

Verordnung über die Personendosimetrie (Dosimetrieverordnung)

vom 7. Oktober 1999 (Stand am 4. April 2000)

*Das Eidgenössische Departement des Innern und
das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und
Kommunikation,*

gestützt auf Artikel 52 der Strahlenschutzverordnung vom 22. Juni 1994¹ (StSV),
verordnen:

1. Kapitel: Allgemeine Bestimmungen

Art. 1 Gegenstand

Diese Verordnung regelt die technischen Bestimmungen zur Personendosimetrie und legt die Anforderungen an die Dosimetriesysteme fest.

Art. 2 Begriffsbestimmungen

Für diese Verordnung gelten die Begriffsbestimmungen der StSV und zusätzlich diejenigen in Anhang 1.

Art. 3 Aufsicht

Die anerkennenden Behörden nach Artikel 47 StSV beaufsichtigen die Personendosimetriestellen.

Art. 4 Gegenstand der Anerkennung einer Personendosimetriestelle

Die Anerkennung der Personendosimetriestelle erstreckt sich insbesondere auf folgende Gegenstände:

- a. Festlegung der Messgrössen;
- b. Strahlenarten und Radionuklide, die gemessen werden;
- c. Messmethoden, die angewendet werden;
- d. Format der Dosismeldung.

Art. 5 Veröffentlichung der Anerkennung

Die anerkennenden Behörden veröffentlichen die Liste der anerkannten Personendosimetriestellen.

Art. 6 Pflichten der Personendosimetriestellen bei Einstellen der Tätigkeit

¹ Will der Inhaber einer Personendosimetriestelle seine Tätigkeit einstellen, muss er dies der anerkennenden Behörde, seinen Auftraggebern und den für seine Auftraggeber zuständigen Aufsichtsbehörden mindestens sechs Monate zum Voraus ankündigen.

² Die Personendosimetriestelle, die ihre Tätigkeit einstellt, übergibt ihr archiviertes Datenmaterial den von ihren Auftraggebern bestimmten neuen Personendosimetriestellen.

³ In ausserordentlichen Fällen (z. B. Todesfall, Konkurs) bestimmt die anerkennende Behörde das Vorgehen.

Art. 7 Pflichten der Personendosimetriestellen bei Kündigung eines Auftrages

Kündigt ein Auftraggeber das Auftragsverhältnis mit der Personendosimetriestelle, hat diese den Auftraggeber auf seine Pflichten als Bewilligungsinhaber nach Artikel 43 StSV aufmerksam zu machen und die Aufsichtsbehörde über die Kündigung zu informieren.

Art. 8 Qualitätssicherung

Die Personendosimetriestelle muss der anerkennenden Behörde ein Qualitätssicherungsprogramm nachweisen und dieses anwenden.

Art. 9 Erfassung der wesentlichen Strahlungskomponenten

¹ Falls die effektive Dosis durch Inkorporation oder Photonen- oder Neutronenstrahlung nachweisbar nicht mehr als 10 Prozent zur gesamten Jahresdosis einer Person beitragen kann, so kann im Einverständnis mit der Aufsichtsbehörde eine individuelle Dosimetrie dieses Strahlenanteils entfallen.

² Falls die Hautdosis nicht grösser als 25 mSv pro Jahr sein kann, so kann im Einverständnis mit der Aufsichtsbehörde auf eine individuelle Überwachung dieses Anteils verzichtet werden.

Art. 10 Dosimetrie verpflichteter Personen bei erhöhter Radioaktivität nach den Artikeln 121 und 122 StSV

¹ Die ermittelten Dosiswerte verpflichteter Personen sind zu protokollieren und zuhänden des Bundesamtes für Gesundheit (BAG) verfügbar zu halten. Die Meldung an das BAG erfolgt gemäss speziellen Weisungen.

² Die Dosimetrie kann durchgeführt werden:

- a. von einer anerkannten Personendosimetriestelle; oder
- b. durch die Einsatzorganisation bei erhöhter Radioaktivität (EOR) mit elektronischen Dosimetern, wenn diese dem Stand der Technik entsprechen und rückverfolgbar sind.

³ Falls eine Inkorporation vermutet wird, ist eine Inkorporationsüberwachung nach Artikel 32 vorzunehmen. Die Einsatzleitung kann dazu spezielle Triagemessungen anordnen.

⁴ In hinreichend bekannten und homogenen Strahlenfeldern kann auf eine individuelle Dosismessung verzichtet werden, wenn die Dosis rechnerisch ermittelt wird.

2. Kapitel: Externe Bestrahlung

1. Abschnitt: Durchführung der Dosimetrie (Überwachungsmethoden)

Art. 11 Tragweise des Dosimeters

Das Ganzkörperdosimeter muss auf dem Körperrumpf, auf der Brust oder dem Bauch, bei schwangeren Frauen auf Bauchhöhe getragen werden.

Art. 12 Tragen mehrerer Dosimeter

¹ Die überwachten Personen müssen mehrere Dosimeter tragen, wenn der Dosiswert eines einzigen Dosimeters infolge der Inhomogenität des Strahlenfeldes nicht repräsentativ ist.

² Der Sachverständige ermittelt die effektive Dosis auf Grund der verschiedenen Teilkörperdosen.

³ Die Aufsichtsbehörde muss die Bestimmungsmethode gutheissen; sie regelt das Meldeverfahren.

Art. 13 Zusätzliche Warngeräte und Extremitätendosimeter

Die Aufsichtsbehörde kann verlangen, dass:

- a. in zeitlich oder räumlich inhomogenen Strahlenfeldern ein akustisches Warngerät für die Dosisleistung benutzt wird;
- b. zur Optimierung von Arbeiten hinsichtlich Strahlenschutz ein Dosimeter mit direkter Anzeige eingesetzt wird;
- c. ein Extremitätendosimeter getragen wird, falls die Extremitätendosis mehr als 25 mSv pro Jahr betragen kann.

Art. 14 Tragweise mit Bleischürze

- ¹ Beim Tragen einer Bleischürze wird das Dosimeter unter der Bleischürze getragen.
- ² Die Aufsichtsbehörde kann verlangen, dass bei dosisintensiven Arbeiten mit Bleischürzen zwei Dosimeter getragen werden.
- ³ Das zweite Dosimeter soll nur bei Arbeiten mit der Bleischürze und über der Bleischürze getragen werden; es ist speziell zu kennzeichnen.
- ⁴ Mit zwei Dosimetern wird die totale individuelle Dosis wie folgt berechnet:

$$H_{total}(10) = H_{unter}(10) + a \cdot H_{über}(10)$$

$$H_{total}(0.07) = H_{unter}(0.07) + H_{über}(0.07)$$

wobei H_{unter} die unter der Bleischürze und $H_{über}$ die über der Bleischürze gemessene Dosis bedeutet und $a = 0.1$, wenn die Bleischürze die Schilddrüse nicht schützt bzw. $a = 0.05$, wenn sie sie schützt.

Art. 15 Tragweise des Extremitätendosimeters

Das Extremitätendosimeter muss möglichst an derjenigen Stelle, an der die höchste Dosis zu erwarten ist, getragen werden.

Art. 16 Verlängerung der Messperiode

- ¹ Eine Verlängerung der Messperiode nach Artikel 42 Absatz 5 StSV über einen Monat hinaus ist mit Einverständnis der Aufsichtsbehörde möglich, falls:
- die betroffenen Personen zusätzlich durch direkt ablesbare Personendosimetriesysteme überwacht werden; oder
 - eine Ortsdosimetrie mit Anzeige der Dosisleistung oder einem Alarm existiert.
- ² Der Bewilligungsinhaber muss der Aufsichtsbehörde nachweisen, dass die Messsysteme nach Absatz 1 dem Stand der Technik entsprechen und rückverfolgbar sind und dass ein Qualitätssicherungsprogramm angewendet wird.

2. Abschnitt: Technische Anforderungen an Dosimetriesysteme**Art. 17** Allgemeine Anforderungen

Die Messsysteme nach Artikel 45 Absatz 2c StSV müssen die Bestimmung der operationellen Grössen nach Anhang 5 StSV für die Personendosimetrie bei externer Bestrahlung ermöglichen.

Art. 18 Anforderungen unter routinemässigen Bedingungen

Die Abweichung des unter routinemässigen Bedingungen ermittelten Dosiswertes H_m vom Sollwert der operationellen Grösse H_i soll für Photonenstrahlung innerhalb der im Anhang 2 festgelegten Schranken liegen.

Art. 19 Anforderungen für die Anerkennung

- ¹ Die Dosimetriesysteme müssen die Anforderungen nach den Anhängen 3–7 erfüllen.
- ² Die Abweichung des ermittelten Dosiswertes vom Sollwert unter Referenzbedingungen nach Artikel 22 darf nicht mehr als ± 10 Prozent betragen.
- ³ Die anerkennende Behörde kann für die Ermittlung der Dosis die Anwendung eines Normalisierungsfaktors relativ zu den Referenzbedingungen erlauben, falls die Dosimeter in einem bekannten Strahlenfeld getragen werden, das sich erheblich vom Referenzstrahlenfeld unterscheidet.
- ⁴ Die anerkennende Behörde kann bezüglich der Energieabhängigkeit Abweichungen von den Anforderungen erlauben, wenn vom Betreiber der Personendosimetriestelle nachgewiesen wird, dass sein Dosimetriesystem in speziellen Strahlenfeldern eingesetzt wird, die nur in einem Teilenergiebereich einen signifikanten Dosisbeitrag liefern.

Art. 20 Zusätzliche Anforderungen für die Anerkennung elektronischer Dosimetriesysteme

- ¹ Ein elektronisches Personendosimetriesystem muss nach den Normen der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) oder gleichwertig typengeprüft sein.
- ² Durch geeignete Massnahmen und Vorkehrungen ist sicherzustellen, dass die Dosisdaten bis zum Transfer in den Datenspeicher der Personendosimetriestelle nicht gelöscht werden können.
- ³ Die Dosisleistungsabhängigkeit der Dosismessung, gegebenenfalls auch für gepulste Strahlung, muss spezifiziert sein.
- ⁴ Das Dosimeter muss den Anforderungen am Einsatzort entsprechen.

Art. 21 Vergleichsmessungen

- ¹ Bei den Vergleichsmessungen nach Artikel 50 Absatz 2 StSV muss die Messgenauigkeit unter Referenzbedingungen nach Artikel 22 überprüft werden.
- ² Liegen die ermittelten Dosiswerte bei Referenzbedingungen ausserhalb von 10 Prozent des Sollwertes, so muss die Dosimetriestelle die Ursache abklären und allenfalls eine Neukalibrierung des Dosimetriesystems vornehmen.
- ³ Werden bei Vergleichsmessungen ergänzende Tests durchgeführt, müssen die Anforderungen nach Artikel 18 und den Anhängen 3–7 unter Berücksichtigung allfälliger Ausnahmen gemäss Artikel 19 Absätze 3 und 4 erfüllt sein.

3. Abschnitt: Definitionen und technische Festlegungen

Art. 22 Referenzbedingungen

Die Referenzbedingungen sind am Phantom nach Artikel 23 im Dosisbereich zwischen 2 und 10 mSv definiert für Strahlenfelder folgender Quellen:

- a. Photonen: Cäsium-137-Quelle
- b. Elektronen: Strontium/Yttrium-90-Quelle
- c. Neutronen: Americium/Beryllium-Quelle

Art. 23 Definition des Phantoms

¹ Das Phantom für Personendosimeter ist ein quaderförmiges Gefäss aus Polymethylmetacrylat/PMMA (Plexiglas) mit den Abmessungen von $30 \times 30 \times 15 \text{ cm}^3$ und einer Wandstärke von 10 mm (vorne: 2,5 mm). Es ist mit Wasser gefüllt.

² Das Phantom für Extremitätendosimeter ist ein Plexiglasstab mit einem Durchmesser von 19 mm und einer Länge von 300 mm.

Art. 24 Messgrössen

¹ Die operationellen Grössen für die Personendosimetrie werden anhand von Konversionskoeffizienten nach Anhang 8 aus den folgenden Grössen abgeleitet:

- a. Luftkerma (K_a) für Photonen;
- b. Absorbierte Dosis (D_a) in Luft oder Elektronenfluss (Φ) für Elektronen;
- c. Neutronenfluss (Φ) für Neutronen.

² Die Rückverfolgbarkeit der Messsysteme auf nationale Normale erfolgt über die Grössen von Absatz 1 Buchstabe a–c.

Art. 25 Bestrahlungsgeometrie für Photonen und Neutronen

Das Strahlungsfeld muss auf das Phantom zentriert und senkrecht dazu sein. Bezugspunkt ist das Messzentrum des Dosimeters. Die Distanz zwischen Quelle und Phantom soll für Photonenstrahlung mindestens 2 m betragen. Das Strahlungsfeld muss das gesamte Phantom abdecken.

Art. 26 Bestrahlungsgeometrie für Betastrahlung

Das Strahlungsfeld muss auf das Phantom zentriert und senkrecht dazu sein. Bezugspunkt ist das Messzentrum des Dosimeters. Die Distanz zwischen Quelle und Phantom soll mindestens 20 cm und höchstens 50 cm betragen. Das Strahlungsfeld muss das gesamte Phantom abdecken.

Art. 27 Referenzstrahlungsfelder

Die Referenzstrahlungsfelder nach Anhang 8 müssen den Normen ISO 4037 (Photonenstrahlung), ISO 8529-3 (Neutronenstrahlung) und ISO 6980 (Betastrahlung) entsprechen.

Art. 28 Bedingungen für die Kontrolle der Energieabhängigkeit

Die Energieabhängigkeit muss mit einem senkrechten Strahl auf das Phantom nach Artikel 23 und bei einem Referenzwert der operationellen Messgrösse zwischen 2 und 10 mSv geprüft werden.

Art. 29 Bedingungen für die Kontrolle der Winkelabhängigkeit

Die Winkelabhängigkeit muss mit unter verschiedenen Winkeln einfallenden Strahlen auf das Phantom nach Artikel 23 und bei einem Referenzwert der operationellen Messgrösse zwischen 2 und 10 mSv geprüft werden.

Art. 30 Bedingungen für die Prüfung der Reproduzierbarkeit

Die Reproduzierbarkeit muss unter Referenzbedingungen geprüft werden. Dazu wird die Streuung der Dosen ermittelt, die von mehreren unter gleichen Bedingungen bestrahlten Dosimetern angezeigt werden.

Art. 31 Fading

Der Effekt des Fadings auf den Dosiswert muss unter den normalen Betriebsbedingungen über eine Messperiode ermittelt werden.

3. Kapitel: Interne Bestrahlung**1. Abschnitt: Durchführung der Dosimetrie (Überwachungsmethoden)****Art. 32** Inkorporationsüberwachung

¹ Bei der individuellen Inkorporationsüberwachung wird die im Körper gespeicherte oder die ausgeschiedene Aktivität gemessen.

² Die Messmethode muss die Anforderungen nach Anhang 10 erfüllen.

³ Falls der anerkennenden Behörde der Nachweis erbracht wird, dass eine andere Messmethode oder ein anderes Überwachungsintervall gleichwertig oder besser ist als die in Anhang 10 genannten, so sind Anpassungen bei den Inkorporationsmessungen nach Artikel 33 Absatz 1 Buchstabe b zulässig.

Art. 33 Messverfahren

¹ Die Inkorporationsüberwachung erfolgt mittels:

- a. einer vereinfachten Messung (Triagemessung) durch den Betrieb gemäss Anforderungen der Aufsichtsbehörde;
- b. einer Messung mit geeigneter Apparatur durch eine anerkannte Personendosimetriestelle (Inkorporationsmessung).

² Die Ergebnisse der Triagemessung werden nicht zur Dosisermittlung verwendet.

³ Liegt das Resultat einer Triagemessung über der nuklidspezifischen Messschwelle nach Anhang 10, so ist eine Inkorporationsmessung durchzuführen.

Art. 34 Überwachungsintervalle

¹ Die Überwachungsintervalle für bestimmte Nuklide sind im Anhang 10 festgelegt.

² Für Nuklide, die nicht in Anhang 10 enthalten sind, sind die Überwachungsintervalle so zu wählen, dass eine tatsächliche zu Beginn oder am Schluss des Intervalls stattgefundene Inkorporation wenn möglich um nicht mehr als einen Faktor 3 unterbeziehungweise überschätzt wird.

³ Bei radioaktiven Stoffen mit sehr kurzen effektiven Halbwertszeiten (< 1 Tag) erfolgt die Überwachung der Inkorporation durch häufige, zum Beispiel arbeitstägliche Triagemessungen.

Art. 35 Nuklidgemische

¹ Ist von einer gleich bleibenden Nuklidzusammensetzung auszugehen, so kann sich die Inkorporationsmessung auf ein Leitnuklid beschränken.

² Die Dosisbestimmung auf Grund des überwachten Leitnuklides ist zu dokumentieren.

Art. 36 Messung der Aktivitätskonzentration in der Atemluft

In besonderen Fällen kann mit Zustimmung der Aufsichtsbehörde an Stelle der individuellen Inkorporationsüberwachung eine Messung der Aktivitätskonzentration in der Atemluft erfolgen.

Art. 37 Spezielle Nuklide

Bestehen für bestimmte Nuklide keine anerkannten Inkorporationsmessstellen, entscheiden die Aufsichtsbehörden, an welchen Stellen und mit welchen Verfahren (Häufigkeit und Messmethode) die entsprechenden Untersuchungen durchgeführt werden sollen.

2. Abschnitt: Minimalanforderungen an Triagemessstellen und Bedingungen für die Anerkennung von Inkorporationsmessstellen

Art. 38 Triagemessungen

¹ Die Anforderungen an die Triagemessungen werden von der Aufsichtsbehörde für konkrete Fälle festgelegt. Sie umfassen minimale Messanforderungen, Kalibrierung und Rückverfolgbarkeit sowie Qualitätssicherung.

² Die Ergebnisse der Triagemessungen müssen registriert werden.

Art. 39 Anerkennung von Inkorporationsmessstellen

¹ Die Anerkennung einer Inkorporationsmessstelle nach Artikel 45–47 StSV erfolgt für definierte Nuklide.

² Bei der Ausscheidungsanalyse müssen die gemessenen Aktivitäten, resp. Aktivitätskonzentrationen zwischen dem 10-fachen Wert und dem 100-fachen Wert der Messschwelle nach Anhang 10 mit einer maximalen Abweichung zum Sollwert von 20 Prozent bestimmt werden können.

³ Für Direktmessungen muss die Aktivität in einem Phantom, das von der anerkennenden Behörde genehmigt ist, zwischen der Messschwelle nach Anhang 10 und deren 100-fachem Wert bestimmt werden können. Der Messwert in diesem Bereich darf nicht mehr als 20 Prozent vom Sollwert abweichen.

⁴ Die Messsysteme müssen dem Stand der Technik entsprechen und auf vom Bundesamt für Metrologie und Akkreditierung (metas)² anerkannte Aktivitäts-Normale rückverfolgbar sein.

3. Abschnitt: Standardmodelle für die Berechnungen

Art. 40 Standardberechnung

¹ Die Standardberechnung der effektiven Folgedosen erfolgt nach Anhang 9.

² Die für die Berechnungen zu verwendenden nuklidspezifischen Daten sind in Anhang 10 festgelegt.

³ Für die Berechnung der Dosis im Routinebetrieb wird angenommen, dass der Inkorporationszeitpunkt in der Mitte des Überwachungsintervalles liegt. Bei bekanntem Inkorporationszeitpunkt sind die tatsächlichen Zeiten zu berücksichtigen.

⁴ Falls nachgewiesen wird, dass das radioaktive Material in der verwendeten Form einen vom Standardmodell abweichenden Stoffwechsel im Körper aufweist, ist mit Einverständnis der anerkennenden Behörde für die Inkorporationsmessungen ein Modell zu verwenden, das den betreffenden Fall besser beschreibt.

² Die Bezeichnung der Verwaltungseinheit wurde gemäss Art. 4a der Publikationsverordnung vom 15. Juni 1998 (SR 170.512.1) angepasst.

4. Kapitel: Schlussbestimmungen

Art. 41 Übergangsbestimmung

Die Bewilligungsinhaber haben dafür zu sorgen, dass die in ihrem Betrieb tätigen beruflich strahlenexponierten Personen spätestens ab dem 1. Januar 2001 dieser Verordnung entsprechenden Dosismessungen zur Ermittlung der externen und internen Bestrahlung unterzogen werden.

Art. 42 Inkrafttreten

Diese Verordnung tritt am 1. Januar 2000 in Kraft.

Begriffsbestimmungen

Dauerinkorporation

Andauernde Aufnahme radioaktiver Stoffe in den menschlichen Organismus durch Ingestion, Inhalation oder durch Aufnahme durch die Haut.

Fading

Differenz zwischen Messwert und Sollwert in Abhängigkeit von der Zeitspanne zwischen Bestrahlung und Auswertung relativ zum Sollwert in (%/Monat).

Fluenz

Die Fluenz in einem Punkt eines Strahlenfeldes ist die Anzahl der Teilchen, welche in eine kleine, um diesen Punkt zentrierte Kugel eintreten, dividiert durch die Querschnittsfläche dieser Kugel (cm²).

Halbwertszeit, effektive

Die *effektive* Halbwertszeit berechnet sich wie folgt aus der *biologischen* und der *physikalischen* Halbwertszeit eines Nuklides:

$$T_{1/2 \text{ eff}} = \frac{T_{1/2 \text{ biol}} \cdot T_{1/2 \text{ phys}}}{T_{1/2 \text{ biol}} + T_{1/2 \text{ phys}}}$$

Inkorporationsmessung

Bestimmung der effektiven Folgedosis E_{50} auf Grund der gemessenen Körperaktivität oder der Aktivität in den Ausscheidungen.

Kerma

Kerma ist die Summe der Anfangswerte der kinetischen Energien der in einem Volumenelement der Materie durch indirekt ionisierende Strahlung erzeugten geladenen Teilchen pro Masseneinheit (**kinetic energy released in material**) (J/kg, Gy).

Leitnuklid

Für die Dosisbestimmung repräsentatives Nuklid in einem Nuklidgemisch.

Triagemessung

Messverfahren zur Feststellung von Inkorporationen ohne Bestimmung der entsprechenden effektiven Dosis.

Trompeten-Kurven

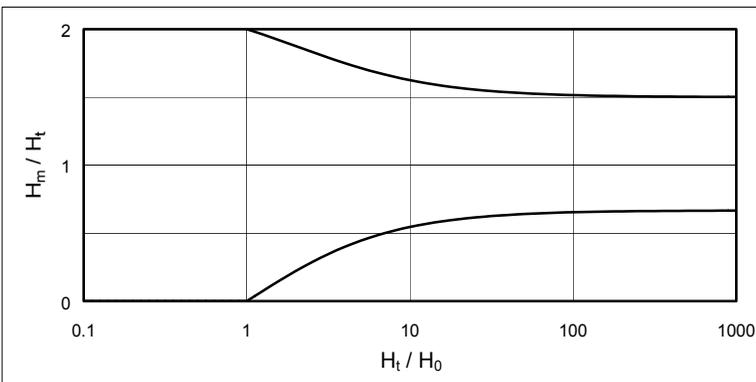
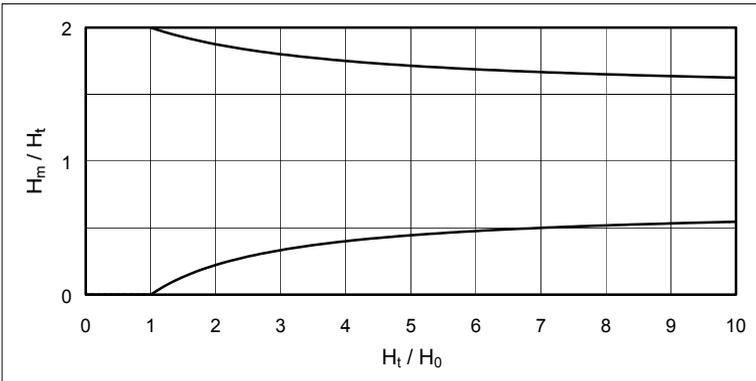
für $H_t \leq H_0$: $0 \leq H_m \leq 2H_0$

für $H_t > H_0$: $\frac{1}{1.5} \left(1 - \frac{2H_0}{H_0 + H_t} \right) \leq H_m / H_t \leq 1.5 \left(1 + \frac{H_0}{2H_0 + H_t} \right)$

H_t ist der Sollwert der operationellen Grösse

H_m ist der unter Routinebedingungen ermittelte Dosiswert

H_0 ist die tiefste Dosis, die messbar sein muss (siehe Anhänge 3 bis 7)



Anforderungen an ein Personendosimeter für Photonen

- a. Messgrößen
 $H_p(10)$ und $H_p(0,07)$
- b. Tiefste Dosis, die messbar sein muss
 $H_0 = 0,1$ mSv für $H_p(10)$
 $H_0 = 1$ mSv für $H_p(0,07)$
- c. Messbereich
 H_0 bis 5 Sv
- d. Linearität
Abweichung $< 15\%$ im Bereich [1 mSv, 5 Sv]
- e. Energieabhängigkeit
Für Photonenstrahlung mit Energien zwischen 20 keV und 5 MeV

$$0,7 \leq \frac{H_m}{H_t} \leq 1,3 \quad \text{für } H_p(10)$$

Für Photonenstrahlung mit Energien zwischen 10 keV und 300 keV; unter Sekundärelektronengleichgewicht bis 5 MeV

$$0,7 \leq \frac{H_m}{H_t} \leq 1,3 \quad \text{für } H_p(0,07)$$

- f. Winkelabhängigkeit
 $< 20\%$ bis 60° für Energien > 60 keV
- g. Reproduzierbarkeit
Standardabweichung $s \leq 10\%$ für $H_p(10)$ und $H_p(0,07)$
- h. Fading
Effekt $< 10\%$ /Monat

Anforderungen an ein Personendosimeter für Betastrahlung

- a. Messgrösse:
 $H_p(0,07)$
- b. Tiefste Dosis, die messbar sein muss
 $H_0 = 1 \text{ mSv}$
- c. Messbereich
 H_0 bis 5 Sv
- d. Linearität
Abweichung $< 15 \%$ im Bereich [1 mSv, 5 Sv]
- e. Energieabhängigkeit
Für Betastrahlung von Thallium-204 oder Krypton-85:

$$0,1 \leq \frac{H_m}{H_t} \leq 2,0$$

Falls das System mit Photonenstrahlung kalibriert wurde, gilt zusätzlich für Betastrahlung von Strontium-90/Yttrium-90:

$$0,5 \leq \frac{H_m}{H_t} \leq 2,0$$

- f. Reproduzierbarkeit
Standardabweichung $s \leq 10\%$
- g. Fading
Effekt $< 10 \%$ /Monat

Anforderungen an ein Personendosimeter für Neutronen

- a. Messgrösse
 $H_p(10)$
- b. Tiefste Dosis, die messbar sein muss
 $H_0 = 0,5 \text{ mSv}$
- c. Messbereich
 H_0 bis 5 Sv
- d. Linearität
Abweichung < 30 % im Bereich [1 mSv; 5 Sv]
- e. Energieabhängigkeit

$$0,3 \leq \frac{H_m}{H_t} \leq 3,0$$

für realistische Feldspektren im Einsatzbereich des Dosimeters

- f. Reproduzierbarkeit
Standardabweichung $s \leq 50\%$
- g. Fading
Effekt < 30 %/Monat

Anhang 6
(Art. 19 und 21 Abs. 3)

Anforderungen an ein Extremitätendosimeter für Photonenstrahlung

- a. Messgrösse
 $H_p(0,07)$
- b. Tiefste Dosis, die messbar sein muss
 $H_0 = 1 \text{ mSv}$
- c. Messbereich
 H_0 bis 5 Sv
- d. Linearität
Abweichung $< 15 \%$ im Bereich [1 mSv, 5 Sv]
- e. Energieabhängigkeit
Für Photonenstrahlung mit Energien zwischen 10 keV und 300 keV; unter Sekundärelektronengleichgewicht bis 1,5 MeV

$$0,5 \leq \frac{H_m}{H_t} \leq 2,0$$

- f. Winkelabhängigkeit
 $< 20 \%$ bis 60° für Energien $> 60 \text{ keV}$
- g. Reproduzierbarkeit
Standardabweichung $s \leq 15\%$
- h. Fading
Effekt $< 10 \%$ /Monat

Anforderungen an ein Extremitätendosimeter für Betastrahlung

- a. Messgrösse:
 $H_p(0,07)$
- b. Tiefste Dosis, die messbar sein muss
 $H_0 = 1 \text{ mSv}$
- c. Messbereich
 H_0 bis 5 Sv
- d. Linearität
Abweichung < 15 % im Bereich [1 mSv, 5 Sv]
- e. Energieabhängigkeit
Für Betastrahlung von Thallium-204 oder Krypton-85:

$$0,1 \leq \frac{H_m}{H_t} \leq 2,0$$

Falls das System mit Photonenstrahlung kalibriert wurde, gilt zusätzlich für Betastrahlung von Strontium-90/Yttrium-90:

$$0,5 \leq \frac{H_m}{H_t} \leq 2,0$$

- f. Reproduzierbarkeit
Standardabweichung $s \leq 15\%$
- g. Fading
Effekt < 10 %/Monat

Anhang 8
(Art. 24 und 27)

Konversionskoeffizienten

a. Konversionskoeffizienten für Photonen

Konversionskoeffizienten von Luftkerma in Personen-Tiefendosen $H_p(10)$ und Personen-Oberflächendosen $H_p(0,07)$ im Quaderphantom (Art. 23) für Personendosimeter

Qualität/ Quelle	Mittlere Energie (keV)	Konversionskoeffizienten (Sv/Gy)									
		$h_p(10; \alpha)$ für Winkel α von					$h_p(0,07; \alpha)$ für Winkel α von				
		0°	15°	30°	45°	60°	0°	15°	30°	45°	60°
N-15	12						0,96	0,95	0,95	0,95	0,93
N-20	16						0,98	0,98	0,98	0,98	0,97
N-25	20	0,55	0,54	0,50	0,41	0,28	1,03	1,03	1,03	1,02	1,02
N-30	24	0,79	0,77	0,74	0,65	0,49	1,10	1,10	1,10	1,09	1,07
N-40	33	1,17	1,15	1,12	1,02	0,85	1,27	1,26	1,26	1,23	1,19
N-60	48	1,65	1,63	1,59	1,47	1,27	1,55	1,54	1,53	1,49	1,42
Am-241	59	1,89	1,87	1,83	1,72	1,50	1,72	1,71	1,69	1,65	1,57
N-80	65	1,88	1,86	1,83	1,71	1,50	1,72	1,70	1,70	1,65	1,58
N-100	83	1,88	1,87	1,82	1,73	1,53	1,72	1,70	1,70	1,66	1,60
N-120	100	1,81	1,79	1,76	1,68	1,51	1,67	1,66	1,65	1,62	1,58
N-150	118	1,73	1,71	1,68	1,61	1,46	1,61	1,60	1,60	1,58	1,54
N-200	164	1,57	1,56	1,55	1,49	1,38	1,49	1,49	1,49	1,49	1,46
N-250	208	1,48	1,48	1,47	1,42	1,33	1,42	1,42	1,42	1,43	1,43
N-300	250	1,42	1,42	1,41	1,38	1,30	1,38	1,38	1,38	1,40	1,40
Cs-137	662	1,21	1,22	1,22	1,22	1,19	1,21	1,21	1,22	1,23	1,26
Co-60	1250	1,15	1,15	1,15	1,16	1,14	1,15	1,15	1,15	1,16	1,14
Ti (Target)	5140	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11

Referenzen: ICRP 74, ISO 4037-3

Konversionskoeffizienten von Luftkerma in Personen-Oberflächendosen $H_p(0,07)$ im ISO-Plexiglas-Stabphantom (Art. 23) für Extremitätendosimeter

Qualität	Mittlere Energie (keV)	Konversionskoeffizienten $h_p(0,07)$ (Sv/Gy)
N-15	12	0,95
N-20	16	0,98
N-25	20	1,00
N-30	24	1,03
N-40	33	1,07
N-60	48	1,11
Am-241	59	1,14
N-80	65	1,15
N-100	83	1,17
N-120	100	1,17
N-150	118	1,17
N-200	164	1,16
N-250	208	1,15
N-300	250	1,14
Cs-137	662	1,12

Referenzen: ISO 4037-3, Grosswendt, Radiat. Prot. Dosim. 59 (1995), 165–179.

b. Konversionskoeffizienten für Neutronen

Konversionskoeffizienten $h_{p\alpha}(10; \alpha)$ von Neutronenfluenz Φ in Personen-Tiefendosis $H_p(10)$ im Quaderphantom (Art. 23) für Personendosimeter

Neutronenquelle/ Neutronen-Energie (MeV)	$h_{p\alpha}(10; \alpha)$ in pSv cm ² für Winkel α von				
	0°	15°	30°	45°	60°
²⁵² Cf (D ₂ O-modertiert)	110	109	109	102	87,4
²⁵² Cf	400	397	409	389	346
²⁴¹ Am-Be (α, n)	411	409	424	415	383
Thermische Neutronen	11,4	10,6	9,11	6,61	4,04
0,024	20,2	19,9	17,2	13,6	7,85
0,144	134	131	121	102	69,9
0,250	215	214	201	173	125
0,57	355	349	347	313	245
1,2	433	427	440	412	355
2,5	437	434	454	441	410
2,8	433	431	451	441	412
3,2	429	427	447	439	412
5,0	420	418	437	435	409
14,8	561	563	581	572	576
19,0	600	596	621	614	620
30	515	515	515	515	515
50	400	400	400	400	400
75	330	330	330	330	330
100	285	285	285	285	285

Referenzen: ISO 8529-3, ICRP 74.

Erläuterung:

Die Werte oberhalb von 30 MeV wurden den Konversionskoeffizienten für H*(10) gleichgesetzt.

c. Konversionskoeffizienten für Elektronen

Energie (MeV)	Konversionskoeffizienten $H_p(0,07)/\Phi$ (nSv cm ²)
0,10	1,661
0,15	1,229
0,20	0,834
0,30	0,542
0,40	0,455
0,50	0,403
0,60	0,366
0,70	0,344
0,80	0,329
1,00	0,312
1,50	0,287
2,00	0,279
2,50	0,278
3,00	0,276

Referenz: ICRP 74

**d. Quellspezifische Konversionskoeffizienten für übliche
Betastandardquellen**

Quelle	Konversionskoeffizienten $H_p(0,07)/D_a$ (Sv/Gy)
Strontium/Yttrium-90	1,24
Thallium-204	1,20
Krypton-85	1,16
Promethium-147	0,23

Referenz: NPL

Interpretation der Inkorporationsmessung

Für die Interpretation im Normalfall wird angenommen, dass die Inkorporation über den Inhalationspfad erfolgte. In diesem Fall wird die effektive Folgedosis E_{50} , die operationelle Dosisgrösse bei innerer Bestrahlung, als Produkt der inkorporierten Aktivität I und der Beurteilungsgrösse e_{inh} (siehe StSV, Anhang 3) wie folgt ermittelt:

$$E_{50} = e_{inh} \cdot I \quad (1)$$

Der zur Zeit t nach der Inkorporation in einem Organ oder in den Ausscheidungen vorhandene Bruchteil der inhalierten Aktivität wird durch die Funktion $m(t)$ abgeleitet. Man erhält so:

$$M(t) = I \cdot m(t) \quad (2)$$

wobei $M(t)$ für die Aktivität in einem Organ oder in den Ausscheidungen steht (Messwert). Aus der Aktivität $M(t)$ berechnet sich eine effektive Folgedosis E_{50} von:

$$E_{50} = e_{inh} \cdot I = e_{inh} \frac{M(t)}{m(t)} = M(t) \cdot \frac{e_{inh}}{m(t)} \quad (3)$$

Ist der Zeitraum t zwischen der Inkorporation und der Messung bekannt (spezielle Überwachung), so lässt sich die effektive Folgedosis E_{50} mit Hilfe der Messgrösse $M(t)$ und der Beziehung (3) berechnen.

Bei der Routineüberwachung wird angenommen, dass die Inkorporation in der Mitte des Überwachungsintervalles T stattgefunden hat (d. h. $t = T/2$). Die effektive Folgedosis E_{50} lässt sich mit Hilfe der Messgrösse M , den tabellierten Faktoren $e_{inh}/m(t)$ und folgender Beziehung abschätzen:

$$E_{50} = e_{inh} \cdot \frac{M(t)}{m(T/2)} = M(t) \cdot \frac{e_{inh}}{m(T/2)} \quad (4)$$

Falls eine Inkorporation deutlich über der Nachweisgrenze liegt und die effektive Halbwertszeit vergleichbar oder eindeutig länger ist als das Überwachungsintervall, wird eine solche Inkorporation den nächsten Messwert beeinflussen. In diesem Fall muss bei weiteren Inkorporationsmessungen der Beitrag der vorangehenden Inkorporation berechnet und vom neuen Messwert abgezogen werden. Diese Korrektur berechnet sich aus der Extrapolation der vorangehenden Inkorporation I_a auf den Zeitpunkt der neuen Messung mit Hilfe des Faktors $m(t)$. t ist das Zeitintervall zwischen dem (angenommenen) Zeitpunkt der vorangehenden Inkorporation und der neuen Messung. Der Anteil M_n des neuen Messwertes $M(t)$, der auf eine neue Inkorporation zurückzuführen ist, wird mit dem Messwert M_a der vorangehenden Messung wie folgt berechnet:

$$M_n(t) = M(t) - I_a \cdot m(\Delta t) = M(t) - \frac{M_a}{m(T/2)} \cdot m(\Delta t) \quad (5)$$

Die auf eine neue Inkorporation zurückzuführende effektive Folgedosis E_{50}^n errechnet sich dann gemäss Formel (4) wie folgt:

$$E_{50}^n = M_n(t) \cdot \frac{e_{inh}}{m(T/2)} = M(t) \cdot \frac{e_{inh}}{m(T/2)} - M_a \cdot \frac{e_{inh}}{m(T/2)} \cdot \frac{m(\Delta t)}{m(T/2)} \quad (6)$$

oder mit Hilfe der effektiven Folgedosis E_{50}^a der vorangehenden Inkorporation:

$$E_{50}^n = M(t) \cdot \frac{e_{inh}}{m(T/2)} - E_{50}^a \cdot \frac{m(\Delta t)}{m(T/2)} = M(t) \cdot \frac{e_{inh}}{m(T/2)} - E_{50}^a \cdot k(\Delta t) \quad (7)$$

Für die Korrektur bei der Routineüberwachung sind die Faktoren

$$k(\Delta t) = m(\Delta t) / m(T/2) \quad (8)$$

mit Hilfe der $m(t)$ -Werte zu berechnen. Die Zeitspanne t beträgt $(n+1/2)T$, wobei n die Zahl der Intervalle bezeichnet, die die Inkorporation zurückliegt. Die $m(t)$ -Werte sind in tabellierter oder in grafischer Form in ICRP-Publikation 78 angegeben. Für den Fall $t = 3T/2$ sind die Werte $k(t)$ im Anhang 10 speziell aufgeführt. In der Praxis sind diese Korrekturen erst zu berücksichtigen, wenn die Korrektur mehr als 10 % der resultierenden Dosis ausmacht.

Wo in der Praxis von einer chronischen Inkorporation ausgegangen werden kann (z. B. H-3, I-125), sind die im Anhang 10 aufgeführten Faktoren für Dauerinkorporation zu verwenden.

Anhang 10
(Art. 32, 33, 34, 39 und 40)

Nuklidspezifische Datenblätter

Nuklidliste:	Seite
1. H-3 als HTO	24
2. C-14	25
3. P-32	26
4. P-33	27
5. S-35	28
6. Ca-45	29
7. Cr-51	30
8. Fe-59	31
9. Co-58	32
10. Co-60	33
11. Sr-85	34
12. Sr-89	35
13. Sr-90	36
14. Tc-99m	37
15. I-123	38
16. I-125	39
17. I-131	40
18. Cs-134	41
19. Cs-137	42
20. Th-232	43
21. U-235	44
22. U-238	45
23. Np-237	46
24. Pu-239	47
25. Am-241	48

1. H-3 als HTO

1. Stoffwechsel

An Wasser gebundenes Tritium kann durch Inhalation, Ingestion oder Absorption durch die Haut aufgenommen werden. 97 % des Tritiums mischt sich rasch mit dem Körperwasser und wird mit einer Halbwertszeit von 10 Tagen primär im Urin ausgeschieden. Nur die restlichen 3 % werden organisch gebunden und mit einer Halbwertszeit von 40 Tagen ausgeschieden. Die Strahlenexposition ist deshalb praktisch proportional zur Tritiumkonzentration im Urin. Arbeitskräfte, die Tritium-Leuchtfarbe oder mit Tritium-Leuchtfarbe beschichtete Zeiger und Zifferblätter verarbeiten, sind einer dauernden Tritium-Inkorporation ausgesetzt. In diesem Fall entsteht im Körperwasser und damit im Urin ein Gleichgewichtszustand, und die Dosis muss gemäss dem Modell für dauernde Inkorporation berechnet werden.

2. Messmethoden

Triagemessung

Direkte Messung einer Urinprobe mittels Flüssigszintillationszähler.

Messschwelle: 42 000 Bq/l

Inkorporationsmessung

Messung der Tritiumkonzentration C_u im Urin in Bq/l mittels Flüssigszintillationszähler

3. Überwachungsintervalle T und Zeitpunkt t der ersten Messung nach Ereignis

T_{Triage} : 30 Tage

T_{Messung} : 30 Tage

t_{Ereignis} : 1 Tag

4. Interpretation für einmalige Inkorporation

$E_{50} = C_u \cdot \{e_{\text{inh}}/m(t)\}$	t [Tage]	$e_{\text{inh}}/m(t)$ [Sv/l/Bq]
	1	$0,78 \times 10^{-9}$
E_{50} : 50-Jahre-Folgedosis in Sv	2	$0,86 \times 10^{-9}$
C_u : Messwert in Bq/l	3	$0,90 \times 10^{-9}$
e_{inh} : Dosisfaktor in Sv/Bq	4	$0,95 \times 10^{-9}$
$m(t)$: Ausscheidungsanteil im Tagesurin (=1,4 l) in l^{-1}	5	$1,1 \times 10^{-9}$
t : Tage zwischen Messung und Inkorporation.	6	$1,1 \times 10^{-9}$
Bei unbekanntem Inkorporationszeitpunkt ist $t = T/2$	7	$1,2 \times 10^{-9}$
Überwachungsintervall T = 30 Tage	15	$2,0 \times 10^{-9}$
	30	$5,3 \times 10^{-9}$
	45	13×10^{-9}

5. Interpretation für dauernde Inkorporation

Überwachungsintervall T = 30 Tage: $E_{50} = C_u \cdot 1,4 \cdot 10^{-9}$ (Sv pro Überwachungsintervall)

2. C-14

1. Stoffwechsel

Das Standardmodell wurde entwickelt für Kohlenstoffverbindungen, die vom Körper als Baustoffe oder Energiequelle (Nahrungskohlenstoff) verwertbar sind. Es wird vorausgesetzt, dass solche inhaleden Verbindungen zu 100 % vom Körper aufgenommen und gleichmässig via Blutbahn über den Körper verteilt werden und mit einer biologischen Halbwertszeit von 40 Tagen zu 1,7 % über den Urin ausgeschieden werden. Viele mit C-14 markierte organische Verbindungen werden vom Körper nicht aufgenommen und mit biologischen Halbwertszeiten von Stunden bis Tagen primär über den Urin ausgeschieden.

2. Messmethoden

Triagemessung (obligatorisch, ausgenommen Nahrungskohlenstoff)
 Direkte Messung einer Urinprobe mittels Flüssigszintillationszähler.
 Messschwelle: 200 Bq/l. Tägliche Triagemessungen, falls die Messschwelle überschritten wird. Eine Inkorporationsmessung wird erforderlich, falls die Messschwelle während einer Woche überschritten bleibt.
Inkorporationsmessung
 Messung der C-14-Konzentration C_u im Urin in Bq/l mittels Flüssigszintillationszähler

3. Überwachungsintervalle T und Zeitpunkt t der ersten Messung nach Ereignis

T_{Triage} : 1 Woche	T_{Messung} : 30 Tage	t_{Ereignis} : 1 Tag
-------------------------------	--------------------------------	-------------------------------

4. Interpretation ohne Berücksichtigung einer früheren Inkorporation.

Falls die biologische Halbwertszeit wesentlich kleiner als 40 Tage ist, wird nach Art. 40, Abs. 4 eine fallspezifische Dosisberechnung vorgenommen.

$E_{50} = C_u \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$	t [Tage]	$e_{inh}/m(t)$ [Sv-/Bq]
	1	$4,3 \times 10^{-6}$
E_{50} : 50-Jahre-Folgedosis in Sv	2	$2,9 \times 10^{-6}$
C_u : Messwert in Bq/l	3	$2,9 \times 10^{-6}$
e_{inh} : Dosisfaktor in Sv/Bq	4	$2,9 \times 10^{-6}$
$m(t)$: Ausscheidungsanteil im Tagesurin (=1,4 l) in l^{-1}	5	$3,0 \times 10^{-6}$
t : Tage zwischen Messung und Inkorporation.	6	$3,0 \times 10^{-6}$
Bei unbekanntem Inkorporationszeitpunkt ist $t = T/2$	7	$3,1 \times 10^{-6}$
Überwachungsintervall T = 30 Tage	15	$3,5 \times 10^{-6}$
	30	$4,5 \times 10^{-6}$
	45	$5,8 \times 10^{-6}$

5. Korrektur für vorangehende Inkorporation

Überwachungsintervall T = 30 Tage: $E_{50} = C_u \cdot 3,5 \cdot 10^{-6} - E_{50}^g \cdot 0,60$

3. P-32

1. Stoffwechsel

Inhalierter Phosphat (Absorptionsklasse Typ M) wird zu etwa 70% via Nase, Verdauungstrakt (Resorptionsanteil $f_1 = 0,8$) und Urin rasch wieder ausgeschieden. Phosphat, das in die Blutbahn gelangt, wird zu etwa 70% vom Weichgewebe und den Knochen aufgenommen. Die Verweilzeit dieses Anteils wird durch die physikalische Halbwertszeit, sowie die relativ rasche Ausscheidung aus dem Weichgewebe über den Urin (Halbwertszeit = 19 Tage) bestimmt.

2. Messmethoden

Triagemessung

Direkte Messung einer Urinprobe mittels Flüssigszintillationszähler.

Messschwelle: 200 Bq/l

Inkorporationsmessung

Messung der P-32-Konzentration C_u im Urin in Bq/l mittels Flüssigszintillationszähler

3. Überwachungsintervalle T und Zeitpunkt t der ersten Messung nach Ereignis

T_{Triage} : 30 Tage

T_{Messung} : 30 Tage

t_{Ereignis} : 2 Tage

4. Interpretation ohne Berücksichtigung einer früheren Inkorporation

$E_{50} = C_u \cdot \{e_{\text{inh}}/m(t)\}$	t [Tage]	$e_{\text{inh}}/m(t)$ [Sv./Bq]
	1	$0,011 \times 10^{-5}$
E_{50} : 50-Jahre-Folgedosis in Sv	2	$0,018 \times 10^{-5}$
C_u : Messwert in Bq/l	3	$0,029 \times 10^{-5}$
e_{inh} : Dosisfaktor in Sv/Bq	4	$0,043 \times 10^{-5}$
$m(t)$: Ausscheidungsanteil im Tagesurin (=1,4 l) in l^{-1}	5	$0,056 \times 10^{-5}$
t: Tage zwischen Messung und Inkorporation.	6	$0,073 \times 10^{-5}$
Bei unbekanntem Inkorporationszeitpunkt ist $t = T/2$	7	$0,090 \times 10^{-5}$
Überwachungsintervall T = 30 Tage	15	$0,27 \times 10^{-5}$
	30	$0,92 \times 10^{-5}$
	45	$3,1 \times 10^{-5}$

5. Interpretation für vorangehende Inkorporation

Überwachungsintervall T = 30 Tage: $E_{50} = C_u \cdot 2,7 \cdot 10^{-6} - E_{50}^a \cdot 0,09$

4. P-33

1. Stoffwechsel

Inhalierteres Phosphat (Absorptionsklasse Typ M) wird zu etwa 70 % via Nase, Verdauungstrakt (Resorptionsanteil $f_i = 0,8$) und Urin rasch wieder ausgeschieden. Phosphat, das in die Blutbahn gelangt, wird zu etwa 70 % vom Weichgewebe und den Knochen aufgenommen. Die Verweilzeit dieses Anteils wird durch die physikalische Halbwertszeit, sowie die relativ rasche Ausscheidung aus dem Weichgewebe über den Urin (Halbwertszeit = 19 Tage) bestimmt.

2. Messmethoden

Triagemessung

Direkte Messung einer Urinprobe mittels Flüssigszintillationszähler.

Messschwelle: 200 Bq/l

Inkorporationsmessung

Messung der P-33-Konzentration C_u im Urin in Bq/l mittels Flüssigszintillationszähler

3. Überwachungsintervalle T und Zeitpunkt t der ersten Messung nach Ereignis

T_{Triage} : 30 Tage

T_{Messung} : 30 Tage

t_{Ereignis} : 2 Tage

4. Interpretation ohne Berücksichtigung einer früheren Inkorporation

$E_{50} = C_u \cdot \{e_{\text{inh}}/m(t)\}$	t [Tage]	$e_{\text{inh}}/m(t)$ [Sv·l/Bq]
	1	$0,049 \times 10^{-6}$
E_{50} : 50-Jahre-Folgedosis in Sv	2	$0,079 \times 10^{-6}$
C_u : Messwert in Bq/l	3	$0,12 \times 10^{-6}$
e_{inh} : Dosisfaktor in Sv/Bq	4	$0,18 \times 10^{-6}$
$m(t)$: Ausscheidungsanteil im Tagesurin (=1,4 l) in l ⁻¹	5	$0,23 \times 10^{-6}$
t: Tage zwischen Messung und Inkorporation.	6	$0,28 \times 10^{-6}$
Bei unbekanntem Inkorporationszeitpunkt ist $t = T/2$	7	$0,34 \times 10^{-6}$
Überwachungsintervall T = 30 Tage	15	$0,87 \times 10^{-6}$
	30	$2,2 \times 10^{-6}$
	45	$5,4 \times 10^{-6}$

5. Korrektur für vorangehende Inkorporation

Überwachungsintervall T = 30 Tage: $E_{50} = C_u \cdot 0,87 \cdot 10^{-6} - E_{50}^a \cdot 0,16$

5. S-35

1. Stoffwechsel

Inhalierete anorganische Schwefelverbindungen (Absorptionsklasse Typ M) werden zu rund 85 % via Nase, Verdauungstrakt (Resorptionsanteil $f_1 = 0,8$) und Urin rasch wieder ausgeschieden. Was in die Blutbahn gelangt, wird lediglich zu 20 % längerfristig gespeichert, primär im Weichgewebe. Die biologische Halbwertszeit dieser Komponente beträgt 20 Tage. Nur wenig wird lange gespeichert und zerfällt mit der physikalischen Halbwertszeit von 87 Tagen.

2. Messmethoden

Triagemessung

Direkte Messung einer Urinprobe mittels Flüssigszintillationszähler.

Messschwelle: 150 Bq/l

Inkorporationsmessung

Messung der S-35-Konzentration C_U im Urin in Bq/l mittels Flüssigszintillationszähler nach chemischer Extraktion (Sulfatfällung).

3. Überwachungsintervalle T und Zeitpunkt t der ersten Messung nach Ereignis

T_{Triage} : 60 Tage

T_{Messung} : 60 Tage

t_{Ereignis} : 1 Tag

4. Interpretation ohne Berücksichtigung einer früheren Inkorporation

$E_{50} = C_U \cdot \{e_{\text{inh}}/m(t)\}$	t [Tage]	$e_{\text{inh}}/m(t)$ [Sv-l/Bq]
E_{50} : 50-Jahre-Folgedosis in Sv	1	$0,0070 \times 10^{-6}$
C_U : Messwert in Bq/l	2	$0,057 \times 10^{-6}$
e_{inh} : Dosisfaktor in Sv/Bq	3	$0,42 \times 10^{-6}$
$m(t)$: Ausscheidungsanteil im Tagesurin (=1,4 l) in l ⁻¹	4	$0,77 \times 10^{-6}$
t: Tage zwischen Messung und Inkorporation.	5	$0,81 \times 10^{-6}$
Bei unbekanntem Inkorporationszeitpunkt ist $t = T/2$	6	$0,86 \times 10^{-6}$
	7	$0,91 \times 10^{-6}$
	15	$1,2 \times 10^{-6}$
Überwachungsintervall T = 60 Tage	30	$2,1 \times 10^{-6}$
	60	$5,7 \times 10^{-6}$
	90	14×10^{-6}

5. Korrektur für vorangehende Inkorporation

Überwachungsintervall T = 60 Tage: $E_{50} = C_U \cdot 2,1 \cdot 10^{-6} - E_{50}^a \cdot 0,15$

6. Ca-45

1. Stoffwechsel

Inhalierteres Calcium (Absorptionsklasse Typ M) wird zu etwa 90 % via Nase und Verdauungstrakt (Resorptionsanteil $f_1 = 0,3$) rasch ausgeschieden. Calcium, das in die Blutbahn gelangt, wird von den Knochen und vom Weichgewebe aufgenommen. Im Fall von Ca-45 bestimmt beim erwachsenen Menschen die physikalische Halbwertszeit von 163 Tagen die Verweilzeit im Knochen. Die biologische Halbwertszeit bestimmt die Verweilzeit im Weichgewebe. Von dort wird Calcium etwa zu gleichen Teilen via Urin und Verdauungstrakt ausgeschieden.

2. Messmethoden

Triagemessung

Direkte Messung einer Urinprobe mittels Flüssigszintillationszähler.

Messschwelle: 150 Bq/l

Inkorporationsmessung

Messung der Ca-45-Konzentration C_u im Urin in Bq/l mittels Flüssigszintillationszähler.

3. Überwachungsintervalle T und Zeitpunkt t der ersten Messung nach Ereignis

T_{Triage} : 30 Tage

T_{Messung} : 30 Tage

t_{Ereignis} : 2 Tage

4. Interpretation ohne Berücksichtigung einer früheren Inkorporation

$E_{50} = C_u \cdot \{e_{\text{inh}}/m(t)\}$	t [Tage]	$e_{\text{inh}}/m(t)$ [Sv-l/Bq]
	1	$0,29 \times 10^{-6}$
E_{50} : 50-Jahre-Folgedosis in Sv	2	$0,63 \times 10^{-6}$
C_u : Messwert in Bq/l	3	$0,87 \times 10^{-6}$
e_{inh} : Dosisfaktor in Sv/Bq	4	$1,1 \times 10^{-6}$
$m(t)$: Ausscheidungsanteil im Tagesurin (=1,4 l) in l ⁻¹	5	$1,2 \times 10^{-6}$
t: Tage zwischen Messung und Inkorporation.	6	$1,5 \times 10^{-6}$
Bei unbekanntem Inkorporationszeitpunkt ist $t = T/2$	7	$1,6 \times 10^{-6}$
Überwachungsintervall T = 30 Tage	15	$3,2 \times 10^{-6}$
	30	$8,1 \times 10^{-6}$
	45	17×10^{-6}

5. Korrektur für vorangehende Inkorporation

Überwachungsintervall T = 30 Tage:

7. Cr-51

1. Stoffwechsel

Je nach chemischer Form (Cr III oder Cr VI) wird Chrom vom Körper verschieden aufgenommen und zurückgehalten. Da das dosimetrische Modell darauf basiert, dass einerseits die kleinen Mengen inhaliertes Cr III in der Lunge zu Cr VI oxidiert werden, und dass andererseits aber Cr VI in Zirkulation zu Cr III reduziert wird, verschwinden diese Unterschiede weitgehend. Inhaliertes Chrom (Absorptionsklasse Typ M) wird zu etwa 90 % via Nase und Verdauungstrakt (Resorptionsanteil $f_1=0,1$) rasch wieder ausgeschieden. Chrom, das in die Blutbahn gelangt, wird zu 25 % längerfristig im ganzen Körper gespeichert. Dies wird im Fall von Cr-51 durch die physikalische Halbwertszeit von 28 Tagen verhindert.

2. Messmethoden

Triagemessung

Direkte Messung der Gammastrahlung mit einem Thoraxmessgerät.

Messschwelle: 120 000 Bq

Inkorporationsmessung

Messung der Cr-51-Aktivität M in Bq mit einem Ganzkörperzähler.

3. Überwachungsintervalle T und Zeitpunkt t der ersten Messung nach Ereignis

T_{Triage} : 30 Tage

T_{Messung} : 30 Tage

t_{Ereignis} : Sofort

4. Interpretation ohne Berücksichtigung einer früheren Inkorporation

$E_{50} = M \cdot \{e_{\text{inh}}/m(t)\}$	t [Tage]	$e_{\text{inh}}/m(t)$ [Sv/Bq]
	1	$0,071 \times 10^{-9}$
E_{50} : 50-Jahre-Folgedosis in Sv	2	$0,13 \times 10^{-9}$
M: Messwert in Bq	3	$0,23 \times 10^{-9}$
e_{inh} : Dosisfaktor in Sv/Bq	4	$0,31 \times 10^{-9}$
$m(t)$: Retentionsanteil	5	$0,37 \times 10^{-9}$
t : Tage zwischen Messung und Inkorporation.	6	$0,41 \times 10^{-9}$
Bei unbekanntem Inkorporationszeitpunkt ist $t = T/2$	7	$0,45 \times 10^{-9}$
Überwachungsintervall T = 30 Tage	15	$0,67 \times 10^{-9}$
	30	$1,2 \times 10^{-9}$
	45	$2,0 \times 10^{-9}$

5. Korrektur für vorangehende Inkorporation

Überwachungsintervall T = 30 Tage: $E_{50} = M \cdot 0,67 \cdot 10^{-9} - E_{50}^g \cdot 0,34$

8. Fe-59

1. Stoffwechsel

Inhalierter Eisen (Absorptionsklasse Typ M) wird zu etwa 10 % vom Körper aufgenommen, der Rest wird via Nase oder Verdauungstrakt (Resorptionsanteil $f_1=0,1$) im Verlauf weniger Stunden und Tage ausgeschieden. Vom Körper aufgenommenes Eisen wird zu rund 70 % ins Hämoglobin (rotes Blutprotein) eingebaut, der Rest in verschiedenen Organen gespeichert. Einmal aufgenommenes Eisen wird vom Körper sorgfältig zurückgehalten; bei einem Eisen-depot von rund 3,5 g werden täglich nur etwa 0,6 mg ausgeschieden. Somit bestimmt beim Fe-59 die physikalische Halbwertszeit von 44,5 Tagen die Verweilzeit des aufgenommenen Eisens im Körper.

2. Messmethoden

Triagemessung

Direkte Messung der Gammastrahlung mit einem Thoraxmessgerät.

Messschwelle: 2500 Bq

Inkorporationsmessung

Messung der Fe-59-Aktivität M in Bq mit einem Ganzkörperzähler.

3. Überwachungsintervalle T und Zeitpunkt t der ersten Messung nach Ereignis

T_{Triage} : 30 Tage

T_{Messung} : 30 Tage

t_{Ereignis} : Sofort

4. Interpretation ohne Berücksichtigung einer früheren Inkorporation

$E_{50} = M \cdot \{e_{\text{inh}}/m(t)\}$	t [Tage]	$e_{\text{inh}}/m(t)$ [Sv/Bq]
	1	$0,64 \times 10^{-8}$
E_{50} : 50-Jahre-Folgedosis in Sv	2	$1,1 \times 10^{-8}$
M: Messwert in Bq	3	$1,8 \times 10^{-8}$
e_{inh} : Dosisfaktor in Sv/Bq	4	$2,3 \times 10^{-8}$
$m(t)$: Retentionsanteil	5	$2,7 \times 10^{-8}$
t: Tage zwischen Messung und Inkorporation.	6	$2,7 \times 10^{-8}$
Bei unbekanntem Inkorporationszeitpunkt ist $t = T/2$	7	$2,9 \times 10^{-8}$
Überwachungsintervall T = 30 Tage	15	$3,4 \times 10^{-8}$
	30	$4,4 \times 10^{-8}$
	45	$5,8 \times 10^{-8}$
	60	$7,4 \times 10^{-8}$

5. Korrektur für vorangehende Inkorporation

Überwachungsintervall T = 30 Tage: $E_{50} = M \cdot 3,4 \cdot 10^{-8} - E_{50}^a \cdot 0,59$

9. Co-58

1. Stoffwechsel

Inhalierendes Kobalt (Absorptionsklasse Typ S) wird zu gut 90 % via Nase, Verdauungstrakt (Resorptionsanteil $f_1=0,05$) und Urin im Verlauf von Stunden bis Tagen wieder ausgeschieden. Knapp 10 % bleiben längerfristig im Körper, primär in der Lunge. Die Verweilzeit dieses Anteils im Körper wird für Co-58 primär durch die physikalische Halbwertszeit von 70,8 Tagen bestimmt.

2. Messmethoden

Triagemessung

Direkte Messung der Gammastrahlung mit einem Thoraxmessgerät.

Messschwelle: 2600 Bq

Inkorporationsmessung

Messung der Co-58-Aktivität M in Bq mit einem Ganzkörperzähler.

3. Überwachungsintervalle T und Zeitpunkt t der ersten Messung nach Ereignis

T_{Triage} : 30 Tage

T_{Messung} : 30 Tage

t_{Ereignis} : Sofort

4. Interpretation ohne Berücksichtigung einer früheren Inkorporation

$E_{50} = M \cdot \{e_{\text{inh}}/m(t)\}$	t [Tage]	$e_{\text{inh}}/m(t)$ [Sv/Bq]
	1	$0,35 \times 10^{-8}$
E_{50} : 50-Jahre-Folgedosis in Sv	2	$0,68 \times 10^{-8}$
M: Messwert in Bq	3	$1,2 \times 10^{-8}$
e_{inh} : Dosisfaktor in Sv/Bq	4	$1,8 \times 10^{-8}$
$m(t)$: Retentionsanteil	5	$2,2 \times 10^{-8}$
t: Tage zwischen Messung und Inkorporation.	6	$2,5 \times 10^{-8}$
Bei unbekanntem Inkorporationszeitpunkt ist $t = T/2$	7	$2,6 \times 10^{-8}$
Überwachungsintervall T = 30 Tage	15	$3,2 \times 10^{-8}$
	30	$4,3 \times 10^{-8}$
	45	$5,3 \times 10^{-8}$
	60	$6,8 \times 10^{-8}$
	90	10×10^{-8}

5. Korrektur für vorangehende Inkorporation

Überwachungsintervall T = 30 Tage: $E_{50} = M \cdot 3,2 \cdot 10^{-8} - E_{50}^a \cdot 0,60$

10. Co-60

1. Stoffwechsel

Inhalierteres Kobalt (Absorptionsklasse Typ S) wird zu gut 90 % via Nase, Verdauungstrakt (Resorptionsanteil $f_i=0,05$) und Urin im Verlauf von Stunden bis Tagen wieder ausgeschieden. Knapp 10 % bleiben längerfristig im Körper, primär in der Lunge. Die Verweilzeit dieses Anteils im Körper wird wegen der langen physikalischen Halbwertszeit primär durch die Mechanismen der Lungenclearance bestimmt.

2. Messmethoden

Triagemessung

Direkte Messung der Gammastrahlung mit einem Thoraxmessgerät.

Messschwelle: 1200 Bq

Inkorporationsmessung

Messung der Co-60-Aktivität M in Bq mit einem Ganzkörperzähler.

3. Überwachungsintervalle T und Zeitpunkt t der ersten Messung nach Ereignis

T_{Triage} : 180 Tage

T_{Messung} : 180 Tage

t_{Ereignis} : Sofort

4. Interpretation ohne Berücksichtigung einer früheren Inkorporation

$E_{50} = M \cdot \{e_{\text{inh}}/m(t)\}$	t [Tage]	$e_{\text{inh}}/m(t)$ [Sv/Bq]
	1	$0,35 \times 10^{-7}$
E_{50} : 50-Jahre-Folgedosis in Sv	2	$0,68 \times 10^{-7}$
M: Messwert in Bq	3	$1,2 \times 10^{-7}$
e_{inh} : Dosisfaktor in Sv/Bq	4	$1,7 \times 10^{-7}$
$m(t)$: Retentionsanteil	5	$2,1 \times 10^{-7}$
t: Tage zwischen Messung und Inkorporation.	6	$2,3 \times 10^{-7}$
Bei unbekanntem Inkorporationszeitpunkt ist $t = T/2$	7	$2,5 \times 10^{-7}$
	15	$2,8 \times 10^{-7}$
	30	$3,1 \times 10^{-7}$
	60	$3,8 \times 10^{-7}$
Überwachungsintervall T = 180 Tage	90	$4,3 \times 10^{-7}$
	180	$5,3 \times 10^{-7}$
	270	$6,1 \times 10^{-7}$

5. Korrektur für vorangehende Inkorporation

Überwachungsintervall T = 180 Tage: $E_{50} = M \cdot 4,3 \cdot 10^{-7} - E_{50}^a \cdot 0,70$

11. Sr-85

1. Stoffwechsel

Inhalierter Sr-85 (Absorptionsklasse Typ S) wird zu gut 90 % via Nase und Verdauungstrakt (Resorptionsanteil $f_1=0,01$) im Verlauf von Stunden bis Tagen wieder ausgeschieden. Etwa 5 % bleiben längerfristig in der Lunge. Die Verweilzeit dieses Anteils im Körper wird durch die physikalische Halbwertszeit des Sr-85 bestimmt. Die geringe Menge Strontium, die ins Blut gelangt, wird in die Knochen eingebaut, oder primär über den Urin, wieder ausgeschieden.

2. Messmethoden

Triagemessung

Direkte Messung der Gammastrahlung mit einem Thoraxmessgerät.

Messschwelle: 6400 Bq

Inkorporationsmessung

Messung der Sr-85-Aktivität M in Bq mit einem Ganzkörperzähler.

3. Überwachungsintervalle T und Zeitpunkt t der ersten Messung nach Ereignis

T_{Triage} : 30 Tage

T_{Messung} : 30 Tage

t_{Ereignis} : Sofort

4. Interpretation ohne Berücksichtigung einer früheren Inkorporation

$E_{50} =$	$M \cdot \{e_{\text{inh}}/m(t)\}$	t [Tage]	$e_{\text{inh}}/m(t)$ [Sv/Bq]
		1	$0,13 \times 10^{-8}$
E_{50} :	50-Jahre-Folgedosis in Sv	2	$0,26 \times 10^{-8}$
M:	Messwert in Bq	3	$0,49 \times 10^{-8}$
e_{inh} :	Dosisfaktor in Sv/Bq	4	$0,72 \times 10^{-8}$
$m(t)$:	Retentionsanteil	5	$0,90 \times 10^{-8}$
t:	Tage zwischen Messung und Inkorporation.	6	$1,0 \times 10^{-8}$
	Bei unbekanntem Inkorporationszeitpunkt ist $t = T/2$	7	$1,1 \times 10^{-8}$
	Überwachungsintervall T = 30 Tage	15	$1,3 \times 10^{-8}$
		30	$1,7 \times 10^{-8}$
		45	$2,2 \times 10^{-8}$
		60	$2,8 \times 10^{-8}$
		90	$4,3 \times 10^{-8}$

5. Korrektur für vorangehende Inkorporation

Überwachungsintervall T = 30 Tage: $E_{50} = M \cdot 1,3 \cdot 10^{-8} - E_{50}^a \cdot 0,59$

12. Sr-89

1. Stoffwechsel

Inhalierter Sr-89 (Absorptionsklasse Typ S) wird zu gut 90 % via Nase und Verdauungstrakt (Resorptionsanteil $f_r=0,01$) im Verlauf von Stunden bis Tagen wieder ausgeschieden. Etwa 5 % bleiben längerfristig in der Lunge. Die Verweilzeit dieses Anteils im Körper wird durch die physikalische Halbwertszeit des Sr-89 bestimmt. Die geringe Menge Strontium, die ins Blut gelangt, wird in die Knochen eingebaut oder, primär über den Urin, wieder ausgeschieden.

2. Messmethoden

Triagemessung

Messung einer Urinprobe mittels Flüssigszintillationszähler.

Messschwelle: 0,5 Bq/l

Inkorporationsmessung

Messung der Sr-89 Konzentration C_u im Urin in Bq/l mittels Flüssigszintillationszähler nach chemischer Aufbereitung.

3. Überwachungsintervalle T und Zeitpunkt t der ersten Messung nach Ereignis

T_{Triage} : 30 Tage

T_{Messung} : 30 Tage

t_{Ereignis} : 1 Tag

4. Interpretation ohne Berücksichtigung einer früheren Inkorporation

$E_{50} = C_u \cdot \{e_{\text{inh}}/m(t)\}$	t	$e_{\text{inh}}/m(t)$
	[Tage]	[Sv-l/Bq]
	1	$0,0098 \times 10^{-3}$
E_{50} : 50-Jahre-Folgedosis in Sv	2	$0,024 \times 10^{-3}$
C_u : Messwert in Bq/l	3	$0,037 \times 10^{-3}$
e_{inh} : Dosisfaktor in Sv/Bq	4	$0,049 \times 10^{-3}$
$m(t)$: Ausscheidungsanteil im Tagesurin (=1,4 l) in l ⁻¹	5	$0,065 \times 10^{-3}$
t : Tage zwischen Messung und Inkorporation.	6	$0,080 \times 10^{-3}$
Bei unbekanntem Inkorporationszeitpunkt ist $t = T/2$	7	$0,096 \times 10^{-3}$
Überwachungsintervall T = 30 Tage	15	$0,26 \times 10^{-3}$
	30	$0,65 \times 10^{-3}$
	45	$1,5 \times 10^{-3}$
	60	$2,6 \times 10^{-3}$

5. Korrektur für vorangehende Inkorporation

Überwachungsintervall T = 30 Tage: $E_{50} = C_u \cdot 0,26 \cdot 10^{-3} - E_{50}^a \cdot 0,17$

13. Sr-90

1. Stoffwechsel

Inhalierter Sr-90 (Absorptionsklasse Typ S) wird zu gut 90 % via Nase und Verdauungstrakt (Resorptionsanteil $f_1=0,01$) im Verlauf von Stunden bis Tagen wieder ausgeschieden. Etwa 5 % bleiben längerfristig in der Lunge. Die Verweilzeit dieses Anteils im Körper wird wegen der langen physikalischen Halbwertszeit durch die Mechanismen der Lungenclearance bestimmt. Strontium, das ins Blut gelangt, wird in die Knochen eingebaut oder, primär über den Urin, wieder ausgeschieden.

2. Messmethoden

Triagemessung

Messung einer Urinprobe mittels Flüssigszintillationszähler.

Messschwelle: 0,05 Bq/l

Inkorporationsmessung

Messung der Sr-90-Konzentration C_u im Urin in Bq/l mittels Flüssigszintillationszähler nach chemischer Aufbereitung.

3. Überwachungsintervalle T und Zeitpunkt t der ersten Messung nach Ereignis

T_{Triage} : 30 Tage

T_{Messung} : 30 Tage

t_{Ereignis} : 1 Tag

4. Interpretation ohne Berücksichtigung einer früheren Inkorporation

$E_{50} = C_u \cdot \{e_{\text{inh}}/m(t)\}$	t [Tage]	$e_{\text{inh}}/m(t)$ [Sv-l/Bq]
E_{50} : 50-Jahre-Folgedosis in Sv	1	$0,13 \times 10^{-3}$
C_u : Messwert in Bq/l	2	$0,32 \times 10^{-3}$
e_{inh} : Dosisfaktor in Sv/Bq	3	$0,49 \times 10^{-3}$
$m(t)$: Ausscheidungsanteil im Tagesurin (=1,4 l) in l ⁻¹	4	$0,67 \times 10^{-3}$
t: Tage zwischen Messung und Inkorporation.	5	$0,83 \times 10^{-3}$
Bei unbekanntem Inkorporationszeitpunkt ist $t = T/2$	6	$0,98 \times 10^{-3}$
Überwachungsintervall T = 30 Tage	7	$1,2 \times 10^{-3}$
	15	$2,7 \times 10^{-3}$
	30	$6,0 \times 10^{-3}$
	45	11×10^{-3}
	60	16×10^{-3}

5. Korrektur für vorangehende Inkorporation

Überwachungsintervall T = 30 Tage: $E_{50} = C_u \cdot 2,7 \cdot 10^{-3} - E_{50}^a \cdot 0,25$

14. Tc-99m

1. Stoffwechsel

Das Technetium fixiert sich aktiv in der Schilddrüse, der Speicheldrüse, im Magen und Darm. Man nimmt an, dass der Rest der Aktivität sich gleichmässig im ganzen Organismus verteilt. Die Ausscheidung erfolgt über Stuhl und Urin (Resorptionsanteil $f_1=0,8$).

2. Messmethoden

Triagemessung (obligatorisch)

Direkte Messung der Strahlung mit einem Dosisleistungsmessgerät oder Kontaminationsmonitor vor dem Magen respektive vor der Schilddrüse.

Messschwelle: 1 $\mu\text{Sv/h}$ vor dem Magen.

Inkorporationsmessung

Messung der Tc-99m-Aktivität in Bq mit einem Ganzkörperzähler.

3. Überwachungsintervalle T und Zeitpunkt t der ersten Messung nach Ereignis

T_{Triage} : am Tagesende T_{Messung} : (bei Überschreitung der Messschwelle) t_{Ereignis} : Sofort

4. Interpretation

Wegen der kurzen physikalischen Halbwertszeit (6h) ist eine Standardinterpretation der Messdaten nicht möglich. Inkorporationen im Normalfall (kBq) führen nur zu kleinen Dosen (10^{-5} mSv). Bei einem Unfall oder nach Überschreitung der Messschwelle sind eine spezielle Untersuchung und Interpretation der Daten erforderlich.

15. I-123

1. Stoffwechsel

Inhalieres Jod (Absorptionsklasse Typ F) wird zu 50 % wieder ausgeatmet. Die andere Hälfte gelangt rasch ins Blut (Resorptionsanteil $f_1=1$). Davon werden 30 % im Verlauf eines Tages in die Schilddrüse eingebaut, 70% werden über den Urin ausgeschieden. Die biologische Halbwertszeit in der Schilddrüse beträgt 80 Tage. Die Verweilzeit des kurzlebigen I-123 in der Schilddrüse wird somit durch die physikalische Halbwertszeit von 13,2 Stunden bestimmt.

2. Messmethoden

Triagemessung

Direkte Messung der Schilddrüse mit einem Kontaminationsmonitor.

Messschwelle: 1400 Bq

Inkorporationsmessung

Messung der I-123-Aktivität M in Bq mit einem Schilddrüsenmonitor.

3. Überwachungsintervalle T und Zeitpunkt t der ersten Messung nach Ereignis

T_{Triage} :	am Tagesende (= 12 h)	T_{Messung} : (bei Überschreitung der Messschwelle)	t_{Ereignis} : 6–12 h
-----------------------	--------------------------	---	--------------------------------

4. Interpretation ohne Berücksichtigung einer früheren Inkorporation

$E_{50} = M \cdot \{e_{\text{inh}}/m(t)\}$	t [Tage]	$e_{\text{inh}}/m(t)$ [Sv/Bq]
	1/4	$0,0022 \times 10^{-6}$
E_{50} : 50-Jahre-Folgedosis in Sv	1/2	$0,0020 \times 10^{-6}$
M: Messwert in Bq	1	$0,0029 \times 10^{-6}$
e_{inh} : Dosisfaktor in Sv/Bq	1,5	$0,0052 \times 10^{-6}$
$m(t)$: Retentionsanteil	2	$0,010 \times 10^{-6}$
t: Tage zwischen Messung und Inkorporation.	3	$0,034 \times 10^{-6}$
Bei unbekanntem Inkorporationszeitpunkt ist $t = T/2$	4	$0,12 \times 10^{-6}$
	5	$0,44 \times 10^{-6}$
	6	$1,5 \times 10^{-6}$
	7	$5,5 \times 10^{-6}$

16. I-125

1. Stoffwechsel

Inhalierteres Jod (Absorptionsklasse Typ F) wird zu 50 % wieder ausgeatmet. Die andere Hälfte gelangt rasch ins Blut (Resorptionsanteil $f_1=1$). Davon werden 30% im Verlauf eines Tages in die Schilddrüse eingebaut, 70 % werden über den Urin ausgeschieden. Die biologische Halbwertszeit in der Schilddrüse beträgt 80 Tage und die physikalische Halbwertszeit 60 Tage.

2. Messmethoden

Triagemessung

Direkte Messung der Schilddrüse mit einem Kontaminationsmonitor.

Messschwelle: 1300 Bq

Inkorporationsmessung

Messung der I-125-Aktivität M in Bq mit einem Schilddrüsenmonitor.

3. Überwachungsintervalle T und Zeitpunkt t der ersten Messung nach Ereignis

T_{Triage} : 30 Tage

T_{Messung} : 90 Tage

t_{Ereignis} : 6–12 h

4. Interpretation ohne Berücksichtigung einer früheren Inkorporation

$E_{50} = M \cdot \{e_{\text{inh}}/m(t)\}$	t [Tage]	$e_{\text{inh}}/m(t)$ [Sv/Bq]
	1	$0,56 \times 10^{-7}$
E_{50} : 50-Jahre-Folgedosis in Sv	2	$0,52 \times 10^{-7}$
M: Messwert in Bq	3	$0,52 \times 10^{-7}$
e_{inh} : Dosisfaktor in Sv/Bq	4	$0,56 \times 10^{-7}$
$m(t)$: Retentionsanteil	5	$0,56 \times 10^{-7}$
t: Tage zwischen Messung und Inkorporation.	6	$0,56 \times 10^{-7}$
Bei unbekanntem Inkorporationszeitpunkt ist $t = T/2$	7	$0,56 \times 10^{-7}$
	15	$0,66 \times 10^{-7}$
	30	$0,90 \times 10^{-7}$
Überwachungsintervall T = 90 Tage	45	$1,2 \times 10^{-7}$
	60	$1,6 \times 10^{-7}$
	90	$2,6 \times 10^{-7}$
	135	$6,1 \times 10^{-7}$

5. Interpretation für vorangehende Inkorporation

Überwachungsintervall T = 90 Tage: $E_{50} = M \cdot 1,2 \cdot 10^{-7} - E_{50}^a \cdot 0,20$

17. I-131

1. Stoffwechsel

Inhalieres Jod (Absorptionsklasse Typ F) wird zu 50 % wieder ausgeatmet. Die andere Hälfte gelangt rasch ins Blut (Resorptionsanteil $f_i=1$). Davon werden 30% im Verlauf eines Tages in die Schilddrüse eingebaut, 70 % werden über den Urin ausgeschieden. Die biologische Halbwertszeit in der Schilddrüse beträgt 80 Tage. Die Verweilzeit des I-131 in der Schilddrüse wird somit durch die physikalische Halbwertszeit von 8 Tagen bestimmt.

2. Messmethoden

Triagemessung

Direkte Messung der Schilddrüse mit einem Kontaminationsmonitor.

Messschwelle: 2000 Bq

Inkorporationsmessung

Messung der I-131-Aktivität M in Bq mit einem Schilddrüsenmonitor.

3. Überwachungsintervalle T und Zeitpunkt t der ersten Messung nach Ereignis

T_{Triage} : 7 Tage

T_{Messung} : 30 Tage

t_{Ereignis} : 6–12 h

4. Interpretation ohne Berücksichtigung einer früheren Inkorporation

$E_{50} = M \cdot \{e_{\text{inh}}/m(t)\}$	t [Tage]	$e_{\text{inh}}/m(t)$ [Sv/Bq]
	1	$0,092 \times 10^{-6}$
E_{50} : 50-Jahre-Folgedosis in Sv	2	$0,092 \times 10^{-6}$
M: Messwert in Bq	3	$0,10 \times 10^{-6}$
e_{inh} : Dosisfaktor in Sv/Bq	4	$0,11 \times 10^{-6}$
$m(t)$: Retentionsanteil	5	$0,12 \times 10^{-6}$
t: Tage zwischen Messung und Inkorporation.	6	$0,13 \times 10^{-6}$
Bei unbekanntem Inkorporationszeitpunkt ist $t = T/2$	7	$0,15 \times 10^{-6}$
Überwachungsintervall T = 30 Tage	15	$0,31 \times 10^{-6}$
	30	$1,3 \times 10^{-6}$
	45	$5,2 \times 10^{-6}$

5. Korrektur für vorangehende Inkorporation

Überwachungsintervall T = 30 Tage: $E_{50} = M \cdot 0,31 \cdot 10^{-6} - E_{50}^a \cdot 0,06$

18. Cs-134

1. Stoffwechsel

Inhalierteres Cäsium (Absorptionsklasse Typ F) wird zu 50 % wieder ausgeatmet. Die andere Hälfte gelangt rasch ins Blut (Resorptionsanteil $f_1=1$). Dieser Anteil verteilt sich gleichmässig über den ganzen Körper. 10 % dieser Aktivität wird mit einer biologischen Halbwertszeit von 2 Tagen primär im Urin ausgeschieden, die restlichen 90 % mit einer solchen von 110 Tagen bei Männern, etwa 70 Tagen bei Frauen. Zur Inkorporationsüberwachung wird die für Männer bestimmte Halbwertszeit verwendet.

2. Messmethoden

Triagemessung

Direkte Messung der Gammastrahlung mit einem Thoraxmessgerät. Da Cäsium aus der Lunge rasch in den Körper gelangt, kann nicht erwartet werden, dass das Thoraxmessgerät das inhalede Cäsium total erfasst. Um das zu korrigieren, wird davon ausgegangen, dass die Thoraxmessung nur 50 % der inkorporierten Menge erfasst.

Messschwelle: 6000 Bq

Inkorporationsmessung

Messung der Cs-134-Aktivität M in Bq mit einem Ganzkörperzähler.

3. Überwachungsintervalle T und Zeitpunkt t der ersten Messung nach Ereignis

T_{Triage} : 180 Tage

T_{Messung} : 180 Tage

t_{Ereignis} : Sofort

4. Interpretation ohne Berücksichtigung einer früheren Inkorporation

$E_{50} = M \cdot \{e_{\text{inh}}/m(t)\}$	t [Tage]	$e_{\text{inh}}/m(t)$ [Sv/Bq]
	1	$0,16 \times 10^{-7}$
E_{50} : 50-Jahre-Folgedosis in Sv	2	$0,19 \times 10^{-7}$
M: Messwert in Bq	3	$0,21 \times 10^{-7}$
e_{inh} : Dosisfaktor in Sv/Bq	4	$0,22 \times 10^{-7}$
$m(t)$: Retentionsanteil	5	$0,22 \times 10^{-7}$
T: Tage zwischen Messung und Inkorporation.	6	$0,23 \times 10^{-7}$
Bei unbekanntem Inkorporationszeitpunkt ist $t = T/2$	7	$0,23 \times 10^{-7}$
	15	$0,25 \times 10^{-7}$
	30	$0,27 \times 10^{-7}$
	60	$0,34 \times 10^{-7}$
Überwachungsintervall T = 180 Tage	90	$0,42 \times 10^{-7}$
	180	$0,80 \times 10^{-7}$
	270	$1,5 \times 10^{-7}$

5. Korrektur für vorangehende Inkorporation

Überwachungsintervall T = 180 Tage: $E_{50} = M \cdot 0,42 \cdot 10^{-7} - E_{50}^a \cdot 0,28$

19. Cs-137

1. Stoffwechsel

Inhalierter Cäsium (Absorptionsklasse Typ F) wird zu 50 % wieder ausgeatmet. Die andere Hälfte gelangt rasch ins Blut (Resorptionsanteil $f_1=1$). Dieser Anteil verteilt sich gleichmässig über den ganzen Körper. 10 % dieser Aktivität wird mit einer biologischen Halbwertszeit von 2 Tagen primär im Urin ausgeschieden, die restlichen 90 % mit einer solchen von 110 Tagen bei Männern, etwa 70 Tagen bei Frauen. Zur Inkorporationsüberwachung wird die für Männer bestimmte Halbwertszeit verwendet.

2. Messmethoden

Triagemessung

Direkte Messung der Gammastrahlung mit einem Thoraxmessgerät. Da Cäsium aus der Lunge rasch in den Körper gelangt, kann nicht erwartet werden, dass das Thoraxmessgerät das inhalede Cäsium total erfasst. Um das zu korrigieren, wird davon ausgegangen, dass die Thoraxmessung nur 50 % der inkorporierten Menge erfasst.

Messschwelle: 9000 Bq

Inkorporationsmessung

Messung der Cs-137-Aktivität M in Bq mit einem Ganzkörperzähler.

3. Überwachungsintervalle T und Zeitpunkt t der ersten Messung nach Ereignis

T_{Triage} : 180 Tage

T_{Messung} : 180 Tage

t_{Ereignis} : Sofort

4. Interpretation ohne Berücksichtigung einer früheren Inkorporation

$E_{50} = M \cdot \{e_{\text{inh}}/m(t)\}$	t [Tage]	$e_{\text{inh}}/m(t)$ [Sv/Bq]
	1	$1,1 \times 10^{-8}$
E_{50} : 50-Jahre-Folgedosis in Sv	2	$1,3 \times 10^{-8}$
M: Messwert in Bq	3	$1,5 \times 10^{-8}$
e_{inh} : Dosisfaktor in Sv/Bq	4	$1,5 \times 10^{-8}$
$m(t)$: Retentionsanteil	5	$1,6 \times 10^{-8}$
t: Tage zwischen Messung und Inkorporation.	6	$1,6 \times 10^{-8}$
Bei unbekanntem Inkorporationszeitpunkt ist $t = T/2$	7	$1,6 \times 10^{-8}$
	15	$1,7 \times 10^{-8}$
	30	$1,9 \times 10^{-8}$
	60	$2,2 \times 10^{-8}$
Überwachungsintervall T = 180 Tage	90	$2,8 \times 10^{-8}$
	180	$4,8 \times 10^{-8}$
	270	$8,6 \times 10^{-8}$

5. Korrektur für vorangehende Inkorporation

Überwachungsintervall T = 180 Tage: $E_{50} = M \cdot 2,8 \cdot 10^{-8} - E_{50}^a \cdot 0,33$

25. Am-241

1. Stoffwechsel

Inhalieres Americium (alle Verbindungen; Annahme: Absorptionsklasse Typ M) wird zu gut 90 % via Nase und Verdauungstrakt (Resorptionsanteil $f_1=5 \times 10^{-4}$) im Verlauf von Stunden bis Tagen wieder ausgeschieden. Etwa 5 % bleiben längerfristig in der Lunge. Die relativ kurze Verweilzeit in der Lunge wird durch die Mechanismen der Lungenclearance bestimmt. Americium, das ins Blut gelangt, wird im Knochen und in der Leber langfristig deponiert. Relativ hohe Dosen erhalten auch das Knochenmark und die Keimzellen. Bei fortgeschrittener Lungenclearance erfolgt die Ausscheidung primär über den Urin.

2. Messmethoden

Triagemessung
 Messung der Am-241-Konzentration in der Luft am Arbeitsplatz (Atemluftüberwachung).
 Messschwelle: 30 Bq-h/m³ (Integralwert über 1 Jahr)
 Bei Überschreitung der Messschwelle ist während den ersten 3 Tagen der Stuhl und Urin zu sammeln und auszumessen. Falls der Messwert die 10fache Messschwelle überschreitet, ist die Americium-Aktivität in der Lunge mit einem Thoraxmessgerät zu bestimmen.

Inkorporationsmessung
 Messung der Am-241-Konzentration C_u im Urin in Bq/l.

3. Überwachungsintervalle T und Zeitpunkt t der ersten Messung nach Ereignis

T_{Triage}: – T_{Messung}: 90 Tage t_{Ereignis}: Sofort

4. Interpretation ohne Berücksichtigung einer früheren Inkorporation

Jeder positive Befund ist individuell abzuklären.

$E_{50} = C_u \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$ bei Urinmessungen $E_{50} = M_{st} \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$ bei Stuhlmessungen $E_{50} = M \cdot \{e_{inh}/m(t)\}$ bei Lungenmessungen	t [Tage]	Urin $e_{inh}/m(t)$ [Sv l/Bq]	Stuhl $e_{inh}/m(t)$ [Sv d/Bq]	Lunge $e_{inh}/m(t)$ [Sv/Bq]
E_{50} : 50-Jahre-Folgedosis in Sv	1	0,021	$0,025 \times 10^{-2}$	$4,7 \times 10^{-4}$
C_u : Messwert in Bq/l (Urin-Messung)	2	0,16	$0,018 \times 10^{-2}$	$4,8 \times 10^{-4}$
M_{st} : Messwert in Bq/d (Stuhl-Messung)	3	0,29	$0,034 \times 10^{-2}$	$4,9 \times 10^{-4}$
M: Messwert in Bq (Lungen-Messung)	4	0,42	$0,082 \times 10^{-2}$	$5,0 \times 10^{-4}$
e_{inh} : Dosisfaktor in Sv/Bq	5	0,53	$0,21 \times 10^{-2}$	$5,1 \times 10^{-4}$
$m(t)$: Ausscheidungsanteil im Tagesurin (=1,4 l) in l ⁻¹ ; oder im Stuhl in d ⁻¹ ; oder Lungen-Retentionsanteil	6	0,60	$0,51 \times 10^{-2}$	$5,1 \times 10^{-4}$
t: Tage zwischen Messung und Inkorporation. Bei unbekanntem Inkorporationszeit- punkt ist $t = T/2$	7	0,65	$1,2 \times 10^{-2}$	$5,2 \times 10^{-4}$
	15	0,97	$6,4 \times 10^{-2}$	$5,9 \times 10^{-4}$
	30	1,5	$9,6 \times 10^{-2}$	$7,1 \times 10^{-4}$
	45	1,8	14×10^{-2}	$8,2 \times 10^{-4}$
	90	2,4	41×10^{-2}	12×10^{-4}
	180	3,4	159×10^{-2}	23×10^{-4}

Erläuterungen zu den Datenblättern

Die nuklidspezifischen Datenblätter sind nach einem einheitlichen Schema aufgebaut. Jedes Blatt besteht aus 5 Teilen. Im ersten Teil wird kurz und als Übersicht das Stoffwechselverhalten des Isotops zusammengefasst. Im zweiten Teil sind die Messmethoden bei der Inkorporations- und Triagemessung aufgeführt. Wird die angegebene Messschwelle nie überschritten, so kann in der Regel angenommen werden, dass die jährliche effektive Folgedosis 1 mSv nicht übersteigt. In einem weiteren Abschnitt sind die Überwachungsintervalle zusammengefasst. Die zwei letzten Abschnitte dienen der Interpretation der Messwerte nach Anhang 9.

Referenzen:	1. Stoffwechsel:	ICRP30, ICRP78
	2. $m(t)$:	ICRP78
	3. e_{inh} :	ICRP68 (identisch mit BSS- und EU-Richtlinie 96)

Die angenommene mittlere Partikelgrösse beträgt bei Aerosolen 5 μm .

