

KFK-340

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

April/Mai 1965

KFK 340

Abteilung Reaktorbetrieb

Die maximal zulässige Aktivitätsabgabe über die Abluft einer
kerntechnischen Anlage

L. A. König, S. Zehme



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE

Die maximal zulässige Aktivitätsabgabe über die Abluft einer kerntechnischen Anlage

Von L. A. König und S. Zehme

Aus der Gesellschaft für Kernforschung mbH Karlsruhe, Abteilung Reaktorbetrieb

I. Teil

1. Einleitung

Die Frage der maximal zulässigen Aktivitätsabgabe einer kerntechnischen Anlage über die Abluft ist in der jüngsten Zeit in verschiedenen ausländischen Veröffentlichungen behandelt worden. Barry [1] untersucht das Problem für einige besonders wichtige Radionuklide, wie ^3H , ^{14}C , ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{131}I , ^{137}Cs sowie für Spaltedelmischungen. Die Arbeit von Bryant [2] beschränkt sich

auf ^{131}I . Beide Arbeiten stimmen in der Schlußfolgerung für ^{131}I überein. In der deutschen Literatur war das Problem unter einem anderen Gesichtspunkt bereits in der umfassenden Arbeit von Blässer und Wirtz [3] berührt worden. Die genannten Arbeiten enthalten umfangreiche Angaben über die vorhandene Literatur, weshalb hier auf die Wiedergabe einer Literaturübersicht, die über die hier benutzten Arbeiten hinausgeht, verzichtet wird, auch wenn dadurch bedeutende Beiträge zu diesem Thema unerwähnt bleiben.

Die Aktivitätsabgabe über die Abluft ist zum Schutze der Gesundheit der in einer kerntechnischen Anlage tätigen Mitarbeiter sowie der Bevölkerung in der Umgebung der Anlage zu beschränken. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, Begrenzungen der Abgabe für verschiedene Radionuklide unter Anlehnung an die in der Bundesrepublik gültige „Erste Strahlenschutzverordnung“ (1. SSVO) anzugeben.

Dabei wird zwischen kontinuierlicher Abgabe und Kurzzeitausstoß unterschieden. Bei der kontinuierlichen Abgabe hängt die Strahlenbelastung von Personen von den über die Zeit gemittelten meteorologischen Ausbreitungsbedingungen ab. Die Wirkung eines Kurzzeitausstosses ist dagegen von der im Augenblick gegebenen meteorologischen Situation bedingt. Da der Zeitpunkt eines Kurzzeitausstosses nicht in jedem Fall frei gewählt werden kann, können unter Umständen gerade die ungünstigsten Ausbreitungsbedingungen vorliegen.

Die zulässige Aktivitätsabgabe über die Abluft ist im wesentlichen als das Produkt zweier Größen gegeben, nämlich einer Strahlenschutzgröße und einer meteorologischen. Für die kontinuierliche Abgabe \dot{A} in Curie pro Stunde gilt

$$\dot{A} = K_1 M_1 (MZK)_L \quad (1)$$

Hierin bedeutet K_1 einen dimensionslosen Korrekturfaktor, auf den wir weiter unten noch eingehen. M_1 ist der über ein Jahr gemittelte meteorologische Ausbreitungsfaktor der Dimension m^3/h , $(MZK)_L$ ist die an einem vorgegebenen Ort im Jahresmittel für die empfindlichste Personengruppe maximal zulässige Konzentration in der Atemluft in Curie/ m^3 .

Im Fall der kurzzeitigen Aktivitätsabgabe kommt es auf den im Augenblick herrschenden meteorologischen Ausbreitungsfaktor M_k an. Da in diesem Fall die Beschränkung durch die Dosis, d. h. durch die gesamte abgegebene Aktivität gegeben ist, ist Gleichung (1) in einer über die Zeit integrierten Form zu benutzen. Man hat dann

$$A = K_k M_k \cdot \int C(t) dt, \quad (2)$$

worin $C(t)$ die für einen bestimmten Ort zur Zeit t vorhandene Aktivitätskonzentration in der Atemluft darstellt. $\int C(t) dt$ ist durch die für den Kurzzeitausstoß zugelassene Dosis bestimmt.

Die Größen $(MZK)_L$ und $C(t)$ sind auf den Aufenthaltsort der belasteten Personen bezogen. Der Zusammenhang zwischen dem Emittent und diesem Ort wird durch die Faktoren $K_i M_i$ ($i = 1, k$) vermittelt.

Die Ansätze (1) und (2) bedeuten insoweit eine Abweichung von der 1. SSVO, als kurzzeitig die zulässigen Konzentrationswerte überschritten werden können, wenn die zulässige Aktivitätsabgabe nach den Gleichungen (1) und (2) berechnet wird. Da der momentane meteorologische Ausbreitungsfaktor für einen vorgegebenen Ort um mehrere Zehnerpotenzen schwankt, insbesondere auch, da Drehungen der Windrichtungen zu berücksichtigen sind, ist unserer Meinung nach die Mittelung im Falle der kontinuierlichen Aktivitätsabgabe absolut notwendig, um eine vom Strahlenschutzstandpunkt nicht notwendige Beschränkung zu vermeiden. (Unser Verfahren bleibt jedoch im Rahmen der ICRP-Empfehlungen).

Jede Begrenzung der Aktivitätsabgabe über die Abluft stellt ein wirtschaftliches Problem dar. Der Aufwand wächst erheblich mit der Erniedrigung der Grenzen. Daher sollten die Schranken zwar so gewählt werden, daß sie im Hinblick auf die Volksgesundheit vertreten werden können, daß jedoch kein darüber hinausgehender Aufwand getrieben werden muß.

Eine Inkorporation auf dem Umweg über das Abwasser wird nicht berücksichtigt.

2. Strahlenschutzgrundlagen

2.1 Dauerbelastung

In der Ersten Verordnung zur Änderung und Ergänzung der Ersten Strahlenschutzverordnung (Bundesgesetzblatt Teil I, Nr. 15

vom 3. April 1964) sind die maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationen in Luft und im Wasser als Anlage II angegeben. Sie unterscheiden sich nur für einzelne Nuklide von denen in der 1. SSVO, Anlage II. Diese Werte gelten für beruflich strahlenexponierte Personen bei einer 168-Stunden-Woche. Für die Bevölkerung in der Umgebung einer kerntechnischen Anlage wird nach dem ICRP Committee II Report (1959) [4] als maximal zulässige Konzentration 1/10 dieser Werte empfohlen. Da nur erwachsene Personen über 18 Jahre beruflich strahlenexponiert sein dürfen, wenden wir in Übereinstimmung mit Barry [1] die so für die Bevölkerung erhaltenen Konzentrationswerte nicht auf Kinder an. Wir führen Betrachtungen durch, inwieweit die Konzentrationswerte vom Alter der bestrahlten Person abhängen. Wo eine Abhängigkeit gefunden wird, werden die Werte für Kinder berücksichtigt, da sich die Bevölkerung in der Umgebung einer kerntechnischen Anlage aus allen Altersgruppen zusammensetzt.

Die Einwirkung der Luftaktivität auf den Menschen geschieht sowohl durch äußere Bestrahlung als auch durch Inkorporation der Aktivität bei der Atmung und bei der Nahrungsaufnahme und damit durch Bestrahlung der kritischen Organe im Körper.

Die maximal zulässige Aktivitätskonzentration eines Radionuklids in Luft berechnet sich aus der maximal zulässigen Dosisleistung \dot{D}_{\max} für dieses Nuklid im kritischen Organ (siehe Tabelle 1). Diese ist die absorbierte Energie pro Gramm und Zeiteinheit.

Tabelle 1. Maximal zulässige Dosisleistung bei Dauerbestrahlung

Kritisches Organ	Empfohlene höchstzulässige Dosisleistungen	Quelle
Gesamtkörper	0,01 rem/Woche	ICRP-Report of Committee II, S. 11
Schilddrüse	0,06 rem/Woche	S. 11
weiches Gewebe	0,03 rem/Woche	S. 11
Knochen	0,056 rem/Woche	S. 3

2.1.1 Äußere Bestrahlung. Zur Ableitung des Zusammenhangs zwischen der maximal erlaubten Dosisleistung und der maximal erlaubten Luftkonzentration bei einer Bestrahlung einer Person von außen geht man von der Voraussetzung aus, daß die Strahlenquelle eine unendlich ausgedehnte Wolke im oberen Halbraum ist und daß die gegenseitige Abschirmung der verschiedenen Teile des Körpers vernachlässigt werden kann. Bei einer unendlich ausgedehnten Wolke wird im Mittel in jedem Volumenelement ebensoviel Energie emittiert wie absorbiert. Man erhält dann die Beziehung

$$(MZK)_L = 5,6 \cdot 10^{-3} \frac{\dot{D}_{\max} e_a}{E} \frac{P_a}{P_t} \quad (3)$$

Dabei ist ρ_a die Dichte der Luft, P_a/P_t ($= 1/1,13$) das Verhältnis des Bremsvermögens der Luft P_a zu dem des Gewebes P_t , E die effektive absorbierte Energie pro Zerfall in MeV und \dot{D}_{\max} die maximal zulässige Dosisleistung für den gesamten Körper in rem/Woche.

Die maximal zulässige Aktivitätskonzentration zeigt bei einer äußeren Bestrahlung nach Gleichung (3) keine Abhängigkeit vom Lebensalter.

2.1.2 Inkorporation durch Atmung. Die tägliche Aktivitätsaufnahme durch das kritische Organ infolge des Einatmens eines Radionuklids beträgt $C \cdot S \cdot f_a$ [$\mu C/d$], wenn C die Konzentration des Nuklids in Luft in $\mu C/cm^3$, S das mittlere Atemvolumen in cm^3/d und f_a der Bruchteil des Radionuklids ist, der das kritische Organ erreicht. Ist $q f_2$ die Belastung des kritischen Organs in μC (f_2 ist der Anteil der Belastung des kritischen Organs an der Belastung des gesamten

Körpers) und λ die effektive Zerfallskonstante¹, so erhält man für die zeitliche Abhängigkeit der Belastung des kritischen Organs die Differentialgleichung

$$\frac{d(qf_2)}{dt} + \lambda(qf_2) = C S f_a \quad (4)$$

Zur Zeit $t = 0$ soll die Belastung Null sein. Damit erhält man als Lösung

$$qf_2 = \frac{C S f_a}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}) \quad (5)$$

Die maximal erlaubte Belastung des kritischen Organs ergibt sich aus der maximal erlaubten Dosisleistung, d. h. der maximal erlaubten absorbierten Energie pro Gramm und Zeiteinheit. Sie beträgt

$$(qf_2)_{\max} = 2,8 \cdot 10^{-3} \frac{m \dot{D}_{\max}}{E} \quad (6)$$

m ist die Masse des kritischen Organs in Gramm. $2,8 \cdot 10^{-3}$ ist ein dimensionsbedingter Umrechnungsfaktor.

Setzt man Gleichung (6) in Gleichung (5) ein, so wird der Ausdruck für die maximal zulässige Aktivitätskonzentration in Luft

$$(MZK)_L = 2,8 \cdot 10^{-3} \frac{m \dot{D}_{\max} \lambda}{E S f_a (1 - e^{-\lambda t})} \quad (7)$$

Das Alter t^* , das der Mensch im Mittel erreicht, wird im allgemeinen gleich 70 Jahren angesetzt.

Für Nuklide, für die $\lambda t^* \gg 1$ gilt, erhält man

$$(MZK)_L = 2,8 \cdot 10^{-3} \frac{m \dot{D}_{\max} \lambda}{E S f_a} \quad (8)$$

Gleichungen (7) und (8) zeigen eine Abhängigkeit der maximal zulässigen Aktivitätskonzentration in Luft von der Masse des kritischen Organs und dem Atemvolumen. Diese beiden Größen hängen aber merklich vom Alter der belasteten Person ab (siehe Tabellen 2 und 3). Bei knochenstehenden langlebigen Nukliden, z. B. ⁹⁰Sr, wird im Kindesalter kein Gleichgewicht erreicht. In solchen Fällen wird daher für die $(MZK)_L$ der Wert für Erwachsene eingesetzt.

Tabelle 2. Durchschnittliche Massen der kritischen Organe für verschiedene Altersklassen

Kritisches Organ	m_E [g]	m_{K1} [g]	$m_{K0,5}$ [g]	m_N [g]	Quelle
gesamter Körper	$7,0 \cdot 10^4$	$1,0 \cdot 10^4$	$8,8 \cdot 10^3$	$3,7 \cdot 10^3$	a
Körperwasser	$4,3 \cdot 10^4$	$6,2 \cdot 10^3$	$5,4 \cdot 10^3$	$2,3 \cdot 10^3$	b
Fett	$1,0 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^3$	$5,3 \cdot 10^3$	b
Knochen	$7,0 \cdot 10^3$	$7,0 \cdot 10^2$	$4,6 \cdot 10^2$	$2,3 \cdot 10^2$	a
Schilddrüse	20	2,2	1,8	1,8	a

a: Brit. Med. J. ii, 576 (1961) und 967 (1959)

b: Der Wert m_E ist dem Report of Committee II, Tabelle 8, entnommen. Bei der Berechnung der Werte von m_{K1} , $m_{K0,5}$, m_N wurde vorausgesetzt, daß das Verhältnis Gewicht des kritischen Organs zu Gewicht des gesamten Körpers unabhängig vom Lebensalter ist. —

Die Indizes beziehen sich wie folgt: E auf Erwachsene, K1 auf Kinder von 1 Jahr, K0,5 auf Kinder von 6 Monaten, N auf Neugeborene

Man kann die maximal zulässige Belastung in Abhängigkeit von der maximal zulässigen Konzentration angeben. Für $\lambda t \gg 1$ folgt aus Gleichung (5)

$$(qf_2)_{\max} = \frac{S f_a}{\lambda} \cdot (MZK)_L \quad (9)$$

¹ $\lambda = \frac{0,693}{T_{1/2}}$, mit $T_{1/2} = \frac{T_r T_b}{T_r + T_b}$, (T_r Halbwertszeit des radioaktiven Zerfalls, T_b biologische Halbwertszeit).

Tabelle 3. Atemvolumen S für verschiedene Altersklassen

S [cm ³ /d]	Quelle
$S_E = 2,0 \cdot 10^7$	Brit. Med. J. ii, 576 (1961) und April, 967 (1959)
$S_{K1} = 7,9 \cdot 10^6$	
$S_{K0,5} = 6,0 \cdot 10^6$	
$S_N = 2,4 \cdot 10^6$	

Die Indizes beziehen sich wie folgt: E auf Erwachsene, K1 auf Kinder von 1 Jahr, K0,5 auf Kinder von 6 Monaten, N auf Neugeborene

2.1.3 Vergleich der Wirkung von äußerer und innerer Bestrahlung. Berechnet man die MZK-Werte einmal nach Gleichung (3) und zum anderen nach Gleichung (7) bzw. (8), so sind die nach den letzten Gleichungen erhaltenen Werte immer kleiner als die, die mit Gleichung (3) berechnet werden. Ausnahmen davon bilden die Edelgase. Sie werden durch Atmung nicht inkorporiert.

2.1.4 Einfluß des Lebensalters. Wie oben gesagt, beziehen sich die MZK-Werte der 1. SSVO auf beruflich strahlenexponierte Erwachsene. Bezeichnet man 1/10 dieser Werte mit $(MZK)_L^E$, so erhält man für die maximal zulässige Aktivitätskonzentration einer beliebigen Altersgruppe

$$(MZK)_L = (MZK)_L^E \cdot \frac{m}{m_E} \cdot \frac{S_E}{S} \quad (10)$$

Diese Beziehung gilt nur für den Fall der Inkorporation, nicht für jenen der äußeren Bestrahlung. Sie setzt voraus, daß die effektive Zerfallskonstante λ nicht vom Lebensalter abhängt.

2.1.5 Korrekturen für Ablagerung. Die 1. SSVO berücksichtigt nicht die Aufnahme von Aktivität in den Körper mit der Nahrung. Für beruflich strahlenexponierte Personen braucht man die Aufnahme kontaminierter Nahrung auch nicht zu berücksichtigen, da diese beim Befolgen des § 40 der 1. SSVO ausgeschlossen werden kann. Anders liegt die Situation für die Bevölkerung in der Umgebung einer kerntechnischen Anlage, deren Nahrung beim Normalbetrieb der Anlage ohne Kontrolle genießbar sein soll. Die Aktivitätsabgabe der Anlage muß also derart begrenzt werden, daß die maximal zulässige Strahlenbelastung der kritischen Organe auch unter Berücksichtigung des Verzehrs der in der Umgebung der Anlage produzierten Nahrungsmittel nicht überschritten wird.

Die sich in einer radioaktiven Wolke befindenden aktiven Teilchen lagern sich wegen ihrer größeren Masse mit der Ablagerungsgeschwindigkeit v_g [cm/sec] am Boden ab. Dadurch werden landwirtschaftliche Produkte, wie Gemüse, Obst, Getreide, direkt kontaminiert. Andere Produkte, wie z. B. Milch, Eier, werden auf dem Umweg über das Futter von Tieren betroffen.

Bei der Aktivitätsaufnahme durch die Nahrung besteht ein dem bei der Aktivitätsaufnahme durch Atmung analoger Zusammenhang [siehe Gleichungen (7) und (8)]:

$$(MZK)_N = 2,8 \cdot 10^{-3} \frac{m \dot{D}_{\max} \lambda}{E S_N f_N (1 - e^{-\lambda t})} \quad (11)$$

bzw. für $\lambda t \gg 1$

$$(MZK)_N = 2,8 \cdot 10^{-3} \frac{m \dot{D}_{\max} \lambda}{E S_N f_N} \quad (12)$$

Der Unterschied besteht darin, daß $(MZK)_N$ die Konzentration des Isotops im betreffenden Nahrungsmittel, S_N die tägliche Aufnahme dieses Nahrungsmittels und f_N den Bruchteil, der durch die Nahrungsaufnahme in das kritische Organ gelangt, bedeuten. Die Abhängigkeit vom Alter verhält sich analog jener bei der Aktivitätsaufnahme durch die Atmung.

Um Aussagen über die erlaubte Aktivitätskonzentration des Isotops in der Luft machen zu können, muß der Zusammenhang zwischen der Luftkonzentration und der Konzentration im betref-

fenden Nahrungsmittel bekannt sein. Zwischen der Aktivitätskonzentration C in der Luft und der Bodenkontamination M pro Flächeneinheit besteht im Gleichgewichtszustand (d. h. in dem Zustand, bei dem gerade soviel Aktivität auf den Boden gelangt, wie dort zerfällt) die Beziehung

$$C v_g = M \lambda. \quad (13)$$

Allgemein ist

$$C v_g = M', \quad (14)$$

wenn M' die Aktivitätsablagerung eines Nuklids pro cm^2 und sec ist. Welche der beiden Gleichungen zur Berechnung der $(MZK)_L$ benutzt wird, hängt davon ab, ob der Zusammenhang zwischen C und M oder jener zwischen C und M' bekannt ist. Bei einigen Nahrungsmitteln ist die Bodenkontamination pro cm^2 auch gleich der pro cm^2 Nahrung aufgenommenen Aktivität (z. B. Salat). Hier geht man von M aus. Bei anderen (z. B. Eiern, Milch) muß der Zusammenhang experimentell ermittelt werden. Hier hängt es von der Meßmethode ab, ob M oder M' gemessen wird (siehe Unterschrift zu Tabelle 6).

2.1.6 Der enäguligte (MZK)-Wert. Der kleinste nach den obigen Gleichungen (3), (10), (12), (13) bzw. (14) berechnete Wert für die maximal zulässige Aktivitätskonzentration ist der maximal erlaubte Wert für die Dauerkonzentration. Wird in der Umgebung der kerntechnischen Anlage keine Landwirtschaft betrieben, so können die Überlegungen in Abschnitt 2.1.5 außeracht gelassen werden.

2.2 Die Kurzzeitabgabe

In einer kerntechnischen Anlage sind ausgesprochene Unfälle sehr selten. Häufiger zu erwarten sind Zwischenfälle, bei denen soviel Aktivität abgegeben wird, daß die MZK -Werte kurzzeitig überschritten werden. Da eine kerntechnische Anlage im allgemeinen eine wesentlich geringere Aktivität als die der zulässigen Strahlenbelastung entsprechenden abgibt, ist eine kurzzeitig in Grenzen erhöhte Abgabe vertretbar.

Die zulässige Erhöhung hängt von der Länge der Abgabe ab. Aus diesem Grunde setzt man in diesen Fällen eine Grenze für die gesamte erhaltene Dosis und damit für das zeitliche Integral über die Konzentration. Man muß bei den Betrachtungen zwischen der Einwirkung der Luftaktivität durch äußere Bestrahlung und der Aufnahme der Aktivität bei der Atmung unterscheiden.

2.2.1 Äußere Bestrahlung. Um die maximal zulässige Belastung bei der äußeren Bestrahlung zu erhalten, integriert man Gleichung (3) über die Zeit. Vor der Ausführung der Integration muß $(MZK)_L$ durch die Konzentration $C(t)$ und \dot{D}_{\max} durch die Dosisleistung $\dot{D}(t)$ in rem/sec ersetzt werden. $\int \dot{D}(t) dt$ ist die Dosis D . Damit erhält man

$$\int_0^{t'} C(t) dt = 3,4 \cdot 10^3 \frac{D \cdot q_a}{E} \frac{P_a}{P_t}. \quad (15)$$

Die Erhöhung der Konzentration soll zur Zeit $t = 0$ beginnen und zur Zeit $t = t'$ enden. Da danach kein Beitrag mehr zur Dosis geliefert wird, kann die obere Integrationsgrenze gleich ∞ gesetzt werden.

Aus den Gleichungen (3) und (15) folgt

$$\int_0^{\infty} C(t) dt = \frac{D}{\dot{D}_{\max}} \cdot (MZK)_L. \quad (16)$$

Hier bedeutet \dot{D}_{\max} die Dosisleistung nicht mehr in rem/Woche , sondern in rem/sec .

2.2.2 Inkorporation durch Atmung. Bei der Berechnung der maximal zulässigen kurzzeitigen Aktivitätsabgabe in dem Fall, daß die Aktivität durch die Atmung aufgenommen wird, geht man von den Gleichungen (4) und (6) aus. Setzt man in Gleichung (6) \dot{D}_{\max} nicht in rem/Woche , sondern in rem/sec ein, so lautet diese

$$(qf_2)_{\max} = 1,69 \cdot 10^3 \cdot \frac{m \cdot \dot{D}_{\max}}{E}. \quad (17)$$

In Gleichung (4) setzt man nun $C = C(t)$ an. Die Lösung, die für $t = 0$ verschwindet, lautet für $q(t)f_2$

$$q(t)f_2 = S f_a e^{-\lambda t} \int_0^t e^{\lambda t} C(t) dt. \quad (18)$$

Setzt man dies in Gleichung (17) ein, nachdem man dort \dot{D}_{\max} durch $\dot{D}(t)$, also auch $(qf_2)_{\max}$ durch $q(t)f_2$ ersetzt hat, so erhält man

$$1,69 \cdot 10^3 \frac{m D(t)}{E} = S f_a e^{-\lambda t} \int_0^t e^{\lambda t} C(t) dt. \quad (19)$$

Integriert man nun Gleichung (19) von $t = 0$ bis $t = \infty$, so folgt unter Beachtung von

$$\int_0^{\infty} e^{-\lambda t} \int_0^t e^{\lambda t} C(t) dt dt = \frac{1}{\lambda} \int_0^{\infty} C(t) dt \quad (20)$$

die Beziehung

$$\int_0^{\infty} C(t) dt = 1,69 \cdot 10^3 \frac{m \lambda D}{E S f_a}. \quad (21)$$

Die Integration bis $t = \infty$ ist gerechtfertigt, da $C(t)$ nach einem Kurzeitausstoß entweder von allein oder durch Evakuierung der betroffenen Bevölkerung auf Null zurückgeht. Dabei muß man allerdings voraussetzen, daß auch die Dosisleistung zu Lebzeiten der Betroffenen vernachlässigbar klein wird (Halbwertszeit \ll Lebensalter), sonst wäre die Umformung nach Gleichung (20) nicht anwendbar. Dividiert man Gleichung (21) durch Gleichung (8), nachdem man dort die Dosisleistung in rem/sec umgerechnet hat, so folgt nach einer kleinen Umformung

$$\int_0^{\infty} C(t) dt = \frac{D}{\dot{D}_{\max}} (MZK)_L. \quad (22)$$

Gleichungen (16) und (22) scheinen auf den ersten Blick identisch zu sein. Jedoch sind die MZK -Werte in Gleichung (16) durch Gleichung (3) und die MZK -Werte in Gleichung (22) durch Gleichung (7) bestimmt. In den Gleichungen (16) und (22) bedeutet D/\dot{D}_{\max} die Zeit in sec, in der eine Person im Strahlenfeld der Dosisleistung \dot{D}_{\max} pro Sekunde die Dosis D [bzw. bei der maximal zulässigen Konzentration (MZK) die Belastung $\int C(t) dt$] erhält.

Voraussetzung für Gleichung (21) ist, wie oben erwähnt, die Abnahme der Dosisleistung \dot{D} zu Lebzeiten der bestrahlten Person auf vernachlässigbar kleine Werte. Diese Voraussetzung ist bei einigen knochen suchenden langlebigen Nukliden nicht gegeben. Dafür kann man bei diesen Nukliden annehmen, daß die im Körper aufgenommene Aktivität während des Lebens nicht abnimmt. Die Änderung der Aktivität im kritischen Organ ist damit gleich der pro Zeiteinheit aufgenommenen Aktivität. Sie wird durch die Differentialgleichung (4) beschrieben, falls man das Glied mit λ vernachlässigt. Durch Integration dieser Gleichung von $t = 0$ bis $t = t^*$ ($t^* =$ Lebensalter eines Menschen) folgt für $\lambda \rightarrow 0$

$$\int_0^{t^*} C(t) dt = \int_0^{\infty} C(t) dt = \frac{qf_2}{S f_a}. \quad (23)$$

(Da es sich um einen Kurzeitausstoß handeln soll, kann die Integrationsgrenze t^* im Integral $\int C(t) dt$ durch ∞ ersetzt werden.) Setzt man qf_2 aus Gleichung (6) ein, so folgt

$$\int_0^{\infty} C(t) dt = 2,8 \cdot 10^{-3} \frac{m \dot{D}_{KZ}}{E S f_a}. \quad (24)$$

\dot{D}_{KZ} ist die Dosisleistung infolge eines Kurzeitausstoßes im kritischen Organ. Mit Hilfe von Gleichung (7) läßt sich dies weiter umformen.

Man erhält

$$\int_0^{\infty} C(t) dt = \frac{\dot{D}_{KZ}}{\dot{D}_{max}} \frac{1 - e^{-\lambda t^*}}{\lambda} (MZK)_L. \quad (25)$$

Für $\lambda \rightarrow 0$ folgt hieraus

$$\int_0^{\infty} C(t) dt = \frac{\dot{D}_{KZ} \cdot t^*}{\dot{D}_{max}} (MZK)_L. \quad (26)$$

Gleichung (26) entspricht den Gleichungen (16) und (22).

Die Abhängigkeit der Werte von $\int_0^{\infty} C(t) dt$ vom Lebensalter der betrachteten Bevölkerungsgruppe ist in den Gleichungen (22) und (26) dieselbe wie die der MZK -Werte, die Gleichung (10) wiedergibt. Dabei muß wieder die Inkorporation von knochen-suchenden langlebigen Nukliden, die Inkorporation von Nukliden mit kleiner effektiver Halbwertszeit sowie der Fall äußerer Bestrahlung unterschieden werden.

Bei Sicherheitsbetrachtungen nimmt man den kleinsten der Werte der Belastung, die sich nach den Gleichungen (16) oder (22) bzw. (26) ergeben. Außer bei den Edelgasen wird dieser Wert immer durch Gleichung (22) bzw. (26) bestimmt. Da bei den Edelgasen keine Inkorporation durch Atmung möglich ist, wird der Wert der Belastung durch Gleichung (16) gegeben.

2.2.3 Zur Frage der anzusetzenden Dosen für Kurzzeitabgabe. Bei der Festsetzung von Dosen, die die Kurzzeitabgabe begrenzen, sollte man unserer Meinung nach unterscheiden zwischen Ereignissen, die mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit eintreten werden und in ihrem Ausmaß exakt zu begrenzen sind, und solchen, die nur mit einer äußerst kleinen Wahrscheinlichkeit zu erwarten sind und die sich nicht genügend genau übersehen lassen. In die erste Gruppe ordnen wir chemische Arbeiten an bekannten Mengen bestrahlter Kernbrennstoffe, Schäden an Experimentierkreisläufen bekannten Inhaltes an Aktivität usw. ein. Zu der zweiten Gruppe zählen wir schwere Reaktorunfälle. Ereignisse der ersten Art müssen durch die Auslegung der Anlage beherrscht werden. Ereignisse der zweiten Art beinhalten gewisse Risiken, die nur durch einen wirtschaftlich nicht mehr tragbaren Aufwand vermindert werden können. (Auch bei konventionellen Einrichtungen, wie z. B. Schienen- und Luftverkehr, Staudämmen und der chemischen Industrie werden der Allgemeinheit Risiken zugemutet, die allgemein hingenommen werden, die aber durch einen beliebig hohen Aufwand weiter verringert werden konnten).

Mit den Kurzzeitabgaben, von denen hier gesprochen wird, sind vor allem Ereignisse der ersten Art gemeint. Insbesondere beziehen sich die später (in 5.1) angenommenen Dosen bzw. Dosisleistungen hierauf. Wir sind der Meinung, daß die für solche Ereignisse vorzuschreibenden Grenzen in den dort genannten Größenordnungen liegen sollten. Bei den äußerst unwahrscheinlichen Ereignissen der zweiten Art, wie z. B. schweren Reaktorunfällen, wird man von höheren Grenzwerten ausgehen.

Bei der Behandlung des Kurzeitausstoßes wird die Kontamination der Nahrung außeracht gelassen, da dieser Fall rechnerisch nicht mit einer ausreichenden Zuverlässigkeit behandelt werden kann. In diesem Falle sollten Kontaminationsmessungen den Vorrang haben.

Es ist nicht das Ziel dieser Arbeit, die Frage der zulässigen Dosis bei Kurzzeitabgabe zu Ende zu diskutieren. Vielmehr soll gezeigt werden, welche Aktivitätsabgaben tragbar sind bzw. umgekehrt, welche Strahlenbelastung aus einer vorgegebenen Aktivitätsabgabe resultiert.

3. Der meteorologische Ausbreitungsfaktor

Die in der Einleitung in den Gleichungen (1) und (2) eingeführten meteorologischen Ausbreitungsfaktoren lassen sich auf verschiedenen Wegen bestimmen. In dem folgenden Abschnitt 3.1 soll kurz auf die Möglichkeiten eingegangen werden, diese Faktoren zu berechnen. Im Abschnitt 3.2 werden empirische Werte wiedergegeben.

3.1 Die Berechnung des meteorologischen Ausbreitungsfaktors

Der meteorologische Ausbreitungsfaktor kann nach verschiedenen Formeln berechnet werden. Eine der bekanntesten Formeln ist die sogenannte Sutton-Formel [5], die jedoch noch nicht das Drehen des Windes berücksichtigt. Die Sutton-Formel ist unter ziemlich allgemeinen Voraussetzungen anwendbar. Von verschiedenen Autoren wurden Modifikationen für Sonderfälle vorgeschlagen, z. B. von Leonard [6] für starke Inversionen oder von Holland [7] für den „fumigation“-Fall. Eine Formel, die das Drehen des Windes berücksichtigt, ist jene von Pasquill [8]. Nähere Angaben über diese Formeln befinden sich u. a. in zusammenfassenden Arbeiten wie jener von Blässler und Wirtz [3].

In Abschnitt 3.2 soll gezeigt werden, daß der meteorologische Ausbreitungsfaktor in einer für das vorliegende Problem hinreichenden Weise rein empirisch beschrieben werden kann und daß diese Beschreibung für genügend weit auseinanderliegende Standorte, die sich nicht gegenseitig beeinflussen, anwendbar ist. Es wird daher darauf verzichtet, auf die theoretische Beschreibung näher einzugehen.

3.2 Empirische Daten für den meteorologischen Ausbreitungsfaktor

3.2.1 Der Kurzeitausbreitungsfaktor M_k . In der bereits mehrfach zitierten Arbeit von Barry [1] wurden Daten für den Kurzeitausbreitungsfaktor M_k für verschiedene Reaktorstandorte zusammengetragen. Bei der Durchsicht dieser Werte überrascht besonders die Ähnlichkeit der Kurzzeitwerte für einen großen Schwankungsbereich der Entfernung vom Schornstein und der Schornsteinhöhe. Aus den erhältlichen Informationen zieht Barry versuchsweise folgende Schlüsse:

1. Der Minimalwert von M_k ist relativ unempfindlich (innerhalb eines Faktors 4 oder 5) gegenüber Änderungen der Schornsteinhöhe oberhalb eines Minimalwertes von ca. 50 m und einer Entfernung des Ortes der Probenahme im Bereich von 1 bis 10 km.
2. Bei Vergrößerung sowohl der Schornsteinhöhe als auch der Entfernung des Meßortes vom Schornstein wird sowohl die mittlere Konzentration als auch die Häufigkeit des Auftretens hoher Konzentrationen vermindert.

Barry leitet aus dem ihm vorliegenden Beobachtungsmaterial die Berechtigung ab, in dem für den Strahlenschutz besonders interessanten Entfernungsbereich von 1 bis 10 km mit einem festen Wert des meteorologischen Ausbreitungsfaktors zu rechnen, nämlich mit $1 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{sec}$. Für Bodenquellen arbeitet er mit einem Wert $1 \cdot 10^4 \text{ m}^3/\text{sec}$, also mit einem um den Faktor 10 ungünstigeren Wert.

In dem Report von Bryant [9] werden die Ergebnisse von Barry durch halbempirische Daten im wesentlichen bestätigt. Als ungünstigster Wert für den Kurzeitausbreitungsfaktor (siehe Abbildungen 1a und 1b) bei einem Schornstein von 80 m effektiver Höhe wird $3,6 \cdot 10^4 \text{ m}^3/\text{sec}$ angegeben. Dieser Wert stimmt mit ersten Messungen der Strahlenmeßabteilung [10] des Kernforschungszentrums Karlsruhe für den Schornstein des FR 2 befriedigend überein, aus denen auf $M_k = 3 \cdot 10^4 \text{ m}^3/\text{sec}$ geschlossen worden war.

3.2.2 Der Langzeitausbreitungsfaktor M_l . Der Langzeitmittelwert M_l nähert sich mit der Länge des Beobachtungszeitraums (bei Beobachtungen über mehrere Jahre hinweg) einem konstanten Wert. Dieser Wert ist für den Routinebetrieb von Interesse. Von Barry [1] wurden die Langzeitmittelwerte für eine Reihe von Reaktorstandorten zusammengestellt. Obwohl die Entfernung und die Schornsteinhöhe über einen weiten Bereich variieren, ist der Wert von M_l trotz Verschiedenheiten im Gelände, mittlerer Windgeschwindigkeit sowie Windrichtungshäufigkeit überraschend konstant.

Die Arbeit von Bryant [2], die von anderem Beobachtungsmaterial wie Barry ausgeht, kommt zu dem gleichen Ergebnis. Bryant geht bei der Bestimmung der M_1 -Werte von den Pasquillschen Stabilitätskategorien [8] aus. Pasquill hat die verschiedenen Wetterlagen in Stabilitätskategorien eingeordnet, die er mit A bis F bezeichnet. Von Bryant wird eine Kategorie G hinzugefügt. Die Ordnung erfolgte in Richtung zunehmender Stabilität. Die Stabilitätskategorien sind in Tabelle 4 charakterisiert.

Bryant hat nun für acht verschiedene Standorte in England und Wales sowie für drei Standorte in Schottland die Häufigkeit in Prozenten der Zeit angegeben, mit der die Kategorien A bis G auftreten. Die räumlichen Mittelwerte dieser Häufigkeiten und die Werte für Oak Ridge [18] werden in Tabelle 5 wiedergegeben. Die Häufigkeit, mit der die Kategorien C und D auftreten, ist für England und Wales 58%, für Schottland 61% und für Oak Ridge 55%. Die Tabelle in der zitierten Arbeit [9] zeigt geografische Unterschiede in der Häufigkeitsverteilung der verschiedenen Wetterlagen für die verschiedenen Standorte. Bei der Berechnung eines mittleren Ausbreitungsfaktors zeigt sich jedoch, daß sich diese geografischen Unterschiede praktisch herausmitteln. Der mittlere Ausbreitungsfaktor läßt sich daher für die verschiedenen Standorte auf ein einziges Diagramm zurückführen, das in der Abbildung 2 wiedergegeben wird. Dabei müssen jedoch gewisse Einschränkungen gemacht werden, die Besonderheiten der einzelnen Standorte berücksichtigen.

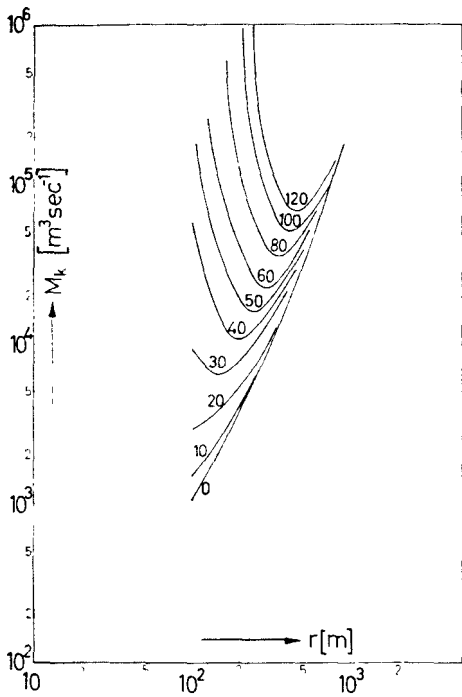


Abbildung 1a. M_k -Werte für Wetterbedingungen der Kategorie A nach Bryant [9] als Funktion der Entfernung von der Quelle. Parameter ist die Schornsteinhöhe in m. Die Originalabbildung ist auf unsere Bezeichnung umgerechnet

Tabelle 4. Pasquillsche Stabilitätskategorien

Stabilitätskategorie	typische Windgeschwindigkeit [m/sec]	Charakterisierung
A	1	sehr sonniges Sommerwetter
B	2	sonnig und warm
C	5	teilweise bewölkt bei Tag
D	5	bewölkt bei Tag oder Nacht
E	3	bei Nacht teilweise bewölkt
F	2	klare Nacht
G	<2	klare Nacht

Tabelle 5. Mittlere prozentuale Häufigkeit des Auftretens der Pasquillschen Stabilitätskategorien für verschiedene Orte in England und Wales, Schottland [9, 2] und Oak Ridge [18] in Prozenten der Zeit

	A	B	C	D	E	F	G
Mittel von acht Orten in England und Wales	1,7	8,4	16,8	41,0	11,8	20,3	
Mittel von drei Orten in Schottland	1,0	4,5	14	47	14	20	
Oak Ridge	0,4	8,6	35,3	19,7	22,0	9,9	4,1

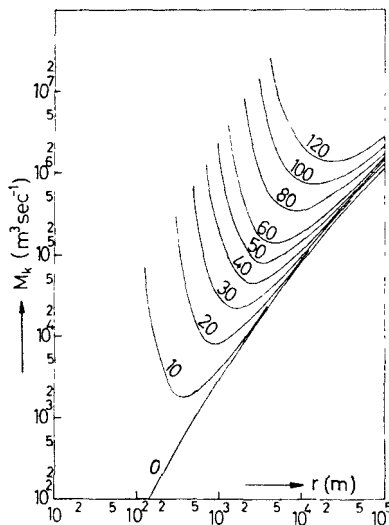


Abbildung 1b. M_k -Werte für Wetterbedingungen der Kategorie F nach Bryant [9] als Funktion der Entfernung von der Quelle. Parameter ist die Schornsteinhöhe in m. Die Originalabbildung ist auf unsere Bezeichnung umgerechnet

In der Abbildung 2 ist der Langzeitausbreitungsfaktor M_1 als Ordinate aufgetragen, der als gewichteter Mittelwert berechnet wurde. Abszisse ist die Entfernung x vom Fußpunkt des Schornsteins. Parameter ist die Schornsteinhöhe. Abbildung 2 zeigt, daß die Kurven für Schornsteinhöhen von mindestens 20 m ein flaches Minimum aufweisen. Dieses flache Minimum liegt in einer Entfernung vom Schornstein in dem Bereich von 6 Schornsteinhöhen bei hohen Schornsteinen, bis zu 8 Schornsteinhöhen bei niedrigen. Eine Erhöhung der Schornsteine von 50 auf 100 m bringt nur einen Faktor 5 in der Verdünnung, wenn man sich auf das Konzentrationsmaximum am Boden bezieht. Bei einem Schornstein von 100 m Höhe unterscheiden sich Maximal- und Minimalwert des Ausbreitungsfaktors M_1 im Entfernungsbereich von 250 m bis 10 km nur um einen Faktor 5. Im wesentlichen werden also die Aussagen von Barry bestätigt. Das Diagramm setzt voraus, daß alle Windrichtungen gleichhäufig verteilt sind. Herrscht dagegen eine Windrichtung vor, was sehr häufig der Fall ist, müssen Sicherheitsfaktoren der Größenordnung 2 bis 3 angewendet werden. Die in Abbildung 2 gegebenen Schornsteinhöhen sind als effektive Schornsteinhöhen aufzufassen.

Obige Aussagen stimmen mit einer Vorhersage von Scorer [11] überein, daß über einen Entfernungsbereich von 9 effektiven Schornsteinhöhen bis zu 45 effektiven Schornsteinhöhen die Konzentration über einen Monat gemittelt nur um einen Faktor 3 variiert. Da ein Faktor 3 für die vorgenannten Abschätzungen kaum bedeutend ist, kann M_1 in grober Näherung über einen Bereich von 1 bis 10 km als entfernungsunabhängig angesetzt werden.

In diesem Zusammenhang verdient eine Arbeit von Hosler [12] Erwähnung. Auch diese Arbeit kommt zu der Schlussfolgerung, daß trotz der großen Schwankung mit der Zeit für einen bestimmten Standort der Langzeitmittelwert sehr wenig vom Standort abhängt. In Übereinstimmung mit Giffort [13] wird gefolgert, daß die Abluftverdünnung in der Atmosphäre im allgemeinen kein Kriterium für die Auswahl eines Reaktorstandortes zwischen verschiedenen Standorten ist. Die meteorologischen Faktoren müssen daher zu der Bevölkerungsverteilung des örtlichen Geländes und anderen Faktoren der Umgebung des Standortes in Beziehung gesetzt werden, bevor über den Standort beschlossen wird.

Im folgenden wird daher in Übereinstimmung mit Barry $M_1 = 10^7 \text{ m}^3/\text{sec}$ benutzt. Hierbei ist vorausgesetzt, daß dieser Langzeitausbreitungsfaktor nur bei praktisch zeitlich konstanter Aktivitätsabgabe benutzt wird, d. h. die Schwankungen des Verhältnisses

$$\frac{\text{Spitzenwert der Aktivitätsabgabe}}{\text{Mittelwert der Aktivitätsabgabe}}$$

sollen kleiner als ein Faktor 10 sein. Wäre dieses Verhältnis größer, so müßte das mögliche Zusammentreffen von hohem Aktivitätsausstoß und schlechter Abluftverdünnung berücksichtigt werden.

Nach Abbildung 2 entspricht die getroffene Wahl einer effektiven Schornsteinhöhe von ca. 80 m.

4. Korrekturfaktoren

Die Aktivitätskonzentration in einer vorgegebenen Entfernung von einer Quelle radioaktiver Abgabe hängt nicht nur von der Quellstärke und der Abluftverdünnung ab, sondern auch von den kernphysikalischen Eigenschaften des abgegebenen Nuklids, sowie von der physikalischen und chemischen Form seines Auftretens.

4.1 Radioaktiver Zerfall

Auf dem Weg von der Quelle zu dem Beobachtungsort wird ein Teil der abgegebenen radioaktiven Stoffe zerfallen. Dadurch wird die Aktivitätskonzentration am Beobachtungsort verkleinert. Merklich ist dieser Korrekturfaktor allerdings nur, wenn das beobachtete Nuklid genügend kurzlebig ist. Der Korrekturfaktor zur Gleichung (1) bzw. (2) enthält also einen Anteil der Form

$$F_1 = e^{-\lambda \frac{r}{w}} \quad \text{bzw.} \quad 2^{-\frac{r}{w T_{1/2}}} \quad (27)$$

w ist die Windgeschwindigkeit. (Da ein Teil der abgegebenen Aktivität auf dem Weg zum Beobachtungsort zerfallen ist, darf also mehr Aktivität abgegeben werden). Ein Beispiel, in dem dieser Korrekturfaktor von Bedeutung ist, ist ^{16}N , der durch eine (n, p)-Reaktion aus ^{16}O entsteht. Da ^{16}N eine Halbwertszeit von 7,4 sec besitzt und die Windgeschwindigkeit im allgemeinen nur wenige Meter pro Sekunde beträgt, kann dieses Radionuklid für die Bevölkerung in der Umgebung einer kerntechnischen Anlage keine Rolle spielen. Wir beschränken uns daher in der vorliegenden Arbeit auf solche Radionuklide, deren Halbwertszeit genügend groß ist, so daß dieser Korrekturfaktor außeracht gelassen werden kann.

Es muß noch bemerkt werden, daß im Fall der Kurzzeitabgabe und der Langzeitabgabe verschiedene Korrekturfaktoren anzuwenden sind. Im Fall der Kurzzeitabgabe hat man im wesentlichen nur mit einer Windgeschwindigkeit zu rechnen, die relativ kleinen Schwankungen unterworfen ist. Im Fall der Langzeitabgabe ist dagegen über einen größeren Windgeschwindigkeitsbereich gewichtet zu mitteln.

Um einen weitgehend anwendbaren Korrekturfaktor zu gewinnen, kann man den minimalen Korrekturfaktor bestimmen. Den mini-

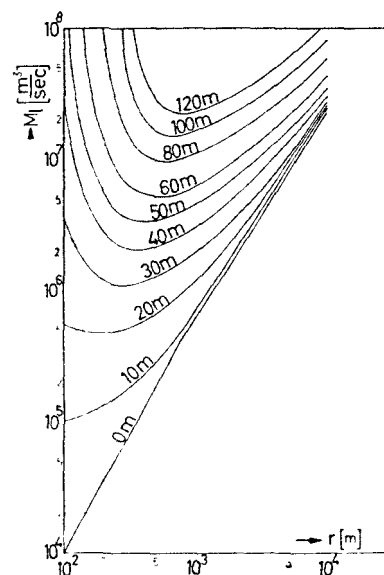


Abbildung 2. Langzeitausbreitungsfaktor M_1 nach Bryant [2] als Funktion der Entfernung von der Quelle. Parameter ist die Schornsteinhöhe in m. Die Abbildung ist auf unsere Bezeichnung umgerechnet

malen Korrekturfaktor erhält man für Entfernungen $r > 6h$, wobei h die Schornsteinhöhe ist, da das Maximum der Konzentration am Boden etwa im Abstand $r = 6h$ vom Schornstein liegt. Als Minimalwert für F_1 kann also

$$F_{1 \min} = e^{-\frac{6\lambda h}{w}} = 2^{-\frac{6h}{w T_{1/2}}} \quad (28)$$

eingesetzt werden. Gleichung (28) gilt für inkorporierbare Nuklide. Für Radionuklide, die nur durch äußere Strahlung wirksam werden, wird man $F_{1 \min} = 1$ setzen. In dem Bereich zwischen Quelle und Maximum der Konzentration am Boden ist für solche Nuklide die Dosisleistung in der Windrichtung nicht sehr veränderlich, da in diesem Fall die γ -Strahlung aus der Abgasfahne den Boden erreicht. Der Verlauf der Kurven in Abbildung 2 vor dem Minimum von M_1 darf in diesem Falle nicht zu Fehlschlüssen verleiten.

4.2 Fall-out und wash-out

Die Aktivität nimmt mit wachsender Entfernung von der Quelle auch durch fall-out oder wash-out ab. Diese Effekte können durch einen Korrekturfaktor der Form

$$F_2 = e^{-\frac{v_g \cdot r}{w \cdot l}} \quad (29)$$

beschrieben werden. v_g ist die Ablagerungsgeschwindigkeit, l ist eine Größe von der Dimension einer Länge. Sie hat die Bedeutung eines mittleren Durchmessers der radioaktiven Wolke bzw. der Abluftfahne. Gleichung (29) folgt, wenn man eine würfelförmige Abgaswolke voraussetzt. Da jedoch in Gleichung (29) zu viele Parameter eingehen, über die nur lückenhafte Informationen vorliegen, außerdem auch die physikalischen und chemischen Eigenschaften der auftretenden radioaktiven Partikel von großem Einfluß sind, wird hier auf eine weitere Diskussion dieses Korrekturfaktors verzichtet.

Obige Betrachtungen zeigen, daß die nach den Gleichungen (1) und (2) abgeleiteten Grenzen für die Aktivitätsabgabe einer kerntechnischen Anlage auf der sicheren Seite liegen, wenn man die Korrekturfaktoren gleich Eins ansetzt. Im folgenden wird davon Gebrauch gemacht. Das Rechnen mit Korrekturfaktoren > 1 wird erst notwendig, wenn sich die in dieser Arbeit angegebenen Grenzen als zu niedrig erweisen.

Fall-out und wash-out werden z. B. in einer Arbeit von Culkowski [14] ausführlich behandelt, wo auch weitere Zitate zu finden sind.

II. Teil

5. Ergebnisse

5.1 Vernachlässigung der Ortsabhängigkeit von M

In Tabelle 6 sind die unter den gemachten Annahmen im Jahresmittel maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationen in Luft bei Dauereinwirkung in Abhängigkeit vom Lebensalter für

einige Radionuklide zusammengestellt. Die in Klammern angegebenen Werte gelten, wenn die Möglichkeit der Aufnahme von kontaminierter Nahrung besteht. Die Berechnung der eingeklammerten Zahlen wird in der Unterschrift der Tabelle erklärt. Die fettgedruckten Zahlen geben den niedrigsten der Werte für die verschiedenen Altersgruppen an. Unter den gemachten Voraussetzungen ist der Einfluß des Lebensalters nicht groß (Faktor <5).

Tabelle 6. Maximal zulässige Luftkonzentration bei Dauerbestrahlung

Nuklid	(MZK) _E [C/m ³]	(MZK) _{K1} [C/m ³]	(MZK) _{K0,5} [C/m ³]	(MZK) _N [C/m ³]	krit. Organ
³ T	2 · 10 ⁻⁷ (2,2 · 10⁻⁸) a)	7,2 · 10 ⁻⁸ (2,2 · 10⁻⁸) a)	8,4 · 10 ⁻⁸ (2,2 · 10⁻⁸) a)	8,8 · 10 ⁻⁸ (2,2 · 10⁻⁸) a)	Körperwasser
¹⁴ C	1 · 10 ⁻⁷ (3,4 · 10⁻¹⁰)a)	3,6 · 10 ⁻⁸ (3,4 · 10⁻¹⁰)a)	4,2 · 10 ⁻⁸ (3,4 · 10⁻¹⁰)a)	4,4 · 10 ⁻⁸ (3,4 · 10⁻¹⁰)a)	Fett
⁴¹ A	4 · 10 ⁻⁸	4 · 10 ⁻⁸	4 · 10 ⁻⁸	4 · 10 ⁻⁸	äußere Bestr.
^{85m} Kr	1 · 10 ⁻⁷	1 · 10 ⁻⁷	1 · 10 ⁻⁷	1 · 10 ⁻⁷	äußere Bestr.
⁸⁵ Kr	3 · 10 ⁻⁷	3 · 10 ⁻⁷	3 · 10 ⁻⁷	3 · 10 ⁻⁷	äußere Bestr.
⁸⁷ Kr	2 · 10 ⁻⁸	2 · 10 ⁻⁸	2 · 10 ⁻⁸	2 · 10 ⁻⁸	äußere Bestr.
⁸⁹ Sr	1 · 10 ⁻⁹	2,5 · 10 ⁻¹⁰	2,2 · 10 ⁻¹⁰ (7,9 · 10 ⁻¹⁰)b)	2,7 · 10 ⁻¹⁰	Knochen
⁹⁰ Sr	1 · 10 ⁻¹¹ c)		(1,9 · 10 ⁻¹²)d)		Knochen
^{131m} Xe	4 · 10 ⁻⁷	4 · 10 ⁻⁷	4 · 10 ⁻⁷	4 · 10 ⁻⁷	äußere Bestr.
¹³³ Xe	3 · 10 ⁻⁷	3 · 10 ⁻⁷	3 · 10 ⁻⁷	3 · 10 ⁻⁷	äußere Bestr.
¹³⁵ Xe	1 · 10 ⁻⁷	1 · 10 ⁻⁷	1 · 10 ⁻⁷	1 · 10 ⁻⁷	äußere Bestr.
¹³¹ I	2 · 10 ⁻¹⁰	5,6 · 10 ⁻¹¹	6 · 10 ⁻¹¹ (2,5 · 10⁻¹³)e)	1,5 · 10 ⁻¹⁰	Schilddrüse
¹³² I	4 · 10 ⁻⁹	1,1 · 10 ⁻⁹	1,2 · 10 ⁻⁹	3 · 10 ⁻⁹	Schilddrüse
¹³³ I	5 · 10 ⁻¹⁰	1,4 · 10 ⁻¹⁰	1,5 · 10 ⁻¹⁰	3,8 · 10 ⁻¹⁰	Schilddrüse
¹³⁴ I	1 · 10 ⁻⁸	2,8 · 10 ⁻⁹	3 · 10 ⁻⁹	7,5 · 10 ⁻⁹	Schilddrüse
¹³⁵ I	2 · 10 ⁻⁹	5,6 · 10 ⁻¹⁰	6 · 10 ⁻¹⁰	1,5 · 10 ⁻⁹	Schilddrüse
¹³⁷ Cs	5 · 10 ⁻¹⁰	1,8 · 10 ⁻¹⁰	2,1 · 10 ⁻¹⁰ (1,1 · 10⁻¹²)f)	2,2 · 10 ⁻¹⁰	gesamter Körper
¹⁴⁰ Ba	1 · 10 ⁻⁹	2,5 · 10 ⁻¹⁰	2,2 · 10 ⁻¹⁰	2,7 · 10 ⁻¹⁰	Knochen
²³⁹ Pu	7 · 10 ⁻¹⁴ c) g)				Knochen
²³⁹ Pu	6 · 10 ⁻¹⁴ c) g)				Knochen
²⁴⁰ Pu	6 · 10 ⁻¹⁴ c) g)				Knochen
²⁴¹ Pu	3 · 10 ⁻¹² c) g)				Knochen
²⁴² Pu	6 · 10 ⁻¹⁴ c) g)				Knochen

Die in Klammern angegebenen Werte gelten, wenn eine Inkorporation des betreffenden Nuklids durch die Nahrung möglich ist.

- a) Es wird Gleichgewicht von Kohlenstoff bzw. von Wasser in der ganzen Biosphäre vorausgesetzt. Nach Division von Gleichung 6 durch $m \cdot p$, wo p der gewichtsmaße Anteil des Kohlenstoffs bzw. des Wassers im kritischen Organ (Masse m) ist, und Multiplikation mit ρ [g/cm³], der Gewichtskonzentration von Kohlenstoff bzw. von Wasserdampf in Luft, erhält man die maximal zulässige Konzentration in $\mu\text{C}/\text{cm}^3$:

$$(MZK)_L = 2,8 \cdot 10^{-3} \frac{\dot{D}_{\max} \cdot \rho}{E \cdot p}$$

Für ³H gilt: $p = 1$, $\rho = 8 \cdot 10^{-6}$ g/cm³, $\dot{D}_{\max} = 0,01$ rem/Woche, $E = 0,01$ MeV.

Für ¹⁴C gilt: $p = 0,75$, $\rho = 1,63 \cdot 10^{-7}$ g/cm³, $\dot{D}_{\max} = 0,03$ rem/Woche, $E = 0,054$ MeV, \dot{D}_{\max} wurde aus Tabelle 1 entnommen.

- b) Eine Aktivitätsaufnahme von 0,5 pC/d über die Nahrung entspricht einer Bodenkontamination pro Monat von 0,6 mC/(km² · Monat) [15]. Die maximal zulässige tägliche Aktivitätsaufnahme ist (MZK)_N f_N (siehe Gleichung 12). f_N wurde

gleich f_w , dem Bruchteil, der durch die Wasseraufnahme in das kritische Organ gelangt, gesetzt: $f_w = 0,21$. Die Berechnung der (MZK)_L erfolgt nach Gleichung (14), wobei $v_g = 1 \cdot 10^{-3}$ m/sec angesetzt wurde.

- c) Wegen der großen effektiven Halbwertszeit des Nuklids wird im Kindesalter kein Gleichgewicht erreicht. Deshalb wird nur ein Wert für Erwachsene angegeben.
- d) Eine Aktivitätsaufnahme von 30 pC/d durch die Nahrung entspricht einer Bodenkontamination von 0,6 mC/(km² · Monat) [15]. $f_w = 0,09$. Berechnung der (MZK)_L siehe b).
- e) Eine Aktivitätskonzentration in der Milch von 0,09 $\mu\text{C}/\text{l}$ entspricht einer Bodenkontamination von 1 $\mu\text{C}/\text{m}^2$ [16]. Berechnung der maximal zulässigen täglichen Aktivitätsaufnahme siehe b). $f_w = 0,3$. Die Berechnung der (MZK)_L erfolgt nach Gleichung (13), wobei $v_g = 2 \cdot 10^{-2}$ m/sec angesetzt wurde.
- f) Eine Aktivitätskonzentration in der Milch von 0,15 $\mu\text{C}/\text{l}$ entspricht einer Bodenkontamination von 3 $\cdot 10^{-7}$ C/m² [17]. $f_w = 1,0$. Berechnung der maximal zulässigen täglichen Aktivitätsaufnahme siehe b). Die Berechnung der (MZK)_L erfolgte nach Gleichung (13), wobei $v_g = 1 \cdot 10^{-3}$ m/sec eingesetzt wurde.

g) Die Möglichkeit der Inkorporation von Pu über den Magen-Darm-Kanal bewirkt keine Herabsetzung der zulässigen (MZK)-Werte. Macht man die in ihrer Gesamtheit sehr pessimistischen Annahmen,

α) daß ein Mensch pro Tag $0,04 \mu\text{C}/70 \cdot 365 \text{ d} = 1,5 \cdot 10^{-12} \text{ C/d}$, wobei $0,04 \mu\text{C}$ die maximum permissible bodyburden ist, in den Knochen anlagern darf,

β) $f_N = 2,4 \cdot 10^{-5}$,

γ) daß der Mensch täglich die Kontamination von 1 m^2 Bodenfläche, die sich in 60 Tagen (\approx drei Halbwertzeiten für stabile Stoffe auf Pflanzen [2]) angesammelt hat, inkorporiert,

δ) $v_g = 1 \text{ cm/sec}$,

so findet man, daß dem ein Konzentrationswert $1,2 \cdot 10^{-12} \text{ C/m}^3$ entsprechen würde. Dieser Konzentrationswert wird aber bei der in dieser Arbeit berechneten kontinuierlichen Aktivitätsabgabe im Mittel nicht erreicht.

Tabelle 7. Maximal zulässige Belastung für Kurzzeitabgabe unter Voraussetzung $D = 1 \text{ rem}$ bzw. $\dot{D} = 0,1 \text{ rem/a}$

Nuklid	$\langle \int C(t) dt \rangle_E$ [C sec m^{-3}]	$\langle \int C(t) dt \rangle_{K1}$ [C sec m^{-3}]	$\langle \int C(t) dt \rangle_{K0,5}$ [C sec m^{-3}]	$\langle \int C(t) dt \rangle_N$ [C sec m^{-3}]
^3T	12,1	4,4	5,1	5,4
^{14}C	2,0	0,73	0,85	0,89
^{41}A	2,4	2,4	2,4	2,4
$^{85\text{m}}\text{Kr}$	6,1	6,1	6,1	6,1
^{85}Kr	18,0	18,0	18,0	18,0
^{87}Kr	1,2	1,2	1,2	1,2
^{89}Sr	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-3}$
^{90}Sr	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$6,9 \cdot 10^{-5}$	$5,9 \cdot 10^{-5}$	$7,4 \cdot 10^{-5}$
$^{131\text{m}}\text{Xe}$	24	24	24	24
^{133}Xe	18	18	18	18
^{135}Xe	6,1	6,1	6,1	6,1
^{131}I	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$5,6 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
^{132}I	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-2}$
^{133}I	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$
^{134}I	0,1	$2,8 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-2}$	$7,5 \cdot 10^{-2}$
^{135}I	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$5,6 \cdot 10^{-3}$	$6,0 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$
^{137}Cs	$3,0 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$
^{140}Ba	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-3}$
^{238}Pu	$2,6 \cdot 10^{-6}$	$9,4 \cdot 10^{-7}$	$8,1 \cdot 10^{-7}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$
^{239}Pu	$2,9 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$9,0 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$
^{240}Pu	$2,9 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$9,0 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$
^{241}Pu	$5,8 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$
^{242}Pu	$2,9 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$9,0 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$

In dieser Tabelle ist eine Dosis bei Kurzzeitabgabe von 1 rem für Nuklide mit kleiner effektiver Halbwertzeit und $0,1 \text{ rem/a}$ für Nuklide mit großer effektiver Halbwertzeit vorausgesetzt. Sollten andere Dosen bzw. Dosisleistungen vorgeschrieben werden, müßten die Werte der Tabelle mit dem entsprechenden Faktor multipliziert werden. Korrekturen zur Berücksichtigung der Aufnahme kontaminierter Nahrung wurden nicht berücksichtigt.

Tabelle 7 gibt die maximal zulässige Belastung bei Zwischenfällen in Abhängigkeit vom Lebensalter wieder. Als maximal zulässige Dosis wurde 1 rem bzw. bei Nukliden mit großer effektiver Halbwertzeit als maximal zulässige Dosisleistung $0,1 \text{ rem/a}$ angenommen. Auch hier geben die fettgedruckten Zahlen den für das Nuklid niedrigsten Wert an. Für den Einfluß des Lebensalters gilt das Obengesagte.

Die in Tabelle 8 angegebenen zulässigen Aktivitätsangaben pro Zeiteinheit bei kontinuierlichem Ausstoß basieren auf den niedrigsten Werten der Aktivitätskonzentration von Tabelle 6. Dabei wurde $M_1 = 10^7 \text{ m}^3/\text{sec}$ (entsprechend einer effektiven Schornsteinhöhe von 80 m) als Ausbreitungsfaktor vorausgesetzt.

Die in Klammern gesetzten Werte beziehen sich auf die Aktivitätsaufnahme durch Nahrungsmittel.

Tabelle 9 enthält die maximal zulässige Aktivitätsabgabe bei einem Zwischenfall. Sie wurde mit den niedrigsten Werten von

Tabelle 8. Zulässige kontinuierliche Aktivitätsabgabe pro Zeiteinheit für $M_1 = 10^7 \text{ m}^3/\text{sec}$ (effektive Schornsteinhöhe 80 m)

Nuklid	\dot{A} [C/sec]	\dot{A} [C/d]
^3T	0,72 (0,22)	$6,2 \cdot 10^4$ ($1,9 \cdot 10^4$)
^{14}C	0,36 ($3,4 \cdot 10^{-3}$)	$3,1 \cdot 10^4$ ($2,9 \cdot 10^2$)
^{41}A	0,40	$3,5 \cdot 10^4$
$^{85\text{m}}\text{Kr}$	1,0	$8,6 \cdot 10^4$
^{85}Kr	3,0	$2,6 \cdot 10^5$
^{87}Kr	0,20	$1,7 \cdot 10^4$
^{89}Sr	$2,2 \cdot 10^{-3}$ ($7,9 \cdot 10^{-3}$)	$1,9 \cdot 10^2$ ($6,8 \cdot 10^2$)
^{90}Sr	$1,0 \cdot 10^{-4}$ ($1,9 \cdot 10^{-5}$)	8,6 (1,6)
$^{131\text{m}}\text{Xe}$	4,0	$3,5 \cdot 10^5$
^{133}Xe	3,0	$2,6 \cdot 10^5$
^{135}Xe	1,0	$8,6 \cdot 10^4$
^{131}I	$5,6 \cdot 10^{-4}$ ($2,5 \cdot 10^{-6}$)	48 (0,22)
^{132}I	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$9,5 \cdot 10^2$
^{133}I	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^2$
^{134}I	$2,8 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^3$
^{135}I	$5,6 \cdot 10^{-3}$	$4,8 \cdot 10^2$
^{137}Cs	$1,8 \cdot 10^{-3}$ ($1,1 \cdot 10^{-5}$)	$1,6 \cdot 10^2$ (0,95)
^{140}Ba	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^2$
^{238}Pu	$7,0 \cdot 10^{-7}$	$6,0 \cdot 10^{-2}$
^{239}Pu	$6,0 \cdot 10^{-7}$	$5,2 \cdot 10^{-2}$
^{240}Pu	$6,0 \cdot 10^{-7}$	$5,2 \cdot 10^{-2}$
^{241}Pu	$3,0 \cdot 10^{-5}$	2,6
^{242}Pu	$6,0 \cdot 10^{-7}$	$5,2 \cdot 10^{-2}$

Die in Klammern angegebenen Werte gelten, wenn eine Inkorporation des betreffenden Nuklids über die Nahrung möglich ist.

Der Berechnung liegt der Ausbreitungsfaktor $M_1 = 10^7 \text{ m}^3/\text{sec}$ zugrunde. Ferner ist vorausgesetzt, daß der Aktivitätsausstoß pro Zeiteinheit nicht wesentlich schwankt. Im anderen Falle müßten die obigen Werte reduziert werden, da Abgabespitze und schlechte Abluftverdünnung zusammentreffen können, wobei kurzzeitig ein großer Beitrag zur Jahresdosis erbracht würde.

Tabelle 7 und mit dem Kurzzeitausbreitungsfaktor $M_k = 3 \cdot 10^4 \text{ m}^3/\text{sec}$ (entsprechend einer effektiven Schornsteinhöhe von 80 m) berechnet.

Sollte der Wunsch bestehen, von den in den Tabellen 7 und 9 zugrundeliegenden Dosen bzw. Dosisleistungen abzugehen, so hat man die in diesen Tabellen enthaltenen Werte mit einem entsprechenden Faktor zu multiplizieren.

Die Tabellen 8 und 9 gelten unter der Voraussetzung, daß nur ein Nuklid abgegeben wird. In dem Fall, daß mehrere Nuklide gleichzeitig abgegeben werden, ist eine Reduktion der Werte gemäß der Ungleichung

$$\sum_{i=1}^n \frac{X_{ai}}{X_{ei}} \leq 1 \quad (30)$$

vorzunehmen. Hierbei bedeuten X_{ai} die tatsächliche Aktivitätsabgabe (\dot{A} oder A) des Radionuklids i , X_{ei} die für dieses Nuklid zulässige Abgabe.

5.2 Berücksichtigung der Ortsabhängigkeit des Langzeitausbreitungsfaktors M_1

In 5.1 war die Ortsabhängigkeit des Ausbreitungsfaktors vernachlässigt worden. Nach Abbildung 2 ist nun die Ortsabhängigkeit des Langzeitausbreitungsfaktors bekannt. Dies kann man dazu benutzen, die Entfernung r in Abhängigkeit von der Schornsteinhöhe h zu bestimmen, in der eine bestimmte Dosisleistung in rem/a erreicht wird. Die Ergebnisse sind in Abbildung 3 wiedergegeben. In dieser Abbildung ist ferner die Lage des Minimums von M_1 als Funktion von h angegeben. Innerhalb dieser Ent-

Tabelle 9. Zulässige kurzzeitige Aktivitätsabgabe unter den Voraussetzungen $M_k = 3 \cdot 10^4 \text{ m}^3/\text{sec}$ (effektive Schornsteinhöhe 80 m) und $D = 1 \text{ rem}$ bzw. $\dot{D} = 0,1 \text{ rem/a}$

Nuklid	$A [C]$
^3T	$1,3 \cdot 10^5$
^{14}C	$2,2 \cdot 10^4$
^{41}A	$7,2 \cdot 10^4$
$^{85\text{m}}\text{Kr}$	$1,8 \cdot 10^5$
^{85}Kr	$5,4 \cdot 10^5$
^{87}Kr	$3,6 \cdot 10^4$
^{89}Sr	69
^{90}Sr	1,8
$^{131\text{m}}\text{Xe}$	$7,2 \cdot 10^5$
^{133}Xe	$5,4 \cdot 10^5$
^{135}Xe	$1,8 \cdot 10^5$
^{131}I	16,8
^{132}I	$3,3 \cdot 10^2$
^{133}I	42
^{134}I	$8,4 \cdot 10^2$
^{135}I	$1,7 \cdot 10^2$
^{137}Cs	$3,3 \cdot 10^2$
^{140}Ba	69
^{238}Pu	$2,4 \cdot 10^{-2}$
^{239}Pu	$2,6 \cdot 10^{-2}$
^{240}Pu	$2,6 \cdot 10^{-2}$
^{241}Pu	0,38
^{242}Pu	$2,6 \cdot 10^{-2}$

In obiger Tabelle ist als Dosis für Nuklide kleiner effektiver Halbwertzeit 1 rem und als Dosisleistung für Nuklide großer effektiver Halbwertzeit 0,1 rem/a zugelassen. Beim Abweichen von diesen Werten sind entsprechende Faktoren anzuwenden. Für den Kurzeitenausbreitungsfaktor M_k wurde $M_k = 3 \cdot 10^4 \text{ m}^3/\text{sec}$ vorausgesetzt.

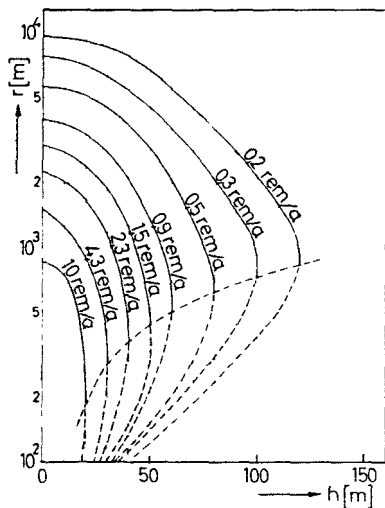


Abbildung 3. Abstände r in m, in denen eine vorgegebene Dosisleistung in rem pro Jahr erreicht wird, als Funktion der Schornsteinhöhe h bei kontinuierlicher Abgabe eines Nuklids nach Tabelle 8. Dieser Abbildung ist M_1 nach Abbildung 2 zugrunde gelegt. Die gestrichelte Kurve gibt die Lage des Minimums des Ausbreitungsfaktors M_1 , also die Entfernungen maximaler Dosisleistung, als Funktion von h . Die Kurven $r(h, D)$ dürfen unterhalb dieser Kurve nur mit Vorsicht angewandt werden, da in diesem Bereich die äußere Strahlung eine Rolle spielen kann. — Aus Abbildung 3 kann der Bruchteil bestimmt werden, auf den die Aktivitätsabgabe reduziert werden muß, wenn eine vorgegebene Dosisleistung nicht überschritten werden soll.

fernung besitzen die Isodosenkurven nur Interesse für Inkorporation. Für die äußere Bestrahlung hat das Minimum von M_1 keine Bedeutung (siehe 4.1). Würde man für eine Schornsteinhöhe die Isodosenkurven nach Abbildung 3 in eine Landkarte eintragen, so würde man konzentrische Kreise mit dem Abluftschornstein als Mittelpunkt erhalten. Da nun der Ausbreitungsfaktor M_1 im allgemeinen richtungsabhängig ist, tritt eine Verzerrung dieser Kreise ein, die man für den Einzelfall abschätzen muß (siehe 3.2.2).

Wegen der starken Schwankungen des Kurzeitenausbreitungsfaktors M_k verzichten wir auf eine analoge Betrachtung für Kurzeitenausstöße.

5.3 Überlagerung des Ausstoßes mehrerer Quellen

Gibt es in einer kerntechnischen Anlage mehrere Quellen radioaktiver Abgabe, so darf man ihre Aktivitätsabgaben zur strahlenschutzmäßigen Beurteilung nur dann einfach addieren, wenn alle Quellhöhen (effektive Schornsteinhöhen) gleich sind. Im anderen Fall hat man von der Dosisleistung bzw. Dosis an einem bestimmten Ort auszugehen und die Verschiedenheit der meteorologischen Ausbreitungsfaktoren für die einzelnen Quellen zu berücksichtigen.

6. Bemerkung zu Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen

Ist p_1 die Wahrscheinlichkeit eines Zwischenfalls und p_2 die Wahrscheinlichkeit schlechter Abluftverdünnung (z. B. 10^{-3} für Karlsruhe), so beträgt die Wahrscheinlichkeit P für einen Zwischenfall bei ungünstigen² meteorologischen Verhältnissen $P = p_1 p_2$. P ist im allgemeinen eine sehr kleine Zahl. Dies darf jedoch nicht zu einem Trugschluß verleiten: In der Praxis hat man nur wenige Zwischenfälle in einem vorgegebenen Zeitraum zu erwarten. Bei n Zwischenfällen wird die Anzahl der ungünstig verlaufenden in einem Bereich der Größenordnung $n P \pm \sqrt{n P (1 - P)}$ liegen. Man überzeugt sich leicht durch Zahlenbeispiele, daß die Schwankungsbreite in manchen Fällen verbietet, von der niedrigen Wahrscheinlichkeit P Gebrauch zu machen.

7. Die Begrenzung der Aktivitätsabgabe von der Meßtechnik her

Zur Abschätzung der meßtechnischen Konsequenzen einer vorgegebenen Aktivitätsabgabe geht man zweckmäßigerweise — da in diesem Fall nur die äußere Strahlung zu berücksichtigen ist — von Gleichung (3) aus. Läßt man hierin den Faktor P_a/P_t weg, so erhält man nach einfachen Umformungen die bekannte Beziehung

$$\dot{D} = 0,25 \cdot C \cdot E \frac{\text{rad}}{\text{sec}}, \quad (31)$$

worin C die Konzentration in C/m^3 und

E die Energie in MeV bedeuten.

Durch Vorgabe von \dot{D} kann man C für jedes Nuklid berechnen. Die Wahl von \dot{D} wird zweckmäßigerweise unter Berücksichtigung des natürlichen Untergrundes geschehen. Die Auswertung von Gleichung (31) zeigt, daß die Zulassung der nach Strahlenschutzgesichtspunkten erlaubten Abgabe einen erhöhten meßtechnischen Aufwand bedeutet, um Störungen zu vermeiden.

² Die Einteilung in „günstige“ und „ungünstige“ Fälle bedeutet eine starke Vereinfachung. Sie genügt jedoch für die folgende Betrachtung.

Schlußbemerkung

Herrn Dr. Zuehlke danken wir für zahlreiche anregende Diskussionen zu dieser Arbeit sowie für die Durchsicht des Manuskripts vor seiner Veröffentlichung.

Literatur

- [1] Barry P. J.: AECL-1624 (1963)
[2] Bryant P. M.: Health Physics 10, 249 (1964)
[3] Blässer G. und Wirtz K.: Nukleonik 3, 164 und 210 (1961)
[4] ICRP-Report of Committee II (1959)
[5] Sutton O. G.: „Micrometeorology“, McGraw-Hill, New York 1953
[6] Leonard B. P.: P/428 Genfer Berichte 1958
[7] Holland J. Z.: ORO 99 (1953)
[8] Pasquill F.: Met Mag. 90, 33 (1961)
[9] Bryant P. M.: AHSB (RP) R 42 (1964)
[10] Kiefer H.: Private Mitteilung
[11] Scorer R. S. und Barret C. F.: Int. J. Air Wat. Poll. 6, 49 (1962)
[12] Hosler C. R.: Nuclear Safety 5, 184 (1964)
[13] Giffort F. A.: „Meteorology in Relation to Reactor Hazards and Site Evaluation“, Rassegna Internazionale Eletttronica e Nucleare 6, Atti del Congresso Scientifico, Sezione Nucleare, Vol. II, pp. 7—18, Comitato Nazionale per le Ricerche Nucleari, Rome 1959
[14] Culkowski W. M.: ORO-599 (1963)
[15] „The Hazards to Man of Nuclear and Allied Radiations“, a second report to the Medical Research Council. H. M. S. O., London 1960
[16] Dunster H. J., Howells H. und Templeton W. L.: Genfer Berichte 18, 296 (1958)
[17] Beattie J. R.: AHSB (S) R 64 (1963)
[18] Guthrie C. E. und Nichols J. P.: ORNL-3441 (1964)

Anschrift der Verfasser: Dr. L. A. König u. Dipl.-Phys. S. Zehme, Gesellschaft für Kernforschung mbH., Abteilung Strahlenschutz, 75 Karlsruhe, Weberstr. 5

Die maximal zulässige Aktivitätsabgabe über die Abluft einer kerntechnischen Anlage

In der vorliegenden Arbeit wird das Verfahren zur Berechnung von Grenzen für die zulässige Aktivitätsabgabe einer kerntechnischen Anlage dargestellt. Dabei wird zwischen kontinuierlicher Abgabe und Ausstoß innerhalb kurzer Zeit unterschieden. Für besonders bedeutsame Radionuklide werden Grenzen unter Zugrundelegung der 1. SSVVO bzw. ICRP-Empfehlungen berechnet.

The Maximum Permissible Activity Contained in the Exhaust Air from a Nuclear Plant

The article presents a method for calculating the limits of the permissible amount of activity discharged from a nuclear plant. A distinction is made between continuous and short-term discharge. For particularly important radionuclides, the limits were calculated on the basis of the recommendations of the (German) First Radiation-Protection Ordinance (1. SSVVO) and of the ICRP, respectively.

L'émission d'activité dans l'atmosphère admissible au maximum par une installation nucléaire

Dans ce travail est présenté un procédé qui permet de calculer les limites admissibles de l'émission d'activité par une installation nucléaire. Pour cela il faut distinguer entre une émission continue et une émission de courte durée. Pour quelques radionuclides importants les limites sont calculées avec référence aux prescriptions de protection contre les radiations et les recommandations de l'ICRP.