Fachverband für Strahlenschutz e.V.

Mitgliedsgesellschaft der International Radiation Protection Association (IRPA)
für die Bundesrepublik Deutschland und die Schweiz

Publikationsreihe
FORTSCHRITTE IM STRAHLENSCHUTZ

Publication Series
PROGRESS IN RADIATION PROTECTION

FS-97-81-AKI **ISSN 1013-4506**

Raumluftaktivitätsüberwachung

Incorporation Monitoring by Measurements of Airborne Activities

Loseblattsammlung des Arbeitskreises Inkorporationsüberwachung (AKI)

Februar 1997

Fachverband für Strahlenschutz e. V.
Mitgliedsgesellschaft der International Radiation Protection Association (IRPA)

Loseblattsammlung
Arbeitskreis
Inkorporationsüberwachung (AKI)

Raumluftaktivitätsüberwachung

H. Dilger, G. Breukelmann, K. Buijs, W. Roth,
A. van Schoor, H. Siekmann, K. Vogl
unter Mitarbeit von D. Beyer, G. Klein, T. Ludwig, M. Naumann,
W. Riedel

FS-97-81-AKI
Februar 1997

		Blatt	Seite
0.	Inhaltsverzeichnis	0	1-2
1.	Einleitung	1	1-6
2.	Angewandte Meßverfahren	2	1
2.1	Kenngrößen	2	1
2.2	Anforderungen an die Probenentnahme	2	2
2.2.1	Allgemeines	2	2
2.2.2	Bei Partikeln	2	2
2.2.3	Bei Gasen	2	3
2.3	Anforderungen an den Probenentnahmeort	2	3
2.3.1	Bei stationären und mobilen Luftprobensammlern sowie bei Raumluftmonitoren	2	3
2.3.2	Bei personengetragenen Luftprobensammlern	2	4
2.4	Aufbau und Einsatzmöglichkeiten von Luftprobensammlern	2	4
2.4.1	Stationäre Sammler	2	4-7
2.4.2	Mobile Sammler	2	8
2.4.3	Raumluftüberwachungsmonitoren für Partikel	2	8-11
2.4.4	Personengetragene Sammler	2	11
2.4.5	Zusammenfassung	2	11-13
3.	Auswertung der Messungen	3	1
3.1	Meßbedingungen	3	1
3.2	Praktizierte Verfahren	3	2
3.3	Behandlung der Auswerteergebnisse	3	3
3.3.1	Dokumentation der Auswerteergebnisse	3	3
3.3.2	Vergleich mit Kontrollwerten der Raumluftaktivitätsüberwachung	3	3
3.4	Dokumentation	3	3

		Blatt	Seite
4.	Qualitätssicherung	4	1
4.1	Zweck der Qualitätssicherung	4	1
4.2	Bestimmungsgrößen	4	1
4.2.1	Nulleffekt und Ansprechvermögen der Meßeinrichtung	4	1
4.2.2	Absorption	4	1
4.2.3	Volumenstrom	4	1-2
4.2.4	Positionierung	4	2
4.2.5	Atemrate	4	2
4.2.6	Arbeitszeit	4	2
4.2.7	Sachgemäße Handhabung von Schutzkleidung	4	3
4.2.8	Vergleich mit Ausscheidungsmessungen	4	3
5.	Aktivitätszufuhr- und Dosisberechnung	5	1-4
6.	Literatur	6	1

1. Einleitung

Gemäß §63 Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) kann die Messung der Aktivitätskonzentration radioaktiver Stoffe in der Luft von der zuständigen Behörde als Verfahren zur Ermittlung der Körperdosen bei innerer Exposition bestimmt werden.

Die "Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosen" (Riphyko) [1] konkretisiert die StrlSchV dahingehend, daß Messungen der Raumluftaktivität am Arbeitsplatz durchzuführen sind, wenn bei Personen jährliche Körperdosen oberhalb der Werte nach Tab. X1 Spalte 4 StrlSchV (1/10 der Werte für Personen der Kategorie A) nicht auszuschließen sind und die Nachweisgrenze bei Messungen der Körperaktivität oder der Aktivität der Ausscheidungen zu hoch ist, um bei einer regelmäßigen Inkorporationsüberwachung Zufuhren in Höhe der jeweiligen Interpretationsschwelle zu erkennen. Nach dem Anhang 2a der Riphyko sind die Radionuklide mit kurzen physikalischen Halbwertszeiten und die Radionuklide mit niedrigeren Grenzwerten der Jahresaktivitätszufuhr (GJAZ) mit dem Verfahren der Raumluftaktivitätsmessung zu überwachen. In Tab. 1/1 sind die zu überwachenden Radionuklide aufgeführt.

Die Messungen der Raumluftaktivität am Arbeitsplatz dienen auch zum Nachweis des Erfordernisses einer regelmäßigen Inkorporationsüberwachung, d.h. ob die Zufuhr mehr als 10 % des Grenzwertes betragen kann bzw. zur Beweissicherung, daß keine solche Überwachung notwendig ist.

Der dritte Grund zur Überwachung der Raumluftaktivität ist die Feststellung von akuten Freisetzungen als präventive Maßnahme im Rahmen der Arbeitsplatzüberwachung. In Tab. 1/2 sind einige zu überwachende Radionuklide aufgeführt.

Der Zweck der Loseblattsammlung ist es, in der Praxis bewährte Meßverfahren hinsichtlich ihres Leistungsvermögens und ihrer Einsatzmöglichkeiten zu beschreiben, um den Betreibern, Aufsichtsbehörden und Gutachtern einheitliche Unterlagen zur Verfügung zu stellen. Die Voraussetzungen und Methoden zur Bestimmung der Aktivitätskonzentration und der Aktivitätszufuhr durch die Messungen radioaktiver Stoffe in der Luft werden dargestellt.

Nuklid	Verbindung bzw. Stoffklasse	GJAZ (Bq)	Überwachungsverfahren	Überwachungsintervall (d)	Referenzwert (Bq, Bq/d bzw. Bq/m³)
1	2	3	4	5	6
Na-24	D	$1 \cdot 10^8$	RL oder GK[4]	[5] 1	$1{,}3 \cdot 10^3$ $1 \cdot 10^6$
Mg-28	D,W	$3 \cdot 10^7$	RL oder GK[4]	[5] 1	$4 \cdot 10^2$ $8 \cdot 10^5$
K-42	D	$7 \cdot 10^7$	RL oder GK[4]	[5] 1	$9 \cdot 10^2$ $8 \cdot 10^5$
Cu-64	D,W,Y	$4 \cdot 10^8$	RL oder GK[4]	[5] 1	$5 \cdot 10^3$ $1 \cdot 10^7$
Y-90	W	$1 \cdot 10^7$	RL oder U	[5] 14	$1 \cdot 10^2$ -
	Y	$1 \cdot 10^7$	RL oder S	[5] 14	$1 \cdot 10^2$ -
In-113m	D,W	$3 \cdot 10^9$	RL oder GK[4]	[5] 1	$4 \cdot 10^4$ $2 \cdot 10^6$
I-123	D	$1 \cdot 10^8$	RL oder SD[4]	[5] 1	$1 \cdot 10^3$ $4 \cdot 10^5$
I[3]-132	D	$2 \cdot 10^8$	RL oder SD[4]	[5] 1	$3 \cdot 10^3$ -
I-133	D	$3 \cdot 10^6$	RL oder SD[4]	[5] 1	$4 \cdot 10^1$ $1 \cdot 10^4$
Pr[3]-144	W,Y	$2 \cdot 10^9$	RL oder GK[4]	[5] 1	$3 \cdot 10^4$ -

Tab. 1/1: Die nach der Riphyko mit Raumluftaktivitätsmessungen zu überwachenden Radionuklide (Auszug aus Riphyko [1])

Nuklid	Verbindung bzw. Stoffklasse	GJAZ (Bq)	Über-wachungs-verfahren	Über-wachungs-intervall (d)	Referenzwert (Bq, Bq/d bzw. Bq/m³)
1	2	3	4	5	6
Th-228	W	$2 \cdot 10^2$	RL + U+S[7)8)] (LZ)	[5)]	$3 \cdot 10^{-3}$ -
	Y	$2 \cdot 10^2$	RL + U+S[7)8)] (LZ)	[5)]	$3 \cdot 10^{-3}$ -
Th-230	W	$1 \cdot 10^2$	RL + U+S[7)8)] (LZ)	[5)]	$1 \cdot 10^{-3}$ -
	Y	$4 \cdot 10^2$	RL + U+S[7)8)] (LZ)	[5)]	$5 \cdot 10^{-3}$ -
Th-232	W	$3 \cdot 10^1$	RL + U+S[7)8)] (LZ)	[5)]	$4 \cdot 10^{-4}$ -
	Y	$6 \cdot 10^1$	RL + U+S[7)8)] (LZ)	[5)]	$8 \cdot 10^{-4}$ -
U-233 U-234 U-235 U-238	D	$3 \cdot 10^4$	U + (RL)	30 [5)]	2 ($4 \cdot 10^{-1}$)
	W	$9 \cdot 10^3$	U + (RL)	180 [5)]	$3 \cdot 10^{-2}$ ($1 \cdot 10^{-1}$)
	Y	$5 \cdot 10^2$	RL + U+S[7)8)] (LZ)	[5)]	$6 \cdot 10^{-3}$ -

Tab. 1/1: Die nach der Riphyko mit Raumluftaktivitätsmessungen zu überwachenden Radionuklide, Fortsetzung (Auszug aus Riphyko [1])

Nuklid	Verbindung bzw. Stoffklasse	GJAZ (Bq)	Überwachungsverfahren	Überwachungsintervall (d)	Referenzwert (Bq, Bq/d bzw. Bq/m³)
1	2	3	4	5	6
Np-237	W	$9 \cdot 10^1$	RL + U+S (LZ)	5)	$1 \cdot 10^{-3}$ / -
Pu-238	W	$2 \cdot 10^2$	RL + U+S7)8) (LZ)	5)	$2 \cdot 10^{-3}$ *
Pu-239		$1 \cdot 10^2$		5)	$1 \cdot 10^{-3}$
Pu-240		$1 \cdot 10^2$			-
	Y	$4 \cdot 10^2$	RL + U+S7)8) (LZ)	5)	$5 \cdot 10^{-3}$ / -
Pu-241	W	$7 \cdot 10^3$	RL + U+S7)8	5)	$9 \cdot 10^{-2}$ / -
	Y	$2 \cdot 10^4$	RL + U+S7)8)	5)	$3 \cdot 10^{-1}$ / -
Am-241	W	$1 \cdot 10^2$	RL + U+S7)8) (LZ)	5)	$1 \cdot 10^{-3}$ / -
Cm-242	W	$6 \cdot 10^3$	RL + U+S7)8)	5)	$8 \cdot 10^{-2}$ / -
Cm-244	W	$3 \cdot 10^2$	RL + U+S7)8)	5)	$4 \cdot 10^{-3}$ / -

Tab. 1/1: Die nach der Riphyko mit Raumluftaktivitätsmessungen zu überwachenden Radionuklide, Fortsetzung (Auszug aus Riphyko [1])

* Abweichung zu Riphyko

Nuklid	Verbindung bzw. Stoffklasse	GJAZ (Bq)	Über-wachungs-verfahren	Über-wachungs-intervall (d)	Referenzwert (Bq, Bq/d bzw. Bq/m³)
1	2	3	4	5	6
H-3	HTO	$3 \cdot 10^9$	U (RL)	30 5)	$4 \cdot 10^5$ $(3 \cdot 10^4)$
Co-60	Y	$4 \cdot 10^5$	GK (RL)	180 5)	$1 \cdot 10^3$ $(5 \cdot 10^0)$
I-131	D	$1 \cdot 10^6$	SD (RL)	14 5)	$2 \cdot 10^3$ $(1 \cdot 10^1)$
Cs-137	D	$6 \cdot 10^6$	GK (RL)	180 5)	$3 \cdot 10^4$ $(8 \cdot 10^1)$

Tab. 1/2: Im Rahmen der Arbeitsplatzüberwachung mit Raumluftaktivitätsmessungen zu überwachende Radionuklide

Fußnoten:

3) Die physikalischen oder biokinetischen Eigenschaften des Radionuklids erlauben bei praktikablen Häufigkeiten der Messungen keine zuverlässigen Rückschlüsse von Ergebnissen individueller Überwachungsverfahren auf die inkorporierte Aktivität. Hier ist bei jedem signifikanten Meßergebnis, das nicht auf eine äußere Kontamination zurückgeführt werden kann, von einer Überschreitung der Nachforschungsschwelle auszugehen und unverzüglich eine Ganzkörpermessung zu veranlassen.

4) Um die notwendige Häufigkeit der durchzuführenden Überwachungsmessungen erreichen zu können, ist für diese Radionuklide mit einer sehr kurzen Aufenthaltszeit im Organismus die Durchführung der Überwachungsmessungen mit Hilfe einfacher, häufig anwendbarer Verfahren (z.B. Kontaminationsmonitoren) notwendig; diese müssen jedoch durch geeignete Kalibrierung Aussagen über Körperaktivitäten in Höhe der in Spalte 6 angegebenen Werte erlauben.

5) Kontinuierliche Sammlung während der Arbeitszeit, Meßintervall je nach Volumenstrom und Referenzwert wählen (vgl. 2.2.2).

7) Als Überwachungsverfahren ist nur die Messung der Aktivitätskonzentration in der Raumluft am Arbeitsplatz (RL) ausreichend empfindlich, um Zufuhren in Höhe der Interpretationsschwelle zu erkennen.
Die ergänzende individuelle Überwachung durch Stuhluntersuchungen (S) erlaubt die Überprüfung der Raumluftkontrollen unmittelbar vor der Probenentnahme (diese ist also am Ende einer Arbeitswoche durchzuführen). Die Urinanalyse (U) erlaubt Rückschlüsse auf längere Zeiträume. Es sind daher neben der Raumluftüberwachung für jede Person pro Jahr mindestens je eine Stuhl- und Urinanalyse durchzuführen. Bei ausreichender Meßempfindlichkeit (Nachforschungsschwelle) kann an Stelle der Ausscheidungsanalyse auch eine Messung mit einem Lungendetektor durchgeführt werden.
Läßt die individuelle Überwachung (U oder S) auf eine Zufuhr schließen, die signifikant oberhalb der aus der Raumluft abgeleiteten Zufuhr liegt, ist dies als Überschreitung der Nachforschungsschwelle zu werten. Andernfalls sind die Ergebnisse der Raumluftüberwachung zur Dosisermittlung heranzuziehen.
Für Isotope der Elemente Thorium und Uran ist eine quantitative Interpretation gemessener Stuhl-Ausscheidungsraten (wegen der Beiträge durch Zufuhren aus natürlichen Quellen) nur sehr eingeschränkt möglich.

8) Für Personengruppen mit gleichem Inkorporationsrisiko sind die individuellen Überwachungsmessungen der einzelnen Personen möglichst gleichmäßig über das Jahr zu verteilen.

Spalte 4:

Bezeichnungen für die anzuwendenden Verfahren:

GK	=	Messung der Aktivität im Ganzkörper (in Bq)
LZ	=	Messung der Aktivität im Atemtrakt (in Bq)
RL	=	Messung der Aktivitätskonzentration in der Raumluft am Arbeitsplatz (in Bq/m^3)
S	=	Messung der Aktivität im Stuhl (Ausscheidungsrate in Bq/d)
SD	=	Messung der Aktivität in der Schilddrüse (in Bq)
U	=	Messung der Aktivität im Urin (Ausscheidungsrate in Bq/d)

Spalte 6:

Der Referenzwert gibt an, welcher Meßwert (in Bq bzw. Bq/d) einer Inkorporation von 3 % des GJAZ entspricht, wenn das angegebene Verfahren angewendet sowie das Überwachungsintervall eingehalten wird. Er wurde berechnet unter der Annahme einer Inhalation zu Beginn des Überwachungszeitraums. Im Fall der Überwachung der Luftaktivität am Arbeitsplatz gibt dieser Referenzwert die Aktivitätskonzentration (in Bq/m^3) an, die bei einer Arbeitszeit von 2000 h/a und einer mittleren Atemrate von 1,2m^3/h zu einer Inkorporation in Höhe der Interpretationsschwelle führt.

2. Angewandte Meßverfahren

2.1 Kenngrößen

Die hier verwendeten Kenngrößen für die Beschreibung der Aktivitätskonzentration in der zu überwachenden Raumluft sind in der Tabelle 2/1 zusammengefaßt.

Kenngröße	Ort	Definition, Erläuterung
Luftaktivitätskonzentration [LAK]	Luftprobenentnahmestelle Personenbezogene Sammlung	1. Die LAK ist der zeitliche Mittelwert der gemessenen Aktivitätskonzentration über eine Arbeitsschicht an einer Luftprobenentnahmestelle. 2. Probenentnahmen können personenbezogen oder an Orten erfolgen, an denen sich Mitarbeiter grundsätzlich aufhalten können (repräsentative Probenentnahme vgl. Abb. 2/1). 3. Die LAK stellt die Basisgröße für die Berechnung der Raumluftaktivitätskonzentration (RAK) dar.
Raumluftaktivitätskonzentration [RAK]	Arbeitsbereich	1. Die RAK ist der arithmetische Mittelwert $\overline{A}$, der an den Luftprobenentnahmestellen in einem Arbeitsbereich gemessenen LAK $\overline{A} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} A_i$ 2. Ein Arbeitsbereich ist dadurch definiert, daß die Standardabweichung s der einzelnen Werte der LAK höchstens so groß wie der arithmetische Mittelwert ist. $s = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(A_i - \overline{A})^2}{n-1}}; \quad s \leq \overline{A}.$ 3. Aufgrund inhomogener Freisetzungen oder geringer Luftwechselzahlen kann es erforderlich sein, einen Raum in mehrere Arbeitsbereiche zu unterteilen. 4. Ein Einzelarbeitsplatz kann einer einzelnen Luftprobenentnahmestelle zugeordnet und als Arbeitsbereich betrachtet werden. In diesem Fall und bei personenbezogenen Probenentnahmen entspricht die RAK der LAK. 5. Die RAK ist die Basisgröße für die Berechnung der Aktivitätszufuhr.
Raumabluftaktivitätskonzentration [RAAK]	Abluftleitung des Raumes	1. Die RAAK ist der Mittelwert der in der Abluftleitung eines Raumes gemessenen Aktivitätskonzentration 2. Indikator für die Raumluftaktivitätskonzentration (RAK)

Tab. 2/1: Kenngrößen bei der Raumluftaktivitätsüberwachung

2.2 Anforderungen an die Probenentnahme

2.2.1 Allgemeines

Nach der Riphyko sind je nach den Verhältnissen am Arbeitsplatz und der Höhe der Interpretationsschwelle für die Probenentnahme stationäre oder personengetragene Sammler einzusetzen. Falls die Raumluftaktivitätskonzentration am Arbeitsplatz [LAK] im Monatsmittel bezogen auf die Arbeitszeit stets unterhalb des Zehnfachen des Referenzwertes nach Spalte 6 von Tab. 1 liegt, d.h. die Aktivitätszufuhr unter 30 % des GJAZ bleibt, ist es ausreichend, repräsentativ aufgestellte stationäre Sammler zu verwenden. Bei darüberhinausgehenden Aktivitätskonzentrationen sind personengetragene Sammler einzusetzen und gegebenenfalls zusätzlich stationäre Sammler zu verwenden. Darüberhinaus können Raumluftmonitoren zur Arbeitsplatzüberwachung oder Abluftmonitoren zur Kontrolle von Aktivitätsfreisetzungen eingesetzt werden.

2.2.2 Bei Partikeln*

Zur Überwachung der Raumluftaktivitätskonzentration

- sind Glasfaser- oder Membranfilter mit einem Abscheidegrad von >99 % gemäß DIN 24184 [3] in den Sammelköpfen einzusetzen. Es sollen in Anlehnung an EN 481 [4] die aktivitätstragenden Partikel der einatembaren Fraktion bestimmt werden. Die Filterdurchmesser sollten zweckmäßigerweise 25 bis 200 mm betragen (siehe Tab. 2/3). Die Filter müssen in Atemhöhe so angebracht sein, daß sie nicht durch Sedimentation beaufschlagt werden.
- muß der Volumenstrom für die Beaufschlagung der Schwebstoffilter der stationären Sammler mindestens 1 m^3/h betragen. Je nach Filterdurchmesser kann er bis zu 70 m^3/h betragen. Für personengetragene Sammler kann der Volumenstrom geringer sein (siehe Tab. 2/3).+ Der Volumenstrom sollte 10 % des Produktes aus Raumvolumen und Luftwechselzahl pro h nicht überschreiten.
- muß zur Vermeidung von Zählverlusten durch Absorption der Alphastrahlung die aktivitätstragende Staubschicht < 10 µm (entsprechend 1 mg/cm^2 bei einer Dichte von 1 g/cm^3) sein. Bei dickeren Schichten muß eine Korrektur der Zählraten erfolgen. Die Bestimmung der Schichtdicke kann durch Wägung erfolgen. Hinweise zur Korrektur findet man bei [5]. Um die Staubbelegung klein zu halten, sollten keine stauberzeugenden Arbeiten im Bereich der Luftprobensammler durchgeführt werden und eine ausreichende Filterung der Raumzuluft vorhanden sein.

---

* Partikel sind feste oder flüssige Aggregationen von Molekülen im Größenbereich von einigen Moleküldurchmessern bis zu einigen hundert Mikrometer [2]

\+ Für das während der Meßzeit durchströmte Luftvolumen V gilt folgender Mindestwert: $V \geq 2400\ m^3 \cdot AF/0{,}03\ GJAZ$

AF Nachweisgrenze der auf dem Filter gesammelten Aktivität; GJAZ Grenzwert der Jahresaktivitätszufuhr

- Die Eignung von Schwebstoffiltern hinsichtlich des Eindringens von Partikeln sind gegebenenfalls unter Berücksichtigung von Anströmgeschwindigkeit und Durchlaßwiderstand experimentell zu bestimmen.

2.2.3 Bei Gasen

- Zur Überwachung der Raumluftaktivitätskonzentration von Iodisotopen ist Aktivkohle mit KI-Imprägnierung [1] [6] zu verwenden. Die Verweilzeit der Luft in der Aktivkohleschüttung muß größer als 0,2 s sein. Als Behältnisse haben sich Zylinder aus Edelstahl oder Glas mit 5 cm Durchmesser und einer Höhe von ca. 20 cm bewährt.

  1) z.B. SS207B, 8-12 mesh, 1,5 % KI, Luftfilterbau Flintbek

- Zur Überwachung der Raumluftaktivitätskonzentration von tritiumhaltigem Wasserdampf eignen sich besonders Molekularsiebe [2] [6] mit einer Porengröße von 0,3nm. Durch das Molekularsieb wird der zu untersuchende Wasserdampf adsorbiert. Proben zur Messung im Flüssigszintillationsmeßgerät gewinnt man durch Überführen des Molekularsiebes in gekühltes entmineralisiertes Wasser für die Dauer von 30 Minuten.

  2) z.B. Fluka Chemie Molekularsieb, Union Carbide 3Å 1/16"-rods

2.3 Anforderungen an den Probenentnahmeort

2.3.1 Bei stationären und mobilen Luftprobensammlern sowie bei Raumluftmonitoren

Bei der Installation bzw. Aufstellung sind folgende Bedingungen einzuhalten:

- Die Luftstaubsammler sind an Orten, an denen sich Mitarbeiter grundsätzlich aufhalten können, in der Nähe der potentiellen Kontaminationsquellen und der Arbeitsplätze abluftseitig anzubringen (repräsentative Aufstellung); vgl. Abb. 2/1.
- Der Sammlerkopf muß sich in der erwartungsgemäß am höchsten belasteten Atemzone des jeweiligen Arbeitsplatzes befinden.
- Die Ausrichtung des Sammlerkopfes bezüglich Anströmung des Schwebstoffilters muß so erfolgen, daß unter Berücksichtigung der Luftströmungsrichtung und Aufstellungshöhe eine maximale Beaufschlagung des Schwebstoffilters erfolgt.
- Bei Änderungen von Betriebsabläufen oder Änderungen von Maschinen und Einrichtungen muß geprüft werden, ob es zur Beeinflussung von Luftprobenentnahmestellen kommt bzw. ob die an den Probenentnahmeort des Luftprobensammlers gestellten Anforderungen weiterhin eingehalten werden, vgl. Abschnitt 4.2.4.

- Bei Messungen der Raumabluft in Kanälen sind die Anforderungen von DIN 25423 Teil 2 zu beachten.

2.3.2 Bei Personengetragenen Luftprobensammlern

Beim Tragen sind folgende Bedingungen einzuhalten (vgl. Abb. 2/2):

- Es ist ein Trageort des Sammlerkopfes in der Höhe des Brustbeins zu wählen.
- Die Ausrichtung des Sammlerkopfes muß so sein, daß die Normale des Schwebstoffilters schräg nach oben zeigt.
- Der Sammlerkopf darf nicht zu einer Beeinträchtigung der Bewegungsfreiheit der überwachten Person führen. Eine Fremdkontamination des Schwebstoffilters durch Berührung ist zu vermeiden.

2.4 Aufbau und Einsatzmöglichkeiten von Luftprobensammlern

2.4.1 Stationäre Sammler (vgl. Abb. 2/3)

- Stationäre Sammler bestehen aus einem Sammlerkopf zur Aufnahme des Schwebstoffilters, einem Ableitungsrohr oder -Schlauch, einem Luftdurchflußmesser, einem Kugelhahn und einer zentralen Luftförderpumpe. Die Leitungsführung muß innen glatt sein. Es sollten genügend große Leitungsquerschnitte gewählt werden, damit der Druckabfall im Leitungssystem nicht zu groß wird.
- Um auf eine regelmäßige Kalibrierung verzichten zu können, sollten alle Luftprobensammler zur Kontrolle des Volumenstromes mit einem Durchflußanzeigegerät ausgerüstet sein.
- Störungen des Volumenstromes, z.B. Ausfall des zentralen Vakuumsystems, Ausfall von separaten Pumpen oder Dichtsetzen des Schwebstoffilters müssen kurzfristig erkannt werden können.

E Einbauten

Q Aktivitätsquellen (z.B. Handschuhbox, Abzug, offene Verarbeitungsstelle Abfallzwischenlager)

P Probenentnahmestelle

A Arbeitsplatz

☐ möglicher Aufenthaltsbereich

ZL Zuluft

AL Abluft

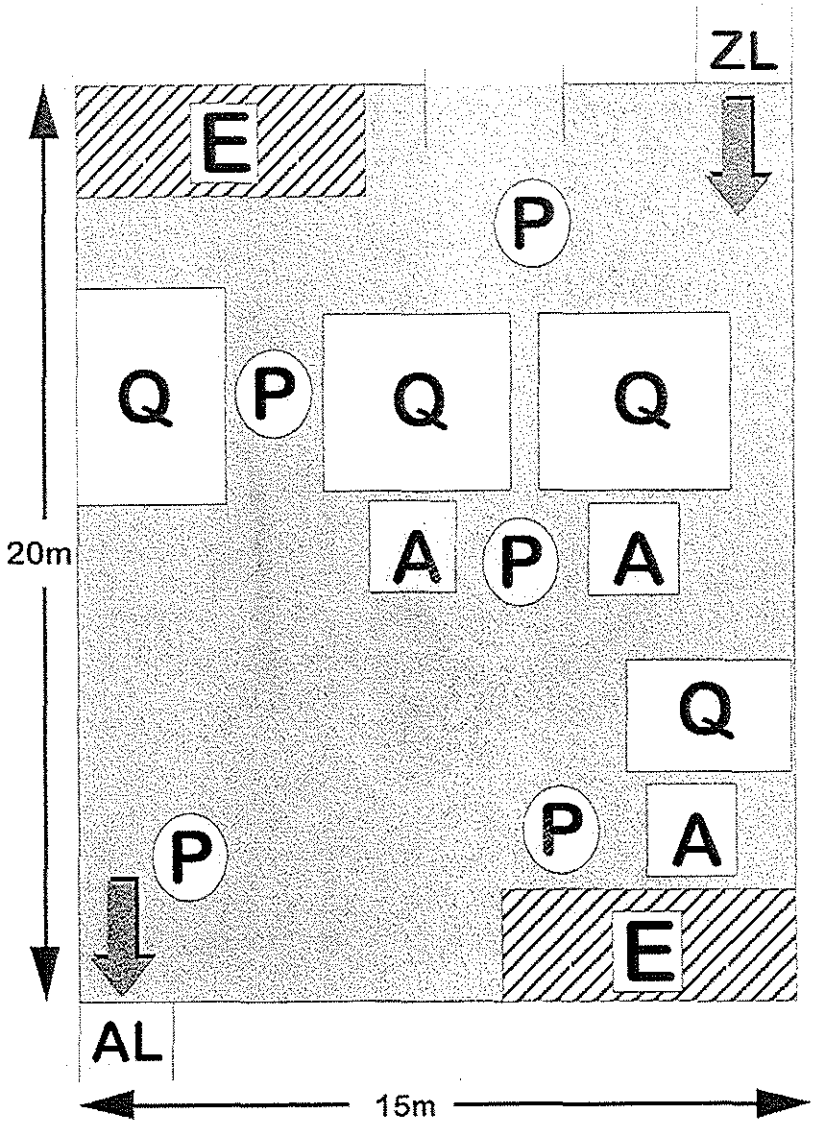

Abb. 2/1 Beispiel für die Überwachung eines Raumes mit stationären Luftprobensammlern

Abb. 2/2 Trageweise eines personengetragenen Luftstaubsammlers

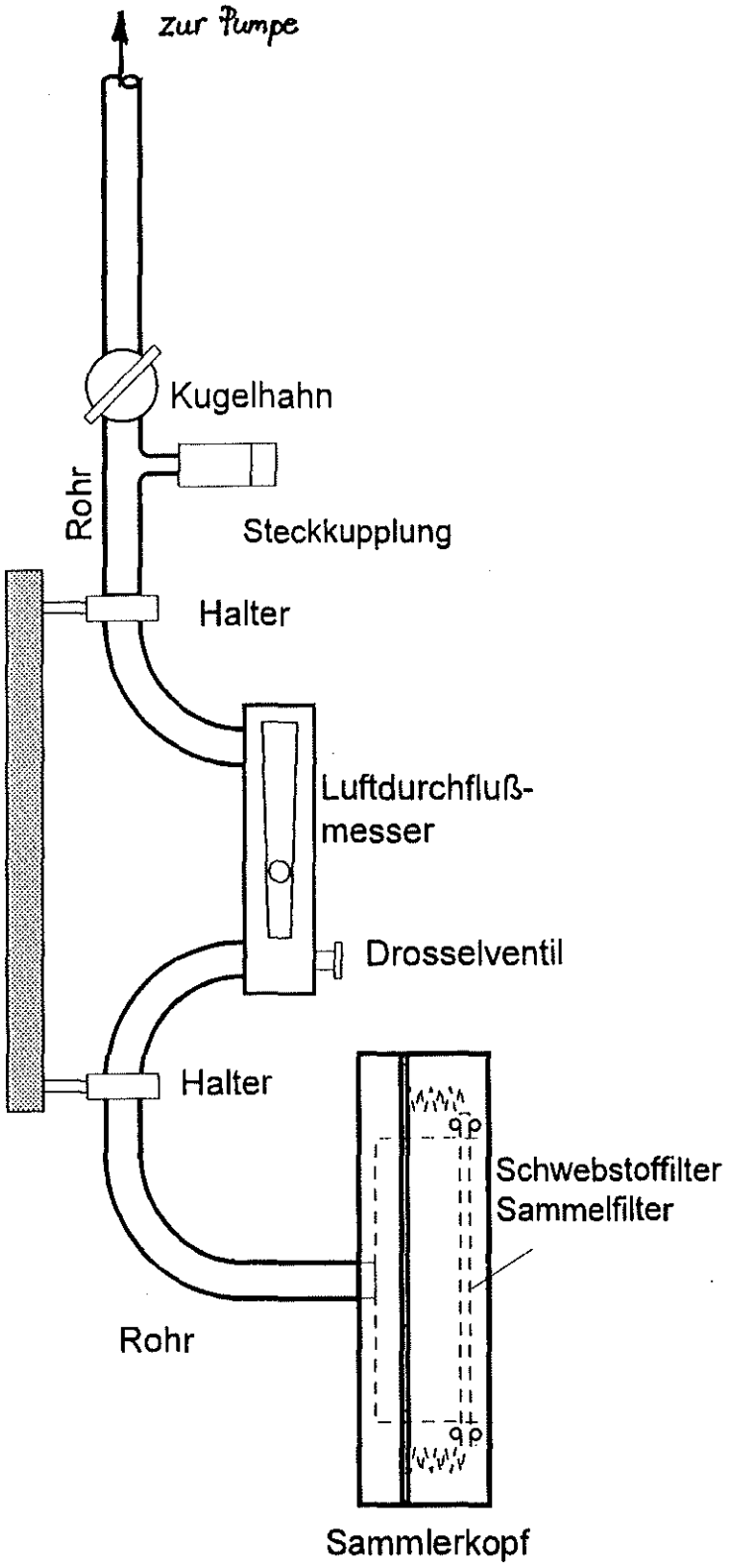

Abb. 2/3 Schematischer Aufbau eines stationären Luftstaubsammlers

2.4.2 Mobile Sammler (vgl. Abb. 2/4)

Mobile Luftprobensammler bestehen mindestens aus Sammlerkopf und einer eigenen Pumpe. Ein Volumenstromanzeigegerät oder eine automatische Volumenstromregelung sind zusätzliche Verbesserungsmöglichkeiten. Mobile Luftprobensammler werden eingesetzt in Räumen, in denen keine festinstallierten Luftprobensammler mit Versorgung, z.B. durch ein zentrales Vakuumsystem, installiert sind.

Mobile Sammler sind auch bei Sondermessungen, z.B. für temporäres Einrichten von zusätzlichen Luftprobenentnahmestellen in Bereichen mit festinstallierten Luftprobensammlern insbesondere bei Wartungsarbeiten oder zur Überprüfung des optimalen Aufstellortes von festinstallierten Luftprobensammlern einzusetzen.

Die technischen Anforderungen entsprechen grundsätzlich denen der stationären Luftprobensammler.

2.4.3 Raumluftüberwachungsmonitoren für Partikel

Raumluftüberwachungsmonitoren sind festinstallierte oder mobile Luftaktivitätssammler mit kontinuierlicher Messung und Aufzeichnung auf den Schwebstoffiltern der akkumulierten Aktivität bzw. der errechneten Luftaktivitätskonzentration. Die Monitoren sind hierzu in der Regel mit Detektoren ausgerüstet, die eine wirksame Diskriminierung der Alphastrahlung natürlicher Radionuklide (Radon-, Thoronfolgenuklide) ermöglichen [7,8]. Die Probenentnahmeleitungen sollten möglichst kurz sein, um die Abscheideverluste klein zu halten.

Einstellbare Alarmschwellen ermöglichen eine Warnung des Personals im überwachten Arbeitsbereich bei Überschreiten einer festgelegten akkumulierten Aktivität auf dem Schwebstoffilter bzw. Aktivitätskonzentration am Arbeitsplatz.

Es erweist sich als praktikabel, als Warnschwelle (WS) für die Aktivität auf dem Schwebstoffilter einen Wert zu wählen, der unter Beachtung des Verhältnisses von Volumenstrom (V) zu Atemrate (1,2 m^3/h), 1 % des Grenzwertes der Jahresaktivitätszufuhr (GJAZ), entspricht. Warnschwellen für Aktivitätskonzentrationen bei Alphastrahlern sind nur bei Geräten mit höherem Volumenstrom und in Räumen mit gefilterter Zuluft ausreichend niedrig einstellbar.

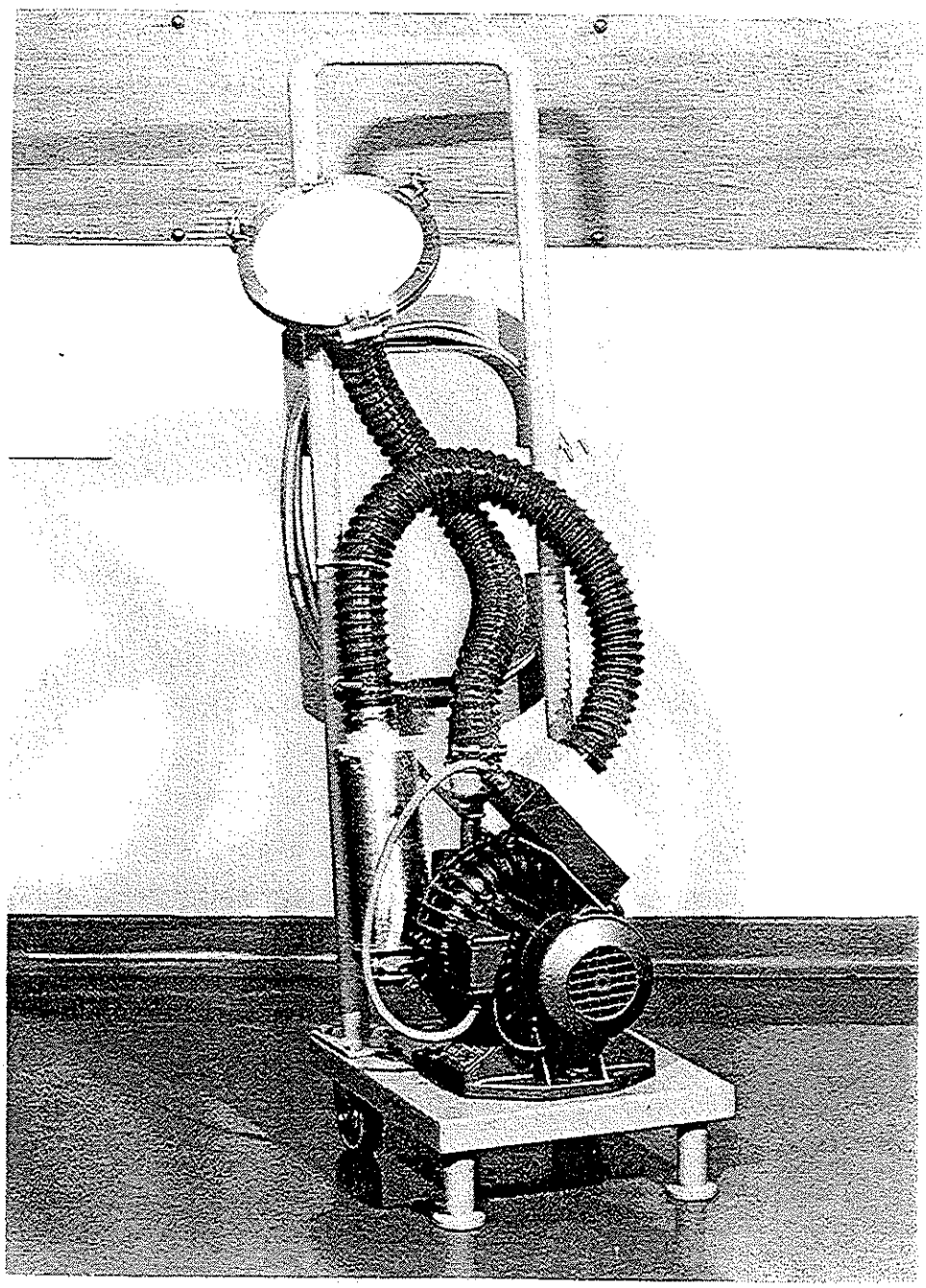

Abb. 2.4 Mobiler Sammler für Aerosole (Beispiel)

In Tab. 2/2 sind für einige gebräuchliche Nuklide diese Werte zusammengestellt.

Es gilt: $WS = GJAZ \cdot \dot{V}/120$

Radionuklid/Stoffklasse		GJAZ [Bq]	empfohlene Warnschwelle [Bq]	
			$\dot{V} = 1\ m^3/h$	$\dot{V} = 40\ m^3/h$
Co-60	/Y	$4 \cdot 10^5$	$3{,}3 \cdot 10^3$	$1{,}3 \cdot 10^5$
Cs-137	/D	$6 \cdot 10^6$	$5{,}0 \cdot 10^4$	$2{,}0 \cdot 10^6$
I-123	/D	$1 \cdot 10^8$	$8{,}3 \cdot 10^5$	$3{,}3 \cdot 10^7$
I-131	/D	$1 \cdot 10^6$	$8{,}3 \cdot 10^3$	$3{,}3 \cdot 10^5$
Th-228	/W,Y	$2 \cdot 10^2$	1,7	$6{,}7 \cdot 10^1$
Th-232	/Y	$6 \cdot 10^1$	$5{,}0 \cdot 10^{-1}$	$2{,}0 \cdot 10^1$
Th-232	/W	$3 \cdot 10^1$	$2{,}5 \cdot 10^{-1}$	$1{,}0 \cdot 10^1$
U-234,238	/W	$9 \cdot 10^3$	$7{,}5 \cdot 10^1$	$3{,}0 \cdot 10^3$
U-234,238	/Y	$5 \cdot 10^2$	4,2	$1{,}7 \cdot 10^2$
Pu-238	/W	$2 \cdot 10^2$	1,7	$6{,}7 \cdot 10^1$
Pu-239,240	/W	$1 \cdot 10^2$	$8{,}3 \cdot 10^{-1}$	$3{,}3 \cdot 10^1$
Pu-238,239,240	/Y	$4 \cdot 10^2$	3,3	$1{,}3 \cdot 10^2$
Am-241	/W	$1 \cdot 10^2$	$8{,}3 \cdot 10^{-1}$	$3{,}3 \cdot 10^1$

Tab. 2/2: Empfohlene Warnschwellen von Raumluftüberwachungsmonitoren für ausgewählte Radionuklide und Stoffklassen

Einsatzbereiche von Raumluftüberwachungsmonitoren:

- In Arbeitsbereichen mit potentiellen Luftkontaminationsquellen oder bei Tätigkeiten mit erhöhter Luftkontaminationsgefahr können zusätzlich Luftüberwachungsmonitoren zur Überwachung des Anstiegs der Raumluftaktivitätskonzentration eingesetzt werden, um Zeitpunkt und Dauer einer Freisetzung zu ermitteln sowie Aktivitätszufuhrwerte durch Warnung des Personals zu minimieren.

- Die Luftüberwachungsmonitoren sollten dauernd in Betrieb sein. Die Monitoraufzeichnungen sind arbeitstäglich auf Luftaktivitätskonzentrationserhöhungen auszuwerten.

  Das Meßergebnis der Laborauswertung ist mit den Monitoraufzeichnungen zu vergleichen.

2.4.4 Personengetragene Sammler

Personengetragene Sammler bestehen aus einem Sammelkopf, einer Schlauchleitung sowie einer Pumpe und sind in der Regel batteriebetrieben. Sie haben aufgrund des klein zu haltenden Gewichtes und deshalb eingeschränkter Energieversorgung einen erheblich geringeren Volumenstrom (z.B. 0,2 m^3/h) als stationäre oder mobile Sammler. Sie sind wegen des geringen Volumenstroms und der erhöhten Gefahr der Kontamination des Sammelfilters an kontaminierten Gegenständen nur begrenzt verwendbar.

Die personengetragenen Sammler sind einzusetzen

- wenn eine Inkorporation erfolgen kann und keine Luftprobenentnahme mit festinstallierten oder mobilen Sammlern aufgrund der Arbeitsbedingungen möglich ist (z.B. in Bergwerken).
- wenn die Überprüfung der Repräsentativität der durch Messung mit festinstallierten Luftprobensammlern ermittelten Raumluftaktivitätskonzentration bei bestimmten Tätigkeiten durchgeführt werden soll.
- wenn gemäß Riphyko die Nachforschungsschwelle überschritten ist.

2.4.5 Zusammenfassung

Eine Zusammenstellung der verschiedenen Geräte ist in Tab. 2/3 aufgeführt.

Die beschriebenen Geräte sind je nach der Intensität, Häufigkeit und Verbreitung von Raumluftkontaminationen unterschiedlich geeignet. In Tab. 2/4 sind geeignete Überwachungsgeräte und -Methoden für die verschiedenen Typen von Raumluftkontaminationen zusammengestellt. Für die Überwachung von stärkeren Raumluftkontaminationen sind bei Aktiniden auch Stuhlanalysen vorzunehmen.

	Luftproben-sammler Partikel stationär/ mobil	Luftproben-sammler Gase stationär/ mobil	Luftproben-sammler Partikel personen-getragen	Raumluft-überwachungs-monitor
Sammelzeit	1d - 7d	1d - 7d	einige h - einige d	1d - 7d
Probenent-nahmeort	Arbeitsbereich oder Raumabluft	Arbeitsbereich oder Raumabluft	Personen	Arbeitsbereich oder Raumabluft
Aktivitäts-messung	diskon-tinuierlich	diskon-tinuierlich	diskon-tinuierlich	kontinuierlich
Sammelmaterial - Durchmesser	25-200 mm	40-60 mm	25-37 mm	25-200 mm
Volumenstrom	1 - 70 m^3/h	3-5 m^3/h	z.B. 0,2 m^3/h	1-70 m^3/h
Sammelmaterial	Glasfaser- oder Membranfilter	Aktivohle, Molekularsieb	Glasfaser- oder Membranfilter	Glasfaser- oder Membranfilter
Brutto-Messung - Detektor - Abklingzeit - NWG Filter	$\alpha_{ges}, \beta_{ges}$ Prop.-Zähler 1 h - 7 d α, β: 1 - 0,07Bq	-	$\alpha_{ges}, \beta_{ges}$ Prop.-Zähler 7 d α, β: 0,2 Bq	$\alpha_{ges}, \beta_{ges}$ [1),2)] Prop.-Zähler - α, β: 2 - 50 Bq [3)]
Nuklid-Messung - Detektor - Abklingzeit - NWG Filter	α-Spektr. OF-Sperr-Sch. keine 0,2 Bq	-	α-Spektr. OF-Sperr-Sch. keine 0,2 Bq	α-Diskrim. OF-Sperr-Sch. keine 2 Bq
Nuklid-Messung - Detektor - Abklingzeit - NWG	γ-Spektr. Ge keine 2 Bq	γ-Spektr. Ge keine 1,5 Bq	γ-Spektr. Ge keine 2 Bq	-
NWG Akt.-Konz.	NWG < Referenzwert nach Tab. 1/1	NWG < Referenzwert nach Tab. 1/1	NWG je nach Radionuklid z.T. > Referenz-wert	NWG < Alarmwerte nach Tab. 2/2
Eignung	Arbeitsplatzüber-wachung, Inkorporations-überwachung, Beweissicherung	Arbeitsplatzüber-wachung, Inkorporations-überwachung, Beweissicherung	Inkorporations-überwachung, Sonder-messungen	Arbeitsplatz-überwachung

1) mit Alpha-Energie-Reichweitendiskriminierungsverfahren
2) mit Alpha-Beta-Pseudokodifferenzverfahren
3) je nach Radongehalt

Tab. 2/3: Zusammenstellung der zur Zeit gebräuchlichen Meßverfahren

Raumluftkontamination				Überwachungs-methoden
Intensität	Häufigkeit	Verbreitung	Auftreten (beispielhaft)	
1) schwach	selten	lokal	Chemielabor	-
2) schwach	selten	ausgedehnt	Kernkraftwerk	Mon
3) schwach	oft	lokal	Lampenindustrie	-
4) schwach	oft	ausgedehnt	Brennelementfabrik	Mon, SLS
5) stark	selten	lokal	Interventionsarbeiten	StA
6) stark	selten	ausgedehnt	Lüftungsumkehr	StA
7) stark	oft	lokal	Bergwerk	PLS, StA*
8) stark	oft	ausgedehnt	Dekoanlage	Mon, SLS, StA*

-	keine Überwachung
PLS	Personenbezogener Luftstaubsammler
SLS	Stationärer Luftstaubsammler
StA	Stuhlanalyse
Mon	Monitor
schwach	< 10 % ARAK
stark	> 10 % ARAK
ARAK	abgeleitete Raumluftaktivitätskonzentration in Bq/m³ entspricht GJAZ/2400
selten	< 1 x wöchentlich
oft	> 1 x wöchentlich
*	zum Teil mit Atemschutz

Tab. 2/4: Geeignete Überwachungsgeräte und -Methoden für unterschiedliche Raumluftkontaminationen

3. Auswertung der Messungen

3.1 Meßbedingungen

Zur Sicherung der Qualität der Auswertung der Schwebstoffilter oder Sorptionsmaterialien sind folgende Bedingungen einzuhalten:

- Die Lagerung und Messung der Schwebstoffilter oder der Sorptionsmaterialien müssen außerhalb von kontaminierten Bereichen erfolgen.
- Die Schwebstoffilter sind je nach Aktivitäts- und Staubbelegung wöchentlich, arbeitstäglich oder nach Ende der Arbeitsschicht auszutauschen und im Labor auszumessen.
- In Schwebstoffiltern sind je nach Zerfallsart die Alpha- und/oder Beta-Aktivitäten zu bestimmen. Durch ein geeignetes Verfahren ist der Anteil der natürlichen Radionuklide zu eliminieren. In Aktivkohleschüttungen sind die entsprechenden Radionuklide gamma-spektroskopisch zu bestimmen. Das aus den Molekularsieben ausgewaschene HTO ist durch Flüssigszintillationsmessung zu bestimmen.
- Um Korrektionsfaktoren zu vermeiden und die Meßsicherheit bei inhomogener Belegung der Schwebstoffilter zu erhöhen, sollte die empfindliche Detektoroberfläche mindestens der Größe der belegten Filteroberfläche entsprechen.
- Das Meßergebnis, auch ein bezüglich der natürlichen Radionuklide noch nicht korrigiertes vorläufiges Meßergebnis, sollte schnellstmöglichst verfügbar sein, damit gegebenenfalls bei erhöhten Werten unverzüglich Strahlenschutzmaßnahmen zur Minimierung der Aktivitätszufuhr durchgeführt werden können.

  Die Meßeffizienz ist ausreichend, wenn das endgültige belastbare Meßergebnis innerhalb von 7 Tagen nach Beaufschlagungsende zur Verfügung steht.
- Die Meßparameter wie Meßzeit, Nulleffektzählrate und Ansprechvermögen der Meßanordnung müssen gewährleisten, daß Aktivitäten erkannt werden, mit denen Jahresaktivitätszufuhrwerte über Inhalation von 3 % (stationäre/mobile Sammler) bzw. 30 % (personengetragene Sammler) des GJAZ für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A mit einer Fehlerwahrscheinlichkeit von 5 % ($\alpha = \beta = 0{,}05$) in Anlehnung an DIN 25482 nachgewiesen werden können.
- Die Durchführung und Auswertung der Messungen sind in betriebsinternen Anweisungen zu regeln.

3.2 Praktizierte Verfahren zur Aktivitätsbestimmung

Bei Alpha-/Beta-Bruttomessungen:

- Natürliche Radioaktivität auf dem Sammelfilter nach Beaufschlagungsende abfallen zu lassen, wenn die Messung mit einfachen großflächigen Proportionalzählrohren erfolgt.

  Die erfahrungsgemäß benötigten Abfallzeiten sind:

  ca. 1 Tag für vorläufiges Meßergebnis,

  mehr als 4 Tage für endgültiges Meßergebnis.

- Sammelfilter nach Beaufschlagungsende ohne Abfallzeiten auszumessen mit:
  - speziellen großflächigen Proportionalzählrohren unter Anwendung des ABPD- oder AERD-Verfahrens
  - großflächigen Halbleiterdetektoren alphaspektrometrisch in einer Vakuummeßkammer.

  Die Nachweisgrenzen für Proportionalzähler bei α-Strahlern betragen bei Sofortmessungen ca. 5 Bq, bei Auswertungen nach 1 Woche ca. 0,07 Bq. Bei Raumluftüberwachungsmonitoren sind je nach Radongehalt der Luft α-Aktivitäten von 2 bis 50 Bq entsprechend Aktivitätskonzentrationen von 0,05 bis 1 Bq/m³ nachweisbar. Die Nachweisgrenzen für α-Strahler bei Oberflächensperrschichtzählern betragen ca. 0,2 Bq.

- Hinweise zur Optimierung am Beispiel von Uranmessungen.

  Die arbeitstägliche Messung einer großen Anzahl von Sammelfiltern sollte mit Geräten erfolgen, die mit einer automatischen Filterwechselvorrichtung ausgerüstet sind und durch Einsatz eines dekontaminierfähigen Halbleiters routinemäßig die sofortige Auswertung der Sammelfilter nach dem Filterwechsel ohne Abklingen der natürlichen alphastrahlenden Radionuklide erlauben.
  Die in der Raumluft vorkommenden natürlichen Alphastrahler und Folgeprodukte können insbesondere bei der Messung von Uran durch Einsatz eines wartungsfreien ungekühlten Oberflächensperrschicht-Detektors, der in einer Vakuummeßkammer betrieben wird, sicher vom Uran unterschieden und eliminiert werden.
  Die Nachweisgrenze einer solchen Meßeinrichtung bei einer Meßzeit von 300 s und einem Zählwirkungsgrad von 28 % für Uran beträgt 0,2 Bq bei der Fehlerwahrscheinlichkeit von 5 % ($\alpha = \beta = 0{,}05$).
  Eine Sammelfilteraktivität von 0,2 Bq entspricht der mittleren Luftaktivitätskonzentration von 6 mBq/m³ bei einer Sammelzeit von 24 h mit einem Volumenstrom von 1,4 m³/h. Die tägliche Arbeitszeit wird bei der Berechnung der Aktivitätszufuhr (s. Blatt 5) berücksichtigt. Das eingesetzte Meßverfahren hat damit die in der Riphyko geforderte Nachweisgrenze.

3.3 Behandlung der Auswerteergebnisse

3.3.1 Dokumentation der Einzelmessungen

- Die Meßergebnisse oberhalb der Referenzwerte sind mit Angabe von:
  - Bezeichnung des Probenentnahmeortes
  - Probenentnahmezeitraum mit Datum und Uhrzeit
  - Volumenstrom
  - Nettozählrate und Meßzeit
  - Zählwirkungsgrad und Nulleffektzählrate der Meßeinrichtung
  - ermittelte Luftaktivitätskonzentration am Probenentnahmeort

  zu protokollieren.
- Abweichungen der Meßergebnisse von üblicherweise auftretenden Werten oder Nichtverwertbarkeit von Messungen sind zusätzlich im Meßprotokoll zu begründen.
- Das Protokoll ist mit Angabe des Datums vom Durchführenden zu unterschreiben.

3.3.2 Vergleich mit betrieblich festgelegten Kontrollwerten der Raumluftaktivitätsüberwachung

- Die ermittelte LAK bzw. RAK ist mit Kontrollwerten zu vergleichen (vgl. beispielsweise Tab. 2/2).
- Bei Erreichen bzw. Überschreitung der festgelegten Kontrollwerte für die Luftaktivitätskonzentration an einer Luftprobenentnahmestelle bzw. Raumluftaktivitätskonzentration im Arbeitsbereich müssen betrieblich festgelegte Maßnahmen zur Feststellung der möglichen Aktivitätszufuhr und Minimierung weiterer Aktivitätszufuhren durchgeführt werden.

3.4 Dokumentation und Bereitstellung der Meßergebnisse

Die Ergebnisse sind monatsweise unter Angabe von:
- Monatsmittelwert und monatlichem Maximalwert der LAK an Luftprobenentnahmestellen innerhalb der Arbeitsbereiche
- Monatsmittelwert und monatlichem Maximalwert der RAK der Arbeitsbereiche
- Erläuterungen und Maßnahmen bei erhöhter Luft- oder Raumluftaktivitätskonzentration

als Zusammenfassung zu dokumentieren und 30 Jahre aufzubewahren. Die Meßergebnisse sind dem zuständigen Strahlenschutzbeauftragten fristgerecht mitzuteilen. Dieser ermittelt gegebenenfalls die Aktivitätszufuhr und Dosis (siehe Blatt 5).

4. Qualitätssicherung

4.1 Zweck der Qualitätssicherung

Zweck der Qualitätssicherung ist die Richtigkeit der Meßwerte und die Einhaltung der vorgegebenen Meßunsicherheiten nachzuweisen. Darüberhinaus sollen dadurch Möglichkeiten aufgezeigt werden, die zur Erhöhung der Genauigkeit der Messungen führen. Nachfolgend werden die Qualitätssicherungsprogramme für die Bestimmungsgrößen der Aerosolsammler einzeln betrachtet.

4.2 Bestimmungsgrößen

4.2.1 Nulleffekt und Ansprechvermögen der Meßeinrichtung

Die Meßeinrichtung ist durch Überprüfung der Nulleffektzählrate, des Ansprechvermögens und bei Monitoren der Warnschwelleneinstellung arbeitstäglich mit einem kalibrierten Strahler zu kontrollieren.

Zur Überprüfung des Ansprechvermögens sollten je nach Sammelfilter- oder Sorptionsmaterial Kalibrierstrahler mit 25-200 mm Ø verwendet werden, bei denen der radioaktive Stoff in einer Eloxalschicht von wenigen µm Dicke eingebracht ist. Als Radionuklide sollten z.B. Pu-238, Cl-36 oder Ba-133 verwendet werden. Die vom Hersteller zertifizierte Aktivität sollte mit einer Präzision von ±10% (Standardabweichung) bestimmt worden sein. Die Aktivität muß so groß sein, daß der zählstatistische Beitrag zur Meßunsicherheit bei der üblichen Meßzeit vernachlässigbar ist. Die Meßeinrichtung ist mindestens einmal jährlich hinsichtlich Richtigkeit und Präzision zu überprüfen und falls Abweichung vom Sollwert mehr als 10 % betragen, eine Reparatur zu veranlassen.

4.2.2 Absorption

Die Absorption im Filtermaterial oder die Belegung durch inaktive Staubteile muß durch visuelle, gravimetrische und chemische Kontrolle der zur Messung kommenden Schwebstoffilter innerhalb der vorgegebenen Meßunsicherheit gehalten werden. Die Meßwerte von Schwebstoffiltern mit zu starker Staubbelegung sind mit einem Absorptionsfaktor zu korrigieren (s. Abschnitt 2.2.2).

4.2.3 Volumenstrom

Die Dichtheit des Filtersitzes und des gesamten Luftprobensammlers ist regelmäßig visuell zu überprüfen.

Der Volumenstrom ist bei festinstallierten Sammlern mit Volumenstrommesser arbeitstäglich zu prüfen und bei Abweichungen um mehr als 10% vom Sollwert nachzuregeln

oder das Schwebstoffilter auszutauschen. Der Volumenstrom mobiler Sammler ohne eingebauten Volumenstrommesser sollte in Abständen von ca. 3 Monaten mit einem Durchflußmesser überprüft werden. Bei Abweichungen von mehr als ±10 % vom Sollwert ist nachzuregeln. Bei kommerziellen Geräten erfolgt die Nachregelung heute automatisch, wobei Abweichungen von ±5 % vom Sollwert eingehalten werden.

4.2.4 Positionierung

Da sich die Meßverhältnisse in einem Raum durch weitere Einbauten, Änderung der Belüftung oder durch neue Arbeitsprozesse verändern können, muß die Abgrenzung von Arbeitsbereichen (vgl. Abschn. 2) regelmäßig jährlich und nach erkennbar größeren Änderungen unmittelbar überprüft werden. Dazu werden an mindestens 3 Tagen Meßserien mit stationären Sammlern durchgeführt. Dies kann auch mit personengetragenen Sammlern durchgeführt werden, falls mit diesen für die zu messenden Radionuklide genügend niedrige Nachweisgrenzen erreicht werden. Falls die Meßwerte die in Tab. 2/1 angegebenen Kriterien nicht erfüllen, muß die Anzahl und Positionierung der repräsentativen Probenentnahmestellen oder der Arbeitsbereich neu festgelegt werden.

Der Träger eines personengetragenen Sammlers ist auf das korrekte Tragen hinsichtlich Abstand und Ausrichtung des Sammlerkopfes in der Atemzone und auf die Vermeidung von Direktkontamination am Sammelfilter hinzuweisen. Vor Ausgabe des Sammlers ist auf ausreichende Batterie- bzw. Akkukapazität zu achten. Das Sammelfilter und der Sammler sind nach der Luftprobenentnahme bezüglich Kontaminationen, die durch Berührungen entstanden sein können, zu überprüfen.

4.2.5 Atemrate

Die Atemrate von 1,2 m^3/h ist durch die Strahlenschutzverordnung vorgegeben und wird nicht überprüft.

4.2.6 Arbeitszeit

Häufig treten kürzere Arbeitszeiten in inhalationsgefährdeten Kontrollbereichen auf. Eine Erfassung der tatsächlichen Arbeitszeit in solchen Bereichen führt, sofern die Aktivitätskonzentration zeitlich konstant ist, zu einer Reduktion der berechneten Aktivitätszufuhr im Vergleich zu einer Berechnung mit der Standardannahme nach StrlSchV von 8 h täglicher Arbeitszeit. Falls die Aktivitätskonzentration zeitlich veränderlich ist, kann sich eine Über- oder Unterschätzung der Aktivitätszufuhr ergeben.

4.2.7 Sachgemäße Handhabung von Schutzkleidung

Durch unsachgemäße Handhabung stark kontaminierter Schutzkleidung, insbesondere beim Auskleiden, kann eine nicht direkt durch Raumluftaktivitätsmessungen erfaßbare Inhalation stattfinden. Eine Nachweismöglichkeit besteht im Vergleich von Stuhlmeßwerten mit Raumluftaktivitätsmeßwerten. Nach der Riphyko sind für Transurane einmal jährlich zum Vergleich eine Stuhl- und Urinprobe zu analysieren, wobei die Urinmessungen nur zum Nachweis möglicherweise langjähriger seither unbekannter Inkorporation dienen.

4.2.8 Vergleich mit Ausscheidungsmessungen

Bei dem Vergleich der aus Raumluft- und Stuhlprobenaktivitätsmessungen ermittelten Aktivitätszufuhren darf das Verhältnis der nach beiden Verfahren ermittelten Aktivitätszufuhr für den einzelnen Beschäftigten nicht größer als der Faktor 3 und im Mittel für eine Arbeitsgruppe nicht größer als der Faktor 1,4 sein. Diese Faktoren konnten bei einem zweijährigen Versuchsprogramm in einer Dekontaminationsanlage bis auf Einzelfälle eingehalten werden [9]. Falls der Faktor 3 für den einzelnen Beschäftigten überschritten ist und ein Verfahren eine Aktivitätszufuhr oberhalb der Nachforschungsschwelle ergibt, ist eine Inkorporationsüberwachung aus besonderem Anlaß durchzuführen. Falls der Faktor 1,4 für eine Arbeitsgruppe überschritten ist, muß die Positionierung (vgl. Abschn. 4.2.4) der stationären Sammler überprüft werden.

Bei Anlagen, in denen aufgrund fehlender oder zu geringer Emissionen keine regelmäßige Inkorporationsüberwachung notwendig ist, kann dieses Kontrollverfahren nicht angewandt werden. Ersatzweise können z.B. der Gesichtsbereich, Nasenabstriche oder die Schutzkleidung auf Kontamination untersucht werden.

5. Aktivitätszufuhr- und Dosisberechnung

Falls die gemessenen Aktivitätskonzentrationen in einem Auswerteintervall durchweg unterhalb des Referenzwertes liegen, müssen keine Aktivitätszufuhr- und Dosisberechnungen durchgeführt werden.

Die Bestimmung der Aktivitätszufuhr für eine Person erfolgt jeweils durch Addition der Aktivitätszufuhren in dem Arbeitsbereich (siehe Tab. 2/1), in dem die Person innerhalb eines Monats gearbeitet hat. Bei Aufenthalten in mehreren Arbeitsbereichen sind die dort erhaltenen Werte jeweils zu addieren.

Zur Berechnung der täglichen Aktivitätszufuhr wird die jeweilige mittlere Raumluftaktivitätskonzentration innerhalb eines Arbeitsbereiches oder die mit einem personenbezogenen Sammler bestimmte Aktivitätskonzentration im Atembereich herangezogen (RAK bzw. LAK nach Tab. 2/1).

Für einen Arbeitsbereich wird die tägliche Aktivitätszufuhr mit folgender Gleichung ermittelt:

$$Z_t = 1{,}2 \cdot t \cdot RAK$$

Z_t	tägliche Aktivitätszufuhr in Bq
RAK	Zeitlicher Mittelwert der Raumluftaktivitätskonzentration während der täglichen Arbeitszeit in Bq/m³ für den Arbeitsbereich
t	tägliche Arbeitszeit in Stunden (falls nicht bestimmt, 8 Stunden pro Tag)
1,2	mittlere Atemrate in m³/h nach StrlSchV

Beim Tragen von Atemschutzgeräten können die in den "Regeln für den Einsatz von Atemschutzgeräten" [10] angegebenen Faktoren Anhaltspunkte zur Reduktion der so berechneten Aktivitätszufuhr geben. Dabei können die in der Praxis auftretenden Reduktionsfaktoren deutlich geringer als die in Tab. 5/1 aufgeführten "Vielfachen des Grenzwertes" sein.

Beim Umgang mit mehreren Radionukliden sind deren Anteile zu bestimmen (Nuklidvektor) und in angemessenen Abständen zu kontrollieren. Bei der Aktivitätsmessung ist ein geeignetes Schlüsselnuklid auszuwählen und über den Nuklidvektor die Aktivitätszufuhr der einzelnen Radionuklide zu ermitteln. Die Tageswerte werden zu Monatswerten addiert.

Solange die Aktivitätszufuhr nach der Summenformel kleiner als 30 % GJAZ ist, kann nach der Berechnungsgrundlage [11] und den in [12] tabellierten Dosisfaktoren gerechnet werden. Andernfalls ist unter Beachtung der speziellen Umstände nach dem Individualverfahren vorzugehen [11].

Für die Ermittlung der Dosis bei bekannter Zufuhr gilt:

$$H_E = h_E \cdot Z \quad \text{bzw.} \quad H_T = h_t \cdot Z$$

H_E, H_T effektive bzw. Teilkörperdosis in Sv

h_E, h_t Dosisfaktor für die effektive bzw. Teilkörperdosis in Sv/Bq

Z Aktivitätszufuhr in Bq.

In Tab. 5/2 sind für einige Radionuklide die Dosisfaktoren für die effektive Dosis und das die Aktivitätszufuhr limitierende Organ aufgeführt. Außerdem ist beispielhaft ein Monatsausdruck für die Berechnung der Dosis bei der Überwachung auf Transurane abgebildet.

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.

Geräteart	Vielfaches des Grenzwertes	Einschränkungen, Bemerkungen	Gruppe nach G26
Vollmaske mit P3-Filter oder Kombinationsfilter	400 1)	Filter dürfen nur einmal verwendet werden	2
Halbmaske/Viertelmaske mit P3-Filter oder Kombinationsfilter	30 1)	Filter dürfen nur einmal verwendet werden	2
Masken mit Gebläse und Partikelfiltern oder Gasfiltern Typ TM2..	100		1
Masken mit Gebläse und Partikelfiltern oder Gasfiltern Typ TM3..	500		1
Helme/Hauben mit Gebläse und Partikelfilter oder Gasfilter Typ TH2..	20	Nur mit Warneinrichtung bei Ausfall oder Schwächerwerden	1
Helme/Hauben mit Gebläse und Partikelfilter oder Gasfilter Typ TH3..	100	Nur mit Warneinrichtung bei Ausfall oder Schwächerwerden	1
Druckluft-Schlauchgerät mit Vollmaske und Regelventil	1000 1)		1
Strahlerschutzgerät als Druckluft-Schlauchgerät	500 1)	Für Strahlarbeiten (z.B. Sandstrahlen)	2
Druckluft-Schlauchgeräte und Behältergeräte mit Vollmaske und Lungenautomat	keine Begrenzung	Einsatz, wenn Filtergeräte keinen ausreichenden Schutz bieten. Gilt für Geräte mit und ohne Überdruck.	2 Behältergeräte: 3

1) Die angegebenen Faktoren gelten nur für kontrollierten Sitz auf trockener und glatter Haut

Tab. 5/1: Übersicht über die Einsatzmöglichkeiten von Atemschutzgeräten (Auszug aus Tab. 13 von [10]).

Nuklid	Inhal. Klasse	h_{eff} in mSv/Bq	h_T in mSv/Bq	
I-123	D	$7{,}4 \cdot 10^{-8}$	Schilddr.	$2{,}0 \cdot 10^{-6}$
Th-228	W	$6{,}8 \cdot 10^{-2}$	Kn.-Oberfl.	1,4
Th-228	Y	$9{,}2 \cdot 10^{-2}$	Lunge	$6{,}9 \cdot 10^{-3}$
Th-230	Y	$6{,}9 \cdot 10^{-2}$	Kn.-Oberfl.	$8{,}5 \cdot 10^{-1}$
Th-232	Y	$3{,}1 \cdot 10^{-1}$	Kn.-Oberfl.	5,0
U-234	W	$2{,}1 \cdot 10^{-3}$	Lunge	$1{,}6 \cdot 10^{-2}$
U-234	Y	$3{,}6 \cdot 10^{-2}$	Lunge	$3{,}0 \cdot 10^{-1}$
Pu-238	W	$1{,}1 \cdot 10^{-1}$	Kn.-Oberfl.	1,9
Pu-239	W	$1{,}2 \cdot 10^{-1}$	Kn.-Oberfl.	2,1
Pu-240	W	$1{,}2 \cdot 10^{-1}$	Kn.-Oberfl.	2,1
Pu-238	Y	$7{,}8 \cdot 10^{-2}$	Kn.-Oberfl.	$7{,}2 \cdot 10^{-1}$
Pu-239	Y	$8{,}3 \cdot 10^{-2}$	Kn.-Oberfl.	$8{,}2 \cdot 10^{-1}$
Pu-240	Y	$8{,}3 \cdot 10^{-2}$	Kn.-Oberfl.	$8{,}2 \cdot 10^{-1}$
Am-241	W	$1{,}2 \cdot 10^{-1}$	Kn.-Oberfl.	2,2

Tab. 5/2: Dosisfaktoren für einige häufig auftretenden Radionuklide

A n h a n g 4 a

HS/St-Meßlabor 13.11.95
Blatt 1
Inst/Abt. HDB/N1
Monat 10.95

Aufgrund der Ergebnisse der routinemäßigen Raumluftüberwachung werden für die aufgeführten Inkorporationsgruppen folgende Aktivitätszufuhren und Dosen abgeschätzt.Die Aktivitätszufuhren werden unter der Voraussetzung einer täglichen Aufenthaltsdauer von 8h und arbeitstäglicher Anwesenheit während des Monats in der entsprechenden Anlage berechnet.
Der Beitrag von Pu-241 wird aus Alpha durch Multiplikation mit 20 ermittelt.

Gruppen-Nr.+Bezeichnung	Alpha Aktiv. (Bq)	Alpha ED (mSv)	Alpha KD (mSv)	Beta (ohne Pu-241) Aktiv. (Bq)	Beta ED (mSv)	Beta KD (mSv)	Pu-241 Aktiv. (Bq)	Pu-241 ED (mSv)	Pu-241 KD (mSv)	Alpha+Beta(einschl.Pu-241) Effektivdosis (mSv)	Alpha+Beta(einschl.Pu-241) Knochenoberfl. (mSv)
3 HDB Dekofest	0.39	0.05	0.8	0.77	0.00	0.0	7.78	0.02	0.3	0.0	1
6 HDB Labor 545 und 547	0.02	0.00	0.0	0.11	0.00	0.0	0.47	0.00	0.0	0.0	0
7 HDB Bau 545	0.52	0.06	1.1	0.64	0.00	0.0	10.39	0.02	0.4	0.0	2
29 HDB Zementierung II	0.02	0.00	0.1	0.13	0.00	0.0	0.50	0.00	0.0	0.0	0

ED=Effektivdosis,KD=Knochenoberflächendosis
Aktivitätszufuhr und Dosen aufgrund von Inkorporationsüberwachung aus besonderem Anlaß werden gesondert mitgeteilt.

Tab. 5/3: Monatsausdruck für die gemessenen Aktivitätszufuhren und die berechneten Körperdosen eines Arbeitsbereichs

6. Literatur

[1] Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosen (§§ 62, 63, 63a StrlSchV; §§ 35, 35a RöV) GMBl 45 (1994) 286-307

[2] DIN 25423 T1, Probenentnahme bei der Radioaktivitätsüberwachung der Luft, Allgemeine Anforderungen, 1987

[3] DIN 24184, Typprüfung von Schwebstoffiltern, 1974

[4] DIN EN 481, Festlegung der Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikel, 1993

[5] Roghquava, M.; Giridar, J. und Markose, P.M,
Correction for Self Absorption in Alpha Sources, Health Phys. 29 (1975) 782-785

[6] DIN 25423 T3, Probenentnahme bei der Radioaktivitätsüberwachung der Luft, Probenentnahmeverfahren, 1987

[7] Nemecek, P., ABPD-Anlagen zur Messung künstlicher Alpha-Aktivitäten, Atomwirtschaft, 35 (1990) 357-359

[8] Frenzel, E., Iwatschenko-Borho, M., Kreiner, H.-J., Kraut, W., Wichmann, H.-P., Emissionsmessungen von künstlichen Alpha-Aktivitätskonzentrationen mit einem AERD-Monitor, Atomwirtschaft 34 (1989) 498-500

[9] Dilger, H.; Doerfel, H.; Schieferdecker, H.; Widua, L.; Inkorporationsüberwachung auf Plutonium und Americium durch Messung der Aktivitätskonzentration in der Raumluft und der Aktivität der Ausscheidungen, in Strahlenschutz: Physik und Meßtechnik Bd. II (1994) 438-443, FS-94-71-T

[10] Regeln für den Einsatz von Atemschutzgeräten, ZH 1/701, Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, April 1994

[11] Richtlinie für die Ermittlung der Körperdosen bei innerer Exposition gemäß §§ 63, 63a StrlSchV (Berechnungsgrundlage). Entwurf Oktober 1995

[12] Bekanntmachung der Dosisfaktoren Teil III
Ingestion und Inhalation - Erwachsener, Bundesanzeiger 41, Nr. 185a (1989) 469-677

Aufstellung der beim Arbeitskreis Inkorporationsüberwachung (AKI) verfügbaren Loseblattsammlungen

FS-80-23-AKI
F. Schinzer, D. Beyer, H. Doerfel, E. Günther, H. Schieferdecker
Inkorporationsüberwachung auf Uran, 09.1980

FS-80-24-AKI
R. Kunkel, A. Böhne, H. Doerfel, P. Koeppe, E. Rose, E. Werner, H. Schieferdecker
Inkorporationsüberwachung durch Direktmessung der Körperaktivität, 11.1980

FS-81-21-AKI
W. Burkart, B. Glöbel, W. Görlich, C. Wernli
Inkorporationsüberwachung auf Jod, 11.1981

FS-82-22-AKI
H. Schieferdecker, D. Beyer, B. Glöbel, E. Günther, K. Henrichs, R. Rose, V. Volf, E. Werner
Biokinetisches Verhalten von radioaktiven Stoffen bei Inkorporation, 02.1982
(mit Nachtrag von 05.1984)

FS-87-45-AKI
R. Güldner, D. Beyer, K. Buijs, W. Burkart, H. Dilger, H. Doerfel, K. Henrichs, W. Wagner, H. Schieferdecker, V. Volf
Inkorporationsüberwachung auf Plutonium, 11.1987

FS-87-46-AKI
W. Riedel, H. Doerfel, U. Elsasser, K. Henrichs, G. Kistner, F. Peter, H. Schieferdecker
Inkorporationsüberwachung auf Promethium, 11.1987

FS-90-49-AKI
H. Schieferdecker, L. Aldea, H. Dilger, E. Günther, K. Henrichs, M.A. Kim, L. Widua
Inkorporationsüberwachung auf Tritium, 03.1990

FS-92-65-AKI
D. Beyer, W. Görlich, E. Günther, W. Riedel
Qualitätskontrolle bei der Inkorporationsüberwachung, **Teil 1:** Ringversuche bei Ausscheidungsanalysen, 02.1992

FS-93-69-AKI
W. Riedel, D. Beyer, A. Dalheimer, H. Doerfel, K. Henrichs, R. Scheler
Inkorporationsüberwachung auf Thorium, 11.1993

Die Loseblattsammlungen des AKI können beim Sekretär oder seinem Stellvertreter angefordert werden