



Strahlenschutzkommission

Geschäftsstelle der  
Strahlenschutzkommission  
Postfach 12 06 29  
D-53048 Bonn

<http://www.ssk.de>

---

**Störfallberechnungsgrundlagen für die Leitlinien des BMI  
zur Beurteilung der Auslegung von Kernkraftwerken  
mit DWR gemäß § 28 Abs. 3 StrlSchV**

Empfehlung der Strahlenschutzkommission

---

Verabschiedet in der 47. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 14./15. Juli 1983  
und der 187. Sitzung der Reaktor-Sicherheitskommission am 22. Juni 1983  
Veröffentlicht in: – Bundesanzeiger Nr. 245a vom 31. Dezember 1983  
– Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 1

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Vorbemerkung</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Annahmen und Parameter zur Berechnung der Freisetzung radioaktiver Stoffe</b>	
2.1	Allgemeine Annahmen und Parameter	
2.1.1	Systemfunktionen .....	7
2.1.2	Handmaßnahmen .....	8
2.1.3	Festlegung von Parametern .....	8
2.1.4	Berücksichtigung betrieblicher Systeme .....	8
2.2	Aktivitätsinventar .....	8
2.2.1	Kühlmittelaktivität .....	8
2.2.2	Aktivitätsinventare im Hilfsanlagegebäude .....	10
2.3	Rückhaltung freigesetzter radioaktiver Stoffe .....	10
2.4	Freisetzung radioaktiver Stoffe aus Räumen und Gebäudeteilen	
2.4.1	Leckrate des Sicherheitsbehälters .....	10
<b>3</b>	<b>Annahmen und Parameter für in ihren radiologischen Auswirkungen zu analysierende Störfälle</b>	
3.1.1	Leck in der Hauptkühlmittleitung (I.1.1) .....	11
3.1.2	Leck in einer primärkühlmittelführenden Meßleitung (I.4.2).....	13
3.1.3	Leck in einer Frischdampfleitung hinter der äußeren Absperrarmatur mit gleichzeitigem Auftreten von Dampferzeugerheizrohrschäden (I.3.2) .....	14
3.1.4	Langdauernder Ausfall der Hauptwärmesenke bei betrieblichen Leckagen an den Dampferzeugerheizrohren (I.3.1).....	16
3.1.5	Leck in einer Rohrleitung der Abgasanlage (I.5) .....	17
3.1.6	Brennelementbeschädigung bei der Handhabung (I.6).....	17
3.1.7	Leckage eines Behälters mit radioaktiv kontaminiertem Wasser im Reaktorhilfsanlagegebäude (I.5) .....	18
3.1.8	Erdbebenauswirkungen im Reaktorhilfsanlagegebäude (I.7) .....	18

## 4 Berechnung der potentiellen Strahlenexposition

4.1	Expositionspfade.....	20
4.2	Ausbreitungsrechnung.....	20
4.2.1	Störfallausbreitungsfaktoren $\chi_k$ für die bodennahe Aktivitätskonzentration.....	21
4.2.2	Störfallfalloutfaktoren $F_k$ für die trockene Ablagerung (Fallout).....	23
4.2.3	Störfallwashoutfaktoren $W_k$ für die Ablagerung mit Niederschlägen (Washout).....	23
4.2.4	Störfallausbreitungsfaktoren $\chi_{\gamma k}$ für die Gammasubmersion.....	24
4.2.5	Probabilistisches Auswerteverfahren.....	25
4.3	Dosisberechnung	
4.3.1	Vorbemerkung.....	25
4.3.2	Äußere Strahlenexposition	
4.3.2.1	Betastrahlung innerhalb der Abluftfahne (Betasubmersion).....	25
4.3.2.2	Gammastrahlung aus der Abluftfahne (Gammasubmersion).....	26
4.3.2.3	Gammastrahlung über kontaminiertem Boden (Bodenstrahlung).....	26
4.3.3	Innere Strahlenexposition	
4.3.3.1	Inhalation.....	27
4.3.3.2	Ingestion.....	28
4.4	Biologische Rechengrößen	
4.4.1	Atemrate.....	31
Anhang 1:	Daten und Interpolationsverfahren zur Berechnung der Ausbreitungsparameter $s_y, s_z$ .....	32
Anhang 2:	Berechnung der Windgeschwindigkeit in effektiver Emissionshöhe.....	33
Anhang 3:	Korrekturvorschriften zur Berücksichtigung von Gebäude- einflüssen, besonderen orographischen Verhältnissen und Kühlturmeinflüssen in der Ausbreitungsrechnung.....	34
Anhang 4:	Daten zur Berechnung der Dosis.....	37

---

Anhang 5: Berechnung der effektiven Emissionshöhe bei gleichzeitiger Freisetzung von radioaktiven Stoffen und größeren Wärmemengen.....	41
Anhang 6: Methode für die Durchführung probabilistischer Berechnungen .....	43

# 1 Vorbemerkung

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 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 Hauptkühlmittleitung (I.1.1)*

Die Analyse dient dem Nachweis, daß der Sicherheitseinschluß einschließlich der Rückhalteeinrichtungen die Freisetzung radioaktiver Substanzen aus dem Sicherheitsbehälter bei gleichzeitiger zusätzlicher Beschädigung von 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 Aktivitätsfreisetzungen in die Umgebung bei Primärkühlmittelverlust im Ringraum hinreichend begrenzen.

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

Die Analyse 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 Abgas-System (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 Aktivitätsfreisetzungsanteilen, 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 \*) in der Umgebung der 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.

---

\*) 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.

### 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 Freisetzungsraten aus undichten Brennstabhüllen für zwei Leitnuklide zu bestimmen, die nach den Maßgaben aus 2.1.3 aus betrieblichen Erfahrungswerten festgelegt sind.

Leitnuklid	Freisetzungsraten ( $\mu\text{Ci} \cdot \text{MW}_{\text{th}}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )
I-131	0,6
Xe-133	0,9

**Tabelle 2.1:** Freisetzungsraten 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	$1 \cdot 10^{-1}$
Cs-141	$1 \cdot 10^{-2}$
Cs-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 Höchst-

wertes kann die Wirksamkeit der Reinigungsanlage bei der Ermittlung der Kühlmittelaktivität miteinbezogen werden.

### 2.2.2 Aktivitätsinventare im Hilfsanlagegebäude

Die Aktivitätsinventare von Behältern im Hilfsanlagegebäude 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 Ausleungsleckrate 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 blowdown-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 Spaltrauminventar 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 Freisetzungsanteile, bezogen auf das Inventar der defekten Brennstäbe, sind zu unterstellen

Halogene, Alkalimetalle	5 %
Sonstige Feststoffe	0,5 %

*Volumenbezogenes Verteilungsgewicht:*

Langsame Austauschprozesse zwischen der Gas- und Wasserphase führen mit einer Halbwertszeit von 7 Stunden zu einem Konzentrationsgleichgewicht entsprechend 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 Leckage 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 (1.4.2)

### 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.

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

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

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 Dampfweuchte 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 Bruchraumes ist keine Vermischung des Dampfes mit der umgebenden Atmosphäre zu unterstellen. Entsprechend der Luftwechselzahl 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 Dampferzeuger 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 Überströmrates 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 Frischdampfabsperrearmatur; 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 Dampfweichte ist vernachlässigbar und im Rahmen der Gesamtfreisetzung für die radiologische Analyse nicht relevant.

- Nach dem Überfluten der Tropfen-Feinabscheider durch die erhöhte Dampfenahme Beginn von Gemischausströmung, die durch das Schließen der Frischdampfabsperrearmatur unterbrochen wird (Beginn der Gemischausströmung nach ca. 4 s, Frischdampfabsperrearmatur 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 Frischdampfabsperrearmatur zu berücksichtigen.

Es ist zu unterstellen, daß durch Versprühen und Verdampfen der flüssigen Phase des ausströmenden Gemischs ein vollständiger Übergang in Dampf und Dampfweichte 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 Frischdampfabsperrearmatur 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 Frischdampfabsperrearmatur werden radioaktive Stoffe am Bruchort an die Umgebung abgegeben. Nach Schließen der Frischdampfabsperrearmatur 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 Sekundärdampf 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 Abblaseregelventile 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 Aktivitätsinventars 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 vom 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 20 000 m<sup>3</sup> Luft und ca. 1500 m<sup>3</sup> Wasser auszugehen. Die chemische Form des luftgetragenen Jods 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 in 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 Reaktorhilfsanlagengebäude (I.5)**

**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 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 Reaktorhilfsanlagengebäude (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  $300 \text{ m}^3$  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 Hilfsanlagengebäude infolge Erdbeben nicht ausgeschlossen werden, so ist bei unterstelltem Lüftungsabschluß bei der Berechnung der radiologischen Auswirkungen für die Leckage aus dem Reaktorhilfsanlagengebäude von einer Luftwechselzahl von  $1/d$  auszugehen.

Als Freisetzungsdauer ist ein Zeitraum von 7 Tagen anzusetzen.

## 4 Berechnung der potentiellen Strahlenexposition

### 4.1 Expositionspfade

Die Strahlung der aus einer kerntechnischen Anlage bei Störfällen freigesetzten radioaktiven Stoffe kann den Menschen auf verschiedenen Expositionspfaden erreichen. Im allgemeinen sind bei der Freisetzung radioaktiver Stoffe mit der Abluft die folgenden Expositionspfade zu berücksichtigen:

- äußere Exposition durch Betastrahlung innerhalb der Abluftfahne (Betasubmersion);
- äußere Exposition durch Gammastrahlung aus der Abluftfahne (Gammasubmersion);
- äußere Exposition durch Gammastrahlung über kontaminiertem Boden (Bodenstrahlung);
- innere Exposition durch Radionuklide, die mit der Luft inhaliert werden (Inhalation);
- innere Exposition durch Verzehr kontaminierter Nahrungsmittel (Ingestion).

Zur Ermittlung der gesamten Dosis des Ganzkörpers oder eines Organs sind die Beiträge der relevanten Radionuklide über die Expositionspfade für die Referenzperson zu summieren.

### 4.2 Ausbreitungsrechnung

Die Konzentration der bei einem Störfall freigesetzten radioaktiven Stoffe wird in der Atmosphäre durch die turbulente Diffusion in Lee-Richtung vermindert. Es wird angenommen, daß sich die Abluftfahne sowohl seitlich als auch vertikal entsprechend einer Gauß-Verteilung ausbreitet und am Boden eine Reflexion erfolgt. Bei Störfällen ist im allgemeinen die Freisetzungsdauer kurz, und in diesen Fällen ist mit Kurzzeitausbreitungsfaktoren zu rechnen. Bei länger andauernden Emissionszeiten führen Veränderungen der meteorologischen Bedingungen wie Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Diffusionskategorie dazu, daß für längere Zeitphasen verminderte Kurzzeitausbreitungsfaktoren eingesetzt werden können. Die Freisetzung und Ausbreitung radioaktiver Stoffe werden daher in aufeinanderfolgenden Zeitintervallen  $k$  betrachtet, in denen die Freisetzungs- und Ausbreitungsbedingungen als konstant angenommen werden.

Für die einzelnen Zeitabschnitte  $k$  nach Beginn der störfallbedingten Emission sind die in den folgenden Kapiteln (4.2.1 bis 4.2.4) angenommenen Störfallausbreitungsfaktoren einzusetzen. Bei der Berechnung der Strahlenexposition ist die für das Gesamtergebnis ungünstigste Diffusionskategorie an den ungünstigsten Aufpunkten anzunehmen. Bei der Berechnung der Strahlenexposition durch Ingestion bzw. Bodenstrahlung ist die maximale Dosis bei Überlagerung von Fallout und Washout unter Zugrundelegung der für das Gesamtergebnis ungünstigsten Diffusionskategorie an den ungünstigsten Aufpunkten zu ermitteln.

#### 4.2.1 Störfallausbreitungsfaktoren $c_k$ für die bodennahe Aktivitätskonzentration

Diese Störfallausbreitungsfaktoren sind bestimmt zur Dosisberechnung für die Expositionspfade Betasubmersion, Bodenstrahlung, Inhalation sowie für die Ingestion (siehe Kapitel 4.3.2.1, 4.3.2.3, 4.3.3.1 und 4.3.3.2).

Zeitintervall k	$\chi_k$
bis 8 Stunden	$\max \{\chi (A...F)\}$
8 bis 24 Stunden	$\max \{(1/2) \chi (C...F)\}$
24 bis 72 Stunden	$\max \{(1/4) \chi (C...F)\}$
3 bis 7 Tage	$\max \{(1/8) \chi (C...E)\}$

Dabei ist:

$\max \{\chi (A...F)\}$  Ungünstigster Kurzzeitausbreitungsfaktor  $\chi$  in Bodennähe für die Diffusionskategorien A bis F bei  $y = 0$ . Für die Berechnung der Ingestiondosis ist für die Bereiche innerhalb und außerhalb des Umkreises von 2000 m Radius der jeweils ungünstigste Kurzzeitausbreitungsfaktor zu verwenden

und

$$\chi = \frac{1}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \exp\left(-\frac{H_e^2}{2\sigma_z^2}\right) \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \quad (4.1)$$

Hierin bedeuten:

- $H_e$ : effektive Emissionshöhe in m
- $u$ : Windgeschwindigkeit in effektiver Emissionshöhe in m/s
- $\sigma_y, \sigma_z$ : Ausbreitungsparameter in m
- $x$ : Quelledistanz in m
- $y$ : Distanz senkrecht zur Ausbreitungsrichtung in m

Die Koeffizienten zur Berechnung der Ausbreitungsparameter und das Interpolationsverfahren zur Bestimmung der Abhängigkeit von der effektiven Emissionshöhe sind im Anhang 1 angegeben.

Die Windgeschwindigkeit  $u$  in effektiver Emissionshöhe wird aus der Windgeschwindigkeit  $u_1$  in Bezugshöhe  $z_1$  ermittelt.

Für  $u_1$  sind die in der folgenden Tabelle angegebenen Werte anzuwenden:

Diffusionskategorie	A	B	C	D	E	F
$u_1$ in m/s in Bezugshöhe $z_1 = 10$ m	0,9	1,3	1,7	2,0	1,2	0,4

Die Vorschrift zur Berechnung der Windgeschwindigkeit  $u$  in effektiver Emissionshöhe und die zu verwendenden Daten sind im Anhang 2 angegeben.

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 anzuwendende Korrekturfaktoren berücksichtigt werden:

$$f_A = \exp\left(-\frac{v_g}{u} \sqrt{2/\pi} \int_0^x \frac{\exp\{-H_e^2/[2\sigma_z^2(x')]\}}{\sigma_z(x')} dx'\right) \quad (\text{trockene Ablagerung}) \quad (4.2)$$

$$f_R = \exp(-\Lambda x / u) \quad (\text{Washout}) \quad (4.3)$$

$$f_Z = \exp(-\lambda x / u) \quad (\text{radioaktiver Zerfall}) \quad (4.4)$$

Dabei ist:

$x$  = Quelldistanz in m

$\lambda$  = Zerfallskonstante in  $s^{-1}$

$\Lambda$  = Washoutkoeffizient in  $s^{-1}$  (siehe Kap. 4.2.3)

$v_g$  = Ablagerungsgeschwindigkeit in m/s (siehe Kap. 4.2.2)

$\sigma_z$  = vertikaler Ausbreitungsparameter in m

$u$  = Windgeschwindigkeit in effektiver Emissionshöhe in m/s

$H_e$  = effektive Emissionshöhe in m

Wenn bei einem Störfall gleichzeitig mit der Freisetzung radioaktiver Stoffe auch größere Wärmemengen emittiert werden, ist zur Berechnung der effektiven Emissionshöhe das im Anhang 5 beschriebene Verfahren anzuwenden. Dabei ist die für das Ergebnis ungünstigste Windgeschwindigkeit anzuwenden. Diese kann von der nach dem im Anhang 2 angegebenen Verfahren ermittelten Windgeschwindigkeit nach oben abweichen.

Ist die Konzentrationsverteilung in Lee der Quelle durch Gebäude gestört, d.h. erfolgt die Freisetzung 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 3 angegeben.

#### 4.2.2 Störfallfalloutfaktoren $F_k$ für die trockene Ablagerung (Fallout)

Die Störfallfalloutfaktoren  $F_k$  ergeben sich für jedes Zeitintervall  $k$  durch Multiplikation der Ablagerungsgeschwindigkeit  $v_g$  mit dem jeweiligen Störfallausbreitungsfaktor  $\chi_k$ :

$$F_k = v_g \cdot \chi_k \quad (4.5)$$

Die Störfallfalloutfaktoren  $F_k$  sind bestimmt zur Dosisberechnung für die Expositionspfade Bodenstrahlung und Ingestion (s. Kapitel 4.3.2.3 und 4.3.3.2, Falloutbeiträge).

Für die Ablagerungsgeschwindigkeit  $v_g$  sind folgende Werte anzuwenden:

$$v_g = 10^{-2} \text{ m/s für elementares Jod}$$

$$v_g = 10^{-4} \text{ m/s für organisch gebundenes Jod}$$

$$v_g = 10^{-3} \text{ m/s für Aerosole}$$

#### 4.2.3 Störfallwashoutfaktoren $W_k$ für die Ablagerung mit Niederschlägen (Washout)

Die Störfallwashoutfaktoren  $W_k$  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 4.3.2.3 und 4.3.3.2, Washoutbeiträge).

Für die verschiedenen Zeitintervalle  $k$  sind folgende Störfallwashoutfaktoren anzuwenden:

Zeitintervall $k$	$W_k$
bis 8 Stunden	$\max \{W (C...E)\}$
8 bis 24 Stunden	$\max \{(1/2) W (D)\}$
24 bis 72 Stunden	$\max \{(1/4) W (D)\}$
3 bis 7 Tage	$\max \{(1/8) W (D)\}$

Dabei ist:

$\max \{W (C...E)\}$  Ungünstigster Kurzzeit-Washout-Faktor für die Diffusionskategorien C, D, E bei  $y = 0$ . Für die Berechnung der Ingestionsdosis ist für die Bereiche innerhalb und außerhalb des Umkreises von 2000 m Radius der jeweils ungünstigste Kurzzeit-Washout-Faktor zu verwenden,

$$\text{wobei } W = \frac{\Lambda}{\sqrt{2\pi}\sigma_y u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \quad (4.6)$$

mit  $u$  = Windgeschwindigkeit in m/s in effektiver Emissionshöhe  $H_e$

$y$  = Distanz senkrecht zur Ausbreitungsrichtung in m

$\Lambda$  = Washoutkoeffizient in  $s^{-1}$

$$= c \cdot I^{0,6}$$

mit

- I = 5 mm/h im Zeitintervall von 0 bis 8 Stunden
- = 2 mm/h im Zeitintervall von 8 bis 24 Stunden
- = 1 mm/h im Zeitintervall von 24 bis 72 Stunden
- = 0,5 mm/h im Zeitintervall von 3 bis 7 Tage

- c =  $8 \cdot 10^{-5} \text{ (h/mm)}^{0,6} \text{ s}^{-1}$  für elementares Jod
- =  $8 \cdot 10^{-7} \text{ (h/mm)}^{0,6} \text{ s}^{-1}$  für organisch gebundenes Jod
- =  $2 \cdot 10^{-5} \text{ (h/mm)}^{0,6} \text{ s}^{-1}$  für gefilterte Aerosole
- =  $8 \cdot 10^{-5} \text{ (h/mm)}^{0,6} \text{ s}^{-1}$  für ungefilterte Aerosole

#### 4.2.4 Störfallausbreitungsfaktoren $c_{gk}$ für die Gammasubmersion

Die Störfallausbreitungsfaktoren für die Gammasubmersion sind bestimmt zur Dosisberechnung für den Expositionspfad Gammastrahlung aus der Abluftfahne (Kapitel 4.3.2.2).

Für die verschiedenen Zeitintervalle k sind folgende Störfallausbreitungsfaktoren für die Gammasubmersion anzuwenden:

Zeitintervall k	$\chi_{\gamma k}$
bis 8 Stunden	$\max \{ \chi_{\gamma} (A...F) \}$
8 bis 24 Stunden	$\max \{ (1/2) \chi_{\gamma} (C...F) \}$
24 bis 72 Stunden	$\max \{ (1/4) \chi_{\gamma} (C...F) \}$
3 bis 7 Tage	$\max \{ (1/8) \chi_{\gamma} (C...E) \}$

Dabei ist:

$\max \{ \chi_{\gamma} (A...F) \}$  Ungünstigster Kurzzeitstörfallausbreitungsfaktor für die Gammasubmersion für die Diffusionskategorien A bis F

und

$$\chi_{\gamma} = \iiint_{-\infty}^{+\infty} \frac{B(\mu r) \exp(-\mu r)}{2\pi r^2 \sigma_y \sigma_z u} \exp\left(-\frac{Y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(Z - H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right) dXdYdZ \quad (4.7)$$

In dieser Formel bedeuten:

- $\mu$ : Schwächungskoeffizient für Gammastrahlung von 1 MeV in Luft in  $\text{m}^{-1}$
- r: Abstand zwischen Aufpunkt und Koordinate des Ursprungpunktes der Gammastrahlung in m

$$= \sqrt{(x - X)^2 + (y - Y)^2 + (z - Z)^2}$$

x,y,z: Koordinaten des Aufpunktes (y = 0 und z = 0)

X,Y,Z: Koordinaten des Ursprungspunktes der Gammastrahlung

$\sigma_y, \sigma_z$ : Ausbreitungsparameter in m

B( $\mu$ r): Dosisaufbaufaktor in Luft

$$B(\mu r) = 1 + 0,00765 \cdot r + 0,0000082 \cdot r^2$$

u: Windgeschwindigkeit in effektiver Emissionshöhe in m/s

H<sub>e</sub>: effektive Emissionshöhe in m

Die Berechnung ist für eine Gammaenergie von 1 MeV durchzuführen.

#### 4.2.5 Probabilistisches Auswerteverfahren

Das unter 4.2.1 bis 4.2.4 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 Ausbreitungssituationen 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. Für die bodennahe Aktivitätskonzentration sowie für die Aktivitätsablagerung auf Boden und Vegetation ist der 95-von-Hundert-Wert der Summenhäufigkeitsverteilung der ungünstigsten Werte zu ermitteln und bei der nachfolgenden Dosisberechnung zugrunde zu legen. Die grundsätzliche Vorgehensweise für das Verfahren zur probabilistischen Auswertung ist im Anhang 6 beschrieben.

### 4.3 Dosisberechnung

#### 4.3.1 Vorbemerkung

Die im folgenden angegebenen Berechnungsverfahren berücksichtigen, daß im allgemeinen die Freisetzungsraten radioaktiver Stoffe und die Ausbreitungsbedingungen beim Störfall zeitlich nicht konstant sein werden.

Zur Dosisberechnung wird der Zeitraum, in dem radioaktive Stoffe freigesetzt werden, ausgehend von der ersten Aktivitätsfreisetzung, in Zeitintervalle k unterteilt (siehe Kapitel 4.2). Zur Vereinfachung wird im Sinne einer konservativen Berechnung der Dosis angenommen, daß die Aktivitätsfreisetzung in einem Zeitintervall am Anfang des Zeitintervalls erfolgt. Bei zeitlich ungleichmäßigen Aktivitätsfreisetzungen, bei denen die höchsten Werte nicht im ersten Zeitintervall liegen, ist darauf zu achten, daß die Aktivitätsfreisetzungsraten, die zu den höchsten Strahlenexpositionen führen, mit den ungünstigsten Ausbreitungsbedingungen (Zeitintervall 0 bis 8 Stunden) korreliert werden.

#### 4.3.2 Äußere Strahlenexposition

##### 4.3.2.1 Betastrahlung innerhalb der Abluftfahne (Betasubmersion)

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

$$D_{\beta r} = g_{\beta r} \sum_{k=1}^N Q_{r,k} \chi_k \quad (4.8)$$

Dabei ist:

$D_{\beta r}$ : Dosis durch Betasubmersion des Nuklids r in 0,07 mm Hauttiefe in cSv (rem)

$g_{\beta r}$ : Dosisfaktor für die Haut bei Betasubmersion durch das Nuklid r in

$$\frac{\text{cSv} \cdot \text{m}^3}{\text{Bq} \cdot \text{s}} \left( \frac{\text{rem} \cdot \text{m}^3}{\text{Ci} \cdot \text{s}} \right)$$

(siehe Allgemeine Berechnungsgrundlage, GMBL 1979, S. 369 ff)

$Q_{r,k}$ : freigesetzte Aktivität des Nuklids r im Zeitintervall k in Becquerel (Curie)

$\chi_k$ : Störfallausbreitungsfaktor im Zeitintervall k in  $\text{s}/\text{m}^3$  (siehe Kapitel 4.2.1)

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

#### 4.3.2.2 Gammastrahlung aus der Abluftfahne (Gammasubmersion)

Bei der Exposition durch Gammastrahlung aus der Abluftfahne sind wegen der großen Reichweite der Gammaquanten die Beiträge aus der gesamten Abluftfahne zu berücksichtigen.

Die Dosis ergibt sich zu:

$$D_{\gamma r} = g_{\gamma r} \sum_{k=1}^N Q_{r,k} \chi_{\gamma k} \quad (4.9)$$

Dabei ist:

$D_{\gamma r}$ : Dosis durch Gammastrahlung aus der Abluftfahne durch das Nuklid r in cSv (rem)

$g_{\gamma r}$ : Dosisfaktor für Gammasubmersion für das Nuklid r

$$\text{in } \frac{\text{cSv} \cdot \text{m}^2}{\text{Bq} \cdot \text{s}} \left( \frac{\text{rem} \cdot \text{m}^2}{\text{Ci} \cdot \text{s}} \right)$$

(siehe Allgemeine Berechnungsgrundlage, GMBL 1979, S. 369 ff)

$Q_{r,k}$ : freigesetzte Aktivität des Nuklids r im Zeitintervall k in Bq (Ci)

$\chi_{\gamma k}$ : Störfallausbreitungsfaktor für die Gammasubmersion in  $\text{s}/\text{m}^2$  (siehe Kapitel 4.2.4)

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

#### 4.3.2.3 Gammastrahlung über kontaminiertem Boden (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:

$$D_{br} = g_{br} K_{br} \sum_{k=1}^N (F_{rk} + W_{rk}) Q_{r,k} \quad (4.10)$$

Dabei ist:

$D_{br}$ : Gammadosis über kontaminiertem Boden während der Expositionszeit von 50 Jahren durch das Nuklid r in cSv (rem)

$g_{br}$ : Gammadosisfaktor für kontaminierten Boden für das Nuklid r

$$\text{in } \frac{\text{cSv} \cdot \text{m}^2}{\text{Bq} \cdot \text{s}} \left( \frac{\text{rem} \cdot \text{m}^2}{\text{Ci} \cdot \text{s}} \right)$$

(siehe Allgemeine Berechnungsgrundlage, GMBI. 1979, S. 369 ff)

$F_{rk}$ : Störfallfalloutfaktor im Zeitintervall k für das Nuklid r in  $\text{m}^{-2}$   
(siehe Kapitel 4.2.2)

$W_{rk}$ : Störfallwashoutfaktor im Zeitintervall k für das Nuklid r in  $\text{m}^{-2}$   
(siehe Kapitel 4.2.3)

$K_{br}$ :  $\{1 - \exp(-\lambda_r t_{Bo})\} / \lambda_r$   
(siehe Allgemeine Berechnungsgrundlage, GMBI. 1979, S. 369 ff)

$\lambda_r$ : physikalische Zerfallskonstante des Nuklids r in  $\text{s}^{-1}$

$t_{Bo}$ :  $1,6 \cdot 10^9 \text{ s}$  (entsprechend einer Expositionszeit von 50 Jahren)

$Q_{r,k}$ : freigesetzte Aktivität des Nuklids r im Zeitintervall k in Becquerel (Curie)

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

### 4.3.3 Innere Strahlenexposition

#### 4.3.3.1 Inhalation

Die Strahlenexposition durch Inhalation des Nuklids r ist von der Aktivitätskonzentration der Luft am betrachteten Ort abhängig. Die Dosis beträgt für das Organ l

$$D_{hrl} = g_{hrl} \sum_{k=1}^N Q_{r,k} \chi_k V_k \quad (4.11)$$

Dabei ist:

$D_{hrl}$ : Dosis durch Inhalation des Nuklids r im Organ l in cSv (rem)

$\chi_k$ : Störfallausbreitungsfaktor im Zeitintervall k in  $\text{s}/\text{m}^3$  (siehe Kapitel 4.2.1)

$V_k$ : Atemrate in  $\text{m}^3/\text{s}$  im Zeitintervall k (siehe Kapitel 4.4.1)

$g_{\text{hri}}$ : Inhalationsdosisfaktor des Nuklids  $r$  für das Organ  $l$  in cSv/Bq (rem/Ci)  
(siehe Allgemeine Berechnungsgrundlage, GMBI. 1979, S. 369 ff)

$Q_{r,k}$ : freigesetzte Aktivität des Nuklids  $r$  im Zeitintervall  $k$  in Becquerel (Curie)

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

### 4.3.3.2 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:

$$D_{\text{grl}} = g_{\text{grl}} \left\{ \sum_{k=1}^L [J_k^{\text{g}1} (F_{\text{rk}} + f_w W_{\text{rk}}) Q_{r,k}] + \sum_{k=1}^N [J_k^{\text{g}2} (F_{\text{rk}} + W_{\text{rk}}) Q_{r,k}] \right\} \quad (4.12)$$

Mit:

$D_{\text{grl}}$ : Ingestionsdosis vom Nuklid  $r$  im Organ  $l$  in cSv (rem)

$g_{\text{grl}}$ : Ingestionsdosisfaktor für das Nuklid  $r$  und das Organ  $l$  in cSv/Bq (rem/Ci)  
(siehe Allgemeine Berechnungsgrundlage, GMBI. 1979, S. 369 ff)

$J_k^{\text{g}1}$ : Faktor, der den Aktivitätstransfer von oberirdischen Pflanzenteilen zu den vier Nahrungsmittelgruppen für das Zeitintervall  $k$  beschreibt, in  $\text{m}^2$

$J_k^{\text{g}2}$ : Faktor, der den Aktivitätstransfer vom Boden zu den vier Nahrungsmittelgruppen beschreibt, in  $\text{m}^2$

$Q_{r,k}$ : Aktivitätsfreisetzung des Nuklids  $r$  im Zeitintervall  $k$  in Becquerel (Curie)

$F_{\text{rk}}$ : Störfallfalloutfaktor für das Nuklid  $r$  im Zeitintervall  $k$  in  $\text{m}^{-2}$

$W_{\text{rk}}$ : Störfallwashoutfaktor für das Nuklid  $r$  im Zeitintervall  $k$  in  $\text{m}^{-2}$

$f_w$ : Anteil der auf der Pflanze abgelagerten Aktivität (für Washout)  
(Tabelle 1 im Anhang 4)

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

$L$ : – im Umkreis von 2000 m Radius: Zahl der Zeitintervalle bis 24 Stunden, in denen die Aktivitätsfreisetzung erfolgt

– außerhalb des Umkreises von 2000 m Radius:  $L = N$

Bei der Berechnung von  $J_k^{g1}$  wird davon ausgegangen, daß die Aufnahme der im Umkreis von 2000 m Radius über oberirdische Pflanzenteile kontaminierten Nahrungsmittel und des in diesem Umkreis über oberirdische Pflanzenteile kontaminierten Futters einen Tag nach der ersten störfallbedingten Aktivitätsfreisetzung eingestellt wird. Mit der Zeit  $t_k$  vom Anfang des Zeitintervalls  $k$  bis zum Zeitpunkt der Einstellung der Aufnahme kontaminierten Futters bzw. bis zum Wachstumsende ergibt sich der Faktor  $J_k^{g1}$  zu:

$$J_k^{g1} = \frac{a_p}{\lambda_{\text{eff},r}} \left[ 1 - \exp(-\lambda_{\text{eff},r} t_k) \right] \left\{ \frac{U^{\text{Bl}}}{Y^{\text{Bl}}} + \frac{U^{\text{Pf}} \exp(-\lambda_r t_v^{\text{Pf}})}{Y^{\text{Pf}}} + \frac{I}{Y^{\text{Wd}}} \left[ U^{\text{Mi}} T_r^{\text{Mi}} + U^{\text{Fl}} T_r^{\text{Fl}} \exp(-\lambda_r t_v^{\text{Fl}}) \right] \right\} \quad (4.13)$$

Bei der Berechnung des Faktors  $J^{g2}$  zur 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  $t_B$  (50 Jahre) ausgegangen. Dann ergibt sich der Faktor  $J^{g2}$  zu:

$$J^{g2} = \frac{a_p T_r^{\text{Pf}}}{\lambda_r} \left[ 1 - \exp(-\lambda_r t_B) \right] \left\{ \frac{U^{\text{Bl}} + U^{\text{Pf}} \exp(-\lambda_r t_v^{\text{Pf}})}{p^A} + \frac{I}{p^{\text{Wd}}} \left[ U^{\text{Mi}} T_r^{\text{Mi}} + U^{\text{Fl}} T_r^{\text{Fl}} \exp(-\lambda_r t_v^{\text{Fl}}) \right] \right\} \quad (4.14)$$

In den Formeln für  $J_k^{g1}$  und  $J^{g2}$  bedeuten:

$a_p$ : Umrechnungsfaktor  $\frac{1}{3,15 \cdot 10^7} = 3,2 \cdot 10^{-8}$  (a / s)

$U^{\text{Bl}}$ : Verzehrrate für Blattgemüse in kg/a (Tabelle 2 im Anhang 4)

$U^{\text{Pf}}$ : Verzehrrate für sonstige pflanzliche Produkte in kg/a (Tabelle 2 im Anhang 4)

$U^{\text{Mi}}$ : Verzehrrate für Milch in l/a (Tabelle 2 im Anhang 4)

$U^{\text{Fl}}$ : Verzehrrate für Fleisch in kg/a (Tabelle 2 im Anhang 4)

$\lambda_r$ : physikalische Zerfallskonstante des Nuklids  $r$  in  $s^{-1}$

$\lambda_{\text{eff},r}$ : effektive Abklingkonstante des Nuklids  $r$  auf der Vegetation  
 $\lambda_{\text{eff},r} = \lambda_r + 5,7 \cdot 10^{-7}$  in  $s^{-1}$

$t_v^{\text{Pf}}$ : Zeit zwischen Ernte und Verzehr von sonstigen pflanzlichen Produkten (Tabelle 1 im Anhang 4)

$t_v^{\text{Fl}}$ : Zeit zwischen Schlachten und Fleischverzehr (Tabelle 1 im Anhang 4)

$t_B$ :  $1,6 \cdot 10^9$  s entsprechend einer Nahrungsmittelaufnahme über die dem Störfalleintritt folgenden 50 Jahre

$Y^{\text{Bl}}$ : Ertrag (Frischgewicht) von Blattgemüse in  $kg/m^2$  (Tabelle 1 im Anhang 4)

$Y^{Pf}$ : Ertrag (Frischgewicht) von sonstigen pflanzlichen Produkten in  $kg/m^2$  (Tabelle 1 im Anhang 4)

$Y^{Wd}$ : Ertrag (Frischgewicht) von Weidegras in  $kg/m^2$  (Tabelle 1 im Anhang 4)

$p^A$ : Flächenbezogene Masse des Bodens bis zur Pflugschartiefe in  $kg/m^2$  (Tabelle 1 im Anhang 4)

$p^{Wd}$ : Flächenbezogene Masse des Weidebodens in  $kg/m^2$  (Tabelle 1 im Anhang 4)

$T_r^{Pf}$ : Transferfaktor Boden - Pflanze in  $kg$  Trockensubstanz Boden/ $kg$  Feuchtsubstanz Pflanze (Tabelle 3 im Anhang 4)

$T_r^{Mi}$ : Transferfaktor Pflanze - Milch in  $d/l$  (Tabelle 3 im Anhang 4)

$T_r^{Fl}$ : Transferfaktor Pflanze - Fleisch in  $d/kg$  (Tabelle 3 im Anhang 4)

$I$ : Futterkonsumrate der Weidetiere in  $kg$  Naßgewicht/ $d$  (Tabelle 1 im Anhang 4)

$t_k$ : – für die im Umkreis von 2000 m Radius kontaminierten Nahrungs- und Futtermittel: Zeit zwischen Beginn der Freisetzung im Zeitintervall  $k$  und Einstellung des Verzehrs von kontaminierten Nahrungsmitteln und Futter in Sekunden

– für die außerhalb des Umkreises von 2000 m Radius kontaminierten Nahrungs- und Futtermittel: Zeit zwischen Beginn der Freisetzung 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 2000 m Radius kontaminierten Nahrungs- und Futtermittel: Ingestionsdauer bzw. Zeit bis zur Einstellung des Verzehrs kontaminierter Nahrungsmittel und kontaminierter Futters nach Beginn der Aktivitätsfreisetzung in Sekunden (Tabelle 1 im Anhang 4)

– für die außerhalb des Umkreises von 2000 m Radius kontaminierten Nahrungs- und Futtermittel: Wachstumszeit in Sekunden (Tabelle 1 im Anhang 4)

$\sum_{i=1}^{k-1} \Delta t_i$ : Zeit zwischen Beginn der Aktivitätsfreisetzung und Beginn des Zeitintervalls  $k$  in Sekunden

## 4.4 Biologische Rechengrößen

### 4.4.1 Atemrate

Atemrate  $V_k$

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

## Anhang 1 zum Kapitel 4 der Störfallberechnungsgrundlagen

### Daten und Interpolationsverfahren zur Berechnung der Ausbreitungsparameter $S_y$ , $S_z$ (Kapitel 4.2)

Für die Ausbreitungsparameter wird der Ansatz

$$\sigma_j = p_j \cdot x^{q_j}, \quad j = y, z$$

gemacht. Hierin bedeuten:

$\sigma_j$  : Ausbreitungsparameter in m

$p_j, q_j$  : Koeffizienten zur Berechnung der Ausbreitungsparameter,  
 $p_j$  in  $m^{(1-q_j)}$ ,  $q_j$  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 effektive Emissionshöhen kleiner als 50 m ist der Datensatz für 50 m, für effektive Emissionshöhen größer als 180 m derjenige für 180 m anzuwenden. Für effektive Emissionshöhen zwischen 50 m und 100 m sowie zwischen 100 m und 180 m erfolgt eine geometrische Interpolation zwischen den tabellierten Werten von  $p_j$  und eine lineare Interpolation zwischen den tabellierten Werten von  $q_j$ .

Es ist:

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

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

Hierin bedeuten:

$p_{j,i}$  ,  $q_{j,i}$  : Koeffizienten für  $\sigma_j$  für die effektive Emissionshöhe  $H_i$  zwischen  $H_o$  und  $H_u$

$H_i$  : effektive Emissionshöhe zwischen den Basishöhen in m

$H_u$  : untere Basishöhe in m

$H_o$  : obere Basishöhe in m

$p_{j,o}$  ,  $q_{j,o}$  : Koeffizienten für  $\sigma_j$  für die Basishöhe  $H_o$

$p_{j,u}$  ,  $q_{j,u}$  : Koeffizienten für  $\sigma_j$  für die Basishöhe  $H_u$

## Anhang 2 zum Kapitel 4 der Störfallberechnungsgrundlagen

### Berechnung der Windgeschwindigkeit in effektiver Emissionshöhe (Kapitel 4.2)

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

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

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

Dabei ist

$u_1$  : Windgeschwindigkeit in m/s in Bezugshöhe  $z_1 = 10$  m oberhalb des mittleren Störniveaus

$H_e$  : 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

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

### Korrekturvorschriften zur Berücksichtigung von Gebäudeeinflüssen, besonderen orographischen Verhältnissen und Kühlturmeinflüssen in der Ausbreitungsrechnung (Kapitel 4.2)

#### Gebäudeeinfluß

Bei niedrigen effektiven Emissionshöhen  $H_e$  in der Nähe von Gebäuden kann die Abluft durch die Gebäudeumströmung 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:

$$\text{a) } H_e > H_G \quad h' = 0,5 [3 H_e - (H_G + l_G)]$$

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

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 4.2 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 somit 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 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)  $h(x,y = 0) < H_e/2$

$$\chi = \frac{1}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp \left\{ -\frac{[H_e - h(x,y)]^2}{2\sigma_z^2} \right\} \exp \left( -\frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right)$$

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

$$\chi = \frac{1}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp \left[ -\frac{(H_e/2)^2}{2\sigma_z^2} \right] \exp \left( -\frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right)$$

## 2. Diffusionskategorien E und F

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

$$\chi = \frac{1}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp \left\{ -\frac{[H_e - h(x,y)]^2}{2\sigma_z^2} \right\} \exp \left( -\frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right)$$

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

$$\chi = \frac{1}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp \left( -\frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right)$$

Hierbei bedeuten zusätzlich zu Kapitel 4.2.1:

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

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

## Kühlturmeinfluß

Da allgemein anerkannte Rechenmodelle über den Kühlturmeinfluß nicht existieren, können hier nur folgende Hinweise gegeben werden:

1. Durch die Ausmaße eines Kühlturms wird zusätzlich mechanische Turbulenz erzeugt. Dies wirkt sich auf die Ausbreitung der Abluftfahne insbesondere dann aus, wenn die Windrichtung vom Kamin zum Kühlturm oder umgekehrt weist. In diesen Fällen erhöht sich das Konzentrationsmaximum und rückt näher an die Quelle heran.
2. Unterschiede 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.

## Anhang 4 zum Kapitel 4 der Störfallberechnungsgrundlagen

### Daten zur Berechnung der Dosis

**Tabelle 1: Daten zur Berechnung des Radionuklidtransports über den Ingestionspfad**

Symbol	Definition	Wert
$f_w$	Anteil der auf der Pflanze abgelagerten Aktivität	0,2
I	Futterkonsumrate der Weidetiere (Naßgewicht)	65 kg/d
$p^A$	flächenbezogene Masse des Ackerbodens (Pflugschartiefe von 20 cm, trockener Boden)	280 kg/m <sup>2</sup>
$p^{Wd}$	flächenbezogene Masse des Weidebodens (10 cm Tiefe)	120 kg/m <sup>2</sup>
$t'$	– für die im Umkreis von 2000 m Radius kontaminierten Nahrungs- und Futtermittel: Zeit vom Beginn der Aktivitätsfreisetzung bis zur Einstellung des Verzehrs von kontaminierten Nahrungsmitteln und kontaminiertem Futter	86 400 s
	– für die außerhalb des Umkreises von 2000 m Radius kontaminierten Nahrungs- und Futtermittel: Wachstumszeit $t_e$	
	a) für Blattgemüse und sonstige pflanzliche Produkte	$5,2 \cdot 10^6$ s
	b) für Weidegras	$2,6 \cdot 10^6$ s
$t_v^{Pf}$	Zeit zwischen Ernte und Verzehr von sonstigen pflanzlichen Produkten	$5,2 \cdot 10^6$ s
$t_v^{Fl}$	Zeit zwischen Schlachten und Fleischverzehr	$1,7 \cdot 10^6$ s
$Y^{Wd}$	Ertrag (Frischgewicht) von Weidegras	0,85 kg/m <sup>2</sup>
$Y^{Bl}$	Ertrag (Frischgewicht) von Blattgemüse	1,6 kg/m <sup>2</sup>
$Y^{Pf}$	Ertrag (Frischgewicht) von sonstigen pflanzlichen Produkten	2,4 kg/m <sup>2</sup>

**Tabelle 2: Verzehrraten**

		Verzehrrate in kg/Jahr bzw. l/Jahr	
		Erwachsener	Kleinkind
$U^{Pf}$	(sonstige pflanzliche Produkte)	420	-
$U^{Bl}$	(Blattgemüse)	42	-
$U^{Mi}$	(Milch)	330	300
$U^{Fl}$	(Fleisch)	150	-

**Tabelle 3: Transferdaten zur Berechnung des Radionuklidtransportes in pflanzliche Produkte, zur Milch und zum Fleisch**

Symbol Element	$T_r^{Pf}$ Pflanze/Boden in kg TS (Bo)/kg FS (Pf) [-]	$T_r^{Mi}$ Milch/Futter in d/l [d/kg Milch]	$T_r^{Fl}$ Fleisch/Futter in d/kg [d/kg Fleisch]
H	—	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
Be	$5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$
C	—	$2 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$
F	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-1}$
Na	$5 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$
Al	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Si	$2 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-5}$
P	$5 \cdot 10^{+1}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$
S	$6 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$
Cl	$5 \cdot 10^0$	$2 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-2}$
K	$4 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-2}$
Ca	$4 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-3}$
Sc	$2 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-2}$
V	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-3}$
Cr	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$
Mn	$5 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$
Fe	$4 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-2}$
Co	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-2}$
Ni	$2 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-3}$
Cu	$2 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$
Zn	$4 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$
Ga	$3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-1}$
Ge	$1 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-1}$
As	$1 \cdot 10^{-2}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Se	$2 \cdot 10^0$	$5 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
Br	$8 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$
Rb	$2 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-2}$
Sr	$4 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-4}$
Y	$3 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Zr	$2 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-2}$
Nb	$1 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-1}$
Tc	$3 \cdot 10^0$	$1 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-2}$
Ru	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Rh	$2 \cdot 10^{+1}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Pd	$5 \cdot 10^0$	$1 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-3}$
Ag	$2 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
Cd	$3 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-4}$
In	$3 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-3}$
Sn	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-2}$
Sb	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$

Symbol	$T_r^{Pf}$	$T_r^{Mi}$	$T_r^{Fl}$
Element	Pflanze/Boden in kg TS (Bo)/kg FS (Pf) [-]	Milch/Futter in d/l [d/kg Milch]	Fleisch/Futter in d/kg [d/kg Fleisch]
Te	$2 \cdot 10^0$	$2 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-2}$
I	$2 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-3}$
Cs	$5 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$
Ba	$5 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-3}$
La	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$
Ce	$5 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Pr	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Nd	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-3}$
Pm	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Sm	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Eu	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Gd	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-3}$
Tb	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Dy	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-3}$
Ho	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Er	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-3}$
Tm	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Yb	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-3}$
Lu	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Hf	$2 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-1}$
Ta	$7 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-1}$
W	$2 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Re	$3 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$
Os	$5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-1}$
Ir	$2 \cdot 10^{+1}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Pt	$5 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$
Au	$3 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-3}$
Hg	$4 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-1}$
Tl	$3 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-2}$
Pb	$7 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-3}$
Bi	$2 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-2}$
Po	$9 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-2}$
At	$3 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-1}$
Ra	$2 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-4}$
Ac	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-2}$
Th	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-4}$
Pa	$3 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-3}$
U	$3 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$
Np	$3 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-4}$
Pu	$3 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-5}$
Am	$3 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$
Cm	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$
Bk	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$
Cf	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$

## Anhang 5 zum Kapitel 4 der Störfallberechnungsgrundlagen

### Berechnung der effektiven Emissionshöhe bei gleichzeitiger Freisetzung von radioaktiven Stoffen und größeren Wärmemengen

Die Abluftfahnenüberhöhung  $\ddot{u}$ , 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/s einzusetzen; die Abluftfahnenüberhöhung ergibt sich dann in m.

a) Labile Temperaturschichtung (Diffusionskategorien A und B)

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

mit  $\ddot{u}_{la}(x) + H$  kleiner oder gleich 1 100 m

Für  $M$  größer 6 MW gilt zusätzlich:

$$x_{\max_{la1}} = 288 \cdot M^{2/5}$$

$$\ddot{u}_{\max_{la1}} = 146 \cdot M^{3/5} \cdot u^{-1}$$

mit  $\ddot{u}_{\max_{la1}} + H$  kleiner oder gleich 1 100 m

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

$$x_{\max_{la2}} = 195 \cdot M^{5/8}$$

$$\ddot{u}_{\max_{la2}} = 112 \cdot M^{3/4} \cdot u^{-1}$$

mit  $\ddot{u}_{\max_{la2}} + H$  kleiner oder gleich 1 100 m

b) Neutrale Temperaturschichtung (Diffusionskategorien C und D)

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

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

Für  $M$  größer 6 MW gilt zusätzlich:

$$x_{\max_{n1}} = 210 \cdot M^{2/5}$$

$$\ddot{u}_{\max_{n1}} = 102 \cdot M^{3/5} \cdot u^{-1}$$

mit  $\ddot{u}_{\max_{n1}} + H$  kleiner oder gleich 800 m

Für M kleiner oder gleich 6 MW gilt zusätzlich:

$$x_{\max_{n2}} = 142 \cdot M^{5/8}$$

$$\ddot{u}_{\max_{n2}} = 78,4 \cdot M^{3/4} \cdot u^{-1}$$

mit  $\ddot{u}_{\max_{n2}} + H$  kleiner oder gleich 800 m

c) Stabile Temperaturschichtung (Diffusionskategorien E und F)

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

Für Diffusionskategorie F gilt zusätzlich:

$$x_{\max_{stf}} = 104 \cdot u$$

$$\ddot{u}_{\max_{stf}} = 74,4 M^{1/3} \cdot u^{-1/3} \quad (4.A2)$$

Für Diffusionskategorie E gilt zusätzlich:

$$x_{\max_{ste}} = 127 \cdot u$$

$$\ddot{u}_{\max_{ste}} = 85,2 M^{1/3} \cdot u^{-1/3} \quad (4.A3)$$

Die nach einer der Gleichungen (4.A1), (4.A2) oder (4.A3) berechnete Abluftfahrenüberhöhung 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 in MW	virtueller Wärmestrom
R in m <sup>3</sup> /s	Volumenstrom der Abluft im Normzustand
T in K	Temperatur der Abluft
T <sub>v</sub> in K	virtuelle Temperatur = $T \cdot (1 + 0,6 q \cdot 10^{-3})$ mit q = spezifische Feuchte der Abluft in g/kg (bei reinem Wasserdampf ist q = $1,0 \cdot 10^3$ g/kg)
u in m/s	Windgeschwindigkeit in Emissionshöhe

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

## Anhang 6 zum Kapitel 4 der Störfallberechnungsgrundlagen

### Methode für die Durchführung probabilistischer Berechnungen

Zur Durchführung probabilistischer Berechnungen der Ablagerungs- und Ausbreitungsfaktoren sind Angaben über die Wettersituation (Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Diffusionskategorie, Niederschlagsrate) in Zeitelementen  $\tau$  ( $\tau = 0,5$  h oder  $1,0$  h) über einen repräsentativen Zeitraum (mehrere Jahre) erforderlich.

Die Berechnung eines Ablagerungs- bzw. Ausbreitungsfaktors für ein aus  $n$  Zeitelementen  $\tau$  bestehendes Zeitintervall  $\Delta T = n \cdot \tau$  ist, wie im folgenden beschrieben, durchzuführen.

Um den Ort der potentiellen Emission ist ein hinreichend feines Raster von Aufpunkten festzulegen. Sodann sind für alle Zeitelemente  $\tau_j$  des betrachteten Zeitintervalls  $\Delta T$  und für alle Aufpunkte des Rasters die Kurzzeit-Ausbreitungsfaktoren  $\chi_j$ , die Kurzzeit-Ablagerungsfaktoren für die Ablagerung auf Pflanzen  $A_{Pf_j}$  ( $A_{Pf} = F + 0,2 W$ ) und die Kurzzeit-Ablagerungsfaktoren für die Ablagerung auf dem Boden  $A_{Bod_j}$  ( $A_{Bod} = F + W$ ) zu berechnen. Kurzzeit-Ausbreitungsfaktor  $\chi$ , Kurzzeit-Falloutfaktor  $F$  und Kurzzeit-Washoutfaktor  $W$  sind dabei mit den in den Gleichungen (4.1), (4.5) und (4.6) für die in dem jeweiligen Zeitelement vorliegende Wettersituation zu berechnen. Aus den für jede der Größen  $\chi$ ,  $A_{Pf}$  und  $A_{Bod}$  bestimmten Einzelwerten für die  $n$  Zeitelemente  $\tau_j$  des Zeitintervalls  $\Delta T$  ist im Falle einer konstanten Emission für jeden Aufpunkt des Rasters der arithmetische Mittelwert der  $n$  Einzelwerte zu ermitteln. Im Fall einer zeitlich variablen Emission ist ein gewichteter Mittelwert zu berechnen. Dabei müssen die Werte für die einzelnen Zeitelemente  $\tau_j$  entsprechend dem zeitlichen Verlauf der Emission gewichtet werden. Hierfür ist jeder „Kurzzeit-Faktor“ eines Zeitelemente  $\tau_j$  mit einem Gewichtungsfaktor  $g_j$  zu multiplizieren, der den jeweiligen Anteil der in diesem Zeitelement  $\tau_j$  erfolgten Emission angibt  $\left( \sum_{j=1}^n g_j = 1 \right)$  für alle  $n$

Zeitelemente  $\tau_j$  des Zeitintervalls  $\Delta T$ .

Im Falle einer zeitlich variablen Aktivitätsfreisetzung ist damit z.B. der Ausbreitungsfaktor als Summe der mit den jeweiligen Gewichtungsfaktoren multiplizierten einzelnen Kurzzeit-Ausbreitungsfaktoren zu berechnen:

$$\left( \chi = \sum_{j=1}^n g_j \chi_j \right).$$

Aus diesen arithmetischen oder gewichteten Mittelwerten für alle Aufpunkte des Rasters ist der jeweils maximale Wert zu ermitteln.

Die Bestimmung der Maximalwerte für die arithmetischen oder gewichteten Mittelwerte ist für eine hinreichende Anzahl von Zeitintervallen  $\Delta T$  durchzuführen. Die Auswahl der Startzeitpunkte  $t_A$  der Zeitintervalle  $\Delta T$  kann dabei so erfolgen, daß über einen ausreichend langen Zeitraum jeweils nach Ablauf eines Zeitintervalls  $\Delta T$  oder eines Zeitelements  $\tau$  ein neuer Startzeitpunkt angenommen wird. Aus der für jede der behandelten Größen (Ausbreitungsfaktor  $\chi$ , Ablagerungsfaktoren  $A_{Pf}$  und  $A_{Bod}$ ) berechneten Gesamtheit von Maximalwerten für alle Zeitintervalle  $\Delta T$  ist jeweils eine Häufigkeitsverteilung dieser Werte zu erstellen. Aus

dieser Verteilung ist schließlich jeweils der Wert abzulesen, unterhalb dessen 95 % aller vorher ermittelten Maximalwerte der jeweiligen Größe liegen. Diese 95-von-Hundert-Werte für die einzelnen Größen (Ausbreitungsfaktor  $\chi$ , Ablagerungsfaktoren auf Pflanzen ( $A_{Pf}$ ) und Boden ( $A_{Bod}$ )) sind den Dosisberechnungen zugrunde zu legen.