

21.12.89

U - In

Allgemeine Verwaltungsvorschrift

der Bundesregierung

Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen

A. Zielsetzung

Der Entwurf der allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 45 StrlSchV soll ergänzend zu den bereits in der Strahlenschutzverordnung getroffenen Regelungen und den Dosisfaktoren (Bundesanzeiger Nr. 185 a vom 30. September 1989) die weiteren Annahmen zur Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen bestimmen. Die AVV ist künftig Maßstab, wenn in atomrechtlichen Verfahren der Nachweis zu erbringen ist, daß Emissionen aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen zu keinen Überschreitungen der in § 45 festgelegten Dosisgrenzwerte (30 Millirem-Konzept) führen.

B. Lösung

Regelung der bisher in der Richtlinie "Allgemeine Berechnungsgrundlage für die Strahlenexposition bei radioaktiven Ableitungen mit der Abluft oder in Oberflächengewässer (ABG)" vom 15. August 1979 enthaltenen Annahmen und Berechnungsverfahren durch eine allgemeine Verwaltungsvorschrift (AVV) unter Berücksichtigung neuerer wissenschaftlicher Erkenntnisse.

C. Alternativen

Keine

D. Kosten

Der Entwurf der allgemeinen Verwaltungsvorschrift verpflichtet nicht zur Schaffung neuer Einrichtungen. Zusätzliche Kosten bei Bund und Ländern durch die Anwendung der allgemeinen Verwaltungsvorschrift sind nicht zu erwarten. Auswirkungen auf Einzelpreise und auf das Preisniveau, insbesondere auf das Verbraucherpreisniveau ergeben sich nicht.

Bundesrat

Drucksache 741/89

21.12.89

U - In

Allgemeine Verwaltungsvorschrift

der Bundesregierung

Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutz-
verordnung: Ermittlung der Strahlenexposition durch die
Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen
oder Einrichtungen

Bundesrepublik Deutschland
Der Bundeskanzler
121 (32) - 235 06 - Str 14/89

Bonn, den 21. Dezember 1989

An den
Präsidenten des Bundesrates

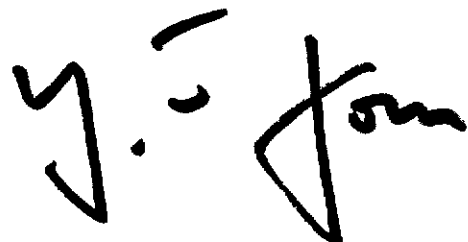
Hiermit übersende ich die von der Bundesregierung beschlossene

Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlen-
schutzverordnung: Ermittlung der Strahlenexposition
durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kern-
technischen Anlagen oder Einrichtungen

mit Begründung und Vorblatt.

Ich bitte, die Zustimmung des Bundesrates aufgrund des Artikels 84
Absatz 2 des Grundgesetzes herbeizuführen.

Federführend ist der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'J. J. Jom' or similar, written in a cursive style.

Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung:
Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung
radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen
oder Einrichtungen
vom

Aufgrund des § 45 Abs. 2 der Strahlenschutzverordnung vom 13. Oktober 1976 in der Fassung der Bekanntmachung vom 30. Juni 1989 (BGBl. I S. 1321, 1926) erläßt die Bundesregierung folgende Allgemeine Verwaltungsvorschrift:

Inhaltsübersicht	Seite
1. Anwendungsbereich	6
2. Ziele und Grundsätze zur Ermittlung der Strahlenexposition	6
3. Strahlenexposition bei der Ableitung mit Luft	8
3.1 Expositionspfade und ungünstigste Einwirkungsstellen	8
3.2 Berechnung der äußeren Strahlenexposition	9
3.2.1 Strahlenexposition durch Betastrahlung innerhalb der Abluftfahne (Betasubmersion)	10
3.2.2 Strahlenexposition durch Gammastrahlung aus der Abluftfahne (Gamma submersion)	10
3.2.3 Strahlenexposition durch Gammastrahlung der am Boden abgelagerten radioaktiven Stoffe (Bodenstrahlung)	12
3.3 Berechnung der inneren Strahlenexposition	13
3.3.1 Strahlenexposition durch Aufnahme radioaktiver Stoffe mit der Atemluft (Inhalation)	13
3.3.2 Strahlenexposition durch Aufnahme radioaktiver Stoffe beim Verzehr von Lebensmitteln (Ingestion)	14

	Seite
4. Ausbreitung radioaktiver Stoffe und Umgebungskontamination	20
4.1 Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre	20
4.1.1 Grundgleichung	20
4.1.2 Kurzzeitausbreitungsfaktor	21
4.1.3 Langzeitausbreitungsfaktor	22
4.1.4 Vereinfachte Ermittlung des Langzeitausbreitungsfaktors	22
4.2 Ablagerung radioaktiver Stoffe	23
4.2.1 Trockene Ablagerung (Fallout)	23
4.2.1.1 Standortspezifisches Verfahren	23
4.2.1.2 Vereinfachtes Verfahren	24
4.2.2 Ablagerung durch Niederschlag (Washout)	24
4.2.2.1 Standortspezifisches Verfahren	24
4.2.2.2 Vereinfachtes Verfahren	26
4.2.3 Abreicherungsfaktoren	27
4.3 Ausbreitungsfaktoren für Gammasubmersion	27
4.3.1 Kurzzeitausbreitungsfaktor	27
4.3.1.1 Standortspezifisches Verfahren	27
4.3.1.2 Vereinfachtes Verfahren	29
4.3.2 Langzeitausbreitungsfaktor	29
4.3.2.1 Standortspezifisches Verfahren	29
4.3.2.2 Vereinfachtes Verfahren	30
4.4 Ungleichmäßige Emissionen	30
4.4.1 Anwendung von Langzeitausbreitungsfaktoren	30
4.4.2 Anwendung von Kurzzeitausbreitungsfaktoren	31
4.5 Meteorologische Daten	32
4.5.1 Ausbreitungsparameter σ_y und σ_z	32
4.5.2 Ausbreitungsstatistik	32
4.5.3 Windgeschwindigkeit in effektiver Emissionshöhe	33

	Seite
4.6 Örtliche Besonderheiten	34
4.6.1 Kaminüberhöhung	34
4.6.2 Gebäudeeinfluß	34
4.6.3 Kühlturmeinfluß	35
4.6.4 Orographie	36
5. Strahlenexposition bei der Ableitung mit Wasser	37
5.1 Expositionspfade	37
5.2 Anwendungsbereich der Rechenmodelle	38
5.3 Ausbreitung radioaktiver Stoffe in Fließgewässern	39
5.4 Berechnung der äußeren Strahlenexposition	40
5.4.1 Strahlenexposition durch Aufenthalt auf Ufer- sediment	41
5.4.2 Strahlenexposition durch Aufenthalt auf Über- schwemmungsgebieten	44
5.4.3 Strahlenexposition durch Aufenthalt auf Spül- feldern	45
5.5 Berechnung der inneren Strahlenexposition	46
5.5.1 Aktivität im Trinkwasser	48
5.5.2 Aktivität im Fischfleisch	48
5.5.3 Aktivitätsberechnung für die Expositionspfade "Viehtränke"	49
5.5.4 Aktivitätsberechnung für die Expositionspfade "Beregnung"	49
5.5.5 Aktivitätsberechnung für die Expositionspfade "Landwirtschaftliche Nutzung auf Überschwemmungs- gebieten"	51
5.6 Landwirtschaftliche Nutzung von Fluß- und Klärschlamm	51
6. Inkrafttreten	52

	Seite
Anhang 1 Dosisleistungsfaktoren für Betasubmersion $g_{\beta rT}$ (Sv . m ³ . Bq ⁻¹ . s ⁻¹).	53
Anhang 2 Dosisleistungsfaktoren für Gammasubmersion $g_{\gamma rT}$ (Sv . m ² . Bq ⁻¹ . s ⁻¹) und für Bodenstrahlung g_{brT} (Sv . m ² . Bq ⁻¹ . s ⁻¹).	54
Anhang 3 Inhalationsdosisfaktoren g_{hrT} (Sv . Bq ⁻¹) und In- gestionsdosisfaktoren g_{grT} (Sv . Bq ⁻¹).	55
Anhang 4 Werte zur Berechnung des Radionuklidtransports über den Ingestionspfad und den Sedimentpfad	56
Anhang 5 Lebensgewohnheiten der Referenzperson	62
Anhang 6 Transferfaktoren zur Berechnung des Radionuklid- transports	64
Anhang 7 Tabelle 1: Ausbreitungskoeffizienten p_y , q_y , p_z und q_z in Abhängigkeit von Diffusionskategorie und Emis- sionshöhe	68
Tabelle 2: Exponent m_j des vertikalen Windge- schwindigkeitsprofils und maximale vertikale Ausbreitungsparameter in (m)	69
Tabelle 3: Proportionalitätsfaktor für Fall- out v_g und für Washout c sowie Wash- outkoeffizient Λ_o	70

Tabelle 4:	Dosisaufbaufaktor für Gammasubmersion Koeffizienten b_{1m} zur Berechnung des Dosisaufbaufaktors in Luft bei Gamma- submersion für die Gamma-Energie 1 MeV	71
Tabelle 5:	Korrekturfaktor für den Einfluß des Bodens bei Gammasubmersion Koeffizienten zur Berechnung des Korrekturfaktors für den Einfluß des Bodens bei Gammasubmersion	71
Anhang 8	Diagramm zur vereinfachten Ermittlung des Langzeit- ausbreitungsfaktors	72
Anhang 9	Diagramme zur vereinfachten Ermittlung des Kurzzeit- ausbreitungsfaktors für Gammasubmersion	73
Anhang 10	Diagramm zur vereinfachten Ermittlung des Langzeit- ausbreitungsfaktors für Gammasubmersion	80
Anhang 11	Radionuklidgemische für Ableitungen mit Luft	81
Anhang 12	Radionuklidgemische für Ableitungen mit Wasser	82
Anhang 13	Konzentrationsfaktoren für Fischfleisch	83
Anhang 14	Halbwertszeiten für die Anlagerung an Schwebstoffen und Übergangskonstanten	85
Anhang 15	Berücksichtigung von radioaktiven Tochternukliden bei der Berechnung der Strahlenexposition	86

1. Anwendungsbereich

Diese Allgemeine Verwaltungsvorschrift gilt für die Ermittlung der Strahlenexposition nach § 45 Abs. 2 der Strahlenschutzverordnung. Die Ergebnisse dienen der Feststellung im Genehmigungsverfahren, ob der Strahlenschutzverantwortliche die technische Auslegung und den Betrieb seiner Anlagen oder Einrichtungen so geplant hat, daß die durch Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft oder mit Wasser bedingte Strahlenexposition die Dosisgrenzwerte des § 45 Abs. 1 der Strahlenschutzverordnung nicht überschreitet.

2. Ziele und Grundsätze zur Ermittlung der Strahlenexposition

2.1 Ziel dieser Allgemeinen Verwaltungsvorschrift ist es, die Modelle und Parameter zur Berechnung der Strahlenexposition so festzulegen, daß bei deren Anwendung die zu erwartende Strahlenexposition des Menschen nicht unterschätzt wird.

2.2 Die Strahlenexposition ist für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen zu ermitteln. Die ungünstigsten Einwirkungsstellen sind die Stellen in der Umgebung einer Anlage oder Einrichtung, bei denen aufgrund der Verteilung der abgeleiteten radioaktiven Stoffe in der Umwelt unter Berücksichtigung realer Nutzungsmöglichkeiten durch Aufenthalt oder durch Verzehr dort erzeugter Lebensmittel die höchste Strahlenexposition der Referenzperson zu erwarten ist. Für die Ermittlung der Strahlenexposition durch Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser sind der Nahbereich (Anlagerungszeit an Schwebstoffe ≤ 10 Stunden) und der Fernbereich (Anlagerungszeit an Schwebstoffe > 5 Tage) zu betrachten.

Bei kleinen Vorflutern ist zusätzlich der Mündungsbereich in den größeren Vorfluter zu betrachten. Falls dieser Bereich nicht zum Nah- oder Fernbereich gezählt werden kann, ist die Zeitabhängigkeit der Anlagerung an Schwebstoffe zu berücksichtigen.

2.3 Für die Referenzperson ist die Strahlenexposition als Körperdosis im Kalenderjahr (Jahresdosis) zu berechnen. *)

2.4 Die Jahresdosis ist als Summe der Dosen durch äußere und innere Strahlenexposition aufgrund radioaktiver Ableitungen mit der Abluft oder dem Abwasser unter Berücksichtigung der Beiträge nach § 45, Abs. 3 StrlSchV zu berechnen.

Bei der Ermittlung der Vorbelastung gemäß § 45 Abs. 3 StrlSchV ist von den durch Genehmigung festgesetzten höchstzulässigen Emissionen auszugehen. Soweit die Emissionen einer Anlage oder Einrichtung nicht durch Genehmigung festgesetzt worden sind, sind bei der Ermittlung der Vorbelastung Erfahrungswerte zugrunde zu legen. Sind solche nicht vorhanden, sind die Erfahrungswerte anderer in Betrieb befindlicher Anlagen oder Einrichtungen zugrunde zu legen, die hinsichtlich der technischen Auslegung, Funktion und Betriebsweise als gleichwertig zu beurteilen sind.

Bei äußerer Strahlenexposition ist die Dosis für das Bezugsjahr, bei innerer Strahlenexposition für Erwachsene die 50-Jahre- Folgedosis, für Kleinkinder die 70- Jahre-Folgedosis aufgrund der Inkorporation im Bezugsjahr zu berechnen. Bei Expositionspfaden, die mit einer Anreicherung in der Umwelt verbunden sind, ist eine 50-jährige Akkumulationszeit vor dem Bezugsjahr zu berücksichtigen.

2.5 Die nachstehend aufgeführten in Anlage XI Abschnitt I StrlSchV festgelegten Expositionspfade sind in der Regel in die Berechnung einzubeziehen. Nach Anlage XI Abschnitt I gilt: "Expositionspfade bleiben unberücksichtigt oder zusätzliche Expositionspfade sind zu berücksichtigen, wenn dies auf Grund der örtlichen Besonderheiten des Standortes oder auf Grund der Art der Anlage oder Einrichtung begründet ist."

*) Für Ableitungen mit Radionuklidgemischen ist es zulässig, die effektive Dosis mit den einzelnen radionuklidspezifischen Effektivdosisfaktoren zu berechnen.

3. Strahlenexposition bei der Ableitung mit Luft

3.1 Expositionspfade und ungünstigste Einwirkungsstellen

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

Zur Ermittlung der äußeren Strahlenexposition:

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

Zur Ermittlung der inneren Strahlenexposition:

4. Exposition durch Radionuklide, die mit der Atemluft inhaliert werden (Inhalation)
5. Exposition durch Radionuklide, die durch den Verzehr von Lebensmitteln inkorporiert werden (Ingestion)
 - Luft-Pflanze
 - Luft-Futterpflanze-Kuh-Milch
 - Luft-Futterpflanze-Tier-Fleisch.

Bei der Berechnung der Strahlenexposition ist wie folgt zu verfahren:

Unter Berücksichtigung realer Nutzungsmöglichkeiten sind die Stellen zugrunde zu legen, an denen sich die höchste effektive Dosis oder die höchsten Teilkörperdosen ergeben. Dabei ist jeweils für die Dosis aus äußerer Strahlenexposition und Inhalation die Stelle auszuwählen, an der die Summe dieser beiden Dosen am höchsten ist. Zusätzlich sind die Ingestionsdosen zu berücksichtigen, die sich unter Zugrundelegung der Ernährungsgewohnheiten der Anlage XI Tabelle II 1 StrlSchV durch den Verzehr von solchen Lebensmitteln ergeben, die zu den höchsten Teilkörperdosen oder zur höchsten effektiven Dosis führen.

3.2 Berechnung der äußeren Strahlenexposition

Die Jahresdosis im Organ oder Gewebe T durch äußere Strahlenexposition durch das Radionuklid r ergibt sich aus der Summe der Jahresdosen durch Gammasubmersion und Bodenstrahlung und im Falle der Haut zusätzlich durch Betasubmersion.

Für alle Organe oder Gewebe T ist:

$$H_{T,a,r} = H_{T,\beta,r} + H_{T,\gamma,r} + H_{T,b,r} \quad (3.1)$$

Hierin bedeuten:

$H_{T,a,r}$: Jahresdosis im Organ oder Gewebe T durch äußere Strahlenexposition über den Abluftpfad durch das Radionuklid r in Sv

$H_{T,\beta,r}$: Jahresdosis in 0,07 mm Hauttiefe durch Betasubmersion durch das Radionuklid r in Sv, für alle anderen Organe ist $H_{T,\beta,r} = 0$ zu setzen.

$H_{T,\gamma,r}$: Jahresdosis im Organ oder Gewebe T durch Gammasubmersion durch das Radionuklid r in Sv

$H_{T,b,r}$: Jahresdosis im Organ oder Gewebe T durch Bodenstrahlung bei der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft durch das Radionuklid r in Sv

Die Jahresdosis im Organ oder Gewebe T durch äußere Strahlenexposition bei der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft ergibt sich zu:

$$H_{T,a} = \sum_r H_{T,a,r} \quad (3.2)$$

Die Berechnung der Jahresdosis im Organ oder Gewebe T durch äußere Strahlenexposition bei der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft durch das Radionuklid r ist in der folgenden Weise durchzuführen:

3.2.1 Strahlenexposition durch Betastrahlung innerhalb der Abluftfahne (Betasubmersion)

Die Strahlenexposition durch Betasubmersion ist der Aktivitätskonzentration des Radionuklids r in der Luft am betrachteten Ort direkt proportional.

$$H_{T,\beta,r} = A_r \cdot \bar{\chi}^G \cdot g_{\beta,r,T} \quad (3.3)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

A_r : Jährliche Ableitungsmenge des Radionuklids r in Bq

$\bar{\chi}^G$: Langzeitausbreitungsfaktor für das gesamte Jahr am betrachteten Ort in $s \cdot m^{-3}$, siehe Kapitel 4.1.3

$g_{\beta,r,T}$: Dosisleistungsfaktor für die Haut in 0,07 mm Tiefe durch Betasubmersion des Radionuklids r in $(Sv \cdot m^3 \cdot Bq^{-1} \cdot s^{-1})$, siehe Anhang 1, für alle anderen Organe ist $g_{\beta,r,T} = 0$ zu setzen.

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

3.2.2 Strahlenexposition durch Gammastrahlung aus der Abluftfahne (Gammasubmersion)

Bei der Berechnung der Strahlenexposition durch Gammastrahlen sind wegen der großen Reichweite der Gamma-Quanten die Beiträge aus der gesamten Abluftfahne zu berücksichtigen. Es ist über alle Volumenelemente der Abluftfahne unter Berücksichtigung der Absorption und Streuung der Gamma-Quanten durch Luft, Erdboden und im Menschen zu integrieren. Beim Zerfall der Radionuklide werden Gamma-Quanten verschiedener Energie emittiert. Der Dosisberechnung sind zwei Energiegruppen, unterhalb und oberhalb von 0,2 MeV, zugrunde zu legen. Damit ergibt sich:

$$H_{T,\gamma,r} = A_r \cdot g_{\gamma,r,T} \cdot (f_r \cdot \bar{\chi}_{Y1}^G + (1-f_r) \cdot \bar{\chi}_{Y2}^G) \quad (3.4)$$

Es ist zulässig, die Ausbreitungsfaktoren für die Gamma-Energien unter 0,2 MeV durch den Ausbreitungsfaktor für 0,1 MeV und für die höheren Gamma-Energien durch den Ausbreitungsfaktor für 1 MeV zu beschreiben.

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$\bar{\chi}_{Y1}^G$: Langzeitausbreitungsfaktor für das gesamte Jahr für Gammasubmersion in $s \cdot m^{-2}$ für die Energiegruppe 1 bei Gamma-Energien von 1 MeV, siehe Kapitel 4.3.2

$\bar{\chi}_{Y2}^G$: Langzeitausbreitungsfaktor für das gesamte Jahr für Gammasubmersion in $s \cdot m^{-2}$ für die Energiegruppe 2 bei Gamma-Energien von 0,1 MeV

$g_{Y,r,T}$: Dosisleistungsfaktor für das Organ oder Gewebe T durch Gammasubmersion des Radionuklids r in $(Sv \cdot m^2 \cdot Bq^{-1} \cdot s^{-1})$, siehe Anhang 2

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

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

mit

E_i = Gamma-Energie in MeV

Y_i = pro Zerfall emittierte Gamma-Quanten der Energie E_i

Folgende Vereinfachung für die Ausbreitungsfaktoren für Gammasubmersion ist zulässig:

$$\bar{\chi}_{Y2}^G = 2 \cdot \bar{\chi}_{Y1}^G$$

Damit vereinfacht sich die Gleichung zur Berechnung der Jahresdosis zu

$$H_{T,Y,r} = A_r \cdot g_{Y,r,T} \cdot \bar{\chi}_{Y1}^G (2-f_r) \quad (3.5)$$

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

3.2.3 Strahlenexposition durch Gammastrahlung der am Boden abgelagerten radioaktiven Stoffe (Bodenstrahlung)

Wie bei der Strahlenexposition durch Gammasubmersion können Gammastrahlen, die von am Boden abgelagerten Radionukliden ausgesandt werden, aus einem Umkreis von bis zu einigen hundert Metern zur äußeren Strahlenexposition beitragen. In diesem Umkreis ist von der gleichen abgelagerten Aktivität wie am betrachteten Ort auszugehen. Die Jahresdosis errechnet sich nach

$$H_{T,b,r} = A_r \cdot (\bar{F}_r^G + \bar{W}_r^G) K_{b,r} \cdot g_{b,r,T} \cdot b \quad (3.6)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$\bar{F}_r^G$: Langzeitfalloutfaktor für das gesamte Jahr in m^{-2} , siehe Kapitel 4.2.1

$\bar{W}_r^G$: Langzeitwashoutfaktor für das gesamte Jahr in m^{-2} , siehe Kapitel 4.2.2

$K_{b,r}$: Effektive Ablagerungszeit für das Radionuklid r in s
 $K_{b,r} = (1 - \exp(-\lambda_r \cdot t_b)) / \lambda_r$

λ_r : Physikalische Zerfallskonstante des Radionuklids r in s^{-1}

t_b : Zeitraum, innerhalb dessen das Radionuklid r auf dem Boden abgelagert wird in s , siehe Anhang 4

$g_{b,r,T}$: Dosisleistungsfaktor für das Organ oder Gewebe T durch Bodenstrahlung des Radionuklids r in $(Sv \cdot m^2 \cdot Bq^{-1} \cdot s^{-1})$, siehe Anhang 2

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

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

3.3 Berechnung der inneren Strahlenexposition

Die Jahresdosis im Organ oder Gewebe T durch innere Strahlenexposition bei der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft durch das Radionuklid r ergibt sich aus der Summe der Jahresdosis durch Inhalation und der Jahresdosis durch Ingestion.

Es ist:

$$H_{T,i,r} = H_{T,h,r} + H_{T,g,r} \quad (3.7)$$

Hierin bedeuten:

$H_{T,i,r}$: Jahresdosis im Organ oder Gewebe T durch innere Strahlenexposition bei der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft durch das Radionuklid r in Sv

$H_{T,h,r}$: Jahresdosis im Organ oder Gewebe T durch Inhalation des Radionuklids r in Sv

$H_{T,g,r}$: Jahresdosis im Organ oder Gewebe T durch Ingestion des Radionuklids r in Sv

Die Jahresdosis im Organ oder Gewebe T durch innere Strahlenexposition bei der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft ergibt sich zu

$$H_{T,i} = \sum_r H_{T,i,r} \quad (3.8)$$

Die Berechnung der Jahresdosis im Organ oder Gewebe T durch das Radionuklid r ist in der folgenden Weise durchzuführen:

3.3.1 Strahlenexposition durch Aufnahme radioaktiver Stoffe mit der Atemluft (Inhalation)

Die Strahlenexposition durch Inhalation des Radionuklids r ist proportional der am betrachteten Ort inhalierten Aktivität. Die Jahresdosis ist:

$$H_{T,h,r} = A_r \cdot \bar{\chi}^G \cdot \dot{V} \cdot g_{h,r,T} \quad (3.9)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$\dot{V}$: Atemrate in $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, siehe Anhang 5

$g_{h,r,T}$: Dosisfaktor für das Organ oder Gewebe T durch Inhalation des Radionuklids r in $\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$, siehe Anhang 3

Tochternuklide, die während der Transportzeit von der Quelle bis zum Aufenthaltsort der Referenzperson gebildet werden, können bei der Berechnung der Jahresdosen durch Inhalation unberücksichtigt bleiben.

3.3.2 Strahlenexposition durch Aufnahme radioaktiver Stoffe beim Verzehr von Lebensmitteln (Ingestion)

Die Strahlenexposition durch Ingestion ergibt sich durch die mit Lebensmitteln aufgenommenen Aktivität.

Für die Annahmen über die Ernährungsgewohnheiten gilt Anhang 5.

Die Jahresdosis im Organ oder Gewebe T (ohne Berücksichtigung von Dekontaminationseffekten bei der lebensmitteltechnologischen und haushaltsmäßigen Zubereitung) ist:

$$H_{T,g,r} = (U^{Pf} \cdot C_r^{Pf} + U^{Bl} \cdot C_r^{Bl} + U^{Mi} \cdot C_r^{Mi} + U^{Fl} \cdot C_r^{Fl}) \cdot g_{g,r,T} \quad (3.10)$$

Hierin bedeuten:

$H_{T,g,r}$: Jahresdosis im Organ oder im Gewebe T durch Ingestion des Radionuklids r in Sv

U^{Pf} : Jahresverbrauch an pflanzlichen Produkten ohne Blattgemüse in kg, siehe Anhang 5

U^{Bl} : Jahresverbrauch an Blattgemüse in kg, siehe Anhang 5

U^{Mi} : Jahresverbrauch an Milch und Milchprodukten in kg, siehe Anhang 5

U^{Fl} : Jahresverbrauch an Fleisch und Fleischwaren in kg, siehe Anhang 5

- C_r^{Pf} : Spezifische Aktivität des Radionuklids r in pflanzlichen Produkten ohne Blattgemüse in $Bq \cdot kg^{-1}$, siehe Gleichungen (3.11) bis (3.13)
- C_r^{Bl} : Spezifische Aktivität des Radionuklids r in Blattgemüse in $Bq \cdot kg^{-1}$, siehe Gleichungen (3.11) bis (3.13)
- C_r^{Mi} : Spezifische Aktivität des Radionuklids r in Milch und Milchprodukten in $Bq \cdot kg^{-1}$, siehe Gleichung (3.14)
- C_r^{Fl} : Spezifische Aktivität des Radionuklids r in Fleisch und Fleischwaren in $Bq \cdot kg^{-1}$, siehe Gleichung (3.16)
- $g_{g,r,T}$: Dosisfaktor für das Organ oder Gewebe T durch Ingestion des Radionuklids r in $Sv \cdot Bq^{-1}$, siehe Anhang 3

Für alle Radionuklide außer Tritium ($H\ 3$) und Kohlenstoff 14 ($C\ 14$) ist die spezifische Aktivität in und auf den Pflanzen nach Formel (3.11) zu berechnen:

$$C_r^n = a_p \cdot A_r \left((\bar{F}_r + f_w \cdot \bar{W}_r) \frac{(1 - \exp(-\lambda_{eff,r}^{Pf} \cdot t_e^n))}{\gamma^n \cdot \lambda_{eff,r}^{Pf}} + (\bar{F}_r^G + \bar{W}_r^G) \frac{T_r^n \cdot (1 - \exp(-\lambda_{eff,r}^{Bo} \cdot t_b))}{p^m \cdot \lambda_{eff,r}^{Bo}} \right) \exp(-\lambda_r \cdot t_v^n) \quad (3.11)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

- n : Index zur Kennzeichnung der Pflanzen (vgl. Anhang 4)
- m : Index zur Kennzeichnung des Bodens (vgl. Anhang 4)
- a_p : Umrechnungsfaktor: $1/(3,15 \cdot 10^7 \text{ s}) = 3,2 \cdot 10^{-8} \text{ s}^{-1}$

$\overline{F}_r^S$: Langzeitfalloutfaktor für das Sommerhalbjahr vom 01. Mai bis 31. Oktober in m^{-2} , siehe Kapitel 4.2.1

$\overline{W}_r^S$: Langzeitwashoutfaktor für das Sommerhalbjahr vom 01. Mai bis 31. Oktober in m^{-2} , siehe Kapitel 4.2.2

f_w : Anteil der durch Niederschlag oder bei Beregnung auf der Pflanze abgelagerten Aktivität, siehe Anhang 4

$\lambda_{eff,r}^{Pf}$: Effektive Verweilkonstante für das Verbleiben des Radionuklids r auf der Pflanze in s^{-1}

$$\lambda_{eff,r}^{Pf} = \lambda_r + \lambda_v$$

λ_v : Verweilkonstante für das Verbleiben des Radionuklids r auf der Pflanze in s^{-1} , siehe Anhang 4

λ_r : Physikalische Zerfallskonstante des Radionuklids r in s^{-1}

t_e^n : Kontaminationszeit für Pflanzen der Gruppe n während der Wachstumsperiode in s , siehe Anhang 4

γ^n : Ertrag bzw. Bewuchsdichte von Pflanzen der Gruppe n in $kg \cdot m^{-2}$ Frischmasse, siehe Anhang 4

T_r^n : Transferfaktor vom Boden zur Pflanze für das Radionuklid r in $Bq \cdot kg^{-1}$ Feuchtmasse pro $Bq \cdot kg^{-1}$ Trockenboden, jeweils für pflanzliche Produkte inklusive Blattgemüse ($n = Pf$) oder für Weidepflanzen ($n = Wd$), siehe Anhang 6

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

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

$\lambda_{M,r}$: Verweilkonstante des Radionuklids r aufgrund des Transports in tiefere Bodenschichten außerhalb des Wurzelbereichs in s^{-1} , siehe Anhang 4

t_b : Zeit, in der das Radionuklid r auf dem Boden abgelagert wird und sich im Boden anreichert in s, siehe Anhang 4

p^m : Flächentrockenmasse des Bodens in $kg \cdot m^{-2}$, für pflanzliche Produkte und Blattgemüse ist $m = A$: Ackerboden und für Weidepflanzen ist $m = Wd$: Weideboden, siehe Anhang 4

t_v^n : Zeit zwischen Ernte und Verbrauch der Pflanzen der Gruppe n in s, siehe Anhang 4

Zur Berücksichtigung der Strahlenexposition durch radioaktive Tochternuklide wird auf den Anhang 15 verwiesen. Die Jahresdosis im Organ oder Gewebe T nach dem 50. Jahr ergibt sich aus der Summe der Jahresdosis des primären Radionuklids und den Jahresdosen der Tochternuklide.

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

$$C_{H\ 3}^n = A_{H\ 3} \cdot f_H^{Pf} \cdot (f_L \cdot a_p \cdot \frac{\bar{X}^S}{\bar{\psi}^S} + f_N \cdot \frac{\bar{W}_{H\ 3}^S}{J \cdot g_w}) \quad (3.12)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$C_{H\ 3}^n$: Spezifische Aktivität von Tritium in Pflanzen der Gruppe n in $Bq \cdot kg^{-1}$

$A_{H\ 3}$: Jährliche Ableitungsmenge von Tritium in Bq

- f_H^{Pf} : Massenanteil des Wassers in der Pflanze, siehe Anhang 4
- $\bar{\chi}^S$: Langzeitausbreitungsfaktor für das Sommerhalbjahr vom 01. Mai bis 31. Oktober am betrachteten Ort in $s \cdot m^{-3}$, siehe Kapitel 4.1.3
- $\bar{\psi}^S$: Mittlere absolute Luftfeuchte während der Wachstumsperiode am betrachteten Ort in $kg \cdot m^{-3}$, siehe Anhang 4
- $\bar{w}_H^S$: Langzeitwashoutfaktor für das Sommerhalbjahr für tritiiertes Wasser am betrachteten Ort in m^{-2} , siehe Kapitel 4.2.2
- J^S : mittlere Niederschlagshöhe für das Sommerhalbjahr in $l \cdot m^{-2}$
- f_L, f_N : Anteil des Tritiuminventars in der Pflanze, der aus der Luftfeuchte bzw. aus den Niederschlägen stammt, siehe Anhang 4
- ρ_w : Dichte des Wassers in $kg \cdot l^{-1}$, siehe Anhang 4

Die Aufnahme von C 14 in die Pflanzen erfolgt bezogen auf den natürlichen Kohlenstoff in dem gleichen Verhältnis, wie es in der Luft am betrachteten Ort vorliegt. Die spezifische Aktivität in den Pflanzen ist zu berechnen nach:

$$C_{C\ 14}^n = a_p \cdot A_{C\ 14} \cdot \bar{\chi}^S \cdot \frac{f_C^n}{C_C^L} \quad (3.13)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

- $C_{C\ 14}^n$: Spezifische Aktivität von C 14 in Pflanzen der Gruppe n in $Bq \cdot kg^{-1}$
- $A_{C\ 14}$: Jährliche Ableitungsmenge von C 14 in Bq
- f_C^n : Massenanteil des Kohlenstoffs in der Pflanze, siehe Anhang 4
- C_C^L : Kohlenstoffkonzentration der Luft in $kg \cdot m^{-3}$, siehe Anhang 4

Die spezifische Aktivität des Radionuklids r in der Milch ist zu berechnen nach:

$$C_r^{Mi} = C_r^{Fu} \cdot \dot{M}_{Fu} \cdot T_r^{Mi} \quad (3.14)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

C_r^{Fu} : Spezifische Aktivität des Radionuklids r im Futter der Tiere in $Bq \cdot kg^{-1}$, siehe Gleichung (3.15)

$\dot{M}_{Fu}$: Tägliche Aufnahme von Futter in kg (Feuchtmasse) $\cdot d^{-1}$, siehe Anhang 4

T_r^{Mi} : Transferfaktor des Radionuklids r vom Futter in die Milch in $d \cdot kg^{-1}$, siehe Anhang 6

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

$$C_r^{Fu} = f_p \cdot C_r^{Wd} + (1 - f_p) \cdot C_r^{Lf} \quad (3.15)$$

Hierin bedeuten:

f_p : Bruchteil des Jahres, in dem Tiere auf der Weide grasen, siehe Anhang 4

C_r^{Wd} : Spezifische Aktivität des Radionuklids r in der Weidepflanze in $Bq \cdot kg^{-1}$, nach Gleichung (3.11), (3.12) oder (3.13) berechnet

C_r^{Lf} : Spezifische Aktivität des Radionuklids r im Lagerfutter in $Bq \cdot kg^{-1}$, nach Gleichung (3.11), (3.12) oder (3.13) berechnet.

Die spezifische Aktivität des Fleisches ist zu berechnen nach:

$$C_r^{Fl} = C_r^{Fu} \cdot \dot{M}_{Fu} \cdot T_r^{Fl} \cdot \exp(-\lambda_r \cdot t_v^{Fl}) \quad (3.16)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

- C_r^{Fl} : Spezifische Aktivität des Radionuklids r im Fleisch in Bq . kg⁻¹
- T_r^{Fl} : Transferfaktor des Radionuklids r vom Futter in das Fleisch in d . kg⁻¹, siehe Anhang 6
- t_v^{Fl} : Zeit zwischen Schlachten und Fleischverzehr in s, siehe Anhang 4

4. Ausbreitung radioaktiver Stoffe und Umgebungskontamination

4.1 Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre

Nach Anlage XI Abschnitt III Nr. 3 Satz 1 StrlSchV ist der Ausbreitungsrechnung das Gaußmodell zugrunde zu legen.

4.1.1 Grundgleichung

Bei der Berechnung der Aktivitätskonzentration in der Luft wird die Abluftfahne durch eine zweidimensionale Gauß-Verteilung beschrieben. Dabei wird die Abluftfahne am Boden vollständig reflektiert.

Die Konzentration C am Ort (x,y,z) ergibt sich zu

$$C(x,y,z) = \frac{\dot{A}}{2 \cdot \sigma_y(x) \cdot \sigma_z(x) \cdot \pi \cdot u} \exp\left(\frac{-y^2}{2 \sigma_y^2(x)}\right) \left\{ \exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2 \sigma_z^2(x)}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2 \sigma_z^2(x)}\right) \right\} \quad (4.1)$$

Hierin bedeuten:

C : Aktivitätskonzentration in der Luft in Bq . m⁻³

x,y,z : Kartesische Koordinaten in Ausbreitungsrichtung (x) sowie senkrecht zur Ausbreitungsrichtung horizontal (y) und vertikal (z), der Ursprung des Koordinatensystems liegt im Fußpunkt der Quelle

$\dot{A}$: Quellstärke in $\text{Bq} \cdot \text{s}^{-1}$

$\sigma_y(x)$: Horizontaler und vertikaler Ausbreitungsparameter in m, abhängig von

$\sigma_z(x)$: Quelldistanz x; Diffusionskategorie und effektiver Emissionshöhe H, siehe Anhang 7

u : Windgeschwindigkeit in effektiver Emissionshöhe in $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, siehe Kapitel 4.5.3

H : Effektive Emissionshöhe in m

In den Gleichungen (4.1), (4.2), (4.4), (4.12), (4.13), (4.14) und (4.15) ist die Abnahme der Aktivität in der Abluftfahne durch radioaktiven Zerfall, Fallout und Washout während der Transportzeit nicht berücksichtigt. Eine Berücksichtigung dieser Effekte ist nach der Berechnungsvorschrift in Kapitel 4.2.3 zulässig.

4.1.2 Kurzzeitausbreitungsfaktor

Bei kurzzeitiger Emission ist die Annahme konstanter meteorologischer Bedingungen zulässig; die bodennahe ($z = 0$) Konzentrationsverteilung $\hat{C}(x,y)$ im Lee der Quelle ist wie folgt zu berechnen:

$$\hat{C}(x,y) = \frac{\dot{A}}{\sigma_y(x) \cdot \sigma_z(x) \cdot \pi \cdot u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2(x)}\right) \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2(x)}\right) \quad (4.2)$$

Der Kurzzeitausbreitungsfaktor $\hat{X}(x,y)$ ist wie folgt definiert:

$$\hat{X}(x,y) = \frac{\hat{C}(x,y)}{\dot{A}} \quad (4.3)$$

4.1.3 Langzeitausbreitungsfaktor

Bei Emission mit konstanter Quellstärke ergibt sich im Sektor i die Konzentrationsverteilung $\bar{c}_i^{\tau}(x)$ ($\tau = G$ für das gesamte Jahr und $\tau = S$ für das Sommerhalbjahr vom 1. Mai bis 31. Oktober) durch Summierung der Beiträge aus den 6 Diffusionskategorien j und den M Windgeschwindigkeitsstufen m . Die Variation der Windrichtung innerhalb des Sektors wird durch eine azimutale Mittelung der Konzentrationsbeiträge berücksichtigt.

Analog zum Kurzzeitausbreitungsfaktor $\hat{\chi}(x,y)$ ist der Langzeitausbreitungsfaktor $\bar{\chi}_i^{\tau}(x)$ folgendermaßen definiert:

$$\bar{\chi}_i^{\tau}(x) = \frac{\bar{c}_i^{\tau}(x)}{A} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{N}{2 \cdot \pi \cdot x} \sum_{j=1}^6 \frac{\exp\left(\frac{-H^2}{2 G_{z,j}^2(x)}\right)}{G_{z,j}(x)} \sum_{m=1}^M \frac{p_{i,j,m}^{\tau}}{u_{j,m}} \quad (4.4)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

N : Anzahl der Sektoren (Es wird empfohlen $N = 12$ zu verwenden)

$p_{i,j,m}^{\tau}$: Häufigkeit mit der der Wind bei der Diffusionskategorie j und der Windgeschwindigkeit aus der Stufe m in den Sektor i im gesamten Jahr ($\tau = G$) bzw. im Sommerhalbjahr ($\tau = S$) weht.

$$\sum p_{i,j,m}^{\tau} = 1 \text{ für } \tau = G, S$$

M : Anzahl der Windgeschwindigkeitsstufen

$u_{j,m}$: Windgeschwindigkeit in effektiver Emissionshöhe für die Stufe m und die Diffusionskategorie j

4.1.4 Vereinfachte Ermittlung des Langzeitausbreitungsfaktors

Ist die Berechnung des Langzeitausbreitungsfaktors für das gesamte Jahr bzw. für das Sommerhalbjahr in den 12 Windrichtungssektoren nach Gleichung (4.4) nicht möglich, ist ein vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung des Langzeitausbreitungsfaktors in den einzelnen Sektoren zulässig auf der Grundlage der Häufigkeiten p_i^{τ} in den einzelnen Sektoren.

Der Langzeitausbreitungsfaktor im Sektor i ergibt sich aus Gleichung (4.5) zu

$$\bar{\chi}_i^{\infty} = p_i^{\infty} \cdot \bar{\chi}^{\infty} \quad (4.5)$$

wobei $\bar{\chi}^G$ dem Anhang 8, Abb. 1 zu entnehmen und $\bar{\chi}^S$ gleich 2 $\bar{\chi}^G$ zu setzen ist.

4.2 Ablagerung radioaktiver Stoffe

4.2.1 Trockene Ablagerung (Fallout)

4.2.1.1 Standortspezifisches Verfahren

Die durch trockene Ablagerung entstehende Bodenkontaminationsrate $\dot{B}_F$ in $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ist proportional der Konzentration der bodennahen Luft. Proportionalitätsfaktor ist die Ablagerungsgeschwindigkeit v_g :

$$\dot{B}_F(x,y) = v_g \cdot C(x,y,0) \quad (4.6)$$

Die Bodenkontamination $\hat{B}_F$ in $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$, verursacht durch eine Kurzzeit-Emission der Aktivität A in Bq, ist mit Gleichung (4.7) zu berechnen:

$$\hat{B}_F(x,y) = A \cdot v_g \cdot \hat{\chi}(x,y) \quad (4.7)$$

Die Bodenkontamination $\bar{B}_{F,i}^G$ für das gesamte Jahr, verursacht durch eine kontinuierlich emittierte Aktivität A für den Sektor i, wird durch Gleichung (4.8) beschrieben:

$$\bar{B}_{F,i}^G(x) = A \cdot v_g \cdot \bar{\chi}_i^G(x) \quad (4.8)$$

Entsprechend Gleichung (4.3) wird der Kurzzeitfalloutfaktor $\hat{F}$ in m^{-2}

$$\hat{F}(x,y) = v_g \cdot \hat{\chi}(x,y) \quad (4.9)$$

sowie gemäß Gleichung (4.4) für den Sektor i der Langzeitfalloutfaktor $\bar{F}_i^{\tau}$ für das gesamte Jahr ($\tau = G$) bzw. für das Sommerhalbjahr ($\tau = S$) in m^{-2}

$$\bar{F}_i^{\tau}(x) = v_g \cdot \bar{\chi}_i^{\tau}(x) \quad (4.10)$$

definiert. Werte für v_g sind dem Anhang 7 Tab. 3 zu entnehmen.

4.2.1.2 Vereinfachtes Verfahren

Es ist zulässig, den Langzeitfalloutfaktor für das gesamte Jahr $\bar{F}_i^G$ für eine vereinfachte Berechnung (vgl. Kapitel 4.1.4) aus den Kurven in Anhang 8, Abb. 1 durch Multiplikation mit der Windrichtungshäufigkeit und der Ablagerungsgeschwindigkeit zu bestimmen; beim Langzeitfalloutfaktor für das Sommerhalbjahr $\bar{F}_i^S$ ist der Wert aus den Kurven in Anhang 8, Abb. 1 mit dem Faktor 2 zu multiplizieren.

4.2.2 Ablagerung durch Niederschlag (Washout)

4.2.2.1 Standortspezifisches Verfahren

Die Bodenkontaminationsrate durch Niederschlag $\dot{B}_w$ in $Bq \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ ist proportional der über die z -Koordinate integrierten Konzentrationsverteilung (Gleichung 4.1). Der Proportionalitätsfaktor ist der Washoutkoeffizient Λ in s^{-1} .

Es ist

$$\Lambda = \Lambda_0 \left(\frac{I}{I_0} \right)^K \quad (4.11)$$

Hierin bedeuten:

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

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

Λ_0 : Washoutkoeffizient für die Niederschlagsintensität I_0 in s^{-1} , siehe Anhang 7, Tabelle 3

κ : Exponent $\kappa = 0,8$ für Aerosole und Jod
 $\kappa = 1,0$ für tritiiertes Wasser

Die Bodenkontaminationsrate durch Niederschlag berechnet sich aus:

$$\dot{B}_W(x,y) = \frac{\dot{A} \cdot \Lambda}{u \cdot \sigma_y(x) \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2(x)}\right) \quad (4.12)$$

Die Bodenkontamination durch Niederschlag $\hat{B}_W$ in $Bq \cdot m^{-2}$, verursacht durch eine Kurzzeitemission der Aktivität A in Bq , wird durch die Gleichung (4.13) beschrieben:

$$\hat{B}_W(x,y) = \frac{A \cdot \Lambda}{u \cdot \sigma_y(x) \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2(x)}\right) \quad (4.13)$$

Der Kurzzeitwashoutfaktor $\hat{W}(x,y)$ lautet analog dem Kurzzeitfalloutfaktor:

$$\hat{W}(x,y) = \frac{\Lambda}{u \cdot \sigma_y(x) \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2(x)}\right) \quad (4.14)$$

Analog ergibt sich die Bodenkontamination $\tilde{B}_{W,i}$ ($\tau = G$ für das gesamte Jahr und $\tau = S$ für das Sommerhalbjahr) durch Washout in $Bq \cdot m^{-2}$ nach Gleichung (4.15) und der Langzeitwashoutfaktor $\tilde{W}_i$ in m^{-2} nach Gleichung (4.16):

$$\tilde{B}_{W,i}(x) = A \frac{N}{2 \cdot \pi \cdot x} \sum_{jmk} q_{i,j,m,k}^{\tau} \frac{\Lambda_k}{u_{j,m}} \quad (4.15)$$

$$\tilde{W}_i(x) = \frac{\tilde{B}_{W,i}(x)}{A} \quad (4.16)$$

$q_{i,j,m,k}^{\tau}$ ist die Häufigkeit der Niederschläge, geordnet nach Sektor i, Diffusionskategorie j, Windgeschwindigkeitsstufe m und Niederschlagsintensitätsstufe k im gesamten Jahr ($\tau = G$) bzw. im Sommerhalbjahr ($\tau = S$). Die vierparametrische Ausbreitungsstatistik ist so zu normieren, daß

$$\sum_{j,m,k} q_{i,j,m,k}^{\tau} = 1 \quad \text{für } \tau = G, S$$

4.2.2.2 Vereinfachtes Verfahren

Wenn eine 4-parametrische Ausbreitungsstatistik nicht vorliegt, ist es zulässig, den Langzeitwashoutfaktor durch eine Vereinfachung von Gleichung (4.15) zu berechnen. Für die vereinfachte Rechnung ist der Washoutkoeffizient Λ proportional der Niederschlagsintensität I anzunehmen, d.h.

$$\Lambda = c \cdot I$$

Der Proportionalitätsfaktor c ist im Anhang 7, Tabelle 3 angegeben.

Ferner ist es zulässig, die aktuelle Windgeschwindigkeit $u_{j,m}$ durch die mittlere jährliche Windgeschwindigkeit $\bar{u}_{i,D}^{\tau}$ im gesamten Jahr bzw. im Sommerhalbjahr in effektiver Emissionshöhe für den Sektor i und neutrale Diffusionskategorien zu ersetzen, so daß dann für den Langzeitwashoutfaktor gilt:

$$\bar{w}_i^{\tau}(x) = \frac{N \cdot c \cdot J_i^{\tau}}{2 \cdot \pi \cdot x \cdot \bar{u}_{i,D}^{\tau}} \quad (4.17)$$

Die Windgeschwindigkeit im Sektor i ist nach folgender Gleichung zu mitteln:

$$\frac{1}{\bar{u}_{i,D}^{\tau}} = \frac{\sum_m \frac{P_{i,D,m}^{\tau}}{u_{D,m}^{\tau}}}{\sum_m P_{i,D,m}^{\tau}} \quad (4.18)$$

Für die Anwendung muß nur die mit dem Sektor i verbundene Jahresniederschlagsmenge J_i^{τ} in $\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$ des Standorts bekannt sein.

4.2.3 Abreicherungs-faktoren

Fallout, Washout und radioaktiver Zerfall vermindern die Menge der Aktivität der radioaktiven Stoffe in der Abluftfahne. Es ist zulässig diese Effekte zu berücksichtigen, wenn auf die Quellstärke folgende nuklidspezifische Abreicherungs-faktoren angewendet werden:

Für Fallout:

$$f_A = \exp \left(- \frac{v_g}{u} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^x \exp \left(- \frac{H^2 / (2 \sigma_z^2(x'))}{\sigma_z(x')} \right) dx' \right) \quad (4.19)$$

Für Washout:

$$f_R = \exp (- \Lambda \cdot x / u) \quad (4.20)$$

Für radioaktiven Zerfall:

$$f_{Zr} = \exp (- \lambda_r \cdot x / u) \quad (4.21)$$

Die Gleichung 4.21 ist nicht anzuwenden für die Ermittlung der äußeren Strahlenexposition durch Betasubmersion und Gammasubmersion, wenn die Dosisleistungsfaktoren mit Berücksichtigung der Tochternuklide verwendet werden.

4.3 Ausbreitungsfaktoren für Gammasubmersion

4.3.1 Kurzeitenausbreitungsfaktor

4.3.1.1 Standortspezifisches Verfahren

Der Kurzeitenausbreitungsfaktor für Gammasubmersion $\hat{\chi}_{\gamma 1, j}$ in $s \cdot m^{-2}$ für Einzelemissionen bei der Diffusionskategorie j und für die Gamma-Energie 1 MeV ergibt sich aus:

$$\hat{\chi}_{x1,j} = \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty \phi_1(\mu_1 z', \mu_1 s) \frac{\exp\left\{-y'^2/(2\sigma_{y,j}^2(x')) - (z'-H)^2/(2\sigma_{z,j}^2(x'))\right\}}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_{y,j}^2(x') \cdot \sigma_{z,j}^2(x') \cdot u} dx' dy' dz' \quad (4.22)$$

mit

$$\phi_1(\mu_1 z', \mu_1 s) = \frac{\exp(-\mu_1 \cdot R)}{4 \cdot \pi \cdot R^2} B_1(\mu_1 R) \cdot K_1(\mu_1 z', \mu_1 s) \quad (4.23)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

μ_1 : Gesamtschwächungskoeffizient für Gammastrahlen in Luft in m^{-1} (ohne kohärente Streuung) für die Energie $E = 1 \text{ MeV}$

x, y, z : Koordinaten des Aufpunktes

x', y', z' : Koordinaten des Quellpunktes (Volumenelement $dx' \cdot dy' \cdot dz'$)

R : Abstand zwischen dem Volumenelement $dx' \cdot dy' \cdot dz'$ der Abluftfahne am Ort (x', y', z') und dem Aufpunkt (x, y, z) in m

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

$B_1(\mu_1 R)$: Dosisaufbaufaktor in Luft für die Gamma-Energie 1 MeV ohne Einfluß des Bodens, siehe Anhang 7, Tabelle 4

$K_1(\mu_1 z', \mu_1 s)$: Korrekturfaktor für den Einfluß des Bodens, siehe Anhang 7, Tabelle 5

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

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

4.3.1.2 Vereinfachtes Verfahren

Es ist zulässig, den Kurzeitenausbreitungsfaktor für Gammasubmersion $\hat{\chi}_{1,j}$ bei der Diffusionskategorie j für eine vereinfachte Berechnung aus den Kurven in Anhang 9 zu entnehmen. Dieser auf die Windgeschwindigkeit von $u = 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ normierte Wert ist mit der nach Gleichung 4.29 oder 4.30 berechneten Windgeschwindigkeit in effektiver Emissionshöhe bei der Diffusionskategorie j zu korrigieren.

4.3.2 Langzeitausbreitungsfaktor

4.3.2.1 Standortspezifisches Verfahren

Der Langzeitausbreitungsfaktor für Gammasubmersion $\bar{\chi}_{1,i}^G$ für das gesamte Jahr in $\text{s} \cdot \text{m}^{-2}$ bei konstanter Daueremission für die Energie 1 MeV (siehe Gleichung 3.4) ist als Summe der Beiträge in der jeweiligen Ausbreitungsrichtung (Sektor i) und der Beiträge zu berechnen, die von den in den übrigen Sektoren vorhandenen Aktivitätskonzentrationen herrühren:

$$\bar{\chi}_{1,i}^G(r) = \sum_{k=1}^N \sum_j \sum_m \frac{u}{u_{j,m}} p_{k,j,m}^G S_{ik-il,j,1}(r) \quad (4.24)$$

Die Beiträge $S_{\nu,j,1}$ aus dem Sektor der Ausbreitungsrichtung ($\nu = 0$) und aus dem ν -ten Nebensektor ($\nu = 1, \dots, N/2$) ergeben sich aus

$$S_{\nu,j,1}(r) = \frac{N}{2 \cdot \pi} \int_{(2\nu-1)\pi/N}^{(2\nu+1)\pi/N} \hat{\chi}_{1,j}(r \cos \vartheta, r \sin \vartheta, 0) d\vartheta \quad (4.25)$$

mit ϑ als Azimutalwinkel.

Für $\nu > N/2$ ist $S_{\nu,j,1}(r)$ gegeben durch

$$S_{\nu,j,1}(r) = S_{N-\nu,j,1}(r) \quad (4.26)$$

Die mit den Ausbreitungsparametern $G_{z,j}$ aus dem Anhang 7, Tabelle 1 und der JÜlicher Wetterstatistik von 1969 bis 1986 berechneten Langzeitausbreitungsfaktoren für Gammasubmersion (Wert für das gesamte Jahr) für die Hauptwindrichtung sind im Anhang 10 angegeben.

4.3.2.2 Vereinfachtes Verfahren

Zur Berechnung des Langzeitausbreitungsfaktors für Gammasubmersion ist es zulässig, die Werte aus Anhang 10 für die effektiven Emissionshöhen 20, 50, 100, 150 und 200 Meter in Verbindung mit einer langjährigen Ausbreitungsstatistik gemäß Abschnitt 4.5.2 zu benutzen.

4.4 Ungleichmäßige Emissionen

4.4.1 Anwendung von Langzeitausbreitungsfaktoren

a) Zufällig verteilte Emissionen

Bei ungleichmäßiger Quellstärke dürfen Langzeitausbreitungsfaktoren angewendet werden, wenn folgende Voraussetzungen vorliegen:

- 1) Die pro Tag, d.h. in Zeiträumen von je 24 Stunden, emittierte Aktivitätsmenge ist nicht größer als 1/100 der gleichmäßig über das Jahr verteilt angenommenen Jahresemission. *)
- 2) Die Emissionen nach 1) finden nicht systematisch jeweils zur selben Tageszeit, sondern annähernd gleichmäßig über alle Tageszeiten verteilt statt.
- 3) In einem beliebigen Zeitraum eines halben Jahres wird die Hälfte der angenommenen Jahresemission nicht überschritten.

*) Als Tageswert ist für Jod während der Weideperiode 1/200 der Jahresemissionsmenge und als zusätzliche Beschränkung in 6 Monaten die Hälfte des Jahreswertes vorgesehen.

b) Periodische Emissionen

Bei periodischen Emissionen dürfen die Langzeitausbreitungsfaktoren angewendet werden, wenn folgende Voraussetzungen vorliegen:

- 1) Die pro Tag, d.h. in Zeiträumen von je 24 Stunden, emittierte Aktivitätsmenge ist nicht größer als 1/100 der gleichmäßig über das Jahr verteilt angenommenen Jahresemission *)
- 2) In einem beliebigen Zeitraum eines halben Jahres wird die Hälfte der angenommenen Jahresemission nicht überschritten.

Die errechneten Teilkörperdosen in der Hauptwindrichtung sind mit dem Faktor 2 zu multiplizieren.

4.4.2 Anwendung von Kurzzeitausbreitungsfaktoren

Ist mit Emissionen zu rechnen, die nicht unter die Fallgruppen von 4.4.1 fallen, so ist wie folgt zu verfahren:

a) Einstündige Emissionen

Dauert die Emission nicht wesentlich länger als eine Stunde, dann sind auf diese Einzelemission die Kurzzeitausbreitungsfaktoren anzuwenden.

b) Mehrstündige Emissionen

Erstrecken sich Einzelemissionen über Zeiträume von mehr als 3 h, dann sind die mit Hilfe des Kurzzeitausbreitungsfaktors errechneten Jahresdosen mit den folgenden Faktoren zu multiplizieren:

$$\Delta t = 6 \text{ h} \quad \text{Faktor } \frac{5}{10}$$

$$\Delta t = 12 \text{ h} \quad \text{Faktor } \frac{4}{10}$$

$$\Delta t = 24 \text{ h} \quad \text{Faktor } \frac{3}{10}$$

*) Als Tageswert ist für Jod während der Weideperiode 1/200 der Jahresemissionsmenge und als zusätzliche Beschränkung in 6 Monaten die Hälfte des Jahreswertes vorgesehen.

Können mehrere Einzelemissionen bei gleicher Windrichtung und Ausbreitungskategorie stattfinden, so sind die daraus resultierenden Jahresdosen zu überlagern.

4.5 Meteorologische Daten

4.5.1 Ausbreitungsparameter σ_y und σ_z

Die Ausbreitungsparameter sind als Potenzfunktionen der Quelldistanz darzustellen:

$$\sigma_y = p_y \cdot x^{q_y} \quad (4.27)$$

$$\sigma_z = p_z \cdot x^{q_z} \quad (4.28)$$

Die Koeffizienten p_y , q_y , p_z und q_z sind im Anhang 7, Tabelle 1 für verschiedene effektive Emissionshöhen angegeben.

Ist die Ausbreitung im Lee der Quelle durch Gebäude gestört sind die Ausbreitungsparameter nach Kapitel 4.6.2 zu bestimmen.

4.5.2 Ausbreitungsstatistik

Zur Durchführung der Ausbreitungsrechnung ist eine 4-parametrische mindestens 5jährige Ausbreitungsstatistik zu verwenden. Die Ausbreitungsstatistiken sind nach der KTA-Regel 1508^{*)}, nach dem Verfahren des Deutschen Wetterdienstes oder einem vergleichbaren Verfahren zu bestimmen.

Liegt für den Standort eine vier-parametrische langjährige Ausbreitungsstatistik vor, welche die Häufigkeit der einzelnen Wettersituationen, geordnet nach Windrichtung, -geschwindigkeit, Niederschlagsintensität und Diffusionskategorie enthält, kann die Ausbreitungsrechnung unmittelbar vorgenommen werden.

^{*)} KTA 1508 in der jeweils gültigen Fassung.

Instrumentierung zur Ermittlung der Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre

BAnz Nr. 37A vom 22.02.1989.

Andernfalls hat die zuständige Behörde zu bestimmen,

- ob eine drei-parametrische Ausbreitungsstatistik für den Standort oder
- ob auf den Standort anwendbare Ausbreitungsstatistiken des Deutschen Wetterdienstes oder von anderen Institutionen

bei der Ausbreitungsrechnung zu verwenden sind.

4.5.3 Windgeschwindigkeit in effektiver Emissionshöhe

Die Windgeschwindigkeit u in Emissionshöhe ist aus der Windgeschwindigkeit u_1 in Bezugshöhe z_1 nach folgender Formel zu ermitteln:

Für H größer als oder gleich 10 m ist

$$u = u_1 \left(\frac{H}{z_1} \right)^{m_j} \quad (4.29)$$

Für H kleiner als 10 m ist

$$u = u_1 \left(\frac{10}{z_1} \right)^{m_j} \quad (4.30)$$

Dabei ist

u_1 : Windgeschwindigkeit in $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ in Bezugshöhe z_1 oberhalb des mittleren Störniveaus

z_1 : Bezugshöhe in m

m_j : Exponent des vertikalen Windgeschwindigkeitsprofils für die Diffusionskategorie j

Für den Exponenten m_j sind die in Anhang 7, Tabelle 2 angegebenen Werte zu verwenden, falls keine ortsspezifischen Werte vorliegen.

Eine Korrektur der effektiven Emissionshöhe aufgrund besonderer orographischer Verhältnisse ist bei der Berechnung der Windgeschwindigkeit nicht zu berücksichtigen.

Stehen Meßwerte der Windgeschwindigkeit in effektiver Emissionshöhe zur Verfügung, sind diese zu verwenden.

4.6 Örtliche Besonderheiten

4.6.1 Kaminüberhöhung

Die Kaminabluft verläßt den Kamin in der Regel mit einem Austrittsimpuls und mit einer höheren Temperatur als die der Umgebung. Beide Effekte führen zu einer Kaminüberhöhung ΔH .

Bei der Berücksichtigung dieser Effekte für die Ermittlung der Strahlenexposition ist zu beachten, daß Bebauung und Bewuchs zu einer Anhebung der Untergrenze der Ausbreitungsschicht der Atmosphäre um den Betrag Δz führen.

4.6.2 Gebäudeeinfluß

Ist die effektive Emissionshöhe H kleiner als die doppelte Höhe der umliegenden Gebäude, muß der Gebäudeeinfluß berücksichtigt werden. Dabei wird mit H_G die Gebäudehöhe und mit b_G die Gebäudebreite bezeichnet. l_G ist der kleinere Wert von Gebäudebreite und Gebäudehöhe.

Falls $H < (H_G + l_G)$ und die Quelle sich auf dem Dach des Gebäudes, irgendwo im Abstand von $l_G/4$ vom Gebäude entfernt oder weniger als $3 l_G$ direkt in Ausbreitungsrichtung vom Gebäude entfernt befindet, ist als effektive Emissionshöhe die wie folgt definierte Höhe h' zu verwenden:

a) Für $H > H_G$ ist die effektive Emissionshöhe $h' = 0,5 \{ 3H - (H_G + l_G) \}$

und

b) Für $H \leq H_G$ ist $h' = H - 0,5 \cdot l_G$.

Ist h' kleiner als $l_G/2$, so ist $h' = l_G/2$ zu setzen. Ist h' kleiner als H_G , so müssen die Ausbreitungsparameter σ_y und σ_z durch die folgenden Größen Σ_y und Σ_z ersetzt werden:

$$\Sigma_y(x) = \left\{ \sigma_y^2(x) + \frac{(l_G)^2}{\pi} \right\}^{0,5} \quad (4.31)$$

$$\Sigma_z(x) = \left\{ \sigma_z^2(x) + \frac{(l_G)^2}{\pi} \right\}^{0,5} \quad (4.32)$$

Von den Vorschriften a) und b) darf abgewichen werden, wenn der Gebäudeeinfluß aus Windkanalversuchen bestimmt wird.

4.6.3 Kühlturmeinfluß

Der Einfluß von Kühltürmen auf die Ausbreitung der Abluftfahne ist bei der Ermittlung der Strahlenexposition zu berücksichtigen. Insbesondere sind folgende Erscheinungen zu beachten:

1. Durch die Ausmaße eines Kühlturms wird zusätzlich mechanische Turbulenz erzeugt. Dies wirkt sich auf die Ausbreitung der Abluftfahne insbesondere dann aus, wenn die Windrichtung vom Kamin zum Kühlturm oder umgekehrt weist. In diesen Fällen erhöht sich das Konzentrationsmaximum und rückt näher an die Quelle heran.
2. Unterschiede zwischen gestörter und ungestörter Ausbreitung ergeben sich vor allem bei stabiler Ausbreitungskategorie, bei labiler sind sie vernachlässigbar.
3. Ist der Kühlturm in Betrieb und vermischen sich die Fahnen des Kühlturms und des Kamins, so kann durch den Auftrieb der Kühlturmfahne die bodennahe Aktivitätskonzentration verringert werden.

Wenn die Ergebnisse vorliegender Untersuchungen wegen der Besonderheiten des Standortes oder der Anlage oder Einrichtung nicht anwendbar sind, ist der Einfluß des Kühlturms auf die Ausbreitung der Abluftfahne durch Windkanalversuche zu bestimmen.

4.6.4 Orographie

Das Ausbreitungsmodell setzt voraus, daß das Gelände ausreichend eben ist. Das Gelände ist als ausreichend eben anzusehen, solange der Neigungswinkel des Geländes nicht größer als 5° ist. Dämme, Wälle und sonstige kleinere Erhebungen sind der Bebauung und dem Bewuchs zuzurechnen.

Im Falle von Geländeformen, die über den Neigungswinkel von 5° hinausgehen, kann der Einfluß auf die Ausbreitung mit Hilfe von theoretischen (Strömungs- und Ausbreitungsmodellen, die die Orographie berücksichtigen) und experimentellen Untersuchungen (z. B. Windkanalexperimente) berücksichtigt werden. Wenn solche Untersuchungen nicht vorliegen, sind die Ausbreitungsfaktoren wie folgt zu modifizieren:

1. Diffusionskategorien A bis D

a) $h(x,0) < H/2$

$$\hat{X}(x,y,z = h(x,y)) = \frac{1}{\pi \cdot u \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \exp \left\{ - \frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right\} \exp \left\{ - \frac{(H-h(x,0))^2}{2\sigma_z^2} \right\} \quad (4.33)$$

b) $h(x,0) \geq H/2$

$$\hat{X}(x,y,z = h(x,y)) = \frac{1}{\pi \cdot u \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \exp \left\{ - \frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right\} \exp \left\{ - \frac{(H/2)^2}{2\sigma_z^2} \right\} \quad (4.34)$$

2. Diffusionskategorie E und F

a) $h(x,0) < H$

$$\hat{X}(x,y,z = h(x,y)) = \frac{1}{\pi \cdot u \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \exp \left\{ - \frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right\} \exp \left\{ - \frac{(H-h(x,0))^2}{2\sigma_z^2} \right\} \quad (4.35)$$

b) $h(x,0) \geq H$

$$\hat{\chi}(x,y,z = h(x,y)) = \frac{1}{\pi \cdot u \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \exp \left\{ - \frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right\} \quad (4.36)$$

Hierbei bedeuten neben den bereits erklärten Symbolen:

$h(x,y)$: Höhe des Geländes bezogen auf den Fußpunkt des Emissionsortes in m

$h(x,0)$: Höhe des Geländes in Ausbreitungsrichtung in m

Für die Langzeitausbreitungsfaktoren für das gesamte Jahr bzw. das Sommerhalbjahr sind die entsprechenden Modifikationen anzubringen.

5. Strahlenexposition bei der Ableitung mit Wasser

5.1 Expositionspfade

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

Zur Ermittlung der äußeren Strahlenexposition

1. Aufenthalt auf Sediment

Zur Ermittlung der inneren Strahlenexposition

2. Trinkwasser

3. Wasser-Fisch

4. Viehtränke-Kuh-Milch

5. Viehtränke-Tier-Fleisch

6. Berechnung-Futterpflanze-Kuh-Milch
7. Berechnung-Futterpflanze-Tier-Fleisch
8. Berechnung-Pflanze

und, wenn dies aufgrund der örtlichen Besonderheiten des Standortes begründet ist

9. Landwirtschaftliche Nutzung auf Überschwemmungsgebieten.
10. Landwirtschaftliche Nutzung von Fluß- und Klärschlamm.

Bei der Berechnung der Strahlenexposition sind unter Berücksichtigung realer Nutzungsmöglichkeiten die Stellen zugrunde zu legen, an denen sich die höchste effektive Dosis oder die höchsten Teilkörperdosen ergeben. Dabei sind an den Stellen maximaler äußerer Strahlenexposition im Nah- bzw. Fernbereich zusätzlich die jährlichen Radionuklidinkorporationen zu berücksichtigen, die sich durch den Verzehr von solchen Lebensmitteln ergeben, die zu den höchsten Teilkörperdosen oder zur höchsten effektiven Dosis führen. Sowohl im Nahbereich als auch im Fernbereich sind jeweils ausschließlich die dort erzeugten Lebensmittel unter Berücksichtigung der Anlage XI Tabelle II 1 StrlSchV zugrunde zu legen.

5.2 Anwendungsbereich der Rechenmodelle

Die Rechenmodelle gelten für die Einleitung radioaktiver Stoffe in Fließgewässern.

Für die Berechnungen beginnen die Küstengewässer wie folgt:

Elbe:	Brunsbüttel
Ems:	Emden
Weser:	Bremerhaven

Bei Einleitung in den Tidebereich von Fließgewässern sind spezielle Parameter zu berücksichtigen, die bei den Modellen angegeben sind.

5.3 Ausbreitung radioaktiver Stoffe in Fließgewässern

Die Konzentration $c_r^{\text{Fließ}}$ in $\text{Bq} \cdot \text{l}^{-1}$ des Radionuklids r im Fließgewässer ist für den jeweiligen Expositionspfad folgendermaßen zu berechnen:

$$c_r^{\text{Fließ}} = a_w \cdot \frac{A_r}{Q} \cdot f_v \cdot \exp(-\lambda_r \cdot t_f) \quad (5.1)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

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

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

f_v : Mischungsverhältnis zwischen Abfluß der zu betrachtenden Anlage oder Einrichtung und Abfluß des Fließgewässers am betrachteten Ort.

t_f : Fließzeit zwischen Einleitungsstelle und betrachtetem Ort in s.

a) Einleitungen oberhalb der Tidegrenze

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

$$f_v = Q/MQ \quad (5.2)$$

Innerhalb dieser Grenzen ist das Mischungsverhältnis an der ungünstigsten Einwirkungsstelle entsprechend den örtlichen Gegebenheiten anzusetzen, wobei MQ der mittlere Abfluß (Mittelwasser) in $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ nach DIN 4049, Bl. 21, ist.

Für die Expositionspfade "Beregnung-Futterpflanze-Kuh-Milch", "Beregnung-Futterpflanze-Tier-Fleisch" und "Beregnung-Pflanze" ist statt MQ der mittlere Abfluß für das Sommerhalbjahr SoMQ zu verwenden.

b) Einleitungen unterhalb der Tidegrenze

Von der Ableitungsstelle kann sich, bedingt durch den Tideeinfluß, sowohl stromabwärts als auch stromaufwärts eine Abwasserfahne ausbilden. Da die Vermischung f_v in unmittelbarer Nähe des Auslasses stark von den örtlichen Gegebenheiten abhängt (evtl. Rückführung kontaminierten Wassers in den Kühlkreislauf), muß diese Größe näher untersucht werden.

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

$$f_v = \frac{Q}{MQ_0}, \text{ wobei}$$

MQ_0 der mittlere Oberwasserzufluß nach DIN 4049, Blatt 21, d.h. der Abfluß von oberhalb der Tidegrenze ist.

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

5.4 Berechnung der äußeren Strahlenexposition

Die Jahresdosis im Organ oder Gewebe T durch äußere Strahlenexposition durch das Radionuklid r ist bei Aufenthalt auf Ufersediment oder auf Überschwemmungsgebieten oder auf Spülfeldern:

$$\begin{aligned} H_{T,a,r} &= H_{T,Se,r} && \text{oder} \\ &= H_{T,U,r} && \text{oder} \\ &= H_{T,Sp,r} \end{aligned}$$

Es bedeuten:

$H_{T,a,r}$: Jahresdosis im Organ oder Gewebe T durch äußere Strahlenexposition bei der Ableitung radioaktiver Stoffe in Fließgewässer durch das Radionuklid r in Sv

$H_{T,Se,r}$: Jahresdosis im Organ oder Gewebe T durch äußere Strahlenexposition beim Aufenthalt auf Ufersediment durch das Radionuklid r in Sv

$H_{T,U,r}$: Jahresdosis im Organ oder Gewebe T durch äußere Strahlenexposition beim Aufenthalt auf Überschwemmungsgebieten durch das Radionuklid r in Sv

$H_{T,Sp,r}$: Jahresdosis im Organ oder Gewebe T durch äußere Strahlenexposition beim Aufenthalt auf Spülfeldern durch das Radionuklid r in Sv

Die Jahresdosis im Organ oder Gewebe T durch äußere Strahlenexposition bei Ableitung radioaktiver Stoffe in Fließgewässer ergibt sich aus der Summe der Dosisbeiträge durch alle Radionuklide:

$$H_{T,a} = \sum_r H_{T,a,r} \quad (5.3)$$

5.4.1 Strahlenexposition durch Aufenthalt auf Ufersediment

Die Jahresdosis $H_{T,Se,r}$ im Organ oder Gewebe T durch das Radionuklid r bei Aufenthalt auf dem Ufersediment ergibt sich aus:

$$H_{T,Se,r} = O_r(t_{Se}) \cdot f_u \cdot t_A \cdot g_{b,r,T} \quad (5.4)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$O_r(t_{Se})$: Zeitabhängige flächenbezogene Aktivität des Radionuklids r in $Bq \cdot m^{-2}$

f_u : Faktor, der die endliche Geometrie des Uferstreifens gegenüber einer unendlich ausgedehnten Flächenquelle berücksichtigt. ($f_u = 1,0$ für unendlich ausgedehnte Flächenquelle, $f_u = 0,2$ für Uferstreifen)

t_A : Jährliche Aufenthaltszeit am Ufer oder auf Überschwemmungsgebieten oder auf Spülfeldern in s, siehe Anhang 5

Die zeitabhängige flächenbezogene Aktivität $O_r(t_{Se})$ für das Radionuklid r ist wie folgt zu berechnen:

$$O_r(t_{Se}) = \frac{\dot{M}_{Se} \cdot C_r^{Sch}}{\lambda_r} \{1 - \exp(-\lambda_r \cdot t_{Se})\} \quad (5.5)$$

Mit dieser Formel sind für die langfristige Betrachtung auch sich periodisch wiederholende Ablagerungen wie z. B. durch jährliche Überschwemmungen mit abgedeckt.

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$\dot{M}_{Se}$: Flächenmasse der in der Zeiteinheit abgelagerten Sedimentschicht in $kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$

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

t_{Se} : Sedimentationsdauer in s, siehe Anhang 4

Die Flächenmasse $\dot{M}_{Se}$ der in der Zeiteinheit abgelagerten Sedimentschicht ergibt sich aus:

$$\dot{M}_{Se} = \rho_{Se} \cdot v_{Se} \quad (5.6)$$

Es ist:

ρ_{Se} : Dichte des Sediments in $kg \cdot m^{-3}$ (Trockenmasse), siehe Anhang 4

v_{Se} : Sedimentationsgeschwindigkeit in $m \cdot s^{-1}$, siehe Anhang 4

Für die spezifische Aktivität in Schwebstoffen C_r^{Sch} gilt nach Einstellung des Gleichgewichts im Wasser-Schwebstoffsystem:

$$C_r^{Sch} = K_F^r \cdot C_r^{Fließ} \quad (5.7)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeutet hier:

K_F^r : Konzentrationsfaktor für Schwebstoffe für das Radionuklid r in $l \cdot kg^{-1}$, siehe Anhang 14

Mit

$$K_e^r = \frac{S_{Se} \cdot v_{Se} \cdot K_F^r}{\ln 2} \quad (5.8)$$

ist die Jahresdosis im Organ oder Gewebe T durch das Radionuklid r bei Aufenthalt auf dem Ufersediment wie folgt zu berechnen:

$$H_{T,Se,r} = K_e^r \cdot t_A \cdot f_u \cdot C_r^{Flie\beta} \cdot g_{b,r,T} \cdot T_r (1 - \exp(-\lambda_r \cdot t_{Se})) \quad (5.9)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

T_r : Physikalische Halbwertszeit des Radionuklids r in s

K_e^r : Übergangskonstante für das Radionuklid r in $l \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$, siehe Anhang 14

Um die unterschiedlichen chemischen Eigenschaften der Elemente zu berücksichtigen, werden die Elemente in 3 Gruppen eingeteilt. Die Zeitabhängigkeit der Anlagerung an Schwebstoffe ist durch Einführung einer Halbwertszeit $T_{Anl,r}$ zu berücksichtigen:

$$\hat{K}_e^r(t) = K_e^r (1 - \exp(-\lambda_{Anl,r} \cdot t_f)) \quad (5.10)$$

mit

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

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$T_{Anl,r}$: Halbwertszeit für die Anlagerung des Radionuklids r an Schwebstoffe in s, siehe Anhang 14

$\lambda_{Anl,r}$: Anlagerungskonstante in s^{-1} für das Radionuklid r

Im Anhang 14, Tabelle 2 sind Werte der Übergangskonstanten K_e^r für die verschiedenen Elementgruppen für den Nah- und Fernbereich angegeben.

Die Reichweite des Nahbereiches bzw. Beginn des Übergangsbereiches und Fernbereiches wird bestimmt durch die Kontaktzeit der Radionuklide mit den Schwebstoffen von der Einleitstelle bis zum betrachteten Ort und ist damit abhängig von der Fließgeschwindigkeit des Vorfluters.

Für den Nahbereich beträgt die maximale Anlagerungszeit an Schwebstoffe 10 Stunden. Im Fernbereich liegt eine vollständige Durchmischung der Abwasserfahne mit dem Vorfluter vor. Die Anlagerungszeit an Schwebstoffe beträgt 5 Tage (Gleichgewicht).

Im Übergangsbereich ist die Übergangskonstante K_e^r durch $\hat{K}_e^r(t)$ nach Gleichung 5.10 zu ersetzen. Hierin ist für K_e^r der entsprechende Wert für den Fernbereich zu verwenden.

Bilden sich während der Betriebsphase der Anlage nach der Ablagerung radioaktiver Stoffe auf den Boden Tochternuklide, so ist bei der Berechnung der Dosis der Dosisleistungsfaktor des primären Radionuklids mit Berücksichtigung der Tochternuklide anzuwenden.

5.4.2 Strahlenexposition durch Aufenthalt auf Überschwemmungsgebieten

Die Jahresdosis $H_{T,U,r}$ im Organ oder Gewebe T durch Aufenthalt auf Überschwemmungsgebieten ist wie folgt zu berechnen:

$$H_{T,U,r} = K_e^r \cdot t_A \cdot C_r^{\text{Fließ}} \cdot g_{b,r,T} \cdot \frac{\ln 2}{\lambda_{\text{eff},r}^U} \left\{ 1 - \exp(-\lambda_{\text{eff},r}^U \cdot t_{\text{Se}}) \right\} \quad (5.11)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

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

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

$\lambda_{\text{Ü}}$: Abbaukonstante zur Berücksichtigung des Eindringens der Radionuklide in tiefere Bodenschichten unter Überschwemmungsgebieten, siehe Anhang 4

Bilden sich während der Betriebsphase der Anlage nach der Ablagerung radioaktiver Stoffe auf den Boden Tochternuklide, so ist bei der Berechnung der Dosis der Dosisleistungsfaktor des primären Radionuklids mit Berücksichtigung der Tochternuklide anzuwenden.

5.4.3 Strahlenexposition durch Aufenthalt auf Spülfeldern

Die Jahresdosis $H_{\text{T,Sp},r}$ im Organ oder Gewebe T durch das Radionuklid r bei Aufenthalt auf Spülfeldern ist wie folgt zu berechnen:

$$H_{\text{T,Sp},r} = C_r^{\text{Se}} \cdot \rho_{\text{Sp}} \cdot g_{\text{b},r,T} \cdot t_A \cdot U_r \cdot \exp(-\lambda_r \cdot t_{\text{sp}}) \quad (5.12)$$

Hier bedeuten neben den bereits erklärten Symbolen:

C_r^{Se} : Mittlere spezifische Aktivität des Radionuklids r im Sediment in $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ Trockenmasse zum Zeitpunkt des Ausbaggerns

U_r : Effektive Schichtdicke zur Berücksichtigung der Selbstabschirmung, siehe Anhang 4

t_{sp} : Zeit zwischen dem Aufspülen und der Begehrbarkeit in s , siehe Anhang 4

ρ_{Sp} : Dichte des Spülfeldbodens in $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ Trockenmasse, siehe Anhang 4

Die mittlere spezifische Aktivität der Sedimentschicht zum Zeitpunkt des Ausbaggens $\bar{C}_r^{Se}$ ist gegeben durch:

$$\bar{C}_r^{Se} = \frac{K_F^r \{1 - \exp(-\lambda_{Anl,r} \cdot t_f)\} \cdot C_r^{FlieB} \cdot \{1 - \exp(-\lambda_r \cdot t_a)\}}{\lambda_r \cdot t_a} \quad (5.13)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

t_a : Zeit zwischen zwei Ausbaggerungen in s, ortsspezifisch

Damit errechnet sich die Jahresdosis $H_{T,Sp,r}$ im Organ oder Gewebe T bei Aufenthalt auf Spülfeldern zu:

$$H_{T,Sp,r} = K_F^r \{1 - \exp(-\lambda_{Anl,r} \cdot t_f)\} \cdot C_r^{FlieB} \cdot S_{Sp} \cdot g_{b,r,T} \cdot t_A \cdot U_r \cdot \exp(-\lambda_r \cdot t_{sp}) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_r \cdot t_a)}{\lambda_r \cdot t_a} \quad (5.14)$$

Bilden sich während der Betriebsphase der Anlage nach der Ablagerung radioaktiver Stoffe auf den Boden Tochternuklide, so ist bei der Berechnung der Dosis der Dosisleistungsfaktors des primären Radionuklids mit Berücksichtigung der Tochternuklide anzuwenden.

5.5 Berechnung der Inneren Strahlenexposition

Die Jahresdosis im Organ oder Gewebe T durch innere Strahlenexposition durch das Radionuklid r ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$H_{T,g,r} = \left\{ U^W \cdot C_r^W + U^{Fi} \cdot C_r^{Fi} + U^{Mi} \cdot C_r^{Mi} + U^{Fl} \cdot C_r^{Fl} + U^{Pf} \cdot C_r^{Pf} + U^{Bl} \cdot C_r^{Bl} \right\} \cdot g_{g,r,T} \quad (5.15)$$

Hier bedeuten:

$H_{T,g,r}$: Jahresdosis im Organ oder Gewebe T durch innere Strahlenexposition des Radionuklids r bei kontinuierlicher und gleichbleibender Jahresaktivitätszufuhr des Radionuklids r in Sv

- $g_{g,r,T}$: Ingestionsdosisfaktor des Radionuklids r für das Organ oder Gewebe T in $\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$, siehe Anhang 3
- U^W : Jahresverbrauch an Trinkwasser in l , siehe Anhang 5
- U^{Fi} : Jahresverbrauch an Fischfleisch in kg , siehe Anhang 5
- U^{Mi} : Jahresverbrauch an Milch und Milchprodukten in kg , siehe Anhang 5
- U^{Fl} : Jahresverbrauch an Fleisch und Fleischwaren in kg , siehe Anhang 5
- U^{Pf} : Jahresverbrauch an pflanzlichen Produkten ohne Blattgemüse in kg , siehe Anhang 5
- U^{Bl} : Jahresverbrauch an Blattgemüse in kg , siehe Anhang 5
- C_r^W : Aktivitätskonzentration des Radionuklids r in Trinkwasser in $\text{Bq} \cdot \text{l}^{-1}$, siehe Gleichung (5.17)
- C_r^{Fi} : Spezifische Aktivität des Radionuklids r in Fischfleisch in $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$, siehe Gleichung (5.18)
- C_r^{Mi} : Spezifische Aktivität des Radionuklids r in Milch in $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$, siehe Gleichung (5.19)
- C_r^{Fl} : Spezifische Aktivität des Radionuklids r in Fleisch in $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$, siehe Gleichung (5.20)
- C_r^{Pf} : Spezifische Aktivität des Radionuklids r in pflanzlichen Produkten ohne Blattgemüse in $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$, siehe Gleichung (5.21)
- C_r^{Bl} : Spezifische Aktivität des Radionuklids r in Blattgemüse in $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$, siehe Gleichung (5.21)

Die Jahresdosis im Organ oder Gewebe T durch innere Strahlenexposition ergibt sich zu

$$H_{T,g} = \sum_r H_{T,g,r} \quad (5.16)$$

Bei Berücksichtigung der Strahlenexposition durch radioaktive Tochternuklide ist gemäß Anhang 15 zu verfahren. Die Jahresdosis im Organ oder Gewebe T ergibt sich aus der Summe der Jahresdosisbeiträge für das primäre Radionuklid und den Jahresdosisbeiträgen der Tochternuklide.

5.5.1 Aktivität in Trinkwasser

Die Aktivitätskonzentration C_r^W des Radionuklids r im Trinkwasser in $Bq \cdot l^{-1}$ ergibt sich (ohne Berücksichtigung von Dekontaminationseffekten) zu:

$$C_r^W = C_r^{Flie\beta} \cdot \exp(-\lambda_r \cdot t_v^W) \quad (5.17)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

t_v^W : Zeit zwischen der Entnahme aus dem Fließgewässer und der Einspeisung in das Trinkwassernetz in s. Diese Verweilzeit ergibt sich aus der Art der Gewinnung und der Aufbereitung.

5.5.2 Aktivität in Fischfleisch

Die spezifische Aktivität C_r^{Fi} des Radionuklids r in Fischfleisch in $Bq \cdot kg^{-1}$ ergibt sich zu:

$$C_r^{Fi} = C_r^{Flie\beta} \cdot T_r^{Fi} \quad (5.18)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

T_r^{Fi} : Konzentrationsfaktor für das Radionuklid r im Fischfleisch in $Bq \cdot kg^{-1}$ pro $Bq \cdot l^{-1}$, siehe Anhang 13

5.5.3 Aktivitätsberechnung für die Expositionspfade "Viehtränke"

Die spezifische Aktivität C_r^{Mi} des Radionuklids r in Milch in $Bq \cdot kg^{-1}$ ergibt sich zu:

$$C_r^{Mi} = C_r^{Flie\beta} \cdot L \cdot T_r^{Mi} \quad (5.19)$$

bzw. in Fleisch zu:

$$C_r^{Fl} = C_r^{Flie\beta} \cdot L \cdot T_r^{Fl} \cdot \exp(-\lambda_r \cdot t_v^{Fl}) \quad (5.20)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

L : Täglicher Wasserkonsum der Kuh in $l \cdot d^{-1}$, siehe Anhang 4

T_r^{Mi} : Transferfaktor von dem aufgenommenen Wasser
- zur Milch in $d \cdot kg^{-1}$, siehe Anhang 6

T_r^{Fl} : - zum Fleisch in $d \cdot kg^{-1}$, siehe Anhang 6

t_v^{Fl} : Zeit zwischen Schlachten und Fleischverzehr in s, siehe Anhang 4

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

5.5.4 Aktivitätsberechnung für die Expositionspfade "Beregnung"

Die spezifische Aktivität C_r^n in Weidepflanzen ($n = Wd$) bzw. pflanzlichen Produkten ohne Blattgemüse ($n = Pf$) oder in Blattgemüse ($n = Bl$) von beregneten Weiden bzw. Feldern ist wie folgt zu berechnen:

$$C_r^n = C_r^{Flie\beta} \left\{ \frac{W \cdot f_w}{\gamma^n \cdot \lambda_{eff,r}^{Pf}} (1 - \exp(-\lambda_{eff,r}^{Pf} \cdot t_w^n)) + \frac{W \cdot T_r^n \cdot t_R}{p^m \cdot \lambda_{eff,r}^{Bo} \cdot 365} (1 - \exp(-\lambda_{eff,r}^{Bo} \cdot t_b)) \right\} \exp(-\lambda_r \cdot t_v^n) \quad (5.21)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

W : Beregnungsrate in $l \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$, siehe Anhang 4

t_w^n : Zeit, in der Pflanzen während der Wachstumsperiode durch Beregnung oberirdisch kontaminiert werden, siehe Anhang 4

t_R : Zahl der Tage im Jahr, an denen beregnet wird, siehe Anhang 4

Anstelle von Gleichung (5.21) ist für Tritium in Form tritiierten Wassers die spezifische Aktivität $C_{H\ 3}^n$ in pflanzlichen Produkten ohne Blattgemüse, in Blattgemüse und in Weidepflanzen gleich der des Beregnungswassers $C_{H\ 3}^{Fließ}$ zu setzen.

Anstelle von Gleichung (5.21) ist die spezifische Aktivität von C 14 in pflanzlichen Produkten ohne Blattgemüse, in Blattgemüse und in Weidepflanzen wie folgt zu berechnen:

$$C_{C\ 14}^n = \frac{W \cdot C_{C\ 14}^{Fließ} \cdot f_C^n}{V_C} \quad (5.22)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

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

f_C^n : Massenanteil des Kohlenstoffs in Pflanzen, siehe Anhang 4

V_C : Assimilationsrate in $kg \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$, siehe Anhang 4

Die spezifische Aktivität in Milch ($n = Mi$) bzw. in Fleisch ($n = Fl$) in $Bq \cdot kg^{-1}$ ist nach Gleichung 5.23 zu berechnen:

$$C_r^n = C_r^{Fu} \cdot \dot{M}_{Fu} \cdot T_r^n \cdot \exp(-\lambda_r \cdot t_V^n) \quad (5.23)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

C_r^{Fu} : Spezifische Aktivität des Radionuklids r in Futter in $Bq \cdot kg^{-1}$, siehe Gleichung 3.15

$\dot{M}_{Fu}$: Tägliche Aufnahme von Futter in kg Feuchtmasse $\cdot d^{-1}$, siehe Anhang 4

t_v^n : Zeit zwischen Melken und Milchverzehr ($n = Mi$) bzw. Zeit zwischen Schlachten und Fleischverzehr ($n = Fl$) in s , siehe Anhang 4

5.5.5 Aktivitätsberechnung für die Expositionspfade "Landwirtschaftliche Nutzung auf Überschwemmungsgebieten"

Die spezifische Aktivität C_r^n des Radionuklids r in Pflanzen bei der landwirtschaftlichen Nutzung von Überschwemmungsgebieten ergibt sich zu:

$$C_r^n = C_r^{Fließ} \cdot K_e^r \cdot \ln 2 \cdot T_r^n \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_{eff,r}^u \cdot t_{Se})}{p^m \cdot \lambda_{eff,r}^u} \cdot \exp(-\lambda_r \cdot t_v^n) \quad (5.24)$$

Die spezifische Aktivität des Radionuklids r in Milch C_r^{Mi} bzw. die spezifische Aktivität des Radionuklids r in Fleisch C_r^{Fl} bei der Nutzung von Überschwemmungsgebieten für Weidewirtschaft und die mittlere spezifische Aktivität im Futter C_r^{Fu} ergibt sich wie beim Luftpfad aus den Gleichungen (3.14) bis (3.16) mit C_r^{Wd} nach Gleichung (5.24).

5.6 Landwirtschaftliche Nutzung von Fluß- und Klärschlamm

Ausgehend von der spezifischen Aktivität im frischen Sediment bzw. der mittleren spezifischen Aktivität im Sediment oder im Klärschlamm sind die äußere Strahlenexposition durch den Schlamm und die innere Strahlenexposition durch den Aktivitätstransfer in Lebensmitteln gemäß Anlage XI Tabelle II 2 StrSchV zu berechnen. Dabei sind auch die örtlichen Gegebenheiten, die Häufigkeit der Auftragung, die Art der Schlammgewinnung und Aufbereitung (z. B. Vermischung und Trocknung) und die Durchmischung mit dem Ackerboden zu berücksichtigen.

6. Inkrafttreten

Diese Allgemeine Verwaltungsvorschrift tritt am ersten Tage des auf die Verkündung folgenden dritten Kalendermonats in Kraft.

Der Bundesrat hat zugestimmt.

Anhang 1

Dosisleistungsfaktoren für Betasubmersion $g_{\beta,r,T}$ ($\text{Sv} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

Es sind die Dosisleistungsfaktoren aus der im Bundesanzeiger Nr. 185a vom 30. September 1989 bekanntgegebenen Zusammenstellung der Dosisfaktoren - Teil I - Äußere Exposition - Erwachsene und Kleinkinder (1 Jahr) - zu verwenden.

Die Dosisleistungsfaktoren sind jeweils ohne und mit Berücksichtigung von Folgenukliden (Tochter nukliden) angegeben.

Bei der Berechnung der Dosisleistungsfaktoren mit Berücksichtigung der Tochter nuklide ist eine Transportzeit zwischen Emissionsort und Dosisaufpunkt von 100 Sekunden berücksichtigt worden. Das hat zur Folge, daß der Dosisleistungsfaktoranteil von sehr kurzlebigen Mutter- und Tochter nukliden nicht dem Gleichgewichtswert entspricht, sondern kleiner ist. Die angegebenen Dosisleistungsfaktoren für Mutternuklide berücksichtigen keinen radioaktiven Zerfall, die Transportzeit ist Null.

Anhang 2

Dosisleistungsfaktoren für Gammasubmersion $g_{\gamma,r,T}$ ($\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) und für Bodenstrahlung $g_{b,r,T}$ ($\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$).

Es sind die Dosisleistungsfaktoren aus der im Bundesanzeiger Nr. 185a vom 30. September 1989 bekanntgegebenen Zusammenstellung der Dosisfaktoren - Teil I - Äußere Exposition - Erwachsene und Kleinkinder (1 Jahr) - zu verwenden.

Die Dosisleistungsfaktoren in der oben genannten Zusammenstellung sind auf Erwachsene bezogen.

Für Kleinkinder sind die dort angegebenen Dosisleistungsfaktoren für Gammasubmersion und Bodenstrahlung wegen der geringeren Organabschirmung und der geringeren Körpergröße mit den hierfür jeweils genannten Faktoren zu multiplizieren.

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

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

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

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

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

Anhang 3

Inhalationsdosisfaktoren $g_{h,r,T}$ ($\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$) und Ingestionsdosisfaktoren $g_{g,r,T}$ ($\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$).

Es sind die Dosisfaktoren aus der im Bundesanzeiger Nr. 185a vom 30. September 1989 bekanntgegebenen Zusammenstellung der Dosisfaktoren - Teil II und III - zu verwenden.

Für C 14 ist der Inhalationsfaktor für CO_2 bzw. der Ingestionsdosisfaktor für organische Verbindungen anzuwenden.

Bei Unkenntnis der Lungenretentionsklasse bzw. Ingestionsklasse der Radionuklidverbindung ist die ungünstigste Klasse den Berechnungen der Dosis zugrunde zu legen; d.h. die Klasse, die den höchsten Dosisbeitrag für das betreffende Organ bzw. Gewebe ergibt. Der Berechnung der effektiven Dosis ist für jedes Radionuklid einheitlich eine Retentions- bzw. Resorptionsklasse zugrunde zu legen, bei der der höchste Dosisfaktor für die effektive Dosis vorliegt.

Anhang 4

Werte zur Berechnung des Radionuklidtransports über den Ingestionspfad und den Sedimentpfad

Tabelle

Symbol	Definition	Wert
C_C^L	mittlere Kohlenstoffkonzentration der Luft	$1,8 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
f_C^n	Massenanteil des Kohlenstoffs in n = Pf, Bl pflanzlichen Produkten und Blattgemüse n = Wd Weidepflanzen	0,18 0,09
f_H^{Pf}	Anteil des Wassers an der gesamten Pflanzenmasse	0,8
f_L	Anteil des Tritiuminventars in der Pflanze, der aus der Luftfeuchte stammt	0,3
f_N	Anteil des Tritiuminventars in der Pflanze aus den Niederschlägen	0,7
f_p	Bruchteil des Jahres, in dem die Tiere auf der Weide grasen	0,5
f_u	Uferfaktor: a) oberhalb der Tidegrenze (Aufenthalt am Flußufer) b) unterhalb der Tidegrenze (Aufenthalt auf trockengefallenen Flußsedimenten)	0,2 1,0
f_w	Anteil der auf der Pflanze abgelagerten Aktivität bei Niederschlägen und bei Beregnung	0,3

Anhang 4 (Fortsetzung)

Symbol	Definition	Wert																
$\bar{\psi}^S$	mittlere absolute Luftfeuchte während der Wachstumszeit	0,009	kg . m ⁻³															
L	täglicher Wasserkonsum des Rindviehs	75	l . d ⁻¹															
$\lambda_{Anl,r}$	Anlagerungskonstante des Radionuklids r in s ⁻¹ , siehe Anhang 14 Elementgruppe 1: ∞ Elementgruppe 2: 5 . 10 ⁻⁶ s ⁻¹ Elementgruppe 3: 3 . 10 ⁻⁶ s ⁻¹																	
$\lambda_{eff,r}^{Bo}$	effektive Verweilkonstante für das Verbleiben des Radionuklids r im Wurzelbereich der Pflanzen $= \lambda_{M,r} + \lambda_r$																	
λ_r	physikalische Zerfallskonstante des Radionuklids r in s ⁻¹																	
$\lambda_{M,r}$	Verweilkonstante der Radionuklide aufgrund des Transports in tiefere Bodenschichten	<table><tr><th></th><th>Acker</th><th>Weide</th></tr><tr><td>- für Tc</td><td>10⁻⁸ s⁻¹</td><td>2,0.10⁻⁸ s⁻¹</td></tr><tr><td>- für Sr, Ru, I</td><td>10⁻⁹ s⁻¹</td><td>2,0.10⁻⁹ s⁻¹</td></tr><tr><td>- für Cs</td><td>10⁻¹⁰ s⁻¹</td><td>2,0.10⁻¹⁰ s⁻¹</td></tr><tr><td>- für Aktinide</td><td>10⁻¹¹ s⁻¹</td><td>2,0.10⁻¹¹ s⁻¹</td></tr></table>			Acker	Weide	- für Tc	10 ⁻⁸ s ⁻¹	2,0.10 ⁻⁸ s ⁻¹	- für Sr, Ru, I	10 ⁻⁹ s ⁻¹	2,0.10 ⁻⁹ s ⁻¹	- für Cs	10 ⁻¹⁰ s ⁻¹	2,0.10 ⁻¹⁰ s ⁻¹	- für Aktinide	10 ⁻¹¹ s ⁻¹	2,0.10 ⁻¹¹ s ⁻¹
	Acker	Weide																
- für Tc	10 ⁻⁸ s ⁻¹	2,0.10 ⁻⁸ s ⁻¹																
- für Sr, Ru, I	10 ⁻⁹ s ⁻¹	2,0.10 ⁻⁹ s ⁻¹																
- für Cs	10 ⁻¹⁰ s ⁻¹	2,0.10 ⁻¹⁰ s ⁻¹																
- für Aktinide	10 ⁻¹¹ s ⁻¹	2,0.10 ⁻¹¹ s ⁻¹																
	- nicht aufgeführte Elemente sind aufgrund ihrer chemischen Verwandtschaft zu angegebenen Elementen oder aufgrund von Literaturwerten in die entsprechende Gruppe einzuordnen. Ansonsten sind sie der Gruppe der Aktiniden zuzuordnen.																	

Anhang 4 (Fortsetzung)

Symbol	Definition	Wert
$\lambda_{\text{eff},r}^{\text{pf}}$	effektive Verweilkonstante des Radionuklids r für das Verbleiben auf der Vegetation $= \lambda_v + \lambda_r$	
λ_v	Verweilkonstante für das Verbleiben der Radionuklide auf der Vegetation (Verweilzeit 14 Tage)	$5,7 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1}$
$\lambda_{\text{eff},r}^{\text{ü}}$	effektive Verweilkonstante des Radionuklids r in Überschwemmungsgebieten $= \lambda_{\text{ü}} + \lambda_r$	
$\lambda_{\text{ü}}$	Abbaukonstante zur Berücksichtigung des Eindringens der Radionuklide in tiefere Bodenschichten in Überschwemmungsgebieten	$3 \cdot 10^{-9} \text{ s}^{-1}$
$\dot{M}_{\text{Fu}}$	tägliche Aufnahme von Weidefutter für Rindvieh (Feuchtmasse)	$65 \text{ kg} \cdot \text{d}^{-1}$
p^{m}	Flächentrockenmasse des Bodens $m = A$ für Ackerboden (Pflugschartiefe 20 cm): p^A $m = Wd$ für Weideboden (10 cm Tiefe): p^{Wd}	$280 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ $120 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$
γ_{Se}	Dichte des Sediments (Trockenmasse)	$700 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
γ_{Sp}	Dichte des Spülfeldebodens (Trockenmasse)	$1200 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
γ_w	Dichte des Wassers	$1 \text{ kg} \cdot \text{l}^{-1}$
t_a	Zeit zwischen zwei Ausbaggerungen in s	ortsspezifisch

Anhang 4 (Fortsetzung)

Symbol	Definition	Wert
t_b	Zeit, in der sich die Radionuklide auf dem Boden ablagern (50 Jahre)	$1,57 \cdot 10^9 \text{ s}$
t_e^n	Zeit, in der Pflanzen während der Wachstumsperiode der Abluftfahne ausgesetzt sind	
	n = Pf für pflanzliche Produkte ohne Blattgemüse t_e^{Pf} (60 Tage)	$5,2 \cdot 10^6 \text{ s}$
	n = Bl für Blattgemüse t_e^{Bl} (60 Tage)	$5,2 \cdot 10^6 \text{ s}$
	n = Wd für Weidepflanzen t_e^{Wd} (30 Tage)	$2,6 \cdot 10^6 \text{ s}$
t_R	Zahl der Tage im Jahr, an denen geregnet wird	180 d
t_{Se}	maximale Sedimentationsdauer in s (50 Jahre)	$1,57 \cdot 10^9 \text{ s}$
t_{sp}	Zeit zwischen dem Aufspülen eines Spülfeldes und der Begehrbarkeit (ca. 3 Jahre)	10^8 s
t_v^n	Zeit zwischen Produktion und Verbrauch von Nahrungs- bzw. Futtermitteln	
	n = Wd Zeit zwischen Ernte und Verzehr von Weidepflanzen t_v^{Wd}	0 s
	n = Lf Zeit zwischen Ernte und Verzehr von Lagerfutter t_v^{Lf} (90 Tage)	$7,8 \cdot 10^6 \text{ s}$
	n = Bl Zeit zwischen Ernte und Verzehr von gartenfrischem Blattgemüse t_v^{Bl}	0 s
	n = Pf Zeit zwischen Ernte und Verzehr von gelagertem Gemüse, pflanzliche Produkte ohne Blattgemüse t_v^{Pf} (60 Tage)	$5,2 \cdot 10^6 \text{ s}$

Anhang 4 (Fortsetzung)

Symbol	Definition	Wert
	n = Mi Zeit zwischen Melken und Milchverzehr t_v^{Mi}	0 s
	n = Fl Zeit zwischen Schlachten und Fleischverzehr t_v^{Fl} (20 Tage)	$1,7 \cdot 10^6$ s
	n = W Zeit zwischen Entnahme aus den Fließgewässern und der Einspeisung in das Trinkwassernetz in s t_v^W	ortspezifisch
t_w^n	Zeit, in der Pflanzen während der Wachstumsperiode durch Beregnung oberirdisch kontaminiert werden	
	n = Wd Zeit bis zum erneuten Abweiden desselben Weidestücks t_w^{Wd} (30 Tage)	$2,6 \cdot 10^6$ s
	n = Pf und n = Bl mittlere Vegetationszeit von pflanzlichen Produkten ohne Blattgemüse und von Blattgemüse $t_w^{Pf} = t_w^{Bl}$ (60 Tage)	$5,2 \cdot 10^6$ s
U_r	Effektive Schichtdicke zur Berücksichtigung der Selbstabschirmung bis zu Gamma-Energien von 1,5 MeV	0,05 m
V_C	Assimilationsrate für Kohlenstoff	$10^{-7} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
V_{Se}	mittlere Sedimentationsgeschwindigkeit (ca. 0,65 cm pro Jahr)	$2,1 \cdot 10^{-10} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
W	Beregnungsrate während der Weidezeit und der Wachstumszeit von pflanzlichen Produkten ($1 \text{ l} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)	$1,2 \cdot 10^{-5} \text{ l} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

Anhang 4 (Fortsetzung)

Symbol	Definition	Wert
γ^n	Ertrag bzw. Bewuchsdichte (Feuchtmasse)	
	n = Bl Ertrag von Blattgemüse γ^{Bl}	1,6 kg . m ⁻²
	n = Pf Ertrag von pflanzlichen Produkten ohne Blattgemüse γ^{Pf}	2,4 kg . m ⁻²
	n = Wd Bewuchsdichte von Weidepflanzen γ^{Wd}	0,85 kg . m ⁻²

Anhang 5

Lebensgewohnheiten der Referenzperson

Auszug aus StrlSchV, Anlage XI, Abschnitt II

Zur Ermittlung der Strahlenexposition für die Referenzperson sind die folgenden Werte des Lebensmittelverbrauchs (Ernährungsgewohnheiten), der Atemrate und der Aufenthaltszeiten zugrunde zu legen:

Tabelle II 1

Lebensmittel und Atemrate	Jahresverbrauch U^n der Referenzperson	
	Erwachsener	Kleinkind
Trinkwasser	800 l	250 l
Fisch (Süßwasser)	20 kg	-
Milch (einschl. Milchprodukte)	330 kg	200 kg
Fleisch (einschl. Fleischwaren)	150 kg	20 kg
Pflanzliche Produkte,	500 kg	60 kg
davon entfallen auf:		
- Getreide und Getreideprodukte	190 kg	15 kg
- Obst und Obstsaft	100 kg	20 kg
- Wurzelgemüse (einschl. Kartoffeln)	170 kg	15 kg
- Blattgemüse	40 kg	10 kg
Atemrate	7300 m ³ /a 1)	1900 m ³ /a 2)

1) entsprechend $2,32 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ (20 m³/d)

2) entsprechend $6,03 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ (5,2 m³/d)

Anhang 5 (Fortsetzung)

Tabelle II 2

Aufenthaltszeiten	Dauer
Expositionspfade	
a) Betastrahlung innerhalb der Abluftfahne	1 Jahr
b) Gammastrahlung aus der Abluftfahne	1 Jahr
c) Gammastrahlung der am Boden abgelagerten radioaktiven Stoffe	1 Jahr
d) Inhalation radioaktiver Stoffe	1 Jahr
e) Aufenthalt auf Sediment	1000 Stunden

Anhang 6

Transferfaktoren zur Berechnung des Radionuklidtransportes

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

Element	T_r^{Wd} in $\frac{\text{Bq/kg FS}^{***})}{\text{Bq/kg TS}}$ (-)	T_r^{Pf} in $\frac{\text{Bq/kg FS}}{\text{Bq/kg TS}}$ (-)	$T_r^{Mi**})$ in (d/kg Milch)	T_r^{Fl} in (d/kg Fleisch)
H	*)	*)	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
Be	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$
C	*)	*)	$2 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$
F	$3 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-1}$
Na	$4 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-2}$
Al	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Si	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-5}$
P	$5 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^0$	$3 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-2}$
S	$9 \cdot 10^{-1}$	$9 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$
Cl	$5 \cdot 10^0$	$5 \cdot 10^0$	$2 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-2}$
K	$1 \cdot 10^0$	$1 \cdot 10^0$	$6 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-2}$
Ca	$2 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Sc	$2 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-2}$
V	$3 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-3}$
Cr	$1 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$
Mn	$2 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$
Fe	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-2}$

*) entfällt, Berechnung erfolgt nach dem spezifischen Aktivitätsmodell

**) Für diesen Transferfaktor wird in der Literatur üblicherweise die Einheit d/l verwendet

***) FS = Frischsubstanz
TS = Trockensubstanz

Anhang 6 (Fortsetzung)

Element	T_r^{Wd} in $\frac{Bq/kg \text{ FS}}{Bq/kg \text{ TS}}$ (-)	T_r^{Pf} in $\frac{Bq/kg \text{ FS}}{Bq/kg \text{ TS}}$ (-)	T_r^{Mi} in (d/kg Milch)	T_r^{Fl} in (d/kg Fleisch)
Co	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-2}$
Ni	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Cu	$2 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$
Zn	$3 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$
Ga	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-1}$
Ge	$2 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-1}$
As	$6 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Se	$5 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
Br	$1 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$
Rb	$9 \cdot 10^{-1}$	$9 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$
Sr	$4 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-4}$
Y	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Zr	$1 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-2}$
Nb	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-1}$
Mo	$2 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$
Tc	$3 \cdot 10^0$	$3 \cdot 10^0$	$1 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-2}$
Ru	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Rh	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Pd	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-3}$
Ag	$2 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Cd	$4 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-4}$
In	$3 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-3}$
Sn	$2 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-2}$
Sb	$1 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Te	$2 \cdot 10^0$	$2 \cdot 10^0$	$2 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-2}$
I	$1 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$
Cs	$5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-2}$
Ba	$2 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$

Anhang 6 (Fortsetzung)

Element	T_r^{Wd} in $\frac{Bq/kg\ FS}{Bq/kg\ TS}$ (-)	T_r^{Pf} in $\frac{Bq/kg\ FS}{Bq/kg\ TS}$ (-)	T_r^{Mi} in (d/kg Milch)	T_r^{Fl} in (d/kg Fleisch)
La	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Ce	$9 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Pr	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Nd	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-3}$
Pm	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Sm	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Eu	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Gd	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-3}$
Tb	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Dy	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-3}$
Ho	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Er	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-3}$
Tm	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Yb	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-3}$
Lu	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Hf	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-1}$
Ta	$7 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-1}$
W	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-2}$
Re	$3 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$
Os	$5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-1}$
Ir	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Pt	$5 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$
Au	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-3}$
Hg	$7 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-1}$
Tl	$3 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-2}$
Pb	$8 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$
Bi	$2 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-2}$
Po	$9 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-3}$

Anhang 6 (Fortsetzung)

Element	T_r^{Wd} in $\frac{Bq/kg \text{ FS}}{Bq/kg \text{ TS}}$ (-)	T_r^{Pf} in $\frac{Bq/kg \text{ FS}}{Bq/kg \text{ TS}}$ (-)	T_r^{Mi} in (d/kg Milch)	T_r^{Fl} in (d/kg Fleisch)
At	$3 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-1}$
Ra	$3 \cdot 10^{-2}$	$9 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^{-4}$
Ac	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-2}$
Th	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-4}$
Pa	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-3}$
U	$5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$
Np	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-4}$
Pu	$8 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-4}$
Am	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-4}$
Cm	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$
Bk	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$
Cf	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$

Anhang 7

Tabelle 1 Ausbreitungskoeffizienten p_y , q_y , p_z und q_z in Abhängigkeit von Diffusionskategorie und Emissionshöhe

effektive Emissionshöhe H	Diffusionskategorie	Ausbreitungskoeffizient			
		p_y	q_y	p_z	q_z
50 Meter	A	1,503	0,833	0,151	1,219
	B	0,876	0,823	0,127	1,108
	C	0,659	0,807	0,165	0,996
	D	0,640	0,784	0,215	0,885
	E	0,801	0,754	0,264	0,774
	F	1,294	0,718	0,241	0,662
100 Meter	A	0,170	1,296	0,051	1,317
	B	0,324	1,025	0,070	1,151
	C	0,466	0,866	0,137	0,985
	D	0,504	0,818	0,265	0,818
	E	0,411	0,882	0,487	0,652
	F	0,253	1,057	0,717	0,486
180 Meter	A	0,671	0,903	0,0245	1,50
	B	0,415	0,903	0,0330	1,32
	C	0,232	0,903	0,104	0,997
	D	0,208	0,903	0,307	0,734
	E	0,345	0,903	0,546	0,557
	F	0,671	0,903	0,484	0,500

Für effektive Emissionshöhen kleiner als 50 m ist der Datensatz für 50 m, für effektive Emissionshöhen größer als 180 m derjenige für 180 m anzuwenden. Für effektive Emissionshöhen zwischen 50 m und 100 m sowie zwischen 100 m und 180 m erfolgt eine geometrische Interpolation zwischen den tabellierten Werten von p_j und eine lineare Interpolation zwischen den tabellierten Werten von q_j .

Anhang 7 (Fortsetzung)

Es ist

$$q_{j,i} = \frac{(H_i - H_u)q_{j,o} + (H_o - H_i)q_{j,u}}{H_o - H_u}$$

$$p_{j,i} = p_{j,o} \left(\frac{H_i - H_u}{H_o - H_u} \right) \cdot p_{j,u} \left(\frac{H_o - H_i}{H_o - H_u} \right)$$

Hierin bedeuten:

$p_{j,i}; q_{j,i}$ = Koeffizienten für ζ_j für die effektive Emissionshöhe H_i zwischen H_o und H_u

H_i = effektive Emissionshöhe zwischen den Basishöhen in m

H_u = untere Basishöhe in m

H_o = obere Basishöhe in m

$p_{j,o}; q_{j,o}$ = Koeffizienten für ζ_j für die Basishöhe H_o

$p_{j,u}; q_{j,u}$ = Koeffizienten für ζ_j für die Basishöhe H_u

Tabelle 2 Exponent m_j des vertikalen Windgeschwindigkeitsprofils und maximale Ausbreitungsparameter in m

Diffusionskategorie	A	B	C	D	E	F
m_j	0,09	0,20	0,22	0,28	0,37	0,42
$\zeta_{z,max}$	1100	1100	800	800	-	-

Anhang 7 (Fortsetzung)

Tabelle 3 Proportionalitätsfaktoren für Fallout v_g und für Washout c sowie Washoutkoeffizienten Λ_0

emittierte Substanz	v_g (m . s ⁻¹)	c (a . mm ⁻¹ . s ⁻¹)	Λ_0 (s ⁻¹)
elementares Jod	1 . 10 ⁻²	6 . 10 ⁻⁹	7 . 10 ⁻⁵
organisch gebundenes Jod	1 . 10 ⁻⁴	6 . 10 ⁻¹¹	7 . 10 ⁻⁷
tritiiertes Wasser	-	4 . 10 ⁻⁹	3,5 . 10 ⁻⁵
Aerosole	1,5 . 10 ⁻³	6 . 10 ⁻⁹	7 . 10 ⁻⁵

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

Dosisaufbaufaktor für Gammasubmersion

Für den Dosisaufbaufaktor in Luft ohne Einfluß des Bodens für die Energie 1 MeV ist die folgende Näherungsformel anzuwenden:

$$B_1(\mu_1 R) = 1 + \sum_{m=1}^5 b_{1m} \cdot (\mu_1 R)^m$$

mit

$$\mu_1 = 7,78 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$$

Die Koeffizienten b_{1m} sind in der Tabelle 4 angegeben.

Anhang 7 (Fortsetzung)Tabelle 4 Koeffizienten b_{1m} zur Berechnung des Dosisaufbaufaktors in Luft bei Gammasubmersion für die Gammaenergie 1 MeV

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

Diese Koeffizienten gelten für den Bereich $\mu_1 R < 15$, für größere $\mu_1 R$ kann $B_1 = B_1(15)$ gesetzt werden.

Korrekturfaktor für den Einfluß des Bodens bei Gammasubmersion

Der Korrekturfaktor für den Einfluß des Bodens bei Gammasubmersion ist nach folgender Näherungsformel zu berechnen:

$$K_1(\mu_1 z', \mu_1 s) \approx \sum_{k=0}^3 \sum_{m=0}^3 a_{km} (\mu_1 z')^k \exp\left(\frac{-m}{2} \mu_1 s\right)$$

Die Koeffizienten a_{km} für die Energie 1 MeV sind in der Tabelle 5 angegeben.

Tabelle 5 Koeffizienten a_{km} zur Berechnung des Korrekturfaktors für den Einfluß des Bodens bei Gammasubmersion

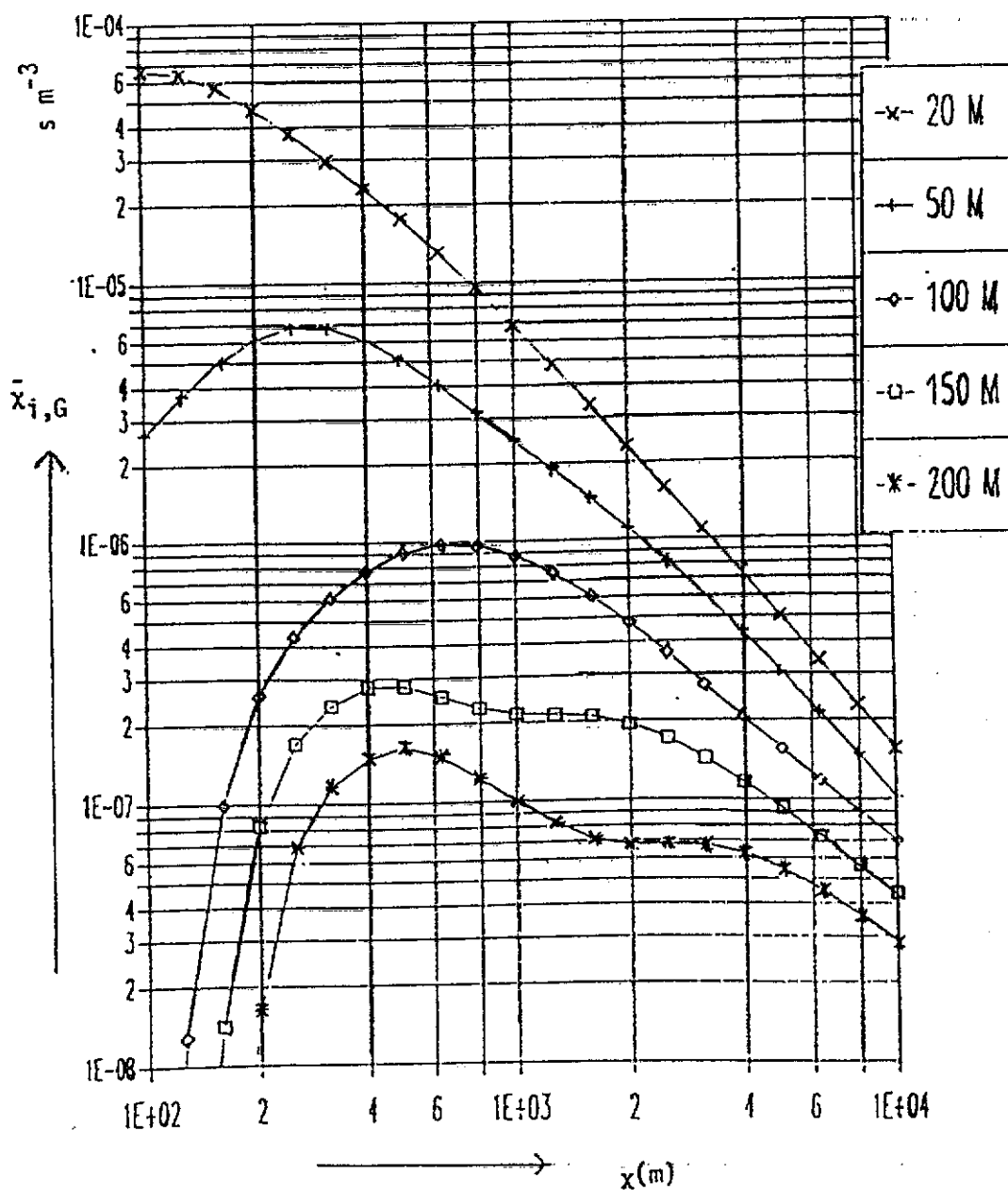
$E = 1 \text{ MeV}$	$m = 0$	1	2	3
$k = 0$	0,485	0,064	1,705	-1,179
1	0,137	1,878	-4,817	2,883
2	-0,0035	-0,8569	2,0527	-1,2552
3	-0,0018	0,0997	-0,2392	0,1503

ANHANG 8

Diagramme zur vereinfachten Ermittlung des Langzeitausbreitungsfaktors

Langzeitausbreitungsfaktor $\bar{x}_{i,G}$ für verschiedene effektive Emissionshöhen
Windrichtungshäufigkeit 100% im 30 Grad-Sektor, 1969-1986

Abb. 1



Anhang 9 Diagramme zur vereinfachten Ermittlung des Kurzzeitausbreitungsfaktors für Gammasubmersion

Kurzzeitausbreitungsfaktoren für Gammasubmersion in Emissionshöhe für die Diffusionskategorien A bis F bei einer Windgeschwindigkeit von $u = 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ und einer Photonenenergie von 1 MeV.

Abb. 1

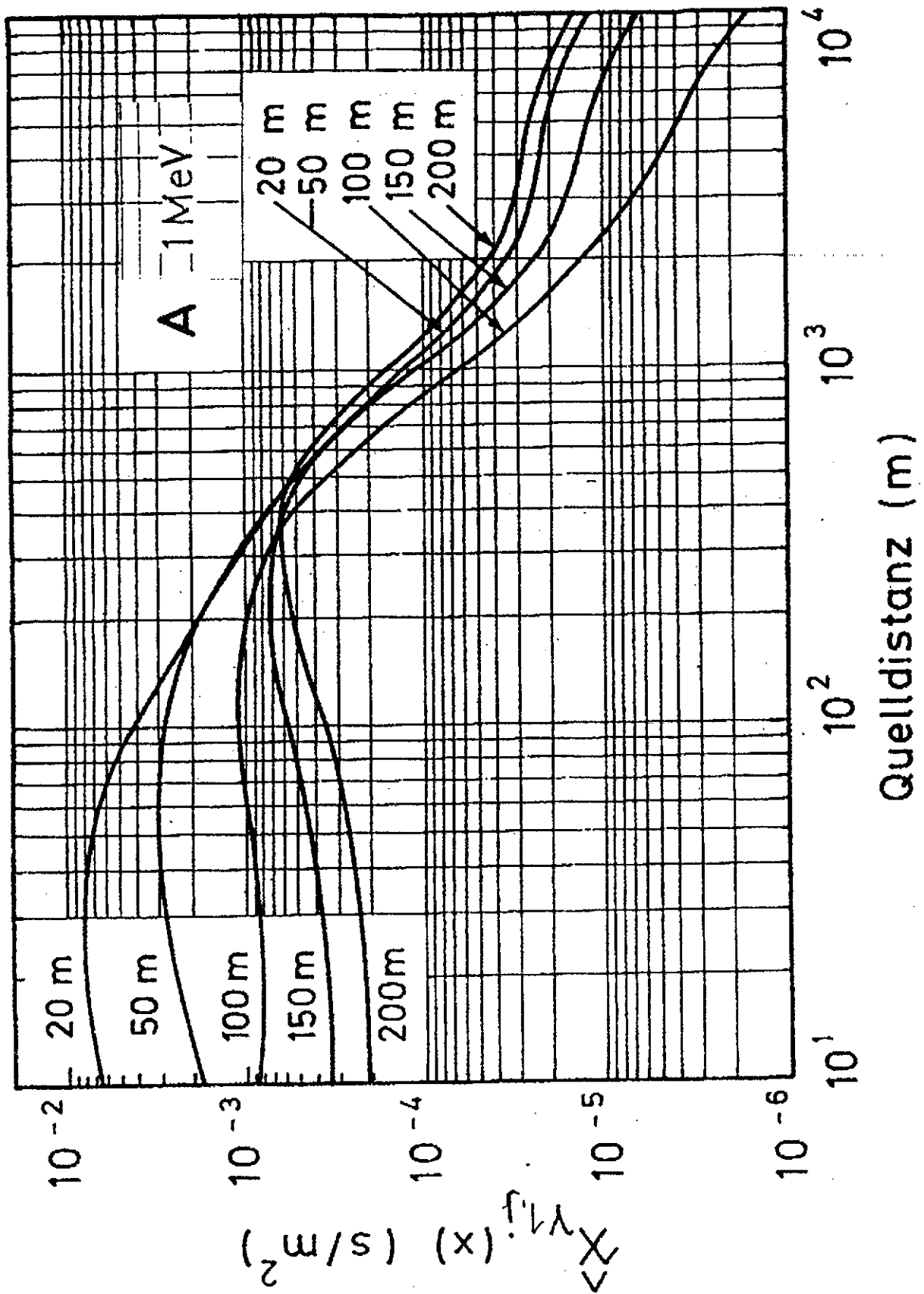


Abb. 2

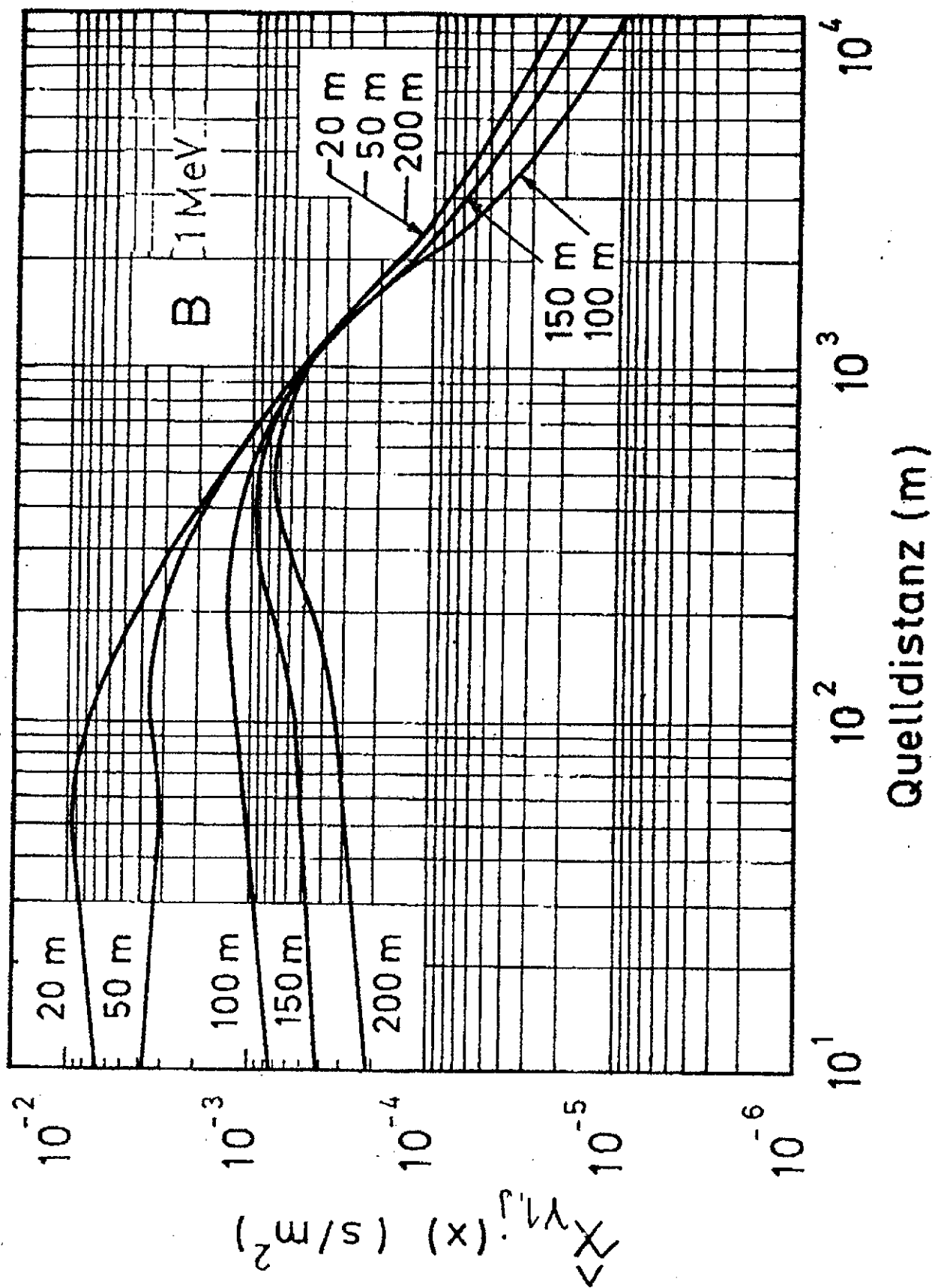


Abb. 3

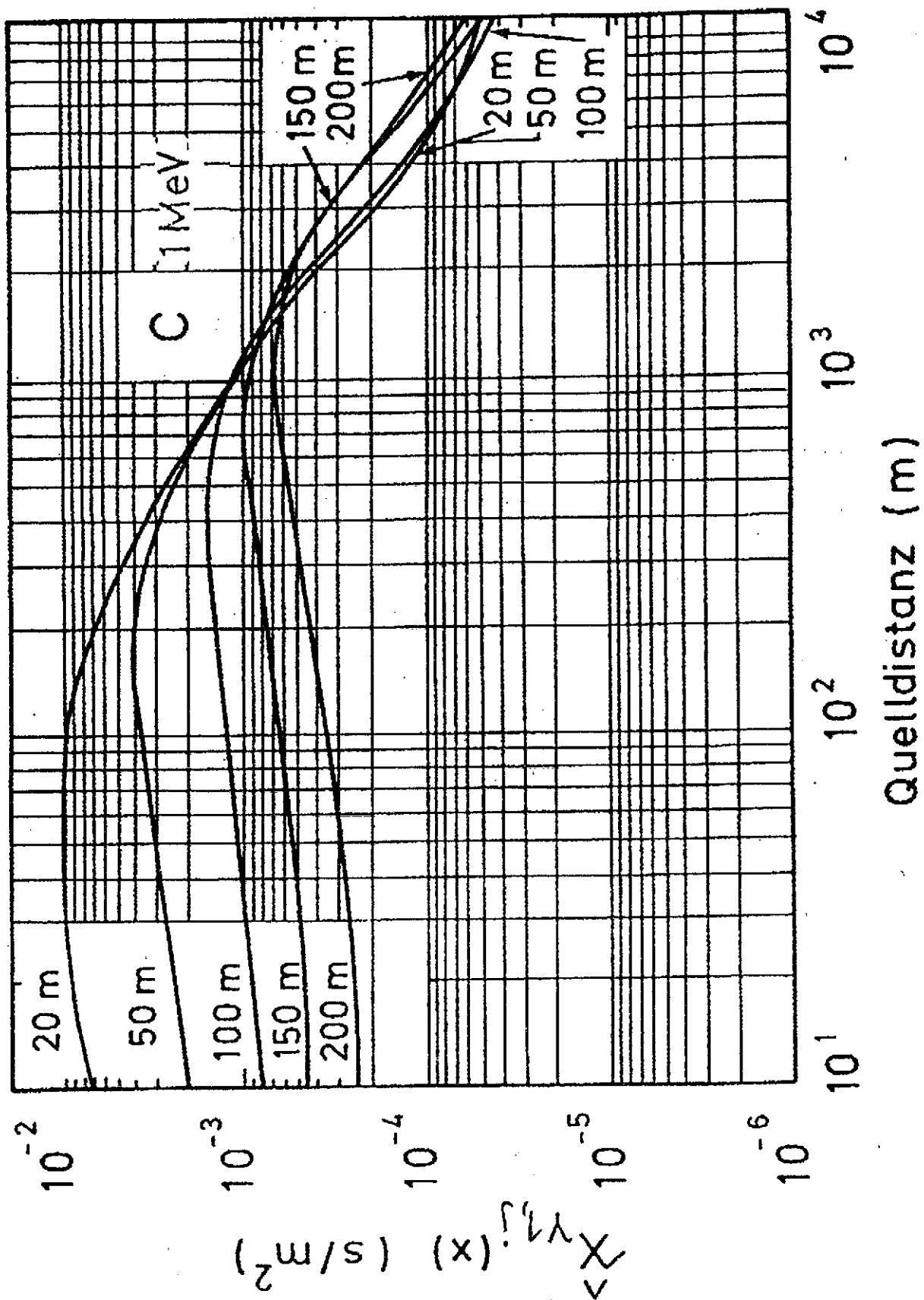


Abb. 4

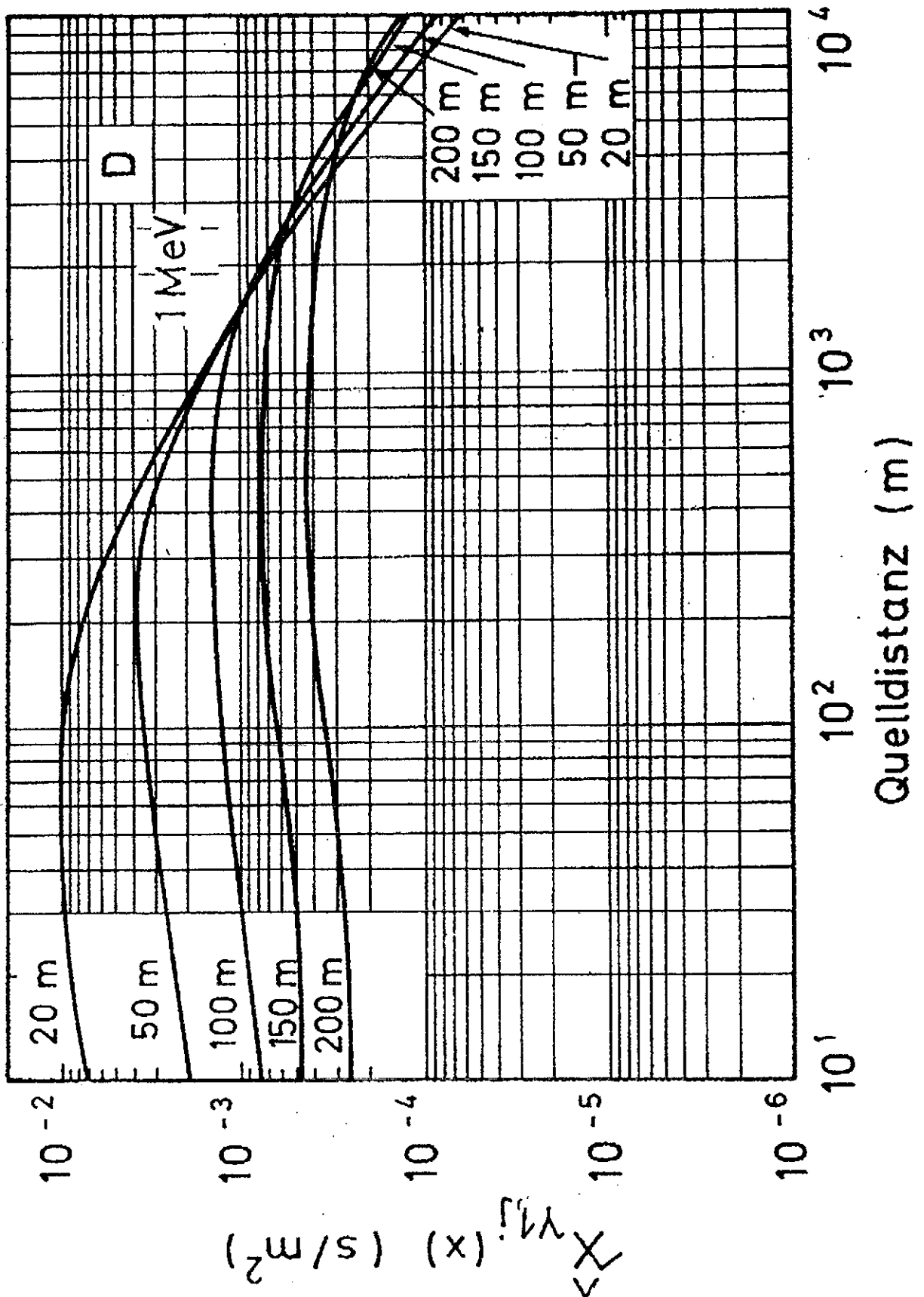


Abb. 5

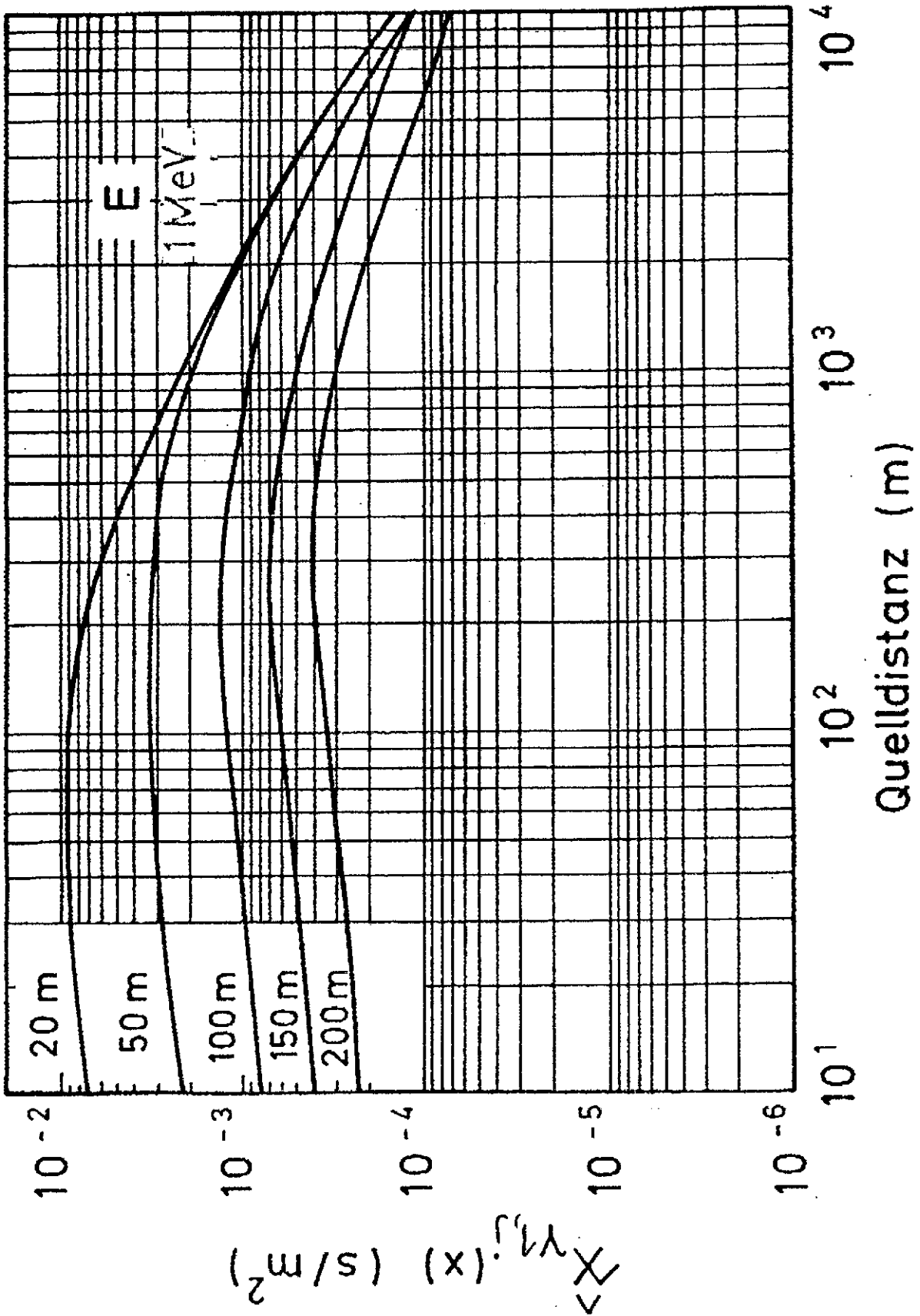
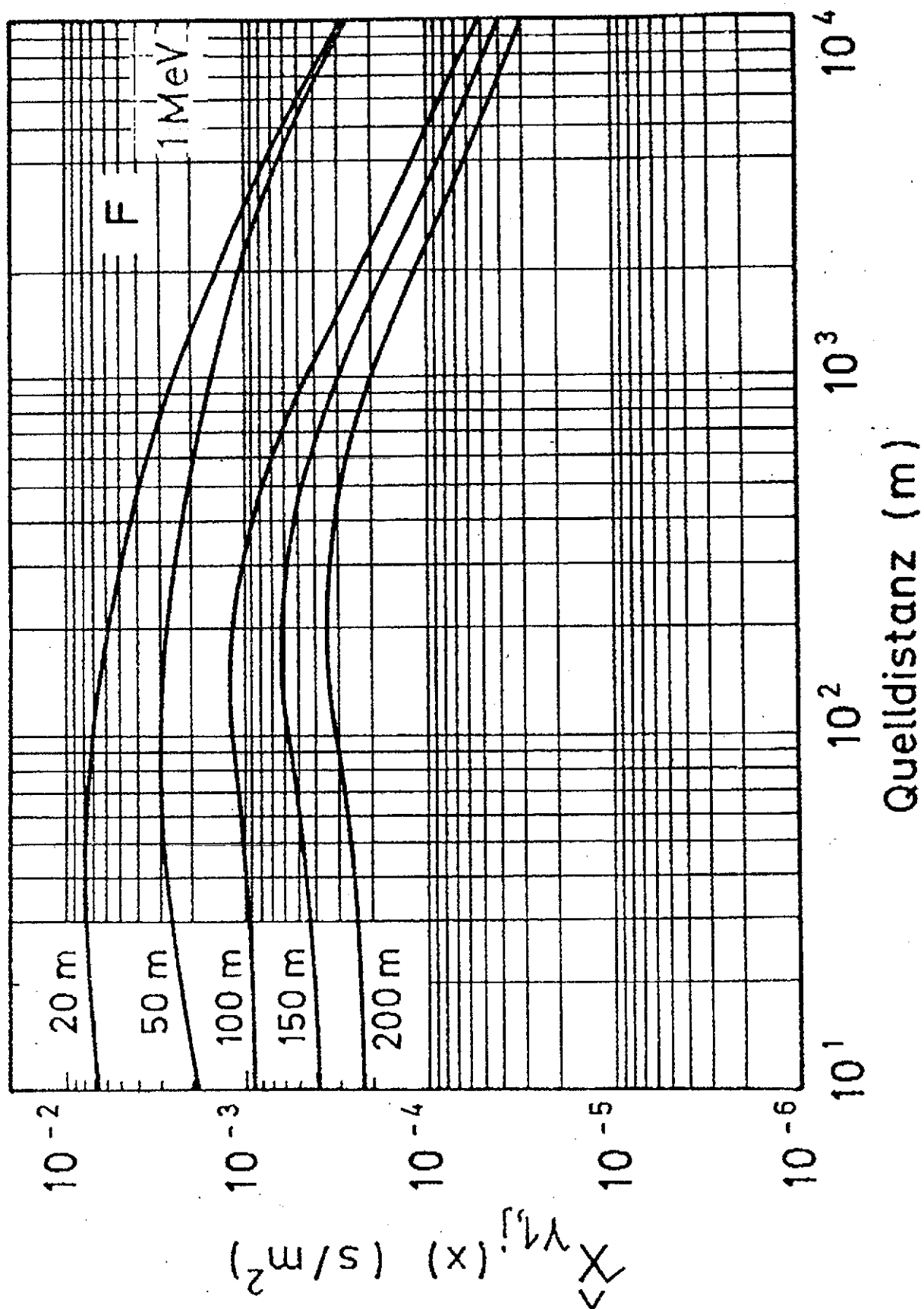


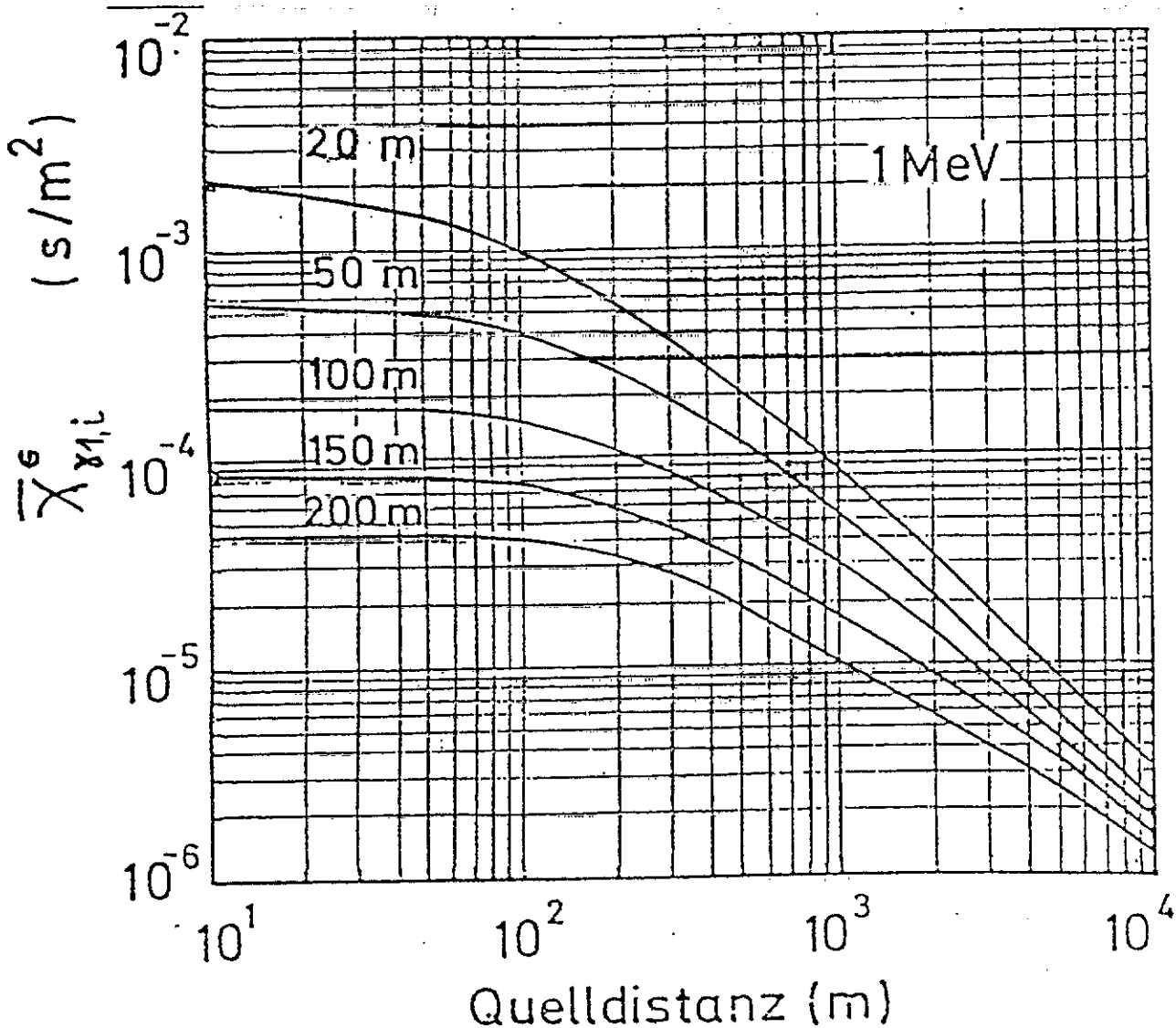
Abb. 6



ANHANG 10

Diagramme zur vereinfachten Ermittlung des Langzeitausbreitungsfaktors für
γ-Submersion

Abb.: 1



Langzeitausbreitungsfaktor für γ-Submersion für die Hauptwindrichtung
(20 %) bezogen auf den 30°-Sektor in Abhängigkeit von der effektiven
Emissionshöhe H mit Berücksichtigung des Einflusses der Nachbarsektoren;
Gammaenergie 1 MeV.

Anhang 11

Radionuklidgemische für Ableitungen mit Luft

Für Kernkraftwerke mit Leichtwasserreaktoren ist von folgenden Modellgemischen für die emittierten Radionuklide auszugehen (gilt nur für Abgaben bis max. $10^{15} \text{ Bq} \cdot \text{a}^{-1}$), falls keine spezifizierten Abgabewerte vorliegen.

a) Edelgase

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

b) Aerosole

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

Die Angaben beziehen sich auf die Gesamtaerosolaktivität mit Ausnahme von Jod.

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

Anhang 12

Radionuklidgemische für Ableitungen mit Wasser

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

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

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

Anhang 13

Konzentrationsfaktoren für Fischfleisch

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

Element	Konzentrationsfaktoren T_r^{Fi} in $l \cdot kg^{-1}$	
	Festwert	Gleichung *)
H	1	
C	8000 **)	
Na	100	
P	2000	$200000/(P)_w$
Cr	200	
Mn	100	$137/(Mn)_w^{0,9}$
Fe	100	$145000/(Fe)_w^{1,22}$
Co	100	$3,29/(Co)_w^{0,74}$
Ni	100	
Cu	10	
Zn	400	$5160/(Zn)_w$
Se	200	
Rb	2000	
Sr	30	
Zr	200	
Nb	200	
Tc	80	
Ru	100	
Ag	10	$1,25/(Ag)_w^{0,85}$
Cd	200	
Sn	3000	
Sb	100	
I	50	
Cs	1500	$1,5 \cdot 10^7/(K)_w$
Ba	200	

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

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

Anhang 13 (Fortsetzung)

Element	Konzentrationsfaktoren T_r^{Fi} in l . kg ⁻¹	
	Festwert	Gleichung *)
La	100	
Ce	150	
Pm	25	
Au	30	
Hg	1000	
Tl	10000	
Pb	60	
Bi	15	
Po	300	
Ra	10	
Th	30	
U	2	
Np	10	
Pu	8	
Am	25	
Cm	25	

Anhang 14

Halbwertszeiten für die Anlagerung an Schwebstoffen und Übergangskonstanten

Tabelle 1 Elementgruppen und Halbwertszeiten $T_{Anl,r}$ für die Anlagerung an Schwebstoffe

Element- gruppe	$K_F^r (l \cdot kg^{-1})$	$T_{Anl,r} (d)$	Elemente
1	100	0	Sr, Tc, Te, Sb, Ra, Nb, Ag
2	10000	1,5	Cs, Zn, Y, La, I
3	30000	2,5	Co, Ce, Ru, Mn, Cr, Fe, Zr, Ni, Aktiniden

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

Tabelle 2 Übergangskonstante K_e^r in Abhängigkeit von Elementgruppe und Entfernungsbereich zum Emittenten

	K_e^r in $10^{-5} l \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$	
	Nahbereich	Fernbereich
Elementgruppe 1	2	2
Elementgruppe 2	30	200
Elementgruppe 3	60	500

Anhang 15

Berücksichtigung von radioaktiven Tochternukliden bei der Berechnung der Strahlenexposition

Radioaktive Tochternuklide können aus emittierten Radionukliden beim Transport in der Atmosphäre oder im Vorfluter und nach Ablagerung auf Pflanzen und Boden und im Sediment entstehen.

Soweit die Beiträge dieser Tochternuklide zur Strahlungsexposition während der Betriebsphase relevant sind, werden sie i.a. in den entsprechenden Dosisfaktoren z. B. für Beta- und Gammasubmersion und für Bodenstrahlung berücksichtigt.

Für langlebige Radionuklide mit Tochternukliden ist zu prüfen, ob nach Ende des Betriebes durch Aufbau der Aktivität der Tochternuklide im Boden auf folgenden Expositionspfaden relevante Strahlenexpositionen auftreten:

Luftpfad:

Gamma-Bodenstrahlung

Ingestion von Blattgemüse und anderen pflanzlichen Produkten
von Fleisch und
von Milch

Wasserpfad:

Gamma-Bodenstrahlung auf Ufersedimenten, Überschwemmungsgebieten und
Spülfeldern

Ingestion von Blattgemüse und anderen pflanzlichen Produkten
von Fleisch und
von Milch,

die von Gebieten stammen, die beregnet wurden

Ingestion von pflanzlichen Produkten ohne Blattgemüse, Blattgemüse,
Fleisch und Milch, die auf Überschwemmungsgebieten erzeugt
wurden.

Bei der Berechnung der flächenbezogenen Aktivität ist die Verlagerung der Radionuklide in tiefere Bodenschichten zu berücksichtigen. Hierdurch werden die Gleichungen, welche Bildung und Zerfall der Radionuklide einer Zerfallskette beschreiben, modifiziert:

$$\frac{d B_k(t)}{dt} = \dot{Q}_k + \lambda_k \cdot \alpha_{k-1,k} \cdot B_{k-1}(t) - (\lambda_k + \lambda_{v,k}) \cdot B_k(t) \quad (15.1)$$

Hier bedeuten:

$B_k(t)$: Flächenbezogene Aktivität des k.-ten Radionuklids in der Zerfallskette in $Bq \cdot m^{-2}$

$\alpha_{k-1,k}$: Anteil der Zerfälle des Radionuklids k-1, die zum Radionuklid k führen

$\dot{Q}_k$: Flächenbezogene Aktivitätsdepositionsrate des k.-ten Radionuklids in der Zerfallskette in $Bq \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$
(= $\dot{Q}_{B,k}$ für Fallout und Washout; = $\dot{Q}_{W,k}$ für Beregnung; = $\dot{Q}_{U,k}$ für Überschwemmungsgebiete)

λ_k : Zerfallskonstante des k.-ten Radionuklids in der Zerfallskette in s^{-1}

$\lambda_{v,k}$: Verweilkonstante des k.-ten Radionuklids in der Zerfallskette in der obersten Bodenschicht in s^{-1}
 $\lambda_{v,k} = \lambda_{M,k}$ außer bei Überschwemmungsgebieten; dort ist
 $\lambda_{v,k} = \lambda_U$

k : Index zur Bezeichnung der Radionuklide innerhalb der Zerfallskette. Es ist
k = 1 für das Mutternuklid
k = 2, 3, 4 ... für das 1., 2., 3. ... Tochternuklid.

Bei der Berechnung der flächenbezogenen Aktivität des k.-ten Radionuklids sind die Betriebsphase und die Nachbetriebsphase zu unterscheiden. Die Zeit t in der Betriebsphase beginnt mit dem Betrieb der kerntechnischen Anlagen. Die Zeit t in der Nachbetriebsphase beginnt mit dem Ende der Betriebsphase von 50 Jahren.

Für die Betriebsphase ist die flächenbezogene Aktivitätsdepositionsrate

durch Washout und Fallout

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{B,k} &= A_k \cdot (\bar{F}_k^G + \bar{W}_k^G) \cdot a_p & \text{für } k = 1 \\ \dot{Q}_{B,k} &= 0 & \text{für } k \neq 1\end{aligned} \quad (15.2)$$

durch Beregnung

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{W,k} &= \frac{W \cdot C_k^{\text{Fließ}} \cdot t_R}{365} & \text{für } k = 1 \\ \dot{Q}_{W,k} &= 0 & \text{für } k \neq 1\end{aligned} \quad (15.3)$$

und durch Überschwemmung

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{U,k} &= K_e^k \cdot C_k^{\text{Fließ}} \cdot \ln 2 & \text{für } k = 1 \\ \dot{Q}_{U,k} &= 0 & \text{für } k \neq 1\end{aligned} \quad (15.4)$$

Die flächenbezogene Aktivität $B_k(t)$ am Ende der Betriebszeit ist nach der Gleichung (15.1) für die Zeit $t = 50$ Jahre mit den Anfangsbedingungen $B_k(0) = 0$ und mit $\dot{Q}_{B,k}$ nach Gleichung (15.2), $\dot{Q}_{W,k}$ nach Gleichung (15.3), bzw. $\dot{Q}_{U,k}$ nach Gleichung (15.4) zu berechnen.

Für die Nachbetriebsphase sind die flächenbezogenen Aktivitätsdepositionsraten durch Washout und Fallout, durch Beregnung und durch Überschwemmung

$$\dot{Q}_{B,k} = 0 \text{ für alle } k \quad (15.5)$$

$$\dot{Q}_{W,k} = 0 \text{ für alle } k \quad (15.6)$$

$$\dot{Q}_{U,k} = 0 \text{ für alle } k \quad (15.7)$$

Die flächenbezogene Aktivität $B_k(t)$ zur Zeit t in der Nachbetriebsphase ergibt sich nach der Gleichung (15.1) mit $B_k(t=0)$ in der Nachbetriebsphase gleich $B_k(t=50 \text{ a})$ in der Betriebsphase, sowie mit $\dot{Q}_k$ nach Gleichung (15.5), (15.6) bzw. (15.7).

Wegen der Indizierung und Zuordnung der flächenbezogenen Aktivitätsdepositions-raten sind alle Radionuklide, die im Emissionsspektrum der kerntechnischen Anlage oder Einrichtung vorkommen als Mutternuklid ($k = 1$) zu betrachten, unabhängig davon, ob sie auch in anderen Zerfallsketten vorkommen.

Die flächenbezogene Aktivität ist den Berechnungen der Strahlenexposition auf den verschiedenen Expositionspfaden zugrunde zu legen.

Durch Tochternuklide ergibt sich in der Nachbetriebsphase eine Strahlenexposition durch Bodenstrahlung und Ingestion:

Die Jahresdosis durch Bodenstrahlung im Organ oder Gewebe T durch das Tochternuklid k ist entsprechend Gleichung (3.6).

$$H_{T,b,k} = B_k(t) \cdot g_{b,k,T} \cdot t_A \quad (15.8)$$

Neben den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$g_{b,k,T}$: Dosisleistungsfaktor für das Organ oder Gewebe T durch Bodenstrahlung des Radionuklids k ohne Tochternuklide in $\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, siehe Anhang 2

t_A : Aufenthaltsdauer pro Jahr in s

Wie bei der Berechnung der Jahresdosis durch äußere Bestrahlung beim Aufenthalt auf Überschwemmungsgebieten entfällt die explizite Korrektur für die Bodenrauigkeit und das Eindringen in tiefere Bodenschichten (siehe Kapitel 5.4.2).

Die Jahresdosis durch Ingestion im Organ oder Gewebe T durch das Tochternuklid k ergibt in der Nachbetriebsphase wie in der Betriebsphase nach Gleichung (3.10). Die spezifische Aktivität des Tochternuklids k in den pflanzlichen Produkten ohne Blattgemüse ($n = \text{Pf}$), in Blattgemüse ($n = \text{Bl}$) und in Weidepflanzen ($n = \text{Wd}$) berechnet sich zu:

$$C_k^n = B_k(t) \cdot \frac{T_k^n}{p^m} \quad \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1} \quad (15.9)$$

Neben den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

T_k^n : Transferfaktor vom Boden zur Pflanze ($n = Pf$ bzw. $n = Wd$) für das Tochteruklid k in $Bq \cdot kg^{-1}$ Pflanzen-Feuchtmasse pro $Bq \cdot kg^{-1}$ Bodentrockenmasse, siehe Anhang 6

Die spezifische Aktivität in der Milch kann nach Gleichung (3.14), im Futter nach Gleichung (3.15) und im Fleisch nach Gleichung (3.16) berechnet werden.

Für Spülfelder ist die spezifische Aktivität von Mutter- und Tochternukliden zu betrachten. Die flächenbezogene Aktivität $B_k(t)$ des Radionuklids k ist durch die spezifische Aktivität $C_k(t)$ zu ersetzen.

Es ist ausreichend, eine einmalige Aufbringung von Sediment wie in Kapitel 5.4.3 zu betrachten. Die mittlere Anfangsaktivität $\bar{C}_k^{Se}(t)$ berechnet sich wie folgt:

$$\bar{C}_k^{Se}(t) = C_k^{Se}(0) \cdot \exp(-\lambda_k \cdot t) \quad (15.10)$$

mit

$C_k^{Se}(0)$: Spezifische Aktivität des Radionuklids k im Sediment zu Beginn des Ausbaggerns in $Bq \cdot m^{-3}$

Die spezifische Aktivität erhält man nach der Gleichung (15.1), in der statt der flächenbezogenen Aktivität die spezifische Aktivität und statt der flächenbezogenen Aktivitätsdepositionsrate die Quellstärke der spezifischen Aktivität einzuführen ist.

Die Jahresdosis $H_{T,Sp,k}$ im Organ oder Gewebe T durch das Tochternuklid k bei Aufenthalt auf Spülfeldern ist

$$H_{T,Sp,k} = C_k^{Se} \cdot P_{Sp} \cdot g_{b,k,T} \cdot t_A \cdot U_k \quad (15.11)$$

Bei zeitabhängigen Dosisberechnungen für die Nachbetriebsphase sind im Einzelfall gleichwertige vereinfachende Näherungslösungen bei der Berechnung zulässig. Eine solche Vereinfachung ist z. B. die Annahme, daß jedes Tochternuklid mit der gleichen Aktivität vorliegt wie das Mutternuklid am Ende der Betriebsphase, und daß alle Tochternuklide mit dieser Aktivität gleichzeitig zur Strahlenexposition beitragen.

B e g r ü n d u n g

Werden bei kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen radioaktive Stoffe in die Atmosphäre oder in Fließgewässer abgegeben, so kann dies zu einer Strahlenexposition des Menschen führen. Die Strahlenexposition darf nach § 45 Abs. 1 der Strahlenschutzverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 30. Juni 1989 (BGBl. I S. 1321, 1926) je Belastungspfad den Grenzwert von 0,3 mSv für die effektive Dosis ("30-mrem-Konzept") und weitere Teilkörperdosisgrenzwerte nicht überschreiten. Die Einhaltung dieser Dosisgrenzwerte ist in atomrechtlichen Genehmigungsverfahren für eine Referenzperson nachzuweisen.

Die der Berechnung zugrundezulegenden Parameter und Modelle werden durch Anlage XI der Strahlenschutzverordnung, durch die Dosisfaktoren (Bundesanzeige Nr. 185 a vom 30. September 1989) sowie durch diese Allgemeine Verwaltungsvorschrift (AVV) festgelegt. Die Strahlenschutzverordnung enthält Regelungen zur Bestimmung der effektiven Dosis, zu den Belastungspfaden und zu den anzunehmenden Lebensgewohnheiten. Die Dosisfaktoren bestimmen, wie die dem Körper zugeführte oder auf diesen einwirkende Radioaktivität zu Körperdosen umgerechnet wird. Die AVV konkretisiert die übrigen Berechnungsvorgaben von der Ableitung radioaktiver Stoffe bis zur Zufuhr bzw. äußeren Einwirkung dieser Stoffe auf die Referenzperson.

Die AVV enthält die Vorgaben für die Berechnung der äußeren und inneren Strahlenexposition jeweils getrennt für die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft und mit Wasser. Für die Ableitungen mit der Luft werden Modelle und Parameter für die Ausbrei-

741/83

tung radioaktiver Stoffe und die Umgebungskontamination, für die Ableitungen mit Wasser werden Modelle und Parameter für die Ausbreitung in Fließgewässern und die Ablagerung im Sediment und auf Spülfeldern festgelegt.

Die AVV tritt an die Stelle der bisherigen Richtlinie zu § 45 StrlSchV - Allgemeine Berechnungsgrundlage für die Strahlenexposition bei radioaktiven Ableitungen mit der Abluft oder in Oberflächengewässer vom 15. August 1979 (GMBI. S. 371, ber. 1980 S. 576), zuletzt geändert am 3. Mai 1985 (GMBI. S. 350) -, deren Anwendung bis zum Inkrafttreten der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift in § 88 Abs. 7 der Strahlenschutzverordnung vorgesehen ist. Die AVV übernimmt die Struktur der ABG und wahrt damit die Kontinuität der radioökologischen Berechnungsverfahren. Wie bereits die ABG basiert auch die AVV auf Parametern und Rechenmodellen, die von der Strahlenschutzkommission erarbeitet wurden. Die der AVV zugrundeliegenden Modellbetrachtungen sind in der Stellungnahme der Strahlenschutzkommission vom 6. Dezember 1989 "Modelle, Annahmen und Daten zur Berechnung der Strahlenexposition bei der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser zum Nachweis der Einhaltung der Dosisgrenzwerte nach § 45 StrlSchV" näher dargestellt. Die Stellungnahme der Strahlenschutzkommission wird als Band 17 der Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission im ersten Halbjahr 1990 im Gustav-Fischer-Verlag erscheinen. Bis zur Veröffentlichung können Exemplare der Stellungnahme von der Geschäftsstelle der Strahlenschutzkommission, Graurheindorfer Str. 92, 5300 Bonn 1, Tel.: 0228-305-3731, bezogen werden.

Die allgemeine Verwaltungsvorschrift verpflichtet nicht zur Schaffung neuer Einrichtungen. Zusätzliche Kosten bei Bund und Ländern durch die Anwendung der allgemeinen Verwaltungsvorschrift sind nicht zu erwarten. Auswirkungen auf Einzelpreise und auf das Preisniveau, besonders auf das Verbraucherpreisniveau, ergeben sich nicht.

Beschluß**des Bundesrates**

zur

Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutz-
verordnung: Ermittlung der Strahlenexposition durch die
Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen
oder Einrichtungen

Der Bundesrat hat in seiner 609. Sitzung am 16. Februar 1990 beschlossen, der allgemeinen Verwaltungsvorschrift gemäß Artikel 84 Abs. 2 des Grundgesetzes nach Maßgabe folgender Änderungen zuzustimmen:

1. Zu Nummer 2.2 Satz 2

In Nummer 2.2 ist in Satz 2 nach den Worten
"unter Berücksichtigung realer Nutzungsmöglichkeiten"
eine Fußnote mit folgendem Wortlaut einzufügen:

"*) Unter Einbeziehung auch möglicher künftiger Änderungen der Besiedlung oder künftiger Nutzung, soweit diese nicht prinzipiell aufgrund der ökologischen Verhältnisse während der Standzeit der Anlage oder Einrichtung außer Betracht bleiben müssen."

Begründung:

Redaktionelle Klarstellung. Es soll sichergestellt werden, daß im Rahmen einer Prüfung nach § 45 StrlSchV landwirtschaftliche Nutzungseinschränkungen generell ausgeschlossen werden können.

...

2. Zu Nummer 5.3

In Nummer 5.3 Satz 2 ist nach den Worten

"Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:"
einzufügen:

" A_r : Jährliche Ableitungsmenge des Radionuklids r in Bq
(zum Modellgemisch siehe Anhang 12)".

Begründung:

Notwendige redaktionelle Ergänzung des Textes
von Nummer 5.3, um die Verknüpfung von Anhang 12
mit Nummer 5.3 sicherzustellen.

3. Zu Nummer 5.6

In Nummer 5.6 Satz 1 sind die Worte

"gemäß Anlage XI Tabelle II 2 StrlSchV"

durch die Worte

"gemäß Anlage XI Tabelle II 1 und Tabelle II 2 StrlSchV"
zu ersetzen.

Begründung:

Die Änderung dient der Beseitigung eines Redaktionsversehens. Die in Nummer 5.6 Satz 1 vorgesehene Berechnung ist unter Berücksichtigung beider in Anlage XI Abschnitt II StrlSchV enthaltenen Tabellen vorzunehmen.