

Bundesanzeiger



Herausgegeben vom Bundesminister der Justiz

Jahrgang 35

Ausgegeben am Sonnabend, dem 31. Dezember 1983

Nummer 245a

**Bekanntmachung
der Leitlinien zur Beurteilung der Auslegung
von Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktoren
gegen Störfälle im Sinne des § 28 Abs. 3
der Strahlenschutzverordnung
– Störfall-Leitlinien –**

Vom 18. Oktober 1983

**Bekanntmachung
von Empfehlungen der Reaktor-Sicherheitskommission
und der Strahlenschutzkommission**

Vom 18. Oktober 1983

Laufende Nr. der Beilagen:

59/83

**Bekanntmachung
der Leitlinien zur Beurteilung der Auslegung von Kernkraftwerken
mit Druckwasserreaktoren gegen Störfälle im Sinne des
§ 28 Abs. 3 der Strahlenschutzverordnung
- Störfall-Leitlinien -**

Vom 18. Oktober 1983

Nach § 7 Abs. 2 Nr. 3 des Atomgesetzes (AtG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Oktober 1976 (BGBl. I S. 3053), zuletzt geändert durch Gesetz vom 28. März 1980 (BGBl. I S. 373), darf eine Genehmigung nach § 7 AtG nur erteilt werden, wenn die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden durch die Errichtung und den Betrieb der Anlage getroffen ist.

§ 28 Abs. 3 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) konkretisiert die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge in bezug auf Störfälle. Er legt fest, welche Körperdosen in der Umgebung der Anlage bei der Planung baulicher und sonstiger technischer Schutzmaßnahmen gegen Störfälle in oder an einem Kernkraftwerk höchstens zugrundegelegt werden dürfen (Störfallplanungswerte). Nach § 28 Abs. 3 Satz 4 StrlSchV kann die Genehmigungsbehörde diese Vorsorge dann als getroffen ansehen, wenn der Antragsteller bei der Auslegung der Anlage die Störfälle zugrundegelegt hat, die nach den vom Bundesminister des Innern nach Anhörung der zuständigen obersten Landesbehörden im Bundesanzeiger veröffentlichten Sicherheitskriterien und Leitlinien für Kernkraftwerke die Auslegung eines Kernkraftwerkes bestimmen müssen.

Nachdem die Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke bereits am 3. November 1977 veröffentlicht worden waren (BAnz. Nr. 206), wurden die Leitlinien zur Beurteilung der Auslegung von Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktoren gegen Störfälle (Störfall-Leitlinien) am 12. August 1983 ebenfalls fertiggestellt. Die Störfall-Leitlinien legen auf der Grundlage der bisherigen Erfahrungen aus der Sicherheitsanalyse, der Begutachtung und dem Betrieb von Kernkraftwerken fest, welche Störfälle für die sicherheitstechnische Auslegung von Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktoren bestimmend sind und welche Nachweise - vor allem bezüglich der Einhaltung der Störfallplanungswerte des § 28 Abs. 3 StrlSchV - vom Antragsteller zu erbringen sind.

Die für den Vollzug des Atomgesetzes zuständigen obersten Landesbehörden, die Technischen Überwachungs-Vereine, die Gesellschaft für Reaktorsicherheit mbH, die Reaktor-Sicherheitskommission, die Strahlenschutzkommission, die Gewerkschaften, die Ersteller und Betreiber von Kernkraftwerken und die Umweltverbände sind zu den Leitlinien angehört worden.

Nachfolgend gebe ich diese Störfall-Leitlinien bekannt.

Bonn, den 18. Oktober 1983
RS I 4 - 511 434/2

Der Bundesminister des Innern
Im Auftrag
Dr. Fechner

Andere Parameter und Rechenmodelle können verwendet werden, wenn die Auslegungsmerkmale des jeweiligen Kernkraftwerkes oder die Eigenschaften des jeweiligen Standortes dies rechtfertigen. Die Abweichungen von den Störfallberechnungsgrundlagen sind im einzelnen zu begründen; dabei ist nachzuweisen, daß die anderen Parameter und Rechenmodelle den tatsächlichen Gegebenheiten des jeweiligen Einzelfalles besser entsprechen.

4.3 Die für die Berechnung nach Ziffer 4.1 zu verwendenden Annahmen, Parameter und Rechenmodelle sind so festzulegen, daß für die zu berechnende Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage ein für Planungszwecke hinreichend sicheres Gesamtergebnis zu erwarten ist.

Dazu sind – soweit möglich – durch Betriebserfahrungen, Untersuchungen oder ingenieurtechnische Erfahrungen belegte Anfangszustände und Eigenschaften der Anlage (z. B. bezüglich Aktivitätsinhalt, Leckraten, Wirkungsgrad von Reinigungs- oder Rückhalteeinrichtungen) sowie realistische Annahmen, Rechenmodelle und Parameter zu Störfallablauf, Freisetzung und Ausbreitung radioaktiver Stoffe zugrunde zu legen und hierbei – soweit möglich – beobachtete Häufigkeitsverteilungen heranzuziehen.

Parameter für die Berechnung der Aktivitätsfreisetzung, deren Werte stark streuen können, müssen konservativ abgeschätzt werden. Sie dürfen auch 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 festgesetzten Werte der Parameter müssen 95% der Verteilung der Meßwerte abdecken.

Bei Vorliegen geeigneter, für den jeweiligen Standort charakteristischer meteorologischer Daten kann das vorgenannte probabilistische Rechenverfahren auch bei der Ermittlung der Ausbreitungsparameter angewendet werden.

4.4 Bei der Berechnung der möglichen radiologischen Störfallauswirkungen sind Freisetzungen radioaktiver Stoffe über den Abluftpfad zu berücksichtigen. Die Strahlenexposition ist über die Belastungspfade äußere Bestrahlung, Inhalation und Ingestion zu ermitteln.

4.5 Bei der Berechnung der Strahlenexposition ist von einem realistischen und vernünftigen Verzehrverhalten der Bevölkerung nach Eintritt eines Störfalles auszugehen. Es wird angenommen, daß innerhalb eines Umkreises von 2000 m um den Emissionspunkt kontaminierte Nahrungsmittel nicht länger als 24 Stunden nach Beginn der Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung verzehrt werden, und daß die landwirtschaftliche Nutzung des kontaminierten Bodens in diesem Bereich erst zu Beginn der nächsten Vegetationsperiode wieder aufgenommen wird.

Bei der Berechnung sind ferner die tatsächlichen Verhältnisse in der Umgebung des Standortes zu berücksichtigen.

4.6 Der Abwasserpfad braucht bei der Berechnung der möglichen radiologischen Störfallauswirkungen nicht berücksichtigt zu werden. Bei einer anderen anlagentechnischen Auslegung (vgl. Teil 1, Ziffer 2.1, Abs. 2) ist zu überprüfen, ob der Abwasserpfad nach Eintrittswahrscheinlichkeit oder Schadensausmaß störfallbedingter Freisetzungen radioaktiver Stoffe radiologisch relevant ist.

4.7 Bei der Berechnung der möglichen radiologischen Störfallauswirkungen ist davon auszugehen, daß die gemäß geltenden Rechtsvorschriften, Richtlinien der für die Durchführung des Atomgesetzes zuständigen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden und des BMI, Sicherheitskriterien und zugehörigen Interpretationen, RSK-Leitlinien und KTA-Regeln ausgelegten Sicherheitseinrichtungen die vorgesehenen Funktionen erfüllen, soweit sie durch den Störfall nicht beeinträchtigt werden.

Die zuverlässige Funktion der Sicherheitseinrichtungen muß auch bei Auftreten eines Einzelfehlers und – soweit in den Sicherheitskriterien gefordert – bei gleichzeitigen Instandhaltungsvorgängen gewährleistet sein. Ein darüber hinausgehender Einzelfehler ist zur Verschärfung der jeweiligen Randbedingungen in der Störfallanalyse beim Nachweis der Einhaltung der Störfallplanungswerte nicht zu unterstellen.

Bei der Berechnung kann davon ausgegangen werden, daß das erste Anregekriterium für Reaktorschutzaktionen wirksam wird, soweit es nicht vom Störfall selbst beeinträchtigt wird.

4.8 Die Berechnung der möglichen radiologischen Störfallauswirkungen darf unter Berücksichtigung der zur Schadensminderung beitragenden, betrieblichen Systeme und Einrichtungen vorgenommen werden, sofern diese Einrichtungen nach geltenden Regeln und Richtlinien hergestellt und betrieben werden, sofern sie geeignete Qualitätsmerkmale hinsichtlich ihrer Auslegung und Betriebsbewährung besitzen und wenn sie nicht durch Störfallfolgen in ihrer Funktionsfähigkeit beeinträchtigt werden.

Eine ausreichende Verfügbarkeit während des Betriebes muß gewährleistet sein (z. B. Mindestanforderungen bezüglich Instandsetzungszeiten und wiederkehrenden Prüfungen).

4.9 Handmaßnahmen des Betriebspersonals zur Minimierung der Störfallfolgen sind im allgemeinen erst 30 Min. nach Störfalleintritt als wirksam anzunehmen.

4.10 Für die sonstigen auslegungsbestimmenden Störfälle in Teil 2 dieser Leitlinien, Tabelle II, die aufgrund der getroffenen anlagentechnischen Vorsorge nicht zu radiologisch relevanten Auswirkungen auf die Umgebung führen, ist keine Berechnung der Strahlenexposition zu der Umgebung erforderlich. Zur Erfüllung der Forderungen des § 28 Abs. 3 StrlSchV sind diese Störfälle – soweit mit AS oder SI (s. Teil 2) gekennzeichnet – zu analysieren und für alle Störfälle aus Tabelle II die Wirksamkeit der baulichen oder sonstigen technischen Schutzmaßnahmen nachzuweisen.

Für die in der 3. Spalte der Tabelle II mit VO (s. Teil 2) gekennzeichneten Störfälle ist der Nachweis der in der 4. Spalte genannten Vorsorgemaßnahmen ausreichend, da durch diese Maßnahmen der jeweilige Störfall vermieden oder beherrscht wird.

Teil 2: Auslegungsbestimmende Störfälle

Die nachfolgenden Tabellen I und II enthalten diejenigen Störfälle, die aufgrund der bisherigen Praxis und Erfahrungen bei der sicherheitstechnischen Analyse, der Begutachtung und dem Betrieb von Druckwasserreaktoren für die Auslegung von Kernkraftwerken gegen Störfälle bestimmend sind.

Tabelle I enthält die Störfälle, die bezüglich ihrer radiologischen Auswirkungen auf die Umgebung relevant sind und gegen die anlagentechnische Schadensvorsorge getroffen werden muß. Die in Tabelle I durch Kursivschrift und den Zusatz RA gekennzeichneten Störfälle sind für die radiologisch relevanten Störfälle hinsichtlich ihrer möglichen radiologischen Auswirkungen auf die Umgebung repräsentativ und müssen für den Nachweis der Einhaltung der Störfallplanungswerte des § 28 Abs. 3 StrlSchV durch Berechnungen (vgl. Teil 1 Ziffer 4.1 dieser Leitlinien) analysiert werden.

Tabelle II enthält die sonstigen auslegungsbestimmenden Störfälle, gegen die anlagentechnische Schadensvorsorge getroffen werden muß, die aber dann auf Grund der getroffenen Vorsorge in ihren radiologischen Auswirkungen auf die Umgebung nicht mehr von Bedeutung sind.

In der 1. Spalte der Tabellen I und II werden die Störfallgruppen genannt; diese sind unabhängig von der speziellen anlagentechnischen Auslegung. Die in der 2. Spalte beider Tabellen wiedergegebenen Störfalldefinitionen hängen von der jeweiligen Auslegung der Anlage ab und gelten uneingeschränkt nur für die anlagentechnische Auslegung der Kernkraftwerke, für die 1982 die 1. Teilerrichtigungsgenehmigung erteilt worden ist (vgl. Teil 1 Ziffer 2.1, 2. Absatz).

In der 3. Spalte der Tabellen I und II wird angegeben, unter welchem Gesichtspunkt der in der 2. Spalte definierte Störfall zu betrachten ist:

RA: Mit „RA“ werden aus der Menge aller radiologisch relevanten Störfälle in Tabelle I nur die radiologisch repräsentativen Störfälle gekennzeichnet. Die radiologischen Auswirkungen sind zu berechnen.

AS: Die Analyse dieser Störfälle ist zur Auslegung von Sicherheitseinrichtungen oder von Gegenmaßnahmen durchzuführen.

SI: Die Analyse dieser Störfälle dient der Auslegung von Komponenten oder baulichen Anlagen auf Standsicherheit oder Integrität.

VO: Eine Störfallanalyse ist nicht erforderlich, wenn die in der 4. Spalte (Vorsorgemaßnahmen) genannten Vorsorgemaßnahmen als getroffen nachgewiesen werden. Der jeweilige Störfall wird durch diese Vorsorgemaßnahmen vermieden oder beherrscht.

Werden andere Maßnahmen als die genannten Vorsorgemaßnahmen getroffen, so sind die betreffenden Störfälle auf eine Klassifizierung als RA, AS oder SI zu überprüfen.

Störfallgruppe	Störfalldefinition	Analyse für	Bemerkungen
I.5 Störungen in Hilfs- und Nebenanlagen mit radiologischen Auswirkungen, sofern aufgrund der Systemauslegung zu unterstellen	Leckage eines Behälters mit radioaktiv kontaminiertem Wasser (größte radiologische Auswirkungen)	RA	Es ist der Behälter zu wählen, der alle anderen in radiologischer Hinsicht repräsentiert (vgl. Störfallberechnungsgrundlagen).
- Lüftungstechnische Anlagen	Leck in einer Rohrleitung im Abgassystem	RA	Vgl. Störfallberechnungsgrundlagen
- Abgassystem			
- Abwassersystem			
I.6 Störungen und Störfälle bei der Brennelement-Handhabung und -Lagerung	Brennelementbeschädigung bei der Handhabung	RA	Vgl. Störfallberechnungsgrundlagen
I.7 Erdbeben (einschl. Folgeschäden)	Erdbebenauswirkungen auf <ul style="list-style-type: none"> - Reaktorgebäude - Notspeisegebäude - Schaltanlagengebäude - Notstromdieselgebäude - Nebenkühlwasserbauwerke 	SI AS	Auslegung sicherheitstechnisch wichtiger baulicher Anlagen, Systeme und Komponenten gegen Bemessungserdbeben gemäß KTA 2201.1, Klasse 1, überlagert mit Berstdruckwelle infolge Versagen von Behältern mit großem Energieinhalt im Maschinenhaus. Hinweis: Die radiologischen Auswirkungen dieses Störfalles werden durch den Störfall „Langandauernder Ausfall der Hauptwärmesenke“ unter Ziffer I.3.1 abgedeckt.
	Erdbebenauswirkungen auf das Reaktorhilfsanlagengebäude	RA	Es ist der Behälter zu wählen, der alle anderen in radiologischer Hinsicht repräsentiert (vgl. Störfallberechnungsgrundlagen).
		SI	Gebäudeauslegung gegen Bemessungserdbeben gemäß KTA 2201.1, Klasse 1; erdbebenfeste Gebäudeabschlußklappen; Erhaltung der Brandabschnitte; Vereinfachter Nachweis der Integrität der wesentlichen radioaktive Stoffe führenden Behälter und Rohrleitungen bei zulässiger plastischer Verformbarkeit der Komponentenabstützungen und Verankerungen.

Störfallgruppe	Störfalldefinition	Analyse für	Vorsorgemaßnahmen (Nachweis im Genehmigungsverfahren)
II.9 Hochwasser, Blitzschlag, Wind, Eis und Schnee, äußere Brände und andere standortabhängig zu unterstellende Einwirkungen von außen	Äußerer Brand	VO	Unzulässige Folgen äußerer Brände werden durch die Maßnahmen gegen Flugzeugabsturz und gegen Druckwellen aus chemischen Reaktionen sowie gegen gefährliche Stoffe vermieden.
	Hochwasser	VO	Unzulässige Folgen werden durch Festlegung einer ausreichenden Höhenkote und durch bauliche Maßnahmen vermieden.
	Blitzschlag	VO	Unzulässige Folgen des Blitzschlags werden durch geeignete Blitzschutzanlagen und eine blitzschutztechnische Auslegung gefährdeter Anlagenteile vermieden.
	Sonstige naturbedingte Einwirkungen	VO	Geeignete standortabhängige Maßnahmen sind zu untersuchen und festzulegen.

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

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 dem Referenzmodell oder Daten abgewichen wird, ist dies im einzelnen zu begründen.

Die anlagentechnischen Festbeschreibungen 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 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 Aktivitätsfreisetzung 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 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 radioaktivkontaminiertem 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*) 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 – (GMBL 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 Handlungsmaßnahmen

Handlungsmaßnahmen 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.

*) 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.

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 Verteilungsgleichgewicht

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 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 Leckabsperzung 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 Dampfnebel 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 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 Überströmrate des Primärkühlmittels in den Sekundärkreis und die Frischdampf-Auströmraten sind entsprechend den thermo-fluiddynamischen Analysen anzunehmen.

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

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 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 (Gammastubmersion);
- äußere Exposition durch Gammastrahlung über kontaminiertem Boden (Bodenstrahlung);
- innere Exposition durch Radionuklide, die mit der Luft inhaled 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 χ_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	χ_k
bis 8 Stunden	max $\chi (A \dots F)$
8 bis 24 Stunden	max $(1/2) \chi (C \dots F)$
24 bis 72 Stunden	max $(1/4) \chi (C \dots F)$
3 bis 7 Tage	max $(1/8) \chi (C \dots E)$

Dabei ist:

max $\{ \chi (A \dots F) \}$ Ungünstigster Kurzzeitausbreitungsfaktor χ 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

σ_y, σ_z : Ausbreitungsparameter in m

x : Quelldistanz 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						
$z_1 = 10 \text{ m}$	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:

$$f_A = \exp \left(-\frac{v}{u} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^x \frac{\exp \left\{ -\frac{H_e^2}{2\sigma_z^2(x')} \right\}}{\sigma_z(x')} dx' \right) \quad (4.2)$$

(trockene Ablagerung)

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

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

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 in 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

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

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

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

χ_k : Störfallausbreitungsfaktor im Zeitintervall k in s/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 s/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, GMBL 1979, S. 369 ff)

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

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

$$K_{br} = \{1 - \exp(-\lambda_r t_{Bo})\} / \lambda_r$$

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

λ_r : physikalische Zerfallskonstante des Nuklids r in s^{-1}

t_{Bo} : $1,6 \cdot 10^9$ 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)

χ_k : Störfallausbreitungsfaktor im Zeitintervall k in s/m^3 (siehe Kapitel 4.2.1)

V_k : Atemrate in m^3/s im Zeitintervall k (siehe Kapitel 4.4.1)

g_{hrl} : Inhalationsdosisfaktor des Nuklids r für das Organ l in $\text{cSv Bq}^{-1} (\text{rem}/\text{Ci})$ (siehe Allgemeine Berechnungsgrundlage, GMBL 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.

- 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 m ³ /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 σ_y, σ_z (Kapitel 4.2)

Für die Ausbreitungsparameter wird der Ansatz

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

gemacht. Hierin bedeuten:

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

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

Es ist

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

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

Hierin bedeuten:

$p_{j,i}, q_{j,i}$ = Koeffizienten für σ_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 σ_j für die Basishöhe H_o

$p_{j,u}, q_{j,u}$ = Koeffizienten für σ_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 $z_1 = 10 \text{ m}$ 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 Gebäudeinflüssen, 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 Ge-

bäude entfernt oder weniger als $3 l_G$ direkt in Ausbreitungs-

richtung 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 Emissions-

höhe die wie folgt definierte Höhe h' zu verwenden.

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

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

Ist h' kleiner als $l_G/2$, so ist $h' = l_G/2$ zu setzen. Ist h' kleiner

als H_G , müssen die Ausbreitungsparameter σ_y und σ_z durch die

Größen Σ_y und Σ_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.

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	Fleisch/Futter in d/kg
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	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$
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	$3 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$
U	$3 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-4}$
U	$3 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-5}$
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 Störfallberechnungsgrundlage

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

Die Abluftfahnenüberhöhung \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/s einzusetzen; die Abluftfahnenüberhöhung 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 1100 m

Für M größer 6 MW gilt zusätzlich:

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

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

mit $\bar{u}_{max_{la1}} + H$ kleiner oder gleich 1100 m

Für M kleiner oder gleich 6 MW gilt zusätzlich:

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

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

mit $\bar{u}_{max_{la2}} + H$ kleiner oder gleich 1100 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:

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

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

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

Für H kleiner oder gleich 6 MW gilt zusätzlich:

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

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

mit $\bar{u}_{max_{n2}} + H$ 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:

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

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

Für Diffusionskategorie E gilt zusätzlich:

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

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

Die nach einer der Gleichungen (4.A 1), (4.A 2) oder (4.A 3) berechnete Abluftfahnenüberhöhung 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^3/s Volumenstrom der Abluft im Normzustand

T in K Temperatur der Abluft

T_v in K virtuelle Temperatur = $T(1 + 0,6 q \cdot 10^{-3})$

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 Abluftfahnenüberhöhung nicht zu berücksichtigen.