

**Störfallberechnungsgrundlagen für die Leitlinien zur Beurteilung der Auslegung von Kernkraftwerken mit DWR gemäß § 28 Abs. 3 StrlSchV und Neufassung der „Berechnung der Strahlenexposition“**

vom 29. Juni 1994 (BAnz. 1994, Nr. 222a)

Nach vorheriger Konsultation der Reaktorsicherheitskommission hat die Strahlenschutzkommission in der Sitzung am 21./22. April 1994 die nachfolgende Empfehlung zur Neufassung des Kapitels 4 "Berechnung der Strahlenexposition" der "Störfallberechnungsgrundlagen für die Leitlinien zur Beurteilung der Auslegung von Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktoren gemäß § 28 Abs. 3 StrlSchV" vom 18. Oktober 1983 (BAnz Nr. 245a vom 31. Dezember 1983) verabschiedet, die hiermit bekanntgegeben wird.

Bonn, den 29. Juni 1994  
RS II 2 - 17 027/2

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit  
Im Auftrag

Edelhäuser  
Dr. Landfermann

**Inhaltsverzeichnis**

1	Vorbemerkung	2
<b>2</b>	<b>Annahmen und Parameter zur Berechnung der Freisetzung radioaktiver Stoffe</b>	<b>3</b>
2.1	Allgemeine Annahmen und Parameter	3
2.1.1	Systemfunktionen	3
2.1.2	Handmaßnahmen	3
2.1.3	Festlegung von Parametern	3
2.1.4	Berücksichtigung betrieblicher Systeme	3
2.2	Aktivitätsinventar	4
2.2.1	Kühlmittelaktivität	4
2.2.2	Aktivitätsinventare im Hilfsanlagegebäude	4
2.2.3	Rückhaltung freigesetzter radioaktiver Stoffe	4
2.4	Freisetzung radioaktiver Stoffe aus Räumen und Gebäudeteilen	4
2.4.1	Leckrate des Sicherheitsbehälters	4
<b>3</b>	<b>Annahmen und Parameter für in ihren radiologischen Auswirkungen zu analysierende Störfälle</b>	<b>5</b>
3.1.1	Leck in der Hauptkühlmittelleitung (1.1.1)	5
3.1.2	Leck in einer primärkühlmittelführenden Meßleitung (1.4.2)	5
3.1.3	Leck in einer Frischdampfleitung hinter der äußeren Absperrarmatur mit gleichzeitigem Auftreten von Dampferzeugerheizrohrschäden (1.3.2)	6
3.1.4	Langdauernder Ausfall der Hauptwärmesenke bei betrieblichen Leckagen an den Dampferzeugerheizrohren (1.3.1)	6
3.1.5	Leck in einer Rohrleitung der Abgasanlage (1.5)	7
3.1.6	Brennelementbeschädigung bei der Handhabung (1.6)	7
3.1.7	Leckage eines Behälters mit radioaktiv-kontaminiertem Wasser im Reaktorhilfsanlagegebäude (1.5)	7
3.1.8	Erdbebenauswirkungen im Reaktorhilfsanlagegebäude (1.7)	7
<b>4</b>	<b>Berechnung der Strahlenexposition</b>	<b>7</b>
4.1	Expositionspfade	8
4.2	Berechnung der äußeren Strahlenexposition	8
4.2.1	Strahlenexposition durch Betastrahlung innerhalb der Abluffahne (Betasubmersion)	8
4.2.2	Strahlenexposition durch Gammastrahlung aus der Abluffahne (Gammassubmersion)	9
4.2.3	Strahlenexposition durch Gammastrahlung der am Boden abgelagerten radioaktiven Stoffe (Bodenstrahlung)	9
4.3	Berechnung der inneren Strahlenexposition	10
4.3.1	Strahlenexposition durch Aufnahme radioaktiver Stoffe mit der Atemluft (Inhalation)	10
4.3.2	Strahlenexposition durch Aufnahme radioaktiver Stoffe beim Verzehr von Lebensmitteln (Ingestion)	10
4.4	Ausbreitung radioaktiver Stoffe und Umgebungskontamination	11
4.4.1	Störfallausbreitungsfaktoren $\chi_k$ für die bodennahe Aktivitätskonzentration	12
4.4.2	Störfall-Falloutfaktoren $F_k$ für die trockene Ablagerung	12
4.4.3	Störfall-Washoutfaktoren $W_k$ für die Ablagerung mit Niederschlägen	12
4.4.4	Störfallausbreitungsfaktoren $\chi_{\gamma nk}$ für die Gammassubmersion	13
4.4.5	Probabilistisches Auswerteverfahren	13
4.5	Dosis- und Dosisleistungsfaktoren	14
4.5.1	Dosisleistungsfaktoren für Betasubmersion $g_{\beta,r,T}$ ( $\text{Sv} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{Bq}_1^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )	14
4.5.2	Dosisleistungsfaktoren für Gammassubmersion $g_{\gamma,r,T2}$ ( $\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Bq}_1^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ) und Bodenstrahlung $g_{b,r,T}$ ( $\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Bq}_1^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )	14
4.5.3	Inhalationsdosisfaktoren $g_{h,r,T}$ ( $\text{Sv} \cdot \text{Bq}_1^{-1}$ ) und Ingestionsdosisfaktoren $g_{g,r,T}$ ( $\text{Sv} \cdot \text{Bq}_1^{-1}$ )	14

Anhang 1	Daten zur Berechnung des Radionuklid- transports über den Ingestionspfad und bei der Gammabodenstrahlung	15	<b>1 Vorbemerkung</b>
Anhang 2	Berechnung der Windgeschwindigkeit in effektiver Emissionshöhe	16	
Anhang 3	Daten und Interpolationsverfahren zur Berechnung der Ausbreitungsparameter $\sigma_y(x)$ , $\sigma_z(x)$	17	
Anhang 4	Daten zur Berechnung der trockenen und nassen Ablagerung	17	
Anhang 5	Berechnung des Dosisaufbaufaktors in Luft	18	
Anhang 6	Berechnung des Korrekturfaktors für den Einfluß des Bodens bei Gammasub- mersion	18	
Anhang 7	Korrekturvorschriften zur Berücksichtigung von Gebäudeeinflüssen, besonderen oro- graphischen Verhältnissen und Kühlturm- einflüssen in der Ausbreitungsberechnung	18	
Anhang 8	Berechnung der effektiven Emissionshöhe bei gleichzeitiger Emission von radioaktiven Stoffen und größeren Wärmemengen	19	
Anhang 9	Methode für die Durchführung probabilistischer Berechnungen	20	
Anhang 10	Diagramme zur vereinfachten Ermittlung des Kurzzeitausbreitungsfaktors für Gammasubmersion	21	

Die Freisetzung radioaktiver Stoffe aus Kernkraftwerken bei Störfällen und die Ausbreitung dieser Stoffe in der Umwelt bis hin zum Menschen können wegen ihrer Komplexität nur modellhaft mit Referenzannahmen beschrieben werden.

Um die möglichen Strahlenexpositionen des Menschen abschätzen zu können, wird den Berechnungen ein Modell zugrundegelegt, das aus verschiedenen Teilmodellen für

- die Beschreibung der Störfallereignisse
- die Freisetzung der radioaktiven Stoffe aus der Anlage in die Atmosphäre
- die Ausbreitung der radioaktiven Stoffe in der Umwelt und
- die Strahlenexposition des Menschen durch äußere Bestrahlung, Inhalation und Ingestion

besteht.

Annahmen, Rechenmodelle und Parameter wurden entsprechend dem Stand von Wissenschaft und Technik spezifiziert. In verschiedenen Fällen wurden die Referenzwerte unter Beachtung ihrer beobachteten Häufigkeitsverteilung festgelegt.

Bei den verwendeten Rechenmodellen und Daten ist für die zu berechnende Strahlenexposition ein für Planungszwecke hinreichend sicheres Gesamtergebnis zu erwarten.

Die Störfallberechnungsgrundlage entbindet den Gutachter nicht davon, den Einzelfall unter Berücksichtigung der jeweiligen örtlichen Besonderheiten und Umstände zu prüfen und zu beurteilen. Soweit von dem Referenzmodell oder Daten abgewichen wird, ist dies im einzelnen zu begründen.

Die anlagentechnischen Festschreibungen gehen hierbei aus von der Auslegung der Druckwasserreaktoren, die 1982 die 1. TEG erhalten haben. Sie orientieren sich an den Ausgangs- und Randbedingungen, die vom bestimmungsgemäßen Betrieb ausgehen.

Nach den Festlegungen der vom BMI erstellten "Leitlinien zur Beurteilung der Auslegung von Kernkraftwerken mit DWR gegen Störfälle i. S. d. § 28 Abs. 3 StrlSchV" müssen die radiologisch repräsentativen Störfälle in ihren Auswirkungen auf die Umgebung analysiert werden.

Diese sind solche Ereignisabläufe aus dem Gesamtspektrum der die sicherheitstechnische Auslegung von Druckwasserreaktoren bestimmenden Störfälle, die bezüglich ihrer radiologischen Auswirkungen auf die Umgebung relevant und in dem Sinne repräsentativ sind, daß sie in ihren radiologischen Auswirkungen eine Klasse ähnlich ablaufender Ereignisse abdecken. Es genügt daher, für die repräsentativen Ereignisabläufe die Einhaltung der Störfallplanungswerte der StrlSchV durch eine Analyse nachzuweisen.

In diesem Sinne sind folgende Störfälle in ihren radiologischen Auswirkungen zu analysieren. Die anderen Aspekte der erforderlichen Schadensvorsorge sind durch diese Auswahl nicht berührt. Die Indizierung nimmt Bezug auf die Leitlinie des BMI.

*Leck in der Hauptkühlmittelleitung (I.1.1)*  
Die Analyse dient dem Nachweis, daß der Sicherheits-einschluß einschließlich der Rückhalteeinrichtungen die Freisetzung radioaktiver Substanzen aus dem Sicherheitsbehälter bei gleichzeitiger zusätzlicher Beschädigung vom Brennstabhüllen und bei den vorherrschenden Druck- und Temperaturbedingungen im Sicherheitsbehälter hinreichend begrenzt.

*Leck in einer primärkühlmittelführenden Meßleitung (I.4.2)*  
Die Analyse dient dem Nachweis, daß die Rückhalteeinrichtungen die Aktivitätsfreisetzung in die Umgebung bei Primärkühlmittelverlust im Ringraum hinreichend begrenzen.

*Leck in einer Frischdampfleitung hinter der äußeren Absperrarmatur mit gleichzeitig ein Auftreten von Dampferzeugerheizrohrschäden (I.3.2)*  
Die Anal dieses Störfalles dient dem Nachweis, daß auch bei unterstelltem Leck einer Frischdampfleitung und dem postulierten zusätzlichen Versagen von Heizrohren in dem zugehörigen Dampferzeuger die Absperrreinrichtungen eine Freisetzung der im Primärkühlmittel enthaltenen Radioaktivität in die Kraftwerksumgebung hinreichend begrenzen.

*Langdauernder Ausfall der Hauptwärmesenke bei betrieblichen Leckagen an den Dampferzeugerheizrohren (I.3.1)*  
Die Analyse dient dem Nachweis, daß auch bei betrieblich auftretender radioaktiver Kontamination des Sekundärkreises und einem langdauernden Ausfall der Hauptwärmesenke der Anlage die Aktivitätsfreisetzung in die Umgebung hinreichend gering ist.

*Leck in einer Rohrleitung im Abgassystem (I.5)*  
Die Analyse dieses Störfalles dient dem Nachweis, daß auch bei Austreten gasförmiger Aktivität die Freisetzung in die Umgebung hinreichend begrenzt ist.

*Brennelementbeschädigung bei der Handhabung (I.6)*  
Die Analyse dieses Störfalles dient dem Nachweis, daß bei Freisetzung von Radioaktivität im Sicherheitsbehälter ohne Kühlmittelverlust die resultierende Freisetzung in die Umgebung hinreichend begrenzt wird.

*Leckage eines Behälters mit radioaktiv-kontaminiertem Wasser (I.5)*  
Die Analyse dieses Störfalles dient dem Nachweis, daß die Freisetzung in die Umgebung aufgrund einer Leckage im Reaktorhilfsanlagengebäude hinreichend begrenzt wird.

*Erdbebenauswirkungen im Reaktorhilfsanlagengebäude (I.7)*  
Die Analyse dieses Störfalles dient dem Nachweis, daß die Freisetzung von Aktivität aus einem infolge Erdbeben versagenden aktivitätsführenden Behälter in die Umgebung hinreichend begrenzt wird.

Die Festlegungen für die in den Rechnungen zu unterstellenden Annahmen und Parameter sind so zu interpretieren, daß auch andere Parameter und Rechenmodelle verwendet werden können, wenn die Auslegungsmerkmale des jeweiligen Kernkraftwerks oder die Eigenschaften des jeweiligen Standortes dies rechtfertigen. Die Abweichungen von den Störfallberechnungsgrundlagen sind im einzelnen zu begründen.

Insbesondere sind die Freisetzungsmodelle soweit angegeben, daß die Ergebnisse von Experimenten z. B. zur Quantifizierung von Aktivitätsfreisetzungssanteilen berücksichtigt werden können.

Bei Berechnung der radiologischen Konsequenzen sind über die Festlegungen in dieser Berechnungsvorschrift hinaus die besonderen örtlichen Verhältnisse, die für die Ausbreitungsbedingungen von entscheidender Bedeutung sein können, im einzelnen zu berücksichtigen und die realen Nutzungsmöglichkeiten<sup>1)</sup> in der Umgebung der

<sup>1)</sup> Damit soll ausgesagt werden, daß die aufgrund der örtlichen Gegebenheiten möglichen Nutzungsarten zugrunde zu legen sind. Gebiete, in denen aufgrund der örtlichen Gegebenheiten eine landwirtschaftliche Nutzung ausgeschlossen werden kann, bleiben bei der Ermittlung der ungünstigsten Einwirkungsstellen außer Betracht.

Anlage zugrunde zu legen.

Die Strahlenexposition wird für eine Referenzperson unter Berücksichtigung der kritischen Bevölkerungsgruppe im Sinne der ICRP ermittelt. Dabei wird von realistischen Lebensgewohnheiten ausgegangen. Extreme Lebens- und Konsumgewohnheiten von Einzelpersonen und pathophysiologische Vorgänge, bei denen evtl. abnorme Anreicherungen radioaktiver Stoffe auftreten können, bleiben dabei außer Betracht.

## 2 Annahmen und Parameter zur Berechnung der Freisetzung radioaktiver Stoffe

### 2.1 Allgemeine Annahmen und Parameter

#### 2.1.1 Systemfunktionen

Bei der Berechnung der möglichen radiologischen Störfallauswirkungen kann davon ausgegangen werden, daß die gemäß den zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Leitlinien geltenden Rechtsvorschriften, Richtlinien der Behörden, Sicherheitskriterien und zugehörigen Interpretationen, RSK-Leitlinien und KTA-Regeln ausgelegten Sicherheitseinrichtungen die vorgesehenen Funktionen erfüllen, soweit sie durch den Störfall nicht beeinträchtigt werden.

Die Grundsätze für die Anwendung des Einzelfehlerkriteriums - Einzelfehlerkonzept - (GMBI. 1981, S. 544) sind nur als Auslegungsanforderung für die Sicherheitseinrichtungen, nicht aber bei der Festlegung der jeweiligen Störfallabläufe anzuwenden.

Für die Berechnungen der radiologischen Konsequenzen kann davon ausgegangen werden, daß das erste Anregekriterium für Reaktorschutzaktionen wirksam wird, soweit es nicht vom Störfall selbst beeinträchtigt wird.

#### 2.1.2 Handmaßnahmen

Handmaßnahmen zur Minimierung von Störfallfolgen sind im allgemeinen erst 30 Minuten nach Störfalleintritt als wirksam anzunehmen. Der Ansatz kürzerer Zeiten bei den Analysen ist zulässig bei sicherheitsgerichteten Maßnahmen, wenn die eindeutige Erkennbarkeit der Störfallsituation gegeben ist und die Maßnahmen in der angegebenen Zeit durchführbar sind.

#### 2.1.3 Festlegung von Parametern

In den folgenden Berechnungsvorschriften nicht festgeschriebene Parameter für die Berechnung der Aktivitätsfreisetzung, deren Werte stark streuen können, müssen konservativ abgeschätzt werden, oder sie dürfen unter Beachtung der folgenden Bedingungen anhand ihrer beobachteten Häufigkeitsverteilung festgesetzt werden:

- Es müssen gesicherte Verteilungsfunktionen der Parameter vorliegen: dazu gehört auch die Gewinnung der Meßwerte in einer repräsentativen zeitlichen Verteilung.
- Die für die Berechnung der Aktivitätsfreisetzung zugrunde gelegten Werte der Parameter müssen 95% der Verteilung der Meßwerte abdecken.

#### 2.1.4 Berücksichtigung betrieblicher Systeme

Die Berechnung der Störfallfolgen darf unter Berücksichtigung der zur Schadensminimierung beitragenden betrieblichen Systeme und Einrichtungen vorgenommen werden, sofern diese Einrichtungen nach den geltenden Regeln und Richtlinien hergestellt sind und betrieben werden, geeignete Qualitätsmerkmale hinsichtlich ihrer Auslegung und Betriebsbewahrung besitzen und sie nicht durch Störfallfolgen in ihrer Funktionsfähigkeit beeinträchtigt werden.

Hieraus sind keine Redundanzforderungen herzuleiten.

**2.2 Aktivitätsinventar**

Bei der Berechnung des Aktivitätsinventars bei einem Störfall ist für die beschädigten Brennstäbe von 2,5 Jahren Vollastbetrieb bei mittlerer Leistungsdichte auszugehen.

**2.2.1 Kühlmittelaktivität**

Die Aktivität des Kühlmittels besteht aus Spaltprodukten, aus Aktivierungsprodukten sowie aktivierten Korrosionsprodukten. Die Konzentration der Edelgas- und Jodisotope ist gemäß einem Diffusionsmodell im Brennstoff unter Zugrundelegung der Freisetzungsarten aus undichten Brennstabhüllen für zwei Leitnuklide zu bestimmen, die nach den Maßgaben aus 2.1.3 aus betrieblichen Erfahrungswerten festgelegt sind

Leitnuklid	Freisetzungsrates ( $\mu\text{CiMW}_{\text{th}}^{-1}\text{s}^{-1}$ )
I-131	0,6
Xe-133	0,9

Tabelle 2.1: Freisetzungsrates für Leitnuklide zur Bestimmung der Jod- und Edelgaskonzentration

Bei der Berechnung der Aktivitätskonzentrationen ist keine Kühlmittelentgasung zu unterstellen.

Ebenso wurden Nuklidspektrum und Nuklidinventare für die übrigen Spaltprodukte und Aktivierungsprodukte in Tabellen 2.2-2.4 bestimmt.

Nuklid	Konzentration (Ci/t)
Sr-89	$3 \cdot 10^{-3}$
Sr-90	$1 \cdot 10^{-4}$
Zr/Nb-95	$4 \cdot 10^{-4}$
Cs-134	$5 \cdot 10^{-2}$
Cs-137	$1 \cdot 10^{-1}$
Ce-141	$1 \cdot 10^{-2}$
Ce-144	$4 \cdot 10^{-2}$

Tabelle 2.2: Konzentrationen der Spaltprodukte außer Edelgas und Jodisotope

Np-239	$7 \cdot 10^{-3}$
Cm-242	$8 \cdot 10^{-8}$
Cm-244	$5 \cdot 10^{-9}$
Pu-238	$4 \cdot 10^{-9}$

Tabelle 2.3: Konzentration der Aktivierungsprodukte

Cr-51	$1 \cdot 10^{-2}$
Mn-54	$2 \cdot 10^{-3}$
Fe-59	$5 \cdot 10^{-4}$
Co-58	$6 \cdot 10^{-3}$
Co-60	$2 \cdot 10^{-3}$
Sb-122	$2 \cdot 10^{-3}$
Sb-124	$1 \cdot 10^{-3}$

Tabelle 2.4: Konzentration der aktivierten Korrosionsprodukte

Bei Störfällen mit nachfolgender Abschaltung muß die erhöhte Aktivitätskonzentration durch den Spiking-Effekt in Abhängigkeit von der Freisetzungsdauer aus dem Kühlkreislauf berücksichtigt werden. Für die radiologisch relevanten Isotope I-131, Cs-134 und Cs-137 ist hierbei ein exponentieller Anstieg mit einer Verdopplungszeit von

10 Minuten zu unterstellen, bis zu einem Maximalwert vom 30fachen der Ausgangskonzentration. Nach Erreichen des Höchstwertes kann die Wirksamkeit der Reinigungsanlage bei der Ermittlung der Kühlmittelaktivität miteinbezogen werden.

**2.2.2 Aktivitätsinventare im Hilfsanlagengebäude**

Die Aktivitätsinventare von Behältern im Hilfsanlagengebäude sowie der Abgasanlage sind derart anzusetzen, daß gemäß 2.1.3 aufgrund der Betriebserfahrungen damit gerechnet werden kann, daß für die ergebnisrelevanten Nuklide in 95% der Betriebszeit gleiche oder niedrigere Werte vorliegen. Liegen statistisch hinreichende Werte hierfür nicht vor, sind diese Inventare mit der in 2.2.1 spezifizierten Kühlmittelaktivität unter Berücksichtigung der vorgesehenen Betriebsweise dieser Systeme zu errechnen.

**2.3 Rückhaltung freigesetzter radioaktiver Stoffe**

Die Rückhaltung freigesetzter radioaktiver Stoffe durch Systeme, deren Wirksamkeit im Störfall gewährleistet werden kann, ist entsprechend der Auslegung und der Funktion des jeweiligen Rückhaltesystems sowie entsprechend den Eigenschaften der freigesetzten radioaktiven Stoffe und deren Transportmedien zu berücksichtigen.

Die Rückhaltung durch Kondensation an kalten Strukturen kann berücksichtigt werden, wenn nachgewiesen ist, daß die getroffenen Annahmen konservativ sind.

Werden zur Reduzierung der Aktivitätsabgabe Abluftfilter eingesetzt, so sind folgende Abscheidegrade anzunehmen:

Betriebliche Filter:		
Edelgase	0	%
Jod in organischer Form	90	%
Jod in elementarer Form	99	%
Schwebstoffe	99,9	%
Störfallfilter:		
Edelgase	0	%
Jod in organischer Form	99	%
Jod in elementarer Form	99,99	%
Schwebstoffe	99,9	%

**2.4 Freisetzung radioaktiver Stoffe aus Räumen und Gebäudeteilen**

**2.4.1 Leckrate des Sicherheitsbehälters**

Den Berechnungen zum zeitlichen Verlauf der Leckrate kann die aus den Störfallanalysen resultierende Druck-Zeitfunktion zugrunde gelegt werden. Der Leckratenverlauf ist mit den Festlegungen der KTA-Regel 3405: Integrale Leckratenprüfung des Sicherheitsbehälters mit der Absolutdruckmethode, zu berechnen. Falls zur weiteren Rechenvereinfachung die zeitliche Änderung des Druckes nicht berücksichtigt werden soll, ist konservativerweise die Auslegungsleckrate für die Dauer von 24 Stunden konstant anzusetzen. Nach diesem Zeitraum braucht keine weitere Leckrate unterstellt zu werden.

Die Menge der bis zum Eintritt des Lüftungsabschlusses aus dem Sicherheitsbehälter ausströmenden radioaktiven Stoffe ist störfallspezifisch zu bestimmen.

### 3 Annahmen und Parameter für in ihren radiologischen Auswirkungen zu analysierende Störfälle

Im folgenden sind die für die Berechnung der radiologischen Auswirkungen der radiologisch repräsentativen Störfälle ausschlaggebenden anlagentechnischen Annahmen und Parameter spezifiziert.

#### 3.1.1 Leck in der Hauptkühlmittelleitung (I.1.1)

##### a) Aktivitätsfreisetzung in die Sicherheitsbehälteratmosphäre

Es ist die Primärkühlmittelmenge zu bestimmen, die aus der Leckstelle entsprechend einem Leckquerschnitt von 2 F der Hauptkühlmittelleitung austritt. Die Aktivitätskonzentration im Primärkühlmittel ist gemäß 2.2 anzusetzen.

Für die Freisetzung in die Sicherheitsbehälteratmosphäre sind zwei Phasen zu unterscheiden:

Phase 1 (0-20 s): Freisetzung während der blow-down-Phase:

Es ist zu unterstellen, daß die im ausströmenden Kühlmittel sich befindenden Edelgase vollständig in die Sicherheitsbehälter-Atmosphäre freigesetzt werden: die gewichtsbezogene Konzentration der übrigen Stoffe ist im entstehenden Dampf mit 10% der verbleibenden flüssigen Phase anzusetzen.

Es ist anzunehmen, daß das luftgetragene Halogen zu 10% in elementarer Form und zu 90% aerosolförmig vorliegt.

Phase 2: Freisetzung während der Wiederauffüll- und Flutphase:

Es ist zu unterstellen, daß insgesamt 10% aller Brennstäbe während der Wiederauffüll- und Flutphase versagen, sofern nicht durch eine Analyse ein niedrigerer Wert nachgewiesen ist.

Für die Freisetzung aus den geborstenen Brennstäben sind zwei Wege zu unterscheiden.

Berstfreisetzung:

Folgende Anteile, bezogen auf das Inventar der defekten Brennstäbe, werden spontan beim Versagen freigesetzt.

Edelgase	10	%
Halogene, Alkalimetalle	1	%
Sonstige Feststoffe	0,01	%

Im Reaktordruckbehälter, auf dem Transportweg in den Sicherheitsbehälter und in diesem selbst wird durch schnelle Abscheideprozesse ein Anteil zurückgehalten und in die Wasserphase überführt.

Folgende Anteile entkommen in die Sicherheitsbehälteratmosphäre und sind dort als gleichverteilt anzunehmen.

Edelgase	100	%
Halogene, Alkalimetalle	10	%
Sonstige Feststoffe	1	%

Freisetzung durch Auslaugung:

Während und nach der Wiederauffüll- und Flutphase einschließlich Sumpfbetrieb wird das nach der Berstfreisetzung verbleibende Spaltraminventar der radioaktiven Spaltprodukte durch das Notkühlwasser aus den defekten Brennstäben ausgelaugt und gelangt in die wässrige Phase. Für die Berechnung ist als Flüssigkeitsvolumen das maximale Sumpfvolumen zu unterstellen.

Folgende Freisetzungssanteile, bezogen auf das Inventar der defekten Brennstäbe, sind zu unterstellen

Halogene, Alkalimetalle	5	%
Sonstige Feststoffe	0,5	%

Volumenbezogenes Verteilungsgleichgewicht

Langsame Austauschprozesse zwischen der Gas- und Wasserphase führen mit einer Halbwertszeit von 7 Stunden zu einem Konzentrationsgleichgewicht ent-

sprechend einem Verteilungskoeffizienten von  $10^4$  zwischen der Jodkonzentration im Sumpfwasser und in der Sicherheitsbehälteratmosphäre.

Aufgrund der chemischen Form der übrigen Spaltprodukte ist ein Übertritt in die Gasphase nicht zu unterstellen.

- b) Freisetzung aus dem Sicherheitsbehälter  
Neben der Freisetzung aus dem Sicherheitsbehälter in den Ringraum entsprechend den in Kap. 2.4.1 spezifizierten Annahmen zur Leckrate des Sicherheitsbehälters, ist bis zum Lüftungsabschluß entsprechend dem Anlagenkonzept eine Freisetzung der nach a) gleichverteilt in der Atmosphäre der Anlagenräume vorhandenen Radionuklide gemäß Lüftungskonzept über die Filter der Unterdruckhaltung anzusetzen.

- c) Freisetzung aus dem Ringraum  
Für die aus dem Sicherheitsbehälter in den Ringraum übergetretene Aktivität wird eine Gleichverteilung im Ringraumvolumen angenommen.

##### 1. Phase 0 - 5 min

In dieser Phase tritt infolge der Volumenausdehnung des Sicherheitsbehälters ein Überdruck im Ringraum auf: es ist ein Betrieb der Fortluftanlage sowie eine ungefilterte Abgabe der Ringraumabluft bis zum Zeitpunkt 5 Minuten zu unterstellen.

Wegen des frühestmöglichen Versagenszeitpunkts von Brennstäben (in der Wiederauffüll- und Flutphase) und der Transportzeiten im Reaktordruckbehälter und im Sicherheitsbehälter ist ein wesentlicher Beitrag aus den versagenden Brennstäben zur Aktivität im Ringraum erst nach 2 Minuten anzunehmen.

##### 2. Phase 5 min - 24 h

Die aus dem Sicherheitsbehälter entsprechend der berechneten Leckraten in den Ringraum übergetretene Aktivität wird mit der Lüftungsrate der Ringraumabsauganlage über Störfallfilter nach 2.3 und den Kamin an die Umgebung abgegeben.

Im Ringraum ist der Anteil organisch gebundener Halogene an den Gesamthalogenen mit 50% anzunehmen. Der Rest ist in der Berechnung wie elementare Halogene zu behandeln.

#### 3.1.2 Leck in einer primärkühlmittelführenden Meßleitung (I.4.2)

##### a) Aktivitätsfreisetzung

Die in einen Meßumformerraum im Ringraum ausströmende Menge an Primärkühlmittel ist zu bestimmen. Eine manuelle Absperrung der gebrochenen Leitung ist entsprechend den Maßgaben aus 2.1.2 zu unterstellen.

Die Aktivitätskonzentration im Primärkühlmittel ist nach den Festlegungen aus 2.2 anzusetzen.

Eine Aktivitätserhöhung im Primärkühlmittel durch Spiking ist in dem Maße zu berücksichtigen, wie die Leckabsperrung verzögert zur Reaktorabschaltung durchgeführt wird.

Ein Teil des ausströmenden Primärkühlmittels verdampft spontan gemäß der Enthalpiebilanz des Auströmvorgangs.

Hierbei erfolgt eine Aufkonzentration von Jod und sonstigen Feststoffen im wässrigen Anteil. Der Austrag der Aktivität erfolgt mit dem Dampfstrom in die Ringraumfortluft zum Kamin.

Edelgase:

100% der Aktivität im ausströmenden Primärkühlmittel

Jod und sonstige Feststoffe:

Entsprechend dem Dampfstrom mit seiner Feuchte bei Verlassen des Meßumformerraumes. Die Restfeuchte besteht aus dem aufkonzentrierten Primärkühlmittel.

Es ist zu unterstellen, daß die gewichtsbezogene Aktivitätskonzentration des Dampfes inklusive Dampf-feuchte 10% der Konzentration des ausgeströmten nicht verdampften Kühlmittels beträgt.

Es ist zu unterstellen, daß die luftgetragenen Halogene zu 10% in elementarer Form und zu 90% aerosolförmig vorliegen.

b) Rückhaltung

Sind nach den Maßgaben aus 2.1.2 geeignete Signale (z. B. aus Aktivitätsmeßstellen im Ringraum oder im Kamin) vorhanden, so ist nach 10 Minuten die Wirksamkeit einer zuschaltbaren Filteranlage mit den in 2.3 spezifizierten Abscheidefaktoren zu unterstellen.

c) Art der Freisetzung

Außerhalb des Bruchraums ist keine Vermischung des Dampfes mit der umgebenden Atmosphäre zu unterstellen. Entsprechend der Luftwechsellzahl im Bruchraum wird der Dampf mit den in ihm enthaltenen übergetretenen radioaktiven Stoffen entsprechend dem Lüftungskonzept über Kamin an die Umgebung abgegeben.

**3.1.3 Leck in einer Frischdampfleitung hinter der äußeren Absperrarmatur mit gleichzeitigem Auftreten von Dampferzeugerheizrohrschäden (I.3.2)**

a) Aktivitätsfreisetzung

Die Gesamtleckgröße in der Frischdampfleitung ist anzusetzen entsprechend einem Ausströmquerschnitt von 2 F.

Das Leck wird abgesperrt durch die automatische Erkennung des Druckabfalls ( $-\Delta p / \Delta t > \max.$ ). Im Dampfersauger des defekten Frischdampfleitungsstranges sind Heizrohrschäden entsprechend einer Gesamtleckgröße von 2 F eines Heizrohres in der Nähe des Rohrbodens zu unterstellen. Der Eintritt des Notstromfalls ist zu unterstellen.

Die Isolierung des defekten Dampferzeugers ist nach 2.1.2 zu unterstellen.

Sind Maßnahmen vorgesehen, den Ansprechdruck des sekundärseitigen Dampferzeugersicherheitsventils und des Abblaseregelventils hochzusetzen, so sind diese entsprechend zu berücksichtigen.

Als Aktivität im Primärkühlmittel ist die in 2.2.1 spezifizierte, im Sekundärkühlmittel die für den Langzeitbetrieb zulässige Aktivität im Frischdampf zu unterstellen.

Die Überstromrate des Primärkühlmittels in den Sekundärkreis und die Frischdampf-Ausströmrates sind entsprechend den thermo-fluiddynamischen Analysen anzunehmen.

Die Aktivitätsfreisetzung mit dem ausströmenden Frischdampf ist in zwei Phasen zu betrachten:

Phase 1 (0 - 5 s): (vom Störfalleintritt bis zum Schließen der Frischdampfabsperarmatur, in diesem Zeitraum ist das Versagen der Feinabscheidung zu unterstellen)

- Ausströmen des vor dem Störfalleintritt bereits vorhandenen Frischdampfes.

Aktivitätsfreisetzung: Entsprechend der unterstellten Aktivitätskonzentration im Frischdampf.

Diese Aktivitätsfreisetzung ist im Rahmen der Gesamtfreisetzung für die radiologische Analyse nicht relevant.

- Ausströmen des nach dem Störfalleintritt gebildeten Dampfes aus dem Inventar des Steigraums unter Berücksichtigung der Transportwege.

Aktivitätsfreisetzung: Entsprechend der unterstellten Aktivitätskonzentration im Frischdampf. Die zusätzliche Freisetzung von Radionukliden aus dem in den Sekundärkreis übergeströmten Primärkühlmittel mit dem Dampf bzw. der Dampfweuchte ist vernachlässigbar und im Rahmen der Gesamtfrei-

setzung für die radiologische Analyse nicht relevant.

- Nach dem Überfluten der Tropfen-Feinabscheider durch die erhöhte Dampfentnahme Beginn von Gemischausströmung, die durch das Schließen der Frischdampfabsperarmatur unterbrochen wird (Beginn der Gemischausströmung nach ca. 4 s, Frischdampfabsperarmatur geschlossen nach ca. 5 s).

Aktivitätsfreisetzung: Entsprechend der ausgetretenen Gemischmenge, wobei das Gemisch aus dem im Steigraum befindlichen Sekundärinventar und dem übergetretenen Primärkühlmittel zusammengesetzt und dieses Sekundärinventar mit dem übergetretenen Primärkühlmittel vollständig durchmischt ist. Bei der Festlegung der ausgetretenen Gemischmenge ist die Drosselwirkung der sich schließenden Frischdampfabsperarmatur zu berücksichtigen.

Es ist zu unterstellen, daß durch Versprühen und Verdampfen der flüssigen Phase des ausströmenden Gemischs ein vollständiger Übergang in Dampf und Dampfweuchte stattfindet.

Die chemische Form des Jods im Dampf ist zu 10% elementar und zu 90% in aerosolgebundener Form anzunehmen.

Phase 2 (5 s-30 min): (nach Schließen der Frischdampfabsperarmatur bis zur Isolierung des defekten Dampferzeugers)

- Edelgase  
100% der Aktivität im überströmenden Primärkühlmittel
- Halogene und sonstige Feststoffe:  
Entsprechend dem Restfeuchtegehalt von 0,25% des über das Abblaseventil abgegebenen Frischdampfes bei vollständiger Durchmischung des übergetretenen Primärkühlmittels mit dem Dampferzeuger-Inhalt unter Berücksichtigung des zeitlichen Verlaufs der Frischdampfabgabe sowie der durch Spiking erhöhten Primärkühlmittelkonzentration.

b) Rückhaltung

Es ist keine Rückhaltung zu unterstellen.

c) Art der Freisetzung

Bis zum Schließen der Frischdampfabsperarmatur werden radioaktive Stoffe am Bruchort an die Umgebung abgegeben. Nach Schließen der Frischdampfabsperarmatur wird weiterhin radioaktiver Dampf über das Abblaseregelventil des betroffenen Dampferzeugers aus dem Sekundärkreis freigesetzt.

Bei der Berechnung der Freisetzung können begründete Überhöhungseffekte berücksichtigt werden.

Die chemische Form des Jods im Dampf ist zu 10% elementar und zu 90% in aerosolgebundener Form anzunehmen.

**3.1.4 Langdauernder Ausfall der Hauptwärmesenke bei betrieblichen Leckagen an den Dampferzeugerheizrohren (I.3.1)**

a) Aktivitätsfreisetzung

Die über die sekundärseitigen Abblaseregelventile an die Umgebung abgegebene Dampfmenge ist zu bestimmen.

Während des Abblasevorgangs ist die betrieblich maximal zulässige Aktivitätskonzentration im Sekundärampf zugrunde zu legen. Dieser Aktivitätsgrenzwert muß die Spikingeffekte und Betriebsleckagen einschließen.

Für die Berechnungen ist die im für den Notstromfall geplanten Abwehrkonzept angegebene Abblasezeit anzunehmen.

- b) Rückhaltung  
Eine Rückhaltung ist nicht zu unterstellen.
- c) Freisetzung an die Umgebung  
Nach dem Schließen der Absperrventile werden die radioaktiven Stoffe über die Abblaserregelventile aus dem Sekundärkreis freigesetzt. Zusätzlich wird während der ersten 30 Sekunden Dampf über die Turbine an den Kondensator abgegeben.  
Bei der Berechnung der Freisetzung können begründete Überhöhungseffekte berücksichtigt werden.  
Anteil der im Frischdampf befindlichen radioaktiven Stoffe, der dabei freigesetzt wird:  
alle Stoffe 100 %  
Die chemische Form des Jods im Dampf ist zu 10% elementar und zu 90% in aerosolgebundener Form anzunehmen.

### 3.1.5 Leck in einer Rohrleitung der Abgasanlage (I.5)

- a) Aktivitätsfreisetzung  
Es ist anzunehmen, daß die Primärkühlmittelentgasung bis 12 Stunden vor Störfalleintritt über einen Zeitraum von einem Monat nicht betrieben worden ist.  
Die Primärkühlmittelentgasung läuft mit maximaler Kapazität über einen Zeitraum von 12 Stunden unmittelbar vor Störfalleintritt.  
Die aufgrund der Betriebsdaten gemäß 2.1.3 maximal ausströmende Gasmenge in die Raumluft ist zu bestimmen.  
Es ist zu unterstellen, daß 100% des gasförmigen Aktivitätsinventar in die Raumluft freigesetzt werden.
- b) Rückhaltung  
Eine Rückhaltung ist gemäß dem verwandten Lüftungskonzept anzunehmen.
- c) Art der Freisetzung  
Die Freisetzung erfolgt unverzüglich über Kamin.

### 3.1.6 Brennelementbeschädigung bei der Handhabung (I.6)

- a) Aktivitätsfreisetzung  
Zur Berechnung des gesamten Aktivitätsinventars eines Brennelementes ist von einer Einsatzzeit der Brennstäbe im Reaktor von 2,5 Vollastjahren auszugehen. Die anzunehmende Abklingzeit der Brennelemente beträgt 3 Tage.  
Es ist anzunehmen, daß sämtliche Brennstäbe einer äußeren Kante des beschädigten Brennelementes defekt werden.  
Es gelangen 10% der Edelgase des Aktivitätsinventars der defekten Brennstäbe in die Atmosphäre des Sicherheitsbehälters.  
5 % des Jodinventars der beschädigten Brennelemente gelangen ins Wasser. Zur Berechnung des Übertritts von Jod aus dem BE-Beckenwasser in die Sicherheitsbehälteratmosphäre ist von einem volumenbezogenen Konzentrationsverhältnis von Wasser zu Luft von  $10^5$  bei einem begrenzten Volumen von 20000 m<sup>3</sup> Luft und ca. 1500 m<sup>3</sup> Wasser auszugehen.  
Die chemische Form des luftgetragenen Jod, ist zu 90% elementar und zu 10% in organisch gebundener Form anzunehmen.
- b) Rückhaltung  
Der Lüftungsabschluß des Sicherheitsbehälters ist nach 2.1.2 als Handmaßnahme zu unterstellen. Ist ein automatischer Lüftungsabschluß aufgrund der Aktivitätsüberwachung m der Abluft vorgesehen, verkürzt sich diese Zeit entsprechend. Die anlagenspezifische Betriebsweise der Lüftungsanlage beim BE-Wechsel ist zu berücksichtigen.
- c) Art der Freisetzung  
Bis zum Erreichen des Lüftungsabschlusses ist anzunehmen,

daß die Fortluft gemäß dem anlagenspezifischen Lüftungskonzept über den Kamin abgegeben wird.

### 3.1.7 Leckage eines Behälters mit radioaktiv-kontaminiertem Wasser im Reaktorhilfsanlagen-gebäude (I.5)

- a) Aktivitätsfreisetzung  
Es ist das vollständige Auslaufen eines Abwasserverdampferbehälter zu unterteilen.  
Das Aktivitätsinventar ist nach den Maßgaben aus 2.2.2 zu berechnen.  
Für die Halogene und die sonstigen Feststoffe ist zu unterstellen, daß im verdampfenden Anteil von 1% eine gewichtsbezogene Aktivitätskonzentration von 5% der Konzentration des Konzentrats vorhanden ist.  
Es ist anzunehmen, daß das luftgetragene Jod zu 50% in elementarer Form und zu 50% in organischer Form vorliegt.
- b) Rückhaltung  
Ist die manuelle Zuschaltung betrieblicher Filter gemäß 2.1.2 vorgesehen, so ist deren Wirksamkeit nach 2.3 zu berücksichtigen.
- c) Freisetzung in die Umgebung  
Bis zur Einschaltung der betrieblichen Filteranlage ist eine Freisetzung gemäß der anlagenspezifischen Betriebsweise der Lüftungsanlage über den Kamin anzunehmen. Danach ist die Freisetzung entsprechend dem Abscheidegrad der Filter über den Kamin in die Umgebung zu berechnen.

### 3.1.8 Erdbebenauswirkungen im Reaktorhilfsanlagen-gebäude (I.7)

- a) Aktivitätsfreisetzung  
Es ist das vollständige Auslaufen eines Abwasserverdampferbehälters zu unterstellen.  
Das Aktivitätsinventar ist nach den Maßgaben aus 2.2.2 zu berechnen.  
Für die Halogene und die sonstigen Feststoffe ist zu unterstellen, daß im verdampfenden Anteil von 1% eine gewichtsbezogene Aktivitätskonzentration von 5% der Konzentration des ausgelaufenen, nicht verdampften Konzentrats vorhanden ist.  
Nach Beendigung des Ausströmvorgangs ist bei Jod zusätzlich noch ein Aktivitätsübertritt aus dem Wasser entsprechend einem volumenbezogenen Verteilungskoeffizienten von  $10^5$  bei einem Raumvolumen von 300 m<sup>3</sup> zu unterstellen.  
Es ist anzunehmen, daß das luftgetragene Jod zu 50% in elementarer Form und zu 50% in organischer Form vorliegt.
- b) Freisetzung in die Umgebung  
Kann ein Versagen der betrieblichen Filter im Hilfsanlagen-gebäude infolge Erdbeben nicht ausgeschlossen werden, so ist bei unterstelltem Lüftungsabschluß bei der Berechnung der radiologischen Auswirkungen für die Leckage aus dem Reaktorhilfsanlagen-gebäude von einer Luftwechselzahl von 1/d auszugehen.  
Als Freisetzungsdauer ist ein Zeitraum von 7 Tagen anzusetzen.

## 4 Berechnung der Strahlenexposition

Die Strahlenexposition ist für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen zu ermitteln. Eine Referenzperson zur Ermittlung der Körperdosen im Sinne von § 28 Abs. 3 Strahlenschutzverordnung ist eine Person (Erwachsener, Kleinkind) mit den in den Tabellen 2 und 3 in Anhang 1 beschriebenen Lebensgewohnheiten. Die ungünstigsten Einwirkungsstellen sind die Stellen in der

Umgebung einer Anlage bei denen aufgrund der Verteilung der emittierten radioaktiven Stoffe in der Umwelt unter Berücksichtigung realer Nutzungsmöglichkeiten<sup>2)</sup> durch Aufenthalt und Verzehr dort erzeugter Lebensmittel die höchste Strahlenexposition der Referenzperson zu erwarten ist.

Für den jeweiligen Auslegungsstörfall ist die Strahlenexposition als Körperdosis für die Referenzperson Erwachsener für einen Zeitraum von 50 Jahren und für die Referenzperson Kleinkind für einen Zeitraum von 70 Jahren zu berechnen.

Die im folgenden angegebenen Berechnungsverfahren berücksichtigen, daß im allgemeinen die Emission radioaktiver Stoffe und die Ausbreitungsbedingungen beim Störfall zeitlich nicht konstant sind. Deshalb wird der Zeitraum, in dem radioaktive Stoffe emittiert werden, ausgehend von der ersten Emission, in Zeitintervalle  $k$  unterteilt (siehe Kapitel 4.3). Zur Vereinfachung wird für die Berechnung der Dosis angenommen, daß die Emission in einem Zeitintervall jeweils am Anfang des Zeitintervalls erfolgt. Bei zeitlich ungleichmäßigen Emissionen, bei denen die höchsten Werte nicht im ersten Zeitintervall liegen, ist darauf zu achten, daß die Emissionen, die zu den höchsten Strahlenexpositionen führen, mit den ungünstigsten Ausbreitungsbedingungen (vergl. Abschnitt 4.4) korreliert werden.

#### 4.1 Expositionspfade

Für die Dosisberechnung aus Emissionen radioaktiver Stoffe mit Luft im jeweiligen Auslegungsstörfall sind folgende Expositionspfade zu berücksichtigen:

zur Ermittlung der äußeren Strahlenexposition:

- Exposition durch Betastrahlung innerhalb der Abluffahne (Betasubmersion);
- Exposition durch Gammastrahlung aus der Abluffahne (Gammastubmersion);
- Exposition durch Gammastrahlung der am Boden abgelagerten radioaktiven Stoffe (Bodenstrahlung);

zur Ermittlung der inneren Strahlenexposition:

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

Expositionspfade bleiben unberücksichtigt oder zusätzliche Expositionspfade sind zu berücksichtigen, wenn dies aufgrund der örtlichen Besonderheiten des Standortes begründet ist.

Bei der Berechnung der Strahlenexposition ist wie folgt zu verfahren:

Unter Berücksichtigung realer Nutzungsmöglichkeiten sind die Stellen zugrunde zu legen, an denen sich 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 Referenzperson gemäß Anhang 1, Tabelle 2 durch den Verzehr von solchen Lebensmitteln ergeben, die zu den höchsten Teilkörperdosen oder zur höchsten effektiven Dosis führen.

<sup>2)</sup> Unter Einbeziehung auch möglicher künftiger Änderungen der Besiedlung oder künftigen Nutzung, soweit diese nicht prinzipiell aufgrund der ökologischen Verhältnisse außer Betracht bleiben können.

Die effektive Dosis kann vereinfachend mit den einzelnen radionuklidspezifischen Effektivdosisfaktoren berechnet werden.

#### 4.2 Berechnung der äußeren Strahlenexposition

Die Dosis im Organ oder Gewebe  $T$  durch äußere Strahlenexposition durch das Radionuklid  $r$  ergibt sich aus der Summe der Dosis durch Bodenstrahlung und der Dosis durch Gammastubmersion und im Falle der Haut zusätzlich durch Betastubmersion.

Für alle Organe oder Gewebe  $T$  ist:

$$H_{T,a,r} = H_{T,\beta,r} + H_{T,\gamma,r} + H_{T,b,r}$$

Hierin bedeuten:

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

$H_{T,\beta,r}$ : Dosis in der Hauttiefe 0,07 mm durch Betastubmersion durch das Radionuklid  $r$  in Sv

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

$H_{T,b,r}$ : Dosis im Organ oder Gewebe  $T$  durch Gammastrahlung über kontaminiertem Boden während der Expositionszeit von 50 Jahren für den Erwachsenen bzw. 70 Jahren für das Kleinkind durch das Radionuklid  $r$  in Sv

Die Dosis im Organ oder Gewebe  $T$  durch äußere Strahlenexposition aus der Emission radioaktiver Stoffe mit Luft für den jeweiligen Auslegungsstörfall ergibt sich zu:

$$H_{T,a} = \sum_r H_{T,a,r} \quad (4.2)$$

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

##### 4.2.1 Strahlenexposition durch Betastrahlung innerhalb der Abluffahne (Betasubmersion)

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

$$H_{T,\beta,r} = g_{\beta,r,T} \cdot \sum_{k=1}^N Q_{r,k} \cdot \chi_k \quad (4.3)$$

Dabei ist:

$H_{T,\beta,r}$ : Dosis in der Hauttiefe 0,07 mm durch Betastubmersion durch das Radionuklid  $r$  in Sv

$Q_{r,k}$ : freie Aktivität des Radionuklids  $r$  im Zeitintervall  $k$  in Becquerel

$\chi_k$ : Störfallausbreitungsfaktor im Zeitintervall  $k$  in  $s \cdot m^{-3}$ , s. Kapitel 4.4.1

$N$ : Zahl der Zeitintervalle, in denen die Aktivitätsfreisetzung erfolgt

$g_{\beta,r,T}$ : Dosisleistungsfaktor für die Haut in 0,07 mm Hauttiefe durch Betastubmersion durch das Nuklid  $r$  in  $Sv \cdot m^3 \cdot Bq^{-1} \cdot s^{-1}$ , für alle anderen Organe ist  $g_{\beta,r,T} = 0$ , s. Kapitel 4.5.1

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.

#### 4.2.2 Strahlenexposition durch Gammastrahlung aus der Abluffahne (Gammassubmersion)

Bei der Berechnung der Dosis durch Gammastrahlung aus der Abluffahne sind wegen der großen Reichweite der Gamma-Quanten die Beiträge aus der gesamten Abluffahne zu berücksichtigen. Es ist über alle Volumenelemente der Abluffahne 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 0,2 MeV, zugrunde zu legen. Damit ergibt sich:

$$H_{T,\gamma,r} = g_{\gamma,r,T} \cdot \sum_{k=1}^N Q_{r,k} \cdot (f_r \cdot \chi_{\gamma 1,k} + (1 - f_r) \cdot \chi_{\gamma 2,k}) \quad (4.4)$$

Es ist zulässig die Störfallausbreitungsfaktoren für die Gamma-Energien unter 0,2 MeV durch den Störfallausbreitungsfaktor für 0,1 MeV ( $\chi_{\gamma 2,k}$ ) und für die höheren Gamma-Energien durch den Störfallausbreitungsfaktor für 1 MeV ( $\chi_{\gamma 1,k}$ ) zu beschreiben.

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

- $H_{T,\gamma,r}$ : Dosis im Organ oder Gewebe T durch Gammastrahlung durch das Radionuklid r in Sv  
 $\chi_{\gamma 1,k}$ : Störfallausbreitungsfaktor für Gammassubmersion in  $s \cdot m^2$  für das Zeitintervall k und die Energiegruppe 1 bei Gamma-Energien von 1 MeV, s. Kapitel 4.4.4  
 $\chi_{\gamma 2,k}$ : Störfallausbreitungsfaktor für Gammassubmersion in  $s \cdot m^2$  für das Zeitintervall k und die Energiegruppe 2 bei Gamma-Energien von 0,1 MeV  
 $g_{\gamma,r,T}$ : Dosisleistungsfaktor für das Organ oder Gewebe T durch Gammassubmersion des Radionuklids r in  $Sv \cdot m^2 \cdot Bq^{-1} \cdot s^{-1}$ , s. Kapitel 4.5.2  
 $f_r$ : Anteil des Gamma-Energieemissionsspektrums des Radionuklids r oberhalb der Energie 0,2 MeV

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

mit:

- $E_i$ : Gamma-Energie in MeV  
 $Y_i$ : pro Zerfall emittierte Gamma-Quanten der Energie  $E_i$

Folgende Vereinfachung für die Ausbreitungsfaktoren für Gammassubmersion ist zulässig:

$$\chi_{\gamma 2,k} = 2 \chi_{\gamma 1,k}$$

Damit vereinfacht sich die Gleichung zur Berechnung der Dosis zu:

$$H_{T,\gamma,r} = g_{\gamma,r,T} \cdot \sum_{k=1}^N Q_{r,k} \cdot \chi_{\gamma 1,k} \cdot (2 - f_r) \quad (4.5)$$

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.

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

Die Dosis ergibt sich aus den Beiträgen der Strahlenexposition infolge der durch Fallout und Washout abgelagerten radioaktiven Stoffe. Die Dosis errechnet sich nach folgender Formel:

Erwachsener:

$$H_{T,b,r} = g_{b,r,T}^E \cdot \left[ \frac{1 - \exp(-\lambda_r \cdot t_1)}{\lambda_r} + b \cdot \frac{\exp(-\lambda_r \cdot t_1) - \exp(-\lambda_r \cdot t_{B0,50})}{\lambda_r} \right] \cdot \sum_{k=1}^N (F_{r,k} + W_{r,k}) \cdot Q_{r,k} \quad (4.6)$$

Kleinkind:

$$H_{T,b,r} = \left\{ g_{b,r,T}^{KK} \cdot \left[ \frac{1 - \exp(-\lambda_r \cdot t_1)}{\lambda_r} + b \cdot \frac{\exp(-\lambda_r \cdot t_1) - \exp(-\lambda_r \cdot t_2)}{\lambda_r} \right] + g_{b,r,T}^{KK} \cdot b \cdot \frac{\exp(-\lambda_r \cdot t_2) - \exp(-\lambda_r \cdot t_{B0,70})}{\lambda_r} \right\} \cdot \sum_{k=1}^N (F_{r,k} + W_{r,k}) \cdot Q_{r,k} \quad (4.7)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

- $H_{T,b,r}$ : Dosis im Organ oder Gewebe T durch Gammastrahlung über kontaminiertem Boden während der Expositionszeit von 50 Jahren für den Erwachsenen bzw. 70 Jahren für das Kleinland durch das Radionuklid r in Sv  
 $F_{r,k}$ : Störfall-Falloutfaktor im Zeitintervall k für das Nuklid r in  $m^2$ , s. Kapitel 4.4.2  
 $W_{r,k}$ : Störfall-Washoutfaktor im Zeitintervall k für das Nuklid r in  $m^2$ , s. Kapitel 4.4.3  
 $\lambda_r$ : physikalische Zerfallskonstante des Nuklids r in  $s^{-1}$   
 $t_{B0,50}$ : Expositionszeit von 50 Jahren für den Erwachsenen, s. Tabelle 1 im Anhang 1  
 $t_{B0,70}$ : Expositionszeit von 70 Jahren für das Kleinkind, s. Tabelle 1 im Anhang 1  
 $t_1$ : Expositionszeit von 1 Jahr, s. Tabelle 1 im Anhang 1  
 $t_2$ : Expositionszeit von 20 Jahren, s. Tabelle 1 im Anhang 1  
 $b$ : Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Bodenrauhigkeit und des Eindringens in tiefere Bodenschichten, s. Tabelle 1 im Anhang 1

$g_{b,r,T}^E$ ,  $g_{b,r,T}^{KK}$ : Dosisleistungsfaktor für den Erwachsenen bzw. das Kleinkind für das Organ oder Gewebe T durch Bodenstrahlung des Radionuklids r in  $Sv \cdot m^2 \cdot Bq^{-1} \cdot s^{-1}$ , s. Kapitel 4.5.2

Bilden sich nach der Ablagerung radioaktiver Stoffe aus Emissionen im Auslegungsfall auf dem Boden Tochternuklide, so ist bei der Berechnung der Dosis der Dosisleistungsfaktor des primären Radionuklids mit Berücksichtigung der Tochternuklide anzuwenden.

**4.3 Berechnung der inneren Strahlenexposition**

Die Dosis im Organ oder Gewebe T durch innere Strahlenexposition aus der Emission radioaktiver Stoffe mit Luft im Auslegungstörfall durch das Radionuklid r ergibt sich aus der Summe der Beiträge durch Inhalation und Ingestion.

Es ist:

$$H_{T,i,r} = H_{T,h,r} + H_{T,g,r} \quad (4.8)$$

Hierin bedeuten:

- $H_{T,i,r}$ : Dosis im Organ oder Gewebe T durch innere Strahlenexposition bei der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft durch das Radionuklid r in Sv
- $H_{T,h,r}$ : Dosis im Organ oder Gewebe T durch Inhalation des Radionuklids r in Sv
- $H_{T,g,r}$ : Dosis im Organ oder Gewebe T durch Ingestion des Radionuklids r in Sv über einen Aufnahmezeitraum von 50 Jahren für den Erwachsenen bzw. 70 Jahren für das Kleinkind

Die Dosis im Organ oder Gewebe T durch innere Strahlenexposition aus der Emission radioaktiver Stoffe mit Luft im Auslegungstörfall ergibt sich zu:

$$H_{T,i} = \sum_r H_{T,i,r} \quad (4.9)$$

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

**4.3.1 Strahlenexposition durch Aufnahme radioaktiver Stoffe mit der Atemluft (Inhalation)**

Die Strahlenexposition durch Inhalation des Radionuklids r ist von der Aktivitätskonzentration der Luft am betrachteten Ort abhängig. Die Dosis beträgt für das Organ oder Gewebe T:

$$H_{T,h,r} = g_{h,r,T} \cdot \sum_{k=1}^N Q_{r,k} \cdot \chi_k \cdot \dot{V}_k \quad (4.10)$$

- Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:
- $H_{T,h,r}$ : Dosis durch Inhalation des Radionuklids r im Organ oder Gewebe T in Sv
- $\dot{V}_k$ : Atemrate in  $m^3 \cdot s^{-1}$  im Zeitintervall k, s. Tabelle 3 im Anhang 1
- $g_{h,r,T}$ : Dosisfaktor für das Organ oder Gewebe T durch Inhalation des Radionuklids r in  $Sv \cdot Bq^{-1}$ , s. Kapitel 4.5.3

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

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

Die Strahlenexposition durch Ingestion ergibt sich durch die mit der Nahrung aufgenommenen radioaktiven Stoffe. Es sind die vier Nahrungsmittelgruppen Blattgemüse, sonstige pflanzliche Produkte, Milch und Fleisch zu betrachten.

Die Kontamination der pflanzlichen Nahrungsmittel bzw. des Weidegrases erfolgt durch Ablagerung von radioaktiven Stoffen auf der Vegetation und durch Aufnahme von radioaktiven Stoffen aus kontaminiertem Boden über die

Wurzeln. Die Zufuhr der Aktivität zum Menschen erfolgt direkt (Blattgemüse, sonstige pflanzliche Produkte) sowie indirekt (Milch, Fleisch).

Die Ingestionsdosis ergibt sich nach folgender Formel: Erwachsener:

$$H_{T,g,r} = g_{g,r,T}^E \cdot \left\{ \sum_{k=1}^L [J_{g1,k} (F_{r,k} + f_w \cdot W_{r,k}) \cdot Q_{r,k}] + \sum_{k=1}^N [(J_{g2,1} + J_{g2,2}) \cdot (F_{r,k} + W_{r,k}) \cdot Q_{r,k}] \right\} \quad (4.11)$$

Kleinkind:

$$H_{T,g,r} = g_{g,r,T}^{KK} \cdot \left\{ \sum_{k=1}^L [J_{g1,k} (F_{r,k} + f_w \cdot W_{r,k}) \cdot Q_{r,k}] + \sum_{k=1}^N [J_{g2,1} (F_{r,k} + W_{r,k}) \cdot Q_{r,k}] + g_{g,r,T}^E \cdot \sum_{k=1}^N [J_{g2,3} (F_{r,k} + W_{r,k}) \cdot Q_{r,k}] \right\} \quad (4.12)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

- $H_{T,g,r}$ : Dosis durch Ingestion des Radionuklid r im Organ oder Gewebe T in Sv über einen Aufnahmezeitraum von 50 Jahren für den Erwachsenen bzw. 70 Jahren für das Kleinkind
- $g_{g,r,T}^E$ : Dosisfaktor für das Organ oder Gewebe T durch Ingestion des Radionuklids r in  $Sv \cdot Bq^{-1}$  für den Erwachsenen, s. Kapitel 4.5.3
- $g_{g,r,T}^{KK}$ : Dosisfaktor für das Organ oder Gewebe T durch Ingestion des Radionuklids r in  $Sv \cdot Bq^{-1}$  für das Kleinkind, s. Kapitel 4.5.3
- $J_{g1,k}$ : Faktor, der den Aktivitätstransfer von oberirdischen Pflanzenteilen zu den vier Nahrungsmittelgruppen für das Zeitintervall k beschreibt, in  $m^2$
- $J_{g2,1}$ : Faktor, der für das 1. Jahr den Aktivitätstransfer vom Boden zu den vier Nahrungsmittelgruppen beschreibt, in  $m^2$
- $J_{g2,2}$ : Faktor, der für das 2. bis 50. Jahr den Aktivitätstransfer vom Boden zu den vier Nahrungsmittelgruppen beschreibt, in  $m^2$
- $J_{g2,3}$ : Faktor, der für das 2. bis 70. Jahr den Aktivitätstransfer vom Boden zu den vier Nahrungsmittelgruppen beschreibt, in  $m^2$
- $f_w$ : Anteil der auf der Pflanze abgelagerten Aktivität (für Washout), s. Tabelle 1 im Anhang 1
- L: - im Umkreis von 2 000 m Radius: Zahl der Zeitintervalle bis 24 Stunden, in denen die Emission erfolgt  
- außerhalb des Umkreises von 2 000 m Radius: L = N

Bei der Berechnung von  $J_{g1,k}$  wird davon ausgegangen, daß die Aufnahme der im Umkreis von 2 000 m Radius über oberirdische Pflanzenteile kontaminierten Nahrungsmittel und des in diesem Umkreis über oberirdische Pflanzenteile kontaminierten Futters einen Tag nach der ersten Emission eingestellt wird. Mit der Zeit  $t_k$  vom Anfang des Zeitintervalls k bis zum Zeitpunkt der Einstellung der Aufnahme kontaminierter Nahrungsmittel und bis zum Zeitpunkt der Einstellung der Aufnahme kontaminierten Futters bzw. bis zum Wachstumsende ergibt sich der Faktor  $J_{g1,k}$  zu:

$$J_{g1,k} = \frac{a_p}{\lambda_{eff,r}^{Pf}} (1 - \exp(-\lambda_{eff,r}^{Pf} \cdot t_k))$$

$$\cdot \left\{ \frac{U^{Bl}}{\gamma^{Bl}} + \frac{U^{Pf} \cdot \exp(-\lambda_r \cdot t^{Pf}_v)}{\gamma^{Pf}} + \frac{\epsilon^{Fu}}{\gamma^{Wd}} (U^{Mi} \cdot T^{Mi}_r \cdot \exp(-\lambda_r \cdot t^{Fl}_v)) \right\} \quad (4.13)$$

Bei der Beschreibung des Transfers der Radionuklide vom kontaminierten Boden zur Vegetation wird zur Vereinfachung - und weil der Einfluß einer Bodennutzungsunterbrechung bis zum Beginn der nächsten Vegetationsperiode in der Regel vernachlässigbar ist - von einer ununterbrochenen Bodennutzung bis zur Zeit  $t_{Bo,50}$  (50 Jahre für den Erwachsenen) bzw.  $t_{Bo,70}$  (70 Jahre für das Kleinkind) ausgegangen. Der Faktor  $J_{g2,1}$  beschreibt dabei den Transfer vom Emissionsbeginn bis zur nächsten Vegetationsperiode und die Faktoren  $J_{g2,2}$  und  $J_{g2,3}$  den Transfer von der nächsten Vegetationsperiode bis zum Ende des Betrachtungszeitraumes (50. Jahr für den Erwachsenen bzw. 70. Jahr für das Kleinkind).

Damit ergeben sich die Faktoren  $J_{g2,1}$ ,  $J_{g2,2}$  und  $J_{g2,3}$  zu:

$$J_{g2,1} = \frac{a_p}{\lambda^{Bo}_{eff,r}} (1 - \exp(-\lambda^{Bo}_{eff,r} \cdot t_1)) \cdot \left\{ \frac{T^{Pf}}{p^A} \cdot (U^{Bl} + U^{Pf} \cdot \exp(-\lambda_r \cdot t^{Pf}_v)) + \frac{T^{Wd} \cdot \epsilon^{Fu}}{p^{Wd}} \cdot (U^{Mi} \cdot T^{Mi}_r + U^{Fl} \cdot T^{Fl}_r \cdot \exp(-\lambda_r \cdot t^{Fl}_v)) \right\} \quad (4.14)$$

$$J_{g2,2} = \frac{a_p}{\lambda^{Bo}_{eff,r}} (\exp(-\lambda^{Bo}_{eff,r} \cdot t_1) - \exp(-\lambda^{Bo}_{eff,r} \cdot t_{Bo,50})) \cdot \left\{ \frac{T^{Pf}}{p^A} \cdot (U^{Bl} + U^{Pf} \cdot \exp(-\lambda_r \cdot t^{Pf}_v)) + \frac{\epsilon^{Fu} \cdot T^{Wd}}{p^{Wd}} \cdot (U^{Mi} \cdot T^{Mi}_r + U^{Fl} \cdot T^{Fl}_r \cdot \exp(-\lambda_r \cdot t^{Fl}_v)) \right\} \quad (4.15)$$

$$J_{g2,3} = \frac{a_p}{\lambda^{Bo}_{eff,r}} (\exp(-\lambda^{Bo}_{eff,r} \cdot t_1) - \exp(-\lambda^{Bo}_{eff,r} \cdot t_{Bo,70})) \cdot \left\{ \frac{T^{Pf}}{p^A} \cdot (U^{Bl} + U^{Pf} \cdot \exp(-\lambda_r \cdot t^{Pf}_v)) + \frac{\epsilon^{Fu} \cdot T^{Wd}}{p^{Wd}} \cdot (U^{Mi} \cdot T^{Mi}_r + U^{Fl} \cdot T^{Fl}_r \cdot \exp(-\lambda_r \cdot t^{Fl}_v)) \right\} \quad (4.16)$$

In den Formeln für  $J_{g1,k}$ ,  $J_{g2,1}$ ,  $J_{g2,2}$  und  $J_{g2,3}$  bedeuten:

- $a_p$ : Umrechnungsfaktor, s. Tabelle 1 im Anhang 1
- $U^{Bl}$ : Verzehrrate für Blattgemüse in  $kg \cdot a^{-1}$ , s. Tabelle 2 im Anhang 1
- $U^{Pf}$ : Verzehrrate für sonstige pflanzliche Produkte in  $kg \cdot a^{-1}$ , s. Tabelle 2 im Anhang 1
- $U^{Mi}$ : Verzehrrate für Milch in  $kg \cdot a^{-1}$ , s. Tabelle 2 im Anhang 1
- $U^{Fl}$ : Verzehrrate für Fleisch in  $kg \cdot a^{-1}$ , s. Tabelle 2 im Anhang 1
- $\lambda_r$ : physikalische Zerfallskonstante des Nuklids r in  $s^{-1}$
- $\lambda^{Pf}_{eff,r}$ : effektive Abklingkonstante des Nuklids r auf der Vegetation in  $s^{-1}$   
 $\lambda^{Pf}_{eff,r} = \lambda_r + 5,7 \cdot 10^{-7}$
- $\lambda^{Bo}_{eff,r}$ : effektive Verweilkonstante für das Verbleiben des Radionuklids r im Wurzelbereich der Pflanze in  $s^{-1}$   
 $\lambda^{Bo}_{eff,r} = \lambda_r + \lambda_M$
- $\lambda_M$ : Verweilkonstante des Radionuklids r aufgrund des Transports in tiefere Bodenschichten außerhalb des Wurzelbereichs in  $s^{-1}$ , s. Tabelle 5 im Anhang 1
- $t^{Pf}_v$ : Zeit zwischen Ernte und Verzehr von sonstigen pflanzlichen Produkten, s. Tabelle 1 im Anhang 1
- $t^{Fl}_v$ : Zeit zwischen Schlachten und Fleischverzehr, s. Tabelle 1 im Anhang 1
- $t_1$ : Nahrungsmittelaufnahme über das dem Emissionsbeginn folgende 1. Jahr, s. Tabelle 1 im Anhang 1

- $t_{Bo,50}$ : Nahrungsmittelaufnahme über die dem Emissionsbeginn folgenden 49 Jahre (Zeit nach der 1. Vegetationsperiode bis zum 50. Jahr), s. Tabelle 1 im Anhang 1
- $t_{Bo,70}$ : Nahrungsmittelaufnahme über die dem Emissionsbeginn folgenden 69 Jahre (Zeit nach der 1. Vegetationsperiode bis zum 70. Jahr), s. Tabelle 1 im Anhang 1
- $Y^{Bl}$ : Ertrag (Frischgewicht) von Blattgemüse bzw. sonstigen pflanzlichen Produkten in  $kg \cdot m^{-2}$ , s. Tabelle 1 im Anhang 1
- $Y^{Wd}$ : Ertrag (Frischgewicht) von Weidegras in  $kg \cdot m^{-2}$ , s. Tabelle 1 im Anhang 1
- $p^A$ : Flächentrockenmasse des Bodens in  $kg \cdot m^{-2}$  für pflanzliche Produkte und Blattgemüse, s. Tabelle 1 im Anhang 1
- $p^{Wd}$ : Flächentrockenmasse des Bodens in  $kg \cdot m^{-2}$  für Weidevegetation und Weidelandboden, s. Tabelle 1 im Anhang 1
- $T^{Pf}$ : Transferfaktor Boden-Pflanze bzw. Boden-Weidepflanze in  $kg$  Trockensubstanz Boden pro  $kg$  Feuchtsubstanz Pflanze, s. Tabelle 4 im Anhang 1
- $T^{Mi}_r$ : Transferfaktor Pflanze-Milch in  $d \cdot kg^{-1}$ , s. Tabelle 4 im Anhang 1
- $T^{Fl}_r$ : Transferfaktor Pflanze-Fleisch in  $d \cdot kg^{-1}$ , s. Tabelle 4 im Anhang 1
- $\epsilon^{Fu}$ : Futterkonsumrate der Weidetiere in  $kg$  Naßgewicht pro  $d$ , s. Tabelle 1 im Anhang 1
- $t_k$ : - für die im Umkreis von 2 000 m Radius kontaminierten Nahrungs- und Futtermittel: Zeit zwischen Beginn der Emission im Zeitintervall k und Einstellung des Verzehrs von kontaminierten Nahrungsmitteln und Futter in Sekunden  
- für die außerhalb des Umkreises von 2 000 m Radius kontaminierten Nahrungs- und Futtermittel: Zeit zwischen Beginn der Emission im Zeitintervall k und dem Ende des Wachstums in Sekunden

$$t_k = t' - \sum_{i=1}^{k-1} \Delta t_i$$

- $t'$ : - für die im Umkreis von 2 000 m Radius kontaminierten Nahrungs- und Futtermittel: Ingestionsdauer bzw. Zeit bis zur Einstellung des Verzehrs kontaminierter Nahrungsmittel und kontaminierten Futters nach Beginn der Emission in Sekunden, s. Tabelle 1 im Anhang 1  
- für die außerhalb des Umkreises von 2 000 m Radius kontaminierten Nahrungs- und Futtermittel: Wachstumszeit  $t_e$ , in Sekunden, s. Tabelle 1 im Anhang 1
- $k-1$   
 $\sum_{i=1}^{k-1} \Delta t_i$ : Zeit zwischen Beginn der Emission und Beginn des Zeitintervalls k in Sekunden

#### 4.4 Ausbreitung radioaktiver Stoffe und Umgebungskontamination

Bei der Berechnung der Aktivitätskonzentration der bei einem Störfall emittierten radioaktiven Stoffe in der Luft wird die Abluffahne durch eine zweidimensionale Gauß-Verteilung beschrieben. Dabei wird die Abluffahne am Boden vollständig reflektiert.

Bei Störfällen ist im allgemeinen die Emission kurz, und in diesen Fällen ist mit Kurzeitenausbreitungsfaktoren zu rechnen. Bei länger andauernden Emissionszeiten führen Veränderungen der meteorologischen Bedingungen wie Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Diffusionskategorie dazu, daß für längere Zeitphasen verminderte Kurz-

zeitausbreitungsfaktoren eingesetzt werden können. Die Emission und Ausbreitung radioaktiver Stoffe werden daher in aufeinanderfolgenden Zeitintervallen  $k$  betrachtet, in denen die Emissions- und Ausbreitungsbedingungen als konstant angenommen werden.

Für die einzelnen Zeitabschnitte  $k$  nach Beginn der Emission sind die in den folgenden Kapiteln (4.4.1 bis 4.4.4) angegebenen Störfallausbreitungsfaktoren einzusetzen. Bei der Berechnung der Strahlenexposition ist die für das Gesamtergebnis ungünstigste Diffusionskategorie an den ungünstigsten Aufpunkten anzunehmen.

**4.4.1 Störfallausbreitungsfaktoren  $\chi_k$  für die bodennahe Aktivitätskonzentration**

Die Störfallausbreitungsfaktoren sind bestimmt zur Dosisberechnung für die Expositionspfade Betasubmersion, Bodenstrahlung, Inhalation sowie für die Ingestion, s. Kapitel 4.2.1, 4.2.3, 4.3.1 und 4.3.2.

Zeitintervall $k$	Störfallausbreitungsfaktor $L$	
bis 8 Stunden	$\hat{\chi}_{j,max}$	$j = A...F$
8 bis 24 Stunden	$1/2 \hat{\chi}_{j,max}$	$j = C...F$
24 bis 72 Stunden	$1/4 \hat{\chi}_{j,max}$	$j = C...F$
3 bis 7 Tage	$1/8 \hat{\chi}_{j,max}$	$j = C...E$

Dabei ist:

$\hat{\chi}_{j,max}$ : Kurzzeitausbreitungsfaktor  $\hat{\chi}_j$  in Bodennähe (Ausbreitungsrichtung  $y = 0$ ) für die Diffusionskategorie aus der Menge  $j = A$  bis  $F$  für das Zeitintervall  $k$ , der zu der höchsten Gesamtdosis unter Berücksichtigung aller Expositionspfade führt,

und

$$\hat{\chi}_j = \frac{1}{\pi \cdot \sigma_{y,j}(x) \cdot \sigma_{z,j}(x) \cdot u} \cdot \exp\left(-\frac{H_e^2}{2 \cdot \sigma_{z,j}^2(x)}\right) \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2 \cdot \sigma_{y,j}^2(x)}\right) \quad (4.17)$$

Bei kurzzeitigen Emissionen  $< 1$  Stunde sind die Kurzzeitausbreitungsfaktoren für die Diffusionskategorien  $A$  und  $F$  mit einem Faktor  $2$  zu multiplizieren.

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

- $H_e$ : effektive Emissionshöhe in  $m$
- $u$ : Windgeschwindigkeit in effektiver Emissionshöhe in  $m \cdot s^{-1}$ , s. Anhang 2
- $\sigma_{y,j}(x)$ ,  $\sigma_{z,j}(x)$ : Ausbreitungsparameter in  $m$  für die Diffusionskategorie  $j$ , s. Anhang 3
- $x, y$ : Koordinaten des Aufpunkts

Die Koeffizienten zur Berechnung der Ausbreitungsparameter und das Interpolationsverfahren zur Bestimmung der Abhängigkeit von der effektiven Emissionshöhe sind im Anhang 3 angegeben.

Die Windgeschwindigkeit  $u$  in effektiver Emissionshöhe ist aus der Windgeschwindigkeit  $u_1$  in Bezugshöhe  $z_1$  nach dem in Anhang 2 beschriebenen Verfahren zu ermitteln.

Wenn bei einem Auslegungstörfall gleichzeitig mit der Emission radioaktiver Stoffe auch größere Wärmemengen emittiert werden, ist zur Berechnung der effektiven Emis-

sionshöhe das im Anhang 8 beschriebene Verfahren anzuwenden. Dabei ist die für das Ergebnis ungünstigste Windgeschwindigkeit anzuwenden. Diese kann von dem im Anhang 2 angegebenen Verfahren ermittelten Windgeschwindigkeit nach oben abweichen.

Trockene Ablagerung, Washout und radioaktiver Zerfall vermindern die Menge der Aktivität der radioaktiven Stoffe in der Wolke. Diese Effekte können durch folgende auf die Quellstärke anzuwendenden Korrekturfaktoren berücksichtigt werden:

$$f_A = \exp\left(-\frac{v_g}{u} \cdot \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^x \frac{\exp\left(-\frac{H_e^2}{2\sigma_{z,i}^2(x')}\right)}{\sigma_{z,i}(x')} dx'\right) \quad (\text{trockene Ablagerung}) \quad (4.18)$$

$$f_R = \exp\left(-\frac{\Lambda x}{u}\right) \quad (\text{Washout}) \quad (4.19)$$

$$f_{z,r} = \exp\left(-\frac{\lambda_r x}{u}\right) \quad (\text{radioaktiver Zerfall}) \quad (4.20)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

- $\Lambda$ : Washoutkoeffizient in  $s^{-1}$ , s. Kapitel 4.4.3
- $v_g$ : Ablagerungsgeschwindigkeit in  $m \cdot s^{-1}$ , s. Tabelle 1 im Anhang

Ist die Konzentrationsverteilung in Lee der Quelle durch Gebäude gestört, d.h. erfolgt die Emission der radioaktiven Stoffe aus einer Höhe, die die doppelte Gebäudehöhe unterschreitet, so sind Korrekturen anzuwenden. Entsprechende Korrekturen sind auch bei besonderen orographischen Verhältnissen zu berücksichtigen. Dabei sind die Korrekturen in der folgenden Reihenfolge vorzunehmen:

1. thermische Überhöhung
2. Gebäudeeinfluß
3. Orographie

Kühlturmeinflüsse können z. B. aufgrund von Ergebnissen aus Windkanalversuchen berücksichtigt werden. Die Korrekturvorschriften sind im Anhang 7 und 8 angegeben.

**4.4.2 Störfall-Falloutfaktoren  $F_k$  für die trockene Ablagerung**

Die Störfall-Falloutfaktoren  $F_k$  ergeben sich für jedes Zeitintervall  $k$  durch Multiplikation der Ablagerungsgeschwindigkeit  $v_g$  mit dem jeweiligen Störfallausbreitungsfaktor  $U$ .

$$F_k = v_g \cdot \chi_k \quad (4.21)$$

Die Störfall-Falloutfaktoren  $F_k$  sind bestimmt zur Dosisberechnung für die Expositionspfade Bodenstrahlung und Ingestion (Kapitel 4.2.3 und 4.3.2, Falloutbeiträge).

Für die Ablagerungsgeschwindigkeit  $v_g$  sind die in Anhang 4, Tabelle 1 aufgeführten Werte anzuwenden.

**4.4.3 Störfall-Washoutfaktoren  $W_k$  für die Ablagerung mit Niederschlägen**

Die Störfall-Washoutfaktoren  $W_k$  werden durch Integration der mit dem Washoutkoeffizienten  $\Lambda$  multiplizierten Konzentrationsverteilung über die Höhe berechnet. Sie sind bestimmt zur Dosisberechnung für die Expositionspfade Bodenstrahlung und Ingestion (Kapitel 4.2.3 und 4.3.2, Washoutbeiträge).

Für die verschiedenen Zeitintervalle  $k$  sind folgende Störfall-Washoutfaktoren anzuwenden:

Zeitintervall k	Störfall-Washoutfaktor $W_k$
bis 8 Stunden	$\hat{W}_{j,max} = A...F$
8 bis 24 Stunden	$1/2 \hat{W}_{j,max} = D$
24 bis 72 Stunden	$1/4 \hat{W}_{j,max} = D$
3 bis 7 Tage	$1/8 \hat{W}_{j,max} = D$

Dabei ist:

$\hat{W}_{j,max}$ : Kurzzeit-Washoutfaktor  $\hat{W}_j$  (Ausbreitungsrichtung  $y = 0$ ) für die Diffusionskategorie aus der Menge  $j = C$  bis  $E$  für das Zeitintervall  $k$ , der zu der höchsten Gesamtdosis unter Berücksichtigung aller Expositionspfade führt.

wobei

$$\hat{W}_j = \frac{\Lambda}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_{y,j}(x)} \cdot u} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2 \cdot \sigma_{y,j}^2(x)}\right) \quad (4.22)$$

mit

$$\Lambda = \Lambda_0 \cdot \left(\frac{1}{I_0}\right)^\kappa \quad (4.23)$$

Außer den bereits erklärtes Symbols bedeuten hier:

- $\Lambda$ : Washoutkoeffizient in  $s^{-1}$
- $I$ : Niederschlagsintensität in  $mm \cdot h^{-1}$ , s. Tabelle 2 im Anhang 4
- $\Lambda_0$ : Washoutkoeffizient für die Niederschlagsintensität  $I_0$  in  $s^{-1}$ , s. Tabelle 3 im Anhang 4
- $I_0$ : Niederschlagsmenge  $1 mm \cdot h^{-1}$
- $\kappa$ : Koeffizient (0,8 für Aerosole und Iod)

#### 4.4.4 Störfallausbreitungsfaktoren $\chi_{\gamma nk}$ für die Gammasubmersion

Die Störfallausbreitungsfaktoren für die Gammasubmersion sind benimmt zur Dosisberechnung für den Expositionspfad Gammastrahlung aus der Abluffahne, s. Kapitel 4.2.2.

Für die verschiedenen Zeitintervalle  $k$  und Energiepuppe 1 sind folgende Störfallausbreitungsfaktoren für du Gammasubmersion anzuwenden:

Zeitintervall k	Störfallausbreitungsfaktoren für die Gammasubmersion $\chi_{\gamma 1k}$
bis 8 Stunden	$\hat{\chi}_{\gamma 1,j,max} \quad j = A...F$
8 bis 24 Stunden	$1/2 \hat{\chi}_{\gamma 1,j,max} \quad j = C...F$
24 bis 72 Stunden	$1/4 \hat{\chi}_{\gamma 1,j,max} \quad j = C...F$
3 bis 7 Tage	$1/8 \hat{\chi}_{\gamma 1,j,max} \quad j = C...E$

Dabei ist:

$\hat{\chi}_{\gamma 1,j,max}$ : Kurzzeitausbreitungsfaktor  $\hat{\chi}_{\gamma 1j}$  für die Gamma-submersion in Bodennähe (Ausbreitungsrichtung  $y = 0$ ) für die Diffusionskategorie aus der Menge  $j = A$  bis  $F$  für das Zeitintervall  $k$  und die Energiegruppe 1, der zu der höchsten Gesamtdosis unter Berücksichtigung aller Expositionspfade führt.

mit

$$\hat{\chi}_{\gamma 1,j} = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \Phi_{1(\mu 1z',\mu 1s)} \cdot \frac{\exp\left(-\frac{y'^2}{2\sigma_{y,j}^2(x')} - \frac{(z' - H)^2}{2\sigma_{z,j}^2(x')}\right)}{2\pi \sigma_{y,j}(x') \sigma_{z,j}(x') \cdot u} \cdot dx'dy'dz' \quad (4.24)$$

und

$$\Phi_{1(\mu 1z',\mu 1s)} = \frac{\exp(-\mu_1 R)}{4 \pi R^2} \cdot B_{1(\mu 1R)} \cdot K_{1(\mu 1z',\mu 1s)} \quad (4.25)$$

Bei kurzzeitigen Emissionen  $< 1$  Stunde sind die Kurzzeitausbreitungsfaktoren für die Diffusionskategorien  $A$  und  $F$  mit einem Faktor 2 zu multiplizieren. Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

- $\mu_1$ : Gesamtschwächungskoeffizient für Gammastrahlen in Luft in  $m^{-1}$  ohne kohärente Streuung) für die Energiegruppe  $E$ , = 1 MeV
- $x, y, z$ : Koordinaten des Aufpunktes
- $x', y', z'$ : Koordinaten des Quellpunktes (Volumenelement  $dx' dy' dz'$ )
- $R$ : Abstand zwischen Volumenelement  $dx' dy' dz'$  der Abluffahne am Ort  $(x', y', z')$  und dem Aufpunkt  $(x, y, z)$  in  $m$
- $s$ : horizontaler Abstand zwischen der senkrechten Projektion vom Volumenelement der Abluffahne auf den Boden und dem Rotpunkt

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

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

- $B_{1(\mu 1R)}$ : Dosisaufbaufaktor für die Gamma-Energie in Luft ohne Einfluß des Bodens, s. Anhang 5
- $K_{1(\mu 1z',\mu 1s)}$ : Korrekturfaktor für den Einfluß des Bodens, s. Anhang 6

Es ist zulässig, die Kurzzeitausbreitungsfaktoren für Gammasubmersion  $\chi_{\gamma 1,j}$  bei der Diffusionskategorie  $j$  für eine vereinfachte Berechnung aus den Kurven in Anhang 10 zu entnehmen. Diese auf die Windgeschwindigkeit  $u = 1 m \cdot s^{-1}$  normierten Werte sind mit der Windgeschwindigkeit in effektiver Emissionshöhe für die entsprechende Diffusionskategorie zu korrigieren.

#### 4.4.5 Probabilistisches Auswerteverfahren

Das unter 4.4.1 bis 4.4.4 angegebene Verfahren zur Durchführung der Ausbreitungsrechnung erfordert nicht die Ermittlung der für den Standort charakteristischen meteorologischen Daten. Liegen meteorologische Daten vor, die für eine Beurteilung der Ausbreitungssituation am Standort geeignet sind, so können diese zur Durchführung der Ausbreitungsrechnung herangezogen werden. Die meteorologischen Daten müssen 4-parametrig (Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Diffusionskategorie, Niederschlagsrate) in höchstens 1-Stunden-Intervallen ermittelt sein. Vom Gutachter ist zu prüfen, ob die verwendeten Daten räumlich und zeitlich repräsentativ für den Standort sind. Die grundsätzliche Vorgehensweise für das Verfahren zur probabilistischen Auswertung ist im Anhang 9 beschrieben.

#### 4.5 Dosis- und Dosisleistungsfaktoren

##### 4.5.1 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. 185 a 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 (Tochternukliden) angegeben.

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

##### 4.5.2 Dosisleistungsfaktoren für Gammasubmersion $g_{\gamma,r,T2}$ ( $\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ) und 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. 185 a 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 geringen Organabschirmung und der geringen Körpergröße mit den hierfür jeweils genannten Faktoren zu multiplizieren.

Bei der Berechnung des Anteils der Tochternuklide am Dosisleistungsfaktor für Gammasubmersion ist eine Zerfallszeit des Mutternuklids 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.

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 137 m), so ist zusätzlich der Faktor  $f$  für das Tochternuklid zu berücksichtigen.

##### 4.5.3 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 Dosisleistungsfaktoren aus der im Bundesanzeiger Nr. 185 a vom 30. September 1989 bekanntgegebenen Zusammenstellung der Dosisfaktoren - Teil II und III - zu verwenden.

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.

---

Redaktioneller Hinweis:  
BfS bemüht sich, fehlerfreie Texte zur Verfügung zu stellen, übernimmt jedoch keine Haftung. Bei Rechtsakten sind die in den amtlichen Publikationsorganen des Bundes auf Papier veröffentlichten Fassungen verbindlich.

**Anhang 1  
zum Kapitel 4 der Störfallberechnungsgrundlagen**

**Tabelle 1: Daten zur Berechnung des Radionuklid-  
transports über den Ingestionspfad und  
bei der Gammabodenstrahlung**

Symbol	Definition	Wert
$a_p$	Umrechnungsfaktor: $\frac{1}{3,15 \cdot 10^7 \text{ s}}$	$3,2 \cdot 10^{-8} \text{ s}^{-1}$
b	Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Bodenrauigkeit und des Eindringens in tiefere Bodenschichten	0,5
$f_w$	Anteil der auf der Pflanze abgelagerten Aktivität bei Niederschlägen	0,3
$\varphi_{Fu}$	Futterkonsumrate der Weidetiere Naßgewicht)	$65 \text{ kg} \cdot \text{d}^{-1}$
$p^A$	Flächentrockenmasse des Ackerbodens (Pflugschartiefe von 20 cm)	$280 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$
$p^{Wd}$	Flächentrockenmasse des Weidebodens (10 cm Tiefe)	$120 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$
$t'$	- für die im Umkreis von 2000 m Radius 86 400 s kontaminierten Nahrungs- und Futtermittel: Ingestionsdauer bzw. Zeit bis zur Einstellung des Verzehrs von kontaminierten Nahrungsmitteln und kontaminiertem Futter nach Beginn der Emission in Sekunden - für die außerhalb des Umkreises von 2 000 m Radius kontaminierten Nahrungs- und Futtermittel: Wachstumszeit $t_e$ a) für Blattgemüse und sonstige pflanzliche Produkte b) für Weidegras	86 400 s  $5,2 \cdot 10^6 \text{ s}$ $2,6 \cdot 10^6 \text{ s}$
$t_1$	Nahrungsmittelaufnahme im 1. Jahr nach Emissionsbeginn bzw. Expositionszeit über ein Jahr	$3,15 \cdot 10^7 \text{ s}$
$t_2$	Expositionszeit von 20 Jahren	$6,31 \cdot 10^8 \text{ s}$
$t_{Bo,50}$	Expositionszeit von 50 Jahren für den Erwachsenen	$1,58 \cdot 10^9 \text{ s}$
$t_{Bo,70}$	Expositionszeit von 70 Jahren für das Kleinkind	$2,21 \cdot 10^9 \text{ s}$
$t_v^{Pf}$	Zeit zwischen Ernte und Verzehr von sonstigen pflanzlichen Produkten	$5,2 \cdot 10^6 \text{ s}$
$t_v^{Fl}$	Zeit zwischen Schlachten und Fleischverzehr	$1,7 \cdot 10^6 \text{ s}$
$Y^{Wd}$	Ertrag (Frischgewicht) von Weidegras	$0,85 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$
$Y^{Bl}$	Ertrag (Frischgewicht) von Blattgemüse	$1,6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$
$Y^{Pf}$	Ertrag (Frischgewicht) von sonstigen pflanzlichen Produkten	$2,4 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$

**Tabelle 2: Verzehrdaten**

	Verzehrrate in kg/Jahr	
	Erwachsener	Kleinkind
Milch	330	200
Fleisch	150	20
pflanzliche Produkte, von entfallen auf:	500	60
- Getreide- und Getreideprodukte	190	15
- Obst und Obstsaft	100	20
- Wurzelgemüse (einschließlich Kartoffeln)	170	15
- Blattgemüse	40	10

**Tabelle 3: Atemraten**

	Atemrate $V_k$	
	Atemrate in $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	
	Erwachsener	Kleinkind
0 bis 8 h	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$8,7 \cdot 10^{-5}$
größer als 8 Stunden	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-5}$

**Tabelle 4: Transferdaten zur Berechnung des Radionuklids in pflanzliche Produkte, zur Milch und zum Fleisch**

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	$T_r^{Pf}$ in	$T_r^{Mi}$ in	$T_r^{Fl}$ in
	$\frac{\text{Bq/kgFS}}{\text{Bq/kgTS}}$	$\frac{\text{Bq/kgFS}}{\text{Bq/kgTS}}$	$\frac{[\text{d/kg Milch}]}{[\text{d/kg Fleisch}]}$	$\frac{[\text{d/kg Milch}]}{[\text{d/kg Fleisch}]}$
	[ - ]	[ - ]		
Be	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-5}$
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	$1 \cdot 10^{+0}$	$1 \cdot 10^{+0}$	$6 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
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	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-2}$
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	$2 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$
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	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$

Element	$T_r^{Wd}$ in	$T_r^{Pf}$ in	$T_r^{Mi}$ in	$T_r^{Fl}$ in
	$\frac{Bq/kgFS}{Bq/kgTS}$ [-]	$\frac{Bq/kgFS}{Bq/kgTS}$ [-]	[d/kg Milch]	[d/kg Fleisch]
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	$9 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-3}$
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	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-4}$
Pa	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-3}$
U	$5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$
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	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$

**Tabelle 5: Verweilkonstante der Radionuklide aufgrund des Transports in tiefere Bodenschichten**

Element	$\lambda_M$ in $s^{-1}$	
	Acker	Weide
Tc	$10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-8}$
Sr, Ru, I	$10^{-9}$	$2 \cdot 10^{-9}$
Cs	$10^{-10}$	$2 \cdot 10^{-10}$
	$10^{-11}$	$2 \cdot 10^{-11}$

Aktinide 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 2 zum Kapitel 4 der Störfallberechnungsgrundlagen**

**Berechnung der Windgeschwindigkeit in effektiver Emissionshöhe (Kapitel 4.4)**

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

$$u = u_1 \left( \frac{H_e}{z_1} \right)^m \quad \text{für } H_e \text{ größer als oder gleich } 10 \text{ m}$$

$$u = u_1 \quad \text{für } H_e \text{ kleiner als } 10 \text{ m}$$

Für die Windgeschwindigkeit  $u_1$ , ist für alle Diffusionskategorien ein Wert von  $u_1 = 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  einzusetzen.

In den oben aufgeführten Formeln bedeuten:  
 $u_1$ : Windgeschwindigkeit in  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  in Bezugshöhe  $z_1 = 10 \text{ m}$  oberhalb des mittleren Störniveaus  
 $u_1 = 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

$H_e$ : effektive Emissionshöhe in m  
 $m$ : Exponent des vertikalen Windgeschwindigkeitsprofils

Für den Exponenten  $m$  sind die in der folgenden Tabelle angegebenen Werte anzuwenden:

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

Eine Korrektur der effektiven Emissionshöhe aufgrund besonderer orographischer Verhältnisse darf bei der Berechnung der Windgeschwindigkeit nicht berücksichtigt werden.

### Anhang 3 zum Kapitel 4 der Störfallberechnungsgrundlagen

#### Daten und Interpolationsverfahren zur Berechnung der Ausbreitungsparameter $\sigma_y(x)$ , $\sigma_z(x)$ (Kapitel 4.4)

Für die Ausbreitungsparameter wird der Ansatz

$$\sigma_l(x) = p_l \cdot x^{q_l} \quad l = y, z$$

gemacht. Hierin bedeuten:

$\sigma_l(x)$ : Ausbreitungsparameter in m

$p_l, q_l$ : Koeffizienten zur Berechnung der Ausbreitungsparameter,  $p_l$  in  $m^{(1-q_l)}$ ,  $q_l$  dimensionslos

$x$ : Quelldistanz in m

Die Koeffizienten für die Basishöhe 50 m, 100 m und 180 m sind in der folgenden Tabelle enthalten:

effektive Emissionshöhe $H_e$	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	1,500
	B	0,415	0,903	0,0330	1,320
	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 die effektiven 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  $p_l$  und eine lineare Interpolation zwischen den tabellierten Werten von  $q_l$ .

Es ist:

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

$$p_{l,i} = p_{l,o}^{\alpha_1} \cdot p_{l,u}^{\alpha_2}$$

mit:

$$\alpha_1 = \frac{H_i - H_u}{H_o - H_u}$$

$$\alpha_2 = \frac{H_o - H_i}{H_o - H_u}$$

In den oben aufgeführten Formeln bedeuten:

$p_{l,i}, q_{l,i}$ : Koeffizienten für  $a$ , 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

$p_{l,o}, q_{l,o}$ : Koeffizient für  $\sigma_l$  für die Basishöhe  $H_o$

$p_{l,u}, q_{l,u}$ : Koeffizienten für  $\sigma_l$  für die Basishöhe  $H_u$

### Anhang 4 zum Kapitel 4 der Störfallberechnungsgrundlagen

Tabelle 1: Ablagerungsgeschwindigkeiten zur Berechnung der trockenen Ablagerung (Kapitel 4.4.2)

Ablagerungsgeschwindigkeit $v_g$ in $m \cdot s^{-1}$	
$10^{-2}$	elementares Iod
$10^{-4}$	organisch gebundenes Iod
$1,5 \cdot 10^{-3}$	Aerosole

Tabelle 2: Niederschlagsintensität  $I$  zur Berechnung des Washoutkoeffizienten (Kapitel 4.4.3)

Niederschlagsintensität $I$ in $mm \cdot h^{-1}$	Störfall - Zeitintervall
5	0 bis 8 Stunden
2	8 bis 24 Stunden
1	24 bis 72 Stunden
0,5	3 bis 7 Tage

Tabelle 3: Washoutkoeffizient  $\Lambda_o$  für die Niederschlagsintensität  $I_o$  (Kapitel 4.4.3)

Washoutkoeffizient $\Lambda_o$ für die Niederschlagsintensität $I_o$ in $s^{-1}$	
$7 \cdot 10^{-5}$	elementares Iod
$7 \cdot 10^{-7}$	organisch gebundenes Iod
$7 \cdot 10^{-5}$	Aerosole

**Anhang 5  
zum Kapitel 4 der Störfallberechnungsgrundlagen**

**Berechnung des Dosisaufbaufaktors in Luft  
(Kapitel 4.4.4)**

Dosisaufbaufaktor für Gammasubmersion

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

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

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

Die Koeffizienten  $b_{1,m}$  sind in der nachfolgenden Tabelle angegeben:

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

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

**Anhang 6  
zum Kapitel 4 der Störfallberechnungsgrundlagen**

**Berechnung des Korrekturfaktors für den Einfluß des Bodens bei Gammasubmersion (Kapitel 4.4.4)**

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

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

Die Koeffizienten  $a_{k,m}$  für die Energie 1 MeV sind in der nachfolgende Tabelle angegeben:

$E_\gamma = 1 \text{ MeV}$	$m = 0$	$m = 1$	$m = 2$	$m = 3$
$k = 0$	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 7  
zum Kapitel 4 der Störfallberechnungsgrundlagen**

**Korrekturvorschriften zur Berücksichtigung von Gebäudeeinflüssen, besonderen orographischen Verhältnissen und Kühlturmeinflüssen in der Ausbreitungsberechnung (Kapitel 4.4)**

**Gebäudeeinfluß**

Bei niedrigen effektiven Emissionshöhen  $H_e$  in der Nähe von Gebäuden kann die Abluft durch die Gebäudeströmung näher zum Boden gelangen als im ungestörten Fall. Dies ist gegeben, falls  $H_e < (H_G + l_G)$  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.  $l_G$  ist der kleinere Wert von Gebäudebreite  $b_G$  und Gebäudehöhe  $H_G$ . Sind obige Voraussetzungen erfüllt, so ist als effektive Emissionshöhe die wie folgt definierte Höhe  $h'$  zu verwenden.

a)  $H_e > H_G \quad h' = 0,5 (3 H_e - (H_G + l_G))$

b)  $H_e \leq H_G \quad h' = H_e - 0,5 l_G$

Ist  $h'$  kleiner als  $l_G/2$ , so ist  $h' = l_G/2$  zu setzen. Ist  $h'$  kleiner als  $H_G$ , müssen die Ausbreitungsparameter  $\sigma_y$  und  $\sigma_z$  durch die Größen  $\Sigma_y$  und  $\Sigma_z$  ersetzt werden.

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

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

Eine realistischere Abschätzung des Einflusses umliegender Gebäude kann aus Windkanalversuchen gewonnen werden.

**Besondere orographische Verhältnisse**

Das Ausbreitungsmodell gemäß Kapitel 4.4 geht von der Annahme aus, daß das Gelände ausreichend eben ist und somit die räumliche Konstanz von Windrichtung und Windgeschwindigkeit nicht wesentlich gestört ist. Dämme, Wälle und sonstige kleine Erhebungen sind der Bebauung und dem Bewuchs zuzurechnen. Das Gelände kann als ausreichend eben angesehen werden, solange der Neigungswinkel des Geländes nicht größer als  $5^\circ$  ist und damit eine bodenparallele Strömung erhalten bleibt. Im Falle von Geländeformen, die über den Neigungswinkel von  $5^\circ$  hinausgehen, kann der Einfluß auf die Ausbreitung mit Hilfe von theoretischen (Strömungs- und Ausbreitungsmodelle 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)  $h(x,y=0) < H_e/2$

$$\chi_k = \frac{1}{\pi \cdot \sigma_{y,j}(x) \cdot \sigma_{z,j}(x) \cdot u} \cdot \exp\left(-\frac{v^2}{2 \cdot \sigma_{y,j}^2(x)}\right) \cdot \exp\left(-\frac{(H_e - h(x,0))^2}{2 \cdot \sigma_{z,j}^2(x)}\right)$$

b)  $h(x,y=0) \geq H_e/2$

$$\chi_k = \frac{1}{\pi \cdot \sigma_{y,j}(x) \cdot \sigma_{z,j}(x) \cdot u} \cdot \exp\left(-\frac{v^2}{2 \cdot \sigma_{y,j}^2(x)}\right) \cdot \exp\left(-\frac{\left(\frac{H_e}{2}\right)^2}{2 \cdot \sigma_{z,j}^2(x)}\right)$$

## 2. Diffusionskategorien E und F

a)  $h(x,y=0) < H_e$ 

$$\chi_k = \frac{1}{\pi \cdot \sigma_{y,j}(x) \cdot \sigma_{z,j}(x) \cdot u} \cdot \exp\left(-\frac{v^2}{2 \cdot \sigma_{y,j}^2(x)}\right) \cdot \exp\left(-\frac{(H_e - h(x,0))^2}{2 \cdot \sigma_{z,j}^2(x)}\right)$$

b)  $h(x,y=0) \geq H_e$ 

$$\chi_k = \frac{1}{\pi \cdot \sigma_{y,j}(x) \cdot \sigma_{z,j}(x) \cdot u} \cdot \exp\left(-\frac{v^2}{2 \cdot \sigma_{y,j}^2(x)}\right)$$

Hierbei bedeuten zusätzlich zu Kapitel 4.4.1:

 $h(x,y)$ : Höhe des Geländes bezogen auf den Fußpunkt des Emissionsortes in m $h(x,y=0)$ : Höhe des Geländes in Ausbreitungsrichtung in m

## Kühlturmeinfluß

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

1. Durch die Ausmaße eines Kühlturms wird zusätzlich mechanische Turbulenz erzeugt. Dies wirkt sich auf die Ausbreitung der Abluffahne 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 nicht anwendbar sind, so ist der Einfluß des Kühlturms auf die Ausbreitung der Abluffahne durch Windkanalversuche zu bestimmen.

## Anhang 8

## zum Kapitel 4 der Störfallberechnungsgrundlagen

## Berechnung der effektiven Emissionshöhe bei gleichzeitiger Emission von radioaktiven Stoffen und größeren Wärmemengen (Kapitel 4.4.1)

Die Abluffahnenüberhöhung  $\bar{u}$ , welche zusammen mit der Emissionshöhe  $H$  die effektive Emissionshöhe  $H_e$  ergibt, wird aus dem emittierten virtuellen Wärmestrom  $M$ , der Quellentfernung  $x$  und der Windgeschwindigkeit  $u$  in Emissionshöhe nach den folgenden Formeln ermittelt. In diesen Formeln ist der virtuelle Wärmestrom  $M$  in MW, die Quellentfernung  $x$  in m und die Windgeschwindigkeit  $u$  in Emissionshöhe in  $m \cdot s^{-1}$  einzusetzen: die Abluffahnenüberhöhung ergibt sich dann in m.

a) Labile Temperaturschichtung (Diffusionskategorien A und B)

$$\bar{u}_{la}(x) = 3,34 \cdot M^{1/3} \cdot x^{2/3} \cdot u^{-1}$$

mit  $\bar{u}_{la}(x) + H$  kleiner oder gleich 100 m

Für  $M$  größer 6 MW gilt zusätzlich:

$$\begin{aligned} x_{n,1}^{max} &= 288 \cdot M^{2/5} \\ \bar{u}_{n,1}^{max} &= 146 \cdot M^{3/5} \cdot u^{-1} \end{aligned}$$

mit  $\bar{u}_{n,1}^{max} + H$  kleiner oder gleich 100 m

Für  $M$  kleiner oder gleich 6 MW gilt zusätzlich:

$$\begin{aligned} x_{n,2}^{max} &= 195 \cdot M^{5/8} \\ \bar{u}_{n,2}^{max} &= 112 \cdot M^{3/4} \cdot u^{-1} \end{aligned}$$

mit  $\bar{u}_{n,2}^{max} + H$  kleiner oder gleich 100 m

b) Neutrale Temperaturschichtung (Diffusionskategorien C und D)

$$\bar{u}_n(x) = 2,84 \cdot M^{1/3} \cdot x^{2/3} \cdot u^{-1}$$

mit  $\bar{u}_n(x) + H$  kleiner oder gleich 800 m

Für  $M$  größer 6 MW gilt zusätzlich:

$$\begin{aligned} x_{n,1}^{max} &= 210 \cdot M^{2/5} \\ \bar{u}_{n,1}^{max} &= 102 \cdot M^{3/5} \cdot u^{-1} \end{aligned}$$

mit  $\bar{u}_{n,1}^{max} + H$  kleiner oder gleich 800 m

Für  $M$  kleiner oder gleich 6 MW gilt zusätzlich:

$$\begin{aligned} x_{n,2}^{max} &= 142 \cdot M^{5/8} \\ \bar{u}_{n,2}^{max} &= 78,4 \cdot M^{3/4} \cdot u^{-1} \end{aligned}$$

mit  $\bar{u}_{n,2}^{max} + H$  kleiner oder gleich 800 m

c) Stabile Temperaturschichtung (Diffusionskategorien E und F)

$$\bar{u}_{st}(x) = 3,34 \cdot M^{1/3} \cdot x^{2/3} \cdot u^{-1} \quad (4.A1)$$

Für Diffusionskategorie F gilt zusätzlich:

$$\begin{aligned} x_{st,1}^{max} &= 104 \cdot u \\ \bar{u}_{st,1}^{max} &= 74,4 \cdot M^{1/3} \cdot u^{-1/3} \end{aligned} \quad (4.A2)$$

Für Diffusionskategorie E gilt zusätzlich:

$$\begin{aligned} x_{st,2}^{max} &= 127 \cdot u \\ \bar{u}_{st,2}^{max} &= 85,2 \cdot M^{1/3} \cdot u^{-1/3} \end{aligned} \quad (4.A3)$$

Die nach einer der Gleichungen (4.A1), (4.A2) oder (4.A3) berechnete Abluffahnenüberhöhung ist mit dem entsprechenden Überhöhungswert für die Diffusionskategorie D nach Punkt b) zu vergleichen. Der niedrigere der beiden Werte ist die Überhöhung.

d) Virtueller Wärmestrom

Der emittierte virtuelle Wärmestrom  $M$  in MW wird nach folgender Formel berechnet:

$$M = 1,36 \cdot 10^{-3} \cdot R \cdot (T_v - 283) \cdot T/T_v$$

Es bedeuten:

 $M$ : virtueller Wärmestrom in MW $R$ : Volumenstrom der Abluft im Normzustand in  $m^3 \cdot s^{-1}$  $T$ : Temperatur der Abluft in K $T_v$ : virtuelle Temperatur in K

mit:  $T_v = T(1 + 0,6q \cdot 10^{-3})$   
 q: spezifische Feuchte der Abluft in  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$   
 bei reinem Wasserdampf ist  $q = 1,0 \cdot 10^3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

Sind die Austrittsbedingungen der Emissionen nicht im einzelnen bekannt, ist eine Abluffahnenüberhöhung nicht zu berücksichtigen.

## Anhang 9 zum Kapitel 4 der Störfallberechnungsgrundlagen

### Methode für die Durchführung probabilistischer Berechnungen (Kapitel 4.4.5)

Für die Durchführung probabilistischer Berechnungen zur Ermittlung der Strahlenexposition sind detaillierte Angaben über Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Diffusionskategorie und Niederschlag mit einer zeitlichen Auflösung von 1 h oder weniger über einen repräsentativen Zeitraum von mehreren Jahren erforderlich.

#### Berechnungsverfahren:

Um den Ort der potentiellen Emission ist ein hinreichend feines Netz von Aufpunkten zu legen. Der Abstand der Gitterpunkte voneinander sollte nicht größer sein als die Hälfte der Quelldistanz des bodennahen Maximums des Kurzzeitausbreitungsfaktors bei der Diffusionskategorie A für die angenommene effektive Emissionshöhe  $H_e$ . Die Größe des zu betrachtenden Gebietes sollte mindestens das 30-fache der effektiven Emissionshöhe  $H_e$  betragen.

Sodann ist das Zeitintervall  $\Delta T$ , innerhalb dessen der Störfall abläuft, in M gleiche Zeitelemente  $\tau_m$  mit einer Länge von höchstens einer Stunde einzuteilen. Für jedes Zeitelement  $\tau_m$  ist an jedem Gitterpunkt die Summe der Dosen aus externer und interner Strahlenexposition für ein Organ oder Gewebe T zu berechnen. Anschließend sind die so ermittelten Dosen an allen Gitterpunkten über alle Zeitelemente M aufzuzaddieren und der höchste Wert im Gitternetz zu bestimmen.

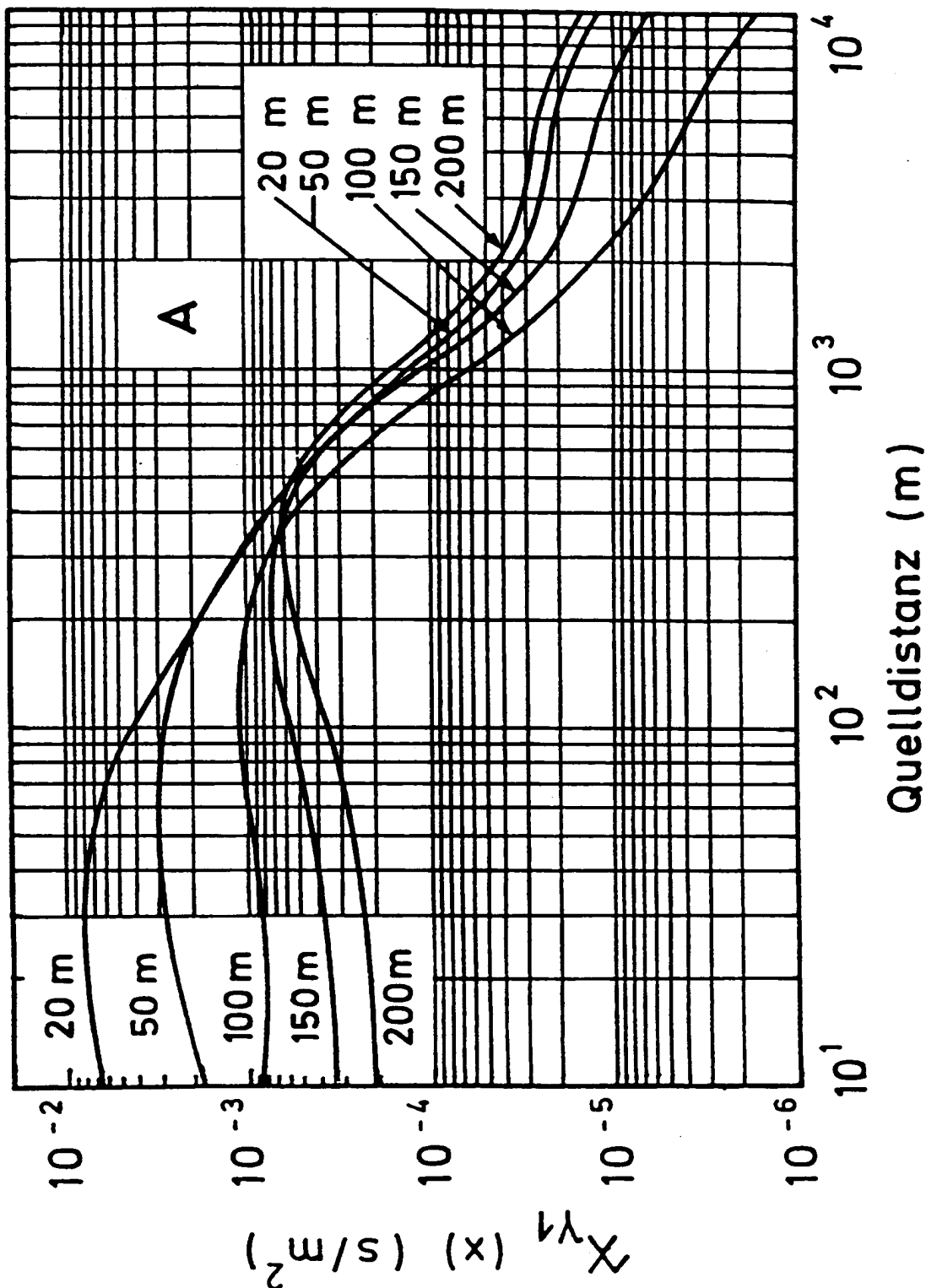
Die Ermittlung solcher Maximalwerte ist für eine hinreichende Anzahl von Wetterabläufen (Kombination von Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Diffusionskategorie und Niederschlag) durchzuführen. Es ist zu beachten, daß bestimmte typische Wetterabläufe wie z. B. Tag/Nacht- oder Nacht/Tag-Übergänge nur entsprechend ihrem statistischen Anteil an allen möglichen Wetterabläufen berücksichtigt werden.

Aus der Gesamtheit der Maximalwerte für alle Wetterabläufe ist eine Häufigkeitsverteilung zu erstellen. Aus dieser Verteilung ist schließlich jeweils der Wert abzulesen, unterhalb dessen 95% aller ermittelten Maximalwerte liegen.

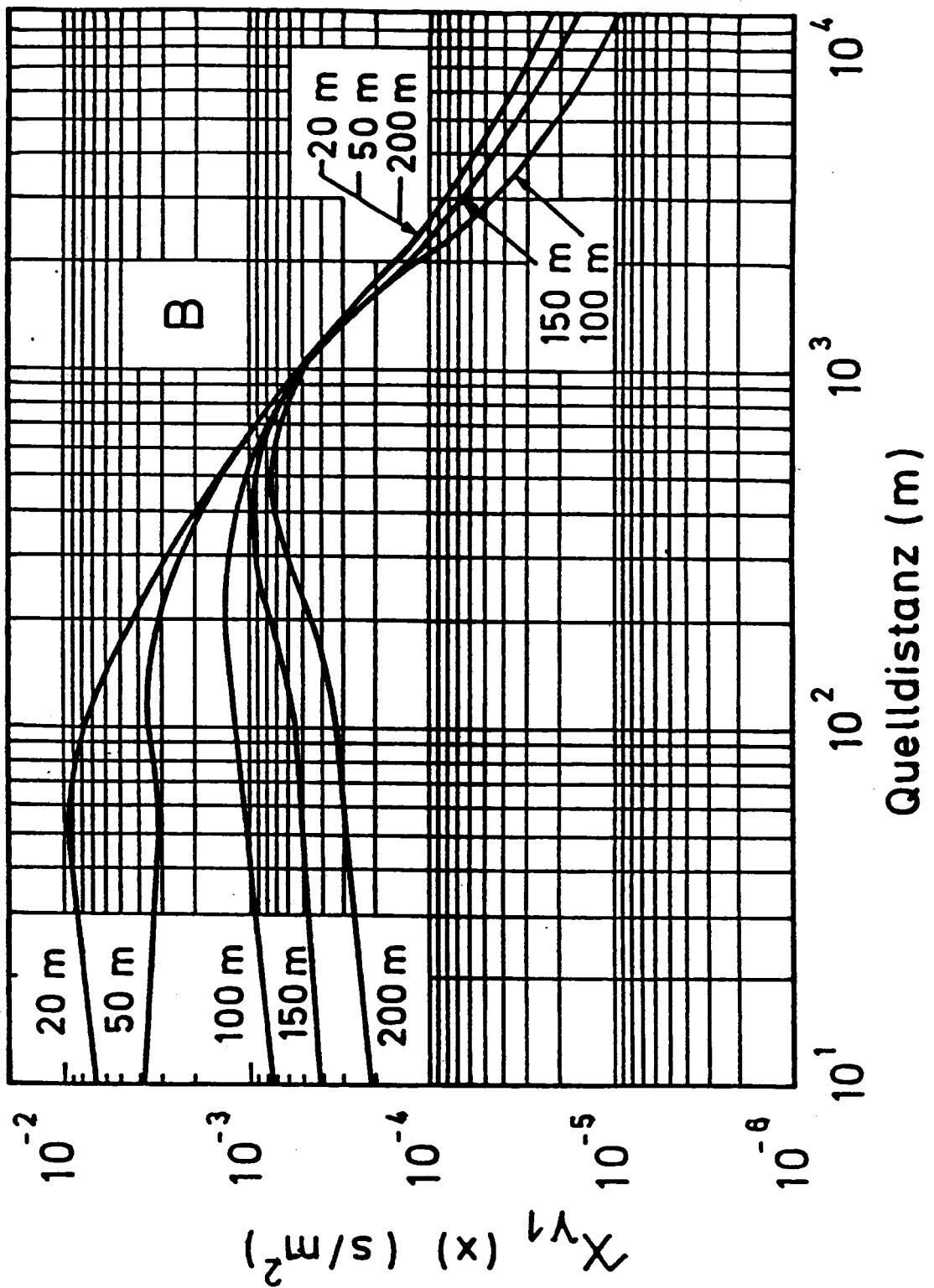
Für die Berechnung der Dosen sind der Kurzzeitausbreitungsfaktor (Gl. 4.17), der Kurzzeit-Washoutfaktor (Gl. 4.22) sowie der Kurzzeitausbreitungsfaktor für Gammasubmersion (Gl. 4.24) zusammen mit der jeweiligen Aktivitätsfreisetzung im Zeitelement  $\tau_m$  anzuwenden.

Anhang 10  
zum Kapitel 4 der Störfallberechnungsgrundlagen

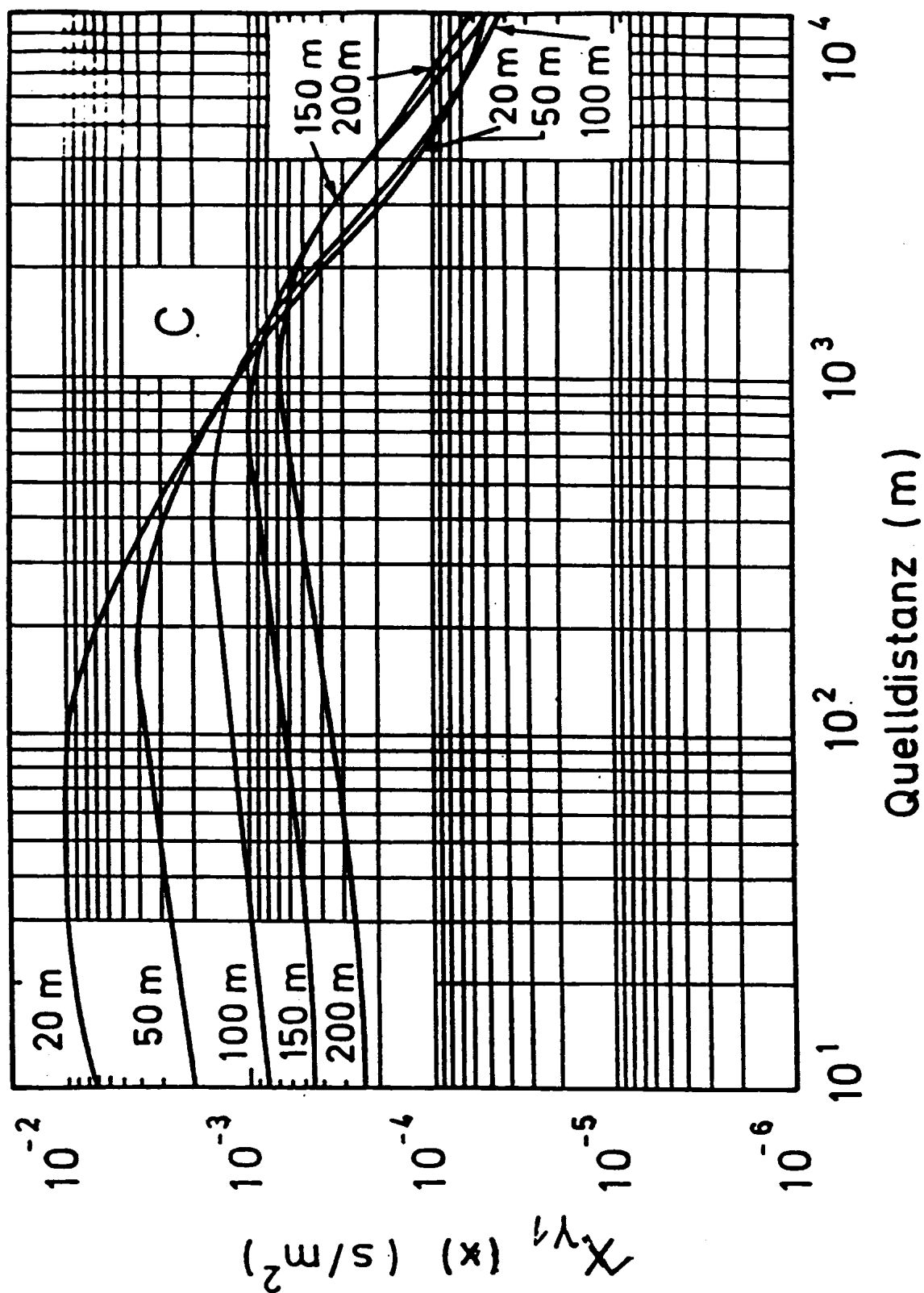
Diagramme zur vereinfachten Ermittlung des Kurzzeitausbreitungsfaktors für Gammasubmersion



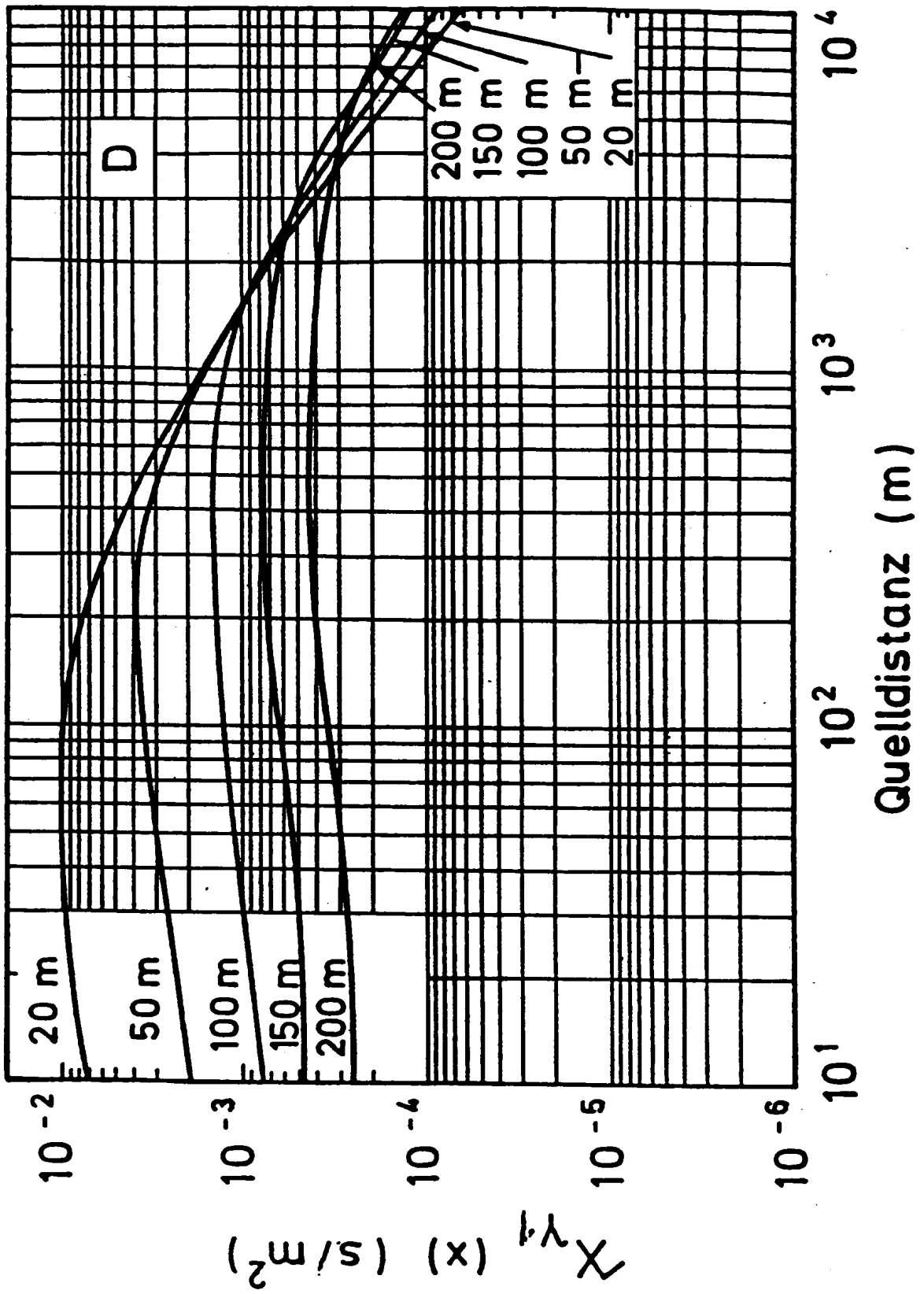
- Diffusionskategorie A -



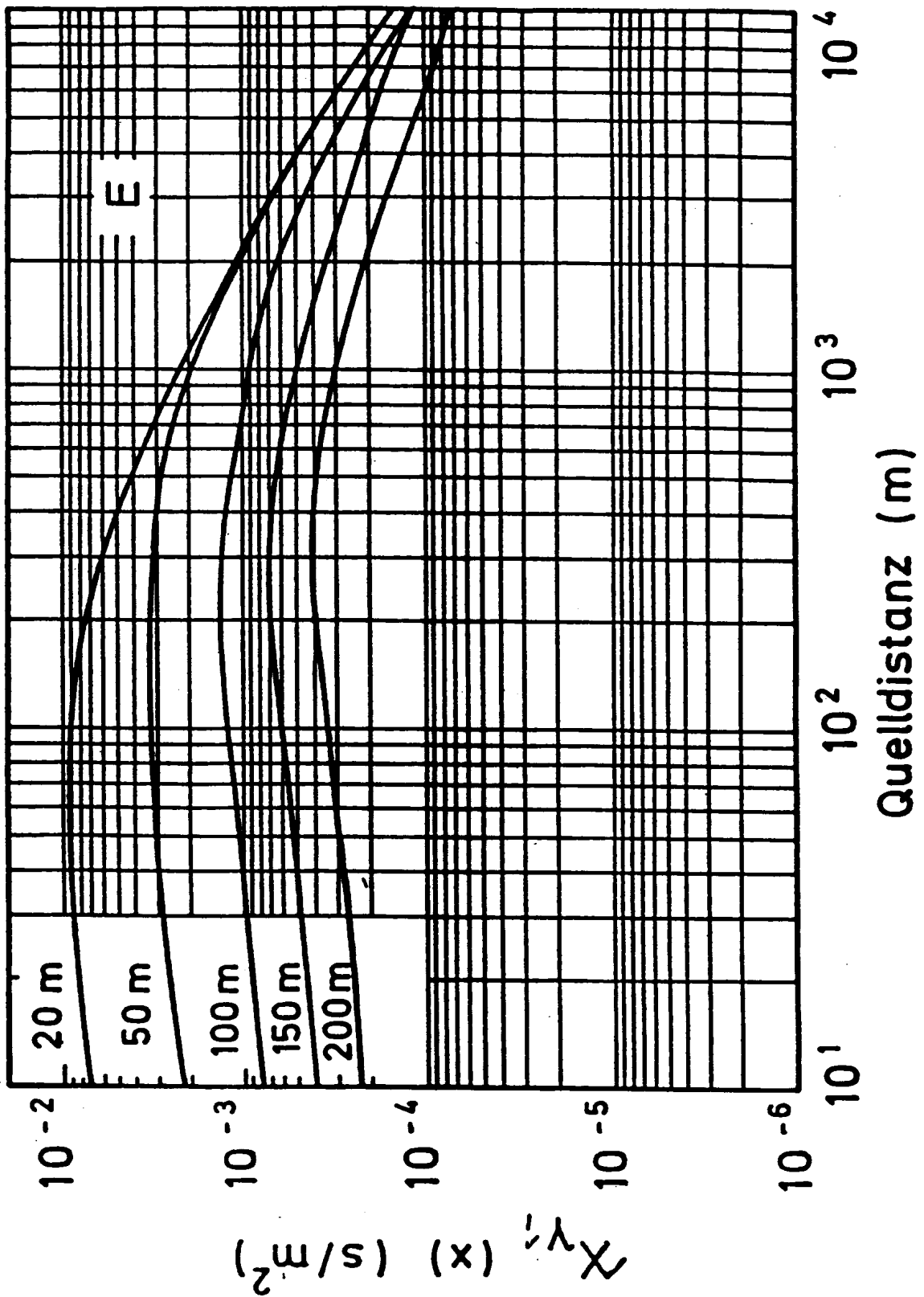
- Diffusionskategorie B -



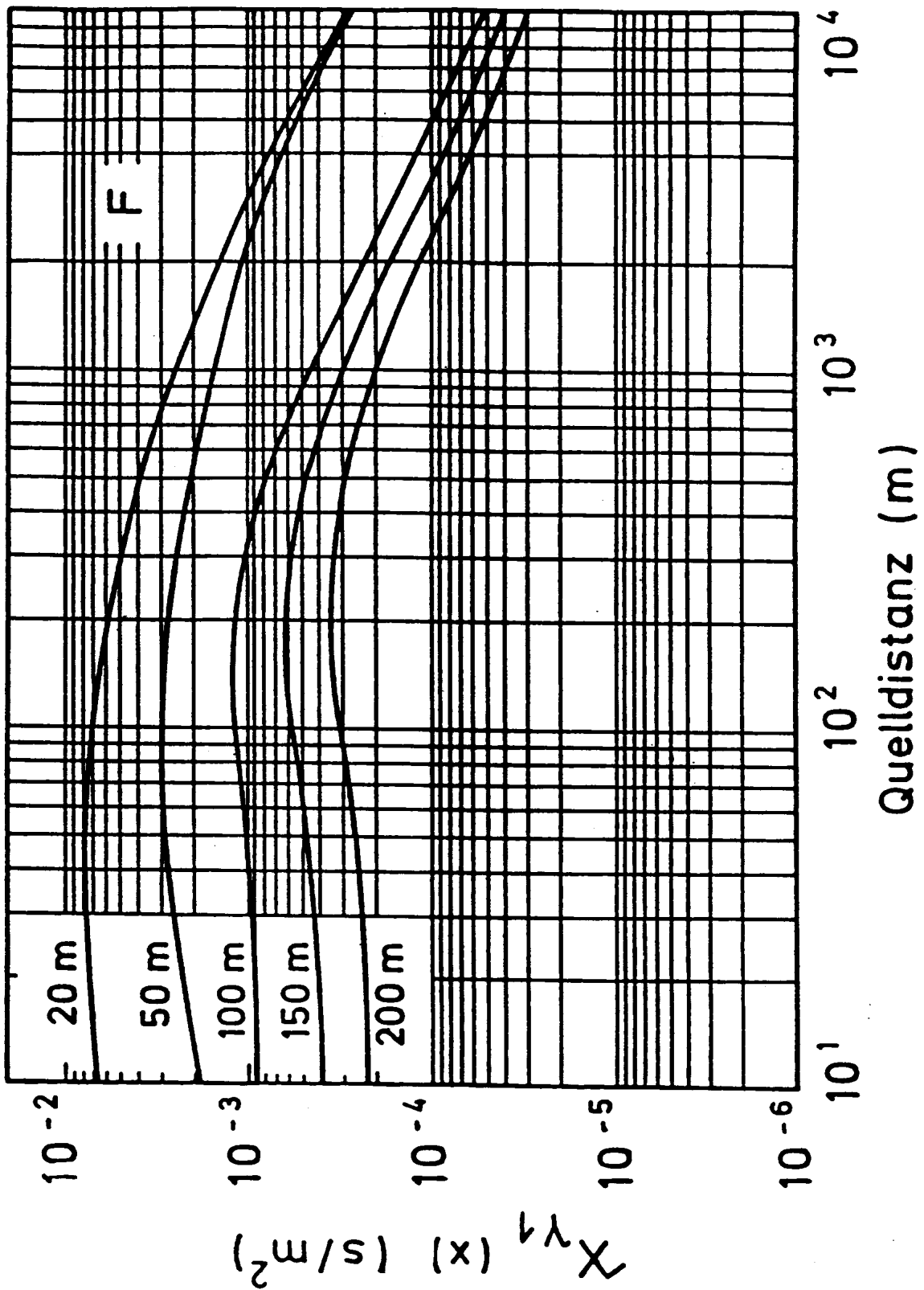
- Diffusionskategorie C -



- Diffusionskategorie D -



- Diffusionskategorie E -



- Diffusionskategorie F -