

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM  
KARLSRUHE**

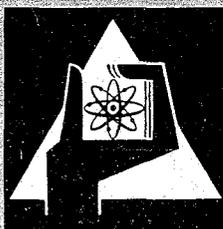
November 1966

KFK 529

Abteilung Strahlenschutz und Dekontamination

Die Beschränkung der Flächenkontamination beim Umgang  
mit offenen radioaktiven Stoffen

L. A. König



**GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.  
KARLSRUHE**



Internationale Monatsschrift für angewandte Atomenergie in Technik, Industrie, Naturwissenschaften, Medizin einschließlich Biophysik und Strahlenschutz unter besonderer Berücksichtigung der Raumfahrtforschung und -technik

Hauptschriftleiter: Prof. Dr. rer. nat. Dr. med. E. H. Graul, 355 Marburg/Lahn, Lahnstraße 4a

Verlag G. Braun, 75 Karlsruhe, Karl-Friedrich-Straße 14—18 · Postfach 129 · Telefon: 26951—56 · Telex: 7826 904 vgb d

## Die Beschränkung der Flächenkontamination beim Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen

Aus der Hauptabteilung Strahlenschutz und Dekontamination, Kernforschungszentrum Karlsruhe

Von L. A. König

### 1. Einleitung

Eines der im Augenblick noch nicht einheitlich gelösten Probleme beim Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen ist die Beschränkung der Oberflächenkontamination. Eine Zusammenstellung von in verschiedenen Ländern benutzten Richtwerten wird in den Veröffentlichungen [1, 2] gegeben. An dieser Stelle soll darauf verzichtet werden, diese Vorschriften im einzelnen zu wiederholen. Zusammenfassend läßt sich aussagen: Für  $\alpha$ -Strahler werden Grenzwerte der Größenordnung  $10^{-4}$  bis  $10^{-6}$   $\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ , für  $\beta$ -Strahler Grenzwerte der Größenordnung  $10^{-3}$  bis  $5 \cdot 10^{-5}$   $\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$  angegeben. Es wird nach inaktiven und aktiven Zonen (Gesamtmenge der vorhandenen Aktivität) sowie Kleidung und Haut aufgeschlüsselt. Verschiedentlich wird auch die Radiotoxizität der Radionuklide berücksichtigt.

In jüngster Vergangenheit durchgeführte Untersuchungen zeigen, daß der augenblickliche Stand in der Frage der Kontaminationsrichtwerte für nicht ganz befriedigend gehalten wird. Insbesondere sind auch Bestrebungen im Gang, neue Richtwerte abzuleiten [3, 4].

In der vorliegenden Arbeit sollen die der Festlegung von Kontaminationsrichtwerten vorausgehenden Überlegungen dargestellt und die sich daraus ergebenden Schlußfolgerungen diskutiert werden.

### 2. Die Festlegung von Kontaminationsrichtwerten\*

Eine Oberflächenkontamination verursacht folgende Formen der Strahlenbelastung:

1. äußere Bestrahlung
2. Inkorporation über den Magen-Darm-Kanal
3. Inkorporation über die Atmung

#### 2.1 Die äußere Strahlenbelastung

Die äußere Bestrahlung durch  $\alpha$ -Strahlung spielt wegen deren geringer Reichweite keine Rolle. In 2.1 werden daher nur  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung behandelt.

##### 2.1.1 Raumkontamination

a)  $\beta$ -Strahlung. In 2.1.2 wird der Einfluß der  $\beta$ -Strahlung unter der Voraussetzung berechnet, daß die mit  $\beta$ -Strah-

\* Im folgenden wird der Unterschied zwischen den Einheiten rem und R nicht beachtet.

lern kontaminierte Fläche den Körper unmittelbar berührt. Im Fall der Raumkontamination ist der Einfluß sicher geringer. Hinzu kommt noch die abschirmende Wirkung der Kleidung und die im Vergleich zur  $\gamma$ -Strahlung starke Schwächung der  $\beta$ -Strahlung in den obersten Gewebeschichten. Wegen dieser Unsicherheiten wird die  $\beta$ -Strahlung hier nicht berücksichtigt und erst unter 2.1.2 behandelt.

b)  $\gamma$ -Strahlung. Für die folgende Überlegung ist vorausgesetzt, daß nur der Raum, nicht aber die betrachtete Person, kontaminiert ist. Die Dosisleistung  $\dot{D}$  in einem Punkt des betrachteten Raumes kann dargestellt werden in der Form

$$\dot{D} = K_{\gamma} \int \frac{A_t df}{r^2} \quad (1)$$

$A_t$  ist die Kontamination pro Flächeneinheit,  $r$  der Abstand zwischen dem Flächenelement der Größe  $df$  und dem betrachteten Raumpunkt. Die sogenannte  $\gamma$ - oder Dosiskonstante  $K_{\gamma}$  liegt auch für harte  $\gamma$ -Strahler unterhalb von  $20 \text{ R cm}^2 \text{ h}^{-1} \text{ mCi}^{-1}$  (vgl. z. B. [5, 10]). Das Integral in Gleichung (1) ist über die gesamte Oberfläche des betrachteten Arbeitsraumes zu erstrecken. Es läßt sich exakt auswerten, wenn man einen kugelförmigen Raum voraussetzt. Nimmt man an, daß eine Kugel gleichmäßig mit der Flächenaktivität  $A_t$  belegt ist und löst man die dann entstehende Gleichung nach  $A_t$  auf, so erhält man

$$A_t = \frac{\dot{D}}{4\pi K_{\gamma}} \quad (2)$$

In dem Grenzfall des kugelförmigen Raumes ist die in dem Raum herrschende Dosisleistung also nur durch die Kontamination pro Flächeneinheit bestimmt. Die Abmessungen des Raumes gehen nicht ein, solange man die Absorption in der Luft vernachlässigt, was man jedoch für  $\gamma$ -Strahlung darf. — Um aus Gleichung (2) einen Grenzwert für  $A_t$  abzuleiten, werden folgende Annahmen gemacht: Es wird  $4\pi K_{\gamma} = 200 \text{ R cm}^2/\text{h}^{-1} \text{ mCi}^{-1}$  ( $K_{\gamma} = 15,9 \text{ R cm}^2/\text{h}^{-1} \text{ mCi}^{-1}$ ; entspricht harter  $\gamma$ -Strahlung) angenommen. Für  $\dot{D}$  wird  $2 \cdot 10^{-4} \text{ R/h}$  angesetzt. (Die letzte Annahme bedeutet, daß  $1/10$  der in Kontrollbereichen zulässigen Strahlenbelastung durch Oberflächenkontamination verursacht sein darf.) Man erhält damit

$$A_t = 10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2 \quad (3)$$

### 2.1.2 Hautkontamination. Unmittelbare Berührung kontaminierter Gegenstände

Hautkontamination und unmittelbare Berührung kontaminierter Gegenstände können mathematisch in gleicher Weise behandelt werden. Da man weder ständig kontaminierte Gegenstände berührt, noch seine Haut ständig kontaminiert läßt, ist in den beiden Fällen der Unterschied in der möglichen Bestrahlungszeit nicht so wesentlich.

a)  $\beta$ -Strahlung. Für die Dosisleistung  $\dot{D}$  infolge äußerer Bestrahlung durch eine Kontamination gilt die Beziehung

$$\dot{D} = \frac{1}{2} \frac{3,7 \cdot 10^4 \cdot 3,6 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^9} A_T j (QF) \frac{\text{rem}}{\text{h}} \quad (\text{vgl. z. B. [5]}) \quad (4)$$

Hierin bedeuten:  $j$  die lineare Ionisationsdichte für  $\beta$ -Teilchen in Ionenpaaren je cm Luft und  $(QF)$  der Qualitätsfaktor (in der früheren Bezeichnungsweise *RBW*-Faktor). Der Zahlenfaktor setzt sich wie folgt zusammen:  $3,7 \cdot 10^4$  Zerfälle/ $\mu\text{Ci}$ ,  $3,6 \cdot 10^3$  sec/h und  $2 \cdot 10^9$  Ionenpaare/R. Der Faktor  $1/2$  soll berücksichtigen, daß die Abstrahlung nach verschiedenen Richtungen erfolgt. — Setzt man in Gleichung (4)  $j = 80$  Ionenpaare pro cm und  $(QF) = 1$ , so ergibt sich für  $\dot{D}$

$$\dot{D} = 2,7 A_T \text{ rem/h} \quad (A_T \text{ in } \mu\text{Ci/cm}^2) \quad (5)$$

$1 \mu\text{Ci/cm}^2$  verursacht demnach eine Dosisleistung von  $2,7 \text{ rem/h}$ . Nach Chamberlain [6] entspricht für  $\beta$ -Strahler mit einer Maximalenergie zwischen 0,5 und 3 MeV einer Kontamination von  $1 \mu\text{Ci/cm}^2$  in der Nähe der Oberfläche eine Dosisleistung von rund  $7 \text{ rem/h}$ . Das Ergebnis aus Gleichung (5) stimmt mit dieser Angabe bis auf einen Faktor 2,6 überein. Berücksichtigt man die bei der Ableitung von Gleichung (4) vorgenommenen Vereinfachungen, so muß man diese Übereinstimmung als befriedigend bezeichnen. — Läßt man nur eine Strahlenbelastung von  $2 \cdot 10^{-4} \text{ rem/h}$  durch die  $\beta$ -Strahlung der Kontamination zu, so entspricht dem nach Gleichung (5) eine Kontamination von

$$A_T = 0,74 \cdot 10^{-4} \frac{\mu\text{Ci}}{\text{cm}^2} \quad (6)$$

b)  $\gamma$ -Strahlung. Setzt man eine Flächenkontamination von  $A_T (\mu\text{Ci} \cdot \text{cm}^{-2})$  voraus und nimmt man an, daß nach jeder Seite der Grenzfläche die Hälfte der  $\gamma$ -Quanten abgestrahlt wird, so erhält man für den Fluß  $\Phi_\gamma$  an  $\gamma$ -Quanten

$$\Phi_\gamma = \frac{1}{2} \cdot 3,7 \cdot 10^4 \cdot A_T \text{ cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1} \quad (7)$$

Hierbei ist vorausgesetzt, daß pro Zerfall nur ein  $\gamma$ -Quant ausgesandt wird. Für die  $\gamma$ -Dosisleistung  $\dot{D}_\gamma$  gilt

$$\dot{D}_\gamma = U_\gamma \Phi_\gamma \text{ rem/h} \quad (8)$$

$U_\gamma$  ist ein Umrechnungsfaktor mit der Einheit  $\text{rem} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{sec}$ .

Mit  $U_\gamma = 3 \cdot 10^{-6} \text{ rem} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{sec}$  — dieser Wert entspricht einer  $\gamma$ -Energie von ca. 2 MeV — erhält man somit

$$\dot{D}_\gamma = 5,55 \cdot 10^{-2} A_T \text{ rem h}^{-1} \quad (A_T \text{ in } \mu\text{Ci/cm}^2) \quad (9a)$$

bzw.

$$A_T = 18 \dot{D}_\gamma \mu\text{Ci cm}^{-2} \quad (\dot{D}_\gamma \text{ in rem/h}) \quad (9b)$$

Einer Dosisleistung von  $2 \cdot 10^{-4} \text{ rem/h}$  entspricht also eine Kontamination von  $3,6 \cdot 10^{-3} \mu\text{Ci/cm}^2$ , bzw.  $1 \mu\text{Ci/cm}^2$  verursacht eine Dosisleistung von ca.  $60 \text{ mrem/h}$ .

### 2.2 Inkorporation über den Magen-Darm-Kanal

Bei Arbeiten mit offenen radioaktiven Stoffen besteht die Möglichkeit einer Inkorporation. Diese kann sowohl durch direkte Berührung als auch durch Einatmung kontaminierter Luft erfolgen. Die Inkorporation infolge von Verletzungen soll hier nicht betrachtet werden, da es sich hierbei um ausgesprochene Unfälle handelt. Die Inkorporation über die Atmung wird in Abschnitt 2.3 behandelt.

Die Abschätzung der Inkorporation auf dem Weg von Berührungen ist nur auf der Grundlage unsicherer Annahmen möglich. Es sind nicht nur die Besonderheiten der im Einzelfall durchgeführten Tätigkeit und der Arbeitsbedingungen zu berücksichtigen, sondern man müßte auch jedem einzelnen Beschäftigten eine Wahrscheinlichkeit für diese Art der Inkorporation zuordnen, die von Person zu Person außerordentlich schwankt. Im Prinzip ist zwar Personen, die mit radioaktiven Stoffen umgehen, ein Verhalten zu untersagen, bei dem sie diese in ihren Körper bringen können, insbesondere durch Nahrungsaufnahme oder Rauchen [7]. In der Praxis wird sich eine Inkorporation durch unbewußte Berührung kaum vermeiden lassen.

Die maximal zulässige Aktivitätsaufnahme  $\dot{S}_{\text{max}}^0$  des kritischen Organs eines Menschen pro Tag über die Atemluft ist durch die Beziehung

$$\dot{S}_{\text{max}}^0 = (MZK)_L \cdot \dot{V}_L \cdot f_{a,L} \quad (10a)$$

gegeben. Hierin bedeuten:  $(MZK)_L$  die maximal zulässige Aktivitätskonzentration in der Atemluft,  $\dot{V}_L$  die Luftaufnahme eines Menschen pro Tag und  $f_{a,L}$  den Bruchteil der aufgenommenen Aktivität, der das kritische Organ erreicht.

Für die Aufnahme über den Magen-Darm-Kanal gilt eine ähnliche Gleichung:

$$\dot{S}_{\text{max}}^0 = (MZK)_W \cdot \dot{V}_W \cdot f_{a,W} \quad (10b)$$

Der Index W ist auf das Trinkwasser bezogen. Im folgenden wird aus Gründen der Darstellung die maximal zulässige tägliche Aktivitätsaufnahme  $\dot{S}_{\text{max}}^0$  des kritischen Organs durch Gleichung (10a) beschrieben. Nimmt man nun an, daß bei Arbeiten mit offenen radioaktiven Stoffen der Bruchteil  $\kappa < 1$  der über die Atemluft zulässigen Aktivitätsaufnahme durch Ingestion aufgenommen werden darf, so erhält man für die zulässige Aktivitätsaufnahme des Körpers über Ingestion aus Gleichung (10a)

$$\dot{S}_I^K = \kappa \dot{V}_L \frac{f_{a,L}}{f_{a,I}} (MZK)_L \quad (11)$$

wobei die  $(MZK)_L$ -Werte aus der Ersten Verordnung zur Änderung und Ergänzung der Ersten Strahlenschutzverordnung [8] bzw. aus den ICRP-Empfehlungen [9] entnommen werden können. Der Faktor  $f_{a,I}$  berücksichtigt, daß nur ein Bruchteil von der pro Tag durch Ingestion aufgenommenen Aktivität in das kritische Organ gelangt.

Die Einführung des Faktors  $\varkappa$  stellt eine gewisse Willkür dar. Sie soll Sicherheit gegen eine Unterschätzung der Ingestion bieten und berücksichtigen, daß die Ingestion auf diesem Weg verboten ist, bei der Verteilung der Strahlenbelastung auf verschiedene Einflüsse also nicht zu hoch veranschlagt werden sollte.

Es muß noch der Zusammenhang zwischen der Aktivitätsaufnahme pro Tag und der vorhandenen Flächenkontamination hergestellt werden. Der naheliegendste Ansatz ist der der Proportionalität. Geht man von der Flächenkontamination  $A_f$  und einer mittleren Handfläche von  $150 \text{ cm}^2$  aus, so beträgt die Gesamtaktivität auf der Handfläche  $150 A_f [\mu\text{Ci}]$ . Durch unbewußten Kontakt zwischen Hand und Mund gelangt davon täglich der Bruchteil  $p$  in den Körper. Die tägliche Aktivitätsaufnahme in den Körper beträgt dann

$$\dot{S}_I^K = 150 \cdot p \cdot A_f \frac{\mu\text{Ci}}{\text{d}} \quad (12)$$

Setzt man Gleichung (11) und Gleichung (12) gleich und löst man nach  $A_f$  auf, so erhält man

$$A_f = \frac{\varkappa \cdot \dot{V}_L \cdot f_{a,L}}{150 \cdot p \frac{\text{cm}^2}{\text{d}} \cdot f_{a,I}} (MZK)_L \quad (13)$$

Gleichung (13) zeigt zunächst, daß der Grenzwert für die Flächenkontamination als proportional zur maximal zulässigen Konzentration der Atemluft angesetzt werden kann. Um nun Gleichung (13) auszuwerten, müssen Annahmen über die dort eingesetzten Größen gemacht werden. In diesen Annahmen liegt eine gewisse Willkür.

Für viele chemische Verbindungen von Radionukliden ist nun  $f_{a,L}/f_{a,I} > 1$ , d. h. bei der Inhalation der gleichen Aktivität eines Radionuklides wird sehr viel mehr Aktivität im Körper zurückgehalten als bei der Ingestion (vgl. [8]). Ein extremes Beispiel hierfür ist das Plutonium, wo dieses Verhältnis in der Größenordnung  $10^4$  liegt. Man befindet sich also in fast allen Fällen sehr auf der sicheren Seite, wenn man  $f_{a,L}/f_{a,I} = 1$  setzt. In den wenigen Fällen, in denen das Verhältnis kleiner als 1 ist, liegt es jedoch wenigstens in der Größenordnung. Setzt man  $\varkappa = 1/10$ ,  $\dot{V}_L = 20 \text{ m}^3/\text{d}$  und  $p = 10^{-2}$ , so folgt aus Gleichung (13)

$$A_f = 10^6 \text{ cm} (MZK)_L \quad (14)$$

Gleichung (14) gilt sowohl für  $\alpha$ - als auch für  $\beta$ -Strahler.

### 2.3 Inkorporation durch Inhalation

Flächenkontamination und Kontamination der Raumluft können durch folgende Überlegungen zueinander in Beziehung gesetzt werden: Es wird angenommen, daß eine Kugel vom Radius  $R$  gleichmäßig mit der  $\alpha$ - oder  $\beta$ -Flächenkontamination  $A_f$  bedeckt sei. Die

Gesamtaktivität auf der Kugeloberfläche beträgt  $4 \pi R^2 A_f$ . Hiervon werde der Bruchteil  $f$  aufgewirbelt und eine räumlich konstante Aktivitätskonzentration  $C$  hergestellt. Es gilt dann  $4 \pi/3 \cdot R^3 \cdot C = f \cdot 4 \pi \cdot R^2 \cdot A_f$ , bzw.

$$C = \frac{3f}{R} A_f \quad (15)$$

Geht man von der Kugelgeometrie ab, so setzt man zweckmäßig entsprechend Gleichung (15)

$$C = k(L) \cdot A_f \quad (16a)$$

an, worin  $L$  eine charakteristische lineare Abmessung des Raumes bedeutet und

$$k(L) \sim L^{-1} \quad (16b)$$

gilt.

$k(L)$  wurde experimentell, z. B. in Windscale [4], bestimmt. In der zitierten Arbeit wird auch über frühere experimentelle Untersuchungen anderer Autoren auf diesem Sektor berichtet. Die wesentlichsten Ergebnisse der Arbeit [4] sind in Tabelle 1 zusammengestellt.\*\*

Tabelle 1. Zusammenhang zwischen Oberflächen- und Luftkonzentration [4]

Ort der Kontamination	Luftkontamination pro Flächenkontamination [ $\text{m}^{-1}$ ]	Bemerkungen
Fußboden	ca. $4 \cdot 10^{-3}$ ca. $4 \cdot 10^{-4}$	„lose“ Kontamination in kleinem unbelüftetem Raum, in dem sich Personen bewegen lose Kontamination in gut belüftetem Bereich
Kleidung	ca. $6 \cdot 10^{-4}$ (2 bis 3) $\cdot 10^{-3}$	Bewegung von Personen mit loser Kontamination auf der Kleidung in kleinem unbelüftetem Raum maximaler beobachteter Wert

Der in Spalte 2 der Tabelle 1 angegebene Faktor („resuspension factor“) ist der Zahl der sich (im kontaminierten Raum oder in kontaminierter Kleidung) bewegenden Personen proportional.

Aus Tabelle 1 ergibt sich für die Größe  $k(L)$  in Gleichung (16a) als Maximalwert  $k_{\text{max}} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1} = 4 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$ . Daraus ergibt sich für  $1/k(L)$  als Minimalwert  $(1/k)_{\text{min}} = 2,5 \cdot 10^4 \text{ cm}$ . Multipliziert man den  $(MZK)_L$ -Wert mit  $(1/k)_{\text{min}}$ , so erhält man die minimale Flächenkontamination, die die  $(MZK)_L$  verursachen kann:

$$A_{f, \text{min}} = \left( \frac{1}{k} \right)_{\text{min}} (MZK)_L \quad (17)$$

$(1/k)_{\text{min}}$  hat für jeden Satz von Parametern (Raumgröße, Belüftung, Zahl der sich in dem Raum bewegenden Personen) einen anderen Wert. Mit den Zahlenwerten aus Tabelle 2 ergeben sich aus Gleichung (17) die in Tabelle 2 genannten  $A_{f, \text{min}}$ -Werte.

\*\* Anmerkung bei der Korrektur: Inzwischen wurden neuere Messungen des resuspension factor veröffentlicht [11], die die in der vorliegenden Arbeit gezogenen Schlussfolgerungen stützen.

Tabelle 2. Beispiele für die Anwendung von Gleichung (17) (Spalte 3:  $(1/k)_{\min} = 2,5 \cdot 10^4 \text{ cm}$ ; Spalte 4:  $(1/k)_{\min} = 10^6 \text{ cm}$ )

Nuklid	$(MZK)_L \left[ \frac{\mu \text{ Ci}}{\text{cm}^3} \right]$	$A_{f, \min} \left[ \frac{\mu \text{ Ci}}{\text{cm}^2} \right]$	$A_f^{(1)} \left[ \frac{\mu \text{ Ci}}{\text{cm}^2} \right]$
$^{90}\text{Sr}$	$3 \cdot 10^{-10}$	$7,5 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-4}$
$^{131}\text{I}$	$6 \cdot 10^{-9}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-3}$
$^{226}\text{Ra}$	$3 \cdot 10^{-11}$	$7,5 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-5}$
$^{235}\text{U}$	$1,2 \cdot 10^{-10}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$
$^{239}\text{Pu}$	$1,8 \cdot 10^{-12}$	$4,5 \cdot 10^{-8}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$

### 3. Diskussion der Ergebnisse, Schlußfolgerungen

Die in dieser Arbeit durchgeführten Überlegungen zeigen, daß die Inkorporation auf dem Weg des Einatmens aufgewirbelter Aktivität die am meisten einschränkenden Bedingungen liefert. Sowohl die Inkorporation über die Atmung als auch über die Ingestion legen nahe, die Richtwerte für die Kontaminationsbegrenzung nach der Formel

$$A_{f, \min} = K_{\min} (MZK)_L \quad (18)$$

zu berechnen. Die Wahl von  $K_{\min}$  ist problematisch: Man darf die Bedeutung des unter 2.3 genannten Wertes  $K_{\min} = 2,5 \cdot 10^4 \text{ cm}$  nicht überschätzen, da dieser Wert unter speziellen Bedingungen gefunden wurde, die nicht in jedem Fall zutreffen. Wie Tabelle 2 zeigt, käme man damit zu sehr harten Einschränkungen. Es erscheint vielmehr ein größerer Wert vertretbar

1. weil sich eine Kontamination im allgemeinen nicht vollständig aufwirbeln läßt, sondern z. T. fest an der Oberfläche haftet,
2. weil in vielen Fällen der Raum nicht vollständig in dieser Größenordnung kontaminiert ist und die Konzentration in der Atemluft natürlich durch die vorhandene Gesamtaktivität begrenzt ist und
3. weil sich im allgemeinen keine Person ohne Atemschutz während der vollen, Arbeitszeit in derart kontaminierten Räumen aufhält.

Der in der Arbeit [3] vorgeschlagene Wert  $K = 10^6 \text{ cm}$ , mit dem die Spalte  $A_f^{(1)}$  in Tabelle 2 berechnet worden war, dürfte im allgemeinen den Sicherheitsbedürfnissen genügen.

Nach Ansicht des Verfassers ist es ausreichend, Kontaminationsrichtwerte als Empfehlungen anzusehen. Wichtig ist vor allem die Einhaltung der pro Jahr zulässigen Dosen. Eine ständige Kontrolle der mit offenen radioaktiven Stoffen umgehenden Beschäftigten auf Inkorporation bietet den Beschäftigten einen besseren Schutz als das starre Einhalten einer Vorschrift. Die Inkorporationsmessungen werden den Verantwortlichen rechtzeitig in die Lage versetzen, dem Überschreiten der maximal zulässigen Dosen vorzubeugen.

Umgekehrt machen streng vorgeschriebene Kontaminationsrichtwerte eine Inkorporationskontrolle nicht überflüssig. Der Vorteil *empfohlener* Richtwerte liegt auch darin, daß sie die persönliche Verantwortlichkeit nicht ausschalten. Das bewußte Zulassen eines vorgegebenen Grenzwertes ist dagegen u. U. ein Schritt in der Richtung größerer Unsicherheit.

Eine allgemein anerkannte Formel zur Berechnung von Kontaminationsrichtwerten wäre an sich begrüßenswert, jedoch würde diese die Probleme nicht vollständig lösen. Die Vereinheitlichung ist erst dann vollkommen, wenn auch über die Schutzmaßnahmen (Atemschutz, Schutzkleidung) sowie über die Meßverfahren Übereinstimmung erzielt ist. Durch sinnvollen Gebrauch der gegebenen Schutzmöglichkeiten kann durchaus auch auf der Grundlage der zur Zeit benutzten Richtwerte ein ausreichender Schutz der Beschäftigten gewährleistet werden.

Es sei abschließend noch auf das Problem der Dekontamination hingewiesen. Auch hier genügt es nicht, Grenzen, bis zu denen zu dekontaminieren ist, vorzuschreiben, sondern es muß vielmehr das Verantwortungsgefühl der Beteiligten angesprochen werden. Zum Beispiel sollten Gegenstände, an denen noch eine weit unter einer vorgegebenen Grenze liegende Kontamination nachgewiesen werden kann, nicht ohne zwingende Gründe in völlig kontaminationsfreie Bereiche gebracht werden.

### Literatur

- [1] IAEA: "Safe Handling of Radioisotopes", Wien 1958
- [2] Deutsche Übersetzung von [1]: Schriftenreihe des Bundesministers für Atomkernenergie und Wasserwirtschaft, Strahlenschutz, Heft 14, 1960: „Sicherheitsmaßnahmen beim Umgang mit Radioisotopen“
- [3] Dousset M., Hamard J. und Penotet M.: "Considération sur les normes de contamination de surface", Vortrag auf dem International Symposium on Surface Contamination, Gatlinburg, Tennessee, 1964
- [4] Brunskill R. T.: "The Relationship between Surface and Airborne Contamination", Vortrag auf dem International Symposium on Surface Contamination, Gatlinburg, Tennessee, 1964
- [5] Abel H., Rossbander W. und Tolkenhof E.: „Strahlenschutz und Dosimetrie in der Kerntechnik“, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1963
- [6] Chamberlain A. C.: "Estimation of Maximum Permissible Levels of Radiation", AERE-HP/R 551
- [7] Erste Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Strahlen radioaktiver Stoffe (Erste Strahlenschutzverordnung vom 24. 6. 1960, BGBl. I, S. 430)
- [8] Erste Verordnung zur Änderung und Ergänzung der Ersten Strahlenschutzverordnung vom 24. 3. 1964 (BGBl., S. 233)
- [9] Report of Committee II on Permissible Dose for Internal Radiation, 1959, Pergamon Press
- [10] Marth W.: Atompraxis 12, 392 (1966)
- [11] Jones I. S., Pond S. F. und Stevens D. C.: "Resuspension Factors for Plutonium", Vortrag auf dem Internationalen Symposium der Society for Radiological Protection, Bournemouth, U. K., 18.—22. April 1966

Anschrift des Verfassers: Dr. L. A. König, Gesellschaft für Kernforschung mbH., Hauptabteilung Strahlenschutz und Dekontamination, 75 Karlsruhe, Weberstr. 5

**Die Beschränkung der Flächenkontamination beim Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen**

Die Größenordnung der Strahlenbelastung infolge von Oberflächenkontamination wird unter Berücksichtigung der verschiedenen Belastungsarten abgeschätzt. Aus diesen Abschätzungen können Richtwerte für die Kontaminationsbegrenzung abgeleitet werden. Der Einfluß der aufgewirbelten Kontaminationen ergibt bei schlechter Belüftung die am meisten einschränkenden Bedingungen. Die Abschätzungen führen praktisch zu der Größenordnung jener Richtwerte, die bereits an verschiedenen Stellen benutzt werden. — Die Sicherheit der mit offenen radioaktiven Stoffen Umgehenden hängt entscheidend von den getroffenen Schutzmaßnahmen (u. a. Schutzkleidung, Atemschutz) ab. Die Bedeutung von Kontaminationsrichtwerten darf daher nicht überschätzt werden. Die Einführung neuer Richtwerte wird nicht als dringend angesehen. Sollte man sich jedoch dennoch dazu entschließen, so zeigen die Überlegungen, daß es sinnvoll wäre, diese Richtwerte als proportional zu den für die Atemluft maximal zulässigen Konzentrationen für die betreffenden Nuklide anzusetzen.

**The Limitation of the Surface Contamination Handling Unprotected Radioactive Substances**

The order of magnitude of irradiation due to surface contamination is estimated with regard to the different kinds of exposure. Standard values for the limitation of contamination may be deduced from these evaluations. The inhalation risk following the resuspension in air of loose contamination -bad ventilation being presumed- leads to the most limiting conditions. The evaluations practically lead to the order of magnitude of those standard values, which are already used at some places. — The safety of persons handling uncovered radioactive substances depends decisively on the precaution measures taken (among others: protective clothing, respiratory protection). Therefore the importance of limiting contamination must not be overestimated. The introduction of new standard values is not considered to be urgent. If they are to be introduced, however, reflections show that it would be sensible to fix these standard values for the nuclides concerned as proportional to the maximum permissible concentrations for respiratory air.

**La Limitation de la contamination de surface pour le travail avec des matières radioactives non protégée**

On estime l'ordre de grandeur de l'exposition due à la contamination de la surface tout en tenant compte des différents types d'exposition. De ces estimations peuvent être déduites les valeurs de base pour la limitation de la contamination. Etant donné un système de ventilation insuffisant, le risque d'inhalation par remise en suspension dans l'air donne les conditions les plus restrictives. Les estimations résultent pratiquement dans l'ordre de grandeur des valeurs de base qui ont déjà été utilisées dans plusieurs cas. — La sécurité des personnes travaillant avec les matières radioactives dépend décisivement des mesures de sécurité prises (p. ex. vêtements de protections, protections des voies de respiration). C'est pourquoi il ne faut pas surestimer l'importance des limites de contamination. L'introduction de nouveaux taux de limite n'est pas considérée comme urgente. Cependant, si l'on se décidait d'introduire de nouvelles valeurs, celles-ci devraient être fixées proportionnellement aux concentrations maximales des nuclides admissibles pour l'air respiratoire.