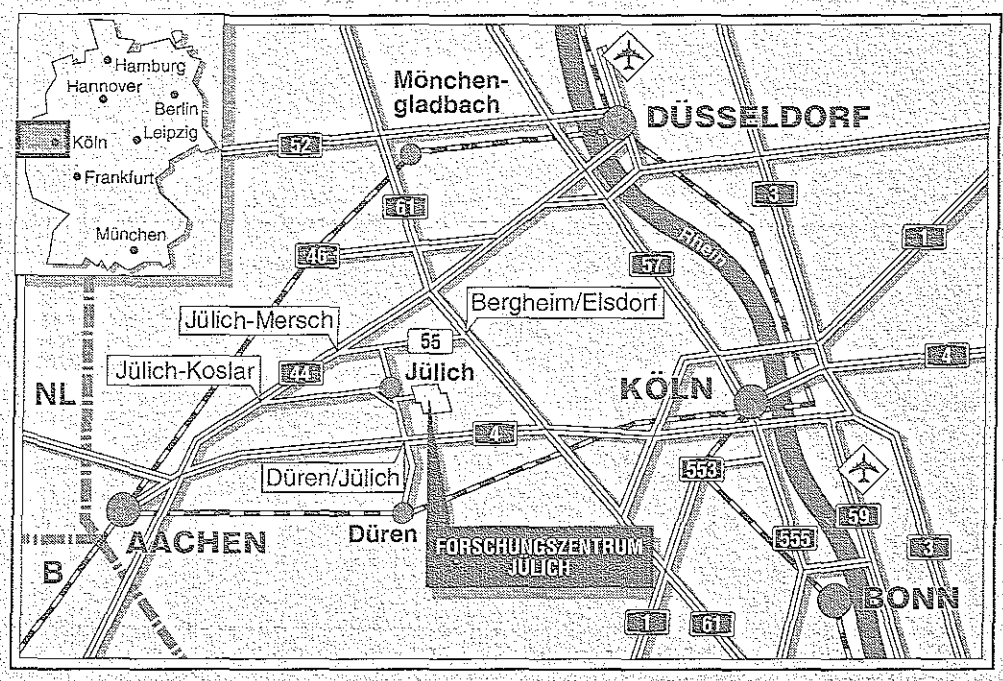
FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GmbH

Abteilung Sicherheit und Strahlenschutz

Strahlenbelastung durch Gammasubmersion

Fritz Rohloff



Berichte des Forschungszentrums Jülich ; 2889
ISSN 0944-2952
Abteilung Sicherheit und Strahlenschutz Jül-2889
D 82 (Diss. RWTH Aachen)

Zu beziehen durch: Forschungszentrum Jülich GmbH · Zentralbibliothek
D-52425 Jülich · Bundesrepublik Deutschland
Telefon: 02461/61-6102 · Telefax: 02461/61-6103 · Telex: 833556-70 kfa d

Strahlenbelastung durch Gammasubmersion

Fritz Rohloff

Inhaltsverzeichnis

1.0 Einleitung: Historischer Überblick

Zur Beurteilung der Auswirkungen der Kernenergie auf den Menschen und seine Umwelt werden besondere Methoden benötigt. Insbesondere ist eine mögliche Gefährdung des Menschen abzuschätzen.

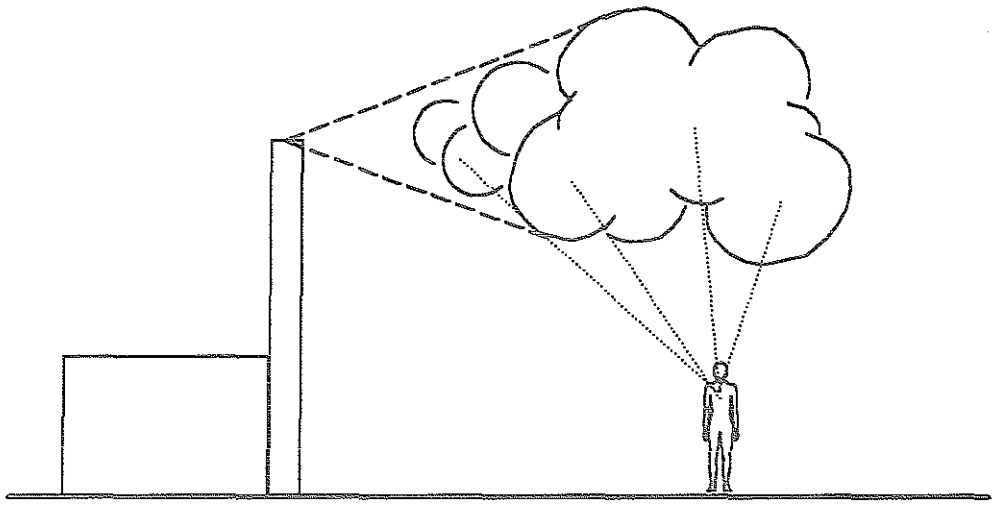
Diese Abschätzung wird im Rahmen zweier Problemkreise benötigt:

1. Für den bestimmungsgemäßen Betrieb einer kerntechnischen Anlage schreibt der § 45 der Strahlenschutzverordnung u.a. vor, daß diese Anlagen so zu planen sind, daß die sogenannte effektive Dosis und bestimmte Teilkörperdosen des Menschen durch radioaktive Emissionen sowohl über den Luft- als auch den Wasserpfad bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten. Als Planungshilfe ist von der Bundesregierung unter Mitarbeit aus Industrie und Forschung eine Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung (AV90) verfügt worden, in welcher die für die Planung benötigten Rechenverfahren weiter präzisiert werden.

2. Diese Anlagen sind weiter so zu planen, daß bei störfallbedingten Freisetzungen radioaktiver Stoffe in die Umgebung im ungünstigsten Störfall die in § 28, Absatz 3, der Strahlenschutzverordnung genannten Grenzwerte nicht überschritten werden. Die anzunehmenden Störfälle sind für Kernkraftwerke mit Druckwasserreaktor in den Störfall-Leitlinien (SL83) festgelegt worden.

Eine Abschätzung wird ferner benötigt, um in der großen Diskussion um die Energieerzeugung objektiv und nicht vorurteilbeladen diskutieren zu können.

Aus dem gesamten Fragenkomplex ist der Transport radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus kerntechnischen Anlagen ein bedeutsamer Teil, wird doch gerade durch die Inhalation, das Einatmen radiaktiv kontaminierter Atemluft, und durch die Ingestion, der Aufnahme des auf den landwirtschaftlichen Produkten abgelagerten radioaktiven Niederschlags (Fallout und Washout) über die Nahrungskette, eine größere Bevölkerungsgruppe exponiert.



Skizze zur Gamma-Submersion

Eine weitere Teilfrage ist die nach der Belastung aus der direkten Gammastrahlung aus der radioaktiv kontaminierten Abluft. Wegen ihrer großen Reichweite können Gammastrahlen große (etwa einige 100 m) Entfernungen überbrücken, sodaß die sogenannte Gammasubmersion nicht nur vom Geschehen am Ort, sondern in einem weiteren Luftraum abhängt. Rechentechnisch heißt dies, daß über den gesamten Luftraum zu integrieren ist, und zwar über die Verteilung der Kontamination mit einem Integrationskern, welcher die Schwächung und Streuung der Gammastrahlen in Luft beschreibt. Hierbei ist die Absorption der Gammastrahlen, ferner ihre Streuung durch Photo-Effekt, Compton-Effekt und Paarbildung zu berücksichtigen (JA68).

Die Entwicklung einer fortschreitenden Verbesserung in der Berechnung der Gammasubmersion ist fast ausschließlich durch den großen Fortschritt in der Entwicklung von Rechnern bestimmt. Nicht das theoretische Wissen, sondern die Begrenzung der Rechenkapazität bestimmte, was und wie gerechnet werden konnte. Selbstverständlich mußten auch Algorithmen gefunden werden, um die verbesserte Rechenkapazität optimal nutzen zu können.

Als diese Rechnungen mit dem Betrieb der ersten Kernreaktoren benötigt wurden, standen noch keine Großrechenanlagen zur Verfügung. So sind die ersten Lösungsversuche gekennzeichnet durch eine Reihe von vereinfachenden Annahmen über die Aktivitätsverteilung im Raum und über den Strahlungstransport.

Sehr frühe Verfahren (VO70) verzichten z.B. ganz auf die Berücksichtigung der sogenannten Nebensektoren, nahmen also an, daß überall die gleiche Aktivitätsverteilung wie in der Hauptausbreitungsrichtung herrscht. Die Einstrahlung aus den Nebensektoren wurde später von (HU75) berücksichtigt, wobei jedoch die Rechenzeit durch andere Beschränkungen (Reichweite, Schrittweite der Integration) begrenzt wurde. In (RO79) wurde für 30 Grad Sektoren ein Rechenverfahren entwickelt, welches die Nebensektoren zwar berücksichtigt, aber für die Nebensektoren vereinfachend nur eine Diffusionskategorie betrachtet. Die Integrationen wurden stückweise mit variabler Genauigkeit durchgeführt, wobei dann bei jeder Rechnung die Genauigkeit kontrolliert werden mußte.

Dieses Verfahren wurde etwa 1980 verbessert (RO81), wobei die Integrationen durch Integraltransformationen vorbereitet wurden und dann numerisch integriert werden konnten. Damit konnten nun auch die Nebensektoren in ihrer Abhängigkeit von der Diffusionskategorie berücksichtigt werden. In diesen Systemen wurde noch mit einem vereinfachten und deshalb ungenauen Aufbaufaktor für die Gammastrahlung gerechnet.

Später wurden die Rechnungen noch weiter verbessert, im wesentlichen durch die Einführung eines integrierenden Faktors, vgl. Kapitel 3.5, und Bibliotheksroutinen aus der IMSL (IM87), wodurch nun die Integrationen numerisch geschlossen durchgeführt werden konnten. Ein wesentlicher Vorteil der verwendeten Integrationsroutinen ist es, daß nun eine Genauigkeit vorgeben wird, und die Integration dann schrittweise solange verbessert wird, bis die gewünschte Genauigkeit erzielt ist. Weitere Verbesserungen betreffen den Aufbaufaktor und die Bodenkorrektur. Über diese Arbeiten wird im Folgenden berichtet.

Der Fortschritt in der Rechentechnik brachte in den letzten Jahren einen beachtlichen Ausbau der Berechenbarkeit der Ausbreitungen von Schadstoffen in der Atmosphaere (MA91). Es handelt sich um sogenannte Strömungsmodelle, mit welchen die Windrichtungsverteilung in inhomogenem Gelände gerechnet werden kann. Daran gekoppelt sind Ausbreitungsmodelle entwickelt worden, welche die Verteilung der Schadstoffe in diesen Windfeldern berechnen können. Gemeinsam ist diesen Modellen, daß Schadstoffkonzentrationen in endlichen Volumenelementen gerechnet werden, die wegen der immer noch begrenzten Rechenkapazität relativ groß sind. Wegen der in diesen Volumen stark inhomogenen Aktivitätsverteilungen kann die Gamma-Submersion aus diesen Volumen zur Zeit noch nicht berechnet werden (MA91,p. 48).

Eine Ausnahme bildet das Programmsystem MUSEMET (VO79,ST81), welches auf einer Weiterentwicklung des Gauß-Modells als sogenanntes Puff-Modell beruht. Die theoretischen Grundlagen stehen im Kapitel 4 dieser Arbeit.

2.0 Physikalische Grundlagen der Ausbreitung und der Gammastrahlung

In diesem Kapitel werden die Grundlagen des Gauß- Modells besprochen. Ausgehend von dem Begriff der Ausbreitung wird die modellhafte turbulente Diffusion entwickelt. Ferner werden die Grundtatsachen aus dem Transport der Gammastrahlung in Materie angeführt. In einem letzten Unterkapitel werden Korrekturen am Gaußmodell besprochen.

2.1 Die Ausbreitung

Die Abluftfahne eines Schornsteins ist ein aus dem Alltagsleben wohl bekanntes Bild. Physikalisch gesehen handelt es sich jedoch um einen äußerst komplizierten Vorgang, der als eine Überlagerung eines Materietransports mit einer turbulenten Diffusion beschrieben wird.

Der Transport in der Atmosphäre läßt sich noch relativ einfach durch Geschwindigkeitsvektoren des Windes beschreiben. Doch schon hier beginnt die Schwierigkeit, daß diese Geschwindigkeitsvektoren eine vieldimensionale Mannigfaltigkeit sind, die vom Ort und der Zeit abhängen. Verfügbar sind meistens nur die Geschwindigkeitsvektoren an sehr wenigen - meist nur einem - Meßorten, den zufälligen Standorten meteorologischer Türme. Will man eine Ausbreitung verfolgen, bräuchte man eigentlich die Geschwindigkeitsvektoren am Ort des transportierten Materials, zur Verfügung stehen jedoch nur Geschwindigkeitsvektoren an einem dem Betreiber der kerntechnischen Anlage benachbarten meteorologischen Turm. Dies ist die Problematik der sogenannten Lagrangeschen und Eulerschen Betrachtungsweise der Windfluktuationen (HA79)[1]. Die Windfluktuationen werden in dieser Arbeit durch die Annahme meandernder Windfahnen, siehe „Die Gammasubmersion der meandernden Ausbreitung" auf Seite 23, berücksichtigt.

Das Schwergewicht bei dem Ausdruck turbulente Diffusion liegt auf dem Begriff der Turbulenz. Es handelt sich keineswegs um eine Diffusion, wie sie als molare Diffusion aus der Physik bekannt ist. Die molare Diffusion wird durch eine verhältnismäßig kleine Größe beschrieben, so ist z.B. die Diffusionskonstante für CO_2 in Luft gleich $1.4\ 10^{-5}[\frac{m^2}{s}]$. Bei der turbulenten Diffusion handelt es sich überhaupt nicht um eine Diffusion. Man macht sich dies am einfachsten klar am Bild des Hutes, der einem im Wind vom Kopfe geweht wird, und den man verzweifelt auf einem Zickzackweg wieder einfangen will. Diese Bewegung, von Hanna (HA82) charakterischer Weise als "Drunkard's Walk" bezeichnet, gilt es sinnvoll physikalisch zu erfassen. Hilfreich ist dabei, daß bei der Ausbreitung auch kleinster Mengen es sich immer um eine große Zahl bewegter Partikel handelt. Diese Zahl wird gegeben durch die Loschmidt Zahl $6.023\ 10^{23}$, welche die Zahl der Molekel in einem Grammatom angibt. Diese große Zahl von Molekeln sind aber nicht voneinander unabhängig, sondern es besteht eine starke

---

1 Es wird nicht beabsichtigt, eine umfassende Literaturangabe zu den angeschnittenen Problemen zu geben. Es werden nur Literaturstellen angegeben, die in dieser Arbeit benutzt worden sind.

Korrelation der Windgeschwindigkeitsvektoren der einzelnen Teilchen für kleine Abstände und kleine Zeitintervalle. Über die räumliche Korrelation ist m.E. wenig bekannt, die zeitliche Korrelation wird in der Form

$$R(\tau) = \frac{\overline{u(0)\,u(\tau)}}{\overline{u^2}} \qquad [2.1-1]$$

angeben, worin $u(t)$ die zur Zeit t gemessene Windgeschwindigkeit ist, und die Überstreichung eine zeitliche Mittelung andeutet.

In der Literatur wird ein Wert mit der Einheit einer Zeit

$$L = \int_{\tau=0}^{\infty} R(\tau)d\tau \qquad [2.1-2]$$

bzw. sein Kehrwert $\beta = \frac{1}{L}$ als Langrangian Time Scale angegeben, wobei offenbar

$$R(\tau) = e^{-\frac{t}{L}} \qquad [2.1-3]$$

eine Lösung der Integralgleichung [2.1 – 2] ist. $L[s]$ kann als ein Maß für die Zeit gedeutet werden, während der ein transportiertes Partikel sich an seine Geschwindigkeit zu einer früheren Zeit erinnern kann. Für L findet man Werte von 750 s (NE78) bis zu einigen 10^6 s (SM89).

Mittels der Autokorrelationsfunktion $R(\tau)$ kann man einige Folgerungen für die Varianz der räumlichen Verteilung der Schadstoffe ziehen. Es gilt z.B. für die x-Koordinate

$$\sigma_x^2(t) = \overline{x^2} = 2\overline{u^2}\int_0^t (t-\tau)R(\tau)d\tau = 2\overline{u^2}\,L\{t - L(1 - e^{-\frac{t}{L}})\} \qquad [2.1-4]$$

Diese Formel erlaubt zwei Grenzangaben:

Für sehr kleine Zeiten gilt

$$\sigma_x^2(t) = \overline{u^2}\,t^2 \qquad [2.1-5]$$

Für große Zeiten gilt

$$\sigma_x^2(t) = 2\overline{u^2}\,Lt \qquad [2.1-6]$$

Diese Ableitung ist allerdings nur sehr theoretisch schlüssig. Die Autokorrelationsfunktion $R(\tau)$ ist nur sehr schwer zu messen, wenn überhaupt in ihrer Lagrangeschen Form (HA82). Ihre Exponentialform ist weiterhin eine reine Hypothese.

Die gezeigte Ableitung läßt jedoch einige einfache Schlüsse zu. Für große Zeiten, also damit für größere Entfernungen vom Emittenten kann vermutet werden, daß der Ausbreitungsparameter linear von der Zeit bzw. über die Ausbreitungsgeschwindigkeit vom Ort abhängt. Das würde bedeuten, daß zum mindestens eine äußere Ähnlichkeit mit einer molaren bzw. der Fickschen Diffusion vorliegt. Aus der Form der Gleichung [2.1 – 6] läßt sich eine 'Diffusionskonstante' $D = \overline{u^2}L$ ablesen. Der Wert dieses 'Diffusionskonstante' liegt aber etwa fünf bis sechs Größenordnungen über dem der

molaren Diffusion. Dies gilt dann auf keinen Fall für den Bereich kleiner Zeiten, wo eine quadratische Abhängigkeit von der Zeit vorliegt. Anschaulich wird die sich ausbreitende Kontamination von immer großräumigeren Turbulenzen erfasst, während die ausgebreitete Wolke sich entsprechend einem Fickschen Gesetz ausbreitet.

2.2 Die turbulente Diffusion

Hier sollen nur stichwortartig die im folgenden benutzten Grundtatsachen der turbulenten Diffusion angeführt werden. Zusammenfassende und gute Lehrbücher findet man in der Literatur (CS80,BO82,Pl82, und viele mehr).

Sei

Ξ	eine ortsabhängige Konzentrationsverteilung
$x,\ y,\ z,\ t$	ein Koordinatensystem
$u_x,\ u_y$	ein Geschwindigkeitsvektor
$K_x,\ K_y,\ K_z$	ein Satz von Austauschkoeffizienten

So beschreibt schulmäßig

$$\frac{\partial \Xi}{\partial t} + u_x \frac{\partial \Xi}{\partial x} + u_y \frac{\partial \Xi}{\partial y} = K_x \frac{\partial^2 \Xi}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 \Xi}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 \Xi}{\partial z^2} \qquad [2.2-1]$$

die partielle Differentialgleichung einer Diffusion. Sie entsteht in bekannter Weise aus einer Bilanzierung der die Diffusion bestimmenden physikalischen Vorgänge: Die zeitliche Änderung der Konzentration in einem beliebig klein gedachten Volumenelement wird bestimmt durch einen Anteil, der sich aus der Konvektion bestimmt, plus einem Anteil aus der Diffusion.

Eine spezielle (s.u.) Lösung dieser Differentialgleichung ist bis auf einen beliebigen multiplikativen Faktor

$$\Xi = \frac{e^{-\frac{(x-u_x t)^2}{4K_x t} - \frac{(y-u_y t)^2}{4K_y t} - \frac{(z-H)^2}{4K_z t}}}{\sqrt{(4\pi)^3}\,\sqrt{K_x K_y K_z}\, t^{\frac{3}{2}}} \qquad [2.2-2]$$

Schreibt man in dieser Gleichung noch

$$\sigma_x^2 = 2\,K_x t$$
$$\sigma_y^2 = 2\,K_y t \qquad [2.2-3]$$
$$\sigma_z^2 = 2\,K_z t$$

so bekommt man die in der Ausbreitungstheorie bekannte Gleichung der Ausbreitung in ihrer Gaußschen Form:

$$\Xi = \frac{e^{-\frac{(x-u_x t)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{(y-u_y t)^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}}}{\sqrt{(2\pi)^3}\,\sigma_x \sigma_y \sigma_z} \qquad [2.2-4]$$

Dies so angeschriebene Ergebnis ist der Form nach eine Gaußsche Wahrscheinlichkeitsverteilung. Sie stellt anschaulich einen Puff dar, der zum Zeitpunkt $t = 0$ an der Stelle $x = 0$, $y = 0$, $z = H$, $t = 0$ entsteht, sich mit der Zeit mit der Geschwindigkeit u_x, u_y bewegt und sich mit wachsenden σ vergrößert. Das Volumenintegral über diese Verteilung ergibt eins, sodaß man auch von einer Einheitsemission spricht. Eine ideale Reflektion am Boden kann man darstellen, wenn man dieser Funktion noch einen Spiegelterm vgl. [3.1 – 1] hinzufügt.

Der entscheidende Schritt zur turbulenten Diffusion besteht nun darin, an Stelle der theoretisch korrekten Funktionen [2.2 –3] parametrisierte σ zu verwenden. Diese Parameter wurden aus Experimenten gewonnen (VO74,GE83). Wegen der Vielzahl der möglichen Turbulenzzustände teilt man die meteorologischen Ausbreitungsbedingungen üblicherweise in 6 Klassen ein. Für diese Klassen werden dann Ausbreitungsexperimente unternommen, indem man getracerte Abluftfahnen erzeugt und die gemessene Bodenkonzentration mit einer aus [2.2 – 4] abgeleiteten theoretischen Konzentration (vgl. [3.1 – 3]) vergleicht.

In der Praxis werden parametrisierte Darstellungen der Ausbreitungsparameter als Funktion der Entfernung vom Emittenten gebraucht. Ein solches System von Ausbreitungsparametern, welches zusätzlich noch als eine Funktion der Ausbreitungsklassen und der Ausbreitungshöhe angegeben wird, ist z.B. in Jülich und Karlsruhe erarbeitet worden (GE80,GE81,AV90). Sie werden in der Tabelle I im Anhang angegeben. Mit diesen Parametern werden die Ausbreitungskoeffizienten wie folgt dargestellt, und zwar für die jeweilige Ausbreitungshöhe und die Diffusionskategorie:

$$\sigma_y(x) = p_y x^{q_y} \qquad [2.2 - 5]$$

$$\sigma_z(x) = p_z x^{q_z} \qquad [2.2 - 6]$$

Selbstverständlich sind dann Formeln der Form [3.1 – 1] oder [4.1 – 1] nicht mehr Lösungen der Differentialgleichung [2.2 – 1], sondern nur noch empirische Näherungsformeln, sogenannte Modelle, die ihre Berechtigung aus der Tatsache gewinnen, daß ihre Parameter aus Messungen bestimmt worden sind. Diese Modelle bedürfen einer Verifikation aus Messungen, die aber für den Fall der Gammasubmersion recht selten sind, z.B. (MA89).

2.3 Der Transport der Gammastrahlung in Luft

Die Gammastrahlung kann man als kurzwellige elektromagnetische Strahlung oder auch als Photonentransport auffassen. Beide Bilder, das sogenannte Wellenbild und das Korpuskelbild, sind, wie John von Neumann (NE49) gezeigt hat, äquivalent, das heißt, sie führen in ihren praktischen Ergebnissen auf identische Ergebnisse.

Im praktischen Strahlenschutz wird eine sehr hybride Rechentechnik angewendet. Das Verhalten der Photonen, also der als Korpuskeln aufgefaßten Gammastrahlung, wird durch die sogenannte Boltzmannsche Transportgleichung beschrieben (JA68). In dieser Gleichung werden die Photonen bilanziert, wobei Transport, Absorption, Streuung und Energieverlust berücksichtigt wird. Dabei spielen der Photoeffekt, der Comptoneffekt und der Paarbildungseffekt eine Rolle. Der Photoeffekt, welcher im unteren Energiebe-

reich dominiert, führt zu einer Absorption der Photonen. Der Comptoneffekt führt zu einer Richtungsänderung bei gleichzeitigem Energieverlust der Photonen; er dominiert oberhalb etwa 0.5 MeV. Oberhalb einer Energie von etwa 2 MeV setzt dann zusätzlich der Paarbildungseffekt ein, wo die Energie ausreicht, ein Positron- Elektronpaar zu bilden.

Die recht komplizierte Boltzmannsche Transportgleichung läßt sich für eine allgemeine Geometrie nur näherungsweise lösen. Für eine einfache Geometrie (z.B. ebene homogene Schichtung) genügt eine sogenannte Momentenmethode, wie sie z.B. Goldstein angewendet hat (GO54). Für kompliziertere Geometrien verwendet man die sogenannten Discrete-Ordinate-Methoden bzw. die Monte-Carlo-Methode. Alle diese Methoden sind sehr aufwendig und können nur mit großen Computer-Programmen gerechnet werden.

Der praktische Weg, der von Goldstein (GO54) gefunden worden ist, ist eine Regression auf das Wellenbild. Die Schwächung der Gammastrahlung in Materie wird durch eine 'optische' Formel der Form

$$\frac{B(\mu r)e^{-\mu r}}{4\pi r^2} \qquad [2.3-1]$$

beschrieben, siehe auch „Der Integrationskern für die Dosisberechnung" auf Seite 16. Ist r der Abstand Quelle zum Aufpunkt, so ist $4\pi r^2$ das optische Entfernungsgesetz, $e^{-\mu r}$ beschreibt eine exponentielle entfernungsabhängige Schwächung. Der Schwächungskoeffizient μ beschreibt hierbei die Schwächung der primären Photonen, die ihre Quellenenergie besitzen (HU69), deshalb auch Erststoßmethode genannt. Die in diesem Bild fehlende Erzeugung sekundärer Photonen aus dem Compton- und Paarbildungseffekt wird mit einem Aufbaufaktor $B(\mu r)$ berücksichtigt, welcher aus einem Vergleich mit den Ergebnissen aufwendigerer Rechnungen oder Messungen gewonnen wird.

2.3.1 Die Approximation des Aufbaufaktors

In früheren Arbeiten wurde eine Formel für die Berechnung des Aufbaufaktors in Luft verwendet, die auf Israel (IS67) zurückgeht. Diese Formel ist auch im Bereich zwischen 0.5 und 1 MeV recht gut (s.u.). Inzwischen gibt es jedoch von verschiedenen Autoren ausführliche Datenkompilationen. Die im Folgenden benutzte geht auf Berger zurück und ist von Jaeger (JA68) veröffentlicht worden. Berger benutzte zur Berechnung die Momentenmethode. Eine neuere Arbeit von Jacob (JA84) benutzt, wie im Titel gesagt, die Monte-Carlo-Methode, sie ist in ihrem Parameterbereich jedoch nicht so extensiv wie die Arbeit von Berger.

Die in dieser Arbeit benutzten Zahlenwerte nach Berger sind in der Tabelle 2 im Anhang wiedergegeben. In dieser Arbeit werden sie für jede Energie durch eine Potenzreihe in μr vierter Ordnung approximiert, also durch

$$B(\mu r) = 1 + \sum_{i=1}^{4} c_i(\mu r)^i \qquad [2.3-2]$$

Die Tabelle 2 gibt für 24 Energien jeweils für 7 freie Weglängen $x_v = \mu r$ die Aufbaufaktoren $B(x_v)$ für Punktquellen an. Für jede der 24 Energien werden die c_i aus

dem überbestimmten System nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt. Die Quadratsumme für eine jede Energie lautet

$$Q = \sum_{\nu=1}^{7} \left(\frac{\sum_{i=1}^{4} c_i (x_\nu)^i - (B(x_\nu) - 1)}{B^2(x_\nu)} \right)^2 \qquad [2.3-3]$$

worin ν die 7 freien Weglängen der Tabelle 2 abzählt.

Als Wichtung wurde hierbei das Inverse des Quadrates des Aufbaufaktors selbst genommen. Dieser Wert hatte sich bei der praktischen Arbeit als optimal herausgestellt.

Die c_i werden in bekannter Weise nun dadurch bestimmt, daß die Quadratsumme Q nacheinnander nach den c_i differenziert werden und das Differential null gesetzt wird. Dies führt für jede Energie auf ein System von linearen Gleichungen der Form

$$\sum_{i=1}^{4} c_i \sum_{\nu=1}^{7} \frac{x_\nu^{i+\kappa}}{B^2(x_\nu)} = \sum_{\nu=1}^{7} \frac{(B(x_\nu) - 1) x_\nu^{\kappa}}{B^2(x_\nu)} \qquad [2.3-4]$$

Dies sind vier Gleichungen für die c_i und zwar für $\kappa = 1, 2, 3, 4$.

Die Lösungen dieser Gleichungen, und zwar für alle 24 Energien, sind in Tabelle 3 in Anhang angegeben.

2.3.2 Diskussion

In der Abb. 1 sind die Aufbaufaktoren B und ihre verschiedenen Approximationen als Funktion der freien Weglänge $x = \mu r$ für sechs verschiedene Energien aufgetragen, wobei die Meßwerte nach Berger durch eine glatte Kurve miteinander verbunden wurden. Es zeigt sich zunächst, daß die hier vorgelegte Approximation (gestrichelte Kurve) die vorgegebenen Werte von Berger sehr gut approximieren. Die Approximation ist im unteren Wertebereich der freien Weglängen bis $x = 20$ nahezu deckungsgleich mit den Meßwerten und ihre Extrapolation bis $x = 30$ sieht sinnvoll aus.

Die Approximation nach Israel ist gut nur für die Energie 1 MeV, also für die Energie, für welche sie ursprünglich erstellt worden ist. Für alle anderen Energien zeigt sie nicht unbedeutende Abweichungen von den Meßwerten nach Berger.

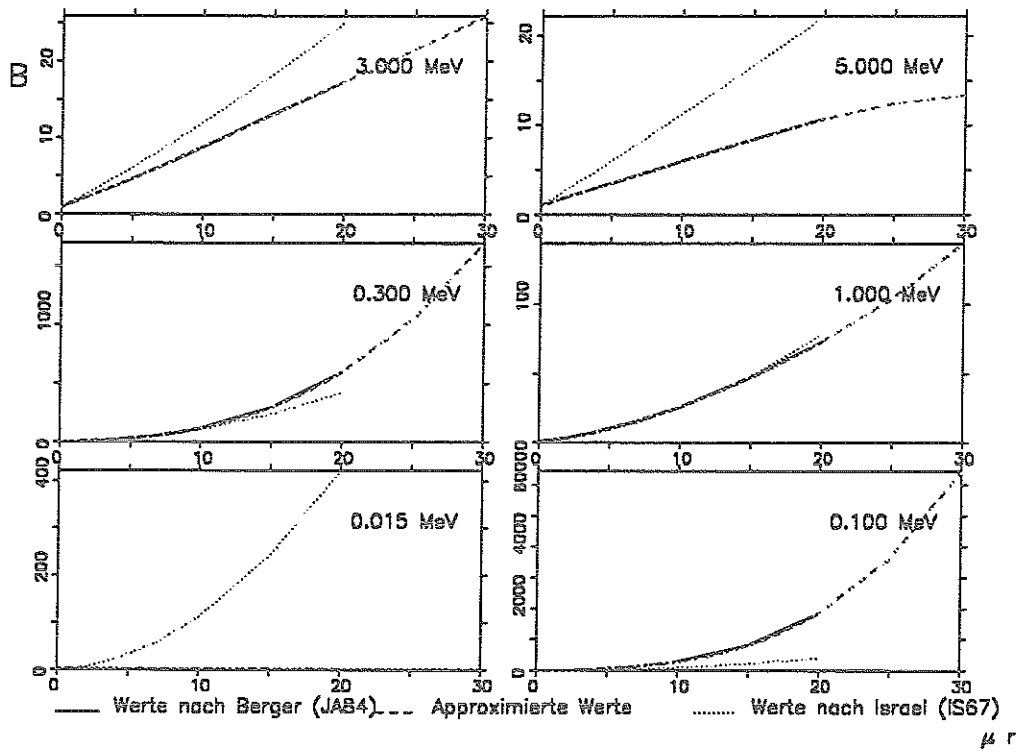


Abb. 1. Vergleich der Aufbaufaktoren nach Israel

Die Approximation nach Jacob (JA84) ist sehr gut in dem Bereich, für welchen sie gerechnet worden ist, nämlich bis zu einer freien Weglänge von 10. Gezeigt wird dies in Abb. 2. Diese Abbildung zeigt die Meßwerte nach Berger, die Approximation [2.3 – 2] mit den Werten aus Tabelle 3, und die Approximation nach Jacob. Für freie Weglängen größer als 10 überschätzt die Approximation nach Jacob zunächst den Aufbaufaktor um dann für freie Weglängen größer als 20 sehr schnell abzustürzen.

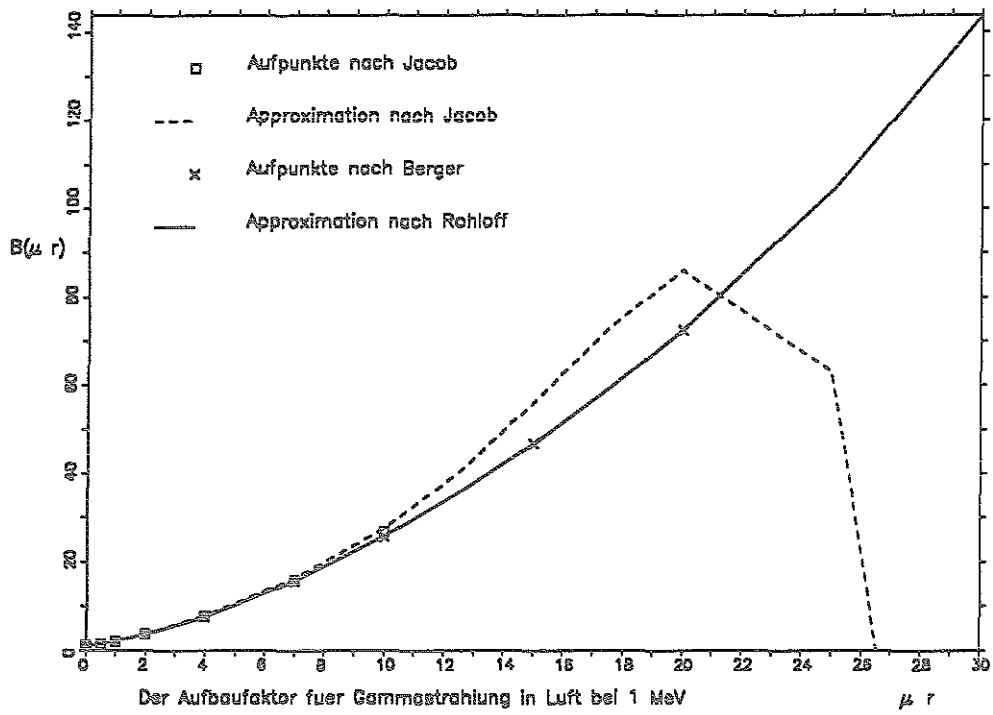


Abb. 2. Vergleich der Aufbaufaktoren

Ferner läßt sich die Formel nach Jacob nicht für Energien unterhalb 0.05 MeV verwenden. Dies wäre aber gerade für Betrachtungen kleiner Energien, etwa bei der Beurteilung der Energieabhängigkeit bei diesen kleinen Energien oder der von der Bremsstrahlung erzeugten niederenergetischen Gammastrahlung von Bedeutung.

2.4 Korrekturen am Gaußmodell

Es sind eine ganze Reihe von Korrekturen an dem über eine Analogiebildung gewonnenen empirischen Modellansatz [2.2 – 4] entwickelt worden, die im Folgenden einzeln besprochen werden.

2.4.1 Der Korrekturfaktor für den Boden

Im Modellansatz für die Ausbreitung wird der Boden durch eine ideale Spiegelung ersetzt. In einer vorläufig ersten Näherung konnte man bei der Berechnung der Ortsdosisleistung bis etwa 1985 den Einfluß des Bodens vernachlässigen, und in der Tat hat auch Dillman (DI74) gezeigt, daß dieser Einfluß zumindestens für eine halbunendliche Wolke, also eine gleichmäßig homogene Verteilung des radioaktiven Materials über der Erdoberfläche, vernachlässigbar ist. Jacob und Paretzke (JA85) haben dann eine Reihe von Einzelstudien ausgewertet, um einen Korrekturfaktor zu finden. Sie zeigten, daß besonders für niederenergetische Photonen der Boden doch stärker absorbiert. Eine Korrektur wird erforderlich für Photonen geringer Energie in Bodennähe, wo genaue Rechnungen, von Messungen bestätigt, eine Erhöhung um etwa 30 % bringen. Für

größere Entfernungen summiert sich die bisherige Absorption zu einer Reduzierung der Gammadosis bis auf einen Faktor 3. Diese Effekte nehmen mit zunehmender Ausbreitungshöhe ab.

2.4.2 Die thermische Konvektion

In der Regel kann man damit rechnen, daß bei der gewollten oder unbeabsichtigten Freisetzung radioaktiven Materials an die Umgebung die Abluft eine höhere Temperatur als die Umgebung haben wird. Bei der Abgabe über einen Kamin kann dazu noch ein mechanischer Impuls hinzukommen.

Eine Korrektur ist die Berechnung einer sogenannten Kaminüberhöhung aus der Temperaturdifferenz bei der Freisetzung (NE90). Weitergehende Untersuchungen (CA91) berücksichtigen noch den Einfluß des thermischen Auftriebs auf die turbulente Diffusion und die Modellierung der Abluftfahne durch eine Biegung in die endgültige Form.

Alle diese Untersuchungen orientieren sich mehr oder weniger an dem Verhalten der Kontamination am Boden. Messungen dort werden zur Validisierung der theoretischen Ansätze verwendet. Für die Berechnung der Gammasubmersion ergibt sich hieraus jedoch ein zusätzlicher Unsicherheitsfaktor, da über die Gammastrahlung in Luft die gesamte Abluftfahne in die Bearbeitung eingehen muß Die Biegung der Fahne kann in einem so einfachen Modell nicht berücksichtigt werden, hier stößt das Gaußmodell an seine Grenzen. Praktisch kann nur die Kaminüberhöhung bei der Bestimmung der effektiven Ausbreitungshöhe berücksichtigt werden. Ein unbekannter Fehler in der unmittelbaren Nähe der Emission kann nicht vermieden werden.

Diese Berücksichtigung, welche jetzt in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift (VA90) vorgeschrieben ist, wurde und wird unterlassen, wenn bei kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen mit relativ kalter Abluft argumentiert werden kann, daß ein weiterer Effekt aus der Anhebung des sogenannten Nullniveaus durch Bebauung und Bewuchs die Kaminüberhöhung teilweise wieder aufhebt.

2.4.3 Der Gebäudeeinfluß

Das Gaußmodell gilt im allgemeinen in einem idealen Raum, wobei der Boden noch durch eine Spiegelfläche ersetzt wird, vgl. [3.1 – 3]. Tatsächlich werden aber in der Nähe kerntechnischer Anlagen immer irgendwelche Gebäude vorhanden sein.

Die recht komplizierte zusätzliche Verwirbelung der Abluftfahne wird in (PL82) und (ZW89) beschrieben: man findet eine Verbreiterung der Abluftfahne und eine Verringerung der effektiven Emissionshöhe.

In zwei Fällen kann man den Gebäudeeinfluß vernachlässigen:

In großer Entfernung vom Emittenten. Dort hat bereits eine so starke Diffusion des Materials stattgefunden, daß eine weitere Verwirbelung kaum noch eine Änderung der Konzentration ergibt. Außerdem bewirkt die Raumintegration für die Gammasubmersion eine Mittelung dieser Effekte.

In geringer Entfernung vom Emittenten, wenn die Ausbreitungshöhe größer als die doppelte Höhe der umliegenden Gebäude ist.

Für den Fall kleiner Ausbreitungshöhe gewinnt man eine Korrektur aus Windkanalmessungen. Man findet Korrekturen bei den Ausbreitungsparametern (AV90) oder bei der effektiven Emissionshöhe (ZW89).

Auch für diese Korrekturen ist anzumerken, daß sie oft aus Beobachtungen von Konzentrationen am Boden gewonnen werden, und daß ihre Anwendung für die Berechnung der Gammasubmersion nicht unproblematisch ist.

3.0 Die Gammasubmersion der gradlinigen Ausbreitung

3.1 Die Konzentratrionsverteilung

Als primäre, noch zeitabhängige Konzentrationsverteilung in einer von der Abluft fortgeführten Wolke, die von einer momentanen Freisetzung einer Aktivitätsmenge q herrührt, wird, ausgehend vom Puff-Modell, gesetzt:

$$V(x,y,z,t) = q \frac{e^{-\frac{(x-ut)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2}} \left(e^{-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}} + e^{-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}}\right)}{\sqrt{(2\pi)^3}\,\sigma_x\sigma_y\sigma_z} \qquad [3.1-1]$$

Diese Verteilung entspricht anschaulich der Vorstellung, daß zum Zeitpunkt $t = 0$ an der Öffnung eines Schornsteins (oder einer Undichtigkeitsstelle) am Ort x = 0, y = 0 in der Höhe z = H die Radioaktivitätsmenge q freigesetzt wird. Die entstehende Wolke bildet eine dreidimensionale Verteilung aus, man sagt eine Gaußverteilung, deren Größe mit der Zeit abnimmt, aber so, daß sich die Basis bei gleichem Inhalt verbreitert. Dieses Verhalten wird durch die Ausbreitungsparameter σ_x, σ_y, σ_z beschrieben. Die Ausbreitungsparameter sind dabei mit der Zeit zunehmende Funktionen. Das Zentrum der Wolke wandert mit der Geschwindigkeit u in die positive x - Richtung. Diese Beschreibung ist nicht einschränkend, da die Ergebnisse für die praktische Anwendung später in jede Richtung gedreht werden können. Es wird angenommen, daß die Wolke am Boden z = 0 reflektiert wird, was durch einen Reflexionsterm in z berücksichtigt wird.

Für die Beurteilung der aus der mit der Abluft mitgeführten radioaktiven Materials herrührenden Gefährdung der Bevölkerung sind vor allem die Zeitintegrale der Verteilung von Bedeutung. Diese Zeitintegration kann jedoch bereits auf die primäre Dichtefunktion angewandt werden, da alle späteren Dosisintegrationen zeitunabhängig sind. Es wird eine zeitintegrierte Dichte

$$C(x,y,z) = \int_{t=-\infty}^{\infty} V(x,y,z,t)dt \qquad [3.1-2]$$

eingeführt.

Bei der Ausführung der Integration wird angenommen, daß die Ausbreitungsparameter σ_x, σ_y, σ_z langsam veränderliche (quasi stationäre) Funktionen der Zeit sind, wogegen der Term u t, wenn nur die Ausbreitungsgeschwindigkeit u hinreichend groß ist[2] , sehr schnell mit t variiert. Unter diesen Voraussetzungen wird

$$C(x,y,z) = \frac{q}{u} \frac{e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} \left(e^{-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}} + e^{-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}}\right)}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \qquad [3.1-3]$$

---

2 Über den Einfluß von Schwachwindlagen, also Grenzfälle mit sehr kleiner Ausbreitungsgeschwindigkeit u, hat der Verfasser auf einer Tagung des Fachverbandes für Strahlenschutz berichtet. (RO78)

Die Berechtigung dieses Verfahrens wird am Ende des Kapitels 4 noch einmal beispielhaft gezeigt werden.

Geht man davon aus, daß es sich nicht um eine einmalige Emission eines Schadstoffes zum Zeitpunkt $t = t_0$ handelt, sondern um eine kontinuierliche Emission in einem Fahnenmodell, die durch eine Funktion $q(t_0)$ beschrieben wird, so kann man noch einmal über diese Emissionszeit integrieren. Mit

$$Q = \int q(t_0) dt_0 \qquad [3.1-4]$$

wird dann endgültig

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{u} \frac{e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} \left(e^{-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}} + e^{-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}}\right)}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \qquad [3.1-5]$$

Die Funktion C/Q wird in der Literatur als Ausbreitungsfaktor bezeichnet und hat besondere Bedeutung für die Berechnung von β-Submersions-, Ingestions- und Inhalationsdosen. Die Ausbreitungsparameter σ_y und σ_z sind über die Beziehung $x = ut$ Funktionen von x geworden.

Durch verschiedene experimentelle Arbeiten sind die Ausbreitungsparameter als Funktion des Abstandes x vom Emissionsort bestimmt worden.

Die Tatsache, daß die Formeln [3.1 – 3] und [3.1 – 5] die Zeit nicht mehr enthalten, erlaubt es, sie auf verschiedene Art auszudeuten:

1. Geht man davon aus, daß es sich um eine einmalige Freisetzung von Aktivität handelt, etwa bei einem Unfall, so ist die Dimension der Größe C $[\frac{Bqs}{m^3}]$. Bei den nachfolgend berechneten Größen wird es sich dann um eine Dosis handeln.

2. Wird die Aktivität jedoch über eine zeitliche Spanne verteilt abgegeben, so ist als Quellstärke das Zeitintegral der Emission einzusetzen. Ist dann Q wieder die insgesamt abgegebene Aktivität, so bleibt C die insgesamt weiter zu berechnende Konzentrationsdichte und die nachfolgenden Größen bleiben eine Dosis (z.B. Jahresdosis).

3.2 Der Integrationskern für die Dosisberechnung

Ein Volumenelement der radioaktiven Abluftfahne, welches sich an einem Ort x, y, z befindet, trägt zu einer Gammadosis am Ort X, Y, Z bei, und zwar mit einem Faktor

$$D(x-X, y-Y, z-Z) = \frac{B(\mu r)e^{-\mu r}}{4\pi r^2} \qquad [3.2-1]$$

worin ist

$$r = \sqrt{(x-X)^2 + (y-Y)^2 + (z-Z)^2} \qquad [3.2-2]$$

der Abstand vom Ort des Volumenelements zum Ort des Aufpunkts, für welchen die Dosis berechnet wird. μ ist der Schwächungskoeffizient in $[m^{-1}]$. $B(\mu r)$ ist der sogenannte Aufbaufaktor, welcher als Potenzreihe in μr gegeben ist:

$$B(\mu r) = 1 + \sum_{i=1}^{4} c_i (\mu r)^i \qquad [3.2-3]$$

Die Faktoren c_i wurden gemäß Kapitel 2.3.1 berechnet und werden in Tabelle 3 angegeben.

3.3 Der Korrekturfaktor für den Einfluß des Bodens

Ein weiterer Korrekturfaktor ist eingeführt worden (JA85), um den Einfluß des Bodens auf die Gammasubmersion zu berücksichtigen. Er lautet:

$$K(\mu z, \mu s) = \sum_{k=0}^{3} \sum_{l=0}^{3} a_{kl} (\mu z)^k e^{-\frac{l}{2}\mu s} \qquad [3.3-1]$$

Hierin ist

$$s = \sqrt{(x-X)^2 + (y-Y)^2} \qquad [3.3-2]$$

der horizontale Abstand zwischen der senkrechten Projektion vom Volumenelement der Abluftfahne und dem Aufpunkt am Boden.

Die Koeffizienten a_{kl} wurden von (JA85) kompiliert und werden in den Tabellen 5 (1 MeV) und 6 (0.1 MeV) angegeben.

3.4 Der Kurzzeitausbreitungsfaktor für Gammasubmersion

Den Kurzzeitausbreitungsfaktor für die γ-Submersion erhält man, indem man die Konzentrationsverteilung [3.1 – 3] mit den Integrationskernen [3.2 – 1] und [3.3 – 1] faltet, also

$$X_\gamma = \frac{1}{Q} \int C\, D\, K\, dV \qquad [3.4-1]$$

Für die Höhe z = 0 kann man den Spiegelterm in den Halbraum $z < 0$ projizieren und man erhält ausgeschrieben

$$X_\gamma(X,Y,0) \qquad [3.4-2]$$

$$= \frac{1}{u} \int_{x=-0}^{\infty} \int_{y=-\infty}^{\infty} \int_{z=-\infty}^{\infty} \frac{B(\mu r) e^{-\mu r}}{4\pi r^2} \frac{e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}}}{2\pi\sigma_y\sigma_z} K(\mu z, \mu s)\, dx dy dz$$

Hierin ist

$$r = \sqrt{(x - X)^2 + (y - Y)^2 + z^2} \qquad [3.4 - 3]$$

und

$$s = \sqrt{(x - X)^2 + (y - Y)^2} \qquad [3.4 - 4]$$

Im Rest der Arbeit wird ein sogenannter normierter Kurzzeitausbreitungsfaktor für Gamma-Submersion berechnet, der durch die Setzung $u = 1$ gegeben wird.

Im Folgendem wird folgendes Integral berechnet:

$$\tilde{X}_\gamma(X,Y,0) = \int_{x=-0}^{\infty} \int_{y=-\infty}^{\infty} \int_{z=-\infty}^{\infty} \frac{B(\mu r)e^{-\mu r}}{4\pi r^2} \frac{e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}}}{2\pi\sigma_y\sigma_z} K(\mu z, \mu s)\, dxdydz \qquad [3.4 - 4]$$

Die Ausführung der Integration wird in Anhang A beschrieben.

3.5 Der integrierende Faktor

Das Integral [3.4 – 4] besitzt die grundlegende Schwierigkeit, daß der Integrand an der Stelle $r = 0$ einen Pol hat. Dieser Pol ist prinzipiell hebbar, denn, wenn man eine Koordinatentransformation in Polarkordinaten um den Punkt $r = 0$ herum durchführt, kürzt sich wegen

$$dx\, dy\, dz = r^2 \sin\theta\, d\theta\, d\phi\, dr \qquad [3.5 - 1]$$

der Faktor r^2 gerade weg.

Damit ist die Schwierigkeit aber nicht behoben. Denn vor allem im Nahbereich befindet sich die Aktivität, deren Menge und Ort durch den Gaußschen Ansatz [3.1 – 5] beschrieben wird, keineswegs in der Nähe der Stelle $r = 0$, sondern u.U. einige hundert Meter entfernt. Zwar existiert das Integral, doch der Integrand ist sehr inhomogen und die numerische Integration sehr schlecht konvergent (CO64,CO66). Im Grenzfall integriert man über einen riesigen Raum, in welchem nur an einer kleinen Stelle irgendwo der Integrand merklich größer null ist.

Lediglich in großer Entfernung vom Ort der Emission, wo die Fahne durch die turbulente Diffusion so weit aufgefächert ist, daß um den Aufpunkt eine weitgehend homogene Aktivitätsverteilung herrscht, führt die Gerade-aus-Integration mit Polarkoordinaten schnell zum Ziel.

Ein anderer Grenzfall besteht in geringster Entfernung vom Ort der Emission, wo man die Aktivitätskonzentration am Aufpunkt exakt gleich null setzen darf. Die Fahne stellt fast noch eine Linienquelle dar, und man kann mit einer geeigneten Transformation in Zylinderkoordinaten um die Fahne ein geeignetes Rechenverfahren finden.

Der schwierigste Fall liegt jedoch in mittlerer Entfernung vom Ort der Emission, der auch der wichtigste ist, denn, wie man an den Ergebnissen ablesen kann, ist dort der Gammasubmersionsfaktor am größten.

Das hier angewandte Lösungsverfahren, welches in Anhang A genauer beschrieben wird, sei an Hand der Abb. 3 bis 6 demonstriert. Gezeigt werden Isolinien im Zehnerabstand.

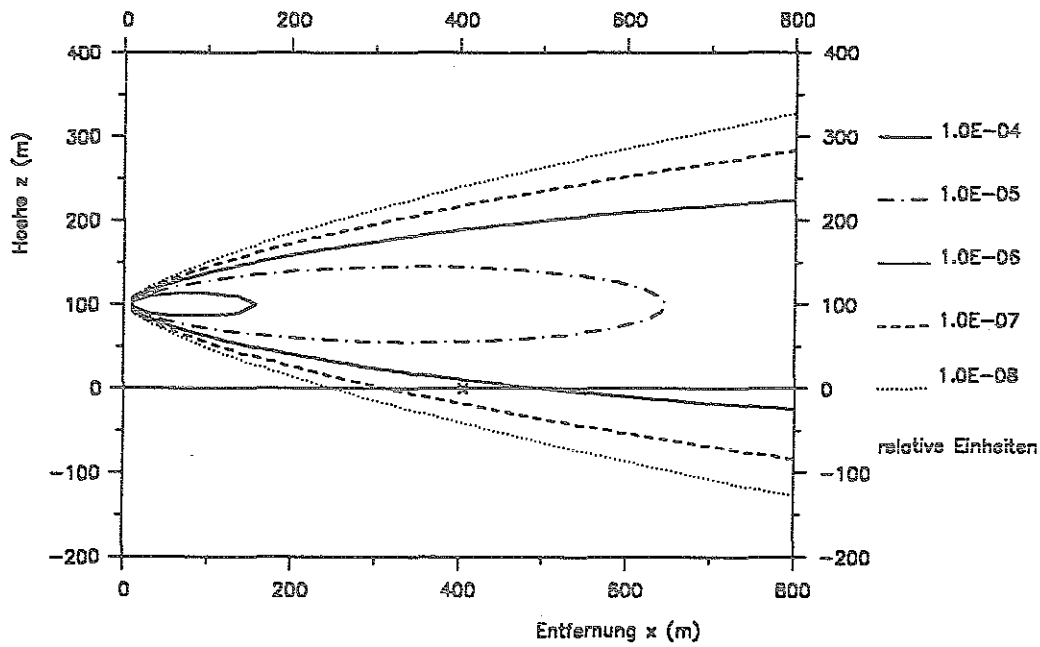


Abb. 3. Eine zeitintegrierte Konzentration

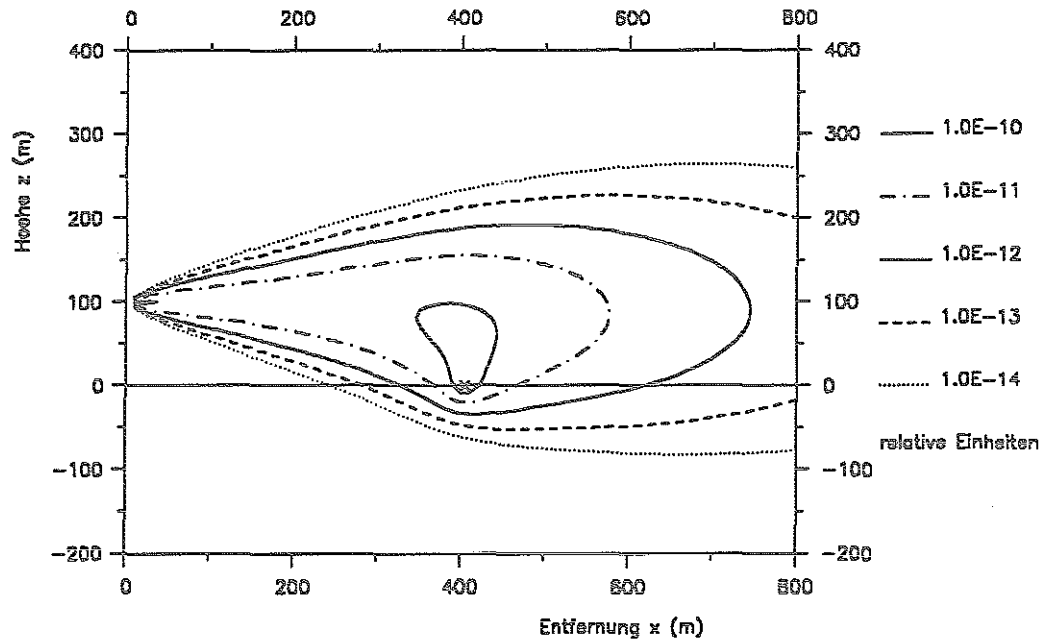


Abb. 4. Der Integrand I(x,z)

Abb. 3 zeigt zunächst eine zeitintegrierte Konzentration der Art [3.1 – 5], wobei ein Schnitt durch die $x - z$ -Achse gelegt ist. Es wurde eine Ausbreitungshöhe von 100 Meter, eine Windgeschwindigkeit von 6 $\frac{m}{s}$ und die Diffusionskategorie D gewählt. Die x-Achse ist Ausbreitungsrichtung, die Darstellung berücksichtigt die Spiegelung am Boden nicht.

Eine vereinfachte Form des Integranden von [3.4 – 4], nämlich

$$I(x,z) = \frac{B(\mu r)e^{-\mu r}}{4\pi r^2} \frac{e^{-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}}}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \qquad [3.5-2]$$

ist in Abb. 4 dargestellt, und zwar für eine Stelle $X = 400$ m. Der Form des Integranden nach böte es sich an, einen Zylinder um die Fahne zu legen und in diesem Zylinder zu integrieren. Das scheitert jedoch an dem Pol an der Stelle $r = 0$.

Die Lösung besteht in einer Aufteilung des Integrals in zwei Integrale mit den Integranden

$$I(x,z) = I_1(x,z) + I_2(x,z) = I(x,z)(1 - e^{-\alpha r^2}) + I(x,z)e^{-\alpha r^2} \qquad [3.5-3]$$

Die Identität ist trivial, der Unterschied ist, daß beide Integranden integrierbar sind.

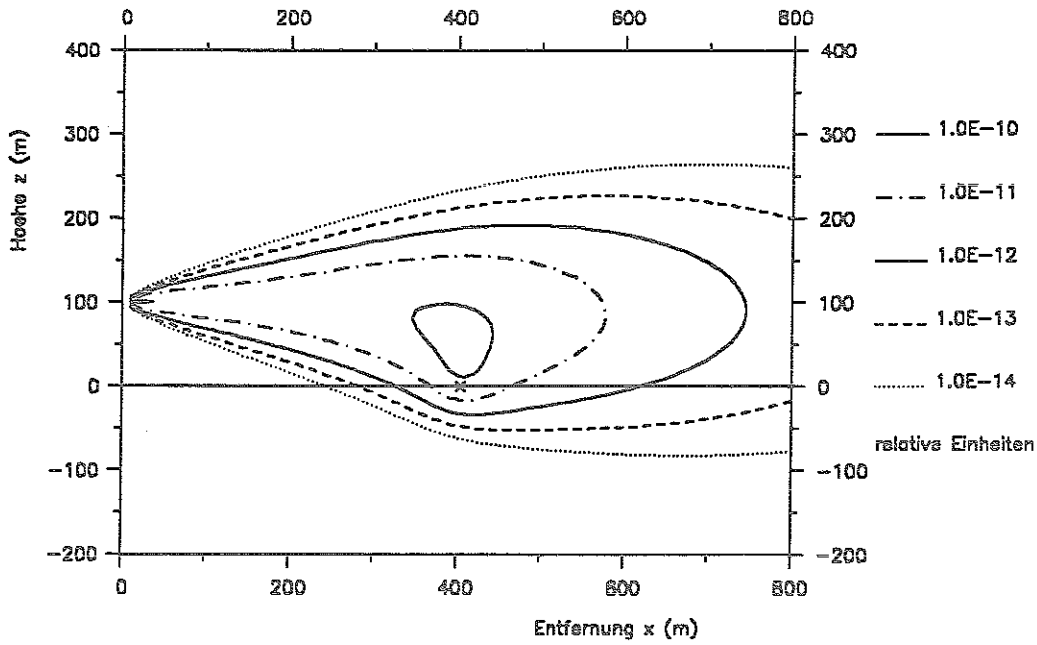


Abb. 5. Der Integrand I1(x,z)

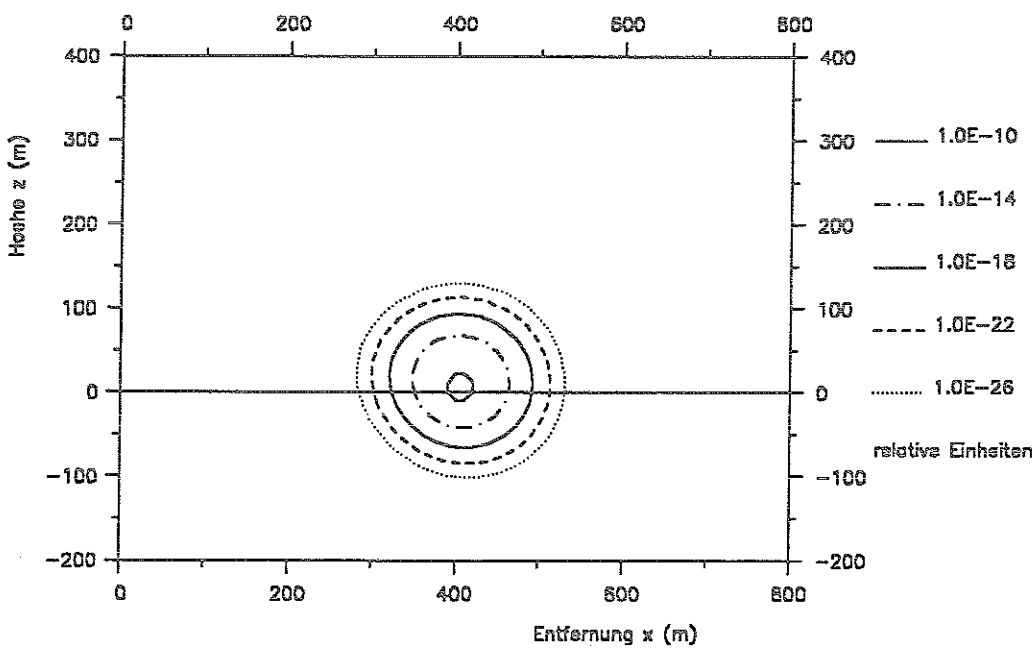


Abb. 6. Der Integrand I2(x,z)

Der Integrand $I_1(x,z)$ ist in Abb. 5 dargestellt. Der Integrand $I_1(x,z)$ ist wegen der Eigenschaft

$$\lim_{r \to 0} \frac{(1 - e^{-\alpha r^2})}{r^2} = \alpha \qquad [3.5-4]$$

an der Stelle $r = 0$ stetig, und somit trivialerweise überall integrierbar. Deshalb läßt dieser Integrand sich leicht mit der wünschenswerten Zylinderkoordinaten integrieren.

Der Integrand $I_2(x,z)$ ist in Abb. 6 dargestellt. Er behält den Pol an der Stelle $r = 0$, kann jedoch wegen der Hebbarkeit des Poles unter Verwendung einer Polarkoordinatentransformation leicht integriert werden.

Die Ausführung der Integrationen wird ausführlich im Anhang A beschrieben.

Hier sei nur noch bemerkt, daß dieses Verfahren zusammen mit der Benutzung von modernen Integrationsroutinen (IM87) es erlaubt, den Gammasubmersionsfaktor für eine sehr große Anzahl von Aufpunkten zügig durchzurechnen, wobei die Rechenzeit, die nicht unerheblich ist, minimiert wird.

4.0 Die Gammasubmersion der meandernden Ausbreitung

Der Gammasubmersionsfaktor für die nicht meandernde Ausbreitung ist unter der Annahme ermittelt worden, daß die wichtigsten Ausbreitungsparameter, die Windgeschwindigkeit, die Windrichtung und die Diffusionskategorie, für die Dauer der Ausbreitung konstant bleiben. Eine zeitabhängige Ausbreitung wurde dann dadurch beschrieben, daß die Zeit in diskrete Zeitelemente zerlegt wurde, und die gesamte Ausbreitung jeweils aus der Superposition aus Ausbreitungen mit konstanten Ausbreitungsbedingungen zusammengesetzt wurde.

Das Verfahren hängt in seiner Fähigkeit, die Wirklichkeit zu beschreiben, auch von der Größe der gewählten Zeitintervalle ab. Wählt man z.B. ein Zeitintervall von einer Stunde, so nimmt man kleinere Parameterschwankungen in dieser Stunde in Kauf: da die Ausbreitungsexperimente, aus denen die Ausbreitungsparameter gewonnen wurden, typische Sammelzeiträume von 30 bis 90 Minuten hatten, sind Schwankungen der meteorologischen Größen in den Ausbreitungsparametern mit parametrisiert. Nimmt man dann z.B. eine Windgeschwindigkeit von etwa sechs Meter pro Sekunde an, so wird sich die Ausbreitung auf eine Entfernung von 21 Kilometer erstreckt haben. Dies ist der normalerweise interessante Bereich und man kann annehmen, daß die Ausbreitung somit einigermaßen realistisch beschrieben worden ist.

Geht man auf Zeitintervalle von 10 Minuten zurück, will man noch Schwachwindlagen berücksichtigen, so wird das Gauß-Modell der nichtmeandernden Ausbreitung besonders für Fragen der Kurzzeitausbreitung bei Störfällen nicht mehr tragen. Die Fahne kann im interessierenden Bereich abdrehen, ohne daß dies erfasst werden kann.

Als Lösung bietet sich an, ein Modell zu entwickeln, welches für beliebige Zeitintervalle die Ausbreitung der Fahne beschreibt, wobei sich die Ausbreitungsparameter, namentlich die Windgeschwindigkeit, die Windrichtung und die Diffusionskategorie ändern dürfen.

4.1 Die Iteration der Trajektorien

Die zeitabhängige Konzentrationsverteilung einer Abluftfahne, die im Koordinatenursprung durch eine momentane Emission entsteht, wird in bekannter Weise durch eine Gaußfunktion der Form

$$V(x,y,z,t) = \frac{e^{-\frac{(x-u_{x1}t)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{(y-u_{y1}t)^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}}}{\sqrt{(2\pi)^3}\,\sigma_x\sigma_y\sigma_z} \qquad [4.1-1]$$

beschrieben. Hierin ist ohne Verletzung der Allgemeinheit die Quellstärke auf eins normiert. Ferner sind

x, y, z, t	die Koordinaten des Ortes und der Zeit
$u_1 = (u_{x1}, u_{y1})$	der Vektor der Windgeschwindigkeit
H	die effektive Emissionshöhe
$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$	die Ausbreitungsfunktionen. Sie sind Funktionen der Zeit und der

der jeweiligen Ausbreitungsbedingungen (Diffusionskategorien)

Ist nun t_1 die Dauer der konstanten Wetterbedingung, so gilt die Gleichung im Bereich $0 \leq t \leq t_1$. Zum Zeitpunkt t_1 hat die Wolke den Ort $x = u_{x1}t_1$, $y = u_{y1}t_1$ erreicht, die zeitabhängigen Parameter $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ haben die Werte $\sigma_{x1}, \sigma_{y1}, \sigma_{z1}$ angenommen, sodaß die Wolke zur Zeit $t = t_1$ folgende Gestalt hat:

$$V_1(x,y,z,t_1) = \frac{e^{-\frac{(x-u_{x1}t_1)^2}{2\sigma_{x1}^2} - \frac{(y-u_{y1}t_1)^2}{2\sigma_{y1}^2} - \frac{(z-H)^2}{2\sigma_{z1}^2}}}{\sqrt{(2\pi)^3}\,\sigma_{x1}\sigma_{y1}\sigma_{z1}} \qquad [4.1-2]$$

In dieser Darstellung sind nun $\sigma_{x1}, \sigma_{y1}, \sigma_{z1}$ Konstanten, die von den Ausbreitungsbedingungen (Diffusionskategorie) im Zeitintervall $0 \leq t \leq t_1$ abhängen.

Zum Zeitpunkt $t = t_1$ soll nun eine Änderung der Ausbreitungsbedingungen eintreten. Sie sei durch einen Windgeschwindigkeitsvektor $u = (u_x, u_y)$ beschrieben, der in Betrag und Richtung im allgemeinen von u_1 verschieden ist. Außerdem soll die weitere Ausbreitung durch Funktionen $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ gesteuert werden, die einer geänderten Diffusionskategorie entsprechen können.

Das Gauß-Modell wird nun wie folgt angewandt: Jedes Volumenelement der durch [3.1 – 2] beschriebenen Wolke sei eine für sich betrachtete Quelle, die weiter eine entsprechend Formel [3.1 – 1] beschriebene Abluftfahne erzeugt. Die gesamte Abluftfahne erhält man dann, indem man über die jetzt als Quellverteilung aufgefaßt Formel [4.1 – 2] integriert.

Die zeitabhängige Konzentrationsverteilung der abgelenkten Abluftfahne wird nun für ein Zeitintervall $t > t_1$:

$$V(x,y,z,t) = \int_{\xi=-\infty}^{\infty}\int_{\eta=-\infty}^{\infty}\int_{\zeta=-\infty}^{\infty} \frac{e^{-\frac{(x-\xi-u_x(t-t_1))^2}{2\sigma_x^2} - \frac{(y-\eta-u_y(t-t_1))^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(z-\zeta-H)^2}{2\sigma_z^2}}}{\sqrt{(2\pi)^3}\,\sigma_x\sigma_y\sigma_z}$$

$$\frac{e^{-\frac{(\xi-u_{x1}t_1)^2}{2\sigma_{x1}^2} - \frac{(\eta-u_{y1}t_1)^2}{2\sigma_{y1}^2} - \frac{(\zeta-H)^2}{2\sigma_{z1}^2}}}{\sqrt{(2\pi)^3}\,\sigma_{x1}\sigma_{y1}\sigma_{z1}}\,d\xi\,d\eta\,d\zeta \qquad [4.1-3]$$

Die Integration ergibt, wie im Anhang A4, „Die Zeitintegration der Trajektorien" auf Seite 70, gezeigt wird:

$$V(x,y,z,t) = \frac{e^{-\frac{(x-u_x(t-t_1)-u_{x1}t_1)^2}{2(\sigma_{x1}^2+\sigma_x^2)} - \frac{(y-u_y(t-t_1)-u_{y1}t_1)^2}{2(\sigma_{y1}^2+\sigma_y^2)} - \frac{(z-H)^2}{2(\sigma_{z1}^2+\sigma_z^2)}}}{\sqrt{(2\pi)^3(\sigma_{x1}^2+\sigma_x^2)(\sigma_{y1}^2+\sigma_y^2)(\sigma_{z1}^2+\sigma_z^2)}} \qquad [4.1-4]$$

für den Gültigkeitsbereich $t > t_1$.

Dieses Verfahren läßt sich iterativ für beliebig viele Änderungen der Ausbreitungsparameter anschreiben:

$$V(x,y,z,t) = \frac{e^{-\frac{\left(x - u_x(t-t_n)\sum_{\nu=1}^{n} u_{x\nu}t_\nu\right)^2}{2\left(\sum_{\nu=1}^{n}\sigma_{x\nu}^2 + \sigma_x^2\right)} - \frac{\left(y - u_y(t-t_n) - \sum_{\nu=1}^{n} u_{y\nu}t_\nu\right)^2}{2\left(\sum_{\nu=1}^{n}\sigma_{y\nu}^2 + \sigma_y^2\right)} - \frac{(z-H)^2}{2\left(\sum_{\nu=1}^{n}\sigma_{z\nu}^2 + \sigma_z^2\right)}}}{\sqrt{(2\pi)^3\left(\sum_{\nu=1}^{n}\sigma_{x\nu}^2 + \sigma_x^2\right)\left(\sum_{\nu=1}^{n}\sigma_{y\nu}^2 + \sigma_y^2\right)\left(\sum_{\nu=1}^{n}\sigma_{z\nu}^2 + \sigma_z^2\right)}} \qquad [4.1-5]$$

für den Gültigkeitsbereich $t_n \leq t \leq t_{n+1}$.

4.2 Die zeitintegrierten Konzentrationen für die Trajektorien

Das Integral [4.1 – 4] ist für jedes Zeitintervall $t_n < t < t_{n+1}$ zu integrieren. Es genügt, eine dieser gleichartigen Integrationen durchzuführen. Das gesuchte Integral ist

$$C(x,y,z) = \int_{t=t_n}^{t=t_{n+1}} V(x,y,z,t)dt \qquad [4.2-1]$$

Der Startort der n-ten Trajektorie ist gegeben durch

$$X_0 = \sum_{\nu=1}^{n} u_{x\nu}t_\nu$$

und

$$Y_0 = \sum_{\nu=1}^{n} u_{y\nu}t_\nu$$

Zur Vereinfachung der Schreibweise wird die Ausbreitungsfunktion in diesem Abschnitt vereinfacht geschrieben

$$\left(\sum_{\nu=1}^{n}\sigma_{x\nu}^2 + \sigma_x^2\right) \rightarrow \sigma_x^2$$

und entsprechend für y und z. Die Zeitintegration wird vermittels $t - t_n \rightarrow t$ in das Intervall $(0,t_0) = (t_n, t_{n+1})$ transformiert.

Sei nun noch der Windgeschwindigkeitsvektor angeschrieben:

$u_x = u \cos \phi$

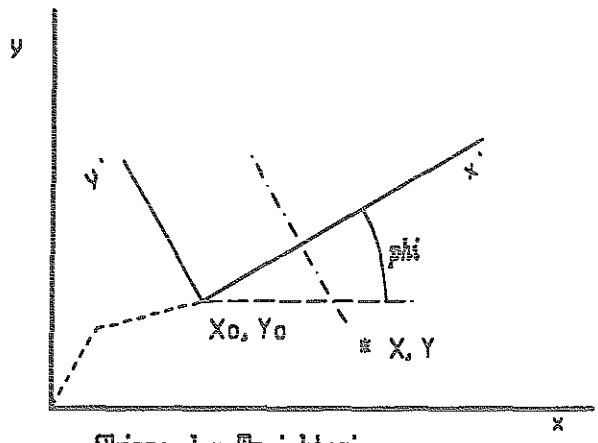
$u_y = u \sin \phi$

worin ϕ der Winkel der Ausbreitungsrichtung gegen die x-Achse ist.

Das zu lösende Integral wird dann:

$$C(x,y,z) = \int_{t=0}^{t_0} \frac{e^{-\frac{(x - X_0 - u\cos\phi t)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{(y - Y_0 - u\sin\phi t)^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}}}{\sqrt{2\pi^3}\,\sigma_x\sigma_y\sigma_z}\,dt \qquad [4.2-2]$$

Zur Durchführung der Integration wird das Koordinatensystem in Startort der Trajektorie translatiert und in die Ausbreitungsrichtung gedreht, vergleiche die Skizze (Projiziert in die x,y - Ebene):



Skizze der Trajektorie

Die Transformationsgleichungen lauten:

$x - X_0 = x' \cos\phi - y' \sin\phi$

$y - Y_0 = x' \sin\phi + y' \cos\phi$

$z = z' + H$

mit der Umkehrung

$x' = (x - X_0)\cos\phi + (y - Y_0)\sin\phi$

$y' = -(x - X_0)\sin\phi + (y - Y_0)\cos\phi$

$z' = z - H$

Eine zentrale Annahme wird nun dadurch gemacht, daß angenommen wird, daß die Ausbreitung in x-Richtung gleich der Ausbreitung in y-Richtung gesetzt werden kann, daß also ist $\sigma_x = \sigma_y$. Mit dieser Annahme und der Koordinatentransformation vereinfacht sich der Exponent im Integral [4.2 – 2] wesentlich und das Integral wird nun

$$C(x,y,z) = \int_{t=t_0}^{t_1} \frac{e^{-\frac{(x'-ut)^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(y')^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(z')^2}{2\sigma_z^2}}}{\sqrt{2\pi^3}\,\sigma_y^2\sigma_z}\,dt \qquad [4.2-3]$$

Nun wird wieder die bekannte Annahme (vgl. Kapitel 3) gemacht, daß die σ langsam veränderliche Funktionen der Zeit sind, und somit durch ihren Wert an der Stelle (x,y) ersetzt werden können. Die verbleibende Zeitintegration kann man dann mit einer Substitution

$$k = \frac{x' - ut}{\sqrt{2}\,\sigma_y} \qquad dk = -\frac{udt}{\sqrt{2}\,\sigma_y} \qquad [4.2-4]$$

vorbereiten. Dies führt zu

$$C(x,y,z) = \frac{e^{-\frac{(y')^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(z')^2}{2\sigma_z^2}}}{2\pi\sigma_y\sigma_z}\,\frac{1}{\sqrt{\pi}}\int_{k=\frac{x'-ut_1}{\sqrt{2}\,\sigma_y}}^{\frac{x'-ut_0}{\sqrt{2}\,\sigma_y}} e^{-k^2}dk \qquad [4.2-5]$$

Mit der auf den Computern verfügbaren Fehlerfunktion

$$Erf(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_{k=0}^{x} e^{-k^2}dk$$

wird schließlich

$$C(x,y,z) = \frac{e^{-\frac{(y')^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(z')^2}{2\sigma_z^2}}}{2\pi\sigma_y\sigma_z u}\,\frac{1}{2}\left(Erf\left(\frac{x'-ut_0}{\sqrt{2}\,\sigma_y}\right) - Erf\left(\frac{x'-ut_1}{\sqrt{2}\,\sigma_y}\right)\right) \qquad [4.2-6]$$

Dies geht für $t_0 \to 0$ und $t_1 \to \infty$ in die der Formel [3.1 – 5] äquivalenten Form

$$C(x,y,z) = \frac{e^{-\frac{(y')^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(z')^2}{2\sigma_z^2}}}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \qquad [4.2-7]$$

über. Die Fehlerfunktionen liefern also eine Ausschneidefunktion für die Trajektorie.

Das Verfahren soll nun an zwei einfachen Beispielen veranschaulicht werden. Dazu werden in den beiden folgenden Abbildungen die Kurven [4.2 – 3], [4.2 – 6] und

[4.2 – 7] gezeigt. Als Parameter wird gewählt $H = 100m$, $u = 6\frac{m}{s}$ und die Diffusionskategorie D.

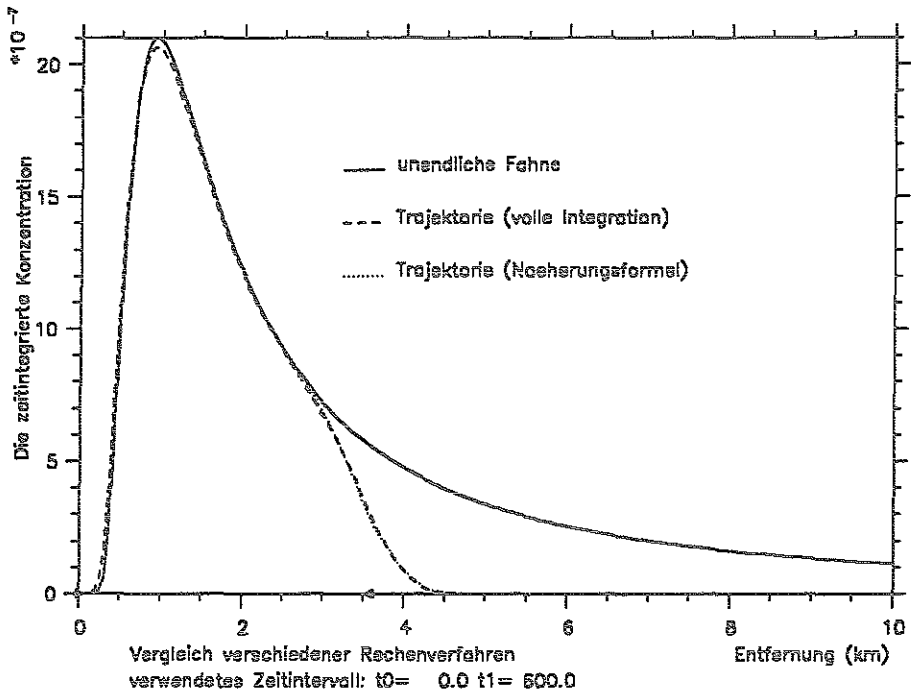


Abb. 7. Die Ausschneidefunktion im Nahbereich

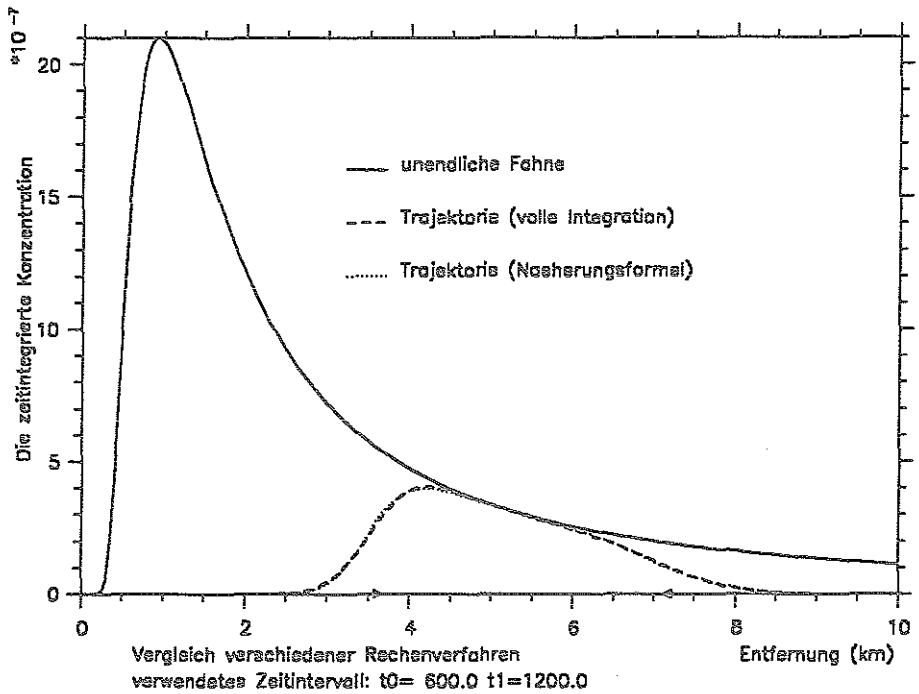


Abb. 8. Die Ausschneidefunktion im Fernbereich

Man erkennt gut zweierlei an den errechneten Kurven. Zum ersten eine fast ideale Übereinstimmung der numerisch voll ausintegrierten Kurve [4.2 – 3] mit der Näherung [4.2 – 6]. Ein Unterschied ist optisch kaum zu erkennen. Zum anderen sieht man sehr gut, wie aus der Kurve für die unendliche Trajektorie ein Teilstück ausgeschnitten wird. Das Trajektorienstück ist auf der Koordinate durch kleine Pfeile angedeutet. Der allmähliche Übergang wird dabei durch die Fehlerfunktion gut beschrieben.

Insbesondere kann man an der Abb. 7 erkennen, welchen Fehler man macht, wenn man auch bei einer unendlichen Fahne das korrekte Integral [4.2 – 3] durch seine Näherung der Zeitintegration ersetzt. Ein Fehler ist vorhanden, jedoch unbedeutend und fällt gegen andere systematische Fehler des Modells kaum ins Gewicht. Damit wäre auch beispielhaft die Berechtigung der früheren Integration von [4.1 – 2] zu [4.1 – 3] gezeigt.

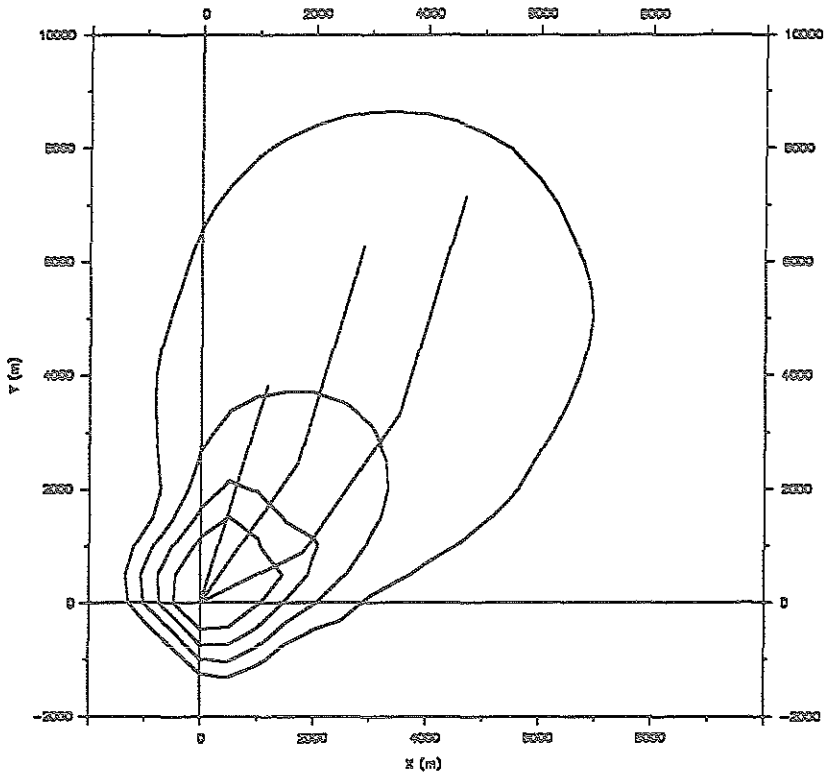


Abb. 9. Beispiel für eine meandernde Ausbreitung

Als Beispiel für die Gammasubmersion einer meandernden Ausbreitung wird eine Rechnung gezeigt, in welcher der Wind im zehnminütigen Abstand nach Norden dreht. Es überlagern sich drei Fahnen unterschiedlicher Länge, die durch eine zunehmende Windgeschwindigkeit charakterisiert sind. Es wurde eine Ausbreitungshöhe von 100 m und die Diffusionskategorie D unterstellt. Die Einzelrechnungen wurden mit den in Kapitel 7 entwickelten Algorithmen durchgeführt. Dargestellt ist die Gammasubmersion im dekadischen Abstand in relativen Einheiten.

5.0 Grenzfälle

5.1 Die asymptotischen Näherungen des Gammasubmersionsfaktors

5.1.1 Einleitung

Für die komplizierten Integrale des Kapitel 2 für den Gammasubmersionsfaktor lassen sich für zwei Grenzfälle einfache Näherungen angeben:

1. Im Nahbereich der Ausbreitung
   Anschaulich gesprochen ist nahe dem Emissionsort die Abluftfahne noch nicht durch turbulente Diffusion aufgefächert worden. Sie kann in erster Näherung durch eine Linienquelle substituiert werden, die dann leicht integriert werden kann. Dieser Nahbereich (s.u.) gilt etwa bis zu einer Entfernung von 100 m vom Ort der Emission.

2. Im Fernbereich der Ausbreitung
   Wieder anschaulich betrachtet ist für eine große Entfernung vom Emissionsort die Abluftfahne soweit aufgefächert, daß die Konzentration über weite Entfernungen sich nur wenig ändert. Sie kann in erster Näherung durch eine konstante Volumenquelle substituiert werden. Dieser Fernbereich (s.u.) gilt ab einer Entfernung von etwa 1000 m vom Ort der Emission.

Es muß an dieser Stelle noch bemerkt werden, daß der Gammasubmersionsfaktor gerade in dem Gebiet, wo die Näherungen nicht gelten, also im Bereich zwischen 100 und 1000 m vom Ort der Emission, sein Maximum annimmt. Es bleibt erforderlich, den Gammasubmersionsfaktor in diesem Bereich explizit zu berechnen. Die Näherungen können benutzt werden, um einmal Approximationsformeln für den Gammasubmersionsfaktor zu gewinnen (s.u.) oder recht allgemeine Abschätzungen über Nebeneffekte wie den Einfluß von Bremsstrahlung (s.u.) abzuschätzen.

5.1.2 Die Näherung im Nahbereich

Will man die Quelle durch eine Linienfunktion ersetzen, dann ist in dem Integral aus Kapitel 2 (ohne Bodenkorrektur)

$$X_\gamma(X,Y,0) = \frac{Q}{u} \int_{x=0}^{\infty} \int_{y=-\infty}^{\infty} \int_{z=-\infty}^{\infty} \frac{B(\mu r)e^{-\mu r}}{4\pi r^2} \frac{e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}}}{2\pi\sigma_y\sigma_z} dxdydz \qquad [5.1-1]$$

der Quellterm durch δ-funktionen zu ersetzen

$$\frac{e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}}}{2\pi\sigma_y\sigma_z} = \delta(y)\delta(z-H)$$

Die rein formale Integration ergibt

$$X_{Ny}(X,Y,0) = \frac{Q}{u} \int_{x=0}^{\infty} \frac{B(\mu r)e^{-\mu r}}{4\pi r^2} dx \qquad [5.1-2]$$

Wegen

$$r = \sqrt{(x-X)^2 + Y^2 + H^2}$$

hängt dieser Wert noch von Y und H ab, oder anschaulich von dem Abstand von der Linienquelle.

5.1.3 Die Näherung im Fernbereich

Im Fernbereich kann man den turbulenten Ausbreitungsterm vor die Integration ziehen, also

$$X_{Fy}(X,Y,0) = \frac{Q}{u} \frac{e^{-\frac{Y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{H^2}{2\sigma_z^2}}}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \int_{x=0}^{\infty} \int_{y=-\infty}^{\infty} \int_{z=-\infty}^{\infty} \frac{B(\mu r)e^{-\mu r}}{4\pi r^2} dxdydz$$

Hierin sind die Funktionen σ_y und σ_z an den Stellen X zu nehmen. Die Substitution von Polarkoordinaten und Einsetzen der analytischen Form des Aufbaufaktors der Form

$$B(\mu r) = 1 + \sum_{i=1}^{4} b_i(\mu r)^i$$

ergibt nach leichter Rechnung

$$X_{Fy}(X,Y,0) = \frac{Q}{u} \frac{e^{-\frac{Y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{H^2}{2\sigma_z^2}}}{\sigma_y\sigma_z} \frac{2}{4\pi\mu} (1 + \sum_{i=1}^{4} i!b_i) \qquad [5.1-3]$$

5.2 Die Energieabhängigkeit des Gammasubmersionsfaktors

Zur Beurteilung der Energieabhängigkeit des Gammasubmersionsfaktors müßte man eigentlich diesen für mehrere Energien berechnen um ihn dann vergleichen zu können. Für eine Abschätzung genügt es jedoch, mit den Näherungsformeln für die Extrembereiche zu rechnen, die in Kapitel 5.1 bereitgestellt wurden. Wie auch besonders in Kapitel 7 gezeigt wird (siehe dort Abb. 14), läßt sich der Gammasubmersionsfaktor in den Extrembereichen sehr gut durch eine Näherung darstellen.

5.2.1 Die Energieabhängigkeit im Nahbereich

Zur Beurteilung der Energieabhängigkeit im Nahbereich sind die Integrale

$$X_{N\gamma}(E) = \int_{x=0}^{\infty} \frac{B(\mu(E)r)e^{-\mu(E)r}}{4\pi r^2}\, dx \qquad [5.2-1]$$

als Funktion der Energie E ausgerechnet worden, und zwar für die Energien aus der Tabelle 2. Dabei wurden die dort angegebenen Werte für die Absorption verwendet, ferner die Parametrisierung der Aufbaufaktoren aus Tabelle 3. Die Rechnungen wurden für die Ausbreitungshöhen 50 m und 100 m durchgeführt. Die nur geringfügig aufgefächerte Fahne ist in dieser Näherung nicht von der Meteorologie abhängig. Beide Kurven wurden auf den Wert bei 1 MeV normiert und in der Abbildung 10 dargestellt.

Von besonderen Interesse in diesem Zusammenhang ist noch die Faltung dieser Werte mit dem Dosisumrechnungsfaktor $F(E)$ aus Tabelle 2.

Die Funktion

$$D_{N\gamma}(E) = F(E) \int_{x=0}^{\infty} \frac{B(\mu(E)r)e^{-\mu(E)r}}{4\pi r^2}\, dx \qquad [5.2-2]$$

ist in Abbildung 11 dargestellt.

5.2.2 Die Energieabhängigkeit im Fernbereich

Zur Beurteilung der Energieabhängigkeit im Fernbereich sind die Integrale

$$X_{F\gamma}(E) = 2(1 + \sum_{i=1}^{4} i!b_i)\, \frac{e^{-\frac{Y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{H^2}{2\sigma_z^2}}}{4\pi\mu(E)\sigma_y\sigma_z} \qquad [5.2-3]$$

ausgerechnet worden. Die auf 1 MeV normierte Kurve ist ebenfalls in Abb. 10 eingetragen.

Ferner ist die Funktion

$$D_{F\gamma}(E) = F(E)2(1 + \sum_{i=1}^{4} i!b_i)\, \frac{e^{-\frac{Y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{H^2}{2\sigma_z^2}}}{4\pi\mu(E)\sigma_y\sigma_z} \qquad [5.2-4]$$

gleichfalls in Abb. 11 eingetragen.

5.2.3 Diskussion

Aus praktischen Gründen wurde bisher die gesamte Gammasubmersion mit den Werten bei 1 MeV berechnet. Es wurde behauptet, u.a. vom Verfasser (RO87), daß die Gammasubmersion in einem weiten Energiebereich, von etwa 0.25 MeV bis 2 MeV, innerhalb von etwa 10 % energieunabhängig ist. Dies stimmt nach den hier vorliegenden Ergebnissen auch zumindestens für den Fernbereich. Daß der Gammasubmersionsfaktor für große Energien (> 2 MeV) zunimmt, ist von geringer Bedeutung, da es kaum Nuklide gibt, die solche Energien der Gammastrahlung aufweisen. Bedenklich ist die Unterschätzung der Gammasubmersion bei etwa 0.1 MeV. Diese ist sogar erheblich für den Nahbereich. Diese Unterschätzung ist deswegen kritisch, weil es doch eine erhebliche Zahl von Gamma-Emittern in dem niedrigen Energiebereich gibt. Der Vorschlag der AVV (VA90), grundsätzlich noch mit einem zweiten Satz von Gammasubmersionsfaktoren, nämlich für 0.1 MeV zu rechnen, ist deshalb nur zu begrüßen.

Interessant ist ferner die stärkere Energieunabhängigkeit des mit dem Dosisumrechnungsfaktor multiplizierten Gammasubersionsfaktors. Für große Entfernungen ist er fast glatt, also kaum noch vorhanden. Für kleinere Entfernungen ist seine Energieabhängigkeit geringer als der nicht multiplizierte Faktor und der starke Absturz findet erst bei kleineren Energien statt.

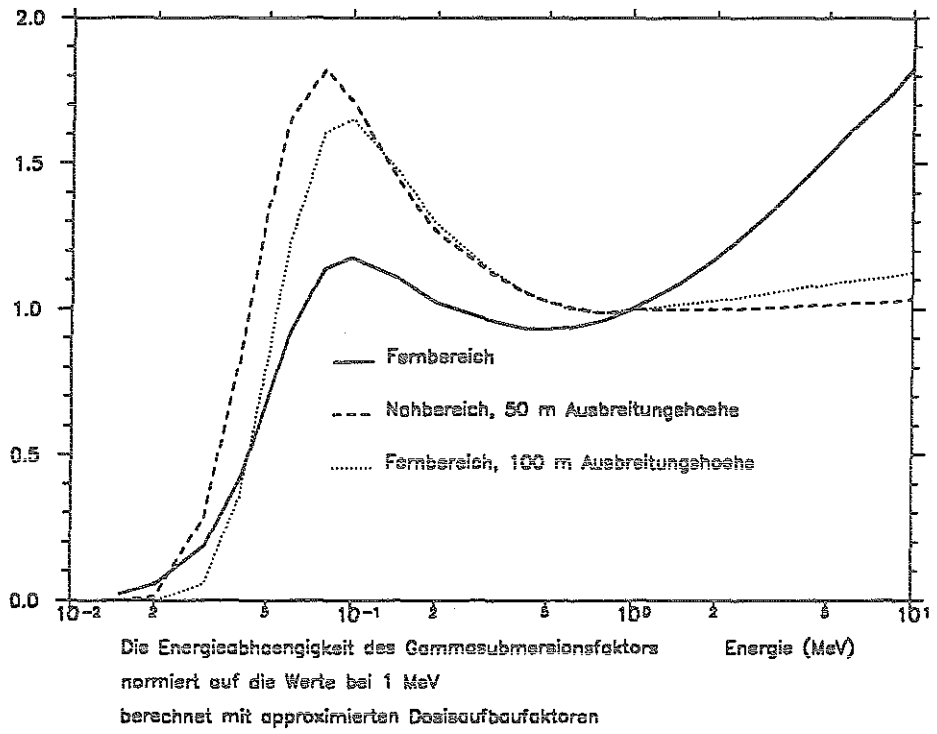


Abb. 10. Die Energieabhängigkeit der Näherungen

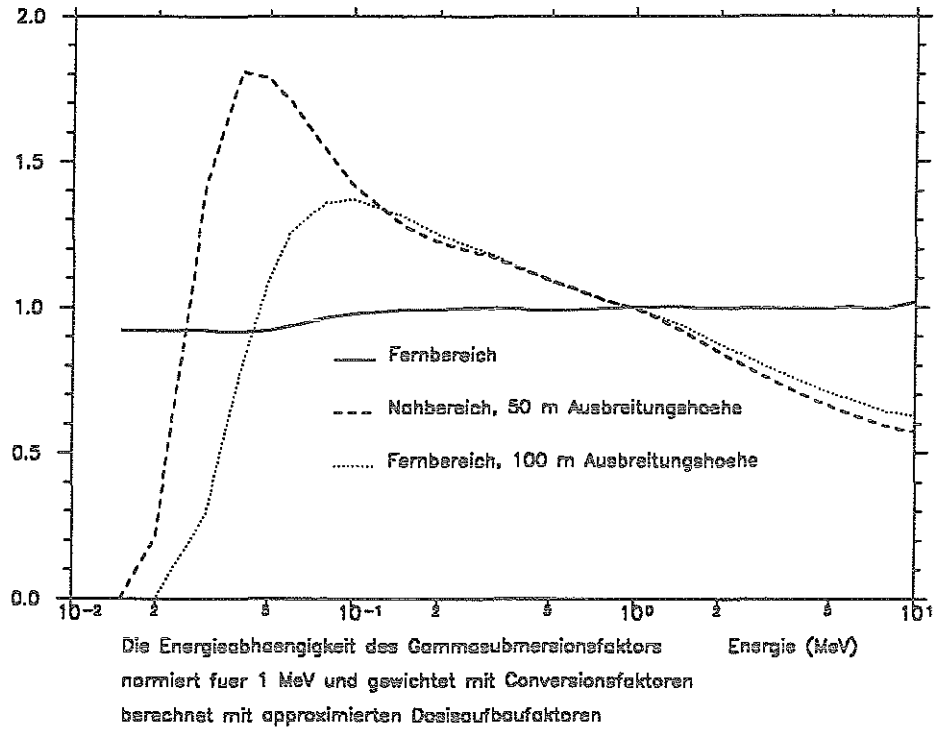


Abb. 11. Die Energieabhängigkeit gewichtet

5.3 Die Geschwindigkeitsabhängigkeit des Gammasubmersionsfaktors

Bei der Herleitung der Gleichung [3.1 – 3] tritt die grundsätzliche Schwierigkeit auf, daß das Ergebnis mit kleinerem u jede Grenze überschreitet. Hinzu kommt, daß kleine Windgeschwindigkeiten, etwa kleiner 0.5 $\frac{m}{s}$, wegen der schlechten Ansprechempfindlichkeit der zur Messung benutzten Anemometer kaum gemessen werden können, bzw. einen unbekannten Fehler enthalten. Die reale Windgeschwindigkeit enthält immer Komponenten aus der Diffusion in Ausbreitungsrichtung, die bei der Mittelwertbildung für die Ausbreitungsgeschwindigkeit ausgemittelt werden.

Argumentiert wird, daß die Windgeschwindigkeit $u \equiv 0$ in endlicher Höhe nicht vorkommt, und daß Zahlenwerte 0 als Meßfehler zu interpretieren sind, und dann durch einen nominalen Wert, z.B. $u = 0.512\ \frac{m}{s}$ ersetzt werden dürfen.

Deswegen ist es immerhin von Interesse, auch theoretisch zu überprüfen, ob dieses Verfahren erlaubt ist. Die Berechtigung kann man aus der zu zeigenden Tatsache ableiten, daß bei der Benutzung der Formel [3.1 – 3] oder ihrer Derivate bei der Faltung mit einer Wetterstatistik der Faktor $\frac{1}{u}$ mathematisch einen hebbaren Pol darstellt. Dies rührt daher, daß, wenn $p(u)\Delta u$ die Wahrscheinlichkeit ist, u in einem Intervall Δu zu messen, $\lim_{u \to 0} p(u) = 0$ gilt.

Zum Nachweis werden zwei Auswertungen der meteorologischen Messungen am Turm der KFA im Jahre 1991 gezeigt. Dort werden Windgeschwindigkeiten in 8 verschiedenen Höhen gemessen und anschließend in Form von 10-Minuten-Mittelwerten und Stun-

denwerten gespeichert. Die Meßwerte in 30 Meter Höhe werden jeweils von Hand noch einmal genauestens überprüft und gegebenenfalls korrigiert.

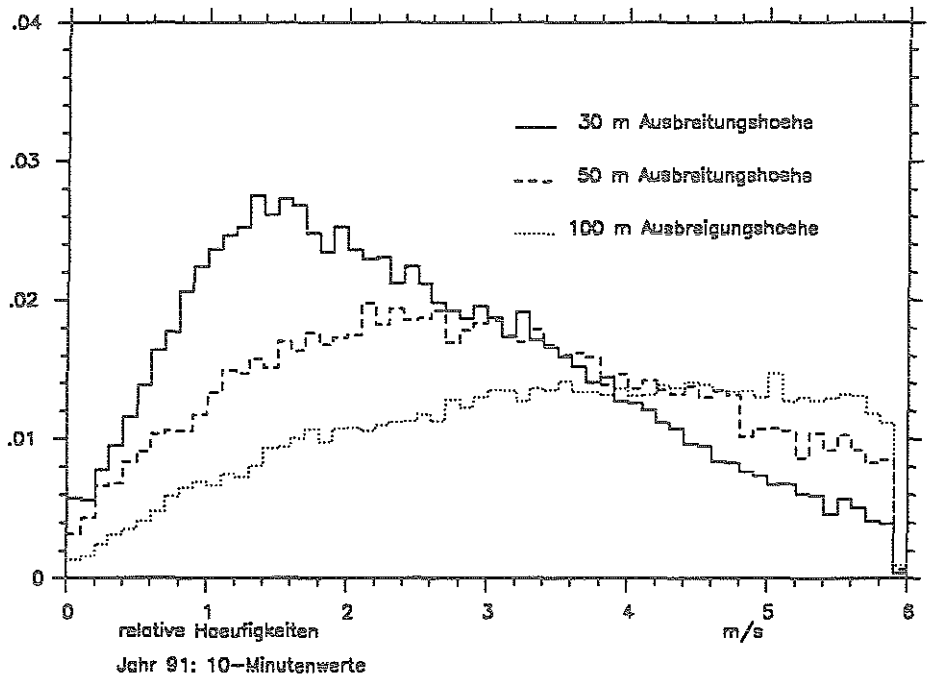


Abb. 12. Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit 10-Minutenwerte

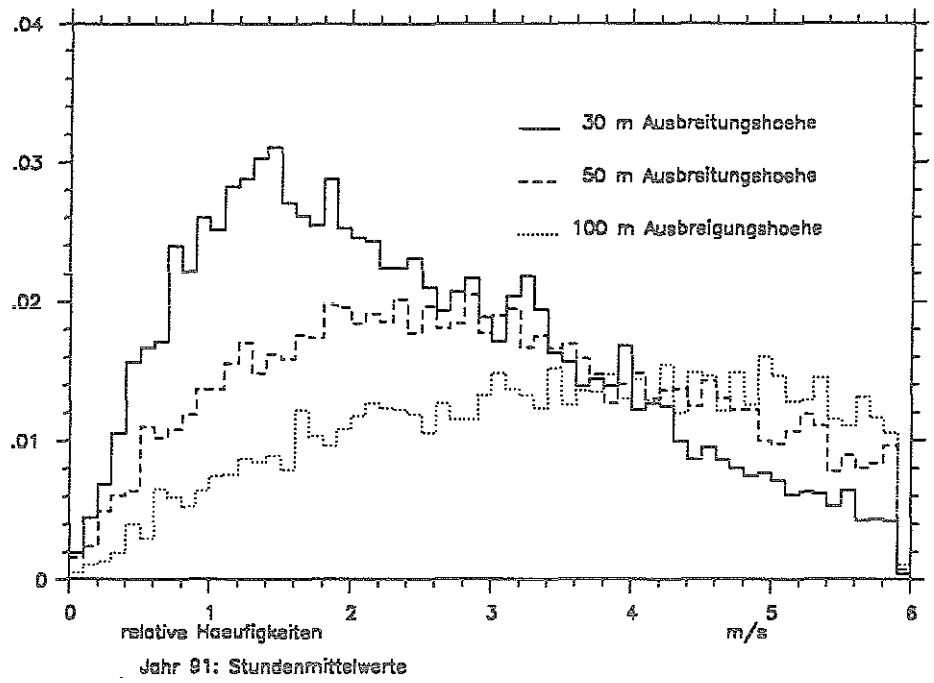


Abb. 13. Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit Stundenwerte

Mit diesem Nachweis wird es nun möglich, das bisher angewandte Verfahren abzusichern. Aus der Tatsache, daß die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Windgeschwindigkeiten für kleine Windgeschwindigkeiten die Form

$$p(u) = cu \qquad [5.3-1]$$

mit einer Konstanten c besitzt, folgt für den Mittelwert des Kehrwertes der Windgeschwindigkeit

$$\overline{\frac{1}{u}} = \frac{\int_{u=0}^{u=u_0} \frac{cu}{u}\, du}{\int_{u=0}^{u=u_0} cu du} = \frac{2}{u_0} \qquad [5.3-2]$$

Daraus folgt, daß, wenn die Windgeschwindigkeit in einem Meßintervall in der Nähe von 0 nur durch seine obere Grenze bekannt ist, das Doppelte des Kehrwertes der oberen Grenze in die Rechnung einzusetzen ist. Nach der gängigen Methode werden deshalb die Anteile bei kleinen Windgeschwindigkeiten auf einen Faktor zwei unterschätzt. In Kapitel 8, Anwendungen, wird dieser Effekt in einem größeren Zusammenhang diskutiert.

6.0 Die Gammasubmersion aus der Bremsstrahlung

6.1 Einleitung

Bisher wurde die äußere Strahlenbelastung, die aus der durch Betastrahlung induzierte Bremsstrahlung folgt, noch nicht berücksichtigt. Dies hat zwei Gründe:

1. Die zu erwartende Belastung ist sehr klein. Die hauptsächliche Belastung durch die Freisetzung radioaktiven Materials mit der Abluft kommt bekanntermaßen aus der Ingestion und Inhalation. Schon die Belastung aus der Gammasubmersion ist rund eine Größenordnung kleiner. Die Belastung aus der Bremsstrahlung dürfte noch wesentlich kleiner sein, da es sich bei der meist auftretenden Betastrahlung um Strahlung kleiner und kleinster Energien handelt, die bei dem Prozeß der Bremsstrahlungserzeugung weder Gammastrahlung noch geringerer Energie erzeugt.

2. Der dabei zu bearbeitende physikalische Prozeß ist äußerst kompliziert. Die pro Nuklid ausgesandten Betastrahlen bilden ein meist kontinuierliches Spektrum. Die Betateilchen werden in der Luft entsprechend der energieabhängigen Reichweite transportiert und unterliegen dabei einer Unzahl von Bremsprozessen. Bei jedem Bremsprozeß verlieren die Betateilchen Energie. Bei diesen Bremsprozessen tritt dann die Bremsstrahlung auf, die selbst wieder abhängig von der Restenergie des Betateilchens zum Zeitpunkt der Bremsung ein Gammaspektrum erzeugt. Streng genommen wäre zusätzlich zum turbulenten Transport der Abluftfahne in der Atmosphäre der Transport der Betateilchen, die energieabhängige Produktion der Bremsstrahlung und der Transport derselben zum Aufpunkt zu rechnen.

Der für eine solche Rechnung erforderliche Aufwand wäre gemessen an dem sehr kleinen Informationsgewinn nicht zu vertreten. Trotzdem ist es wünschenswert, den Einfluß der Bremsstrahlung wenigstens annäherungsweise zu kennen, um die gemachte Vernachlässigung abschätzen zu können. Es ist sinnvoll, wenigstens eine obere Grenze für den Einfluß der Bremsstrahlung zu kennen als sich mit dem bloßen Wissen zu begnügen, daß es sich um eine sonst unbekannte kleine Größe handelt.

Deshalb wird im Folgenden versucht, eine belastbare, also rechnerisch einwandfreie Abschätzung einer solchen oberen Grenze zu finden.

6.2 Die Abschätzungsmethode

Die Rechnungen werden exemplarisch am Beispiel des Kr-85 durchgeführt. Ausgegangen wird von einem von Dillman (DI80) erstellten Spektrum der Bremsstrahlung des Kr-85 in Luft, vergl. Tabelle 7. Die tragende Idee dieser Abschätzung ist, das Verhältnis des der Bremsstrahlung entsprechenden Faktors zum Gammasubmersionsfaktor bei 1 MeV abzuschätzen, und zwar für die beiden Grenzwerte für nahe und weite Entfernungen vom Emissionsort (Kapitel 4). Dieser Faktor soll im Nachfolgenden Schätzfaktor für Kr-85 genannt werden.

6.3 Der Schätzfaktor für Kr-85 für große Entfernungen

Als charakteristisch für den Gammasubmersionsfaktors für große Entfernungen wurde in Kapitel 4 gefunden, daß die zeitintegrierte Konzentrationsverteilung dort so homogen ist, daß der eigentliche Ausbreitungsterm vor die Integration gezogen werden kann. Die Physik der Bremsstrahlungserzeugung verschmiert die Quelle im Raum, wegen der Homogenität der Konzentration hat dies jedoch keinen Einfluß auf die Verteilung der Gammastrahlung. Bildet man also einen Vergleich der Gammasubmersion aus der Bremsstrahlung zur Gammasubmersion aus einer hypothetischen 1 MeV Gammastrahlung, so kürzt sich der die Ausbreitung beschreibende Faktor weg.

Wegen der Energieabhängigkeit der Bremsstrahlung ist in der Formel [5.1 – 3] der Extinktionskoeffizient μ und die Koeffizienten für den Aufbaufaktor b_i durch die jeweils energieabhängigen Koeffizienten μ_v und b_{iv} zu ersetzen. Über das Spektrum der Bremsstrahlung des Kr-85 (Tabelle 7) ist dann zu summieren. Dies ergibt

$$\frac{X_{FyB}}{X_{Fy1MeV}} = \frac{\sum_{v=1}^{42} \frac{Q_v}{\mu_v}(1 + \sum_{i=1}^{4} i!b_{iv})}{\frac{1}{\mu}(1 + \sum_{i=1}^{4} i!b_i)} = 0.005$$

Der so berechnete Wert ist unabhängig von der Ausbreitung und gilt für große Entfernungen.

6.4 Der Schätzfaktor für Kr-85 für kleine Entfernungen

Die Näherung für kleine Entfernungen benutzt die Annahme, daß die Abluftfahne in der unmittelbaren Nähe des Emissionsortes praktisch eine Linienquelle darstellt. Dieses Bild kann man wegen des Transports der Beta-Strahlung in Luft nicht mehr aufrechterhalten. Entsprechend der Reichweite der Beta-Strahlung in Luft wird ein Zylinder um diese Linienquelle vom Radius der maximalen Reichweite nun die Quelle der Gammastrahlung sein. Für Kr-85 beträgt diese maximale Reichweite etwa 4 m. Somit kann man das Modell der Linienquelle in erster Näherung für Ausbreitungshöhen aufrechterhalten, welche groß gegen diese Reichweite ist. Dies ist m.E. für Ausbreitungshöhen größer 50 m noch gut der Fall.

Mit der oben beschriebenen Methode gewinnt man einen Schätzfaktor aus

$$\frac{X_{N\gamma B}(X,Y,0)}{X_{N\gamma 1MeV}(X,Y,0)} = \frac{\sum_{v=1}^{42} Q_v \int_{x=0}^{\infty} \frac{B(\mu_v r)e^{-\mu_v r}}{4\pi r^2}\,dx}{\int_{x=0}^{\infty} \frac{B(\mu r)e^{-\mu r}}{4\pi r^2}\,dx}$$

Weil der Abstand r noch von der Ausbreitungshöhe H abhängt, ergibt sich für verschiedene Ausbreitungshöhen ein jeweils anderer Schätzfaktor.

Die Berechnung dieses Schätzfaktors ergab für Kr-85 für die Ausbreitungshöhen

50 m:	0.0075
100 m:	0.005

6.5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Als allgemeine Empfehlung kann man für die Beurteilung der Strahlenbelastung aus der Bremsstrahlung des Kr-85 aussprechen: Man verwende den Gammasubmersionsfaktor für 1 MeV Gammastrahlung und multipliziere ihn mit einem Schätzfaktor der Größe 0.0075. Damit liegt man bei großen Entfernungen um 50 % zu hoch. Da es sich um eine kleine Größe handelt, spielt diese Ungenauigkeit in der Betrachtung der Gesamtbelastung über alle Belastungspfade nur eine ganz unwesentliche Rolle.

7.0 Approximation des Submersionsfaktors durch einfache Algorithmen

Im Vergleich mit anderen Methoden der Berechnung der Ausbreitung von Schadstoffen in der Atmosphäre hat das Gaußmodell den großen Vorteil, einfach zu sein. Diese Einfachheit erlaubt vor allem eine schnelle und damit billige Berechnung. Hierbei kommt es wesentlich auf die schnelle Berechnung an. Bei der Beurteilung einer unbeabsichtigten Freisetzung (z.B. im Fall einer Katastrophe) kommt es darauf an, schnell verläßliche Ergebnisse zur Planung von Schutzmaßnahmen zu bekommen. Dabei kann es dann auch erforderlich sein, die Rechnungen den laufend eingehenden Messungen des Schadstoffverhaltens anzupassen.

Die Berechnung der Gammasubmersion in der Form einer dreidimensionalen Integration ist auf jeden Fall sehr aufwendig und zeitraubend. Der Vorteil des Gaußmodells, einfach zu sein, geht damit verloren. Die Integration, die einen Großrechner mit aufwendigen Unterprogrammroutinen erfordert, läßt sich nicht mehr schnell auf einem kleinen Rechner, z.B. einem tragbaren Personal Computer ausführen.

Aus diesen Gründen ist es wünschenswert, zum mindestens ein Näherungsverfahren zur Abschätzung der Gamma-Submersion zu besitzen. Ziel sollte dabei sein, daß nicht höhere Funktionen als die Exponentialfunktion und die Winkelfunktionen verwendet werden, die auf besseren Taschenrechnern vorhanden sind.

Das Problem ist im Ansatz dadurch lösbar, daß die Ausbreitungsfahne in zwei Bereichen sich einfach approximieren läßt, und zwar im Nahbereich und im Fernbereich. Damit ist jedoch noch nicht sehr viel gewonnen, da die Gammasubmersion gerade in einem mittleren Bereich ihr Maximum annimmt. Die Lösung kann deshalb nur sein, ausgehend vom Verhalten im Nah- und Fernbereich den Zwischenbereich zu extrapolieren, so, daß die Fehler gegenüber der exakten Integration klein bleiben.

7.1 Die Approximation im Nahbereich

Im Nahbereich kann die Formel [5.1 – 2] verwendet werden:

$$X_{N\gamma}(X,Y,0) = \int_{x=0}^{\infty} \frac{B(\mu r)e^{-\mu r}}{4\pi r^2}\,dx \qquad [7.1-1]$$

mit

$$r = \sqrt{(x-X)^2 + D^2}$$

Hier ist in Abweichung von Kapitel 5 zur Vereinfachung der Schreibweise $\frac{Q}{u} = 1$ und $D^2 = Y^2 + H^2$ geschrieben worden. D ist offenbar der Abstand des Aufpunktes von der Linienquelle. Durch die Substitution $\xi = x - X$ wird aus dem Integral [7.1 – 1]:

$$X_{N\gamma}(X,Y,0) = \int_{\xi=-X}^{\infty} \frac{B(\mu r)e^{-\mu r}}{4\pi r^2} d\xi \qquad [7.1-2]$$

mit $r^2 = \xi^2 + D^2$

Dieses Integral ist ohne die Absorptionsfunktion $B(\mu r)e^{-\mu r}$ leicht lösbar wegen

$$\int_{\xi=-X}^{\infty} \frac{d\xi}{\xi^2 + D^2} = \frac{1}{D}\left(\frac{\pi}{2} + \operatorname{artan}\left(\frac{X}{D}\right)\right) \qquad [7.1-3]$$

Dieses Integral divergiert für $D \to 0$, würde also für die Ausbreitungshöhe $H = 0$ nicht anwendbar sein. Um dem abzuhelfen, wird eine erste Korrektur an D in der Form

$$D_a \to \sqrt{D^2 + a_D^2} \qquad [7.1-4]$$

vorgenommen.

Das Fehlen der Absorption in Luft kann man nun durch die Multiplikation mit einem Faktor

$$B(\mu D)e^{-\mu D}$$

korrigieren. Das würde bedeuten, daß man die Absorption an dem kleinsten Abstand des Aufpunktes von der Linienquelle orientiert. Damit wird aber die Absorption unterschätzt. Denn die größte Menge des radioaktiven Materials ist weiter vom Aufpunkt entfernt. Dies gilt besonders für kleine Abstände von der Linienquelle. Man müßte also diesen effektiven Abstand vergrößern, und zwar um so weniger, je weiter der Aufpunkt von der Linienquelle entfernt ist.

Zunächst bietet sich an, für negative Entfernungen X den Abstand D_a zu vergrößern, etwa in der Form

$$D_c = \sqrt{D_a{}^2 + b_D X^2} \qquad X < 0.0 \qquad [7.1-5]$$

Weiter bietet sich eine Korrektur des Aufbaufaktors an, welche mit zunehmenden Abstand von der Linienquelle abnimmt. Die Näherung für kleine Entfernungen lautet damit

$$\hat{X}_{N\gamma}(X,Y,0) = \frac{B(\mu D_c)e^{-\mu D_c}}{1 + c_D D_c} \frac{1}{4\pi D_a}\left(\frac{\pi}{2} + \operatorname{artan}\left(\frac{X}{D_a}\right)\right) \qquad [7.1-6]$$

Diese Korrekturen wurden nach langwierigen Einzelversuchen gefunden, es wurden auch andere Korrekturen versucht und als weniger effektiv verworfen.

7.2 Die Approximation im Fernbereich

Im Fernbereich kann die Formel [5.1 – 3] verwendet werden:

$$X_{Fy}(X,Y,0) = 2B_0 \frac{e^{-\frac{Y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{H^2}{2\sigma_z^2}}}{4\pi\mu\sigma_y\sigma_z} \qquad [7.2-1]$$

Hier wurden die schon oben genannten Vereinfachungen der Schreibweise vorgenommen und zusätzlich

$$B_0 = 1 + \sum_{i=1}^{4} i!b_i$$

gesetzt.

Diese Näherung ist gut für große Entfernungen, wird aber für mittlere Entfernungen zu groß. Deshalb ist es sinnvoll, hier eine Korrektur an den Parametern σ_y und σ_z vorzunehmen der Form

$$\sigma_y \rightarrow \sigma_y + s_y$$

und

$$\sigma_z \rightarrow \sigma_z + s_z$$

Die korrigierte Formel lautet nun

$$\hat{X}_{Fy}(X,Y,0) = 2B_0 \frac{e^{-\frac{Y^2}{2(\sigma_y+s_y)^2} - \frac{H^2}{2(\sigma_z+s_z)^2}}}{4\pi\mu(\sigma_y+s_y)(\sigma_z+s_z)} \qquad [7.2-2]$$

In der korrigierten Formel machen die Korrekturen für große Entfernungen nur einen unwesentlichen Einfluß, weil dort die σ-s selbst groß sind. Für kleine Entfernungen drücken die Korrekturwerte s den Wert herunter, sodaß die Formel auch für verschwindende σ endlich bleibt.

7.3 Zusammensetzung der Approximation

Die beiden gefundenen Approximationen sind nun stetig aneinander anzubinden. Dazu benötigt man eine Umschaltfunktion, die z.B. für kleine Werte den Wert null annimmt und für große den Wert eins. Eine solche Funktion ist

$$\frac{1}{1+e^{-s_c(X-X_c)}} \qquad [7.3-1]$$

Diese Funktion geht in der Grenze $X \rightarrow -\infty$ gegen null und in der Grenze $X \rightarrow +\infty$ gegen eins. Genau an der Stelle $X = X_c$ nimmt sie den Wert 0.5 an. X_c ist also die Stelle, wo von der Näherung im Nahbereich auf die Näherung im Fernbereich umgeschaltet wird. Der Parameter s_c bestimmt die Steigung der Funktion an der Stelle X_c, anschaulich den Durchgriff der Umschaltung.

Der Ansatz für die endgültige Näherung der Gamma-Submersion über das ganze Koordinatensystem lautet damit

$$X_{A\gamma}(X,Y,0) = \frac{e^{-s_c(X-X_c)}}{1+e^{-s_c(X-X_c)}} \hat{X}_{N\gamma}(X,Y,0) + \frac{1}{1+e^{-s_c(X-X_c)}} \hat{X}_{F\gamma}(X,Y,0) \qquad [7.3-2]$$

7.4 Berechnung der Näherungsparameter

Die Gamma-Submersion $\tilde{X}(X,Y,0)$ ist innerhalb dieser Arbeit für 23 Entfernungen und 37 Winkel berechnet worden, also für jede der sechs Diffusionskategorien und der sechs Höhen für 851 Werte. Die Forderung der Approximation kann man dadurch erfüllen, daß man fordert, daß die Quadratsumme

$$Q_0 = \frac{\sum_{i=1}^{851} (\tilde{X}\gamma(X_i, Y_i, 0) - X_{A\gamma}(X_i, Y_i, 0))^2}{\sum_{i=1}^{851} \tilde{X}\gamma(X_i, Y_i, 0)} \qquad [7.4-1]$$

ein Minimum wird.

Die Rechenarbeit wird von einem kleinen Monte-Carlo-Programm durchgeführt, wo nach der Methode "try and error" die Parameter solange verbessert werden, bis durch weitere Versuche die Quadratsumme Q_0 nicht mehr kleiner wird. Die Quadratsumme wird aus redaktionellen Gründen noch durch die Summe aller Werte $\tilde{X}\gamma$ geteilt, um die Summe der Quadrate besser vergleichbar zu machen.

Die errechneten Parameter werden in den Tabellen 8 bis 14 im Anhang angegeben.

7.5 Diskussion

Die Methode und ihre Leistung soll an Hand der Abbildungen 14 und 15 diskutiert werden, wo für eine spezielle Diffusionskategorie (D) und eine Höhe (50 m) für zwei Winkel der Ausbreitungsrichtung die Näherungen dargestellt sind.

Abbildung 14 zeigt die Ausbreitung in Ausbreitungsrichtung. Die mit der vollen Integration erzeugte Kurve ist als gerade Kurve dargestellt. Die Näherung im Fernbereich - strichpunktierte Kurve - fällt für große Entfernungen, ab etwa 500 m, mit der voll integrierten Kurve zusammen. Die Näherung im Nahbereich - gestrichelte Kurve - nähert die intergrierte Kurve von 0 bis etwa 100 m. Die approximierte Kurve - gepunktet - fällt praktisch mit der integrierten zusammen. Der errechnete Umschaltpunkt $X_c = 400m$ ist deutlich als die Stelle zu erkennen, wo die Näherungskurven ineinander übergehen.

In den Winkelbereichen außerhalb der Ausbreitungsachse dominiert die Näherung des Nahbereiches, vergl. Abbildung 15.

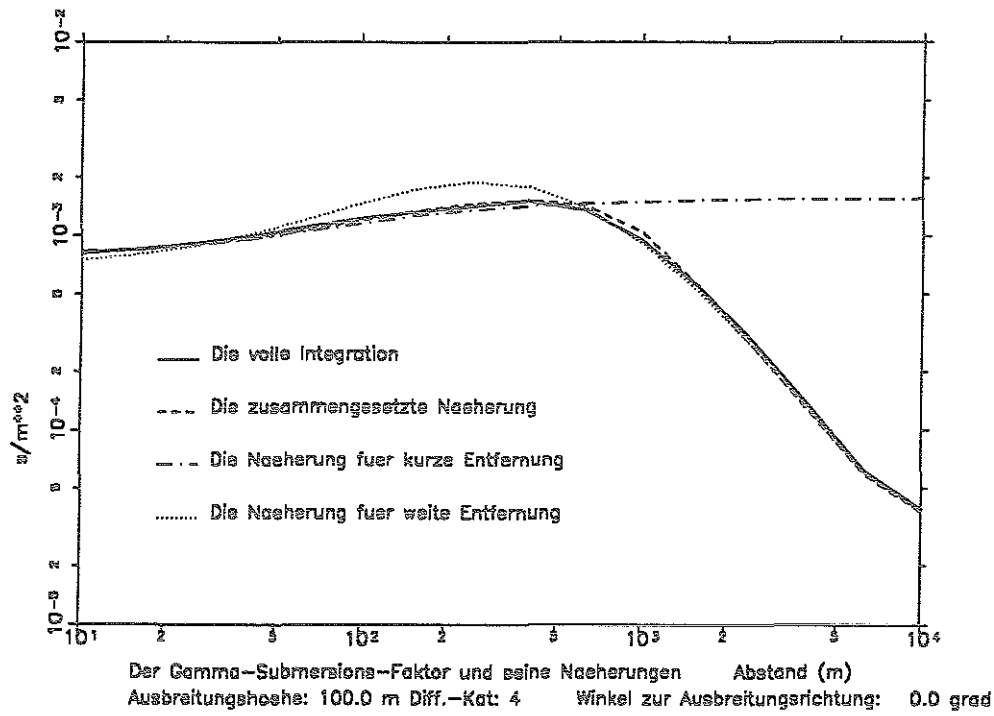


Abb. 14. Die Näherungen im 0-Grad Sektor

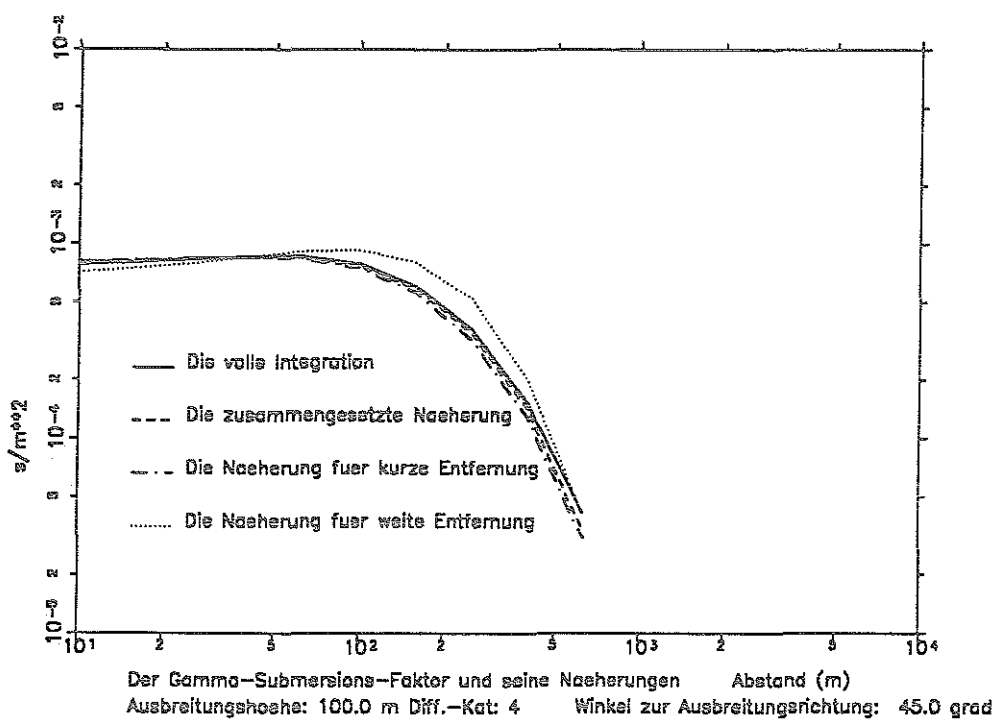


Abb. 15. Die Näherungen im 45-Grad Sektor

8.0 Anwendungen

Es gibt drei Klassen von Problemen, in welchen der Ausbreitungsfaktor zur Anwendung gelangen kann.

1. In der Störfallsituation
   Es handelt sich um eine relativ kurzzeitige Freisetzung radioaktiver Stoffe in Folge eines Unfalls.

2. In der Erstellung von Prognosen über die Emission kerntechnischer Anlagen (Langzeitausbreitungsfaktor)

3. In der Beurteilung radioaktiver Emissionen kerntechnischer Anlagen

8.1 Der Kurzzeitausbreitungsfaktor für Gammasubmersion

Die praktische Berechnung des Kurzzeitausbreitungsfaktors [3.4 – 4] kann in jedem Koordinatensystem X, Y erfolgen. Aus praktischen Gründen wird er in einem Polarkoordinatensystem r, ϕ berechnet:

$$X = r \cos \phi \qquad [8.1 - 1]$$

$$Y = r \sin \phi$$

Dies findet seine Begründung darin, daß die Bestimmung meteorologischer Größen selbst in solch einem System geschieht. Weiter wird für Folgerechnungen ein Wertesatz des Faktors für eine bestimmte Zahl von Winkeln und meist logarithmisch äquidistanter Entfernungen benötigt.

Die Zahl der Winkel richtet sich nach der Zahl der in den meteorologischen Messungen unterschiedenen Klasseneinteilung der Windrichtungsmessungen. Früher war eine Einteilung in sogenannte 30-Grad Sektoren üblich, heutige Messungen basieren meistens auf einer Einteilung in 5-Grad Sektoren. Auch waren die ersten Rechnungen auf 30-Grad Sektoren wegen des erheblichen Aufwandes beschränkt, heutige Rechnungen können bequem für 5-Grad Sektoren durchgeführt werden.

Die Zahl der Entfernungen, für welche gerechnet wird, ist ebenfalls nur durch den Rechenaufwand beschränkt. Als praktisch hat sich eine logarithmisch äquidistante Einteilung von 10 m bis 100 km in 22 Intervallen herausgestellt.

Die Rechnungen werden durchgeführt für eine Auswahl an Ausbreitungshöhen H, die den praktischen Erfordernissen entsprechend ausgewählt werden können.

Somit liegt der Kurzzeitausbreitungsfaktor nunmehr in Matrizen der Form

$$\tilde{X}_j(r, \phi) \rightarrow \tilde{X}_{j,m,i} \qquad [8.1 - 2]$$

vor, und zwar für jede Ausbreitungshöhe für die sechs Diffusionskategorien j, die 23 Entfernungen m und die 37 Winkel i.

Die für 30-Grad Sektoren gemittelten Kurzzeitausbreitungsfaktoren werden in der Tabelle 16 im Tabellenanhang zusammengefaßt. Eine Auswahl, und zwar für die Ausbreitungshöhe 50 m, ist in den folgenden Abb. 16 bis 21 dargestellt. Dabei sind die Kurven für die Ausbreitung in die Nebensektoren in die Darstellungsebene gedreht worden, sodaß z.B. die jeweils untersten Kurven den Ausbreitungsfaktor in die Richtung entgegen der Ausbreitungsrichtung darstellen.

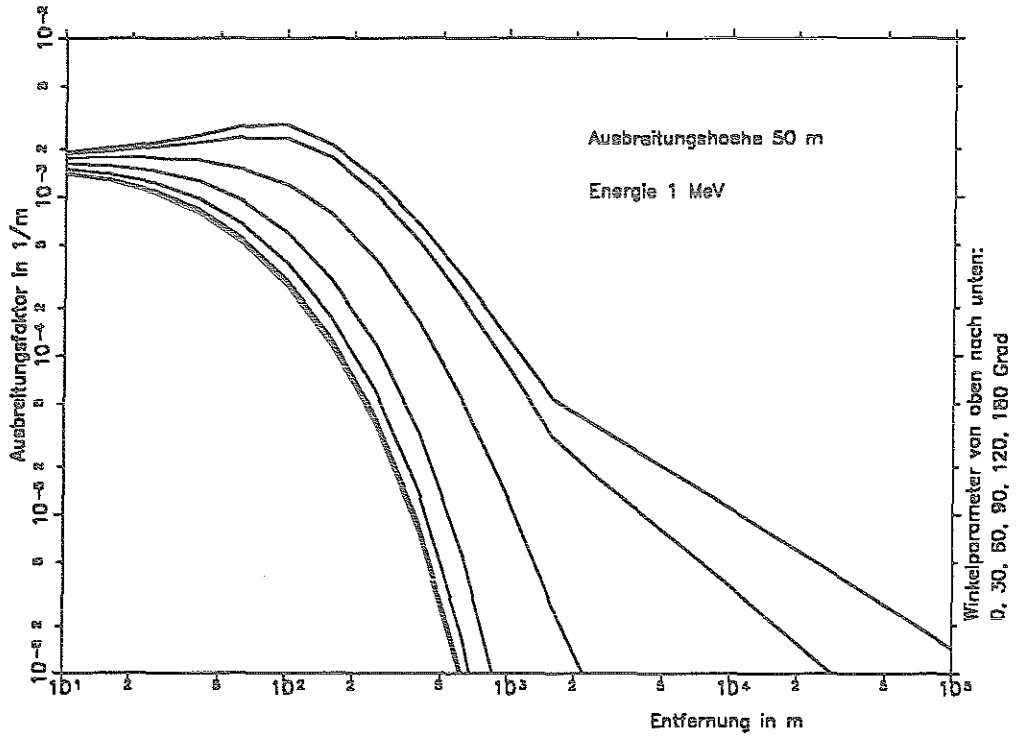


Abb. 16. Kurzzeitausbreitungsfaktor Gammasubmersion Dif.-Kategorie A

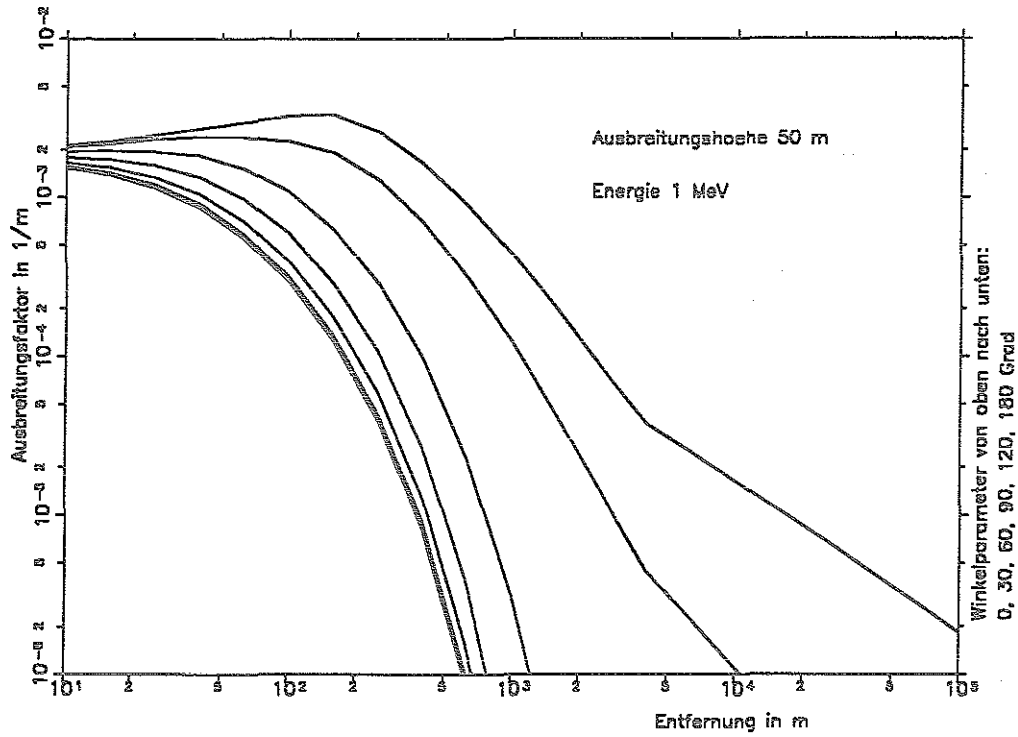


Abb. 17. Kurzzeitausbreitungsfaktor Gammasubmersion Dif.-Kategorie B

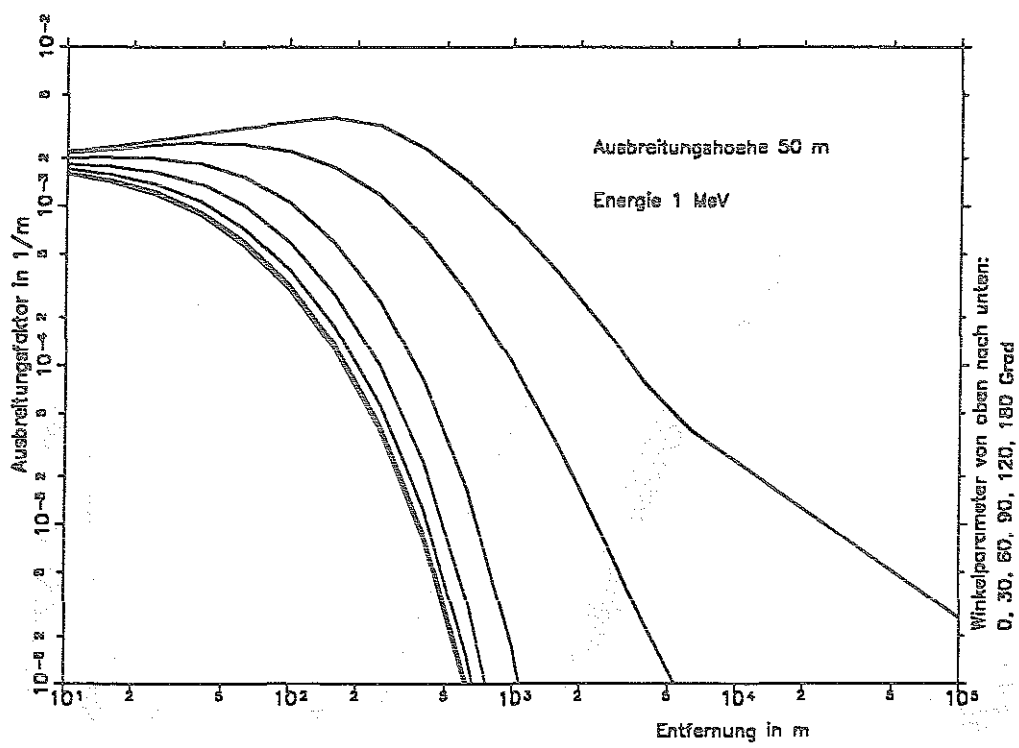


Abb. 18. Kurzzeitausbreitungsfaktor Gammasubmersion Dif.-Kategorie C

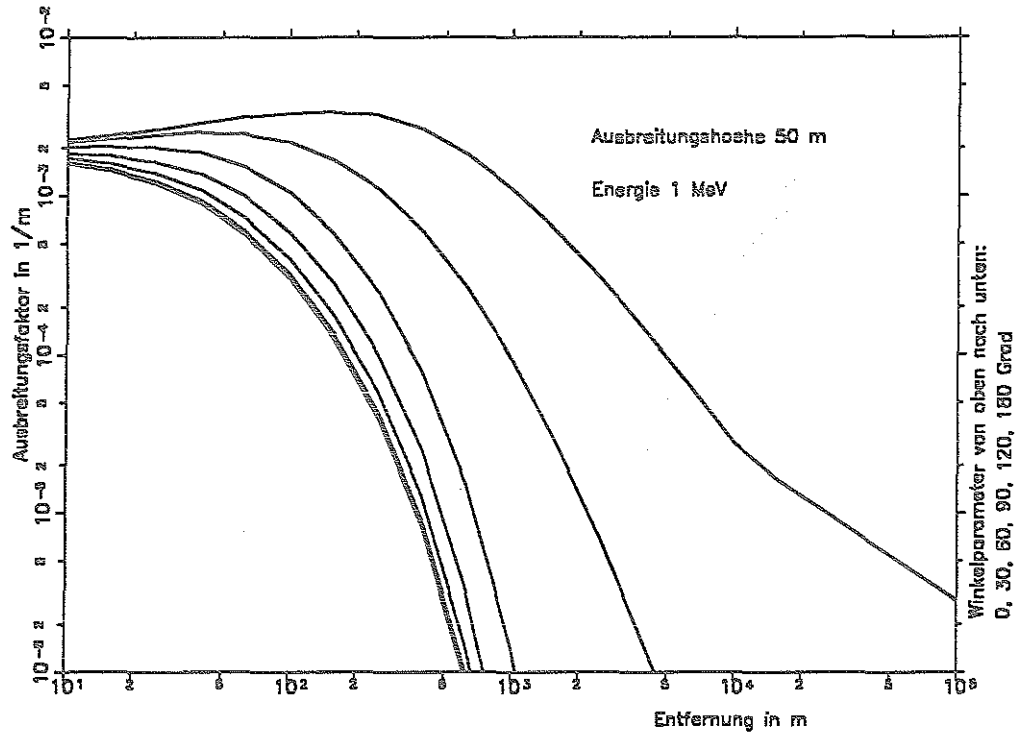


Abb. 19. Kurzzeitausbreitungsfaktor Gammasubmersion Dif.-Kategorie D

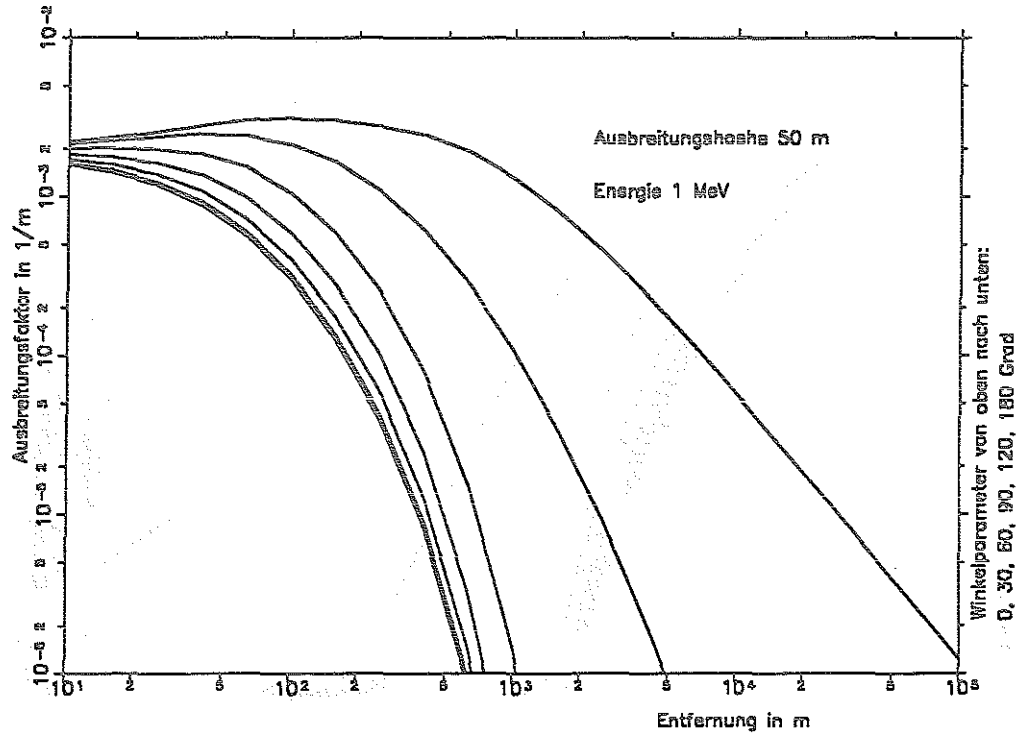


Abb. 20. Kurzzeitausbreitungsfaktor Gammasubmersion Dif.-Kategorie E

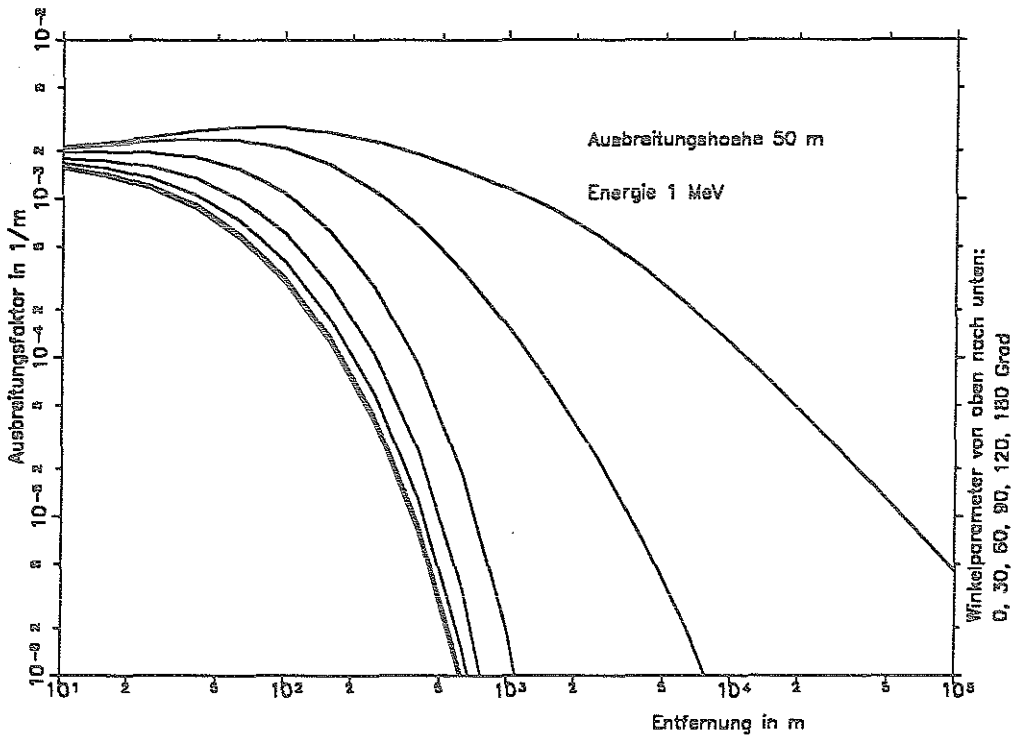


Abb. 21. Kurzzeitausbreitungsfaktor Gammasubmersion Dif.-Kategorie F

8.1.1 Die Störfallanalyse

Als Folge eines kerntechnischen Unfalls kann man damit rechnen, daß ein Gemisch radioaktiver Nuklide der Menge A_r in Bq freigesetzt wird, worin der Laufindex r verschiedene Nuklide abzählt. Diese Mengen, die noch eine Funktion der Zeit sein können, sind in der Deutschen Risikostudie Kernkraftwerke (DE80) für eine Reihe hypothetischer Unfälle abgeschätzt worden. Die Freisetzungsintervalle betragen eine Stunde oder mehr, sodaß die verwendeten Jülicher Ausbreitungsparameter, die auf Messungen von Ausbreitungen über eine Stunde ermittelt worden sind, optimal angepaßt sind. Die Ausbreitungsrichtung ϕ, die Windgeschwindigkeit u und die Diffusionskategorie D seien bekannt. Mit den γ-Dosisleistungsfaktoren $g_{\gamma r}$ für die r Nuklide in $[\frac{Sv\,m^2}{Bq\,s}]$, wird die Dosis am Ort X, Y

$$D_\gamma(X,Y) = \frac{1}{u}\sum_r A_r g_{\gamma r}\tilde{X}_\gamma(X\cos\phi + Y\sin\phi, -X\sin\phi + Y\cos\phi) \quad [Sv] \qquad [8.1-3]$$

Liegt der Nuklidvektor A_r als eine zeitliche Folge von Nuklidvektoren, z.B. in einem Stundenintervall vor, so ist über die einzelnen Zeitanteile entsprechend zu summieren.

8.1.2 Die Störfallberechnung

Während die meteorologischen Parameter ϕ, u, D im Allgemeinen leicht zu erhalten sind, ist der Nuklidvektor A, eine prinzipiell unbekannte Größe. Man kann sich in erster Näherung dadurch helfen, daß man einen der bekannten Nuklidvektoren benutzt (JA81).

Im Gegensatz zu einer hypothetischen Analyse besteht bei einem tatsächlichen Unfall die Möglichkeit, die angestellten Berechnungen durch Messungen zu kontrollieren und die verwendeten Parameter anzupassen. Hier hat nun die Gammasubmersion eine besondere Bedeutung. Während die Messverfahren für die Konzentration des radioaktiven Materials sehr zeitaufwendig sind - denn es muß immer über eine eine längere Zeit auf einem Filter gesammelt werden - liegen die Messungen aus der Gammasubmersion praktisch sofort vor. Es ist deshalb möglich, einen Unfall durch ein Echtzeitsystem zu begleiten, in welchem dann allerdings auch aus den Messungen die meteorologischen Parameter mit angepasst werden können (BR89).

8.2 Der Langzeitausbreitungsfaktor für Gammasubmersion

Der allgemeinere Fall einer Ausbreitung wird immer der sein, daß über einen längeren Zeitraum Radioaktivität freigesetzt wird, und daß sich in diesem Zeitraum die meteorologischen Parameter ändern.

Sei nun ein solcher Zeitraum vorgegeben, so beschreibe

$$p_j(\phi, u)\Delta\phi\Delta u \qquad [8.2-1]$$

entweder eine Wahrscheinlichkeit oder ein Messergebniss, mit welcher Häufigkeit für jede Diffusionskategorie j eine Windrichtung ϕ in einem Intervall $\Delta\phi$ und eine Windgeschwindigkeit u in einem Intervall Δu festgestellt wurden.

Dann ist eine Summation über die Diffusionskategorien und zwei Integrale über die Richtung und die Windgeschwindigkeit zu bilden:

$$\overline{X}_\gamma(r, \phi) = \sum_{j=1}^{6} \int_{\phi'=0}^{\phi'=2\pi} \int_{u=0}^{u=\infty} \tilde{X}_j(r, \phi - \phi') \; \frac{p_j(\phi', u)}{u(\phi')} \, d\phi' du \qquad [8.2-2]$$

Es ist zu unterscheiden zwischen der Ausbreitungsrichtung ϕ', in welche eine Abluftfahne zieht, und der Richtung ϕ, für welche eine Belastung errechnet wird. Der Kurzzeitausbreitungsfaktor ist symmetrisch als Funktion des Differenzwinkels $\phi - \phi'$, über den integriert werden muß, um die Belastung in der Richtung ϕ zu erhalten.

Die Schwierigkeit der u-Integration ist bereits in Kapitel 5.3 abgehandelt worden. Dort wurde gezeigt, daß es sich an der Stelle $u = 0$ um einen hebbaren Pol handelt.

Eine weitere Schwierigkeit liefert die ϕ-Integration. Denn die Windrichtungsverteilung liegt nicht in einer stetigen Form wie Gleichung [8.2 – 1] vor, sondern bestensfalls in Form einer konkreten Statistik in 5 Grad Sektoren, früher oft nur in 30 Grad Sektoren.

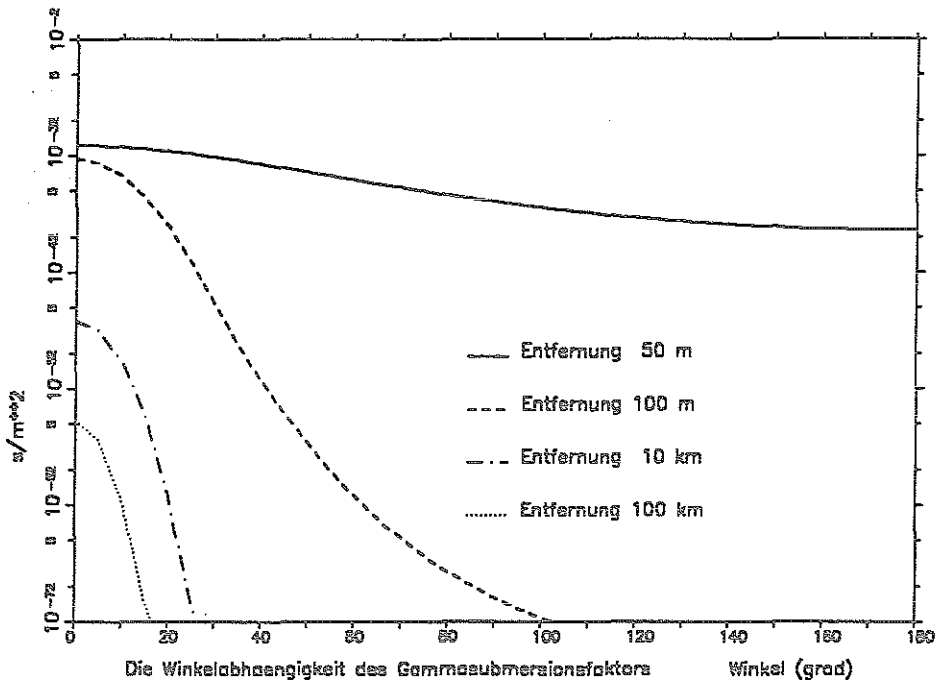


Abb. 22. Die Abhängigkeit des Faktors vom Differenzwinkel

In Abb. 22 ist für eine beispielhaft gewählte Diffusionskategorie (D), Ausbreitungshöhe (100 m) und für vier Entfernungen vom Emissionsort (100, 1000 m, 10, 100 km) der Kurzzeitausbreitungsfaktor für Gammasubmersion in Abhängigkeit vom Differenzwinkel $\phi - \phi'$ dargestellt. Der Faktor hängt für größere Entfernungen ganz empfindlich von dem Differenzwinkel ab. Erschwerend ist, daß die Richtungsverteilung $p_i(\phi, u)$ nicht als Funktion von ϕ gemessen werden kann, sondern immer nur für eine bestimmte Zahl von konkreten Ausbreitungsrichtungen. Man sieht sofort, daß eine Beschränkung auf die Werte für 30-Grad Sektoren erhebliche Ungenauigkeiten bringen muß, weil die Faktoren bei größeren Entfernungen zu stark mit dem Differenzwinkel variieren. Das heute noch verwendete Verfahren, über die 30-Grad Sektoren zu mitteln und mit sogenannten sektorgemittelten Ausbreitungsfaktoren zu rechnen (RO79) kann verbessert werden. Bereits 1981 ist vorgeschlagen worden (RO81), die einfache Mittelung durch eine Simpson-Integration über die 5-Grad Sektoren zu ersetzen. Es wurde gezeigt, daß ein Restfehler nur noch in der Größenordnung weniger Prozente verbleibt.

Der Einfluß der Wahl des Verfahrens wird weiter unten an Hand der Abb. 23 und 27 gezeigt.

Liegen jedoch meteorologische Messungen in einer 5-Grad Statistik vor, so kann man gleich die Summation [8.2 – 7], s.u., durchführen. In (RO81) ist gezeigt worden, daß dieses Verfahren nur mit kleinen Fehlern behaftet ist.

8.2.1 Die Prognose der Jahresdosen (Langzeitausbreitungsfaktor)

Für die Prognose einer möglichen Belastung aus mit der Fortluft bewegten Schadstoffen geht man im allgemeinen von einer Häufigkeitsverteilung aus:

$$p_j(\phi, u) \rightarrow p_{ijk} \qquad [8.2-3]$$

Dies ist die sogenannte Ausbreitungsstatistik p_{ijk} der klassifizierten Windrichtung i, der Diffusionskategorie j und der Windgeschwindigkeitsstufe k, wobei herkömmlich Schwachwindlagen der untersten Windgeschwindigkeitsklasse mit der Windgeschwindigkeit 1 Knoten zugeordnet wird.

Sinnvoll ist es jedoch, die Windgeschwindigkeit in die Statistik aufzunehmen, da der Kurzzeitausbreigungsfaktor nicht von ihr abhängt:

$$\frac{p_j(\phi, u)}{u(\phi)} \rightarrow p_{ij} \qquad [8.2-4]$$

und bei der Bildung dieser Statistik das Verfahren aus Kapitel 5.3 in der Berücksichtigung der Schwachwindlagen anzuwenden.

Dies ergibt dann für den Langzeitausbreitungsfaktor entweder

$$\overline{X}_\gamma(m,i) = \sum_{j=1}^{6} \sum_{k=1}^{30} \sum_{n=1}^{72} \frac{p_{ijk}}{u(j,k)} \quad \tilde{X}_\gamma(j,m,n_0) \qquad [8.2-5]$$

$$n_0 = \mathrm{Min}(|i-n|, 72-|i-n|)+1 \qquad [8.2-6]$$

oder viel einfacher mit dem neuen Verfahren

$$\overline{X}_\gamma(m,i) = \sum_{j=1}^{6} \sum_{n=1}^{72} p_{ij} \tilde{X}_\gamma(j,m,n_0) \qquad [8.2-7]$$

In der Summation über die Nebensektoren wird dabei berücksichtigt, daß der Kurzzeitausbreitungsfaktor symmetrisch in ϕ ist und sich in der ϕ-Koordinate Modulo 2π fortsetzt.

8.2.2 Beispielrechnungen

Es werden insgesammt vier verschiedene Rechnungen angeboten, um den Einfluß des Verfahrens auf das Ergebnis zu illustrieren. Ausgewählt wurde der Langzeitgammasubmersionsfaktor in 100 m Höhe, weil in dieser Höhe das Ergebnis von Korrekturen aus dem thermischen Auftrieb und Gebäudeeinflüssen ziemlich unabhängig ist.

Verwendet werden gemessene Windstatistiken vom meteorologischen Turm der KFA aus den letzten Jahren.

Die Abb. 23 zeigt ein älteres Ergebnis mit einer 30 Grad Windrichtungsstatistik und der Rechenvorschrift aus der (AV90), bzw. ihren Vorgängern. Abb. 24 zeigt dieselbe Rech-

nung mit einer 5 Grad Windrichtungsstatistik. Beide Rechnungen sind mit der Vorschrift [8.2 – 5] gerechnet worden und sollen den Unterschied in der Wahl der Richtungsstatistik demonstrieren.

Die Abb. 25 und 26 zeigen Rechnungen mit der Vorschrift [8.2 – 7] mit 5 Grad Statistiken aus dem Jahre 1991, wobei einmal die originalen 10-Minuten-Werte genommen wurden, zum anderen die daraus abgeleiteten Stunden-Werte.

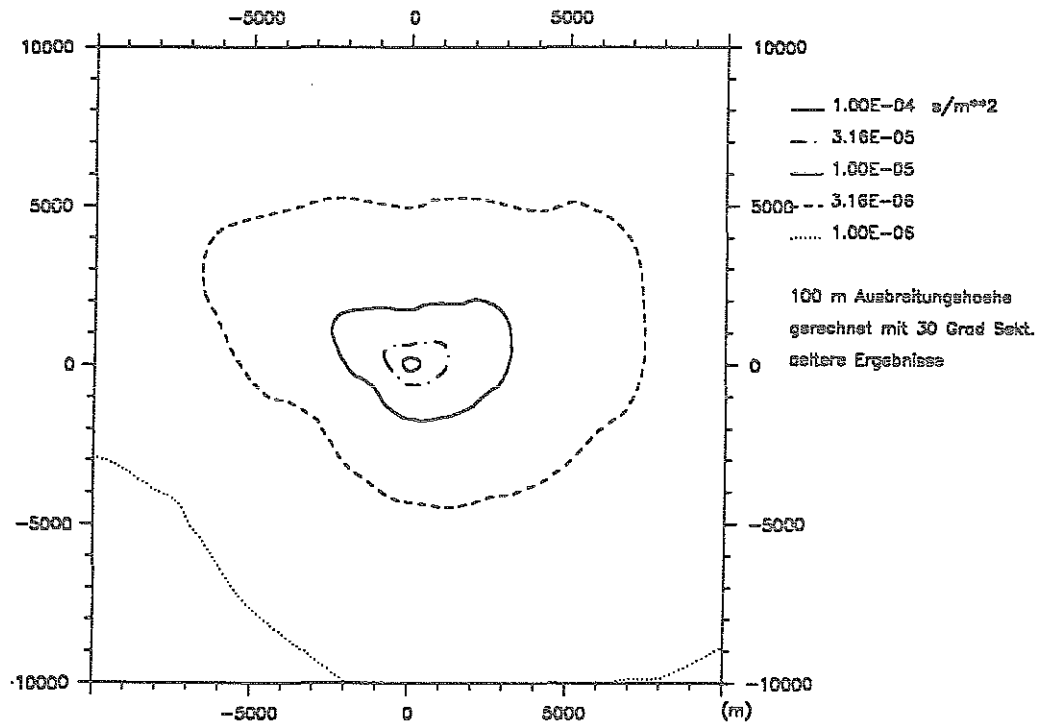


Abb. 23. LGS Aelteres Verfahren 30 Grad Sektoren

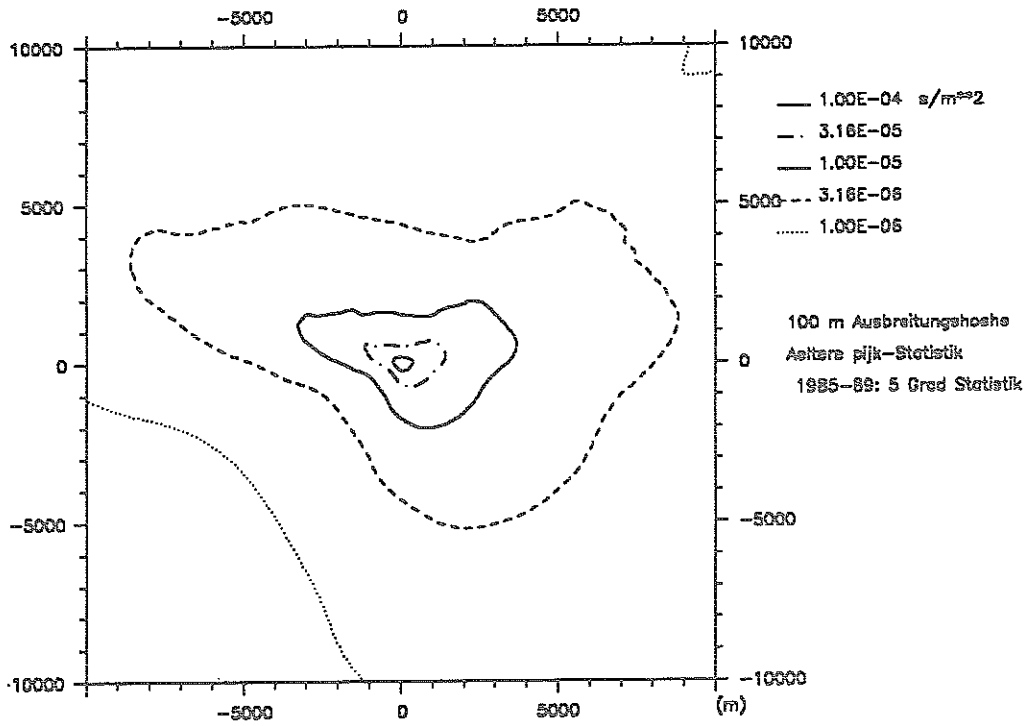


Abb. 24. LGS Aelteres Verfahren 5 Grad Sektoren

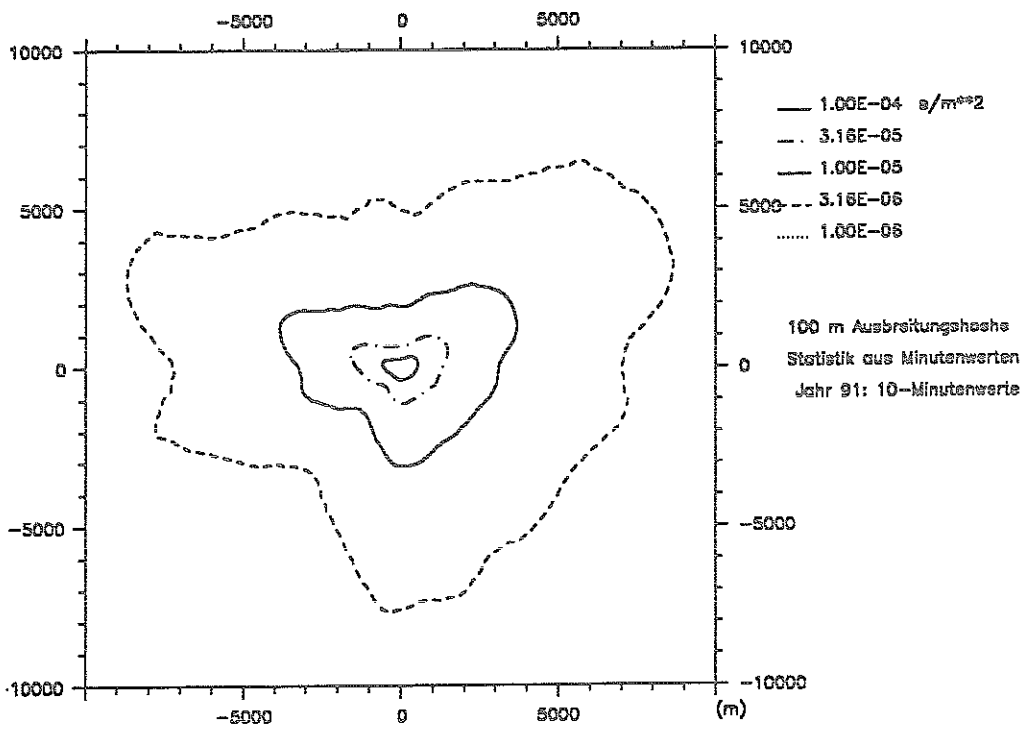


Abb. 25. LGS Neues Verfahren 5 Grad Sektoren Minutenstatistik

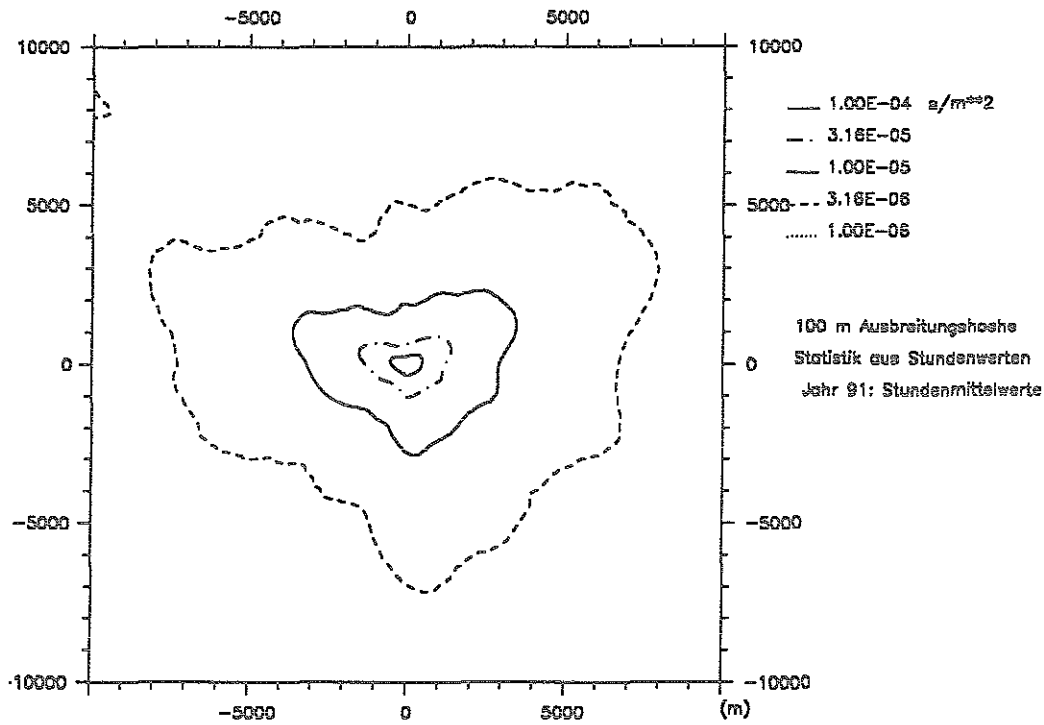


Abb. 26. LGS Neues Verfahren 5 Grad Sektoren Stundenstatistik

8.2.2.1 Diskussion

Der Vergleich der Rechnungen mit 30 und 5 Grad Sektoren zeigt eine deutlich sichtbare bessere Auflösung der Richtungsverteilung des Langzeitausbreitungsfaktors für Gammasubmersion. Dieser Verzicht auf räumliche Auflösung wurde bisher immer dann in Kauf genommen, wenn nur Meßwerte in einer 30 Grad Statistik vorlagen, bzw., wenn man sich aus Gründen der Vergleichbarkeit auf 30 Grad Statistiken beschränkte. Es ist aber doch dringend zu empfehlen, 5 Grad Werte zu nehmen, wenn sie vorhanden sind.

Die Wahl des Behandlungsverfahrens in Bezug auf kleine Windgeschwindigkeiten zeigt aber einen sehr deutlichen Effekt. In Kapitel 5.3 wurde schon gezeigt, daß die Ersetzung der Windgeschwindigkeit nahe der Windgeschwindigkeit 0 durch einen oberen Grenzwert den Ergebniswert bis zu einem Faktor zwei zu niedrig errechnen könnte. Tatsächlich zeigt die Abbildung 27, daß im Nahbereich der mit einer genauer gerechneten Windgeschwindigkeitsverteilung errechnete Wert des Langzeitgammasubmersionsfaktors um einen Faktor zwei größer ist. Die kleinen Windgeschwindigkeiten tragen also doch wesentlich zu diesem Faktor bei. Für größere Entfernungen verliert sich dieser Effekt wegen der räumlichen Diffusion der Radionuklide.

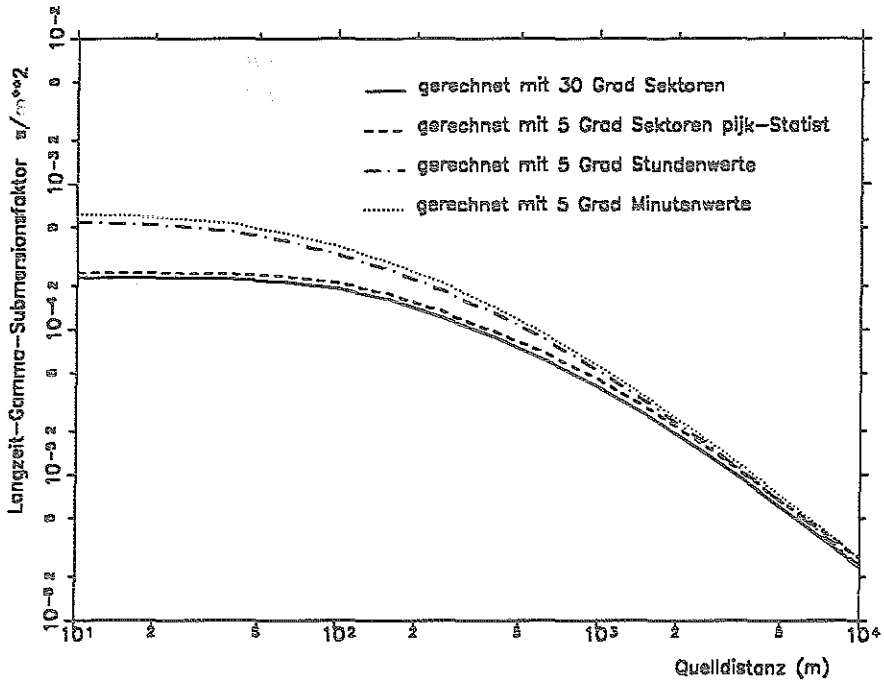


Abb. 27. LGS Vergleich der Verfahren

8.2.3 Die Beurteilung der Emissionen kerntechnischer Anlagen

Im Normalbetrieb einer kerntechnischen Anlage kommt es zu betriebsnotwendigen Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Abluft. Diese Mengen sind nach S 46 Abs. 5 genehmigungspflichtig, ferner sind bestimmte Dosisgrenzwerte nach S 45 an der ungünstigsten Einwirkungsstelle einzuhalten.

Um diese Bestimmungen einzuhalten, werden Messungen der Immissionen und der meteorologischen Parameter durchgeführt und dokumentiert.

Alle hier erforderlichen Rechnungen gestalten sich wie beim Langzeitausbreitungsfaktor, jedoch ist in die Wetterstatistik, also unter den Integralen [8.2 – 5] bzw. [8.2 – 7] noch der jeweilige Nuklidvektor und die Dosis-Umrechnungs-Faktoren einzumultiplizieren. Wegen der in Kapitel 5.2 gezeigten relativen Unempfindlichkeit des Gammasubmersionsfaktors gegenüber dem Energiefluß empfiehlt es sich jedoch, mit Energiequellstärken in die Integration einzugehen und die Dosisumrechnungen auf Energieflüsse zu beziehen.

Typische Anwendungen findet man in (EH80,EH82). In (EH80) werden aus statistischen Daten meteorologischer Windverteilungen bei Freisetzungen zu erwartende Belastungen berechnet. In (EH82) werden aus Meßwerten, die sich auf stundenweise Emissionen beziehen, unter Einfaltung metereologischer Daten u.a. auch Gammasubmersionsdosen berechnet.

9.0 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden die mathematischen Grundlagen für die Berechnung des Ausbreitungsfaktors der Gammasubmersion entwickelt und diese Berechnungen durchgeführt. Der Ausbreitungsfaktor der Gammasubmersion wird benötigt, um mittels Multiplikation mit nuklidspezifischen Dosisumrechnungsfaktoren und Parametern, die die Wetterlage beschreiben, die Belastung des Menschen, der der Gammastrahlung aus einer radioaktiv kontaminierten Wolke ausgesetzt ist, beurteilen zu können. Ausgangspunkt ist einmal das sogenannte Gauß-Modell, in dem die Ausbreitung quasi wie eine molekulare Diffusion beschrieben wird. Dabei werden die Diffusionsparameter aus der Auswertung von Messergebnissen gewonnen. Zum anderen das Point-Kernel-Modell für den Transport der Gammastrahlung, wo die Strahlung als quasi optisch behandelt wird und der Einfluß der Wechselwirkung der Gammastrahlung mit der Materie durch Aufbaufaktoren beschrieben wird.

Zur Berechnung des Ausbreitungsfaktors war über das Raum-Zeit-Kontinuum zu integrieren. Die Zeitintegration konnte dabei vorweg durchgeführt werden. Für die verbleibende Raumintegration wurden die Konvergenzprobleme gelöst. Diese Probleme treten auf, weil die Abluftfahne, über die zu integrieren ist, nur einen begrenzten Teil des Raumes einnehmen. Im Nahbereich, also in der Nähe des Emittenten, läßt sich die Abluftfahne als eine Linienquelle darstellen, die zunächst nur wenig aufgefächert ist. Hier erfolgte die Integration mittels einer Transformation auf Zylinderkoordinaten, wobei weitere Transformationen den Abstand von der Linienquelle berücksichtigten. Bei dieser Transformation tritt für den Fall, daß der Abstand Quelle zum Aufpunkt gegen null geht, eine Unstetigkeit auf. Im Fernbereich, also in solcher Entfernung, in der durch die turbulente Diffusion eine fast homogene Verteilung des radioaktiven Materials um den Aufpunkt der Integration erreicht ist, wurde die Integration durch eine Transformation auf Kugelkoordinaten um den Aufpunkt durchgeführt. Weitere Transformationen berücksichtigen auch hier den Abstand vom Aufpunkt. Die eigentliche Problematik bestand in einem Zwischenbereich, anschaulich gesprochen dort, wo die Abluftfahne beginnt, den Boden zu berühren. Hier nimmt der Ausbreitungsfaktor sein Maximum an. Zusätzlich macht sich gerade hier die Unstetigkeit des Integrationskerns für die auf Zylinderkoordinaten transformierte Abluftfahne bemerkbar. Das Problem wurde gelöst durch die Einführung eines integrierenden Faktors, der die Unstetigkeit der Zylindertransformation behebt und der beide Integrationsverfahren überlagert.

Diese Integration wurde durchgeführt für sechs verschiedene durch Diffusionsklassen unterschiedene Wetterlagen, sechs verschiedene Ausbreitungshöhen zwischen 0 und 200 m, und für ein Raster von 23 logarithmisch äquidistanten Entfernungen vom Emittenten und für 37 um 5 Grad differierende Winkel zur Ausbreitungsrichtung. Der erstellte Integrationsalgorithmus erlaubte es, die Integration für dieses Raster geschlossen durchzuführen. Der Algorithmus erlaubt natürlich auch die Berechnung für ein beliebig anderes Raster.

Der Formalismus der Integration wurde weiterentwickelt für zeitlich nicht konstante Ausbreitungsbedingungen. Dabei wurde schrittweise über die jeweils letzte Quellverteilung integriert. Es wurde gezeigt, daß diese Integration wegen der besonderen

Eigenschaften der Gauß-Funktion möglich sind. Diese Integrationen wurden durchgeführt.

Eine besondere Untersuchung zeigt, daß der Anteil der Gammastrahlung, welcher aus der Bremsstrahlung herrührt, nur eine zu vernachlässigende Korrektur ausmacht.

Weiterhin wurde ein approximatives Verfahren zur schnellen Bestimmung der Gammssubmersionsfaktoren erstellt. Es wurden parametrisierte Näherungsformeln, die die Eigenschaften der Abluftfahne im Nah- und Fernbereich ausnutzen, aufgestellt. Die Parameter wurden im Anhang zusammengefaßt.

Es wurden Anwendungen des Gammasubmersionsfaktors für den Störfall und die Beurteilung der Langzeitemission gezeigt. Im Störfall wird der berechnete Ausbreitungsfaktor direkt als Kurzzeitausbreigungsfaktor benutzt, die Belastung wird unter Berücksichtigung der Ausbreitungsrichtung und unter Verwendung von nuklidspezifischen Dosisleistungsfaktoren berechnet. Der Langzeitausbreitungsfaktor der Gammasubmersion wird aus der Multiplikation einer Wetterstatistik mit den Ausbreitungsfaktoren für die jeweiligen Wetterlagen gewonnen. Aus der Multiplikation mit Dosisleistungsfaktoren erhält man eine Aussage über die Belastung des Menschen aus der radioaktiv kontaminierten Abluft einer kerntechnischen Anlage.

Anhang A. Ausführung der Integrationen

Die Integration des Integrals [3.4 – 4] ist über den dreidimensionalen unendlichen Raum zu führen. Selbstverständlich befindet sich die Aktivitätsverteilung nur in einem endlichen Teilgebiet, und es genügt, die Integration über dieses Teilgebiet zu führen, wenn man es kennen würde. Die durch die Gaußverteilung beschriebene Konzentration ist zwar im ganzen Raum endlich und größer null, sie nimmt aber mit größerer Entfernung vom Maximum sehr schnell ab. Rein rechnerisch, die Ergebnisse (s.u.) zeigen es auch, liefert die Berechnung auch in großen Entfernungen vom Zentrum der Wolke endliche, aber sehr kleine Werte. Diese sehr kleinen Werte zu berechnen ist unnötig, sie sind dort offenbar nur ein Fehler des Modells. Es kommt also darauf an, die Gammasubmersion dort, wo sie merklich größer null ist, etwa größer 10^{-7} $[\frac{Bqs}{m^3}]$ genau zu berechnen.

Man kann anschaulich zwei Grenzfälle und einen Normalfall unterscheiden.

1. In einem Frühstadium der Ausbreitung ist die Wolke quer zur Ausbreitungsrichtung noch nicht stark aufgefächert. Für Aufpunkte nahe des Emissionsortes kann man fast mit einer Linienquelle rechnen. Allgemein bekommt man eine gute Integration, wenn man in die Ausbreitungsachse ein zylindrisches Koordinatensystem legt, und in diesem System integriert. Es bleibt dort jedoch das Problem der Unstetigkeit des Integranden an der Stelle r = 0. Diese Feinheit muß besonders behandelt werden.

2. In einem Spätstadium ist die Wolke soweit aufgefächert, daß die Konzentration um den Aufpunkt herum fast konstant ist. Man erreicht eine gute Integration, wenn man ein Polarkoordinatensystem in den Aufpunkt legt und in diesem System integriert.

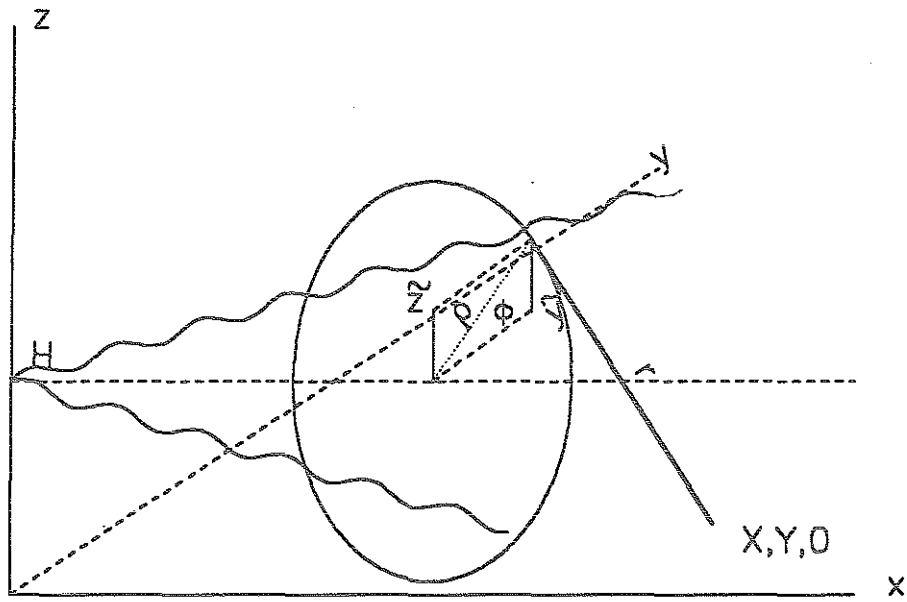
3. Das eigentliche Problem liegt zwischen den eben genannten Extremfällen. In einer früheren Arbeit (RO81) wurde sich damit begnügt, eine der oben genannten Methoden mit erhöhter Genauigkeit, also größerem Rechenaufwand zu benutzen. Das Verfahren war sehr unbefriedigend, vor allem weil immer Einzelwerte nachgerechnet werden mußten. In dieser Arbeit wurde ein integrierender Faktor angewendet (siehe „Der integrierende Faktor" auf Seite 18), der eine Konvergenz des Rechenverfahrens erzwingt.

A.1 Die direkte Integration für Aufpunkte außerhalb der Abluftfahne

Die hier angewandte Integrationstechnik beruht darauf, um die noch relativ wenig aufgefächerte Abluftfahne eine Zylinderkoordinatensystem zu legen, um in diesem dann zu integrieren.

Um die Integrationen mit minimalen technischen Aufwand durchzuführen, werden eine Reihe von Koordinatentransformationen durchgeführt. Dabei werden Symmetrieeigenschaften ausgenutzt und die unendlichen Integrationen in endliche überführt.

Ausgangsgleichung ist die Gleichung [3.4 – 4], worin die σ durch die Gleichungen [2.2 – 5 *und* 6] als Funktionen von x gegeben sind.



Skizze zur Koordinatentransformation

A.1.1 1. Schritt

Das Koordinatensystem wird auf die Höhe H translatiert: $z' = z - H$.

$$\tilde{X}_y(X,Y,0) = \int_{x=-0}^{\infty} \int_{y=-\infty}^{\infty} \int_{z'=-\infty}^{\infty} \frac{B(\mu r)e^{-\mu r}}{4\pi r^2} \frac{e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{z'^2}{2\sigma_z^2}}}{2\pi\sigma_y\sigma_z} K(\mu z, \mu s)\, dxdydz' \qquad [A.1-1]$$

Hierin ist

$$s = \sqrt{(x-X)^2 + (y-Y)^2} \qquad [A.1-2]$$

und

$$z = z' + H \qquad [A.1-3]$$

und wie immer im Folgenden

$$r = \sqrt{s^2 + z^2} \qquad [A.1-4]$$

A.1.2 2. Schritt

Die y und z Achse werden im Verhältnis σ_y und σ_z gedehnt:

$$\tilde{y} = \frac{y}{\sigma_y} \qquad \tilde{z} = \frac{z'}{\sigma_z} \qquad [A.1-5]$$

$$\tilde{X}_y(X,Y,0) = \int_{x=-0}^{x=\infty} \int_{\tilde{y}=-\infty}^{\infty} \int_{\tilde{z}=-\infty}^{\infty} \frac{B(\mu r)e^{-\mu r}}{4\pi r^2} \frac{e^{-\frac{\tilde{y}^2}{2}-\frac{\tilde{z}^2}{2}}}{2\pi} K(\mu z, \mu s)\, dx d\tilde{y} d\tilde{z} \qquad [A.1-6]$$

Hierin ist

$$s = \sqrt{(x-X)^2 + (\tilde{y}\sigma_y - Y)^2} \qquad [A.1-7]$$

und

$$z = \tilde{z}\sigma_z + H \qquad [A.1-8]$$

A.1.3 3. Schritt

Es werden Zylinderkoordinaten eingeführt:

$$\tilde{y} = \rho \cos\phi \qquad \tilde{z} = \rho \sin\phi \qquad d\tilde{y}d\tilde{z} = \rho d\rho d\phi \qquad [A.1-9]$$

$$\tilde{X}_y(X,Y,0) = \int_{x=-0}^{\infty} \int_{\rho=0}^{\infty} \int_{\phi=0}^{2\pi} \frac{B(\mu r)e^{-\mu r}}{4\pi r^2} \frac{e^{-\frac{\rho^2}{2}}}{2\pi} K(\mu z, \mu s)\, \rho d\rho d\phi dx \qquad [A.1-10]$$

Hierin ist

$$s = \sqrt{(x-X)^2 + (\rho \cos\phi \;\; \sigma_y - Y)^2} \qquad [A.1-11]$$

und

$$z = \rho \sin\phi \;\; \sigma_z + H \qquad [A.1-12]$$

A.1.4 4. Schritt

Die unendliche ρ - Integration wird in eine endliche t - Integration transformiert

$$t = e^{-\frac{\rho^2}{2}} \qquad dt = -\rho e^{-\frac{\rho^2}{2}} d\rho \qquad \rho = \sqrt{-2\ln t} \qquad [A.1-13]$$

$$t(\rho = 0) = 1 \qquad t(\rho = \infty) = 0$$

$$\tilde{X}_y(X,Y,0) = \frac{1}{2\pi} \int_{x=0}^{\infty} \int_{t=0}^{1} \int_{\phi=0}^{2\pi} \frac{B(\mu r)e^{-\mu r}}{4\pi r^2} K(\mu z, \mu s)\, dt d\phi dx \qquad [A.1-14]$$

Hierin ist

$$s = \sqrt{(x - X)^2 + (\sqrt{-2\ln t}\ \cos\phi\ \sigma_y - Y)^2} \qquad [A.1-15]$$

und

$$z = \sqrt{-2\ln t}\ \sin\phi\ \ \sigma_z + H \qquad [A.1-16]$$

A.1.5 5. Schritt

In der früheren Arbeit (RO81) wurde die verbleibende x-Integration über einen willkürlichen Bereich geführt. Diese Willkür wird nun durch eine vernünftige Transformation ersetzt. Die Idee geht davon aus, einen Faktor der Form $e^{-\mu r}$ zur Transformation der Integration in einen endlichen Bereich zu benutzen. Dabei ist zu beachten, daß das Minimum von r von zwei Seiten aus angenähert wird. Natürlich ist wieder diese Stelle sehr kritisch, weil dort das Integral instabil wird und die Konvergenz des numerischen Verfahrens schlecht werden kann.

Zunächst wird erst einmal auf eine Koordinate $\xi = x - X$ transformiert:

$$\tilde{X}_y(X,Y,0) = \frac{1}{2\pi}\int_{\xi=-X}^{\infty}\int_{t=0}^{1}\int_{\phi=0}^{2\pi}\frac{B(\mu r)e^{-\mu r}}{4\pi r^2}K(\mu z, \mu s)\,dt d\phi d\xi \qquad [A.1-17]$$

Hier muß man unterscheiden, ob X größer oder kleiner 0 ist.

A.1.5.1 1. Fall X > 0

Es ist einzeln zu betrachten

$$I = \int_{\xi=-X}^{0} \ldots\ldots + \int_{\xi=0}^{\infty} \ldots\ldots = I_1 + I_2 \qquad [A.1-18]$$

Das Integral I1
Die unendliche Integration wird mittels der Transformation

$$\tau = e^{\tilde{\mu}\xi} \quad \xi = \frac{\ln\tau}{\tilde{\mu}} \quad d\tau = \tilde{\mu}e^{\tilde{\mu}\xi}d\xi \qquad [A.1-19]$$

in eine endlichen τ-Integration überführt. Dies ergibt

$$I_1 = \frac{1}{2\pi\tilde{\mu}}\int_{\tau=e^{-\mu X}}^{1}\int_{t=0}^{1}\int_{\phi=0}^{2\pi}\frac{B(\mu r)e^{-\mu r - \ln\tau}}{4\pi r^2}K(\mu z, \mu s)\,dt d\phi d\tau \qquad [A.1-20]$$

Die σ sind jetzt an den Stellen

$$\sigma(X) = \sigma(x + \xi) = \sigma(x + \frac{\ln \tau}{\tilde{\mu}}) \qquad [A.1-21]$$

zu berechnen.

Das Integral I2

Die notwendige Transformation lautet (man beachte das Minus-Zeichen)

$$\tau = e^{-\tilde{\mu}\xi} \quad \xi = \frac{-\ln \tau}{\tilde{\mu}} \quad d\tau = -\tilde{\mu} e^{-\tilde{\mu}\xi} d\xi \qquad [A.1-22]$$

Dies ergibt

$$I_2 = \frac{1}{2\pi\tilde{\mu}} \int_{\tau=0}^{1} \int_{t=0}^{1} \int_{\phi=0}^{2\pi} \frac{B(\mu r) e^{-\mu r - \ln \tau}}{4\pi r^2} K(\mu z, \mu s)\, dt d\phi d\tau \qquad [A.1-23]$$

Die σ sind jetzt an den Stellen

$$\sigma(X) = \sigma(x + \xi) = \sigma(x - \frac{\ln \tau}{\tilde{\mu}}) \qquad [A.1-24]$$

zu berechnen.

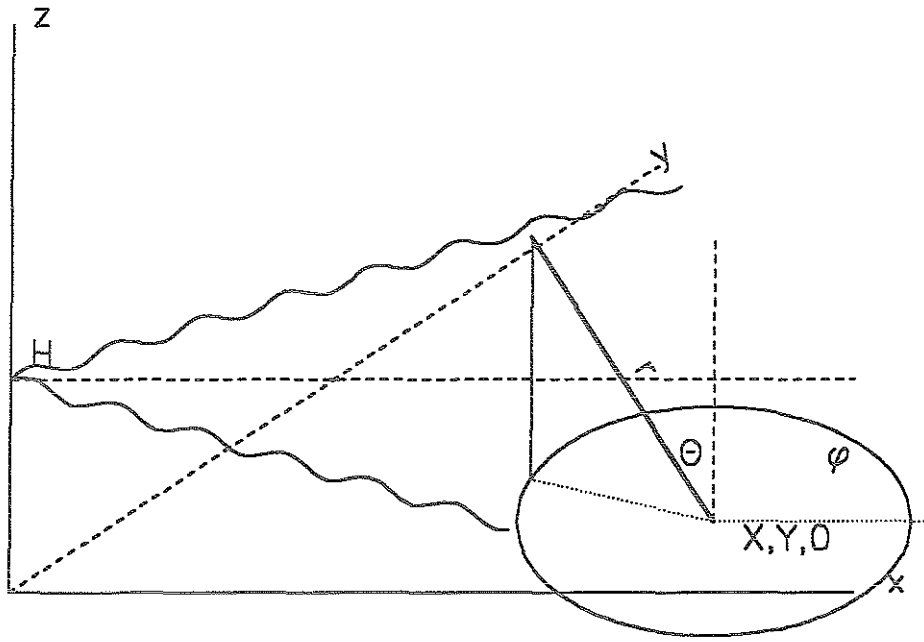
A.1.5.2 2. Fall X < 0

Es bleibt nur ein Integral I1 zu berechnen, dieses mal mit anderen Grenzen:

$$I = \frac{1}{2\pi\tilde{\mu}} \int_{\tau=0}^{e^{\mu X}} \int_{t=0}^{1} \int_{\phi=0}^{2\pi} \frac{B(\mu r) e^{-\mu r - \ln \tau}}{4\pi r^2} K(\mu z, \mu s)\, dt d\phi d\tau \qquad [A.1-25]$$

A.2 Die direkte Integration für Aufpunkte innerhalb der Abluftfahne

Bei dieser Integration wird so getan, als ob die Abluftfahne ziemlich homogen um den Aufpunkt verteilt ist. Im Wesentlichen wird eine Polarkoordinatentransformation durchgeführt und dann weitere Koordinatentransformationen vorgenommen, um die Integration zu erleichtern.



Skizze zur Koordinatentransformation

A.2.1 1. Schritt

Das Koordinatensystem wird an den Ort des Aufpunktes translatiert, dort werden Polarkoordinaten eingefürt. (Man beachte, daß die benutzten Symbole in diesem Kapitel eine neue Bedeutung bekommen.)

$$x = X + r \sin\theta \sin\phi$$

$$y = Y + r \sin\theta \cos\phi \qquad [A.2-1]$$

$$z = r \cos\theta$$

mit

$$dxdydz = r^2 \sin\theta d\theta d\phi dr$$

Die Integration wird

$$\tilde{X}_y(X,Y,0) \qquad [A.2-2]$$

$$= \int_{r=0}^{\infty} \int_{\theta=0}^{\pi} \int_{\phi=0}^{2\pi} \frac{B(\mu r)e^{-\mu r}}{4\pi} \frac{e^{-\frac{(Y+r\sin\theta\cos\phi)^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(r\cos\theta - H)^2}{2\sigma_z^2}}}{2\pi\sigma_y\sigma_z} K(\mu r\cos\theta,\ \mu r|\sin\theta|)\sin\theta d\theta d\phi dr$$

Hier ist schon benutzt worden, daß sich ein Faktor r^2 in Zähler und Nenner wegkürzt.

Die Funktionen σ_y, σ_z von x gehen in Funktionen von $X + r \sin\theta \sin\phi$ über. Das Integral ist dabei nur über das Gebiet zu nehmen, wo $X + r \sin\theta \sin\phi > 0$ ist.

A.2.2 2. Schritt

Die θ-Integration wird in bekannter Weise in eine t-Integration umtransformiert

$$t = \cos\theta \qquad dt = -\sin\theta d\theta \qquad [A.2-3]$$

Die Integration wird

$$\tilde{X}_y(X,Y,0) \qquad [A.2-4]$$

$$= \int_{r=0}^{\infty}\int_{t=-1}^{1}\int_{\phi=0}^{2\pi} \frac{B(\mu r)e^{-\mu r}}{4\pi} \frac{e^{-\frac{(Y+r\sqrt{1-t^2}\cos\phi)^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(rt-H)^2}{2\sigma_z^2}}}{2\pi\sigma_y\sigma_z} K(\mu rt,\ \mu r\sqrt{1-t^2})drdtd\phi$$

A.2.3 3. Schritt

Die unendliche r - Integration wird in eine endliche τ - Integration umtransformiert

$$\tau = e^{-\tilde{\mu}r} \qquad r = -\frac{\ln\tau}{\tilde{\mu}} \qquad d\tau = -\tilde{\mu}e^{-\tilde{\mu}r}dr \qquad [A.2-5]$$

$$\tau(r=0) = 1 \qquad \tau(r=\infty) = 0$$

und das Integral wird

$$\tilde{X}_y(X,Y,0) \qquad [A.2-6]$$

$$= \frac{1}{\tilde{\mu}}\int_{\tau=0}^{1}\int_{t=-1}^{1}\int_{\phi=0}^{2\pi} \frac{B(\mu r)e^{-(\mu-\tilde{\mu})r}}{4\pi} \frac{e^{-\frac{(Y+r\sqrt{1-t^2}\cos\phi)^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(rt-H)^2}{2\sigma_z^2}}}{2\pi\sigma_y\sigma_z} K(\mu rt,\ \mu r\sqrt{1-t^2})\cancel{dr}dtd\phi$$

Im Integral gilt $r = -\frac{\ln\tau}{\tilde{\mu}}$

Die Funktionen σ_y und σ_z sind jetzt an den Stellen

$$X - \frac{\ln\tau}{\tilde{\mu}}\sqrt{1-t^2}\sin\phi \qquad [A.2-7]$$

zu nehmen.

A.3 Die volle Integration

Im allgemeinsten Fall (s.o. Punkt 3) ist die Integration über den Aufpunkt instabil und die Integration außerhalb des Aufpunktes besitzt an der Stelle r = 0 eine Unstetigkeitsstelle. Die Gesamtintegration wird deshalb mittels eines integrierenden Faktors versucht.

Sei I der Integrand aus der Formel [3.1 – 2], so wird gesetzt

$$X = \int \{I(1 - e^{-\alpha r^2}) + Ie^{-\alpha r^2}\} dV \qquad [A.3 - 1]$$

Das erste Integral wird nach der Methode [A.1] (Integration außerhalb der Abluftfahne), das zweite Integral nach der Methode [A.2] (Integration innerhalb der Abluftfahne) behandelt. Dabei kommt zu Gute, daß das erste Verfahren wegen der Eigenschaft

$$\lim_{r \to 0} \frac{(1 - e^{-\alpha r^2})}{r^2} = \alpha \qquad [A.3 - 2]$$

an der Stelle r = 0 keine Singularität mehr hat.

A.3.1 Wahl der Integrationsparameter

Das oben beschriebene Verfahren hängt theoretisch nicht von den Werten $\tilde{\mu}$ und α ab. Praktisch müssen sie aber so gewählt werden, daß eine möglichst schnelle Konvergenz erreicht wird. Wäre $B(\mu r)$ eine "flache" Funktion in μr, so wäre mit $\mu = \tilde{\mu}$ eine gute Konvergenz zu erreichen. Tatsächlich hebt der Aufbaufaktor $B(\mu r)$ die Wirkung des Schwächungskoeffizienten teilweise wieder auf, hat also selbst einen quasi exponentiellen Anstieg, sodaß schon daher ein Wert $\tilde{\mu} < \mu$ zu erwarten ist. Es wurden eine Reihe von Testrechnungen durchgeführt, um eine möglichst schnelle Konvergenz der Integrale zu erreichen.

Dies gilt genauso für den Wert α. Testrechnungen haben ergeben, daß ein Wert

$$\alpha = \frac{10}{(\max(\sigma_y, \sigma_z))^2} \qquad [A.3 - 3]$$

optimal ist.

A.4 Die Zeitintegration der Trajektorien

Hier wird die in „Die Iteration der Trajektorien" auf Seite 23 angesprochene Integration nachgeliefert.

Das Integral [4.1 – 3] läßt sich einfach in ein Produkt dreier einfacher Integrale zerlegen, die dann einzeln integriert werden können:

$$V(x,y,z,t) = I(x,t) \quad I(y,t) \quad I(z,t)$$

mit

$$I(x,t) = \int_{\xi=-\infty}^{\infty} \frac{e^{-\frac{(x-\xi-u_x(t-t_1))^2}{2\sigma_x^2} \quad -\frac{(\xi-u_{x1}t_1)^2}{2\sigma_{x1}^2}}}{2\pi\sigma_x\sigma_{x1}} d\xi \qquad [A\,4-1]$$

$$I(y,t) = \int_{\eta=-\infty}^{\infty} \frac{e^{-\frac{(y-\eta-u_y(t-t_1))^2}{2\sigma_y^2} \quad -\frac{(\eta-u_{y1}t_1)^2}{2\sigma_{y1}^2}}}{2\pi\sigma_y\sigma_{y1}} d\eta \qquad [A\,4-2]$$

$$I(z,t) = \int_{\zeta=-\infty}^{\infty} \frac{e^{-\frac{(z-\zeta)^2}{2\sigma_z^2} \quad -\frac{(\zeta-H)^2}{2\sigma_{z1}^2}}}{2\pi\sigma_z\sigma_{z1}} d\zeta \qquad [A\,4-3]$$

Es genügt die recht einfache Integration mittels des Verfahrens der quadratischen Ergänzung an einem der Integrale durchzuführen, da die beiden anderen sich analog lösen lassen.

Die Integration wird exemplarisch am x-Integral gezeigt. Mit neu definierten Konstanten a, b, c soll das Integral $I(x,t)$ die Form

$$I(x,t) = \int_{\xi=-\infty}^{\infty} \frac{e^{-a(\xi+b)^2-c}}{2\pi\sigma_x\sigma_{x1}} d\xi = \frac{e^{-c}}{2\pi\sigma_x\sigma_{x1}} \sqrt{\frac{\pi}{a}} \qquad [A\,4-4]$$

bekommen. Dies erfordert

$$\frac{(x-\xi-u_x(t-t_1))^2}{2\sigma_x^2} \quad + \frac{(\xi-u_{x1}t_1)^2}{2\sigma_{x1}^2} = a(\xi+b)^2 + c$$

Die Potenzen von ξ müssen übereinstimmen, dies ergibt:

$$a = \frac{1}{2\sigma_x^2} + \frac{1}{2\sigma_{x1}^2} = \frac{\sigma_x^2 + \sigma_{x1}^2}{2\sigma_{x1}^2\sigma_x^2}$$

$$ab = -\frac{x-u_x(t-t_1)}{2\sigma_x^2} - \frac{u_{x1}t_1}{2\sigma_{x1}^2} = -\frac{(x-u_x(t-t_1))\sigma_{x1}^2 + u_{x1}t_1\sigma_x^2}{2\sigma_x^2\sigma_{x1}^2}$$

$$ab^2 + c = \frac{(x - u_x(t - t_1))^2}{2\sigma_x^2} + \frac{(u_{x1}t_1)^2}{2\sigma_{x1}^2}$$

und damit

$$b = -\frac{(x - u_x(t - t_1))\sigma_{x1}^2 + u_{x1}t_1\sigma_x^2}{\sigma_{x1}^2 + \sigma_x^2}$$

$$c = \frac{(x - u_x(t - t_1) - u_{x1}t_1)^2}{2(\sigma_{x1}^2 + \sigma_x^2)}$$

Damit wird das Integral

$$I(x,t) = \frac{e^{-\frac{(x - u_x(t - t_1) - u_{x1}t_1)^2}{2(\sigma_{x1}^2 + \sigma_x^2)}}}{\sqrt{2\pi(\sigma_{x1}^2 + \sigma_x^2)}} \qquad [A\,4-5]$$

und die beiden anderen Integrale entsprechend

$$I(y,t) = \frac{e^{-\frac{(y - u_y(t - t_1) - u_{y1}t_1)^2}{2(\sigma_{y1}^2 + \sigma_y^2)}}}{\sqrt{2\pi(\sigma_{y1}^2 + \sigma_y^2)}} \qquad [A\,4-6]$$

und

$$I(z,t) = \frac{e^{-\frac{(z - H)^2}{2(\sigma_{z1}^2 + \sigma_z^2)}}}{\sqrt{2\pi(\sigma_{z1}^2 + \sigma_z^2)}} \qquad [A\,4-7]$$

Anhang B. Benutzerhandbuch

Das erstellte Programmsystem ist nicht als schwarzer Kasten konzipiert, sondern als ein modulares System, welches verschiedenen Ansprüchen angepaßt werden kann.

Der Kern des Systems ist die SUBROUTINE FUNR, welche die Integralaufrufe vorbereitet und durchführt. Schon hier ist zu bemerken, daß die Voreinstellung auf Rechenergebnisse innerhalb eines Polarkoordinatensystems keineswegs zwingend ist. Der Benutzer kann leicht auf ein kartesisches Koordinatensystem umstellen, wenn dies seinen Anforderungen entspricht.

B.1 Das Hauptprogramm (Beispiel)

Das Hauptprogramm hat die Aufgabe, die Ausgangsdaten bereitzustellen und das eigentlichen Integrationsprogramm FUNR aufzurufen.

Das vorgelegte Hauptprogramm soll eine Matrix von Gammasubmersionsfaktoren für ein Raster von 23 Abstandswerten und 37 Winkelwerten berechnen. Dieses Raster wird zunächst einmal festgelegt. Selbstverständlich kann jedes andere Raster benutzt werden, ja sogar ein kartesisches Koordinatensystem aufgebaut werden, wobei dann allerdings in FUNR einige leicht vorzunehmende Änderung erforderlich werden.

Dieser Bericht beschreibt im Folgenden lediglich die schon genannte Konfiguration, die für die in der KFA vorwiegende Aufgabenstellung charakteristisch ist.

Das Hauptprogramm liest die eigentlichen problemspezifischen Daten in der folgenden Form ein:

```
MAXFCN,ITEST,IE,IH,IR,IA,IKU,IKO, RERR, AERR

FORMAT  I10,      7I5,      2 E 10.3
```

hierin ist

MAXFCN Ein Parameter für die Anzahl der Aufpunkte für die Integration. Zu empfehlen ist 4700, weniger für Tests.

ITEST Ein Parameter zur Steuerung der Ausgabe: 0 keine Ausgabe, 1 Einzelergebnisse, 2 weitere Zwischenergebnisse.

IE Ein Parameter für die Energie: 1 für 1 MeV, 2 für 0.1 MeV

IH Die Nummer der Ausbreitungshöhe, für welche gerechnet werden soll. Sie sind:

0, 20, 50, 100, 150, 200 m

IR Die Anzahl der radialen Koordinaten, normalerweise 23, weniger zum Testen

IA Die Anzahl der Winkel-Koordinaten, normaterweise 37, weniger zum Testen

IKU	Die erste Nummer für die Diffusionskategorie, z.B. 1
IKO	Die letzte Nummer für die Diffusionskategorie, z.B. 6
RERR	Der gewünschte relative Fehler, normalerweise 0.01
AERR	Der gewünschte absolute Fehler, normalerweise 1.0e-12

B.1.1 Der Aufruf der Integrationsroutine

Die Integrationsroutine wird mit dem Befehl

```
CALL FUNR(RAD,IR,ALPHA,IA,ERG,RERR,AERR,MAXFCN)
```

aufgerufen. Die übergebenen Bereiche haben folgende Bedeutung:

RAD(IR)	Die radialen Koordinaten (Eingabe)
ALPHA(IA)	Die Winkel Koordinaten (Eingabe)
ERG(IR,IA)	Die Ergebnisse (Ausgabe)
I = 1,IR	Der Index für die 23 Entfernungen
J = 1,IA	Der Index für die 37 Winkel

B.1.2 Die Common Bereiche

Es werden drei Common Bereiche benutzt:

```
COMMON /EINDA/ AKL,PZV,QZV,PYV,QYV,HUNV,WUEV,BNL
COMMON /DAT/ H,QY,QZ,PY,PZ,WUC,S00,PI,ZPI
```

und

```
COMMON /WOR/ ITEST,IE,ID,IH,X0,Y0,AL,VOR,ALF0
```

mit den folgenden Bedeutungen der Parameter

AKL	Parametersatz für den Build-up-faktor
PZV,QZV,PYV,PYV	Parametersatz für die Diffusionskoeffizienten
HUNV	Parametersatz für die Mischungshöhen
WUEV	Parametersatz für die Massenabsorptionsfaktoren der Luft
BNL	Parametersatz für den Bodenkorrekturfaktor
H	Die Ausbreitungshöhe (m)
QY,PY	Die Diffusionsparameter in y-Richtung(m/s)

QZ,PZ	Die Diffusionsparameter in z-Richtung(m/s)
WUE	Der Massenabsorptionsfaktor in Luft
WUC	Interner Gebrauch
PI,ZPI	Werte für π
X,Y,AL	Interner Gebrauch
HUNV	Die Mischungshöhe
VOR,ALF0,VLF0	Interner Gebrauch
ITEST,IE,ID,IH	siehe oben
X0,Y0,AL,VOR,ALF0	Interner Gebrauch

B.2 Dienstprogramme zum Lesen und Integrieren der Daten

Das Programm GUPL dient zum Lesen und Berechnen der sektorgemittelten Submersionsfaktoren.

Die 37 Kurzzeitausbreitungsfaktoren für die 5-Grad Sektoren werden eingelesen.

Die intern gebrauchten Ausdrücke haben folgende Bedeutung:

I = 1,IR	Der Index für die 23 Entfernungen
J = 1,IA	Der Index für die 37 Winkel
RAD(I)	Die 23 Entfernungen von 10 bis 25000 m
ALPHA(J)	Die 37 Winkel von 0 bis 180 Grad in 5-Grad Intervallen
ERG(I,J)	Die Kurzzeit-γ-Submersionsfaktoren für 23 Entfernungen und 37 Winkel

B.3 Dienstprogramme zum Integrieren der Daten

Für die praktische Anwendung müssen die Ausbreitungsfaktoren noch sektrorgemittelt werden. In diesem Programm werden drei Möglichkeiten angeboten, und zwar für Winkelbereiche von 10, 22.5 und 30 Grad. Der steuernde Parameter heißt fallweise KST10, KST22 und KST30, der für den zu rechnenden Fall jeweils gleich 1 gesetzt werden muß Sei * jeweils 10, 22 oder 30, so bedeuten

I	Index für die 23 Entfernungen
K	Index für die Winkel, für die gemittelt wird (19, 9, 7)
ERG*(I,K)	Die Ergebnisse der Mittelung
L	Index für die Simpson Integration

LL	Hilfsindex für die Simpson Integration.
FAC*(L)	Faktoren für die Simpson Integration über die Sektoren
FAC4, FAC5	Faktoren für die Simpson Integration für die 22.5 Grad Sektoren
NZE(K)	Zeiger für die Simpson Integration für die 22.5 Grad Sektoren

B.4 Die Datensätze für 5 Grad Sektoren

Die Datensätze haben die mnemotechnische Bezeichnung

M IH ID IE

hierin bedeutet IH die Nummer der Höhe, IE die Nummer der Energie, und ID die Nummer der Diffusionskategorie

Eine null bedeutet jeweils, daß der Datensatz alle Datensätze dieser Kategorie enthält. Die Datensätze haben das sogenannte Kartenformat der logischen Rekordlänge 80. Jeder Datensatz hat eine Kopfzeile des Inhalts

TEXT, PY, PZ, QY, QZ, H,RERR,HUNV,IH,IKAT,IE

im Format: 8A4,F6.3,F6.3,F6.3,F6.3,F6.1,F6.3,F8.1,I2,I2,I2

Mit den Bedeutungen:

TEXT	Ein Label, welches besagt, daß dieser Datensatz für die Gammasubmesion z.B. im November 89 gerechnet wurde (es existieren ätere Datensätze dieser Form)
QY,PY	Die turbulenten Parameter in y-Richtung(m/s)
QZ,PZ	Die turbulenten Parameter in z-Richtung(m/s)
H	Die Ausbreitungshöhe
RERR	Der relative Fehler der Integration
HUNV	Die Mischungshöhe
IH	Die Nummer der Höhe
IKAT	Die Nummer der Diffusionskategorie, die Kategorien A bis F werden in umgekehrter Richtung gezählt (historische Gründe)

Hierauf folgen 37 Pakete mit 24 Zahlen im Format (E10.3). Die erste Zahl gibt den Winkel in Grad, die folgenden Zahlen sind die Gammasubmersionsfaktoren für die 23 Entfernungen.

effektive Emissionshöhe	Diffusions-Kategorie	Ausbreitungskoeffizienten			
H		p_y	q_y	p_z	q_z
50 Meter	A	1.5030	0.8330	0.1510	1.2190
	B	0.8760	0.8230	0.1270	1.1080
	C	0.6590	0.8070	0.1650	0.9960
	D	0.6400	0.7840	0.2150	0.8850
	E	0.8010	0.7540	0.2640	0.7740
	F	1.2940	0.7180	0.2410	0.6620
100 Meter	A	0.1700	1.2960	0.0510	1.3170
	B	0.3240	1.0250	0.0700	1.1510
	C	0.4660	0.8660	0.1370	0.9850
	D	0.5040	0.8180	0.2650	0.8180
	E	0.4110	0.8820	0.4870	0.6520
	F	0.2530	1.0570	0.7170	0.4860
180 Meter	A	0.6710	0.9030	0.0245	1.5000
	B	0.4150	0.9030	0.0330	1.3200
	C	0.2320	0.9030	0.1040	0.9970
	D	0.2080	0.9030	0.3070	0.7340
	E	0.3450	0.9030	0.5460	0.5570
	F	0.6710	0.9030	0.4850	0.5000

Tab. 1. Ausbreitungskoeffizienten nach (VA90)

Energie $[MeV]$	μ $[\frac{cm^2}{g}]$	Dosis-Umrechnung $[10^{-7}\frac{Sv}{h} / \frac{MeV}{cm^2 s}]$	Aufbaufaktoren						
			Freie Weglängen μr						
			1	2	4	7	10	15	20
0.015	1.4500	8.1833	1.17	1.25	1.36	1.46	1.54	1.58	1.91
0.020	0.6910	3.3020	1.41	1.62	1.94	2.25	2.51	2.75	3.51
0.030	0.3180	0.9550	2.24	3.19	4.87	7.09	9.21	12.50	16.50
0.040	0.2290	0.4240	3.33	5.86	11.50	21.10	32.20	54.30	81.50
0.050	0.1960	0.2590	4.25	8.72	20.80	46.10	80.70	162.00	279.00
0.060	0.1790	0.1980	4.75	10.80	29.40	74.60	144.00	327.00	620.00
0.080	0.1620	0.1625	4.81	12.00	38.20	115.00	252.00	675.00	1463.00
0.100	0.1510	0.1596	4.48	11.40	38.50	124.00	285.00	811.00	1835.00
0.150	0.1340	0.1728	3.72	9.20	31.70	106.00	252.00	745.00	1730.00
0.200	0.1230	0.1854	3.27	7.73	25.60	83.90	196.00	564.00	1278.00
0.300	0.1060	0.1986	2.85	6.22	18.60	54.40	116.00	293.00	592.00
0.400	0.0953	0.2037	2.60	5.37	14.90	40.30	81.50	193.00	370.00
0.500	0.0870	0.2043	2.44	4.82	12.50	31.30	59.50	130.00	233.00
0.600	0.0805	0.2037	2.33	4.45	10.90	26.00	47.70	99.60	172.00
0.800	0.0707	0.1991	2.18	3.94	8.86	19.30	33.40	64.20	104.00
1.000	0.0636	0.1923	2.08	3.60	7.59	15.60	25.70	46.80	72.50
1.500	0.0518	0.1768	1.92	3.09	5.85	10.80	16.60	27.60	39.70
2.000	0.0445	0.1636	1.81	2.78	4.92	8.55	12.50	19.80	27.40
3.000	0.0358	0.1453	1.68	2.41	3.93	6.32	8.80	13.10	17.30
4.000	0.0308	0.1333	1.59	2.19	3.38	5.20	7.03	10.10	13.10
5.000	0.0275	0.1253	1.52	2.03	3.03	4.51	5.97	8.41	10.70
6.000	0.0252	0.1196	1.47	1.92	2.78	4.04	5.26	7.30	9.19
8.000	0.0223	0.1114	1.39	1.75	2.44	3.43	4.30	5.94	7.40
10.000	0.0204	0.1071	1.33	1.74	2.21	3.01	3.79	5.03	6.20

Tab. 2. Tabelle der Dosisaufbaufaktoren (JA68)

Energie [MeV]	c_1	c_2	c_3	c_4
0.015	1.6914E-01	-2.2741E-02	1.3038E-03	-2.3834E-05
0.020	4.2895E-01	-5.9787E-02	3.8743E-03	-8.2389E-05
0.030	1.3135E+00	-1.1476E-01	8.2602E-03	-1.9437E-04
0.040	2.2244E+00	1.0837E-01	-2.7446E-03	9.1899E-05
0.050	2.6453E+00	6.3221E-01	-1.6490E-02	6.5753E-04
0.060	2.6185E+00	1.1522E+00	-1.1461E-02	1.2543E-03
0.080	2.2388E+00	1.5153E+00	5.2942E-02	2.4115E-03
0.100	1.6882E+00	1.6049E+00	6.7950E-02	3.8413E-03
0.150	1.2592E+00	1.2682E+00	7.2739E-02	3.8412E-03
0.200	1.1764E+00	9.7058E-01	6.3352E-02	2.2399E-03
0.300	1.1139E+00	6.9169E-01	3.2537E-02	1.9817E-04
0.400	1.0353E+00	5.4873E-01	1.4505E-02	7.9769E-05
0.500	9.7089E-01	4.6789E-01	1.0561E-03	1.0644E-04
0.600	9.3368E-01	4.0122E-01	-4.3927E-03	1.6981E-04
0.800	8.7892E-01	3.1221E-01	-1.0626E-02	2.8753E-04
1.000	9.2535E-01	1.9597E-01	-4.9749E-03	9.0171E-05
1.500	8.5861E-01	9.6894E-02	-3.1321E-03	4.8929E-05
2.000	7.7603E-01	5.6581E-02	-2.2288E-03	3.8003E-05
3.000	6.6685E-01	1.8199E-02	-7.7031E-04	1.1550E-05
4.000	5.8893E-01	1.8348E-03	-2.4538E-05	-1.3476E-06
5.000	5.2558E-01	-6.0645E-03	4.4944E-04	-1.2383E-05
6.000	4.8073E-01	-1.1655E-02	8.3058E-04	-2.1310E-05
8.000	4.0374E-01	-1.5110E-02	1.0986E-03	-2.7666E-05
10.000	3.7771E-01	-2.1740E-02	1.5185E-03	-3.6345E-05

Tab. 3. Die Koeffizienten für die Approximation des Aufbaufaktors

Energie [MeV]	μr	Berger	Approximation	Israel
0.015 MeV	1.00	1.17	1.15	3.10
	2.00	1.25	1.26	7.20
	4.00	1.36	1.39	21.40
	7.00	1.46	1.46	57.70
	10.00	1.54	1.48	112.00
	15.00	1.58	1.61	242.50
	20.00	1.91	1.90	423.00
0.100 MeV	1.00	4.48	4.36	3.10
	2.00	11.40	11.40	7.20
	4.00	38.50	38.76	21.40
	7.00	124.00	123.99	57.70
	10.00	285.00	284.74	112.00
	15.00	811.00	811.22	242.50
	20.00	1835.00	1834.93	423.00
0.300 MeV	1.00	2.85	2.84	3.10
	2.00	6.22	6.26	7.20
	4.00	18.60	18.66	21.40
	7.00	54.40	54.33	57.70
	10.00	116.00	115.83	112.00
	15.00	293.00	293.19	242.50
	20.00	592.00	591.96	423.00
1.000 MeV	1.00	2.08	2.12	2.14
	2.00	3.60	3.60	3.57
	4.00	7.59	7.54	7.29
	7.00	15.60	15.59	15.00
	10.00	25.70	25.78	25.29
	15.00	46.80	46.75	48.14
	20.00	72.50	72.52	78.14
5.000 MeV	1.00	1.52	1.52	2.00
	2.00	2.03	2.03	3.01
	4.00	3.03	3.03	5.05
	7.00	4.51	4.51	8.15
	10.00	5.97	5.97	11.30
	15.00	8.41	8.41	16.68
	20.00	10.70	10.70	22.20

Tab. 4. Vergleich der Aufbaufaktoren

E_γ = 1 MeV	l = 0	1	2	3
k = 0	0.4850	0.0640	1.7050	-1.1790
1	0.1370	1.8780	-4.8170	2.8830
2	-0.0035	-0.8569	2.0527	-1.2552
3	-0.0018	0.0997	-0.2392	0.1503

Tab. 5. **Koeffizienten des Korrekturfaktors (1 MeV)** zur Berücksichtigung der Bodenstreuung nach (VA90)

E_γ = 0.1 MeV	l = 0	1	2	3
k = 0	0.2790	0.5950	-0.2050	0.6220
1	0.1350	0.8660	-0.7160	-0.5780
2	-0.0131	-0.3240	0.1103	0.2892
3	0.0003	0.0313	-0.0017	-0.0337

Tab. 6. **Koeffizienten des Korrekturfaktors (0.1 MeV)** zur Berücksichtigung der Bodenstreuung nach (VA90)

Energieinterval (MeV) von	bis	Photonen /Zerfälle Q_v	Energieinterval (MeV) von	bis	Photonen /Zerfälle Q_v
0.0045	0.0055	1.7220E-03	0.3200	0.3600	5.5111E-04
0.0055	0.0065	1.3766E-03	0.3600	0.4000	4.6712E-04
0.0065	0.0075	1.1372E-03	0.4000	0.4400	4.0135E-04
0.0075	0.0085	9.6239E-04	0.4400	0.4800	3.4870E-04
0.0085	0.0095	8.2962E-04	0.4800	0.5500	5.3514E-04
0.0095	0.0105	7.2569E-04	0.5500	0.6500	5.6847E-04
0.0105	0.0115	6.4235E-04	0.6500	0.7500	4.3761E-04
0.0115	0.0125	5.7418E-04	0.7500	0.8500	3.4552E-04
0.0125	0.0135	5.1750E-04	0.8500	0.9500	2.7814E-04
0.0135	0.0145	4.6971E-04	0.9500	1.1000	3.4098E-04
0.0145	0.0155	4.2892E-04	1.1000	1.3000	3.1434E-04
0.0155	0.0165	3.9377E-04	1.3000	1.5000	2.2477E-04
0.0165	0.0175	3.6319E-04	1.5000	1.7000	1.6461E-04
0.0175	0.0185	3.3637E-04	1.7000	1.9000	1.2267E-04
0.0185	0.0195	3.1269E-04	1.9000	2.3000	1.8520E-04
0.0195	0.0210	4.3746E-04	2.3000	2.9000	1.2514E-04
0.0210	0.0230	5.1184E-04	2.9000	3.5000	5.7736E-05
0.0230	0.0250	4.5366E-04	3.5000	4.1000	2.5986E-05
0.0250	0.0270	4.0548E-04	4.1000	4.7000	1.0795E-05
0.0270	0.0290	3.6503E-04	4.7000	5.5000	5.0620E-06
0.0290	0.0320	4.9597E-04	5.5000	6.5000	4.1713E-07

Tab. 7. Bremsstrahlungs-Spektrum des Kr-85 (DI80)

Höhe Diff.-Kat.	0	20	50	100	150	200
1	6.11	80.73	164.83	197.28	155.29	258.21
2	9.04	144.20	333.19	671.08	377.38	632.07
3	9.26	102.70	524.71	868.63	1412.36	2252.00
4	7.10	95.33	216.42	676.32	795.69	1085.59
5	4.22	77.22	272.37	386.36	552.61	616.82
6	2.26	46.81	142.08	203.59	317.08	388.41

Tab. 8. Die Parameter $X_c[m]$

Höhe Diff.-Kat.	0	20	50	100	150	200
1	4.22E-01	3.86E-02	2.28E-02	1.56E-02	2.51E-02	1.83E-02
2	3.66E-01	2.48E-02	1.32E-02	5.18E-03	8.44E-03	4.31E-03
3	3.16E-01	4.09E-02	6.14E-03	2.86E-03	1.52E-03	1.10E-03
4	6.93E-01	4.43E-02	2.18E-02	3.57E-03	2.86E-03	2.34E-03
5	3.23E-01	5.23E-02	1.06E-02	6.01E-03	3.09E-03	2.33E-03
6	3.28E-01	8.68E-02	1.91E-02	1.11E-02	5.45E-03	3.74E-03

Tab. 9. Die Parameter $s_c[m^{-1}]$

Höhe Diff.-Kat.	0	20	50	100	150	200
1	0.557	0.511	0.966	1.570	1.620	2.060
2	0.492	0.654	1.240	1.470	1.590	1.960
3	0.433	0.737	1.150	1.490	1.680	1.680
4	0.473	0.839	1.300	1.560	1.740	1.970
5	0.531	0.888	1.110	1.600	1.930	2.320
6	0.491	1.280	0.865	1.420	2.030	2.530

Tab. 10. Die Parameter b_D

Höhe Diff.-Kat.	0	20	50	100	150	200
1	1.08E-06	3.69E-03	4.84E-03	3.80E-03	4.02E-03	3.74E-03
2	1.52E-05	2.97E-03	4.01E-03	3.78E-03	3.41E-03	2.98E-03
3	1.13E-07	3.55E-03	3.68E-03	3.19E-03	2.79E-03	3.04E-03
4	9.26E-05	2.83E-03	4.07E-03	3.17E-03	2.85E-03	2.86E-03
5	1.72E-05	2.59E-03	4.17E-03	3.32E-03	2.39E-03	1.93E-03
6	2.27E-04	2.41E-03	6.39E-03	4.53E-03	2.86E-03	2.04E-03

Tab. 11. Die Parameter $c_D[m^{-1}]$

Höhe Diff.-Kat.	0	20	50	100	150	200
1	2.91	9.25	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1.92	7.07	0.00	0.00	0.00	0.00
3	2.68	3.88	0.00	0.00	0.00	0.00
4	1.23	5.62	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1.39	9.22	0.00	0.00	0.00	0.00
6	1.35	14.80	0.00	0.00	0.00	0.00

Tab. 12. Die Parameter $a_D[m]$

Höhe Diff.-Kat.	0	20	50	100	150	200
1	2.38	31.34	56.86	68.46	79.88	73.83
2	2.59	26.93	48.20	113.44	91.90	111.25
3	2.88	20.86	75.46	81.70	104.16	141.17
4	2.41	20.95	36.11	71.53	66.20	59.87
5	2.19	21.73	81.48	102.03	73.89	57.11
6	2.42	21.03	95.38	149.77	83.42	48.41

Tab. 13. Die Parameter $s_y[m]$

Höhe Diff.-Kat.	0	20	50	100	150	200
1	60.68	93.80	136.56	42.67	70.78	93.74
2	66.84	74.45	89.21	122.40	58.32	84.27
3	69.76	81.18	25.39	41.45	60.00	90.97
4	75.05	79.42	77.86	39.43	56.03	73.32
5	71.64	80.54	21.54	39.93	50.64	60.39
6	75.74	87.86	20.54	40.40	49.02	54.36

Tab. 14. Die Parameter $s_z[m]$

Höhe Diff.-Kat.	0	20	50	100	150	200
1	1.37E-03	2.49E-04	6.21E-05	1.48E-05	6.80E-06	7.17E-06
2	3.64E-03	1.23E-04	4.80E-05	2.54E-05	1.68E-05	1.12E-05
3	4.58E-03	7.13E-05	5.60E-05	9.66E-06	8.65E-06	9.16E-06
4	3.92E-03	6.55E-05	2.47E-05	6.91E-06	6.66E-06	8.63E-06
5	4.32E-03	7.16E-05	5.77E-05	1.02E-05	6.62E-06	1.03E-05
6	3.48E-03	6.39E-05	7.22E-05	1.40E-05	8.24E-06	1.33E-05

Tab. 15. Die Werte Q_0

Tab. 16. Kurzzeitausbreitungsfaktoren [$\frac{1}{m}$] der Gammasubmersion

Sektorgemittelte Kurzzeitausbreitungsfaktoren fuer 30.0 Grad Sektoren

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 0.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 1100.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: A
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	5.174E-02	5.128E-02	3.409E-02	1.293E-02	8.344E-03	6.788E-03	6.361E-03
1.58E+01	3.171E-02	3.097E-02	2.226E-02	8.060E-03	5.111E-03	4.122E-03	3.857E-03
2.51E+01	2.023E-02	1.915E-02	1.265E-02	4.765E-03	3.014E-03	2.419E-03	2.257E-03
3.98E+01	1.252E-02	1.166E-02	7.167E-03	2.717E-03	1.708E-03	1.355E-03	1.259E-03
6.31E+01	7.620E-03	6.910E-03	3.941E-03	1.489E-03	9.091E-04	7.081E-04	6.544E-04
1.00E+02	4.508E-03	3.971E-03	2.068E-03	7.420E-04	4.374E-04	3.319E-04	3.048E-04
1.58E+02	2.560E-03	2.181E-03	1.011E-03	3.297E-04	1.806E-04	1.315E-04	1.188E-04
2.51E+02	1.373E-03	1.120E-03	4.453E-04	1.204E-04	5.862E-05	4.024E-05	3.580E-05
3.98E+02	6.835E-04	5.274E-04	1.674E-04	3.255E-05	1.313E-05	8.348E-06	7.282E-06
6.31E+02	3.094E-04	2.230E-04	5.144E-05	5.477E-06	1.633E-06	9.432E-07	8.050E-07
1.00E+03	1.280E-04	8.482E-05	1.278E-05	4.473E-07	7.878E-08	3.989E-08	3.328E-08
1.58E+03	5.421E-05	3.132E-05	2.768E-06	1.389E-08	8.332E-10	3.435E-10	2.781E-10
2.51E+03	3.607E-05	1.715E-05	6.734E-07	1.380E-10	4.582E-13	1.156E-13	9.036E-14
3.98E+03	2.446E-05	1.032E-05	2.326E-07	3.695E-13	3.740E-18	4.207E-19	3.182E-19
6.31E+03	1.648E-05	6.120E-06	8.023E-08	7.993E-18	4.138E-26	1.610E-27	1.192E-27
1.00E+04	1.108E-05	3.588E-06	2.560E-08	7.834E-23	6.407E-39	8.347E-41	0.000E+00
1.58E+04	7.425E-06	2.079E-06	7.120E-09	2.997E-26	2.463E-59	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	4.963E-06	1.189E-06	1.886E-09	2.851E-30	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	3.308E-06	6.706E-07	4.391E-10	3.738E-35	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	2.198E-06	3.722E-07	8.823E-11	1.038E-40	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	1.455E-06	2.031E-07	1.499E-11	7.401E-47	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	9.597E-07	1.086E-07	2.088E-12	8.709E-54	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	6.303E-07	5.675E-08	2.296E-13	9.576E-62	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 0.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 1100.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: B
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	8.623E-02	6.556E-02	2.577E-02	1.284E-02	9.009E-03	7.432E-03	6.988E-03
1.58E+01	5.989E-02	4.598E-02	1.719E-02	7.800E-03	5.441E-03	4.494E-03	4.228E-03
2.51E+01	3.672E-02	2.708E-02	1.001E-02	4.601E-03	3.188E-03	2.621E-03	2.462E-03
3.98E+01	2.344E-02	1.621E-02	5.606E-03	2.626E-03	1.791E-03	1.457E-03	1.363E-03
6.31E+01	1.489E-02	9.683E-03	3.085E-03	1.420E-03	9.432E-04	7.536E-04	7.015E-04
1.00E+02	9.200E-03	5.575E-03	1.591E-03	7.028E-04	4.464E-04	3.485E-04	3.217E-04
1.58E+02	5.550E-03	3.072E-03	7.522E-04	3.022E-04	1.795E-04	1.354E-04	1.241E-04
2.51E+02	3.228E-03	1.600E-03	3.068E-04	1.041E-04	5.617E-05	4.054E-05	3.661E-05
3.98E+02	1.787E-03	7.645E-04	9.941E-05	2.548E-05	1.203E-05	8.237E-06	7.338E-06
6.31E+02	9.297E-04	3.280E-04	2.280E-05	3.625E-06	1.420E-06	9.160E-07	8.048E-07
1.00E+03	4.482E-04	1.248E-04	3.154E-06	2.135E-07	6.326E-08	3.808E-08	3.300E-08
1.58E+03	2.000E-04	4.269E-05	2.370E-07	3.146E-09	5.795E-10	3.202E-10	2.737E-10
2.51E+03	8.493E-05	1.371E-05	9.359E-09	4.413E-12	2.143E-13	1.046E-13	8.797E-14
3.98E+03	3.816E-05	4.488E-06	3.268E-10	1.594E-16	8.453E-19	3.687E-19	3.073E-19
6.31E+03	2.515E-05	2.255E-06	7.028E-12	2.042E-23	3.581E-27	1.383E-27	1.145E-27
1.00E+04	1.651E-05	1.116E-06	4.552E-13	2.826E-34	2.950E-40	6.694E-41	0.000E+00
1.58E+04	1.077E-05	5.343E-07	2.991E-14	2.290E-51	6.733E-61	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	6.980E-06	2.477E-07	8.122E-16	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	4.500E-06	1.101E-07	1.328E-17	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	2.888E-06	4.666E-08	1.172E-19	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	1.845E-06	1.876E-08	4.748E-22	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	1.174E-06	7.118E-09	7.918E-25	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	7.461E-07	2.526E-09	4.576E-28	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Sektorgemittelte Kurzzeitausbreitungsfaktoren fuer 30.0 Grad Sektoren

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 0.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 800.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: C
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	9.783E-02	6.339E-02	2.318E-02	1.279E-02	9.176E-03	7.626E-03	7.184E-03
1.58E+01	7.098E-02	4.366E-02	1.420E-02	7.673E-03	5.519E-03	4.600E-03	4.338E-03
2.51E+01	4.683E-02	2.689E-02	8.448E-03	4.534E-03	3.225E-03	2.676E-03	2.520E-03
3.98E+01	3.046E-02	1.616E-02	4.839E-03	2.585E-03	1.807E-03	1.483E-03	1.391E-03
6.31E+01	1.969E-02	9.531E-03	2.686E-03	1.393E-03	9.470E-04	7.642E-04	7.134E-04
1.00E+02	1.257E-02	5.482E-03	1.401E-03	6.855E-04	4.458E-04	3.516E-04	3.257E-04
1.58E+02	7.829E-03	3.002E-03	6.582E-04	2.910E-04	1.777E-04	1.358E-04	1.251E-04
2.51E+02	4.743E-03	1.538E-03	2.609E-04	9.803E-05	5.495E-05	4.038E-05	3.666E-05
3.98E+02	2.764E-03	7.184E-04	7.933E-05	2.323E-05	1.161E-05	8.157E-06	7.318E-06
6.31E+02	1.536E-03	2.959E-04	1.604E-05	3.146E-06	1.353E-06	9.038E-07	8.011E-07
1.00E+03	8.024E-04	1.057E-04	1.705E-06	1.695E-07	5.920E-08	3.744E-08	3.280E-08
1.58E+03	3.910E-04	3.253E-05	7.197E-08	2.080E-09	5.275E-10	3.133E-10	2.719E-10
2.51E+03	1.789E-04	8.945E-06	8.791E-10	1.459E-12	1.847E-13	1.018E-13	8.720E-14
3.98E+03	7.618E-05	2.268E-06	1.790E-12	1.486E-17	6.858E-19	3.572E-19	3.040E-19
6.31E+03	3.929E-05	6.534E-07	1.477E-16	3.644E-25	2.702E-27	1.336E-27	1.131E-27
1.00E+04	2.518E-05	2.361E-07	2.046E-21	7.180E-37	2.075E-40	6.387E-41	0.000E+00
1.58E+04	1.606E-05	8.120E-08	1.627E-24	3.963E-55	4.102E-61	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	1.019E-05	2.614E-08	6.596E-28	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	6.472E-06	7.568E-09	1.158E-32	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	4.118E-06	1.941E-09	6.866E-38	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	2.631E-06	4.225E-10	3.676E-44	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	1.689E-06	7.473E-11	1.372E-51	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	1.091E-06	1.022E-11	2.079E-60	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 0.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 800.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: D
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	8.290E-02	5.544E-02	2.267E-02	1.281E-02	9.222E-03	7.673E-03	7.231E-03
1.58E+01	8.086E-02	4.511E-02	1.381E-02	7.672E-03	5.542E-03	4.627E-03	4.365E-03
2.51E+01	5.365E-02	2.768E-02	8.211E-03	4.531E-03	3.237E-03	2.690E-03	2.534E-03
3.98E+01	3.447E-02	1.634E-02	4.736E-03	2.581E-03	1.811E-03	1.489E-03	1.398E-03
6.31E+01	2.270E-02	9.628E-03	2.643E-03	1.389E-03	9.478E-04	7.660E-04	7.154E-04
1.00E+02	1.500E-02	5.552E-03	1.372E-03	6.811E-04	4.448E-04	3.516E-04	3.258E-04
1.58E+02	9.631E-03	3.036E-03	6.408E-04	2.872E-04	1.765E-04	1.353E-04	1.246E-04
2.51E+02	6.036E-03	1.547E-03	2.504E-04	9.580E-05	5.424E-05	4.007E-05	3.643E-05
3.98E+02	3.661E-03	7.127E-04	7.419E-05	2.240E-05	1.140E-05	8.074E-06	7.260E-06
6.31E+02	2.134E-03	2.873E-04	1.438E-05	2.991E-06	1.324E-06	8.944E-07	7.950E-07
1.00E+03	1.185E-03	9.880E-05	1.418E-06	1.576E-07	5.771E-08	3.704E-08	3.256E-08
1.58E+03	6.244E-04	2.879E-05	5.079E-08	1.845E-09	5.106E-10	3.096E-10	2.698E-10
2.51E+03	3.061E-04	6.953E-06	4.282E-10	1.101E-12	1.767E-13	1.005E-13	8.654E-14
3.98E+03	1.424E-04	1.503E-06	3.633E-13	8.350E-18	6.473E-19	3.521E-19	3.016E-19
6.31E+03	6.380E-05	2.802E-07	7.409E-18	1.174E-25	2.523E-27	1.315E-27	1.121E-27
1.00E+04	2.768E-05	4.843E-08	4.391E-25	1.007E-37	1.891E-40	6.268E-41	0.000E+00
1.58E+04	1.636E-05	9.948E-09	1.451E-35	1.950E-56	3.706E-61	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	1.046E-05	1.888E-09	2.652E-42	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	6.736E-06	2.811E-10	1.617E-50	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	4.365E-06	3.066E-11	1.564E-60	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	2.849E-06	2.217E-12	1.272E-72	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	1.871E-06	9.863E-14	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	1.238E-06	2.402E-15	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Sektorgemittelte Kurzzeitausbreitungsfaktoren fuer 30.0 Grad Sektoren

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 0.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 0.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: E
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	9.764E-02	5.529E-02	2.395E-02	1.289E-02	9.200E-03	7.628E-03	7.182E-03
1.58E+01	7.828E-02	4.826E-02	1.493E-02	7.770E-03	5.541E-03	4.607E-03	4.342E-03
2.51E+01	5.284E-02	3.000E-02	8.744E-03	4.577E-03	3.238E-03	2.681E-03	2.523E-03
3.98E+01	3.512E-02	1.796E-02	4.957E-03	2.604E-03	1.812E-03	1.485E-03	1.392E-03
6.31E+01	2.407E-02	1.076E-02	2.740E-03	1.399E-03	9.475E-04	7.634E-04	7.122E-04
1.00E+02	1.644E-02	6.284E-03	1.411E-03	6.842E-04	4.440E-04	3.498E-04	3.240E-04
1.58E+02	1.091E-02	3.466E-03	6.535E-04	2.875E-04	1.757E-04	1.343E-04	1.236E-04
2.51E+02	7.075E-03	1.785E-03	2.531E-04	9.534E-05	5.379E-05	3.968E-05	3.610E-05
3.98E+02	4.482E-03	8.312E-04	7.419E-05	2.217E-05	1.128E-05	7.989E-06	7.183E-06
6.31E+02	2.728E-03	3.416E-04	1.425E-05	2.958E-06	1.311E-06	8.860E-07	7.876E-07
1.00E+03	1.601E-03	1.211E-04	1.404E-06	1.560E-07	5.723E-08	3.675E-08	3.230E-08
1.58E+03	9.000E-04	3.675E-05	4.996E-08	1.821E-09	5.065E-10	3.073E-10	2.683E-10
2.51E+03	4.837E-04	9.491E-06	4.094E-10	1.082E-12	1.754E-13	9.978E-14	8.592E-14
3.98E+03	2.479E-04	2.097E-06	3.148E-13	7.991E-18	6.429E-19	3.495E-19	2.993E-19
6.31E+03	1.219E-04	3.987E-07	5.013E-18	1.055E-25	2.482E-27	1.305E-27	1.112E-27
1.00E+04	5.816E-05	6.402E-08	1.994E-25	7.924E-38	1.893E-40	6.218E-41	0.000E+00
1.58E+04	2.718E-05	8.208E-09	3.495E-37	1.228E-56	3.655E-61	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	1.257E-05	7.775E-10	2.401E-47	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	5.797E-06	4.904E-11	2.779E-58	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	2.682E-06	1.851E-12	5.376E-72	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	1.246E-06	3.668E-14	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	5.834E-07	3.201E-16	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	2.762E-07	9.952E-19	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 0.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 0.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: F
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	7.919E-02	6.494E-02	3.014E-02	1.322E-02	9.034E-03	7.412E-03	6.961E-03
1.58E+01	6.274E-02	4.867E-02	1.959E-02	8.075E-03	5.492E-03	4.501E-03	4.227E-03
2.51E+01	4.796E-02	3.442E-02	1.155E-02	4.745E-03	3.224E-03	2.632E-03	2.467E-03
3.98E+01	3.379E-02	2.225E-02	6.430E-03	2.690E-03	1.808E-03	1.462E-03	1.366E-03
6.31E+01	2.413E-02	1.399E-02	3.361E-03	1.441E-03	9.471E-04	7.531E-04	7.000E-04
1.00E+02	1.699E-02	8.493E-03	1.669E-03	7.031E-04	4.436E-04	3.453E-04	3.186E-04
1.58E+02	1.175E-02	4.861E-03	7.485E-04	2.949E-04	1.754E-04	1.325E-04	1.216E-04
2.51E+02	7.974E-03	2.642E-03	2.849E-04	9.751E-05	5.363E-05	3.909E-05	3.541E-05
3.98E+02	5.285E-03	1.318E-03	8.346E-05	2.276E-05	1.126E-05	7.876E-06	7.056E-06
6.31E+02	3.407E-03	5.976E-04	1.643E-05	3.080E-06	1.317E-06	8.768E-07	7.762E-07
1.00E+03	2.135E-03	2.448E-04	1.758E-06	1.678E-07	5.800E-08	3.651E-08	3.195E-08
1.58E+03	1.250E-03	9.038E-05	7.472E-08	2.053E-09	5.177E-10	3.061E-10	2.650E-10
2.51E+03	7.619E-04	2.980E-05	8.456E-10	1.437E-12	1.823E-13	9.963E-14	8.515E-14
3.98E+03	4.340E-04	8.620E-06	1.277E-12	1.344E-17	6.733E-19	3.493E-19	2.967E-19
6.31E+03	2.400E-04	2.182E-06	4.312E-17	2.649E-25	2.639E-27	1.305E-27	1.103E-27
1.00E+04	1.295E-04	4.654E-07	5.328E-24	3.421E-37	2.021E-40	6.239E-41	0.000E+00
1.58E+04	6.821E-05	8.012E-08	2.653E-30	9.524E-56	3.990E-61	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	3.526E-05	1.020E-08	6.746E-38	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	1.805E-05	8.535E-10	1.038E-47	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	9.124E-06	4.058E-11	2.684E-60	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	4.600E-06	9.284E-13	2.119E-77	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	2.317E-06	8.077E-15	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	1.174E-06	2.071E-17	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Sektorgemittelte Kurzzeitausbreitungsfaktoren fuer 30.0 Grad Sektoren

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 20.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 1100.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: A
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	6.019E-03	5.744E-03	5.088E-03	4.346E-03	3.760E-03	3.411E-03	3.297E-03
1.58E+01	6.460E-03	5.991E-03	4.948E-03	3.865E-03	3.126E-03	2.728E-03	2.605E-03
2.51E+01	7.004E-03	6.217E-03	4.520E-03	3.109E-03	2.316E-03	1.943E-03	1.834E-03
3.98E+01	7.391E-03	6.350E-03	3.790E-03	2.188E-03	1.504E-03	1.221E-03	1.141E-03
6.31E+01	6.163E-03	5.347E-03	2.882E-03	1.366E-03	8.599E-04	6.771E-04	6.270E-04
1.00E+02	4.156E-03	3.605E-03	1.827E-03	7.163E-04	4.292E-04	3.274E-04	3.012E-04
1.58E+02	2.490E-03	2.105E-03	9.680E-04	3.265E-04	1.808E-04	1.322E-04	1.197E-04
2.51E+02	1.360E-03	1.107E-03	4.382E-04	1.208E-04	5.935E-05	4.101E-05	3.655E-05
3.98E+02	6.821E-04	5.251E-04	1.667E-04	3.277E-05	1.334E-05	8.544E-06	7.469E-06
6.31E+02	3.089E-04	2.226E-04	5.136E-05	5.498E-06	1.654E-06	9.607E-07	8.221E-07
1.00E+03	1.279E-04	8.474E-05	1.275E-05	4.473E-07	7.936E-08	4.039E-08	3.375E-08
1.58E+03	5.420E-05	3.131E-05	2.764E-06	1.387E-08	8.373E-10	3.472E-10	2.825E-10
2.51E+03	3.607E-05	1.715E-05	6.728E-07	1.375E-10	4.790E-13	1.174E-13	9.192E-14
3.98E+03	2.445E-05	1.031E-05	2.323E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+03	1.648E-05	6.118E-06	7.417E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+04	1.108E-05	3.587E-06	2.363E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+04	7.425E-06	2.079E-06	7.112E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	4.962E-06	1.189E-06	1.886E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	3.307E-06	6.706E-07	4.390E-10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	2.197E-06	3.722E-07	8.836E-11	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	1.455E-06	2.030E-07	1.499E-11	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	9.594E-07	1.086E-07	2.105E-12	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	6.303E-07	5.674E-08	2.229E-13	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 20.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 1100.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: B
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	6.936E-03	6.566E-03	5.707E-03	4.821E-03	4.163E-03	3.774E-03	3.651E-03
1.58E+01	7.557E-03	6.865E-03	5.450E-03	4.210E-03	3.415E-03	2.995E-03	2.866E-03
2.51E+01	8.047E-03	6.880E-03	4.773E-03	3.282E-03	2.489E-03	2.114E-03	2.003E-03
3.98E+01	8.521E-03	6.594E-03	3.695E-03	2.228E-03	1.592E-03	1.316E-03	1.237E-03
6.31E+01	8.757E-03	5.911E-03	2.493E-03	1.322E-03	8.965E-04	7.222E-04	6.737E-04
1.00E+02	7.327E-03	4.486E-03	1.455E-03	6.853E-04	4.402E-04	3.452E-04	3.192E-04
1.58E+02	5.063E-03	2.823E-03	7.285E-04	3.020E-04	1.811E-04	1.372E-04	1.260E-04
2.51E+02	3.116E-03	1.547E-03	3.045E-04	1.053E-04	5.750E-05	4.173E-05	3.778E-05
3.98E+02	1.762E-03	7.540E-04	9.953E-05	2.591E-05	1.237E-05	8.522E-06	7.614E-06
6.31E+02	9.241E-04	3.262E-04	2.277E-05	3.666E-06	1.451E-06	9.414E-07	8.290E-07
1.00E+03	4.470E-04	1.245E-04	3.149E-06	2.148E-07	6.414E-08	3.882E-08	3.368E-08
1.58E+03	1.998E-04	4.264E-05	2.364E-07	3.155E-09	5.861E-10	3.255E-10	2.790E-10
2.51E+03	8.488E-05	1.371E-05	9.340E-09	3.783E-12	2.175E-13	1.061E-13	8.976E-14
3.98E+03	3.815E-05	4.486E-06	3.232E-10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+03	2.515E-05	2.254E-06	6.633E-12	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+04	1.650E-05	1.116E-06	7.494E-13	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+04	1.076E-05	5.343E-07	3.046E-14	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	6.979E-06	2.476E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	4.500E-06	1.100E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	2.887E-06	4.665E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	1.845E-06	1.876E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	1.174E-06	7.113E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	7.459E-07	2.525E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Sektorgemittelte Kurzzeitausbreitungsfaktoren fuer 30.0 Grad Sektoren

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 20.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 800.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: C
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	7.304E-03	6.876E-03	5.918E-03	4.970E-03	4.285E-03	3.888E-03	3.762E-03
1.58E+01	7.984E-03	7.184E-03	5.608E-03	4.305E-03	3.497E-03	3.075E-03	2.945E-03
2.51E+01	8.685E-03	7.186E-03	4.825E-03	3.316E-03	2.534E-03	2.163E-03	2.053E-03
3.98E+01	9.219E-03	6.674E-03	3.624E-03	2.224E-03	1.611E-03	1.341E-03	1.263E-03
6.31E+01	9.745E-03	5.703E-03	2.358E-03	1.306E-03	9.029E-04	7.335E-04	6.860E-04
1.00E+02	8.913E-03	4.267E-03	1.331E-03	6.710E-04	4.408E-04	3.491E-04	3.238E-04
1.58E+02	6.737E-03	2.690E-03	6.478E-04	2.920E-04	1.799E-04	1.380E-04	1.270E-04
2.51E+02	4.445E-03	1.468E-03	2.612E-04	9.990E-05	5.653E-05	4.175E-05	3.799E-05
3.98E+02	2.687E-03	7.038E-04	7.991E-05	2.377E-05	1.201E-05	8.483E-06	7.625E-06
6.31E+02	1.516E-03	2.933E-04	1.611E-05	3.198E-06	1.388E-06	9.325E-07	8.281E-07
1.00E+03	7.977E-04	1.052E-04	1.706E-06	1.711E-07	6.025E-08	3.827E-08	3.359E-08
1.58E+03	3.900E-04	3.245E-05	7.195E-08	2.091E-09	5.352E-10	3.193E-10	2.779E-10
2.51E+03	1.787E-04	8.929E-06	8.777E-10	1.351E-12	1.873E-13	1.037E-13	8.911E-14
3.98E+03	7.614E-05	2.267E-06	3.039E-13	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+03	3.928E-05	6.531E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+04	2.517E-05	2.360E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+04	1.606E-05	8.119E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	1.019E-05	2.614E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	6.470E-06	7.563E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	4.118E-06	1.941E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	2.630E-06	4.224E-10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	1.689E-06	7.469E-11	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	1.091E-06	1.021E-11	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 20.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 800.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: D
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	7.387E-03	6.947E-03	5.968E-03	5.007E-03	4.316E-03	3.917E-03	3.789E-03
1.58E+01	8.087E-03	7.255E-03	5.645E-03	4.330E-03	3.518E-03	3.096E-03	2.965E-03
2.51E+01	8.813E-03	7.244E-03	4.837E-03	3.328E-03	2.546E-03	2.176E-03	2.065E-03
3.98E+01	9.225E-03	6.650E-03	3.610E-03	2.227E-03	1.617E-03	1.348E-03	1.270E-03
6.31E+01	9.579E-03	5.534E-03	2.328E-03	1.304E-03	9.049E-04	7.363E-04	6.889E-04
1.00E+02	9.210E-03	4.113E-03	1.307E-03	6.681E-04	4.407E-04	3.498E-04	3.247E-04
1.58E+02	7.535E-03	2.624E-03	6.333E-04	2.893E-04	1.793E-04	1.380E-04	1.270E-04
2.51E+02	5.361E-03	1.447E-03	2.521E-04	9.816E-05	5.609E-05	4.163E-05	3.793E-05
3.98E+02	3.470E-03	6.910E-04	7.520E-05	2.307E-05	1.186E-05	8.439E-06	7.604E-06
6.31E+02	2.080E-03	2.829E-04	1.451E-05	3.057E-06	1.365E-06	9.268E-07	8.251E-07
1.00E+03	1.171E-03	9.799E-05	1.424E-06	1.597E-07	5.893E-08	3.799E-08	3.344E-08
1.58E+03	6.202E-04	2.860E-05	5.087E-08	1.862E-09	5.196E-10	3.165E-10	2.764E-10
2.51E+03	3.051E-04	6.923E-06	4.279E-10	1.049E-12	1.798E-13	1.026E-13	8.864E-14
3.98E+03	1.422E-04	1.500E-06	6.504E-14	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+03	6.375E-05	2.799E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+04	2.767E-05	4.842E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+04	1.636E-05	9.943E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	1.046E-05	1.888E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	6.734E-06	2.810E-10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	4.363E-06	3.065E-11	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	2.849E-06	2.232E-12	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	1.871E-06	9.938E-14	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	1.238E-06	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Sektorgemittelte Kurzzeitausbreitungsfaktoren fuer 30.0 Grad Sektoren

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 20.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 0.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: E
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	7.271E-03	6.855E-03	5.917E-03	4.975E-03	4.292E-03	3.893E-03	3.766E-03
1.58E+01	7.917E-03	7.150E-03	5.613E-03	4.317E-03	3.506E-03	3.081E-03	2.950E-03
2.51E+01	8.524E-03	7.133E-03	4.840E-03	3.332E-03	2.543E-03	2.168E-03	2.057E-03
3.98E+01	8.811E-03	6.544E-03	3.644E-03	2.237E-03	1.617E-03	1.345E-03	1.266E-03
6.31E+01	8.697E-03	5.446E-03	2.368E-03	1.313E-03	9.058E-04	7.350E-04	6.871E-04
1.00E+02	8.319E-03	4.098E-03	1.335E-03	6.725E-04	4.411E-04	3.492E-04	3.238E-04
1.58E+02	7.302E-03	2.723E-03	6.463E-04	2.908E-04	1.793E-04	1.377E-04	1.267E-04
2.51E+02	5.688E-03	1.572E-03	2.561E-04	9.840E-05	5.601E-05	4.150E-05	3.779E-05
3.98E+02	3.982E-03	7.806E-04	7.584E-05	2.304E-05	1.182E-05	8.408E-06	7.572E-06
6.31E+02	2.566E-03	3.304E-04	1.452E-05	3.046E-06	1.361E-06	9.231E-07	8.219E-07
1.00E+03	1.550E-03	1.187E-04	1.413E-06	1.590E-07	5.873E-08	3.785E-08	3.331E-08
1.58E+03	8.846E-04	3.633E-05	5.015E-08	1.847E-09	5.176E-10	3.155E-10	2.754E-10
2.51E+03	4.789E-04	9.419E-06	2.311E-10	1.035E-12	1.792E-13	1.023E-13	8.830E-14
3.98E+03	2.463E-04	2.087E-06	5.544E-14	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+03	1.215E-04	3.976E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+04	5.808E-05	6.393E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+04	2.716E-05	8.203E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	1.256E-05	7.771E-10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	5.797E-06	4.904E-11	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	2.680E-06	1.857E-12	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	1.246E-06	3.668E-14	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	5.834E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	2.762E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 20.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 0.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: F
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	6.850E-03	6.514E-03	5.694E-03	4.826E-03	4.169E-03	3.781E-03	3.656E-03
1.58E+01	7.368E-03	6.779E-03	5.456E-03	4.236E-03	3.433E-03	3.007E-03	2.876E-03
2.51E+01	7.772E-03	6.739E-03	4.804E-03	3.323E-03	2.512E-03	2.128E-03	2.014E-03
3.98E+01	7.781E-03	6.247E-03	3.737E-03	2.266E-03	1.610E-03	1.326E-03	1.245E-03
6.31E+01	7.340E-03	5.296E-03	2.516E-03	1.343E-03	9.061E-04	7.273E-04	6.777E-04
1.00E+02	6.598E-03	4.072E-03	1.458E-03	6.916E-04	4.427E-04	3.465E-04	3.202E-04
1.58E+02	5.673E-03	2.849E-03	7.169E-04	3.002E-04	1.805E-04	1.369E-04	1.257E-04
2.51E+02	4.729E-03	1.801E-03	2.874E-04	1.017E-04	5.653E-05	4.135E-05	3.751E-05
3.98E+02	3.736E-03	1.022E-03	8.638E-05	2.403E-05	1.197E-05	8.391E-06	7.526E-06
6.31E+02	2.743E-03	5.075E-04	1.702E-05	3.221E-06	1.383E-06	9.229E-07	8.180E-07
1.00E+03	1.871E-03	2.204E-04	1.796E-06	1.725E-07	6.006E-08	3.790E-08	3.317E-08
1.58E+03	1.145E-03	8.457E-05	7.541E-08	2.099E-09	5.334E-10	3.164E-10	2.744E-10
2.51E+03	7.259E-04	2.858E-05	8.506E-10	1.345E-12	1.878E-13	1.028E-13	8.807E-14
3.98E+03	4.219E-04	8.399E-06	1.551E-13	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+03	2.359E-04	2.147E-06	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+04	1.282E-04	4.606E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+04	6.778E-05	7.965E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	3.512E-05	1.016E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	1.801E-05	8.513E-10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	9.114E-06	4.052E-11	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	4.596E-06	9.275E-13	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	2.317E-06	8.135E-15	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	1.174E-06	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Sektorgemittelte Kurzzeitausbreitungsfaktoren fuer 30.0 Grad Sektoren

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 50.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 1100.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: A
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	1.905E-03	1.873E-03	1.764E-03	1.632E-03	1.512E-03	1.434E-03	1.408E-03
1.58E+01	2.048E-03	1.951E-03	1.777E-03	1.583E-03	1.413E-03	1.305E-03	1.281E-03
2.51E+01	2.199E-03	2.072E-03	1.781E-03	1.473E-03	1.243E-03	1.110E-03	1.073E-03
3.98E+01	2.425E-03	2.196E-03	1.714E-03	1.270E-03	9.892E-04	8.453E-04	8.041E-04
6.31E+01	2.797E-03	2.373E-03	1.520E-03	9.578E-04	6.774E-04	5.519E-04	5.177E-04
1.00E+02	2.867E-03	2.353E-03	1.196E-03	6.017E-04	3.843E-04	2.990E-04	2.760E-04
1.58E+02	2.150E-03	1.771E-03	7.930E-04	3.045E-04	1.750E-04	1.298E-04	1.180E-04
2.51E+02	1.291E-03	1.038E-03	4.059E-04	1.193E-04	6.018E-05	4.208E-05	3.763E-05
3.98E+02	6.677E-04	5.133E-04	1.620E-04	3.303E-05	1.376E-05	8.931E-06	7.837E-06
6.31E+02	3.066E-04	2.206E-04	5.080E-05	5.537E-06	1.701E-06	1.000E-06	8.586E-07
1.00E+03	1.275E-04	8.454E-05	1.272E-05	4.475E-07	8.088E-08	4.167E-08	3.493E-08
1.58E+03	5.415E-05	3.127E-05	2.751E-06	1.384E-08	8.493E-10	3.572E-10	2.915E-10
2.51E+03	3.604E-05	1.713E-05	6.702E-07	1.368E-10	4.809E-13	1.205E-13	9.478E-14
3.98E+03	2.443E-05	1.030E-05	2.313E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+03	1.647E-05	6.113E-06	7.404E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+04	1.107E-05	3.584E-06	2.361E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+04	7.418E-06	2.077E-06	7.106E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	4.958E-06	1.188E-06	1.884E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	3.304E-06	6.699E-07	4.387E-10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	2.196E-06	3.719E-07	8.830E-11	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	1.453E-06	2.029E-07	1.498E-11	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	9.586E-07	1.085E-07	2.103E-12	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	6.297E-07	5.669E-08	2.227E-13	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 50.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 1100.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: B
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	2.108E-03	2.059E-03	1.936E-03	1.789E-03	1.663E-03	1.589E-03	1.549E-03
1.58E+01	2.254E-03	2.169E-03	1.964E-03	1.731E-03	1.550E-03	1.435E-03	1.391E-03
2.51E+01	2.459E-03	2.307E-03	1.951E-03	1.601E-03	1.351E-03	1.212E-03	1.163E-03
3.98E+01	2.711E-03	2.412E-03	1.831E-03	1.353E-03	1.062E-03	9.158E-04	8.695E-04
6.31E+01	2.947E-03	2.417E-03	1.538E-03	9.884E-04	7.162E-04	5.927E-04	5.564E-04
1.00E+02	3.240E-03	2.278E-03	1.094E-03	5.971E-04	3.992E-04	3.177E-04	2.954E-04
1.58E+02	3.319E-03	1.925E-03	6.369E-04	2.894E-04	1.781E-04	1.362E-04	1.251E-04
2.51E+02	2.596E-03	1.307E-03	2.901E-04	1.066E-04	5.944E-05	4.351E-05	3.945E-05
3.98E+02	1.640E-03	7.039E-04	9.846E-05	2.683E-05	1.306E-05	9.071E-06	8.117E-06
6.31E+02	8.978E-04	3.166E-04	2.270E-05	3.775E-06	1.522E-06	9.954E-07	8.779E-07
1.00E+03	4.408E-04	1.228E-04	3.142E-06	2.180E-07	6.649E-08	4.057E-08	3.527E-08
1.58E+03	1.989E-04	4.243E-05	2.361E-07	3.190E-09	6.048E-10	3.392E-10	2.909E-10
2.51E+03	8.473E-05	1.368E-05	9.266E-09	3.776E-12	2.235E-13	1.107E-13	9.380E-14
3.98E+03	3.812E-05	4.482E-06	3.227E-10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+03	2.513E-05	2.253E-06	6.628E-12	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+04	1.649E-05	1.115E-06	7.489E-13	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+04	1.075E-05	5.339E-07	3.043E-14	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	6.972E-06	2.474E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	4.496E-06	1.100E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	2.885E-06	4.662E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	1.843E-06	1.874E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	1.173E-06	7.108E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	7.455E-07	2.523E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Sektorgemittelte Kurzzeitausbreitungsfaktoren fuer 30.0 Grad Sektoren

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 50.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 800.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: C
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	2.184E-03	2.132E-03	2.000E-03	1.845E-03	1.725E-03	1.624E-03	1.594E-03
1.58E+01	2.342E-03	2.248E-03	2.024E-03	1.781E-03	1.593E-03	1.468E-03	1.430E-03
2.51E+01	2.564E-03	2.389E-03	2.006E-03	1.639E-03	1.387E-03	1.239E-03	1.193E-03
3.98E+01	2.841E-03	2.502E-03	1.867E-03	1.375E-03	1.083E-03	9.345E-04	8.894E-04
6.31E+01	3.108E-03	2.473E-03	1.538E-03	9.926E-04	7.254E-04	6.036E-04	5.677E-04
1.00E+02	3.344E-03	2.223E-03	1.059E-03	5.916E-04	4.018E-04	3.226E-04	3.003E-04
1.58E+02	3.582E-03	1.768E-03	5.894E-04	2.828E-04	1.780E-04	1.378E-04	1.271E-04
2.51E+02	3.227E-03	1.185E-03	2.564E-04	1.024E-04	5.893E-05	4.381E-05	3.992E-05
3.98E+02	2.323E-03	6.370E-04	8.110E-05	2.496E-05	1.279E-05	9.087E-06	8.181E-06
6.31E+02	1.422E-03	2.799E-04	1.636E-05	3.338E-06	1.469E-06	9.922E-07	8.823E-07
1.00E+03	7.734E-04	1.028E-04	1.713E-06	1.767E-07	6.291E-08	4.021E-08	3.534E-08
1.58E+03	3.848E-04	3.206E-05	7.193E-08	2.135E-09	5.565E-10	3.345E-10	2.913E-10
2.51E+03	1.776E-04	8.897E-06	8.770E-10	1.362E-12	1.946E-13	1.087E-13	9.357E-14
3.98E+03	7.594E-05	2.261E-06	3.024E-13	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+03	3.922E-05	6.521E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+04	2.513E-05	2.356E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+04	1.604E-05	8.108E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	1.017E-05	2.610E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	6.460E-06	7.554E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	4.112E-06	1.938E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	2.626E-06	4.218E-10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	1.686E-06	7.460E-11	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	1.089E-06	1.019E-11	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 50.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 800.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: D
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	2.237E-03	2.161E-03	2.015E-03	1.865E-03	1.730E-03	1.635E-03	1.606E-03
1.58E+01	2.394E-03	2.265E-03	2.038E-03	1.793E-03	1.604E-03	1.479E-03	1.439E-03
2.51E+01	2.594E-03	2.405E-03	2.018E-03	1.649E-03	1.395E-03	1.247E-03	1.201E-03
3.98E+01	2.856E-03	2.514E-03	1.875E-03	1.381E-03	1.090E-03	9.401E-04	8.950E-04
6.31E+01	3.120E-03	2.471E-03	1.537E-03	9.949E-04	7.286E-04	6.069E-04	5.712E-04
1.00E+02	3.279E-03	2.182E-03	1.052E-03	5.915E-04	4.031E-04	3.242E-04	3.019E-04
1.58E+02	3.354E-03	1.678E-03	5.812E-04	2.818E-04	1.783E-04	1.383E-04	1.276E-04
2.51E+02	3.238E-03	1.109E-03	2.503E-04	1.016E-04	5.887E-05	4.392E-05	4.006E-05
3.98E+02	2.650E-03	6.022E-04	7.762E-05	2.452E-05	1.274E-05	9.097E-06	8.202E-06
6.31E+02	1.823E-03	2.630E-04	1.499E-05	3.228E-06	1.455E-06	9.911E-07	8.831E-07
1.00E+03	1.093E-03	9.397E-05	1.445E-06	1.659E-07	6.193E-08	4.009E-08	3.533E-08
1.58E+03	5.968E-04	2.764E-05	5.113E-08	1.920E-09	5.438E-10	3.330E-10	2.911E-10
2.51E+03	3.000E-04	6.828E-06	4.286E-10	1.070E-12	1.882E-13	1.081E-13	9.342E-14
3.98E+03	1.410E-04	1.491E-06	6.456E-14	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+03	6.350E-05	2.788E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+04	2.762E-05	4.833E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+04	1.633E-05	9.925E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	1.044E-05	1.884E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	6.723E-06	2.806E-10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	4.358E-06	3.060E-11	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	2.844E-06	2.229E-12	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	1.868E-06	9.921E-14	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	1.236E-06	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Sektorgemittelte Kurzzeitausbreitungsfaktoren fuer 30.0 Grad Sektoren

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 50.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 0.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: E
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	2.220E-03	2.141E-03	2.001E-03	1.855E-03	1.721E-03	1.628E-03	1.598E-03
1.58E+01	2.354E-03	2.245E-03	2.025E-03	1.783E-03	1.597E-03	1.473E-03	1.434E-03
2.51E+01	2.551E-03	2.381E-03	2.006E-03	1.643E-03	1.390E-03	1.243E-03	1.197E-03
3.98E+01	2.805E-03	2.484E-03	1.868E-03	1.380E-03	1.088E-03	9.385E-04	8.932E-04
6.31E+01	3.031E-03	2.439E-03	1.539E-03	9.973E-04	7.292E-04	6.066E-04	5.705E-04
1.00E+02	3.118E-03	2.153E-03	1.061E-03	5.950E-04	4.040E-04	3.243E-04	3.017E-04
1.58E+02	3.020E-03	1.654E-03	5.905E-04	2.841E-04	1.789E-04	1.384E-04	1.277E-04
2.51E+02	2.808E-03	1.094E-03	2.553E-04	1.023E-04	5.909E-05	4.397E-05	4.007E-05
3.98E+02	2.460E-03	6.113E-04	7.941E-05	2.476E-05	1.278E-05	9.107E-06	8.204E-06
6.31E+02	1.927E-03	2.858E-04	1.529E-05	3.256E-06	1.460E-06	9.917E-07	8.831E-07
1.00E+03	1.318E-03	1.084E-04	1.464E-06	1.671E-07	6.209E-08	4.010E-08	3.531E-08
1.58E+03	8.093E-04	3.421E-05	5.117E-08	1.923E-09	5.450E-10	3.331E-10	2.909E-10
2.51E+03	4.556E-04	9.090E-06	4.136E-10	1.071E-12	1.889E-13	1.081E-13	9.337E-14
3.98E+03	2.396E-04	2.069E-06	5.512E-14	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+03	1.197E-04	3.919E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+04	5.760E-05	6.341E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+04	2.704E-05	8.167E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	1.253E-05	7.753E-10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	5.790E-06	4.899E-11	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	2.679E-06	1.856E-12	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	1.245E-06	3.667E-14	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	5.832E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	2.760E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 50.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 0.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: F
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	2.107E-03	2.060E-03	1.941E-03	1.797E-03	1.687E-03	1.587E-03	1.559E-03
1.58E+01	2.248E-03	2.166E-03	1.965E-03	1.738E-03	1.561E-03	1.439E-03	1.401E-03
2.51E+01	2.438E-03	2.292E-03	1.954E-03	1.611E-03	1.365E-03	1.219E-03	1.173E-03
3.98E+01	2.654E-03	2.387E-03	1.837E-03	1.366E-03	1.074E-03	9.257E-04	8.788E-04
6.31E+01	2.815E-03	2.349E-03	1.542E-03	1.001E-03	7.259E-04	6.001E-04	5.631E-04
1.00E+02	2.826E-03	2.100E-03	1.094E-03	6.053E-04	4.047E-04	3.219E-04	2.992E-04
1.58E+02	2.641E-03	1.656E-03	6.286E-04	2.921E-04	1.801E-04	1.379E-04	1.267E-04
2.51E+02	2.310E-03	1.134E-03	2.807E-04	1.062E-04	5.978E-05	4.391E-05	3.986E-05
3.98E+02	1.905E-03	6.688E-04	9.024E-05	2.600E-05	1.299E-05	9.113E-06	8.174E-06
6.31E+02	1.507E-03	3.430E-04	1.834E-05	3.481E-06	1.491E-06	9.941E-07	8.807E-07
1.00E+03	1.159E-03	1.561E-04	1.923E-06	1.834E-07	6.380E-08	4.026E-08	3.524E-08
1.58E+03	8.613E-04	6.432E-05	7.966E-08	2.213E-09	5.643E-10	3.349E-10	2.905E-10
2.51E+03	5.837E-04	2.362E-05	8.817E-10	1.421E-12	1.989E-13	1.090E-13	9.331E-14
3.98E+03	3.677E-04	7.406E-06	1.564E-13	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+03	2.166E-04	1.973E-06	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+04	1.215E-04	4.367E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+04	6.558E-05	7.703E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	3.444E-05	9.955E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	1.780E-05	8.411E-10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	9.049E-06	4.023E-11	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	4.579E-06	9.240E-13	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	2.311E-06	8.117E-15	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	1.173E-06	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Sektorgemittelte Kurzzeitausbreitungsfaktoren fuer 30.0 Grad Sektoren

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 100.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 1100.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: A
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	7.141E-04	7.046E-04	6.794E-04	6.507E-04	6.264E-04	6.076E-04	6.009E-04
1.58E+01	7.449E-04	7.264E-04	6.889E-04	6.431E-04	6.029E-04	5.771E-04	5.674E-04
2.51E+01	7.859E-04	7.596E-04	6.977E-04	6.257E-04	5.653E-04	5.286E-04	5.154E-04
3.98E+01	8.433E-04	7.998E-04	6.971E-04	5.871E-04	5.027E-04	4.540E-04	4.381E-04
6.31E+01	9.082E-04	8.332E-04	6.677E-04	5.102E-04	4.050E-04	3.496E-04	3.326E-04
1.00E+02	9.487E-04	8.299E-04	5.848E-04	3.857E-04	2.765E-04	2.261E-04	2.116E-04
1.58E+02	9.561E-04	7.908E-04	4.495E-04	2.369E-04	1.484E-04	1.139E-04	1.047E-04
2.51E+02	8.563E-04	7.180E-04	3.101E-04	1.110E-04	5.771E-05	4.094E-05	3.686E-05
3.98E+02	5.057E-04	4.806E-04	2.105E-04	3.837E-05	1.446E-05	9.186E-06	8.067E-06
6.31E+02	2.139E-04	2.316E-04	1.288E-04	9.946E-06	1.967E-06	1.049E-06	8.930E-07
1.00E+03	7.408E-05	8.964E-05	6.847E-05	2.257E-06	1.164E-07	4.440E-08	3.622E-08
1.58E+03	2.283E-05	3.018E-05	3.213E-05	5.801E-07	2.363E-09	3.967E-10	3.033E-10
2.51E+03	9.226E-06	1.064E-05	1.361E-05	2.010E-07	1.429E-11	1.499E-13	9.926E-14
3.98E+03	5.066E-06	5.822E-06	6.186E-06	1.028E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+03	2.788E-06	3.250E-06	3.658E-06	6.427E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+04	1.535E-06	1.809E-06	2.317E-06	5.635E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+04	8.454E-07	1.004E-06	1.439E-06	5.769E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	4.655E-07	5.564E-07	8.760E-07	5.897E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	2.563E-07	3.078E-07	5.238E-07	5.727E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	1.411E-07	1.701E-07	3.082E-07	5.178E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	7.772E-08	9.396E-08	1.789E-07	4.309E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	4.279E-08	5.183E-08	1.027E-07	3.312E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	2.356E-08	2.858E-08	5.840E-08	2.383E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 100.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 1100.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: B
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	7.818E-04	7.717E-04	7.453E-04	7.119E-04	6.812E-04	6.602E-04	6.528E-04
1.58E+01	8.177E-04	8.003E-04	7.565E-04	7.034E-04	6.567E-04	6.260E-04	6.153E-04
2.51E+01	8.715E-04	8.411E-04	7.671E-04	6.835E-04	6.148E-04	5.720E-04	5.576E-04
3.98E+01	9.473E-04	8.923E-04	7.667E-04	6.389E-04	5.445E-04	4.900E-04	4.724E-04
6.31E+01	1.042E-03	9.378E-04	7.302E-04	5.503E-04	4.356E-04	3.757E-04	3.574E-04
1.00E+02	1.129E-03	9.443E-04	6.252E-04	4.074E-04	2.940E-04	2.417E-04	2.265E-04
1.58E+02	1.167E-03	8.685E-04	4.462E-04	2.390E-04	1.549E-04	1.209E-04	1.117E-04
2.51E+02	1.180E-03	7.296E-04	2.489E-04	1.016E-04	5.822E-05	4.303E-05	3.913E-05
3.98E+02	1.097E-03	5.634E-04	1.041E-04	2.838E-05	1.368E-05	9.511E-06	8.512E-06
6.31E+02	7.435E-04	3.594E-04	3.318E-05	4.355E-06	1.639E-06	1.060E-06	9.348E-07
1.00E+03	3.888E-04	1.848E-04	9.209E-06	3.002E-07	7.309E-08	4.329E-08	3.755E-08
1.58E+03	1.730E-04	8.264E-05	2.727E-06	7.645E-09	6.986E-10	3.645E-10	3.113E-10
2.51E+03	6.944E-05	3.397E-05	9.299E-07	7.229E-11	2.859E-13	1.201E-13	1.008E-13
3.98E+03	2.649E-05	1.315E-05	3.442E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+03	1.455E-05	6.562E-06	1.308E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+04	9.097E-06	4.162E-06	7.985E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+04	5.685E-06	2.643E-06	5.543E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	3.552E-06	1.678E-06	3.811E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	2.219E-06	1.065E-06	2.600E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	1.386E-06	6.759E-07	1.767E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	8.658E-07	4.289E-07	1.198E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	5.407E-07	2.720E-07	8.109E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	3.377E-07	1.725E-07	5.478E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Sektorgemittelte Kurzzeitausbreitungsfaktoren fuer 30.0 Grad Sektoren

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 100.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 800.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: C
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	8.063E-04	7.956E-04	7.676E-04	7.324E-04	7.003E-04	6.783E-04	6.706E-04
1.58E+01	8.443E-04	8.257E-04	7.793E-04	7.234E-04	6.745E-04	6.425E-04	6.315E-04
2.51E+01	9.024E-04	8.693E-04	7.904E-04	7.022E-04	6.307E-04	5.863E-04	5.715E-04
3.98E+01	9.855E-04	9.246E-04	7.892E-04	6.549E-04	5.573E-04	5.013E-04	4.833E-04
6.31E+01	1.093E-03	9.763E-04	7.494E-04	5.613E-04	4.441E-04	3.835E-04	3.649E-04
1.00E+02	1.204E-03	9.825E-04	6.334E-04	4.114E-04	2.982E-04	2.460E-04	2.309E-04
1.58E+02	1.279E-03	8.898E-04	4.371E-04	2.371E-04	1.559E-04	1.227E-04	1.136E-04
2.51E+02	1.310E-03	6.910E-04	2.255E-04	9.796E-05	5.795E-05	4.349E-05	3.972E-05
3.98E+02	1.327E-03	4.555E-04	7.984E-05	2.578E-05	1.340E-05	9.562E-06	8.622E-06
6.31E+02	1.129E-03	2.509E-04	1.694E-05	3.524E-06	1.564E-06	1.060E-06	9.436E-07
1.00E+03	7.546E-04	1.101E-04	1.839E-06	1.861E-07	6.693E-08	4.297E-08	3.781E-08
1.58E+03	4.201E-04	4.214E-05	8.716E-08	2.291E-09	5.941E-10	3.590E-10	3.129E-10
2.51E+03	2.072E-04	1.453E-05	1.502E-09	1.541E-12	2.090E-13	1.172E-13	1.010E-13
3.98E+03	9.273E-05	4.724E-06	5.493E-12	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+03	3.989E-05	1.478E-06	2.409E-14	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+04	2.413E-05	6.303E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+04	1.545E-05	2.935E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	9.855E-06	1.329E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	6.273E-06	5.857E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	3.985E-06	2.504E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	2.527E-06	1.032E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	1.602E-06	4.080E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	1.015E-06	1.536E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 100.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 800.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: D
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	8.127E-04	8.017E-04	7.734E-04	7.378E-04	7.053E-04	6.832E-04	6.754E-04
1.58E+01	8.513E-04	8.326E-04	7.853E-04	7.286E-04	6.793E-04	6.470E-04	6.358E-04
2.51E+01	9.100E-04	8.765E-04	7.963E-04	7.070E-04	6.349E-04	5.902E-04	5.753E-04
3.98E+01	9.946E-04	9.322E-04	7.949E-04	6.591E-04	5.607E-04	5.044E-04	4.863E-04
6.31E+01	1.104E-03	9.842E-04	7.537E-04	5.641E-04	4.465E-04	3.857E-04	3.670E-04
1.00E+02	1.217E-03	9.884E-04	6.347E-04	4.125E-04	2.994E-04	2.472E-04	2.322E-04
1.58E+02	1.290E-03	8.875E-04	4.347E-04	2.368E-04	1.562E-04	1.232E-04	1.142E-04
2.51E+02	1.285E-03	6.712E-04	2.221E-04	9.744E-05	5.796E-05	4.363E-05	3.989E-05
3.98E+02	1.225E-03	4.122E-04	7.664E-05	2.541E-05	1.336E-05	9.583E-06	8.650E-06
6.31E+02	1.107E-03	2.050E-04	1.544E-05	3.417E-06	1.553E-06	1.061E-06	9.464E-07
1.00E+03	8.747E-04	8.252E-05	1.489E-06	1.751E-07	6.607E-08	4.294E-08	3.789E-08
1.58E+03	5.796E-04	2.781E-05	5.250E-08	2.016E-09	5.817E-10	3.582E-10	3.133E-10
2.51E+03	3.346E-04	8.199E-06	4.425E-10	1.121E-12	2.023E-13	1.169E-13	1.011E-13
3.98E+03	1.746E-04	2.215E-06	7.259E-14	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+03	8.538E-05	5.353E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+04	3.943E-05	1.230E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+04	1.778E-05	2.592E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	1.025E-05	6.212E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	6.532E-06	1.492E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	4.184E-06	2.997E-10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	2.692E-06	4.913E-11	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	1.742E-06	6.234E-12	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	1.132E-06	5.889E-13	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Sektorgemittelte Kurzzeitausbreitungsfaktoren fuer 30.0 Grad Sektoren

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 100.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 0.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: E
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	8.089E-04	7.983E-04	7.702E-04	7.350E-04	7.028E-04	6.808E-04	6.731E-04
1.58E+01	8.472E-04	8.288E-04	7.820E-04	7.259E-04	6.770E-04	6.449E-04	6.338E-04
2.51E+01	9.051E-04	8.718E-04	7.928E-04	7.045E-04	6.329E-04	5.885E-04	5.736E-04
3.98E+01	9.873E-04	9.265E-04	7.914E-04	6.570E-04	5.592E-04	5.032E-04	4.852E-04
6.31E+01	1.092E-03	9.764E-04	7.508E-04	5.629E-04	4.457E-04	3.849E-04	3.663E-04
1.00E+02	1.195E-03	9.786E-04	6.338E-04	4.126E-04	2.992E-04	2.469E-04	2.318E-04
1.58E+02	1.246E-03	8.783E-04	4.372E-04	2.378E-04	1.564E-04	1.232E-04	1.140E-04
2.51E+02	1.203E-03	6.695E-04	2.268E-04	9.860E-05	5.815E-05	4.363E-05	3.986E-05
3.98E+02	1.066E-03	4.224E-04	8.055E-05	2.591E-05	1.343E-05	9.590E-06	8.646E-06
6.31E+02	8.826E-04	2.232E-04	1.719E-05	3.536E-06	1.566E-06	1.062E-06	9.459E-07
1.00E+03	6.999E-04	1.064E-04	1.874E-06	1.862E-07	6.692E-08	4.302E-08	3.787E-08
1.58E+03	5.255E-04	5.012E-05	8.836E-08	2.265E-09	5.930E-10	3.591E-10	3.135E-10
2.51E+03	3.633E-04	2.407E-05	1.545E-09	1.504E-12	2.083E-13	1.172E-13	1.011E-13
3.98E+03	2.296E-04	1.129E-05	1.360E-11	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+03	1.348E-04	5.087E-06	6.154E-14	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+04	7.476E-05	2.164E-06	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+04	3.941E-05	8.713E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	1.997E-05	3.341E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	9.870E-06	1.216E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	4.785E-06	4.254E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	2.289E-06	1.432E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	1.085E-06	4.650E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	5.121E-07	1.454E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 100.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 0.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: F
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	7.887E-04	7.785E-04	7.520E-04	7.184E-04	6.876E-04	6.664E-04	6.590E-04
1.58E+01	8.248E-04	8.072E-04	7.631E-04	7.097E-04	6.628E-04	6.319E-04	6.212E-04
2.51E+01	8.784E-04	8.477E-04	7.735E-04	6.894E-04	6.205E-04	5.774E-04	5.630E-04
3.98E+01	9.534E-04	8.979E-04	7.722E-04	6.441E-04	5.494E-04	4.946E-04	4.769E-04
6.31E+01	1.044E-03	9.417E-04	7.342E-04	5.543E-04	4.393E-04	3.793E-04	3.608E-04
1.00E+02	1.119E-03	9.390E-04	6.260E-04	4.098E-04	2.964E-04	2.439E-04	2.287E-04
1.58E+02	1.124E-03	8.451E-04	4.444E-04	2.401E-04	1.560E-04	1.220E-04	1.127E-04
2.51E+02	1.016E-03	6.629E-04	2.455E-04	1.025E-04	5.859E-05	4.337E-05	3.946E-05
3.98E+02	8.158E-04	4.550E-04	1.021E-04	2.842E-05	1.374E-05	9.567E-06	8.571E-06
6.31E+02	5.891E-04	2.863E-04	3.170E-05	4.326E-06	1.638E-06	1.065E-06	9.397E-07
1.00E+03	3.955E-04	1.774E-04	8.723E-06	2.925E-07	7.268E-08	4.334E-08	3.769E-08
1.58E+03	2.563E-04	1.119E-04	2.974E-06	7.229E-09	6.867E-10	3.642E-10	3.125E-10
2.51E+03	1.654E-04	7.303E-05	1.462E-06	6.960E-11	2.747E-13	1.197E-13	1.009E-13
3.98E+03	1.082E-04	4.855E-05	9.357E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+03	7.163E-05	3.327E-05	6.871E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+04	4.690E-05	2.262E-05	5.262E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+04	2.979E-05	1.497E-05	4.114E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	1.822E-05	9.562E-06	3.123E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	1.067E-05	5.842E-06	2.256E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	6.042E-06	3.444E-06	1.553E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	3.355E-06	1.983E-06	1.028E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	1.783E-06	1.096E-06	6.632E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	9.372E-07	5.963E-07	4.076E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Sektorgemittelte Kurzzeitausbreitungsfaktoren fuer 30.0 Grad Sektoren

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 150.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 1100.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: A
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	3.816E-04	3.780E-04	3.685E-04	3.562E-04	3.446E-04	3.365E-04	3.337E-04
1.58E+01	3.951E-04	3.892E-04	3.736E-04	3.540E-04	3.361E-04	3.240E-04	3.197E-04
2.51E+01	4.160E-04	4.058E-04	3.798E-04	3.487E-04	3.217E-04	3.041E-04	2.980E-04
3.98E+01	4.474E-04	4.284E-04	3.842E-04	3.361E-04	2.970E-04	2.729E-04	2.648E-04
6.31E+01	4.907E-04	4.563E-04	3.824E-04	3.088E-04	2.561E-04	2.262E-04	2.167E-04
1.00E+02	5.455E-04	4.836E-04	3.598E-04	2.565E-04	1.942E-04	1.630E-04	1.536E-04
1.58E+02	6.167E-04	4.994E-04	2.990E-04	1.758E-04	1.179E-04	9.311E-05	8.618E-05
2.51E+02	7.534E-04	5.233E-04	2.032E-04	8.814E-05	5.062E-05	3.733E-05	3.390E-05
3.98E+02	6.143E-04	4.282E-04	1.099E-04	2.847E-05	1.318E-05	8.988E-06	8.005E-06
6.31E+02	3.069E-04	2.253E-04	4.688E-05	5.164E-06	1.709E-06	1.058E-06	9.232E-07
1.00E+03	1.165E-04	8.996E-05	1.628E-05	4.771E-07	8.269E-08	4.475E-08	3.819E-08
1.58E+03	4.237E-05	3.220E-05	5.582E-06	2.333E-08	9.047E-10	3.884E-10	3.232E-10
2.51E+03	2.556E-05	1.802E-05	2.212E-06	7.762E-10	5.806E-13	1.322E-13	1.062E-13
3.98E+03	1.582E-05	1.138E-05	1.408E-06	1.318E-13	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+03	9.774E-06	7.174E-06	9.375E-07	6.685E-14	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+04	6.033E-06	4.514E-06	6.316E-07	3.015E-14	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+04	3.725E-06	2.838E-06	4.229E-07	1.798E-14	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	2.299E-06	1.783E-06	2.861E-07	1.395E-14	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	1.419E-06	1.119E-06	1.930E-07	1.485E-14	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	8.756E-07	7.024E-07	1.296E-07	1.804E-14	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	5.405E-07	4.403E-07	8.675E-08	2.251E-14	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	3.335E-07	2.758E-07	5.789E-08	2.778E-14	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	2.058E-07	1.727E-07	3.853E-08	3.344E-14	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 150.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 1100.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: B
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	4.044E-04	4.005E-04	3.902E-04	3.769E-04	3.645E-04	3.559E-04	3.528E-04
1.58E+01	4.191E-04	4.125E-04	3.955E-04	3.743E-04	3.553E-04	3.424E-04	3.378E-04
2.51E+01	4.417E-04	4.303E-04	4.019E-04	3.684E-04	3.396E-04	3.209E-04	3.145E-04
3.98E+01	4.756E-04	4.552E-04	4.070E-04	3.545E-04	3.129E-04	2.875E-04	2.791E-04
6.31E+01	5.235E-04	4.855E-04	4.033E-04	3.243E-04	2.687E-04	2.377E-04	2.278E-04
1.00E+02	5.839E-04	5.106E-04	3.740E-04	2.661E-04	2.023E-04	1.706E-04	1.610E-04
1.58E+02	6.452E-04	5.065E-04	2.988E-04	1.779E-04	1.214E-04	9.689E-05	9.004E-05
2.51E+02	7.040E-04	4.505E-04	1.830E-04	8.496E-05	5.114E-05	3.856E-05	3.526E-05
3.98E+02	8.202E-04	3.554E-04	7.640E-05	2.505E-05	1.294E-05	9.197E-06	8.280E-06
6.31E+02	6.945E-04	2.363E-04	1.948E-05	3.741E-06	1.596E-06	1.069E-06	9.490E-07
1.00E+03	3.943E-04	1.119E-04	2.917E-06	2.189E-07	7.096E-08	4.451E-08	3.899E-08
1.58E+03	1.761E-04	4.353E-05	2.822E-07	3.298E-09	6.551E-10	3.788E-10	3.282E-10
2.51E+03	6.908E-05	1.534E-05	2.439E-08	4.990E-12	2.409E-13	1.252E-13	1.070E-13
3.98E+03	3.332E-05	6.301E-06	2.778E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+03	2.147E-05	3.774E-06	7.234E-10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+04	1.378E-05	2.264E-06	2.715E-10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+04	8.831E-06	1.364E-06	1.078E-10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	5.658E-06	8.217E-07	4.361E-11	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	3.622E-06	4.944E-07	1.718E-11	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	2.318E-06	2.971E-07	6.730E-12	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	1.483E-06	1.782E-07	2.607E-12	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	9.480E-07	1.067E-07	9.804E-13	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	6.058E-07	6.371E-08	3.487E-13	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Sektorgemittelte Kurzzeitausbreitungsfaktoren fuer 30.0 Grad Sektoren

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 150.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 800.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: C
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	4.147E-04	4.106E-04	3.998E-04	3.860E-04	3.731E-04	3.642E-04	3.611E-04
1.58E+01	4.300E-04	4.230E-04	4.053E-04	3.833E-04	3.636E-04	3.503E-04	3.456E-04
2.51E+01	4.536E-04	4.415E-04	4.117E-04	3.770E-04	3.473E-04	3.281E-04	3.216E-04
3.98E+01	4.892E-04	4.673E-04	4.167E-04	3.623E-04	3.195E-04	2.936E-04	2.850E-04
6.31E+01	5.397E-04	4.986E-04	4.120E-04	3.304E-04	2.737E-04	2.423E-04	2.323E-04
1.00E+02	6.032E-04	5.235E-04	3.795E-04	2.695E-04	2.053E-04	1.735E-04	1.639E-04
1.58E+02	6.660E-04	5.127E-04	2.980E-04	1.781E-04	1.224E-04	9.827E-05	9.145E-05
2.51E+02	7.039E-04	4.325E-04	1.759E-04	8.359E-05	5.119E-05	3.897E-05	3.573E-05
3.98E+02	7.115E-04	2.920E-04	6.775E-05	2.388E-05	1.281E-05	9.259E-06	8.374E-06
6.31E+02	7.218E-04	1.542E-04	1.450E-05	3.375E-06	1.558E-06	1.071E-06	9.571E-07
1.00E+03	6.358E-04	6.475E-05	1.432E-06	1.770E-07	6.791E-08	4.441E-08	3.925E-08
1.58E+03	4.208E-04	2.211E-05	5.152E-08	2.064E-09	6.070E-10	3.764E-10	3.296E-10
2.51E+03	2.247E-04	6.733E-06	4.736E-10	1.149E-12	2.126E-13	1.238E-13	1.073E-13
3.98E+03	1.057E-04	1.932E-06	9.765E-14	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+03	4.538E-05	5.429E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+04	2.482E-05	1.942E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+04	1.577E-05	8.440E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	9.977E-06	3.658E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	6.319E-06	1.536E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	4.002E-06	6.290E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	2.535E-06	2.483E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	1.607E-06	9.381E-10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	1.020E-06	3.367E-10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 150.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 800.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: D
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	4.161E-04	4.119E-04	4.012E-04	3.873E-04	3.744E-04	3.655E-04	3.623E-04
1.58E+01	4.315E-04	4.244E-04	4.066E-04	3.846E-04	3.648E-04	3.515E-04	3.468E-04
2.51E+01	4.551E-04	4.429E-04	4.131E-04	3.782E-04	3.484E-04	3.292E-04	3.226E-04
3.98E+01	4.907E-04	4.688E-04	4.180E-04	3.634E-04	3.205E-04	2.946E-04	2.860E-04
6.31E+01	5.413E-04	4.999E-04	4.130E-04	3.313E-04	2.745E-04	2.430E-04	2.331E-04
1.00E+02	6.043E-04	5.242E-04	3.801E-04	2.700E-04	2.058E-04	1.740E-04	1.645E-04
1.58E+02	6.640E-04	5.115E-04	2.978E-04	1.782E-04	1.227E-04	9.854E-05	9.173E-05
2.51E+02	6.921E-04	4.280E-04	1.753E-04	8.360E-05	5.125E-05	3.906E-05	3.582E-05
3.98E+02	6.670E-04	2.836E-04	6.713E-05	2.380E-05	1.281E-05	9.275E-06	8.391E-06
6.31E+02	5.934E-04	1.410E-04	1.417E-05	3.346E-06	1.556E-06	1.072E-06	9.586E-07
1.00E+03	5.056E-04	5.364E-05	1.347E-06	1.735E-07	6.765E-08	4.443E-08	3.931E-08
1.58E+03	4.133E-04	1.642E-05	4.349E-08	1.980E-09	6.029E-10	3.763E-10	3.299E-10
2.51E+03	2.956E-04	4.528E-06	1.761E-10	1.044E-12	2.102E-13	1.237E-13	1.073E-13
3.98E+03	1.841E-04	1.228E-06	3.715E-14	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+03	1.023E-04	3.471E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+04	5.254E-05	9.550E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+04	2.534E-05	2.508E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	1.185E-05	6.141E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	6.461E-06	1.623E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	4.116E-06	4.682E-10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	2.628E-06	1.235E-10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	1.683E-06	2.917E-11	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	1.080E-06	6.052E-12	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Sektorgemittelte Kurzzeitausbreitungsfaktoren fuer 30.0 Grad Sektoren

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 150.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 0.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: E
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	4.111E-04	4.071E-04	3.965E-04	3.831E-04	3.704E-04	3.617E-04	3.586E-04
1.58E+01	4.260E-04	4.192E-04	4.019E-04	3.804E-04	3.610E-04	3.479E-04	3.434E-04
2.51E+01	4.489E-04	4.372E-04	4.083E-04	3.742E-04	3.450E-04	3.261E-04	3.197E-04
3.98E+01	4.831E-04	4.622E-04	4.131E-04	3.599E-04	3.177E-04	2.921E-04	2.836E-04
6.31E+01	5.310E-04	4.921E-04	4.086E-04	3.287E-04	2.726E-04	2.413E-04	2.314E-04
1.00E+02	5.890E-04	5.152E-04	3.774E-04	2.690E-04	2.050E-04	1.731E-04	1.635E-04
1.58E+02	6.393E-04	5.030E-04	2.985E-04	1.789E-04	1.226E-04	9.816E-05	9.126E-05
2.51E+02	6.511E-04	4.248E-04	1.794E-04	8.487E-05	5.146E-05	3.899E-05	3.571E-05
3.98E+02	6.040E-04	2.911E-04	7.144E-05	2.453E-05	1.293E-05	9.274E-06	8.374E-06
6.31E+02	5.067E-04	1.590E-04	1.638E-05	3.530E-06	1.579E-06	1.074E-06	9.571E-07
1.00E+03	3.919E-04	7.331E-05	1.846E-06	1.902E-07	6.913E-08	4.456E-08	3.926E-08
1.58E+03	2.864E-04	3.167E-05	8.766E-08	2.349E-09	6.218E-10	3.777E-10	3.300E-10
2.51E+03	2.060E-04	1.465E-05	1.532E-09	1.549E-12	2.200E-13	1.244E-13	1.074E-13
3.98E+03	1.503E-04	7.574E-06	6.242E-12	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+03	1.074E-04	4.099E-06	8.767E-14	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+04	7.266E-05	2.161E-06	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+04	4.509E-05	1.074E-06	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	2.617E-05	4.912E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	1.442E-05	2.074E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	7.620E-06	8.324E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	3.903E-06	3.178E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	1.956E-06	1.162E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	9.659E-07	4.092E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 150.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 0.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: F
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	3.946E-04	3.910E-04	3.813E-04	3.688E-04	3.571E-04	3.488E-04	3.459E-04
1.58E+01	4.083E-04	4.022E-04	3.863E-04	3.664E-04	3.483E-04	3.360E-04	3.316E-04
2.51E+01	4.291E-04	4.186E-04	3.923E-04	3.608E-04	3.334E-04	3.155E-04	3.093E-04
3.98E+01	4.596E-04	4.413E-04	3.972E-04	3.478E-04	3.079E-04	2.833E-04	2.751E-04
6.31E+01	5.009E-04	4.681E-04	3.939E-04	3.194E-04	2.655E-04	2.349E-04	2.252E-04
1.00E+02	5.473E-04	4.874E-04	3.668E-04	2.643E-04	2.012E-04	1.693E-04	1.597E-04
1.58E+02	5.778E-04	4.757E-04	2.980E-04	1.796E-04	1.218E-04	9.661E-05	8.951E-05
2.51E+02	5.610E-04	4.092E-04	1.911E-04	8.853E-05	5.191E-05	3.860E-05	3.514E-05
3.98E+02	4.831E-04	2.990E-04	8.835E-05	2.728E-05	1.331E-05	9.242E-06	8.269E-06
6.31E+02	3.711E-04	1.920E-04	2.843E-05	4.413E-06	1.670E-06	1.077E-06	9.482E-07
1.00E+03	2.620E-04	1.158E-04	6.946E-06	3.008E-07	7.601E-08	4.499E-08	3.900E-08
1.58E+03	1.764E-04	6.866E-05	1.710E-06	6.646E-09	7.268E-10	3.842E-10	3.281E-10
2.51E+03	1.158E-04	4.228E-05	5.228E-07	3.870E-11	2.917E-13	1.275E-13	1.072E-13
3.98E+03	7.694E-05	2.646E-05	2.033E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+03	5.104E-05	1.678E-05	9.127E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+04	3.471E-05	1.093E-05	4.553E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+04	2.427E-05	7.380E-06	2.588E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	1.704E-05	5.005E-06	1.491E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	1.161E-05	3.316E-06	8.491E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	7.547E-06	2.099E-06	4.634E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	4.664E-06	1.263E-06	2.392E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	2.765E-06	7.253E-07	1.168E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	1.575E-06	4.013E-07	5.439E-10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Sektorgemittelte Kurzzeitausbreitungsfaktoren fuer 30.0 Grad Sektoren

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 200.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 1100.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: A
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	2.275E-04	2.255E-04	2.203E-04	2.140E-04	2.081E-04	2.041E-04	2.027E-04
1.58E+01	2.342E-04	2.307E-04	2.229E-04	2.128E-04	2.036E-04	1.976E-04	1.956E-04
2.51E+01	2.450E-04	2.398E-04	2.267E-04	2.107E-04	1.966E-04	1.872E-04	1.843E-04
3.98E+01	2.625E-04	2.534E-04	2.310E-04	2.056E-04	1.846E-04	1.714E-04	1.670E-04
6.31E+01	2.894E-04	2.717E-04	2.332E-04	1.938E-04	1.645E-04	1.474E-04	1.419E-04
1.00E+02	3.293E-04	2.952E-04	2.274E-04	1.691E-04	1.322E-04	1.129E-04	1.070E-04
1.58E+02	3.934E-04	3.196E-04	2.006E-04	1.251E-04	8.737E-05	7.037E-05	6.551E-05
2.51E+02	5.611E-04	3.555E-04	1.418E-04	6.792E-05	4.121E-05	3.109E-05	2.840E-05
3.98E+02	6.093E-04	3.275E-04	7.023E-05	2.259E-05	1.153E-05	8.131E-06	7.299E-06
6.31E+02	3.499E-04	1.743E-04	2.097E-05	3.743E-06	1.541E-06	1.012E-06	8.939E-07
1.00E+03	1.422E-04	6.353E-05	3.747E-06	2.431E-07	7.278E-08	4.421E-08	3.843E-08
1.58E+03	6.630E-05	2.371E-05	5.061E-07	4.339E-09	7.058E-10	3.886E-10	3.328E-10
2.51E+03	4.382E-05	1.378E-05	1.026E-07	1.391E-11	2.901E-13	1.315E-13	1.105E-13
3.98E+03	2.884E-05	8.204E-06	2.885E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+03	1.889E-05	4.857E-06	8.403E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+04	1.233E-05	2.877E-06	3.058E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+04	8.037E-06	1.699E-06	1.073E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	5.232E-06	9.996E-07	3.519E-10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	3.401E-06	5.850E-07	1.107E-10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	2.209E-06	3.405E-07	3.281E-11	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	1.432E-06	1.969E-07	9.130E-12	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	9.276E-07	1.131E-07	2.388E-12	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	6.000E-07	6.451E-08	5.735E-13	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 200.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 1100.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: B
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	2.334E-04	2.315E-04	2.266E-04	2.202E-04	2.147E-04	2.107E-04	2.084E-04
1.58E+01	2.407E-04	2.383E-04	2.302E-04	2.199E-04	2.105E-04	2.042E-04	2.019E-04
2.51E+01	2.529E-04	2.473E-04	2.337E-04	2.174E-04	2.031E-04	1.937E-04	1.906E-04
3.98E+01	2.701E-04	2.603E-04	2.373E-04	2.116E-04	1.906E-04	1.774E-04	1.730E-04
6.31E+01	2.946E-04	2.774E-04	2.386E-04	1.988E-04	1.693E-04	1.522E-04	1.469E-04
1.00E+02	3.303E-04	2.971E-04	2.304E-04	1.724E-04	1.357E-04	1.165E-04	1.107E-04
1.58E+02	3.748E-04	3.079E-04	1.985E-04	1.258E-04	8.930E-05	7.245E-05	6.770E-05
2.51E+02	4.276E-04	2.909E-04	1.339E-04	6.698E-05	4.173E-05	3.189E-05	2.928E-05
3.98E+02	5.546E-04	2.411E-04	6.011E-05	2.155E-05	1.153E-05	8.299E-06	7.498E-06
6.31E+02	5.924E-04	1.636E-04	1.503E-05	3.356E-06	1.510E-06	1.027E-06	9.146E-07
1.00E+03	3.719E-04	7.512E-05	1.840E-06	1.926E-07	6.934E-08	4.450E-08	3.916E-08
1.58E+03	1.688E-04	2.580E-05	9.882E-08	2.550E-09	6.453E-10	3.877E-10	3.376E-10
2.51E+03	6.551E-05	7.873E-06	2.515E-09	2.003E-12	2.346E-13	1.296E-13	1.115E-13
3.98E+03	3.918E-05	3.559E-06	3.092E-11	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+03	2.529E-05	1.920E-06	3.089E-12	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+04	1.631E-05	1.043E-06	2.724E-13	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+04	1.048E-05	5.654E-07	2.960E-14	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	6.726E-06	3.042E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	4.307E-06	1.621E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	2.754E-06	8.532E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	1.758E-06	4.433E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	1.120E-06	2.271E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	7.129E-07	1.146E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Sektorgemittelte Kurzzeitausbreitungsfaktoren fuer 30.0 Grad Sektoren

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 200.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 800.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: C
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	2.374E-04	2.355E-04	2.305E-04	2.240E-04	2.178E-04	2.135E-04	2.120E-04
1.58E+01	2.447E-04	2.415E-04	2.333E-04	2.229E-04	2.137E-04	2.072E-04	2.049E-04
2.51E+01	2.562E-04	2.511E-04	2.373E-04	2.208E-04	2.062E-04	1.967E-04	1.934E-04
3.98E+01	2.742E-04	2.643E-04	2.410E-04	2.149E-04	1.935E-04	1.801E-04	1.756E-04
6.31E+01	3.001E-04	2.819E-04	2.421E-04	2.018E-04	1.720E-04	1.546E-04	1.490E-04
1.00E+02	3.349E-04	3.003E-04	2.325E-04	1.744E-04	1.375E-04	1.182E-04	1.123E-04
1.58E+02	3.752E-04	3.075E-04	1.982E-04	1.266E-04	9.006E-05	7.337E-05	6.860E-05
2.51E+02	4.080E-04	2.791E-04	1.310E-04	6.660E-05	4.187E-05	3.222E-05	2.963E-05
3.98E+02	4.194E-04	2.031E-04	5.605E-05	2.096E-05	1.148E-05	8.361E-06	7.577E-06
6.31E+02	4.201E-04	1.097E-04	1.281E-05	3.165E-06	1.490E-06	1.031E-06	9.227E-07
1.00E+03	4.283E-04	4.417E-05	1.275E-06	1.716E-07	6.764E-08	4.454E-08	3.943E-08
1.58E+03	3.528E-04	1.400E-05	4.226E-08	2.009E-09	6.179E-10	3.867E-10	3.392E-10
2.51E+03	2.154E-04	3.783E-06	1.765E-10	1.072E-12	2.182E-13	1.287E-13	1.118E-13
3.98E+03	1.073E-04	9.657E-07	4.179E-14	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+03	4.800E-05	2.453E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+04	2.475E-05	7.769E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+04	1.569E-05	3.223E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	9.932E-06	1.340E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	6.291E-06	5.522E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	3.986E-06	2.179E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	2.529E-06	8.346E-10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	1.606E-06	3.059E-10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	1.021E-06	1.066E-10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 200.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 800.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: D
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	2.377E-04	2.357E-04	2.307E-04	2.243E-04	2.183E-04	2.141E-04	2.125E-04
1.58E+01	2.450E-04	2.418E-04	2.339E-04	2.233E-04	2.139E-04	2.074E-04	2.051E-04
2.51E+01	2.565E-04	2.512E-04	2.375E-04	2.210E-04	2.065E-04	1.969E-04	1.936E-04
3.98E+01	2.742E-04	2.644E-04	2.412E-04	2.152E-04	1.937E-04	1.803E-04	1.758E-04
6.31E+01	2.999E-04	2.818E-04	2.422E-04	2.020E-04	1.722E-04	1.549E-04	1.493E-04
1.00E+02	3.347E-04	2.999E-04	2.326E-04	1.746E-04	1.377E-04	1.184E-04	1.125E-04
1.58E+02	3.731E-04	3.063E-04	1.980E-04	1.267E-04	9.018E-05	7.349E-05	6.871E-05
2.51E+02	4.011E-04	2.765E-04	1.307E-04	6.661E-05	4.191E-05	3.227E-05	2.968E-05
3.98E+02	3.996E-04	1.990E-04	5.581E-05	2.094E-05	1.149E-05	8.373E-06	7.589E-06
6.31E+02	3.637E-04	1.054E-04	1.271E-05	3.156E-06	1.490E-06	1.032E-06	9.238E-07
1.00E+03	3.032E-04	4.015E-05	1.251E-06	1.705E-07	6.756E-08	4.457E-08	3.947E-08
1.58E+03	2.430E-04	1.091E-05	3.999E-08	1.980E-09	6.163E-10	3.869E-10	3.396E-10
2.51E+03	1.926E-04	2.778E-06	1.503E-10	1.028E-12	2.171E-13	1.287E-13	1.119E-13
3.98E+03	1.444E-04	7.084E-07	2.796E-14	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+03	9.568E-05	2.198E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+04	5.545E-05	7.137E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+04	2.922E-05	2.258E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	1.451E-05	6.706E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	6.920E-06	1.879E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	4.047E-06	5.984E-10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	2.574E-06	2.028E-10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	1.640E-06	6.487E-11	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	1.047E-06	1.945E-11	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Sektorgemittelte Kurzzeitausbreitungsfaktoren fuer 30.0 Grad Sektoren

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 200.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 0.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: E
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	2.350E-04	2.331E-04	2.282E-04	2.219E-04	2.159E-04	2.117E-04	2.102E-04
1.58E+01	2.421E-04	2.390E-04	2.310E-04	2.209E-04	2.115E-04	2.052E-04	2.029E-04
2.51E+01	2.531E-04	2.478E-04	2.345E-04	2.184E-04	2.042E-04	1.949E-04	1.916E-04
3.98E+01	2.698E-04	2.598E-04	2.377E-04	2.125E-04	1.914E-04	1.782E-04	1.739E-04
6.31E+01	2.934E-04	2.767E-04	2.388E-04	1.998E-04	1.704E-04	1.533E-04	1.478E-04
1.00E+02	3.258E-04	2.942E-04	2.300E-04	1.733E-04	1.367E-04	1.174E-04	1.115E-04
1.58E+02	3.604E-04	3.002E-04	1.973E-04	1.268E-04	8.993E-05	7.310E-05	6.828E-05
2.51E+02	3.805E-04	2.722E-04	1.327E-04	6.745E-05	4.203E-05	3.218E-05	2.955E-05
3.98E+02	3.669E-04	2.011E-04	5.914E-05	2.159E-05	1.159E-05	8.367E-06	7.564E-06
6.31E+02	3.191E-04	1.155E-04	1.470E-05	3.343E-06	1.514E-06	1.034E-06	9.219E-07
1.00E+03	2.510E-04	5.363E-05	1.742E-06	1.886E-07	6.921E-08	4.472E-08	3.941E-08
1.58E+03	1.834E-04	2.268E-05	8.486E-08	2.386E-09	6.382E-10	3.885E-10	3.393E-10
2.51E+03	1.277E-04	9.808E-06	1.511E-09	1.582E-12	2.285E-13	1.295E-13	1.118E-13
3.98E+03	8.681E-05	4.666E-06	6.274E-12	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+03	6.198E-05	2.439E-06	1.464E-13	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+04	4.551E-05	1.400E-06	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+04	3.318E-05	8.162E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	2.279E-05	4.490E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	1.449E-05	2.267E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	8.610E-06	1.054E-07	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	4.821E-06	4.547E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	2.587E-06	1.846E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	1.346E-06	7.126E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

gerechnet fuer eine Emissionshoehe von 200.0 m
unter Annahme einer Mischungsschichthoehe von 0.0 m
Kennziffer der Diffusionskategorie: F
Energie der Gammastrahlung: 1.0 MeV

Entf: /Winkel:	0.0	30.0	60.0	90.0	120.0	150.0	180.0
1.00E+01	2.233E-04	2.216E-04	2.172E-04	2.115E-04	2.060E-04	2.021E-04	2.006E-04
1.58E+01	2.297E-04	2.270E-04	2.198E-04	2.106E-04	2.020E-04	1.961E-04	1.940E-04
2.51E+01	2.395E-04	2.349E-04	2.231E-04	2.085E-04	1.954E-04	1.866E-04	1.835E-04
3.98E+01	2.544E-04	2.464E-04	2.267E-04	2.036E-04	1.840E-04	1.715E-04	1.673E-04
6.31E+01	2.755E-04	2.615E-04	2.282E-04	1.924E-04	1.646E-04	1.481E-04	1.428E-04
1.00E+02	3.023E-04	2.768E-04	2.211E-04	1.687E-04	1.332E-04	1.141E-04	1.082E-04
1.58E+02	3.273E-04	2.814E-04	1.937E-04	1.260E-04	8.882E-05	7.154E-05	6.657E-05
2.51E+02	3.324E-04	2.579E-04	1.379E-04	6.994E-05	4.232E-05	3.175E-05	2.896E-05
3.98E+02	3.016E-04	2.003E-04	7.003E-05	2.405E-05	1.197E-05	8.327E-06	7.449E-06
6.31E+02	2.422E-04	1.317E-04	2.387E-05	4.205E-06	1.611E-06	1.037E-06	9.115E-07
1.00E+03	1.774E-04	7.872E-05	5.635E-06	2.972E-07	7.668E-08	4.521E-08	3.911E-08
1.58E+03	1.233E-04	4.532E-05	1.141E-06	6.299E-09	7.509E-10	3.959E-10	3.374E-10
2.51E+03	8.283E-05	2.655E-05	2.471E-07	2.767E-11	3.043E-13	1.332E-13	1.116E-13
3.98E+03	5.588E-05	1.593E-05	6.099E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+03	3.833E-05	9.837E-06	1.727E-08	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+04	2.513E-05	5.841E-06	5.019E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+04	1.728E-05	3.606E-06	2.018E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+04	1.240E-05	2.332E-06	7.461E-10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3.98E+04	9.143E-06	1.545E-06	2.698E-10	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6.31E+04	6.655E-06	1.013E-06	9.091E-11	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.00E+05	4.608E-06	6.303E-07	2.820E-11	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.58E+05	2.998E-06	3.663E-07	7.699E-12	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.51E+05	1.844E-06	2.000E-07	1.845E-12	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Anhang D. Literatur

AV90 Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen
Bundesanzeiger, Nr. 64a, Jahrgang 42, 1990

BO82 H. Bonka
Strahlenexposition durch radioaktive Emissionen aus kerntechnischen Anlagen im Normalbetrieb
Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1982

BR89 Brenk Systemplanung
Das Störfalleitsystem "CAIRE" für Echtzeitanwendungen, 1989

CA91 R. A. Carhart, A. J. Policastro
A Second-Generation Model for Cooling Tower Plume Rise and Dispersion
Atmospheric Environment Vol 25A, pp 1559-1576, 1991

CO64 L. Collatz
Funktionalanalysis und numerische Mathematik
Springer, 1968

CO66 L. Collatz
The Numerical Treatment of Differential Equations
Springer, 1966

CS80 G. T. Csanady
Turbulent Diffusion in the Environment
Volume 3 of Geophysics and Astrophysics Monographs
D. Reidel Publishing Company, 1980

DE80 Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke
Verlag TÜV Rheinland, 1980

DI74 L. T. Dillman
Absorbed Gamma Dose Rate for Immersion in a Semi-Infinite Radioactive Cloud
Health Phys. 27, 571

DI80 L. T. Dillman
EDISTR - A Computer Program to Obtain a Nuclear Decay Data Base for Radiation Dosimetrry
Report ORNL/TM-6689, 1980

EH80 H. G. Ehrlich, K. J. Vogt, E. Brunen
S E S A M
Ein Modell zur Berechnung der Strahlenexposition durch Emission von Schadstoffen mit der Abluft im Falle der Mehr-Quellen-Situation
Report Jül-1676, 1980

EH82 H. G. Ehrlich, K. Heinemann, K. J. Vogt
C A R E
Ein Modell zur Berechnung der Strahlenexposition aus den gemessenen Emissionsraten kerntechnischer Anlagen
Report Jül-1804, 1982

GE80 H. Geiß, K. Heinemann, G. Polster, K. J. Vogt
Ausbreitungs- und Ablagerungsparameter zur Berechnung der Strahlenexposition bei hypothetischen Reaktorunfällen.
Risø/Roskilde 22.-25.4.1980

GE81 H. Geiß, K. Nester, P. Thomas, K. J. Vogt
In der Bundesrepublik Deutschland experimentell ermittelte Ausbreitungsparameter für 100 m Emissionshöhe
Report Jül-1707/KfK-3085, 1981

GE83 H. Geiß
Ausbreitung von Schadstoffen in der Atmosphäre
Verlag TÜV Rheinland, 1983

GI82a F. A. Gifford
Horizontal Diffusion in the Atmosphere: A Lagrangian- Dynamical Theory
Atmospheric Environment Vol 16., pp 505-512, 1982

GI82b F. A. Gifford
Long-Range Plume Dispersion: Comparison of the Mt. Isa Data with Theoretical and Empirical Formulas
Atmospheric Environment Vol 16., pp 1583-1586, 1982

GO54 H. Goldstein, J. E. Wilkins
Report NY0-3075, 1954

HA82 Steven R. Hanna, Gary A. Briggs, Rayford P. Hosker. Jr
Handbook of Atmospheric Diffusion
Report DOE/TIC-11223, 1982

HA79 Steven R. Hanna
Some Statistics of Lagrangian and Eulerian Wind Fluctuations
J. appl. Met. 18, 518-525, 1979

HI88 R. Hille
Arbeitsbericht 1988 der Abteilung Sicherheit und Strahlenschutz
Kernforschungsanlage Jülich, ASS-Bericht Nr. 0493, 1989

HU69 J. H. Hubbel
Photon Cross Sections, Attenuation Coefficients, and Energy Absorption Coefficients from 10 keV to 100 GeV
Report NSRDS-NBS 29, 1969

HU75 W. Hübschmann, D. Papadopoulos

Berechnung der Dosisleistung durch Gammastrahlung aus der radioaktiven Abluftfahne eines Daueremittenten
Report KFK 2172,, 1975

IM87 IMSL
International Mathematical & Statistical Libraries
Houston, Texas, 1987

IS67 J. A. Israel
Gamma Islucenije
Moskau, 1967

JA68 R. G. Jaeger
Engineering Compendium on Radiation Shielding, Vol I
Berlin, 1968

JA81 J. Jaquemin, H. Schnadt
Arbeitshilfen zur schnellen Ermittlung von Strahlendosen infolge unfallbedingter Freisetzung radioaktiver Stoffe aus Kernkraftwerken
Atomkernenergie - Kerntechnik Bd. 39, pp. 6-9, 1981

JA84 P. Jacob, H. G. Paretzke, J. Wölfel
Monte Carlo Calculation and Analytical Approximation of Gamma-Ray Buildup Factors in Air
Nuclear Science and Engineering, 87, 113-122, 1984

JA85 Peter Jacob, Herwig G. Paretzke
Air-Ground Interface Correction Faktors for γ Emitters in Air
Health Physics Vol 48, No 2 (February), pp. 183-191, 1985

MA89 H. F. Macdonald et. al.
Improved Estimates of Ar-41 Gamma Dose Rates Around Hinkley Point Power Station
4th Int. Symp., Malvern, June 1989

MA91 K. Maßmeyer et. al.
Bereitstellung eines Programmsystems zur realitätsnahen Simulation der Ausbreitung und Ablagerung luftgetragener Schadstoffe
Report GRS-A-1632 / V, 1991

NE55 J. v. Neumann
Mathematical Foundations of Quantum Mechanics
Princeton University Press, 1955

NE78 J. Neumann
Some Observations on the Simple Exponential function as a Lagrangian Velocity Correlatian Function in Turbulent Diffusion
Atmospheric Environment Vol 12., pp 1965-1968, 1978

NE90 Dennett D. J. Netterville

Plume Rise, Entrainment and Dispersion in Turbulent Winds
Atmospheric Environment Vol 25A, pp 1061-1081, 1990

PL82 Erich J. Plate
Engineering Meteorology
Elsevier Scientific Publishing Company, 1982

RO78 F. Rohloff
Eine Abschätzung des Einflusses von Schwachwindlagen bei der Berechnung der jahresgemittelten Stahlenexposition durch Emission radioaktiver Stoffe in die Abluft
Tagungsberichte Radioaktivität und Umwelt
Fachverband für Strahlenschutz
12. Jahrestagung Norderney, 2. - 6. Oktober 1978

RO79 F. Rohloff, E. Brunen, H. D. Brenk, H. Geiß, K. J. Vogt
L I G A
Ein Programm zur Berechnung der lokalen individuellen Gammasubmersionsdosis durch Abluftfahnen aus kerntechnischen Anlagen
Report Jül-1577, 1979

RO81 F. Rohloff, E. Brunen
L I G A II
Ein verbessertes Programm zur Berechnung der lokalen individuellen Gammasubmersionsdosis durch Abluftfahnen aus kerntechnischen Anlagen
Report Jül-1736, 1981

SL83 Bekanntmachung der Leitlinien zur Beurteilung der Auslegung von Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktoren gegen Störfälle im Sinne des § 28 Abs. 3 der StrahlenSchutzVerordnung
Bundesanzeiger Nr. 245a vom 18. Oktober 1983

SM89 M. J. Small
Stochastic Simulation of Meteorological Variability for Long-Range Atmospheric Transport
Atmospheric Environment Vol 23, pp 2813-2824, 1989

ST81 J. Straka, H. Geiß, K. J. Vogt
Diffusion of Waste Air Puffs and Plumes under Changing Weather Conditions
Beiträge zur Physik der Atmoshphäre 54, pp 207-221, 1981

ST83 Störfallberechnungsgrundlagen für die Leitlinien des BMI zur Beurteilung der Auslegung von Kernkraftwerken mit DWR gemäß § 28 Abs. 3 StrlSchV
Bundesanzeiger Nr. 245a vom 31. Dezember 1983

VO70 K. J. Vogt
Umweltkontamination und Strahlenbelastung durch radioaktive Abluft aus kerntechnischen Anlagen
Report Jül-637-ST, 1970

VO74 K. J. Vogt, H. Geiß
Tracer Experiments on the Dispersion of Plumes over Terrain of Major Surface Roughness
Report Jül-1131-ST, 1974

VO79 K. J. Vogt, J. Straka, H. Geiß
An Extension of the Gaussian Plume Model for the Case of Changing Weather Conditions
ZST-Bericht Nr. 0304, 1979

ZW89 U. Zwölfer-Dorau
Strahlenexposition aus einer radioaktiven Abluftfahne bei Gebäudeeinfluß
Diplomarbeit
Institut für Meteorologie, Universität Hamburg, 1989

Abbildungsverzeichnis

Danksagungen

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit beim Forschungszentrum Jülich GmbH.

Ich danke Herrn Prof. Dr. H. Bonka für die Förderung und Unterstützung bei der Durchführung der vorliegenden Arbeit, für seinen steten Ansporn und nicht zuletzt für die unerschütterliche Geduld, welche er mir bei der Fertigstellung der Arbeit entgegenbrachte.

Herrn Prof. Dr. K. Kugeler danke ich für die freundliche Übernahme des Korreferates.

Weiterer Dank gebührt den Herren Dr. K. Heinemann, Dipl.Phys. H. Geiss und Dipl.Met. M. Möllmann für viele hilfreiche Diskussionen.

Ferner danke ich Frau R. Geiser und Frau E. Brunen, die mir bei der Datenerfassung, der Detailprogrammierung und der Auswertung behilflich waren.

FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GmbH

KFA

Jül-2889
März 1994
ISSN 0944-2952