

KfK 5205
Juli 1993

Umrechnungsfaktoren zur Berechnung der Schilddrüsendosis bei Ausbreitung von Iodisotopen über den Luftpfad

**D. Papadopoulos, A. Wicke, M. Winter
Hauptabteilung Sicherheit**

Kernforschungszentrum Karlsruhe

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Hauptabteilung Sicherheit

KfK 5205

**Umrechnungsfaktoren zur Berechnung der Schilddrüsendosis
bei Ausbreitung von Iodisotopen über den Luftpfad**

D. Papadopoulos, A. Wicke, M. Winter

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Als Manuskript gedruckt
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
Postfach 3640, 76021 Karlsruhe

ISSN 0303-4003

Zusammenfassung

Radioaktives Iod wird wegen seines speziellen radioökologischen und biologischen Verhaltens beim Dosisberechnungsverfahren gesondert betrachtet. Die Ableitung über den Kamin und die anschließende Ausbreitung und Deposition führt zu einer potentiellen Strahlenexposition der Bevölkerung über sämtliche Expositionspfade. Der radiologisch relevante Expositionspfad ist die Inkorporation durch Inhalation und Ingestion. Im folgenden wird die Inkorporationsdosis für die Referenzpersonen Kleinkinder und Erwachsene betrachtet.

Dosisfaktoren ergeben bei Multiplikation mit der inkorporierten Aktivität die Schilddrüsendosis. In vielen Fällen ist es wünschenswert, die Schilddrüsendosis durch einfache Multiplikation der abgegebenen Aktivität und des Ausbreitungsfaktors mit einem Umrechnungsfaktor berechnen zu können.

Der vorliegende Bericht beschreibt die Berechnungen der Umrechnungsfaktoren für alle Iodisotope in elementarer Form für Emissionshöhen bis 200 m und Quelledistanzen bis 10 km für die Referenzpersonen Kleinkinder und Erwachsene.

Dabei zeigt sich, daß für Quelledistanzen ab 300 m und für Emissionshöhen bis 100 m die Umrechnungsfaktoren der Iodisotope innerhalb eines Fehlerbereiches von $\pm 15\%$ von der Quelledistanz und von der Emissionshöhe unabhängig sind.

Thyroid Dose Conversion Factors under Condition of Iodine Isotopes Dispersion via the Air Pathway

Summary

Due to its unique radioecological and biological behaviour, radioactive iodine is considered separately in the calculation of doses. When released through the stack, it may cause radiation exposure of the population via dispersion and deposition over all exposure pathways. However, the relevant exposure pathway in radiological terms is incorporation by inhalation and by ingestion. Therefore, in this paper the incorporation dose will be considered for the groups of the population, namely infants during the first year of their life and adults.

The thyroid dose is obtained from dose factors multiplied by the incorporated activity. In many cases it is desirable to calculate the thyroid dose by multiplying the released activity by the dispersion factor and by a conversion factor.

This report describes the calculation of the conversion factors for all iodine isotopes and for emission levels up to 200 m and for source distances up to 10 km.

It has been shown that for distances from the source of 300 m and more and for emission heights up to 100 m the conversion factors of the iodine isotopes are independent of the source distance and the height of emission within an error band of $\pm 15\%$.

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
1. Einführung	1
2. Umrechnungsfaktoren	4
2.1 Umrechnungsfaktoren für Inhalation	4
2.2 Umrechnungsfaktoren für Ingestion	6
2.2.1 Milchingestion	6
2.2.2 Ingestion von Fleisch	12
2.2.3 Ingestion von pflanzlichen Produkten (ohne Blattgemüse)	12
2.2.4 Ingestion von Blattgemüse	14
2.2.5 Gesamtigestion	15
2.3 Umrechnungsfaktoren für Emissionshöhen bis 100 m und Quelldistanzen ab 300 m	16
3. Diskussion	20
4. Literatur	21

1. Einführung

Die Ableitung von radioaktiven Stoffen in die Atmosphäre verursacht eine Aktivitätskonzentration auch in der bodennahen Luft. Für die Iodisotope ist der Transport von der Atmosphäre in andere Medien, z.B. Boden, Gras, Gemüse, Fleisch und Milch von der chemischen Form – elementares, oder organisch gebundenes Iod – abhängig.

Es ist möglich, daß ein Teil der in die Atmosphäre abgegebenen Aktivität durch Inhalation und (oder) Ingestion von Personen inkorporiert wird. Diese Aufnahme verursacht in der Schilddrüse eine Dosis H.

Wenn die inkorporierte Aktivität Q bekannt ist, berechnet man die Dosis H durch Multiplikation mit dem Dosisfaktor g:

$$H = Q \cdot g \quad (1)$$

Dosisfaktoren für die Schilddrüse von Kleinkindern und Erwachsenen sind in /1/ angegeben. Sie sind nach den in /2/ beschriebenen Modellen berechnet. Diese Faktoren werden für die Iodisotope in Tab. 1 wiedergegeben.

Tab. 1: Dosisfaktoren für die Schilddrüse für Inhalation g_{inh} und Ingestion g_{ing} für Kinder im ersten Lebensjahr und für Erwachsene in Sv/Bq nach /1/

	g_{inh}		g_{ing}	
	Kleinkinder	Erwachsene	Kleinkinder	Erwachsene
I-120m	4,7E-09	5,2E-10	1,0E-08	1,1E-09
I-120	1,3E-08	1,4E-09	2,9E-08	3,1E-09
I-121	5,0E-09	6,8E-10	9,5E-09	1,2E-09
I-122	4,4E-12	5,1E-13	7,0E-12	7,5E-13
I-123	1,7E-08	2,0E-09	3,3E-08	4,0E-09
I-124	1,3E-06	1,5E-07	2,1E-06	2,6E-07
I-125	7,5E-07	2,0E-07	1,3E-06	3,1E-07
I-126	2,7E-06	3,6E-07	4,4E-06	5,8E-07
I-128	4,6E-10	4,8E-11	9,5E-10	9,6E-11
I-129	5,5E-06	1,4E-06	8,5E-06	2,2E-06
I-130	1,6E-07	1,8E-08	3,1E-07	3,6E-08
I-131	2,2E-06	2,7E-07	3,5E-06	4,3E-07
I-132m	1,4E-08	1,5E-09	3,0E-08	3,3E-09
I-132	1,4E-08	1,6E-09	3,1E-08	3,5E-09
I-133	4,2E-07	4,4E-08	8,0E-07	8,3E-08
I-134	2,3E-09	2,6E-10	5,0E-09	5,6E-10
I-135	7,0E-08	7,6E-09	1,5E-07	1,6E-08

Bei der Berechnung der Strahlenexposition durch die Ableitung von Iodisotopen eines Emittenten über den Luftpfad müssen grundsätzlich folgende Expositionspfade berücksichtigt werden:

- externe Exposition durch vorüberziehende Wolke
- externe Exposition durch auf dem Boden abgelagerte Aktivität
- interne Exposition durch Inhalation
- interne Exposition durch Ingestion.

Für die Iodisotope kann an der ungünstigsten Einwirkungsstelle die externe Exposition im Vergleich zur internen Exposition vernachlässigt werden.

Ziel des vorliegenden Berichts ist es zu zeigen, daß sich sowohl für Inhalation als auch Ingestion trotz der Komplexität der zu berücksichtigenden Vorgänge wie Ausbreitung, Deposition, Transfer zu Pflanze, Tier und Mensch, ein einfacher proportionaler Zusammenhang zwischen abgeleiteter Aktivität A und resultierender Dosis H formulieren läßt:

$$H = G \cdot A \cdot x \quad (2)$$

wobei

- G : Proportionalitätsfaktor in Sv·m³/Bq·s
- A : Aktivitätsemission in Bq
- x : Langzeitausbreitungsfaktor in s/m³ für 30°-Sektoren
siehe Abb. 1./3/

Der Proportionalitätsfaktor G wird im folgenden als „Umrechnungsfaktor“ bezeichnet.

In /4/ waren die Umrechnungsfaktoren der Iodisotope noch auf der Grundlage von ICRP 2 /5/ berechnet worden. Mit der Veröffentlichung von ICRP 30 /2/ und deren Umsetzung in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 45 der StrlSchV (AVV) /3/ wurde es notwendig, die Umrechnungsfaktoren der Iodisotope für die Inhalation und für die Ingestion neu zu berechnen.

Ziel dieser Arbeit war, für Kleinkinder (Kinder im ersten Lebensjahr) und für Erwachsene die Umrechnungsfaktoren für Inhalation und Ingestion für folgende Iodisotope zu bestimmen:

I-120m, I-120, I-121, I-122, I-123, I-124, I-125, I-126, I-128,

I-129, I-130, I-131, I-132m, I-132, I-133, I-134 und I-135

Die Abnahme der Aktivität durch den radioaktiven Zerfall wird während der atmosphärischen Ausbreitung nicht berücksichtigt. Sie wird jedoch bei Transport und Lagerung von landwirtschaftlichen Produkten voll berücksichtigt.

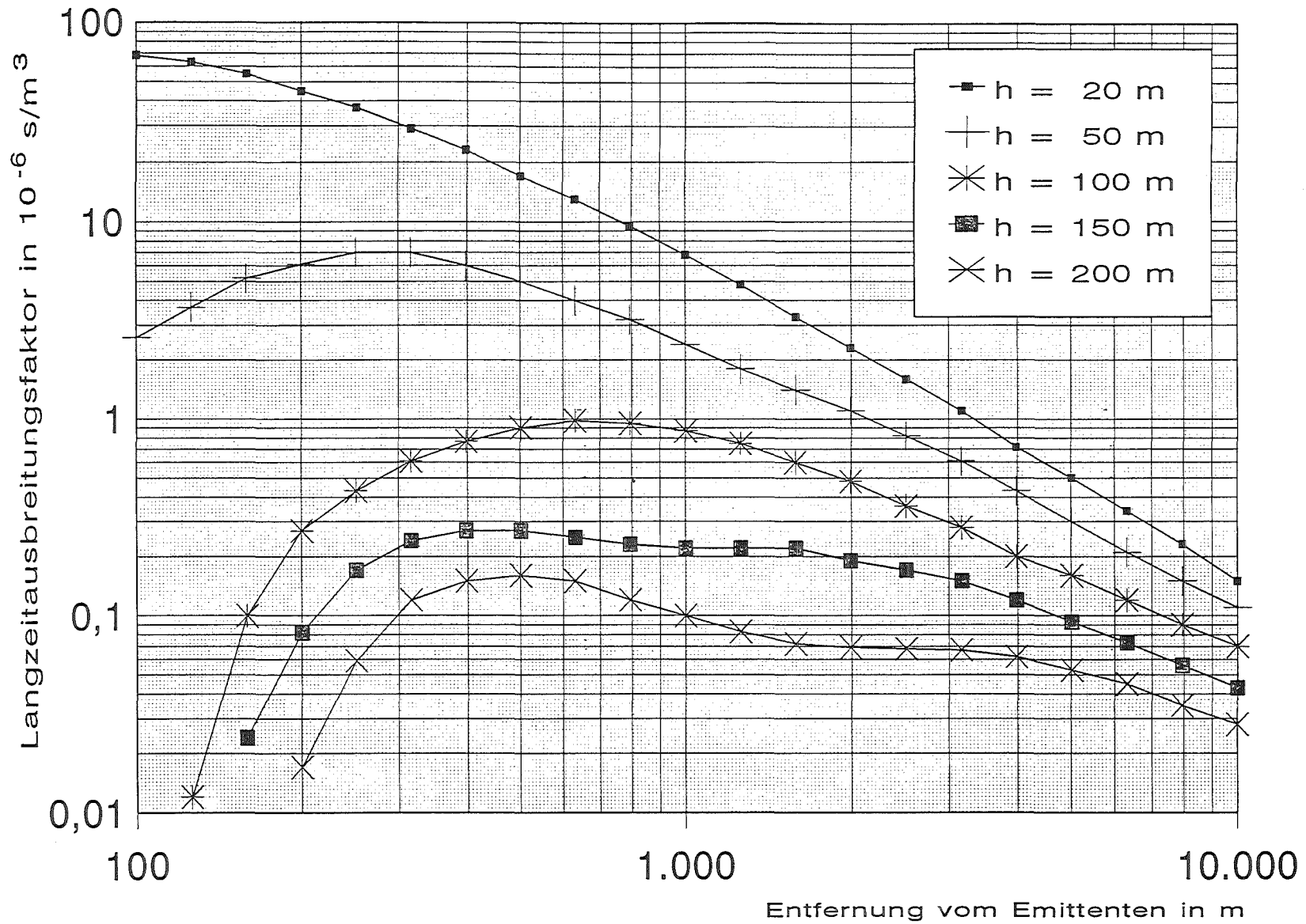


Abbildung 1: Diagramme zur vereinfachten Ermittlung des Langzeitausbreitungsfaktors

für versch. effektive Emissionshöhen h, Windrichtungshäufigkeit 100% in 30 Grad-Sektor, 1969-1986

(Nach /3/)

2. Umrechnungsfaktoren

Der Umrechnungsfaktor G ist das Verhältnis zwischen der Dosis H und dem Produkt $A \cdot \chi$ für die Expositionspfade Inhalation und/oder Ingestion (s. Gl. (2)).

Für die Inhalation ist die Bestimmung des Umrechnungsfaktors relativ einfach; man braucht nur den Dosisfaktor g_{inh} mit der Inhalationsrate V in m^3/s zu multiplizieren.

Etwas schwieriger wird es mit der Bestimmung des Umrechnungsfaktors für Ingestion. Hier hängt der Umrechnungsfaktor von mehreren Vorgängen ab: Deposition auf dem Boden, Ablagerung auf Gras, Anreicherung der Aktivität im Boden, Aufnahme der Aktivität über die Wurzel, Lagerung des Futters, tägliche Futtermenge, Lebensmittel-Lagerung und -Konsum. In der AVV /3/ wurde ein Rechenmodell zur Bestimmung der Aktivitätskonzentrationen in der Atemluft und in den Lebensmitteln beschrieben, das hier angewandt wird.

2.1 Umrechnungsfaktoren für Inhalation

Bei einer jährlich kontinuierlich abgegebenen Aktivität A in Bq ist die Quellstärke \dot{A} in Bq/s

$$\dot{A} = A \cdot a$$

mit

$$a = 3,2 \cdot 10^{-8} s^{-1} \quad \text{reziprokes Jahr in Sekunden.}$$

Per Definition ist der Ausbreitungsfaktor χ in s/m^3 die auf die Einheit der Emissionsstärke normierte bodennahe Aktivitätskonzentration. A verursacht also eine mittlere bodennahe Aktivitätskonzentration C in Bq/ m^3

$$C = A \cdot a \cdot \chi$$

In einem Jahr verursacht der ständige Aufenthalt an einem Ort dieser Aktivitätskonzentration die Inkorporation von Q in Bq

$$Q = A \cdot a \cdot \chi \cdot V \cdot T$$

mit

$$V = 6,03 \cdot 10^{-5} m^3/s \text{ Atemrate für Kleinkinder oder } V = 2,32 \cdot 10^{-4} m^3/s \text{ Atemrate für Erwachsene}$$

und

$$T = 3,15 \cdot 10^7 s \quad \text{die Zahl der Sekunden in einem Jahr.}$$

Da

$$a \cdot T = 1$$

folgt

$$Q = A \cdot \chi \cdot V \quad (3)$$

Aus (1), und (3) folgt

$$H_{inh} = A \cdot x \cdot V \cdot g_{inh}$$

Somit ist nach (2)

$$G_{inh} = g_{inh} \cdot V \quad (Sv \cdot m^3 / Bq \cdot s) \quad (4)$$

Die so errechneten Umrechnungsfaktoren G_{inh} für Kleinkinder im ersten Lebensjahr und für Erwachsene sind in Tabelle 2 eingetragen.

Tab. 2: Umrechnungsfaktoren G_{inh} für Inhalation. Betrachtetes Organ: Schilddrüse von Kleinkindern (1 Jahr) und Erwachsenen

	G_{inh} ($Sv \cdot m^3 / Bq \cdot s$)	
	Kinder im ersten Lebensjahr	Erwachsene
I-120m	2,8E-13	1,2E-13
I-120	7,8E-13	3,2E-13
I-121	3,0E-13	1,6E-13
I-122	2,7E-16	1,2E-16
I-123	1,0E-12	4,6E-13
I-124	7,8E-11	3,5E-11
I-125	4,5E-11	4,6E-11
I-126	1,6E-10	8,4E-11
I-128	2,8E-14	1,1E-14
I-129	3,3E-10	3,2E-10
I-130	9,7E-12	4,2E-12
I-131	1,3E-10	6,3E-11
I-132m	8,4E-13	3,5E-13
I-132	8,4E-13	3,7E-13
I-133	2,5E-11	1,0E-11
I-134	1,4E-13	6,0E-14
I-135	4,2E-12	1,8E-12

2.2 Umrechnungsfaktoren für Ingestion

Die Umrechnungsfaktoren für die Ingestion hängen u.a. von der Aktivitätskonzentration in der bodennahen Luft und von der Niederschlagsintensität ab. Somit sind sie abhängig u.a. von der meteorologischen Statistik, von der Zahl der Sektoren, von der Emissionshöhe und von der Entfernung der landwirtschaftlichen Fläche vom Emittenten.

Die Dosis H_{ing} durch die Ingestion von Milch, Fleisch, pflanzlichen Produkten (ohne Blattgemüse) und Blattgemüse ist durch die Gleichung gegeben:

$$H_{ing} = H^{Mi} + H^{Fl} + H^{Pf} + H^{Bl} \quad (6)$$

mit

$$H^{MI} = U^{Mi} \cdot C^{Mi} \cdot g_{ing} \quad (7a)$$

$$H^{Fl} = U^{Fl} \cdot C^{Fl} \cdot g_{ing} \quad (7b)$$

$$H^{Pf} = U^{Pf} \cdot C^{Pf} \cdot g_{ing} \quad (7c)$$

$$H^{Bl} = U^{Bl} \cdot C^{Bl} \cdot g_{ing} \quad (7d)$$

wobei

C^{Mi} = Aktivitätsgehalt in Milch in Bq/kg

C^{Fl} = Aktivitätsgehalt in Fleisch in Bq/kg

C^{Pf} = Aktivitätsgehalt in pfl. Produkten in Bq/kg

C^{Bl} = Aktivitätsgehalt in Blattgemüse in Bq/kg

und als Jahresverbrauch der Referenzpersonen

für Kleinkinder

$U^{Mi} = 200 \text{ kg}$

$U^{Fl} = 50 \text{ kg}$

$U^{Bl} = 10 \text{ kg}$

$U^{Pf} = 20 \text{ kg}$

für Erwachsene

$U^{Mi} = 330 \text{ kg}$

$U^{Fl} = 460 \text{ kg}$

$U^{Bl} = 40 \text{ kg}$

$U^{Pf} = 150 \text{ kg}$

2.2.1 Milch ingestion

Wie erwähnt, ist die Dosis H^{MI} in Sv durch die Gleichung (7a) gegeben:

$$H^{MI} = U^{Mi} \cdot C^{Mi} \cdot g_{ing}$$

Nach /3/ ist C^{MI} von der Aktivitätskonzentration im Futter C^{Fu} in Bq/kg und von der täglichen Futtermenge M^{Fu} in kg/d abhängig:

$$C^{MI} = C^{Fu} \cdot M^{Fu} \cdot T^{MI} \quad (8)$$

mit:

$$\begin{aligned} M^{Fu} &= 65 \text{ kg/d, tägliche Aufnahme von Weidefutter (Feuchtmasse)} \\ T^{MI} &= 0,003 \quad (\text{Bq/kg-Milch}) / (\text{Bq/d}), \text{ Transferfaktor vom Futter in die Milch.} \end{aligned}$$

Für halbjährige Weideperiode ist

$$C^{Fu} = 0,5 \cdot [1 + \exp(-\lambda \cdot t_{v,Fu})] \cdot A \cdot \chi \cdot C^{0,Fu} \quad (9)$$

mit:

$$\begin{aligned} \lambda &: \text{ Zerfallskonstante des Iodisotopes, in } s^{-1} \\ t_{v,Fu} &= 90 \cdot 86400 \text{ s, Zeit zwischen Ernte und Verbrauch des Futters} \\ A &: \text{ jährliche abgegebene Aktivität in Bq} \\ \chi &: \text{ Langzeitausbreitungsfaktor in } s/m^3, \text{ nach Berücksichtigung} \\ &\quad \text{der Windrichtungshäufigkeit für } 30^\circ \text{ Sektoren aus AVV Anhang 8,} \\ &\quad \text{siehe auch Abb. 1 und Kap. 1*} \end{aligned}$$

und $C^{0,Fu}$ aus Gleichung (10a):

$$\begin{aligned} C^{0,Fu} &= a \cdot \{ (v_g + f_w \cdot W^S / \chi) \cdot [1 - \exp(-\lambda_{eff,Pf} \cdot t_{e,Wd})] / (Y^{Wd} \cdot \lambda_{eff,Pf}) + \\ &\quad + (v_g + W^G / \chi) \cdot T^{Wd} \cdot [1 - \exp(-\lambda_{eff,Bo} \cdot t_b)] / (P^A \cdot \lambda_{eff,Bo}) \} \quad (10a) \end{aligned}$$

Im folgenden wird Gl. (10a) unter Verwendung der nuklidunabhängigen Faktoren (F_{Kg1} , F_{Kg2}) umgeschrieben.

Wir definieren

$$C^{01,Fu} = a \cdot [1 - \exp(-\lambda_{eff,Pf} \cdot t_{e,Wd})] / (Y^{Wd} \cdot \lambda_{eff,Pf}) \quad (10b)$$

$$C^{02,Fu} = a \cdot T^{Wd} \cdot [1 - \exp(-\lambda_{eff,Bo} \cdot t_b)] / (P^A \cdot \lambda_{eff,Bo}) \quad (10c)$$

$$F_{Kg1} = v_g + f_w \cdot W^S / \chi \quad (10d)$$

$$F_{Kg2} = v_g + W^G / \chi \quad (10e)$$

somit folgt

$$C^{0,Fu} = F_{Kg1} \cdot C^{01,Fu} + F_{Kg2} \cdot C^{02,Fu} \quad (10f)$$

In den Gleichungen (10 a-f) haben die Variablen folgende Bedeutung:

$$\begin{aligned} a &= 3,2 \cdot 10^{-8} \text{ s}^{-1}, \text{ Umrechnungsfaktor (s. Kap 3.1)} \\ v_g &= 0,01 \text{ m/s Ablagerungsgeschwindigkeit für elementares Iod} \end{aligned}$$

*) In der AVV wird für χ für das Sommerhalbjahr χ^S und für das Gesamtjahr χ^G mit $\chi^S = 2 \cdot \chi^G$ empfohlen; Rechnungen mit der 16-jährigen meteorologischen Statistik des Standortes Karlsruhe haben aber gezeigt, daß χ^S nicht mehr als 5% höher als χ^G ist; wir setzen daher für unsere Berechnung $\chi^S = \chi^G = \chi$ (s.auch /6/)

- f_w = 0,3 Anteil der auf der Pflanze abgelagerten Aktivität
- $\lambda_{eff,Pf}$ = $\lambda_{Pf} + \lambda = 5,7 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1} + \lambda$
- λ_{Pf} : Verweilkonstante für das Verbleiben der Aktivität auf der Vegetation (Verweilzeit 14 d).
- $\lambda_{eff,BoW}$ = $\lambda_{BoW} + \lambda = 2 \cdot 10^{-9} \text{ s}^{-1} + \lambda$
- λ_{BoW} : Verweilkonstante der Radionuklide aufgrund des Transports in tiefere Bodenschichten für Weide
- $t_{e,Wd}$ = $2,6 \cdot 10^6 \text{ s}$, Zeit, in der Weidepflanzen während der der Wachstumperiode der Ab-
luftfahne ausgesetzt sind (30d)
- t_b = $1,59 \cdot 10^9 \text{ s}$, Zeit, in der sich das Nuklid im Boden anreichert (50a)
- Y_{Wd} = $0,85 \text{ kg/m}^2$, Bewuchsdichte von Weidepflanzen
- T_{Wd} = $0,1 \text{ (Bq/kg-Naßgewicht)/(Bq/kg-Trockenboden)}$, Transferfaktor Boden-Weide-
pflanzen
- P_{Wd} = $120 \text{ (kg-Trockenboden)/(m}^2\text{)}$, Massenbelegung des Bodens, für Weide
- W_S = $(6 \cdot c \cdot J_S) / (\pi \cdot x \cdot u)$ (10g)
Washoutfaktor für Sommerhalbjahr bei 12 Windrichtungssektoren,
in m^{-2} (Sommerhalbjahr)
- W_G = $(6 \cdot c \cdot J_G) / (\pi \cdot x \cdot u)$ (10h)
Washoutfaktor bei 12 Windrichtungssektoren, in m^{-2} (Gesamtjahr)
- wobei
- c = $1,5 \cdot 10^{-8} \text{ a/(mm} \cdot \text{s)}$, Proportionalitätsfaktor für Washout
- J_S : gewichtete Sommerniederschlagsintensität für den betrachteten Sektor in mm/a
- J_G : gewichtete Jahresniederschlagsintensität für den betrachteten Sektor in mm/a
- x : Quelldistanz für das betrachtete x , in m (s. Abb. 1)
- u = $3,85 \text{ m/s}$, mittlere Windgeschwindigkeit, in m/s .

Für unsere Berechnungen wurden für die Niederschlagsintensitäten J die Mittelwerte für den Standort Karlsruhe aus dem Zeitraum 1.12.1973 bis 30.11.1987 berücksichtigt. Für das ganze Jahr beträgt demnach der mittlere Niederschlag rund 700 mm und die Häufigkeit der Windrichtung für den Hauptausbreitungssektor ca. 21 %. Nach der Aufrundung wurde $J_G = 150 \text{ mm}$ gesetzt. Für das Sommerhalbjahr beträgt der entsprechende Mittelwert der Niederschlagsintensität rund 400 mm und die entsprechende Häufigkeit 20 %. Um Schwankungen der Niederschlagsintensität in Hauptausbreitungsrichtung im Sommerhalbjahr Rechnung zu tragen und konservativ zu bleiben, wurde $J_S = 100 \text{ mm}$ gesetzt.

Der Wert für die mittlere Windgeschwindigkeit von 3,85 m/s ist für Emissionshöhen um 70 m repräsentativ. Für niedrigere Emissionshöhen wird der Wert kleiner. Er bleibt aber größer als 2 m/s für Emissionshöhen um 20 m. Für Emissionshöhen ab ca. 70 m wird er größer als 3,85 m/s. Die Annahme von $u = 3,85 \text{ m/s}$ für alle Emissionshöhen verursacht einen akzeptablen relativen Fehler von weniger als $\pm 5\%$ (s. Kap. 2.3).

Aus den Gleichungen (7a), (8) bis (10f) folgt:

$$H^{Mi} = U^{Mi} \cdot M^{Fu} \cdot T^{Mi} \cdot 0,5 \cdot [1 + \exp(-\lambda \cdot t_{v,Fu})] \cdot A \cdot x(F_{Kg1} \cdot C^{o1,Fu} + F_{Kg2} \cdot C^{o2,Fu}) \cdot g_{ing} \quad (11a).$$

Durch Definition der nuklidabhängigen Faktoren K_{g1} und K_{g2} für Milch

$$K_{g1,Mi} = U^{Mi} \cdot M^{Fu} \cdot T^{Mi} \cdot 0,5 \cdot [1 + \exp(-\lambda \cdot t_{v,Fu})] \cdot C^{o1,Fu} \quad (11b)$$

$$K_{g2,Mi} = U^{Mi} \cdot M^{Fu} \cdot T^{Mi} \cdot 0,5 \cdot [1 + \exp(-\lambda \cdot t_{v,Fu})] \cdot C^{o2,Fu} \quad (11c).$$

folgt

$$H^{Mi} = A \cdot x \cdot (F_{Kg1} \cdot K_{g1,Mi} + F_{Kg2} \cdot K_{g2,Mi}) \cdot g_{ing} \quad (12).$$

Werte für F_{Kg1} und F_{Kg2} wurden gemäß Gln. (10d) und (10e) für die Emissionshöhen 20, 50, 100, 150, und 200 m und für Aufpunkte ab 200 m vom Emittenten entfernt errechnet und in Tabelle 3 eingetragen. Werte für $K_{g1,Mi}$ und $K_{g2,Mi}$ aller Iodisotope für Kinder im ersten Lebensjahr sind in Tabelle 4 und für Erwachsene in Tabelle 5 eingetragen.

Somit ist nach Gl. (2) der gesuchte Umrechnungsfaktor für Milchgestion

$$G_{ing,Mi} = (F_{Kg1} \cdot K_{g1,Mi} + F_{Kg2} \cdot K_{g2,Mi}) \cdot g_{ing} \quad (13).$$

Tab. 3: F_{kg1} - und F_{kg2} -Faktoren in m/s für verschiedene Emissionshöhen und Quelledistanzen*

Quell- distanz* m	h = 20m		h = 50m		h = 100m		h = 150m		h = 200m	
	F_{kg1}	F_{kg2}	F_{kg1}	F_{kg2}	F_{kg1}	F_{kg2}	F_{kg1}	F_{kg2}	F_{kg1}	F_{kg2}
200	1,00E-02	1,02E-02	1,03E-02	1,15E-02	1,66E-02	4,31E-02	3,18E-02	1,19E-01	1,15E-01	5,35E-01
251	1,00E-02	1,02E-02	1,02E-02	1,10E-02	1,33E-02	2,65E-02	1,84E-02	5,19E-02	3,41E-02	1,31E-01
316	1,00E-02	1,02E-02	1,02E-02	1,08E-02	1,19E-02	1,93E-02	1,47E-02	3,35E-02	1,94E-02	5,71E-02
398	1,00E-02	1,02E-02	1,01E-02	1,07E-02	1,12E-02	1,58E-02	1,33E-02	2,66E-02	1,60E-02	3,99E-02
501	1,00E-02	1,02E-02	1,01E-02	1,07E-02	1,08E-02	1,40E-02	1,26E-02	2,32E-02	1,45E-02	3,23E-02
631	1,00E-02	1,02E-02	1,01E-02	1,07E-02	1,06E-02	1,29E-02	1,23E-02	2,13E-02	1,38E-02	2,89E-02
794	1,00E-02	1,02E-02	1,01E-02	1,07E-02	1,05E-02	1,24E-02	1,20E-02	1,98E-02	1,37E-02	2,87E-02
1000	1,01E-02	1,03E-02	1,01E-02	1,07E-02	1,04E-02	1,21E-02	1,16E-02	1,81E-02	1,36E-02	2,79E-02
1259	1,01E-02	1,03E-02	1,02E-02	1,08E-02	1,04E-02	1,19E-02	1,13E-02	1,64E-02	1,34E-02	2,71E-02
1585	1,01E-02	1,03E-02	1,02E-02	1,08E-02	1,04E-02	1,19E-02	1,10E-02	1,51E-02	1,31E-02	2,56E-02
1995	1,01E-02	1,04E-02	1,01E-02	1,07E-02	1,04E-02	1,19E-02	1,09E-02	1,47E-02	1,26E-02	2,30E-02
2512	1,01E-02	1,04E-02	1,02E-02	1,09E-02	1,04E-02	1,20E-02	1,08E-02	1,42E-02	1,21E-02	2,05E-02
3162	1,01E-02	1,05E-02	1,02E-02	1,09E-02	1,04E-02	1,20E-02	1,08E-02	1,38E-02	1,17E-02	1,84E-02
3981	1,01E-02	1,06E-02	1,02E-02	1,10E-02	1,04E-02	1,22E-02	1,07E-02	1,37E-02	1,14E-02	1,72E-02
5012	1,01E-02	1,07E-02	1,02E-02	1,12E-02	1,04E-02	1,22E-02	1,08E-02	1,38E-02	1,13E-02	1,67E-02
6310	1,02E-02	1,08E-02	1,03E-02	1,13E-02	1,05E-02	1,24E-02	1,08E-02	1,39E-02	1,13E-02	1,63E-02
7943	1,02E-02	1,10E-02	1,03E-02	1,15E-02	1,05E-02	1,25E-02	1,08E-02	1,40E-02	1,13E-02	1,64E-02
10000	1,02E-02	1,12E-02	1,03E-02	1,16E-02	1,05E-02	1,26E-02	1,08E-02	1,42E-02	1,13E-02	1,64E-02

* Die Quelledistanzen wurden aus der logarithmischen Darstellung der Abb. 1 in /3/ berechnet.

Tab. 4: K_{g1} - und K_{g2} -Faktoren für Kleinkinder, in m^2

Nuklid	$K_{g1,Pf}$	$K_{g1,BI}$	$K_{g1,Mi}$	$K_{g1,Fl}$	K_{g1}	$K_{g2,Pf}$	$K_{g2,BI}$	$K_{g2,Mi}$	$K_{g2,Fl}$	K_{g2}
	Pflanzl. Produkte (o. Bl.)	Blattgem.	Milch	Fleisch	Summe	Pflanzl. Produkte (o. Bl.)	Blattgem.	Milch	Fleisch	Summe
I-120m	0,000E+00	9,324E-04	3,422E-03	0,000E+00	4,35E-03	0,000E+00	1,068E-07	2,431E-06	0,000E+00	2,537E-06
I-120	0,000E+00	1,423E-03	5,223E-03	0,000E+00	6,646E-03	0,000E+00	1,633E-07	3,715E-06	0,000E+00	3,878E-06
I-121	0,000E+00	2,168E-03	7,957E-03	0,000E+00	1,012E-02	0,000E+00	2,493E-07	5,672E-06	0,000E+00	5,921E-06
I-122	0,000E+00	6,384E-05	2,343E-04	0,000E+00	2,982E-04	0,000E+00	7,297E-09	1,660E-07	0,000E+00	1,733E-07
I-123	5,211E-35	1,307E-02	4,799E-02	2,760E-13	6,106E-02	9,281E-39	1,553E-06	3,532E-05	2,031E-16	3,687E-05
I-124	1,235E-05	7,959E-02	2,917E-01	3,728E-03	3,750E-01	2,744E-09	1,179E-05	2,682E-04	3,427E-06	2,834E-04
I-125	4,569E-01	2,743E-01	1,174E+00	3,119E-01	2,217E+00	4,208E-04	1,684E-04	5,146E-03	1,367E-03	7,103E-03
I-126	2,257E-02	1,666E-01	5,897E-01	6,898E-02	8,479E-01	7,453E-06	3,669E-05	8,401E-04	9,827E-05	9,825E-04
I-128	0,000E+00	4,403E-04	1,616E-03	0,000E+00	2,056E-03	0,000E+00	5,038E-08	1,146E-06	0,000E+00	1,197E-06
I-129	1,098E+00	3,295E-01	1,971E+00	6,571E-01	4,056E+00	8,965E-02	1,793E-02	4,928E-01	1,643E-01	7,646E-01
I-130	2,768E-37	1,227E-02	4,503E-02	4,772E-14	5,730E-02	4,916E-41	1,453E-06	3,306E-05	3,503E-17	3,451E-05
I-131	2,354E-03	1,263E-01	4,561E-01	2,789E-02	6,127E-01	6,336E-07	2,267E-05	5,154E-04	3,152E-05	5,703E-04
I-132m	0,000E+00	1,468E-03	5,389E-03	0,000E+00	6,857E-03	0,000E+00	1,685E-07	3,833E-06	0,000E+00	4,002E-06
I-132	0,000E+00	2,351E-03	8,628E-03	0,000E+00	1,098E-02	0,000E+00	2,705E-07	6,153E-06	0,000E+00	6,423E-06
I-133	8,501E-23	2,016E-02	7,400E-02	3,632E-09	9,416E-02	1,547E-26	2,446E-06	5,563E-05	2,730E-12	5,808E-05
I-134	0,000E+00	9,253E-04	3,396E-03	0,000E+00	4,322E-03	0,000E+00	1,060E-07	2,412E-06	0,000E+00	2,518E-06
I-135	0,000E+00	6,670E-03	2,448E-02	2,577E-24	3,115E-02	0,000E+00	7,772E-07	1,768E-05	1,861E-27	1,846E-05

Tab. 5: K_{g1} - und K_{g2} -Faktoren für Erwachsene, in m^2

Nuklid	$K_{g1,Pf}$	$K_{g1,BI}$	$K_{g1,Mi}$	$K_{g1,Fl}$	K_{g1}	$K_{g2,Pf}$	$K_{g2,BI}$	$K_{g2,Mi}$	$K_{g2,Fl}$	K_{g2}
	Pflanzl. Produkte (o. Bl.)	Blattgem.	Milch	Fleisch	Summe	Pflanzl. Produkte (o. Bl.)	Blattgem.	Milch	Fleisch	Summe
I-120m	0,000E+00	3,729E-03	5,647E-03	0,000E+00	9,376E-03	0,000E+00	4,274E-07	4,011E-06	0,000E+00	4,438E-06
I-120	0,000E+00	5,692E-03	8,618E-03	0,000E+00	1,431E-02	0,000E+00	6,532E-07	6,130E-06	0,000E+00	6,783E-06
I-121	0,000E+00	8,671E-03	1,313E-02	0,000E+00	2,180E-02	0,000E+00	9,972E-07	9,358E-06	0,000E+00	1,036E-05
I-122	0,000E+00	2,553E-04	3,866E-04	0,000E+00	6,420E-04	0,000E+00	2,919E-08	2,739E-07	0,000E+00	3,031E-07
I-123	4,794E-34	5,230E-02	7,918E-02	2,070E-12	1,315E-01	8,539E-38	6,210E-06	5,827E-05	1,523E-15	6,448E-05
I-124	1,136E-04	3,184E-01	4,813E-01	2,769E-02	8,277E-01	2,525E-08	4,717E-05	4,424E-04	2,571E-05	5,154E-04
I-125	4,204E-00	1,097E+00	1,937E+00	2,339E+00	9,577E+00	3,871E-03	6,736E-04	8,492E-03	1,026E-02	2,329E-02
I-126	2,077E+01	6,666E-01	9,730E-01	5,173E-01	2,365E+00	6,857E-05	1,467E-04	1,386E-03	7,370E-04	2,338E-03
I-128	0,000E+00	1,761E-03	2,667E-03	0,000E+00	4,428E-03	0,000E+00	2,015E-07	1,891E-06	0,000E+00	2,093E-06
I-129	1,011E+01	1,318E+00	3,253E+00	4,928E+00	1,960E+01	8,247E-01	7,172E-02	8,131E-01	1,232E+00	2,942E-00
I-130	2,547E-36	4,907E-02	7,430E-02	3,579E-13	1,234E-01	4,524E-40	5,813E-06	5,455E-05	2,627E-16	6,036E-05
I-131	2,165E-02	5,053E-01	7,526E-01	2,092E-01	1,489E+00	5,829E-06	9,068E-05	8,505E-04	2,364E-04	1,183E-03
I-132m	0,000E+00	5,873E-03	8,892E-03	0,000E+00	1,476E-02	0,000E+00	6,740E-07	6,325E-06	0,000E+00	6,999E-06
I-132	0,000E+00	9,402E-03	1,424E-02	0,000E+00	2,364E-02	0,000E+00	1,082E-06	1,015E-05	0,000E+00	1,123E-05
I-133	7,821E-22	8,064E-02	1,221E-01	2,724E-08	2,027E-01	1,423E-25	9,783E-06	9,180E-05	2,048E-11	1,016E-04
I-134	0,000E+00	3,701E-03	5,604E-03	0,000E+00	9,305E-03	0,000E+00	4,241E-07	3,980E-06	0,000E+00	4,404E-06
I-135	0,000E+00	2,668E-02	4,040E-02	1,933E-23	6,708E-02	0,000E+00	3,109E-06	2,917E-05	1,396E-26	3,228E-05

2.2.2 Ingestion von Fleisch

Gemäß Gl. 7b ist die Dosis H^{Fl} durch die Ingestion von Fleisch durch die Gleichung gegeben:

$$H^{Fl} = U^{Fl} \cdot C^{Fl} \cdot g_{ing}$$

Nach /3/ ist C^{Fl} von der Aktivitätskonzentration im Futter C^{Fu} in Bq/kg und von der täglichen Futtermenge M^{Fu} in kg/d abhängig:

$$C^{Fl} = C^{Fu} \cdot M^{Fu} \cdot T^{Fl} \quad (14)$$

mit:

$T^{Fl} = 0,01$ (Bq/kg-Fleisch)/(Bq/d) Transferfaktor vom Futter in das Fleisch.

und M^{Fu} , C^{Fu} wie im Kap 2.2.1 beschrieben wurde.

Somit ist die Dosis H^{Fl}

$$H^{Fl} = U^{Fl} \cdot M^{Fu} \cdot T^{Fl} \cdot 0,5 \cdot [1 + \exp(-\lambda \cdot t_v)] \cdot A \cdot \chi \cdot (F_{Kg1} \cdot C^{o1,Fu} + F_{Kg2} \cdot C^{o2,Fu}) \cdot g_{ing} \quad (15a)$$

Wir definieren

$$K_{g1,Fl} = U^{Fl} \cdot M^{Fu} \cdot T^{Fl} \cdot 0,5 \cdot [1 + \exp(-\lambda \cdot t_v)] \cdot C^{o1,Fu} \quad (15b)$$

$$K_{g2,Fl} = U^{Fl} \cdot M^{Fu} \cdot T^{Fl} \cdot 0,5 \cdot [1 + \exp(-\lambda \cdot t_v)] \cdot C^{o2,Fu} \quad (15c)$$

Somit folgt

$$H^{Fl} = A \cdot \chi \cdot (F_{Kg1} \cdot K_{g1,Fl} + F_{Kg2} \cdot K_{g2,Fl}) \cdot g_{ing} \quad (16)$$

Nach Gl. (2) ist der gesuchte Umrechnungsfaktor für Fleisch ingestion

$$G_{ing,Fl} = (F_{Kg1} \cdot K_{g1,Fl} + F_{Kg2} \cdot K_{g2,Fl}) \cdot g_{ing} \quad (17)$$

Die Werte für $K_{g1,Fl}$ und $K_{g2,Fl}$ wurden für alle Iodisotope für Kleinkinder bzw. für Erwachsene ebenfalls in Tabelle 4 bzw. Tabelle 5 eingetragen.

2.2.3 Ingestion von pflanzlichen Produkten (ohne Blattgemüse)

Wie im Abschnitt 2.2 erwähnt wurde, ist die Dosis H^{Pf} durch die Gleichung gegeben:

$$H^{Pf} = U^{Pf} \cdot C^{Pf} \cdot g_{ing}$$

Nach /3/ ist

$$C^{Pf} = [\exp(-\lambda \cdot t_{v,Pf})] \cdot A \cdot x \cdot C^{02,Pf} \quad (18)$$

Die noch nicht erläuterten Variablen haben folgende Bedeutung:

$$t_{v,Pf} = 5,2 \cdot 10^6 \text{ s, Zeit zwischen Ernte und Verbrauch der pflanzlichen Produkte, ohne Blattgemüse (60d)}$$

und $C^{0,Pf}$ aus Gleichung (19a).

$$C^{0,Pf} = a \cdot \left\{ (v_g + fw W^S/x) \cdot [\exp(-\lambda_{eff,Pf} \cdot t_{e,Pf})] / (Y^{Pf} \cdot \lambda_{eff,Pf}) + (v_g + W^G/x) \cdot T^{Pf} \cdot [1 - \exp(-\lambda_{eff,BoA} \cdot t_b)] / (P^A \cdot \lambda_{eff,BoA}) \right\} \quad (19a)$$

Wir definieren

$$C^{01,Pf} = a \cdot [1 - \exp(-\lambda_{eff,Pf} \cdot t_{e,Pf})] / (Y^{Pf} \cdot \lambda_{eff,Pf}) \quad (19b)$$

$$C^{02,Pf} = a \cdot T^{Pf} \cdot [1 - \exp(-\lambda_{eff,BoA} \cdot t_b)] / (P^A \cdot \lambda_{eff,BoA}) \quad (19c)$$

Nach Gln. (10d), (10e) folgt

$$C^{0,Pf} = F_{Kg1} \cdot C^{01,Pf} + F_{Kg2} \cdot C^{02,Pf} \quad (19d)$$

In den Gleichungen (19 a-d) haben die noch nicht erläuterten Variablen folgende Bedeutung:

$$t_{e,Pf} = 5,2 \cdot 10^6 \text{ s, Zeit, in der pflanzliche Produkte (ohne Blattgemüse) während der Wachstumsperiode exponiert sind (60d)}$$

$$\lambda_{eff,BoA} = \lambda_{BoA} + \lambda = 1 \cdot 10^{-9} \text{ s}^{-1} + \lambda$$

λ_{BoA} : Verweilkonstante der Radionuklide aufgrund des Transports in tiefere Bodenschichten, für Acker

$$Y_{Pf} = 2,4 \text{ kg/m}^2, \text{ Ertrag von pflanzlichen Produkten (ohne Blattgemüse)}$$

$$T^{Pf} = 0,02 \text{ (Bq/kg-Naßgewicht)/(Bq/kg-Trockenboden), Transferfaktor Boden-Ackerpflanzen}$$

$$P^A = 280 \text{ (kg-Trockenboden)/(m}^2\text{), Massenbelegung des Bodens für Acker}$$

Aus den Gleichungen (7c), (18) bis (19d) folgt:

$$H^{Pf} = U^{Pf} \cdot [\exp(-\lambda \cdot t_{v,Pf})] \cdot A \cdot x \cdot (F_{Kg1} \cdot C^{01,Pf} + F_{Kg2} \cdot C^{02,Pf}) \cdot g_{ing} \quad (20a)$$

Wir definieren

$$K_{g1,Pf} = U^{Pf} \cdot [\exp(-\lambda \cdot t_{v,Pf})] \cdot C^{01,Pf} \quad (20b)$$

$$K_{g2,Pf} = U^{Pf} \cdot [\exp(-\lambda \cdot t_{v,Pf})] \cdot C^{02,Pf} \quad (20c)$$

Somit folgt

$$H^{Pf} = A \cdot \chi \cdot (F_{Kg1} \cdot K_{g1,Pf} + F_{Kg2} \cdot K_{g2,Pf}) \cdot g_{ing} \quad (21)$$

Nach Gl. (2) ist der gesuchte Umrechnungsfaktor für Ingestion von pflanzlichen Produkten (ohne Blattgemüse)

$$G_{ing,Pf} = (F_{Kg1} \cdot K_{g1,Pf} + F_{Kg2} \cdot K_{g2,Pf}) \cdot g_{ing} \quad (22)$$

Die Werte für $K_{g1,Pf}$ und $K_{g2,Pf}$ wurden für alle Isotope auch in Tabelle 4 bzw. Tabelle 5 für Kleinkind bzw. für Erwachsene eingetragen.

2.2.4 Ingestion von Blattgemüse

Wie im Abschnitt 2.2 erwähnt, ist die Dosis H^{Bl} durch die Gleichung gegeben:

$$H^{Bl} = U^{Bl} \cdot C^{Bl} \cdot g_{ing}$$

Nach /1/ ist

$$C^{Bl} = [\exp(-\lambda \cdot t_{v,Bl})] \cdot A \cdot \chi \cdot C^{0,Bl} \quad (23)$$

Die noch nicht erläuterten Variablen haben folgende Bedeutung:

$t_{v,Bl} = 0 \text{ s}$, Zeit zwischen Ernte und Verbrauch von Blattgemüse

und $C^{0,Bl}$ aus Gleichung (24a).

$$C^{0,Bl} = a \cdot \left\{ (v_g + f_w \cdot W^S/\chi) \cdot [1 - \exp(-\lambda_{eff,Pf} \cdot t_{e,Bl})] V(Y^{Bl}, \lambda_{eff,Pf}) + (v_g + W^G/\chi) \cdot T^{Pf} \cdot [1 - \exp(-\lambda_{eff,BoA} \cdot t_b)] V(P^A, \lambda_{eff,BoA}) \right\} \quad (24a)$$

Wir definieren

$$C^{01,Bl} = a \cdot [1 - \exp(-\lambda_{eff,Pf} \cdot t_{e,Bl})] V(Y^{Bl}, \lambda_{eff,Pf}) \quad (24b)$$

$$C^{02,Bl} = a \cdot T^{Pf} \cdot [1 - \exp(-\lambda_{eff,BoA} \cdot t_b)] V(P^A, \lambda_{eff,BoA}) \quad (24c)$$

Nach Gln. (10d), (10e) folgt

$$C^{0,Pf} = F_{Kg1} \cdot C^{01,Bl} + F_{Kg2} \cdot C^{02,Bl} \quad (24d)$$

In den Gleichungen (24 a-d) haben die noch nicht erläuterten Variablen folgende Bedeutung:

$t_{e,Bl} = 5,2 \cdot 10^6 \text{ s}$, Zeit, in der Blattgemüse während der Wachstumsperiode exponiert ist (60d)

$Y_{Bl} = 1,6 \text{ kg/m}^2$, Ertrag von Blattgemüse.

Aus den Gleichungen (7d), (23) bis (24d) folgt:

$$H^{Bl} = U^{Bl} \cdot A \cdot \chi \cdot (F_{Kg1} \cdot C^{01,Bl} + F_{Kg2} \cdot C^{02,Bl}) \cdot g_{ing} \quad (25a)$$

Wir definieren

$$K_{g1,Bl} = U^{Pf} \cdot C^{01,Bl} \quad (25b)$$

$$K_{g2,Bl} = U^{Pf} \cdot C^{02,Bl} \quad (25c)$$

Somit folgt

$$H^{Bl} = A \cdot \chi \cdot (F_{Kg1} \cdot K_{g1,Bl} + F_{Kg2} \cdot K_{g2,Bl}) \cdot g_{ing} \quad (26)$$

Nach Gl. (2) ist der gesuchte Umrechnungsfaktor für Ingestion von Blattgemüse

$$G_{ing,Bl} = (F_{Kg1} \cdot K_{g1,Bl} + F_{Kg2} \cdot K_{g2,Bl}) \cdot g_{ing} \quad (27)$$

Die Werte für $K_{g1,Bl}$ und $K_{g2,Bl}$ wurden für alle Iodisotope auch in Tabelle 4 bzw. Tabelle 5 für Kleinkinder bzw. für Erwachsene eingetragen.

2.2.5 Gesamtigestion

Aus den Gln. (6), (12), (16), (21) und (26) folgt:

$$H_{ing} = A \cdot \chi \cdot [(F_{Kg1} \cdot (K_{g1,Mi} + K_{g1,Fl} + K_{g1,Fl} + K_{g1,Pf} + K_{g1,Bl}) + (F_{Kg2} \cdot (K_{g2,Mi} + K_{g2,Fl} + K_{g2,Pf} + K_{g2,Bl})))] \cdot g_{ing}$$

Mit

$$K_{g1} = K_{g1,Mi} + K_{g1,Fl} + K_{g1,Pf} + K_{g1,Bl} \quad (28)$$

und

$$K_{g2} = K_{g2,Mi} + K_{g2,Fl} + K_{g2,Pf} + K_{g2,Bl} \quad (29)$$

folgt

$$H_{ing} = A \cdot \chi \cdot (F_{Kg1} \cdot K_{g1} + F_{Kg2} \cdot K_{g2}) \cdot g_{ing} \quad (30)$$

Werte für K_{g1} und K_{g2} wurden für alle Iodisotope auch in Tabelle 4 bzw. Tabelle 5 für Kleinkinder bzw. für Erwachsene eingetragen.

Somit folgt für die Gesamtigestion aus Gl (2):

$$G_{ing} = (F_{Kg1} \cdot K_{g1} + F_{Kg2} \cdot K_{g2}) \cdot g_{ing} \quad (31)$$

2.3 Umrechnungsfaktoren für Emissionshöhen bis 100 m und Quelldistanzen ab 300 m

F_{Kg1} und F_{Kg2} sind von x abhängig und somit auch von der Emissionshöhe und von der Quelldistanz.

Die berechneten Werte von F_{Kg1} und F_{Kg2} (vgl. Tab. 3) wurden für die Emissionshöhen 20, 50 und 100 m graphisch als Funktion der Quelldistanz x in Abb. 2 und 3 dargestellt. Der fast parallele Verlauf von F_{Kg1} und F_{Kg2} zur x -Achse erlaubt die Annahme von nur einem Wert für F_{Kg1} und nur einem für F_{Kg2} für Emissionshöhen bis 100 m und Quelldistanzen ab 300 m.

Wählt man für

F_{Kg1} den Wert 0,011 m/s

und

F_{Kg2} den Wert 0,015 m/s

für alle Emissionshöhen bis 100m und alle Entfernungen ab 300 m (in Abb. 2 und Abb. 3 die mit * gekennzeichnete Gerade), dann ist der relative Fehler für F_{Kg1} kleiner als $\pm 10\%$ und für F_{Kg2} kleiner als $\pm 33\%$.

Für die Emissionshöhen über 100 m ist F_{Kg1} und F_{Kg2} so stark von der Entfernung x abhängig, daß keine Mittelwerte angegeben werden können.

Da für alle Iodisotope $K_{g1} \gg K_{g2}$ ist (s. Tab. 4 und 5), wird mit dieser Wahl ein akzeptabler relativer Fehler für G_{ing} von $< \pm 10\%$ verursacht (s. Gl (31)). Für $x > 450m$ ist $F_{Kg1} < 0,011$ m/s und $F_{Kg2} < 0,015$ m/s für Emissionshöhen bis 100m. Somit wird durch diese Annahme G_{ing} um maximal 10% überschätzt.

Eine weitere Vereinfachung bringt die Annahme einer mittleren Windgeschwindigkeit für alle Emissionshöhen ($u = 3,85$ m/s, s. Kap. 2.2.1). In F_{Kg1} und F_{Kg2} kommt u im zweiten Summanden vor, Gln. (10d), (10e), (10g) und (10h) und deshalb ist der Beitrag von u zum G_{ing} im Vergleich zur Ablagerungsgeschwindigkeit v_g ($= 0,01$ m/s) sehr klein (vergl. auch Tab. 3). Für größere Emissionshöhen (mit $u > 3,85m/s$) werden F_{Kg1} und F_{Kg2} überschätzt. Mit dieser Annahme der mittleren Windgeschwindigkeit wird ein akzeptabler relativer Fehler für G_{ing} von maximal 5% verursacht.

Die G_{ing} -Werte nach diesen Vereinfachungen sind in Tabelle 6 eingetragen.

Addiert man die Umrechnungsfaktoren für Inhalation G_{inh} der Tabelle 2 zu den entsprechenden G_{ing} - Werten der Tabelle 6, so erhält man für Emissionshöhen bis 100 m und Quelldistanzen ab 300 m die Umrechnungsfaktoren für die Gesamtexposition G_{ges} . Bei Verwendung der G_{ges} -Werte zur Berechnung der Schilddrüsendosis einer Referenzperson an einem angegebenen Ort wird vorausgesetzt, daß sie sich das gesamte Jahr an diesem Ort aufhält und ihre Gesamtnahrung von diesem Ort stammt.

Die G_{ges} - Werte wurden ebenfalls in die Tabelle 6 eingetragen. Zur Erleichterung des Vergleichs der Umrechnungsfaktoren sind auch die Werte für Inhalation in Tabelle 6 eingetragen.

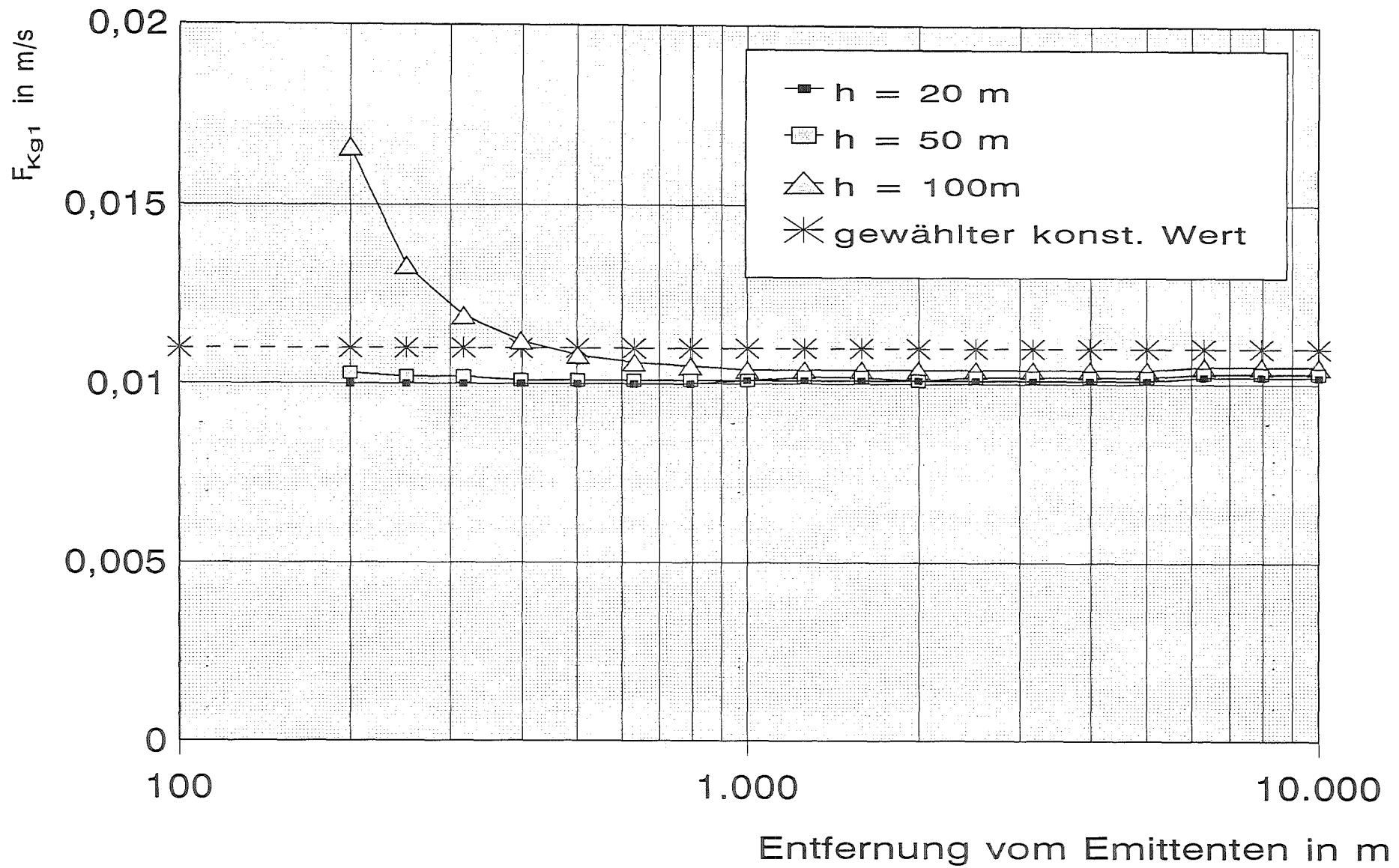


Abbildung 2: F_{Kg1} für Emissionshöhen h bis 100 m (Ablagerungsgeschw. $v_g = 0,01$ m/s)

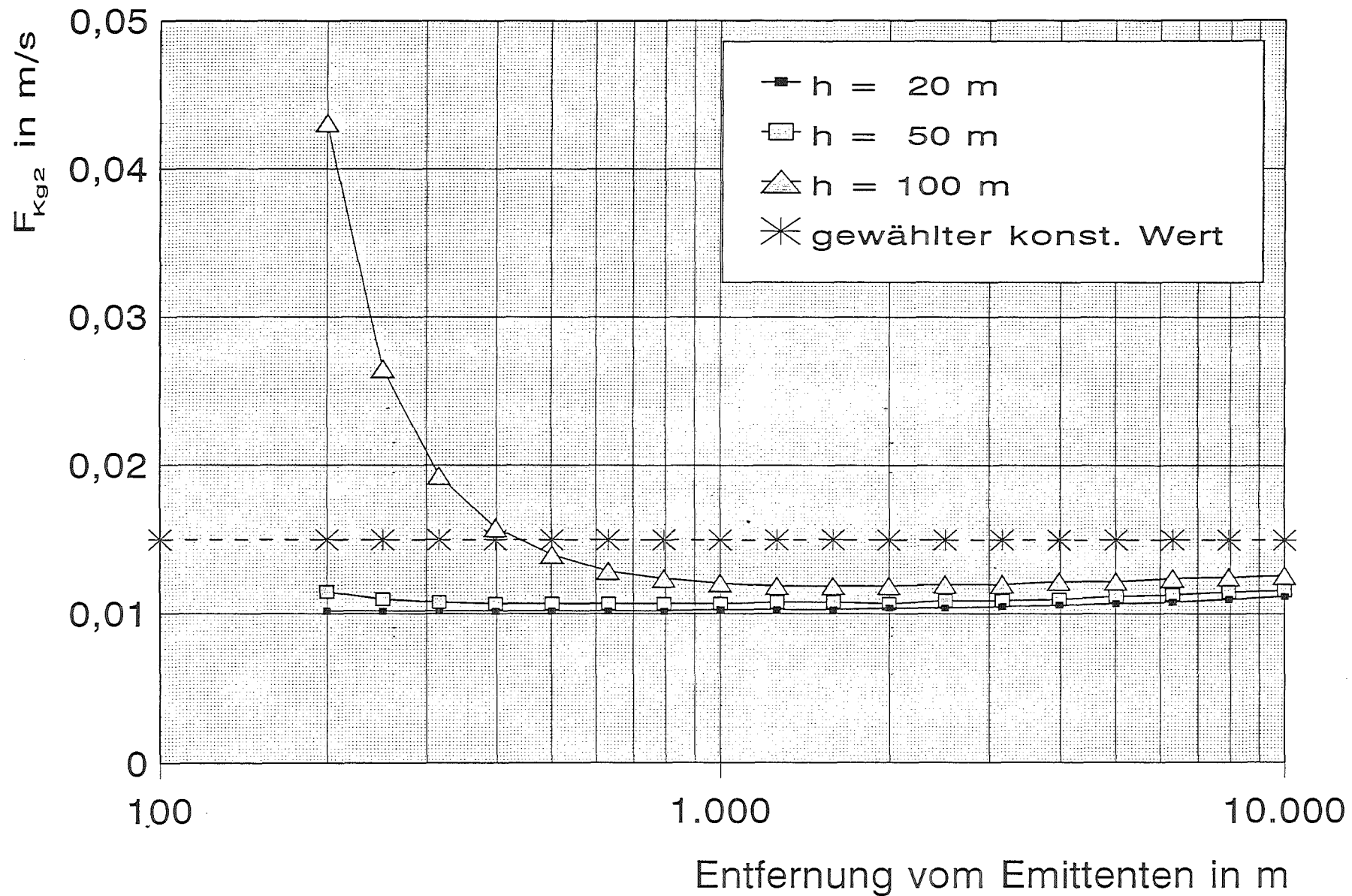


Abbildung 3: F_{Kg2} für Emissionshöhen h bis 100 m (Ablagerungsgeschw. $v_g = 0,01$ m/s)

Tab. 6: Umrechnungsfaktoren G in Sv·m³/Bq·s für Inhalation und Ingestion von Iodisotopen. Betrachtetes Organ: Schilddrüse von Kleinkindern (1 Jahr) und Erwachsenen. Die hier angegebenen Umrechnungsfaktoren sind gültig für Emissionshöhen bis 100 m u. Quelldistanzen ab 300 m

Nuklid	Inhalation (G _{inh})		Ingestion (G _{ing})		Inhalation + Ingestion (G _{ges})	
	Kleinkind	Erwachsene	Kleinkind	Erwachsene	Kleinkind	Erwachsene
I-120m	2,8E-13	1,2E-13	4,8E-13	1,1E-13	7,6E-13	2,3E-13
I-120	7,8E-13	3,2E-13	2,1E-12	4,9E-13	2,9E-12	8,1E-13
I-121	3,0E-13	1,6E-13	1,1E-12	2,9E-13	1,4E-12	4,5E-13
I-122	2,7E-16	1,2E-16	2,3E-17	5,3E-18	2,9E-16	1,2E-16
I-123	1,0E-12	4,6E-13	2,2E-11	5,8E-12	2,3E-11	6,3E-12
I-124	7,8E-11	3,5E-11	8,7E-09	2,4E-09	8,8E-09	2,4E-09
I-125	4,5E-11	4,6E-11	3,2E-08	3,3E-08	3,2E-08	3,3E-08
I-126	1,6E-10	8,4E-11	4,1E-08	1,5E-08	4,1E-08	1,5E-08
I-128	2,8E-14	1,1E-14	2,2E-14	4,7E-15	4,9E-14	1,6E-14
I-129	3,3E-10	3,2E-10	4,8E-07	5,7E-07	4,8E-07	5,7E-07
I-130	9,6E-12	4,2E-12	2,0E-10	4,9E-11	2,1E-10	5,3E-11
I-131	1,3E-10	6,3E-11	2,4E-08	7,0E-09	2,4E-08	7,1E-09
I-132m	8,4E-13	3,5E-13	2,3E-12	5,4E-13	3,1E-12	8,8E-13
I-132	8,4E-13	3,7E-13	3,7E-12	9,1E-13	4,6E-12	1,3E-12
I-133	2,5E-11	1,0E-11	8,3E-10	1,9E-10	8,5E-10	2,0E-10
I-134	1,4E-13	6,2E-14	2,4E-13	5,7E-14	3,8E-13	1,2E-13
I-135	4,2E-12	1,8E-12	5,1E-11	1,2E-11	5,6E-11	1,4E-11

3. Diskussion

Emissionshöhen bis 100m haben ab einer Quelldistanz von 300 m einen relativ kleinen Einfluß auf den Wert des Umrechnungsfaktors für Ingestion von landwirtschaftlichen Produkten. Das ist auf die Art der Abhängigkeit dieser Faktoren vom Ausbreitungsfaktor zurückzuführen.

Für Emissionshöhen bis 100 m und Quelldistanzen ab 300 m weichen die Werte von F_{kg1} wie auch die Werte von F_{kg2} nicht stark voneinander ab. Dagegen gilt mit Ausnahme von I-129 für alle Iodisotope $K_{g1} \gg K_{g2}$. Somit kann man in Gl. (31) den Term $F_{kg2} \cdot K_{g2} \cdot g_{ing}$ vernachlässigen und Gl. (31) in der einfachen Form schreiben:

$$G_{ing} = F_{kg1} \cdot K_{g1} \cdot g_{ing}$$

Für I-129 ist K_{g1} lediglich um den Faktor 5 größer als K_{g2} (s. Tab. 3, 4 und 5). Für I-129 bewirkt deshalb diese Vereinfachung eine Unterschätzung der Ingestionsdosis von ca. 22%.

Für Fälle, bei denen mehrere Iodisotope vorkommen oder vorkommen können, z.B. bei der Überwachung oder bei der Genehmigung der Emission verschiedener Iodisotope, ist es zweckmäßig, sich auf ein Iodisotop (z.B. I-131) zu beziehen und die Dosisbeiträge der anderen Iodisotope durch das Verhältnis ihrer Umrechnungsfaktoren zum Umrechnungsfaktor des Bezugsisotops (I-131) zu berücksichtigen. Das Verhältnis des Umrechnungsfaktors eines Iodisotopes zum Umrechnungsfaktor des Bezugsisotops (I-131) wird als Wichtungsfaktor dieses Iodisotopes bezeichnet.

Die Berechnungen zeigen, daß die radiologisch bedeutenden Iodisotope I-124, I-125, I-126, I-129, I-130, I-131, I-133 und I-135 sind. Alle übrigen Iodisotope liefern einen relativen Beitrag zu Schilddrüsensdosis, der kleiner ist als 1/1000 des Beitrages einer I-131-Einheitsemission.

4. Literatur

- /1/ Bekanntmachung der Dosisfaktoren
Äußere Exposition - Erwachsene und Kleinkinder (1 Jahr)
Ingestion und Inhalation - Kleinkinder (1 Jahr)
Ingestion und Inhalation - Erwachsener
Bundesanzeiger 41, 185a (1989).
- /2/ Limits for Intakes of Radionuclides by Workers, ICRP Publ. 30, Pergamon Press, Oxford (1979). Deutsche Übersetzung:
Grenzwerte der Aktivitätszufuhr von Radionukliden für Beschäftigte, ICRP Veröffentlichung 30, Teil 1-3 Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York 1985.
- /3/ Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen.
Bundesanzeiger 42, 64a (1990)
- /4/ D. Papadopoulos, P. Thomas: Verhältnis der Dosisfaktoren der Jodisotope.
KfK 2544 (1977).
- /5/ Report of Committee II on Permissible Dose of Internal Radiation.
ICRP Publ 2 (1959).
- /6/ W. Hübschmann, A. Wicke, S. Honcu, D. Papadopoulos: Berechnung der Strahlenexposition bei der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft nach der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 45 StrSchV“ - ein Vergleich, KfK-4797 (1991).