

# ENSI-G14

Richtlinie für die  
schweizerischen Kernanlagen

Ausgabe Mai 2025

---

Berechnung der Strahlen-  
exposition in der Umgebung  
von Kernanlagen infolge  
emittierter radioaktiver Stoffe  
und Direktstrahlung

---



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI  
Inspection fédérale de la sécurité nucléaire IFSN  
Ispettorato federale della sicurezza nucleare IFSN  
Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate ENSI



# **Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung von Kernanlagen infolge emittierter radioaktiver Stoffe und Direktstrahlung**

Ausgabe Mai 2025

**Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen**

**ENSI-G14/deutsch (Original)**



# Inhalt

Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen

ENSI-G14/deutsch (Original)

|                 |                                                                        |           |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>        | <b>Einleitung</b>                                                      | <b>1</b>  |
| <b>2</b>        | <b>Rechtliche Grundlagen</b>                                           | <b>1</b>  |
| <b>3</b>        | <b>Gegenstand und Geltungsbereich</b>                                  | <b>1</b>  |
| <b>4</b>        | <b>Expositionen durch Kurzzeitabgaben (SE1 und SE2)</b>                | <b>2</b>  |
| 4.1             | Ausbreitung freigesetzter radioaktiver Stoffe                          | 2         |
| 4.2             | Dosisberechnung                                                        | 4         |
| 4.3             | Abgabelimitierung und -optimierung                                     | 7         |
| <b>5</b>        | <b>Expositionen durch Langzeitabgaben (SE1 und SE2)</b>                | <b>8</b>  |
| 5.1             | Ausbreitung freigesetzter radioaktiver Stoffe                          | 8         |
| 5.2             | Dosisberechnung                                                        | 10        |
| 5.3             | Abgabelimitierung und -optimierung                                     | 13        |
| <b>6</b>        | <b>Potenzielle Expositionen (SE3 und SE4)</b>                          | <b>14</b> |
| 6.1             | Ausbreitung freigesetzter radioaktiver Stoffe                          | 14        |
| 6.2             | Dosisberechnung                                                        | 16        |
| 6.3             | Auslegungsstörfälle (SE3)                                              | 19        |
| 6.4             | Auslegungsüberschreitende Störfälle (SE4)                              | 20        |
| <b>7</b>        | <b>Übergangsbestimmung</b>                                             | <b>20</b> |
| <b>Anhang 1</b> | <b>Begriffe (gemäss ENSI-Glossar)</b>                                  | <b>21</b> |
| <b>Anhang 2</b> | <b>Aktivitätstransport, Ablagerung und Migration</b>                   | <b>23</b> |
| A2.1            | Aktivitätstransport in der Luft                                        | 23        |
| A2.2            | Fallout- beziehungsweise Washout-Faktoren                              | 26        |
| A2.3            | Zeitabhängige Aktivität auf dem und im Boden                           | 28        |
| A2.4            | Zeitabhängige Aktivität auf und in Konsum- und Futterpflanzen          | 31        |
| A2.5            | Hilfsformeln zur Ermittlung abgeleiteter Parameter unter A2.1 bis A2.4 | 33        |
| <b>Anhang 3</b> | <b>Dosisberechnung</b>                                                 | <b>37</b> |
| A3.1            | Externe Strahlung unter der Fortluftfahne (Edelgase, Iod und Aerosole) | 37        |
| A3.2            | Inhalation und Resuspension (Luftpfad: Iod, Aerosole)                  | 38        |

|                 |                                                 |           |
|-----------------|-------------------------------------------------|-----------|
| A3.3            | Bodenstrahlung (Luftpfad: Iod, Aerosole)        | 39        |
| A3.4            | Ingestion (Luftpfad: Iod, Aerosole)             | 41        |
| A3.5            | Ingestion (Luftpfad: $^{14}\text{C}$ )          | 49        |
| A3.6            | Ingestion (Luftpfad: Tritium)                   | 50        |
| A3.7            | Ingestion (Wasserpfad, ohne Tritium)            | 51        |
| A3.8            | Ingestion (Wasserpfad: tritiiertes Wasser; HTO) | 52        |
| <b>Anhang 4</b> | <b>Parameter</b>                                | <b>55</b> |

# 1 Einleitung

Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) ist die Aufsichtsbehörde für die nukleare Sicherheit und Sicherung der Kernanlagen in der Schweiz. In seiner Eigenschaft als Aufsichtsbehörde oder gestützt auf einen Auftrag in einer Verordnung erlässt es Richtlinien. Richtlinien sind Vollzugshilfen, die rechtliche Anforderungen konkretisieren und eine einheitliche Vollzugspraxis erleichtern. Sie konkretisieren zudem den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik. Das ENSI kann im Einzelfall Abweichungen zulassen, wenn die vorgeschlagene Lösung in Bezug auf die nukleare Sicherheit und Sicherung mindestens gleichwertig ist.

## 2 Rechtliche Grundlagen

Diese Richtlinie stützt sich auf Art. 7 Abs. 3, Art. 23 Abs. 2, Art. 112 Abs. 3, Art. 123 Abs. 5 und Art. 184 Abs. 3 der Strahlenschutzverordnung vom 26. April 2017 (StSV; SR 814.501) und Art. 2 Abs. 4 der Verordnung des UVEK vom 17. Juni 2009 über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen (SR 732.112.2) sowie Art. 70 Abs. 1 Bst. a des Kernenergiegesetzes vom 21. März 2003 (KEG; SR 732.1).

## 3 Gegenstand und Geltungsbereich

Diese Richtlinie legt die Methodik und die Randbedingungen fest, die für die Berechnung der Strahlendosis für repräsentative Personen aus der Bevölkerung in der Umgebung einer Kernanlage aus Abgaben radioaktiver Stoffe über Fortluft, Abwasser und Direktstrahlung verwendet werden. Diese Berechnungen kommen insbesondere zur Anwendung bei:

- a. prospektiven Berechnungen für den Normalbetrieb im Zusammenhang mit den einzuhaltenden Abgabelimiten radioaktiver Stoffe  
  
Die Resultate dienen der Überprüfung der Einhaltung des quellenbezogenen Dosisrichtwerts und des Dosisrichtwerts für Direktstrahlung sowie der Immissionsgrenzwerte in der Umgebung bei Ausschöpfung der Abgabelimiten.
- b. prospektiven Berechnungen für potenzielle Strahlenexpositionen im Rahmen von Nachweisen zur Einhaltung der relevanten Dosiskriterien für die Auslegung von Betrieben beziehungsweise Kernanlagen und zum Zweck der Optimierung dieser Auslegung

- c. retrospektiven Berechnungen für den Normalbetrieb aufgrund tatsächlich erfolgter Abgaben zur Überprüfung der Einhaltung des quellenbezogenen Dosisrichtwerts und zum Nachweis der ausreichenden Abgabeoptimierung

Diese Richtlinie gilt im Aufsichtsbereich des ENSI für die Kernanlagen, falls in der Betriebsbewilligung oder in einem davon abgeleiteten Reglement (beispielsweise im Abgabereglement) nicht anders geregelt. Sie gilt zudem für andere Betriebe im Aufsichtsbereich des BAG oder der Suva, wenn sie oder Teile davon – gegebenenfalls mit Anpassungen in Bewilligungen des BAG oder äquivalenten Dokumenten – als anwendbar erklärt werden.

## **4 Expositionen durch Kurzzeitabgaben (SE1 und SE2)**

### **4.1 Ausbreitung freigesetzter radioaktiver Stoffe**

#### **4.1.1 Luftgetragene Emissionen**

##### **4.1.1.1 Transport in der Luft**

- a. Die Modellierung der Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Umgebung der Anlage hat mit einem Gaussmodell gemäss Kap. A2.1 und A2.5.4 unter Berücksichtigung der effektiven Abgabehöhe  $H_{eff}$  und von Gebäudeeinflüssen (vgl. Kap. A2.5.1) sowie der Orographie (vgl. Kap. A2.5.2) zu erfolgen. Alternative Ausbreitungsmodelle (Lagrange etc.) sind zu begründen.
- b. Die Festlegung der während der Wolkenphase für die repräsentativen Personen (vgl. Kap. 4.2.1) massgebenden Kurzzeitausbreitungsfaktoren  $\chi_K$  für Inhalation respektive der submersionskorrigierten Kurzzeitausbreitungsfaktoren  $\chi_{K,S}$  für Submersion hat gemäss den Formeln in Kap. A2.1.1 mit folgenden Vorgaben zu erfolgen:
  - 1. Die Abgabe erfolgt während einer Freisetzungsdauer von 24 Stunden mit einer konstanten Abgaberate. Während dieser Zeit ist von einer höhenunabhängigen, festen Windgeschwindigkeit von 1 Meter pro Sekunde und einer invarianten Windrichtung und Wetterkategorie auszugehen.
  - 2. Windrichtung und Wetterkategorie (Pasquill-Gifford-Stabilitätsklassen A bis F) sind so zu wählen, dass unter Berücksichtigung der Orographie für die repräsentativen Personen nach Kap. 4.2.1 die höchste Gesamtdosis aus allen Expositionspfaden gemäss Kap. 4.2.2 resultiert.

- c. Für die Kernkraftwerke sind die Ausbreitungsfaktoren  $\chi_K$  und  $\chi_{K,S}$  gemäss Tabelle 6.1 der Beilage „Für die Berechnungen nach ENSI-G14 zu verwendende Parameter“ zu verwenden.
- d. Wenn sich die relevanten Parameter der Abgabestelle wie Kaminhöhe, Kamindurchmesser (aussen und innen) und Luftvolumenstrom oder Ausstoss-geschwindigkeit um mehr als 10 % von den Parametern unterscheiden, welche der Berechnung Werte  $\chi_K$  und  $\chi_{K,S}$  gemäss Beilage „Parameter für Dosisberechnungen nach Richtlinie ENSI-G14“ zu Grunde lagen, müssen neue Berechnungen der Kurzzeit-Ausbreitungsfaktoren durchgeführt oder die bestehenden Berechnungen überprüft werden. Die neu berechneten Werte sind dem ENSI mitzuteilen.

#### 4.1.1.2 Ablagerung auf Boden und Pflanzen

- a. Für die Ablagerung auf Boden und Pflanzen muss sowohl trockene (Fallout) als auch nasse Ablagerung (Washout) gemäss Kap. A2.2 berücksichtigt werden.
- b. Die Festlegung der während der Bodenphase für die repräsentativen Personen (vgl. Kap. 4.2.1) massgebenden Kurzzeitwashoutfaktoren  $W_K$  und Kurzzeitfalloutfaktoren  $F_K$  hat gemäss den Formeln in Kap. A2.2 mit folgenden Vorgaben zu erfolgen:
  - 1. Die Abgabe erfolgt während einer Freisetzungsdauer von 24 Stunden mit einer konstanten Abgaberate; während der ersten 8 Stunden wird eine feste höhenunabhängige Windgeschwindigkeit von 1 Meter pro Sekunde, eine invariante Windrichtung und eine konstante Niederschlagsintensität von 2 Millimeter pro Stunde angesetzt. Für die Zeit zwischen 8 und 24 Stunden ist von einer Niederschlagsintensität von 1 Millimeter pro Stunde auszugehen und anzunehmen, dass die Wetterverhältnisse so variieren, dass während dieser Zeit die totalen Ablagerungsfaktoren  $\xi_K$  und  $\xi'_K$  auf den Boden und die Pflanzenoberfläche halbiert werden können.
  - 2. Windrichtung und Wetterkategorie sind so zu wählen, dass unter Berücksichtigung der Orographie für die repräsentativen Personen nach Kap. 4.2.1 die höchste Gesamtdosis aus allen Expositionspfaden gemäss Kap. 4.2.2 resultiert.
- c. Für die Kernkraftwerke sind die Washout- und Falloutfaktoren  $W_K$  und  $F_K$  gemäss Tabelle 6.2 der Beilage „Parameter für Dosisberechnungen nach Richtlinie ENSI-G14“ zu verwenden.

- d. Wenn sich die relevanten Parameter der Abgabestelle wie Kaminhöhe, Kamin Durchmesser (aussen und innen) und Luftvolumenstrom oder Ausstoss-geschwindigkeit um mehr als 10 % von den Parametern unterscheiden, welche der Berechnung der Werte von  $W_K$  und  $F_K$  gemäss Beilage „Parameter für Dosisberechnungen nach Richtlinie ENSI-G14“ zugrunde lagen, müssen neue Berechnungen der Kurzzeit-Washout- und -Fallout-Faktoren durchgeführt oder die bestehenden Berechnungen überprüft werden. Die neu berechneten Werte sind dem ENSI zu melden.
- e. Die gesamte orts- und zeitabhängige Ablagerungsrate  $\dot{A}$  aus Fallout und Washout errechnet sich für jeden Ort gemäss Kap. A2.2.3.

#### 4.1.1.3 Eindringen in den Boden und in den Wurzelbereich und radioaktiver Zerfall

Für die für die Strahlung vom Boden wirksame zeitabhängige Aktivität und für die zeitabhängige Aktivität im Wurzelbereich von Pflanzen sind der radioaktive Zerfall und das Eindringen in tiefere Bodenschichten gemäss den in Kap. A2.3.1.1 und A2.3.2.1 vorgegebenen Annahmen und Modellen zu berücksichtigen.

#### 4.1.1.4 Aktivität auf und in konsumierbaren Pflanzenteilen und Futterpflanzen

Die Berechnung der auf und in den konsumierbaren Pflanzenteilen und Futterpflanzen zeitabhängig vorhandenen Aktivität hat mit den Annahmen und Modellen gemäss Kap. A2.4.1 zu erfolgen.

## 4.2 Dosisberechnung

### 4.2.1 Repräsentative Personen

- a. Die Dosisberechnungen haben für hypothetisch festgelegte, repräsentative Personen zu erfolgen. Dabei sind Erwachsene, zehnjährige Kinder und einjährige Kleinkinder separat zu betrachten.
- b. Die repräsentativen Personen sind wie folgt festzulegen:
  - 1. Sie halten sich während der Freisetzungsphase während 8 Stunden im Freien am Ort mit der grössten Gesamtdosis auf, die als Summe aus Submersion, Inhalation und Direkt- respektive Streustrahlung aus der Anlage entsteht. Dabei dürfen Distanzen zum Abgabeort kleiner als 200 Meter und Orte innerhalb des eingezäunten Anlageareals ausgeschlossen werden. Daran anschliessend halten sie sich während der restlichen Freisetzungsphase am Ort ihres Lebensmittelpunkts gemäss Ziff. 2 mit den dort üblichen Langzeit-Lebensgewohnheiten

betreffend Aufenthalt im Haus und im Freien (Berücksichtigung der Abschirmung) auf.

2. Sie haben in der anschliessenden Bodenphase ihren Lebensmittelpunkt in einer Distanz von mindestens 500 Metern vom Abgabeort in einem ständig bewohnten Gebiet am Ort mit der höchsten für die Bodenstrahlungsdosis massgebenden Aktivitätsablagerung auf dem Boden. Andere Gebiete können von der Betrachtung ausgeschlossen werden.
  3. Sie decken ihren gesamten Lebensmittelbedarf an Obst, Früchten, Gemüse, Getreide, Milch, Fleisch und Eiern gemäss Tabelle 3 der Beilage „Parameter für Dosisberechnungen nach Richtlinie ENSI-G14“ lokal aus einem Gebiet im Umkreis von 5 Kilometern um den Abgabeort. Dabei ist von einer zeitlich und räumlich gemittelten Kontamination der Lebensmittel über diesen Umkreis auszugehen.
  4. Wird keine standortspezifische Mittelung der Lebensmittelkontamination nach Ziff. 3 durchgeführt, ist konservativ anzusetzen, dass 12,5 % der Lebensmittel vom Ort mit der höchsten für die Ingestiondosis massgebenden Aktivitätsablagerung auf den Pflanzenoberflächen respektive dem Boden stammen und dass der Rest der Lebensmittel nicht kontaminiert ist. Bei der Bestimmung dieses Ortes dürfen Distanzen zur Abgabestelle von weniger als 500 Metern und landwirtschaftlich nicht nutzbare Flächen (z. B. Wald) von der Betrachtung ausgeschlossen werden.
- c. Für die Berücksichtigung der Lebensgewohnheiten (mittlere Verzehr- und Atemraten der Schweizer Bevölkerung, Aufenthaltsdauer im Freien resp. im Haus etc.) der repräsentativen Personen sind die jeweiligen Werte gemäss Tabellen 1 und 3 der Beilage „Parameter für Dosisberechnungen nach Richtlinie ENSI-G14“ zu verwenden.

## **4.2.2 Expositionspfade**

### **4.2.2.1 Direkt- und Streustrahlung aus der Kernanlage oder dem Betrieb**

Der Beitrag durch die Direkt- und Streustrahlung zur Gesamtdosis der repräsentativen Personen ist durch geeignete Abschirmrechnungen unter Berücksichtigung des Abstands zwischen Strahlungsquelle und dem Aufenthaltsort der repräsentativen Personen oder Erfahrungswerten aus Umgebungsmessungen der Ortsdosisleistung in der Umgebung und Aufenthaltszeiten der repräsentativen Personen abzuschätzen und gegebenenfalls für deren Gesamtdosis zu berücksichtigen.

#### 4.2.2.2 Luftgetragene Emissionen

- a. Bei den luftgetragenen Emissionen sind für die Dosisberechnung die folgenden Teilpfade zu berücksichtigen:
  1. externe Strahlung aus der Fortluftfahne (vgl. Bst. b und c)
  2. Inhalation aus der Fortluftfahne (vgl. Bst. d)
  3. Bodenstrahlung durch abgelagerte radioaktive Stoffe (vgl. Bst. e)
  4. Ingestion (vgl. Bst. f und g)
- b. Für die Dosis aus externer Strahlung aus der Fortluftfahne sind die Beiträge von Edelgasen und anderen chemisch inerten, gasförmigen  $\gamma$ -Strahlern, von  $\beta$ -/ $\gamma$ -Aerosolen und von Iod zu berücksichtigen.
- c. Die Dosisberechnung für externe Strahlung aus der Fortluftfahne ist mit einem für die Aktivitätsverteilung innerhalb der Fahne submersionskorrigierten Immersionsmodell gemäss Kap. A3.1 durchzuführen. Alternative Submersionsmodelle sind zu begründen.
- d. Bei der Dosisberechnung als Folge einer Inhalation radioaktiver Stoffe sind  $\beta$ -/ $\gamma$ -Aerosole sowie elementares, aerosolförmiges und organisches Iod und  $\alpha$ -Aerosole zu berücksichtigen. Dabei sind die Formeln gemäss Kap. A3.2 zu verwenden.
- e. Die Dosisberechnung für Bodenstrahlung hat für Aerosole und die verschiedenen Iodspezies unter Berücksichtigung der Abschwächung der Strahlung infolge des Eindringens der Aktivität in den Boden sowie den radioaktiven Zerfall gemäss Kap. A3.3 zu erfolgen.
- f. Für die Ingestion sind die drei Teilpfade Aufnahme über pflanzliche Produkte, über Milch und über Fleisch zu berücksichtigen. Dabei ist für Futterpflanzen, Obst und Gemüse sowohl die direkte Ablagerung von radioaktiven Stoffen auf die Pflanzenoberfläche als auch deren Transfer über den Wurzelbereich in die Pflanzen einzubeziehen.
- g. Die Ingestionsdosis ist gemäss Kap. A3.4 für  $\beta$ -/ $\gamma$ -Aerosole, die verschiedenen Iodspezies und  $\alpha$ -Aerosole zu bestimmen.

#### 4.2.2.3 Einzelfälle

In Einzelfällen oder auf Verlangen der Aufsichtsbehörden ist abzuklären, ob spezielle Expositionspfade zu berücksichtigen sind oder ob die Abgabe von Einzelnucliden wie Tritium und Kohlenstoff-14 in einer Form erfolgt, die eine Anpassung oder Erweiterung der in dieser Richtlinie beschriebenen Methoden erfordert.

## **4.3 Abgabelimitierung und -optimierung**

### **4.3.1 Prospektive Berechnungen im Rahmen der Abgabelimitierung**

Für prospektive Dosisberechnungen zur Überprüfung der Einhaltung des quellenbezogenen Dosisrichtwerts bei Ausschöpfung der Abgabelimiten gemäss Art. 112 Abs. 3 StSV sind folgende Regeln und Annahmen zu beachten:

- a. Bei Kurzzeitabgaben ist die Gesamtdosis im ersten Jahr nach der Abgabe für die repräsentativen Personen zu bestimmen. Es ist konservativ anzunehmen, dass die Freisetzung 2 Monate vor dem Ende der Ernte- und Weideperiode erfolgt.
- b. Es ist anzunehmen, dass die Kurzzeitabgabelimiten (KAL) für alle limitierten Nuklide und alle Freisetzungspfade oder Abgabestellen, für die eine gleichzeitig erfolgende Abgabe angenommen werden muss, ausgeschöpft werden. Voneinander unabhängige Abgabestellen, für die keine gleichzeitige Abgabe angenommen werden muss, sind unabhängig zu betrachten.
- c. Für die Kernkraftwerke in Betrieb sind die in Tabelle 5 der Beilage „Parameter für Dosisberechnungen nach Richtlinie ENSI-G14“ genannten Standard-Nuklidgemische zu verwenden. Für andere Anlagen und Betriebe ist ein anlagenspezifisches, umhüllendes Nuklidgemisch zu definieren und nach vorgängiger Zustimmung durch die Aufsichtsbehörde zu verwenden.
- d. Die Dosisberechnungen haben grundsätzlich mit den in den Anhängen festgelegten Modellen und Parametern für die gemäss Kap. 4.2.1 definierten repräsentativen Personen aus der Bevölkerung und die in Kap. 4.2.2 genannten Expositionspfade zu erfolgen. Der Betreiber kann nach Zustimmung der Aufsichtsbehörde im Einzelfall bei seinen Berechnungen zusätzliche standortspezifische Gegebenheiten, Messungen oder nachvollziehbare Betrachtungen (z. B. Windkanalexperimente, Wetterstatistik) für seine Anlage berücksichtigen.
- e. Falls keine Festlegung des quellenbezogenen Dosisrichtwerts gemäss Art. 7 Abs. 3 StSV erfolgte, ist von einem generischen Wert für alle Kernanlagen und Abgabestellen am Standort von insgesamt 0,3 mSv pro Jahr auszugehen.

### **4.3.2 Retrospektive Dosisberechnungen aufgrund tatsächlicher Abgaben**

- a. Für den Normalbetrieb sind im Rahmen der Abgabelimitierung und -optimierung im Einzelfall retrospektive Dosisberechnungen aufgrund tatsächlich erfolgter Abgaben durchzuführen.

- b. Der Nachweis der Einhaltung des quellenbezogenen Dosisrichtwerts hat retrospektiv für die repräsentativen Personen (vgl. Kap. 4.2.1) und die Expositionspfade (vgl. Kap. 4.2.2) mit den in dieser Richtlinie vorgegebenen Modellen, Annahmen und Parametern zu erfolgen. Dies betrifft insbesondere:
  - 1. Anlagen mit mehreren Abgabestellen, deren Abgaben nicht über die freigesetzte Aktivität der einzelnen Abgabestellen, sondern direkt über den quellenbezogenen Dosisrichtwert der Gesamtanlage limitiert sind
  - 2. Dosisberechnungen zum nachträglichen Nachweis der Einhaltung des quellenbezogenen Dosisrichtwerts oder der Wirksamkeit der für die Abgaben erfolgten Optimierung
- c. Für retrospektive Berechnungen sind die bei prospektiven Berechnungen angenommenen generischen Parameter wie Abgabemengen, Abgabegemische, Wetterparameter, anzusetzende Lebens-, Aufenthalts- und Ernährungsgewohnheiten der repräsentativen Personen, örtliche Lebensmittelproduktion oder Freisetzungszeitpunkt durch gemessene oder realistischere Werte zu ersetzen, sofern diese bekannt sind.
- d. Bei der Dokumentation der Berechnungen ist auszuweisen, welche für die Berechnung verwendeten Parameter auf gemessenen oder realistischen Daten und welche auf generischen Annahmen beruhen.

## 5 Expositionen durch Langzeitabgaben (SE1 und SE2)

### 5.1 Ausbreitung freigesetzter radioaktiver Stoffe

#### 5.1.1 Luftgetragene Emissionen

##### 5.1.1.1 Transport in der Luft

- a. Die Modellierung der Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Umgebung der Kernanlagen hat mit einem Gaußmodell gemäss Kap. A2.1 und A2.5.4 unter Berücksichtigung der effektiven Abgabehöhe  $H_{eff}$  und von Gebäudeeffekten (vgl. Kap. A2.5.1), der Orographie (vgl. Kap. A2.5.2) und eines höhenabhängigen Geschwindigkeitsprofils (vgl. Kap. A2.5.3) zu erfolgen. Alternative Ausbreitungsmodelle (Lagrange etc.) sind zu begründen.
- b. Die Festlegung der für die repräsentativen Personen (vgl. Kap. 5.2.1) zu verwendenden Langzeitausbreitungsfaktoren  $\chi_L$  oder der submersions-

korrigierten Langzeitausbreitungsfaktoren  $\chi_{L,S}$  hat basierend auf einer Meteostatistik über mindestens zwei Kalenderjahre gemäss Kap. A2.1.2 zu erfolgen.

- c. Für die Kernkraftwerke sind die Ausbreitungsfaktoren  $\chi_L$  und  $\chi_{L,S}$  gemäss Tabelle 6.1 der Beilage „Parameter für Dosisberechnungen nach Richtlinie ENSI-G14“ zu verwenden.
- d. Wenn sich die relevanten Parameter der Abgabestelle wie Kaminhöhe, Kamindurchmesser (aussen und innen) und Luftvolumenstrom oder Ausstoss-geschwindigkeit um mehr als 10 % von den Parametern unterscheiden, welche der Berechnung der Werte  $\chi_L$  und  $\chi_{L,S}$  gemäss der Beilage „Parameter für Dosisberechnungen nach Richtlinie ENSI-G14“ zu Grunde lagen, müssen neue Berechnungen der Langzeit-Ausbreitungsfaktoren durchgeführt oder die bestehenden Berechnungen überprüft werden. Die neu berechneten Werte sind dem ENSI zu melden.

#### 5.1.1.2 Ablagerung auf Boden und Pflanzen

- a. Für die Ablagerung auf Boden und Pflanzen muss sowohl trockene (Fallout) als auch nasse Ablagerung (Washout) gemäss Kap. A2.2 berücksichtigt werden.
- b. Der Langzeit-Washout-Faktor  $W_L$  und der Langzeit-Fallout-Faktor  $F_L$  sind aufgrund einer Meteostatistik über mindestens zwei Kalenderjahre gemäss Kap. A2.2 für die repräsentativen Personen (vgl. Kap. 5.2.1) festzulegen.
- c. Für die Kernkraftwerke sind die Washout- und Fallout-Faktoren  $W_L$  und  $F_L$  gemäss Tabelle 6.2 der Beilage „Parameter für Dosisberechnungen nach Richtlinie ENSI-G14“ zu verwenden.
- d. Wenn sich die relevanten Parameter der Abgabestelle wie Kaminhöhe, Kamindurchmesser (aussen und innen) und Luftvolumenstrom oder Ausstoss-geschwindigkeit um mehr als 10 % von den Parametern unterscheiden, welche der Berechnung der Werte  $W_L$  und  $F_L$  gemäss der Beilage „Parameter für Dosisberechnungen nach Richtlinie ENSI-G14“ zu Grunde lagen, müssen neue Berechnungen der Langzeit-Washout und -Fallout-Faktoren durchgeführt oder die bestehenden Berechnungen überprüft werden. Die neu berechneten Werte sind dem ENSI zu melden.
- e. Die gesamte orts- und zeitabhängige Ablagerungsrate  $\dot{A}$  aus Fallout und Washout errechnet sich für jeden Ort gemäss Kap. A2.2.3.

#### 5.1.1.3 Eindringen in den Boden und in den Wurzelbereich und radioaktiver Zerfall

Für die für die Strahlung vom Boden wirksame zeitabhängige Aktivität und für die zeitabhängige Aktivität im Wurzelbereich von Pflanzen sind der radioaktive Zerfall und das Eindringen in tiefere Bodenschichten mit den in den Kap. A2.3.1.2 und A2.3.2.2 vorgegebenen Annahmen und Modellen zu berücksichtigen.

#### 5.1.1.4 Aktivität auf und in konsumierbaren Pflanzenteilen und Futterpflanzen

Die Berechnung der auf und in den konsumierbaren Pflanzenteilen und Futterpflanzen zeitabhängig vorhandenen Aktivität hat mit den Annahmen und Modellen gemäss Kap. A2.4.2 zu erfolgen.

### 5.1.2 Wassergetragene Emissionen in Fließgewässer

- a. Es ist anzunehmen, dass die gesamte über den Wasserpfad abgegebene Nuklidmenge mit dem Flusswasser mittransportiert wird.
- b. Für wässrige Abgaben ist für die Konzentration im Wasser eine vollständige Durchmischung mit dem Flusswasser anzunehmen.

## 5.2 Dosisberechnung

### 5.2.1 Repräsentative Personen

- a. Die Dosisberechnungen haben für hypothetisch festgelegte, repräsentative Personen zu erfolgen. Dabei sind Erwachsene, zehnjährige Kinder und einjährige Kleinkinder separat zu betrachten.
- b. Die repräsentativen Personen sind wie folgt festzulegen:
  1. Sie haben ihren Lebensmittelpunkt in einer Distanz von mindestens 500 Metern vom Abgabeort in einem ständig bewohnten Gebiet am Ort mit der grössten Gesamtdosis, die sich als Summe aus Submersion, Inhalation und Bodenstrahlung und gegebenenfalls Direkt- und Streustrahlung direkt aus der Anlage ergibt. Andere Gebiete können von der Betrachtung ausgeschlossen werden.
  2. Sie decken ihren gesamten Lebensmittelbedarf an Obst, Früchten, Gemüse, Getreide, Milch, Fleisch und Eiern gemäss Tabelle 3 der Beilage „Parameter für Dosisberechnungen nach Richtlinie ENSI-G14“ lokal aus einem Gebiet im Umkreis von 5 Kilometern um den Abgabeort. Dabei ist von einer zeitlich und räumlich gemittelten Kontamination der Lebensmittel über diesen Umkreis auszugehen.

3. Wird keine standortspezifische Mittelung der Lebensmittelkontamination nach Ziff. 2 durchgeführt, ist konservativ anzusetzen, dass 25 % der Lebensmittel vom Ort mit der höchsten für die Ingestionsdosis massgebenden Aktivitätsablagerung auf die Pflanzenoberflächen oder den Boden stammen und der Rest der Lebensmittel nicht kontaminiert ist. Bei der Bestimmung dieses Ortes können Distanzen zur Abgabestelle von weniger als 500 Metern und landwirtschaftlich nicht nutzbare Flächen (z. B. Wald) von der Betrachtung ausgeschlossen werden.
  4. Sie decken ihren Fischbedarf und 20 % des Trinkwasserbedarfs mit dem Flusswasser aus dem Fluss unterhalb der Anlage (vgl. Kap. 5.1.2 Bst. b).
- c. Für die Berücksichtigung der Lebensgewohnheiten (mittlere Verzehr- und Atemraten der Schweizer Bevölkerung, Aufenthaltsdauer im Freien oder im Haus etc.) der repräsentativen Personen sind die jeweiligen Werte gemäss Tabellen 1 und 3 der Beilage „Parameter für Dosisberechnungen nach Richtlinie ENSI-G14“ zu verwenden.

## 5.2.2 Expositionspfade

### 5.2.2.1 Direkt- und Streustrahlung aus der Kernanlage oder dem Betrieb

Der Beitrag durch die Direkt- und Streustrahlung zur Gesamtdosis der repräsentativen Personen ist durch geeignete Abschirmrechnungen unter Berücksichtigung des Abstands zwischen Strahlungsquelle und dem Aufenthaltsort der repräsentativen Personen oder Erfahrungswerten aus Umgebungsmessungen der Ortsdosisleistung in der Umgebung und Aufenthaltszeiten der repräsentativen Personen abzuschätzen und gegebenenfalls für deren Gesamtdosis zu berücksichtigen.

### 5.2.2.2 Luftgetragene Emissionen

- a. Bei den luftgetragenen Emissionen sind für die Dosisberechnung die folgenden Teilpfade zu berücksichtigen:
  1. externe Strahlung aus der Fortluftfahne (vgl. Bst. b und c)
  2. Inhalation aus der Fortluftfahne (vgl. Bst. d)
  3. Bodenstrahlung durch abgelagerte radioaktive Stoffe (vgl. Bst. e)
  4. Ingestion (vgl. Bst. f und g)
- b. Für die Dosis aus externer Strahlung aus der Fortluftfahne sind die Beiträge von Edelgasen und anderen chemisch inerten, gasförmigen  $\gamma$ -Strahlern, von  $\beta$ -/ $\gamma$ -Aerosolen und von Iod zu berücksichtigen.

- c. Die Dosisberechnung für externe Strahlung aus der Fortluftfahne ist mit einem für die Aktivitätsverteilung innerhalb der Fahne submersionskorrigierten Immersionsmodell gemäss Kap. A3.1 durchzuführen. Alternative Submersionsmodelle sind zu begründen.
- d. Bei der Dosisberechnung als Folge einer Inhalation radioaktiver Stoffe sind  $\beta$ -/ $\gamma$ -Aerosole sowie elementares, aerosolförmiges und organisches Iod und  $\alpha$ -Aerosole zu berücksichtigen. Dabei sind die Formeln gemäss Kap. A3.2 zu verwenden.
- e. Die Dosisberechnung für Bodenstrahlung hat für Aerosole und die verschiedenen Iodspezies unter Berücksichtigung der Abschwächung der Strahlung infolge des Eindringens der Aktivität in den Boden sowie den radioaktiven Zerfall gemäss Kap. A3.3 zu erfolgen.
- f. Für die Ingestion sind die drei Teilpfade Aufnahme über pflanzliche Produkte, über Milch und über Fleisch zu berücksichtigen. Dabei ist für Futterpflanzen, Obst und Gemüse sowohl die direkte Ablagerung von radioaktiven Stoffen auf die Pflanzenoberfläche als auch deren Transfer über den Wurzelbereich in die Pflanzen einzubeziehen.
- g. Die Ingestionsdosis ist gemäss Kap. A3.4 bis A3.6 für  $\beta$ -/ $\gamma$ -Aerosole, die verschiedenen Iodspezies,  $\alpha$ -Aerosole, Kohlenstoff-14 und Tritium zu bestimmen.

#### 5.2.2.3 Wassergetragene Emissionen in Fliessgewässer

- a. Für wassergetragene Emissionen in Fliessgewässer ist die Dosis über den Trinkwasserkonsum, den Verzehr von Milch und Fleisch von Tieren, die mit Flusswasser getränkt wurden, und über den Verzehr von Fischen aus dem Fluss unterhalb der Anlage zu berücksichtigen.
- b. Die Ingestionsdosis aus dem Wasserpfad ist gemäss den Formeln in Kap. A3.7 und A3.8 (speziell für Tritium) zu berechnen.

#### 5.2.2.4 Einzelfälle

In Einzelfällen oder auf Verlangen der Aufsichtsbehörden ist abzuklären, ob spezielle Expositionspfade zu berücksichtigen sind oder ob die Abgabe von Einzelnucliden wie Tritium und Kohlenstoff-14 in einer Form erfolgt, die eine Anpassung oder Erweiterung der in dieser Richtlinie beschriebenen Methoden erfordert.

## 5.3 Abgabelimitierung und -optimierung

### 5.3.1 Prospektive Berechnungen im Rahmen der Abgabelimitierung

Für prospektive Dosisberechnungen zur Überprüfung der Einhaltung des quellenbezogenen Dosisrichtwerts bei Ausschöpfung der Abgabelimiten gemäss Art. 112 Abs. 3 StSV sind folgende Regeln und Annahmen zu beachten:

- a. Bei Langzeitabgaben ist die Gesamtdosis für die repräsentativen Personen im ersten Kalenderjahr, welches auf 100 Betriebsjahre mit jährlich ausgeschöpften Jahresabgabelimiten (JAL) und den daraus resultierenden Ablagerungen auf den Boden und im Wurzelbereich gemäss Kap. A2.3.2 folgt, zu berechnen. Es ist davon auszugehen, dass die Ernte- und Weideperiode am 1. Mai beginnt und am 31. Oktober endet.
- b. Es ist anzunehmen, dass die Abgabelimiten für alle limitierten Nuklide und alle Freisetzungspfade und Abgabestellen gleichzeitig ausgeschöpft werden. Dabei ist von über das Jahr homogen verteilten Freisetzungen der radioaktiven Stoffe an die Umgebung auszugehen, sofern von einem von der Jahreszeit weitgehend unabhängigen Betriebsverlauf der Anlage auszugehen ist.
- c. Für die Kernkraftwerke in Betrieb sind die Standard-Nuklidgemische gemäss Tabelle 5 der Beilage „Parameter für Dosisberechnungen nach Richtlinie ENSI-G14“ zu verwenden. Für andere Anlagen und Betriebe ist ein anlage-spezifisches, umhüllendes Nuklidgemisch zu definieren und nach Zustimmung durch die Aufsichtsbehörde zu verwenden.
- d. Die Dosisberechnungen haben grundsätzlich mit den in den Anhängen festgelegten Modellen und Parametern für die gemäss Kap. 5.2.1 definierten repräsentativen Personen aus der Bevölkerung und die in Kap. 5.2.2 genannten Expositionspfade zu erfolgen. Der Betreiber kann nach Zustimmung der Aufsichtsbehörde im Einzelfall bei seinen Berechnungen zusätzliche standortspezifische Gegebenheiten, Messungen oder nachvollziehbare Betrachtungen (z. B. Windkanalexperimente, Wetterstatistik) für seine Anlage berücksichtigen.
- e. Falls keine Festlegung des quellenbezogenen Dosisrichtwerts gemäss Art. 7 Abs. 3 StSV erfolgte, ist von einem generischen, quellenbezogenen Dosisrichtwert für die Gesamtheit aller Kernanlagen und Abgabestellen am Standort von insgesamt 0,3 mSv pro Jahr auszugehen.

### **5.3.2 Retrospektive Dosisberechnungen aufgrund tatsächlicher Abgaben**

- a. Für den Normalbetrieb sind im Rahmen der Abgabelimitierung und -optimierung im Einzelfall retrospektive Dosisberechnungen aufgrund tatsächlich erfolgter Abgaben durchzuführen.
- b. Der Nachweis der Einhaltung des quellenbezogenen Dosisrichtwerts hat retrospektiv für die repräsentativen Personen (vgl. Kap. 5.2.1) und die Expositionspfade (vgl. Kap. 5.2.2) mit den in dieser Richtlinie vorgegebenen Modellen, Annahmen und Parametern zu erfolgen. Dies betrifft insbesondere:
  - 1. Anlagen mit mehreren Abgabestellen, deren Abgaben nicht über die freigesetzte Aktivität der einzelnen Abgabestellen, sondern direkt über den quellenbezogenen Dosisrichtwert der Gesamtanlage limitiert sind
  - 2. Dosisberechnungen zum nachträglichen Nachweis der Einhaltung des quellenbezogenen Dosisrichtwerts oder der Wirksamkeit der für die Abgaben erfolgten Optimierung
- c. Für retrospektive Berechnungen sind die bei prospektiven Berechnungen angenommenen generischen Parameter wie Abgabemengen, Abgabegemische, Wetterparameter, anzusetzende Lebens-, Aufenthalts- und Ernährungsgewohnheiten der repräsentativen Personen und örtliche Lebensmittelproduktion durch gemessene oder realistischere Werte zu ersetzen, sofern diese bekannt sind.
- d. Bei der Dokumentation der Berechnungen ist auszuweisen, welche für die Berechnung verwendeten Parameter auf gemessenen oder realistischeren Daten und welche auf generischen Annahmen beruhen.

## **6 Potenzielle Expositionen (SE3 und SE4)**

### **6.1 Ausbreitung freigesetzter radioaktiver Stoffe**

#### **6.1.1 Luftgetragene Emissionen**

##### **6.1.1.1 Transport in der Luft**

- a. Die Modellierung der Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Umgebung der Anlage hat mit einem Gaussmodell gemäss Kap. A2.1 und A2.5.4 unter Berücksichtigung der effektiven Abgabehöhe  $H_{eff}$  und von Gebäudeeinflüssen (vgl. Kap. A2.5.1) sowie der Orographie (vgl. Kap. A2.5.2) zu erfolgen. Alternative Ausbreitungsmodelle (Lagrange etc.) sind zu begründen.

- b. Die Festlegung der während der Wolkenphase für die repräsentativen Personen (vgl. Kap. 6.2.1) massgebenden Kurzzeitausbreitungsfaktoren  $\chi_K$  für Inhalation oder der submersionskorrigierten Kurzzeitausbreitungsfaktoren  $\chi_{K,S}$  für Submersion hat gemäss den Formeln in Kap. A2.1.1 basierend auf dem für den zu betrachtenden Störfall massgebenden Quellterm und den Abgabeparametern (Abgabeort, Abgabehöhe etc.) mit folgenden Vorgaben zu erfolgen:
  1. Während einer Freisetzungsdauer von bis zu 8 Stunden ist von einer höhenunabhängigen, festen Windgeschwindigkeit von 1 Meter pro Sekunde und einer invarianten Windrichtung auszugehen.
  2. Es sind alle Pasquill-Gifford-Wetterkategorien (Stabilitätsklassen A-F der Atmosphäre) zu berücksichtigen.
  3. Für länger andauernde Freisetzungen radioaktiver Stoffe kann davon ausgegangen werden, dass Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Wetterkategorie variieren. Für diese Fälle ist ein Modell mit zeitlich gestaffelten Ausbreitungsbedingungen zu verwenden. Die Reduktionsfaktoren für die Ausbreitungsfaktoren sind: Faktor 2 für die Zeit zwischen 8 und 24 Stunden, Faktor 4 für die Zeit zwischen 24 und 72 Stunden und Faktor 8 für die Zeit danach.

#### 6.1.1.2 Ablagerung auf Boden und Pflanzen

- a. Für die Ablagerung auf Boden und Pflanzen muss sowohl trockene (Fallout) als auch nasse Ablagerung (Washout) gemäss Kap. A2.2 berücksichtigt werden.
- b. Für die nasse Ablagerung ist davon auszugehen, dass es während der ersten 8 Stunden ständig mit einer mittleren Niederschlagsintensität von 2 Millimetern pro Stunde regnet. Bei länger dauernden Freisetzungen radioaktiver Stoffe kann davon ausgegangen werden, dass Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Wetterkategorie und Niederschlagsintensität variieren. Für diese Fälle ist ein Modell mit zeitlich gestaffelten Auswaschbedingungen zu verwenden. Die Reduktionsfaktoren sowohl für die Washoutfaktoren als auch für die Niederschlagsintensität sind: Faktor 2 für die Zeit zwischen 8 und 24 Stunden, Faktor 4 für die Zeit zwischen 24 und 72 Stunden und Faktor 8 für die Zeit danach.
- c. Die gesamte orts- und zeitabhängige Ablagerungsrate  $\dot{A}$  aus Fallout und Washout errechnet sich für jeden Ort gemäss Kap. A2.2.3.

#### 6.1.1.3 Eindringen in den Boden und in den Wurzelbereich und radioaktiver Zerfall

Für die für die Strahlung vom Boden wirksame zeitabhängige Aktivität und für die zeitabhängige Aktivität im Wurzelbereich von Pflanzen sind der radioaktive Zerfall und das Eindringen in tiefere Bodenschichten mit den in Kap. A2.3.1.1 und A2.3.2.1 vorgegebenen Annahmen und Modellen zu berücksichtigen.

#### 6.1.1.4 Aktivität auf und in konsumierbaren Pflanzenteilen und Futterpflanzen

Die Berechnung der auf und in den konsumierbaren Pflanzenteilen und Futterpflanzen zeitabhängig vorhandenen Aktivität hat mit den Annahmen und Modellen gemäss Kap. A2.4.1 zu erfolgen.

### 6.1.2 Wassergetragene Emissionen in Fließgewässer

- a. Es ist anzunehmen, dass die gesamte über den Wasserpfad abgegebene Nuklidmenge mit dem Flusswasser mittransportiert wird.
- b. Für wässrige Abgaben ist für die Konzentration im Wasser eine vollständige Durchmischung mit dem Flusswasser anzunehmen.

## 6.2 Dosisberechnung

### 6.2.1 Repräsentative Personen

- a. Die Dosisberechnungen haben für hypothetisch festgelegte repräsentative Personen zu erfolgen. Dabei sind Erwachsene, zehnjährige Kinder und einjährige Kleinkinder separat zu betrachten.
- b. Die repräsentativen Personen sind wie folgt festzulegen:
  1. Sie halten sich während der Freisetzungsphase während 8 Stunden im Freien am Ort mit der grössten Gesamtdosis auf, die als Summe aus Submersion, Inhalation und Direkt- oder Streustrahlung aus der Anlage entsteht. Dabei dürfen Distanzen zum Abgabeort von weniger als 200 Metern oder Orte innerhalb des eingezäunten Anlageareals ausgeschlossen werden. Daran anschliessend halten Sie sich während der restlichen Freisetzungsphase am Ort ihres Lebensmittelpunkts gemäss Ziff. 2 mit den dort üblichen Langzeit-Lebensgewohnheiten betreffend Aufenthalt im Haus und im Freien (Berücksichtigung der Abschirmung) auf.
  2. Sie haben in der anschliessenden Bodenphase ihren Lebensmittelpunkt in einer Distanz von mindestens 500 Metern vom Abgabeort in einem ständig bewohnten Gebiet am Ort mit der höchsten für die

Bodenstrahlungsdosis massgebenden Aktivitätsablagerung auf dem Boden. Andere Gebiete können von der Betrachtung ausgeschlossen werden.

3. Sie decken ihren gesamten Lebensmittelbedarf an Obst, Früchten, Gemüse, Getreide, Milch, Fleisch und Eiern gemäss Tabelle 3 in der Beilage „Parameter für Dosisberechnungen nach Richtlinie ENSI-G14“ lokal aus einem Gebiet im Umkreis von 5 Kilometern um den Abgabeort. Dabei ist von einer zeitlich und räumlich gemittelten Kontamination der Lebensmittel über diesen Umkreis auszugehen.
  4. Wird keine standortspezifische Mittelung der Lebensmittelkontamination nach Ziff. 3 durchgeführt, ist konservativ anzusetzen, dass 12,5 % der Lebensmittel vom Ort mit der höchsten für die Ingestionsdosis massgebenden Aktivitätsablagerung auf die Pflanzenoberflächen oder den Boden stammen und der Rest der Lebensmittel nicht kontaminiert ist. Bei der Bestimmung dieses Ortes können Distanzen zur Abgabestelle von weniger als 500 Metern und landwirtschaftlich nicht nutzbare Flächen (z. B. Wald) von der Betrachtung ausgeschlossen werden.
  5. Sie decken ihren Fischbedarf und 20 % des Trinkwasserbedarfs mit dem Flusswasser aus dem Fluss unterhalb der Anlage (vgl. Kap. 6.1.2 Bst. b).
- c. Für die Berücksichtigung der Lebensgewohnheiten (mittlere Verzehr- und Atemraten der Schweizer Bevölkerung, Aufenthaltsdauer im Freien oder im Haus etc.) der repräsentativen Personen sind die Werte gemäss Tabellen 1 und 3 der Beilage „Parameter für Dosisberechnungen nach Richtlinie ENSI-G14“ zu verwenden.

## **6.2.2 Expositionspfade**

### **6.2.2.1 Direkt- und Streustrahlung aus der Kernanlage oder dem Betrieb**

Der Beitrag durch die Direkt- und Streustrahlung zur Gesamtdosis der repräsentativen Personen ist durch geeignete Abschirmrechnungen unter Berücksichtigung des Abstands zwischen Strahlungsquelle und dem Aufenthaltsort der repräsentativen Personen oder Erfahrungswerten aus Umgebungsmessungen der Ortsdosisleistung in der Umgebung und Aufenthaltszeiten der repräsentativen Personen abzuschätzen und gegebenenfalls für deren Gesamtdosis zu berücksichtigen.

### **6.2.2.2 Luftgetragene Emissionen**

- a. Bei den luftgetragenen Emissionen sind für die Dosisberechnung die folgenden Teilpfade zu berücksichtigen:

1. externe Strahlung aus der Fortluftfahne (vgl. Bst. b und c)
  2. Inhalation aus der Fortluftfahne (vgl. Bst. d)
  3. Inhalation durch wieder aufgewirbelte radioaktive Stoffe (vgl. Bst. e)
  4. Bodenstrahlung durch abgelagerte radioaktive Stoffe (vgl. Bst. f)
  5. Ingestion (vgl. Bst. g und h)
- b. Für die Dosis aus externer Strahlung aus der Fortluftfahne sind die Beiträge von Edelgasen und anderen chemisch inerten, gasförmigen  $\gamma$ -Strahlern, von  $\beta$ -/ $\gamma$ -Aerosolen und von Iod zu berücksichtigen.
  - c. Die Dosisberechnung für externe Strahlung aus der Fortluftfahne ist mit einem für die Aktivitätsverteilung innerhalb der Fahne submersionskorrigierten Immersionsmodell gemäss Kap. A3.1 durchzuführen. Alternative Submersionsmodelle sind zu begründen.
  - d. Bei der Dosisberechnung als Folge einer Inhalation radioaktiver Stoffe sind  $\beta$ -/ $\gamma$ -Aerosole sowie elementares, aerosolförmiges und organisches Iod und  $\alpha$ -Aerosole zu berücksichtigen. Dabei sind die Formeln gemäss Kap. A3.2 zu verwenden.
  - e. Im Falle von Abgaben von  $\alpha$ -Aerosolen, die zu signifikanten Dosisbeiträgen führen, ist der Einfluss durch die Inhalation wieder aufgewirbelter Stoffe (Resuspension) gemäss Kap. A3.2 zu berücksichtigen.
  - f. Die Dosisberechnung für Bodenstrahlung hat für Aerosole und die verschiedenen Iodspezies unter Berücksichtigung der Abschwächung der Strahlung infolge des Eindringens der Aktivität in den Boden sowie den radioaktiven Zerfall gemäss Kap. A3.3 zu erfolgen.
  - g. Für die Ingestion sind die drei Teilpfade Aufnahme über pflanzliche Produkte, über Milch und über Fleisch zu berücksichtigen. Dabei ist für Futterpflanzen, Obst und Gemüse sowohl die direkte Ablagerung von radioaktiven Stoffen auf die Pflanzenoberfläche als auch deren Transfer über den Wurzelbereich in die Pflanzen einzubeziehen.
  - h. Die Ingestionsdosis ist gemäss Kap. A3.4 für  $\beta$ -/ $\gamma$ -Aerosole, die verschiedenen Iodspezies,  $\alpha$ -Aerosole zu bestimmen.
  - i. Zur Ermittlung der maximalen Gesamtdosis aus allen Expositionspfaden ist die Ausbreitungsrechnung gemäss Kap. 6.1.1 für alle Pasquill-Gifford-Wetterkategorien (Stabilitätsklassen A-F der Atmosphäre) bei kombinierter trockener und nasser Ablagerung für verschiedene Abwinddistancen durchzuführen.

#### 6.2.2.3 Wassergetragene Emissionen in Fliessgewässer

- a. Für wassergetragene Emissionen in Fliessgewässer ist die Dosis über den Trinkwasserkonsum, den Verzehr von Milch und Fleisch von Tieren, die mit Flusswasser getränkt wurden, und über den Verzehr von Fischen aus dem Fluss unterhalb der Anlage zu berücksichtigen.
- b. Die Ingestionsdosis aus dem Wasserpfad ist gemäss den Formeln in Kap. A3.7 und A3.8 (speziell für Tritium) zu berechnen

#### 6.2.2.4 Einzelfälle

In Einzelfällen oder auf Verlangen der Aufsichtsbehörden ist abzuklären, ob spezielle Expositionspfade zu berücksichtigen sind oder ob die Abgabe von Einzelnucliden wie Tritium und Kohlenstoff-14 in einer Form erfolgt, die eine Anpassung oder Erweiterung der in dieser Richtlinie beschriebenen Methoden erfordert.

### 6.3 Auslegungsstörfälle (SE3)

Für prospektive Dosisberechnungen zur Überprüfung der Einhaltung der Dosiskriterien gemäss Art. 8 Abs. 4<sup>bis</sup> KEV und Art. 123 Abs. 2 StSV für die Auslegung von Betrieben und Kernanlagen sind folgende Vorgaben zu beachten:

- a. Bei Störfallbetrachtungen ist die Gesamtdosis für die repräsentativen Personen für den Vergleich mit den Dosiskriterien für das erste Jahr nach der störfallbedingten Abgabe zu bestimmen. Es ist konservativ anzunehmen, dass die Freisetzung 2 Monate vor dem Ende der Ernteperiode erfolgt.
- b. Die Quellterme sind spezifisch für den zu betrachtenden Störfall gemäss Richtlinie ENSI-A08 oder bei Betrieben mit einer Bewilligung nach Strahlenschutzverordnung nach Vorgabe durch die Aufsichtsbehörde anzusetzen.
- c. Die Dosisberechnungen haben grundsätzlich mit den in den Anhängen festgelegten Modellen und Parametern für die gemäss Kap. 6.2.1 definierten repräsentativen Personen aus der Bevölkerung und die in Kap. 6.2.2 genannten Expositionspfade zu erfolgen. Der Betreiber kann nach Zustimmung der Aufsichtsbehörde im Einzelfall bei seinen Berechnungen zusätzliche standortspezifische Gegebenheiten, Messungen oder nachvollziehbare Betrachtungen (z. B. Windkanalexperimente, Wetterstatistik) für seine Anlage berücksichtigen.
- d. Für Dosisberechnungen für Kernanlagen und Betriebe sind grundsätzlich keine dosisreduzierenden Massnahmen in der Umgebung zu berücksichtigen.

- e. Für prospektive Berechnungen im Rahmen der Optimierung der Auslegung sind die Bestimmungen dieser Richtlinie und insbesondere die obenstehenden Bst. a bis d dem Zweck entsprechend anzuwenden. Eventuelle Anpassungen sind zu dokumentieren.

## **6.4 Auslegungsüberschreitende Störfälle (SE4)**

Wird für auslegungsüberschreitende Störfälle ein Nachweis für die Einhaltung von Dosiskriterien verlangt, so gelten für die deterministische prospektive Dosisberechnung die Vorgaben gemäss Kap. 6.1 und 6.2 sowie Kap. 6.3 Bst. a bis d mit folgenden Ausnahmen:

- a. Ein Aufenthalt in Distanzen zum Abgabeort von weniger als 500 Metern darf für die repräsentativen Personen gemäss Kap. 6.2 ausgeschlossen werden.
- b. Ein Beitrag über den Ingestionspfad muss für die repräsentativen Personen gemäss Kap. 6.2 nicht berücksichtigt werden.

## **7 Übergangsbestimmung**

Während einer Übergangsfrist von zwei Jahren sind auch Dosisberechnungen gemäss Ausgabe Februar 2008 der Richtlinie ENSI-G14 zulässig.

Diese Richtlinie wurde am 28. Mai 2025 vom ENSI verabschiedet.

Der Direktor des ENSI:            sig. M. Kenzelmann

# **Anhang 1 Begriffe (gemäss ENSI-Glossar)**

## **Abgabereglement**

Im anlagenspezifischen „Reglement für die Abgaben radioaktiver Stoffe und die Überwachung von Radioaktivität und Direktstrahlung in der Umgebung der Kernanlage ...“ werden die Vorschriften über die Kontrolle der Abgaben und das Programm für die Umgebungsüberwachung gestützt auf Art. 22 bis 24, 111 bis 113 und 191 bis 195 StSV geregelt. Im Weiteren regelt es darin die Aufsichtstätigkeit, insbesondere die Stichprobenerhebung und die Vergleichsmessungen durch die Behörden BAG und ENSI.

## **Ingestion**

Ingestion ist die Aufnahme von Radionukliden über die Nahrung.

## **Jahresabgabelimite (JAL)**

Die Jahresabgabelimite (JAL) ist ein aus dem quellenbezogenen Dosisrichtwert für den Standort für einzelne Nuklide oder Nuklidgemische ermittelter Aktivitätswert zur Limitierung der mit Fortluft oder Abwasser in die Umgebung jährlich abgegebenen radioaktiven Stoffe. Dabei werden die Jahresabgabelimiten benachbarter Betriebe berücksichtigt.

## **Kurzzeitabgabelimite (KAL)**

Die Kurzzeitabgabelimite (KAL) ist ein aus dem quellenbezogenen Dosisrichtwert für den Standort nach dem Modell der Richtlinie ENSI-G14 für einzelne Nuklide oder Nuklidgemische ermittelter Aktivitätswert zur Limitierung der mit Fortluft oder Abwasser in die Umgebung wöchentlich oder täglich abgegebenen radioaktiven Stoffe.

## **Repräsentative Person**

Eine repräsentative Person ist eine Person, die einer Strahlendosis ausgesetzt ist, die repräsentativ für die Dosiswerte der hoch strahlenexponierten Personen der Bevölkerung in der Umgebung ist. Die repräsentative Person ist ein hypothetisches Konstrukt. Dieses wird benutzt, um die Einhaltung der Vorschriften (Compliance) zu überprüfen oder für prospektive Beurteilungen (prosecutive assessments gemäss IAEA-Glossary und ICRP-101).

## **Prospektive Dosisberechnung**

Eine prospektive Dosisberechnung ist eine vorausschauende Dosisberechnung für ein hypothetisches Ereignis in der Zukunft mit Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umwelt oder Direktstrahlung, dessen Auftreten bei der Planung beziehungsweise Auslegung einer Tätigkeit, eines Betriebs oder einer Kernanlage mit einer gewissen Häufigkeit angenommen wird. Im Normalbetrieb eines Betriebs oder einer Kernanlage wird dabei üblicherweise von einer Häufigkeit von 1 pro Jahr ausgegangen. Bei potenziellen Strahlenexpositionen liegt die Häufigkeit in der Regel deutlich unterhalb von 1 pro Jahr. Die für ein fiktives Ereignis in der Zukunft anzunehmenden Randbedingungen wie Wetterbedingungen, Abgabemenge, Nuklidvektor bei der Abgabe, Wohn- und Aufenthaltsort der betroffenen Personen während und nach der

Abgabe sind in der Regel nicht bekannt und werden aufgrund von Erfahrungswerten abgeschätzt und konservativ festgelegt. Dies führt dazu, dass auch die damit berechnete Dosis eine in der Regel konservative Dosisabschätzung für eine potenziell eintretende Expositionssituation für Personen in der Umgebung darstellt.

### **Retrospektive Dosisberechnung**

Eine retrospektive Dosisberechnung erfolgt aufgrund einer bereits aufgetretenen Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umwelt oder Direktstrahlung. Neben der Abgabemenge und dem Nuklidvektor sind bei retrospektiven Berechnungen in der Regel weitere Randbedingungen wie beispielsweise die Wetterverhältnisse bekannt. Somit kann bei retrospektiven Rechnungen die Dosis grundsätzlich realistischer und weniger konservativ abgeschätzt werden, als dies bei prospektiven Dosisberechnungen möglich ist.

## Anhang 2 Aktivitätstransport, Ablagerung und Migration

### A2.1 Aktivitätstransport in der Luft

#### A2.1.1 Kurzzeitausbreitungsfaktor $\chi_K$ und submersionskorrigierter Kurzzeitausbreitungsfaktor $\chi_{K,S}$

##### A2.1.1.1 Kurzzeitausbreitungsfaktor $\chi_K$

Für eine Gaussverteilung in der Ausbreitungsfahne ergibt sich der Kurzzeitausbreitungsfaktor am Boden gemäss folgender Formel:

$$\chi_K(x, y, H_{eff,oro}) = (1 - G_t) \cdot \frac{e^{-\left(\frac{H_{eff,oro}^2}{2 \cdot \sigma_z^2} + \frac{y^2}{2 \cdot \sigma_y^2}\right)}}{\pi \cdot \sigma_z \cdot \sigma_y \cdot U(H_a)} + G_t \cdot \frac{e^{-\left(\frac{y^2}{2 \cdot \sigma_{y,0}^2}\right)}}{\pi \cdot \sigma_{z,0} \cdot \sigma_{y,0} \cdot U(0)}$$

##### A2.1.1.2 Kurzzeitausbreitungsfaktor $\chi_{K,S}$ für submersionskorrigierte Immersionsrechnung

Der submersionskorrigierte Kurzzeitausbreitungsfaktor  $\chi_{K,S}$  kann für eine Gaussverteilung in der Ausbreitungsfahne näherungsweise nach der folgenden Formel bestimmt werden:

$$\chi_{K,S}(x, y, H) = (1 - G_t) \cdot KF_{sub,shape} \cdot KF_{sub,axis} \cdot \frac{1}{\pi \cdot \sigma_z \cdot \sigma_y \cdot U(H_a)} + G_t \cdot KF_{sub,shape,0} \cdot \frac{1}{\pi \cdot \sigma_{z,0} \cdot \sigma_{y,0} \cdot U(0)}$$

Der Submersions-Korrekturfaktor  $KF_{sub,shape}$ , der eine Korrektur für die Form der Gauss-Fahne im Zentrum der Fahne einführt, kann für die Zwecke in dieser Richtlinie mit einem Fit-Polynom wie folgt angenähert werden:

$$KF_{sub,shape} = 1 - e^{-P_{shape}(\ln(\sigma_y), \ln(\sigma_z))}$$

Dabei ist  $P_{shape}(\ln(\sigma_y), \ln(\sigma_z))$  ein zweidimensionales Fit-Polynom 5. Grades:

$$P_{shape}(\ln(\sigma_y), \ln(\sigma_z)) = \sum_{i=0}^5 \left( \sum_{j=0}^{5-i} a_{ij} \cdot (\ln(\sigma_y))^i \cdot (\ln(\sigma_z))^j \right)$$

Die zu verwendenden Polynomfaktoren  $a_{ij}$  sind in Tabelle 2.1 der Beilage „Parameter für Dosisberechnungen nach Richtlinie ENSI-G14“ zu finden.

Der Submersions-Korrekturfaktor  $KF_{sub,axis}$ , der die Abweichung des Aufpunkts in z (Höhenrichtung) und y-Richtung (Quer zur Achse) beschreibt, kann für die Anwendung in dieser Richtlinie ebenfalls mit einem mehrdimensionalen Fit-Polynom angenähert werden:

$$KF_{sub,axis} = e^{-P_{axis}\left(\mu \cdot r \cdot asym(\sigma_y, \sigma_z), \frac{r}{\sigma_y}, \frac{r}{\sigma_z}\right)}$$

Das Fit-Polynom  $P_{axis}\left(\mu \cdot r \cdot asym(\sigma_y, \sigma_z), \frac{r}{\sigma'_y}, \frac{r}{\sigma'_z}\right)$  ist dabei in der Form:

$$P_{axis}\left(\mu \cdot r \cdot asym(\sigma_y, \sigma_z), \frac{r}{\sigma'_y}, \frac{r}{\sigma'_z}\right) = \sum_{i=0}^4 \left( \sum_{j=0}^{(4-i)} \left\{ \sum_{k=0}^{(4-i-j)} c_{ijk} \cdot (\mu \cdot r \cdot asym(\sigma_y, \sigma_z))^i \cdot \left(\frac{r}{\sigma'_y}\right)^j \cdot \left(\frac{r}{\sigma'_z}\right)^k \right\} \right)$$

In dieser Formel ist  $\mu$  der lineare Schwächungskoeffizient in  $m^{-1}$ ,  $r$  der Abstand des Aufpunkts senkrecht zur Fahnenachse ( $r = \sqrt{H_{eff,oro}^2 + y^2}$ ) und  $asym(\sigma_y, \sigma_z)$  ein Term, der die Asymmetrie der Fahne beschreibt; die Terme  $\frac{r}{\sigma'_y}$ ,  $\frac{r}{\sigma'_z}$  und  $asym(\sigma_y, \sigma_z)$  können umgeschrieben werden als:

$$\frac{r}{\sigma'_y} = \frac{\sqrt{\sigma_y^2 \cdot y^2 + \sigma_z^2 \cdot H_{eff,oro}^2}}{\sigma_y \cdot \sigma_z}; \quad \frac{r}{\sigma'_z} = \frac{\sqrt{\sigma_y^2 \cdot H_{eff,oro}^2 + \sigma_z^2 \cdot y^2}}{\sigma_y \cdot \sigma_z} \text{ resp. } asym(\sigma_y, \sigma_z) = \frac{\sqrt{\min(\sigma_y, \sigma_z)}}{\sqrt{\max(\sigma_y, \sigma_z)}}.$$

Für die Bestimmung des submersionskorrigierten Kurzzeitausbreitungsfaktors ist in der Regel  $y=0$  zu setzen und es gilt  $r = H_{eff,oro}$ ,  $\sigma'_y = \sigma_y$  und  $\sigma'_z = \sigma_z$ .

Die Polynomfaktoren  $c_{ijk}$  sowie der zu verwendende lineare Schwächungskoeffizient  $\mu$  wären grundsätzlich von der Energie der emittierten Gamma-Strahlung abhängig, für die Zwecke dieser Richtlinie ist es aber für alle Nuklide ausreichend, von einer mittleren Gamma-Emissionsenergie entsprechend  $^{137}\text{Cs}/^{137m}\text{Ba}$  von ca. 661 keV auszugehen. Sowohl die zu verwendenden Polynomfaktoren als auch der lineare Schwächungskoeffizient  $\mu$  sind in Tabelle 2.2 der Beilage „Parameter für Dosisberechnungen nach Richtlinie ENSI-G14“ zu finden.

Mit vorgängiger Zustimmung der Aufsichtsbehörden sind auch andere Modelle als das submersionskorrigierte Immersionsmodell für die Ermittlung der Submersionsdosis aus der Fahne während der Freisetzungsphase zulässig.

## A2.1.2 Langzeitausbreitungsfaktor $\chi_L$ und submersionskorrigierter Langzeitausbreitungsfaktor $\chi_{L,S}$

Der Langzeitausbreitungsfaktor  $\chi_L$  und der submersionskorrigierte Langzeitausbreitungsfaktor  $\chi_{L,S}$  werden durch Mittelung unter Zugrundelegung einer dreiparametrischen meteorologischen Langzeitstatistik aus den Kurzzeitausbreitungsfaktoren  $\chi_{K(S)}$  ermittelt:

$$\chi_{L(S)}(X, Y) = \sum_{i,j,k} P_{ijk} \cdot \chi_K(x(X, Y, i), y(X, Y, i), H_{eff,oro}(x(X, Y, i), y(X, Y, i), j, k), j, k)$$

Für die Mittelung müssen für Langzeitausbreitungsfaktoren immer auch Querabweichungen in y-Richtung des Aufpunkts zur Fahnenachse berücksichtigt werden.

## Bezeichnungen in A2.1

In den obigen Formeln bedeuten die Parameter Folgendes, sofern nicht schon vorher erklärt:

|               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $G_t$         | <i>Anteil der Abgabe, der aufgrund von Gebäudeeinflüssen als Bodenabgabe anzunehmen ist (vgl. Kap. A2.5.1)</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| $H_a$         | <i>tatsächliche Freisetzungshöhe (z. B. Kaminhöhe) ohne jegliche Korrektur</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| $H_{eff}$     | <i>effektive Abgabehöhe (d. h. Höhe der Fahnenachse) in m am Abgabeort der Freisetzung (vgl. Kap. A2.5.1)</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| $H_{eff,oro}$ | <i>orografiekorrigierte, effektive Fahnenhöhe in m über dem Punkt in der Umgebung mit den absoluten Koordinaten X (nach Osten) und Y (nach Norden) relativ zum Freisetzungsort (vgl. Kap. A2.5.2)</i><br><br><i>Ohne Orografiekorrektur ist <math>H_{eff,oro}</math> der effektiven Abgabehöhe <math>H_{eff}</math> gleichzusetzen.</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| $U(H_a)$      | <i>Windgeschwindigkeit in m/s in unkorrigierter Abgabehöhe (z. B. Kaminhöhe)</i><br><br><i>Für Rechnungen im Normalbetrieb im Rahmen der Kurzzeitabgabelimiten und für potenzielle Strahlenexpositionen ist gemäss Kap. 4.1.1 resp. 6.1.1 von einer festen Windgeschwindigkeit von 1 m/s in der unkorrigierten Abgabehöhe auszugehen.</i><br><br><i>Für Rechnungen im Normalbetrieb im Rahmen der Langzeitabgabelimitierung sind die Windgeschwindigkeiten aus der zugrundeliegenden Meteostatistik in Messhöhe zu verwenden und mit den Formeln gemäss Kap. A2.5.3 auf die Abgabehöhe zu korrigieren, wobei die Windgeschwindigkeit einen Minimalwert von 0,5 m/s nicht unterschreiten soll.</i> |
| $U(0)$        | <i>Windgeschwindigkeit in m/s in Bodennähe (10 m über Boden).</i><br><br><i>Für Rechnungen im Normalbetrieb im Rahmen der Kurzzeitabgabelimiten und für potenzielle Strahlenexpositionen ist gemäss Kap. 4.1.1 resp. 6.1.1 von einem höheninvarianten Windgeschwindigkeitsprofil und damit von 1 m/s auszugehen.</i><br><br><i>Für Rechnungen im Normalbetrieb im Rahmen der Langzeitabgabelimitierung sind die Windgeschwindigkeiten aus der zugrundeliegenden Meteostatistik mit den Formeln gemäss Kap. A2.5.3 auf eine Höhe von 10 m über Boden zu korrigieren, wobei die Windgeschwindigkeit einen Minimalwert von 0,5 m/s nicht unterschreiten soll.</i>                                    |
| $x, y$        | <i>Abwinddistanz zum Abgabeort und Querabweichung von der Fahnenachse orthogonal zur Ausbreitungsrichtung in m</i><br><br><i>Für die Bestimmung der maximalen Kurzeitenausbreitungs- und Kurzzeit-Washout-Faktoren nach Kap. A2.2 kann <math>y = 0</math> gesetzt werden.</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

|                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $X, Y$                       | <i>absolute Koordinaten eines Punktes in der Umgebung (<math>X</math> = West-Ost-Richtung, <math>Y</math> = Süd-Nord-Richtung) relativ zum Freisetzungsort in m</i>                                                                                                                                                                        |
| $\sigma_y, \sigma_z$         | <i>Gausssche Ausbreitungsparameter in m</i><br><br><i>Sie sind abhängig von der Abwinddistanz <math>x</math> der effektiven Abgabehöhe <math>H_{eff}</math> und der Wetterkategorie (Pasquill-Gifford Stabilitätsklassen A bis F).</i><br><br><i>Sie sind aus den Vogt-Parametern und mit den Formeln gemäss Kap. A2.5.4 zu berechnen.</i> |
| $\sigma_{y,0}, \sigma_{z,0}$ | <i>Gausssche Ausbreitungsparameter für Boden-Abgabe</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| $P_{ijk}$                    | <i>Wahrscheinlichkeit für eine Wettersituation mit Ausbreitungsrichtung in den Sektor <math>i</math>, Windgeschwindigkeit im Intervall <math>j</math> und Wetterkategorie <math>k</math></i>                                                                                                                                               |
| $i$                          | <i>Laufzahl über die Ausbreitungssektoren der zugrundeliegenden Wetterstatistik</i><br><br><i>Es ist anzunehmen, dass die Ausbreitungsrichtung zentral in den Sektor geht.</i>                                                                                                                                                             |
| $j$                          | <i>Laufzahl über die Windgeschwindigkeitsintervalle</i><br><br><i>Als Windgeschwindigkeit ist der Mittelwert der Intervallgrenzen anzusetzen.</i>                                                                                                                                                                                          |
| $k$                          | <i>Laufzahl über die Wetterkategorien (Pasquill-Gifford Stabilitätsklassen A-F)</i>                                                                                                                                                                                                                                                        |

## A2.2 Fallout- beziehungsweise Washout-Faktoren

### A2.2.1 Fallout

Für trockene Ablagerung gilt für die Fallout-Ablagerungsrate  $\dot{A}_F$ :

$$\dot{A}_F = \dot{Q} \cdot F_{\{K;L\}}$$

mit den Kurzzeit- und Langzeitausbreitungsfaktoren  $F_{\{K;L\}}$ :

$$F_{\{K;L\}} = \chi_{\{K;L\}} \cdot v_g$$

### A2.2.2 Washout

Für nasse Ablagerung bei Niederschlag gilt für die Washout-Ablagerungsrate  $\dot{A}_W$ :

$$\dot{A}_W = \dot{Q} \cdot W_{\{K;L\}}$$

Analog zu den Ausbreitungsfaktoren werden auch Kurzzeit- und Langzeit-Washout-Faktoren  $W_K$  und  $W_L$  definiert.

#### A2.2.2.1 Kurzzeit-Washout-Faktor $W_K$

Der Kurzzeit-Washout-Faktor  $W_K$  wird für eine Gaußsche Aktivitätsverteilung in der Ausbreitungsfahne gemäss folgender Formel berechnet:

$$W_K(x, y) = (1 - G_t) \cdot \frac{\Lambda \cdot e^{-\frac{y^2}{2 \cdot \sigma_y^2}}}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot U(H_a) \cdot \sigma_y} + G_t \cdot \frac{\Lambda \cdot e^{-\frac{y^2}{2 \cdot \sigma_{y,0}^2}}}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot U(0) \cdot \sigma_{y,0}}$$

#### A2.2.2.2 Langzeit-Washout-Faktor $W_L$

Der Langzeit-Washout-Faktor  $W_L$  wird durch Mittelung unter Zugrundelegung einer vierparametrischen meteorologischen Langzeitstatistik aus den Kurzzeit-Washout-Faktoren  $W_K$  ermittelt:

$$W_L(X, Y) = \sum_{i,j,k,m} P_{ijkm} \cdot W_K(x(X, Y, i), y(X, Y, i), j, k, \Lambda(m))$$

#### A2.2.3 Totale Ablagerungsfaktoren für den Boden und auf Pflanzenoberflächen

Totale Ablagerungsfaktoren  $\xi_{\{K;L\}}$  für die Ablagerung auf die Bodenoberfläche und  $\xi'_{\{K;L\}}$  für die Ablagerung direkt auf die Oberfläche von Pflanzen werden wie folgt definiert:

für Ablagerung direkt auf den Boden:  $\xi_{\{K;L\}} = F_{\{K;L\}} + W_{\{K;L\}}$

für Ablagerung auf die Pflanzenoberflächen:  $\xi'_{\{K;L\}} = F_{\{K;L\}} + f_d \cdot W_{\{K;L\}}$

#### A2.2.4 Bezeichnungen

Im Kapitel A2.2 bedeuten die Parameter Folgendes, sofern nicht schon vorher erklärt:

|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $f_d$      | Anteil der direkten feuchten Ablagerungen auf Pflanzenoberflächen für Aerosole (0,3) und elementares Iod (1,0)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| $m$        | Laufzahl über die vorliegenden Niederschlagsintensitäts-Kategorien                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| $P_{ijkm}$ | Wahrscheinlichkeit für eine Wettersituation mit Ausbreitungsrichtung in den Sektor $i$ , Windgeschwindigkeit im Intervall $j$ , Wetterkategorie $k$ und eine Niederschlagsintensität im Intervall $m$<br><br>Es gilt $P_{ijkm} = T_{ijkm}/T_{\text{tot}}$ , wobei $T_{\text{tot}}$ die Gesamtzeit ist, über welche die Wetterstatistik erhoben wurde, $T_{ijkm}$ die Zeit, für welche die Wetterbedingungen $i, j, k, m$ zutrafen. |
| $Q$        | gesamte, während der Freisetzungsdauer oder während des Kalenderjahres freigesetzte, luftgetragene Aktivität                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

$v_g$

Ablagerungsgeschwindigkeit auf den Boden

Diese unterscheidet sich je nach Nuklidgruppe für Aerosole (0,0015 m/s), elementares Iod (0,01 m/s) oder organisches Iod (0,0001 m/s) oder wenn der Washout bei Fehlen einer vierparametrischen Wetterstatistik rein über den Fallout mitberücksichtigt wird (0,017 m/s für alle Nuklidgruppen).

$\Lambda$

Washout-Koeffizient in  $s^{-1}$

Es gilt  $\Lambda = \Lambda_o \cdot (I_N/I_o)^K$ , mit einer Niederschlagsintensität  $I_N$ , einer Referenzniederschlagsintensität  $I_o$  (1 mm/h) und einem Korrektorexponenten  $K$  (0,8 für Iod und Aerosole, 1 für tritiiertes Wasser).  $\Lambda_o$  bezeichnet den Referenz-Washout-Koeffizienten für eine Niederschlagsintensität von 1 mm/h.

## A2.3 Zeitabhängige Aktivität auf dem und im Boden

### A2.3.1 Wirksame Bodenaktivität für externe Strahlung

#### A2.3.1.1 Kurzzeitabgaben

Die für die externe Strahlung wirksame Ablagerung  $A_{BS}(t)$  ergibt sich für Kurzzeitabgaben nach der Freisetzung zu:

$$A_{BS}(t) = \overline{Q \cdot \xi_K} \cdot \left( f_{fast} \cdot e^{-(\lambda + \lambda_{fast}) \cdot t} + f_{slow} \cdot e^{-(\lambda + \lambda_{slow}) \cdot t} \right)$$

#### A2.3.1.2 Langzeitabgaben

Für Langzeitabgaben berechnet sich die für die externe Strahlung wirksame Ablagerung  $A_{BS}(t)$  wie folgt:

$$A_{BS}(t) = A_{BS,fast}(0) \cdot e^{-(\lambda + \lambda_{fast}) \cdot t} + A_{BS,slow}(0) \cdot e^{-(\lambda + \lambda_{slow}) \cdot t} + \frac{Q \cdot \xi_L}{T_{Kj}} \cdot \left( f_{fast} \cdot \frac{1 - e^{-(\lambda + \lambda_{fast}) \cdot t}}{\lambda + \lambda_{fast}} + f_{slow} \cdot \frac{1 - e^{-(\lambda + \lambda_{slow}) \cdot t}}{\lambda + \lambda_{slow}} \right)$$

Für die Abgabelimitierung errechnen sich die zu Beginn des Jahres bereits über 100 Vorbetriebsjahre ( $T_{100}$ ) abgelagerten schnell und langsam eindringenden wirksamen Aktivitäten  $A_{BS,fast}(0)$  und  $A_{BS,slow}(0)$  zu:

$$A_{BS,fast}(0) = f_{fast} \cdot \frac{Q \cdot \xi_L}{T_{Kj}} \cdot \frac{1 - e^{-(\lambda + \lambda_{fast}) \cdot T_{100}}}{\lambda + \lambda_{fast}}$$
$$A_{BS,slow}(0) = f_{slow} \cdot \frac{Q \cdot \xi_L}{T_{Kj}} \cdot \frac{1 - e^{-(\lambda + \lambda_{slow}) \cdot T_{100}}}{\lambda + \lambda_{slow}}$$

Für Berechnungen der Dosis aus gemessenen Jahresabgaben ergeben sich  $A_{BS,fast}(0)$  und  $A_{BS,slow}(0)$  iterativ über 1-Kalenderjahres-Intervalle ( $T_{Kj}$ ):

$$A_{BS,fast}(0) = A_{BS,fast}(-Kj) \cdot e^{-(\lambda+\lambda_{fast}) \cdot T_{Kj}} + f_{fast} \cdot \frac{Q(-Kj) \cdot \xi_L}{T_{Kj}} \cdot \frac{1 - e^{-(\lambda+\lambda_{fast}) \cdot T_{Kj}}}{\lambda + \lambda_{fast}}$$

$$A_{BS,slow}(0) = A_{BS,slow}(-Kj) \cdot e^{-(\lambda+\lambda_{slow}) \cdot T_{Kj}} + f_{slow} \cdot \frac{Q(-Kj) \cdot \xi_L}{T_{Kj}} \cdot \frac{1 - e^{-(\lambda+\lambda_{slow}) \cdot T_{Kj}}}{\lambda + \lambda_{slow}}$$

$Q(-Kj)$  ist die (homogen angenommene) Abgabe des vorhergehenden Kalenderjahres und  $A_{BS,fast}(-Kj)$  und  $A_{BS,slow}(-Kj)$  sind die jeweiligen Aktivitätsanteile zu Beginn des vorhergehenden Kalenderjahres.

## A2.3.2 Nuklidkonzentration im Wurzelbereich von Pflanzen

### A2.3.2.1 Kurzzeitabgaben

Die zeitabhängige Aktivitätskonzentration  $C_{Bo}(t)$  im Wurzelbereich der Pflanzen ergibt sich ab dem Folgejahr nach der Abgabe nach der Formel:

$$C_{Bo}(t) = \frac{\overline{Q \cdot \xi_K}}{P_{\{PP;FP\}}} \cdot e^{-(\lambda+\lambda_W) \cdot t}$$

### A2.3.2.2 Langzeitabgaben

Ab Beginn der Wachstumsperiode von Pflanzen im zu betrachtenden Kalenderjahr gilt:

$$C_{Bo}(t) = C_{Bo}(0) \cdot e^{-(\lambda+\lambda_W) \cdot t}$$

wobei  $C_{Bo}(0)$  der Aktivitätskonzentration im Wurzelbereich zu Beginn des Kalenderjahres und  $\lambda_W$  einer nicht radioaktivitätsbedingten Abreicherungskonstante aus dem Wurzelbereich entspricht.

Die Bodenkonzentration  $C_{Bo}(0)$  im Wurzelbereich von Pflanzen aus den Ablagerungen der Vorjahre errechnet sich nach 100 Betriebsjahren unter der Annahme homogener Abgaben:

$$C_{Bo}(0) = \frac{Q \cdot \xi_L}{T_{Kj} \cdot P_{\{PP;FP\}}} \cdot \frac{1 - e^{-(\lambda+\lambda_W) \cdot T_{100}}}{\lambda + \lambda_W}$$

Für eine Berechnung aus gemessenen Jahresabgaben ergibt sich  $C_{Bo}(0)$  iterativ:

$$C_{Bo}(0) = C_{Bo}(-Kj) \cdot e^{-(\lambda+\lambda_W) \cdot T_{Kj}} + \frac{Q(-Kj) \cdot \xi_L}{T_{Kj} \cdot P_{\{PP;FP\}}} \cdot \frac{1 - e^{-(\lambda+\lambda_W) \cdot T_{Kj}}}{\lambda + \lambda_W}$$

In diesen Formeln bedeutet  $C_{Bo}(-Kj)$  die Aktivitätskonzentration im Wurzelbereich zu Beginn des vorangegangenen Kalenderjahres und  $Q(-Kj)$  die homogen angenommene Abgabe

zwischen dem Beginn des vorangegangenen Kalenderjahres und dem Beginn des zu betrachtenden Kalenderjahres.

### A2.3.3 Bezeichnungen

Im Kapitel A2.3 bedeuten die Parameter Folgendes, sofern nicht schon vorher erklärt:

|                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $P_{\{PP;FP\}}$                                       | Flächenmasse des Erdreichs im Wurzelbereich ( $P_{PP}$ für pflanzl. Produkte = 280 kg/m <sup>2</sup> , $P_{FP}$ für Futterpflanzen = 120 kg/m <sup>2</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| $Q$                                                   | gesamte, während der Freisetzungsdauer oder während des Kalenderjahres freigesetzte, luftgetragene Aktivität                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| $\overline{Q \cdot \xi_K}, \overline{Q \cdot \xi'_K}$ | totale, während der Freisetzung erfolgte Ablagerung auf den Boden resp. die Pflanzenoberfläche: für Rechnungen nach Kap. 4 ergibt sich diese als $Q \cdot (1/3 \cdot \xi_1 + 2/3 \cdot \xi_2)$ , für Rechnungen nach Kap. 6 als $Q_1 \cdot \xi_1 + Q_2 \cdot \xi_2 + Q_3 \cdot \xi_3 + Q_4 \cdot \xi_4$ , wobei die Indizes 1 bis 4 die Freisetzungszeiträume 0 – 8 h, 8 – 24 h, 24 – 72 h resp. > 72 h bezeichnen. Dies gilt analog auch für $\overline{Q \cdot \xi'_K}$ |
| $t$                                                   | verstrichene Zeit seit dem Beginn einer Kurzzeitabgabe resp. für Langzeitabgaben seit Beginn des betrachteten Kalenderjahres                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| $T_{Kj}$                                              | Zeitraum eines Kalenderjahres (1 Jahr)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| $T_{100}$                                             | Ablagerungszeitraum von 100 Jahren                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| $f_{fast}, f_{slow}$                                  | schnell resp. langsam eindringender Anteil der für die externe Strahlung wirksamen Aktivität in den Boden (0,63 resp. 0,37)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| $\lambda$                                             | radiologische Zerfallskonstante – $\lambda$ ergibt sich aus der Halbwertszeit gemäss $\ln(2)/T_{1/2}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| $\lambda_{fast}, \lambda_{slow}$                      | nicht radioaktivitätsbedingte schnelle resp. langsame Abreicherungskonstanten für Strahlung aus Ablagerungen auf den Boden (1,0 Jahr <sup>-1</sup> entsprechend einer Verweilzeit von rund 0,7 Jahren resp. $7 \cdot 10^{-3}$ Jahr <sup>-1</sup> entsprechend einer Verweilzeit von rund 100 Jahren)                                                                                                                                                                      |
| $\lambda_W$                                           | nichtradioaktive Abreicherungskonstante aus dem Wurzelbereich (Annahme: $\lambda_W = \lambda_{slow} = 7 \cdot 10^{-3}$ Jahr <sup>-1</sup> , entsprechend einer Verweilzeit von rund 100 Jahren)                                                                                                                                                                                                                                                                           |

## A2.4 Zeitabhängige Aktivität auf und in Konsum- und Futterpflanzen

### A2.4.1 Kurzzeitabgaben

#### A2.4.1.1 Phase 1 [ $0 \leq t \leq T_{\{PP;FP\}}$ ]: Ablagerung auf der Pflanzenoberfläche

In der Phase 1 direkt nach der Abgabe ergibt sich die zeitabhängige Aktivitätskonzentration  $C_{\{PP;FP\},Bl}(t)$  durch Ablagerung auf die Pflanzenoberfläche der erntefrischen Pflanzen gemäss folgender Formel:

$$C_{\{PP;FP\},Bl}(t) = \frac{\overline{Q \cdot \xi'_K}}{Y_{\{PP;FP\}}} \cdot e^{-(\lambda + \lambda_V) \cdot t}$$

#### A2.4.1.2 Phase 2 [ $T_P \leq t \leq T_P + T_{0.5}$ ]: Lagerprodukte im ersten Winterhalbjahr nach der Abgabe

In der Phase 2 ergibt sich die zeitabhängige Aktivitätskonzentration in den Lagerpflanzen zu:

$$C_{\{PP;FP\},L}(t) = \left[ \frac{\overline{Q \cdot \xi'_K}}{Y_{\{PP;FP\}}} \cdot e^{-\lambda \cdot T_P} \cdot \frac{1 - e^{-\lambda_V \cdot T_{\{PP;FP\}}}}{\lambda_V \cdot T_{0.5}} \right] \cdot e^{-\lambda \cdot (t - T_P)}$$

#### A2.4.1.3 Phase 3 [ $T_P + T_{0.5} \leq t$ ]: Wurzelaufnahme ab dem Folgejahr der Freisetzung

Sowohl für Frischpflanze wie für gelagerte pflanzliche Produkte und Futterprodukte errechnet sich die Aktivitätskonzentration durch Wurzelaufnahme  $C_{Pfl,W}(t)$  für den Zeitraum wie folgt:

$$C_{\{PP;FP\},W}(t) = \frac{\overline{Q \cdot \xi'_K}}{P_{\{PP;FP\}}} \cdot e^{-(\lambda + \lambda_W) \cdot t} \cdot TF_{\{Bo-PP;Bo-FP\}}$$

### A2.4.2 Langzeitabgaben

#### A2.4.2.1 Sommerhalbjahr

Aktivitätskonzentration durch Ablagerung auf die Pflanzenoberfläche für Blattgemüse, Obst und Beeren, Getreide und Futtermittel (ohne Wurzelgemüse):

$$C_{\{PP;FP\},Bl}(t) = \frac{Q \cdot \xi'_L}{T_{Kj} \cdot Y_{\{PP;FP\}}} \cdot \frac{1 - e^{-(\lambda + \lambda_V) \cdot T_{\{PP;FP\}}}}{\lambda + \lambda_V}$$

Aktivitätskonzentration durch Aufnahme in allen Pflanzen durch den Wurzeltransfer:

$$C_{\{PP;FP\},W}(t) = C_{Bo}(0) \cdot TF_{\{Bo-PP;Bo-FP\}} \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

Dabei ist t die seit Beginn des Kalenderjahres verstrichene Zeit.

#### A2.4.2.2 An die Ernteperiode anschliessendes Winterhalbjahr

In Lagerprodukten vorhandene Aktivitätskonzentration durch Ablagerung auf die Pflanzenoberfläche im Sommerhalbjahr für Blattgemüse, Obst und Beeren, Getreide und Futtermittel (ohne Wurzelgemüse):

$$C_{\{PP;FP\},BL,L}(t) = \left[ \frac{Q \cdot \xi'_L}{T_{KJ} \cdot Y_{\{PP;FP\}}} \cdot \frac{1 - e^{(\lambda + \lambda_V) \cdot T_{\{PP;FP\}}}}{\lambda + \lambda_V} \cdot \frac{1 - e^{-\lambda \cdot T_{0.5}}}{\lambda \cdot T_{0.5}} \right] \cdot e^{-\lambda \cdot (t - T_E - T_{0.5})}$$

In Lagerprodukten vorhandene Aktivitätskonzentration für alle Pflanzen inklusive Wurzelgemüse:

$$C_{\{PP;FP\},W,L}(t) = C_{Bo}(0) \cdot TF_{\{Bo-PP;Bo-FP\}} \cdot e^{-\lambda t}$$

#### A2.4.3 Bezeichnungen

Im Kapitel A2.4 bedeuten die Parameter Folgendes, sofern nicht schon vorher erklärt:

|                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $Y_{\{PP;FP\}}$ | Flächenbewuchsdichte für pflanzliche Produkte ( $Y_{PP} = 2,2 \text{ kg/m}^2$ ) resp. Futterpflanzen ( $Y_{FP} = 0,85 \text{ kg/m}^2$ )                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| $T_E$           | Zeit zwischen Beginn des Kalenderjahres und dem Beginn der Ernteperiode (0,33 Jahre entsprechend einem Ertebeginn etwa am 1. Mai)                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| $T_{\{PP;FP\}}$ | bezeichnet die Wachstumsdauer von pflanzlichen Produkten (0,167 Jahre entsprechend 2 Monaten) resp. Futter-/Weidepflanzen (0,083 Jahre entsprechend einem Monat)                                                                                                                                                                                                                                                               |
| $T_P$           | beschreibt für Abgaben im Sommerhalbjahr die Zeit zwischen der Abgabe und dem Ende der Ernteperiode                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| $T_{0.5}$       | ist der Zeitraum eines halben Jahres                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| $TF_{Bo-Pfl}$   | der Transferfaktor zwischen Boden und Pflanzen ist der Proportionalitätsfaktor zwischen einer Aktivitätskonzentration im Wurzelbereich der Pflanzen und in der Pflanze ( $TF_{Bo-PP}$ für den Transfer in pflanzliche Produkte, $TF_{Bo-FP}$ für den Transfer in Futterpflanzen). Der Transferfaktor ist grundsätzlich dimensionslos: seine Einheit ist $\text{kg}_{\text{Bodenmasse}}$ pro $\text{kg}_{\text{Pflanzenmasse}}$ |
| $\lambda_V$     | nichtradioaktive Abreicherungskonstante für die Pflanzenoberfläche ( $18 \text{ Jahr}^{-1}$ für alle Nuklide, entsprechend einer Verweilzeit von rund 14 Tagen)                                                                                                                                                                                                                                                                |

## A2.5 Hilfsformeln zur Ermittlung abgeleiteter Parameter unter A2.1 bis A2.4

### A2.5.1 Formeln zur Bestimmung der effektiven Abgabehöhe $H_{eff}$ und zur Berücksichtigung von Gebäudeeinflüssen

Eine Impulsüberhöhung  $\Delta H$  gemäss Briggs, welche bei Normalbetriebsabgaben für die effektive Abgabehöhe  $H_{eff} = H_a + \Delta H$  über den Kamin berücksichtigt werden darf, kann wie folgt bestimmt werden:

$$\Delta H_1 = 1,44 \cdot D_i \cdot \left( \frac{W_0}{U(H_a)} \right)^{2/3} \cdot \left( \frac{x}{D_i} \right)^{1/3} - C \quad \text{mit } x = 200 \text{ m};$$

C ist dabei ein Korrekturfaktor für den Downwash, wenn  $W_0 < 1,5 \cdot U(H_a)$  ist:

$$C = 3 \cdot \left( 1,5 - \frac{W_0}{U(H_a)} \right) \cdot D_e$$

Für neutrale und instabile Wetterklassen (Pasquill-Gifford Stabilitätsklassen A – D) ist  $\Delta H_1$  mit dem folgenden Wert zu vergleichen:

$$\Delta H_2 = 3 \cdot \frac{W_0}{U(H_a)} \cdot D_i$$

und es ist für  $\Delta H$  das Minimum von  $\Delta H_1$  und  $\Delta H_2$  zu verwenden.

Für stabile Wetterklassen (Pasquill-Gifford Stabilitätsklassen E und F) ist  $\Delta H_1$  mit den folgenden beiden Werten zu vergleichen

$$\Delta H_3 = 4 \cdot \left( \frac{F_m}{S} \right)^{1/4} \text{ und}$$

$$\Delta H_4 = 1,5 \cdot S^{-1/6} \cdot \left( \frac{F_m}{U(H_a)} \right)^{1/3} \text{ mit}$$

$$F_m = W_0^2 \cdot \left( \frac{D_i}{2} \right)^2$$

und es ist für  $\Delta H$  das Minimum aus  $\Delta H_1, \Delta H_3$  und  $\Delta H_4$  zu verwenden.

Der Faktor  $G_t$ , der den Anteil der Freisetzungsmenge beschreibt, der aufgrund des Gebäudeeinflusses angrenzender oder naheliegender Gebäude mit einer Höhe  $H_G$  als bodennahe Freisetzung zu betrachten ist, ist für hohe Kamine mit einer Höhe  $H_a \geq 2 \cdot H_G$  auf 0 zu setzen. Für niedrige Kamine mit  $H_a < 2 \cdot H_G$  wird er gemäss den folgenden Formeln bestimmt:

$$\begin{aligned} G_t &= 1 & \text{für } \frac{W_0}{U(H_a)} \leq 1 \\ G_t &= 2,58 - 1,58 \cdot \frac{W_0}{U(H_a)} & \text{für } 1 < \frac{W_0}{U(H_a)} \leq 1,5 \end{aligned}$$

$$G_t = 0,3 - 0,06 \cdot \frac{W_0}{U(H_a)}$$

$$\text{für } 1,5 < \frac{W_0}{U(H_a)} \leq 5$$

$$G_t = 0$$

$$\text{für } 5 < \frac{W_0}{U(H_a)}$$

Für Betriebsstörungen und Störfälle ist für Kaminabgaben und alle anderen Freisetzungsorte die effektive Freisetzungshöhe  $H_{eff}$  der tatsächlichen Abgabehöhe  $H_a$  gleichzusetzen. Zur Berücksichtigung der Gebäudeeinflüsse ist der Faktor  $G_t$  auf 0 zu setzen für hohe Abgabehöhen ( $H_a \geq 2 \cdot H_G$ ). Für  $H_a < 2 \cdot H_G$  ist  $G_t$  als 1 (entsprechend einer reinen bodennahen Freisetzung) anzunehmen.

Abweichungen davon sind statthaft, wenn im Einzelfall nachvollziehbar belegt werden kann, dass für den betrachteten Störfall während der gesamten Störfalldauer eine Ausstoss-geschwindigkeit  $W_0$  aus dem Kamin von deutlich mehr als 1 Meter pro Sekunde angenommen werden kann oder bei anderen Freisetzungsorten eine signifikante thermische Überhöhung anzunehmen ist, wie sie beispielsweise nach einem Flugzeugabsturz mit Kerosinbrand auftreten kann. Die Annahmen und Nachweise für solche Einzelbetrachtungen sind nachvollziehbar zu dokumentieren.

In den obigen Formeln bedeuten die Parameter Folgendes:

|          |                                                                                                                                                                        |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $D_i$    | innerer Kamindurchmesser (m)                                                                                                                                           |
| $D_e$    | äusserer Kamindurchmesser (m), wenn dieser unbekannt ist, ist $D_i$ zu verwenden                                                                                       |
| $H_G$    | Höhe der um den Abgabeort angrenzenden resp. naheliegenden Gebäude                                                                                                     |
| $S$      | Stabilitätsparameter: Für Wetterkategorie E kann dafür ein Wert von $8,7 \cdot 10^{-4}$ , für Wetterkategorie F ein solcher von $1,75 \cdot 10^{-3}$ eingesetzt werden |
| $U(H_a)$ | unkorrigierte Windgeschwindigkeit in Abgabehöhe (m/s)                                                                                                                  |
| $W_0$    | Ausstoss-geschwindigkeit aus dem Kamin (m/s)                                                                                                                           |

#### **A2.5.2 Bestimmung der orographiekorrigierten effektiven Höhe der Fahnenachse über dem Gelände ( $H_{eff,oro}$ )**

a) Für Aufpunkte direkt unter der Fahnenachse wird die orographiekorrigierte effektive Höhe der Fahnenachse angelehnt an die Formeln gemäss deutscher Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 der Strahlenschutzverordnung, 2012 (AVV) wie folgt bestimmt:

- Für die Wetterklassen A – D:

$$\text{für } h_{oro}(x, 0) < \frac{H_{eff}}{2}:$$

$$H_{eff,oro}(x, 0) = H_{eff} - h_{oro}(x, 0)$$

sonst:

$$H_{eff,oro}(x, 0) = H_{eff}/2$$

- Für die Wetterklassen E und F:

für  $h_{oro}(x, 0) < H_{eff}$ :

$$H_{eff,oro}(x, 0) = H_{eff} - h_{oro}(x, 0)$$

sonst:

$$H_{eff,oro}(x, 0) = 0$$

- b) Für Aufpunkte mit Auslenkung y von der Fahnenachse:

$$H_{eff,oro}(x, y) = H_{eff,oro}(x, 0) + h_{oro}(x, 0) - h_{oro}(x, y)$$

$h_{oro}(x, 0)$  und  $h(x, y)$  sind dabei die orographischen Höhen des Geländes bezogen auf den Fusspunkt der Abgabestelle (entsprechend der Festlegung, dass  $h_{oro}(0, 0) = 0$  sein muss).

### A2.5.3 Windgeschwindigkeitsprofil bei in der Messhöhe $z_m$ gemessener Windgeschwindigkeit

Für die Bestimmung des Langzeitausbreitungsfaktors ist die Windgeschwindigkeit in Messhöhe der Meteostatistik  $U_M$  wie folgt auf die unkorrigierte Abgabehöhe  $U(H_a)$  zu korrigieren (Formel gemäss deutscher AVV, 2012):

$$U(H_a) = U_M \cdot \left(\frac{H_a}{z_m}\right)^{m_k} \quad \text{für } H_a > 10m$$

$$U(H_a) = U_M \cdot \left(\frac{10}{z_m}\right)^{m_k} \quad \text{für } H_a \leq 10m$$

Darin bedeuten die Parameter Folgendes:

|          |                                                         |
|----------|---------------------------------------------------------|
| $H_a$    | unkorrigierte Höhe des Abgabekamins                     |
| $U(H_a)$ | Windgeschwindigkeit in Abgabehöhe (m/s)                 |
| $U_M$    | Windgeschwindigkeit in Messhöhe (m/s)                   |
| $z_m$    | Höhe, in der die Windgeschwindigkeit gemessen wurde (m) |

Für den Exponenten  $m_k$  sind für die Pasquill-Gifford-Stabilitätsklassen die folgenden Werte zu verwenden:

| Stabilitätsklasse | A    | B    | C    | D    | E    | F    |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|
| $m_k$             | 0,09 | 0,20 | 0,22 | 0,28 | 0,37 | 0,42 |

#### A2.5.4 Formeln und Tabellen zur Berechnung der Gaussischen Ausbreitungparameter $\sigma_y$ und $\sigma_z$

Die Gaussischen Ausbreitungparameter  $\sigma_y$  und  $\sigma_z$  werden in Abhängigkeit der Abwinddistanz  $x$  aus den sogenannten Vogt-Parametern abgeleitet (Formeln und Parameter gemäss deutscher AVV, 2012):

$$\sigma_y(x) = p_y \cdot \left(\frac{x}{x_0}\right)^{q_y} \quad \text{und}$$

$$\sigma_z(x) = p_z \cdot \left(\frac{x}{x_0}\right)^{q_z} \quad \text{mit } x_0 = 1 \text{ m}$$

Für die Vogt-Parameter  $p_{\{y;z\}}$  (m) und  $q_{\{y;z\}}$  (dimensionslos) sind die folgenden Werte zu verwenden:

|                                |                | Wetterkategorie |       |       |       |       |       |
|--------------------------------|----------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Effektive Abgabehöhe $H_{eff}$ | Vogt-Parameter | A               | B     | C     | D     | E     | F     |
| 50 Meter                       | $p_y$          | 1,503           | 0,876 | 0,659 | 0,640 | 0,801 | 1,294 |
|                                | $q_y$          | 0,833           | 0,823 | 0,807 | 0,784 | 0,754 | 0,718 |
|                                | $p_z$          | 0,151           | 0,127 | 0,165 | 0,215 | 0,264 | 0,241 |
|                                | $q_z$          | 1,219           | 1,108 | 0,996 | 0,885 | 0,774 | 0,662 |
| 100 Meter                      | $p_y$          | 0,170           | 0,324 | 0,466 | 0,504 | 0,411 | 0,253 |
|                                | $q_y$          | 1,296           | 1,025 | 0,866 | 0,818 | 0,882 | 1,057 |
|                                | $p_z$          | 0,051           | 0,070 | 0,137 | 0,265 | 0,487 | 0,717 |
|                                | $q_z$          | 1,317           | 1,151 | 0,985 | 0,818 | 0,652 | 0,486 |
| 180 Meter                      | $p_y$          | 0,671           | 0,415 | 0,232 | 0,208 | 0,345 | 0,671 |
|                                | $q_y$          | 0,903           | 0,903 | 0,903 | 0,903 | 0,903 | 0,903 |
|                                | $p_z$          | 0,0245          | 0,033 | 0,104 | 0,307 | 0,546 | 0,484 |
|                                | $q_z$          | 1,500           | 1,320 | 0,997 | 0,734 | 0,557 | 0,500 |

Für Zwischenhöhen  $H_i$  werden die Parameter  $p_{\{y;z\}}$  resp.  $q_{\{y;z\}}$  gemäss folgenden Formeln zwischen der oberen ( $H_o$ ) und unteren ( $H_u$ ) Grenzhöhe interpoliert:

$$p_{\{y;z\}}(H_i) = p_{\{y;z\}}(H_o)^{\left(\frac{H_i - H_u}{H_o - H_u}\right)} \cdot p_{\{y;z\}}(H_u)^{\left(\frac{H_o - H_i}{H_o - H_u}\right)};$$

$$q_{\{y;z\}}(H_i) = \frac{(H_i - H_u) \cdot q_{\{y;z\}}(H_o) + (H_o - H_i) \cdot q_{\{y;z\}}(H_u)}{H_o - H_u}.$$

Für Höhen kleiner als 50 m respektive grösser als 180 m sind die Vogt-Parameter für 50 m respektive 180 m zu verwenden.

## Anhang 3 Dosisberechnung

Sämtliche folgende Formeln beziehen sich auf Einzelnuklide. Um die gesamte Dosis eines Pfades zu erhalten, muss über alle beteiligten Nuklide aufsummiert werden.

### A3.1 Externe Strahlung unter der Fortluftfahne (Edelgase, Iod und Aerosole)

#### A3.1.1 Formeln

Die externe submersionskorrigierte Immersionsdosis unter der Fortluftfahne ergibt sich für Kurz- und Langzeitabgaben nach der Formel:

$$E_{sub} = \frac{Q}{k_C} \cdot \chi_{\{K;L\},S} \cdot k_s \cdot (e^{-\lambda \cdot T_{fz}} \cdot e_{imm,M} \cdot k_{SPE,M} + \sum_i f_{D_i} \cdot \frac{\lambda_{D_i}}{(\lambda_{D_i} - \lambda)} \cdot [e^{-\lambda \cdot T_{fz}} - e^{-\lambda_{D_i} \cdot T_{fz}}] \cdot e_{imm,D_i} \cdot k_{SPE,D_i})$$

Für Freisetzezeiträume mit unterschiedlichen Aufenthaltsorten der repräsentativen Personen und variierenden Ausbreitungsfaktoren  $\chi_K$  muss die Dosis gegebenenfalls stückweise berechnet und am Schluss aufsummiert werden.

#### A3.1.2 Bezeichnungen

Im Kapitel A3.1 bedeuten die Parameter Folgendes, sofern nicht schon vorher erklärt:

|                     |                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $E_{sub}$           | submersionskorrigierte Immersionsdosis in Sv – es wird angenommen, dass diese für Erwachsene, 10-Jährige und Kleinkinder identisch ist                                                                                    |
| $e_{imm,\{M;D_i\}}$ | Immersionsdosisfaktor des betrachteten Mutternuklids $M$ beziehungsweise der Tochter $D_i$ in (Sv/a)/(Bq/m <sup>3</sup> ); der Immersionsdosisfaktor wird für Erwachsene, 10-Jährige und Kleinkinder identisch angenommen |
| $f_{D_i}$           | Anteil der Mutteraktivität, die in die Tochter $D_i$ zerfällt                                                                                                                                                             |
| $k_C$               | Anzahl Sekunden in einem Jahr ( $3,16 \cdot 10^7$ s)                                                                                                                                                                      |
| $k_s$               | Abschirmkoeffizient durch partiellen Aufenthalt in Häusern (0,4)                                                                                                                                                          |
| $k_{SPE,\{M;D_i\}}$ | Korrekturfaktor des Immersionsdosisfaktors für die Schwerpunktsenergie (SPE) der emittierten Gammastrahlung der Mutter resp. der Tochter $D_i$                                                                            |
| $Q$                 | Gesamtabgaben im betrachteten Zeitraum (Freisetzezeitraum resp. im betrachteten Kalenderjahr) in Bq                                                                                                                       |
| $T_{fz}$            | Flugzeit der Radioaktivität in der Fahne bis zum Aufpunkt in Jahren                                                                                                                                                       |

|                    |                                                                                                                          |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\lambda$          | radioaktive Zerfallskonstante des Mutternuklids in Jahr <sup>-1</sup>                                                    |
| $\lambda_{D_i}$    | radioaktive Zerfallskonstante des Tochternuklids $D_i$ in Jahr <sup>-1</sup>                                             |
| $\chi_{\{K;L\},S}$ | submersionskorrigierter Kurzzeit- ( $\chi_{K,S}$ ) resp. Langzeitausbreitungsfaktor ( $\chi_{L,S}$ ) in s/m <sup>3</sup> |

## A3.2 Inhalation und Resuspension (Luftpfad: Iod, Aerosole)

### A3.2.1 Formeln

Die Inhalationsdosis für Kurz- und Langzeitabgaben ergibt sich gemäss folgender Formel:

$$E_{inh,\{E;10j;KK\}} = Q \cdot \chi_{\{K;L\}} \cdot U_{inh,\{E;10j;KK\}} \cdot \left( e^{-\lambda \cdot T_{fz}} \cdot e_{inh,\{E;10j;KK\},M} + \sum_i f_{D_i} \cdot \frac{\lambda_{D_i}}{(\lambda_{D_i} - \lambda)} \cdot [e^{-\lambda \cdot T_{fz}} - e^{-\lambda_{D_i} \cdot T_{fz}}] \cdot e_{inh,\{E;10j;KK\},D_i} \right)$$

Bei Störfallbetrachtungen im Rahmen der Auslegung ist während der ersten 8 Stunden von einer erhöhten Atemrate  $U_{inh}$  gemäss Tabelle 3 der Beilage „Parameter für Dosisberechnungen nach Richtlinie ENSI-G14“ auszugehen.

Für Freisetzungszeiträume mit unterschiedlichen Aufenthaltsorten der repräsentativen Personen und variierenden Ausbreitungsfaktoren  $\chi_K$  muss die Dosis gegebenenfalls stückweise berechnet und am Schluss aufsummiert werden.

Bei der Auslegung gegen Störfälle wird die Inhalation von wieder aufgewirbelten Stoffen durch Addition des Dosisanteils  $E_{res,\{E;10j;KK\}}$  zur obigen Formel berücksichtigt:

$$E_{res,\{E;10j;KK\}}(T_{exp}) = \overline{Q \cdot \xi_K} \cdot \{k_c \cdot U_{inh,\{E;10j;KK\}} \cdot e_{inh,\{E;10j;KK\}} \cdot \left( K_0 \cdot \frac{1 - e^{-(\lambda+L) \cdot T_{exp}}}{\lambda + L} + K_e \cdot \frac{1 - e^{-\lambda \cdot T_{exp}}}{\lambda} \right) + f_{D,res,\{E;10j;KK\}}(T_{exp}) \}$$

### A3.2.2 Bezeichnungen

Im Kapitel A3.2 bedeuten die Parameter Folgendes, sofern nicht schon vorher erklärt:

|                                  |                                                                                                               |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $E_{inh,\{E;10j;KK\}}$           | Inhalationsdosis in Sv für Erwachsene (E), 10-Jährige (10j) und Kleinkinder (KK)                              |
| $E_{res,\{E;10j;KK\}}$           | Inhalationsdosis in Sv durch Resuspension von radioaktiven Stoffen für Erwachsene, 10-Jährige und Kleinkinder |
| $e_{inh,\{E;10j;KK\},\{M,T_i\}}$ | Inhalationsdosisfaktor des betrachteten Nuklids resp. der Tochter $T_i$ in Sv/Bq                              |

|                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $f_{D,res,\{E;10j;KK\}}(T_{exp})$ | von der Expositionszeit ( $T_{exp}$ ) abhängiger Korrekturfaktor zur Berücksichtigung des Resuspensionsdosisbeitrags von nach der Abgabe gebildeten Tochterprodukten. Für Expositionszeiten $T_{exp}$ von 1 und 50 Jahren sind diese Korrekturfaktoren in Tabelle 4.3 der Beilage „Parameter für Dosisberechnungen nach Richtlinie ENSI-G14“ tabelliert. Für Nuklide ohne Töchter oder wenn der Beitrag der Töchter z. B. für andere Expositionszeiten mit einem separaten Algorithmus ermittelt und berücksichtigt wird, ist $f_{D,res,\{E;10j;KK\}}(T_{exp}) = 0$ zu setzen |
| $f_{D_i}$                         | Anteil der Mutteraktivität, die in die Tochter $D_i$ zerfällt                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| $K_0, K_e$                        | Wiederaufwirbelungskoeffizienten in $m^{-1}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| $k_c$                             | Anzahl Sekunden im Jahr oder Kalenderjahr ( $3,16 \cdot 10^7$ s)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| $L$                               | Immobilisierungskonstante am Boden in $Jahr^{-1}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| $Q$                               | Gesamte Abgabe über den Freisetzungszeitraum resp. das betrachtete Kalenderjahr in Bq                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| $T_{exp}$                         | Expositionszeit für wiederaufgewirbelte Stoffe in Jahren                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| $T_{fz}$                          | Flugzeit der Radioaktivität in der Fahne bis zum Aufpunkt in Jahren                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| $U_{inh,\{E;10j;KK\}}$            | Atemrate [ $m^3/s$ ] für Erwachsene (E), 10-jährige (10j) oder Kleinkinder (KK)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| $\lambda$                         | radioaktive Zerfallskonstante des Mutternuklids $M$ in $Jahr^{-1}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| $\lambda_{Ti}$                    | radioaktive Zerfallskonstante des Tochternuklids $T_i$ in $Jahr^{-1}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| $\overline{Q \cdot \xi_K}$        | totale Kurzzeitablagerung auf den Boden in $Bq \cdot m^{-2}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| $\chi_{\{K;L\}}$                  | Kurzzeit- ( $\chi_K$ ) resp. Langzeitausbreitungsfaktor ( $\chi_L$ ) in $s/m^3$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

### A3.3 Bodenstrahlung (Luftpfad: Iod, Aerosole)

#### A3.3.1 Formeln

Die Dosiswerte aus Bodenstrahlung für Kurzzeit- und Langzeitabgaben nach der Expositionszeit  $T_{exp}$  respektive  $T_{Kj}$  ergeben sich nach folgenden Formeln:

##### A3.3.1.1 Kurzzeitabgaben

$$E_{BS}(T_{exp}) = \overline{Q \cdot \xi_K} \cdot \left\{ k_s \cdot e_{BS} \cdot \left( f_{fast} \cdot \frac{1 - e^{-(\lambda + \lambda_{fast}) \cdot T_{exp}}}{\lambda + \lambda_{fast}} + f_{slow} \cdot \frac{1 - e^{-(\lambda + \lambda_{slow}) \cdot T_{exp}}}{\lambda + \lambda_{slow}} \right) + f_{D,BS,K}(T_{exp}) \right\}$$

### A3.3.1.2 Langzeitabgaben

$$E_{BS}(T_{Kj}) = k_s \cdot e_{BS} \cdot \left\{ A_{BS,fast}(0) \cdot \frac{1 - e^{-(\lambda + \lambda_{fast}) \cdot T_{Kj}}}{\lambda + \lambda_{fast}} + A_{BS,slow}(0) \cdot \frac{1 - e^{-(\lambda + \lambda_{slow}) \cdot T_{Kj}}}{\lambda + \lambda_{slow}} + \right. \\ \left. + \frac{Q \cdot \xi_L}{T_{Kj}} \cdot \left( f_{fast} \cdot \frac{T_{Kj} - \frac{1 - e^{-(\lambda + \lambda_{fast}) \cdot T_{Kj}}}{\lambda + \lambda_{fast}}}{\lambda + \lambda_{fast}} + \right. \right. \\ \left. \left. + f_{slow} \cdot \frac{T_{Kj} - \frac{1 - e^{-(\lambda + \lambda_{slow}) \cdot T_{Kj}}}{\lambda + \lambda_{slow}}}{\lambda + \lambda_{slow}} \right) \right\} + \frac{Q \cdot \xi_L}{T_{Kj}} \cdot f_{D,BS,Kj}(T_{Kj}) + \frac{Q_{Vj} \cdot \xi_L}{T_{Kj}} \cdot f_{D,BS,Vj}(T_{Kj})$$

### A3.3.2 Bezeichnungen

Im Kapitel A3.3 bedeuten die Parameter Folgendes, sofern nicht schon vorher erklärt:

|                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A_{BS,\{fast,slow\}}(0)$              | <i>für die externe Strahlung wirksame schnell und langsam eindringende Aktivität im Boden zu Beginn des Kalenderjahres aufgrund der Ablagerungen der Vorjahre in <math>Bq/m^2</math> (Kap. A2.3.2)</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| $E_{BS}(T_{\{Exp;Kj\}})$               | <i>Bei Langzeitabgaben im Kalenderjahr (<math>T_{Kj} = 1</math> Jahr) resp. bei Kurzzeitabgaben in der der Abgabe folgenden Expositionszeit <math>T_{exp}</math> akkumulierte Dosis in Sv. Es wird für Bodenstrahlung angenommen, dass diese für Erwachsene, 10-Jährige und Kleinkinder identisch ist</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| $e_{BS}$                               | <i>Bodenstrahlungs-Dosisfaktor <math>[(Sv/Jahr)/(Bq/m^2)]</math> für das betrachtete Nuklid. Der Immersionsdosisfaktor wird für Erwachsene, 10-Jährige und Kleinkinder identisch angenommen</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| $f_{D,BS,\{K;Kj;Vj\}}(T_{\{exp;Kj\}})$ | <i>von der Expositionszeit (<math>T_{exp}</math> resp. <math>T_{Kj}</math>) abhängige Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung des Dosisbeitrags aus Bodenstrahlung für die nach der Abgabe gebildeten Tochterprodukte. Für Kurzzeitabgaben mit anschließenden Expositionszeiten <math>T_{exp}</math> von 1 und 50 Jahren sowie für Langzeitabgaben mit konstant angenommenen Abgaben <math>Q</math> im betrachteten Kalenderjahr und <math>Q_{Vj}</math> während 100 Vorjahren sind die Korrekturfaktoren <math>f_{D,BS,K}(T_{exp})</math>, <math>f_{D,BS,Kj}(T_{Kj})</math> resp. <math>f_{D,BS,Vj}(T_{Kj})</math> in Tabelle 4.3 der Beilage "Parameter für Dosisberechnungen nach Richtlinie ENSI-G14" tabelliert. Für Nuklide ohne Töchter oder wenn der Beitrag der Töchter z.B. für andere Expositionszeiten oder für andere, über die Vorjahre oder das Kalenderjahr nicht invariant angenommenen Langzeitablagerungen auf den Boden mit einem separaten Algorithmus ermittelt und berücksichtigt wird, sind die dann nicht anwendbaren <math>f_{D,BS,...}(T_{\{exp;Kj\}}) = 0</math> zu setzen</i> |
| $f_{fast}, f_{slow}$                   | <i>schnell resp. langsam eindringender Anteil der für die externe Strahlung wirksamen Aktivität in den Boden (0,63 resp. 0,37)</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

|                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $k_s$                            | Abschirmfaktor für die Bodenstrahlung durch partiellen Aufenthalt in Häusern (0,4)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| $Q, Q_{vj}$                      | Gesamtabgabe über die Freisetzungsdauer resp. über das Kalenderjahr in Bq; $Q_{vj}$ bezeichnet bei Langzeitabgaben die konstant angenommene Jahresabgaben der Vorjahre<br><br>Für Iod ist zu beachten, dass Abgaben von elementarem, aerosolförmigem Iod resp. organischen Iodverbindungen unterschiedlich am Boden abgelagert werden und daher separat behandelt werden müssen. Für die Abgaben von organischen Iodverbindungen ist die Ablagerung dabei in der Regel vernachlässigbar. Im Normalbetrieb ist anzunehmen, dass die Iodabgaben zu 50 % elementar, zu 25 % aerosolförmig und zu 25 % organisch erfolgen. Für Störfallbetrachtungen ergibt sich die Aufteilung der Iodabgaben aus den Quelltermannahmen für den jeweiligen Störfall. |
| $\overline{Q \cdot \xi_k}$       | totale Kurzzeitalagerung in Bq·m <sup>-2</sup> auf den Boden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| $T_{exp}, T_{Kj}$                | betrachtete Expositionszeit in Jahren; für Langzeitabgaben entspricht $T_{exp} = T_{Kj}$ einem Kalenderjahr, für Kurzzeitabgaben der seit dem Beginn der Freisetzung verstrichenen Zeit                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| $\lambda$                        | radioaktive Zerfallskonstante in Jahr <sup>-1</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| $\lambda_{fast}, \lambda_{slow}$ | Nicht radioaktivitätsbedingte schnelle und langsame Abreicherungskonstanten für Strahlung aus Ablagerungen auf den Boden (1,0 Jahr <sup>-1</sup> resp. 7·10 <sup>-3</sup> Jahr <sup>-1</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| $\xi_L$                          | totaler Langzeit-Ablagerungsfaktor ( $\xi_L$ ) in m <sup>-2</sup><br><br>Es ist zu berücksichtigen, dass sich diese Ablagerungsfaktoren für Aerosolabgaben und nichtaerosolförmige Iod-Abgaben (elementar, organisch) stark unterscheiden können (siehe auch oben unter den Bemerkungen zu $Q$ ) und dass andere als aerosolförmige Abgaben somit separat betrachtet werden müssen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

## A3.4 Ingestion (Luftpfad: Iod, Aerosole)

### A3.4.1 Ingestionsdosis aus pflanzlichen Produkten

#### A3.4.1.1 Kurzzeitabgaben

Der Verzehr von pflanzlichen Produkten, die bis zum Ende der betrachteten Expositionszeit  $T_{exp}$  nach der Abgabe kontaminiert werden, führt zu folgender Ingestionsdosis:

- Für  $0 < T_{exp} \leq T_P$  (im Zeitraum bis zum Ende der Ernteperiode):

$$E_{ing,PP,\{E;10j;KK\}}(T_{exp}) = \overline{Q \cdot \xi'_K} \cdot \left\{ \frac{f_{abw} \cdot f_{cont}}{Y_{PP}} \cdot \frac{1 - e^{-(\lambda + \lambda_V) \cdot T_{exp}}}{(\lambda + \lambda_V)} \cdot \right.$$

$$\left. \cdot U_{PPO,\{E;10j;KK\}} \cdot e_{ing,\{E;10j;KK\}} + f_{D,ing,PP,BL,\{E;10j;KK\}}(T_{exp}) \right\}$$

- **Für  $T_P < T_{exp} \leq T_P + T_{0.5}$**  (im ersten Winterhalbjahr):

$$E_{ing,PP,\{E;10j;KK\}}(T_{exp}) = \overline{Q \cdot \xi'_K} \cdot \left\{ \frac{f_{abw} \cdot f_{cont}}{Y_{PP}} \cdot \left( \frac{1 - e^{-(\lambda + \lambda_V) \cdot T_{PP}}}{(\lambda + \lambda_V)} + \frac{1 - e^{-\lambda_V \cdot T_{PP}}}{\lambda_V \cdot T_{0.5}} \cdot \frac{e^{-\lambda \cdot T_P} - e^{-\lambda \cdot T_{exp}}}{\lambda} \right) \right.$$

$$\left. \cdot U_{PPO,\{E;10j;KK\}} \cdot e_{ing,\{E;10j;KK\}} + f_{D,ing,PP,BL,\{E;10j;KK\}}(T_{exp}) \right\}$$

- **Für  $T_P + T_{0.5} < T_{exp} \leq T_1$**  (ab Beginn der Wurzelperiode nach dem ersten Winterhalbjahr bis ein Jahr nach der Freisetzung):

$$E_{ing,PP,\{E;10j;KK\}}(T_{exp}) = \overline{Q \cdot \xi'_K} \cdot \left\{ \frac{f_{abw} \cdot f_{cont}}{Y_{PP}} \cdot \left( \frac{1 - e^{-(\lambda + \lambda_V) \cdot T_{PP}}}{(\lambda + \lambda_V)} + \frac{1 - e^{-\lambda_V \cdot T_{PP}}}{\lambda_V \cdot T_{0.5}} \cdot \frac{e^{-\lambda \cdot T_P} - e^{-\lambda \cdot (T_P + T_{0.5})}}{\lambda} \right) \right.$$

$$\left. \cdot U_{PPO,\{E;10j;KK\}} \cdot e_{ing,\{E;10j;KK\}} + f_{D,ing,PP,BL,\{E;10j;KK\}}(T_P + T_{0.5}) \right\} +$$

$$+ \overline{Q \cdot \xi_K} \cdot \left\{ \frac{f_{cont}}{P_{PP}} \cdot TF_{Bo-PP} \cdot \frac{e^{-(\lambda + \lambda_W) \cdot (T_P + T_{0.5})} - e^{-(\lambda + \lambda_W) \cdot T_{exp}}}{(\lambda + \lambda_W)} \right.$$

$$\left. \cdot U_{PPT,\{E;10j;KK\}} \cdot e_{ing,\{E;10j;KK\}} + f_{D,ing,PP,W,\{E;10j;KK\}}(T_{exp}) \right\}$$

- **Für  $T_1 < T_{exp} = n \cdot T_1$**  (in den Jahren mit Wurzelaufnahme danach,  $1 < n \leq 100$ , n ganzzahlig):

$$E_{ing,PP,\{E;10j;KK\}}(T_{exp}) = \overline{Q \cdot \xi'_K} \cdot \left\{ \frac{f_{abw} \cdot f_{cont}}{Y_{PP}} \cdot \left( \frac{1 - e^{-(\lambda + \lambda_V) \cdot T_{PP}}}{(\lambda + \lambda_V)} + \frac{1 - e^{-\lambda_V \cdot T_{PP}}}{\lambda_V \cdot T_{0.5}} \cdot \frac{e^{-\lambda \cdot T_P} - e^{-\lambda \cdot (T_P + T_{0.5})}}{\lambda} \right) \right.$$

$$\left. \cdot U_{PPO,\{E;10j;KK\}} \cdot e_{ing,\{E;10j;KK\}} + f_{D,ing,PP,BL,\{E;10j;KK\}}(T_P + T_{0.5}) \right\} +$$

$$+ \overline{Q \cdot \xi_K} \cdot \left\{ \frac{f_{cont}}{P_{PP}} \cdot TF_{Bo-PP} \cdot \right.$$

$$\left. \cdot \left( \frac{e^{-(\lambda + \lambda_W) \cdot (T_P + T_{0.5})} - e^{-(\lambda + \lambda_W) \cdot T_1}}{(\lambda + \lambda_W)} \cdot U_{PPT,\{E;10j;KK\}} \cdot e_{ing,\{E;10j;KK\}} + \right. \right.$$

$$\left. \left. + \frac{e^{-(\lambda + \lambda_W) \cdot T_1} - e^{-(\lambda + \lambda_W) \cdot T_{exp}}}{(\lambda + \lambda_W)} \cdot U_{PPT,E} \cdot e_{ing,E} \right) \right\} +$$

$$+ f_{D,ing,PP,W,\{E;10j;KK\}}(T_1) + f_{D,ing,PP,W,E}(T_1 \rightarrow T_{exp})\}$$

#### A3.4.1.2 Langzeitabgaben

Nach Aufintegration der während des Kalenderjahres  $T_{Kj}$  mit pflanzlichen Produkten aufgenommenen Aktivität ergibt sich folgende Ingestionsdosis:

$$\begin{aligned} E_{ing,PP,\{E;10j;KK\}}(T_{Kj}) = & \\ & = \frac{Q \cdot \xi'_L}{T_{Kj}} \cdot \frac{f_{abw} \cdot f_{cont}}{Y_{PP}} \cdot \frac{1 - e^{-(\lambda + \lambda_V) \cdot T_{PP}}}{(\lambda + \lambda_V)} \cdot \left( T_{0.5} + \frac{1}{T_{0.5}} \cdot \left[ \frac{1 - e^{-\lambda \cdot T_{0.5}}}{\lambda} \right]^2 \right) \cdot U_{PPO,\{E;10j;KK\}} \cdot e_{ing,\{E;10j;KK\}} + \\ & + C_{Bo}(0) \cdot TF_{Bo-PP} \cdot e^{-\lambda \cdot T_E} \cdot \frac{1 - e^{-\lambda \cdot T_1}}{\lambda} \cdot f_{cont} \cdot U_{PPT,\{E;10j;KK\}} \cdot e_{ing,\{E;10j;KK\}} + \\ & + \frac{Q \cdot \xi'_L}{T_{Kj}} \cdot f_{D,ing,PP,BL,\{E;10j;KK\}}(T_{Kj}) + \frac{Q_{Vj} \cdot \xi_L}{T_{Kj}} \cdot f_{D,ing,PP,W,Vj,\{E;10j;KK\}}(T_{Kj}) \end{aligned}$$

#### A3.4.2 Ingestionsdosis aus Milch und Milchprodukten

Im Folgenden wird für die Milch- und Milchprodukte folgende korrigierte Verzehrrate zur Berücksichtigung der Zeit zwischen Produktion und Verzehr verwendet:

$$U_{Corr,Mi,\{E;10j;KK\}} = (U_{Fmi,\{E;10j;KK\}} \cdot e^{-\lambda \cdot T_{Fmi}} + U_{Lmi,\{E;10j;KK\}} \cdot e^{-\lambda \cdot T_{Lmi}})$$

##### A3.4.2.1 Kurzzeitabgaben

Der Verzehr von Milch und Milchprodukten von Kühen, die bis zum Ende der Expositionszeit  $T_{Exp}$  nach der Abgabe mit kontaminiertem Futtermittel gefüttert werden, führt zu folgender Ingestionsdosis:

- **Für  $0 < T_{Exp} \leq T_{FP}$**  (im Zeitraum bis zum Ende des Wachstums von Futterpflanzen):

$$\begin{aligned} E_{ing,Mi,\{E;10j;KK\}}(T_{exp}) = & \overline{Q \cdot \xi'_K} \cdot \left\{ \frac{f_{cont}}{Y_{FP}} \cdot \frac{1 - e^{-(\lambda + \lambda_V) \cdot T_{exp}}}{(\lambda + \lambda_V)} \cdot V_{FP} \cdot TF_{FP-Mi} \cdot \right. \\ & \left. \cdot U_{Corr,Mi,\{E;10j;KK\}} \cdot e_{ing,\{E;10j;KK\}} + f_{D,ing,Mi,BL,\{E;10j;KK\}}(T_{exp}) \right\} \end{aligned}$$

- **Für  $T_{FP} < T_{Exp} \leq T_P$**  (im anschliessenden Zeitraum bis zum Ende der Ernteperiode):

$$\begin{aligned} E_{ing,Mi,\{E;10j;KK\}}(T_{exp}) = & \overline{Q \cdot \xi'_K} \cdot \left\{ \frac{f_{cont}}{Y_{FP}} \cdot \frac{1 - e^{-(\lambda + \lambda_V) \cdot T_{FP}}}{(\lambda + \lambda_V)} \cdot V_{FP} \cdot TF_{FP-Mi} \cdot \right. \\ & \left. \cdot U_{Corr,Mi,\{E;10j;KK\}} \cdot e_{ing,\{E;10j;KK\}} + f_{D,ing,Mi,BL,\{E;10j;KK\}}(T_{FP}) \right\} \end{aligned}$$

- **Für  $T_P < T_{Exp} \leq T_p + T_{0.5}$**  (im ersten Winterhalbjahr):

$$E_{ing,Mi,\{E;10j;KK\}}(T_{exp}) = \overline{Q \cdot \xi'_K} \cdot \left\{ \frac{f_{cont}}{Y_{FP}} \cdot \left( \frac{1 - e^{-(\lambda + \lambda_V) \cdot T_{FP}}}{(\lambda + \lambda_V)} + \frac{1 - e^{-\lambda_V \cdot T_{FP}}}{\lambda_V \cdot T_{0.5}} \cdot \frac{e^{-\lambda \cdot T_P} - e^{-\lambda \cdot T_{exp}}}{\lambda} \right) \cdot \right. \\ \left. \cdot V_{FP} \cdot TF_{FP-Mi} \cdot U_{Corr,Mi,\{E;10j;KK\}} \cdot e_{ing,\{E;10j;KK\}} + f_{D,ing,Mi,Bl,\{E;10j;KK\}}(T_{exp}) \right\}$$

- Für  $T_P + T_{0.5} < T_{exp} \leq T_1$  (ab Beginn der Wurzelperiode nach dem ersten Winterhalbjahr bis ein Jahr nach der Freisetzung):

$$E_{ing,Mi,\{E;10j;KK\}}(T_{exp}) = \\ = \overline{Q \cdot \xi'_K} \cdot \left\{ \frac{f_{cont}}{Y_{FP}} \cdot \left( \frac{1 - e^{-(\lambda + \lambda_V) \cdot T_{FP}}}{(\lambda + \lambda_V)} + \frac{1 - e^{-\lambda_V \cdot T_{FP}}}{\lambda_V \cdot T_{0.5}} \cdot \frac{e^{-\lambda \cdot T_P} - e^{-\lambda \cdot (T_P + T_{0.5})}}{\lambda} \right) \cdot \right. \\ \cdot V_{FP} \cdot TF_{FP-Mi} \cdot U_{Corr,Mi,\{E;10j;KK\}} \cdot e_{ing,\{E;10j;KK\}} + f_{D,ing,Mi,Bl,\{E;10j;KK\}}(T_P + T_{0.5}) \left. \right\} + \\ + \overline{Q \cdot \xi_K} \cdot \left\{ \frac{f_{cont}}{P_{FP}} \cdot TF_{Bo-PP} \cdot \frac{e^{-(\lambda + \lambda_W) \cdot (T_P + T_{0.5})} - e^{-(\lambda + \lambda_W) \cdot T_{exp}}}{(\lambda + \lambda_W)} \cdot \right. \\ \left. \cdot V_{FP} \cdot TF_{FP-Mi} \cdot U_{Corr,Mi,\{E;10j;KK\}} \cdot e_{ing,\{E;10j;KK\}} + f_{D,ing,Mi,W,\{E;10j;KK\}}(T_{exp}) \right\}$$

- Für  $T_1 < T_{exp} = n \cdot T_1$  (in den Jahren mit Wurzelaufnahme danach,  $1 < n \leq 100$ , n ganzzahlig):

$$E_{ing,Mi,\{E;10j;KK\}}(T_{exp}) = \\ = \overline{Q \cdot \xi'_K} \cdot \left\{ \frac{f_{cont}}{Y_{FP}} \cdot \left( \frac{1 - e^{-(\lambda + \lambda_V) \cdot T_{FP}}}{(\lambda + \lambda_V)} + \frac{1 - e^{-\lambda_V \cdot T_{FP}}}{\lambda_V \cdot T_{0.5}} \cdot \frac{e^{-\lambda \cdot T_P} - e^{-\lambda \cdot (T_P + T_{0.5})}}{\lambda} \right) \cdot \right. \\ \cdot V_{FP} \cdot TF_{FP-Mi} \cdot U_{Corr,Mi,\{E;10j;KK\}} \cdot e_{ing,\{E;10j;KK\}} + f_{D,ing,Mi,Bl,\{E;10j;KK\}}(T_P + T_{0.5}) \left. \right\} + \\ + \overline{Q \cdot \xi_K} \cdot \left\{ \frac{f_{cont}}{P_{FP}} \cdot TF_{Bo-PP} \cdot V_{FP} \cdot TF_{FP-Mi} \cdot \right. \\ \cdot \left( \frac{e^{-(\lambda + \lambda_W) \cdot (T_P + T_{0.5})} - e^{-(\lambda + \lambda_W) \cdot T_1}}{(\lambda + \lambda_W)} \cdot U_{Corr,Mi,\{E;10j;KK\}} \cdot e_{ing,\{E;10j;KK\}} + \right. \\ \left. + \frac{e^{-(\lambda + \lambda_W) \cdot T_1} - e^{-(\lambda + \lambda_W) \cdot T_{exp}}}{(\lambda + \lambda_W)} \cdot U_{Corr,Mi,E} \cdot e_{ing,E} \right) + \\ \left. + f_{D,ing,Mi,W,\{E;10j;KK\}}(T_1) + f_{D,ing,Mi,W,E}(T_1 \rightarrow T_{exp}) \right\}$$

### A3.4.2.2 Langzeitabgaben

Nach Aufintegration der während des Kalenderjahres  $T_{Kj}$  mit Milchprodukten aufgenommenen Aktivität ergibt sich folgende Ingestionsdosis:

$$E_{ing,Mi,\{E;10j;KK\}}(T_{Kj}) = \left\{ \frac{Q \cdot \xi'_L}{T_{Kj}} \cdot \frac{1}{Y_{FP}} \cdot \frac{1 - e^{-(\lambda + \lambda_V) \cdot T_{FP}}}{(\lambda + \lambda_V)} \cdot \left( T_{0.5} + \frac{1}{T_{0.5}} \cdot \left[ \frac{1 - e^{-\lambda \cdot T_{0.5}}}{\lambda} \right]^2 \right) + \right. \\ \left. + C_{Bo}(0) \cdot TF_{Bo-FP} \cdot e^{-\lambda \cdot T_E} \cdot \frac{1 - e^{-\lambda \cdot T_1}}{\lambda} \right\} \cdot V_{FP} \cdot TF_{FP-Mi} \cdot f_{cont} \cdot U_{Corr,Mi,\{E;10j;KK\}} \cdot e_{ing,\{E;10j;KK\}} \\ + \frac{Q \cdot \xi'_L}{T_{Kj}} \cdot f_{D,ing,Mi,BL,\{E;10j;KK\}}(T_{Kj}) + \frac{Q_{Vj} \cdot \xi_L}{T_{Kj}} \cdot f_{D,ing,Mi,W,Vj,\{E;10j;KK\}}(T_{Kj})$$

### A3.4.3 Ingestionsdosis aus Fleisch, Fleischprodukten und Eiern

Im Folgenden wird für Fleisch, Fleischprodukte und Eier<sup>1</sup> die folgende korrigierte Verzehrrate zur Berücksichtigung der Zeit zwischen Produktion und Verzehr verwendet:

$$U_{Corr,Fl,\{E;10j;KK\}} = U_{Fl,\{E;10j;KK\}} \cdot e^{-\lambda \cdot T_{Fl}}$$

#### A3.4.3.1 Kurzzeitabgaben

Der Verzehr von Fleisch von Rindern, die bis zum Ende der Expositionszeit  $T_{Exp}$  nach der Abgabe mit kontaminiertem Futtermittel gefüttert werden, führt zu folgender Ingestionsdosis:

- Für  $0 < T_{Exp} \leq T_{FP}$  (im Zeitraum bis zum Ende der Wachstumsdauer von Futterpflanzen):

$$E_{ing,Fl,\{E;10j;KK\}}(T_{Exp}) = \overline{Q \cdot \xi'_K} \cdot \left\{ \frac{f_{cont}}{Y_{FP}} \cdot \frac{1 - e^{-(\lambda + \lambda_V) \cdot T_{Exp}}}{(\lambda + \lambda_V)} \cdot V_{FP} \cdot TF_{FP-Fl} \cdot \right. \\ \left. \cdot U_{Corr,Fl,\{E;10j;KK\}} \cdot e_{ing,\{E;10j;KK\}} + f_{D,ing,Fl,BL,\{E;10j;KK\}}(T_{Exp}) \right\}$$

- Für  $T_{FP} < T_{Exp} \leq T_P$  (im anschliessenden Zeitraum bis zum Ende der Ernteperiode):

$$E_{ing,Fl,\{E;10j;KK\}}(T_{Exp}) = \overline{Q \cdot \xi'_K} \cdot \left\{ \frac{f_{cont}}{Y_{FP}} \cdot \frac{1 - e^{-(\lambda + \lambda_V) \cdot T_{FP}}}{(\lambda + \lambda_V)} \cdot V_{FP} \cdot TF_{FP-Fl} \cdot \right. \\ \left. \cdot U_{Corr,Fl,\{E;10j;KK\}} \cdot e_{ing,\{E;10j;KK\}} + f_{D,ing,Fl,BL,\{E;10j;KK\}}(T_{FP}) \right\}$$

<sup>1</sup> Die Verzehrmenge von Fleisch, Fleischprodukten und Eiern insgesamt wird als Rindfleischverzehr behandelt

- **Für  $T_P < T_{exp} \leq T_P + T_{0.5}$**  (im ersten Winterhalbjahr):

$$E_{ing,Fl,\{E;10j;KK\}}(T_{exp}) = \overline{Q \cdot \xi'_K} \cdot \left\{ \frac{f_{cont}}{Y_{FP}} \cdot \left( \frac{1 - e^{-(\lambda + \lambda_V) \cdot T_{FP}}}{(\lambda + \lambda_V)} + \frac{1 - e^{-\lambda_V \cdot T_{FP}}}{\lambda_V \cdot T_{0.5}} \cdot \frac{e^{-\lambda \cdot T_P} - e^{-\lambda \cdot T_{exp}}}{\lambda} \right) \cdot V_{FP} \cdot TF_{FP-Fl} \cdot U_{Corr,Fl,\{E;10j;KK\}} \cdot e_{ing,\{E;10j;KK\}} + f_{D,ing,Fl,BL,\{E;10j;KK\}}(T_{exp}) \right\}$$

- **Für  $T_P + T_{0.5} < T_{exp} \leq T_1$**  (ab Beginn der Wurzelperiode nach dem ersten Winterhalbjahr bis ein Jahr nach der Freisetzung):

$$\begin{aligned} E_{ing,Fl,\{E;10j;KK\}}(T_{exp}) = & \overline{Q \cdot \xi'_K} \cdot \left\{ \frac{f_{cont}}{Y_{FP}} \cdot \left( \frac{1 - e^{-(\lambda + \lambda_V) \cdot T_{FP}}}{(\lambda + \lambda_V)} + \frac{1 - e^{-\lambda_V \cdot T_{FP}}}{\lambda_V \cdot T_{0.5}} \cdot \frac{e^{-\lambda \cdot T_P} - e^{-\lambda \cdot (T_P + T_{0.5})}}{\lambda} \right) \cdot V_{FP} \cdot TF_{FP-Fl} \cdot U_{Corr,Fl,\{E;10j;KK\}} \cdot e_{ing,\{E;10j;KK\}} + f_{D,ing,Fl,BL,\{E;10j;KK\}}(T_P + T_{0.5}) \right\} + \\ & + \overline{Q \cdot \xi_K} \cdot \left\{ \frac{f_{cont}}{P_{FP}} \cdot TF_{Bo-FP} \cdot \frac{e^{-(\lambda + \lambda_W) \cdot (T_P + T_{0.5})} - e^{-(\lambda + \lambda_W) \cdot T_{exp}}}{(\lambda + \lambda_W)} \cdot V_{FP} \cdot TF_{FP-Fl} \cdot U_{Corr,Fl,\{E;10j;KK\}} \cdot e_{ing,\{E;10j;KK\}} + f_{D,ing,Fl,W,\{E;10j;KK\}}(T_{exp}) \right\} \end{aligned}$$

- **Für  $T_1 < T_{exp} = n \cdot T_1$**  (in den Jahren mit Wurzelaufnahme danach,  $1 < n \leq 100$ , n ganzzahlig):

$$\begin{aligned} E_{ing,Fl,\{E;10j;KK\}}(T_{exp}) = & \overline{Q \cdot \xi'_K} \cdot \left\{ \frac{f_{cont}}{Y_{FP}} \cdot \left( \frac{1 - e^{-(\lambda + \lambda_V) \cdot T_{FP}}}{(\lambda + \lambda_V)} + \frac{1 - e^{-\lambda_V \cdot T_{FP}}}{\lambda_V \cdot T_{0.5}} \cdot \frac{e^{-\lambda \cdot T_P} - e^{-\lambda \cdot (T_P + T_{0.5})}}{\lambda} \right) \cdot V_{FP} \cdot TF_{FP-Fl} \cdot U_{Corr,Fl,\{E;10j;KK\}} \cdot e_{ing,\{E;10j;KK\}} + f_{D,ing,Fl,BL,\{E;10j;KK\}}(T_P + T_{0.5}) \right\} + \\ & + \overline{Q \cdot \xi_K} \cdot \left\{ \frac{f_{cont}}{P_{FP}} \cdot TF_{Bo-FP} \cdot V_{FP} \cdot TF_{FP-Fl} \cdot \left( \frac{e^{-(\lambda + \lambda_W) \cdot (T_P + T_{0.5})} - e^{-(\lambda + \lambda_W) \cdot T_1}}{(\lambda + \lambda_W)} \cdot U_{Corr,Fl,\{E;10j;KK\}} \cdot e_{ing,\{E;10j;KK\}} + \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{e^{-(\lambda + \lambda_W) \cdot T_1} - e^{-(\lambda + \lambda_W) \cdot T_{exp}}}{(\lambda + \lambda_W)} \cdot U_{Corr,Fl} \cdot e_{ing,E} \right) + f_{D,ing,Fl,W,\{E;10j;KK\}}(T_1) + f_{D,ing,Fl,W,E}(T_1 \rightarrow T_{exp}) \right\} \end{aligned}$$

### A3.4.3.2 Langzeitabgaben

Nach Aufintegration der während des Kalenderjahres  $T_{Kj}$  mit Milchprodukten aufgenommenen Aktivität ergibt sich folgende Ingestionsdosis:

$$E_{ing,Fl,\{E;10j;KK\}}(T_{Kj}) = \left\{ \frac{Q \cdot \xi'_L}{T_{Kj}} \cdot \frac{1}{Y_{FP}} \cdot \frac{1 - e^{-(\lambda + \lambda_V) \cdot T_{FP}}}{(\lambda + \lambda_V)} \cdot \left( T_{0.5} + \frac{1}{T_{0.5}} \cdot \left[ \frac{1 - e^{-\lambda \cdot T_{0.5}}}{\lambda} \right]^2 \right) \cdot + \right. \\ \left. + C_{Bo}(0) \cdot TF_{Bo-FP} \cdot e^{-\lambda \cdot T_E} \cdot \frac{1 - e^{-\lambda \cdot T_1}}{\lambda} \right\} \cdot V_{FP} \cdot TF_{FP-Fl} \cdot f_{cont} \cdot U_{Corr,Fl,\{E;10j;KK\}} \cdot e_{ing,\{E;10j;KK\}} \\ + \frac{Q \cdot \xi'_L}{T_{Kj}} \cdot f_{D,ing,Fl,BL,\{E;10j;KK\}}(T_{Kj}) + \frac{Q_{Vj} \cdot \xi'_L}{T_{Kj}} \cdot f_{D,ing,Fl,W,Vj,\{E;10j;KK\}}(T_{Kj})$$

### A3.4.4 Bezeichnungen

Im Kapitel A3.4 bedeuten die Parameter Folgendes, sofern nicht schon vorher erklärt:

|                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $C_{Bo}(0)$                       | Konzentration des betrachteten Nuklids im Boden zu Beginn eines Kalenderjahres bei Langzeitabgaben in Bq/kg                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| $E_{ing,PP,\{E;10j;KK\}}$         | altersgruppenspezifische Ingestionsdosis durch Verzehr von pflanzlichen Produkten in Sv                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| $E_{ing,Mi,\{E;10j;KK\}}$         | altersgruppenspezifische Ingestionsdosis durch Verzehr von Milch und Milchprodukten in Sv                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| $E_{ing,Fl,\{E;10j;KK\}}$         | altersgruppenspezifische Ingestionsdosis durch Verzehr von Fleisch, Fleischprodukten und Eiern in Sv                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| $e_{ing,\{E;10j;KK\}}$            | altersgruppenspezifischer Ingestionsdosisfaktor in Sv/Bq                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| $f_{cont}$                        | Anteil der durch die Abgabe kontaminierten Produkte im Umkreis von 5 km (wenn keine standortspezifischen Parameter vorliegen, sind 0,125 für Kurzzeit- und 0,25 für Langzeitabgaben einzusetzen)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| $f_{D,ing,\dots}(T_{\{exp;Kj\}})$ | von der Expositionszeit ( $T_{exp}$ resp. $T_{Kj}$ ) abhängige Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung des Dosisbeitrags aus Ingestion für die nach der Abgabe gebildeten Tochterprodukte.<br><br>Für Kurzzeitabgaben mit anschliessenden Expositionszeiten $T_{exp}$ von 1 und 50 Jahren sowie für Langzeitabgaben mit konstant angenommenen Abgaben $Q$ im betrachteten Kalenderjahr und $Q_{Vj}$ während 100 Vorjahren gelten die Korrekturfaktoren $f_{D,ing,\{PP;Mi;Fl\},\{BL;W\},\{E;10j;KK\}}(T_{exp})$ und $f_{D,ing,\{PP;Mi;Fl\},\{BL;W\},\{E;10j;KK\}}(T_{Kj})$ gemäss Tabelle 4.3 der Beilage „Parameter für Dosisberechnungen nach Richtlinie ENSI-G14“. Für Nuklide ohne Töchter oder wenn der Beitrag der Töchter z. B. für andere Expositionszeiten oder für andere, über die Vorjahre oder das Kalenderjahr nicht |

invariant angenommenen Langzeitablagerungen in den Wurzelbereich mit einem separaten Algorithmus ermittelt und berücksichtigt wird, sind die dann nicht anwendbaren  $f_{D,ing,...}(T_{exp}) = 0$  zu setzen.

|                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $P_{\{PP;FP\}}$            | Flächenmasse des Erdreichs im Wurzelbereich ( $P_{PP}$ für pflanzliche Produkte = 280 kg/m <sup>2</sup> , $P_{FP}$ für Futterpflanzen = 120 kg/m <sup>2</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| $Q, Q_{vj}$                | Gesamtabgabe über die Freisetzungsdauer resp. über das Kalenderjahr in Bq; $Q_{vj}$ bezeichnet bei Langzeitaufgaben die konstant angenommene Jahresabgaben der Vorjahre<br><br>Für Iod ist zu beachten, dass Abgaben von elementarem, aerosolförmigem Iod resp. organischen Iodverbindungen unterschiedlich am Boden resp. auf die Pflanzenoberfläche abgelagert werden und daher separat behandelt werden müssen. Für die Abgaben von organischen Iodverbindungen ist die Ablagerung dabei in der Regel vernachlässigbar. Im Normalbetrieb ist anzunehmen, dass die Iodabgaben zu 50 % elementar, zu 25 % aerosolförmig und zu 25 % organisch erfolgen. Für Störfallbetrachtungen ergibt sich die Aufteilung der Iodabgaben aus den Quelltermannahmen für den jeweiligen Störfall. |
| $T$                        | Expositionsdauer in Jahren                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| $T_E$                      | Beginn der Ernteperiode relativ zum Kalenderjahr (0,3 Jahre)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| $T_P$                      | Dauer zwischen dem angenommenen Abgabezeitpunkt und dem Ende der Ernteperiode (0,167 Jahre)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| $T_{FMI}, T_{LMI}, T_{FI}$ | Zeit zwischen Produktion und Verzehr von Frischmilchprodukten, gelagerten Milchprodukten und Fleischprodukten                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| $TF_{\{Bo-FP;Bo-PP\}}$     | Transferfaktor von Radionukliden über den Wurzelbereich vom Boden in Futterpflanzen resp. pflanzliche Produkte                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| $TF_{FP-Mi}$               | Transfer von Radionukliden aus dem Futter in die Milch in Tag pro l                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| $TF_{FP-Fl}$               | Transfer von Radionukliden aus dem Futter ins Fleisch in Tag/kg                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| $U_{Fl}$                   | Verzehrrate für Fleisch, Fleischprodukte und Eier in kg/Jahr                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| $U_{PPO}, U_{PPT}$         | Verzehrrate für Oberflächengemüse und Gemüse in kg/Jahr                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| $U_{FMI}, U_{LMI}$         | Verzehrrate für Frischmilch und gelagerten Milchprodukten in l/Jahr                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| $V_{FP}$                   | täglicher Futterbedarf von Milchkühen in kg/d                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| $Y_{\{PP;FP\}}$            | Flächenbewuchsdichte für pflanzliche Produkte ( $Y_{PP} = 2,2$ kg/m <sup>2</sup> ) resp. Futterpflanzen ( $Y_{FP} = 0,85$ kg/m <sup>2</sup> );                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| $\lambda$                  | radioaktive Zerfallskonstante in Jahr <sup>-1</sup> ;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

|                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\lambda_V$                    | nicht radioaktivitätsbedingte Abreicherungskonstante für Ablagerungen auf Pflanzenoberflächen in Jahr <sup>-1</sup>                                                                                                                                                                                       |
| $\lambda_W$                    | nicht radioaktivitätsbedingte Abreicherungskonstante für Ablagerungen im Wurzelbereich von Pflanzen in Jahr <sup>-1</sup>                                                                                                                                                                                 |
| $\xi_K, \xi_L, \xi'_K, \xi'_L$ | totale Kurz- und über das Jahr gemittelte Langzeita blagerungsfaktoren auf Boden und Pflanzenoberflächen in m <sup>-2</sup><br><br>Ergeben sich für die $\xi'_L$ signifikante Unterschiede zwischen dem Sommer- und dem Winterhalbjahr, ist der nur über das Sommerhalbjahr gemittelte Wert zu verwenden. |

## A3.5 Ingestion (Luftpfad: <sup>14</sup>C)

### A3.5.1 Formeln

Bei Langzeita bgaben (und Kurzzeita bgaben nur im Einzelfall nach Prüfung der Anwendbarkeit), inklusive Berücksichtigung des Verzehrs von Lagerprodukten im Winter, gilt:

$$E_{ing,C-14,\{E;10j;KK\}} = \frac{Q}{k_c} \cdot \chi_{\{K;L\}} \cdot f_{cont} \cdot \frac{f_K}{\Psi} \cdot (U_{PPT,\{E;10j;KK\}} + U_{Mi,\{E;10j;KK\}} + U_{FL,\{E;10j;KK\}}) \cdot e_{ing,\{E;10j;KK\}}$$

Für Kurzzeita bgaben ist die so berechnete Dosis mit 2 zu multiplizieren, um den Verzehr von Lagerprodukten im Winter zu berücksichtigen.

### A3.5.2 Bezeichnungen

|                             |                                                                                                                                                                                                   |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $E_{ing,C-14,\{E;10j;KK\}}$ | altersspezifische Ingestionsdosis verursacht durch <sup>14</sup> C in Sv                                                                                                                          |
| $e_{ing,\{E;10j;KK\}}$      | altersspezifischer Ingestionsdosisfaktor für <sup>14</sup> C in Sv/Bq                                                                                                                             |
| $f_{cont}$                  | Anteil der durch die Abgabe kontaminierten Produkte im Umkreis von 5 km (wenn keine standortspezifischen Parameter vorliegen, sind 0,125 für Kurzzeit- und 0,25 für Langzeita bgaben einzusetzen) |
| $f_K$                       | Massenanteil des Kohlenstoffs in der Nahrung (0,125)                                                                                                                                              |
| $k_c$                       | Anzahl Sekunden in einem Jahr ( $3,16 \cdot 10^7$ )                                                                                                                                               |
| $Q$                         | Gesamte Abgabe von <sup>14</sup> C (in der Form von CO <sub>2</sub> ) im Kalenderjahr für Langzeita bgaben resp. im Freisetzungszeitraum für Kurzzeita bgaben                                     |
| $U_{FL,\{E;10j;KK\}}$       | altersspezifische Verzehr rate für Fleisch in kg/Jahr                                                                                                                                             |
| $U_{Mi,\{E;10j;KK\}}$       | totale altersspezifische Verzehr rate für Milch ( $U_{FMi,\{E;10j;KK\}} + U_{LMI,\{E;10j;KK\}}$ in kg/Jahr) – für Milch wird angesetzt 1 l/Jahr = 1 kg/Jahr                                       |

|                        |                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $U_{PPT,\{E;10j;KK\}}$ | <i>totale Verzehrrate für Gemüse (total inklusive Wurzelgemüse) in kg/Jahr</i>                                                                                                                                                 |
| $\chi_{\{K;L\}}$       | <i>Kurzzeitausbreitungsfaktor resp. über das Jahr gemittelter (oder bei signifikanten Unterschieden zwischen Sommer- und Winterhalbjahr über das Sommerhalbjahr gemittelter) Langzeitausbreitungsfaktor in s/m<sup>3</sup></i> |
| $\Psi$                 | <i>Kohlenstoffkonzentration in der Luft (<math>1,8 \cdot 10^{-4}</math> kg/m<sup>3</sup>)</i>                                                                                                                                  |

Neben der Ingestion ist für <sup>14</sup>C für alle chemischen Formen gegebenenfalls der Dosisbeitrag durch Inhalation gemäss Kap. A3.2 zu berücksichtigen, wobei aber für eine Abgabe von CO<sub>2</sub> der Ingestionsbeitrag bei Weitem dominiert.

## A3.6 Ingestion (Luftpfad: Tritium)

### A3.6.1 Formeln

Bei Langzeitabgaben (und Kurzzeitabgaben nur im Einzelfall nach Prüfung der Anwendbarkeit), inklusive Berücksichtigung des Verzehrs von Lagerprodukten im Winter, gilt:

$$E_{ing,HTO,\{E;10j;KK\}} = Q \cdot \left( f_{Lu} \cdot \frac{\chi_{\{K;L\}}}{k_c \cdot \Phi} + f_N \cdot \frac{W_{\{K;L\},HTO}}{I_N \cdot k_N} \right) \cdot f_{Wa} \cdot f_{cont} \cdot \\ \cdot (U_{PPT,\{E;10j;KK\}} + f_F [U_{Mi,\{E;10j;KK\}} + U_{Fl,\{E;10j;KK\}}]) \cdot e_{ing,\{E;10j;KK\}}$$

Für Kurzzeitabgaben ist die so berechnete Dosis mit 2 zu multiplizieren, um den Verzehr von Lagerprodukten im Winter zu berücksichtigen;  $f_{Lu}$  und  $f_N$  sind im Einzelfall zu bestimmen.

Liegt für die Bestimmung des Langzeit-Washout-Faktors keine vierparametrische Wetterstatistik vor, ist ersatzweise von einem  $W_L$  von  $0,017 \cdot \chi_L$  auszugehen.

Neben der Ingestion ist für Tritium für alle chemischen Formen gegebenenfalls der Dosisbeitrag durch Inhalation gemäss Kap. A3.2 zu berücksichtigen.

### A3.6.2 Bezeichnungen

|                            |                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $E_{ing,HTO,\{E;10j;KK\}}$ | <i>Ingestionsdosis durch tritiiertes Wasser in Sv</i>                                                                                                                                 |
| $e_{ing,\{E;10j;KK\}}$     | <i>altersgruppenspezifischer Ingestionsdosisfaktor in Sv/Bq</i>                                                                                                                       |
| $f_{cont}$                 | <i>Anteil der durch die Abgabe kontaminierten Produkte im Umkreis von 5 km (wenn keine standortspezifischen Parameter vorliegen 0,125 für Kurzzeit- und 0,25 für Langzeitabgaben)</i> |
| $f_F$                      | <i>Wasseranteil in Milch und Fleisch, der aus dem Futter, d. h. nicht aus dem Tränkwasser stammt (0,4)</i>                                                                            |
| $f_{Lu}$                   | <i>Wasseranteil in den Pflanzen, der aus der Luftfeuchte stammt (0,3 für Langzeitabgaben, für Kurzzeitabgaben im Einzelfall zu bestimmen)</i>                                         |

|                        |                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $f_N$                  | Wasseranteil in den Pflanzen, der aus dem Niederschlag stammt (0,7 für Langzeitabgaben, für Kurzzeitabgaben im Einzelfall zu bestimmen)                                                                                  |
| $f_{Wa}$               | mittlerer Gewichtsanteil von Wasser in Nahrungsmitteln (0,75)                                                                                                                                                            |
| $I_N$                  | für Langzeitabgaben Niederschlagsmenge im Sommerhalbjahr resp. für Kurzzeitabgaben Niederschlagsmenge im Freisetzezeitraum                                                                                               |
| $k_c$                  | Anzahl Sekunden in einem Jahr ( $3,16 \cdot 10^7$ )                                                                                                                                                                      |
| $k_N$                  | Umrechnungskonstante von mm Niederschlag in kg pro m <sup>2</sup> (1)                                                                                                                                                    |
| $Q$                    | gesamte Abgabe von tritiiertem Wasserdampf im Kalenderjahr für Langzeitabgaben resp. im Freisetzezeitraum für Kurzzeitabgaben                                                                                            |
| $U_{Fl,\{E;10j;KK\}}$  | altersspezifische Verzehrrate für Fleisch in kg/Jahr                                                                                                                                                                     |
| $U_{Mi,\{E;10j;KK\}}$  | totale altersspezifische Verzehrrate für Milch ( $U_{Fmi,\{E;10j;KK\}} + U_{Lmi,\{E;10j;KK\}}$ in kg/Jahr) – für Milch wird angesetzt 1 l/Jahr = 1 kg/Jahr                                                               |
| $U_{PPT,\{E;10j;KK\}}$ | totale altersspezifische Verzehrrate für Gemüse (total inklusive Wurzelgemüse) in kg/Jahr                                                                                                                                |
| $W_{\{K;L\},HTO}$      | Kurz- resp. über das Jahr gemittelter (oder bei signifikanten Unterschieden zwischen Sommer- und Winterhalbjahr über das Sommerhalbjahr gemittelter) Langzeit-Washout-Faktor in m <sup>2</sup> für tritiiertes Wasser    |
| $\chi_{\{K;L\}}$       | Kurzzeitausbreitungsfaktor resp. über das Jahr gemittelter (oder bei signifikanten Unterschieden zwischen Sommer- und Winterhalbjahr über das Sommerhalbjahr gemittelter) Langzeitausbreitungsfaktor in s/m <sup>3</sup> |
| $\Phi$                 | mittlere absolute Luftfeuchtigkeit in kg/m <sup>3</sup> ( $9 \cdot 10^{-3}$ )                                                                                                                                            |

## A3.7 Ingestion (Wasserpfad, ohne Tritium)

### A3.7.1 Formeln

Im Folgenden werden für Milch, Fleisch und Fisch die folgenden, für die Zeit zwischen Produktion und Verzehr korrigierten Verzehrdaten verwendet:

$$U_{Corr,Mi,\{E;10j;KK\}} = (U_{Fmi,\{E;10j;KK\}} \cdot e^{-\lambda \cdot T_{Fmi}} + U_{Lmi,\{E;10j;KK\}} \cdot e^{-\lambda \cdot T_{Lmi}}) \text{ für Milch,}$$

$$U_{Corr,Fl,\{E;10j;KK\}} = U_{Fl,\{E;10j;KK\}} \cdot e^{-\lambda \cdot T_{Fl}} \text{ für Fleisch und}$$

$$U_{Corr,Fi,\{E;10j;KK\}} = U_{Fi,\{E;10j;KK\}} \cdot e^{-\lambda \cdot T_{Fi}} \text{ für Fisch.}$$

Die Dosis ergibt sich für Langzeitabgaben und – sehr konservativ auch für Kurzzeitabgaben - gemäss folgender Formel:

$$E_{ing,WP,\{E;10j,KK\}} = \frac{Q}{J} \cdot \{f_{cont,TW} \cdot [U_{TW,\{E;10j,KK\}} + V_{TW} \cdot (TF_{FP-Mi} \cdot U_{Corr,Mi,\{E;10j,KK\}} + TF_{FP-Fl} \cdot U_{Corr,Fl,\{E;10j,KK\}})] + TF_{Wa-Fi} \cdot U_{Corr,Fi,\{E;10j,KK\}}\} \cdot e_{ing,\{E;10j,KK\}}$$

### A3.7.2 Bezeichnungen

|                                    |                                                                                                                       |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $E_{ing,WP,\{E;10j,KK\}}$          | altersgruppenspezifische Ingestionsdosis über den Wasserpfad in Sv                                                    |
| $e_{ing,\{E;10j,KK\}}$             | altersgruppenspezifischer Ingestionsdosisfaktor in Sv/Bq                                                              |
| $f_{cont,TW}$                      | Anteil des Trinkwassers, der aus Oberflächengewässern stammt (0,2)                                                    |
| $J$                                | für Jahres- resp. Kurzzeitabgaben massgebender Durchfluss des jeweiligen Flusses (Vorfluters) in m <sup>3</sup> /Jahr |
| $Q$                                | totale Abgaben an das Abwasser im Kalenderjahr resp. im Freisetzeungszeitraum in Bq                                   |
| $TF_{Wa-Fi}$                       | Transferfaktor vom Wasser in den Fisch in m <sup>3</sup> /kg                                                          |
| $TF_{FP-Mi}$                       | Transfer von Radionukliden aus dem Futter in die Milch in Tag pro l                                                   |
| $TF_{FP-Fl}$                       | Transfer von Radionukliden aus dem Futter ins Fleisch in Tag/kg                                                       |
| $T_{FMi}, T_{LMi}, T_{Fi}, T_{Fl}$ | Zeit zwischen Produktion und Verzehr von Frischmilch, gelagerten Milchprodukten, Fisch, Fleisch                       |
| $U_{Fi,\{E;10j,KK\}}$              | jährlicher Verzehr von Fisch in kg/Jahr                                                                               |
| $U_{Fl,\{E;10j,KK\}}$              | jährlicher Verzehr von Fleisch in kg/Jahr                                                                             |
| $U_{FMi,\{E;10j,KK\}}$             | jährlicher Verzehr von Frischmilchprodukten in kg/Jahr                                                                |
| $U_{LMi,\{E;10j,KK\}}$             | jährlicher Verzehr von Lagermilchprodukten in kg/Jahr                                                                 |
| $U_{TW,\{E;10j,KK\}}$              | jährlicher Trinkwasserkonsum in m <sup>3</sup> /Jahr                                                                  |
| $V_{TW}$                           | täglicher Wasserverbrauch von Rindern in m <sup>3</sup> /Tag (0,075)                                                  |
| $\lambda$                          | radioaktive Zerfallskonstante in Jahr <sup>-1</sup>                                                                   |

## A3.8 Ingestion (Wasserpfad: tritiiertes Wasser; HTO)

### A3.8.1 Formeln

Für die Berechnung der Ingestion von Tritium über den Wasserpfad werden Trinkwasser- und Fischverzehr sowie Ingestion von Milch und Fleisch von Tieren, die mit Flusswasser getränkt

wurden, berücksichtigt. Es wird angenommen, dass der Wassergehalt das gleiche Verhältnis von HTO/H<sub>2</sub>O respektive Tritiumaktivität pro kg Wasser aufweist, wie das Wasser in der Tränke resp. im Flusswasser. Damit gilt für die Gesamt-Tritiumdosis aus dem Abwasserpfad die folgende Formel:

$$E_{ing,WP,HTO,\{E;10j;KK\}} = \frac{Q}{J} \cdot \left\{ f_{cont,TW} \cdot \left[ U_{TW,\{E;10j;KK\}} + \frac{f_{Wa} \cdot (1 - f_F)}{k_{mk}} \cdot (U_{Mi,\{E;10j;KK\}} + U_{FL,\{E;10j;KK\}}) \right] + \frac{f_{Wa}}{k_{mk}} \cdot U_{Fi,\{E;10j;KK\}} \right\} \cdot e_{ing,\{E;10j;KK\}}$$

### A3.8.2 Bezeichnungen

|                               |                                                                                                                            |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $E_{ing,WP,HTO,\{E;10j;KK\}}$ | <i>altersgruppenspezifische Ingestionsdosis über den Wasserpfad in Sv für tritiiertes Wasser</i>                           |
| $e_{ing,\{E;10j;KK\}}$        | <i>altersgruppenspezifischer Ingestionsdosisfaktor in Sv/Bq</i>                                                            |
| $f_{cont,TW}$                 | <i>Anteil des Trinkwassers, der aus Oberflächengewässern stammt (0,2)</i>                                                  |
| $f_{Wa}$                      | <i>mittlerer Gewichtsanteil von Wasser in Nahrungsmitteln (0,75)</i>                                                       |
| $1 - f_F$                     | <i>Wasseranteil in Milch und Fleisch aus dem Tränkewasser (0,6)</i>                                                        |
| $J$                           | <i>Für Jahres- resp. Kurzzeitabgaben massgebender Durchfluss des jeweiligen Flusses (Vorfluters) in m<sup>3</sup>/Jahr</i> |
| $k_{mk}$                      | <i>Umrechnungsfaktor kg zu m<sup>3</sup> für Wasser (1000 kg/m<sup>3</sup>)</i>                                            |
| $Q$                           | <i>totale Abgaben an das Abwasser im Kalenderjahr resp. im Freisetzungszeitraum in Bq</i>                                  |
| $U_{Fi,\{E;10j;KK\}}$         | <i>jährlicher Verzehr von Fisch in kg/Jahr</i>                                                                             |
| $U_{FL,\{E;10j;KK\}}$         | <i>jährlicher Verzehr von Fleisch in kg/Jahr</i>                                                                           |
| $U_{FMI,\{E;10j;KK\}}$        | <i>jährlicher Verzehr von Frischmilchprodukten in kg/Jahr</i>                                                              |
| $U_{LMI,\{E;10j;KK\}}$        | <i>jährlicher Verzehr von gelagerten Milchprodukten in kg/Jahr</i>                                                         |
| $U_{Mi,\{E;10j;KK\}}$         | <i>Summe aus frischer <math>U_{FMI,\{E;10j;KK\}}</math> und gelagerter Milch <math>U_{LMI,\{E;10j;KK\}}</math></i>         |
| $U_{TW,\{E;10j;KK\}}$         | <i>jährlicher Trinkwasserkonsum in m<sup>3</sup>/Jahr</i>                                                                  |



## Anhang 4 Parameter

Die für die Berechnung zu verwendenden Parameter richten sich nach der Beilage „Parameter für Dosisberechnungen nach Richtlinie ENSI-G14“, welche als integraler Bestandteil dieser Richtlinie zu betrachten ist.

Die Beilage „Parameter für Dosisberechnungen nach Richtlinie ENSI-G14“ gliedert sich in folgende Tabellen:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tabelle 1: Allgemeine Parameter und Zahlenwerte (gegebenenfalls inklusive Referenz)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Tabelle 2: Polynomfaktoren und andere Parameter zur Bestimmung der Submersions-Korrekturfaktoren $KF_{sub,shape}$ und $KF_{sub,axis}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Tabelle 2.1: Polynomfaktoren zur Bestimmung des Korrekturfaktors $KF_{sub,shape}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Tabelle 2.2: Polynomfaktoren zur Bestimmung des Korrekturfaktors $KF_{sub,axis}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Tabelle 3: Inhalation und Ingestion: Atemrate sowie Verzehrsmengen sowie weitere, für die Lebensmittelgruppen spezifische Parameter                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Tabelle 4: Nuklidspezifische Parameter                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Tabelle 4.1: Dosisfaktoren für Einzelpersonen der Bevölkerung (Aerosole AMAD = 1 µm)<br><i>Zur Beachtung: Die Tabelle 4.1 enthält im Sinne der Benutzerfreundlichkeit auch Dosisfaktoren für Nuklide, die in der Strahlenschutzverordnung aufgeführt sind. Die Dosisfaktoren entstammen derselben Quelle; sollten dennoch Abweichungen festgestellt werden, sind die Werte der StSV massgebend und die festgestellte Abweichung ist der zuständigen Aufsichtsbehörde zur Klärung zu melden.</i> |
| Tabelle 4.2: Transferfaktoren<br><i>Luftpfad: Boden-pflanzliche Produkte, Boden-Futterpflanzen, Futterpflanzen-Milch, Futterpflanzen-Fleisch</i><br><i>Wasserpfad: Wasser-Fisch</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Tabelle 4.3: Faktoren zur Berücksichtigung von Tochterprodukten zur Dosis durch das Mutternuklid                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Tabelle 5: Standardnuklidgemische für Normalbetriebsrechnungen für Siede- und Druckwasserreaktoren für die Abgabelimitierung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Tabelle 5.1: Edelgase (Abluft)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Tabelle 5.2: Aerosole (Abluft)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Tabelle 5.3: Abgaben mit dem Abwasser (ohne tritiiertes Wasser)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Tabelle 6: Vordefinierte Ausbreitungs- und Ablagerungsfaktoren für die schweizerischen Kernkraftwerke im Betrieb für Limitierungsrechnungen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Tabelle 6.1: Ausbreitungsfaktoren                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Tabelle 6.2: Fallout- und Washoutfaktoren                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |



---

Herausgeber:  
Eidgenössisches  
Nuklearsicherheits-  
inspektorat ENSI  
CH-5201 Brugg

+41 56 460 84 00  
[info@ensi.ch](mailto:info@ensi.ch)  
[www.ensi.ch](http://www.ensi.ch)

© ENSI  
Ausgabe Mai 2025

---

ENSI-G14

