

KfK 5415
Dezember 1994

Inkorporationsüberwachung im KfK durch Messungen der Raumluftaktivitätskonzentration

H. Dilger
Hauptabteilung Sicherheit

Kernforschungszentrum Karlsruhe

Kernforschungszentrum Karlsruhe

Hauptabteilung Sicherheit

KfK 5415

**Inkorporationsüberwachung im KfK durch Messungen der
Raumluftaktivitätskonzentration**

H. Dilger

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Als Manuskript gedruckt
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
Postfach 3640, 76021 Karlsruhe

ISSN 0303-4003

Zusammenfassung

Zuerst werden die Kriterien für eine regelmäßige Inkorporationsüberwachung an Hand der Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle aufgeführt. Im weiteren wird erläutert, für welche Nuklide die Raumlufaktivitätsüberwachung die einzige Methode ist, um die nach der Richtlinie geforderten Nachweisgrenzen zu erreichen. Danach werden die Meßverfahren mit stationären und personenge-tragenen Sammlern erläutert. Anschließend wird das im KfK verwendete Verfah-ren zur Bestimmung der Aktivitätszufuhr mit stationären Sammlern beschrieben. Im nächsten Abschnitt werden die Meßunsicherheiten bei den eingesetzten Ver-fahren erörtert. Abschließend werden die im KfK verwendeten Qualitätssiche-rungsmaßnahmen dargestellt.

Incorporation monitoring at KfK by measurements of the room air activity con-centration

Abstract

First the criteria will be outlined of regular incorporation monitoring, referring to the guideline on physical radiation protection control. Then it will be explained for which nuclides room air activity monitoring is the only method allowing the detection limits required in the guideline to be achieved. Next, the measuring methods based on stationary and portable samplers will be explained. Then the method of assessment of the activity intake with stationary samplers, as used at KfK, will be described. In the following section the measurement uncertainties as-sociated with the methods employed will be discussed. Finally, the quality assur-ance measures applied at KfK will be presented.

Inhaltsverzeichnis	Seite
1. Methoden der Inkorporationsüberwachung	1
1.1 Allgemeines	1
1.2 Erfordernis einer regelmäßigen Inkorporationsüberwachung und Auswahl des Überwachungsverfahrens	2
2. Methoden der Raumlufaktiviätsüberwachung	3
2.1 Allgemeines	3
2.2 Stationäre Sammler (SLS) für Aerosole	4
2.3 Stationäre Sammler (SLS) für Iod	8
2.4 Personengetragene Sammler (PLS) für Aerosole	8
3. Auswertung der Raumlufmessung	8
3.1 Bestimmung der Aktivitätszufuhr	8
3.2 Atemschutz	12
4. Meßunsicherheit	13
4.1 Allgemeines	13
4.2 Bestimmungsgrößen zur Berechnung der Aktivitätszufuhr nach Messungen mit SLS für Aerosole	13
4.3 Bestimmungsgrößen zur Berechnung der Aktivitätszufuhr nach Messungen mit SLS für Iod	15
4.4 Bestimmungsgrößen zur Berechnung der Aktivitätszufuhr nach Messungen mit PLS für Aerosole	15
5. Qualitätssicherung	15
5.1 Zweck der Qualitätssicherung	15
5.2 Bestimmungsgrößen	16
Literaturverzeichnis	17

1. Methoden der Inkorporationsüberwachung

1.1 Allgemeines

Zur Bestimmung der inneren Exposition von beruflich strahlenexponierten Personen werden in der Strahlenschutzverordnung im § 46 [1] die folgenden Methoden genannt:

- Messungen der Aktivitätskonzentration in der Raumluft am Arbeitsplatz
- Messungen der Aktivitäten der Radionuklide im Körper
- Messungen der Aktivität der Radionuklide in den Ausscheidungen.

Ziel der Überwachung ist es, die Aktivitätszufuhr Z der Personen zu bestimmen. Aus der Aktivitätszufuhr lassen sich mit den entsprechenden Dosisfaktoren D die Körperdosen H errechnen. So gilt beispielsweise für die effektive Äquivalentdosis

$$H_{\text{eff}} = Z \cdot D_{\text{eff}} \quad (1)$$

oder für die Teilkörperdosis Knochenoberfläche

$$H_{\text{KnOb}} = Z \cdot D_{\text{KnOb}} \quad (2).$$

Da der Metabolismus sowohl von den physikalischen und chemischen Eigenschaften der zugeführten Aerosole als auch von den biologischen Eigenschaften der exponierten Person abhängt und somit eine große Variabilität zeigt, werden die Dosisfaktoren für Standardannahmen berechnet. Dies sind:

- der Aerosolparameter $1 \mu\text{m AMAD}^*$)
- die biologischen Halbwertszeiten in der Lunge von 1 Tag (D), 50 Tage (W) oder 500 Tage (Y)
- die festgelegten Organgewichte des erwachsenen Referenzmenschen nach ICRP 23 [8].

Die Dosisfaktoren sind für die verschiedenen Radionuklide und Radionuklidverbindungen einzeln für Organe und für die effektive Dosis tabelliert [2]. Sie wurden basierend auf den in ICRP 30 Teil 1 [3] dargestellten Lungen- und Magen-Darm-Trakt-Modellen sowie den in den Teilen 2-4 von ICRP 30 [4-6] beschriebenen Ausscheidungsfunktionen berechnet. Dabei wurden neuere Veröffentlichungen für einzelne Nuklide in ICRP 48 [7] berücksichtigt.

*) AMAD Activity Median Aerodynamic Diameter

Für einen anderen Aerosolparameter sind Korrekturformeln in [3] in Verbindung mit den Ergänzungen zu ICRP 30 [9-11] angegeben. Abweichungen bei den biologischen Halbwertszeiten können mit speziellen Rechenprogrammen, z.B. [12] berücksichtigt und individuelle Dosisfaktoren berechnet werden.

1.2 Erfordernis einer regelmäßigen Inkorporationsüberwachung und Auswahl des Überwachungsverfahrens

Gemäß der Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosen [13] ist eine regelmäßige Inkorporationsüberwachung erforderlich, wenn nicht auszuschließen ist, daß 10 % des Grenzwertes der Jahresaktivitätszufuhr (GJAZ) inkorporiert werden können. Ein Überwachungsverfahren muß folgende Bedingungen erfüllen, um geeignet zu sein:

- Die Nachweisgrenze muß so gering sein, daß mit Hilfe des gewählten Meßverfahrens eine zu Beginn eines Überwachungsintervalls angenommene Zufuhr in Höhe von $3/n$ % des GJAZ (n Zahl der Überwachungen pro Jahr) am Ende des Intervalls noch nachgewiesen werden kann.
- Das Zeitintervall zwischen zwei Messungen muß so kurz gewählt werden bzw. die Zahl der Überwachungen pro Jahr so groß sein, daß der Fehler, der bei der Zufuhrberechnung gemacht wird, wenn die Aktivitätszufuhr, statt wie angenommen in der Mitte des Intervalls, am Anfang oder Ende stattgefunden hat, kleiner als der Faktor 3 ist.
- Das Verfahren muß vom zeitlichen und finanziellen Aufwand praktikabel sein und von den überwachten Personen akzeptiert werden.

Die Nachweisgrenze hängt vom Nulleffekt des Meßverfahrens und von der verwendeten Meßzeit ab. Das Zeitintervall hängt vom GJAZ und vom zeitlichen Verlauf der Ausscheidungsfunktion ab.

Allgemein kommt die Raumluftaktivitätsüberwachung für Radioisotope mit kurzen biologischen oder physikalischen Halbwertszeiten oder α -Strahlern mit niedrigem GJAZ für Inhalation zum Einsatz. Von den im KfK gehandhabten Nukliden kommt für I-123 wegen der kurzen biologischen Halbwertszeit von 0,24 -120 d und für Plutonium sowie für die Transplutonumelemente wegen der niedrigen Grenzwerte die Raumluftaktivitätsüberwachung für eine regelmäßige Inkorporationsüberwachung in Frage.

In Tab. 1 sind die relevanten Daten für die erwähnten Radioisotope zusammengestellt.

Isotop	HWZ _{eff} in d	GJAZ in Bq	NWG in Bq/m ³ bzw. Bq	Meß- intervall in d	Referenz- wert in Bq/m ³ bzw. Bq	Meß- verfahren
I-123	0,24-120	1·10 ⁸	5,0·10 ⁻¹ 1·10 ¹	1 1	1·10 ³ 4·10 ⁵	RL SZ
Pu-238/W	1,2...4000	2·10 ²	1,0·10 ⁻³ 1,5·10 ⁻³	1 6	2·10 ⁻³ 1·10 ⁻²	RL ASt*)
Pu-239/W	1,2...4000	1·10 ²	1,0·10 ⁻³ 1,5·10 ⁻³	1 6	1·10 ⁻³ 5·10 ⁻³	RL ASt*)
Am-241/W	1,2...4000	1·10 ²	1,0·10 ⁻³ 1,5·10 ⁻³ 2·10 ¹	1 6 120	1·10 ⁻³ 5·10 ⁻³ 7·10 ⁻²	RL ASt*) LZ*)
Cm-244/W	1,2...4000	3·10 ²	1,0·10 ⁻³ 1,5·10 ⁻³	1 6	4·10 ⁻³ 2·10 ⁻³	RL ASt*)

RL Raumluf, ASt Ausscheidung Stuhl, LZ Lungenzähler, SZ Schilddrüsenzähler

*) Verfahren wird nicht zur regelmäßigen Überwachung angewandt

Tab. 1 Effektive Halbwertszeiten, Grenzwerte für Jahresaktivitätszufuhren, Nachweisgrenzen, Meßintervalle und Referenzwerte für die im KfK mit Raumlufmessungen regelmäßig überwachten Radionuklide im Vergleich mit Daten für Ausscheidungs- und Teilkörpermessungen.

Es ist aus Tab. 1 ersichtlich, daß bei I-123 sowohl die Messung der RL als auch der Schilddrüse möglich ist. Bei der regelmäßigen Überwachung werden aber die Raumlufmessungen vorgezogen, weil eine tägliche Schilddrüsenmessung nicht zumutbar ist. Für Pu, Am, Cm mit Retentionsklasse W wäre für Stuhluntersuchungen ein Meßintervall von höchstens 6 Tagen zulässig, um die Unter- oder Überschätzung bei Zufuhren am Anfang oder Ende des Meßintervalls nicht über den Faktor 3 ansteigen zu lassen. Eine so hohe Untersuchungshäufigkeit mit ca. 60 Stuhlproben pro Person im Jahr kann den betroffenen Personen nicht zugemutet werden. Lungenzählermessungen für Am-241 können wegen einer zu hohen Nachweisgrenze nicht für die regelmäßige Inkorporationsüberwachung eingesetzt werden.

2. Methoden der Raumlufaktivitätsüberwachung

2.1 Allgemeines

Nach der Richtlinie [13] sind repräsentativ aufgestellte stationäre Sammler zur Überwachung ausreichend, wenn die Raumlufaktivitätskonzentration am Arbeitsplatz während der Arbeitszeit im Monatsmittel stets unter 30 % des GJAZ liegt. Bei darüber hinausgehenden Aktivitätskonzentrationen sind personenge-tragene Sammler einzusetzen. Durch diese unterschiedlichen Einsatzbereiche wird impliziert, daß der personenge-tragene Sammler das "genauere" Gerät sei.

Wie in Abschn. 4.4 ausgeführt wird, stimmt dies nicht. Jedes der beiden Meßsysteme hat im Vergleich Vor- und Nachteile.

In der KfK besteht nur an Arbeitsplätzen in der HDB die Möglichkeit, daß 10 % aber nicht 30 %, des GJAZ überschritten werden. Die dort verarbeiteten Stoffe enthalten α -Strahler aus dem Kernbrennstoffkreislauf, so daß eine Überwachung auf Plutonium und Transplutoniumelemente mit stationären Sammlern notwendig wird.

Raumluftmessungen werden auch in anderen Institutionen zur Beweisführung vorgenommen, z.B. für Transurane in den Heißen Zellen, im Institut für Technische Chemie und im Institut für Nukleare Entsorgung sowie für I-123 im Zyklotron.

2.2 Stationäre Sammler (SLS) für Aerosole

2.2.1 Aufbau

Die SLS für Aerosole bestehen aus einem Sammelkopf mit Filterhalterung, einem Luftabführungsschlauch oder -Rohr sowie einer Luftsaugpumpe (siehe Abb. 1 und 2). Die Höhe des Sammelkopfes über Boden beträgt ca. 1,2 m. Die im KfK verwendeten Sammelköpfe erlauben Filter mit 200 mm \varnothing zu benutzen und mit Luftdurchsatzraten von 20 bis zu 70 m³/h zu arbeiten. Diese Durchsätze entsprechen Einströmgeschwindigkeiten an der Filteroberfläche von 18 cm/s bis zu 62 cm/s; in einer Stunde haben die Geräte Einzugsradien von 1,7 m bzw. 2,6 m. Es werden Glasfaserfilter verwendet, die ohne Belegung bei einer Anströmgeschwindigkeit von 34cm/s einen Durchflußwiderstand von 2800 N/m² haben. Der Rückhaltegrad der Filter ist größer als 99,99 % für Aerosole mit einem AMAD größer als 0,3 μ m. Die Filterbelegung mit Staub wurde durch Wiegen bestimmt und beträgt ca. 7 μ m pro Tag nach einem Durchsatz von ca. 500 m³ Luft. Die Auswertung geschieht mit Großflächenproportionalzählrohren in α - β -Pseudokoinzidenzschaltung und γ -Kompensation nach einer Abklingzeit der natürlichen Aktivität von 1 Woche.

2.2.2 Positionierung der SLS im Raum

Die Arbeitsräume, in denen mit offener Radioaktivität umgegangen wird, sind im KfK alle zwangsbelüftet und werden durch Absaugung auf einen Unterdruck von einigen mbar gehalten. Die Luftwechselzahl beträgt 6 bis 10 pro Stunde. Die SLS werden in der Nähe von Arbeitsplätzen auf der den Absaugöffnungen zugewandten Seite positioniert. Bei nicht fixierten Arbeitsplätzen werden die Sammler unter Beachtung von Einbauten und Geräten gleichmäßig im Raum verteilt. Im Durchschnitt ist pro 100 m² Grundfläche ein SLS aufgestellt. In der Abb. 3 ist die "große Halle" in der Anlage "Dekontamination fest" mit den Sammlerpositionen dargestellt. Ein Raum gilt als repräsentativ mit Sammlern bestückt, wenn

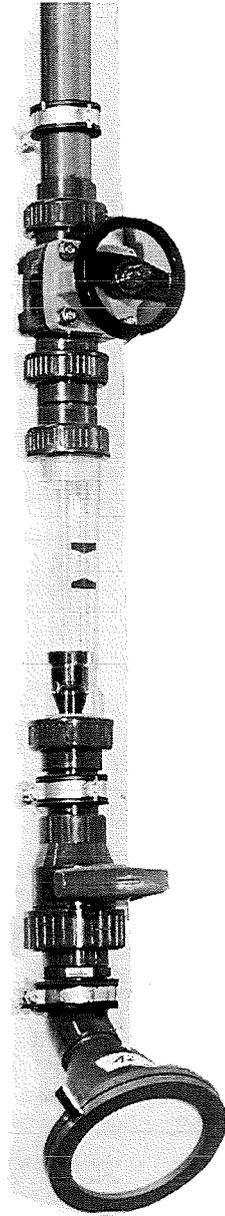


Abb. 1: Festinstallierter Sammler für Aerosole

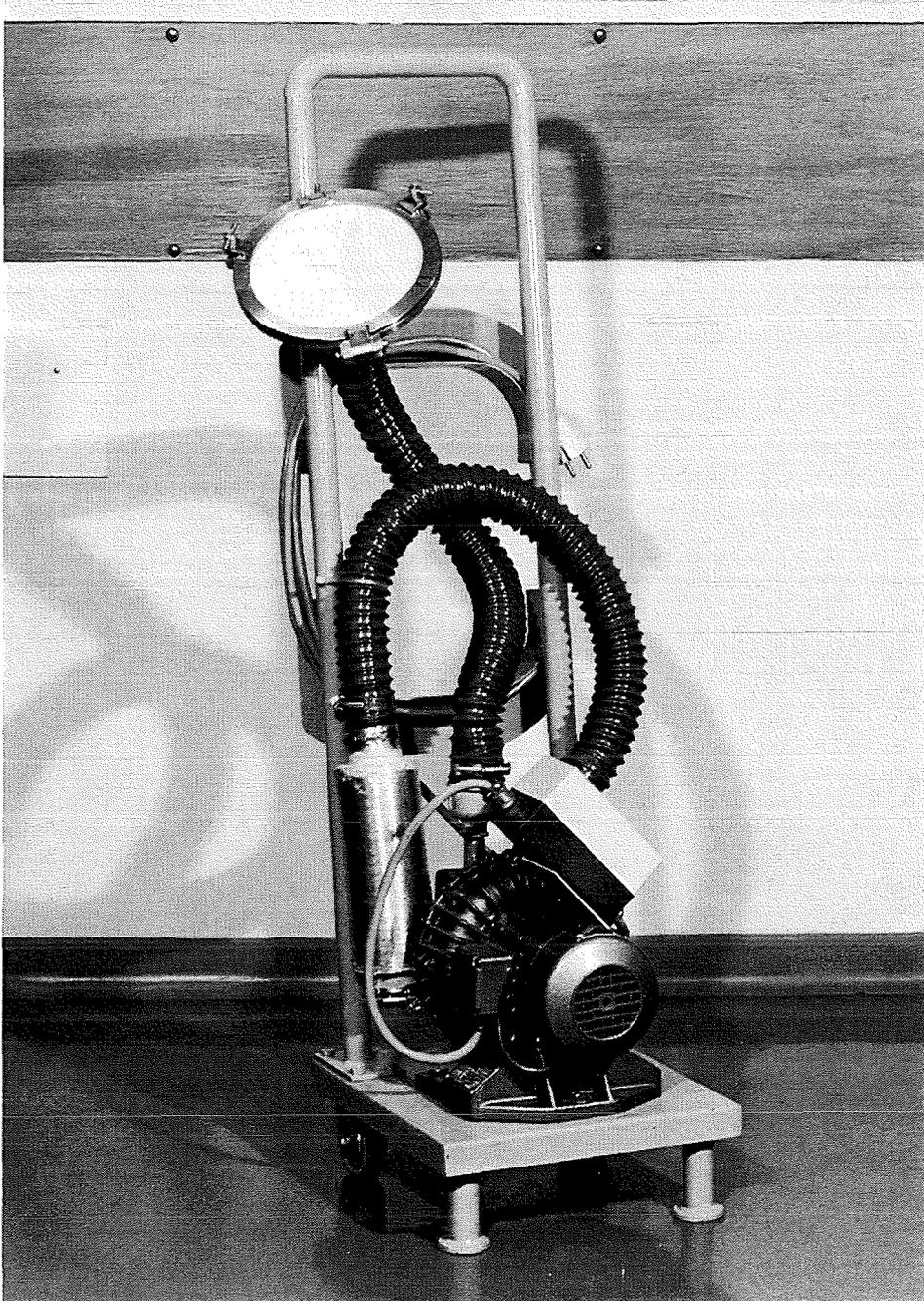
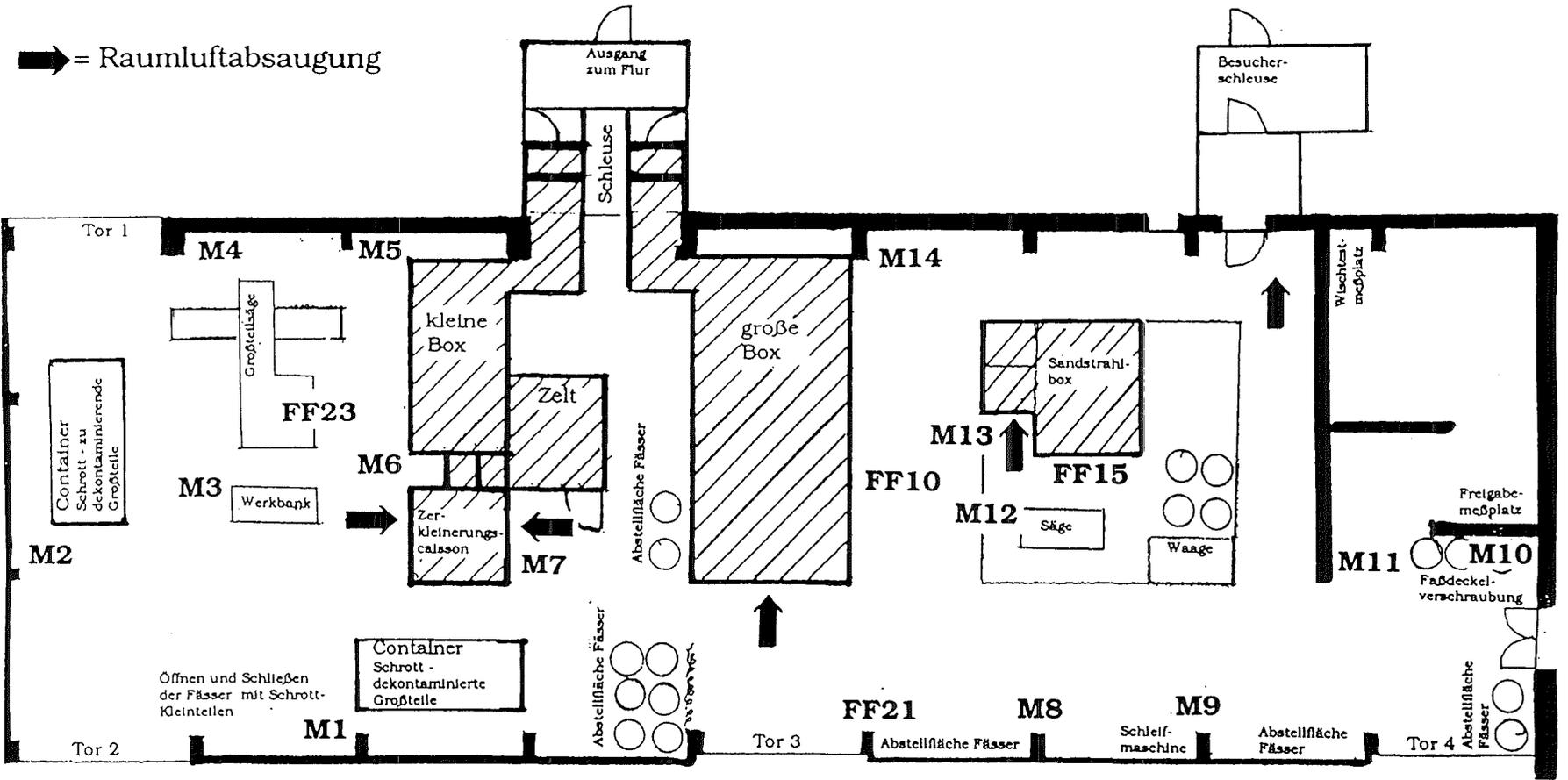


Abb. 2: Mobiler Sammler für Aerosole

Abb. 3: Skizze des Grundrisses der "großen Halle" in der Anlage "Dekontamination fest" mit Sammlerpositionen



das Homogenitätskriterium $\sigma/A \leq 1$ erfüllt ist. Dabei ist σ die lineare Standardabweichung einer Normalverteilung und A ist der Mittelwert der Aktivitätskonzentration aller Sammler in einem Raum.

2.3 Stationäre Sammler (SLS) für Iod

2.3.1 Die SLS für Iod bestehen aus einem Glas- oder Edelstahlzylinder, der mit ca. 60 g Aktivkohle gefüllt ist (s. Abb. 4). Die Luft wird von oben zugeführt und unten zur Pumpe abgeführt. Der Luftdurchsatz beträgt 5 m³/h. Vor und hinter dem Kohlestock ist ein Aerosolfilter angebracht, um einmal keine Aerosole in die Kohle einzubringen und zum anderen keine Kohle in die Pumpe zu verschleppen.

Für die Aufstellung der Sammler für Iod gelten die selben Gesichtspunkte wie für die Sammler für Aerosole. Dadurch, daß es sich um gasförmige Iodverbindungen handelt, kommt der Nachteil des durch den geringeren Luftdurchsatz verminderten Einzugsbereichs nicht zum Tragen. Der Sammler muß näher zur Quelle positioniert sein, als die Person. Die Auswertung geschieht γ -spektrometrisch mit einem Germaniumdetektor. Es wird die 159 keV-Linie für das I-123 herangezogen.

2.4 Personengetragene Sammler (PLS) für Aerosole

2.4.1 Aufbau

Die PLS bestehen wie die SLS aus einem Filterkopf mit Filterhalterung und einer Luftsaugpumpe. Es handelt sich um ein kommerzielles Gerät, das für die konventionelle Arbeitsplatzüberwachung eingesetzt wird*). Im Gegensatz zu SLS sind die Teile so verkleinert, daß sie ein Gewicht von ca. 1 kg nicht überschreiten und somit am Körper getragen werden können (Abb.5). Die im KfK vorgehaltenen und zu Versuchs- bzw. Vergleichszwecken eingesetzten PLS haben Filterköpfe von 3,1 cm Ø und arbeiten mit einer Luftdurchsatzrate von 0,2 m³/h. Es werden Glasfaserfilter von demselben Typ wie bei SLS verwendet. Die Auswertung geschieht mit einem kleinflächigen Proportionalzählrohr (Wischprobenmeßplatz) nach einer Abklingzeit für die natürliche Aktivität von 1 Woche.

3. Auswertung der Raumluftmessung

3.1 Bestimmung der Aktivitätszufuhr

Zur Bestimmung der Aktivitätszufuhr im KfK werden wie in Abschn. 2.1 ausgeführt, nur SLS für Aerosole verwendet. Dazu werden Raumgruppen oder Gebäude festgelegt, in denen bestimmte Arbeitsgruppen arbeiten. In Tab. 2 sind die derzeitigen Raumgruppen und die zugeordneten Arbeitsgruppen aufgeführt, für die eine Inkorporationsüberwachung vorgenommen wird.

*) GSA 505 ex, Gesellschaft für Staubmeßtechnik und Arbeitsschutz GmbH

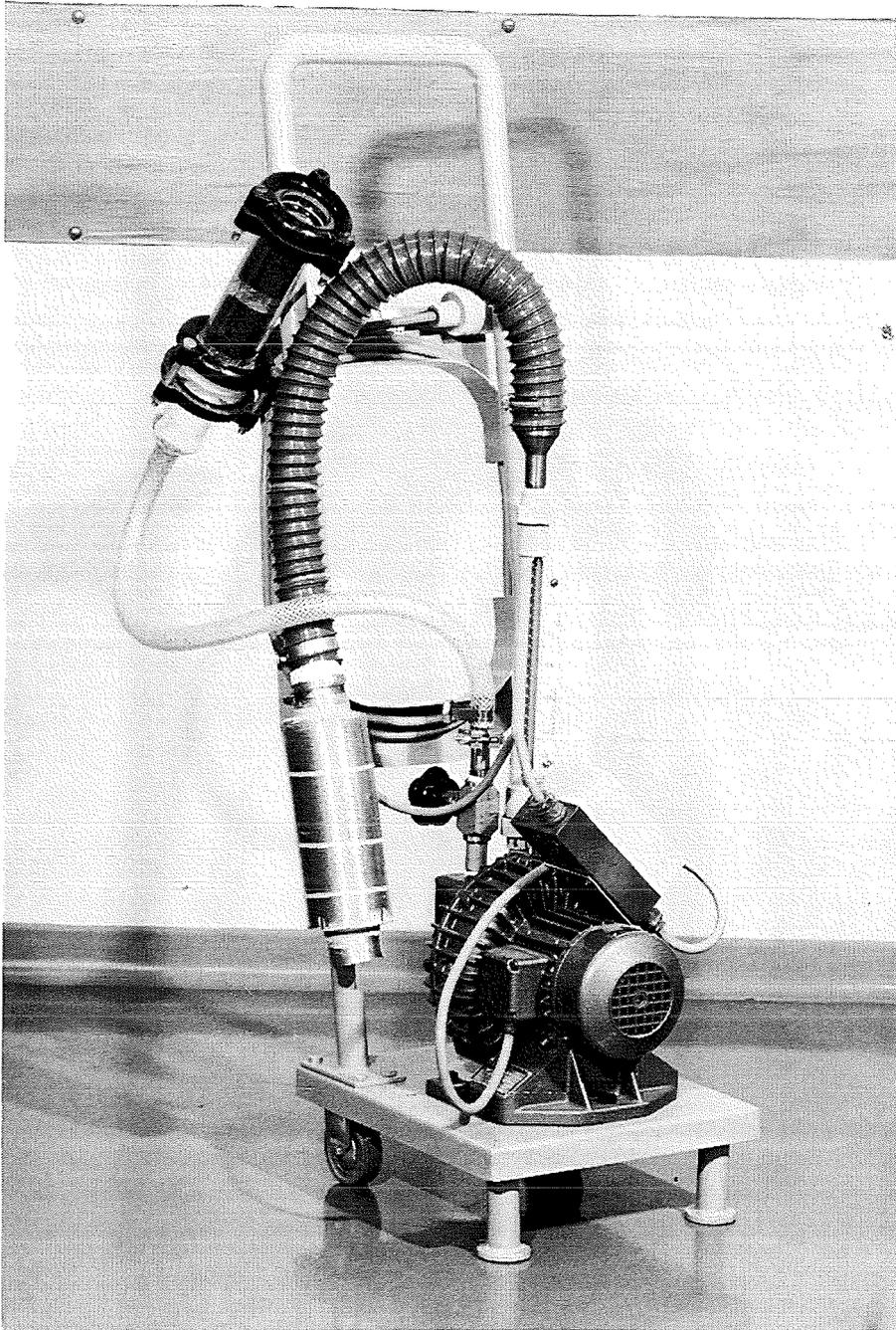


Abb. 4: Mobiler Sammler für Iod



Abb. 5: Personengetragene Luftstaubsammler

Gebäude/Raumgruppe	Arbeitsgruppe	Anzahl der Personen
545, alle Räume	HDB/NE 1 545	12
548, außer Schrottpresse	HDB/NE 1 548	10
548, außer Schrottpresse	HS/Ü 548	6
548, Schrottpresse	KAH	10
536, außer MAW-Zementierung	HDB/NE 2 536	15
545, alle Räume	HS/Ü 545	5
536, MAW-Zementierung	HDB/NE 2 536	4

Tab. 2 Derzeitiger Stand von Gebäude und Raumgruppen mit zugeordneten Arbeitsgruppen für die Aktivitätsüberwachung der Raumluft

Zur Berechnung der täglichen Aktivitätszufuhr wird der jeweilige Maximalwert der Aktivitätskonzentration innerhalb eines Gebäudes oder einer Raumgruppe mit der angenommenen täglichen Arbeitszeit von 8 h und dem Atemvolumen des Standardmenschen von 1,2 m³/h multipliziert und durch den Schutzfaktor nach Gl. (3) dividiert.

$$Z_t = 1,2 \cdot 8 \cdot A_{k_{\max}} / SF \quad (3)$$

Z_t tägliche Aktivitätszufuhr in Bq

$A_{k_{\max}}$ maximale tägliche Aktivitätskonzentration in Bq/m³

8 tägliche Arbeitszeit in h

1,2 mittlere Atemrate in m³/h

SF Schutzfaktor des Atemschutzsystems, siehe Abschnitt 3.2.

Die Tageswerte werden zu einem Monatswert zusammengefaßt. Der Monatswert der gemessenen α -Aktivität wird mit den Dosisfaktoren des Leitnuklids Pu-239 und die gemessene β -Aktivität mit den Dosisfaktoren für Sr-90 zu einer effektiven Körperdosis bzw. zu einer Teilkörperdosis Knochenoberfläche umgerechnet. In Tab. 3 ist ein Monatsausdruck für diese Ergebnisse abgebildet.

A n h a n g 4 a

HS/Ü-Meßlabor 13.09.94
Blatt 1
Inst./Abt. HDB/N1
Monat 08.94

Aufgrund der Ergebnisse der routinemäßigen Raumluftüberwachung werden für die aufgeführten Inkorporationsgruppen folgende Aktivitätszufuhren und Dosen abgeschätzt:

Gruppen-Nr.+Bezeichnung	Alpha			Beta (ohne Pu-241)			Pu-241			Alpha+Beta(einschl.Pu-241)	
	Aktiv. (Bq)	ED (µSv)	KD (µSv)	Aktiv. (Bq)	ED (µSv)	KD (µSv)	Aktiv. (Bq)	ED (µSv)	KD (µSv)	Effektivdosis (µSv)	Knochenoberfläch (µSv)
3 HDB Dekofest	0.79	0.09	1.65	0.37	0.00	0.00	15.75	0.03	0.66	0.2	2.4
6 HDB Labor 545 und 547	0.04	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.73	0.00	0.03	0.0	0.2
7 HDB Bau 545	0.15	0.02	0.31	0.27	0.00	0.00	2.94	0.01	0.12	0.0	0.4
29 HDB Zementierung II	0.02	0.00	0.05	0.09	0.00	0.00	0.46	0.00	0.02	0.0	0.0

ED=Effektivdosis, KD=Knochenoberflächendosis. Die Aktivität von Pu-241 ist aus der Alpha-Aktivität abgeleitet. Aktivitätszufuhr und Dosen aufgrund von Inkorporationsüberwachung aus besonderem Anlaß werden gesondert mitgeteilt.

Tab. 3 Monatsausdruck für die gemessenen Aktivitätszufuhren und die berechneten Körperdosen eines Arbeitsbereichs

Die Dosisangaben werden dabei in Anlehnung an die Darstellung bei der externen Dosis in Stufen von 0,2 mSv angegeben. Die errechneten Dosen werden jeder Person der entsprechenden Arbeitsgruppe zugeschrieben, ohne die tatsächliche Anwesenheit zu überprüfen.

3.2 Atemschutz

Bei Arbeiten, bei denen eine Aktivitätskonzentration von mehr als 40 mBq/m³ auftreten kann, wird Atemschutz vorgeschrieben. Die Art des Atemschutzes hängt von der Höhe der erwarteten Aktivitätskonzentration ab. In Tab. 4 sind die im KfK verwendeten Atemschutzsysteme mit den angenommenen Schutzfaktoren aufgeführt.

Atemschutzsystem	Aktivitätskonzentration	Schutzfaktor
Maske + Partikelfilter P3	0,04-0,8 Bq/m ³	20
Maske + Luftzufuhr mit Überdruck	0,8-8 Bq/m ³	200
Vollschutzanzüge mit Fremdbelüftung	> 8 Bq/m ³	∞

Tab. 4 Die im KfK verwendeten Atemschutzsysteme und Schutzfaktoren

Der Schutzfaktor 20 für Maske mit Partikelfilter beruht auf eigenen Untersuchungen [14]. Der Schutzfaktor 200 wird für solche Systeme in den Arbeitsblättern der Berufsgenossenschaft angegeben [15]. Eigene Untersuchungen deuteten eben-

falls auf einen Schutzfaktor von einigen hundert hin. Der Schutzfaktor ∞ für Vollschutzanzüge mit Fremdbelüftung wird aufgrund der technischen Beschreibung des Schutzsystems angenommen. Zur Zeit sind Untersuchungen im Gange, um zukünftig einen realistischen Schutzfaktor angeben zu können.

4. Meßunsicherheit

4.1 Allgemeines

In diesem Abschnitt werden nur solche Meßunsicherheiten besprochen, die spezifisch für die Raumlufaktiviätsüberwachung durch SLS sind. Ziel der Raumlufaktiviätsüberwachung ist es, wie auch bei der Überwachung der Körperaktivität oder bei der Ausscheidungsüberwachung, die Aktivitätszufuhr zu bestimmen. Im Gegensatz zu den beiden anderen Verfahren ist die Messung der Raumluf unabhängig vom Einfluß der individuellen biologischen Parameter wie z.B. Personengröße oder Verdauungsverhalten.

4.2 Bestimmungsgrößen zur Berechnung der Aktivitätszufuhr nach Messungen mit SLS für Aerosole

Die Bestimmungsgrößen für die Aktivitätszufuhr sind nach Gl. (3) die Aktivitätskonzentration, die Atemrate, die tägliche Arbeitszeit und der Schutzfaktor eines gegebenenfalls verwendeten Atemsystems. Dabei ist die Aktivitätskonzentration im Atembereich zu Grunde zu legen. Die Aktivitätskonzentration errechnet sich aus dem Quotienten der gemessenen Filteraktivität und des Luftdurchsatzes. Auf den Tagesfiltern werden typischerweise einige Bq Aktivität abgeschieden. Sie werden solange gemessen, bis die Nachweisgrenze bei einem Fehler von 5 % nach einigen Stunden $< 0,04 \text{ Bq/m}^3$ und nach einer Woche $< 0,001 \text{ Bq/m}^3$ ist. Die Messung der Filteraktivität erfolgt bei Meßzeiten von ≥ 2 Minuten mit einer zählstatistischen Unsicherheit von $\leq 10 \%$ bei einem Vertrauensniveau von 90 %. Die Selbstabsorption für α -Strahler beträgt nach [16] bei einer Belegung $\leq 5 \mu\text{m}$ maximal -10 %, bei β -Strahlern ist sie vernachlässigbar. Der Luftdurchsatz ändert sich bei dieser Belegung nach eigenen Untersuchungen um maximal -10%. Die Meßunsicherheit, bedingt durch die Positionierung der Sammler relativ zum Atembereich, wird durch die Verwendung des jeweils höchsten Meßwertes der Aktivitätskonzentration innerhalb eines Arbeitsbereichs nach unten auf ca. -10% begrenzt. Andererseits kann durch eine lokale Freisetzung ein relativ hoher Einzelwert auftreten, der dann eine große Überschätzung des Mittelwertes bewirkt.

Die Atemrate wird für eine durchschnittlich belastende Arbeit mit $1,2 \text{ m}^3/\text{h}$ angesetzt; sie kann aber z.B. bei Stemmarbeiten schnell über $2 \text{ m}^3/\text{h}$ hinausgehen [17]. Diese Unterschiede werden bei der Zufuhrberechnung nicht berücksichtigt. Die

dadurch bedingte Meßunsicherheit kann während dieser Arbeiten bis zu -50 % betragen.

Die tägliche Arbeitszeit in den Räumen mit erhöhter Aktivitätskonzentration wird ohne Kontrolle der tatsächlich geleisteten Arbeitszeit oder der Anwesenheit systematisch überschätzt. Die systematische Unsicherheit dieser Angabe kann z.B. bei Urlaub + 100 % betragen. Im Jahresmittel dürfte sich diese Unsicherheit auf etwa +40 % belaufen.

Wenn für bestimmte Tätigkeiten Atemschutz getragen wird, so werden die Meßwerte der SLS an den betroffenen Arbeitsplätzen oder Räumen durch den jeweiligen Schutzfaktor gemäß Abschnitt 3.2 dividiert. Erst danach wird innerhalb des Arbeitsbereichs der Maximalwert ermittelt. Beim unsachgemäßen Tragen oder Auskleiden von Schutzkleidung kann eine Aktivitätszufuhr erfolgen, die nicht mit Gl. (3) erfaßt wird. Diese systematische Unsicherheit läßt sich nur qualitativ angeben. Sie hängt z.B. von der Aktivitätskonzentration am Auskleideplatz, der Kontamination der Schutzkleidung und der Auskleidezeit ab. Durch Schulung soll erreicht werden, daß diese Einflußfaktoren klein bzw. kurz gehalten werden und gegen die Aktivitätszufuhr am Arbeitsplatz vernachlässigt werden können.

In Tab. 5 sind alle Bestimmungsgrößen für die Berechnung der Aktivitätszufuhr und die Meßunsicherheiten zusammengefaßt.

Bestimmungsgröße	Meßunsicherheit	Bemerkungen
Filteraktivität Zählstatistik Zähleransprechvermögen Selbstabsorption Luftdurchsatz Positionierung	-10 % bis + 10 % -20 % bis + 20 % -10 % bis 0 % -10 % bis 0 % -10 % bis + 300 %, JM ca. + 50 %	
Atemrate	-50 % bis + 20 %, JM ca.0 %	von der Tätigkeit abhängig
Arbeitszeit	0 bis + 100 %, JM ca. + 40 %	z.B. Urlaub
unsachgemäße Handhabung von Schutzkleidung	-1000 bis 0 %	Einzelfälle

JM Jahresmittelwert

Tab. 5 Bestimmungsgrößen und Meßunsicherheiten bei der Berechnung der routinemäßigen Aktivitätszufuhr mit SLS

4.3 Bestimmungsgrößen zur Berechnung der Aktivitätszufuhr nach Messungen mit SLS für Iod

Die Bestimmungsgrößen sind dieselben wie unter Abschn. 4.2 ausgeführt. Die Aktivität auf der Kohle beträgt üblicherweise einige 100 Bq, so daß die zählstatistische Meßunsicherheit schon nach Meßzeiten von ≥ 1 Minute vernachlässigbar wird. Die Luftdurchsatzrate ist auf $\pm 10\%$ genau eingeregelt. Die gewählte Positionierung führt zu einem zu hohen Meßwert im Vergleich zu tatsächlich zugeführter Aktivität.

4.4 Bestimmungsgrößen zur Berechnung der Aktivitätszufuhr nach Messungen mit PLS für Aerosole

Die Bestimmungsgrößen sind die Aktivitätskonzentration und die Atemrate. Die tägliche Arbeitszeit und der Schutzfaktor für ein Atemschutzgerät entfallen, da der Sammler nur während der Arbeitszeit und ohne Atemschutz getragen wird.

Die Aktivität auf dem Filter beträgt üblicherweise einige 10^{-2} Bq, so daß Meßzeiten von einigen Stunden notwendig sind, um die relativen Meßunsicherheiten unter 10% bei einem Vertrauensniveau von 90% zu bringen. Zu einer starken Verfälschung der Zufuhrberechnung kann eine wechselnde Atemrate führen, da die Luftdurchsatzrate des Sammlers im Standardfall nur ca. $1/6$ der Atemrate beträgt. Da bei Aktivitätskonzentrationen von ca. $1 \cdot 10^{-2}$ Bq/m³ und einem AMAD von $3-5 \mu\text{m}$ nur wenige Teilchen abgeschieden werden, kommt es zu einer konkurrierenden Abscheidung zwischen dem Atemtrakt des Menschen und dem PLS. In [18] wird z.B. berichtet, daß in den Harwell Laboratorien ein Teilchen ca. 7 mBq Pu-Aktivität trägt. Das bedeutet z.B. bei einer Gesamtaktivität von 70 mBq eine relative Meßunsicherheit auf dem 1σ -Niveau von $\sqrt{10/10} = 32\%$.

5. Qualitätssicherung

5.1 Zweck der Qualitätssicherung

Zweck der Qualitätssicherung ist es, einmal nachzuweisen, daß die Meßunsicherheiten im angegebenen Intervall bleiben und zum zweiten, Möglichkeiten aufzuzeigen, die zur Verkleinerung der Meßunsicherheiten führen. Im weiteren sollen die Qualitätssicherungsprogramme für die Bestimmungsgrößen der Aerosol-sammler einzeln behandelt werden. Da die Iod-Sammler und die PLS nicht zur regelmäßigen Inkorporationsüberwachung herangezogen werden, wird für sie kein spezielles Qualitätssicherungsprogramm durchgeführt.

5.2 Bestimmungsgrößen

5.1.1 Zähleransprechvermögen

Zur Überprüfung des Ansprechvermögens werden Kalibrierstrahler mit 200 mm Ø verwendet, bei denen die Aktivität in einer Eloxalschicht von wenigen µm Dicke eingebracht ist. Die Aktivitätsangabe vom Hersteller hat eine relative Genauigkeit von $\pm 10\%$. Die absolute Aktivität muß einige 100 Bq betragen, damit der zählstatistische Beitrag zur Meßunsicherheit bei Meßzeiten von einigen Minuten vernachlässigbar ist. Die Zählanlage wird überprüft, wenn die Abweichung vom Sollwert mehr als 10 % beträgt.

5.1.2 Selbstabsorption

Die Selbstabsorption wird durch visuellen und zum Teil gravimetrische Kontrolle der zur Messung kommenden Filter innerhalb der vorgegebenen Meßunsicherheit gehalten. Die Meßwerte von Filtern mit zu starker Staubbelegung werden mit einem Absorptionsfaktor korrigiert.

5.1.3 Luftdurchsatz

Die Luftdurchsatzrate wird bei festinstallierten Sammlern durch Durchflußmesser nach dem Filterkopf gemessen und täglich visuell überprüft. Abweichungen von mehr als ± 2 m³/h werden nachgeregelt. Die Luftdurchsatzrate der bewegbaren Sammler wird in Abständen von ca. 3 Monaten mit einem Durchflußmesser, der zwischen Filterkopf und Absaugschlauch eingebracht wird, überprüft. Abweichungen von mehr als $\pm 10\%$ relativ zum Sollwert werden nachgeregelt.

5.1.4 Positionierung

Da sich die Meßverhältnisse in einem Raum durch weitere Einbauten, Änderung der Belüftung oder durch neue Arbeitsprozesse verändern können, muß das Homogenitätskriterium (vgl. Abschn. 2.2.2) regelmäßig jährlich und nach erkennbar größeren Änderungen unmittelbar überprüft werden. Dazu werden an mindestens 3 Tagen Meßserien durchgeführt. Falls die Meßwerte inhomogen sind, müssen die Positionierungen der Sammler geändert oder die Meßstellenzahl erhöht werden bis das Homogenitätskriterium eingehalten wird [19].

5.1.5 Atemrate

Die Atemrate ist durch Angaben von arbeitsmedizinischen Untersuchungen vorgegeben und wird nicht überprüft.

5.1.6 Arbeitszeit

Die Arbeitszeit wird immer mit 8 Stunden angegeben. In der Regel treten aber nur Arbeitszeiten bis zu 5 Stunden in kontaminationsgefährdeten Kontrollberei-

chen auf. Hier kann eine Erfassung der tatsächlichen Arbeitszeit zu einer Reduktion der Meßunsicherheit führen.

5.1.7 Unsachgemäße Handhabung von Schutzkleidung

Durch unsachgemäße Handhabung insbesondere beim Auskleiden kann eine nicht direkt durch Raumluftaktivitätsmessungen erfaßbare Inhalation stattfinden. Ein Nachweisprogramm besteht im Vergleich zwischen Ausscheidungsmeßwerten und Raumluftaktivitätsmessungen. Nach [13] ist für Transurane einmal jährlich zum Vergleich eine Stuhl- und Urinprobe abzugeben.

Als Unterschied zwischen den beiden Verfahren ist im Einzelfall ein Faktor 3 und im Mittel für eine Arbeitsgruppe der Faktor 2 zulässig. Der Faktor 3 folgt aus der Meßunsicherheit des Referenzverfahrens für ein Meßintervall bei unbekanntem Zufuhrzeitpunkt (vgl. Abschn. 1.2). Über mehrere Überwachungsintervalle mitteln sich die unterschiedlichen Zufuhrzeitpunkte, so daß mit einer geringeren Meßunsicherheit zu rechnen ist.

Literaturverzeichnis

- [1] Strahlenschutzverordnung, BGBl 34 (1989) 1321-1376
- [2] Bekanntmachungen der Dosisfaktoren, Ingestion und Inhalation Erwachsener, Bundesanzeiger 41 (1989) 469-677
- [3] Limits for Intakes of Radionuclides by Workers, ICRP 30, Part 1, Annals of the ICRP, 2 (3/4) (1979)
- [4] Limits for Intakes of Radionuclides by Workers, ICRP 30, Part 2, Annals of the ICRP, 4 (3/4) (1980)
- [5] Limits for Intakes of Radionuclides by Workers, ICRP 30, Part 3, Annals of the ICRP, 6 (2/3) (1981)
- [6] Limits for Intakes of Radionuclides by Workers, ICRP 30, Part 4, An Addendum, Annals of the ICRP, 19 (4) (1988)
- [7] The Metabolism of Plutonium and Related Elements, ICRP 48, Annals of the ICRP, 16 (2/3) (1986)
- [8] Reference Man: Anatomical, Physiological and Metabolic Characteristics, ICRP 23, Pergamon Press, Oxford (1975)
- [9] Limits for Intakes of Radionuclides by Workers, ICRP 30, Supplement to Part 1, Annals of the ICRP, 3 (1-4) (1979)

- [10] Limits for Intakes of Radionuclides by Workers, ICRP 30, Supplement to Part 2, Annals of the ICRP, 5 (1-6) (1981)
- [11] Limits for Intakes of Radionuclides by Workers, ICRP 30, Supplement A to Part 3, Annals of the ICRP, 7 (1-3) (1982), Supplement B to Part 3, Annals of the ICRP, 8 (1-3) (1982)
- [12] K. Henrichs, Retex Vers. 5.2, Programm zur Berechnung von Retention und Ausscheidung inkorporierter Radionuklide
- [13] Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosen, GMBI 45 (1994) 286-307
- [14] H. Dilger, H. Doerfel and H. Schieferdecker, Comparison of Various Methods of Routine Monitoring for Plutonium Incorporation at a Waste Management Facility, Radiation Protection Dosimetry 15 (1986) 167-175
- [15] Atemschutz-Merkblatt ZH1/134, Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaft, 1981
- [16] M. Raghavayya, G. Jha and P.M. Markose, Correction for Self Absorption in Alpha Sources, Health Physics, 29 (1975) 782-785
- [17] Tragezeitbegrenzung von Atemschutzgeräten und isolierenden Schutzanzügen ohne Wärmeaustausch für Arbeit, TRgA 415 (1986)
- [18] H. Marshall, Air Sampling in Laboratories and Workplaces at AERE, Harwell, Ann. occup. Hyg. 19 (1976) 153-157
- [19] A. Schwämmle, Repräsentativität von stationären Raumluftmessungen zur Inkorporationsüberwachung im Hinblick auf Anforderungen der Richtlinie für die pyhsikalische Strahlenschutzkontrolle, Diplomarbeit für die Prüfung zum Diplom-Ingenieur (Berufsakademie) der Berufsakademie Karlsruhe, 1993