

# **Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung aufgrund von Emissionen radioaktiver Stoffe und der Direktstrahlung aus Kernanlagen**

Ausgabe **Monat Jahr** (gültig ab **Tag Monat Jahr**) (Fassung für die externe Anhörung, März 2024)

**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>Strahlenexposition in der Umgebung für den Normalbetrieb (SE1) und bei Betriebsstörungen (SE2): Kurzzeitabgaben</b>	<b>2</b>
4.1	Regeln und Annahmen für die Ausbreitung freigesetzter radioaktiver Stoffe	2
4.2	Regeln und Annahmen für die Dosisberechnung	4
4.3	Weitere Regeln und Annahmen im Rahmen der Abgabelimitierung und -optimierung	7
<b>5</b>	<b>Strahlenexposition in der Umgebung für den Normalbetrieb (SE1) und bei Betriebsstörungen (SE2): Langzeitabgaben</b>	<b>9</b>
5.1	Regeln und Annahmen für die Ausbreitung freigesetzter radioaktiver Stoffe	9
5.2	Regeln und Annahmen für die Dosisberechnung	11
5.3	Weitere Regeln und Annahmen im Rahmen der Abgabelimitierung und -optimierung	13
<b>6</b>	<b>Potenzielle Strahlenexpositionen in der Umgebung (Auslegungsstörfälle SE3 und auslegungsüberschreitende Störfälle SE4)</b>	<b>15</b>
6.1	Regeln und Annahmen für die Ausbreitung freigesetzter radioaktiver Stoffe	15
6.2	Regeln und Annahmen für die Dosisberechnung	17
6.3	Weitere Regeln und Annahmen im Rahmen der Anlagenauslegung (SE3)	20
6.4	Weitere Regeln und Annahmen bei auslegungsüberschreitenden Störfällen (SE4)	20
<b>7</b>	<b>Übergangsfrist</b>	<b>21</b>
<b>Anhang 1:</b>	<b>Aktivitätstransport in der Luft, Ablagerung auf den Bodenoberflächen und Migration der Aktivität in die Nahrungskette</b>	<b>22</b>
A1.1	Aktivitätstransport in der Luft	22
A1.2	Fallout- bzw. Washoutfaktoren	25

A1.3	Zeitabhängige Aktivität auf dem und im Boden	27
A1.4	Zeitabhängige Aktivität auf und in Konsum- resp. Futterpflanzen	29
A1.5	Hilfsformeln zur Ermittlung abgeleiteter Parameter in den Anhängen A1.1 bis A1.4	31
<b>Anhang 2</b>	<b>Berechnung der Dosen für die repräsentativen Personen in der Umgebung</b>	<b>35</b>
A2.1	Externe Strahlung unter der Fortluftfahne (Edelgase, Iod und Aerosole)	35
A2.2	Inhalation und Resuspension (Luftpfad: Iod, Aerosole)	36
A2.3	Bodenstrahlung (Luftpfad: Iod, Aerosole)	37
A2.4	Ingestion (Luftpfad: Iod, Aerosole)	39
A2.5	Ingestion (Luftpfad: <sup>14</sup> C)	47
A2.6	Ingestion (Luftpfad: Tritium)	48
A2.7	Ingestion (Wasserpfad, ohne Tritium)	49
A2.8	Ingestion (Wasserpfad: tritiiertes Wasser; HTO)	50
<b>Anhang 3</b>	<b>Für die Berechnungen zu verwendende Parameter</b>	<b>52</b>
<b>Anhang 4</b>	<b>Begriffe (gemäss ENSI-Glossar)</b>	<b>53</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) 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 (vgl. Definition im Anhang A4) aus der Bevölkerung in der Umgebung einer Kernanlage aus Abgaben radioaktiver Stoffe über Fortluft und Abwasser 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 bzw. 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 nicht anders geregelt. Sie gilt zudem für andere Betriebe im Aufsichtsbereich des BAG oder der Suva, wenn sie oder Teile davon ggf. mit Anpassungen in Bewilligungen des BAG oder äquivalenten Dokumenten als anwendbar erklärt werden.

## **4 Strahlenexposition in der Umgebung für den Normalbetrieb (SE1) und bei Betriebsstörungen (SE2): Kurzzeitabgaben**

### **4.1 Regeln und Annahmen für die 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 Anhang A1.1 unter Berücksichtigung der Orographie zu erfolgen. Alternative Ausbreitungsmodelle (Lagrange etc.) sind zu begründen.
- b. Die Festlegung der während der Wolkenphase für die repräsentativen Personen (vgl. Kapitel 4.2.1) massgebenden Kurzeitenausbreitungsfaktoren  $\chi_K$  für Inhalation resp. der submersionskorrigierten Kurzeitenausbreitungsfaktoren  $\chi_{K,S}$  für Submersion hat gemäss den Formeln in Anhang A1.1.1 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 m/s und einer invarianten Windrichtung auszugehen.
  2. Windrichtung und Wetterkategorie (Pasquill-Gifford Stabilitätsklassen A bis F) sind so zu wählen, dass unter Berücksichtigung der Orographie für die repräsentativen Personen die höchste Gesamtdosis aus allen Expositionspfaden (vgl. Kap. 4.2.2.1) resultiert.
- c. Für die Kernkraftwerke sind die in Tabelle 6.1 der Beilage zu dieser Richtlinie «Für die Berechnungen nach ENSI-G14 zu verwendende Parameter» tabellierten Ausbreitungsfaktoren für  $\chi_K$  und  $\chi_{K,S}$  zu verwenden.

- d. Neue Berechnungen der Kurzzeit-Ausbreitungsfaktoren müssen durchgeführt resp. die bestehenden Berechnungen überprüft werden, wenn sich die relevanten Parameter der Abgabestelle wie Kaminhöhe, Kamindurchmesser (aussen und innen) und Luftvolumenstrom resp. Ausstossgeschwindigkeit um mehr als 10 % von den Parametern unterscheiden, welche der Berechnung der in der Beilage zu dieser Richtlinie «Für die Berechnungen nach ENSI-G14 zu verwendende Parameter» tabellierten Werte für  $\chi_K$  und  $\chi_{K,S}$  zu Grunde lagen. Die neu berechneten Werte sind dem ENSI zu melden.

#### 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 Anhang A1.2 berücksichtigt werden.
- b. Die Festlegung der während der Bodenphase für die repräsentativen Personen (vgl. Kapitel 4.2.1) massgebenden Kurzzeitwashoutfaktoren  $W_K$  und Kurzzeitfalloutfaktoren  $F_K$  hat gemäss den Formeln in Anhang A1.2 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 m/s, eine invariante Windrichtung und eine konstanten Niederschlagsintensität von 2 mm pro Stunde angesetzt. Für die Zeit zwischen 8 und 24 Stunden ist von einer Niederschlagsintensität von 1 mm 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 die höchste Gesamtdosis aus allen Expositionspfaden (vgl. Kap. 4.2.2.1) resultiert.
- c. Für die Kernkraftwerke sind die in Tabelle 6.2 der Beilage zu dieser Richtlinie «Für die Berechnungen nach ENSI-G14 zu verwendende Parameter» tabellierten Washout- und Falloutfaktoren für  $W_K$  und  $F_K$  zu verwenden.
- d. Neue Berechnungen der Kurzzeit-Washout und -Fallout-Faktoren müssen durchgeführt resp. die bestehenden Berechnungen überprüft werden, wenn sich die relevanten Parameter der Abgabestelle wie Kaminhöhe, Kamindurchmesser (aussen und innen) und Luftvolumenstrom resp. Ausstossgeschwindigkeit um mehr als 10 % von den Parametern unterscheiden, welche der Berechnung der in der Beilage zu dieser Richtlinie «Für die

Berechnungen nach ENSI-G14 zu verwendende Parameter» tabellierten Werte für  $W_K$  und  $F_K$  zugrunde lagen. 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 Anhang A1.2.3.

#### 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 mit den in den Anhängen A1.3.1.1 und A1.3.2.1 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 Anhang A1.4.1 zu erfolgen.

## 4.2 Regeln und Annahmen für die Dosisberechnung

### 4.2.1 Repräsentative Personen

- a. Die Dosisberechnungen haben für hypothetisch festgelegte, repräsentative Personen (vgl. Definition im Anhang A4) 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- resp. Streustrahlung aus der Anlage entsteht. Dabei dürfen Distanzen zum Abgabeort kleiner als 200 m und Orte innerhalb des umzäunten Anlageareals ausgeschlossen werden. Daran anschliessend halten sie sich während der restlichen Freisetzungsphase am Ort ihres Lebensmittelpunkts gemäss nachfolgender Ziffer 2 mit den dort üblichen Langzeit-Lebensgewohnheiten betreffend Aufenthalt im Haus und im Freien (Berücksichtigung der Abschirmung) auf.
  2. Sie haben ihren Lebensmittelpunkt (Wohn- oder Arbeitsort) in der anschliessenden Bodenphase am Ort mit der höchsten Ablagerung von Aktivität auf dem Boden. Dabei dürfen Distanzen kleiner 500 m zum Abgabeort und nicht bewohnte Gebiete ausgeschlossen werden.



3. Sie decken ihren gesamten Lebensmittelbedarf an Obst, Früchten, Gemüse, Getreide, Milch und Fleisch/Eier gemäss Tabelle 3 in der Beilage zu dieser Richtlinie «Für die Berechnungen nach ENSI-G14 zu verwendende Parameter» lokal aus einem Gebiet im Umkreis von 5 km 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 Ziffer 3 durchgeführt, so ist konservativ anzusetzen, dass 12,5 % der Lebensmittel vom Ort mit der höchsten Ablagerung von Aktivität auf den Pflanzenoberflächen resp. dem Boden (vgl. Ziffer 2) stammen und dass der Rest der Lebensmittel nicht kontaminiert ist. Bei der Bestimmung dieses Ortes dürfen Distanzen zur Abgabestelle von weniger als 500 m und landwirtschaftlich nicht nutzbare Flächen (z. B. Wald) von der Betrachtung ausgeschlossen werden.
- c. Zur 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 resp. 3 in der Beilage zu dieser Richtlinie «Für die Berechnungen nach ENSI-G14 zu verwendende Parameter» 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 resp. Erfahrungswerten aus Umgebungsmessungen der Ortsdosisleistung in der Umgebung und Aufenthaltszeiten der repräsentativen Personen abzuschätzen und ggf. 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, d. h. Aufnahme von Radionukliden über die Nahrung (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 Anhang A2.1 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 Anhang A2.2 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 Anhang A2.3 zu erfolgen.
- f. Für die Ingestion (Verzehr von Nahrungsmitteln) 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 dem Anhang A2.4 für  $\beta$ -/ $\gamma$ -Aerosole, die verschiedenen Iodspezies und  $\alpha$ -Aerosole zu bestimmen.

#### 4.2.2.3 Einzelfälle

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

## 4.3 Weitere Regeln und Annahmen im Rahmen der Abgabelimitierung und -optimierung

### 4.3.1 Prospektive Berechnungen im Rahmen der Abgabelimitierung

Für prospektive Dosisberechnungen zur Überprüfung der Einhaltung des quellenbezogenen Dosisrichtwertes 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 dabei anzunehmen, dass die Abgabelimiten für alle limitierten Nuklide und alle Freisetzungspfade resp. 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 in der Beilage zu dieser Richtlinie «Für die Berechnungen nach ENSI-G14 zu verwendende Parameter» genannten Standard-Nuklidgemische zu verwenden, für andere Anlagen und Betriebe ist ein anlagespezifisches, 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 Kapitel 4.2.1 definierten repräsentativen Personen aus der Bevölkerung und die in Kapitel 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 Dosisrichtwertes gemäss Art. 7 Abs. 3 StSV erfolgte, so 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 tatsächlich erfolgter Abgaben im Rahmen der Abgabelimitierung oder Optimierung**

- 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 und/oder der Wirksamkeit der für die Abgaben erfolgten Optimierung.
- c. Für retrospektive Berechnungen sind die bei prospektiven Berechnungen angenommenen generischen Parameter wie z. B. Abgabemengen, Abgabemische, Wetterparameter, anzusetzende Lebens-, Aufenthalts- und Ernährungsgewohnheiten der repräsentativen Personen, örtliche Lebensmittelproduktion, Freisetzungszeitpunkt etc. durch gemessene resp. 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.

## **5 Strahlenexposition in der Umgebung für den Normalbetrieb (SE1) und bei Betriebsstörungen (SE2): Langzeitabgaben**

### **5.1 Regeln und Annahmen für die 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 Gausmodell gemäss Anhang A1.1 mit Berücksichtigung der Orographie zu erfolgen. Alternative Ausbreitungsmodelle (Lagrange etc.) sind zu begründen.
- b. Die Festlegung der für die repräsentativen Personen (vgl. Kapitel 5.2.1) zu verwendenden Langzeitausbreitungsfaktoren  $\chi_L$  resp. der submersionskorrigierten Langzeitausbreitungsfaktoren  $\chi_{L,S}$  hat basierend auf einer Meteorstatistik über mindestens zwei Kalenderjahre gemäss den Formeln in Anhang A1.1.2 zu erfolgen.
- c. Für die Kernkraftwerke sind die in Tabelle 6.1 in der Beilage zu dieser Richtlinie «Für die Berechnungen nach ENSI-G14 zu verwendende Parameter» tabellierten Ausbreitungsfaktoren für  $\chi_L$  und  $\chi_{L,S}$  zu verwenden.
- d. Neue Berechnungen der Langzeit-Ausbreitungsfaktoren müssen durchgeführt resp. die bestehenden Berechnungen überprüft werden, wenn sich die relevanten Parameter der Abgabestelle wie Kaminhöhe, Kamindurchmesser (ausser und innen) und Luftvolumenstrom resp. Ausstossgeschwindigkeit um mehr als 10 % von den Parametern unterscheiden, welche der Berechnung der in der Beilage zu dieser Richtlinie «Für die Berechnungen nach ENSI-G14 zu verwendende Parameter» tabellierten Werte für  $\chi_L$  und  $\chi_{L,S}$  zu Grunde lagen. 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 Anhang A1.2 berücksichtigt werden.

- b. Der Langzeitwashoutfaktor  $W_L$  und der Langzeitfalloutfaktor  $F_L$  sind aufgrund einer Meteostatistik über mindestens zwei Kalenderjahre gemäss Anhang A1.2 für die repräsentativen Personen (vgl. Kapitel 5.2.1) festzulegen.
- c. Für die Kernkraftwerke sind die in Tabelle 6.2 der Beilage zu dieser Richtlinie «Für die Berechnungen nach ENSI-G14 zu verwendende Parameter» tabellierten Washout- und Falloutfaktoren für  $W_L$  und  $F_L$  zu verwenden.
- d. Neue Berechnungen der Langzeit-Washout und -Fallout-Faktoren müssen durchgeführt resp. die bestehenden Berechnungen überprüft werden, wenn sich die relevanten Parameter der Abgabestelle wie Kaminhöhe, Kamin-durchmesser (ausssen und innen) und Luftvolumenstrom resp. Ausstossge-schwindigkeit um mehr als 10 % von den Parametern unterscheiden, welche der Berechnung der in der Beilage zu dieser Richtlinie «Für die Berechnun-gen nach ENSI-G14 zu verwendende Parameter» tabellierten Werte für  $W_L$  und  $F_L$  zugrunde lagen. Die neu berechneten Werte sind dem ENSI zu mel-den.
- e. Die gesamte orts- und zeitabhängige Ablagerungsrate  $\dot{A}$  aus Fallout und Washout errechnet sich für jeden Ort gemäss Anhang A1.2.3.

#### 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 Anhängen A1.3.1.2 und A1.3.2.2 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 Futter-pflanzen zeitabhängig vorhandenen Aktivität hat mit den Annahmen und Modellen gemäss Anhang A1.4.2 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 Regeln und Annahmen für die Dosisberechnung

### 5.2.1 Repräsentative Personen

- a. Die Dosisberechnungen haben für hypothetisch festgelegte, repräsentative Personen (vgl. Definition im Anhang A4) 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 (Wohnung, Arbeit, Aufenthalt) am Ort mit der grössten Gesamtdosis, die als Summe aus Submersion, Inhalation und Bodenstrahlung und ggf. Direkt- und Streustrahlung direkt aus der Anlage entsteht. Dabei dürfen Distanzen zum Abgabeort kleiner als 500 m und nicht ständig bewohnte Gebiete ausgeschlossen werden.
  2. Sie decken ihren gesamten Lebensmittelbedarf an Obst, Früchten, Gemüse, Getreide, Milch und Fleisch/Eier gemäss Tabelle 3 in der Beilage zu dieser Richtlinie «Für die Berechnungen nach ENSI-G14 zu verwendende Parameter» lokal aus einem Gebiet im Umkreis von 5 km 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 Ziffer 2 durchgeführt, so ist konservativ anzusetzen, dass 25 % der Lebensmittel vom Ort mit der höchsten Ablagerung von Aktivität auf die Pflanzenoberflächen resp. den Boden stammen und dass der Rest der Lebensmittel nicht kontaminiert ist. Bei der Bestimmung dieses Ortes können Distanzen zur Abgabestelle von weniger als 500 m 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 b).
- c. Zur 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 resp. 3 in der Beilage zu dieser Richtlinie «Für die Berechnungen nach ENSI-G14 zu verwendende Parameter» 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 resp. Erfahrungswerten aus Umgebungsmessungen der Ortsdosisleistung in der Umgebung und Aufenthaltszeiten der repräsentativen Personen abzuschätzen und ggf. 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, d. h. Aufnahme von Radionukliden über die Nahrung (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 Anhang A2.1 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 Anhang A2.2 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 Anhang A2.3 zu erfolgen.
- f. Für die Ingestion (Verzehr von Nahrungsmitteln) 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 dem Anhang A2.4 bis A2.6 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 den Anhängen A2.7 resp. A2.8 (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 Weitere Regeln und Annahmen im Rahmen der Abgabelimitierung und -optimierung

### 5.3.1 Prospektive Berechnungen im Rahmen der Abgabelimitierung

Für prospektive Dosisberechnungen zur Überprüfung der Einhaltung des quellenbezogenen Dosisrichtwertes 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 und den daraus resultierenden Ablagerungen auf den Boden und im Wurzelbereich gemäss Anhang A1.3.2 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 resp. 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 in Tabelle 5 in der Beilage zu dieser Richtlinie «Für die Berechnungen nach ENSI-G14 zu verwendende Parameter» genannten Standard-Nuklidgemische zu verwenden, für andere Anlagen und Betriebe ist ein anlagespezifisches, 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 Kapitel 5.2.1 definierten repräsentativen Personen aus der Bevölkerung und die in Kapitel 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 Dosisrichtwertes gemäss Art. 7 Abs. 3 StSV erfolgte, so 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 tatsächlich erfolgter Abgaben im Rahmen der Abgabelimitierung oder Optimierung**

- 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 und/oder der Wirksamkeit der für die Abgaben erfolgten Optimierung.
- c. Für retrospektive Berechnungen sind die bei prospektiven Berechnungen angenommenen generischen Parameter wie z. B. Abgabemengen, Abgabegemische, Wetterparameter, anzusetzende Lebens-, Aufenthalts- und

Ernährungsgewohnheiten der repräsentativen Personen, örtliche Lebensmittelproduktion, etc. durch gemessene resp. 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 Strahlenexpositionen in der Umgebung (Auslegungsstörfälle SE3 und auslegungsüberschreitende Störfälle SE4)**

### **6.1 Regeln und Annahmen für die 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 Kernanlagen hat mit einem Gaußmodell gemäss Anhang A1.1 mit Berücksichtigung der Orographie zu erfolgen. Alternative Ausbreitungsmodelle (Lagrange etc.) sind zu begründen.
- b. Die Festlegung der während der Wolkenphase für die repräsentativen Personen (vgl. Kapitel 6.2.1) massgebenden Kurzeitenausbreitungsfaktoren  $\chi_K$  für Inhalation resp. der submersionskorrigierten Kurzeitenausbreitungsfaktoren  $\chi_{K,S}$  für Submersion hat gemäss den Formeln in Anhang A1.1.1 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 m/s 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 Anhang A1.2 berücksichtigt werden.
- b. Für die nasse Ablagerung ist davon auszugehen, dass es während der ersten 8 Stunden ständig mit einer mittleren Niederschlagsintensität von 2 mm/h 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 Anhang A1.2.3.

#### 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 den Anhängen A1.3.1.1 und A1.3.2.1 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 Anhang A1.4.1 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 Regeln und Annahmen für die Dosisberechnung

### 6.2.1 Repräsentative Personen

- a. Die Dosisberechnungen haben für hypothetisch festgelegte, repräsentative Personen (vgl. Definition im Anhang A4) 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- resp. Streustrahlung aus der Anlage entsteht. Dabei dürfen Distanzen zum Abgabeort kleiner als 200 m resp. Orte innerhalb des umzäunten Anlageareals ausgeschlossen werden. Daran anschliessend halten Sie sich während der restlichen Freisetzungsphase am Ort ihres Lebensmittelpunkts gemäss nachfolgender Ziffer 2 mit den dort üblichen Langzeit-Lebensgewohnheiten betreffend Aufenthalt im Haus und im Freien (Berücksichtigung der Abschirmung) auf.
  2. Sie haben ihren Lebensmittelpunkt (Wohn- oder Arbeitsort) in der anschliessenden Bodenphase am Ort mit der höchsten Ablagerung von Aktivität auf dem Boden. Dabei dürfen Distanzen kleiner 500 m zum Abgabeort und nicht ständig bewohnte Gebiete (z. B. Waldflächen) von der Betrachtung ausgeschlossen werden
  3. Sie decken ihren gesamten Lebensmittelbedarf an Obst, Früchten, Gemüse, Getreide, Milch und Fleisch/Eier gemäss Tabelle 3 in der Beilage zu dieser Richtlinie «Für die Berechnungen nach ENSI-G14 zu verwendende Parameter» lokal aus einem Gebiet im Umkreis von 5 km 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 Ziffer 3 durchgeführt, so ist konservativ anzusetzen, dass 12,5 % der Lebensmittel vom Ort mit der höchsten Ablagerung von Aktivität auf die Pflanzenoberflächen resp. den Boden (vgl. Ziffer 2) stammen und dass der Rest der Lebensmittel nicht kontaminiert ist. Bei der Bestimmung dieses Ortes können Distanzen zur Abgabestelle von

weniger als 500 m 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 b).
- c. Zur 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 resp. 3 in der Beilage zu dieser Richtlinie «Für die Berechnungen nach ENSI-G14 zu verwendende Parameter» 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 resp. Erfahrungswerten aus Umgebungsmessungen der Ortsdosisleistung in der Umgebung und Aufenthaltszeiten der repräsentativen Personen abzuschätzen und ggf. 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, d. h. Aufnahme von Radionukliden über die Nahrung (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 Anhang A2.1 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 Anhang A2.2 zu verwenden.
- e. Im Falle von Abgaben von  $\alpha$ -Aerosolen, die zu signifikanten Dosisbeiträgen führen, ist der Einfluss durch die Inhalation wieder aufgewirbelter Stoffe (Re-suspension) gemäss Anhang A2.2 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 Anhang A2.3 zu erfolgen.
- g. Für die Ingestion (Verzehr von Nahrungsmitteln) 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 dem Anhang A2.4 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 Abwinddistanzen 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 den Anhängen A2.7 resp. A2.8 (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 Weitere Regeln und Annahmen im Rahmen der Anlagenauslegung (SE3)

Für prospektive Dosisberechnungen zur Überprüfung der Einhaltung der Dosiskriterien gemäss KEV Art. 8 Abs. 4bis resp. StSV Art. 123 Abs. 2 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 (d. h. Annahmen über die Menge, nuklidspezifische Zusammensetzung und das Zeitverhalten der freigesetzten radioaktiven Stoffe), die Freisetzungsdauer und die Freisetzungspfade (Kamin oder andere Anlage-teile) sind spezifisch für den zu betrachtenden Störfall gemäss der 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 Kapitel 6.2.1 definierten repräsentativen Personen aus der Bevölkerung und die in Kapitel 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. Allfällige Anpassungen sind zu dokumentieren.

### 6.4 Weitere Regeln und Annahmen bei auslegungsüberschreitenden Störfällen (SE4)

Ist für auslegungsüberschreitende Störfälle ein Nachweis für die Einhaltung von Dosiskriterien verlangt, so gelten zur deterministischen prospektiven Dosisberechnung die Vorgaben gemäss Kapitel 6.1, 6.2 sowie 6.3 Bst. a bis d mit folgenden Ausnahmen:



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

## 7 Übergangsfrist

Ab Gültigkeitserklärung der revidierten Richtlinie gilt eine Übergangsfrist von zwei Jahren.

Diese Richtlinie wurde am **Datum** vom ENSI verabschiedet und ist gültig ab **Datum**.

Der Direktor des ENSI:        sig. M. Kenzelmann

# Anhang 1: Aktivitätstransport in der Luft, Ablagerung auf den Bodenoberflächen und Migration der Aktivität in die Nahrungskette

## A1.1 Aktivitätstransport in der Luft

### A1.1.1 Kurzeitenausbreitungsfaktor $\chi_K$ resp. submersionskorrigierter Kurzeitenausbreitungsfaktor $\chi_{K,S}$

#### a) Kurzeitenausbreitungsfaktor $\chi_K$

Für eine Gaussverteilung in der Ausbreitungsfahne ergibt sich der Kurzeitenausbreitungsfaktor am Boden gemäss der folgenden Formel:

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

#### b) Kurzeitenausbreitungsfaktor $\chi_{K,S}$ für submersionskorrigierte Immersionsrechnung

Der submersionskorrigierte Kurzeitenausbreitungsfaktor  $\chi_{K,S}$  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 der Beilage zu dieser Richtlinie «Für die Berechnungen nach ENSI-G14 zu verwendende Parameter», Tabelle 2.1 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:

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

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 der Beilage zu dieser Richtlinie «Für die Berechnungen nach ENSI-G14 zu verwendende Parameter», Tabelle 2.2 zu finden.

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

### A1.1.2 Langzeitausbreitungsfaktor $\chi_L$ resp. submersionskorrigierter Langzeitausbreitungsfaktor $\chi_{L,S}$

Der Langzeitausbreitungsfaktor  $\chi_L$  resp. der "Submersions"-Langzeitausbreitungsfaktor  $\chi_{L,S}$  wird 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 A1.1

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

$G_t$	<i>Anteil der Abgabe, der aufgrund von Gebäudeeinflüssen im Normalbetrieb einer Anlage als Bodenabgabe anzunehmen ist (vgl. Anhang A1.5.1). Für potenzielle Strahlenexpositionen wird <math>G_t = 0</math> gesetzt.</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 für Freisetzungen über Kamin im Normalbetrieb und bei Betriebsstörungen (vgl. Anhang A1.5.1). Für potenzielle Strahlenexpositionen ist eine effektive Abgabehöhe abhängig vom Quellterm konservativ festzusetzen;</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. Anhang A1.5.2). 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). Für Rechnungen im Normalbetrieb im Rahmen der Kurzzeitabgabelimiten und für potenzielle Strahlenexpositionen ist gemäss Kapitel 4.1.1 resp. 6.1.1 von einer festen Windgeschwindigkeit von 1 m/s in der unkorrigierten Abgabehöhe auszugehen. Für Rechnungen im Normalbetrieb im Rahmen der Langzeitabgabelimitierung sind die Windgeschwindigkeiten aus der zugrundeliegenden Meteostatistik in Messhöhe zu verwenden und mit den Formeln gemäss Anhang A1.5.3 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). Für Rechnungen im Normalbetrieb im Rahmen der Kurzzeitabgabelimiten und für potenzielle Strahlenexpositionen ist gemäss Kapitel 4.1.1 resp. 6.1.1 von einem</i>

höheninvarianten Windgeschwindigkeitsprofil und damit von 1 m/s auszugehen.

Für Rechnungen im Normalbetrieb im Rahmen der Langzeitabgabelimittierung sind die Windgeschwindigkeiten aus der zugrundeliegenden Meteorostatistik mit den Formeln gemäss Anhang A1.5.3 auf eine Höhe von 10 m über Boden zu korrigieren, wobei die Windgeschwindigkeit einen Minimalwert von 0,5 m/s nicht unterschreiten soll;

$x, y$	Abwinddistanz zum Abgabeort und Querabweichung von der Fahnenachse orthogonal zur Ausbreitungsrichtung in m. Für die Bestimmung der maximalen Kurzzeitausbreitungs- und Kurzzeitwashoutfaktoren nach Anhang A1.2 kann $y = 0$ gesetzt werden;
$X, Y$	Absolute Koordinaten eines Punktes in der Umgebung ( $X =$ West-Ost-Richtung, $Y =$ Süd-Nord-Richtung) relativ zum Freisetzungsort in m;
$\sigma_y, \sigma_z$	Gauss'sche Ausbreitungsparameter in m: Sie sind abhängig von der Abwinddistanz $x$ der effektiven Abgabehöhe $H_{eff}$ und der Wetterkategorie (Pasquill-Gifford Stabilitätsklassen A bis F). Sie sind aus den Vogt-Parametern und mit den Formeln gemäss Anhang A1.5.4 zu berechnen.
$\sigma_{y,0}, \sigma_{z,0}$	Gauss'sche Ausbreitungsparameter für Boden-Abgabe;
$P_{ijk}$	Wahrscheinlichkeit für eine Wettersituation mit Ausbreitungsrichtung in den Sektor $i$ , Windgeschwindigkeit im Intervall $j$ und Wetterkategorie $k$ ;
$i$	Laufzahl über die Ausbreitungssektoren der zugrundeliegenden Wetterstatistik; Es ist anzunehmen, dass die Ausbreitungsrichtung zentral in den Sektor geht;
$j$	Laufzahl über die Windgeschwindigkeitsintervalle – als Windgeschwindigkeit ist der Mittelwert der Intervallgrenzen anzusetzen
$k$	Laufzahl über die Wetterkategorien (Pasquill-Gifford Stabilitätsklassen A-F).

## A1.2 Fallout- bzw. Washoutfaktoren

### A1.2.1 Fallout

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

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

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

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

### A1.2.2 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 für den Washout Kurzzeit- resp. Langzeitwashoutfaktoren  $W_K$  und  $W_L$  definiert.

### A1.2.2.1 Kurzzeitwashoutfaktor $W_K$

Der Kurzzeitwashoutfaktor  $W_K$  wird für eine Gauss'sche Aktivitätsverteilung in der Ausbreitungsfahne gemäss der folgenden Formel berechnet:

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

### A1.2.2.2 Langzeitwashoutfaktor $W_L$

Der Langzeitwashoutfaktor  $W_L$  wird durch Mittelung unter Zugrundelegung einer vierparametrischen meteorologischen Langzeitstatistik aus den Kurzzeitwashoutfaktoren  $W_K$  ermittelt:

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

## A1.2.3 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:  $\xi'_{\{K;L\}} = F_{\{K;L\}} + f_d \cdot W_{\{K;L\}}$

### Bezeichnungen in A1.2

In den obigen Formeln 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 $m$ . Es gilt $P_{ijkm} = T_{ijkm}/T_{tot}$ , wobei $T_{tot}$ die Gesamtzeit ist, über die die Wetterstatistik erhoben wurde, $T_{ijkm}$ die Zeit, für die 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  $\Lambda = \Lambda_0 \cdot (I_N/I_0)^\kappa$ , mit einer Niederschlagsintensität  $I_N$ , einer Referenzniederschlagsintensität  $I_0$  (1mm/h) und einem Korrektorexponenten  $\kappa$  (0,8 für Iod und Aerosole, 1 für tritiiertes Wasser).  $\Lambda_0$  bezeichnet den Referenz-Washout-Koeffizienten für eine Niederschlagsintensität von 1mm/h.

## A1.3 Zeitabhängige Aktivität auf dem und im Boden

### A1.3.1 Wirksame Bodenaktivität für externe Strahlung

#### A1.3.1.1 Kurzzeitabgaben

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

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

#### A1.3.1.2 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.

### A1.3.2 Nuklidkonzentration im Wurzelbereich von Pflanzen

#### A1.3.2.1 Kurzzeitabgaben

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

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

#### A1.3.2.2 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  $\lambda_W$  der nicht-radioaktiven 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.



### Bezeichnungen in A1.3

In den obigen Formeln 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 Kapitel 4 ergibt sich diese als $Q \cdot (1/3 \cdot \xi_1 + 2/3 \cdot \xi_2)$ , für Rechnungen nach Kapitel 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, 2, 3 und 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 $\ln(2)/T_{1/2}$ ;
$\lambda_{fast}, \lambda_{slow}$	nichtradioaktive schnelle resp. langsame Eindringkonstante in den Boden (1,0 pro Jahr entsprechend einer Verweilzeit von rund 0,7 Jahren resp. $7 \cdot 10^{-3}$ pro Jahr entsprechend einer Verweilzeit von rund 100 Jahren);
$\lambda_W$	nichtradioaktive Abreicherungskonstante aus dem Wurzelbereich (Annahme: $\lambda_W = \lambda_{slow} = 7 \cdot 10^{-3}$ pro Jahr, entsprechend einer Verweilzeit von rund 100 Jahren).

## A1.4 Zeitabhängige Aktivität auf und in Konsum- resp. Futterpflanzen

### A1.4.1 Kurzzeitabgaben

#### a) 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 der folgenden Formel:

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

**b) 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:

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

**c) 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:

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

## A1.4.2 Langzeitabgaben

**a) 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.

**b) 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 inkl. Wurzelgemüse:

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

## Bezeichnungen in A1.4

In den obigen Formeln 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 Erntebeginn 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 darin 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 $\text{kg}_{\text{Bodenmasse}} \text{ pro } \text{kg}_{\text{Pflanzenmasse}}$ ;
$\lambda_V$	nicht-radioaktive Abreicherungskonstante für die Pflanzenoberfläche ( $18 \text{ Jahr}^{-1}$ für alle Nuklide, entsprechend einer Verweilzeit von rund 14 Tagen).

## A1.5 Hilfsformeln zur Ermittlung abgeleiteter Parameter in den Anhängen A1.1 bis A1.4

### A1.5.1 Formeln zur Bestimmung der Effektiven Abgabehöhe $H_{eff}$ und der Faktoren $G_t$ (Anteil der Bodenabgabe) für niedrige Kamine aufgrund von Gebäudeeinflüssen

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

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

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, die für niedrige Kamine (Kaminhöhe kleiner als 2 – 2 ½ mal Gebäudehöhe) durch die Gebäudeeinflüsse als Bodenrelease zu betrachten ist, wird wie folgt bestimmt:

$$G_t = 2,58 - 1,58 \cdot \frac{W_0}{U(H_a)} \quad \text{für } 1 \leq \frac{W_0}{U(H_a)} \leq 1,5$$

$$G_t = 0,3 - 0,06 \cdot \frac{W_0}{U(H_a)} \quad \text{für } 1,5 < \frac{W_0}{U(H_a)} \leq 5$$

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;
$S$	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);
$W_0$	Ausstossgeschwindigkeit aus dem Kamin (m/s);
$x$	Abwinddistanz (m), für die Verwendung im Rahmen dieser Richtlinie ist ein Wert von 200 m zu verwenden.

### A1.5.2 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 AVV wie folgt bestimmt:
- Für die Wetterklassen A – D:

für  $h_{oro}(x, 0) < H_{eff}/2$ :

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

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).

### A1.5.3 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

### A1.5.4 Formeln und Tabellen zur Berechnung der Gausschen Ausbreitungparameter $\sigma_y$ und $\sigma_z$

Die Gausschen 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:

Effektive Emissionshöhe $H_{eff}$	Vogt-Parameter	Wetterkategorie					
		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 resp. grösser als 180 m sind die Vogt-Parameter für 50 m resp. 180 m zu verwenden.

## Anhang 2 Berechnung der Dosen für die repräsentativen Personen in der Umgebung

Sämtliche im folgenden angegebenen Formeln beziehen sich auf Einzelnuclide. Um die gesamte Dosis eines Pfades zu erhalten, muss über alle beteiligten Nuclide aufsummiert werden.

### A2.1 Externe Strahlung unter der Fortluftfahne (Edelgase, Iod und Aerosole)

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

#### Bezeichnungen

$E_{sub}$	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 Mutternuclids $M$ bzw. der Tochter $D_i$ in $(Sv/a)/(Bq/m^3)$ ; der Immersiondosisfaktor 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 (Freisetzungszeitraum resp. im betrachteten Kalenderjahr) in Bq;
$T_{fz}$	Flugzeit der Radioaktivität in der Fahne bis zum Aufpunkt in Jahren;
$\lambda$	radioaktive Zerfallskonstante des Mutternuclids in $Jahr^{-1}$ ;
$\lambda_{D_i}$	radioaktive Zerfallskonstante des Tochternuclids $D_i$ in $Jahr^{-1}$ ;
$\chi_{\{K;L\},S}$	Submersionskorrigierter Kurzzeit- ( $\chi_{K,S}$ ) resp. Langzeitausbreitungsfaktor ( $\chi_{L,S}$ ) in $s/m^3$ .

## A2.2 Inhalation und Resuspension (Luftpfad: Iod, Aerosole)

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 in der Beilage zu dieser Richtlinie «Für die Berechnungen nach ENSI-G14 zu verwendende Parameter» auszugehen.

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

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

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

### Bezeichnungen

$E_{inh,\{E;10j;KK\}}$	<i>Inhalationsdosis in Sv für Erwachsene (E), 10-Jährige (10j) und Kleinkinder (KK);</i>
$E_{res,\{E;10j;KK\}}$	<i>Inhalationsdosis in Sv durch Resuspension von radioaktiven Stoffen für Erwachsene, 10-Jährige und Kleinkinder;</i>
$e_{inh,\{E;10j;KK\},\{M,T_i\}}$	<i>Inhalationsdosisfaktor des betrachteten Nuklids resp. der Tochter <math>T_i</math> in Sv/Bq;</i>
$f_{D,res,\{E;10j;KK\}}(T_{exp})$	<i>von der Expositionszeit (<math>T_{exp}</math>) abhängiger Korrekturfaktor zur Berücksichtigung des Resuspensionsdosisbeitrags von nach der Abgabe gebildeten Tochterprodukten. Für Expositionszeiten <math>T_{exp}</math> von 1 und 50 Jahren sind diese Korrekturfaktoren in Tabelle 4.3 in der Beilage zu dieser Richtlinie «Für die Berechnungen nach ENSI-G14 zu verwendende Parameter» 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 <math>f_{D,res,\{E;10j;KK\}}(T_{exp}) = 0</math> zu setzen;</i>
$f_{D_i}$	<i>Anteil der Mutteraktivität, die in die Tochter <math>D_i</math> zerfällt;</i>
$K_0, K_e$	<i>Wiederaufwirbelungskoeffizienten in <math>m^{-1}</math>;</i>



$k_c$	Anzahl Sekunden im Jahr oder Kalenderjahr ( $3,16 \cdot 10^7$ s);
$L$	Zerfallskonstante für Immobilisierung am Boden in $\text{Jahr}^{-1}$ ;
$Q$	Gesamte Abgabe über den Freisetzeitszeitraum 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 [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] für Erwachsene (E), 10-jährige (10j) oder Kleinkinder (KK)
$\lambda$	radioaktive Zerfallskonstante des Mutternuklids $M$ in $\text{Jahr}^{-1}$ ;
$\lambda_{Ti}$	radioaktive Zerfallskonstante des Tochternuklids $T_i$ in $\text{Jahr}^{-1}$ ;
$\overline{Q \cdot \xi_K}$	Totale Kurzzeitablagerung auf den Boden in $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$ ;
$\chi_{\{K;L\}}$	Kurzzeit- ( $\chi_K$ ) resp. Langzeitausbreitungsfaktor ( $\chi_L$ ) in $\text{s}/\text{m}^3$ .

## A2.3 Bodenstrahlung (Luftpfad: Iod, Aerosole)

Die Dosen aus Bodenstrahlung für Kurzzeit- und Langzeitabgaben nach der Expositionszeit  $T_{exp}$  resp.  $T_{Kj}$  ergeben sich zu:

### a) Kurzzeitabgaben

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

### b) Langzeitabgaben

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

### Bezeichnungen

$A_{BS,\{fast,slow\}}(0)$  für die externe Strahlung wirksame schnell und langsam eindringende Aktivität im Boden zu Beginn des Kalenderjahres aufgrund der Ablagerungen der Vorjahre in  $\text{Bq}/\text{m}^2$  (Anhang A1.3.2);

$E_{BS}(T_{\{Exp;Kj\}})$	Bei Langzeitabgaben im Kalenderjahr ( $T_{Kj} = 1$ Jahr) resp. bei Kurzzeitabgaben in der der Abgabe folgenden Expositionszeit $T_{exp}$ akkumulierte Dosis in Sv. Es wird für Bodenstrahlung angenommen, dass diese für Erwachsene, 10-Jährige und Kleinkinder identisch ist;
$e_{BS}$	Bodenstrahlungs-Dosisfaktor [(Sv/Jahr)/(Bq/m <sup>2</sup> )] für das betrachtete Nuklid. Der Immersionsdosisfaktor wird für Erwachsene, 10-Jährige und Kleinkinder identisch angenommen;
$f_{D,BS,\{K;Kj;Vj\}}(T_{\{exp;Kj\}})$	von der Expositionszeit ( $T_{exp}$ resp. $T_{Kj}$ ) abhängige Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung des Dosisbeitrags aus Bodenstrahlung für die nach der Abgabe gebildeten Tochterprodukte. 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 sind die Korrekturfaktoren $f_{D,BS,K}(T_{exp})$ , $f_{D,BS,Kj}(T_{Kj})$ resp. $f_{D,BS,Vj}(T_{Kj})$ in Tabelle 4.3 in der Beilage zu dieser Richtlinie «Für die Berechnungen nach ENSI-G14 zu verwendende Parameter» 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 $f_{D,BS,...}(T_{\{exp;Kj\}}) = 0$ zu setzen;
$f_{fast}, f_{slow}$	schnell resp. langsam eindringender Anteil der für die externe Strahlung wirksamen Aktivität in den Boden (0,63 resp. 0,37);
$k_s$	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; 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 Kurzzeitablagerung 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 $\text{Jahr}^{-1}$ ;
$\lambda_{fast}, \lambda_{slow}$	nichtradioaktive schnelle resp. langsame Eindringkonstante in den Boden (1,0 pro Jahr resp. $7 \cdot 10^{-3}$ pro Jahr);
$\xi_L$	Totaler Langzeit-Ablagerungsfaktor ( $\xi_L$ ) in $\text{m}^{-2}$ . Es ist zu berücksichtigen, dass sich diese Ablagerungsfaktoren für Aerosolabgaben und nicht aerosolförmige 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.

## A2.4 Ingestion (Luftpfad: Iod, Aerosole)

### A2.4.1 Ingestionsdosis aus pflanzlichen Produkten

#### a) 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):

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

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

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

- 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):

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

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

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

## b) Langzeitabgaben

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

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

### A2.4.2 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:

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

## a) 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):

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

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

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

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

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

- 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):

$$\begin{aligned}
E_{ing,Mi,\{E;10j;KK\}}(T_{exp}) = & \\
= \overline{Q \cdot \xi'_K} \cdot \left\{ \frac{f_{cont}}{Y_{FP}} \cdot \left( \frac{1 - e^{-(\lambda+\lambda_V) \cdot T_{FP}}}{(\lambda + \lambda_V)} + \frac{1 - e^{-\lambda_V \cdot T_{FP}}}{\lambda_V \cdot T_{0,5}} \cdot \frac{e^{-\lambda \cdot T_p} - e^{-\lambda \cdot (T_p + T_{0,5})}}{\lambda} \right) \right. & \\
\cdot V_{FP} \cdot TF_{FP-Mi} \cdot U_{Corr,Mi,\{E;10j;KK\}} \cdot e_{ing,\{E;10j;KK\}} + f_{D,ing,Mi,Bl,\{E;10j;KK\}}(T_p + T_{0,5}) \Big\} + & \\
+ \overline{Q \cdot \xi'_K} \cdot \left\{ \frac{f_{cont}}{P_{FP}} \cdot TF_{Bo-PP} \cdot \frac{e^{-(\lambda+\lambda_W) \cdot (T_p + T_{0,5})} - e^{-(\lambda+\lambda_W) \cdot T_{exp}}}{(\lambda + \lambda_W)} \right. & \\
\cdot V_{FP} \cdot TF_{FP-Mi} \cdot U_{Corr,Mi,\{E;10j;KK\}} \cdot e_{ing,\{E;10j;KK\}} + f_{D,ing,Mi,W,\{E;10j;KK\}}(T_{exp}) \Big\} &
\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
E_{ing,Mi,\{E;10j;KK\}}(T_{exp}) = & \\
= \overline{Q \cdot \xi'_K} \cdot \left\{ \frac{f_{cont}}{Y_{FP}} \cdot \left( \frac{1 - e^{-(\lambda+\lambda_V) \cdot T_{FP}}}{(\lambda + \lambda_V)} + \frac{1 - e^{-\lambda_V \cdot T_{FP}}}{\lambda_V \cdot T_{0,5}} \cdot \frac{e^{-\lambda \cdot T_p} - e^{-\lambda \cdot (T_p + T_{0,5})}}{\lambda} \right) \right. & \\
\cdot V_{FP} \cdot TF_{FP-Mi} \cdot U_{Corr,Mi,\{E;10j;KK\}} \cdot e_{ing,\{E;10j;KK\}} + f_{D,ing,Mi,Bl,\{E;10j;KK\}}(T_p + T_{0,5}) \Big\} + & \\
+ \overline{Q \cdot \xi'_K} \cdot \left\{ \frac{f_{cont}}{P_{FP}} \cdot TF_{Bo-PP} \cdot V_{FP} \cdot TF_{FP-Mi} \cdot \right. & \\
\cdot \left( \frac{e^{-(\lambda+\lambda_W) \cdot (T_p + T_{0,5})} - e^{-(\lambda+\lambda_W) \cdot T_1}}{(\lambda + \lambda_W)} \cdot U_{Corr,Mi,\{E;10j;KK\}} \cdot e_{ing,\{E;10j;KK\}} + \right. & \\
+ \left. \frac{e^{-(\lambda+\lambda_W) \cdot T_1} - e^{-(\lambda+\lambda_W) \cdot T_{exp}}}{(\lambda + \lambda_W)} \cdot U_{Corr,Mi,E} \cdot e_{ing,E} \right) + & \\
+ f_{D,ing,Mi,W,\{E;10j;KK\}}(T_1) + f_{D,ing,Mi,W,E}(T_1 \rightarrow T_{exp}) \Big\} &
\end{aligned}$$

## b) Langzeitabgaben

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

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

### A2.4.3 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:

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

## a) 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):

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

- 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):

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

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

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



## b) Langzeitabgaben

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

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

### Bezeichnungen

$C_{Bo}(0)$	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. 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 sind die Korrekturfaktoren $f_{D,ing,\{PP;Mi;FL\},\{Bl;W\},\{E;10j;KK\}}(T_{exp})$ resp. resp. $f_{D,ing,\{PP;Mi;FL\},\{Bl;W\},\{E;10j;KK\}}(T_{Kj})$ in Tabelle 4.3 in der Beilage zu dieser Richtlinie «Für die Berechnungen nach ENSI-G14 zu verwendende Parameter» 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 in den Wurzelbereich mit einem separaten Algorithmus ermittelt und berücksichtigt wird, sind die dann nicht anwendbaren $f_{D,ing,\dots}(T_{exp}) = 0$ zu setzen;

$P_{\{PP;FP\}}$	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> );
$Q, Q_{vj}$	Gesamtabgabe über die Freisetzungsdauer resp. über das Kalenderjahr in Bq; $Q_{vj}$ bezeichnet bei Langzeitabgaben die konstant angenommene Jahresabgaben der Vorjahre; 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);
$T_{FMi}, T_{LMi}, T_{Fl}$	Zeit zwischen Produktion und Verzehr von Frischmilchprodukten, Milch-Lagerprodukten 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, Fleischprodukten und Eiern in kg/Jahr;
$U_{PPO}, U_{PPT}$	Verzehrrate für Oberflächengemüse und Gemüse in kg/Jahr;
$U_{FMi}, U_{LMi}$	Verzehrrate für Frischmilch und Milch-Lagerprodukte 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 1/Jahr;
$\lambda_V$	Nicht-radioaktive Verweilkonstante der Nuklide auf der Pflanze in 1/Jahr;
$\lambda_W$	Nicht-radioaktive Verweilkonstante der Nuklide im Wurzelbereich von Pflanzen in 1/Jahr;
$\xi_K, \xi_L, \xi'_K, \xi'_L$	Totale Kurz- und über das Jahr gemittelte Langzeitablagerungsfaktoren auf Boden und Pflanzenoberflächen in m <sup>-2</sup> . Ergeben sich für die $\xi'_L$

signifikante Unterschiede zwischen dem Sommer- und dem Winterhalbjahr, so ist der nur über das Sommerhalbjahr gemittelte Wert zu verwenden.

## A2.5 Ingestion (Luftpfad: $^{14}\text{C}$ )

Bei Langzeitabgaben (und Kurzzeitabgaben nur im Einzelfall nach Prüfung der Anwendbarkeit), inkl. 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 Kurzzeitabgaben ist die so berechnete Dosis mit 2 zu multiplizieren, um den Verzehr von Lagerprodukten im Winter zu berücksichtigen.

### Bezeichnungen

$E_{ing,C-14,\{E;10j;KK\}}$	altersspezifische Ingestionsdosis verursacht durch $^{14}\text{C}$ in Sv;
$e_{ing,\{E;10j;KK\}}$	altersspezifischer Ingestionsdosisfaktor für $^{14}\text{C}$ 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 Langzeitabgaben 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 $^{14}\text{C}$ (in der Form von $\text{CO}_2$ ) im Kalenderjahr für Langzeitabgaben resp. im Freisetzungszeitraum 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 Verzehrrate für Gemüse (total inkl. Wurzelgemüse) in kg/Jahr;
$\chi_{\{K;L\}}$	Kurzzeitausbreitungsfaktor resp. über das Jahr gemittelter (oder bei signifikanten Unterschieden zwischen Sommer- und Winterhalbjahr über das Sommerhalbjahr gemittelter) Langzeitausbreitungsfaktor in $\text{s/m}^3$ ;
$\Psi$	Kohlenstoffkonzentration in der Luft ( $1,8 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$ ).

Neben der Ingestion ist für  $^{14}\text{C}$  für alle chemischen Formen gegebenenfalls der Dosisbeitrag durch Inhalation gemäss Anhang A2.2 zu berücksichtigen, wobei aber für eine Abgabe von  $\text{CO}_2$  der Ingestionsbeitrag bei Weitem dominiert.

## A2.6 Ingestion (Luftpfad: Tritium)

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

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

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 Langzeitwashoutfaktors keine 4 parametrische Wetterstatistik vor, so 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 Anhang A2.2 zu berücksichtigen.

### Bezeichnungen

$E_{ing,HTO,\{E;10j;KK\}}$	Ingestionsdosis durch tritiiertes Wasser 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 0,125 für Kurzzeit- und 0,25 für Langzeitabgaben);
$f_F$	Wasseranteil in Milch und Fleisch, der aus dem Futter, d.h. nicht aus dem Tränkewasser stammt (0,4);
$f_{Lu}$	Wasseranteil in den Pflanzen, der aus der Luftfeuchte stammt (0,3 für Langzeitabgaben, für Kurzzeitabgaben im Einzelfall zu bestimmen);
$f_N$	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 $m^2$ (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 inkl. 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) Langzeitwashoutfaktor in $m^2$ 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 $s/m^3$ ;
$\Phi$	Mittlere absolute Luftfeuchtigkeit in $kg/m^3$ ( $1,8 \cdot 10^{-4}$ ).

## A2.7 Ingestion (Wasserpfad, ohne Tritium)

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 der folgenden Formel:

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

### 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 $m^3$ /Jahr;
$Q$	Totale Abgaben an das Abwasser im Kalenderjahr resp. im Freisetzungszeitraum in Bq;
$TF_{Wa-Fi}$	Transferfaktor vom Wasser in den Fisch in $m^3/kg$ ;
$TF_{FP-Mi}$	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> .

## A2.8 Ingestion (Wasserpfad: tritiiertes Wasser; HTO)

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 resp. 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:

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

### Bezeichnungen

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

$U_{TW,\{E;10j;KK\}}$  *Jährlicher Trinkwasserkonsum in m<sup>3</sup>/Jahr;*



## Anhang 3 Für die Berechnungen zu verwendende Parameter

Die für die Berechnung zu verwendenden Parameter sind ausgelagert in eine Beilage «Für die Berechnungen nach ENSI-G14 zu verwendende Parameter», welche als integraler Bestandteil dieser Richtlinie zu betrachten ist.

Die Beilage «Für die Berechnungen nach ENSI-G14 zu verwendende Parameter» gliedert sich in folgende Tabellen:

Tabelle 1: Allgemeine Parameter und Zahlenwerte (ggf. inkl. 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 $\mu$ m) <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 <i>Luftpfad: Boden-pflanzl. Produkte, Boden-Futterpflanzen, Futterpflanzen-Milch, Futterpflanzen-Fleisch</i> <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 6: Vordefinierte Ausbreitungs- und Ablagerungsfaktoren für die schweizerischen Kernkraftwerke für die Abgabelimitierung	
	Tabelle 6.1: Polynomfaktoren zur Bestimmung des Korrekturfaktors $KF_{sub,shape}$
	Tabelle 6.2: Polynomfaktoren zur Bestimmung des Korrekturfaktors $KF_{sub,axis}$
Referenzen für Zahlenwerte und Hilfsformeln	



## Anhang 4 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 StSV Art. 22 bis 24, 111 bis 113 und 191 bis 195 geregelt. Im Weiteren regelt es darin die Aufsichtstätigkeit, insbesondere die Stichprobenerhebung und die Vergleichsmessungen durch die Behörden BAG und ENSI.

### Jahresabgabelimite (JAL)

Ein aus dem quellenbezogenen Dosisrichtwert für den Standort für einzelne Nuklide oder Nuklidgemische ermittelter Aktivitätswert zur Limitierung der mit Abluft oder Abwasser in die Umgebung jährlich abgegebenen radioaktive Stoffe: Dabei werden die Jahresabgabelimiten benachbarter Betriebe berücksichtigt.

### Kurzzeitabgabelimite (KAL)

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 Abluft oder Abwasser in die Umgebung wöchentlich oder täglich abgegebenen radioaktiven Stoffe.

### Repräsentative Person

Eine Person, die eine Strahlendosis erhält, die repräsentativ für die Dosen der hoch strahlenexponierten Personen der Bevölkerung in der Umgebung ist. Die repräsentative Person ist in der Regel ein hypothetisches Konstrukt und nicht eine reelle Person aus der Bevölkerung. Das Konzept der repräsentativen Person wird benutzt, um die Einhaltung der Vorschriften (Compliance) festzustellen und/oder für prospektive Beurteilungen (*prospective assessments*) (vgl. IAEA-Glossary und Definition gemäss ICRP-101).

### Prospektive Dosisberechnung

Vorausschauende Dosisberechnung für ein (noch) nicht reell eingetretenes, hypothetisches Ereignis in der Zukunft mit Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umwelt oder Direktstrahlung, dessen Auftreten bei der Planung/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 usw. sind in aller 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 sehr konservative

Dosisabschätzung für eine potenziell eintretende Expositionssituation für Personen in der Umgebung darstellt.

### **Retrospektive Dosisberechnung**

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