

Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und
nukleare Sicherheit

S II 3 – 1553/004-2025.0001

Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur
Ermittlung der Körperdosis bei innerer Exposition
(§ 169 StrlSchG, §§ 64-66 und § 150 StrlSchV)

(RL Inkorporationsüberwachung)

vom 25. Juli 2025

Inhaltsverzeichnis

1. Anwendungsbereich	7
2. Überwachungsverfahren und Zuständigkeiten bei ihrer Anwendung.....	9
2.1 Übersicht über die Überwachungsverfahren	9
2.2 Zuständigkeiten bei geplanten Expositionssituationen.....	10
2.3 Zuständigkeiten bei Notfallexpositionssituationen.....	10
3. Konzipierung der Überwachung bei geplanten Expositionssituationen	11
3.1 Zu überwachende Personen	11
3.2 Feststellung des Erfordernisses zur Ermittlung der Körperdosis durch innere Exposition	14
3.2.1 Abschätzung der potenziellen effektiven Dosis aus Arbeitsplatzdaten ...	15
3.2.2 Abschätzung der potenziellen effektiven Dosis aus Überwachungsdaten der Raumluft	18
3.3 Überwachungsverfahren und Überwachungsprogramme.....	19
3.3.1 Personenbezogene Überwachungsprogramme in der Inkorporationsüberwachung in behördlich bestimmten Messstellen	19
3.3.2 Personenbezogene Inkorporationsüberwachung mittels Raumluftüberwachung	21
3.3.3 Schwellenwertmessungen	22
3.4 Auswahl des Überwachungsverfahrens.....	23
3.5 Überwachungsintervalle.....	24
3.6 Besondere Anforderungen für den Strahlenschutz gebärfähiger Personen	26
3.7 Besondere Anforderungen für den Strahlenschutz ungeborener Kinder.....	28
4. Durchführung der Überwachung bei geplanten Expositionssituationen.....	29
4.1 Inkorporationsmessungen und Datengewinnung	29
4.2 Bewertung der Überwachungsdaten.....	29
4.2.1 Grundsätze der Dosisermittlung	29
4.2.2 Vorgehen bei Dosisermittlungen unter Anwendung des Referenzverfahrens abhängig vom Überwachungsprogramm.....	31
4.2.3 Vorgehen bei Dosisermittlungen mit Individualverfahren	32
4.2.4 Zusatzinformationen	34
4.2.5 Ersatzdosis	35

4.3	Zuständigkeiten für die Erhebung und Bereitstellung der Überwachungsergebnisse	36
4.3.1	Zuständigkeit und Fristen für die Dosisermittlung	36
4.3.2	Pflichten zur Aufzeichnung, Mitteilung und Aufbewahrung von Überwachungsdaten	36
4.3.3	Überwachung der Überschreitung der Nachforschungsschwelle.....	38
4.3.4	Vorgehen bei Grenzwertüberschreitungen	38
4.3.5	Meldung der Überwachungsdaten an das Strahlenschutzregister	39
5.	Inkorporationsmessungen an Einsatzkräften.....	40
5.1	Durchführung der Messung bei Einsatzkräften in Notfallexpositionssituationen oder anderen Gefahrenlagen	40
5.2	Durchführung der Dosisberechnung	40
5.3	Dosismeldung an das Strahlenschutzregister	41
6.	Anforderungen an Messstellen sowie an Analysen- und Messverfahren	42
6.1	Anforderungen an Messstellen	42
6.2	Anforderungen an Ausstattung und Personal einer Messstelle	43
6.3	Anforderungen an Analysen- und Messverfahren (Überwachungsverfahren) ..	44
6.3.1	Selektivität	44
6.3.2	Nachweisgrenze	44
6.3.3	Genauigkeit.....	44
6.4	Qualitätssicherung von Analysen- und Messverfahren	45
6.4.1	Eigenkontrolle	45
6.4.2	Ringversuche und dosimetrische Fallbeispiele des Bundesamtes für Strahlenschutz	45
7.	Verfahren zur Berechnung der effektiven Dosis (Dosisberechnungsverfahren)	47
7.1	Berechnung der effektiven Dosis nach dem Referenzverfahren bei einer Überwachung mit In-vivo- oder In-vitro-Verfahren	50
7.1.1	Referenzverfahren Schritt 1: Prüfung auf angemessenes Messverfahren	50
7.1.2	Referenzverfahren Schritt 2 (optional): Vergleich mit kritischem Wert M_c	51

7.1.3	Referenzverfahren Schritt 3: Standarddosisberechnung bei einer Überwachung mit In-vivo- oder In-vitro-Verfahren	52
7.1.3.1	Berücksichtigung vorangegangener Zufuhren	54
7.1.3.2	Dosisberechnung im Fall eines Nuklidvektors.....	56
7.1.3.3	Berechnung nicht tabellierter Retentionswerte und Ausscheidungsraten durch Interpolation	57
7.1.4	Referenzverfahren Schritt 4 (optional): Ausschluss unerwarteter Zufuhrereignisse	57
7.1.5	Referenzverfahren Schritt 5 (optional): Prüfung auf potenzielle Überschreitung der Nachforschungsschwelle im Kalenderjahr unter Berücksichtigung der Unsicherheiten	58
7.2	Berechnung der effektiven Dosis nach dem Referenzverfahren bei Raumlufüberwachung	60
7.3	Berechnung der effektiven Dosis unter Anwendung von Individualverfahren bei einer Überwachung mit In-vivo- oder In-vitro-Verfahren	61
7.3.1	Individualverfahren mit Biokinetik des Referenzverfahrens unter Verwendung von Zusatzinformationen	61
7.3.2	Individualverfahren bei Grenzwertüberschreitung.....	63
7.3.2.1	Individualverfahren nach dem Integrationsverfahren	64
7.3.2.2	Individualverfahren mit modifiziertem biokinetischem Modell.....	65
7.4	Berechnung der effektiven Dosis unter Anwendung des Individualverfahrens der Raumlufüberwachung unter Verwendung von Zusatzinformationen	66
8.	Schriftenverzeichnis	67
9.	Glossar	70

Inhaltsverzeichnis der Anhänge

Anhang 1	Beispiele zur Feststellung des Erfordernisses zur Ermittlung der Körperdosis durch innere Exposition (zu Kapitel 3.2)	81
Anhang 1.1	Berechnungsbeispiel zur Abschätzung des Erfordernisses (zu Kapitel 3.2.1)	81
Anhang 1.2	Empfehlung für die Feststellung des Erfordernisses in der Nuklearmedizin (zu Kapitel 3.2.1)	82
Anhang 1.2.1	Faktoren zur Abschätzung des Inkorporationsfaktors in der Nuklearmedizin	83
Anhang 1.2.2	Beispiel zur Anwendung in der Nuklearmedizin	85
Anhang 1.3	Beispiel zur Anwendung bei Raumluftüberwachung (zu Kapitel 3.2.2)	86
Anhang 2	Beispiele für Überwachungsprogramme der Inkorporationsüberwachung (zu Kapitel 3.3)	87
Anhang 2.1	Beispiele für eine aufgabenbezogene Inkorporationsüberwachung (zu Kapitel 3.3.1)	87
Anhang 2.2	Beispiele für eine Inkorporationsüberwachung aus besonderem Anlass (zu Kapitel 3.3.1)	87
Anhang 2.3	Beispiele für betriebliche Schwellenwertmessungen (zu Kapitel 3.3.3)	87
Anhang 3	Durchführung von wiederkehrenden Prüfungen an Mess- und Sammeleinrichtungen zur Überwachung der Aktivitätskonzentration in der Raumluft (zu Kapitel 3.3.2)	88
Anhang 4	Übersicht zur Überprüfung des Qualitätsmanagementsystems (zu Kapitel 6.1)	89
Anhang 4.1	Nachweis der organisatorischen Kompetenz	89
Anhang 4.2	Nachweis der fachlichen Kompetenz	90
Anhang 4.3	Räumliche und technische Ausstattung von Inkorporationsmessstellen, einschließlich des Zeit- und Personalbedarfs für Analysen und Messungen (zu Kapitel 6.2)	92
Anhang 4.3.1	Messung der Körper- oder Organaktivität	92
Anhang 4.3.2	Messung der Aktivität in den Ausscheidungen	93
Anhang 4.3.3	Werte für den Zeit- und Personalbedarf der Analysen und Messungen	94

Anhang 5	Daten zur Eignung von Analysen- und Messverfahren.....	95
Anhang 5.1	Verfahren zur Berechnung der charakteristischen Grenzen (zu Kapitel 6.3.2)	95
Anhang 5.1.1	Berechnungsverfahren der charakteristischen Grenzen für zählende und spektrometrische Messungen	95
Anhang 5.1.2	Grundlagen der Berechnung	96
Anhang 5.1.3	Beispiele von Eingangsgrößen	96
Anhang 5.1.4	Berechnungsverfahren der charakteristischen Grenzen für massenspektrometrische Messverfahren	99
Anhang 5.2	Akzeptanzkriterien für Richtigkeit und Präzision (zu Kapitel 6.3.3)	99
Anhang 6	Überwachungsverfahren und -intervalle, M_c -Werte und Nachweisgrenzen (zu Kapiteln 3, 4, 6 und 7).....	100
Anhang 7	Retentions- und Ausscheidungsdaten, Dosiskoeffizienten und SEE*-Werte (zu Kapitel 7)	157
Anhang 7.1	Einmalige Zufuhr, Retentions- und Ausscheidungsdaten.....	158
Anhang 7.1.1	Einmalige Zufuhr, Ganzkörperretention	158
Anhang 7.1.2	Einmalige Zufuhr, Retention in der Lunge	352
Anhang 7.1.3	Einmalige Zufuhr, Retention in der Schilddrüse.....	364
Anhang 7.1.4	Einmalige Zufuhr, Urin-Ausscheidung	378
Anhang 7.1.5	Einmalige Zufuhr, Stuhl-Ausscheidung.....	566
Anhang 7.2	Chronische Zufuhr, Retentions- und Ausscheidungsdaten	675
Anhang 7.2.1	Chronische Zufuhr, Ganzkörperretention.....	675
Anhang 7.2.2	Chronische Zufuhr, Retention in der Lunge	869
Anhang 7.2.3	Chronische Zufuhr, Retention in der Schilddrüse	881
Anhang 7.2.4	Chronische Zufuhr, Urin-Ausscheidung	895
Anhang 7.2.5	Chronische Zufuhr, Stuhl-Ausscheidung	1083
Anhang 7.3	Dosiskoeffizienten	1193
Anhang 7.4	Spezifische effektive Energien (SEE*-Werte).....	1241
Anhang 7.5	Als Standard empfohlene Absorptionsklassen für Inhalation	1242

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.1	Übersicht über die Überwachungsverfahren, -programme und Dosisberechnungsverfahren der personenbezogenen Inkorporationsüberwachung	20
Abbildung 7.1	Vorgehensweise zur Ermittlung der Körperdosis	49

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1	Festlegungen zur Inkorporationsüberwachung in Abhängigkeit von der potenziellen effektiven Dosis aus äußerer und innerer Exposition sowie aus innerer Exposition alleine	13
Tabelle 3.2	Faktor Freisetzung f_{fs}	16
Tabelle 3.3	Faktor Handhabungssicherheit f_{hs}	17
Tabelle 3.4	Faktor Sicherheit durch protektive Maßnahmen f_{ps}	17
Tabelle 3.5	Überwachungsintervalle und zulässige Toleranzen	25
Tabelle 4.1	In Abhängigkeit vom Überwachungsprogramm in dem jeweiligen Bereich der effektiven Dosis anzuwendendes Dosisberechnungsverfahren	30
Tabelle 7.1	Dosisberechnung nach dem Referenzverfahren bei einer Überwachung mit In-vivo- oder In-vitro-Verfahren.....	48
Tabelle 7.2	Repräsentative Werte für Streufaktoren SF	59
Tabelle 7.3	Zuordnung von Aerosolgrößen zu tabellierten AMAD-Werten	62

1. Anwendungsbereich

Die Richtlinie konkretisiert die Anforderungen gemäß Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) [SSG 17] und Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [SSV 18] an die Ermittlung der Körperdosis zwecks Überwachung der Inkorporation radioaktiver Stoffe (Inkorporationsüberwachung). Sie enthält allgemeine Grundsätze, Verfahrensregelungen, Berechnungsvorschriften sowie Angaben über technische und personelle Anforderungen für die Planung und Durchführung der Inkorporationsüberwachung.

Die Richtlinie deckt den Strahlenschutz durch die Inkorporationsüberwachung bei *geplanten Expositionssituationen* ab und regelt dementsprechend die Inkorporationsüberwachung in Fällen beruflicher Expositionen (§ 2 Absatz 7 Satz 1 StrlSchG). Darüber hinaus werden in dieser Richtlinie Inkorporationsmessungen an *Einsatzkräften* in *Notfallexpositionssituationen* oder anderen Gefahrenlagen behandelt.

Die Richtlinie wendet sich an die für den Vollzug des Strahlenschutzrechts zuständigen Behörden. Die Richtlinie informiert darüber hinaus den Strahlenschutzverantwortlichen gemäß § 69 StrlSchG sowie den Verantwortlichen nach § 115 Absatz 2 StrlSchG über Einzelheiten zur Konzipierung und Durchführung der Überwachung sowie über Informationspflichten gegenüber der von der zuständigen Behörde bestimmten Messstelle. Die in dieser Richtlinie beschriebenen Pflichten des Strahlenschutzverantwortlichen können auf einen Strahlenschutzbeauftragten gemäß § 70 Absatz 1 StrlSchG übertragen werden, sofern für sie nicht das Übertragungsverbot gemäß § 43 Absatz 2 StrlSchV gilt.

Die Richtlinie konkretisiert die Aufgaben der *Inkorporationsmessstellen* nach § 169 Absatz 1 Nummer 2 und 3 StrlSchG und des Strahlenschutzverantwortlichen bei Durchführung der Raumluftüberwachung am Arbeitsplatz nach § 56 Absatz 1 Nummer 2 StrlSchV im Rahmen der Inkorporationsüberwachung. Sie enthält Angaben über die Anforderungen an

- Analysen- und Messverfahren (*Überwachungsverfahren*), Qualitätssicherung, technische Ausstattung, Qualifikation des Personals und Personalbedarf,
- Bewertung und Interpretation der Messergebnisse (*Dosisberechnungsverfahren*) sowie
- Mitteilung und Dokumentation der Ergebnisse

für die Durchführung der Inkorporationsüberwachung in Inkorporationsmessstellen und bezüglich der *Raumluftüberwachung* am Arbeitsplatz.

Die Richtlinie soll gewährleisten, dass die

- Messungen und Auswertungen nach dem Stand von Wissenschaft und Technik durchgeführt werden,
- Ergebnisse vergleichbar sind,
- Ermittlung, Aufzeichnung, Aufbewahrung und Übermittlung der Überwachungsergebnisse nach einheitlichen Kriterien erfolgen und
- die hohe Qualität der Inkorporationsüberwachung erhalten bleibt.

Die dargestellten Grundsätze und Verfahren dienen dazu, die *berufliche Exposition* zu überwachen, die Körperdosis zu ermitteln und insbesondere den Nachweis zu führen, dass die Grenzwerte der Körperdosen nicht überschritten worden sind. Es ist zu beachten, dass sich diese Grenzwerte sowohl auf die Summe aus äußerer und innerer Exposition (§ 2 Absatz 1 StrlSchG) als auch auf die Summe beruflicher Expositionen gemäß § 166 Absatz 1 und 2 StrlSchG beziehen. Die durch innere Exposition hervorgerufene Körperdosis ist gemäß § 175 Absatz 1 StrlSchG und § 171 i. V. m. Anlage 18 Teil B Nummern 1, 2 und 5 StrlSchV als *Folgedosis* zu verstehen, die auch die nach dem Bezugszeitpunkt auftretende Exposition auf Grund des Verbleibs der Radionuklide im Körper berücksichtigt. Für die Berechnung der Folgedosis von Erwachsenen ist ein Integrationszeitraum von 50 Jahren zu berücksichtigen.

2. Überwachungsverfahren und Zuständigkeiten bei ihrer Anwendung

2.1 Übersicht über die Überwachungsverfahren

Die *Körperdosis* infolge der Zufuhr radioaktiver Stoffe in den Körper ist nicht auf direktem Wege messbar. Sie ist in zwei aufeinander folgenden Schritten zu ermitteln (s. a. Abbildung 3.1):

1. Messung der *Aktivität (Inkorporationsmessung)* durch *Überwachungsverfahren* als Teil eines *Überwachungsprogramms*:
 - Messung der Aktivität von Radionukliden im Körper (*In-vivo-Verfahren*) oder
 - Messung der Aktivität von Radionukliden in den Ausscheidungen (*In-vitro-Verfahren*) oder
 - Messung der *Aktivitätskonzentration* von Radionukliden in der Raumluft (*Raumluftmessungen*).
2. Berechnung der Körperdosis aus den gemessenen Aktivitätswerten mittels verschiedener *Dosisberechnungsverfahren*.

Zuständig für die Messung der *Körperaktivität* oder der *Aktivität in den Ausscheidungen* sind gemäß § 65 Absatz 4 StrlSchV bei *geplanten Expositionssituationen* sowie gemäß § 150 Absatz 2 StrlSchV bei *Notfallexpositionssituationen* die nach § 169 Absatz 1 Nummer 2 und 3 StrlSchG von der zuständigen Behörde bestimmten Messstellen (*Inkorporationsmessstellen*). Diese Messstellen ermitteln unter Wahrung der Fristen die Körperdosis und im Regelfall übermitteln sie die Dosis dem *Strahlenschutzregister (SSR)* nach § 170 Absatz 4 Satz 1 Nummer 1 StrlSchG (s. a. Kapitel 4.3.5).

Für die Messungen der *Aktivitätskonzentration* in der Raumluft am Arbeitsplatz hat gemäß § 56 Absatz 1 StrlSchV der Strahlenschutzverantwortliche zu sorgen (s. Kapitel 3.3.2). Weiterhin hat er für die Ermittlung der Körperdosen zu sorgen und diese nach § 170 Absatz 4 Satz 1 Nummer 3 StrlSchG dem Strahlenschutzregister zu übermitteln (s. Kapitel 4.3.5).

2.2 Zuständigkeiten bei geplanten Expositionssituationen

Eine geplante Expositionssituation ist eine *Expositionssituation*, die durch Tätigkeiten gemäß § 4 Absatz 1 StrlSchG entsteht und in der eine *Exposition* verursacht wird oder verursacht werden kann (§ 2 Absatz 2 StrlSchG).¹

Der Strahlenschutzverantwortliche hat gemäß § 64 StrlSchV dafür zu sorgen, dass an Personen, die sich in einem Strahlenschutzbereich aufhalten (Absatz 1 Satz 1), sowie gegebenenfalls an weiteren Personen (Absatz 2 Satz 1) die *Körperdosis* ermittelt wird. Zur Ermittlung der Körperdosis kann die zuständige Behörde aufgrund der Expositionsbedingungen gemäß § 65 Absatz 1 Satz 2 StrlSchV unter anderem bestimmen, dass die *Aktivitätskonzentration* radioaktiver Stoffe in der Luft (Nummer 1), die *Körperaktivität* oder die *Aktivität in den Ausscheidungen* (Nummer 2) gemessen wird.

2.3 Zuständigkeiten bei Notfallexpositionssituationen

Gemäß § 2 Absatz 3 StrlSchG ist eine Notfallexpositionssituation eine *Expositionssituation*, die durch einen Notfall gemäß § 5 Absatz 26 StrlSchG entsteht, solange die Situation keine *bestehende Expositionssituation* ist.² Nach § 2 Absatz 7 Satz 1 Nummer 5 StrlSchG gilt eine *Exposition* der Einsatzkraft während des Einsatzes in einer Notfallexpositionssituation oder einer anderen Gefahrenlage als *berufliche Exposition*. Einsatzkräfte zählen gemäß § 5 Absatz 7 Satz 3 StrlSchG jedoch nicht zu den *beruflich exponierten Personen*.

Im Notfalleinsatz sind die Strahlenschutzverantwortlichen nach § 115 Absatz 2 Nummer 1 StrlSchG für den Schutz ihrer eigenen oder der in ihrem Auftrag tätigen Einsatzkräfte verantwortlich. Verantwortlich für den Schutz anderer Einsatzkräfte sind nach § 115 Absatz 2 Nummer 2 StrlSchG die einsatzleitende Behörde oder die für Maßnahmen der Notfallreaktion zuständigen oder am Notfalleinsatz mitwirkenden Behörden und Organisationen. Falls eine relevante *Inkorporation* radioaktiver Stoffe zu befürchten ist, soll nach § 150 Absatz 2 StrlSchV zur Abschätzung der *Körperdosis* auch eine Messung der *Körperaktivität* oder der *Aktivität in den Ausscheidungen* durch eine nach § 169 Absatz 1 Nummer 3 StrlSchG *behördlich bestimmte Messstelle* erfolgen (s. a. Kapitel 5). Diese ermittelt auch die jeweilige Körperdosis. Übersteigt die ermittelte oder abgeschätzte effektive Dosis der Einsatzkraft 1 mSv, hat der für den Schutz der Einsatzkraft im Notfalleinsatz Verantwortliche dafür zu sorgen, dass die Dosis dem Strahlenschutzregister gemeldet wird (§ 150 Absatz 5 StrlSchV). In der Regel meldet die behördlich bestimmte Messstelle die Dosis dem *Strahlenschutzregister* gemäß § 150 Absatz 5 StrlSchV i. V. m. § 170 Absatz 4 Satz 1 Nummer 1 StrlSchG.

¹ Die Grundsätze des Strahlenschutzes bei *geplanten Expositionssituationen* durch künstlich erzeugte und natürlich vorkommende radioaktive Stoffe werden jeweils in Teil 2 des StrlSchG und der StrlSchV vorgegeben.

² Die Grundsätze des Strahlenschutzes für Einsatzkräfte gemäß § 5 Absatz 13 StrlSchG in *Notfallexpositionssituationen* oder anderen Gefahrenlagen werden jeweils in Teil 3 des StrlSchG und der StrlSchV vorgegeben.

3. Konzipierung der Überwachung bei geplanten Expositionssituationen

3.1 Zu überwachende Personen

An Personen, die sich in Strahlenschutzbereichen aufhalten, ist nach § 64 Absatz 1 Satz 1 StrlSchV die Körperdosis nach Maßgabe des § 65 Absatz 1 StrlSchV zu ermitteln. Gemäß § 64 Absatz 2 Satz 1 StrlSchV gilt dies auch für Personen, die bei der Ausübung einer Tätigkeit außerhalb eines Strahlenschutzbereichs im Kalenderjahr eine effektive Dosis von mehr als 1 Millisievert erhalten können.

Ist für den Aufenthalt in einem Überwachungsbereich für alle oder für einzelne Personen zu erwarten, dass im Kalenderjahr eine effektive Dosis von 1 mSv nicht erreicht werden kann, so kann für diese Personen gemäß § 64 Absatz 1 Satz 2 StrlSchV auf die Ermittlung der Körperdosis verzichtet werden. Die zuständige Behörde kann ausnahmsweise in einem solchen Fall eine Ermittlung der Körperdosis verlangen. Der Verzicht auf die Ermittlung der Körperdosis an Personen, die sich in Kontrollbereichen aufhalten, in denen eine effektive Dosis von 1 mSv nicht erreicht werden kann, ist gemäß § 64 Absatz 1 Satz 4 StrlSchV möglich, wenn die zuständige Behörde dem zugestimmt hat.

Eine *Inkorporationsüberwachung* zur Feststellung der *Körperdosis* ist gemäß § 65 Absatz 1 Satz 2 Nummer 1 oder 2 StrlSchV erforderlich, wenn die zuständige Behörde dies aufgrund der Expositionsbedingungen bestimmt. Gemäß § 64 Absatz 2 Satz 1 StrlSchV gilt die Anforderung zur Ermittlung der Körperdosis unter bestimmten Expositionsbedingungen auch für Personen, die eine Tätigkeit außerhalb eines Strahlenschutzbereichs ausüben. Die Entscheidung über das Erfordernis trifft gemäß § 65 Absatz 1 Satz 2 Nummer 1 oder 2 StrlSchV die zuständige Behörde. Außerdem kann die zuständige Behörde auch *Inkorporationsmessungen* bei einer Person anordnen, die sich in einem Bereich aufhält oder aufgehalten hat, in dem eine Tätigkeit ausgeübt wird, und es nicht auszuschließen ist, dass sie radioaktive Stoffe inkorporiert hat (§ 64 Absatz 4 StrlSchV). Art und Umfang der von der zuständigen Behörde festzulegenden Überwachungsmaßnahmen richten sich nach der *potenziellen Dosis* durch Inkorporation gemäß Tabelle 3.1. Dementsprechend kann die Inkorporationsüberwachung durch *Schwellenwertmessungen*, mittels *Raumluftmessungen* oder durch Inkorporationsmessungen mittels *In-vivo-* oder *In-vitro-Verfahren* realisiert werden.

Der Strahlenschutzverantwortliche hat dafür zu sorgen, dass vor Aufnahme der Tätigkeit einer Person im Strahlenschutzbereich die potenzielle Dosis durch Inkorporation abgeschätzt wird (§ 64 Absatz 1 StrlSchV) und eine Zuordnung der Überwachung gemäß Tabelle 3.1 vorgenommen wird. Ein Erfordernis zur Ermittlung personenbezogener Werte der Körperdosis besteht zumindest dann, wenn die potenzielle Dosis durch Inkorporation für ein Kalenderjahr 1 mSv *effektive Dosis* (*Erfordernisschwelle* für personenbezogene Dosisermittlung) überschreiten kann (§ 64 Absatz 1 Satz 2 und Absatz 2 Satz 1 StrlSchV). Die Erfordernisschwelle kann bis auf 0,5 mSv gesenkt werden, wenn die Summe der Beiträge zur potenziellen effektiven Dosis aus *innerer Exposition* und *äußerer Exposition* 1 mSv im Kalenderjahr überschreitet und ansonsten keine Überwachung der Körperdosis stattfindet.

Für Personen, die sich in einem Überwachungsbereich aufhalten, kann von der Ermittlung der Körperdosis abgesehen werden, wenn die potenzielle effektive Dosis aus innerer und äußerer Exposition 1 mSv nicht überschreitet und die zuständige Behörde die Überwachung nicht verlangt (§ 64 Absatz 1 Satz 2 und 3 StrlSchV). Eine

entsprechende Befreiung ist auch bei einem Aufenthalt im Kontrollbereich möglich, wenn die zuständige Behörde einer solchen Ausnahme zustimmt (§ 64 Absatz 1 Satz 4 StrlSchV). In diesen Fällen kann die zuständige Behörde jedoch auferlegen, dass die Einhaltung der oben genannten Werte der Erfordernisschwelle durch regelmäßige und zeitnahe, vorzugsweise betriebliche Schwellenwertmessungen nachzuweisen ist.

Nach § 78 Absatz 1 Satz 1 StrlSchG beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis für *beruflich exponierte Personen* 20 mSv im Kalenderjahr. Für beruflich exponierte Personen unter 18 Jahren beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis gemäß § 78 Absatz 3 Satz 1 StrlSchG 1 mSv im Kalenderjahr.

Für Auszubildende und Studierende im Alter zwischen 16 und 18 Jahren kann die zuständige Behörde gemäß § 78 Absatz 3 Satz 3 StrlSchG einen Grenzwert der effektiven Dosis von 6 mSv im Kalenderjahr zulassen, wenn dies zur Erreichung des Ausbildungsziels notwendig ist. An Personen unter 18 Jahren ist die Körperdosis zu ermitteln, wenn eine effektive Dosis durch innere Exposition von mehr als 0,5 mSv im Kalenderjahr (Erfordernisschwelle für Personen unter 18 Jahren) nicht ausgeschlossen werden kann. Ein möglicherweise resultierendes Erfordernis zur Überwachung aufgrund zusätzlicher äußerer Exposition bleibt hiervon unberührt. Die zuständige Behörde trifft entsprechende Festlegungen in Abweichung zu den in Tabelle 3.1 dargestellten Regelungen.

Tabelle 3.1: Festlegungen zur Inkorporationsüberwachung in Abhängigkeit von der potenziellen effektiven Dosis aus äußerer und innerer Exposition sowie aus innerer Exposition alleine

potenzielle effektive Dosis im Kalenderjahr durch äußere und innere Exposition	Überwachungsziel	potenzielle effektive Dosis im Kalenderjahr durch innere Exposition (Inkorporation)	Art der Inkorporationsüberwachung
1	2	3	4
< 0,5 mSv	keines	< 0,5 mSv	keine Überwachung
≥ 0,5 mSv und < 1 mSv	Nachweisführung, dass eine effektive Dosis von 1 mSv im Kalenderjahr unterschritten wird	< 0,5 mSv	keine Überwachung
		≥ 0,5 mSv	Schwellenwertmessungen (keine Dosisberechnung) ³
≥ 1 mSv	Ermittlung der Werte der Körperdosis (§ 64 i. V. m. § 65 Absatz 1 StrlSchV)	< 0,5 mSv	keine Überwachung
		≥ 0,5 mSv und < 1 mSv	Schwellenwertmessungen (keine Dosisberechnung) ³ oder bei Absenkung der Erfordernisschwelle (s. Kapitel 3.1): regelmäßige oder aufgabenbezogene Überwachung
		≥ 1 mSv ⁴	regelmäßige oder aufgabenbezogene Überwachung mit In-vivo-/ In-vitro-Verfahren in behördlich bestimmter Messstelle
			regelmäßige oder aufgabenbezogene Raumluftüberwachung mittels Raumluftmessungen am Arbeitsplatz ⁵ mit verifizierenden Körperaktivitäts- oder Ausscheidungsmessungen in behördlich bestimmter Messstelle

³ Ergebnisse können auch oberhalb von 1 mSv zur Eingrenzung des Inkorporationszeitpunktes verwendet werden (zeitnahe *Indikatormessung*).

⁴ *Erfordernisschwelle* für eine *regelmäßige* oder *aufgabenbezogene Überwachung*. Auch unter 1 mSv potenzieller Dosis im Kalenderjahr durch Inkorporation ist eine Dosisermittlung verpflichtend für Personen bei Aufenthalt im Überwachungsbereich, wenn die zuständige Behörde eine Dosisermittlung verlangt oder für Personen bei Aufenthalt im Kontrollbereich, falls die Behörde einem Verzicht nicht zugestimmt hat (§ 64 Absatz 1 Satz 3 und 4 StrlSchV). Für Personen unter 18 Jahren ist eine Dosisermittlung ab 0,5 mSv erforderlich. Für Personen unter 18 Jahren sowie für die Überwachung der *Organ-Äquivalentdosis der Gebärmutter* bei gebärfähigen Personen gelten besondere Schwellenwerte.

⁵ Bedingung für deren Anwendung: nur unterhalb einer *potenziellen Dosis* durch *Inkorporation* von 6 mSv (*Nachforschungsschwelle*) außer bei Verwendung personenbezogener oder mobiler Aerosolsammler.

3.2 Feststellung des Erfordernisses zur Ermittlung der Körperdosis durch innere Exposition

Für Personen, deren jährliche *potenzielle effektive Dosis* E_{pot} durch äußere und innere Exposition sowie durch innere Exposition alleine die Dosissschwellen aus Tabelle 3.1 Spalten 1 und 3 überschreitet, ist eine personenbezogene *Inkorporationsüberwachung* oder die Durchführung von Schwellenwertmessungen gemäß Tabelle 3.1 Spalte 4 erforderlich.

Die Abschätzung der *potenziellen effektiven Dosis* anhand der von einer Person in einem Kalenderjahr *inkorporierbaren Aktivität* soll aus den Ergebnissen vorhergehender Inkorporationsmessungen an Personen oder Messungen der *Aktivitätskonzentration* der Raumluft erfolgen, sofern diese vorliegen. Die berücksichtigten Ergebnisse müssen verlässlich, eindeutig und für die Person und ihre Tätigkeit repräsentativ sein. Wenn keine ausreichenden Messwerte zur inkorporierbaren Aktivität vorliegen, ist eine erste, grobe Abschätzung der potenziell inkorporierbaren Aktivität mit den in Kapitel 3.2.1 angegebenen Verfahren durchzuführen, wobei die geplanten Arbeitsprozesse bezüglich der Arbeitsplatzbedingungen und der Durchführung zu analysieren sind. Dabei sind alle Einflüsse auf das Inkorporationsrisiko (z. B. technische Schutzmaßnahmen, gegenseitige Beeinflussung verschiedener Arbeitsplätze) mit Ausnahme persönlicher Schutzausrüstung zu berücksichtigen.

Das Erfordernis zur Ermittlung der *Körperdosis* durch innere Exposition bzw. für die Durchführung von Schwellenwertmessungen ist nach jeder wesentlichen Änderung am Arbeitsplatz, die eine Auswirkung auf die mögliche *Inkorporation* radioaktiver Stoffe haben kann, sowie spätestens ein Jahr nach einer Erstbeurteilung nach den Kapiteln 3.2.1 und 3.2.2 unter Berücksichtigung etwaiger Ergebnisse aus *Inkorporationsmessungen* an Personen und *Raumluftmessungen* am Arbeitsplatz erneut zu beurteilen. Die zuständige Behörde kann eine Mitteilung über die Ergebnisse der erneuten Überprüfung verlangen. Die erneute Beurteilung hat das Ziel, aufgrund der zwischenzeitlich gewonnenen Erfahrungen bei der Durchführung der Arbeitsprozesse und der erhobenen Messergebnisse die erste Abschätzung wesentlich zu verbessern. Wenn die erneute Beurteilung ergibt, dass keine regelmäßigen Schwellenwertmessungen mehr erforderlich sind, kann es dennoch sinnvoll sein, stichprobenartige Schwellenwertmessungen durchzuführen, um die andauernde Unterschreitung der Schwelle für das Erfordernis von Schwellenwertmessungen nachzuweisen.

3.2.1 Abschätzung der potenziellen effektiven Dosis aus Arbeitsplatzdaten

Beim Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen gilt für die prognostische Abschätzung der *potenziellen effektiven Dosis* im Kalenderjahr die Gleichung 3.1:⁶

$$E_{\text{pot}} = \sum_i a_i \cdot A_i^{(\text{g})} \cdot e_i \quad 3.1$$

mit den Bezeichnungen:

- E_{pot} potenzielle effektive Dosis durch *innere Exposition* im Kalenderjahr in Sv;
- i Index für Arbeitsprozesse für ein bestimmtes Radionuklid;
- a_i relativer Anteil der Aktivität, der während des i -ten Arbeitsprozesses potenziell inkorporiert werden kann (*Inkorporationsfaktor*);
- $A_i^{(\text{g})}$ die für den i -ten Arbeitsprozess für ein bestimmtes Radionuklid über das Kalenderjahr zu berücksichtigende *gehandhabte Aktivität* in Bq;⁷
- e_i *Dosiskoeffizient* für die effektive Dosis durch Inhalation in Sv/Bq (abhängig von dem im i -ten Arbeitsprozess verwendeten Radionuklid und der *Absorptionsklasse*).

Für jedes in einem Verfahren verwendete oder an einem Arbeitsplatz vorhandene Radionuklid und seine Absorptionsklasse, für das eine Inkorporation nicht ausgeschlossen werden kann, d. h. das sich währenddessen nicht ständig in einer dichten Umhüllung befindet, ist jeweils ein eigener Arbeitsprozess anzunehmen und zu analysieren. Ein Arbeitsprozess, der einzeln in Gleichung 3.1 eingeht, ist bestimmt durch das Radionuklid, die zu berücksichtigende Absorptionsklasse und den anzunehmenden Inkorporationsfaktor. Unmittelbar aufeinander folgende, einfache Arbeitsprozesse, die sich nur durch die Inkorporationsfaktoren unterscheiden, können als ein komplexer Arbeitsprozess angesehen werden, für den für a_i einheitlich der höchste Einzelwert für komplexe Arbeitsprozesse zu verwenden ist. Bei der Abschätzung sind alle Arbeitsprozesse zu berücksichtigen, die bei der betrachteten Person zu einer Inkorporation führen können, auch wenn die Person die Arbeitsprozesse nicht selbst ausführt.

Die Aktivität $A_i^{(\text{g})}$ für einen Arbeitsprozess ist durch Addition aller im Kalenderjahr für jede einzelne Ausführung des Arbeitsprozesses zu berücksichtigenden Aktivitäten zu berechnen und ergibt sich in der Regel als Produkt der Häufigkeit der Ausführungen des Arbeitsprozesses im Kalenderjahr und der dabei im Mittel gehandhabten Aktivität. Unter Umständen sind auch andere Verfahren zur Bestimmung von $A_i^{(\text{g})}$ gleichermaßen geeignet, zum Beispiel die Division der in einem Kalenderjahr im Betrieb verarbeiteten Aktivität durch die Anzahl der tätigen Personen. Es ist jedoch erforderlich, die Aktivität

⁶ Die Definition der *potenziellen effektiven Dosis* E_{pot} ist angelehnt an die Berechnung der Entscheidungsfaktoren d_i und D aus DIN EN ISO 16637 [DIN 20].

⁷ Bei der Verwendung von tritiiertem Wasser ist die gleichzeitige *Zufuhr* über die Haut zu berücksichtigen; in diesem Fall ist $A_{\text{H-3}}^{(\text{g})}$ mit einem Faktor 1,5 zu multiplizieren (ICRP-Veröffentlichung 134 [ICRP 16b]).

$A_i^{(g)}$ für jede Person separat zu berechnen, wenn sie sich von Person zu Person unterscheidet.

Für die erstmalige Feststellung des Erfordernisses oder bei Fehlen belastbarer Angaben ist der Inkorporationsfaktor a_i abzuschätzen nach Gleichung 3.2:⁸

$$a_i = f_{fs} \cdot f_{hs} \cdot f_{ps} \quad 3.2$$

mit den Bezeichnungen:

f_{fs} Faktor Freisetzung, abhängig von der Größenordnung der Menge des gehandhabten radioaktiven Stoffs (Volumen bei Flüssigkeiten und Gasen und Masse bei festen Stoffen);

f_{hs} Faktor Handhabungssicherheit, abhängig von der Handhabung des radioaktiven Stoffs und der Betrachtung einzelner einfacher oder zusammengefasster komplexer Arbeitsprozesse;

f_{ps} Faktor Sicherheit durch protektive Maßnahmen.

Für die erstmalige Feststellung des Erfordernisses oder bei Fehlen belastbarer Angaben sind für die Faktoren f_{fs} , f_{hs} und f_{ps} die Erfahrungswerte der Tabelle 3.2, Tabelle 3.3 und Tabelle 3.4 zu verwenden. Beispiele für die Feststellung des Erfordernisses enthält der Anhang 1. Anhang 1.2 enthält eine Empfehlung für die Feststellung des Erfordernisses in der Nuklearmedizin mit Faktoren zur Abschätzung des Inkorporationsfaktors, die als zuverlässig und repräsentativ angesehen werden können (Anhang 1.2.1) und ein Beispiel zur Anwendung (Anhang 1.2.2).

Tabelle 3.2: Faktor Freisetzung f_{fs}

Volumen in ml bzw. Masse in g	Faktor f_{fs}
> 100	10^{-6}
1 - 100	10^{-5}
< 1	10^{-4}

Der Faktor f_{fs} fasst den gleichnamigen Faktor aus der Empfehlung IAEA RS-G-1.2 [IAEA 99] sowie aus DIN EN ISO 16637 [DIN 20] und den zusätzlichen Faktor f_{intake} aus DIN EN ISO 16637 zusammen. Er berücksichtigt insbesondere, dass bei größeren Mengen, auf die sich eine Aktivität verteilt, der unbemerkt freisetzbare Anteil kleiner ist.

Der Faktor f_{fs} (physical form safety factor) aus der Empfehlung IAEA RS-G-1.2 [IAEA 99] beschreibt den Einfluss der physikalischen und chemischen Eigenschaften auf den Anteil der unbemerkt freisetzbaren Aktivität. Ein Wert von 0,01 stellt dort eine für alle Stoffe

⁸ Die Berechnung des Inkorporationsfaktors a_i mit den Faktoren f_{fs} , f_{hs} und f_{ps} ist angelehnt an DIN EN ISO 16637 [DIN 20].

konservative Abschätzung dar. Der Faktor f_{intake} beschreibt den Anteil der freigesetzten Aktivität, die durch Aerosolbildung oder Verdunstung inhaliert werden kann.

Tabelle 3.3: Faktor Handhabungssicherheit f_{hs}

Handhabung	Faktor f_{hs}
innerbetrieblicher Transport, Auspacken, Einlagern, Verpacken, Verladen ⁹	0,01
einfacher Arbeitsprozess ohne erhöhtes Freisetzungsrisiko	0,1
einfacher Arbeitsprozess mit erhöhtem Freisetzungsrisiko oder komplexer Arbeitsprozess ohne erhöhtes Freisetzungsrisiko	1
komplexer Arbeitsprozess mit erhöhtem Freisetzungsrisiko	10
Handhabung flüchtiger oder staubender Substanzen	100

Tabelle 3.3 ist angelehnt an Tabelle A.1 aus DIN EN ISO 16637 [DIN 20]. Von einer einfachen Handhabung ist dann auszugehen, wenn der Arbeitsprozess aus wenigen standardisierten Arbeitsschritten besteht, die von der handhabenden Person aufgrund ihrer Erfahrung und der Einfachheit der Durchführung in kurzer Zeit ohne Schwierigkeiten durchführbar sind. Für langandauernde Arbeitsprozesse, bei denen die Aktivität in zahlreichen Arbeitsschritten wiederholt gehandhabt wird, kann der Anstieg des Inkorporationsrisikos mit der Dauer des Umgangs durch die Berücksichtigung einer entsprechenden Anzahl einfacher Arbeitsprozesse oder durch die Zusammenfassung der Handhabung in einen oder wenige komplexe Arbeitsprozesse abgebildet werden.

Tabelle 3.4: Faktor Sicherheit durch protektive Maßnahmen f_{ps}

protektive Maßnahme	Faktor f_{ps}
Handhabung ohne Schutzmaßnahme	1
Handhabung unter Absaugvorrichtung, Abzug	0,1
Der radioaktive Stoff verbleibt in geschlossenem Behälter (dichtes Gefäß, Handschuhkasten)	0,01

Tabelle 3.4 ist angelehnt an Tabelle A.2 aus DIN EN ISO 16637 [DIN 20]. Der Schutzfaktor f_{ps} darf mit einem Faktor 0,5 multipliziert werden, wenn die Handhabung in einem Raum von mindestens 25 m³/h Volumenabluftstrom pro m² Nutzfläche erfolgt. Durch die Verwendung von persönlicher Schutzausrüstung (z. B. FFP2- oder FFP3-Maske, Vollmaske mit Partikel- oder Kombinationsfilter) kann das Inkorporationsrisiko

⁹ Diese Prozesse sind nur dann zu berücksichtigen, wenn die Aktivität dabei nicht von einem dichten Behältnis umschlossen ist, dessen Oberfläche auf Kontaminationsfreiheit überprüft wurde.

weiter verringert werden, diese Maßnahme findet jedoch bei der Berechnung des Inkorporationsfaktors keine Berücksichtigung.

3.2.2 Abschätzung der potenziellen effektiven Dosis aus Überwachungsdaten der Raumlufte

Die prognostische Abschätzung der *potenziellen effektiven Dosis* im Kalenderjahr aus vorliegenden Überwachungsdaten der Raumlufte erfolgt nach Gleichung 3.3:

$$E_{\text{pot}} = \sum_j A_j^{(i)} \cdot e_j \quad 3.3$$

mit den Bezeichnungen:

E_{pot} potenzielle effektive Dosis durch *innere Exposition* im Kalenderjahr in Sv;

j Index der einzelnen Radionuklide;

$A_j^{(i)}$ die für das j -te Radionuklid über das Kalenderjahr zu berücksichtigende, aus vorliegenden *Raumlufte*messungen bestimmte, *inkorporierbare Aktivität* in Bq;¹⁰

e_j *Dosiskoeffizient* für die effektive Dosis durch Inhalation in Sv/Bq (abhängig vom j -ten Radionuklid und der *Absorptionsklasse*).

Mit repräsentativen Werten der *Aktivitätskonzentration* C_j der luftgetragenen Radioaktivität für die Atemluft der Person gilt für die über das Kalenderjahr zu berücksichtigende Aktivität $A_j^{(i)}$ des j -ten Radionuklids die Gleichung 3.4:

$$A_j^{(i)} = C_j \cdot B \cdot T_{\text{Jahr}} \quad 3.4$$

mit den Bezeichnungen:

C_j für den Arbeitsplatz repräsentative über das Jahr gemittelte Aktivitätskonzentration des j -ten Radionuklids in der Raumlufte in Bq/m³;

B Atemrate in m³/h (Standardwert: 1,2 m³/h);¹¹

T_{Jahr} jährliche Aufenthaltsdauer in h (Standardwert: 2000 h bei Daueraufenthalt).¹²

Beispiele für die Feststellung des Erfordernisses aus Überwachungsdaten der Raumlufte enthält Anhang 1.3.

¹⁰ Bei der Verwendung von tritiiertem Wasser ist die gleichzeitige *Zufuhr* über die Haut zu berücksichtigen; in diesem Fall ist $A_{H-3}^{(i)}$ mit einem Faktor 1,5 zu multiplizieren (ICRP-Veröffentlichung 134 [ICRP 16b]).

¹¹ Atemrate für einen Standardarbeiter gemäß ICRP-Veröffentlichung 130 [ICRP 15].

¹² Bei Kenntnis von individuellen Werten der jährlichen Aufenthaltsdauer sind diese bevorzugt zu berücksichtigen.

3.3 Überwachungsverfahren und Überwachungsprogramme

Der Strahlenschutzverantwortliche hat dafür zu sorgen, dass die erforderlichen Messungen zur Ermittlung der Körperdosis erfolgen (§ 64 Absatz 1 und 2 StrlSchV). Zusätzlich kann auch die zuständige Behörde Messungen bei Personen anordnen, bei denen im Zuge ihrer Tätigkeit die Möglichkeit einer *Inkorporation* bestanden hat (§ 64 Absatz 4 StrlSchV). Zur Ermittlung der *Körperdosis* durch Inkorporationsmessungen kann die zuständige Behörde aufgrund der *Expositionsbedingungen* gemäß § 65 Absatz 1 Satz 2 StrlSchV unter anderem bestimmen, dass die Konzentration radioaktiver Stoffe in der Luft (*Raumluftmessung*), die *Körperaktivität* oder die *Aktivität in den Ausscheidungen* gemessen wird. An dieses *Überwachungsverfahren* angepasst und in Abhängigkeit von den *Expositionsbedingungen* wird vom Strahlenschutzverantwortlichen das *Überwachungsprogramm* festgelegt.

Eine Übersicht zu den *personenbezogenen Überwachungsverfahren* mit den jeweiligen *Überwachungsprogrammen* und den dosisabhängigen *Dosisberechnungsverfahren* ist in Abbildung 3.1 dargestellt.

Die zuständige Behörde kann zur Durchführung der personenbezogenen *Inkorporationsüberwachung* (s. Kapitel 3.3.1 und 3.3.2) oder der *Schwellenwertmessungen* (s. Kapitel 3.3.3) in der Praxis bewährte Konzepte, die von den Regelungen dieser Richtlinie abweichen und einen gleichwertigen Schutz der zu überwachenden Personen gewährleisten, zulassen. Beispiele für *Überwachungsprogramme* der *Inkorporationsüberwachung* sind in Anhang 2 aufgeführt.

3.3.1 Personenbezogene Überwachungsprogramme in der Inkorporationsüberwachung in behördlich bestimmten Messstellen

Die personenbezogene *Inkorporationsüberwachung* in *behördlich bestimmten Messstellen* wird anlassbezogen unterschieden in folgende *Überwachungsprogramme* (s. a. Abbildung 3.1):

- *regelmäßige Überwachung*,
- *aufgabenbezogene Überwachung*,
- *Überwachung aus besonderem Anlass*.

Die *Körperdosis* ist im Allgemeinen nach den Vorgaben der regelmäßigen Überwachung hinsichtlich *Überwachungsverfahren* (Anhang 6 Spalte 4), *Messverfahren* (Anhang 6 Spalte 5), *Überwachungsintervall* (Gleichungen 3.5 und 3.6, Anhang 6 Spalten 8, 11 und 13) und Dosisberechnung (Kapitel 7.1) zu ermitteln.

Darüber hinaus wird eine aufgabenbezogene Überwachung (z. B. bei Tätigkeiten mit zeitlich befristetem Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen oder bei einem bekannten potenziellen Zufuhrzeitpunkt) oder eine Überwachung aus besonderem Anlass (z. B. bei der Möglichkeit einer Inkorporation bei einem *Vorkommnis* nach § 1 Absatz 22 StrlSchV oder bei einer überprüfenden Messung nach einer Überschreitung der *Erfordernisschwelle* bei *Schwellenwertmessungen*) durchgeführt.

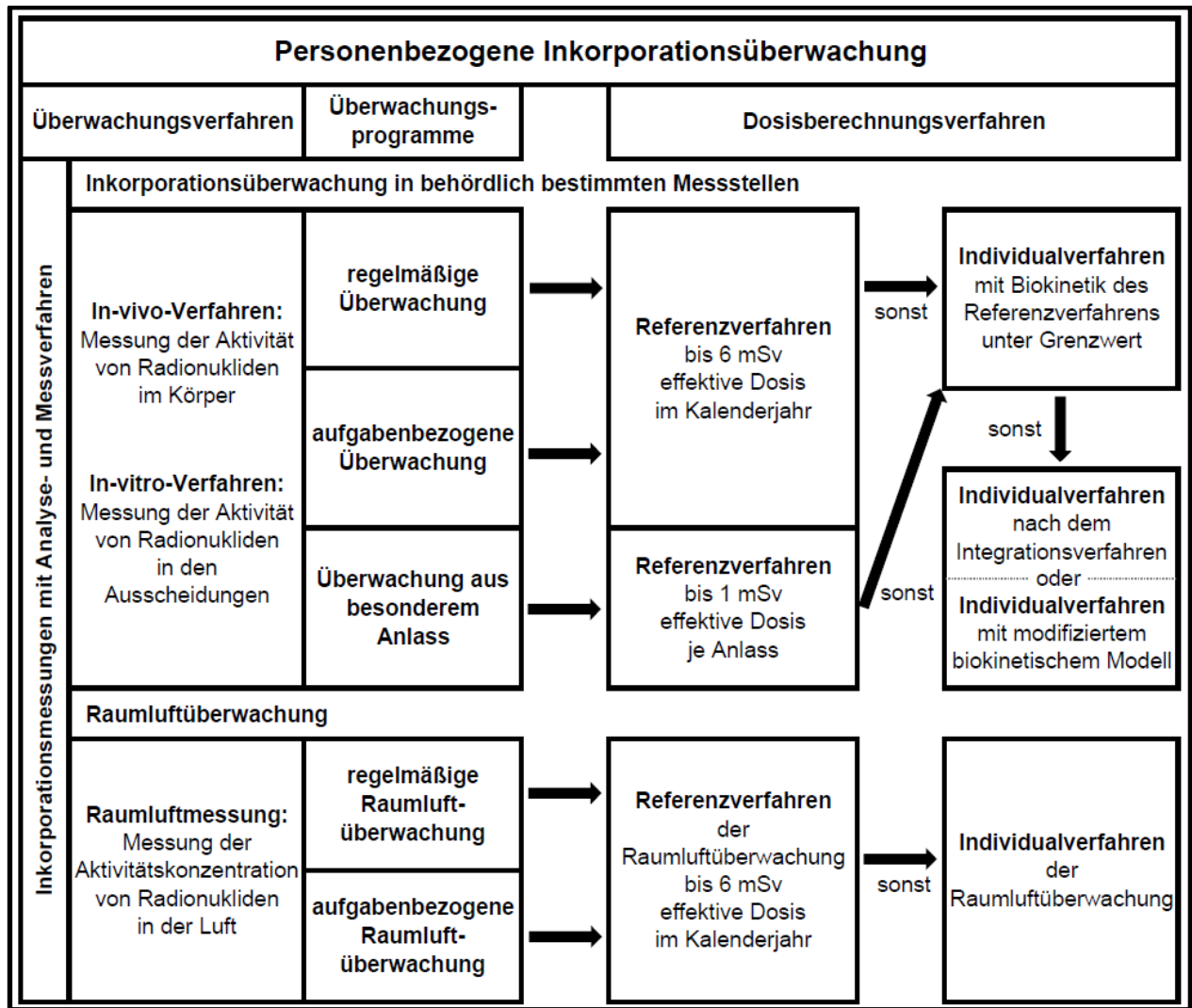


Abbildung 3.1: Übersicht über die Überwachungsverfahren, -programme und Dosisberechnungsverfahren der personenbezogenen Inkorporationsüberwachung¹³

¹³ Die Einteilung in die einzelnen Überwachungsprogramme ist angelehnt an DIN EN ISO 20553 [DIN 25].

3.3.2 Personenbezogene Inkorporationsüberwachung mittels Raumluftüberwachung

In Strahlenschutzbereichen, in denen nicht zu erwarten ist, dass die *effektive Dosis beruflich exponierter Personen* durch *innere Exposition* den Wert von 6 mSv (*Nachforschungsschwelle*) im Kalenderjahr überschreitet, ist die *Raumluftmessung* ein geeignetes *Überwachungsverfahren* der personenbezogenen *Inkorporationsüberwachung*. Dabei werden als *Überwachungsprogramme* eine *regelmäßige Raumluftüberwachung* und eine *aufgabenbezogene Raumluftüberwachung* unterschieden (s. a. Abbildung 3.1).

Bei Anwendung von personengetragenen Aerosolsammlern oder von mobilen Aerosolsammlern, deren Lufteinlass sich in der Atemzone der zu überwachenden Person befindet, gilt dies auch bei Werten oberhalb der *Nachforschungsschwelle*. Voraussetzung für die Anwendung der Raumluftüberwachung ist die Repräsentativität der Messwerte und die Verwendung von Messeinrichtungen, die für den Messzweck geeignet sind (§ 90 Absatz 1 StrlSchV). Die gesamte Messkette (ggf. einschließlich Auswertung im Labor) zur Bestimmung der *Aktivitätskonzentration* in der Raumluft muss wiederkehrenden Prüfungen gemäß Anhang 3 unterliegen.

Das eingesetzte Überwachungsprogramm ist vom Strahlenschutzverantwortlichen festzulegen und mit der zuständigen Behörde abzustimmen. Eine kontinuierliche Raumluftmessung ist vor allem bei kurzlebigen Radionukliden zweckmäßig, für die kein gemäß Kapitel 3.5 berechnetes Überwachungsintervall für Messungen der Aktivität im Ganzkörper, in Körperbereichen oder in den Ausscheidungen zutrifft. Sie kann außerdem zweckmäßig sein, wenn in Messungen der Aktivität im Ganzkörper, in Körperbereichen oder in den Ausscheidungen keine ausreichende Nachweisgrenze erreicht wird.

Die *Körperdosis* ist aus den Ergebnissen der Raumluftüberwachung gemäß Kapitel 7.2 unter Einhaltung festgelegter Auswerteintervalle zu ermitteln und individuell zuzuordnen. Zur Überprüfung der Repräsentativität sind Personen, die durch Raumluftmessungen überwacht werden, mindestens einmal jährlich begleitenden Messungen mit *In-vivo-* oder *In-vitro-Verfahren* in einer *behördlich bestimmten Messstelle* zu unterziehen (vgl. Tabelle 3.1). Diese verifizierenden Messungen sind gleichmäßig über das Kalenderjahr zu verteilen.

Durch die verifizierenden Körperaktivitäts- oder Ausscheidungsmessungen wird überprüft, ob die *Körperdosen* aus der Raumluftüberwachung durch die aus den verifizierenden Messungen berechneten Dosen bestätigt werden können. Die Verifizierung erfolgt in Abstimmung des Strahlenschutzverantwortlichen mit der zuständigen Behörde. Ergeben sich Hinweise auf eine systematische Diskrepanz zwischen den Ergebnissen der Raumluftüberwachung und denen der verifizierenden Messungen, ist das Verfahren der Dosisermittlung durch Raumluftüberwachung zu überprüfen und ggf. zu verbessern. Eine personenbezogene Inkorporationsüberwachung mittels Raumluftüberwachung ist oberhalb der *Erfordernisschwelle* nur zulässig, wenn aus ihren Messergebnissen personenbezogene Körperdosen zuverlässig berechnet werden können; dafür ist regelmäßig insbesondere eine Kenntnis des Zeitverlaufs der Aktivitätskonzentration in der Raumluft erforderlich.

3.3.3 Schwellenwertmessungen

Bei Werten der *potenziellen Dosis* durch innere Exposition zwischen 0,5 mSv und der *Erfordernisschwelle* ist es ausreichend, mittels *Schwellenwertmessungen* den Nachweis zu liefern, dass die Erfordernisschwelle für eine regelmäßige Inkorporation nicht überschritten wird. Die Schwellenwertmessungen können durch nicht-personenbezogene Messungen wie z. B. durch Bestimmung der Raumlufaktivität (z. B. mit Raumluftmonitoren) oder auch durch personenbezogene Messungen mit Geräten wie solchen zur Anzeige der *Körperaktivität* (z. B. Ausgangsmonitore oder Ganzkörperzähler) oder einer Kontamination besonders betroffener Körperteile (z. B. Hand-Fuß-Kontaminationsmonitore) realisiert werden (s. Tabelle 3.1).

Im Gegensatz zu der *personenbezogenen Inkorporationsüberwachung* mittels *Raumlufüberwachung* nach Kapitel 3.3.2 unterliegt die Bestimmung der Raumlufaktivität bei Schwellenwertmessungen nicht den wiederkehrenden Prüfungen gemäß Anhang 3. Stattdessen legt der Strahlenschutzverantwortliche einen vereinfachten Prüfplan zur Sicherstellung der Funktionsfähigkeit des Messsystems fest und sorgt für seine Umsetzung.

Schwellenwertmessungen dienen auch einer zeitnahen Feststellung von *Inkorporationen* (*Indikatormessung*) und sie können auch durchgeführt werden, wenn die *Überwachungsintervalle* der *In-vitro-* und *In-vivo-Verfahren* bei einer regelmäßigen Überwachung weniger als sieben Tage betragen (vgl. Anhang 6 Spalten 8, 11 und 13), um gegebenenfalls eine personenbezogene Inkorporationsüberwachung zu veranlassen.

Aus Schwellenwertmessungen sind keine personengebundenen Werte der *Körperdosis* abzuleiten. Dies gilt insbesondere auch für personenbezogene Messungen, sofern sie nicht den Anforderungen, die an eine *Inkorporationsüberwachung* in *behördlich bestimmten Messstellen* gestellt werden, genügen.

Zur Schwellenwertmessung dürfen auch Messgeräte verwendet werden, die die Überschreitung der Alarmschwelle lediglich optisch oder akustisch anzeigen. Die Alarmschwelle ist dabei so niedrig einzustellen, dass die Erfordernisschwelle für eine personenbezogene Dosisermittlung für alle Personen sicher unterschritten wird.

Kann aufgrund der Ergebnisse der Schwellenwertmessungen und evtl. ergänzenden weiteren quantitativen Messungen zur Abklärung des Sachverhaltes eine Überschreitung der Erfordernisschwelle nicht ausgeschlossen werden (s. Kapitel 3.1), sind mit der behördlich bestimmten Messstelle bereits vorab abgesprochene Maßnahmen (z. B. unmittelbare Veranlassung einer *Überwachung aus besonderem Anlass* in einer behördlich bestimmten Messstelle) einzuleiten.

3.4 Auswahl des Überwachungsverfahrens

Zur personenbezogenen Ermittlung der *Körperdosis* ist die *Aktivität* der Radionuklide

- im Ganzkörper oder in Körperbereichen (z. B. Lunge, Schilddrüse, Skelett) mit Ganz- und Teilkörperzählern (Überwachung mit *In-vivo-Verfahren*),
- in den Ausscheidungen (Urin, Stuhl; Überwachung mit *In-vitro-Verfahren*) oder
- in der Raumluft am Arbeitsplatz (*Raumluftmessung* zur *Raumluftüberwachung*)

allein oder in Kombination zu bestimmen und anschließend dosimetrisch zu bewerten.

Ein *Überwachungsverfahren* der *Inkorporationsüberwachung* muss gewährleisten, dass eine *Exposition* von mindestens 1 mSv *effektiver Dosis* im Kalenderjahr (bei *regelmäßiger* und *aufgabenbezogener Überwachung*) bzw. einmalig (bei *Überwachung aus besonderem Anlass*) nachgewiesen werden kann.

Eine Kombination sich ergänzender *Überwachungsverfahren* kann insbesondere bei Radionukliden mit kurzer effektiver Halbwertszeit im Organismus und bei Radionukliden erforderlich sein, für die die *Nachweisgrenzen* einzelner *Analysen-* bzw. *Messverfahren* zu hoch sind, um eine Strahlenexposition in Höhe der geforderten nachzuweisenden Aktivität ermitteln zu können. Für die Messung der *Aktivitätskonzentration* von Actinoiden in der Raumluft kommen in der Regel ergänzende *Ausscheidungsmessungen* in Betracht, um Hinweise auf eventuelle Aktivitätsdepots im Organismus zu erhalten.

Für eine regelmäßige Überwachung sind die der im Fettdruck angegebenen *Absorptionsklasse* bzw. chemischer Form zugeordneten *Überwachungsverfahren* und *Messverfahren* (s. Anhang 6 Spalten 4 und 5) einzusetzen. Abweichungen sind möglich, wenn konkrete Kenntnisse über die vorliegende Absorptionsklasse oder den wahrscheinlichen Zufuhrpfad vorliegen. Sind mehrere Überwachungsverfahren angegeben, soll eine Priorisierung der Überwachungsverfahren gemäß ICRP-Veröffentlichung 130 Absatz 227 [ICRP 15] vorgenommen werden. Dort wird empfohlen, dass Messungen der Körperaktivität vorrangig zu Messungen der Ausscheidungen und diese vorrangig zu Raumluftmessungen aufgrund der Genauigkeit der Interpretation der Messergebnisse anzuwenden sind.

Tragen zum *Inkorporationsrisiko* einer Person mehrere Radionuklide bei, deren Umgang unabhängig voneinander erfolgt, müssen mit den anzuwendenden Überwachungsverfahren die Expositionsanteile dieser Radionuklide erfasst werden können. Radionuklide, die insgesamt zu weniger als 10 Prozent zur gesamten potenziellen Dosis beitragen, können von der Überwachung ausgenommen werden.

Bei Überwachung auf Radionuklidgemische kann anstelle der selektiven Bestimmung der zur inneren Exposition beitragenden Radionuklide die Überwachung auf ein gut messbares *Leitnuklid* beschränkt werden, wenn das Verhältnis der Aktivitäten der beteiligten Nuklide des gehandhabten radioaktiven Stoffs bekannt ist (s. a. Kapitel 7.1.3.2). Die Kenntnis der relativen Verhältnisse der Aktivität oder *Aktivitätskonzentration* im Radionuklidgemisch ist durch begleitende Untersuchungen, auch durch *Inkorporationsmessungen*, zu sichern.

3.5 Überwachungsintervalle

Beim überwachungspflichtigen Umgang mit einem radioaktiven Stoff ist das festzulegende *Überwachungsintervall* so zu begrenzen, dass durch alle Messungen eines Verfahrens einer *regelmäßigen Überwachung* zusammen eine *effektive Dosis* von 1 mSv im Kalenderjahr nachgewiesen werden kann. Die zuständige Behörde kann die in einem Verfahren nachzuweisende Dosis absenken, wenn eine Person einer regelmäßigen Überwachung mit mehreren *Überwachungsverfahren* unterliegt. Außerdem muss die Wahl des Überwachungsintervalls gewährleisten, dass eine zu Beginn eines Überwachungszeitraumes einmalig *zugeführte Aktivität* um nicht mehr als einen Faktor drei unterschätzt wird, wenn bei der Dosisberechnung eine Zufuhr zur Mitte des Überwachungszeitraumes zugrunde gelegt wird. Diese Kriterien werden durch die Gleichungen 3.5 und 3.6 ausgedrückt:¹⁴

$$\frac{e}{m(\Delta T)} \cdot NWG \cdot n \leq 1 \text{ mSv} \quad 3.5$$

und

$$\frac{m(\Delta T/2)}{m(\Delta T)} \leq 3 \quad 3.6$$

mit den Bezeichnungen:

- e Dosiskoeffizient für die effektive Dosis durch Inhalation in Sv/Bq;
- $m(t)$ Retention im Ganz- oder Teilkörper in Bq/Bq oder Ausscheidungsrate in (Bq/d)/Bq t Tage nach einer einmaligen Inkorporation mit $t=\Delta T$ bzw. $t=\Delta T/2$;
- NWG Nachweisgrenze des eingesetzten Messverfahrens in Bq oder Bq/d;
- n Anzahl der Überwachungsintervalle in einem Kalenderjahr (entspricht $365 \text{ d}/\Delta T$);
- ΔT Dauer des Überwachungsintervalls in Tagen.

In der regelmäßigen Überwachung angewendete Überwachungsintervalle sind in Tabelle 3.5 aufgelistet. Sie dürfen bei einer regelmäßigen Überwachung höchstens innerhalb der in Tabelle 3.5 festgelegten Toleranzen variieren. Für die meisten Radionuklide und dazugehörige *Absorptionsklassen* sind die gemäß Gleichungen 3.5 und 3.6 berechneten Überwachungsintervalle im Anhang 6 Spalte 8 angegeben; dabei sind die dort ebenfalls angegebenen typischen Nachweisgrenzen zugrunde gelegt.

Für ein Radionuklid und/oder eine Absorptionsklasse bzw. chemische Form, die nicht in Anhang 6 tabelliert sind, oder wenn die Nachweisgrenze des eingesetzten Messverfahrens nicht den in Anhang 6 Spalte 7 angegebenen Werten der typischen Nachweisgrenze entspricht, kann das entsprechende Überwachungsintervall unter Verwendung der Gleichungen 3.5 und 3.6 festgelegt werden. Die Wahl des

¹⁴ Gleichungen 3.5 und 3.6 sind angelehnt an DIN EN ISO 20553 [DIN 25].

Überwachungsintervalls soll sich auf die in Tabelle 3.5 enthaltenen Werte beschränken. Der größte tabellierte Wert, der die Bedingungen erfüllt, ist als Überwachungsintervall geeignet. Eine häufigere Überwachung ist in jedem Fall zulässig, auch wenn das tatsächliche Überwachungsintervall die Anforderungen der Gleichungen 3.5 und 3.6 nicht erfüllt.

Sind die zusammenhängenden Zeiträume mit einem Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen kleiner als das Überwachungsintervall, werden Überwachungsmessungen zu Beginn und Ende des Umgangs durchgeführt (*aufgabenbezogene Überwachung*). Wird bei einer regelmäßigen Überwachung vom vorgegebenen Überwachungsintervall inklusive der in Tabelle 3.5 angegebenen Toleranzen abgewichen, ist eine Dosisberechnung nach einem *Individualverfahren* vorzunehmen. Davon kann optional bei einer Unterschreitung abgesehen werden und dann im *Referenzverfahren* auch wie bei einer aufgabenbezogenen Überwachung vorgegangen werden.

Tabelle 3.5: Überwachungsintervalle und zulässige Toleranzen

Überwachungsintervall in Tagen	Toleranz in Tagen
7	±1
14	±2
30	±4
60	±7
90	±14
120	±21
180	±30

Bei Messungen der *Aktivitätskonzentration* in der Raumluft stellt das Überwachungsintervall den Zeitraum dar, in dem Personen einer Aktivitätskonzentration ausgesetzt waren. Die inhalierbare Aktivität ist aus dem Mittelwert der gemessenen Aktivitätskonzentrationen in der Raumluft im Überwachungsintervall zu bestimmen.

3.6 Besondere Anforderungen für den Strahlenschutz gebärfähiger Personen

Für gebärfähige Personen gilt gemäß § 78 Absatz 4 Satz 1 StrlSchG zusätzlich ein Grenzwert der *Organ-Äquivalentdosis der Gebärmutter* von 2 mSv im Monat. Die Überwachung dieses Grenzwertes erfordert besondere Maßnahmen sowohl bei der Feststellung des Erfordernisses zur Ermittlung der personenbezogenen *Körperdosis* als auch bei der Durchführung der *Inkorporationsüberwachung*.

Die Feststellung des Erfordernisses zur Ermittlung der personenbezogenen Körperdosis ist bei gebärfähigen Personen zusätzlich zum Verfahren gemäß Kapitel 3.2 nach einem Verfahren, das auf die Überwachung des Grenzwerts der Organ-Äquivalentdosis der Gebärmutter angepasst ist, durchzuführen. Für gebärfähige Personen ist eine Inkorporationsüberwachung erforderlich, wenn die monatliche *potenzielle Organ-Äquivalentdosis der Gebärmutter* $H_{\text{Gebärmutter, pot}}$ die dafür geltende *Erfordernisschwelle* von 0,5 mSv aufgrund einer *inneren Exposition* durch inkorporierte radioaktive Stoffe überschreitet. Dabei sind im Unterschied zum Verfahren gemäß Kapitel 3.2 folgende Gleichungen anzuwenden:

anstatt Gleichung 3.1:
$$H_{\text{Gebärmutter, pot}} = \sum_i a_i \cdot A_{i, \text{Monat}}^{(g)} \cdot h_{\text{Gebärmutter, } i} \quad 3.7$$

anstatt Gleichung 3.3:
$$H_{\text{Gebärmutter, pot}} = \sum_j A_{j, \text{Monat}}^{(i)} \cdot h_{\text{Gebärmutter, } j} \quad 3.8$$

anstatt Gleichung 3.4:
$$A_{j, \text{Monat}}^{(i)} = C_{j, \text{Monat}} \cdot B \cdot T_{\text{Monat}} \quad 3.9$$

mit den Bezeichnungen (soweit von den Bezeichnungen in den Gleichungen 3.1, 3.3 und 3.4 abweichend):

$H_{\text{Gebärmutter, pot}}$	potenzielle Organ-Äquivalentdosis der Gebärmutter durch innere Exposition im Monat in Sv;
$A_{i, \text{Monat}}^{(g)}$	die für den i -ten Arbeitsprozess für ein bestimmtes Radionuklid über den Monat zu berücksichtigende <i>gehandhabte Aktivität</i> in Bq; ¹⁵
$h_{\text{Gebärmutter, } i}$	<i>Dosiskoeffizient</i> für die Organ-Äquivalentdosis der Gebärmutter durch Inhalation in Sv/Bq (abhängig von dem im i -ten Arbeitsprozess verwendeten Radionuklid und der Absorptionsklasse);
$A_{j, \text{Monat}}^{(i)}$	die für das j -te Radionuklid über den Monat zu berücksichtigende, aus früheren <i>Raumluftmessungen</i> bestimmte <i>inkorporierbare Aktivität</i> in Bq; ¹⁵
$h_{\text{Gebärmutter, } j}$	<i>Dosiskoeffizient</i> für die Organ-Äquivalentdosis der Gebärmutter durch Inhalation in Sv/Bq (abhängig vom j -ten Radionuklid und der <i>Absorptionsklasse</i>);
$C_{j, \text{Monat}}$	für den Arbeitsplatz repräsentative über den Monat gemittelte <i>Aktivitätskonzentration</i> des j -ten Radionuklids in der Raumluft in Bq/m ³ ;
T_{Monat}	monatliche Aufenthaltsdauer in h (Standardwert: 200 h bei Daueraufenthalt). ¹⁶

¹⁵ Bei der Verwendung von tritiiertem Wasser ist die gleichzeitige *Zufuhr* über die Haut zu berücksichtigen; in diesem Fall ist $A_{\text{H-3, Monat}}^{(g)}$ mit einem Faktor 1,5 zu multiplizieren (ICRP-Veröffentlichung 134 [ICRP 16b]).

¹⁶ Bei Kenntnis von individuellen Werten der monatlichen Aufenthaltsdauer sind diese bevorzugt zu berücksichtigen.

Wenn eine Ermittlung der *effektiven Dosis* gemäß Kapitel 3.2 nicht erforderlich ist, kann die zusätzliche Feststellung nur dann ein Erfordernis zur Ermittlung der Organ-Äquivalentdosis der Gebärmutter ergeben, wenn ein Umgang in Bezug auf die gehandhabte Aktivität oder die anzuwendenden *Inkorporationsfaktoren* nicht gleichmäßig über das Kalenderjahr verteilt ist, d. h. wenn in einzelnen Monaten ein überdurchschnittlich großes *Inkorporationsrisiko* besteht. Dagegen kann ein über ein Kalenderjahr gleichmäßig verteilter Umgang nicht zu einem Erfordernis zur Ermittlung der *personenbezogenen Körperdosis* aufgrund der Organ-Äquivalentdosis der Gebärmutter führen, wenn ein solches Erfordernis nicht auch bereits aufgrund der effektiven Dosis besteht, weil kein Radionuklid einen ausreichend großen Organ-Dosiskoeffizienten für die Gebärmutter im Verhältnis zum effektiven Dosiskoeffizienten besitzt.

Für gebärfähige Personen ist unabhängig vom Ergebnis der zusätzlichen Feststellung im Fall einer *regelmäßigen Überwachung*, einer *aufgabenbezogenen Überwachung* oder einer *Überwachung aus besonderem Anlass* von der für die Dosisberechnung zuständigen Stelle zusätzlich zu jeder Dosisfeststellung der effektiven Dosis die Organ-Äquivalentdosis der Gebärmutter zu berechnen und von der für die Dosismeldung an das *Strahlenschutzregister* zuständigen Person oder Einrichtung als *Organdosis* zu melden.

Ergibt die zusätzliche Feststellung ein Erfordernis zur Ermittlung der personenbezogenen Körperdosis, hat eine regelmäßige Überwachung mit einem *Überwachungsintervall* bzw. im Fall von *Raumluftüberwachung* mit einem Auswerteintervall von längstens 30 Tagen zu erfolgen; es gilt Kapitel 3.5.

Die Berechnung der Organ-Äquivalentdosis $H_{\text{Gebärmutter}}$ erfolgt analog dem in Kapitel 7 beschriebenen Vorgehen und den dortigen Gleichungen unter Anwendung der *Dosiskoeffizienten* für die Organ-Äquivalentdosis der Gebärmutter $h_{\text{Gebärmutter}}$ (s. Anhang 7.3). Das *Abschneidekriterium* nach Kapitel 4.3.5 gilt auch für die Organ-Äquivalentdosiswerte der Gebärmutter. Die *Nachforschungsschwelle* für die Organ-Äquivalentdosis der Gebärmutter bei gebärfähigen Personen beträgt 0,6 mSv im Monat.

Bei der Bewertung von Ergebnissen aus Messungen mit längeren Überwachungs- oder Auswerteintervallen, insbesondere im Fall einer negativen Feststellung des zusätzlichen Erfordernisses zur Ermittlung der personenbezogenen Organ-Äquivalentdosis der Gebärmutter, ist zu beachten, dass Dosisfeststellungen aus mehrmonatigen Zufuhren stammen können. Feststellungen von mehr als 2 mSv weisen deshalb nicht unbedingt auf eine Überschreitung des Grenzwerts der Organ-Äquivalentdosis der Gebärmutter hin. Es obliegt dem Strahlenschutzverantwortlichen zu prüfen, ob Zufuhren aus mehreren Monaten zu der Dosisfeststellung geführt haben können.

Bei einer Überschreitung des Grenzwerts der Organ-Äquivalentdosis der Gebärmutter ist auf die Auswertung aller Messungen innerhalb eines Monats vor und nach der Messung, bei der die Überschreitung festgestellt wurde, das *Individualverfahren* gemäß Kapitel 4.3.4 wie bei einer Überschreitung des Grenzwerts der effektiven Dosis anzuwenden.

3.7 Besondere Anforderungen für den Strahlenschutz ungeborener Kinder

Für ein ungeborenes Kind, das auf Grund der Beschäftigung der schwangeren Person einer Exposition ausgesetzt ist, beträgt der Grenzwert der *effektiven Dosis* gemäß § 78 Absatz 4 Satz 2 StrlSchG vom Zeitpunkt der Mitteilung über die Schwangerschaft bis zu deren Ende 1 mSv. Gemäß § 69 Absatz 1 StrlSchV hat der Strahlenschutzverantwortliche dafür zu sorgen, dass bei einer Person, die ihm eine Schwangerschaft mitgeteilt hat, die Arbeitsbedingungen so gestaltet werden, dass eine *innere berufliche Exposition* ausgeschlossen ist. Jedoch ist bei *Vorkomnissen*, bei denen eine innere Exposition einer schwangeren Person nicht ausgeschlossen werden kann, die Einhaltung des Grenzwerts der effektiven Dosis des ungeborenen Kindes zu prüfen.

Zu diesem Zweck ist die effektive Dosis des ungeborenen Kindes mit den im Bundesanzeiger veröffentlichten *Dosiskoeffizienten* nach Inkorporation von Radionukliden durch die schwangere Person und den dort angegebenen Berechnungsvorschriften (siehe Anlage 18 Teil B Nr. 5 Buchst. b StrlSchV i. V. m. [BUND 22]) aus der für die schwangere Person berechneten *zugeführten Aktivität* abzuschätzen (s. Gleichung 7.4). In dieser Veröffentlichung finden sich Dosiskoeffizienten für eine akute und chronische Zufuhr, mit denen die effektive *Folgedosis* für das ungeborene Kind bis zum Zeitpunkt der Geburt und die bis zu einem Alter von 70 Jahren (dort als Gesamtfolgedosis bezeichnet) berechnet werden können.

Der Grenzwert der effektiven Dosis für ein ungeborenes Kind bezieht sich auf die Gesamtdosis aus äußerer und innerer Exposition, zu der die Gesamtfolgedosis bis zu einem Alter von 70 Jahren aufgrund von Zufuhren vom Zeitpunkt der Mitteilung über die Schwangerschaft bis zu deren Ende beiträgt (§ 78 Absatz 4 Satz 2 StrlSchG, Anlage 18 Teil B Nummer 2 StrlSchV).

Der Strahlenschutzverantwortliche hat der schwangeren Person die effektive Dosis für ihr ungeborenes Kind unverzüglich mitzuteilen (§ 69 Absatz 2 Nummer 2 StrlSchV). Eine Meldung der Dosisfeststellung an das Strahlenschutzregister ist nicht vorgesehen.

Bei einer festgestellten Überschreitung des Grenzwerts der effektiven Dosis des ungeborenen Kindes ist wie bei einer Überschreitung des Grenzwerts der effektiven Dosis gemäß Kapiteln 4.3.4 und 7.3.2 vorzugehen.

4. Durchführung der Überwachung bei geplanten Expositionssituationen

4.1 Inkorporationsmessungen und Datengewinnung

Die Messung der *Körperaktivität* und die Messung der *Aktivität in den Ausscheidungen* sind durch eine nach § 169 Absatz 1 Nummer 2 StrlSchG *behördlich bestimmte Messstelle* vorzunehmen (§ 65 Absatz 4 StrlSchV). In der Regel bestimmt die behördlich bestimmte Messstelle die personenbezogenen Werte der Körperdosis. Im Fall der *Inkorporationsüberwachung* durch Messung der Aktivitätskonzentration radioaktiver Stoffe in der Raumluft obliegt die Ermittlung der *Körperdosis* dem Strahlenschutzverantwortlichen des Betriebes. Der Strahlenschutzverantwortliche hat der *behördlich bestimmten Messstelle* vor der dortigen Durchführung einer Messung alle erforderlichen Informationen nach § 168 Absatz 1 Satz 1 i. V. m. § 170 Absatz 2 Nummer 1 bis 7 StrlSchG für das zurückliegende *Überwachungsintervall* zur Verfügung zu stellen. Auf Anforderung der Messstelle sind vom Strahlenschutzverantwortlichen ergänzende Daten zu den Expositionsbedingungen zu ermitteln und der Messstelle zuzuleiten.

Der Strahlenschutzverantwortliche hat dafür zu sorgen, dass

- bei *regelmäßiger Überwachung* die *Überwachungsintervalle* eingehalten werden (nach Anhang 6 Spalte 4, s. a. Kapitel 3.5),
- die Personen bei *In-vivo-Verfahren* frei von nicht festhaftenden Oberflächenkontaminationen sind (z. B. durch Waschen),
- die Probenahme für die Anwendung von *In-vitro-Verfahren* nach den Vorgaben der Messstelle erfolgt.

4.2 Bewertung der Überwachungsdaten

4.2.1 Grundsätze der Dosisermittlung

Die Ermittlung der *Körperdosis* aus den festgestellten Aktivitätswerten der *Inkorporationsüberwachung* hat entsprechend Kapitel 4.2.2 und Kapitel 4.2.3 zu erfolgen. Die vorgesehenen Verfahren zur Dosisberechnung in Abhängigkeit vom Bereich der im Kalenderjahr erreichten *effektiven Dosis* sind in Tabelle 4.1 dargestellt, die einzelnen Verfahren sowie weitere Kriterien für deren Anwendung werden in Kapitel 7 erklärt. Bei einer *regelmäßigen* oder *aufgabenbezogenen Überwachung* mit *In-vivo-* oder *In-vitro-Verfahren* oder mittels *Raumluftüberwachung* am Arbeitsplatz werden bei Überschreiten der *Nachforschungsschwelle* für die effektive Dosis individuelle Dosisberechnungsverfahren (*Individualverfahren*) gefordert, bei einer *Überwachung aus besonderem Anlass* ab 1 mSv je Anlass (s. Kapitel 4.2.3, 7.3 und 7.4), darunter wird ein vereinfachtes *Referenzverfahren* mit *Referenzparametern* angewendet.

Die *Körperdosis* ist dem Kalenderjahr zuzuordnen, in dem die *Inkorporation* stattgefunden hat. Im Fall einer Überschreitung eines Dosisgrenzwertes ist eine Weiterbeschäftigung nur unter den Voraussetzungen des § 73 Satz 1 StrlSchV zulässig. Sind diese nicht erfüllt, kann die zuständige Behörde nach § 73 Satz 2 StrlSchV im Einzelfall im Benehmen mit einem ermächtigten Arzt eine Ausnahme vom Verbot der Weiterbeschäftigung zulassen.

Für die besonderen Anforderungen an den Strahlenschutz gebärfähiger Personen und ungeborener Kinder gelten abweichend davon die Regelungen der Kapitel 3.6 und 3.7.

Tabelle 4.1: In Abhängigkeit vom Überwachungsprogramm in dem jeweiligen Bereich der effektiven Dosis anzuwendendes Dosisberechnungsverfahren

Überwachungsprogramm mit jeweiligem Überwachungsverfahren	Dosisberechnungsverfahren nach ermittelter effektiver Dosis im Kalenderjahr		
1	2	3	4
Schwellenwertmessungen (nicht personenbezogen) im Betrieb	keine Dosisberechnung , nur Messwertkontrolle ¹⁷ Messwert > Alarmschwelle: • Prüfung auf evtl. Überschreitung der Erfordernisschwelle • bei Überschreitung der Erfordernisschwelle Veranlassung einer personenbezogenen Überwachung aus besonderem Anlass (bei Verdacht auf ein einmaliges Ereignis) oder Entscheidung für eine regelmäßige oder aufgabenbezogene Überwachung (bei Verdacht auf zukünftig wiederkehrende Überschreitungen) in behördlich bestimmter Messstelle		
ermittelte effektive Dosis im Kalenderjahr	$E < 1 \text{ mSv}$	$1 \text{ mSv} \leq E < 6 \text{ mSv}$	$E \geq 6 \text{ mSv}$ (Nachforschungsschwelle) ¹⁸
Regelmäßige und aufgabenbezogene Raumlufüberwachung (personenbezogen): Bestimmung der Raumluftaktivitätskonzentration im Betrieb	Referenzverfahren der Raumlufüberwachung mittels personengetragenem, mobilem oder stationärem Aerosolsammler (Kapitel 7.2)		Individualverfahren der Raumlufüberwachung (Kapitel 7.4) mittels personengetragenem oder mobilem Aerosolsammler unter Verwendung von Zusatzinformationen zu den Expositionsbedingungen
Regelmäßige und aufgabenbezogene Überwachung (personenbezogen): In-vivo-Verfahren/ In-vitro-Verfahren in behördlich bestimmter Messstelle	Referenzverfahren ¹⁹ ggf. unter Verwendung des tatsächlichen Überwachungsintervalls bzw. Zufuhrzeitpunkts (Kapitel 7.1)		Individualverfahren (Kapitel 7.3) (ggf. mit Folgemessungen) • Individualverfahren mit Biokinetik des Referenzverfahrens und Zusatzinformationen zu den Expositionsbedingungen • Individualverfahren nach dem Integrationsverfahren • Individualverfahren mit modifiziertem biokinetischem Modell
ermittelte effektive Dosis je Anlass	$E < 1 \text{ mSv}$	$E \geq 1 \text{ mSv}$	
Überwachung aus besonderem Anlass (personenbezogen) In-vivo-Verfahren/ In-vitro-Verfahren in behördlich bestimmter Messstelle	Referenzverfahren unter Verwendung des tatsächlichen Zufuhrzeitpunkts (Kapitel 7.1)	Individualverfahren (Kapitel 7.3) (ggf. mit Folgemessungen) • Individualverfahren mit Biokinetik des Referenzverfahrens und Zusatzinformationen zu den Expositionsbedingungen • Individualverfahren nach dem Integrationsverfahren • Individualverfahren mit modifiziertem biokinetischem Modell	

¹⁷ Ergibt die Messwertkontrolle eine Überschreitung der *Erfordernisschwelle*, erfolgt die Veranlassung einer personenbezogenen *Überwachung aus besonderem Anlass* in einer behördlich bestimmten Messstelle (s. Kapitel 3.3.3).

¹⁸ Hierbei gehen auch Dosisfeststellungen aus *Überwachungen aus besonderem Anlass* ein.

¹⁹ Die Dosisermittlung nach dem *Referenzverfahren* kann bei *regelmäßiger Überwachung* oder *aufgabenbezogener Überwachung* bei Werten auch unterhalb der *Nachforschungsschwelle* die Anwendung von *Individualverfahren* erfordern (s. Kapitel 7.1.1).

4.2.2 Vorgehen bei Dosisermittlungen unter Anwendung des Referenzverfahrens abhängig vom Überwachungsprogramm

Bei Werten oberhalb der *Erkennungsgrenze* ist aus jedem ermittelten Wert der *Körperaktivität* oder der *Aktivität in den Ausscheidungen* die *effektive Dosis* zu bestimmen. Hierbei ist das *Referenzverfahren* bei *Überwachung* mit *In-vivo*- oder *In-vitro*-Verfahren gemäß Kapitel 7.1 mit den tabellierten Werten der *Dosiskoeffizienten* aus Anhang 7.3,²⁰ der *Retention* und der *Ausscheidungsrate* aus Anhang 7.1 für den *Zufuhrpfad* Inhalation, für die Absorptionsklasse bzw. chemische Form, die für das jeweilige Radionuklid anzunehmen ist (in Anhang 6 Spalte 3 in Fettdruck hervorgehoben), und den AMAD von 5 µm (*Referenzparameter* [ICRP 15, IAEA 18]) anzuwenden. Dabei ist abhängig vom *Überwachungsprogramm* wie folgt zu verfahren (s. Tabelle 4.1):

- Im Fall einer *regelmäßigen Überwachung* unter Einhaltung des vorgegebenen *Überwachungsintervalls* inkl. der Toleranzen ist das *Referenzverfahren* unter Verwendung der *Referenzparameter* und des *Zufuhrzeitpunkts* in der Mitte des *Überwachungsintervalls* (s. Kapitel 3.5) bis zur *Nachforschungsschwelle* anzuwenden. Bei Unterschreitung der Dauer des *Überwachungsintervalls* kann optional auch wie bei einer *aufgabenbezogenen Überwachung* (s. u.) unter Verwendung des *Zufuhrzeitpunktes* in der Mitte des tatsächlichen *Überwachungsintervalls* verfahren werden.
- Im Fall einer *aufgabenbezogenen Überwachung* bei zeitlich befristetem Umgang ist das *Referenzverfahren* unter Verwendung der *Referenzparameter* und des *Zufuhrzeitpunktes* in der Mitte des tatsächlichen *Überwachungsintervalls* bis zur *Nachforschungsschwelle* anzuwenden. Bei der Wahl des angenommenen *Zufuhrzeitpunkts* muss sichergestellt werden, dass die Dosis nicht um mehr als einen Faktor drei unterschätzt werden kann (s. Kapitel 3.5, Gleichung 3.6). Im Fall einer *aufgabenbezogenen Überwachung* mit einem bekannten *Zufuhrzeitpunkt* (z. B. einmaliger Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen) ist der tatsächliche *Zufuhrzeitpunkt* zu verwenden.
- Im Fall einer *Überwachung aus besonderem Anlass* (z. B. *Vorkommnis* nach § 1 Absatz 22 StrlSchV, überprüfende Messung nach einer Überschreitung der *Erfordernisschwelle* bei *Schwellenwertmessungen*) ist das *Referenzverfahren* unter Berücksichtigung des tatsächlichen *Zufuhrzeitpunktes* oder des tatsächlichen *Überwachungsintervalls* bis zu einer *effektiven Dosis* von 1 mSv anzuwenden.

Bei Kenntnis von in die Berechnung eingehenden Parametern der Zufuhr (z. B. *Zufuhrpfad*, *Absorptionsklasse* oder *AMAD*) können diese stets in Form des *Individualverfahrens mit Biokinetik des Referenzverfahrens* anstelle der *Referenzparameter* für die Dosisberechnung verwendet werden (s. Kapitel 4.2.3).

Dosiskoeffizienten und Werte der *Retention* und der *Ausscheidungsrate* für einzelne Radionuklide mit *Absorptionsklassen* bzw. in chemischen Formen, die nicht in Anhang 7

²⁰ Die zugehörigen Standardannahmen und -daten beruhen auf biokinetischen und dosimetrischen Daten, die sowohl den Dosiskoeffizienten bei innerer beruflicher Exposition im Bundesanzeiger [BUND 23] als auch den Daten in den ICRP-Publikationen [ICRP 15, ICRP 16b, ICRP 17, ICRP 19, ICRP 22] zugrunde liegen.

tabelliert sind, sind unter Anwendung der genannten Bedingungen gemäß den Vorgaben der Anlage 18 Teil B Nummer 2 StrlSchV zu berechnen; bei der Berechnung kann die *Leitstelle Inkorporationsüberwachung* des Bundesamtes für Strahlenschutz unterstützen.

Wenn bei zwei aufeinanderfolgenden Messungen derselben Person eine *Körperaktivität* oder *Aktivität in den Ausscheidungen* festgestellt wird, sind verbleibende Beiträge der in der ersten Messung festgestellten Aktivität bei der Dosisberechnung für die zweite Messung wie in Kapitel 7.1.3.1 beschrieben zu berücksichtigen.

Für das *Referenzverfahren der Raumlufüberwachung* ist bei Werten oberhalb der Erkennungsgrenze aus Messwerten der Aktivitätskonzentration in der Raumluf die *effektive Dosis* zu berechnen. Hierbei werden die tabellierten Referenzparameter der *Dosiskoeffizienten* aus Anhang 7.3 und ein Standardwert für die Atemrate²¹ verwendet (Kapitel 7.2). Auch in der *Raumlufüberwachung* können bei Kenntnis von in die Berechnung eingehenden Parametern der Zufuhr diese stets anstelle der Referenzparameter bzw. des Standardwerts für die Atemrate für die Dosisberechnung verwendet werden (s. a. Individualverfahren der Raumlufüberwachung unter Verwendung von Zusatzinformationen Kapitel 7.4).

Im Fall der Raumlufüberwachung ist durch verifizierende Überwachungsmessungen zu überprüfen, ob die aus den Raumlufmessungen und aus den verifizierenden Überwachungsmessungen abgeleiteten *zugeführten Aktivitäten* nicht im Widerspruch stehen (s. Kapitel 3.3.2). Bei Widerspruchsfreiheit kann die Körperdosis ausschließlich aus den Ergebnissen der Raumlufmessungen berechnet werden, wenn die *Nachforschungsschwelle* nicht überschritten ist.

4.2.3 Vorgehen bei Dosisermittlungen mit Individualverfahren

Die in Kapitel 7.1 beschriebenen Kriterien, die bei der Anwendung des *Referenzverfahrens* geprüft werden (s. Kapitel 4.2.2, 7.1 und 7.2), führen dazu, dass unter den dort genannten Umständen statt des Referenzverfahrens *Individualverfahren* anzuwenden sind (s. Kapitel 7.3 und 7.4). Dies gilt insbesondere bei Überschreitung der *Nachforschungsschwelle*. Die Nachforschungsschwelle gilt als überschritten, wenn bei *regelmäßiger* oder *aufgabenbezogener Überwachung* mit *In-vivo-* oder *In-vitro-Verfahren* sowie bei *Raumlufüberwachung* die einmalig oder im Verlauf des Kalenderjahres ermittelte effektive Dosis einen Wert von 6 mSv bzw. bei *Überwachung aus besonderem Anlass* einen Wert von 1 mSv überschreitet.

Zur Ermittlung der *Körperdosis* bei einer Überwachung mit *In-vivo-* oder *In-vitro-Verfahren* sind hierbei Individualverfahren anzuwenden, wie:

- das individuell auf die Expositionsbedingungen angepasste Referenzverfahren unter Verwendung von Zusatzinformationen mit einer Standardbiokinetik (*Individualverfahren mit Biokinetik des Referenzverfahrens*, Kapitel 7.3.1),
- das *Individualverfahren nach dem Integrationsverfahren* (Kapitel 7.3.2.1) oder
- das *Individualverfahren mit modifiziertem biokinetischem Modell* (Kapitel 7.3.2.2).

²¹ Atemrate für einen Standardarbeiter gemäß ICRP-Veröffentlichung 130 [ICRP 15].

Zur Ermittlung der Körperdosis bei Raumlufüberwachung wird das *Individualverfahren der Raumlufüberwachung* unter Verwendung von *Zusatzinformationen* zu den *Expositionsbedingungen* angewendet (Kapitel 7.4).

Stellt die Messstelle eine Überschreitung der Nachforschungsschwelle fest, teilt sie das dem Strahlenschutzverantwortlichen umgehend mit. Die Pflicht des Strahlenschutzverantwortlichen gemäß Kapitel 4.3.3, die Überschreitung der Nachforschungsschwelle zu überwachen, bleibt davon unberührt. Bei Überschreitung der Nachforschungsschwelle durch eine oder mehrere Dosisfeststellungen im Kalenderjahr sind bei einer regelmäßigen oder aufgabenbezogenen Überwachung die im Laufe des Kalenderjahres festgestellten Einzelwerte der Körperdosis, bei einer Überwachung aus besonderem Anlass der jeweilige Einzelwert der Körperdosis zunächst nach dem Individualverfahren mit Biokinetik des Referenzverfahrens erneut zu berechnen. Weitere Messungen im Kalenderjahr sind ebenso zu behandeln.

Die notwendigen Zusatzinformationen (Kapitel 4.2.4) sind vom Strahlenschutzverantwortlichen und ggf. von der Messstelle (z. B. durch geeignete zusätzliche Messungen (Folgemessungen), ggf. auch durch Messungen anderer Überwachungsverfahren) zu ermitteln. Dazu sind, solange die Dosissumme aus allen *Zufuhren* im Kalenderjahr noch unterhalb der Dosisgrenzwerte bleibt, die tabellierten Standarddaten für *Retention* oder *Ausscheidungsrate* zu verwenden. Weitere Dosisermittlungen im Kalenderjahr sind nach dem gleichen Verfahren zu führen. Dosisermittlungen im nachfolgenden Kalenderjahr sind wieder gemäß dem Referenzverfahren nach Kapitel 4.2.2 vorzunehmen.

Weist die Berechnung nach Individualverfahren mit Biokinetik des Referenzverfahrens (s. Kapitel 7.3.1) auf eine Grenzwertüberschreitung hin, ist zu überprüfen, ob durch die im Anhang 7.1 bzw. 7.2 tabellierten Retentions- oder Ausscheidungsdaten die Biokinetik für die betreffende Person ausreichend gut beschrieben werden kann. Dazu sind gegebenenfalls geeignete zusätzliche Messungen durchzuführen (Kapitel 7.3.2). Bei einer daraus festgestellten Abweichung der Biokinetik des Radionuklids ist zu entscheiden, ob *das Individualverfahren* nach dem Integrationsverfahren gemäß Kapitel 7.3.2.1 für eine genauere Dosisermittlung eingesetzt werden kann.

Falls das Integrationsverfahren nicht zur Anwendung kommt sowie bei größeren Abweichungen der individuellen *Biokinetik* der betroffenen Person von den im Anhang 7.1 bzw. 7.2 tabellierten Biokinetikdaten ist zu entscheiden, ob eine Modellanpassung für die Dosisberechnung mit individuellen biokinetischen Daten zur Ermittlung der Körperdosis erforderlich ist (Individualverfahren mit modifiziertem biokinetischem Modell, s. Kapitel 7.3.2.2). Die weitere Vorgehensweise zur Dosisberechnung ist gegebenenfalls unter Hinzuziehung von Sachverständigen festzulegen. Dabei ist auch zu entscheiden, ob die tabellierten Werte für die Retention oder Ausscheidungsrate weiterhin verwendet werden und auf welche Weise die im Kalenderjahr *zugeführten Aktivitäten* zur Dosisfeststellung berücksichtigt werden.

Die bei allen Abweichungen vom Referenzverfahren verwendeten Daten, Annahmen und Modelle sind zu dokumentieren und entsprechend dem dafür vorgesehenen Datenformat in die Dosismeldung an das *Strahlenschutzregister* aufzunehmen. Die Gründe für die Nichtverwendung von Standardmodellen und -daten sind darzulegen.

4.2.4 Zusatzinformationen

Der Strahlenschutzverantwortliche hat grundsätzlich die folgenden Daten vorsorglich zu ermitteln, aufzuzeichnen, aufzubewahren und auf Anforderung der Messstelle mitzuteilen (§ 65 Absatz 3 Satz 1 StrlSchV):

- *Tätigkeiten* und Zeitpunkte im Arbeitsablauf mit einem erhöhten *Inkorporationsrisiko*,
- *relevante Zufuhrpfade* und
- soweit verfügbar physikalische und chemische Eigenschaften und Parameter der inkorporierbaren Radionuklide.

Konkrete fallspezifische Daten, die zur Dosisberechnung mit *Individualverfahren* benötigt werden, sind in Abstimmung zwischen dem Strahlenschutzverantwortlichen und der Messstelle soweit zutreffend mit den unten angegebenen Maßnahmen zu ermitteln:

- Feststellung des Inkorporationszeitpunktes oder -zeitraumes sowie des Inkorporationspfades durch:
 - Befragung der beteiligten Personen,
 - Prüfung betrieblicher Aufzeichnungen über Einsatzort und -dauer der Personen,
 - Prüfung der Messergebnisse von Oberflächenaktivitäten und Raumluftaktivitätskonzentrationen,
- Ermittlung der physikalischen und chemischen Eigenschaften des inkorporierten radioaktiven Stoffes (Teilchengröße der inhalierten Aerosole, chemische Verbindung, *Nuklidvektor*),
- wiederholte Durchführung von Ausscheidungs- und/oder Körperaktivitätsmessungen (Folgemessungen),
- Untersuchung von Schnäuz-, Nasen- und Rachenabstrichproben, Exhalationsmessungen usw.,
- Ermittlung der individuellen *Retention* und *Ausscheidungsrate*,
- Identifizierung und Überwachung weiterer eventuell betroffener Personen.

4.2.5 Ersatzdosis

Bei unterbliebener oder fehlerhafter Messung der Raumluftaktivität, der *Körperaktivität* oder der *Aktivität in den Ausscheidungen* sorgt der Strahlenschutzverantwortliche für eine Abschätzung der Dosis und informiert die zuständige Behörde gemäß § 65 Absatz 2 StrlSchV, die dann eine Ersatzdosis festlegt. Die Behörde kann nach § 65 Absatz 2 Satz 3 StrlSchV im Einzelfall von der Festlegung einer Ersatzdosis absehen, wenn die festzusetzende Dosis 0 mSv beträgt. Für die Festlegung durch die Behörde wird folgende Vorgehensweise empfohlen:

1. Anordnung einer Ersatzmessung, die unverzüglich durchzuführen und nach dem *Referenzverfahren* (mit Ausnahme des Zufuhrzeitpunktes) oder einem *Individualverfahren* zu interpretieren ist, sofern ein Nachweis der Aktivität nicht durch Zeitablauf ausgeschlossen ist. Bei unbegründet unterbliebener Messung ist eine einmalige *Inkorporation* zum Zeitpunkt der letzten vorausgegangenen Überwachung anzusetzen. Nachgewiesene Zeiten, in denen eine *Exposition* ausgeschlossen war, sind zu berücksichtigen.

Sofern 1. nicht möglich ist:

2. Verwendung des Mittelwerts der festgestellten *Körperdosen* in den zurückliegenden und gegebenenfalls folgenden *Überwachungsintervallen* bei gleichbleibenden Expositionsbedingungen sowie falls vorhanden
3. Verwendung des Werts der Körperdosis einer oder mehrerer anderer Personen, die im selben *Überwachungsintervall* unter vergleichbaren Expositionsbedingungen tätig waren.

Bei einer Diskrepanz zwischen den Ergebnissen der Verfahren gemäß Nummern 2 und 3 entscheidet die zuständige Behörde, welcher dieser Werte repräsentativer für den fehlenden Wert der Körperdosis ist.

Die zuständige Behörde teilt der beteiligten Messstelle und dem Strahlenschutzverantwortlichen die festgesetzte Ersatzdosis mit den zugehörigen Überwachungsdaten unverzüglich mit. Die zuständige Behörde veranlasst, dass die Ersatzdosis dem *Strahlenschutzregister* gemeldet wird. Dazu kann sie sich gemäß § 65 Absatz 2 Satz 4 StrlSchV einer *behördlich bestimmten Messstelle* bedienen (s. Kapitel 4.3.4).

4.3 Zuständigkeiten für die Erhebung und Bereitstellung der Überwachungsergebnisse

4.3.1 Zuständigkeit und Fristen für die Dosisermittlung

Da die Werte der Körperdosis nach § 64 Absatz 1 Satz 5 StrlSchV spätestens sechs Monate nach Aufenthalt im Strahlenschutzbereich vorliegen sollen, haben die Messstellen bzw. bei der *Raumluftüberwachung* der Strahlenschutzverantwortliche grundsätzlich folgende *Bereitstellungsfristen* für die Verfügbarkeit von Überwachungsergebnissen nach einer Dosisberechnung nach *Referenzverfahren* zu gewährleisten:

- eine Woche nach der Messung bei *In-vivo-Verfahren*,
- vier Wochen nach dem Eingang der Probe bei *In-vitro-Verfahren*,
- drei Wochen nach Abschluss der Sammelperiode bei *Raumluftmessungen*.

Werden bei einer *Inkorporationsüberwachung* mehrere *Überwachungsverfahren* angewendet und sind verschiedene Messstellen beteiligt (z. B. *Raumluftmessung* am Arbeitsplatz sowie Messungen der *Körperaktivität* und der Aktivität in den Ausscheidungen durch verschiedene *behördlich bestimmte Messstellen*), dann ist, soweit mit der zuständigen Behörde keine andere Vorgehensweise verabredet ist, unter den beteiligten Messstellen einvernehmlich festzulegen, welche Messstelle für die abschließende Feststellung der *Körperdosis* verantwortlich ist. Ausschließlich diese Messstelle meldet zur Vermeidung von Mehrfachmeldungen die *Inkorporationsfeststellung* an das *Strahlenschutzregister* beim Bundesamt für Strahlenschutz (s. Kapitel 4.3.5).

4.3.2 Pflichten zur Aufzeichnung, Mitteilung und Aufbewahrung von Überwachungsdaten

Die Messstelle hat zur Qualitätssicherung als Teil der Anforderung des § 169 Absatz 2 Nummer 4 StrlSchG die Ergebnisse der Ermittlung mit ihrer beigeordneten Unsicherheit sowie Festlegungen zu Art, Umfang und Durchführung der Überwachung sowie die das Dosisberechnungsverfahren und die Ergebnisse der Ermittlung der die berufliche Exposition beeinflussenden Informationen aufzuzeichnen und gemäß § 169 Absatz 3 Satz 2 StrlSchG fünf Jahre nach Ermittlung aufzubewahren. Die Ergebnisse der Ermittlung sind der Person, die die Messung veranlasst hat, gemäß § 169 Absatz 3 Satz 1 StrlSchG schriftlich mitzuteilen.

Die Messstelle teilt gemäß § 169 Absatz 3 Satz 3 StrlSchG die Überwachungsdaten unverzüglich der zuständigen Behörde mit, wenn diese es verlangt oder wenn die Messstelle es auf Grund der Ergebnisse ihrer Ermittlungen für erforderlich hält.

Eine von der Messstelle ausgehende Mitteilung an die zuständige Behörde ist insbesondere in den folgenden Fällen erforderlich:

- bei Verdacht auf eine Grenzwertüberschreitung (s. Kapitel 4.3.4), der nicht sofort durch Anwendung eines genaueren *Dosisberechnungsverfahrens* ausgeräumt werden kann,
- wenn nach einer *Schwellenwertmessung* mit Überschreitung der *Erfordernisschwelle* eine *Inkorporationsmessung* durchgeführt wird (s. Kapitel 3.3.3) und deren Ergebnis darauf hindeutet, dass ein Erfordernis einer *regelmäßigen* oder *aufgabenbezogenen Überwachung* besteht,
- wenn wiederholt die Bedingungen des vorgesehenen Überwachungsverfahrens nicht eingehalten werden (z. B. bezüglich der *Überwachungsintervalle* oder der Anforderungen an die Sammlung von Ausscheidungsproben).

Der Strahlenschutzverantwortliche zeichnet die ermittelten Daten zur *Körperdosis* aus den jeweiligen *Überwachungsverfahren* für Personen, die einer *beruflichen Exposition* unterliegen (§ 167 Absatz 1 StrlSchG), sowie für Personen, die keiner beruflichen Exposition unterliegen (§ 76 Absatz 2 Satz 1 StrlSchG), unverzüglich auf.

Die aufgezeichneten Überwachungsdaten von Personen, die einer beruflichen Exposition unterliegen, sind gemäß § 167 Absatz 2 StrlSchG so lange aufzubewahren, bis die überwachte Person das 75. Lebensjahr vollendet hat oder vollendet hätte, mindestens jedoch 30 Jahre nach Beendigung der jeweiligen Beschäftigung. Aufgezeichnete Überwachungsdaten von Personen, die nach § 76 Absatz 2 Satz 1 StrlSchG keiner beruflichen Exposition unterliegen, sind gemäß § 76 Absatz 2 Satz 2 StrlSchG zehn Jahre ab dem Zeitpunkt der Erstellung aufzubewahren und der zuständigen Behörde auf Verlangen vorzulegen.

Auf Verlangen sind der zuständigen Behörde vom zur Aufzeichnung Verpflichteten, gegebenenfalls in Abstimmung mit der *behördlich bestimmten Messstelle*, Festlegungen zu Art, Umfang und Durchführung der *Inkorporationsüberwachung* für seine zu überwachenden Personen vorzulegen (§ 167 Absatz 3 Satz 1 und § 168 Absatz 1 Satz 2 StrlSchG).

Der zur Aufzeichnung Verpflichtete hat die Ermittlungsergebnisse bei einem Wechsel des Beschäftigungsverhältnisses dem neuen Arbeitgeber auf Verlangen mitzuteilen, wenn weiterhin eine Beschäftigung mit beruflicher Exposition ausgeübt wird (§ 167 Absatz 3 Satz 3 StrlSchG).

Bei der *Raumluftüberwachung* teilt der Strahlenschutzverantwortliche die Überwachungsdaten der für die verifizierenden Überwachungsmessungen beauftragten behördlich bestimmten Messstelle zur Überprüfung der Widerspruchsfreiheit mit.

Stellt eine behördlich bestimmte Messstelle den Betrieb ein, entscheidet diese in Abstimmung mit der zuständigen Behörde, wie mit den Aufzeichnungen über die bisherigen Feststellungen zur Körperdosis zu verfahren ist.

4.3.3 Überwachung der Überschreitung der Nachforschungsschwelle

Der Strahlenschutzverantwortliche überwacht kontinuierlich die Gesamtdosis jedes Mitarbeiters im Kalenderjahr und sorgt bei einer Überschreitung der *Nachforschungsschwelle* für die Neuberechnung der einzelnen *Körperdosen* der jeweiligen Person mittels *Individualverfahren* (s. Kapitel 4.2.3). Im Fall einer Überwachung der Person in einer *behördlich bestimmten Messstelle* soll die Neuberechnung durch die bislang beteiligte Messstelle erfolgen. Waren mehrere Messstellen beteiligt, fordert der Strahlenschutzverantwortliche die Neuberechnung bei einer dieser Messstellen an und leitet dieser alle Daten zu den Dosisfeststellungen der anderen beteiligten Messstellen zu.

4.3.4 Vorgehen bei Grenzwertüberschreitungen

Besteht bei der Anwendung eines *Individualverfahrens* zur Dosisberechnung der Verdacht, dass einer der Dosisgrenzwerte gemäß § 78 StrlSchG überschritten wurde, sorgt der Strahlenschutzverantwortliche gemäß § 65 Absatz 3 StrlSchV für eine Berechnung der *Körperdosis* unter Berücksichtigung der individuellen *Expositionsbedingungen*. Die notwendigen Zusatzinformationen sind vom Strahlenschutzverantwortlichen und der Messstelle wie in Kapitel 4.2.4 beschrieben zur Dosisberechnung zu ermitteln. Zusätzlich erfolgt anhand von gegebenenfalls durchgeführten geeigneten Folgemessungen, unter Umständen auch anderer Überwachungsverfahren, eine Überprüfung, ob eine Modellanpassung an eine individuelle *Biokinetik* (Individualverfahren) anzuwenden ist. Dazu können außer der beteiligten *behördlich bestimmten Messstelle* auch weitere Sachverständige zur Ermittlung der Körperdosis, wie z. B. die *Leitstelle Inkorporationsüberwachung*, herangezogen werden.

Der Strahlenschutzverantwortliche hat bei einer Grenzwertüberschreitung dafür zu sorgen, dass die ermittelte Körperdosis unverzüglich der betroffenen Person mitgeteilt wird (§ 167 Absatz 4 Satz 3 StrlSchG, § 65 Absatz 3 Satz 2 StrlSchV).

Eine Überschreitung des Grenzwertes meldet der Strahlenschutzverantwortliche unverzüglich der zuständigen Behörde (§ 167 Absatz 4 Satz 1 Nummer 1 StrlSchG, § 65 Absatz 3 Satz 2 StrlSchV). Darüber hinaus meldet die behördlich bestimmte Messstelle gemäß § 169 Absatz 3 Satz 3 StrlSchG ggf. ebenfalls die Grenzwertüberschreitung an die zuständige Behörde (Kapitel 4.3.2).

4.3.5 Meldung der Überwachungsdaten an das Strahlenschutzregister

Die Übermittlung der Überwachungsdaten an das *Strahlenschutzregister* beim *Bundesamt für Strahlenschutz* erfolgt in den Fällen, in denen die Ermittlung der *Körperdosis* in einer *behördlich bestimmten Messstelle* erfolgt ist, durch die Messstelle (§ 170 Absatz 4 Satz 1 Nummer 1 StrlSchG). Bei einer Dosisfeststellung durch *Raumluftüberwachung* hat der Strahlenschutzverantwortliche dafür zu sorgen, dass die Überwachungsdaten an das *Strahlenschutzregister* gemeldet werden (§ 170 Absatz 4 Satz 1 Nummer 3 StrlSchG).

Messwerte sind mit zwei signifikanten Stellen zu melden. Messwerte unterhalb der *Erkennungsgrenze* des eingesetzten *Analysen-* bzw. *Messverfahrens* bekommen einen Dosiswert von 0 mSv zugeordnet. Ist eine berechnete *effektive Dosis* kleiner als 0,05 mSv bei einem *Überwachungsintervall* von mindestens 30 Tagen bzw. kleiner als 0,05 mSv hochgerechnet auf 30 Tage bei einem *Überwachungsintervall* von weniger als 30 Tagen, ist sie zu null zu setzen (*Abschneidekriterium*). Auch Dosiswerte mit einem Wert von null sind dem Strahlenschutzregister zu melden.

Auch die zuständigen Behörden können, z. B. bei Festsetzung einer Ersatzdosis (s. Kapitel 4.2.5) oder bei Überschreitung eines Dosisgrenzwertes, dem Strahlenschutzregister Daten übermitteln (§ 65 Absatz 2 Satz 2 und Absatz 3 StrlSchV, jeweils i. V. m. § 170 Absatz 4 Satz 1 Nummer 2 StrlSchG), sofern sie sich dazu nicht einer behördlich bestimmten Messstelle bedienen. Die Meldung über eine behördlich bestimmte Messstelle wird auf Grund des dort etablierten Verfahrens empfohlen.

Nach Abschluss der Dosisermittlung übermittelt die jeweils meldende Stelle nach § 170 Absatz 4 Satz 1 StrlSchG die *Inkorporationsfeststellung* binnen Monatsfrist an das Strahlenschutzregister beim Bundesamt für Strahlenschutz. Bei Überschreitungen der Nachforschungsschwelle bei mehreren Messungen im Kalenderjahr werden dem Strahlenschutzregister die nach Kapitel 4.2.3 neu bewerteten Einzeldosiswerte in Abstimmung des Strahlenschutzverantwortlichen und der beteiligten behördlich bestimmten Messstellen für das gesamte zurückliegende Kalenderjahr bis zum Februar des Folgejahres berichtend mitgeteilt. Die Übermittlung der Überwachungsdaten erfolgt nach der vom Bundesamt für Strahlenschutz festgelegten Formatanforderung (§ 173 Absatz 3 StrlSchV), die im Internetauftritt des Bundesamtes für Strahlenschutz (www.bfs.de/ssr) zu finden ist.

5. Inkorporationsmessungen an Einsatzkräften

5.1 Durchführung der Messung bei Einsatzkräften in Notfallexpositionssituationen oder anderen Gefahrenlagen

Der nach § 115 Absatz 2 StrlSchG Verantwortliche muss gemäß § 150 Absatz 1 StrlSchV dafür sorgen, dass die *Exposition* der *Einsatzkräfte*, für deren Schutz er verantwortlich ist, ermittelt oder abgeschätzt wird.

Falls eine relevante Inkorporation radioaktiver Stoffe zu befürchten ist, soll gemäß § 150 Absatz 2 StrlSchV zur Abschätzung der Körperdosis zusätzlich zu den in § 150 Absatz 1 Satz 2 StrlSchV genannten Methoden eine Messung der Körperaktivität oder der Aktivität der Ausscheidungen oder anderer biologischer Parameter durch eine nach § 169 des Strahlenschutzgesetzes bestimmte Inkorporationsmessstelle erfolgen. Das gilt insbesondere bei Einsatzkräften, die ohne Atemschutz oder mit defektem, undichtem oder ungeeignetem Atemschutz luftgetragenen radioaktiven Stoffen ausgesetzt waren oder auf der Körperoberfläche kontaminiert wurden. Die Messungen zur Ermittlung oder Abschätzung der äußeren und inneren Exposition erfolgen nach einer *Exposition*, die bei einem Einsatz in einer *Notfallexpositionssituation* oder zur Bekämpfung einer anderen Gefahrenlage aufgetreten ist. Das Verfahren ist angelehnt an das Verfahren zur Überwachung von *beruflich exponierten Personen* in *geplanten Expositionssituationen* (s. Kapitel 3).

Die nach § 169 Absatz 1 Nummer 3 StrlSchG *behördlich bestimmten Inkorporationsmessstellen* wenden in Abhängigkeit des zu bestimmenden Radionuklids folgende Analyse- und Messverfahren (Anhang 6, Spalte 3) an:

- *In-vivo-Verfahren*: Bestimmung der Aktivität im Körper und in den Organen (*Körperaktivität*),
- *In-vitro-Verfahren*: Bestimmung der *Aktivität in den Ausscheidungen*.

Der Verantwortliche stellt dazu der Messstelle die erforderlichen Daten zur Verfügung (§ 168 Absatz 1 Satz 1 StrlSchG).

Gemäß § 150 Absatz 3 StrlSchV kann die zuständige Behörde eine andere oder ergänzende Weise der Ermittlung oder Abschätzung der Körperdosis festlegen, wenn dies im Hinblick auf fehlende, unvollständige oder fehlerhafte Messungen oder im Hinblick auf Unsicherheiten der Ergebnisse durchgeführter Inkorporationsmessungen angemessen ist. In Fällen, in denen die Verfahren nach § 150 Absatz 2 StrlSchV nicht verfügbar bzw. nur eingeschränkt durchführbar sind, können die Inkorporationsmessstellen den für den Schutz der Einsatzkraft im Notfalleinsatz Verantwortlichen zu möglichen alternativen Methoden beraten, um eine Dosisabschätzung der Einsatzkräfte gewährleisten zu können.

5.2 Durchführung der Dosisberechnung

Im Expositionsbereich unterhalb von 1 mSv ist die *effektive Dosis* entsprechend Kapitel 4.2.2 auf Basis des *Referenzverfahrens* abzuschätzen. Das Referenzverfahren ist unter Berücksichtigung des tatsächlichen Zufuhrzeitpunktes und unter folgenden Annahmen anzuwenden:

- *Zufuhrpfad*: Inhalation
- Partikelgröße: 5 μm , wenn die Zufuhr an einem Arbeitsplatz einer beruflich exponierten Person erfolgt ist, 1 μm in allen anderen Fällen (s. a. Seite 273 in [ECRP 18]).

Die *effektive Dosis* ist mit den oben angegebenen Parametern nach der Gleichung 7.3 zu berechnen. Ergibt die Abschätzung nach Referenzverfahren eine effektive Dosis oberhalb von 1 mSv, ist entsprechend den Kapiteln 4.2.3 und 7.3 nach *Individualverfahren* zu verfahren.

Bei Kenntnis anderer Expositionsbedingungen können die entsprechenden Parameter auch bei einer effektiven Dosis unterhalb von 1 mSv verwendet werden (s. a. *Individualverfahren mit Biokinetik des Referenzverfahrens* in Kapitel 4.2.3).

5.3 Dosismeldung an das Strahlenschutzregister

Übersteigt die festgestellte *effektive Dosis* der *Einsatzkraft* aus äußerer und innerer Exposition 1 mSv, hat der für den Schutz der Einsatzkraft im Notfalleinsatz Verantwortliche dafür zu sorgen, dass die Dosis dem *Strahlenschutzregister* gemeldet wird (§ 150 Absatz 5 StrlSchV). Bei Vorliegen aller erforderlichen Informationen, die die Inkorporationsmessstelle u. a. gemäß § 168 Absatz 1 Satz 1 StrlSchG vom Verantwortlichen erhalten hat, übermittelt die Messstelle die festgestellte Dosis durch innere Exposition dem *Strahlenschutzregister* (§ 170 Absatz 4 Satz 1 Nummer 1 StrlSchG). Die für die Meldung erforderliche SSR-Nummer wird in Abstimmung zwischen dem für den Schutz der Einsatzkraft im Notfalleinsatz Verantwortlichen ggf. mit Unterstützung durch die *behördlich bestimmte Messstelle* beantragt (s. a. § 170 Absatz 4 Satz 2 StrlSchG). Alternativ kann der Verantwortliche nach § 170 Absatz 4 Satz 1 Nummer 3 StrlSchG die festgestellte Dosis dem Strahlenschutzregister selbst übermitteln.

6. Anforderungen an Messstellen sowie an Analysen- und Messverfahren

6.1 Anforderungen an Messstellen

Eine *Inkorporationsmessstelle* zur Ermittlung der Körperdosis nach § 169 Absatz 1 StrlSchG bedarf der Bestimmung durch die zuständige Behörde. Die Anforderungen an eine *behördlich bestimmte Messstelle* ergeben sich aus § 169 Absatz 2 StrlSchG. In der Bestimmung werden die von der Messstelle eingesetzten *Überwachungsverfahren* und die damit zu bestimmenden Radionuklide festgelegt.

Eine Messstelle darf nur behördlich bestimmt werden, wenn die in § 169 Absatz 2 StrlSchG aufgeführten Bestimmungsvoraussetzungen vorliegen. Dabei sind insbesondere die in diesem Kapitel und den Kapiteln 6.2 und 6.3 festgelegten Anforderungen zu erfüllen. Die Messstelle muss organisatorisch, wirtschaftlich, personell und finanziell soweit unabhängig sein, dass die Aufgaben unparteiisch und unabhängig und fachlich weisungsfrei erfüllt werden können (§ 169 Absatz 2 Nummer 5 StrlSchG). Bei der Antragsstellung soll durch den Vertretungsberechtigten eine Erklärung dazu abgegeben werden, dass die Anforderungen an die Unabhängigkeit erfüllt sind und die Messstelle keinen fachlichen Weisungen unterliegt.

Die Messstelle hat gemäß § 169 Absatz 2 Nummer 4 StrlSchG ein angemessenes Qualitätsmanagementsystem (QMS) zu betreiben. Diese Bestimmungsvoraussetzung kann die Messstelle nachweisen:

- Alternative 1: im Rahmen der von der zuständigen Behörde selbst durchgeführten Überprüfung (Dokumenten- und Vor-Ort-Prüfung entsprechend den Anhängen 4.1 und 4.2) oder
- Alternative 2: durch eine Bescheinigung der organisatorischen und fachlichen Kompetenz durch die *Leitstelle Inkorporationsüberwachung* des Bundesamtes für Strahlenschutz auf Grundlage einer Überprüfung entsprechend den Anhängen 4.1 und 4.2 oder
- Alternative 3: durch eine Zertifizierung gemäß DIN EN ISO 9001 (Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen) [DIN 15] in der jeweils geltenden Fassung zum Nachweis ihrer organisatorischen Kompetenz mit einer Bescheinigung über eine ergänzende Überprüfung der fachlichen Kompetenz durch die *Leitstelle Inkorporationsüberwachung* des Bundesamtes für Strahlenschutz entsprechend Anhang 4.2 oder
- Alternative 4: durch eine Akkreditierung gemäß DIN EN ISO/IEC 17025 (Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien) [DIN 18] in der jeweils geltenden Fassung zum Nachweis ihrer organisatorischen und fachlichen Kompetenz.

Die zuständige Behörde entscheidet auf Grundlage ihrer Prüfung (Alternative 1) oder der vorgelegten Nachweise (Alternativen 2 bis 4) über die Erfüllung der an die Messstelle gestellten Anforderungen. Die Befugnis der Behörde, im Einzelfall weitergehende Prüfungen hinsichtlich des Betriebs eines angemessenen QMS vorzunehmen, bleibt davon unberührt.

Die Überprüfung der organisatorischen Kompetenz durch die zuständige Behörde oder die *Leitstelle Inkorporationsüberwachung* des Bundesamtes für Strahlenschutz erfolgt vor allem anhand der von der Messstelle eingereichten Dokumente entsprechend Anhang 4.1 (Alternative 1 und 2). Die Überprüfung der fachlichen Kompetenz entsprechend Anhang 4.2 erfolgt durch die zuständige Behörde (Alternative 1) oder durch die Leitstelle Inkorporationsüberwachung des Bundesamtes für Strahlenschutz (Alternative 2 und 3) vor allem im Rahmen einer Vor-Ort-Prüfung bei der Messstelle. Die Überprüfung der Kompetenz erfolgt nur soweit, wie die Anforderungen Einfluss auf die Qualität der Mess- und Analysenergebnisse haben; eine Überprüfung der Einhaltung anderer gesetzlicher oder behördlicher Vorgaben, zum Beispiel zum betrieblichen Strahlenschutz in der Messstelle, erfolgt nicht.

Die Messstelle hat ihre Eignung sowie ihre fachliche und organisatorische Kompetenz ständig aufrechtzuerhalten. Die Messstelle hat gemäß § 172 Absatz 3 Satz 1 StrlSchV an Maßnahmen zur Qualitätssicherung teilzunehmen, die nach § 172 Absatz 3 Satz 2 Nummer 2 StrlSchV vom Bundesamt für Strahlenschutz durchgeführt werden. Sie weist durch die Teilnahme an den Maßnahmen zur Qualitätssicherung ihre Eignung gegenüber der zuständigen Behörde nach.

Für die *Raumluftüberwachung* zur Feststellung von Dosiswerten gelten vergleichbare Anforderungen bezüglich der Eignung sowie der fachlichen und organisatorischen Kompetenz des Betriebes wie für Messungen in *behördlich bestimmten Messstellen*.

6.2 Anforderungen an Ausstattung und Personal einer Messstelle

Behördliche bestimmte Messstellen müssen die Anforderungen an die räumliche und technische Ausstattung (Anhang 4.3) erfüllen. Weitere Vorschriften bleiben davon unberührt.

Die personelle und technische Ausstattung muss so ausgelegt sein, dass die Tabellenwerte im Anhang 4.3.3 für den Zeitbedarf der Analysen und Messungen eingehalten werden. Planungen dieser Ausstattung müssen auf der zu erwartenden Anzahl der in der Folgezeit durchzuführenden Messungen beruhen. Diese Anzahl ist plausibel und nachvollziehbar, wenn möglich auf Grundlage von Erfahrungswerten, abzuschätzen.

Der Messstelle muss mindestens Personal mit folgender Qualifikation zur Verfügung stehen:

- Leiter oder Leiterin mit einem abgeschlossenen naturwissenschaftlichen Studium oder einer gleichwertigen Qualifikation und mit wenigstens fünf Jahren praktischer Erfahrung auf dem Gebiet des Strahlenschutzes, vorzugsweise auf dem Gebiet der *Inkorporationsüberwachung* und
- eine qualifizierte technische Fachkraft zur Durchführung der Analysen und Messungen.

Die Personalausstattung der Messstelle ist in Abhängigkeit von der Anzahl der pro Jahr durchzuführenden Analysen aus Anhang 4.3.3 ableitbar. Dieser Anhang berücksichtigt nicht den für die Dosisberechnung und für die Übertragung an das *Strahlenschutzregister* beim *Bundesamt für Strahlenschutz* notwendigen Zeit- und Personalbedarf.

6.3 Anforderungen an Analysen- und Messverfahren (Überwachungsverfahren)

Analysen- und Messverfahren sind für die *Inkorporationsüberwachung* geeignet, wenn sie die Kriterien der Kapitel 6.3.1 bis 6.3.3 erfüllen und an nationale oder internationale Normale angeschlossen sind (Rückführbarkeit). Erfüllt keines der für die Überwachung in Frage kommenden Analysen- und Messverfahren vollständig die zutreffenden Eignungskriterien, dann ist das nach Stand von Wissenschaft und Technik am besten geeignete zu verwenden.

6.3.1 Selektivität

Analysen- und Messverfahren müssen grundsätzlich die selektive Bestimmung einzelner Radionuklide gewährleisten (*Selektivität*).

6.3.2 Nachweisgrenze

Das eingesetzte *Analysen- und Messverfahren* muss gewährleisten, dass die in Anhang 6 Spalte 12 aufgeführten größtmöglichen Nachweisgrenzen der Aktivitäts- und Konzentrationswerte oder *Ausscheidungsraten*²² bei Einhaltung der innerhalb der für Routinemessungen üblichen Messzeiten mindestens nachgewiesen werden. Für Radionuklide und *Absorptionsklassen*, für die in Anhang 6 keine typische Nachweisgrenze tabelliert ist, ist die Eignung des Analysen- und Messverfahrens anhand der Einhaltung der Kriterien für *Überwachungsintervalle* (Kapitel 3.5) unter Berücksichtigung der von der Messstelle erreichten Nachweisgrenze zu bestimmen.

Für den Nachweis der Eignung des Analysen- und Messverfahrens ist die von der Messstelle erreichbare Nachweisgrenze gemäß Anhang 5.1 zu berechnen.

6.3.3 Genauigkeit

Die *Genauigkeit* der Ergebnisse von *Analysen- und Messverfahren* ist anhand der Qualitätskriterien *Richtigkeit* und *Präzision* zu überprüfen. Diese Überprüfung erfolgt grundsätzlich im Aktivitätsbereich zwischen dem 1- und 100-fachen Wert der in der Praxis üblichen Nachweisgrenze des Analysen- und Messverfahrens (typische Nachweisgrenze, Anhang 6, Spalte 7).

Richtigkeit und Präzision eines Analysen- und Messverfahrens sind ausreichend, wenn das Testergebnis den in Anhang 5.2 genannten Akzeptanzkriterien genügt. Bei neu zu bestimmenden Messstellen ist mindestens ein geeigneter Nachweis einer internen Validierung erforderlich; die Entscheidung darüber liegt bei der Behörde.

²² Diese Werte garantieren den Nachweis von 1 mSv *effektive Dosis*.

6.4 Qualitätssicherung von Analysen- und Messverfahren

Die Qualität der Überwachungsverfahren ist nachzuweisen durch die:

- Einhaltung der Kriterien für die *Genauigkeit* und
- korrekte Anwendung der Dosisberechnung nach dem *Referenzverfahren*.

6.4.1 Eigenkontrolle

Die Messstelle hat durch *Eigenkontrolle* nachzuweisen, dass die erreichten Parameter für die *Genauigkeit* konstant geblieben sind. Dies geschieht durch:

- regelmäßige Kontrolle der Funktion und Stabilität der eingesetzten Messgeräte und
- verifizierende Überprüfungen der Anforderungskriterien nach Kapitel 6.3 für das gesamte *Analysen- und Messverfahren* unter Verwendung verschiedener, rückführbarer Teststandards.

Im Falle von Änderungen in der Geräteausstattung oder der Analysen- und Messverfahren ist die Einhaltung der Anforderungskriterien unverzüglich nachzuweisen.

Die *Eigenkontrolle* ist zu dokumentieren.

6.4.2 Ringversuche und dosimetrische Fallbeispiele des Bundesamtes für Strahlenschutz

Die behördlich bestimmten Messstellen haben nach § 172 Absatz 3 Satz 1 und 2 Nummer 2 StrlSchV an Maßnahmen des Bundesamtes für Strahlenschutz zur Qualitätssicherung teilzunehmen. Diese werden von der Leitstelle Inkorporationsüberwachung des Bundesamtes für Strahlenschutz in Form von Ringversuchen veranlasst. Die Mitteilungsfristen entsprechen den Bereitstellungsfristen für Überwachungsergebnisse für das jeweilige Überwachungsverfahren Kapitel 4.3.1.

Ziele der *Ringversuche* der *Leitstelle Inkorporationsüberwachung* des Bundesamtes für Strahlenschutz, zu denen auch die dosimetrischen Fallbeispiele gehören, sind:

- Überprüfung der Einhaltung der Akzeptanzkriterien durch die Messstellen und
- Überprüfung der korrekten Dosisberechnung nach dem *Referenzverfahren*.

Die erfolgreiche Teilnahme leistet einen Beitrag zur fachlichen Kompetenz der behördlich bestimmten Messstellen (s. Anhang 4.2).

Die statistische Auswertung der Ringversuche erfolgt auf der Grundlage der DIN 5725-2 [DIN 22] und wird zur Weiterentwicklung der Qualität herangezogen.

Bei Nichteinhaltung der Akzeptanzkriterien für *Richtigkeit* und *Präzision* von *Analysen- und Messverfahren* hat die Messstelle unverzüglich geeignete Qualitätssicherungsmaßnahmen durchzuführen. Die behördlich bestimmte Messstelle hat unverzüglich nach Ermittlung der Ursache für den Grund der Abweichung der Ergebnisse einen Qualitätsabweichungsbericht zu erstellen und diesen der *Leitstelle Inkorporationsüberwachung* des Bundesamtes für Strahlenschutz zu übermitteln. Die Leitstelle Inkorporationsüberwachung des Bundesamtes für Strahlenschutz meldet der zuständigen Behörde die Nichteinhaltung der Akzeptanzkriterien und übermittelt ihr den Qualitätsabweichungsbericht.

Auch falls von der Messstelle keine Ergebnisse zu einem Ringversuch, der im Rahmen der von der Messstelle angebotenen Verfahren für diese Messstelle geeignet ist, an die Leitstelle abgegeben worden sind, hat die behördlich bestimmte Messstelle einen Qualitätsabweichungsbericht zu erstellen und diesen der Leitstelle Inkorporationsüberwachung des Bundesamtes für Strahlenschutz mitzuteilen. Die Wiederherstellung der qualifizierten Messbereitschaft ist innerhalb von vier Monaten der Leitstelle Inkorporationsüberwachung des Bundesamtes für Strahlenschutz nachzuweisen. Sie soll auch der zuständigen Behörde mitgeteilt werden.

Die Leitstelle Inkorporationsüberwachung des Bundesamtes für Strahlenschutz kann den teilnehmenden Messstellen qualitätssichernde Maßnahmen vorschlagen, wenn deren Ringversuchsergebnis außerhalb der zweifachen Vergleichsstandardabweichung liegt.

7. Verfahren zur Berechnung der effektiven Dosis (Dosisberechnungsverfahren)

Bei personenbezogenen *Überwachungsprogrammen* (s. Abbildung 3.1) ist bei einer Summe der einzelnen nach dem *Referenzverfahren* berechneten *effektiven Dosen* im aktuellen Kalenderjahr unterhalb der *Nachforschungsschwelle* von 6 mSv gemäß den Kapiteln 4.2.1 und 4.2.2 die *effektive Dosis* nach dem Referenzverfahren mit *Referenzparametern* zu berechnen (s. a. Tabelle 4.1). Bei *Überwachung aus besonderem Anlass* wird das Referenzverfahren hingegen nur bis zu einer effektiven Dosis von 1 mSv je Anlass angewendet (s. a. Tabelle 4.1). Das Referenzverfahren bei einer Überwachung mit *In-vivo-* oder *In-vitro-Verfahren* besteht aus bis zu fünf teilweise optionalen Überprüfungen bzw. Rechenschritten (Kapitel 7.1). Je nach deren Ergebnis werden weitere Schritte notwendig. Der Ablauf des Referenzverfahrens ist in Tabelle 7.1²³ zusammengefasst und in Abbildung 7.1 zusammen mit der Verfahrensweise des *Individualverfahrens* grafisch dargestellt.

Ergibt die Prüfung nach Referenzverfahren, dass die Nachforschungsschwelle von 6 mSv überschritten worden ist, ist eine fallspezifische Auswertung aller bisherigen und zukünftigen Inkorporationsmessungen im aktuellen Kalenderjahr notwendig (s. Kapitel 7.3 und 7.4). Ergibt die Prüfung nach Referenzverfahren bei Überwachung aus besonderem Anlass, dass der Wert der effektiven Dosis von 1 mSv überschritten worden ist, ist eine fallspezifische Auswertung aller Messungen, die in Bezug auf diesen Anlass durchgeführt wurden, mit Individualverfahren notwendig. Für einzelne Messungen gilt dies auch bei Einsatz von ungeeigneten oder fehlerhaft angewendeten Messverfahren (s. Kapitel 7.1.1).

Außerdem kann bei Kenntnis von in die Berechnung eingehenden Parametern der Zufuhr (z. B. *Zufuhrpfad* oder AMAD) diese Berechnung stets in Form des *Individualverfahrens mit Biokinetik des Referenzverfahrens* (Kapitel 7.3.1) bzw. des *Individualverfahrens der Raumlufthüberwachung* (Kapitel 7.4) anstelle des Referenzverfahrens verwendet werden (s. Kapitel 4.2.2 und 4.2.3).

Die Abläufe der *Dosisberechnungsverfahren* sind angelehnt an die in ISO 27048 [ISO 11] bzw. EC Radiation Protection 188 [ECRP 18] beschriebenen Prozesse.

Beim Vorliegen von Ergebnissen unterschiedlicher *Überwachungsverfahren* für gleiche oder überlappende *Überwachungsintervalle* bzw. für potenzielle Inkorporationsereignisse wird die effektive Dosis durch Priorisierung der verschiedenen Ergebnisse wie in Kapitel 7.3.2 für Grenzwertüberschreitungen dargestellt berechnet.

²³ Das Ablaufschema in Tabelle 7.1 ist angelehnt an Tabelle E.1 aus EC RP188 [ECRP 18].

Tabelle 7.1: Dosisberechnung nach dem Referenzverfahren bei einer Überwachung mit *In-vivo*- oder *In-vitro*-Verfahren

Testschritte	➤ Entscheidung	Kommentar
Schritt 1 Prüfung auf Angemessenheit des Messverfahrens und dessen korrekte Anwendung	➤ Wenn das Messverfahren ungeeignet oder die Anwendung fehlerhaft war (wie z. B. bei Abweichung des Überwachungsintervalls bei regelmäßiger Überwachung), Wechsel zur Bewertung nach Individualverfahren ➤ Bei Unterschreitung des Überwachungsintervalls bei regelmäßiger Überwachung Dosisberechnung weiter im Referenzverfahren wie bei aufgabenbezogener Überwachung (optional) ➤ Sonst weiter mit Schritt 2 (optional) oder Schritt 3	Das Messverfahren ist angemessen, wenn es die Bedingungen nach Kapitel 3.4 und Anhang 6 erfüllt. Eine Abweichung vom Überwachungsintervall liegt vor, wenn das Intervall inkl. Toleranz gemäß Tabelle 3.5 nicht eingehalten wird (s. Kapitel 3.54.2.2). Bei einer Unterschreitung kann von einer Bewertung nach Individualverfahren abgesehen werden.
Schritt 2 (optional) Prüfung, ob Messwert M kleiner als kritischer Wert M_c ist	➤ Wenn $M < M_c$, dann Dosis zu null setzen (entsprechend Abschneidekriterium, s. Kapitel 4.3.5), Ende der Bewertung ➤ Sonst weiter im Referenzverfahren mit Schritt 3	M_c-Werte f. die gebräuchlichsten Nuklide und ihre tabellierten Überwachungsintervalle sind in Anhang 6 vorgegeben, weitere Werte können nach Gleichungen 7.1 und 7.2 berechnet werden. Für gewöhnlich kann die Auswertung hier beendet werden.
Schritt 3 Berechnung der effektiven Dosis E mit den jeweiligen Gleichungen aus Kapitel 7.1.3	➤ Wenn Dosis E kleiner Abschneidekriterium nach Kap. 4.3.5, Setzung der Dosis zu null, Ende der Bewertung ➤ Wenn Dosis $E \geq 6$ mSv (Nachforschungsschwelle) oder bei besonderem Anlass $E \geq 1$ mSv, Wechsel zur Bewertung nach Individualverfahren ➤ Sonst Dokumentation der berechneten Dosis, Ende der Bewertung oder nach Absprache weiter im Referenzverfahren mit Schritt 4 (optional)	Evtl. Beiträge früherer bereits erfasster Inkorporationen sind abzuziehen (Kapitel 7.1.3.1). Im Referenzverfahren kann die Dosisberechnung hier abgeschlossen werden. Optional können hierbei in Absprache zwischen zuständiger Behörde, Strahlenschutzverantwortlichem und behördlich bestimmter Messstelle auch die Schritte 4 und 5 zur weiteren Prüfung durchgeführt werden.
Schritt 4 (optional) Ist der Messwert konsistent mit bereits bestehenden Erfahrungen und sind keine Ereignisse mit erhöhtem Inkorporationsrisiko im Überwachungsintervall bekannt?	➤ Wenn die Prüfung negativ ist, Wechsel zur Bewertung nach Individualverfahren ➤ Wenn bei einer aufgabenbezogenen Überwachung die Prüfung positiv ist, Dokumentation der in Schritt 3 berechneten Dosis, Ende der Bewertung ➤ Wenn bei einer regelmäßigen Überwachung die Prüfung positiv ist, weiter mit Schritt 5	Bei Hinweis auf unerwartete Zufuhrereignisse erfolgt die ausführlichere Auswertung nach Individualverfahren. Gibt es keine Hinweise auf unerwartete Zufuhrereignisse, wird unterschieden in regelmäßige Überwachung (weiter zu Schritt 5) und aufgabenbezogene Überwachung (Bewertungsende).
Schritt 5 (optional) Prüfung auf potenzielle Überschreitung der Nachforschungsschwelle im aktuellen Kalenderjahr bei regelmäßiger Überwachung unter Berücksichtigung der Unsicherheiten	➤ Wenn Prüfung nicht auf eine Überschreitung der Nachforschungsschwelle hinweist, Dokumentation der in Schritt 3 berechneten Dosis, Ende der Bewertung ➤ Sonst Wechsel zur Bewertung nach Individualverfahren	Wenn das Ergebnis unter Berücksichtigung der Unsicherheiten auf eine Dosis deutet, bei der bei regelmäßig wiederkehrenden Inkorporationen die Nachforschungsschwelle von 6 mSv im Kalenderjahr überschritten werden kann, ist eine ausführlichere und möglichst fallspezifische Auswertung nach Kapitel 4.2.3 notwendig.

Abbildung 7.1: Vorgehensweise zur Ermittlung der Körperdosis

7.1 Berechnung der effektiven Dosis nach dem Referenzverfahren bei einer Überwachung mit In-vivo- oder In-vitro-Verfahren

7.1.1 Referenzverfahren Schritt 1: Prüfung auf angemessenes Messverfahren

Im ersten Schritt des *Referenzverfahrens* wird geprüft, ob das eingesetzte *Messverfahren* abhängig von Radionuklid und dessen *Absorptionsklasse* bzw. chemischer Form nach Kapitel 3.4 i. V. m. Anhang 6 angemessen ist und korrekt eingesetzt wurde. Bei einer *regelmäßigen Überwachung* wird auch das nach Anhang 6 Spalte 8 je nach Radionuklid vorgegebene *Überwachungsintervall* auf eine Abweichung inklusive der nach Tabelle 3.5 angegebenen zulässigen Toleranzen überprüft (s. a. Kap. 4.2.2). Bei Einhaltung des vorgegebenen *Überwachungsintervalls* wird die Mitte des *Überwachungsintervalls* als Zufuhrzeitpunkt gewählt.

Wurde ein angemessenes *Messverfahren* gewählt und korrekt eingesetzt, wird das *Referenzverfahren* optional mit Schritt 2 fortgesetzt, andernfalls mit Schritt 3.

Zeigt die Prüfung, dass das *Messverfahren* ungeeignet war oder nicht korrekt angewendet wurde, wie z. B. bei einer Abweichung vom vorgegebenen *Überwachungsintervall*, wird die Dosis unter Anwendung von *Individualverfahren* (Kapitel 7.2) ermittelt. Dies trifft insbesondere bei einer Überschreitung des vorgegebenen *Überwachungsintervalls* zu.

Wird eine Unterschreitung des *Überwachungsintervalls* festgestellt, kann von einer Bewertung nach *Individualverfahren* abgesehen und optional in den weiteren Schritten wie bei einer *aufgabenbezogenen Überwachung* vorgegangen werden. In diesem Fall wird für die Dosisberechnung die Mitte des tatsächlichen *Überwachungsintervalls* als Zufuhrzeitpunkt gewählt, wenn sichergestellt ist, dass die Dosis nicht um mehr als einen Faktor drei unterschätzt werden kann (Kapitel 4.2.2).

7.1.2 Referenzverfahren Schritt 2 (optional): Vergleich mit kritischem Wert M_c

In Schritt 2 kann der Messwert optional mit einem *kritischen Wert* M_c verglichen werden, alternativ kann das *Referenzverfahren* direkt mit Schritt 3 fortgesetzt werden.

Der kritische Wert entspricht dem zu erwartenden Messwert für eine Zufuhr in der Mitte des *Überwachungsintervalls* durch Inhalation, die zu einer *effektiven Dosis* von 0,05 mSv bzw., bei *Überwachungsintervallen* von weniger als 30 Tagen, bei wiederkehrenden Zufuhren in einem Monat zu einer *effektiven Dosis* von 0,05 mSv führt. In Anhang 6 sind für die gebräuchlichsten Radionuklide und Überwachungsverfahren und deren jeweilige vorgegebene *Überwachungsintervalle* die kritischen Werte M_c tabelliert. Der kritische Wert kann mit den Gleichungen 7.1 und 7.2 berechnet werden.

Für *Überwachungsintervalle* von mindestens 30 Tagen:

$$M_c = \frac{0,05 \text{ mSv} \cdot m(t)}{e} \quad 7.1$$

Für *Überwachungsintervalle* von weniger als 30 Tagen:

$$M_c = \frac{0,05 \text{ mSv} \cdot m(t)}{e} \cdot \frac{\Delta T}{30 \text{ d}} \quad 7.2$$

mit den Bezeichnungen:

M_c	kritischer Wert in Bq bzw. Bq/d;
e	<i>Dosiskoeffizient</i> für die <i>effektive Dosis</i> hier in mSv/Bq;
$m(t)$	<i>Retention</i> in Bq/Bq bzw. <i>Ausscheidungsrate</i> in (Bq/d)/Bq t Tage nach einer einmaligen Inkorporation von 1 Bq;
t	Zeit zwischen Zufuhr und Messung bzw. Ende der Sammelperiode in Tagen, ²⁴ bei einer Überwachung mit einem <i>Überwachungsintervall</i> ist t die halbe Dauer des <i>Überwachungsintervalls</i> ($\Delta T/2$) in Tagen;
ΔT	<i>Überwachungsintervall</i> in Tagen.

Für Messwerte unterhalb des kritischen Wertes ist keine Dosisberechnung erforderlich, da die Dosiswerte gemäß *Abschneidekriterium* zu null gesetzt werden (s. Kapitel 4.3.5). In diesem Fall endet das *Referenzverfahren* nach diesem Schritt. Der Messwert wird dokumentiert und eine *effektive Dosis* von 0 mSv an das *Strahlenschutzregister* gemeldet. Ist der Messwert gleich oder größer als M_c , wird das *Referenzverfahren* mit einer Dosisberechnung in Schritt 3 fortgesetzt. Für den überwiegenden Teil der in der Praxis zu bewerteten Messungen wird erwartet, dass die Auswertung mit Schritt 2 beendet werden kann.

²⁴ Bei Ausscheidungsmessungen ist bei einer Überwachung ohne vorgegebenes Überwachungsintervall gemäß ICRP-Veröffentlichung 130 [ICRP 15] die Zeit t zwischen Zufuhr und dem Ende der Sammelperiode einer 24-Stunden-Ausscheidung zu wählen. Bei tritiiertem Wasser wird die Zeit t zwischen Zufuhr und dem Zeitpunkt der Probennahme gewählt (s. a. Fußnote 28).

7.1.3 Referenzverfahren Schritt 3: Standarddosisberechnung bei einer Überwachung mit In-vivo- oder In-vitro-Verfahren

In Schritt 3 wird aus dem Messwert mit den *Referenzparametern* (*Zufuhrpfad* Inhalation, *Absorptionsklasse* bzw. chemische Form aus Anhang 6 Spalte 3 in Fettdruck und *AMAD* 5 µm), dem *Dosiskoeffizienten* sowie der *Retention* bzw. der *Ausscheidungsrate*²⁵ (s. Kapitel 4.2.2 und Anhang 7.1 und 7.3) eine Dosis berechnet.²⁶ Die *effektive Dosis* ist aus der *Körperaktivität* bzw. der *Aktivität in den Ausscheidungen* anhand der Gleichung 7.3 zu berechnen.

$$E = \frac{e \cdot M}{m(t)} \quad 7.3$$

mit einer zugeführten Aktivität²⁷

$$I = \frac{M}{m(t)} \quad 7.4$$

mit den Bezeichnungen:

E effektive Dosis in Sv;

e Dosiskoeffizient für die effektive Dosis in Sv/Bq;

M gemessener Wert der Aktivität im Ganz- oder Teilkörper (*Körperaktivität*) in Bq oder Wert der 24-Stunden-Ausscheidung (*Aktivität in den Ausscheidungen*) in Bq/d, zerfallskorrigiert auf das Ende der Sammelperiode (s. a. Fußnoten 24 und 28);

m(t) *Retention* ($m_R(t)$) im Ganz- oder Teilkörper in Bq/Bq oder *Ausscheidungsrate* $m_A(t)$ (mit $m_A(t) = m_U(t)$ für Urin, $m_A(t) = m_S(t)$ für Stuhl) in (Bq/d)/Bq *t* Tage nach einer einmaligen Inkorporation von 1 Bq;

t Zeit zwischen Zufuhr und Messung bzw. Ende der Sammelperiode (s. a. Fußnote 24) in Tagen; bei einer Überwachung mit einem *Überwachungsintervall* (ΔT) ist *t* die halbe Dauer ($\Delta T/2$) des *Überwachungsintervalls* in Tagen;

I zugeführte Aktivität in Bq.

²⁵ Die zugehörigen Standardannahmen und -daten beruhen auf biokinetischen und dosimetrischen Daten, die sowohl den Dosiskoeffizienten für innere berufliche Exposition im Bundesanzeiger [BUND 23] als auch den Daten in den ICRP-Publikationen [ICRP 15, ICRP 16b, ICRP 17, ICRP 19, ICRP 22] zugrunde liegen.

²⁶ Bei Kenntnis von in die Berechnung eingehenden Parametern der Zufuhr (z. B. Zufuhrpfad, Absorptionsklasse oder AMAD) können diese stets in Form des *Individualverfahrens mit Biokinetik des Referenzverfahrens* anstelle der Referenzparameter für die Dosisberechnung verwendet werden (s. a. Kapitel 4.2.3).

²⁷ Zur Abschätzung der effektiven Dosis für das ungeborene Kind entspricht die zugeführte Aktivität *I* aus Gleichung 7.4 der inkorporierten Gesamtaktivität *A* wie in [BUND 22] bezeichnet (s. a. Kapitel 3.7).

Die biokinetischen Daten und Dosiskoeffizienten für relevante Nuklide sind in Anhang 7 tabelliert. Die Tabellenwerte der *Ausscheidungsraten* m_U und m_S gelten – außer für tritiiertes Wasser – für eine Sammelperiode von 24 Stunden.²⁸ Bei anderen Sammelzeiten ist der Wert M aus dem aktuellen Messwert über Umrechnung auf die Tagesausscheidungsmenge herzuleiten. Ist diese ausnahmsweise unbekannt, ist mit einem Standardwert des Volumens des täglich ausgeschiedenen Urins von 1,4 Litern bzw. der Masse des täglich ausgeschiedenen Stuhls von 135 g pro Tag zu rechnen.²⁹ Für eine etwaige Berechnung einer *Organ-Äquivalentdosis* kann Gleichung 7.3 unter Anwendung des *Dosiskoeffizienten* für das Organ analog angewendet werden. Die Besonderheiten bei der Überwachung gebärfähiger Personen und für die Ermittlung der *Organ-Äquivalentdosis der Gebärmutter* werden gesondert in Kapitel 3.6 behandelt.

Liegt die berechnete *effektive Dosis* unter dem *Abschneidekriterium* (von 0,05 mSv bei einem *Überwachungsintervall* von mindestens 30 Tagen bzw. unter 0,05 mSv hochgerechnet auf 30 Tage bei einem Überwachungsintervall von weniger als 30 Tagen), wird sie zu null gesetzt (s. Kapitel 4.3.5). In diesem Fall endet das *Referenzverfahren* nach diesem Schritt. Der Messwert wird dokumentiert und eine *effektive Dosis* von 0,00 mSv an das *Strahlenschutzregister* gemeldet. Dies gilt für alle Arten der personenbezogenen *Inkorporationsüberwachung* (*regelmäßige* und *aufgabenbezogene Überwachung*, *Überwachung aus besonderem Anlass* sowie auch für *Raumluftüberwachung*; s. Kapitel 7.1 und 7.2).

Ergibt bei einer regelmäßigen oder aufgabenbezogenen Überwachung die Berechnung der effektiven Dosis nach Gleichung 7.3, dass durch diese Dosisfeststellung alleine oder als Summe aller Dosisfeststellungen im aktuellen Kalenderjahr die *Nachforschungsschwelle* von 6 mSv überschritten wird (s. Kapitel 4.2.3), dann wird zur Bewertung nach *Individualverfahren* gewechselt. Bei einer *Überwachung aus besonderem Anlass* wird zur Bewertung nach Individualverfahren gewechselt, wenn die effektive Dosis der einzelnen Überwachung einen Wert von 1 mSv überschreitet.

Das Referenzverfahren kann für ermittelte Dosiswerte, die zwischen dem *Abschneidekriterium* und dem Wechsel zur Bewertung nach Individualverfahren (s. o.) liegen, hier abgeschlossen werden. Der Messwert wird dokumentiert, und die mit Gleichung 7.3 berechnete effektive Dosis wird an das *Strahlenschutzregister* gemeldet. Optional können zur weiteren Prüfung im Referenzverfahren in Absprache zwischen zuständiger Behörde, Strahlenschutzverantwortlichen und *behördlich bestimmter Messstelle* zusätzlich die Schritte 4 und 5 durchgeführt werden.

²⁸ Bei tritiiertem Wasser genügt anstelle der 24-Stunden-Ausscheidung eine einmalige Probenahme zur Bestimmung der *Aktivitätskonzentration*.

²⁹ Diese Werte ergeben sich als geschlechtsunspezifische Mittelwerte der Standardwerte des Volumens des täglich ausgeschiedenen Urins (1,6 l für Männer und 1,2 l für Frauen) bzw. der Masse des täglich ausgeschiedenen Stuhls (150 g für Männer und 120 g für Frauen) gemäß ICRP-Veröffentlichungen 89 und 130 [ICRP 02, ICRP 15]. Für Stuhl wird eine Sammelperiode von 3 Tagen empfohlen [ICRP 15, ECRP 18]. Bei einer schwangeren Person kann zur Bestimmung der zugeführten Aktivität von den geschlechtsunspezifischen Mittelwerten für Ausscheidungen abgewichen werden und die Werte für eine Frau angenommen werden.

7.1.3.1 Berücksichtigung vorangegangener Zufuhren

Wenn bei zwei oder mehreren aufeinanderfolgenden Messungen derselben Person eine *Körperaktivität* oder *Aktivität in den Ausscheidungen* festgestellt wird, sind verbleibende Beiträge von festgestellten Aktivitäten vorangegangener Messungen (Vorzufuhren) bei der Dosisberechnung für die aktuelle Messung zu berücksichtigen.

Zuerst ist zu prüfen, ob

$$M_{\text{bereinigt}} = M - \sum_{k=1}^n \frac{M_k \cdot m(\tau_k)}{m(t')} \quad 7.5$$

kleiner als die Erkennungsgrenze der zugrundeliegenden Messung ist, mit

- | | |
|----------|--|
| M | aktuell gemessener Wert der <i>Aktivität</i> im Ganz- oder Teilkörper (<i>Körperaktivität</i>) in Bq oder Wert der 24-Stunden-Ausscheidung (<i>Aktivität in den Ausscheidungen</i>) in Bq/d, zerfallskorrigiert auf das Ende der Sammelperiode; |
| M_k | vorangegangener Messwert der Aktivität im Ganz- oder Teilkörper in Bq oder vorangegangener Wert der 24-Stunden-Ausscheidung in Bq/d, zerfallskorrigiert auf das Ende der Sammelperiode, unter Umständen ebenfalls um frühere Zufuhren korrigiert; Messwerte, die durch diese Korrektur negativ werden, sind zu null zu setzen; |
| k | Anzahl der <i>Überwachungsintervalle</i> , um die der vorangegangene Messwert zurückliegt; |
| n | Anzahl aufeinanderfolgender Messungen, bei denen ein Messwert größer der Erkennungsgrenze gemessen wurde; |
| $m(t)$ | <i>Retention</i> im Ganz- oder Teilkörper in Bq/Bq oder <i>Ausscheidungsrate</i> in (Bq/d)/Bq t Tage nach einer einmaligen Inkorporation; |
| t' | zeitlicher Abstand zwischen der vorangegangenen Messung oder dem Ende der vorangegangenen Sammelperiode und der angenommenen früheren Zufuhr in Tagen; bei einer <i>Überwachung</i> mit einem <i>Überwachungsintervall</i> (ΔT) ist t' die halbe Dauer ($\Delta T/2$) des Überwachungsintervalls in Tagen; |
| τ_k | zeitlicher Abstand zwischen der Messung oder dem Ende der Sammelperiode (s. a. Fußnote 24) und dem bei der Interpretation der vorangegangenen Messung angenommenen Zeitpunkt der zugehörigen <i>Zufuhr</i> in Tagen; bei einer <i>Überwachung</i> mit einem Überwachungsintervall ist $\tau_k = \Delta T/2 \cdot (2k + 1)$, wobei $\Delta T/2$ die halbe Dauer des Überwachungsintervalls (ΔT) ist. |

Wenn dies der Fall ist, wird eine neue Zufuhr ausgeschlossen und der aktuellen Messung die effektive Dosis null zugeordnet. Das *Referenzverfahren* für die Interpretation der Messung endet hier.

Ergibt sich aus der vorherigen Prüfung, dass es sich um eine neue Inkorporation handelt, dann berechnet sich die effektive Dosis nach Gleichung 7.6:

$$E = \frac{e \cdot M_{\text{bereinigt}}}{m(t)} \quad 7.6$$

mit den Bezeichnungen:

E *effektive Dosis* in Sv;

e *Dosiskoeffizient* für die effektive Dosis in Sv/Bq;

t zeitlicher Abstand zwischen der aktuellen Messung oder dem Ende der aktuellen Sammelperiode (s. a. Fußnote 24) und der angenommenen neuen Zufuhr in Tagen, bei einer *Überwachung* mit einem *Überwachungsintervall* (ΔT) ist t die halbe Dauer ($\Delta T/2$) des Überwachungsintervalls (ΔT) in Tagen.

Die Vorzufuhr ist für zukünftige Dosisberechnungen so lange zu berücksichtigen, bis ihr Beitrag zur berechneten effektiven Dosis weniger als 0,05 mSv beträgt oder keine Körperaktivität oder Aktivität in den Ausscheidungen mehr festgestellt wird. Gegebenenfalls sind für eine Dosisberechnung mehrere Vorzufuhren mit ihren jeweiligen Zeiten τ_k seit der Vorzufuhr zu berücksichtigen. Für den Fall einer konstanten chronischen Zufuhr berücksichtigt die Anwendung der Gleichung 7.13 mit den Tabellenwerten aus Anhang 7.2 bereits Zufuhren vor dem aktuellen Überwachungszeitraum (s. Kapitel 7.3.1).

7.1.3.2 Dosisberechnung im Fall eines Nuklidvektors

Wenn im Fall eines *Nuklidvektors* die *Körperaktivität* oder die *Aktivität in den Ausscheidungen* lediglich eines *Leitnuklids* gemessen wird, ist zunächst die zugeführte Aktivität für dieses Leitnuklid zu berechnen:

$$I_{\text{LN}} = \frac{M_{\text{LN}}}{m_{\text{LN}}(t)} \quad 7.7$$

mit den Bezeichnungen:

- I_{LN} zugeführte Aktivität des Leitnuklids in Bq;
- M_{LN} gemessener Wert der Aktivität im Ganz- oder Teilkörper (*Körperaktivität*) in Bq oder Wert der 24-Stunden-Ausscheidung (*Aktivität in den Ausscheidungen*) in Bq/d, zerfallskorrigiert auf das Ende der Sammelperiode, jeweils für das Leitnuklid;
- $m_{\text{LN}}(t)$ *Retention* ($m_R(t)$) im Ganz- oder Teilkörper in Bq/Bq oder *Ausscheidungsrate* $m_A(t)$ (mit $m_A(t) = m_U(t)$ für Urin, $m_A(t) = m_S(t)$ für Stuhl) in (Bq/d)/Bq t Tage nach einer einmaligen Inkorporation von 1 Bq, jeweils für das Leitnuklid;
- t Zeit zwischen Zufuhr und Messung bzw. Ende der Sammelperiode in Tagen; bei einer Überwachung mit einem *Überwachungsintervall* (ΔT) ist t die halbe Dauer ($\Delta T/2$) des Überwachungsintervalls in Tagen.

Dann sind entsprechend der angenommenen Aktivitätsverhältnisse im Nuklidvektor die zugeführten Aktivitäten der anderen Radionuklide zu berechnen. Die effektive Dosis ergibt sich zu:

$$E = \sum_j e_j \cdot I_j = I_{\text{LN}} \cdot \sum_j e_j \cdot N_j \quad 7.8$$

mit den Bezeichnungen:

- E effektive Dosis in Sv;
- e_j *Dosiskoeffizient* für die effektive Dosis in Sv/Bq, für das j -te Radionuklid im Nuklidvektor;
- I_j berechnete zugeführte Aktivität in Bq für das j -te Radionuklid im Nuklidvektor;
- N_j Aktivitätsverhältnis des j -ten Radionuklids im Nuklidvektor in Bq pro 1 Bq des Leitnuklids;
- j Index der einzelnen Radionuklide im Nuklidvektor (Leitnuklid und andere Nuklide).

Falls die *Körperaktivitäten* oder die *Aktivitäten in den Ausscheidungen* für mehrere Leitnuklide gemessen werden, soll das Verhältnis der daraus berechneten zugeführten Aktivitäten dazu genutzt werden, die Gültigkeit der Annahmen über die Aktivitätsverhältnisse im Nuklidvektor zu überprüfen. Wenn die Annahmen bestätigt werden, kann die Berechnung der zugeführten Aktivitäten der anderen Nuklide im Nuklidvektor vom Mittelwert der zugeführten Aktivitäten der Leitnuklide ausgehen. Wenn die Annahmen nicht bestätigt werden, ist der Nuklidvektor zu überprüfen.

7.1.3.3 Berechnung nicht tabellierter Retentionswerte und Ausscheidungsraten durch Interpolation

Wird für die Interpretation eines Messwertes ein nicht tabellierter Wert einer *Retention* oder *Ausscheidungsrate* benötigt, so wird dieser aus den benachbarten Tabellenwerten der Anhänge 7.1 bzw. 7.2 durch halblogarithmische Interpolation berechnet. Die Gleichung 7.9 i. V. m. Gleichung 7.10 zeigt das Verfahren beispielhaft für die *Retention*:

$$m(t) = m(t_1) \cdot e^{-\lambda(t-t_1)} \quad 7.9$$

mit

$$\lambda = \frac{\ln m(t_1) - \ln m(t_2)}{t_2 - t_1} \quad 7.10$$

und den Bezeichnungen:

- $m(t)$ *Retention* im Ganz- oder Teilkörper in Bq/Bq oder *Ausscheidungsrate* in (Bq/d)/Bq t Tage nach einer einmaligen *Inkorporation*;
- t Zeitpunkt, für den der Wert der *Retention* oder *Ausscheidungsrate* benötigt wird, in Tagen; (s. a. Fußnote 24);
- t_1, t_2 zu t benachbarte Zeitpunkte, für die Tabellenwerte vorliegen: $t_1 < t < t_2$ in Tagen.

7.1.4 Referenzverfahren Schritt 4 (optional): Ausschluss unerwarteter Zufuhrereignisse

In Absprache zwischen zuständiger Behörde, Strahlenschutzverantwortlichem und *behördlich bestimmter Messstelle* können zur weiteren Prüfung Schritt 4 und, wenn es weiterhin erforderlich ist, auch Schritt 5 durchgeführt werden. In Schritt 4 wird geprüft, ob unerwartete Zufuhrereignisse ausgeschlossen werden können. Ein unerwartet hoher Messwert kann auf Abweichungen von stabilen Bedingungen am Arbeitsplatz hinweisen. Bei der Planung des Überwachungsprogramms sollten Kriterien definiert werden, anhand derer abweichende Messwerte identifiziert werden können. Dieses kann z. B. durch Vergleich der Überwachungsergebnisse für Personen mit vergleichbaren Expositionsbedingungen geschehen.

Im Fall einer unerwarteten *Exposition* sollten weitere Messungen veranlasst werden und die Bewertung des Messwertes mit *Individualverfahren* (s. Kapitel 7.3) erfolgen. Hier können zusätzliche Informationen über das Ereignis berücksichtigt werden.

Bei Ausschluss einer unerwarteten Exposition wird beim weiteren Vorgehen nach Art der Überwachung unterschieden. Bei einer *aufgabenbezogenen Überwachung* wird die Bewertung hier abgeschlossen, die *effektive Dosis* aus Schritt 3 dokumentiert und an das *Strahlenschutzregister* gemeldet. Bei einer *regelmäßigen Überwachung* wird das *Referenzverfahren* mit Schritt 5 fortgesetzt.

7.1.5 Referenzverfahren Schritt 5 (optional): Prüfung auf potenzielle Überschreitung der Nachforschungsschwelle im Kalenderjahr unter Berücksichtigung der Unsicherheiten

In Schritt 5 des *Referenzverfahrens* bei einer *regelmäßigen Überwachung* wird geprüft, ob unter Berücksichtigung der Unsicherheiten und einer konservativen Annahme zum Zufuhrzeitpunkt die *Nachforschungsschwelle* von 6 mSv durch alle Messungen im Kalenderjahr voraussichtlich überschritten werden kann. Diese Prüfung ist sinnvoll, um bereits beim Vorliegen eines verhältnismäßig großen Anteils an der *Nachforschungsschwelle* die für die Anwendung von *Individualverfahren* erforderlichen Informationen zu erheben, anstatt das nach einer späteren Überschreitung der *Nachforschungsschwelle* nachzuholen. Bei dieser Prüfung wird für den Zufuhrzeitpunkt als ungünstigsten Fall der Beginn des *Überwachungsintervalls* unterstellt. Die Prüfung geschieht unter Anwendung der Bedingung $E < 6 \text{ mSv}$ mit der Gleichung 7.11:

$$E = \frac{M \cdot e \cdot SF^2 \cdot n}{m(\Delta T)} \quad 7.11$$

mit den Bezeichnungen:

E	<i>effektive Dosis</i> in Sv
M	gemessener Wert der <i>Aktivität</i> im Ganz- oder Teilkörper (Körperaktivität) in Bq oder Wert der 24-Stunden-Ausscheidung (<i>Aktivität in den Ausscheidungen</i>) in Bq/d, zerfallskorrigiert auf das Ende der Sammelperiode;
e	<i>Dosiskoeffizient</i> für die <i>effektive Dosis</i> in Sv/Bq;
n	Anzahl der <i>Überwachungsintervalle</i> in einem Kalenderjahr (entspricht 365 d/ ΔT);
$m(\Delta T)$	<i>Retention</i> im Ganz- oder Teilkörper in Bq/Bq oder <i>Ausscheidungsrate</i> in (Bq/d)/Bq t Tage nach einer einmaligen Inkorporation für das Überwachungsintervall ΔT ;
SF	<i>Streufaktor</i> für die eingesetzte Messung (respektive das eingesetzte Messverfahren).

Repräsentative Werte für die Streufaktoren sind in Tabelle 7.2 zusammengestellt.³⁰ Haben die Messstellen für die eigenen Verfahren und Messungen Werte der Streufaktoren bestimmt, sind diese in Gleichung 7.11 einzusetzen.

³⁰ Die repräsentativen Werte für Streufaktoren der Tabelle 7.2 sind angelehnt an Tabelle F.1 aus EC RP188 [ECRP 18]).

Tabelle 7.2: Repräsentative Werte für Streufaktoren SF

Art der Messung		Streufaktor (SF)
In-vivo	Niederenergetische Photonen (< 20 keV)	2,3
	Mittelenergetische Photonen	1,4
	Hochenergetische Photonen (> 100 keV)	1,2
Urin	24-Stunden-Probe	1,1
	Simulierte 24-Stunden-Probe (hochgerechnet)	1,6 (1,3-1,8)
	Einmalige Probe	2,0
Stuhl	24-Stunden-Probe	3,0 (2,0-4,0)
	72-Stunden-Probe	1,9 (1,5-2,2)

Wird anhand von Gleichung 7.11 gezeigt, dass eine *effektive Dosis* von 6 mSv im Kalenderjahr mit großer Konfidenz nicht überschritten wird, kann die in Schritt 3 berechnete *effektive Dosis* dokumentiert und an das *Strahlenschutzregister* gemeldet werden. Die nach Gleichung 7.11 berechnete Dosis wird nicht gemeldet. Das *Referenzverfahren* endet hier. Die Vorschrift aus Kapitel 4.2.3, bei einer Überschreitung der *Nachforschungsschwelle* durch die Summe aller Dosisfeststellungen des Kalenderjahres alle bisherigen und zukünftigen Messungen des Kalenderjahres nach einem *Individualverfahren* zu bewerten, bleibt hiervon unberührt.

Ansonsten wird die Dosisberechnung unter Anwendung von *Individualverfahren*, in denen Zusatzinformationen berücksichtigt werden können, fortgesetzt (s. Kapitel 7.3).

7.2 Berechnung der effektiven Dosis nach dem Referenzverfahren bei Raumlufüberwachung

Liegen Messwerte der *Aktivitätskonzentration* der Raumluf oberhalb der *Erkennungsgrenze* vor, die repräsentativ für die eingeatmete Luft sind, so ist die *effektive Dosis* aus der Aktivitätskonzentration der eingeatmeten Luft, der Atemrate und der Aufenthaltsdauer gemäß der Gleichung 7.12 zu berechnen. Für das *Referenzverfahren der Raumlufüberwachung* werden die tabellierten *Referenzparameter* der *Dosiskoeffizienten* für das überwachte Radionuklid aus Anhang 7.3 bei inhalierter Aktivität (für Aerosole $AMAD = 5 \mu m$) und der Standardwert für die Atemrate von $1,2 m^3/h$ verwendet.³¹

$$E = e \cdot C \cdot B \cdot T \quad 7.12$$

mit den Bezeichnungen:

E	<i>effektive Dosis</i> in Sv;
e	<i>Dosiskoeffizient</i> für die <i>effektive Dosis</i> in Sv/Bq;
C	mittlere repräsentative Aktivitätskonzentration der Raumluf in Bq/m ³ ;
B	Atemrate in m ³ /h;
T	Aufenthaltsdauer im Auswerteintervall in h.

Dabei sind folgende Auswerteintervalle für die Dosisermittlungen einzuhalten:

- Radionuklide mit physikalischer Halbwertszeit ≤ 10 Tage: maximal 7 d,
- Radionuklide mit physikalischer Halbwertszeit > 10 bis ≤ 100 Tage: maximal 90 d,
- Radionuklide mit physikalischer Halbwertszeit > 100 Tage: maximal 180 d.

Dadurch wird bei integrierenden Filtermesssystemen gewährleistet, dass noch ausreichend viel Aktivität auf dem Filter für eine Auswertung vorhanden ist. Bei kontinuierlich arbeitenden Messsystemen ermöglicht diese Festlegung eine zeitnahe Veranlassung weiterer Maßnahmen, die unter Umständen für die personenbezogene Dosisermittlung erforderlich sind. Nach *Vorkommnissen* muss die Auswertung unverzüglich erfolgen.

Der Messwert für die mittlere repräsentative Aktivitätskonzentration der Raumluf wird dokumentiert und die mit Gleichung 7.12 berechnete *effektive Dosis* an das *Strahlenschutzregister* gemeldet.

Für eine etwaige Berechnung einer Organ-Äquivalentdosis kann Gleichung 7.12 unter Anwendung des Dosiskoeffizienten für das Organ analog angewendet werden. Die Besonderheiten bei der Überwachung gebärfähiger Personen und für die Ermittlung der Organ-Äquivalentdosis der Gebärmutter werden gesondert in Kapitel 3.6 behandelt.

³¹ Atemrate für einen Standardarbeiter gemäß ICRP-Veröffentlichung 130 [ICRP 15].

7.3 Berechnung der effektiven Dosis unter Anwendung von Individualverfahren bei einer Überwachung mit In-vivo- oder In-vitro-Verfahren

Ergibt die Berechnung der Körperdosis nach Gleichung 7.3 des Referenzverfahrens bei einer Überwachung mit In-vivo- oder In-vitro-Verfahren eine Überschreitung der Nachforschungsschwelle bei regelmäßiger Überwachung bzw. aufgabenbezogener Überwachung oder eine Überschreitung von 1 mSv bei einer Überwachung aus besonderem Anlass, wird das Referenzverfahren durch Individualverfahren ersetzt (s. Kapitel 4.2.3). Wird die Nachforschungsschwelle für regelmäßige und aufgabenbezogene Überwachung im Laufe des Kalenderjahrs überschritten, ist eine fallspezifische Auswertung aller Inkorporationsmessungen im aktuellen Kalenderjahr mit *Individualverfahren* erforderlich. Zusätzlich kann auch bei der Überprüfung der Dosisberechnung nach Referenzverfahren in Kapitel 7.1 die Anwendung von Individualverfahren gefordert werden.

7.3.1 Individualverfahren mit Biokinetik des Referenzverfahrens unter Verwendung von Zusatzinformationen

Bei der Durchführung des *Individualverfahrens mit Biokinetik des Referenzverfahrens* sind die im *Referenzverfahren* verwendeten *Referenzparameter* individuell auf die Expositionsbedingungen durch zutreffendere Daten und Annahmen zu modifizieren. Bei der Verwendung von Zusatzinformationen sind in der Regel folgende Aspekte vorrangig zu berücksichtigen:

- Zeitpunkt (einmalig) oder Zeitraum (chronisch) der *Zufuhr*,
- *Zufuhrpfad*,
- *Absorptionsklasse*,
- Berücksichtigung nicht beruflich bedingter Zufuhren,
- AMAD.

Ist anstelle von oder zusätzlich zu einer Zufuhr durch Inhalation von den *Zufuhrpfaden* Ingestion oder Zufuhr über eine Wunde auszugehen, so sind in Gleichung 7.3 die *Retentionen* und *Ausscheidungsraten* für Ingestion und Injektion aus Anhang 7.1 bzw. 7.2 zu verwenden. Im Falle einer Zufuhr über eine Wunde ist dabei zu beachten, dass diese Werte nur den löslichen Teil der Aktivität, der schnell ins Blut übergeht, erfassen, nicht aber den Teil der Aktivität, der längere Zeit in oder bei der Wunde verbleibt.

Kann bei Inhalation von einem von 5 μm abweichenden Wert des AMAD ausgegangen werden, so sind bei der Dosisberechnung entsprechende Tabellenwerte zu verwenden. In den Anhängen 7.1 und 7.2 sind Retentionswerte und Ausscheidungsraten für AMAD = 0,3 μm , 1 μm , 5 μm und 10 μm angegeben. Dabei sind die Zuordnung wie in Tabelle 7.3 angegeben und die korrekten zugehörigen *Dosiskoeffizienten* (s. a. Anhang 7.3) zu verwenden.

Tabelle 7.3: Zuordnung von Aerosolgrößen zu tabellierten AMAD-Werten

Angenommener AMAD in μm	Zu verwendender AMAD in μm
$\text{AMAD} \leq 0,5$	0,3
$0,5 < \text{AMAD} < 3$	1
$3 \leq \text{AMAD} < 7$	5
$7 \leq \text{AMAD}$	10

Kann während des gesamten Expositionszeitraumes eine chronische Zufuhr mit konstanter Zufuhr rate angenommen werden, so sind analog zum Referenzverfahren die aus der zugeführten Aktivität im Zeitintervall ΔT_c resultierenden Werte der effektiven Dosis entsprechend der Gleichung 7.13 zu bestimmen. Im Allgemeinen ist ΔT_c der Zeitraum zwischen der vorhergehenden und der aktuellen Messung.

$$E = \frac{e \cdot M \cdot \Delta T_c}{m'(t_{\text{exp}})} \quad 7.13$$

mit den Bezeichnungen:

E effektive Dosis in Sv;

e Dosiskoeffizient für die effektive Dosis in Sv/Bq;

M gemessener Wert der Aktivität im Ganz- oder Teilkörper (*Körperaktivität*) in Bq oder Wert der 24-Stunden-Ausscheidung (*Aktivität in den Ausscheidungen*) in Bq/d, zerfallskorrigiert auf das Ende der Sammelperiode;

$m'(t)$ Retention (in Bq/(Bq/d) oder Ausscheidungsrate (in (Bq/d)/(Bq/d) t Tage nach Beginn einer chronischen Zufuhr pro täglich inkorporierter Aktivität von 1 Bq (Anhang 7.2);

t_{exp} Expositionsdauer; d. h. Zeit zwischen Zufuhr und Messung bzw. Ende der Sammelperiode²⁴ in Tagen;

ΔT_c Zeitintervall, für das die gesamte zugeführte Aktivität bestimmt wird, in Tagen.

Im Anhang 7.2 sind die Werte der Retentionen und der Ausscheidungsraten für konstante chronische Zufuhren zusammengestellt. Die Tabellenwerte der Ausscheidungsraten gelten für eine Sammelperiode von 24 Stunden.

Nach Abschluss des Individualverfahrens mit Biokinetik des Referenzverfahrens wird der Messwert dokumentiert und die unter Verwendung von Zusatzinformationen berechnete effektive Dosis an das *Strahlenschutzregister* gemeldet.

7.3.2 Individualverfahren bei Grenzwertüberschreitung

Ist nach Durchführung der in Kapitel 7.3.1 beschriebenen Dosisberechnung der zutreffende Grenzwert (s. Kapitel 4.3.4) der effektiven Dosis überschritten, ist ggf. durch geeignete zusätzliche Messungen (Folgemessungen), unter Umständen auch anderer Überwachungsverfahren, zu prüfen, ob die Biokinetik des Radionuklids für die betroffene Person ausreichend gut durch die in den Anhängen 7.1 bzw. 7.2 tabellierten Retentions- oder Ausscheidungsdaten beschrieben wird.

Dies ist in der Regel der Fall, wenn

- die aus mehreren einzelnen Messwerten mit Hilfe der Tabellenwerte ermittelten effektiven Dosen von ihrem Mittelwert jeweils um nicht mehr als 50 Prozent abweichen und
- bei Vorliegen von Ergebnissen unterschiedlicher *Überwachungsverfahren* die daraus abgeleiteten mittleren effektiven Dosiswerte der einzelnen Verfahren um nicht mehr als 50 Prozent von dem Mittelwert aller Verfahren abweichen.

Werden keine derartigen Abweichungen festgestellt, so ist der Mittelwert der aus den Folgemessungen bzw. der aus unterschiedlichen Überwachungsverfahren bestimmten Dosiswerte zusammen mit den zugrunde liegenden Annahmen aufzuzeichnen und nach Abschluss der Dosisfeststellung dieser Inkorporation als *Individualverfahren mit Biokinetik des Referenzverfahrens* dem *Strahlenschutzregister* zu melden.

Anderenfalls ist für eine reine Überwachung mit In-vivo- oder In-vitro-Verfahren als nächstes zu prüfen, ob das in Kapitel 7.3.2.1 beschriebene Individualverfahren nach dem Integrationsverfahren anwendbar ist.

Ist dieses nicht anwendbar, dann ist zu prüfen, ob das biokinetische Modell auf Grund der vorliegenden und eventuell zusätzlich zu erhebenden Messwerte modifiziert werden muss (*Individualverfahren mit modifiziertem biokinetischem Modell*; s. Kapitel 7.3.2.2).

Bei Abweichungen für Ergebnisse unterschiedlicher *Überwachungsverfahren* und wenn gleichzeitig keine der genannten Möglichkeiten, die Ergebnisse zueinander in Übereinstimmung zu bringen, besteht, soll eine Priorisierung der Überwachungsverfahren gemäß ICRP-Veröffentlichung 130 Absatz 227 [ICRP 15] vorgenommen werden. Dort wird empfohlen, dass, falls Ergebnisse verschiedener Methoden mit ausreichender Empfindlichkeit zur Verfügung stehen, Körperaktivitätsmessungen vor Ausscheidungsmessungen und dann vor Raumluftaktivitätsmessungen aufgrund der Genauigkeit der Interpretation vorrangig zu nutzen sind.

7.3.2.1 Individualverfahren nach dem Integrationsverfahren

Beim Integrationsverfahren werden aus über einen längeren Zeitraum gemessenen Aktivitätswerten durch Integration die in diesem Zeitintervall stattfindenden Kernumwandlungen (kumulierte Aktivität) im Ganzkörper und daraus die Dosis für dieses Zeitintervall berechnet. Dieses Verfahren ist unabhängig vom *Zufuhrpfad* und zeitlichen Verlauf der Zufuhr (Inhalation, Ingestion, einmalig oder chronisch) durchführbar und benötigt in der Regel keine oder nur wenige Annahmen zum biokinetischen Verhalten des Radionuklids im Organismus.

Das Integrationsverfahren kann insbesondere angewendet werden, wenn

- die Radionuklidverteilung annähernd homogen im Ganzkörper vorliegt oder
- die Beiträge von radioaktiven Tochternukliden vernachlässigbar klein sind oder diese Tochternuklide im Körper im Aktivitätsgleichgewicht mit dem Mutternuklid stehen,
- die Messungen der *Körperaktivität* oder der *Aktivität in den Ausscheidungen* ausreichend oft und dicht hintereinander erfolgt sind und
- die Dosisbeiträge in den Zeiträumen vor dem ersten und nach dem letzten Messzeitpunkt vernachlässigbar klein sind oder hinreichend zuverlässig abgeschätzt werden können.

Die *effektive Dosis* wird gemäß Gleichung 7.14 aus dem zeitlichen Verlauf der Aktivität im Ganzkörper wie folgt berechnet:

$$E = SEE^*(\text{effektiv} \leftarrow \text{Ganzkörper}) \cdot \int_{t_A}^{t_E} A_{\text{Ganzkörper}}(t) dt \quad 7.14$$

mit den Bezeichnungen:

t_A, t_E	Beginn bzw. Ende des Zeitraumes in Tagen, für den eine Dosis zu ermitteln ist;
$A_{\text{Ganzkörper}}(t)$	Zeitverlauf der Aktivität im Ganzkörper in Bq;
E	effektive Dosis in Sv;
$SEE^*(\text{effektiv} \leftarrow \text{Ganzkörper})$	spezifische effektive Energie in Sv für die effektive Dosis je Kernumwandlung (Bq · s) im Ganzkörper.

In der Regel bedeuten die genannten Kriterien, dass sich das Integrationsverfahren nach obigen Beispielen auf Radionuklide beschränkt, die durch direkte Messungen (*Ganzkörpermessungen*) erfasst werden können. Für einzelne inkorporierte Stoffe, wie z. B. tritiiertes Wasser,³² kann jedoch direkt aus der *Aktivitätskonzentration* im Urin auf diejenige im Gesamtkörper geschlossen werden; für diese ist das Integrationsverfahren daher ebenfalls geeignet. Werte der spezifischen effektiven Energie (*SEE**-Werte) für

³² Nach ICRP-Veröffentlichung 89 [ICRP 02] beträgt der Gesamtwassergehalt im Körper 73 % des fettfreien Körpergewichts (Lean Body Mass). Bei einem Standardkörpergewicht von 73 kg, von dem ein abgeschätzter Fettanteil von 14,6 kg abgezogen werden kann, kann man einen Gesamtkörperwassergehalt von 43 L annehmen.

Radionuklide, für die das Integrationsverfahren angewendet werden kann, sind in Anhang 7.4 angegeben.

Darüber hinaus kann das Integrationsverfahren angewendet werden, indem aus wiederholt gemessenen Werten der Aktivität im Ganzkörper, in Organen oder in den Ausscheidungen der Zeitverlauf der Aktivitätsverteilung in einzelnen Organen und Geweben berechnet und durch Anwendung umfangreicher tabellierter Werte der spezifischen effektiven Energie (SEE^* -Werte) die *Körperdosis* berechnet wird [ICRP 16a]. Für die Durchführung der Berechnung ist die Anwendung spezialisierter Software zur inneren Dosimetrie sinnvoll. Dieses Vorgehen soll mit der *Leitstelle Inkorporationsüberwachung* abgestimmt werden.

Die für das Integrationsverfahren erforderlichen SEE^* -Werte für die Berechnung der effektiven Dosis sind für ausgewählte geeignete Radionuklide und Messverfahren im Anhang 7.4 aufgeführt.

Zur Integration der im Ganzkörper zum Zeitpunkt t vorhandenen Aktivität können die zum Zeitpunkt t_p gemessenen Aktivitätswerte $M_{\text{Ganzkörper}, p}$ näherungsweise mittels der Trapezformel verwendet werden, wie es in Gleichung 7.15 beschrieben ist:

$$\int_{t_A}^{t_E} A_{\text{Ganzkörper}}(t) dt = \frac{b}{2} \cdot \sum_{p=0}^{N-1} (M_{\text{Ganzkörper}, p} + M_{\text{Ganzkörper}, p+1}) \cdot (t_{p+1} - t_p)$$

7.15

mit den Bezeichnungen:

t_A, t_E	Beginn bzw. Ende des Zeitraumes in Tagen, für den eine Dosis zu ermitteln ist;
$A_{\text{Ganzkörper}}(t)$	Zeitverlauf der Aktivität im Ganzkörper in Bq;
$M_{\text{Ganzkörper}, p}$	gemessene Aktivität im Ganzkörper zum Zeitpunkt t_p in Bq;
t_p	Zeitpunkte der Messungen in Tagen, $t_0 = t_A, t_N = t_E$;
b	Umrechnungsfaktor: 86400 s/d;
N	Anzahl der Messungen.

7.3.2.2 Individualverfahren mit modifiziertem biokinetischem Modell

Kommt es bei der Dosisberechnung aus mehreren Messungen bzw. Ausscheidungsproben zu größeren Abweichungen der individuellen *Biokinetik* der betroffenen Person von den in den Anhängen 7.1 und 7.2 tabellierten Biokinetikdaten (s. Kapitel 7.3.2), dann ist zu prüfen, ob das biokinetische Modell auf Grund der vorliegenden und eventuell zusätzlich zu erhebender Messwerte modifiziert werden muss. Wurden Maßnahmen zur Ausscheidungsintensivierung ergriffen, müssen deren Einflüsse auf die Biokinetik und Dosis ebenfalls durch eine Modellanpassung berücksichtigt werden (*Individualverfahren mit modifiziertem biokinetischem Modell*).

7.4 Berechnung der effektiven Dosis unter Anwendung des Individualverfahrens der Raumlufüberwachung unter Verwendung von Zusatzinformationen

Ergibt die Berechnung der *Körperdosis* nach Gleichung 7.12 des *Referenzverfahrens der Raumlufüberwachung*, dass die *effektive Dosis* von 6 mSv einmalig oder im Laufe des Kalenderjahrs überschritten wurde, ist eine fallspezifische Auswertung aller Inkorporationsmessungen im aktuellen Kalenderjahr mit *Individualverfahren der Raumlufüberwachung* notwendig. Hierbei werden die verwendeten Referenzparameter und Standardwerte individuell auf die Expositionsbedingungen durch zutreffendere Daten und Annahmen modifiziert. Dies trifft auf die *Absorptionsklasse*, die chemische Form und den AMAD des Radionuklids zur Auswahl des *Dosiskoeffizienten* nach Anhang 7.3 und auf die tatsächliche Aufenthaltsdauer im Auswerteintervall bei der Raumlufüberwachung zu. Zusätzlich kann auch der Standardwert für die Atemrate an die tatsächlichen Arbeitsverhältnisse angepasst werden.³³

Wurden zusätzlich zur Raumlufüberwachung weitere ergänzende *Überwachungsverfahren* durchgeführt (s. Kapitel 3.4), wird nach Kapitel 7.3.2 vorgegangen. Verifizierende Messungen sind hiervon explizit ausgenommen; diese sind ausschließlich zur Überprüfung der Repräsentativität der mit Raumlufüberwachung überwachten Personen und nicht zur Dosisberechnung vorgesehen (s. Kapitel 3.3.2).

³³ An die Arbeitsverhältnisse angepasste Werte der Atemrate finden sich in ICRP-Veröffentlichung 130 [ICRP 15].

8. Schriftenverzeichnis

Die Publikationen sind gültig in ihrer jeweils aktuellen Fassung.

- BUND 22 Bekanntmachung der Dosiskoeffizienten zur Berechnung der Strahlenexposition für das ungeborene Kind nach Inkorporation von Radionukliden durch die Mutter, BAnz AT 04.07.2022 B13
- BUND 23 Dosiskoeffizienten bei innerer beruflicher Exposition, BAnz AT 10.05.2023 B7
- DIN 08 Chemische Analytik – Nachweis-, Erfassungs- und Bestimmungsgrenze unter Wiederholbedingungen - Begriffe, Verfahren, Auswertung, DIN 32645
- DIN 15 Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen (ISO 9001), DIN EN ISO 9001
- DIN 18 Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025), DIN EN ISO/IEC 17025
- DIN 20 Strahlenschutz – Überwachung und interne Dosimetrie für Beschäftigte, die durch medizinisch genutzte Radionuklide aus offenen Quellen exponiert wurden (ISO 16637), Deutsche Fassung DIN EN ISO 16637
- DIN 22 Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen –Teil 2: Grundlegende Methode für die Ermittlung der Wiederhol- und Vergleichpräzision eines vereinheitlichten Messverfahrens, DIN ISO 5725-2
- DIN 21a Radionuklidlaboratorien – Teil 1: Regeln für die Auslegung, DIN 25425-1
- DIN 21b Bestimmung der charakteristischen Grenzen (Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze und Grenzen des Überdeckungsintervalls) bei Messungen ionisierender Strahlung – Grundlagen und Anwendungen – Teil 1: Elementare Anwendungen (ISO 11929), DIN EN ISO 11929-1
- DIN 21c Bestimmung der charakteristischen Grenzen (Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze und Grenzen des Überdeckungsintervalls) bei Messungen ionisierender Strahlung – Grundlagen und Anwendungen – Teil 2: Fortgeschrittene Anwendungen (ISO 11929-2:2019), DIN EN ISO 11929-2
- DIN 25 DIN EN ISO 20553:2025, Strahlenschutz – Überwachung von beruflich strahlenexponierten Personen, bei denen ein Risiko der Kontamination mit radioaktiven Stoffen besteht. International Organization for Standardization, Genf, Schweiz
- ECRP 18 European Commission, Directorate-General for Energy, Technical recommendations for monitoring individuals for occupational intakes of radionuclides, Publications Office, 2018, <https://data.europa.eu/doi/10.2833/393101>
- GMBL 09 Empfehlung für die Anwendung der Richtlinie zur Inkorporationsüberwachung in der Nuklearmedizin, Rundschreiben des BMU im Gemeinsamen Ministerialblatt vom 05. Januar 2009 – RS II 3 – 15560/1 (GMBL 2009, Nr. 12-14, S. 266)

- GMBL 16 Strahlenschutzmaßnahmen bei der Anwendung von Xofigo, Rundschreiben des BMUB im Gemeinsamen Ministerialblatt vom 18. Dezember 2015 – RS II 3 – 15260/3 (GMBL 2016, Nr. 8, S. 177)
- GMBL 19 Strahlenschutzmaßnahmen bei der Herstellung und Anwendung von ^{227}Th -Radioimmunokonjugaten, Rundschreiben des BMU im Gemeinsamen Ministerialblatt vom 21. Dezember 2018 – S II 3 – 15260/3 (GMBL 2019, Nr. 02-03, S. 46)
- DGUV 20 Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“ der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung
- HAP 17 Happel C, Bockisch B, Kratzel U, Grünwald F, Kranert WT (2017) Five Years of Incorporation Monitoring on an ^{131}I Therapy Ward – Is Incorporation Monitoring Required for Routine? Reports in Thyroid Research 1:1-7
- IAEA 99 IAEA Safety Standards Series No. RS-G-1.2, Assessment of Occupational Exposure Due to Intakes of Radionuclides, 1999; ersetzt durch IAEA 18
- IAEA 18 IAEA Safety Standards for protecting people and the environment No. GSG-7, Occupational Radiation Protection, 2018
- ICRP 01 ICRP, 2001. Doses to the Embryo and Fetus from Intakes of Radionuclides by the Mother. ICRP Publication 88. Ann. ICRP 31 (1-3)
- ICRP 02 ICRP, 2002. Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection: Reference Values. ICRP Publication 89. Ann. ICRP 32 (3-4)
- ICRP 15 ICRP, 2015. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 1. ICRP Publication 130. Ann. ICRP 44 (2)
- ICRP 16a The ICRP Computational Framework for Internal Dose Assessment for Reference Adults: Specific Absorbed Fractions, ICRP Publication 133. Ann. ICRP 45 (2), 1–74
- ICRP 16b ICRP, 2016. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 2. ICRP Publication 134. Ann. ICRP 45 (3/4)
- ICRP 17 ICRP, 2017. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3. ICRP Publication 137. Ann. ICRP 46 (3/4)
- ICRP 19 ICRP, 2019. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 4. ICRP Publication 141. Ann. ICRP 48 (2/3)
- ICRP 22 ICRP, 2022. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 5. ICRP Publication 151. Ann. ICRP 51 (1-2)
- IDEAS 13 IDEAS Guidelines (Version 2) for the Estimation of Committed Doses from Incorporation Monitoring Data, Work of Task 7.1 “Update of IDEAS Guidelines and Databases” of EURADOS WG7 “Internal Dosimetry”, EURADOS Report 2013-01 ISBN 978-3-943701-03-6
- ISO 08 ISO/IEC Guide 98-3:2008, Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995). International Organization for Standardization, Genf, Schweiz

- ISO 11 ISO 27048:2011, Radiation protection – Dose assessment for the monitoring of workers for internal radiation exposure. International Organization for Standardization, Genf, Schweiz
- ISO 23 Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen – Teil 1: Allgemeine Grundlagen und Begriffe, ISO 5725-1:2023-07
- KTA 22 KTA 1502 Überwachung der Aktivitätskonzentrationen radioaktiver Stoffe in der Raumluf von Kernkraftwerken, Fassung 2022-11
- SSG 17 Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz – StrlSchG) vom 27. Juni 2017 (Bundesgesetzblatt Jahrgang 2017 Teil I Nr. 42 S. 1966)
- SSV 18 Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlung (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) vom 29. November 2018 (Bundesgesetzblatt Jahrgang 2018 Teil I Nr. 41 S. 2034, 2036; 2021 Teil I Nr. 86 S. 5261)
- WAN 22 Wanke C, Szermerski B, Geworski L (2022) Inkorporationsüberwachung des Personals einer nuklearmedizinischen Therapiestation mit Einsatz von I-131 und Lu-177. Nuklearmedizin 61:333-338. doi:10.1055/a-1759-1940

9. Glossar

Für die Anwendung dieser Richtlinie gelten die folgenden Begriffe und Größen:

Abschneidekriterium

Wert, unter dem eine berechnete *effektive Dosis* oder eine *Organ-Äquivalentdosis der Gebärmutter* zu 0 mSv gesetzt wird und dem *Strahlenschutzregister des Bundesamtes für Strahlenschutz* als 0 mSv gemeldet wird.

Absorptionsklasse

Einteilung von Stoffen entsprechend der Raten ihrer Absorption vom Atemtrakt ins Blut [ICRP 15]. Es gibt die Absorptionsklassen:

- V (very fast – sehr schnelle Absorption, nur für bestimmte Gase und Dämpfe);
- F (fast – schnelle Absorption);
- M (moderate Absorption);
- S (slow – langsame Absorption).

Aktivität, gehandhabte

Aktivität eines Radionuklids, die bei Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen am Arbeitsplatz über einen Zeitraum gehandhabt wird ($A_i^{(g)}$ in Bq).

Aktivität, inkorporierbare

Aktivität eines Radionuklids, die bei Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen am Arbeitsplatz über einen Zeitraum in der Raumluft inkorporierbar ist ($A_i^{(i)}$ in Bq).

Aktivität, zugeführte

Aktivität von Radionukliden, die bei einer einmaligen *Zufuhr* oder bei einer chronischen Zufuhr innerhalb eines bestimmten Zeitraums (insbesondere innerhalb eines *Überwachungsintervalls*) inkorporiert wurde.

Aktivität in den Ausscheidungen

Aktivität, die in einer Urin- oder Stuhlprobe einer Person durch *Analysenverfahren für Ausscheidungsproben (In-vitro-Verfahren)* bestimmt wird (in Bq/d).

Aktivitätskonzentration

Verhältnis der Aktivität eines Radionuklids zum Volumen, wird in der Raumluft bei einer *Raumluftmessung* und bei einer Probe nach *Inkorporation* von tritiiertem Wasser gemessen (in Bq/m³ bzw. Bq/l).

AMAD

Aktivitätsbezogener Medianwert des aerodynamischen Durchmessers. Wert des aerodynamischen Durchmessers, bei dem 50 % der luftübertragenen Aktivität in einem spezifizierten Aerosol Partikeln, die kleiner als der AMAD sind, zuzuordnen ist, und 50 % der Aktivität Partikeln, die größer als der AMAD sind, zuzuordnen ist [DIN 20].

Analysen- und Messverfahren, s. a. Überwachungsverfahren

Spektrometrisches oder anderes radionuklidspezifisches *Überwachungsverfahren* zur Bestimmung der *Körperaktivität* (z. B. *Ganz- oder Teilkörpermessung*), der Aktivität in den Ausscheidungen als Teil eines *Analysenverfahrens für Ausscheidungsproben* oder der Bestimmung der *Aktivitätskonzentration* in der Raumluft (*Raumluftmessung*).

Analysenverfahren für Ausscheidungsproben (In-vitro-Verfahren)

Überwachungsverfahren zum Nachweis radioaktiver Stoffe in den Körperausscheidungen (Urin, Stuhl) durch *Ausscheidungsmessungen*. Analysenverfahren bestehen aus radiochemischer Aufarbeitung, Herstellung der Messpräparate sowie deren spektrometrischer oder anderer radionuklidspezifischer Messung (z. B. Alphaspektrometrie, Flüssigszintillationsspektrometrie, Massenspektrometrie).

Ausscheidungsmessung, s. a. Inkorporationsmessung

Personenbezogene Messung der *Aktivität* von Radionukliden in den Ausscheidungen (Urin, Stuhl) mittels *Analysenverfahren für Ausscheidungsproben (In-vitro-Verfahren)*.

Ausscheidungsrate

Innerhalb von 24 Stunden im Urin oder Stuhl ausgeschiedene Aktivität $m_A(t)$ in (Bq/d)/Bq für einmalige Zufuhr bzw. (Bq/d)/(Bq/d) für chronische Zufuhr t Tage nach Beginn einer Zufuhr (einmalig oder chronisch) eines inkorporierten Radionuklids, zerfallskorrigiert auf das Ende des 24-stündigen Sammelintervalls, pro zugeführter Aktivität. Bei tritiiertem Wasser (HTO) kann auch die Aktivitätskonzentration im Urin angegeben werden (in (Bq/l)/Bq bzw. (Bq/l)/(Bq/d)).

Bereitstellungsfrist

Länge des Zeitraums, innerhalb dessen bei *regelmäßiger* oder *aufgabenbezogener Überwachung* die Überwachungsergebnisse bei der Messstelle bzw. bei der *Raumluftüberwachung* beim Strahlenschutzverantwortlichen vorliegen müssen.

Beruflich exponierte Person

S. § 5 Absatz 7 StrlSchG.

Biokinetik

Zeitliches Verhalten von inkorporierten Stoffen innerhalb des Körpers oder innerhalb von Organen und Geweben (s. a. *Ausscheidungsrate* bzw. *Retention*).

Dosis

effektive Dosis

S. § 5 Absatz 11 StrlSchG. Bei innerer Exposition entspricht die *effektive Dosis* der effektiven *Folgedosis* (s. *Folgedosis*).

Folgedosis

Die bei innerer *Exposition* hervorgerufene *Körperdosis*, unter Berücksichtigung der *Exposition* aufgrund des Verbleibs der Radionuklide im Körper. Nach Anlage 18 Teil B Nummer 2 StrlSchV ist für Erwachsene ein Zeitraum von 50 Jahren zugrunde zu legen, soweit kein anderer Zeitraum vorgegeben wird.

Körperdosis

S. § 5 Absatz 19 StrlSchG.

Organ-Äquivalentdosis

S. § 5 Absatz 27 StrlSchG. Bei einer inneren *Exposition* berücksichtigt die *Organ-Äquivalentdosis* auch die außerhalb des Bezugszeitpunkts auftretende *Exposition* infolge der während des Bezugszeitraums aufgenommenen Radionuklide gemäß § 175 Absatz 1 StrlSchG (Folge-Organ-Äquivalentdosis, s. a. *Folgedosis*).

potenzielle Dosis

Dosis, die prospektiv vor Aufnahme einer Tätigkeit einer Person in Abhängigkeit von den geplanten *Expositionsbedingungen* abgeschätzt wird. Gilt sowohl für die *effektive Dosis* als auch die *Organ-Äquivalentdosis der Gebärmutter*.

Dosiskoeffizient

Für Erwachsene, die eine berufliche Exposition erhalten, die Folge-Organ-Äquivalentdosis in einem Organ oder Gewebe oder die effektive Folgedosis pro zugeführter Aktivität über einen Zeitraum von 50 Jahren, über den die Folgedosis berechnet wird [ICRP 15].

Dosisberechnungsverfahren

Berechnungsverfahren zur Ermittlung der *Körperdosis* aus den Aktivitätsfeststellungen der *Inkorporationsmessungen* unter Verwendung von tabellierten oder experimentell ermittelten Daten zu den *Expositionsbedingungen* und zur *Biokinetik* des betreffenden radioaktiven Stoffes.

Dosisfeststellung

Feststellung der einem *Überwachungsintervall* zuzurechnenden *effektiven Dosis* und Organ-Äquivalentdosis aus *Inkorporationsmessungen* oder die entsprechende Festlegung einer Ersatzdosis durch die zuständige Behörde.

Eigenkontrolle

Gesamtheit aller Maßnahmen, die eine Messstelle mit eigenen Mitteln zur internen Qualitätssicherung ihres Messverfahrens und damit zur Sicherstellung ihrer Zuverlässigkeit durchführt.

Einsatzkraft

S. § 5 Absatz 13 StrlSchG.

Erfordernisschwelle

Schwellenwerte der *potenziellen effektiven Dosis* im Kalenderjahr durch *äußere* und *innere Exposition* sowie durch *innere Exposition* alleine, ab denen eine *regelmäßige* oder *aufgabenbezogene Inkorporationsüberwachung* erforderlich ist. Für gebärfähige Personen gilt außerdem eine *Erfordernisschwelle* für die monatliche potenzielle *Organ-Äquivalentdosis der Gebärmutter*.

Erkennungsgrenze

Schätzwert der Messgröße [Aktivität], bei dessen Überschreitung durch ein aktuelles Ergebnis einer Messung mit einem Messverfahren, das einen physikalischen Effekt quantifiziert, entschieden wird, zu folgern, dass der physikalische Effekt [ein Probenbeitrag] vorliegt [DIN 21b]

Exposition

S. § 2 Absatz 1 StrlSchG.

äußere Exposition

S. § 2 Absatz 1 StrlSchG.

berufliche Exposition

S. § 2 Absatz 7 StrlSchG.

innere Exposition

S. § 2 Absatz 1 StrlSchG.

Expositionsbedingungen

Gesamtheit der Einflussgrößen bei Zufuhr radioaktiver Stoffe in den Körper, wie z. B. Zeitpunkt oder Verlauf der Zufuhr (einmalig, chronisch), *Zufuhrpfad* (wie Inhalation, Ingestion, Eintritt über Wunden, Resorption durch die Haut), Zuordnung zu Absorptionsklasse S, M, F und V und AMAD.

Expositionssituation

bestehende Expositionssituation

S. § 2 Absatz 4 StrlSchG.

geplante Expositionssituation

S. § 2 Absatz 2 StrlSchG.

Notfallexpositionssituation

S. § 2 Absatz 3 StrlSchG.

Folgedosis, s. Dosis

Ganz- und Teilkörperzählermessung, s. a. Inkorporationsmessung

Personenbezogene Messung der aus dem gesamten Körper oder einem bestimmten Organ (z. B. Schilddrüse, Lunge) austretenden Photonenstrahlung zur Bestimmung der im Körper zum Zeitpunkt der Messung vorhandenen *Aktivität* inkorporierter Radionuklide (*Körperaktivität*).

Genauigkeit

Zusammenfassender Begriff für die Prüfmerkmale *Richtigkeit* und *Präzision* eines Messverfahrens oder von Messungen [ISO 23].

Indikatormessung

Messung zur Eingrenzung des Inkorporationszeitpunktes. Hierfür können z. B. die Ergebnisse von Schwellenwertmessungen herangezogen werden.

Individualverfahren

Dosisberechnungsverfahren mit individuellen Zusatzinformationen zu den Expositionsbedingungen.

Inkorporation

Aufnahme von Radionukliden in den Körper über Inhalation, Ingestion, eine Wunde oder Resorption durch die Haut infolge einer *Zufuhr*.

Inkorporationsfaktor

Faktor a_i zur Abschätzung der im Kalenderjahr infolge von Tätigkeiten mit offenen radioaktiven Stoffen *inkorporierbaren Aktivität*. In Abhängigkeit von der Art des Umgangs mit radioaktiven Stoffen und den angewendeten Strahlenschutzmaßnahmen ist a_i der relative Anteil der *gehandhabten Aktivität*, der pro Arbeitsprozess i maximal inkorporiert werden kann.

Inkorporationsfeststellung

Feststellung der in einer *Inkorporationsmessung* erhobenen oder berechneten Informationen, insbesondere der identifizierten Radionuklide, der zugeführten Aktivität und der einem *Überwachungsintervall* zuzurechnenden *effektiven Dosis* (s. *Dosisfeststellung*) und Organ-Äquivalentdosis. Diese festgestellten Daten werden dem *Strahlenschutzregister am Bundesamt für Strahlenschutz* gemäß § 170 Absatz 4 StrlSchG gemeldet.

Inkorporationsmessung

Personenbezogene Messung der *Aktivität* inkorporierter Radionuklide (*Körperaktivitätsmessung*, *Ausscheidungsmessung*) mittels *Überwachungsverfahren* wie den *Analysen- und Messverfahren* (*In-vivo-* oder *In-vitro-Verfahren*). Zu den *Inkorporationsmessungen* gehören auch ausschließlich zu diesem Zweck durchgeführte Messungen der *Aktivitätskonzentration* radioaktiver Stoffe in der Raumluft (*Raumluftmessung* bei der *Raumluftüberwachung*).

Inkorporationsmesssstelle

behördlich bestimmte Messstelle

Messstelle zur Ermittlung der *Körperdosis* durch *innere Exposition* nach § 169 StrlSchG.

betriebliche Messstelle

Messstelle zur Durchführung von *Schwellenwertmessungen* mittels *Inkorporationsmessungen* oder zur innerbetrieblichen Messung der *Aktivitätskonzentration in der Raumluft*.

In-vivo-Verfahren, s. Messverfahren

In-vitro-Verfahren, s. Analysenverfahren

Inkorporationsrisiko

Wahrscheinlichkeit für die Inkorporation radioaktiver Stoffe infolge beruflicher Tätigkeiten, auch unter Berücksichtigung der Höhe möglicher *zugeführter Aktivitäten*.

Inkorporationsüberwachung

Gesamtheit aller Maßnahmen zur Feststellung einer möglichen, stattfindenden oder bereits erfolgten *Inkorporation* radioaktiver Stoffe wie *Überwachungsverfahren*, *Überwachungsprogramme* und *Dosisberechnungsverfahren*.

Körperaktivität

Aktivität, die direkt im Körper einer Person mit Hilfe spezieller Detektorsysteme bei einer Ganzkörper- oder Teilkörpermessung bestimmt wird (in Bq).

Körperaktivitätsmessung, s. *Ganz- und Teilkörpermessung*

Körperdosis, s. *Dosis*

Leitnuklid

Radionuklid, aus dessen Messung die zugeführte Aktivität aller Nuklide eines Radionuklidgemisches ermittelt und die Körperdosis abgeleitet werden kann. Eine Inkorporationsüberwachung über die Messung eines Leitnuklids setzt die ständige Kenntnis der relativen Aktivitäts- oder Aktivitätskonzentrationsverhältnisse in diesem Gemisch voraus (Nuklidvektor).

Leitstelle Inkorporationsüberwachung

Einrichtung im Bundesamt für Strahlenschutz zur Qualitätssicherung, Vereinheitlichung der Mess-, Analyse- und Dosisberechnungsverfahren (Harmonisierung), Initiierung von Forschungsvorhaben sowie Beratung und Berichterstattung zur Inkorporationsüberwachung.

Messstelle, behördlich bestimmte, s. *Inkorporationsmessstelle*

Messverfahren, s. *Analysen- und Messverfahren*

Nachforschungsschwelle

Schwellenwert der *effektiven Dosis* in Höhe von 6 mSv im Kalenderjahr für den Wechsel des Dosisberechnungsverfahrens vom *Referenzverfahren* zu *Individualverfahren*. Für gebärfähige Personen gilt außerdem eine Nachforschungsschwelle für die *Organ-Äquivalentdosis der Gebärmutter* von 0,6 mSv.

Nachweisgrenze

Kleinsten wahren Wert der Messgröße [Aktivität], der mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit durch das Messverfahren erkannt wird [DIN 21b].

Nuklidvektor, s. *Leitnuklid*

Organ-Äquivalentdosis der Gebärmutter, s. *Dosis*

Präzision

Streuung von Messergebnissen, die unter identischen Bedingungen gewonnen worden sind (Wiederholbarkeit), sowie Streuung von Messergebnissen, die aus Messungen mit demselben Verfahren an identischen Testproben unter verschiedenen Bedingungen (unterschiedliche Laboratorien, verschiedene Geräte, unterschiedliches Messpersonal) gewonnen wird [ISO 23].

Raumluftmessung

Personenbezogene Messung zur Bestimmung der *Aktivitätskonzentration* in der Raumluft am Arbeitsplatz mit personengetragenen, mobilen oder stationären Aerosolsammlern. Sie wird in der *Inkorporationsüberwachung* angewendet, wenn andere geeignete Messverfahren nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand verfügbar sind. Diese ist von der Bestimmung der Raumluftaktivität bei *Schwellenwertmessungen* abzugrenzen, die nicht personenbezogen sind.

Raumluftüberwachung

Überwachungsprogramm in der *Inkorporationsüberwachung*. Aus den Ergebnissen der *Raumluftüberwachung* werden im Gegensatz zur Anwendung von Raumluftmessungen als *Schwellenwertmessungen* personenbezogene Werte der *Körperdosis* ermittelt.

Referenzparameter

Zur Dosisberechnung im *Referenzverfahren* bei einer personenbezogenen *Inkorporationsüberwachung* (mit *In-vivo*- oder *In-vitro*-Verfahren bzw. mittels *Raumluftmessung*) tabellierte Werte der *Dosiskoeffizienten*, der *Retention* und der *Ausscheidungsrate* aus den Anhängen 7.1 und 7.3 für den Zufuhrpfad Inhalation und den AMAD von 5 µm bzw. 1 µm bei Einsatzkräften, wenn die Zufuhr nicht an einem Arbeitsplatz erfolgt ist.

Referenzverfahren

Dosisberechnung unter Standardannahmen und unter Anwendung von *Referenzparametern*.

Referenzwert

Aktivitätsangabe für eine bei einem Ringversuch eingesetzte Testprobe, deren wahrer Wert bekannt ist, z.B. durch die Rückführbarkeit auf ein Normal.

Repräsentativität

Kriterium für die Eignung des *Überwachungsverfahrens* für die Ermittlung der *Körperdosis* einer *beruflich exponierten Person*, dass eine ausreichend genaue Abschätzung der Körperaktivität, Aktivität in den Ausscheidungen oder zugeführten Aktivität aus dem Messwert des Überwachungsverfahrens beschreibt.

Retention

Zeitliches Verhalten der Aktivität eines inkorporierten Radionuklids im Ganzkörper (s. a. *Biokinetik*) oder in Organen und Geweben pro zugeführter Aktivität (in Bq/Bq bei einmaliger Zufuhr bzw. Bq/(Bq/d) bei chronischer Zufuhr).

Richtigkeit

Übereinstimmung zwischen dem aus Messungen gewonnenen Schätzwert einer Messgröße und dem wahren Wert (Referenzwert) dieser Größe [ISO 23].

Ringversuch

Objektive Überprüfung der Richtigkeit und Präzision der Ergebnisse von Messstellen durch Messung einer Testprobe mit bekanntem *Referenzwert* der Aktivität. Sie ergänzen als eine externe Kontrolle die laborinterne Qualitätssicherung (Eigenkontrolle).

Schwellenwertmessungen (SWM)

Messungen zur Kontrolle von Schwellenwertüberschreitungen. Sie dienen

- der Bestätigung der Abschätzung der potenziellen effektiven Dosis unterhalb der Erfordernisschwelle,
- im Fall nicht praktikabel kurzer Überwachungsintervalle der *In-vitro*- und *In-vivo*-Überwachungsverfahren (bei Umgang mit kurzlebigen Radionukliden) der zeitnahen Identifizierung von Inkorporationen oberhalb vorgegebener Dosisschwellen (*Indikatormessung*).

Die Ergebnisse dieser Messungen sind nicht zur Feststellung der personenbezogenen *Körperdosis* geeignet.

Selektivität, s. a. Leitnuklid

Forderung an ein Messverfahren, alle zu einem Messergebnis beitragenden Radionuklide einzeln identifizieren und deren Einzelaktivität bestimmen zu können.

Strahlenschutzregister beim Bundesamt für Strahlenschutz

Einrichtung des Bundes zur Überwachung der beruflichen Exposition. Das *Strahlenschutzregister des Bundesamtes für Strahlenschutz* trägt zur Überwachung der Einhaltung der Grenzwerte für die zulässige Jahresdosis und die Berufslebensdosis bei und erfasst die Ausgabe von Strahlenpässen. Im *Strahlenschutzregister* werden die von den *behördlich bestimmten Messstellen* bzw. dem Strahlenschutzverantwortlichen bei der *Raumluftüberwachung* festgestellten Werte der *Körperdosen* aus *innerer beruflicher Exposition* aus der *Inkorporationsüberwachung* und die von der zuständigen Behörde festgesetzten Ersatzdosen sowie ggf. weitere Mitteilungen zur Dosiskontrolle personenbezogen gemäß § 170 StrlSchG zusammengeführt (siehe auch *Inkorporationsfeststellung*).

Streufaktoren

Geometrische Standardabweichung der logarithmischen Normalverteilung der Wahrscheinlichkeitsdichte von Messwerten von Inkorporationsmessungen.

Überwachungsintervall

Zeitlicher Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Messungen der *regelmäßigen Inkorporationsüberwachung*. Dieser stellt beim *Referenzverfahren* sicher, dass eine zu einem beliebigen Zeitpunkt im *Überwachungsintervall* einmalig *zugeführte Aktivität* um nicht mehr als einen Faktor drei unterschätzt wird, wenn bei der Berechnung der Körperdosis aus der ermittelten Aktivität als Zeitpunkt der *Zufuhr* die Mitte des Überwachungsintervalls zugrunde gelegt wird. Darüber hinaus ist damit im Allgemeinen der Nachweis von 1 mSv effektive Dosis im Jahr möglich.

Überwachungsprogramm

regelmäßige Überwachung

Überwachung durch *In-vivo*- oder *In-vitro*-Verfahren oder *Raumluftüberwachung* bei einem andauernden Inkorporationsrisiko unter Einhaltung der *Überwachungsintervalle* gemäß Gleichungen 3.5 und 3.6.

aufgabenbezogene Überwachung

Überwachung durch *In-vivo*- oder *In-vitro*-Verfahren oder *Raumluftüberwachung* bei zeitlich begrenztem Umgang (weitere Beispiele s. Anhang 1.1).

Überwachung aus besonderem Anlass

Überwachung nach *Vorkomnissen* (§ 1 Absatz 22 StrlSchV) durch *In-vivo-* oder *In-vitro-*Verfahren.

Überwachungsverfahren, s. a. Analysen- und Messverfahren

Messverfahren der Inkorporationsüberwachung zur Bestimmung der *Körperaktivität* (z. B. Ganzkörper, Teilkörper), *Analysenverfahren für Ausscheidungsproben* zur Bestimmung der *Aktivität in den Ausscheidungen* (Urin, Stuhl) oder *Messverfahren* zur Bestimmung der *Aktivitätskonzentration* in der Atemluft.

Vorkommnis

S. § 1 Absatz 22 StrlSchV.

Wert, kritischer

Im *Referenzverfahren* zu erwartender Messwert M_c für eine Zufuhr in der Mitte des für das der typischen Nachweisgrenze zugehörige *Überwachungsintervall* durch Inhalation, der zu einer *effektiven Dosis* von 0,05 mSv bzw., bei Überwachungsintervallen von weniger als 30 Tagen, bei wiederkehrenden *Zufuhren* in einem Monat zu einer effektiven Dosis von 0,05 mSv führt.

Für Messwerte unterhalb des kritischen Wertes ist keine Dosisberechnung erforderlich, da die Dosiswerte gemäß *Abschneidekriterium* zu null gesetzt werden.

Zufuhr

Einmaliger oder chronischer Vorgang, bei dem Radionuklide in den Körper gelangen; zu einer *Inkorporation* zugehöriges Ereignis.

Zufuhrpfad

Eintrittspfad von Radionukliden in den Körper infolge einer Zufuhr. Zufuhrpfade können Inhalation, Ingestion, Eintritt über Wunden oder Resorption durch die Haut sein.

zugeführte Aktivität, s. Aktivität, zugeführte

Anhänge

Anhang 1: Beispiele zur Feststellung des Erfordernisses zur Ermittlung der Körperdosis durch innere Exposition (zu Kapitel 3.2)

Anhang 1.1: Berechnungsbeispiel zur Abschätzung des Erfordernisses (zu Kapitel 3.2.1)

In einem Labor sind regelmäßige Markierungsarbeiten mit S-35 geplant. Dazu sollen wöchentlich 5 MBq S-35 in 0,1 ml Lösung bezogen und von einer einzelnen Person (über 18 Jahre alt) gehandhabt werden, die voraussichtlich an 46 Arbeitswochen pro Kalenderjahr tätig wird. Bei ihrer Tätigkeit überführt die Person die bezogene Aktivität zunächst in 10 ml Stammlösung, die dann für die Markierungen, die in einem einheitlichen Arbeitsprozess mit erhöhtem Risiko der Freisetzung erfolgen, verwendet wird. Die anzunehmende Absorptionsklasse ändert sich während des Verfahrens nicht. Für die Tätigkeit ist ein Labortisch ohne Abzug vorgesehen. Erfahrungen zum Inkorporationsrisiko liegen nicht vor. Weitere radioaktive Stoffe werden nicht verwendet.

Im Kalenderjahr werden voraussichtlich Aktivitäten von insgesamt

$$A_i^{(g)} = 46 \cdot 5 \cdot 10^6 \text{ Bq} = 2,3 \cdot 10^8 \text{ Bq S-35 gehandhabt.}$$

Die Arbeitsprozesse sind zu analysieren und die *Inkorporationsfaktoren* nach Gleichung 3.2 abzuschätzen.

Es sind zwei Arbeitsprozesse zu unterscheiden, die Überführung der Aktivität in die Stammlösung und die Markierungsarbeiten. Da die Arbeitsprozesse unmittelbar aufeinander folgen und Radionuklid und Absorptionsklasse identisch sind, kann ein einheitlicher Arbeitsprozess angenommen werden, für den als Inkorporationsfaktor der höchste Einzelwert anzunehmen ist.

Beim ersten Arbeitsprozess befindet sich die Aktivität in 0,1 ml Lösung ($f_{fs} = 10^{-4}$), die Handhabung ist einfach ($f_{hs} = 0,1$) und erfolgt ohne Schutzmaßnahmen ($f_{ps} = 1$) (s. dazu Kapitel 3.2.1 und Tabellen 3.2, 3.3 und 3.4), was nach Gleichung 3.2 einen Inkorporationsfaktor von 10^{-5} erwarten lässt.

Der zweite Arbeitsprozess erfolgt mit der Stammlösung (10 ml, $f_{fs} = 10^{-5}$), die Markierung ist als komplexe Handhabung mit erhöhtem Freisetzungsrisko einzustufen ($f_{hs} = 10$) und erfolgt ohne Schutzmaßnahmen ($f_{ps} = 1$), der Inkorporationsfaktor ist 10^{-4} .

Der höchste Einzelwert, der als Inkorporationsfaktor für den Gesamtprozess anzunehmen ist, beträgt $a_i = 10^{-4}$.

Mit dem Dosiskoeffizienten $e_i = 3,1 \cdot 10^{-10} \text{ Sv/Bq}$ für S-35 (Absorptionsklasse M, AMAD 5 μm) nach Anhang 7.3 ergibt sich für die *potenzielle effektive Dosis* nach Gleichung 3.1:

$$E_{\text{pot}} = a_i \cdot A_i^{(g)} \cdot e_i = 10^{-4} \cdot 2,3 \cdot 10^8 \text{ Bq} \cdot 3,1 \cdot 10^{-10} \text{ Sv/Bq}$$

$$\text{bzw. } E_{\text{pot}} = 7,1 \cdot 10^{-6} \text{ Sv.}$$

Die potenzielle effektive Dosis E_{pot} ist damit kleiner als 1 mSv und es ist keine regelmäßige Überwachung erforderlich.

Anhang 1.2: Empfehlung für die Feststellung des Erfordernisses in der Nuklearmedizin (zu Kapitel 3.2.1)

In der Nuklearmedizin werden offene radioaktive Substanzen gehandhabt und für die Diagnostik und Therapie an Patienten verabreicht. Für dabei häufig durchgeführte Arbeitsprozesse sind in Anhang 1.2.1 Abschätzungen von Inkorporationsfaktoren nach Kapitel 3.2.1 aufgelistet.

Für die Festlegung der Faktoren Freisetzung f_{fs} , Handhabungssicherheit f_{hs} und Sicherheit durch protektive Maßnahmen f_{ps} , deren Produkt den Inkorporationsfaktor a_i (s. Gleichung 3.2) ergibt, wurden die üblicherweise gehandhabten Volumina und die Art der Handhabung berücksichtigt. Überwiegend wurde angenommen, dass die Tätigkeit in Räumen mit 25 m³/h Volumenabluftstrom pro m² Nutzfläche erfolgt.

Für Arbeitsprozesse, für die in Anhang 1.2.1 das Produkt der Faktoren f_{fs} , f_{hs} und f_{ps} nicht mit dem angezeigten Inkorporationsfaktor a_i übereinstimmt, liegen empirisch bestimmte Inkorporationsfaktoren (in Anhang 1.2.1 fett gedruckt) aus Untersuchungen an unabhängigen Einrichtungen vor, die als zuverlässig und repräsentativ angesehen werden können (s. a. [HAP 17, WAN 22]).

Für Arbeitsprozesse, für die der Inkorporationsfaktor a_i nicht empirisch, sondern aus den Faktoren f_{fs} , f_{hs} und f_{ps} ermittelt wurde, sind die Faktoren im Einzelfall auf ihre Anwendbarkeit zu überprüfen und bei Bedarf anzupassen.

Die in Anhang 1.2.1 gelisteten Inkorporationsfaktoren belegen, dass bei den meisten Anwendungen radioaktiver Stoffe in der Nuklearmedizin das Inkorporationsrisiko gering und die Abschätzung aus f_{fs} , f_{hs} und f_{ps} konservativ ist. Ein erhöhtes Risiko ergibt sich beim Umgang mit radioaktiven Gasen und Aerosolen und bei der Therapie mit I-131, wenn dieser in Räumen ohne Zwangslüftung erfolgt.

Eine häufig durchgeführte nuklearmedizinische Therapie ist die Radioiodtherapie mit I-131-Natriumiodid. Die Verabreichung erfolgt in der Regel peroral, wobei die Aktivität zur Verhinderung von Sublimation chemisch konditioniert in einer Kapsel gebunden ist. Ein geringer Teil des Iodids wird vom Patienten und seinen Ausscheidungen an die Abluft abgegeben. Ohne Zwangslüftung führt das im Patientenzimmer und in angrenzenden Räumen zu erhöhten Aktivitätskonzentrationen in der Raumluft, die beim dort tätig werdenden Personal eine Inkorporationsüberwachung erforderlich machen. Bei ausreichendem Luftwechsel und Unterdruck im Patientenzimmer sind aufgrund der reduzierten Inkorporationsgefahr in der Regel Schwellenwertmessungen zum Nachweis des Unterschreitens der Erfordernisschwelle ausreichend (s. Kapitel 3.3.3, [WAN 22]).

Zunehmend werden in der Therapie auch Alphastrahler eingesetzt, für deren Umgang die beschriebenen Verfahren zur Abschätzung der potenziellen Dosis durch Inkorporation nur bedingt und nach eingehender Prüfung anwendbar sind. Da es sich bei den verabreichten Radionukliden regelhaft um Mutternuklide einer Reihe verschiedener Zerfallsprodukte handelt, müssen die Tochternuklide, insbesondere auch eventuell vorhandene flüchtige Radonisotope, bei der Beurteilung berücksichtigt werden.

Weitere Informationen zu speziellen Fragestellungen der Inkorporationsüberwachung von Ra-223 und Th-227 finden sich in Veröffentlichungen des Bundesumweltministeriums im Gemeinsamen Ministerialblatt [GMBL 16 und GMBL 19].

Anhang 1.2.1: Faktoren zur Abschätzung des Inkorporationsfaktors in der Nuklearmedizin

Arbeitsprozess, Diagnostik	f_{fs}	f_{hs}	f_{ps}	$f_{fs} \cdot f_{hs} \cdot f_{ps}$	a_i
- Elution aus Generatoren inkl. Qualitätskontrolle³⁴ - Präparation von Markierungskits inkl. Qualitätskontrolle - Aktivitätsportionierung, -messung und -verabreichung an Patienten - Entnahme von Patientenproben, bezogen auf die entnommene Aktivität - Verarbeitung und Messung von Patientenproben - In-vitro-Diagnostik unter Verwendung zugelassener Verfahren	10^{-5}	0,1	0,5	$5 \cdot 10^{-7}$	10^{-7}
- Szintigraphie oder PET ohne sonstige Diagnostik am Patienten (Durchführung der Bildgebung, ohne Verabreichung der Aktivität an den Patienten)	10^{-6}	0,1	0,5	$5 \cdot 10^{-8}$	0
Arbeitsprozess, Diagnostik mit Gasen oder Aerosolen	f_{fs}	f_{hs}	f_{ps}	$f_{fs} \cdot f_{hs} \cdot f_{ps}$	a_i
- Erzeugung in Generatoren (z. B. Technegas)³⁴	10^{-4}	100	1	10^{-2}	10^{-4}
- Verabreichung an Patienten mit mindestens 25 m³/h Volumenabluftstrom pro m² Nutzfläche	10^{-4}	100	0,5	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-5}$
- Diagnostik einschließlich Szintigraphie oder PET (mit Absaugvorrichtung)	10^{-4}	100	0,1	10^{-3}	10^{-5}

³⁴ Der Faktor a_i ist anwendbar, wenn aufgrund einer Zulassung nach Arzneimittelrecht oder Medizinproduktegesetz die Betriebssicherheit und einfache Handhabung anzunehmen sind.

Arbeitsprozess, Therapie	f_{fs}	f_{hs}	f_{ps}	$f_{fs} \cdot f_{hs} \cdot f_{ps}$	a_i
- Aktivitätsportionierung, -messung und -verabreichung an den Patienten	10^{-5}	0,1	0,5	$5 \cdot 10^{-7}$	10^{-7}
- Aktivitätsportionierung, -messung und -verabreichung (Iod flüchtig)	10^{-5}	100	0,5	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$
- Entnahme von Patientenproben, bezogen auf die entnommene Aktivität	10^{-5}	0,1	0,5	$5 \cdot 10^{-7}$	10^{-7}
- Verarbeitung und Messung von Patientenproben					
- Stationäre Pflege, bezogen auf verabreichte Aktivität	10^{-6}	1	0,5	$5 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$
- Stationäre Pflege, geringer Pflegeaufwand	10^{-6}	0,1	0,5	$5 \cdot 10^{-8}$	$5 \cdot 10^{-8}$
Arbeitsprozess, Radiochemie	f_{fs}	f_{hs}	f_{ps}	$f_{fs} \cdot f_{hs} \cdot f_{ps}$	a_i
- Optimierte oder automatisierte Markierung in Handschuhkasten oder heißer Zelle	10^{-4}	0,1	0,01	10^{-7}	10^{-7}
- Markierung mit erhöhter Komplexität im Handschuhkasten	10^{-4}	1	0,01	10^{-6}	10^{-6}
- Markierung mit erhöhter Komplexität im Abzug	10^{-4}	1	0,1	10^{-5}	10^{-5}
- Markierung mit erhöhter Komplexität und Freisetzungswahrscheinlichkeit	10^{-4}	10	0,1	10^{-4}	10^{-4}
- Markierung mit erhöhter Freisetzungswahrscheinlichkeit ohne Schutzmaßnahme	10^{-4}	10	1	10^{-3}	10^{-3}

Mit den Bezeichnungen:

f_{fs} Faktor Freisetzung, abhängig von der Größenordnung der Menge des gehandhabten radioaktiven Stoffs (Volumen bei Flüssigkeiten und Gasen und Masse bei festen Stoffen);

f_{hs} Faktor Handhabungssicherheit;

f_{ps} Faktor Sicherheit durch protektive Maßnahmen;

a_i Inkorporationsfaktor auf Grundlage von Erfahrungswerten aus der klinischen Praxis.

Anhang 1.2.2: Beispiel zur Anwendung in der Nuklearmedizin

In einer nuklearmedizinischen Therapiestation soll ein neu zugelassenes Therapeutikum verwendet werden, das mit Lu-177 markiert ist (nicht flüchtig, Absorptionsklasse M, AMAD 5 μm). Es wird vermutet, dass zukünftig pro Kalenderjahr ungefähr 25 Patienten für die Therapie geeignet sind und jeweils 4 Zyklen mit je 7 GBq Lu-177 erhalten. Zur Bewertung der inneren Exposition wird abgeschätzt, welche zusätzlichen Körperdosen für unterschiedliche Personengruppen, die mit der Therapie befasst sind, zu erwarten sind.

Zwei Beschäftigte stellen zu gleichen Teilen das Therapeutikum aus Markierungskits (einfache Handhabung; $f_{\text{hs}} = 0,1$) und einer Anfangsaktivität von 8 GBq in 0,2 ml Lösung ($f_{\text{fs}} = 10^{-4}$) in einem geschlossenen Kasten ($f_{\text{ps}} = 0,01$) her. Jede beschäftigte Person handhabt voraussichtlich

$$A_i^{(\text{g})} = 25 \text{ Patienten} \cdot 4 \text{ Zyklen} \cdot 8 \cdot 10^9 \text{ Bq} / 2 = 4 \cdot 10^{11} \text{ Bq}.$$

Aus dem anzusetzenden Inkorporationsfaktor $a_i = 10^{-7}$ (s. Gleichung 3.2 bzw. Anhang 1.2.1 Arbeitsprozess, Radiochemie) und dem Dosiskoeffizienten $e_j = 2,5 \cdot 10^{-10}$ Sv/Bq bei Inhalation von Lu-177 ergibt sich nach Gleichung 3.1 die erwartete zusätzliche potenzielle effektive Dosis E_{pot} zu

$$E_{\text{pot}} = 10^{-7} \cdot 4 \cdot 10^{11} \text{ Bq} \cdot 2,5 \cdot 10^{-10} \text{ Sv/Bq} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ Sv}$$

$$\text{bzw. } E_{\text{pot}} = 0,01 \text{ mSv}.$$

Nach der Markierung wird das Therapeutikum (7 GBq Lu-177 in 20 ml; $f_{\text{fs}} = 10^{-5}$) vom Stationsarzt gemessen und mittels Perfusor (einfache Handhabung; $f_{\text{hs}} = 0,1$) im Patientenzimmer (bei mindestens 25 m^3/h Volumenabluftstrom pro m^2 Nutzfläche des Raumes; $f_{\text{ps}} = 0,5$) verabreicht. Für die Tätigkeit Aktivitätsportionierung, -messung und -verabreichung an Patienten liegt ein empirischer Inkorporationsfaktor von $a_i = 10^{-7}$ (fett gedruckt in Anhang 1.2.1) vor, der anwendbar ist. Wenn alle Verabreichungen von derselben ärztlichen Fachperson durchgeführt werden, beträgt dessen erwartete zusätzliche potenzielle effektive Dosis E_{pot}

$$A_i^{(\text{g})} = 25 \text{ Patienten} \cdot 4 \text{ Zyklen} \cdot 7 \cdot 10^9 \text{ Bq} = 7 \cdot 10^{11} \text{ Bq}$$

$$E_{\text{pot}} = 10^{-7} \cdot 7 \cdot 10^{11} \text{ Bq} \cdot 10^{-9} \text{ Sv/Bq} = 7 \cdot 10^{-5} \text{ Sv}$$

$$\text{bzw. } E_{\text{pot}} = 0,07 \text{ mSv}.$$

Die Patient*innen erhalten während ihres stationären Aufenthalts umfassende pflegerische Unterstützung ($f_{\text{fs}} = 10^{-6}$; $f_{\text{hs}} = 1$). Der Schutzfaktor im Patientenzimmer ist $f_{\text{ps}} = 0,5$ (bei mindestens 25 m^3/h Volumenabluftstrom pro m^2 Nutzfläche des Raumes). Die gehandhabte Aktivität durch eine Pflegeperson beträgt $A_i^{(\text{g})} = 7 \cdot 10^{11} \text{ Bq}$ und aus den hier angenommenen Faktoren ergibt sich ein Inkorporationsfaktor von $a_i = 5 \cdot 10^{-7}$. Mit

$$E_{\text{pot}} = 5 \cdot 10^{-7} \cdot 7 \cdot 10^{11} \text{ Bq} \cdot 2,5 \cdot 10^{-10} \text{ Sv/Bq} = 8,75 \cdot 10^{-5} \text{ Sv}$$

beträgt damit die zusätzliche potenzielle effektive Dosis für Lu-177 für eine Pflegeperson

$$E_{\text{pot}} = 88 \mu\text{Sv} \text{ bzw. } 0,088 \text{ mSv}.$$

Anhang 1.3: Beispiel zur Anwendung bei Raumluftüberwachung (zu Kapitel 3.2.2)

In einem Arbeitsbereich, in dem mit I-123 umgegangen wird, liegen repräsentative Werte der *Aktivitätskonzentration* für die Atemluft der Person vor. Die für den Arbeitsplatz repräsentative über das Kalenderjahr gemittelte I-123-Aktivitätskonzentration beträgt 800 Bq/m³. Die Person arbeitet 46 Wochen im Kalenderjahr 8 Stunden an 5 Arbeitstagen pro Woche in derselben Arbeitsatmosphäre. Für die Atemrate liegen keine speziellen Messungen vor. Es soll davon ausgehend die Notwendigkeit einer *regelmäßigen Überwachung* eingeschätzt werden.

Die über das Kalenderjahr *inkorporierbare Aktivität* ergibt sich aus Gleichung 3.4 zu:

$$A_j^{(i)} = 800 \text{ Bq/m}^3 \cdot 1,2 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1840 \text{ h} = 1,8 \text{ MBq I-123.}$$

Für die Feststellung des Erfordernisses der regelmäßigen Inkorporationsüberwachung wird die potentielle effektive Dosis nach Gleichung 3.3 berechnet:

$$E_{\text{pot}} = A_j^{(i)} \cdot e_j = 1,8 \cdot 10^6 \text{ Bq} \cdot 1,1 \cdot 10^{-10} \text{ Sv/Bq} = 1,98 \cdot 10^{-4} \text{ Sv}$$

mit dem Dosiskoeffizienten $e_j = 1,1 \cdot 10^{-10} \text{ Sv/Bq}$ für I-123 (Aerosol, Absorptionsklasse F, AMAD 5 µm) nach Anhang 7.3.

Die potenzielle effektive Dosis beträgt $E_{\text{pot}} = 0,198 \text{ mSv}$, ist kleiner als 1 mSv und es ist daher keine regelmäßige Überwachung erforderlich.

Anhang 2: Beispiele für Überwachungsprogramme der Inkorporationsüberwachung (zu Kapitel 3.3)

Kann durch die *regelmäßige Inkorporationsüberwachung* das Überwachungsziel nicht oder nur mit großer Unsicherheit erreicht werden, ist es zweckmäßig, das Standardverfahren durch ein geeigneteres, an die jeweilige Situation angepasstes Verfahren zu ersetzen.

Anhang 2.1 Beispiele für eine aufgabenbezogene Inkorporationsüberwachung (zu Kapitel 3.3.1)

- Ausführung einer Tätigkeit von begrenzter Dauer (z. B. Tätigkeiten mit einer Zeitdauer kleiner als das vorgegebene *Überwachungsintervall*);
- Ausführung einer Tätigkeit mit einem bekannten Zufuhrzeitpunkt (z. B. beim einmaligen Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen);
- Aufnahme und Beendigung einer Tätigkeit als beruflich exponierte Person;
- Unterschreitung des vorgegebenen Überwachungsintervalls nach Tabelle 3.5;
- Überwachung von nicht beruflich exponierten Personen nach Aufenthalt in Strahlenschutzbereichen nach § 64 Absatz 4 StrlSchV;
- Abklärung des Überwachungsbedarfs (z. B. bei der Erstbeurteilung des *Erfordernisses* oder bei der Neufestlegung des *Erfordernisses* nach wesentlichen Änderungen der Umgangsbedingungen).

Anhang 2.2 Beispiele für eine Inkorporationsüberwachung aus besonderem Anlass (zu Kapitel 3.3.1)

- Nach einem *Vorkommnis* nach § 1 Absatz 2 StrlSchV;
- als überprüfende Messung nach einer Überschreitung der *Messwertschwelle* bei *Schwellenwertmessungen*.

Anhang 2.3 Beispiele für betriebliche Schwellenwertmessungen (zu Kapitel 3.3.3)

Der Zweck der betrieblichen Schwellenwertmessungen ist es, den Nachweis zu führen, dass eine Ermittlung der Körperdosis nicht erforderlich ist.

- Zeitnahe Identifizierung von Inkorporationen oberhalb vorgegebener Dosisschwellen für diejenigen Radionuklide, bei denen die Überwachungsintervalle der *In-vitro*- und *In-vivo*-Verfahren bei regelmäßigen Messungen weniger als sieben Tage betragen, um in diesen Fällen eine personenbezogene Inkorporationsmessung zu veranlassen;
- Verifizierung der Unterschreitung der Erfordernisschwelle für eine regelmäßige Inkorporationsüberwachung auf Grund des als gering abgeschätzten Inkorporationsrisikos;
- Kontrolle größerer Personengruppen mit kurzen Messzeiten (*Indikatormessung*);
- Überwachung von Personal beim Einsatz nach § 25 StrlSchG (Beschäftigung in fremden Anlagen), für das die Bedingungen nach Absatz 2 aus Kapitel 3.1 zutreffen.

Anhang 3: Durchführung von wiederkehrenden Prüfungen an Mess- und Sammeleinrichtungen zur Überwachung der Aktivitätskonzentration in der Raumluft (zu Kapitel 3.3.2)³⁵

Prüfobjekt	Prüfmethode	Prüfhäufigkeit durch den Strahlenschutzverantwortlichen	
		Festinstallierte Einrichtungen	Nicht festinstallierte Einrichtungen
Mess- oder Sammel-einrichtungen	Sichtprüfung	bei Kontrollgängen	bei Verwendung
Messeinrichtungen	Überprüfung der Kalibrierung mit einem Prüfstrahler, bei Zählrohren ggf. Überprüfung des Plateaus	halbjährlich	mindestens jährlich
Prüf- und Wartungs-aufzeichnungen	Einsichtnahme	jährlich	
Elektronikbaugruppen	- Einspeisung von geeigneten Signalen an vorgesehenen Eingängen oder Simulation von Signalen direkt im Messumformereingang mit mindestens einem Wert pro Dekade des Messbereichs³⁶ zur integralen Prüfung des Messumformers - Zur Prüfung des Messumformerausgangs sowie registrierender Einrichtungen wie Anzeiger, Schreiber, Überwachungsrechner, ist pro Dekade mindestens ein Wert des Messbereichs zu simulieren, der bei rechnerbasierten Messeinrichtungen auch tastaturgestützt mittels Rechnerprogramm erzeugt werden kann. - Vergleich aller Anzeigen und Aufzeichnungen	jährlich	
Signalisierung Betriebsbereitschaft	Sichtprüfung	bei Kontrollgängen	vor jeder Verwendung
Unterer Schwellenwert	- Unterbrechung der Spannungsversorgung zum Detektor oder - Durch Auftrennen der Signalverbindung zwischen Messumformer und Detektor oder - Durch Vorgabe eines Wertes unterhalb der Ausfallschwelle - Bei digital arbeitenden Mess- und Sammeleinrichtungen genügt es, die Signalisierung über die im Programm vorgesehene Funktion zu prüfen, wenn das Programm geprüft ist und sich selbst überwacht	halbjährlich	jährlich
Oberer Schwellenwert	mit Prüfstrahler	halbjährlich	jährlich
Ohne automatische Funktionskontrolle	Sichtprüfung	bei Kontrollgängen	vor jeder Verwendung
Mit automatischer Funktionskontrolle	Vergleich des Sollwertes mit dem Istwert	halbjährlich	jährlich
Probenentnahme-einrichtung	Sichtprüfung, Überprüfung der Umschaltung der Ventilatoren oder Gebläse	jährlich	während der Verwendung

³⁵ Anforderungen an wiederkehrende Prüfungen werden gemäß der Tabelle in Anlehnung an die Sicherheitstechnische Regel 1502 (KTA) „Überwachung der Aktivitätskonzentrationen radioaktiver Stoffe in der Raumluft von Kernkraftwerken“ [KTA 22] gestellt.

³⁶ Die Prüfmethode der Simulation von Detektorsignalen am Messumformereingang zur integralen Prüfung von Messumformer und Messkreisen – mit wenigstens einem Wert pro Dekade – ist bei rechnerbasiert arbeitenden Messeinrichtungen nicht erforderlich, wenn das Programm qualifiziert ist. Hier genügt die Einspeisung eines Signals in der obersten Dekade des Messbereiches, wenn in der vorverarbeitenden Elektronik im gesamten Messbereich keine Umschaltungen vorgenommen werden. Auch diese kann entfallen, wenn bei der Überprüfung der Kalibrierung ein Messwert in die oberste Dekade des Messbereichs fällt.

Anhang 4: Übersicht zur Überprüfung des Qualitätsmanagementsystems (zu Kapitel 6.1)

Anhang 4.1: Nachweis der organisatorischen Kompetenz

	Geforderte Kompetenz	Nachweis erbracht z. B. durch:	Prüfung vorab	Prüfung vor Ort
1. Strukturelle Anforderung	1.1 Vertraulichkeit	1.1.1 Dokumente: Vertraulichkeitserklärung, Berechtigungsmatrix	bei Änderung oder max. 5-jährlich	
		1.1.2 Kontrolle: Einhaltung Datenschutz (Aufnahme, Lagerung und fristgerechte Löschung), Datensicherheit		bei Änderung oder max. 5-jährlich
	1.2 Anwendungsbereich und Definition des Umfangs des Leistungsangebots	1.2.1 Dokumente: Eintrag im Katalog der deutschen Inkorporationsmessstellen (Messstellenkatalog) und evtl. Jahresbericht der Messstelle, behördliche Bestimmung, Homepage	jährlich	
	1.3 Beschreibung der Organisation und Struktur des Labors	1.3.1 Dokumente: behördliche Bestimmung, Organigramm der Organisation, Berechtigungsmatrix, Jahresbericht	bei Änderung oder max. 5-jährlich	
		1.3.2 Dokumente: Vertretungsregelungen, evtl. weitere Absprachen mit Aufsichtsbehörde	jährlich	
	1.4 Interne Kommunikation	1.4.1 Kontrolle: z. B. Vorlage Besprechungsprotokolle oder Intranet, Informations-E-Mails		bei Änderung oder max. 5-jährlich
2. Anforderungen an das QMS	2.1 Darstellung und Lenkung der QM-Dokumentation	2.1.1 Dokumente: Qualitätsmanagementhandbuch und ggf. weitere Vorgabedokumente (Verfahrens- und Arbeitsanweisungen), Benennung des Qualitätsbeauftragten	bei Änderung oder max. 5-jährlich	
	2.2 Lenkung der Aufzeichnungen, Korrekturmaßnahmen, interne Audits	2.2.1 Kontrolle: Prüfung der Dokumentenfreigabe wie z. B. in Berechtigungsmatrix, Prüfung der Kenntnis der Dokumente		bei Änderung oder max. 5-jährlich
		2.2.2 Kontrolle: Aufzeichnungen im Zusammenhang z. B. mit Messungen, Korrekturmaßnahmen, Nachweis interner Audits		jährlich

Anhang 4.2: Nachweis der fachlichen Kompetenz

	Geforderte Kompetenz:	Nachweis erbracht z. B. durch:	Prüfung vorab	Prüfung vor Ort
3. Ausstattung	3.1 Nachweis der räumlichen und technischen Ausstattung (s. Kapitel 6.3 i. V. m. Anhang 4.3)	3.1.1 Kontrolle: z. B. Lüftung, Abschirmung, Temperatur und Zugangskontrolle entsprechend der fachlichen Anforderungen		jährlich
		3.1.2 Ausstattung: z. B. Mess-, Analyse- bzw. Kalibriersysteme, Messgeräte, Software, Referenzmaterialien (Rückführbarkeit, Zertifikate), Laborbuch		jährlich
		3.1.3 Kontrolle: Kalibrierplan, Wartungsplan/-protokoll, Lagerung, wiederkehrende Prüfungen		bei Änderung oder max. 5-jährlich
4. Personal	4.1 Nachweis der Personalausstattung nach Anzahl der Analysen/ Messungen und Qualifikation des Personals (s. Kapitel 6.3 i. V. m. Anhang 4.3)	4.1.1 Dokumente: Funktions-/ Aufgaben-/Kompetenz-/ Berechtigungsmatrix, Qualifizierungsplan	jährlich	
		4.1.2 Kontrolle: Überprüfung der Personalausstattung nach Messaufkommen		bei Änderung oder max. 5-jährlich
		4.1.3 Kontrolle: Eignung des Personals (Qualifikation wie Ausbildung, Schulung, Erfahrung)		bei Änderung oder max. 5-jährlich

	Geforderte Kompetenz:	Nachweis erbracht z. B. durch:	Prüfung vorab	Prüfung vor Ort
5. Anforderungen an Prozesse	5.1 Fähigkeit zur Erfüllung der Anforderungen	5.1.1 Dokumente: Prüfung von Verträgen und Messaufträgen	jährlich	
		5.1.2 Kontrolle: Überprüfung: der Messgeometrien (in-vivo) und der Vorhaltung von Analysemethoden (in-vitro) in Abgleich mit dem Eintrag im Katalog der deutschen Inkorporationsmessstellen, Prüfung der Unsicherheitsbetrachtungen für Messungen		jährlich
	5.2 Sicherung der Validität von Ergebnissen	5.2.1 Kontrolle: Prüfung des Kalibrierplanes und von dessen Ergebnissen		jährlich
	5.3 Handhabung von Prüfgegenständen	5.3.1 Kontrolle: in-vitro: Prüfung des Probeneingangsbuches und der vorhandenen Proben		jährlich
		5.3.2 Kontrolle: in-vivo: z.B. Prüfung der Identität der Messpersonen		jährlich
	5.4 Ermittlung der Messunsicherheit	5.4.1 Kontrolle: Prüfung der Messunsicherheit im Messprogramm und in Protokollen		jährlich
	5.5 Nachweis der Analyse- und Messverfahren Auswahl, Verifizierung, Validierung von Verfahren	5.5.1 Kontrolle: Abgleich der Analyse- und Messverfahren mit dem Eintrag im Katalog der deutschen Inkorporationsmessstellen		jährlich
		5.5.2 Kontrolle: Validierung nach Akzeptanzkriterien der RiPhyKo (Selektivität, Einhaltung der Nachweisgrenze, Genauigkeit (Akzeptanzkriterien für Richtigkeit und Präzision, s. Auswertung Ringversuche), Repräsentativität bei <i>Raumluftüberwachung</i>)		jährlich
	5.6 Qualitätssicherung	5.6.1 Dokumente: Teilnahme an den dosimetrischen Fallbeispielen der <i>Leitstelle Inkorporationsüberwachung</i>	jährlich	
		5.6.2 Kontrolle: Teilnahme am Ringversuch der <i>Leitstelle Inkorporationsüberwachung</i> und ggf. an weiteren Ringversuchen, Eigenkontrolle		jährlich

Anhang 4.3: Räumliche und technische Ausstattung von Inkorporationsmessstellen, einschließlich des Zeit- und Personalbedarfs für Analysen und Messungen (zu Kapitel 6.2)

Die grundsätzliche Ausstattung der *Inkorporationsmessstellen* ist von der Art der eingesetzten Überwachungsverfahren entsprechend den Radionukliden, für die die Messstelle eine Überwachung anbietet, abhängig.

Für alle ist jedoch für den Datenaustausch mit dem *Strahlenschutzregister* beim Bundesamt für Strahlenschutz eine geeignete EDV-Anlage zur Eingabe, Verarbeitung, Ausgabe, Sicherung und Übermittlung von personenbezogenen Messdaten erforderlich.

Die folgende Aufzählung ist für jede Messstelle verbindlich, erhebt aber andererseits nicht den Anspruch auf Vollständigkeit.

Anhang 4.3.1: Messung der Körper- oder Organaktivität

Anhang 4.3.1.1: Raumeinheiten und Verkehrsflächen

- Eingangsbereich mit Warteraum, Umkleidekabine, Sanitärtrakt (Handwaschbecken, vorzugsweise Duschen), Stellfläche für Kontaminationsmonitor, Büroarbeitsplatz,
- Personenmessraum mit
 - niedrigem Strahlenpegel,
 - konstanten Raumklimaverhältnissen durch Klimatisierung,
 - offenem (Labyrinth- oder anderes geeignetes System) oder verschließbarem und von innen zu öffnendem Zugang und
- Platz für die Installation des Messsystems und ausreichender Verkehrsfläche,
- Auswerteraum,
- Stellfläche zur sicheren Aufbewahrung von radioaktiven Präparaten und Geräten.

Anhang 4.3.1.2: Messsysteme

- Detektorsystem(e) zur Erfassung der aus dem Körper austretenden Photonen-Strahlung einschließlich notwendiger Elektronik und Datenverarbeitung,
- Probandenstuhl/-liege.

Anhang 4.3.1.3: Erforderliche Zusatzausrüstung

- Präparate für die innerbetriebliche Qualitätssicherung (*Eigenkontrolle*),
- Personenwaage und Maßband,
- Messgeräte zum Nachweis äußerer Kontaminationen von Körperoberflächen einschließlich Kopfhaar und (Fuß-)Bekleidung,
- verschließbarer Schrank oder vor unbefugtem Zugriff sowie vor Datenverlust geschütztes EDV-System für die Aufbewahrung von personenbezogenen Daten,
- Überwachung des Luftsauerstoffgehaltes bei Verwendung von Detektoren mit Flüssigstickstoffkühlung.

Anhang 4.3.1.4: Optionale Zusatzausrüstung

- Phantome zur Aktivitätskalibrierung,
- sofern erforderlich Fernsehüberwachung oder Sprechverbindung in den Personenmessraum oder Notrufanlage im Messraum,
- Ultraschallgerät zur Bestimmung der Gewebedicke beim Nachweis von niederenergetischen Photonenstrahlern ($E < 60 \text{ keV}$).

Anhang 4.3.2: Messung der Aktivität in den Ausscheidungen

Anhang 4.3.2.1: Raumeinheiten

- Chemisches Laboratorium nach der DGUV-Information „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“ der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung in der jeweils geltenden Fassung [DGUV 20]; beim Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen oberhalb der Freigrenzen nach Anlage 4 Tabelle 1 Spalten 2 und 3 StrISchV entsprechend den Regeln für die Auslegung von Radionuklidlaboratorien nach DIN 25425 in der jeweils geltenden Fassung [DIN 21a],
- Räumlichkeiten für die Aufbewahrung von Chemikalien und Geräten, Probenvorbereitung sowie belüftetes Lager zur Probenaufbewahrung,
- geeigneter Messraum.

Anhang 4.3.2.2: Messsysteme

Messsysteme zur Bestimmung der Aktivität von alpha-, beta- und gammastrahlenden Radionukliden, inklusive zugehöriger Elektronik und Datenverarbeitung.

Anhang 4.3.2.3: Erforderliche Zusatzausrüstung

- Übliche Ausstattung eines Chemielaboratoriums,
- bei Stuhlanalytik Einrichtung zur Trockenveraschung einschließlich Vorrichtungen gegen Geruchsbelästigung (z. B. Muffelofen mit integrierter Anlage zur katalytischen Nachverbrennung),
- Aktivitätsnormale für die Qualitätssicherung,
- verschließbarer Schrank oder vor unbefugtem Zugriff sowie vor Datenverlust geschütztes EDV-System für die Aufbewahrung von personenbezogenen Daten,
- Schutzbehälter und Sicherheitsschränke zur Aufbewahrung von radioaktiven und gefährlichen Arbeitsstoffen gemäß Strahlenschutz-, Biostoff- und Gefahrstoffrecht.

Anhang 4.3.3: Werte für den Zeit- und Personalbedarf der Analysen und Messungen

Art der Messung / Analyse	Anzahl der pro Person und Jahr durchführbaren Messungen / Analysen der jeweiligen Art ³⁷	Zeitspanne (in Arbeitstagen) vom Untersuchungsbeginn bis zum Vorliegen des Messergebnisses
<u>1. Körperaktivitätsmessungen</u>		
Ganzkörpermessung	1200	1
Schilddrüsenmessung	1200	1
Lungenmessung	1000	4
Sonstige Teilkörpermessungen	500	3
<u>2. Ausscheidungsmessungen</u>		
Alphaspektrometrie, Urin/Stuhl	200	5–20
Betamessungen, Urin ohne bzw. mit einfacher Aufbereitung ³⁸	1200	2–5
Betamessungen, Urin mit aufwändiger Aufbereitung ³⁹	300	3–20
Massenspektrometrie (ICP-MS), Urin mit einfacher Aufbereitung ³⁸	1000	2–10
Massenspektrometrie (ICP-MS), Urin mit aufwändiger Aufbereitung ³⁹	500	5–15
Neutronenaktivierung/Messung verzögerter Neutronen	1000	2–10
Ra-226 (Emanometrie)	400	15
<u>3. Raumluftaktivitätsmessungen</u>		
Actinoiden	Fußnote 40	7
Radioiodisotope	Fußnote 40	1
Übrige Radionuklide	Fußnote 40	1

³⁷ Bei dem Jahreswert sind durchschnittliche Aufwandszeiten für Kalibrierung, Gerätewartung, interne und externe Qualitätssicherung usw. berücksichtigt. Die Angaben beziehen sich auf eine Vollzeitstelle und auf je ein Messverfahren und Radionuklid. Außerdem wird davon ausgegangen, dass ausreichend Labor- und Messkapazitäten vorhanden sind, um parallellaufende Probenaufbereitungen und Messungen zu ermöglichen.

Bei ungünstigen Messbedingungen und Vorhaltung und/oder Durchführung mehrerer Analysen/ Messmethoden kann die Anzahl ungefähr um den Faktor 2 kleiner und die Zeitspanne bis zum Vorliegen des Ergebnisses bis um den Faktor 2 länger sein.

³⁸ Einfache Aufarbeitung: z. B. Destillation, Fällung, einfacher Aufschluss; die Angabe bezieht sich auf den Einsatz eines Messgerätes.

³⁹ Aufwändige Aufarbeitung: radiochemischer Trennungsgang, z. B. für Sr-90, Am-241.

⁴⁰ Da die Messungen weitgehend automatisierbar sind, ist die Anzahl der durchführbaren Messungen von der Anzahl der vorhandenen Messplätze sowie dem Sammel- und Messmodus (kontinuierlich/diskontinuierlich) abhängig.

Anhang 5: Daten zur Eignung von Analysen- und Messverfahren

Anhang 5.1: Verfahren zur Berechnung der charakteristischen Grenzen (zu Kapitel 6.3.2)

Anhang 5.1.1: Berechnungsverfahren der charakteristischen Grenzen für zählende und spektrometrische Messungen

In der DIN ISO 11929-1 [DIN 21b] und DIN ISO 11929-2 [DIN 21c] wird für ionisierende Strahlung die Vorgehensweise zur Berechnung der charakteristischen Grenzen, d. h. der Erkennungsgrenze und der Nachweisgrenze sowie der Grenzen des Überdeckungsintervalls, bei Messungen mit Zeit- und Impulsvorwahl beschrieben.

Die Ermittlung der charakteristischen Grenzen zeigt auf,

- ob ein quantifizierter physikalischer Effekt durch die Messgröße vorliegt (*Erkennungsgrenze*),
- wie groß der kleinste Probenbeitrag ist, der mit einem anzuwendenden Messverfahren noch nachgewiesen werden kann (*Nachweisgrenze*),
- im Fall, dass ein Messeffekt eines Probenbeitrages erkannt wurde, wie groß der Wertebereich der Messgröße ist, der mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit den wahren Wert der Messgröße enthält (Grenzen des Überdeckungsintervalls).

Unsicherheitsbeiträge bei Aktivitätsmessungen gehen in die Berechnung der charakteristischen Grenzen nach DIN ISO 11929 [DIN 21b, DIN 21c] ein und werden gewonnen durch

- Unsicherheiten aus zählenden oder wiederholten Messungen (Typ A) und
- Unsicherheiten aus anderen Quellen (Typ B).

Das Berechnungsverfahren für angewendete Messverfahren der behördlich bestimmten Messstellen erfolgt gemäß DIN ISO 11929 [DIN 21b, DIN 21c] in der gültigen Fassung.

Die berechnete Nachweisgrenze wird mit den vorgegebenen Richtwerten der Nachweisgrenze (Anhang 6 Spalten 7, 10 und 12) verglichen oder in Gleichung 3.5 eingesetzt. Das erlaubt die Entscheidung darüber, ob das angewendete Messverfahren in Verbindung mit einem zugehörigen Überwachungsintervall für den Messzweck geeignet ist.

Folgende statistische Parameter sind vorgegeben:

- statistischer Faktor für die Wahrscheinlichkeit α , fälschlicherweise einen Messeffekt anzunehmen, wenn in Wirklichkeit nur ein Nulleffekt vorliegt:
 $\alpha = 0,05$, d. h. $k_{1-\alpha} = 1,645$,
- statistischer Faktor für die Wahrscheinlichkeit β , fälschlicherweise einen Messeffekt nicht zu erkennen, wenn er in Wirklichkeit vorliegt:
 $\beta = 0,05$; d. h. $k_{1-\beta} = 1,645$,
- Die Überdeckungswahrscheinlichkeit wird mit 95 % festgelegt; für $\gamma = 0,95$ ist der statistische Faktor = 1,960.

Anwendungsbeispiele zur Ermittlung der charakteristischen Grenzen sind im Beiblatt zur DIN ISO 11929 [DIN 21b] und [DIN 21c] beschrieben.

Anhang 5.1.2: Grundlagen der Berechnung

Das Modell der Auswertung am Beispiel einer Aktivität wird vereinfacht und verallgemeinert wie folgt dargestellt:

$$a = (r_b - r_0) \cdot w = r_n \cdot w$$

mit dem Kalibrierfaktor $w = k_G$ und mit

a Aktivität in Bq;

w vollständiger Kalibrierfaktor;

k_G im vereinfachten Modell: Kalibrierfaktor ohne Korrekturfaktoren;

r_b Bruttozählrate;

r_0 Nulleffektzählrate bzw. Untergrundzählrate;

r_n Nettozählrate.

Der *Kalibrierfaktor* w berücksichtigt Eingangsgrößen wie z. B. den Zählwirkungsgrad ε , als Probengröße das Volumen V oder die Aktivität des zugesetzten Tracers bei der Alphaspektrometrie. Hierbei handelt es sich um Eingangsgrößen mit Typ-B-Unsicherheiten, die nicht aus zählenden oder wiederholenden Messungen gewonnen werden.

Zur Berücksichtigung weiterer Einflussgrößen kann der Kalibrierfaktor um Korrekturfaktoren erweitert werden. Exemplarisch ist dies für das Modell der Messung der Körperaktivität im Folgenden dargestellt:

$$w = k_G \cdot k_{Dp} \cdot k_{Bs} \cdot k_{Bd} \cdot k_{Os} \cdot k_{Ad}$$

Für jeden der Korrekturfaktoren⁴¹ wird entsprechend IDEAS Guidelines [IDEAS 13] eine individuelle geometrische Standardabweichung, ein sogenannter *Streufaktor* SF , angenommen (s. a. Kapitel 7.1.5 und Tabelle 7.2).

⁴¹ Bei Korrekturfaktoren mit unsicheren Einflüssen wird der Wert mit $x_i = 1$ und einer individuellen Standardunsicherheit angegeben.

Anhang 5.1.3: Beispiele von Eingangsgrößen

Größe	Symbol	Eingangsgröße x_i	Standardunsicherheit der Eingangsgröße $u(x_i)$
Kalibrierfaktor	k_G		
Messung der Körperaktivität			
Detektorpositionierung	k_{Dp}	1	SF_{Dp}
Hintergrundsignal	k_{Bs}	1	SF_{Bs}
Körperdimensionen	k_{Bd}	1	SF_{Bd}
„overlying structures“	k_{Os}	1	SF_{Os}
Aktivitätsverteilung	k_{Ad}	1	SF_{Ad}
Ausscheidungsmessungen			
Untergrundzählrate	r_0	Mittelwert aus Untergrundzählraten	Standardabweichung S_0
		Alternativ: Untergrundzählraten der letzten Messung	zählstatistische Unsicherheit $S_{0,UG}$
Bruttozählrate	r_b		zählstatistische Unsicherheit S_b
Aktivität des Tracers	a_T		3 % oder individuelle Abschätzung
Probenvorbereitung	P		5 % oder individuelle Abschätzung
Probenpositionierung	-		5 % oder individuelle Abschätzung
Chemische Ausbeute	η		Unsicherheit u_η

Unsicherheiten werden als Wahrscheinlichkeitsdichten (probability density functions, PDFs) quantifiziert. Für diese Korrekturfaktoren wird als PDF eine logarithmische Normalverteilung entsprechend der DIN ISO 11929-2 [DIN 21c] angenommen. Informationen zu Eingangsgrößen und Typ-B-Unsicherheiten siehe IDEAS Guidelines [IDEAS 13], Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement GUM [ISO 08].

Die Unsicherheit des vollständigen Kalibrierfaktors ergibt sich aus den Unsicherheiten all seiner Eingangsgrößen x_i wie folgt:

$$u_{\text{rel}}(w) = \sqrt{\sum_i^n u_{\text{rel}}^2(x_i)}$$

Für die Standardunsicherheit der Aktivitätsmessung gilt:

$$u(a) = \sqrt{a^2 \cdot u_{\text{rel}}^2(w) + w^2 \cdot \left(\frac{r_b}{t_b} + \frac{r_0}{t_0} \right)}$$

Unter der Anwendung der DIN ISO 11929-01 [DIN 21b] ergibt sich die Erkennungsgrenze a^* zu:

$$a^* = k_{1-\alpha} \cdot w \sqrt{\frac{n_0}{t_0} \cdot \left(\frac{1}{t_b} + \frac{1}{t_0} \right)}$$

Unter der Anwendung der DIN ISO 11929-01 [DIN 21b] ergibt sich die Nachweisgrenze $a^\#$ in impliziter Darstellung zu:

$$a^\# = a^* + k_{1-\beta} \cdot \sqrt{a^{\#2} \cdot u_{\text{rel}}^2(w) + w^2 \cdot \left[\frac{a^\#}{t_b \cdot w} + \frac{n_0}{t_0} \cdot \left(\frac{1}{t_b} + \frac{1}{t_0} \right) \right]}$$

Unter der Bedingung $k_{1-\alpha} = k_{1-\beta}$ ergibt sich die folgende explizite Darstellung für $a^\#$:

$$a^\# = \frac{2a^* + k^2 \cdot \frac{w}{t_b}}{1 - k^2 \cdot u_{\text{rel}}^2(w)}$$

mit den Bezeichnungen:

a	Aktivität;
$a^\#$	Nachweisgrenze für die Aktivität;
a^*	Erkennungsgrenze für die Aktivität;
w	vollständiger Kalibrierfaktor;
$u(w)$	Standardunsicherheit des Kalibrierfaktors;
$u_{\text{rel}}(w)$	relative Standardunsicherheit des Kalibrierfaktors;
r_b	Bruttozählrate;
r_0	Nulleffektzählrate bzw. Untergrundzählrate;
r_n	Nettozählrate;
n_0	Anzahl der Zählereignisse der Nulleffektmessung;
t_0	Messzeit der Nulleffektmessung;
t_b	Messzeit der Bruttomessung;
$k_{1-\alpha}$	statistischer Faktor für Fehler 1. Art; für $\alpha = 0,05$ ist $k_{1-\alpha} = 1,645$;
$k_{1-\beta}$	statistischer Faktor für Fehler 2. Art; für $\beta = 0,05$ ist $k_{1-\beta} = 1,645$;
k	$k = k_{1-\alpha} = k_{1-\beta}$.

Anhang 5.1.4: Berechnungsverfahren der charakteristischen Grenzen für massenspektrometrische Messverfahren

Die Berechnung der Nachweisgrenzen für massenspektrometrische Messverfahren erfolgt gemäß DIN 32645 [DIN 08] Chemische Analytik-, Nachweis-, Erfassungs- und Bestimmungsgrenze unter Wiederholbedingungen (Begriffe, Verfahren, Auswertung).

Anhang 5.2: Akzeptanzkriterien für Richtigkeit und Präzision (zu Kapitel 6.3.3)

Als Maß der *Richtigkeit* der Ergebnisse des Analysen- und Messverfahrens dient die mittlere relative Abweichung B vom Soll- oder *Referenzwert*. Die *Richtigkeit* ist ausreichend, wenn dafür das Kriterium erfüllt ist:

$$-0,25 < B < 0,5$$

mit
$$B = \frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^m B_j$$

und
$$B_j = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n B_{i,j}$$

und
$$B_{i,j} = \frac{A_{i,j}}{A_{a,j}} - 1.$$

Dabei ist

- i Lauindex der Wiederholmessungen;
- j Lauindex (bei *Eigenkontrolle* Index für die Probenserie, bei *Ringversuchen* Index für die teilnehmenden Messstellen);
- $A_{a,j}$ Testaktivität der Probenserie j bzw. Ringversuchsaktivität;
- $A_{i,j}$ Messwert i der Messstelle j für die Testaktivität $A_{a,j}$;
- n Anzahl der Wiederholmessungen in der Messstelle ($n \geq 5$);
- m Anzahl der Probenserien bzw. der teilnehmenden Messstellen.

Als Maß für die *Präzision* des Analysen- und Messverfahrens einer Messstelle dient die Standardabweichung s_A bezogen auf n Messungen der Testaktivität A_a . Die *Präzision* ist ausreichend, wenn dafür das Kriterium erfüllt ist:

$$s_A = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_i}{A_a} - 1 \right)^2} \leq 0,4$$

Die Größe s_B ist ein Maß für die Präzision aller Testergebnisse bei der *Eigenkontrolle* bzw. der Ringversuchsergebnisse der teilnehmenden Messstellen:

$$s_B = \sqrt{\frac{1}{m-1} \cdot \sum_{j=1}^m (B_j - B)^2} \leq 0,4.$$