-Modell zu verwenden. Nach der am 31.12.2018 außer Kraft getretenen alten Strahlenschutzverordnung war ein Gauß-Modell vorgeschrieben. Mit dieser Änderung wird ein Umstellungsaufwand verbunden sein, der durch Änderungen an Hard- und Software bedingt ist. Es ist davon auszugehen, dass für die Rechnung das vom BfS seit mehreren Jahren bereitgestellte Modell ARTM eingesetzt wird, so dass für dessen Beschaffung keine Kosten entstehen. Nach Abschätzungen aus dem Länderkreis ist für die Anschaffung einer angemessenen Hardware mit Kosten von 20.000 Euro je Land zu rechnen. Nochmals der gleiche Betrag wird für Software-Anschaffungen angesetzt. Daraus ergibt sich ein **einmaliger Sachaufwand von 640.000 Euro für die Länder.**

Der Personalaufwand für die durchzuführenden Rechnungen ist in den Abschätzungen zu Vorgabe 2 unter „Erfüllungsaufwand für die Verwaltung“ enthalten.

**Zusammenfassung des Erfüllungsaufwands für die Verwaltung:**

Vorgabe	Personalaufwand jährlich [Euro]		Personalaufwand einmalig [Euro]		Sachaufwand jährlich [Euro]		Sachaufwand einmalig [Euro]	
	Länder	Bund	Länder	Bund	Länder	Bund	Länder	Bund
Vorgabe 1	929.280							
Vorgabe 2	1.503.716		2.112.963		49.600			
Vorgabe 4	12.240						640.00	
Vorgabe 5		115.104		230.208				575.000
Vorgabe 6	*	**		**			640.000	**
<b>Summe</b>	2.445.236	115.104	2.112.963	230.208	49.600		1.280.000	575.000

\* In jährlichem Personalaufwand zu „Vorgabe 2“ enthalten.

\*\* In den Aufwänden zu „Vorgabe 5“ enthalten.

Hinsichtlich Vorgabe 6 kann die zuständige Behörde laut Anlage 11 Teil C Nr. 4 Satz 3 StrlSchV auch andere Verfahren zulassen, falls dies sachgerecht ist, z. B. das gemäß der am 31.12.2018 außer Kraft getretenen Strahlenschutzverordnung angewandte Gauß-Verfahren. Falls hiervon in erheblichem Umfang Gebrauch gemacht würde, ergäbe sich zu Vorgabe 6 ein deutlich geringerer Personal- und Sachaufwand.

**VI. Weitere Kosten**

Die Wirtschaft wird nicht mit sonstigen Kosten belastet. Auswirkungen auf Einzelpreise oder das Preisniveau, insbesondere auf das Verbraucherpreisniveau, sind nicht zu erwarten.

**VII. Evaluierung**

Da der Erfüllungsaufwand bei Wirtschaft oder Verwaltung 1.000.000 Euro jährlich übersteigt, ist eine Evaluierung erforderlich.

Zweck dieser Allgemeinen Verwaltungsvorschrift ist die Ermittlung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung. Dies dient dem Schutz von Bevölkerung und Umwelt, entsprechend den Regelungen des Strahlenschutzgesetzes und der Strahlenschutzverordnung festgelegt wurde. Ziel der Evaluierung ist daher festzustellen, ob dies erreicht wurde. Kriterium hierfür ist die Einhaltung und Ausschöpfung der Grenzwerte des § 80 StrlSchG und des § 99 StrlSchV sowie die Prüfung der Verfahren der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift auf praktische Anwendbarkeit. Die Einhaltung und Ausschöpfung der Grenzwerte kann auf Grundlage der gemäß § 101 Absatz 5 Satz 1 dokumentierten

Expositionen geprüft werden. Die praktische Anwendbarkeit der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift lässt sich durch Rückmeldungen Betroffener zu Auffälligkeiten und durch Prüfung der Einhaltung der Jahresfristen bei der Ermittlung der erhaltenen Exposition der Bevölkerung nach § 101 StrlSchV evaluieren. Die Evaluierung soll fünf Jahre nach dem durch § 193 StrlSchV festgelegten Beginn der Nutzung der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift erfolgen.

## **B. Besonderer Teil**

### **I. Zu Kapitel 1 „Anwendungsbereich“**

Die AVV Tätigkeiten dient sowohl der Ermittlung der zu erwartenden Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung nach § 100 StrlSchV (prospektive Ermittlung) als auch der erhaltenen Exposition nach § 101 StrlSchV (retrospektive Ermittlung). Unterschiede im Verfahren werden explizit benannt. Sie geht damit über die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 der am 31.12.2018 außer Kraft getretenen Strahlenschutzverordnung, die für die Berechnung der zu erwartenden Exposition erlassen worden war, hinaus. Dies gilt auch für die Ermittlung der Exposition durch ionisierende Strahlung aus Anlagen und Einrichtungen (Direktstrahlung), die in der vorliegenden Verwaltungsvorschrift jetzt auch behandelt wird.

Das Kapitel 1 nennt ausdrücklich Bereiche, in denen diese Verwaltungsvorschrift nicht anzuwenden ist, da hierfür andere Verfahren vorgesehen sind oder eine Anwendung der Berechnungsvorschriften dieser Verwaltungsvorschrift nicht sachgerecht wäre.

### **II. Zu Kapitel 3 „Ziele und Grundsätze zur Ermittlung der Exposition“**

Zu Punkten 3. 1 und 3.8

Vor dem Hintergrund, dass die Exposition so realistisch wie mit vertretbarem Aufwand möglich berechnet werden soll, sind die Berechnungsverfahren der AVV Tätigkeiten weniger konservativ als in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 der am 31.12.2018 außer Kraft getretenen Strahlenschutzverordnung, insbesondere sind die Lebensgewohnheiten der Einzelperson der Bevölkerung realitätsnäher. Dadurch ergeben sich rechnerisch niedrigere Dosen. Dies könnte zu höheren Genehmigungswerten für die Ableitung radioaktiver Stoffe als nach der bisherigen Regelung führen. Um die bisherige Konservativität bei der Festlegung der Genehmigungswerte beizubehalten, werden bei der Berechnung der zu erwartenden Exposition infolge der Ableitung künstlicher Radionuklide mit Luft oder Wasser daher die generischen expositionspfadspezifischen Faktoren der Tabelle 20 des Anhangs A8 angewandt. Sie kompensieren insbesondere das geänderte Vorgehen hinsichtlich Spalte 8 in Tabelle 10 im Anhang A4, den von 100% abweichenden Kontaminationsgrad von Lebensmittelgruppen gemäß Tabelle 3, Größe  $f_n$ , in Anhang 3 sowie den nur noch teilweisen Aufenthalt im Freien nach Tabelle 12 in Anhang A4

Da § 99 Absatz 1 StrlSchV im Gegensatz zu § 47 Absatz 1 der am 31.12.2018 außer Kraft getretenen Strahlenschutzverordnung zur Begrenzung der Ableitung radioaktiver Stoffe keine Organ-Äquivalentdosisgrenzwerte mehr enthält, sondern nur noch Grenzwerte für die effektive Dosis, wären in Einzelfällen höhere Genehmigungswerte als bisher denkbar. Derartiges wäre allerdings höchstens in Fällen zu erwarten, in denen keine Vielfalt an Radionukliden abgeleitet wird, sondern nur ein Radionuklid, das zudem im Wesentlichen auch nur auf ein Organ wirkt. Um auch hier die bisherige Konservativität beizubehalten, werden bei der Berechnung der zu erwartenden Exposition infolge der Ableitung künstlicher Radionuklide mit Luft oder Wasser die generischen radionuklidspezifischen Faktoren der

Tabelle 19 im Anhang A8 angewandt. Gemäß einem Vorschlag des Ausschusses „Radioökologie“ der Strahlenschutzkommission beschränken sich diese Faktoren auf die beiden Iodisotope I-125 und I-131.

Die expositionsstufenspezifischen und radionuklidstufenspezifischen Faktoren wurden durch generische Modellrechnungen des Bundesamts für Strahlenschutz berechnet. Hierbei wurde berücksichtigt, dass manche Expositionspfade nur kombiniert auftreten können, wie z. B. die Exposition durch Inhalation und die Exposition durch Betasubmersion.

Zu Punkt 3.2

§ 100 Absatz 1 StrlSchV fordert den Nachweis der Einhaltung der Grenzwerte von § 80 StrlSchG und § 99 StrlSchV, § 101 StrlSchV grundsätzlich die Ermittlung der Körperdosen nach § 80 StrlSchG, also die Ermittlung der effektiven Dosis sowie der Organ-Äquivalentdosen der Augenlinse und der Haut. Da Modellrechnungen für die repräsentative Person zeigen, dass die Grenzwerte der Organ-Äquivalentdosen für die Augenlinse und die Haut in § 80 Absatz 2 StrlSchG eingehalten werden, wenn der Grenzwert für die effektive Dosis in § 80 Absatz 1 StrlSchG und die Grenzwerte für die effektive Dosis durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser in § 99 Absatz 1 StrlSchV nicht überschritten werden, ist für die Dokumentation der Exposition, insbesondere der Einhaltung der Grenzwerte, die Ermittlung der effektiven Dosis ausreichend. Überschreitungen der Grenzwerte der Organ-Äquivalentdosis für die Augenlinse und die Haut bei Einhaltung der Grenzwerte für die effektive Dosis insgesamt und die effektive Dosis durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser sind rechnerisch nur bei unrealistischen Expositionssituationen möglich. Eine gesonderte Berechnung der Organ-Äquivalentdosen der Augenlinse und der Haut ist daher für die repräsentative Person nicht erforderlich.

Zu Punkt 3.4

Die Grenzwerte des § 80 StrlSchG und des § 99 StrlSchV sind nicht nur in jedem Kalenderjahr einzuhalten, sondern auch in jedem Lebensjahr. Daher werden in der AVV Tätigkeiten für die Berechnung der Exposition wie in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 der am 31.12.2018 außer Kraft getretenen Strahlenschutzverordnung sechs Altersgruppen herangezogen. In ihrer Empfehlung „Umsetzung des Dosisgrenzwertes für Einzelpersonen der Bevölkerung für die Summe der Expositionen aus allen zugelassenen Tätigkeiten, Empfehlung der Strahlenschutzkommission“ (verabschiedet in der 274. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 19./20. Februar 2015) schlägt die Strahlenschutzkommission zwar vor, in Anlehnung an die ICRP-Veröffentlichung 101 nur noch drei Altersstufen bei der prospektiven Berechnung der Exposition zugrunde zu legen (Altersstufe 1 Jahr alt, repräsentativ für die Altersklasse 0 – 5 Jahre; Altersstufe 10 Jahre alt, repräsentativ für die Altersklasse 6 – 15 Jahre; Altersstufe Erwachsene, repräsentativ für die Altersklasse 16 – 70 Jahre). Damit bliebe allerdings die Exposition der besonders empfindlichen Altersgruppe der Säuglinge rechnerisch unberücksichtigt. Durch die vorgeschlagenen drei Altersstufen würde die Exposition um bis zu einem Faktor 3 bis 4 unterschätzt. Die drei Altersstufen sind daher nicht geeignet, um die Einhaltung von Dosisgrenzwerten in jedem Kalenderjahr sicherzustellen.

### **III. Zu Kapitel 4 „Wirksame Quellen der Exposition bei mehreren Quellen“**

Die Grenzwerte für die Exposition der Bevölkerung gelten für die Summe der Dosen aus allen genehmigungs- oder anzeigebedürftigen Tätigkeiten im Sinne des § 80 StrlSchG. Um den Aufwand bei der geforderten Summenbildung auf ein vertretbares Maß zu begrenzen, enthält die AVV Tätigkeiten räumliche und dosimetrische Kriterien zur Beurteilung, welche Quellen zusammenwirken können und aufgrund der Höhe der Exposition nicht außer Acht gelassen werden können.

#### Zu 4.1

Die räumlichen Kriterien berücksichtigen, dass die Exposition infolge von Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft und die Exposition durch ionisierende Strahlung aus Anlagen und Einrichtungen (Direktstrahlung) mit der Entfernung von der Anlage oder Einrichtung rasch abnehmen. Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Wasser können jedoch Oberflächengewässer und deren Umgebung ab der Einleitungsstelle kontaminieren und zur Exposition der Bevölkerung führen.

#### Zu 4.2

Die dosimetrischen Kriterien berücksichtigen, dass manche Quellen aufgrund der Höhe der Exposition außer Acht gelassen werden können, sofern sichergestellt ist, dass die maßgeblichen Dosisgrenzwerte nicht überschritten werden (1 mSv effektive Dosis pro Kalenderjahr insgesamt, je 0,3 mSv effektive Dosis pro Kalenderjahr durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser).

Bei natürlichen Radionukliden sind Dosiskriterium und die maximale Anzahl wirksamer Quellen so gewählt, dass das Kriterium „im Bereich von 1 mSv pro Kalenderjahr“ für die Freistellung von Tätigkeiten mit natürlichen Radionukliden von der Pflicht zur Anmeldung (Anhang VII Nummer 3 Buchstabe e der Richtlinie 2013/59/Euratom) eingehalten wird. Die Exposition durch Radon ist den bestehenden Expositionssituationen zuzuordnen und bleibt daher in der AVV Tätigkeiten unberücksichtigt.

Gemäß Absatz 4.2.3 kann die Berechnung der äußeren Exposition durch ionisierende Strahlung aus einer Anlage oder Einrichtung entfallen, wenn sichergestellt ist, dass der Dosisbeitrag zur Exposition der repräsentativen Person durch alle Expositionspfade für diese Anlage oder Einrichtung 10 % nicht überschreitet und die Dosisgrenzwerte für die Bevölkerung sicher eingehalten werden. Sollte die Einhaltung dieser Dosiskriterien aufgrund von organisatorischen oder technischen Maßnahmen gewährleistet sein, erübrigt sich ein rechnerischer Nachweis.

#### **IV. Zu Kapitel 5 „Prospektive und retrospektive Berechnung der Exposition“**

Der AVV Tätigkeiten liegen für die prospektive und die retrospektive Berechnung der Exposition der Bevölkerung die gleichen Modellierungsansätze zugrunde. In beiden Fällen soll die Exposition konservativ, aber so realistisch wie mit vertretbarem Aufwand möglich, berechnet werden. Während bei der retrospektiven Berechnung auf standortspezifische Informationen und aktuelle statistische Daten zurückgegriffen werden kann, müssen bei der prospektiven Berechnung konservative Annahmen und generische Daten zugrunde gelegt werden. Bei der prospektiven Berechnung der Exposition sollen jedoch unmögliche Szenarien ausgeschlossen werden. Bei der retrospektiven Berechnung im betrachteten Zeitraum ist die Kontamination der Umwelt infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft und Wasser in den Vorjahren zu berücksichtigen. Hierfür werden neben den Daten zur Ableitung weitere Daten benötigt. Falls die zur Berechnung erforderlichen Daten für die Vorjahre nicht vorliegen und nicht mit vertretbarem Aufwand ermittelt werden können, können diese Daten durch konservative Schätzungen ersetzt werden.

Im Vergleich zur Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 der am 31.12.2018 außer Kraft getretenen Strahlenschutzverordnung ergeben sich bei der prospektiven Dosisberechnung rechnerisch niedrigere Dosen. Um das bisherige Maß an Konservativität des Strahlenschutzes beizubehalten, sind die berechneten effektiven Dosen infolge der Ableitung künstlicher Radionuklide mit Luft oder Wasser mit generischen radionuklidspezifischen Faktoren und expositionspfadspezifischen Faktoren zu multiplizieren. Diesbezüglich wird auf die Begründung zu Kapitel 3, Punkte 3.1 und 3.8, verwiesen.

## V. Zu Kapitel 6 „Ausbreitung radioaktiver Stoffe und Umgebungskontamination bei Ableitungen mit Luft“

### Zu 6.1

Das bisherige Gauß-Fahnen-Modell gemäß der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 der am 31.12.2018 außer Kraft getretenen Strahlenschutzverordnung wird durch ein Lagrange-Partikel-Modell abgelöst. Die Gründe hierfür sind im Wesentlichen:

1. Lagrange-Partikel-Modelle entsprechen dem Stand von Wissenschaft und Technik. Sie sind im Vergleich zum Gauß-Fahnen-Modell universeller und flexibler einsetzbar. Sie ermöglichen unter anderem die Berücksichtigung ungleichmäßiger Emissionen, bodennaher Emissionen sowie von flächenhaften Emissionen.
2. Mit Lagrange-Partikel-Modellen kann die atmosphärische Ausbreitung und die Deposition von Radionukliden in der Umgebung von Emittenten orts aufgelöst und realitätsnah berechnet werden. Dies ist die Voraussetzung, um den Aufenthaltsort der repräsentativen Person bei der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft ermitteln zu können, da hier orts aufgelöst die Summe der Exposition durch Inhalation, der äußeren Exposition infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft und der Exposition durch Direktstrahlung der Anlage oder Einrichtung zu betrachten ist.
3. Lagrange-Partikel-Modelle werden auch bei der atmosphärischen Ausbreitungsrechnung von Luftschadstoffen eingesetzt (siehe Anhang 3 der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft). Mit Lagrange-Partikel-Modellen wird die atmosphärische Ausbreitung radioaktiver Stoffe konzeptionell genauso behandelt wie die Ausbreitung konventioneller, also nicht-radioaktiver Schadstoffe.

Gemäß Abschnitt 6.1.5 ist für den Fall, dass der Wert der Obukhov-Länge nicht bekannt ist, alternativ die Ausbreitungsklasse nach Klug/Manier (I bis V) festzulegen (Sicherheitstechnische Regel KTA 1508) und nach der Richtlinie VDI 3783 Blatt 8 der Wert der Obukhov-Länge zu bestimmen. Für die Festlegung der Ausbreitungsklasse wird die KTA-Regel 1508 in Bezug genommen und nicht die Richtlinie VDI 3782 Blatt 6 „Atmosphärische Ausbreitungsmodelle – Bestimmung der Ausbreitungsklassen nach Klug/Manier“, da die in der KTA-Regel beschriebenen Verfahren praxisnäher sind und auch geringere Kosten verursachen.

### Zu 6.2

Die Bodenkontamination ergibt sich als Summe der trocken und nass abgelagerten Aktivität. Die Bodenkontamination durch trockene Ablagerung wird wie bisher mit stoffspezifischen Werten für die Depositions- und die Sedimentationsgeschwindigkeiten der Schwebstoffe und Gase berechnet. Die Bodenkontamination durch Niederschlag wird wie bisher mit stoffspezifischen Auswaschfaktoren berechnet. Radionuklide werden aus dem Wurzelbereich der Pflanzen in tiefere Bodenschichten transportiert. Das Verweilen der Radionuklide im Wurzelbereich (Pflugschartiefe 20 cm bei Ackerboden, 10 cm bei Weideboden) wird durch eine elementspezifische Verweilkonstante berücksichtigt.

Für alle Radionuklide außer Tritium (H-3), Kohlenstoff-11 (C-11) und Kohlenstoff-14 (C-14) ergibt sich die spezifische Aktivität in und auf der Pflanze aus den Beiträgen der direkt auf der Pflanze abgelagerten Aktivität und der über die Wurzel aufgenommenen Aktivität. Bei der Berechnung der spezifischen Aktivität von H-3 in den Pflanzen wird die Wasseraufnahme aus der Luftfeuchte (einschließlich Kondensation) und den Niederschlägen berücksichtigt. Die Aufnahme von C-14 in die Pflanzen erfolgt bezogen auf Kohlenstoff (C-12) in dem gleichen Verhältnis, wie es während der Wachstumszeit in der Luft am betrachteten Ort vorliegt (spezifisches Aktivitätsmodell). Nach Anlage 11 Teil C Nummer 3 StrlSchV ist zur Berechnung der Exposition von Modellen auszugehen, die einen Gleichgewichtszustand

beschreiben. Das Gleichgewichtsmodell für C-14 ist auf das kurzlebige C-11 (physikalische Halbwertszeit ca. 20 Minuten) nicht anwendbar. Die spezifische Aktivität von C-11 in Pflanzen kann unberücksichtigt bleiben, da wegen der kurzen physikalischen Halbwertszeit die Exposition durch Ingestion gegenüber der Exposition durch Inhalation vernachlässigbar ist.

## **VI. Zu Kapitel 7 „Ausbreitung radioaktiver Stoffe und Umgebungskontamination bei Ableitungen mit Wasser“**

### Zu 7.1

Radioaktive Stoffe, die mit Wasser in Oberflächengewässer eingeleitet werden, können ab der Einleitungsstelle den Wasserkörper und das Sediment kontaminieren. Die AVV Tätigkeiten enthält generische Rechenmodelle für die Einleitung radioaktiver Stoffe in fließende und stehende Gewässer.

Die Aktivitätskonzentrationen der Radionuklide im Fließgewässer ergeben sich im Wesentlichen aus der abgeleiteten Aktivität, dem Abfluss der Anlage oder Einrichtung, dem Mischungsverhältnis zwischen Abfluss der Anlage oder Einrichtung und dem Abfluss des Fließgewässers sowie dem radioaktiven Zerfall während des Transports bis zum betrachteten Ort. Die Verringerung der Aktivitätskonzentrationen durch Zuflüsse unkontaminierten Wassers bleibt im Sinne einer generischen konservativen Berechnung dabei unberücksichtigt.

In der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 der am 31.12.2018 außer Kraft getretenen Strahlenschutzverordnung wurde eine Wasserentnahme aus Fließgewässern auch unmittelbar an der Einleitungsstelle unterstellt. Um die Kontamination des entnommenen Wassers realitätsnäher zu berechnen, wird jetzt bei der prospektiven Berechnung und Einleitungen oberhalb der Tidegrenze davon ausgegangen, dass die Entnahmestelle 100 m in Fließrichtung von der Einleitungsstelle entfernt ist. Bei der retrospektiven Berechnung wird die tatsächliche Entfernung im Bezugszeitraum angesetzt.

Bei der Einleitung von Radionukliden in stehende Gewässer mit einer Fläche von maximal 400 km<sup>2</sup> wird in Anlehnung an internationale Empfehlungen eine vollständige Durchmischung angenommen. Der Eintrag kontaminierten Wassers über die Zuflüsse des stehenden Gewässers wird berücksichtigt. Niederschläge auf das stehende Gewässer, unterirdische Zuflüsse und Verdunstung werden jedoch vernachlässigt. Mit einer Fläche von 473 km<sup>2</sup> ist der Obersee, ein Teil des Bodensees, das einzige Binnengewässer Deutschlands, dessen Fläche geringfügig größer ist. Die Aktivitätskonzentration des Obersees ist daher nicht mit der generischen Berechnungsvorschrift in der AVV Tätigkeiten, sondern mit einem allgemein anerkannten hydrologischen Modell zu berechnen.

### Zu 7.2

Das Gleichgewicht im Wasser-Schwebstoff-System stellt sich nicht sofort ein. Die zeitabhängige Anlagerung der Radionuklide an Schwebstoffe wird wie in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 der am 31.12.2018 außer Kraft getretenen Strahlenschutzverordnung mit einer elementspezifischen Anlagerungskonstanten beschrieben. Der unspezifische Begriff Anlagerung wird hier bewusst verwendet, um alle relevanten Prozesse abzudecken. Auf ein Berechnungsverfahren auf Grundlage des elementspezifischen Verteilungskoeffizienten (K<sub>d</sub>) wurde im Sinne einer realitätsnahen Betrachtung verzichtet, da ein solcher Ansatz eine instantane Anlagerung der Radionuklide an Schwebstoffe im Wasser unterstellen würde.

Für alle Verwendungszwecke wurde von ungefiltertem Wasser aus Oberflächengewässern ausgegangen. Diese Annahme ist für manche Expositionspfade, wie z. B. die Ingestion von Trinkwasser, konservativ.

Zu 7.2.1, 7.2.2, 7.2.3

Zur Berechnung der Kontamination des Ufersediments kann vereinfachend von einer konstanten Sedimentationsgeschwindigkeit ausgegangen werden. Die Verlagerung der Radionuklide in tiefere Bodenschichten bleibt unberücksichtigt. Mit der Berechnungsvorschrift in der AVV Tätigkeiten sind für die langfristige Betrachtung auch sich periodisch wiederholende Ablagerungen, wie z. B. durch jährliche Überschwemmungen, mit abgedeckt.

Zur Berechnung der Kontamination des Bodens in Überschwemmungsgebieten wird vom gleichen Modellansatz wie bei der Kontamination von Ufersediment ausgegangen. Zusätzlich wird das Eindringen der Radionuklide in tiefere Bodenschichten infolge regelmäßiger Überflutungen durch eine Verweilkonstante berücksichtigt.

Spülfelder unterscheiden sich von Überschwemmungsgebieten dadurch, dass eine Schicht von bis zu 1 m Dicke aufgebracht wird, in der die Aktivität als homogen verteilt angenommen werden kann. Zur Berechnung der Kontamination von Spülfeldern wird davon ausgegangen, dass sich Sediment zwischen zwei Ausbaggerungen kontinuierlich im Oberflächengewässer ablagert.

Zu 7.2.4 und 7.2.5

Die Berechnung landwirtschaftlicher Flächen während der Vegetationsperiode (Sommerhalbjahr) führt zur Bodenkontamination. Der Transport der Radionuklide aus dem Wurzelbereich (Pflugschartiefe 20 cm bei Ackerboden, 10 cm bei Weideboden) in tiefere Bodenschichten wird durch eine elementspezifische Verweilkonstante berücksichtigt.

Die spezifische Aktivität in und auf Pflanzen ergibt sich für alle Radionuklide außer Tritium (H-3), Kohlenstoff-11 (C-11) und Kohlenstoff-14 (C-14) aus den Beiträgen der durch das Beregnungswasser direkt auf der Pflanze abgelagerten Aktivität und der über die Wurzel aufgenommenen Aktivität. Für Tritium in Form tritiierten Wassers wird wie in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 der am 31.12.2018 außer Kraft getretenen Strahlenschutzverordnung die spezifische Aktivität in Pflanzen gleich der mittleren Aktivitätskonzentration des Beregnungswassers während des betrachteten Jahres gesetzt. Die spezifische Aktivität von C-14 in Pflanzen ergibt sich wie ebenfalls wie bisher aus der Beregnungsrate während der Weidezeit und der Wachstumszeit von pflanzlichen Nahrungsmitteln, der mittleren Aktivitätskonzentration von C-14 im Beregnungswasser während des betrachteten Jahres, der Assimilationsrate sowie dem Massenanteil des Kohlenstoffs in Pflanzen. Nach Anlage 11 Teil C Nummer 3 StrlSchV ist zur Berechnung der Exposition von Modellen auszugehen, die einen Gleichgewichtszustand beschreiben. Das Gleichgewichtsmodell für C-14 ist auf das kurzlebige C-11 (physikalische Halbwertszeit ca. 20 Minuten) nicht anwendbar. Für C-11 ist ein allgemein anerkanntes radioökologisches Modell heranzuziehen.

Bei der landwirtschaftlichen Nutzung von Überschwemmungsgebieten ergibt sich die spezifische Aktivität in der Pflanze aus der über die Wurzel aufgenommenen Aktivität. Die Wurzelaufnahme wird wie in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 der am 31.12.2018 außer Kraft getretenen Strahlenschutzverordnung mit elementspezifischen Transferfaktoren berechnet.

## VII. Zu Kapitel 8 „Exposition des Menschen bei der Ableitung mit Luft“

#### Zu 8.1

Die Expositionspfade, die bei der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft zu berücksichtigen sind, wurden wie in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 der am 31.12.2018 außer Kraft getretenen Strahlenschutzverordnung beibehalten.

Wie bisher sind bei der Berechnung der Exposition die Stellen zugrunde zu legen, an denen sich die höchsten effektiven Dosen ergeben. Neben der Exposition durch Ableitungen mit Luft ist jetzt zusätzlich auch die Direktstrahlung von Anlagen und Einrichtungen zu berücksichtigen.

#### Zu 8.2

Die Jahresdosis (effektive Dosis) durch äußere Exposition ergibt sich bei der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft aus der Summe der Jahresdosen durch Betasubmersion, Gammasubmersion und Gammabodenstrahlung.

##### Zu 8.2.1

Das Berechnungsverfahren der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 der am 31.12.2018 außer Kraft getretenen Strahlenschutzverordnung für die Exposition durch Betasubmersion wurde unverändert beibehalten. Die Exposition durch Betasubmersion ergibt sich aus den Aktivitätskonzentrationen der Radionuklide in der Luft am betrachteten Ort, der Aufenthaltszeit und den Dosisleistungskoeffizienten für die effektive Dosis durch Betasubmersion. Die Verringerung der Aktivitätskonzentration in Gebäuden wird nicht berücksichtigt.

##### Zu 8.2.2

Bei der Berechnung der Exposition durch Gammasubmersion sind wegen der großen Reichweite der Gammastrahlung alle Beiträge aus der Abluffahne zu berücksichtigen. Abweichend vom Vorgehen in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 der am 31.12.2018 außer Kraft getretenen Strahlenschutzverordnung wird die Gammasubmersion gemäß Richtlinie VDI 3945 Blatt 3 berechnet. Es ist zulässig, d. h. es ist eine akzeptable Näherung, die Gammasubmersion für die Gamma-Energien unter 0,2 MeV durch die Gammasubmersion für 0,1 MeV und für die höheren Gamma-Energien durch die Gammasubmersion für 1 MeV zu beschreiben. Hiervon wird auch in den Berechnungsvorschriften dieser Allgemeinen Verwaltungsvorschrift Gebrauch gemacht. Die Abschirmung von Gammastrahlung aus der Abluffahne durch Gebäude wird durch einen Reduktionsfaktor bei Aufenthalt in Gebäuden berücksichtigt.

##### Zu 8.2.3

Gammastrahlung, die von am Boden abgelagerten Radionukliden ausgesandt wird, kann aus einem Umkreis von bis zu einigen hundert Metern zur äußeren Exposition beitragen. In diesem Umkreis um die Einwirkungsstelle wird von der gleichen abgelagerten Aktivität wie an der betrachteten Einwirkungsstelle ausgegangen.

Die Jahresdosis (effektive Dosis) durch Gammabodenstrahlung während des k-ten Betriebsjahres ergibt sich aus der Bodenkontamination am Ende des Vorjahres sowie der Bodenkontamination durch trockene und nasse Ablagerung der während des k-ten Betriebsjahres. Wie bei der Gammasubmersion wird die Abschirmung von Gammastrahlung der am Boden abgelagerten radioaktiven Stoffe durch Gebäude durch einen Reduktionsfaktor bei Aufenthalt in Gebäuden berücksichtigt. Ebenso werden die Bodenrauigkeit und das Eindringen der Radionuklide in tiefere Bodenschichten durch einen Korrekturfaktor berücksichtigt.

## Zu 8.3.1

Die Exposition durch Inhalation ergibt sich aus den inhalierten Aktivitäten durch Multiplikation mit den jeweiligen Dosiskoeffizienten für Inhalation. Das Berechnungsverfahren wurde wie in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 der am 31.12.2018 außer Kraft getretenen Strahlenschutzverordnung beibehalten. Die Aktivitätskonzentrationen der Radionuklide werden jedoch nicht wie bisher mithilfe des Gauß-Fahnen-Modells, sondern mithilfe des Langrange-Partikel-Modells berechnet.

## Zu 8.3.2

Bei den tierischen Lebensmitteln Milch und Fleisch wird zu Berechnungszwecken unterstellt, dass die gesamte erzeugte Milch und das gesamte erzeugte Fleisch ausschließlich von Rindern stammen. Ferner wird angenommen, dass die Rinder nur mit Weidebewuchs gefüttert werden. Die Exposition der Bevölkerung durch den Verzehr von Milch und Milchprodukten sowie von Fleisch und Wurst wird hierdurch insgesamt konservativ berechnet.

Die Exposition durch Ingestion ergibt sich, bis auf den Sonderfall Muttermilch, aus den mit Lebensmitteln aufgenommenen Aktivitäten durch Multiplikation mit den jeweiligen Dosiskoeffizienten für Ingestion. Für die Annahmen über die Ernährungsgewohnheiten der repräsentativen Person wird auf die Begründung zu Anhang A4 verwiesen. Wie in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 der am 31.12.2018 außer Kraft getretenen Strahlenschutzverordnung bleiben Dekontaminations-effekte bei der lebensmitteltechnologischen und haushaltsmäßigen Zubereitung unberücksichtigt. Im Sinne einer realitätsnahen Berechnung der Exposition wird jetzt aber der Tatsache Rechnung getragen, dass nur ein Teil der verzehrten Lebensmittel durch die wirksamen Quellen kontaminiert ist.

Die Berechnung der Exposition durch den Verzehr von Muttermilch wurde erweitert und berücksichtigt jetzt die Dosiskoeffizienten der ICRP-Veröffentlichung 95. Bisher wurde die Aktivität, die von der Mutter durch Inhalation oder Ingestion inkorporiert und mit der Muttermilch dem Säugling zugeführt wird, mithilfe von Transferfaktoren berechnet. Das Produkt aus dem Transferfaktor und der täglich verzehrten Menge von Muttermilch ist der Anteil eines Radionuklids, der nach Inkorporation durch die Mutter in die Muttermilch übergeht.

Mit der ICRP-Veröffentlichung 95 stehen Dosiskoeffizienten zur Verfügung, mit denen die Exposition des Säuglings durch den Verzehr von Muttermilch nach Inkorporation von Radionukliden durch die Mutter für 80 Radionuklide berechnet werden kann. Aus den Szenarien in der ICRP-Veröffentlichung 95 für die chronische Inkorporation von Radionukliden durch die Mutter wurden konservative Dosiskoeffizienten für einen einjährigen Inkorporationszeitraum abgeleitet. Im Sinne einer konservativen Berechnung der Exposition durch den Verzehr von Muttermilch wurde unterstellt, dass in dieses Jahr das letzte halbe Jahr der Schwangerschaft und die halbjährige Stillphase fällt. Die berechneten Dosiskoeffizienten für den Verzehr von Muttermilch sind in der AVV Tätigkeiten in Tabelle 2 im Anhang A2.3 aufgelistet.

Für alle Radionuklide, für die Dosiskoeffizienten für den Verzehr von Muttermilch nach Inkorporation durch die Mutter in Tabelle 2 im Anhang A2.3 der AVV Tätigkeiten aufgelistet sind, ist die Exposition durch den Verzehr von Muttermilch mithilfe dieser Dosiskoeffizienten zu berechnen. In allen anderen Fällen ist die Exposition durch den Verzehr von Muttermilch wie bisher mithilfe von Transferfaktoren zu berechnen. Das bisherige Verfahren ist insgesamt als wesentlich konservativer einzustufen.

**VIII. Zu Kapitel 9 „Exposition des Menschen bei der Ableitung mit Wasser“**

Zu 9.1

Die Expositionspfade, die bei der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser zu berücksichtigen sind, wurden wie in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 der am 31.12.2018 außer Kraft getretenen Strahlenschutzverordnung beibehalten.

Zu 9.2.1

Die Jahresdosis (effektive Dosis) durch Aufenthalt auf Ufersediment während des k-ten Betriebsjahres ergibt sich aus der flächenbezogenen Aktivität im Ufersediment am Ende des Vorjahres und der durch Sedimentation während des k-ten Betriebsjahres abgelagerten Aktivität. Die endliche Geometrie des Uferstreifens gegenüber einer unendlich ausgedehnten, homogen kontaminierten Fläche wird durch einen Korrekturfaktor berücksichtigt.

Zu 9.2.2

Die Jahresdosis (effektive Dosis) durch Aufenthalt auf Überschwemmungsgebieten während des k-ten Betriebsjahres ergibt sich aus der flächenbezogenen Aktivität in der oberen Bodenschicht des Überschwemmungsgebietes am Ende des Vorjahres und der durch Überschwemmung während des k-ten Betriebsjahres abgelagerten Aktivität. Das Eindringen der Radionuklide in tiefere Bodenschichten des Überschwemmungsgebietes wird durch eine Verweilkonstante berücksichtigt.

Zu 9.2.3

Die Jahresdosis (effektive Dosis) durch Aufenthalt auf Spülfeldern während des k-ten Betriebsjahres ergibt sich aus der mittleren spezifischen Aktivität im Sediment zum Zeitpunkt des Ausbaggerns und der Zeit zwischen dem Aufspülen und der Begehrbarkeit des Spülfeldes. Die Selbstabschirmung im aufgespülten Sediment wird durch eine effektive Schichtdicke berücksichtigt.

Zu 9.3

Es wird auf die Begründung zu 8.3.2 verwiesen.

**IX. Zu Kapitel 10, „Exposition des Menschen durch ionisierende Strahlung aus Anlagen und Einrichtungen“**

Aufgrund der Vielfalt der Anwendungsfälle ist es nicht möglich, in der AVV Tätigkeiten allgemeingültige vereinfachte Berechnungsverfahren zur Verfügung zu stellen. Die AVV beschränkt sich daher auf Hinweise, welche Punkte beim Einsatz entsprechender Simulationsverfahren zu berücksichtigen sind. Jedoch sollen für ausgewählte hypothetische Fälle beispielhafte Rechnungen zur Ermittlung der äußeren Exposition durch ionisierende Strahlung aus Anlagen und Einrichtungen mit Hilfe vereinfachter, konservativer Verfahren mit Erläuterungen zusammengestellt werden, um das prinzipielle Vorgehen zu demonstrieren. Diese Beispielrechnungen sollen nicht in die AVV aufgenommen werden, sondern wegen der besseren Erweiterbarkeit und Änderbarkeit in einen separaten Leitfaden. Der Leitfaden ist als „lebendes Dokument“ konzipiert, in das langfristig auch die Erfahrungen aus der Genehmigungspraxis der Länder einfließen können.

Bei der retrospektiven Ermittlung der Exposition wird alternativ zur Simulationsrechnung die Möglichkeit der Dosisermittlung durch Messungen eröffnet. Hiermit wird unter anderem eine Vereinfachung des Verfahrens bezweckt.

Zum 10%-Kriterium in 10.1 siehe die Begründung zu 4.2.

**X. Zu Anhang A3 „Daten zur Berechnung des Radionuklidtransports“**

Die Daten zur Berechnung des Radionuklidtransports wurden unter Berücksichtigung internationaler Empfehlungen und wissenschaftlicher Veröffentlichungen aktualisiert und erweitert. Beispiele sind der Gehalt von CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre oder Daten für die Anlagerung von Radionukliden in Oberflächengewässern an Schwebstoffe. Wegen der Aktualisierung und Erweiterung der Datengrundlage können Abweichungen zu anderen Berechnungsvorschriften auftreten.

**XI. Zu Anhang A4 „Lebensgewohnheiten der repräsentativen Person“**

Die Verzehrsmengen der Einzelpersonen der Bevölkerung wurden insgesamt realistischer gestaltet. In der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 der am 31.12.2018 außer Kraft getretenen Strahlenschutzverordnung wurden Verzehrsmengen unterstellt, die zu einer physiologisch unmöglich hohen Kalorienzufuhr führen. Dies ist mit den Vorgaben in der AVV Tätigkeiten jetzt ausgeschlossen. Das 95. Perzentil der jährlichen Verzehrsmenge wird jetzt nur für die dosisdominierende Lebensmittelgruppe unterstellt. Für alle übrigen, nicht dosisdominierenden Lebensmittelgruppen sind die mittleren jährlichen Verzehrsmengen anzusetzen. Zur Festlegung der dosisdominierenden Lebensmittelgruppe sind alle pflanzlichen Nahrungsmittel außer Blattgemüse zu einer Lebensmittelgruppe zusammenzufassen.

Die jährlichen Verzehrsmengen der Tabelle 10 wurden aus der am 31.12.2018 in Kraft getretenen Strahlenschutzverordnung übernommen. Diese waren erstmalig für die Strahlenschutzverordnung aus dem Jahr 2001 durch das BfS zusammengestellt worden. Nach Inkrafttreten dieser Verordnung waren noch kleinere Änderungen vorgenommen worden, wie z. B. die Korrektur des Faktors in Spalte 8 zur Abdeckung des 95. Perzentils der jährlichen Verzehrsmenge von Muttermilch bzw. Säuglingsmilchnahrung. Die Datengrundlage ist in dem Dokument „Fachliche Begründung der Änderungen in der AVV zu § 47 StrlSchV - Stand: 21.01.2005“ beschrieben ([https://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/avv\\_strlschv\\_begrueundung.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/avv_strlschv_begrueundung.pdf)).

Die Aufenthaltszeiten und Aufenthaltsorte der Einzelpersonen der Bevölkerung wurden insgesamt realitätsnaher gestaltet. Die AVV Tätigkeiten geht von einem realitätsnahen Zeitbudget aus und berücksichtigt die Abschirmwirkung von Gebäuden in angemessener Weise, wobei die Exposition der repräsentativen Person nicht unterschätzt wird.

**Stellungnahme des Nationalen Normenkontrollrates gem. § 6 Abs. 1 NKRG****Entwurf einer Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Ermittlung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch genehmigungs- und anzeigebedürftige Tätigkeiten (AVV Tätigkeiten) (NKR-Nr. 4798, BMU)**

Der Nationale Normenkontrollrat hat den Entwurf des oben genannten Regelungsvorhabens geprüft.

**I. Zusammenfassung**

Bürgerinnen und Bürger	Keine Auswirkungen
Wirtschaft	
Jährlicher Erfüllungsaufwand (gerundet):	990.000 Euro
<i>Davon aus Informationspflichten:</i>	780.000 Euro
Einmaliger Erfüllungsaufwand (gerundet):	4 Mio. Euro
Verwaltung des Bundes	
Jährlicher Erfüllungsaufwand (gerundet):	115.000 Euro
Einmaliger Erfüllungsaufwand (gerundet):	805.000 Euro
Verwaltung der Länder	
Jährlicher Erfüllungsaufwand (gerundet):	2,4 Mio. Euro
Einmaliger Erfüllungsaufwand (gerundet):	3,4 Mio. Euro
Umsetzung von EU-Recht	Mit dem Regelungsvorhaben werden Vorgaben der Richtlinie 2013/59/EURATOM zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung für das Verwaltungsverfahren umgesetzt. Grundlage sind Verordnungsermächtigungen der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV).
„One in one out“-Regel	Der Regelungsentwurf setzt EU-Vorgaben 1:1 um. Insoweit wird kein Anwendungsfall der „One in one out“-Regel begründet.
KMU-Betroffenheit	Die Strahlenschutzverordnung dient der Umsetzung der Richtlinie 2013/59/ Euratom. Diese sieht keine speziellen Erleichterungen für mittelständische Unternehmen vor, denn die Einhaltung von Dosisgrenzwerten gilt unabhängig von der Unternehmensgröße. Jedoch sehen die Vorgaben des § 100 Absatz 2 und § 101 Absatz 2 Strahlenschutzverordnung Ausnahmen von der Expositionsermittlung vor. Hierunter können insbesondere auch mittelständische Unternehmen fallen.

<p>Evaluation</p> <p>Ziele des Vorhabens</p> <p>Indikatoren/Kriterien</p> <p>Daten</p>	<p>Die Evaluation erfolgt 5 Jahre nach Inkrafttreten der AVV-Tätigkeiten.</p> <p>Ermittlung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung zum Schutz der Bevölkerung und der Umwelt gemäß den Grenzwerten und Vorgaben des Strahlenschutzgesetzes und der Strahlenschutzverordnung. Ziel der Evaluation ist die Feststellung dieser Zielerreichung und die praktische Anwendbarkeit der AVV.</p> <p>Einhaltung der Grenzwerte nach § 80 Strahlenschutzgesetz (effektive Dosis von 1 Millisievert/a) und nach 99 StrlSchV (effektive Dosis von 0,3 Millisievert/a bei Ableitungen radioaktiver Stoffe) zum Schutz von Einzelpersonen der Bevölkerung.</p> <p>Für den praktikablen Vollzug sind bspw. eingehaltene Jahresfristen bei der retrospektiven Ermittlung sowie Beschwerden Indikatoren.</p> <p>Dokumentationspflichten nach StrlSchV sowie Rückmeldungen der zuständigen Behörden.</p>
<p>Der Nationale Normenkontrollrat erhebt im Rahmen seines gesetzlichen Auftrags keine Einwände gegen die Darstellung der Gesetzesfolgen in dem vorliegenden Regelungsentwurf.</p>	

## II. Im Einzelnen

Mit dem Regelungsvorhaben wird eine Allgemeine Verwaltungsvorschrift (AVV) auf Grundlage der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) geschaffen. Diese soll die geltende Verwaltungsvorschrift ersetzen, die noch auf der Vorgängerregelung der StrlSchV basiert.

Ziel der AVV ist der Gesundheitsschutz der Bevölkerung für genehmigungs- oder anzeigebedürftige Anlagen im Sinne des Strahlenschutzgesetzes. Für diese haben betroffene Anlagenbetreiber für repräsentative Personen mittels Modellrechnungen/Simulationen die zu erwartenden (prospektive) bzw. erhaltenen (retrospektive) Expositionen nachzuweisen. Damit soll überprüft werden, ob die Grenzwerte und Vorgaben des Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG) und der StrlSchV eingehalten werden. Dies wird im Rahmen der Genehmigung überprüft bzw. laufend überwacht.

Die AVV legt dabei Verfahren zur Ermittlung

- der Ausbreitung radioaktiver Stoffe,
- der Umgebungskontamination bei Ableitung mit Luft und Wasser,

- der jeweils resultierenden (erwartenden und erhaltenen) Exposition repräsentativer Personen der Bevölkerung und
- der Exposition durch ionisierende Strahlung aus Anlagen und Einrichtungen

fest. Betroffene genehmigungs- oder anzeigebedürftige Anlagen sind bspw. kerntechnische Anlagen (Kernkraftwerke) und Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung. Letztere betreffen allerdings nicht die Exposition beruflich exponierter Personen.

Repräsentative Personen sind dabei hypothetische Personen in sechs verschiedenen Altersgruppen, die in ihrer Altersgruppe jeweils repräsentativ sind. Dabei sollen die Körperdosen, also die zu erwartenden oder erhaltenen Expositionen, so realistisch wie möglich ermittelt werden.

## II.1 Erfüllungsaufwand

Das Ressort hat den Erfüllungsaufwand nachvollziehbar geschätzt.

### Bürgerinnen und Bürger

Für Bürgerinnen und Bürger fällt kein Erfüllungsaufwand an.

### Wirtschaft

Für die Wirtschaft fällt jährlicher Erfüllungsaufwand in Höhe von rund 900.000 Euro an und einmaliger Aufwand von etwa 4 Mio. Euro.

Im Rahmen der Genehmigungspflicht von Röntgengeräten und Störstrahlern nicht-medizinischer Einrichtungen werden jährlich 320 Fälle angenommen, bei denen die Exposition von Einzelpersonen zu ermitteln ist. Dies erfolgt durch den Strahlenschutzverantwortlichen und führt zu einem Einzelaufwand von etwa 40 Stunden pro Fall, d.h. rund **750.000 Euro p.a.** (etwa 2.300 Euro im Einzelfall).

Geringere laufende Kosten von etwa **29.000 Euro p.a.** entstehen durch die Verpflichtung für Strahlenschutzverantwortliche, für Anlagen zum Umgang mit radioaktiven Stoffe bzw. zu Erzeugung ionisierender Strahlung außerhalb der Medizin bzw. Tiermedizin (bspw. Flughafenscanner), Daten zu übermitteln, die für die Expositionsermittlung benötigt werden. Dies wird im vereinfachten Verfahren für etwa 1.200 Fälle p.a. angenommen.

Schließlich wird mit der AVV eine geänderte Methodik zur Ausbreitungsberechnung vorgegeben. Das Lagrange-Partikel-Verfahren führt zu einem zeitlichen Mehraufwand zum bisherigen Gauß-Modell. Pro betroffenen Genehmigungsverfahren (110 Fälle p.a.), bspw. im Bereich kerntechnischer Anlagen oder bei Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung, werden 32 Stunden Mehraufwand erwartet (**207.000 Euro p.a.**).

Einmaliger Erfüllungsaufwand entsteht durch Hard- und Softwareanpassungen in Folge der Methodikänderung auf das Lagrange-Partikel-Verfahren. Für etwa 100 betroffene

Unternehmen werden durchschnittlich 40.000 Euro im Einzelfall angenommen  
(**4 Mio. Euro**).

### Verwaltung

Für den **Bund** fällt Erfüllungsaufwand für das Bundesamt für Strahlenschutz an. Dieses ist für die Expositionsermittlung für Einzelpersonen bei Kernkraftwerke und Lagerstandorten zuständig. Da nunmehr eine realitätsnähere Ermittlung erfordert ist, wird einmaliger Aufwand für die Konzeptionierung und Realisierung einer entsprechenden Software, für die Errichtung einer Datenbank, Entwicklung von Auswertungswerkzeugen sowie Speicher- und Backupsysteme von insgesamt **800.000 Euro** geschätzt. Zusätzlich entsteht jährlicher Aufwand für die Ermittlung der Exposition von etwa **115.000 Euro** (1760 Stunden im hD).

Für die **Länder** entstehen ein jährlicher Erfüllungsaufwand von rund 2,4 Mio. Euro und ein einmaliger Aufwand von rund 3,4 Mio. Euro.

Im Rahmen der Genehmigung von Röntgengeräten und Störstrahlern im nicht-medizinischen Bereich ist zunächst zu prüfen, ob es weitere Tätigkeiten gibt, die im Zusammenspiel mit den zu genehmigenden eine Grenzwertüberschreitung ermöglichen. Zunächst wird angenommen, dass bei jährlich 640 Genehmigungsverfahren dies ausgeschlossen werden kann (**jährlicher Aufwand von 620.000 Euro** bei 16 Stunden pro Fall, hD). Bei 320 Genehmigungsanträgen wird eine Expositionsermittlung erforderlich werden, dies erfolgt durch den Strahlenschutzverantwortlichen (siehe Wirtschaft). Im Einzelfall werden 16 Stunden im hD angenommen (**310.000 Euro p.a.**).

Des Weiteren ist bei Anlagen, die ionisierende Strahlung erzeugen oder mit radioaktiven Stoffen umgehen für repräsentative Personen die jährlich erhaltene Dosis (retrospektiv) zu ermitteln. Hier schätzt das Ressort, dass einmalig für bestehende Genehmigungen die Feststellung der Betroffenheit (d.h. Überschreiten der effektiven Dosis von 1 Millisievert/a) zu erfolgen hat. Bei 11000 Genehmigungen wird bei 75% der Fälle schnell festgestellt werden können, dass diese nicht betroffen sind (30 min im Einzelfall, 60,50 Euro/h, gesamt 250.000 Euro). Bei etwa 25% der Fälle ist eine umfangreiche (20% a 4h) oder sehr umfangreiche (5% a 40h) Prüfung zur Feststellung notwendig. Insgesamt werden **Einmalkosten von etwa 2,1 Mio.** Euro erwartet.

Für die Folgejahre wird schätzungsweise für 10% der Fälle (1100) eine neue Genehmigung beantragt werden. Bei 75% wird die Feststellung der Betroffenheit der Jahresdosisermittlung schon im Genehmigungsverfahren ausgeschlossen werden. Bei 25% der Fälle werden umfangreichere (220) und sehr umfangreiche (55 Fälle) Prüfungen zur Feststellung notwendig werden. Insgesamt werden insoweit jährliche Kosten von **rund 186.000 Euro** erwartet.

Bezogen auf die Altfälle (identifiziert im Rahmen der einmaligen Ermittlung der Betroffenheit) und laufende Neufälle schätzt das Ressort, dass insgesamt etwa 1.200 Fälle p.a. die Jahresdosis der Einzelpersonen der Bevölkerung zu ermitteln haben. Hierfür wird im Einzelfall ein Aufwand von 2 Arbeitstagen (8h) angenommen. Dies bewirkt einen jährlichen Aufwand von **1,1 Mio. Euro p.a.**

Zudem haben die Länder die Expositionspfade (Ermittlung der Flächen für die Erzeugung von Lebensmitteln und Futter sowie zur Gewinnung von Trinkwasser) zu berücksichtigen. Dafür wird alle 5 Jahre zusätzlich ein Personentag aufgewendet (gD, 8 Stunden alle 5 Jahre für 1200 Fälle). Insgesamt fällt hierfür ein weiterer jährlicher Aufwand von **rund 78.000 Euro** an.

Da in diesem Zusammenhang die Länder ihre Mitarbeiter regelmäßig für die Nutzung des Strahlungstransport-Simulationsverfahrens weiterbilden müssen, werden darüber hinaus noch jährliche Kosten von etwa **127.000 Euro** angenommen.

Aus den Ermittlungspflichten der resultieren für die Länder auch besondere Dokumentationspflichten. Hierfür wird einmaliger Aufwand für die Errichtung eines Dokumentationssystems pro Land geschätzt, insgesamt etwa **320.000 Euro** an IT-Leistungen. Für technische Komponenten werden etwa 20.000 Euro pro Land, d.h. weitere rund **320.000 Euro** angenommen.

Die jährliche Dokumentation der 1200 Fälle wird einen Aufwand von etwa 15 min im Einzelfall (**rund 12.000 Euro p.a.**) mit sich bringen.

Zuletzt bewirkt auch bei den Ländern der Wechsel der Ausbreitungsmethodik auf das Lagrange-Partikel-Modell einmaligen Erfüllungsaufwand. Hier wird zwar das vom BfS bereitgestellte Modell ARTM verwendet, so dass keine Anschaffungskosten entstehen. Jedoch ist damit gleichwohl eine Umstellung bei der Hard- und Software in den Ländern verbunden. Diese wird mit etwa 40.000 Euro pro Land geschätzt (**einmalig 640.000 Euro**). Der laufende Aufwand ist bei der Feststellung der Tätigkeit zur Jahresdosisermittlung und bei der Ermittlung der Jahresdosis bereits mit abgedeckt.

## II.2 ‚One in one Out‘-Regel

Der Gesetzentwurf setzt EU-Vorgaben 1:1 um. Daher wird kein Anwendungsfall der ‚One in one out‘-Regel begründet.

## II.3 KMU-Betroffenheit

Mit dem Regelungsvorhaben werden Verordnungsermächtigungen der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) umgesetzt. Die Strahlenschutzverordnung dient der Umsetzung der Richtlinie 2013/59/ Euratom. Diese sieht keine speziellen Erleichterungen für mittelständische Unternehmen vor, denn die Einhaltung von Dosisgrenzwerten gilt unabhängig von der Unternehmensgröße. Jedoch sehen die Vorgaben des § 100 Absatz 2 und § 101

Absatz 2 Strahlenschutzverordnung Ausnahmen von der Expositionsermittlung vor. Diese betreffen bspw. bestimmte Tätigkeiten, bei denen keine Anhaltspunkte für das Überschreiten von Grenzwerten vorliegen oder die (retrospektiv) einen bestimmten Grenzwert nicht überschreiten. Hierunter können insbesondere auch mittelständische Unternehmen fallen.

#### **II.4 Evaluation**

Das Regelungsvorhaben wird 5 Jahre nach Inkrafttreten (voraussichtlich 2025) evaluiert. Dabei wird die Zielerreichung (Schutz der Bevölkerung und der Umwelt) anhand der eingehaltenen Grenzwerte der Tätigkeiten nach § 80 StrlSchG (1 Millisievert/a) und § 99 StrlSchV (0,3 Millisievert/a) überprüft. Datengrundlage sind die Dokumentationen bei den Ländern. Des Weiteren wird die Praktikabilität der AVV evaluiert. Hierbei sind Kriterien u.a. die Einhaltung der Jahresfristen zur retrospektiven Ermittlung der Jahresdosis (d.h. sind die vorgegebenen Jahresfristen einhaltbar). Darüber hinaus sollen Beschwerden und vermerkte Auffälligkeiten im Vollzug zur Bewertung dienen. Die Rückmeldungen der Länder bilden insoweit die Datenbasis.

#### **III. Ergebnis**

Der Nationale Normenkontrollrat erhebt im Rahmen seines gesetzlichen Auftrags keine Einwände gegen die Darstellung der Gesetzesfolgen in dem vorliegenden Regelungsentwurf.

Dr. Ludewig  
Vorsitzender

Störr-Ritter  
Berichterstatteerin