

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

Dezember 1977

KFK 2544

Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

Verhältnis der Dosisfaktoren der Jodisotope

D. Papadopoulos, P. Thomas



**GESELLSCHAFT
FÜR
KERNFORSCHUNG M.B.H.**

KARLSRUHE

Als Manuskript vervielfältigt

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.
KARLSRUHE

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

KFK 2544

Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

Verhältnis der Dosisfaktoren der Jodisotope

von

D. Papadopoulos

P. Thomas

Gesellschaft für Kernforschung mbH., Karlsruhe

Zusammenfassung

Für die Jodisotope 123 bis 126 und 129 bis 135 wird das Verhältnis der Dosisfaktoren bei Inhalation und Ingestion zu den entsprechenden Dosisfaktoren von J-129 berechnet. Alle Dosisfaktoren beziehen sich auf die Schilddrüse als das kritische Organ. Zwischen Erwachsenen und Kleinkindern, die im ersten Lebensjahr sind, wird unterschieden.

Zur Berechnung der Verhältnisse werden nur die effektiven Energien und die effektiven Halbwertszeiten im menschlichen Körper und auf Gras benötigt. Die meisten Daten sind der Literatur entnommen. Die effektiven Energien von J-123 und J-125 sind beispielhaft berechnet.

Ratio of the Dose Factors of the Isotopes of Iodine

Abstract

The ratio of dose factors occurring during inhalation and ingestion to the respective dose factors of I-129 is calculated for the isotopes of I-123 to I-126 and I-129 to I-135. All the dose factors refer to the thyroid as the critical organ. A distinction is made between adults and infants up to 1 year of age.

To calculate the ratios only the effective energies and the effective half-lives in the human body and on grass are required. Most of the data have been taken from the literature. The effective energies of I-123 and I-125 have been calculated as examples.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
2. Berechnung der Dosisfaktoren	2
2.1 Inhalationsdosisfaktoren	2
2.2 Ingestionsdosisfaktoren für Kleinkinder über den Luft-Weide-Kuh-Milch-Pfad	2
3. Effektive Halbwertszeiten	3
4. Effektive Energien	4
5. Zeitintervall zwischen Emission und Inkorporation	7
6. Verhältnis der Dosisfaktoren	8
7. Ingestionsdosisfaktor von J-129	9

1. Einleitung

Radiojod tritt zum geringen Teil im Abwasser, zum größeren Teil in der Abluft von kerntechnischen Anlagen auf. Bisher wurden hauptsächlich die Isotope J-131 und J-129 bei der Abschätzung von radiologischen Umweltbelastungen berücksichtigt. Wegen des hohen Aktivitätsinventars an J-131 in Kernkraftwerken ist die Berücksichtigung dieses Isotops in deren Umgebung wichtig. Vor der Wiederaufarbeitung werden die Brennelemente jedoch ca. 200 d gelagert. Dann ist das mit acht Tagen Halbwertszeit relativ kurzlebige J-131 weitgehend abgeklungen. In der Abluft von Wiederaufarbeitungsanlagen tritt an Radiojod hauptsächlich J-129 auf, das sich wegen seiner langen Halbwertszeit von $15,7 \cdot 10^6$ a weltweit anreichern kann.

Im Spaltproduktinventar von Kernkraftwerken befinden sich jedoch mit hohen Anteilen auch die kurzlebigen Isotope J-132 bis J-135. Diese können bei Störfällen ebenfalls zu einer erheblichen Umgebungsbelastung führen. Am Zyklotron des Kernforschungszentrums Karlsruhe wird J-123 für nuklearmedizinische Anwendungen hergestellt. In der Abluft anderer Anlagen des Kernforschungszentrums ist auch mit den Isotopen J-124 bis J-126 zu rechnen. Deshalb werden in diesem Bericht die Verhältnisse der Dosisfaktoren der einzelnen Jodisotope zu denjenigen von J-129 abgeschätzt. Damit kann die Umgebungsbelastung durch die Emission eines Isotopengemisches berechnet werden /HÜ76/.

Jod wird in organisch gebundener oder elementarer Form aus der Atemluft durch die Lungen (Inhalation) und aus der Nahrung durch den Magen- Darm-Trakt (Ingestion) resorbiert und in der Schilddrüse konzentriert. Damit ist die Schilddrüse kritisches Organ. Nur für sie werden die Inhalations- und Ingestionsdosisfaktoren mit den Werten von J-129 verglichen, die /S076/ entnommen sind. J-129 wurde als Bezugsbasis wegen seiner langen Halbwertszeit gewählt. Die Ingestionsdosisfaktoren beziehen sich auf den Luft-Weide-Kuh-Milch-Pfad.

Die benutzten Formeln werden ausführlich erläutert. Die Berechnungen der effektiven Energien von J-123 und J-125 werden auch in Einzelheiten angegeben. Damit soll der Bericht als Arbeitsgrundlage dienen, wenn Inhalations-

und Ingestionsdosisfaktoren für andere Radionuklide und Organe zu berechnen sind. Die effektiven Energien der anderen Isotope werden, soweit sie bekannt sind, /IC59/ entnommen.

2. Berechnung der Dosisfaktoren

2.1 Inhalationsdosisfaktoren

Der Inhalationsdosisfaktor wird nach der Gleichung

$$g = K_1 A E_{\text{eff}} T_{\text{eff}} f_{\alpha} / (m \cdot \ln 2) \left[\frac{\text{rem} \cdot \text{m}^3}{\text{Ci} \cdot \text{s}} \right] \quad (1)$$

berechnet /IC59/, /WA72/.*

In Gleichung (1) bedeuten

$$K_1 = 5,12 \cdot 10^7 \text{ Umrechnungskonstante von } \frac{\text{m}^3 \cdot \text{MeV} \cdot \text{d}}{\text{s} \cdot \text{g}} \text{ in } \frac{\text{rem} \cdot \text{m}^3}{\text{Ci} \cdot \text{s}}$$

A Atemrate in m^3/s

E_{eff} effektive Energie in MeV

T_{eff} effektive Halbwertszeit in der Schilddrüse in d

f_{α} Anteil der inhalierten Aktivität, der in der Schilddrüse abgelagert wird /IC59/

m Masse der Schilddrüse in g /IC75/

2.2 Ingestionsdosisfaktoren für Kleinkinder über den Luft-Weide-Kuh-Milch-Pfad

Der Ingestionsdosisfaktor wird nach der Gleichung

$$G = G' \cdot C_{\text{LM}} \left[\frac{\text{rem} \cdot \text{m}^3}{\text{Ci} \cdot \text{s}} \right] \quad (2)$$

berechnet.

*In Gleichung (1) sind der Qualitätsfaktor und der Gefährdungsfaktor weggelassen. Diese Faktoren sind für γ - und β -Strahler, bzw. weiche Gewebe, um die es sich hier handelt, gleich Eins.

Es wird dabei vernachlässigt, daß die Grasfütterung saisonbedingt ist.

In Gleichung (2) bedeuten:

$$G' = K_2 \frac{f_{ing} \cdot f_w \cdot T_{eff} \cdot E_{eff}}{m \cdot \ln 2} \left[\frac{\text{rem} \cdot \text{l}}{\text{Ci} \cdot \text{s}} \right] \quad (3)$$

Ingestionsdosiskonstante für den Milchkonsum der kritischen Personengruppe.

$$K_2 = 593 \text{ Umrechnungskonstante von } \frac{\text{MeV} \cdot \text{l}}{\text{g}} \text{ in } \frac{\text{rem} \cdot \text{l}}{\text{Ci} \cdot \text{s}}$$

f_{ing} Milchkonsum in l/d

f_w Anteil des ingestierten Jods, der in der Schilddrüse abgelagert wird

C_{LM} Anreicherungsfaktor Luft-Milch in $\frac{\text{Ci}}{\text{l-Milch}} / \frac{\text{Ci}}{\text{m}^3\text{-Luft}}$.

Die Parameter T_{eff} , T_G und E_{eff} werden im folgenden berechnet und die verwendeten Formeln ausführlich erläutert. Die anderen Parameter sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

3. Effektive Halbwertszeiten

Die effektive Halbwertszeit gibt an, in welcher Zeit die Menge des betrachteten Isotops im Organ um die Hälfte abgebaut wird. Dies geschieht durch Zerfall und Stoffwechsel. Die entsprechenden Halbwertszeiten sind die physikalische T_r und die biologische T_b .

Die effektive Halbwertszeit in der Schilddrüse wird nach folgender Formel berechnet:

$$T = \frac{T_r \cdot T_b}{T_r + T_b} \quad (4)$$

Zur Berechnung des Ingestionsdosismfaktors bezüglich des Luft-Weide-Kuh-Milch-Pfads wird die effektive Halbwertszeit des Nuklids auf Gras T_G be-

nötigt. Diese Halbwertszeit gibt an, in welcher Zeit die Kontamination des Grases um die Hälfte abgebaut wird. Analog wird die effektive Halbwertszeit T_G nach der Formel

$$T_G = \frac{T_r \cdot T_w}{T_r + T_w} \quad (5)$$

berechnet, wobei T_w die entsprechende biologische Halbwertszeit von elementarem Jod auf Gras bedeutet.

Werte von T_b und T_w stehen in Tabelle 2, Werte von T_r , T_{eff} und T_G in Tabelle 3.

4. Effektive Energie

Beim radioaktiven Zerfall eines Nuklids wird i. a. ein Gemisch verschiedener Strahlungsarten emittiert. Jede Strahlungsart tritt mit einer bestimmten Häufigkeit auf und trägt zum Dosisfaktor mit einer bestimmten Energie bei, die durch Wechselwirkung mit dem Gewebe des betrachteten Organs an dieses abgegeben wird. Diese Häufigkeit und diese Energie werden in einer einzigen Größe, der effektiven Energie E_{eff} zusammengefaßt. Die effektive Energie gibt an, wieviel Energie pro Zerfall des betrachteten Nuklids im betrachteten Organ im Mittel absorbiert wird. Die effektive Energie setzt sich aus vielen Einzelbeiträgen zusammen. Bei komplizierten Zerfallsschemata ist die Berechnung aufwendig. Die nötigen Formeln sind in /IC59/ angedeutet.

Im folgenden werden die effektiven Energien der Isotope J-123 und J-125 für die Schilddrüse berechnet. Dabei wird zwischen Erwachsenen und Kleinkind unterschieden.

Die Isotope J-123 und J-125 zeichnen sich durch ein relativ einfaches Zerfallsschema aus /LE68/. Es handelt sich jeweils um K-Einfang und γ -Strahlung. Statt der γ -Strahlung wird mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit ein Konversionselektron und die begleitende Röntgenstrahlung emittiert.

Die effektive Energie wird nach folgender Formel berechnet:

$$\begin{aligned}
 E_{\text{eff}} = & E_{\text{RK}} (1 - \exp(-\sigma_{\text{RK}}x)) \\
 & + \sum_i f_i \left[E_{\gamma i} (1 - \exp(-\sigma_{\gamma i}x)) \frac{1}{1 + \alpha_{\text{Ki}} + \alpha_{\text{Li}}} \right. \\
 & + E_{\text{eKi}} \frac{\alpha_{\text{Ki}}}{1 + \alpha_{\text{Ki}} + \alpha_{\text{Li}}} + E_{\text{eLi}} \frac{\alpha_{\text{Li}}}{1 + \alpha_{\text{Ki}} + \alpha_{\text{Li}}} \\
 & + E_{\text{RK}} \frac{\alpha_{\text{Ki}}}{1 + \alpha_{\text{Ki}} + \alpha_{\text{Li}}} (1 - \exp(-\sigma_{\text{RK}}x)) + \\
 & \left. + E_{\text{RL}} \frac{\alpha_{\text{Li}}}{1 + \alpha_{\text{Ki}} + \alpha_{\text{Li}}} (1 - \exp(-\sigma_{\text{RL}}x)) \right] \quad (6)
 \end{aligned}$$

Im einzelnen bedeuten:

1. Zeile: Absorption der Röntgen-K-Strahlung nach K-Einfang:

E_{RK} Energie der K-Strahlung in MeV;

σ_{RK} linearer Absorptionskoeffizient

für Wasser (entspricht demjenigen für Gewebe)
für Röntgenstrahlung der Energie E_{RK} in cm^{-1} ;

x effektiver Organradius, hier der Schilddrüse, der effektive Organradius ist für Erwachsene ($x = 3 \text{ cm}$ /IC59/ und Kleinkinder ($x \approx 1,4 \text{ cm}$, /IC75/, /FL71/) verschieden;

Es werden alle γ -Linien i mit ihrer Häufigkeit f_i aufsummiert, $\sum_i f_i = 1$;

2. Zeile: - Absorption der γ -Strahlung

$E_{\gamma i}$ Gammaenergie der Linie i in MeV;

$\sigma_{\gamma i}$ linearer Absorptionskoeffizient von γ -Strahlung der Energie $E_{\gamma i}$ in Wasser in cm^{-1} ;

α_{Ki} innerer Konversionskoeffizient der γ -Linie i bezüglich der K-Schale

α_{Li} innerer Konversionskoeffizient der γ -Linie i bezüglich der L-Schale

3. Zeile: Absorption der Konversionselektronen

E_{eKi} , E_{eLi} Energie der Konversionselektronen, die von der K- bzw. L-Schale stammen und der γ -Linie i zugeordnet sind in MeV. Die gesamte Energie wird von der Schilddrüse absorbiert.

4. + Absorption der Röntgen-K- und-L-Strahlung nach innerer Konversion

5. Zeile:

E_{RL} Energie der Röntgen-L-Strahlung in MeV;
 σ_{RL} linearer Absorptionskoeffizient der Röntgen-L-Strahlung der Energie E_{RL} in Wasser in cm^{-1} .

Die Faktoren $\frac{1}{1+\alpha_{Ki}+\alpha_{Li}}$ bzw. $\frac{\alpha_{Ki}}{1+\alpha_{Ki}+\alpha_{Li}}$ bzw. $\frac{\alpha_{Li}}{1+\alpha_{Ki}+\alpha_{Li}}$ gebenden Anteil der γ -Quanten

bzw. der Konversionselektronen aus der K- bzw. der Konversionselektronen aus der L-Schale an. Auf ein γ -Quant, das direkt abgestrahlt wird, kommen im Mittel α_K Konversionselektronen aus der K- und α_L -Elektronen aus der L-Schale. Der Konversionskoeffizient nimmt von den inneren zu den äußeren Schalen rasch ab. Konversion in der M-Schale kann vernachlässigt werden.

Die kinetische Energie E_{eK} , E_{eL} der Konversionselektronen ist die Differenz aus der γ -Energie und der Bindungsenergie der Elektronen in der K- bzw. L-Schale. Diese Bindungsenergie wird hier gleich der Energie der K- bzw. L-Röntgenquanten gesetzt,

$$E_{\gamma} = E_{eK} + E_{RK} \text{ bzw. } E_{\gamma} = E_{eL} + E_{RL}. \quad (7)$$

Die zur Berechnung der effektiven Energie benötigten Konstanten sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Sie sind /LE68/ entnommen, die linearen Absorptionskoeffizienten entstammen /RH70/. J-125 hat nur eine γ -Linie. Bei J-123 tritt die 0,159 MeV-Linie mit einer Häufigkeit von 97 % auf. Nur sie wird berücksichtigt. Die anderen γ -Linien haben höhere Energien und damit auch kleinere Konversionskoeffizienten. Die effektiven Energien von J-123 werden damit um weniger als 3 % überschätzt. Die berechneten effektiven Energien stehen ebenfalls in Tabelle 1.

Die effektiven Energien der Nuklide J-126, J-132, J-133, J-134 und J-135 für Kleinkinder werden nicht berechnet. Ihre effektiven Energien werden mit den bekannten effektiven Energien für Erwachsene /IC59/ verglichen und durch sie ersetzt. Die Zerfallsschemata /LE68/ zeigen, daß diese Nuklide β^- - und γ -Strahler oder β^- , β^+ - und γ -Strahler sind. Die Summe der maximalen Energien von β^- - und β^+ -Strahlung ist jeweils größer oder ungefähr gleich der Summe der γ -Energien. Der β^- -Anteil an den effektiven Energien ist unabhängig vom effektiven Radius x und beträgt ca. 30 % der maximalen β^- -Energien; der β^+ -Anteil ist zum größten Teil von dem effektiven Radius unabhängig und beträgt ebenfalls ca. 30 % der maximalen β^+ -Energien. Der γ -Anteil hängt stark vom effektiven Radius ab, trägt aber nur geringfügig zur effektiven Energie in der Schilddrüse bei /IC59/. Die Dosisfaktoren für Kleinkinder werden deshalb nur geringfügig überschätzt, wenn zu ihrer Berechnung die für Erwachsene gültigen effektiven Energien eingesetzt werden.

5. Zeitintervall zwischen Emission und Inkorporation

Welches Isotop die Schilddrüse durch Inhalation oder durch Ingestion hauptsächlich belastet, hängt u. a. vom Zeitintervall Δt zwischen Emission und Inkorporation ab.

Es wird angenommen:

$\Delta t = 0$ bei Inhalation,

$\Delta t = 2d$ bei Ingestion.

Letztere Annahme ist allerdings sehr konservativ. Im Zeitintervall Δt klingt durch radioaktiven Zerfall die emittierte Aktivität des Jod-Isotops der Halbwertszeit T_r um den Faktor

$$F = \exp \left(- \frac{\Delta t}{T_r} \ln 2 \right) \quad (8)$$

ab. F wird bei der Berechnung des Verhältnisses der Ingestionsdosisfaktoren berücksichtigt.

6. Verhältnis der Dosisfaktoren

Es wird davon ausgegangen, daß alle Jod-Isotope i gleiche chemische und biologische Eigenschaften haben. Dann folgt aus den Gleichungen (1), (2), (3) und (8)

$$\frac{g_i}{g_{J-129}} = \frac{E_{\text{eff},i} \cdot T_{\text{eff},i}}{E_{\text{eff},J-129} \cdot T_{\text{eff},J-129}} \quad (9)$$

und

$$\frac{G_i}{G_{J-129}} = \frac{E_{\text{eff},i} \cdot T_{\text{eff},i} \cdot T_{G,i} \cdot F_i}{E_{\text{eff},J-129} \cdot T_{\text{eff},J-129} \cdot T_{G,J-129}} \quad (10)$$

Zur Berechnung der Verhältnisse der Inhalations- bzw. Ingestionsdosisfaktoren des Isotops i zu den entsprechenden Dosisfaktoren des Isotops J-129 werden nur die effektiven Energien E_{eff} und effektiven Halbwertszeiten T_{eff} und T_G benötigt. Formeln zur Berechnung dieser Größen wurden in den Abschnitten 3 und 4 angegeben. Die Größen selbst stehen in Tabelle 1. Die zur Berechnung der effektiven Halbwertszeiten nötigen Konstanten sowie die Dosisfaktoren von J-129 stehen in Tabelle 2.

Tabelle 3 zeigt das nach den Gleichungen (9) und (10) berechnete Verhältnis der Dosisfaktoren der Jod-Isotope zu den entsprechenden Faktoren von J-129, die /S076/ entstammen.

Sind die effektiven Energien für Kleinkinder nicht bekannt, so fanden diejenigen für Erwachsene Anwendung, wie in Abschnitt 4 erläutert und gerechtfertigt wurde. Die entsprechenden Verhältnisse der Dosisfaktoren sind in Tabelle 3 in Klammern angegeben.

Von den Isotopen J-124 und J-130 konnten in der Literatur keine effektiven Energien gefunden werden. Es gibt allerdings in /IC69/ Werte für direkte orale Zufuhr dieser Jodisotope und von J-131. Sie betragen in mrad/ μ C 1200 (J-124), 70 (J-130) und 1800 (J-131). Alle drei Werte stammen vom gleichen Autor, so daß anzunehmen ist, daß sie unter gleichen Bedingungen gewonnen wurden. Mit

Hilfe von den in Tabelle 3 angegebenen Werten kann E_{eff} für Erwachsene abgeschätzt werden. Bezugsisotop ist dabei allerdings J-131. Unter Verwendung von Gleichung (10) werden dann die gesuchten Verhältnisse der Ingestionsdosisfaktoren berechnet.

7. Ingestionsdosisfaktor von J-129

Konstanten zur Berechnung der Ingestionsdosisfaktoren für Radiojod wurden auch in /H073/ und /H075/ angegeben (siehe Tabelle 2). Der Vergleich der in /H073/ und /H075/ bzw. in /S076/ verwendeten ökologischen Daten zeigt (siehe Tabelle 2), daß der Anreicherungsfaktor Luft-Milch C_{LM} sehr unterschiedlich ist. Die relativ kleinen Unterschiede der übrigen Daten fallen dagegen kaum ins Gewicht.

In /RI76/ wird über im Jahr 1975 durchgeführte Messungen der J-131-Konzentration in Milch berichtet. Die Milch stammt aus der Umgebung des Kernkraftwerkes Gundremmingen. Die gemessenen Werte werden in /RI76/ mit gerechneten Werten verglichen: Der Rechenwert liegt etwa um den Faktor 50 über dem mittleren Meßwert. Der verwendete Anreicherungsfaktor Luft-Milch C_{LM} betrug $6300 \frac{C_i}{\text{T-Milch}} / \frac{C_i}{\text{m}^3\text{-Luft}}$. Ähnliche Ergebnisse liefern Messungen und Rechnungen in der Umgebung der Kernkraftwerke Obrigheim und Mühleberg /RI76/.

Aus den in /RI76/ angegebenen Ergebnissen läßt sich der Anreicherungsfaktor C_{LM} folgendermaßen abschätzen:

Der mittlere Meßwert wird durch die 3σ -Grenze ersetzt; beim Rechenwert wird angenommen, daß bei der Emission der Anteil an elementarem Jod 50 % beträgt; Rechenwert und 3σ -Grenze werden gleichgesetzt. Der so erhaltene Anreicherungsfaktor C_{LM} entspricht dem in /S076/ angegebenen. Aus diesem Grund wurden die in /S076/ angeführten Dosisfaktoren als Bezug gewählt. In /B077/ geben SOLDAT und Mitarbeiter Ingestionsdosisfaktoren an, die für Erwachsene um den Faktor 3,6, für Kleinkinder um den Faktor 2 niedriger sind als in /S076/. Die Weidezeit wird in /B077/ mit nur 120 d angesetzt.

8. Literatur

- /B077/ S. A. Book, R. J. Garner, J. K. Soldat, L. K. Bustad;
Thyroidal Burdens of J-129 from Various Dietary Sources, Health Physics,
Vol 32 (1977) 143-148
- /FL71/ J. F. Fletcher, W. L. Dotson;
HERMES-A, A Digital Computer Code for Estimating Regional Radiological
Effects from the Nuclear Power Industry, USAEC Rep HELD-TME-71-168,
Hanford Engineering Laboratory, Richland, Wash. (1971)
- /H073/ F. O. Hoffmann;
Environmental Variables Involved with the Estimation of the Amount
of I-131 in Milk and the Subsequent Dose to the Thyroid,
IRS-W-6 (1973)
- /H075/ F. O. Hoffmann;
A Reassessment of the Parameters Used to Predict the Environmental
Transport of I-131 from Air to Milk,
IRS-W-13 (1975)
- /H076/ W. G. Hübschmann; Estimating Permissible J-129-Emission Rates,
Health Physics, Vol. 30 (1976) 496-498
- /IC59/ Report of Committee II on Permissible Dose of Internal Radiation,
ICRP Publ. 2 (1959)
- /IC69/ A Report Prepared for the ICRP,
ICRP Publ. 17 (1969)
- /IC75/ Report of the Task Group on Reference Man,
ICRP Publ. 23, Pergamon Press Braunschweig (1975)
- /LE68/ C. M. Lederer, J. M. Hollander, I. Perlman;
Table of Isotopes(Sixth Edition),
J. Wiley & Sons Inc., N. Y. (1968)
- /RH70/ Radiological Health Handbook, U. S. Department of Health Education
and Welfare (1970)

/RI76/ H. Riedel, A. v. Gadow;

Untersuchungen zum Expositionsweg Luft-Weide-Kuh-Milch für Radiojod durch die betrieblichen Ableitungen des Kernkraftwerkes Gundremmingen im Jahre 1975;

STH-Bericht 15/76 (1976)

/S076/ J. K. Soldat;

Radiation Dose from Iodine-129 in the Environment;

Health Physics, Vol. 30 (1976) 61-70

/WA72/ The Potential Radiological Implication of Nuclear Facilities in the upper Mississippi River Basin in the Year 2000,

WASH 1209 S. VIII-5 (1972)

Tabelle 1:

Daten zur Berechnung der effektiven Energien für Erwachsene und Kleinkinder (im ersten Lebensjahr)

Nuklid	E_γ MeV	f_i	a_{Ki}	a_{Li}	E_{eKi} MeV	E_{eLi} MeV	E_{RK} MeV	E_{RL} MeV	$\sigma_{\gamma i}$ cm ⁻¹	σ_{RK} cm ⁻¹	σ_{RL} cm ⁻¹	$(E_{eff})_{Erw}$ MeV	$(E_{eff})_{Kind}$ MeV
J-123	0,159	0,969	0,17	0,026	0,127	0,154	0,032	0,005	0,03	0,13	>30	0,045	0,033
J-125	0,035	1,000	10,63	2,655	0,004	0,030	0,032	0,005	0,095	0,13	>30	0,028	0,019
Literatur	/LE68/								/RH70/				

Tabelle 2 Daten zur Berechnung der Dosisfaktoren

Größe	Symbol	Einheit	/H073/,/H075/		/S076/	
			Kleinkinder	Kleinkinder	Erwachsene	
Atemrate	A	m ³ /s	-	6,48.10 ⁻⁵	2,3.10 ⁻⁴	
Milchkonsum	f _{ing}	l/d	0,8	1	1	
Masse der Schilddrüse	m	g	2,0	2	20	
Effektive Energie von J-129	E _{eff}	MeV		0,060	0,064	
Biologische Halbwertszeit in der Schilddrüse	T _b	d	24	20	100	
Biologische Halbwertszeit des elementaren Jods auf Gras	T _w	d	13,5	14	14	
Anreicherungsfaktor Luft-Milch	C _{LM}	$\frac{Ci}{l-Milch} / \frac{Ci}{m^3-Luft}$	5.10 ³	1,2.10 ³	1,2.10 ³	
Ingestionsdosiskonstante für den Milchkonsum	G'	rem · l / Ci · s	-	154	82	
Inhalations-Dosisfaktor von J-129	g	rem · m ³ / Ci · s	-	666	1240	
Ingestions-Dosisfaktor von J-129	G	rem · m ³ / Ci · s	-	1,85.10 ⁵	9,86.10 ⁴	
Anteil der inhalierten Aktivität, die in die Schilddrüse gelangt	f _α		-	0,23	0,23	
Anteil der ingestierten Aktivität, die in die Schilddrüse gelangt	f _w		0,35	0,3	0,3	

Tabelle 3 Verhältnis der Inhalations- und Ingestionsdosisfaktoren g_i und G_i zu denjenigen von J-129 /S076/

Isotop i	Halbwertszeit T_r /d/	effektive Halbwertszeit		effektive Halbwertszeit auf Gras T_G /d/	effektive Energie		Faktor für Aktivitäts- abnahme nach 2d	Verhältnis der Dosisfaktoren			
		Kleinkind	Erwachsener		Kleinkind	Erwachsener		g_i/g_{J-129}	G_i/G_{J-129}	g_i/g_{J-129}	G_i/G_{J-129}
J-123	0,55	0,535	0,547	0,529	0,033	0,045	0,08	$1,47 \cdot 10^{-2}$	$4,44 \cdot 10^{-5}$	$3,85 \cdot 10^{-3}$	$1,17 \cdot 10^{-5}$
J-124	4,15	3,437	3,985	3,201			0,72		* $1,35 \cdot 10^{-1}$	* $5,48 \cdot 10^{-2}$	
J-125	60,2	15,02	37,58	11,36	0,019	0,028	0,98	$2,38 \cdot 10^{-1}$	$1,89 \cdot 10^{-1}$	$1,64 \cdot 10^{-1}$	$1,31 \cdot 10^{-1}$
J-126	12,8	7,805	11,35	6,687		0,16	0,90	(1,04)	($4,47 \cdot 10^{-1}$)	$2,84 \cdot 10^{-1}$	$1,22 \cdot 10^{-1}$
J-129	$6,2 \cdot 10^9$	20	100	14	0,060	0,064	1	1	1	1	1
J-130	0,513	0,500	0,511	0,495			0,067		* $1,29 \cdot 10^{-4}$	* $3,20 \cdot 10^{-3}$	
J-131	8,05	5,74	7,450	5,111	0,18	0,23	0,84	$8,61 \cdot 10^{-1}$	** $2,64 \cdot 10^{-1}$	$2,68 \cdot 10^{-1}$	$8,22 \cdot 10^{-2}$
J-132	0,094	0,094	0,094	0,094		0,65	$4 \cdot 10^{-7}$	($5,09 \cdot 10^{-2}$)	($1,37 \cdot 10^{-10}$)	$9,55 \cdot 10^{-3}$	$2,56 \cdot 10^{-11}$
J-133	0,85	0,815	0,843	0,802		0,54	0,2	($3,67 \cdot 10^{-1}$)	($4,21 \cdot 10^{-3}$)	$7,12 \cdot 10^{-2}$	$8,18 \cdot 10^{-4}$
J-134	0,036	0,036	0,036	0,036		0,82	0	($2,46 \cdot 10^{-2}$)	(0)	$4,62 \cdot 10^{-3}$	0
J-135	0,28	0,276	0,28	0,275		0,52	0,007	($1,20 \cdot 10^{-1}$)	($1,65 \cdot 10^{-5}$)	$2,28 \cdot 10^{-2}$	$3,14 \cdot 10^{-6}$

Die in Klammern angegebenen Verhältnissen beziehen sich auf effektive Energien für Erwachsene /IC59/.

* Die Angaben für J-124 und J-130 beruhen auf Angaben in /IC69/.

**Siehe auch /HÜ76/.