

DIN EN ISO 27048



ICS 13.280

Einsprüche bis 2021-01-20

Entwurf

**Strahlenschutz –
Dosisermittlung für die Überwachung der inneren Strahlungsbelastung
von beruflich strahlenexponierten Personen (ISO 27048:2011);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 27048:2020, mit CD-ROM**

Radiation protection –
Dose assessment for the monitoring of workers for internal radiation exposure
(ISO 27048:2011);
German and English version prEN ISO 27048:2020, with CD-ROM

Radioprotection –
Estimation de la dose interne dans le cadre de la surveillance des travailleurs en cas
d'exposition aux rayonnements (ISO 27048:2011);
Version allemande et anglaise prEN ISO 27048:2020, avec CD-ROM

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2020-11-20 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und
Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs
besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nar@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Radiologie (NAR) oder Alexander-Wellendorff-Str. 2, 75172 Pforzheim.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten
Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 166 Seiten

DIN-Normenausschuss Radiologie (NAR)

Nationales Vorwort

Der Text von ISO 27048:2011 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 85 „Nuclear energy, nuclear technologies, and radiological protection“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und als prEN ISO 27048:2020 durch das Technische Komitee CEN/TC 430 „Kernenergie, Kerntechnik und Strahlenschutz“ übernommen, dessen Sekretariat vom AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 080-00-03 AA „Nuklearmedizin“ im DIN-Normenausschuss Radiologie (NAR).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 5725-1	siehe	DIN ISO 5725-1
ISO 5725-3	siehe	DIN ISO 5725-3
ISO 20553:2006	siehe	DIN EN ISO 20553:2020-06

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 20553:2020-06, *Strahlenschutz — Überwachung von beruflich strahlenexponierten Personen, bei denen ein Risiko der Kontamination mit radioaktiven Stoffen besteht (ISO 20553:2006); Deutsche Fassung EN ISO 20553:2017*

DIN ISO 5725-1, *Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen — Teil 1: Allgemeine Grundlagen und Begriffe*

DIN ISO 5725-3, *Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen — Teil 3: Präzisionsmaße eines vereinheitlichten Messverfahrens unter Zwischenbedingungen*

<i>Titel de:</i>	Strahlenschutz — Dosismittlung für die Überwachung der inneren Strahlungsbelastung von beruflich strahlenexponierten Personen (ISO 27048:2011)
<i>Titel en:</i>	Radiation protection — Dose assessment for the monitoring of workers for internal radiation exposure (ISO 27048:2011)
<i>Titel fr:</i>	Radioprotection — Estimation de la dose interne dans le cadre de la surveillance des travailleurs en cas d'exposition aux rayonnements (ISO 27048:2011)

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	3
Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Symbole und Abkürzungen	11
5 Herleitung kritischer Werte für Routineüberwachungsprogramme	12
6 Verfahren zur Bewertung von Arbeitsplatzüberwachungsdaten	16
7 Verfahren zur Bewertung von Einzelpersonenüberwachungsdaten	18
8 Unsicherheiten	28
9 Sonderthemen	33
10 Dokumentation	36
11 Berichterstattung	37
12 Qualitätssicherung	37
Anhang A (informativ) Vorhergesagte Bereiche von Bioassay-Messgrößen, $E(50) = 20 \text{ mSv}$	39
Anhang B (informativ) Streufaktoren	80
Anhang C (informativ) Retentionsfunktionen und Ausscheidungsraten	82
Literaturhinweise	83

Europäisches Vorwort

Der Text von ISO 27048:2011 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 85 „Nuclear energy, nuclear technologies, and radiological protection“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und als prEN ISO 27048:2020 durch das Technische Komitee CEN/TC 430 „Kernenergie, Kerntechnik und Strahlenschutz“ übernommen, dessen Sekretariat vom AFNOR gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 27048:2011 wurde vom CEN als prEN ISO 27048:2020 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung von Nationalen Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird normalerweise von ISO Technischen Komitees durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale Organisationen, staatlich und nicht-staatlich, in Liaison mit ISO, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) bei allen elektrotechnischen Themen zusammen.

Internationale Normen werden in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2, erarbeitet.

Die Hauptaufgabe der Technischen Komitees besteht in dem Erarbeiten von Internationalen Normen. Die von den Technischen Komitees angenommenen Norm-Entwürfe werden den Mitgliedsorganisationen zur Umfrage zur Verfügung gestellt. Für eine Veröffentlichung als Internationale Norm wird eine Zustimmung von mindestens 75 % der Mitgliedsländer, die abgestimmt haben, benötigt.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

ISO 27048 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 85, *Nuclear energy, nuclear technologies, and radiological protection*, Unterkomitee SC 2, *Radiological protection* erarbeitet.

Einleitung

Die Dosen, die sich aus der inneren Strahlungsbelastung aufgrund der Kontamination mit radioaktiven Stoffen ergeben, sind nicht direkt messbar. Beruflich exponierte Personen werden durch systematische Messungen der Aktivitätskonzentrationen in der Luft, der Aktivität im Körper oder der Ausscheidungsraten überwacht (siehe ISO 20553). Die quantitative Auswertung dieser gemessenen Aktivitäten erfordert wohldefinierte Modelle und Daten, die das Verhalten radioaktiver Stoffe im menschlichen Körper beschreiben. Diese Modelle sowie umfassende Daten werden von der Internationalen Kommission für Strahlenschutz (International Commission on Radiological Protection, ICRP) bereitgestellt. Die praktische Anwendung dieser Modelle erfordert jedoch Annahmen zu den Umständen eines (bekannten oder angenommenen) Aufnahmeereignisses wie zum Beispiel Angaben zu den chemischen und physikalischen Merkmalen des radioaktiven Materials, dem die Person ausgesetzt war, und zur Zeitspanne zwischen Aufnahme und Messung.

Im Falle eines außergewöhnlichen Ereignisses, das zu einer signifikanten Aufnahme eines radioaktiven Stoffes führt, kann eine umfassende Untersuchung gerechtfertigt sein, um die interne Dosis so zuverlässig wie möglich zu bestimmen. Das in einer derartigen Situation anzuwendende Verfahren hängt stark vom Einzelfall ab und lässt sich nur schwer normen. Bei der Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen zeigt jedoch eine überwiegende Mehrheit der Messungen nur geringfügige, wenn nicht sogar vernachlässigbare Expositionen. Zwar ist es auch in diesen Fällen wichtig, die Vergleichspräzision der Dosisermittlung sicherzustellen, jedoch ist es ebenso wichtig, Aufwand und Kosten der Auswertung zu optimieren.

Verschiedene Ringversuche haben ergeben, dass trotz wissenschaftlicher Unterstützung in Form von Empfehlungen der Internationalen Atomenergiebehörde (International Atomic Energy Agency, IAEA) [1] [2] [3] [4] [5] und der ICRP [6] [7] [8] [9] [10] [11] [12] [13] [14] [15] [16] die tatsächliche Anwendung identischer Modelle und Daten durch unterschiedliche Laboratorien oft zu um Größenordnungen abweichenden Dosisermittlungen führt. Daher besteht der Bedarf, zur Ermittlung interner Dosen mit Hilfe von Expositionsdaten, Körperaktivitäten oder Ausscheidungsraten Normverfahren festzulegen, um bei der Dosisermittlung Einheitlichkeit und Zuverlässigkeit zu erreichen.

Diese Internationale Norm sollte die Vergleichspräzision der Dosisermittlungen verbessern und gleichzeitig sicherstellen, dass der zur Datenauswertung erforderliche Aufwand dem Ausmaß der Exposition angemessen ist. Sie sollte den Austausch einheitlicher dosimetrischer Informationen zwischen Laboratorien und Behörden, auch länderübergreifend, ermöglichen. Es wird davon ausgegangen, dass diese Norm die Grundlage bilden wird für eine Zertifizierung, Akkreditierung oder Zulassung auf diesem Gebiet, für die zunehmend Bedarf besteht.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm legt die Mindestanforderungen an die Auswertung von Daten aus der Überwachung von Personen fest, die beruflich der Gefährdung einer inneren Kontamination durch radioaktive Stoffe ausgesetzt sind. Sie stellt Verfahren und Annahmen zur genormten Auswertung von Überwachungsdaten vor, um annehmbare Zuverlässigkeitsniveaus zu erreichen. Diese Verfahren ermöglichen die Quantifizierung von Expositionen, um die Einhaltung von Vorschriften und Strahlenschutzprogrammen zu dokumentieren. Für die Annehmbarkeit der Verfahren im Hinblick auf die Dosishöhen, oberhalb derer anspruchsvollere Verfahren angewendet werden müssen, werden Grenzwerte festgelegt.

Diese Internationale Norm behandelt Folgendes:

- a) Verfahren zur Dosisermittlung auf der Grundlage von Referenzniveaus für Routine- und Sonderüberwachungsprogramme;
- b) Annahmen für die Auswahl dosiskritischer Parameterwerte;
- c) Kriterien zur Bestimmung der Signifikanz der Überwachungsergebnisse;
- d) Auswertung der Ergebnisse der Arbeitsplatzüberwachung;
- e) Messunsicherheiten aufgrund der Probenahme, der Messtechniken und Arbeitsbedingungen;
- f) folgende Sonderthemen:
 - 1) Auswertung von Mehrfachdaten, die sich aus unterschiedlichen Messverfahren zu unterschiedlichen Zeitpunkten ergeben;
 - 2) Umgang mit Daten unterhalb der Erkennungsgrenze;
 - 3) Ausreißer und
 - 4) Dosisberechnung für Embryo/Fetus und Säugling;
- g) Berichterstattung/Dokumentation;
- h) Qualitätssicherung.

Die Norm gilt nicht für:

- die Dosimetrie in Rechtsstreitigkeiten;
- die Modellierung zur Verbesserung der internen Dosimetrie;
- den potentiellen Einfluss von Dekorporierungsmaßnahmen (z. B. Gabe von Chelatbildnern);
- die Untersuchung der Ursachen oder Auswirkungen einer Exposition;
- die Dosimetrie bei kontaminierten Wunden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*

ISO/IEC Guide 99, *International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM)*

ISO 5725-1, *Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 1: General principles and definitions*

ISO 5725-2, *Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method*

ISO 5725-3, *Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 3: Intermediate measures of the precision of a standard measurement method*

ISO 20553:2006, *Radiation protection — Monitoring of workers occupationally exposed to a risk of internal contamination with radioactive material*

ISO 28218, *Radiation protection — Performance criteria for radiobioassay*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO/IEC Guide 99, ISO 5725-1, ISO 5725-2 und ISO 5725-3 und die folgenden Begriffe.

3.1

Absorption

gekennzeichnet durch ihre Rate im abgelagerten Material und materialabhängig als Typ F, Typ M oder Typ S bezeichnet

3.1.1

Absorptionstyp F

abgelagerte Materialien mit hohen (schnellen) Raten der Absorption aus den Atemwegen in Körperflüssigkeiten

3.1.2

Absorptionstyp M

abgelagerte Materialien mit mittleren (mäßigen) Raten der Absorption aus den Atemwegen in Körperflüssigkeiten

3.1.3

Absorptionstyp S

abgelagerte Materialien mit niedrigen (langsamen) Raten der Absorption aus den Atemwegen in Körperflüssigkeiten

3.2

Aktivität

Anzahl spontaner Kernzerfallvorgänge je Zeiteinheit

ANMERKUNG Die Aktivität wird in Becquerel (Bq) angegeben, d. h. als Anzahl der Zerfallvorgänge je Sekunde.

3.3

aktivitätsbezogener mittlerer aerodynamischer Durchmesser

AMAD

Wert des aerodynamischen Durchmessers, der dergestalt ist, dass 50 % der Aktivität in der Luft in einem festgelegten Aerosol mit Partikeln zusammenhängen, die kleiner als der AMAD sind und 50 % der Aktivität mit Partikeln, die größer als der AMAD sind

ANMERKUNG Der aerodynamische Durchmesser schwebender Partikel ist der Durchmesser, den eine Kugel mit Einheitsdichte aufweisen müsste, um die gleiche Absetzgeschwindigkeit in Luft zu erreichen wie das betrachtete Partikel.

3.4

Clearance

Nettoeffekt der biologischen Prozesse, durch die Radionuklide aus dem Körper oder aus einem Gewebe oder einer Körperregion entfernt werden

ANMERKUNG Die *Clearance-Rate* ist die Geschwindigkeit, mit der dies erfolgt.

3.5

Kontamination

Aktivität von auf Oberflächen oder in Feststoffen, Flüssigkeiten oder Gasen (einschließlich des menschlichen Körpers) vorliegenden Radionukliden, wobei das Vorhandensein dieses radioaktiven Materials unbeabsichtigt oder unerwünscht ist

3.6

kritischer Wert

Höchstwert des Ergebnisses einer Einzelmessung in einem Überwachungsprogramm, bei dem sicher angenommen werden kann, dass die entsprechende extrapolierte Jahresdosis eine vordefinierte Dosishöhe nicht überschreitet

3.7

Erkennungsgrenze

festgelegter Wert der Messgröße, bei dessen Überschreitung durch das Ergebnis eines Istwerts einer Messgröße, die einen physikalischen Effekt quantifiziert, entschieden wird, dass der physikalische Effekt vorliegt

ANMERKUNG Die Erkennungsgrenze ist der kritische Wert eines statistischen Tests zur Entscheidung zwischen der Hypothese, dass der physikalische Effekt *nicht vorliegt* und der Alternativhypothese, dass der Effekt *vorliegt*. Überschreitet das Ergebnis einer tatsächlichen Messung diesen Wert, gilt dies als Hinweis darauf, dass die Hypothese abgelehnt werden sollte. Der statistische Test muss so ausgelegt sein, dass die Wahrscheinlichkeit, die Hypothese fälschlicherweise abzulehnen (Fehler erster Art) höchstens einem gegebenen Wert, α , entspricht.

3.8

Nachweisgrenze

kleinster wahrer Wert der Messgröße, der mit dem Messverfahren nachgewiesen werden kann

ANMERKUNG Die Nachweisgrenze ist der kleinste wahre Wert einer Messgröße, der mit dem statistischen Test und der Hypothese nach einer ***In-vivo-Messung*** (3.14) über folgende Kenngrößen in Zusammenhang steht: Wenn der wahre Wert in Wirklichkeit gleich der Nachweisgrenze ist oder diese überschreitet, darf die Wahrscheinlichkeit der fälschlicherweise nicht abgelehnten Hypothese (Fehler zweiter Art) höchstens einem gegebenen Wert, β , entsprechen.

3.9 Dosen [17]

3.9.1

Jahresdosis

effektive Folgedosis, die sich aus allen Aufnahmen während eines Kalenderjahres ergibt

ANMERKUNG Der Begriff „Jahresdosis“ wird nicht für die Dosis verwendet, die innerhalb eines Jahres ab allen vorherigen Aufnahmen erhalten wurde.

3.9.2

effektive Folgedosis

Zeitintegral der Äquivalentdosisleistung über einen Integrationszeitraum, der für diese Internationale Norm 50 Jahre ab Aufnahme beträgt

3.9.3

effektive Dosis

Summe der gewichteten Äquivalentdosen in allen Geweben und Organen des Körpers

3.10

Ausscheidungsfunktion

Anteil einer Aufnahme, der je Tag ausgeschieden wird, nachdem ein bestimmter Zeitraum seit der Aufnahme verstrichen ist

3.11

Ereignis

unbeabsichtigtes Vorkommnis, einschließlich Bedienungsfehler, Geräteversagen oder sonstiger Störungen, dessen Folgen oder potentielle Folgen vom Standpunkt des Schutzes und der Sicherheit aus nicht vernachlässigbar sind

3.12

Aufnahme

Aktivität eines in einem bestimmten Zeitraum oder infolge eines bestimmten Ereignisses in den Körper aufgenommenen Radionuklids

3.13

In-vitro-Analysen

indirekte Messungen

Analysen, die die Messung der Radioaktivität in biologischen Proben umfassen, die von einer Person genommen wurden

ANMERKUNG Dazu gehören Urin- und Stuhlproben und Proben aus der Nase; in Sonderüberwachungsprogrammen dürfen Proben von anderen Materialien, z. B. Blut und Haar, genommen werden.

3.14

In-vivo-Messung

direkte Messungen

Messung der Radioaktivität im menschlichen Körper mit Hilfe von Detektoren zur Messung der ausgesendeten Strahlung

ANMERKUNG Normalerweise handelt es sich bei den Messgeräten um Ganzkörperzähler oder Teilkörperzähler (z. B. für Lunge, Schilddrüse).

3.15

Überwachung

Messungen zur Ermittlung oder Steuerung der Exposition gegenüber radioaktivem Material und Auswertung der Ergebnisse

ANMERKUNG Diese Internationale Norm unterscheidet vier unterschiedliche *Kategorien* von Überwachungsprogrammen, nämlich **Bestätigungsüberwachungsprogramm** (3.15.1.1), **Routineüberwachungsprogramm** (3.15.1.2), **Sonderüberwachungsprogramm** (3.15.1.3) und **aufgabenbezogenes Überwachungsprogramm** (3.15.1.4), sowie zwei unterschiedliche *Arten* der Überwachung, nämlich **Einzelpersonenüberwachung** (3.15.2.1) und **Arbeitsplatzüberwachung** (3.15.2.2), die in jeder Kategorie vorkommen.

3.15.1 Kategorien von Überwachungsprogrammen

3.15.1.1

Bestätigungsüberwachungsprogramm

Überwachungsprogramm zur Bestätigung von Annahmen zu Arbeitsbedingungen

BEISPIEL Überwachungsprogramm zur Bestätigung, dass keine signifikanten Aufnahmen erfolgt sind.

3.15.1.2

Routineüberwachungsprogramm

Überwachungsprogramm im Zusammenhang mit laufenden Betriebsvorgängen, mit dem nachgewiesen werden soll, dass Arbeitsbedingungen, einschließlich Einzeldosishöhen, zufriedenstellend bleiben und den behördlichen Anforderungen entsprechen

3.15.1.3

Sonderüberwachungsprogramm

Überwachungsprogramm zur Quantifizierung signifikanter Expositionen nach tatsächlichen oder vermuteten außergewöhnlichen Vorfällen

3.15.1.4

aufgabenbezogene Überwachungsprogramme

Überwachungsprogramm im Zusammenhang mit einem bestimmten Betriebsvorgang, das Informationen zu einem bestimmten Betriebsvorgang begrenzter Dauer liefert, oder im Anschluss an wesentliche Änderungen der Einrichtungen oder Betriebsverfahren oder zur Bestätigung, dass das Routineüberwachungsprogramm geeignet ist

3.15.2 Überwachungsarten

3.15.2.1

Einzelpersonenüberwachung

Überwachung mit Geräten, die von einzelnen Beschäftigten getragen werden und die Mengen radioaktiven Materials in oder auf dem Körper einzelner Beschäftigter oder das von einzelnen Beschäftigten ausgeschiedene radioaktive Material messen

3.15.2.2

Arbeitsplatzüberwachung

Überwachung durch Messungen in der Arbeitsplatzumgebung

3.16

Überwachungsintervall

Zeitraum zwischen zwei aufeinanderfolgenden Messzeitpunkten

3.17

Qualitätssicherung

geplante und systematische Maßnahmen, die erforderlich sind, um ein hinreichendes Maß an Vertrauen dafür zu bieten, dass ein Prozess, eine Messung oder eine Dienstleistung vorgegebene Qualitätsanforderungen, die zum Beispiel in einer Lizenz festgelegt sind, erfüllt

3.18

Qualitätslenkung

Teil der Qualitätssicherung, mit dem verifiziert werden soll, dass Systeme und Komponenten vorgegebenen Anforderungen entsprechen

3.19

Qualitätsmanagement

alle Maßnahmen der allgemeinen Managementfunktion, mit denen die Qualitätspolitik, Ziele und Verantwortlichkeiten festgelegt werden und mit Mitteln wie Qualitätsplanung, Qualitätslenkung, Qualitätssicherung und Qualitätsverbesserung innerhalb des Qualitätssystems umgesetzt werden

3.20

Beurkundungsniveau

vom Arbeitgeber oder der Genehmigungsbehörde festgelegtes Niveau der Dosis, bei dessen Erreichen oder Überschreiten die Werte der Dosis, die Beschäftigte aufgenommen haben, in deren Unterlagen festzuhalten sind

3.21

Referenzwert

Untersuchungsschwelle oder Beurkundungsniveau

3.22

Retentionsfunktion

Funktion, die den Anteil einer im Körper oder in einem Gewebe, Organ oder einer Körperregion vorhandenen Aufnahme beschreibt, nachdem seit der Aufnahme ein bestimmter Zeitraum verstrichen ist

3.23

Streufaktor

geometrische Standardabweichung der logarithmischen Normalverteilung von Bioassay-Messungen

3.24

Messzeitpunkt

<In-vitro-Analyse> Zeitpunkt, zu dem die biologische Probe (z. B. Urin, Stuhl) von der betroffenen Person genommen wurde

3.25

Messzeitpunkt

<In-vivo-Analyse> Zeitpunkt, zu dem die Messung beginnt

4 Symbole und Abkürzungen

α	Wahrscheinlichkeit des falschen Behauptens des Vorliegens einer Aktivität in einer Probe
β	Wahrscheinlichkeit des falschen Behauptens des Nichtvorliegens einer Aktivität in einer Probe
D_v	jährliche effektive Folgedosis (Sv), sodass geringere Dosen für das Überwachungsprogramm unberücksichtigt bleiben dürfen (Höchstwert: 0,1 mSv)
E_v	Höhe der Jahresdosis (Sv), sodass geringere Dosen für das Überwachungsprogramm als vernachlässigbar betrachtet werden dürfen (Höchstwert: 0,1 mSv)
$E(50)$	effektive Folgedosis

$e(50)$	Dosiskoeffizient: effektive Folgedosis je Aufnahmeeinheit
f_A	gastrointestinaler Aufnahmefaktor
I	Aufnahme
$L_i(I)$	Wahrscheinlichkeitsfunktion
$m(t)$	vorhergesagter Wert der Messgröße zum Zeitpunkt t für eine Aufnahmeeinheit (Ausscheidungs- oder Retentionsfunktion zum Zeitpunkt t_i für die Aufnahmeeinheit)
$m_c(t)$	vorhergesagter Wert der Messgröße nach einem Zeitraum von t Tagen einer chronischen Aufnahme der Einheit je Tag (Ausscheidungs- oder Retentionsfunktion zum Zeitpunkt t_i für die chronische Aufnahmeeinheit je Tag)
M_i	Messwert zum Zeitpunkt t_i
M_c	kritischer Wert
n	bei der Routineüberwachung die Anzahl der Überwachungsintervalle je Kalenderjahr, d. h. $365/\Delta T$
P	zu messende Aktivität (<i>in vitro</i> oder <i>in vivo</i>) aller bekannten, bereits dokumentierten Aufnahmen
N	Anzahl der Messungen unterhalb der Erkennungsgrenze
K_{SF}	Streufaktor des angewendeten Überwachungsverfahrens
ΔT	Dauer des Überwachungsintervalls (in Tagen)
t_m	Zeitpunkt der aktuellen Messung
t_i	Zeitpunkt der angenommenen Aufnahme
y^*	Erkennungsgrenze

5 Herleitung kritischer Werte für Routineüberwachungsprogramme

Für jedes Routineüberwachungsprogramm müssen kritische Werte, M_c – also die Höchstwerte für das Ergebnis einer Einzelmessung, bei denen die extrapolierte Jahresdosis eine vordefinierte Dosishöhe nicht überschreitet –, hergeleitet werden. Diese Dosishöhe muss so festgelegt werden, dass die niedrigeren Dosen als vernachlässigbar angesehen werden können (also als Dosis null angegeben werden). Liegen die Messergebnisse unter M_c , ist es nicht notwendig, die Aufnahme oder Dosis explizit auszuwerten: Die Dosis darf als unbedeutend betrachtet werden. Der Messwert (sollte dieser oberhalb der Erkennungsgrenze liegen) muss aufgezeichnet werden, um zu dokumentieren, dass die Messung durchgeführt wurde und um Informationen zur Unterstützung möglicher zukünftiger Neuermittlungen der Dosis zu liefern.

Die jährliche effektive Folgedosis, D_v , die als Dosishöhe für die Herleitung von M_c gewählt wird, darf 0,1 mSv nicht überschreiten, sofern nicht die nationale Gesetzgebung etwas anderes vorschreibt.

Der kritische Wert, M_c , für ein Routineüberwachungsprogramm von Einzelpersonen hängt ab von:

- dem nach ISO 20553 ermittelten Überwachungsintervall und
- der Verteilung und Retention des kontaminierenden Stoffes im Körper oder der Ausscheidungsrate aus dem Körper.

Kritische Werte dürfen für Luftkonzentrationen berechnet werden, sofern diese Berechnungen auf einer realistischen Einschätzung der Luftkonzentration im Atembereich des Beschäftigten beruhen.

Wird von einer einzelnen akuten Aufnahme in der Mitte des Überwachungsintervalls ausgegangen, kann M_c für ein Routineüberwachungsprogramm nach Gleichung (1) berechnet werden:

$$M_c = \frac{D_v \times m(\Delta T/2)}{e(50)} \times \frac{\Delta T}{365} \quad (1)$$

Dabei ist

- D_v die Höhe der Jahresdosis (Sv), sodass geringere Dosen für das Überwachungsprogramm unberücksichtigt bleiben dürfen;
- $m(\Delta T/2)$ bei *In-vitro*-Messungen der Wert der Ausscheidungsfunktion zum Zeitpunkt $\Delta T/2$ (Tage) nach einer Aufnahme der Einheit und bei *In-vivo*-Messungen der Wert der Retentionsfunktion zum Zeitpunkt $\Delta T/2$ (Tage) nach einer Aufnahme der Einheit;
- $e(50)$ der Dosiskoeffizient: die effektive Folgedosis je Aufnahme der Einheit bei Inhalation (entsprechender Absorptionstyp).

Gleichung (1) beruht auf der Annahme, dass nur ein Radionuklid aufgenommen (inkorporiert) wird. Bei Radionuklidgemischen müssen typische (durch die Dosiskoeffizienten gewichtete) Isotopenverhältnisse angewendet werden, um M_c zu verringern.

In Tabelle 1 bis Tabelle 5 sind für jede *In-vitro*- und *In-vivo*-Messung für die gewählten Radionuklide und die in ISO 20553 für ein Routineüberwachungsprogramm festgelegten Überwachungsintervalle kritische Werte, M_c , für $D_v = 0,1$ mSv angegeben.

Die Auflistung der Nuklide und kritischen Werte in Tabelle 1 bis Tabelle 5 bedeutet nicht, dass für eine Routineüberwachung das entsprechende Messverfahren allein ausreichend ist. Bei einigen Nukliden erfüllen die tatsächlichen Nachweisgrenzen nicht die Anforderungen von ISO 20553. Die Daten für diese Nuklide werden bereitgestellt, um eine numerische Grundlage für Entscheidungen darüber bereitzustellen, ob das Überwachungsverfahren geeignet ist. Die Messungen, für die Zahlen angegeben sind, dürfen andere Überwachungsverfahren, z. B. die Arbeitsplatzüberwachung, ergänzen.

Tabelle 1 — Kritische Werte für die Urinanalyse bei einem Routineüberwachungsprogramm für
 $D_v = 0,1 \text{ mSv}$

Radionuklid ^a	Absorptionstyp	Max. Zeitintervall zwischen Urinuntersuchungen Tage	Kritische Werte für 0,1 mSv Bq/24 h
³ H	HTO	30	4 000 ^b
¹⁴ C	organisch	7	10
	Dioxid	180	300
³² P	F	30	10 ^b
³³ P	F	30	100 ^b
³⁵ S	F	7	20
⁶³ Ni	M	15	3
⁸⁹ Sr	F	30	10
	S	30	5 E - 2
⁹⁰ Sr	F	30	1
	S	180	3 E - 3
²²⁶ Ra	M	180	1 E - 4
Uranhexafluorid (Uran ^c : natur)	F	90	1 E - 2
Uranperoxid, -nitrat, Ammoniumdiuranat (Uran ^c : natur)	F	30	2 E - 2
Urantetrafluorid, -trioxid (Uran: natur)	M	90	3 E - 3
Urandioxid, -octoxid (Uran: natur)	S	90	2 E - 5
²³⁷ Np	M	180	1 E - 4
²³⁸ Pu	S	180	7 E - 7
²³⁹ Pu	S	180	1 E - 6
²³⁹ Pu	M	180	1 E - 5
²⁴¹ Am	M	180	3 E - 5
²⁴⁴ Cm	M	180	3 E - 5
^a Bei einigen Nukliden erfüllen die tatsächlichen Nachweisgrenzen nicht die Anforderungen von ISO 20553. Die Daten für diese Nuklide werden bereitgestellt, um eine numerische Grundlage für Entscheidungen darüber bereitzustellen, ob das Überwachungsverfahren geeignet ist. ^b Angegeben in Becquerel je Liter (Bq/l). ^c Basierend auf biokinetischen Daten, veröffentlicht in [18].			

Tabelle 2 — Kritische Werte für die Stuhlanalyse bei einem Routineüberwachungsprogramm für
 $D_v = 0,1 \text{ mSv}$

Radionuklid^a	Absorptionstyp	Max. Zeitintervall zwischen Stuhluntersuchungen Tage	Kritische Werte für 0,1 mSv Bq/24 h
Urantetrafluorid, -trioxid (Uran: natur)	M	180	2 E - 3
Urandioxid, -octoxid (Uran: natur)	S	180	9 E - 4
²²⁸ Th	S	180	2 E - 4
²³² Th	S	180	5 E - 4
²³² Th	M	180	2 E - 4
²³⁷ Np	M	180	7 E - 2
²³⁸ Pu	S	180	5 E - 4
²³⁹ Pu	S	180	7 E - 4
²³⁸ Pu	M	180	1 E - 4
²⁴¹ Am	M	180	2 E - 4
²⁴⁴ Cm	M	180	4 E - 4
^a Bei einigen Nukliden erfüllen die tatsächlichen Nachweisgrenzen nicht die Anforderungen von ISO 20553. Die Daten für diese Nuklide werden bereitgestellt, um eine numerische Grundlage für Entscheidungen darüber bereitzustellen, ob das Überwachungsverfahren geeignet ist.			

Tabelle 3 — Kritische Werte für Ganzkörpermessungen bei einem Routineüberwachungsprogramm
für $D_v = 0,1 \text{ mSv}$

Radionuklid	Absorptionstyp	Max. Zeitintervall zwischen Ganzkörpermessungen Tage	Kritische Werte für 0,1 mSv Bq
⁵¹ Cr	F	15	20 000
⁵⁴ Mn	M	90	1 000
⁵⁹ Fe	M	90	400
⁵⁷ Co	S	180	2 000
⁵⁸ Co	S	180	500
⁶⁰ Co	S	180	100
⁷⁵ Se	M	180	4 000
^{110m} Ag	S	180	200
¹³⁷ Cs	F	180	2 000

Tabelle 4 — Kritische Werte für Lungenmessungen bei einem Routineüberwachungsprogramm für $D_v = 0,1$ mSv

Radionuklid	Absorptionstyp	Max. Zeitintervall zwischen Lungenmessungen Tage	Kritische Werte für 0,1 mSv Bq
Urantetrafluorid, -trioxid (^{235}U)	M	180	0,6
Urandioxid, -octoxid (^{235}U)	S	180	0,3
^{241}Am	M	180	0,04

Tabelle 5 — Kritische Werte für Schilddrüsenmessungen bei einem Routineüberwachungsprogramm für $D_v = 0,1$ mSv

Radionuklid	Absorptionstyp	Max. Zeitintervall zwischen Schilddrüsenmessungen Tage	Kritische Werte für 0,1 mSv Bq
^{125}I	F	90	200
^{131}I	F	15	30

6 Verfahren zur Bewertung von Arbeitsplatzüberwachungsdaten

Die Messung oder Bewertung von Konzentrationen der Radioaktivität in der Luft darf zur Quantifizierung der Belastung von Beschäftigten angewendet werden, wenn das Überwachungsprogramm keine verpflichtenden Einzelpersonenmessungen erfordert. Bei dem folgenden Verfahren wird davon ausgegangen, dass die gemessene Aktivitätskonzentration für die Luft im Atembereich repräsentativ ist.

Das allgemeine Verfahren ist in Bild 1 beschrieben.

Wenn die Messung keine Aktivitätskonzentration oberhalb der Erkennungsgrenze des angewendeten Verfahrens ergibt, wird dokumentiert, dass die Messung durchgeführt wurde; eine weitere Auswertung ist nicht erforderlich.

Deutet der Messwert auf ein außergewöhnliches Ereignis hin, muss zur Feststellung der Gründe für das erhöhte Ergebnis eine Untersuchung durchgeführt und dokumentiert werden. Schließt diese Untersuchung eine Dosis von mehr als 30 % der jährlichen Dosisgrenze nicht aus, muss eine individuelle Dosisermittlung erfolgen. Außergewöhnliches Ereignis bedeutet hierbei, dass der Messwert die Schätzungen oder Annahmen, auf denen das Überwachungsprogramm beruht, signifikant überschreitet, z. B. das 95. Perzentil verfügbarer Langzeitbeobachtungen überschritten wird.

Die einer gemessenen Aktivitätskonzentration in der Luft entsprechende Dosis wird mit Gleichung (2) berechnet:

$$E_i(50) = C_{m,i} \times \Delta T \times e_i(50) \times 9,6 \quad (2)$$

Dabei ist

- $e(50)$ der Dosiskoeffizient: die effektive Folgedosis je Aufnahmeeinheit bei Inhalation (entsprechender Absorptionstyp);
- i der Index für das in der eingeatmeten Luft vorhandene Nuklid;
- $C_{m,i}$ die gemessene Konzentration des Radionuklids i , in Bq/m³;
- 9,6 der Koeffizient, der das Volumen der eingeatmeten Luft bei leichter körperlicher Aktivität widerspiegelt, in m³/d [7].

Wird die Aufnahme von Tritium durch Entnahme von Proben aus der Luft überwacht (z. B. bei Wander- bzw. Leiharbeitern in Kernkraftwerken), muss der sich aus Gleichung (2) ergebende Wert mit dem Faktor 1,5 multipliziert werden, um Aufnahmen über die Haut zu berücksichtigen [6].

Die auf diese Weise berechnete Dosis muss als die Dosis für das Überwachungsintervall dokumentiert werden, es sei denn, sie überschreitet die bei Festlegung des Überwachungsverfahrens definierte Untersuchungsschwelle, wobei dann Schätzungen der Exposition durch zusätzliche Untersuchungen bestätigt werden müssen (siehe ISO 20553).

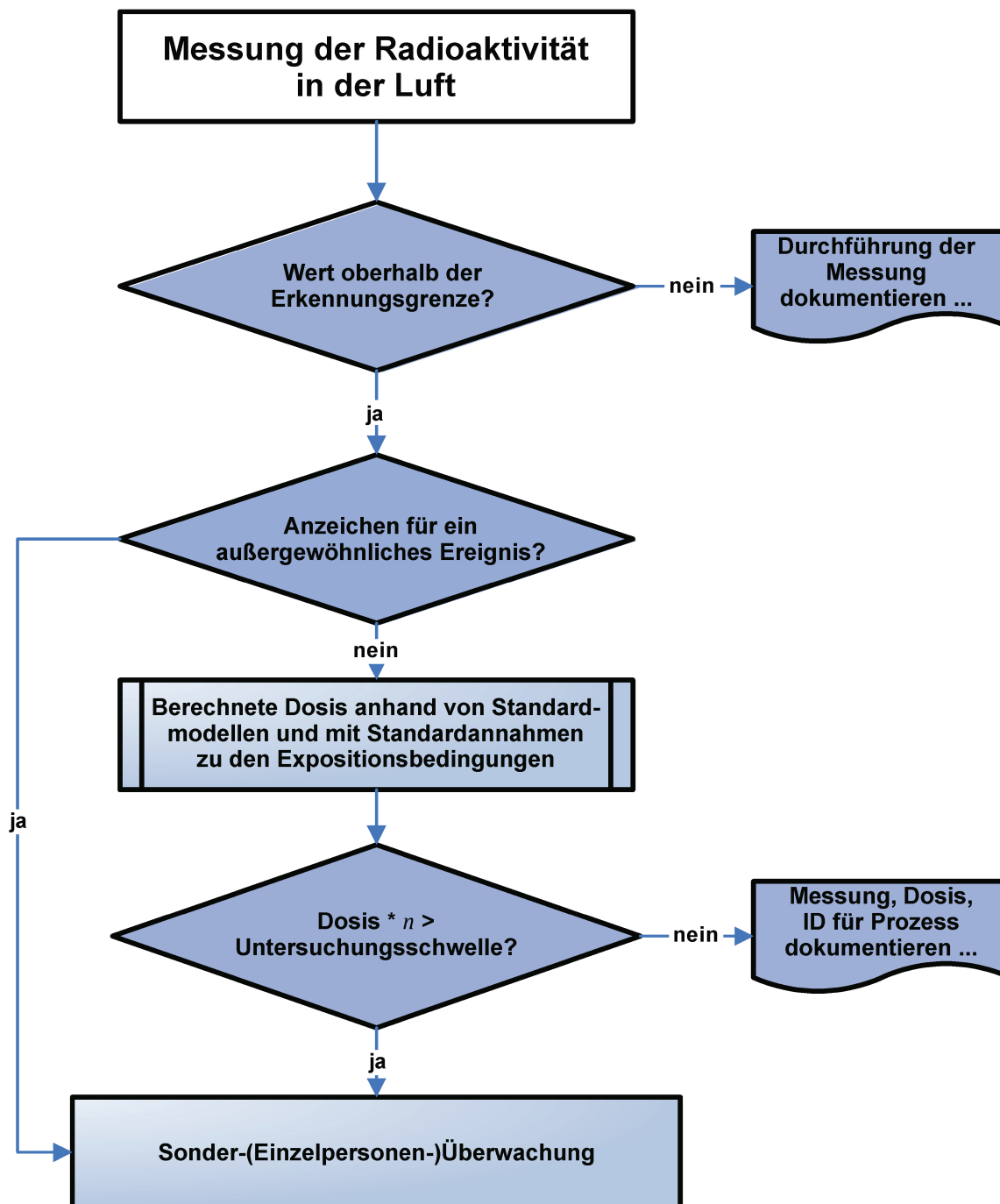


Bild 1 — Ablaufdiagramm für die Auswertung der gemessenen Aktivitätskonzentrationen in der Luft

7 Verfahren zur Bewertung von Einzelpersonenüberwachungsdaten

Das Verfahren zur Auswertung der Einzelergebnisse von Messungen zur Einzelpersonenüberwachung ist in Bild 2 beschrieben. 7.1 beschreibt das Verfahren zur Dosisermittlung basierend auf der Routineüberwachung, 7.2 beschreibt die Abweichungen dieses Verfahrens, die für die Auswertung der Sonderüberwachung gelten.

7.1 Ergebnisse der Routineüberwachung

Das Verfahren zur Dosisermittlung auf der Grundlage der Ergebnisse von Routineüberwachungen ist in Bild 2 auf der linken Seite beschrieben.

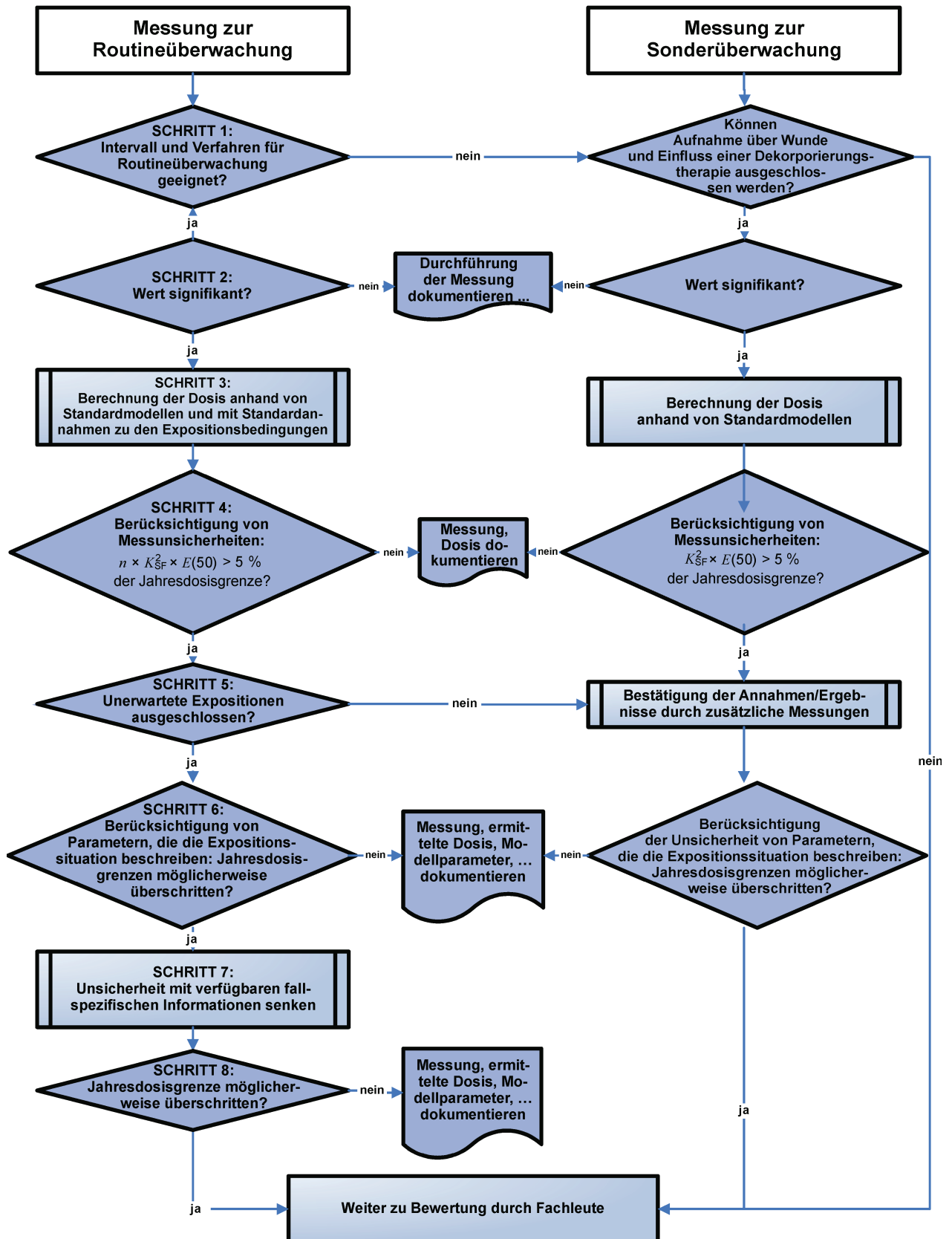


Bild 2 — Verfahren zur Dosisermittlung anhand von Einzelmessungen

7.1.1 Schritt 1 – Eignung der Messung

Zunächst ist zu klären, ob die Messung für die Behandlung mit Standardverfahren geeignet ist. Es muss überprüft werden, ob das Überwachungsverfahren und das seit der letzten Messung verstrichene Intervall für das Radionuklid bzw. das Material und den Absorptionstyp entsprechend ISO 20553 geeignet sind. Das Zeitintervall darf von dem in ISO 20553 angegebenen Intervall nicht um mehr als die in ISO 20553:2006, Tabelle 6, festgelegten Werte abweichen. Ist ein Beschäftigter für eine Dauer beschäftigt, die kürzer ist als das in ISO 20553 festgelegte nuklidspezifische Überwachungsintervall, ist das Standardverfahren zur Auswertung der Ergebnisse der Routineüberwachung nicht geeignet.

Ist eine dieser Bedingungen nicht erfüllt, muss die Auswertung der Messwerte nach dem Verfahren für die Sonderüberwachung (siehe 7.2) erfolgen.

7.1.2 Schritt 2 – Signifikanz

Ein Messwert muss als signifikant bewertet werden, wenn

- der Wert die Erkennungsgrenze, y^* , des Messverfahrens überschreitet, und
- der Wert über dem kritischen Wert, M_c , liegt.

Der Vergleich des Messwertes mit M_c sollte auf den in Urin- oder Stuhlproben vorhanden absoluten Radionuklidmengen beruhen; d.h. es sollte nicht versucht werden, natürliche Hintergrundwerte zu subtrahieren.

Ist eines dieser Kriterien nicht erfüllt, reicht es aus, die Messung ohne weitere Auswertung zu dokumentieren.

Wird vor Schritt 3 festgestellt, dass der Messwert signifikant ist, sollte eine Prüfung dahingehend durchgeführt werden, ob der Messwert auf frühere bereits quantifizierte und dokumentierte Aufnahmen zurückzuführen ist.

7.1.2.1 Beiträge aus früheren Aufnahmen

Bei der Berechnung der Beiträge aus früheren Aufnahmen muss Gleichung (3) angewendet werden:

$$P = \sum_i I_i \times m(t_m - t_i) \quad (3)$$

Dabei ist

- | | |
|-------|--|
| P | die zu messende Aktivität (<i>in vitro</i> oder <i>in vivo</i>) aus allen bekannten, bereits dokumentierten Aufnahmen; |
| i | der Index für die zuvor benannten Aufnahmevorfälle; |
| I_i | alle Aufnahmen, in Bq, die möglicherweise zu dem tatsächlich zu analysierenden Messwert beitragen; |
| t_i | der Zeitpunkt der Aufnahme; |
| t_m | der Zeitpunkt der aktuellen Messung. |

7.1.2.2 Prüfung der Signifikanz früherer Beiträge

Mit Hilfe der in 8.3.2 und Anhang B angegebenen Streufaktoren, K_{SF} , muss die Signifikanz früherer Beiträge (P) wie folgt geprüft werden.

Liegt der Messwert, M , im Intervall

$$\frac{P}{K_{SF}^2} < M < K_{SF}^2 \times P \quad (4)$$

deutet dies darauf hin, dass kein signifikanter Beitrag durch neue Aufnahmen vorliegt. In diesem Fall reicht es aus, die Messung ohne weitere Auswertung zu dokumentieren. Ist der Messwert, M , nach Gleichung (5)

$$M < \frac{P}{K_{SF}^2} \quad (5)$$

deutet dies auf eine Diskrepanz zwischen den früheren Ermittlungen und dem aktuellen Wert hin. Können die früheren Ermittlungen bestätigt werden, muss die aktuelle Messung wiederholt werden. Können die früheren Ermittlungen nicht bestätigt werden, muss deren Beitrag zu der aktuellen Messung ignoriert werden. Ist der Messwert, M , nach Gleichung (6)

$$M > P \times K_{SF}^2 \quad (6)$$

dann ist der Messwert die Folge einer noch nicht analysierten Aufnahme. In diesem Fall darf die Messung mit der in 7.1.3 angegebenen Standarddosismessung ausgewertet werden.

7.1.3 Schritt 3 – Standarddosismessung

Bei der Standarddosismessung muss die dem Messwert entsprechende Dosis mit Hilfe der folgenden Standardannahmen berechnet werden:

- die Aufnahme war ein akutes Ereignis in der Mitte des Überwachungsintervalls;
- die Exposition erfolgte über Inhalation des Materials mit $AMAD = 5 \mu m$;
- der Absorptionstyp, die Retention und die Ausscheidungsraten entsprechen den in ICRP 68 [8] und ICRP 78 [12] festgelegten Standardwerten.

Alternativ dürfen, sofern vorhanden und dokumentiert, standortspezifische Standardwerte angewendet werden, wenn diese nachweislich für den Prozess, mit dem die Person beschäftigt war, geeignet sind.

ANMERKUNG Die Annahme einer chronischen und konstanten Aufnahmegeschwindigkeit könnte konstante Aufnahmewahrscheinlichkeiten besser darstellen und zu unverzerrten Schätzungen führen. Dennoch wird hier aus Gründen der Übereinstimmung mit den ICRP-Empfehlungen die Annahme eines akuten Aufnahmeereignisses gewählt.

Zur Berechnung der Aufnahme während des Überwachungsintervalls und der sich aus dieser Aufnahme ergebenden effektiven Folgedosis, $E(50)$, müssen Gleichung (7) und Gleichung (8) angewendet werden:

$$I = \frac{M'}{m(\Delta T/2)} \quad (7)$$

$$E(50) = e(50) \times I \quad (8)$$

Dabei ist

M' entweder der Messwert M oder $M - P$, wenn die Beiträge, P , aus früheren Aufnahmen nach 7.1.2.1 berechnet wurden;

I die Aufnahme, in Bq.

Werte für $m(t)$ (Retentionsfunktion bzw. Ausscheidungsrate) sind in Anhang C angegeben und entsprechen ICRP 78 [12]. Sie müssen angewendet werden, es sei denn, die ICRP hat in der Zwischenzeit aktuellere Daten veröffentlicht.

BEISPIEL Anwendung von Zahlenwerten auf Gleichung (7) und Gleichung (8):

Ein Beschäftigter arbeitet mit Iod-131 (^{131}I), Typ F (AMAD = 5 μm). Ein Routineüberwachungsprogramm mit (*In-vivo*-)Überwachung der Schilddrüse und einem 14-tägigen Intervall ergab: 360 Bq.

ΔT = Zeitintervall = 14 Tage mit $\Delta T/2 = 7$ Tage

M' = Messwert = 360 Bq

$m(\Delta T/2)$ = Retention in der Schilddrüse nach Einzelaufnahme, in Bq je Bq inkorporierter Aktivität für I-131, bei $t = 7$ Tage, $m(7) = 7,4 \cdot 10^{-2} \text{ Bq} \cdot \text{Bq}^{-1}$ (nach Anhang C, Teil 1, für I-131)

Nach Gleichung (7): $I = 360 / 7,4 \cdot 10^{-2} = 4\,865 \text{ Bq}$

Nach Gleichung (8): $E(50) = e(50) \times I = 1,1 \cdot 10^{-8} \times 4\,865 = 5 \cdot 10^{-5} \text{ Sv}$

[Dosiskoeffizient $e(50)$ nach [27]].

Bei Expositionen gegenüber Radionuklidgemischen, bei denen die Messwerte M' für jedes Radionuklid ermittelt wurden, sollten Gleichung (7) und Gleichung (8) direkt angewendet und die Werte von $E(50)$ für jedes Nuklid vor Schritt 4 summiert werden. Wird ein Messwert für ein Radionuklid M'_a nicht nur dazu verwendet, $E_a(50)$ zu bestimmen, sondern auch, um die sich aus einer Aufnahme eines weiteren Radionuklids, $E_b(50)$, ergebende effektive Folgedosis zu ermitteln, sollte dies durch Multiplikation von $E_a(50)$ mit dem Produkt aus I_b/I_a und $e_b(50)/e_a(50)$ erfolgen. I_b/I_a darf aus dem Isotopenaktivitätsverhältnis für die Radionuklide bestimmt werden, die in dem Material vorhanden waren, dem der Beschäftigte ausgesetzt war. Die $E(50)$ -Werte für jedes Nuklid sollten dann vor Schritt 4 summiert werden.

7.1.4 Schritt 4 – Kriterium für die Annahme der Standarddosisermittlung

Eine weitere Auswertung ist nicht notwendig, wenn für die berechnete Dosis $E(50)$ Gleichung (9) gilt:

$$n \times K_{\text{SF}}^2 \times E(50) < 0,05 \times E_{\text{limit}} \quad (9)$$

Dabei ist

n die Anzahl der Überwachungsintervalle je Jahr (= $365/\Delta T$);

E_{limit} die Jahresdosisgrenze.

In diesem Fall müssen die für das Überwachungsintervall berechnete Aufnahme und die entsprechende effektive Folgedosis dokumentiert werden. Bei dieser Dosis handelt es sich um die dokumentierte beste Schätzung, die zur Bestimmung der formalen Einhaltung der Dosisgrenzen herangezogen wird.

Wird mehr als ein Radionuklid überwacht, muss bei dem Vergleich in Gleichung (9) die Summe der Beiträge zur effektiven Folgedosis während des Überwachungsintervalls angewendet werden.

Die Streufaktoren sind in Anhang B angegeben. Sie spiegeln die sich aus der Probenahme und der Messung ergebenden Unsicherheiten wider und sind unter der Annahme logarithmischer Normalverteilungen definiert, was erfordert, dass Fehler des Typs A klein sind (kleiner als 30 %). Alternativ dürfen, sofern vorhanden und dokumentiert, standortspezifische Streufaktoren angewendet werden, wenn diese nachweislich für den Prozess, mit dem die Person beschäftigt war, geeignet sind.

7.1.5 Schritt 5 – Unerwartete Expositionen

Bei der Festlegung eines Routineüberwachungsprogramms wird allgemein angenommen, dass sich Arbeitsprozesse und Arbeitsplatzbedingungen im Laufe der Zeit nicht erheblich verändern. Daher sollte zusätzlich überprüft werden, ob der Messwert mit früheren Erfahrungen übereinstimmt. Ein ungewöhnlicher Wert könnte auf eine Abweichung von den normalen Bedingungen bedeuten, von denen bei der Festlegung des Routineüberwachungsprogramms ausgegangen wurde. Außerdem kann ein Vergleich der Ergebnisse unterschiedlicher Beschäftigter mit vergleichbaren Expositionssituationen bei der Bestimmung unerwarteter Expositionssituationen hilfreich sein.

Daher wird empfohlen, im Vorfeld geeignete quantitative Kriterien für die Ermittlung von Expositionen festzulegen, bei denen die Anwendung zuvor definierter Annahmen problematisch ist und bei denen weitere Untersuchungen erforderlich sind.

7.1.6 Schritt 6 – Vergleich mit Dosisgrenzen

Ergibt die Dosisberechnung nach Gleichung (7) und Gleichung (8) einen Schätzwert, der 5 % der Jahresdosisgrenze überschreitet (ist also die Bedingung in Gleichung (9) nicht erfüllt), und besteht kein Anzeichen für eine unerwartete Exposition, besteht der nächste Schritt darin, zu prüfen, ob die Jahresdosisgrenzen möglicherweise überschritten werden.

Das nachfolgend beschriebene Verfahren ermöglicht eine Entscheidung dahingehend, ob sicher angenommen werden kann, dass die Dosis unterhalb der Dosisgrenze liegt, damit der weitere Untersuchungsverlauf bestimmt werden kann. Berücksichtigt wird dabei die Unsicherheit der materialspezifischen Parameter, die die größte Auswirkung auf die Dosis haben. Das Verfahren ist nicht dazu vorgesehen, die formale Einhaltung von Dosisgrenzen zu ermitteln; dazu ist die dokumentierte beste Schätzung anzuwenden.

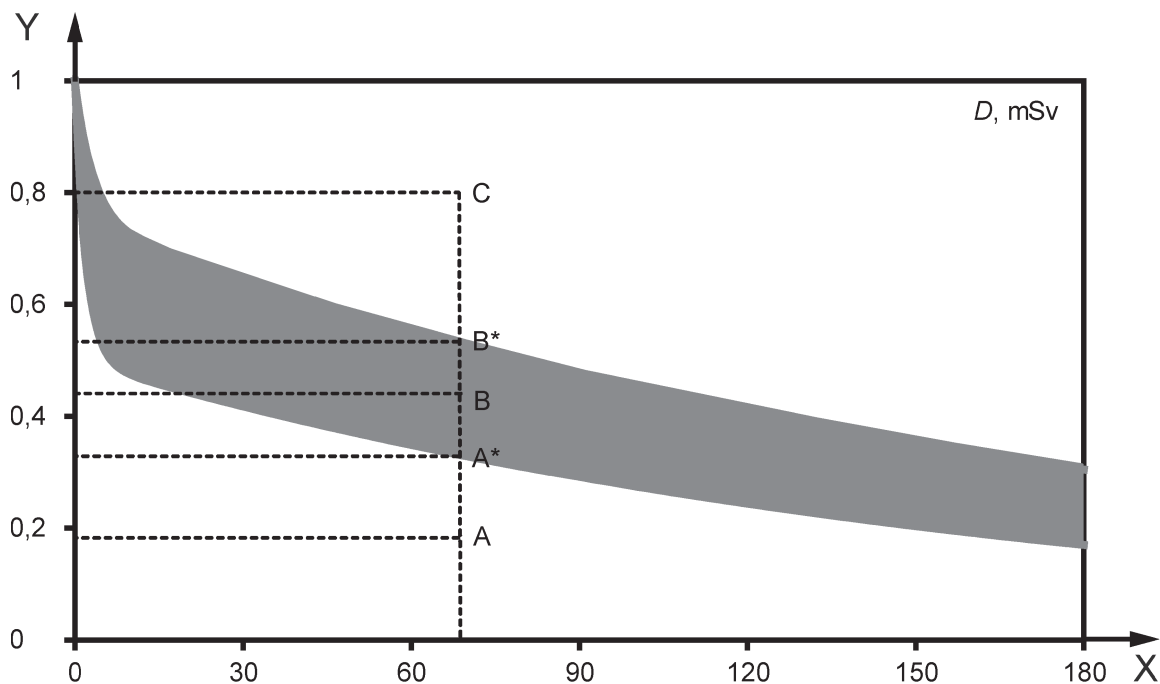
Das Verfahren umfasst die Anwendung von Diagrammen, die allgemein Bild 3 entsprechen. Das Diagramm zeigt den vorhergesagten Bereich, innerhalb dessen eine Bioassay-Messgröße wahrscheinlich liegt, wenn eine akute Aufnahme eines bestimmten Radionuklids erfolgt ist, die zu einer effektiven Folgedosis, $E(50)$, führt, welche einem festgelegten Wert E (in mSv) wie etwa der Jahresdosisgrenze entspricht. Der obere und untere Grenzwert des Bereichs werden mit einer Reihe von Berechnungen zur Vorhersage der Bioassay-Messgröße bestimmt, wobei die Unsicherheit in der Partikelgrößenverteilung des eingeatmeten Aerosols, die Variabilität (bzw. Unsicherheit) der Absorptionsmerkmale des Materials und die Variabilität (bzw. Unsicherheit) des gastrointestinalen Aufnahmefaktors, f_A , berücksichtigt werden. Dies sind die drei bei Bioassay-Berechnungen angewendeten materialspezifischen Parameter, die im Allgemeinen den größten Einfluss auf die ermittelte Dosis haben. Der Höchstwert und der Mindestwert der Bioassay-Größe werden jedes Mal nach einer Aufnahme in das Diagramm eingetragen.

Stehen zur Charakterisierung der Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion (z. B. unter Anwendung einer Normalverteilung oder logarithmischen Normalverteilung) eines bestimmten Parameters ausreichend Informationen zur Verfügung, sind der untere und der obere Grenzwert des in den Berechnungen angewendeten Parameterwertebereichs normalerweise das 2,5%- und 97,5%-Vertrauensniveau. Bei einigen Parametern stehen weniger Informationen zur Verfügung, der Bereich wird dann unter Anwendung der beobachteten (oder vorhergesagten) Mindest- und Höchstwerte festgelegt.

Diagramme der in Bild 3 gezeigten allgemeinen Art bieten auf verschiedene Weise Informationen zur ermittelten Dosis. Das Verfahren lässt sich unter Bezugnahme auf die in dem Diagramm (bei A, A*, B, B* und C) dargestellten Bioassay-Größenwerte veranschaulichen:

- die Messgröße, A, liegt unterhalb des unteren Grenzwerts des Bereichs. In diesem Fall kann mit einem hohen Vertrauensniveau angegeben werden, dass $E(50)$ unterhalb der festgelegten Dosis E mSv liegt. Die Mindest- und Höchstdosis, die aus Messgröße A ermittelt werden könnten, sind $A/B^* \times E$ und $A/A^* \times E$;

- die Messgröße, B, liegt zwischen dem unteren und oberen Grenzwert des Bereichs. $E(50)$ könnte unterhalb oder oberhalb der festgelegten Dosis E mSv liegen. Die Mindest- und Höchstdosis, die aus Messgröße B ermittelt werden könnten, sind $B/B^* \times E$ und $B/A^* \times E$;
- die Messgröße, C, liegt oberhalb des oberen Grenzwerts des Bereichs. In diesem Fall kann mit einem hohen Vertrauensniveau angegeben werden, dass $E(50)$ oberhalb der festgelegten Dosis E mSv liegt. Die Mindest- und Höchstdosis, die aus Messgröße C ermittelt werden könnten, sind $C/B^* \times E$ und $C/A^* \times E$.



Legende

- X Tage nach Exposition
Y Menge im Körper (Bq) oder ausgeschiedene Menge (Bq/d)

Bild 3 — Vorhergesagter Bereich der Bioassay-Messgröße, normiert auf ihren Wert bei $t = 1$ Tag, für eine Aufnahme, die zu einer effektiven Folgedosis von E mSv führt

Das zur Erstellung derartiger Diagramme angewendete Verfahren ist in [19] beschrieben. Anhang A enthält die Diagramme für die in ISO 20553 aufgelisteten Radionuklide und Überwachungsverfahren, die für eine festgelegte Dosishöhe $E = 20$ mSv erstellt wurden. Die Diagramme in Anhang A zeigen außerdem die Werte der Bioassay-Größe für $E(50)$ von 20 mSv, berechnet anhand der Standardwerte für den Absorptionstyp und die Partikelgrößenverteilung des eingeatmeten Aerosols. Dies ist eine alternative Möglichkeit zur Bestimmung der kritischen Werte in Tabelle 1 bis Tabelle 5, die durch Ablesen des Wertes aus dem Diagramm und Division durch E/E_v (d. h. 20/0,1) erhalten werden.

Das Verfahren sollte angewendet werden, um nachzuweisen, dass jeder beliebige Wert einer gemessenen Bioassay-Größe unter A^* einem $E(50)$ -Wert entspricht, der kleiner ist als die Jahresdosisgrenze. Das Verfahren darf auch zum Nachweis angewendet werden, dass jeder Wert über A^* einem $E(50)$ -Wert entspricht, der die Jahresdosisgrenze *möglicherweise* überschreitet.

Diagramme des in Bild 3 gezeigten Typs sind in erster Linie zur Auswertung einer einzelnen Überwachungsmessung vorgesehen, wenn der Aufnahmezeitpunkt in Bezug zum Messzeitpunkt (oder dem Probenahmezeitpunkt) bekannt ist. Das Verfahren ist jedoch leicht erweiterbar. Wenn zusätzliche Messwerte zur Verfügung stehen, können diese in das Diagramm eingetragen werden, und für jede Einzelmessung kann das gleiche Kriterium angewendet werden, um zu bestimmen, ob $E(50)$ kleiner als die Dosisgrenze ist:

- liegen weniger als 20 Messungen vor und liegt ein einzelner Messwert oberhalb des unteren Bands, kann die Möglichkeit der Dosisgrenzenüberschreitung nicht ausgeschlossen werden;
- liegen 20 oder mehr Messungen vor, dann darf $E(50)$ als kleiner als die Dosisgrenze bewertet werden, sofern mindestens 95 % der Messerwerte kleiner sind als $A^*(t)$.

Ist der Aufnahmezeitpunkt unbekannt, wie es üblicherweise bei der Routineüberwachung der Fall ist, darf das Diagramm angewendet werden, um den unteren Grenzwert des Messwerts anzugeben, indem der Wert von der unteren Grenze des Bereichs bei maximal möglicher Zeit zwischen Aufnahme und Messung (entspricht typischerweise dem Routineüberwachungsintervall) abgelesen wird. Ebenso wird der obere Grenzwert des Messwerts durch Ablesen des Wertes von der oberen Grenze des Bereichs bei geringstmöglicher Zeit zwischen Aufnahme und Messung erhalten.

Wenn bei der Routineüberwachung davon ausgegangen wird, dass die Wahrscheinlichkeit von Aufnahmen in jedem Überwachungsintervall ähnlich ist (wie üblicherweise der Fall), dann ist die entsprechende Dosisgröße die Jahresdosisgrenze, dividiert durch die Anzahl der Überwachungsintervalle in dem Kalenderjahr, n . In dieser Situation sollte jede Bioassay-Messung vor Eintragung in das Diagramm mit n multipliziert werden. Werden Aufnahmen in anderen Überwachungsintervallen als unwahrscheinlich angesehen, ist eine Multiplikation mit n nicht notwendig.

Ist die Messunsicherheit ausreichend groß, kann der Bereich möglicher Messwerte den vorhergesagten Bereich der Bioassay-Messgröße überschreiten. In diesen Fällen sollte bei der Ermittlung, ob die Dosisgrenze überschritten wurde, nicht der beste Schätzwert, sondern das 97,5-%-Vertrauensniveau der Messgröße angewendet werden.

In Fällen, in denen ein Radionuklid als repräsentativ für ein Nuklidgemisch überwacht wird, muss der Messwert durch den relativen Anteil dividiert werden; dieses Nuklid trägt vor Anwendung der Diagramme zum Vergleich mit Dosisgrenzen zu der Gesamtdosis bei. Wird mehr als ein Nuklid überwacht, sind die Diagramme für jedes Nuklid einzeln anzuwenden, wobei das Verhältnis zwischen dem Messwert und dem nächsten Punkt der niedrigsten Kurve berechnet wird. Diese Anteile werden addiert; ist die Summe kleiner als 1, kann ebenfalls mit einem hohen Vertrauensniveau angegeben werden, dass $E(50)$ unterhalb der festgelegten Dosis von E mSv liegt.

Für Radionuklide und Überwachungsverfahren, für die keine Diagramme in Anhang A dargestellt sind, sollten die Bioassay-Messgrößen mit der abgeleiteten Untersuchungsschwelle (entsprechend einem Wert von nicht mehr als 30 % der Jahresdosisgrenze, siehe ISO 20553) verglichen werden, wobei die Unsicherheiten im Hinblick auf den Aufnahmezeitpunkt und die Messunsicherheit zu berücksichtigen sind. Wird die abgeleitete Untersuchungsschwelle nicht überschritten, darf daraus geschlossen werden, dass die Jahresdosisgrenze nicht überschritten wurde.

Nur wenige Dosimetriedienste verfügen über eigene validierte Verfahren zur Ermittlung von Unsicherheiten bei den ermittelten Dosen. Diejenigen, die über diese Verfahren verfügen, sollten diese anstelle des vorstehend beschriebenen Verfahrens zur Bestimmung der Wahrscheinlichkeitsverteilung der Dosis anwenden. Zu den Verteilungen materialspezifischer Modellparameterwerte müssen zuverlässige Informationen verfügbar sein, wobei Unsicherheiten im Hinblick auf den Aufnahmezeitpunkt, die Partikelgrößenverteilung des eingeatmeten Aerosols, die Absorptionsmerkmale des Materials und der gastrointestinale Aufnahmefaktor, f_A , zu berücksichtigen sind. Ist das berechnete 95. Perzentil der Dosis-Wahrscheinlichkeitsverteilung kleiner als die Jahresdosisgrenze, darf daraus geschlossen werden, dass die Jahresdosisgrenze nicht überschritten wurde. Ein auf der Monte-Carlo-Simulation und der Markow-Kettenanalyse beruhendes Verfahren zur Unsicherheitsanalyse ist in [20] beschrieben.

Deuten die vorstehend beschriebenen Verfahren nicht auf ein mögliches Überschreiten der Jahresdosisgrenze hin, muss die berechnete Aufnahme für das betrachtete Überwachungsintervall zusammen mit der effektiven Folgedosis allen für die Berechnung verwendeten Informationen und der Unsicherheitsanalyse dokumentiert werden. Diese Dosis ist die dokumentierte beste Schätzung und muss zur Bestimmung der formalen Einhaltung der Dosisgrenzen angewendet werden.

7.1.7 Schritt 7 – Anwendung fallspezifischer Informationen

Deutet der vorherige Schritt darauf hin, dass die Jahresdosisgrenze möglicherweise überschritten wird, müssen, sofern verfügbar, folgende fallspezifische Informationen beschafft und angewendet werden, um die Unsicherheit der Ermittlung zu verringern:

- Beiträge zu M aus früheren bereits analysierten und dokumentierten Aufnahmen, die subtrahiert werden müssen (wenn dies nicht bereits zuvor erfolgt ist);
- zusätzliche Informationen zum zeitlichen Muster der Aufnahme, z. B. Aufnahmezeitpunkt abweichend von der angenommenen Mitte des Überwachungsintervalls (nachgewiesen durch Luftüberwachung), Korrekturen zur Berücksichtigung einer chronischen Aufnahme;
- AMAD-Werte abweichend vom Standardwert $5\ \mu\text{m}$;
- Absorptionstypen abweichend vom Standardtyp oder Absorptionsparameter abweichend von Standardwerten;
- Korrekturen zur Berücksichtigung von anderen Aufnahmewegen als der Inhalation (Ingestion, Haut);
- Ergebnisse der Arbeitsplatzüberwachung.

Die verwendeten Informationen und Daten müssen begründet werden. Die Anwendung abweichender Modellparameterwerte ist auf andere von der ICRP veröffentlichte ICRP-Standardannahmen, Retentions-/Ausscheidungsfunktionen und Dosiskoeffizienten beschränkt bzw. auf andere Daten, die einem Peer-Review unterzogen wurden (von Zulassungs-/Genehmigungsbehörden angenommen) und als mit den ICRP-Modellen kompatibel dokumentiert sind.

Bei Anwendung unterschiedlicher Annahmen zum Aufnahmezeitpunkt, I , muss die Berechnung nach Gleichung (10) und Gleichung (11) erfolgen:

$$I = \frac{M'}{m(t_m - t_i)} \quad (10)$$

$$E(50) = e(50) \times I \quad (11)$$

Dabei ist

t_m der Zeitpunkt der aktuellen Messung;

t_i der Zeitpunkt der angenommenen Aufnahme.

Werte für $m(t)$ (Retentionsfunktion oder Ausscheidungsrate) sind in Anhang C angegeben. Die dort angegebenen Werte entsprechen ICRP 78 [12] und müssen angewendet werden, es sei denn, die ICRP hat in der Zwischenzeit aktuellere Daten veröffentlicht.

BEISPIEL Anwendung von Zahlenwerten auf Gleichung (10) und Gleichung (11):

Ein Beschäftigter war Iod-131 (^{131}I), Typ F (AMAD = $5\ \mu\text{m}$) ausgesetzt. Ein Sonderüberwachungsprogramm mit (*In-vivo*-)Überwachung der Schilddrüse fünf Tage nach der angenommenen Aufnahme ergab: 360 Bq.

$$t_m - t_i = 5 \text{ Tage}$$

$$M' = \text{Messwert} = 360 \text{ Bq}$$

$m(t_m - t_i)$ = Retention in der Schilddrüse nach Einzelaufnahme, in Bq je Bq inkorporierter Aktivität für I-131, bei $t = 5$ Tage, $m(5) = 9 \cdot 10^{-2} \text{ Bq} \cdot \text{Bq}^{-1}$ (nach Anhang C, Teil 1, für I-131)

$$\text{Nach Gleichung (10): } I = 360/9 \cdot 10^{-2} = 4\,000 \text{ Bq}$$

$$\text{Nach Gleichung (11): } E(50) = e(50) \times I = 1,1 \cdot 10^{-8} \times 4\,000 = 4,4 \cdot 10^{-5} \text{ Sv}$$

[Dosiskoeffizient $e(50)$ nach [27]].

Gleichung (12) muss zur Ermittlung der Aufnahme, I , unter Annahme einer konstanten, chronischen Aufnahmegeschwindigkeit angewendet werden:

$$I = M' \times \frac{\Delta T}{m_c(\Delta T)} \quad (12)$$

BEISPIEL Anwendung von Zahlenwerten auf Gleichung (12):

Ein Beschäftigter war Iod-131 (^{131}I), Typ F (AMAD = $5 \mu\text{m}$) chronisch (genauer: mit der Wahrscheinlichkeit einer konstanten Inkorporation) ausgesetzt. Ein aufgabenbezogenes Überwachungsprogramm mit (*In-vivo*-)Überwachung der Schilddrüse nach einem Arbeitszeitraum von fünf Tagen ergab: 360 Bq.

$$\Delta T = \text{Arbeitszeitraum} = 5 \text{ Tage}$$

$$M' = \text{Messwert} = 360 \text{ Bq}$$

$m_c(\Delta T)$ = Retention in der Schilddrüse nach chronischer Aufnahme, in Bq je Bq täglich inkorporierter Aktivität für I-131, bei $t = 5$ Tage; $m_c(5) = 5,2 \cdot 10^{-1} \text{ Bq/Bq} \cdot \text{d}^{-1}$ (nach Anhang C, Teil 2, für I-131)

$$\text{Nach Gleichung (12): } I = 360 \times 5/5,2 \cdot 10^{-1} = 3\,462 \text{ Bq}$$

$$\text{Nach Gleichung (11): } E(50) = e(50) \times I = 1,1 \cdot 10^{-8} \times 3\,462 = 3,8 \cdot 10^{-2} \text{ mSv}$$

[Dosiskoeffizient $e(50)$ nach [27]].

7.1.8 Schritt 8 – Dosisgrenze möglicherweise überschritten

Nach der Anwendung fallspezifischer Informationen zur Verringerung der Unsicherheit bei der Dosisabschätzung erfolgt ein weiterer Vergleich mit den Jahresdosisgrenzen. Dies kann mit Hilfe des gleichen allgemeinen Ansatzes erfolgen, wie für Schritt 6 beschrieben. Allerdings gelten die dort angewendeten Diagramme nicht, da sie generische Daten zu den Unsicherheiten der Parameterwerte nutzen. Unter Anwendung des in [19] beschriebenen Verfahrens sollten Diagramme erstellt werden, die fallspezifische Informationen zu Unsicherheiten der Partikelgrößenverteilung des eingeatmeten Aerosols, zur Variabilität (bzw. Unsicherheit) der Absorptionsmerkmale des Materials und zur Variabilität (bzw. Unsicherheit) des gastrointestinalen Aufnahmefaktors, f_A , nutzen.

Als Alternative darf die ermittelte Dosis mit der in ISO 20553 festgelegten Untersuchungsschwelle verglichen werden, um zu entscheiden, ob die Dosisgrenze überschritten werden könnte.

Deutet die Analyse darauf hin, dass die Jahresdosisgrenze möglicherweise überschritten werden kann, muss eine differenziertere Analyse erfolgen. In derartigen Fällen kann die Anwendung der effektiven Folgedosis allein nicht länger ausreichend sein, und es kann außerdem notwendig sein, die Dosen für Organe und Gewebe zu berechnen. Dies muss durch Fachleute erfolgen und kann zusätzliche Messungen erfordern, um bessere Kenntnisse zur individuellen Retention und Ausscheidung zu erhalten; Hinweise dazu sind in [21] und [22] enthalten.

7.2 Ergebnisse der Sonderüberwachung

Die rechte Seite des Ablaufdiagramms in Bild 2 beschreibt den Prozess der Dosisermittlung, der bei der Auswertung der Ergebnisse der Sonderüberwachung erforderlich ist. Das Prinzip ist das gleiche wie bei der Routineüberwachung; für die Abweichungen bestehen folgende Gründe:

- nach Abschnitt 5 abgeleitete kritische Werte treffen nicht zu, da deren Herleitung auf einem Standardüberwachungsintervall beruht, und
- bei der Sonderüberwachung gibt es üblicherweise bessere Informationen zum möglichen Zeitpunkt der (des) Aufnahmeereignisse(s).

Die Dosisermittlung muss also analog zu Verfahren 7.1 mit folgenden Abweichungen durchgeführt werden.

- Können eine Aufnahme über Wunden oder die Haut oder der Einfluss einer Dekorporationstherapie nicht ausgeschlossen werden, kann die Ermittlung eine differenziertere Analyse erfordern, die über den Anwendungsbereich dieser Internationalen Norm hinausgeht.
- Die Prüfung auf Signifikanz der Messwerte umfasst nicht den Vergleich mit kritischen Werten.
- Die Dosisberechnung sollte nicht auf der Annahme einer Aufnahme in der Mitte eines Überwachungsintervalls basieren; anzuwenden ist die beste Schätzung des Aufnahmezeitpunktes, zusammen mit allen verfügbaren Informationen, in Verbindung mit Anhang C (Retentionsfunktionen und Ausscheidungsraten).
- Die Verbesserung der Zuverlässigkeit (siehe 7.1.4) durch Nutzung leicht zugänglicher Informationen ist hier nicht relevant, da bei der Sonderüberwachung alle verfügbaren fallspezifischen Informationen bereits beurteilt wurden.

8 Unsicherheiten

8.1 Allgemeines

Aus zwei Gründen ist es wichtig, dass ein Dosimetriedienst Informationen zur Unsicherheit der ermittelten Dosen bereitstellt:

- die Zuverlässigkeit einer ermittelten Dosis kann nicht beurteilt werden ohne zumindest einen qualitativen Hinweis auf die damit verbundene Unsicherheit;
- Informationen zu den relativen Beiträgen zur Gesamtunsicherheit der ermittelten Dosis können darauf hinweisen, wo Bemühungen zur Verringerung der Unsicherheit getroffen werden sollten.

Die Entwicklung von Verfahren zur Bewertung von Unsicherheiten bei der Dosisermittlung anhand der Ergebnisse von Bioassay-Messungen ist derzeit ein aktives Forschungsgebiet [20] [23] [24]. Derzeit verfügen jedoch die meisten Dosimetriedienste nicht über die Fähigkeit, eine vollständige Unsicherheitsbewertung des berichteten Werts einer ermittelten internen Dosis vorzunehmen. Dieser Abschnitt legt die Informationen zu den Unsicherheiten fest, die ein Dosimetriedienst vernünftigerweise bereitstellen kann; dass ein Dosimetriedienst das hier beschriebene Verfahren befolgt, ist jedoch keine Anforderung.

Die in diesem Abschnitt festgelegten Angaben sollten für jedes angewendete Überwachungsverfahren ermittelt werden; für den Einzelfall brauchen die Angaben nur für Dosen oberhalb der Untersuchungsschwelle (siehe ISO 20553) erfasst zu werden.

Eine Anzahl von Faktoren kann einen erheblichen Beitrag zur Unsicherheit der ermittelten Dosis leisten. Dosimetriedienste sollten die Beiträge dieser Faktoren zur Gesamtunsicherheit entweder ermitteln oder abschätzen. Folgende Faktoren sind dabei eventuell zu berücksichtigen:

- a) die Unsicherheit hinsichtlich des Zeitpunkts einer akuten Aufnahme oder die Unsicherheit hinsichtlich des Zeitraums einer länger andauernden Aufnahme;

- b) der Beitrag zur Unsicherheit der Bioassay-Messgröße bzw. den Bioassay-Messgrößen aufgrund der Statistik von Zählungen, beschrieben anhand der Poisson-Verteilung (mitunter bezeichnet als Unsicherheiten des Typs A [21] [24]);
- c) Variabilität unter Probanden und in Probanden bei der (den) Bioassay-Messgröße(n), die nicht stochastischer Art ist und daher nicht mit der Poisson-Verteilung beschrieben werden kann (mitunter bezeichnet als Unsicherheiten des Typs B [21] [24]);
- d) Unsicherheit oder Variabilität der Merkmale des Materials, dem ein Beschäftigter möglicherweise ausgesetzt war, vor allem:
 - 1) Partikelgrößenverteilung des Aerosols, beschrieben durch den AMAD und die geometrische Standardabweichung;
 - 2) Absorptionsmerkmale des Materials, beschrieben durch den Absorptionstyp (F, M oder S) oder Absorptionsparameterwerte f_r , s_r , s_s , f_b und s_b [23];
 - 3) gastrointestinaler Aufnahmefaktor, f_A [16], und
 - 4) Zusammensetzung des Radionuklidgemisches.

Wird eine Dosis für den Strahlenschutz ermittelt, ist dies die Dosis für eine Referenzperson, die dem festgelegten Material unter festgelegten Bedingungen ausgesetzt ist. Diese Referenzperson ist durch den „Referenzmann“ (Reference Man) der ICRP und biokinetische Modelle [6] [7] [8] [9] [10] [11] [12] [14] [15] [16] [29] für die Elemente beschrieben, denen der Beschäftigte möglicherweise ausgesetzt war. Daher sollten Unsicherheiten nur für jene Modellparameter berücksichtigt werden, die die physikalisch-chemischen Eigenschaften des Materials beschreiben. Die folgenden Parameterklassen sollten bei einer Betrachtung der Unsicherheiten nicht berücksichtigt werden:

- physiologische Parameter (z. B. physikalische Maße, Organmassen und Atemfrequenzen);
- Parameter des ICRP-Modells der menschlichen Atemwege (Human Respiratory Tract Model) [7], ausgenommen jene Parameter, die die physikalisch-chemischen Eigenschaften des Materials beschreiben;
- Parameter der biokinetischen ICRP-Modelle zur Beschreibung des systemischen Verhaltens;
- Parameter, die Unterschiede zwischen den Geschlechtern beschreiben;
- Parameter dosimetrischer Modelle (z. B. absorbierte Anteile), Radionuklidzerfallsdaten, Strahlungsgewichtungsfaktoren und, zur Berechnung der effektiven Dosis, Gewebegewichtungsfaktoren.

8.2 Ermittelte Dosishöhen

Der Aufwand zur Bewertung der Unsicherheit sollte zur Größe des besten Schätzwerts der ermittelten Dosis entsprechend Tabelle 6 im Verhältnis stehen.

Tabelle 6 — Referenzwerte zur Bewertung der Unsicherheiten der ermittelten Dosen

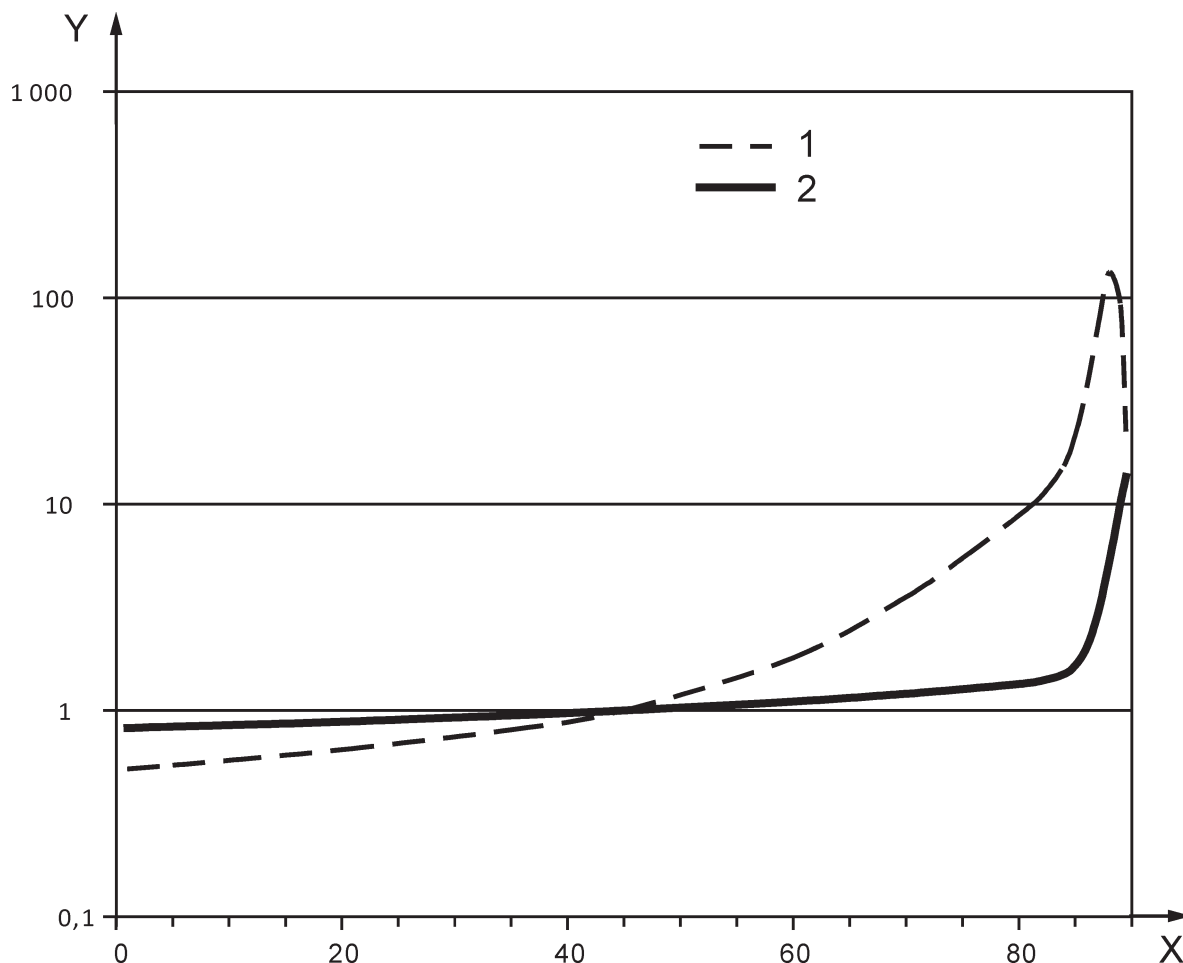
Ermittelte Dosis, $E(50)$ mSv	Zu berücksichtigende Unsicherheitsquellen
$E(50) \leq 0,1$	keine
$0,1 < E(50) < 1$	Unsicherheit hinsichtlich des Zeitpunkts oder Zeitraums der Aufnahme (Routineüberwachung)
	Typ-A-Unsicherheit der Messgröße(n)
	Typ-B-Unsicherheit der Messgröße(n)
$E(50) \geq 0,1$	Unsicherheit der Parameterwerte zur Partikelgrößenverteilung
	Unsicherheit hinsichtlich der Absorptionsklassifizierung bzw. Absorptionsparameterwerte
	Unsicherheit hinsichtlich des gastrointestinalen Aufnahmefaktors
	[zusätzlich zu den zu berücksichtigenden Unsicherheitsquellen, wenn $E(50) > 1$]

8.3 Beurteilung der Beiträge zur Gesamtunsicherheit der ermittelten Dosis

8.3.1 Unsicherheiten hinsichtlich des Zeitpunkts oder Zeitraums der Aufnahme

Bei einer Routineüberwachung ist der Zeitpunkt einer akuten Aufnahme im Allgemeinen nicht bekannt, ebenso wenig wie das Zeitmuster einer länger andauernden Aufnahme. Typischerweise wird davon ausgegangen, dass die Aufnahme in der Mitte des Intervalls erfolgt (obwohl eine weitere mögliche Annahme eine einheitliche chronische Aufnahme über das gesamte Überwachungsintervall ist). Ist die tatsächliche Aufnahme eine einzelne Aufnahme, die zum Beginn des Überwachungsintervalls erfolgt, wird die wahre Dosis durch die ermittelte Dosis zu gering eingeschätzt. Erfolgt die Aufnahme hingegen zum Ende des Überwachungsintervalls, wird die Dosis zu hoch eingeschätzt. Beurteilt werden sollte sowohl, in welchem Umfang die Dosis unterbewertet als auch überbewertet wurde.

Ein Beispiel ist in Bild 4 gezeigt. Hier ist der Fehler der Dosis dargestellt, die anhand einer Ganzkörpermessung bzw. einer Messung der Ausscheidung im Urin am Ende eines 90 Tage dauernden Überwachungsintervalls ermittelt wird, wenn eine einzelne akute Inhalation eines Cobalt-60-Aerosols zu einem bestimmten Zeitpunkt im Überwachungsintervall erfolgt, bei der Dosisberechnung jedoch von einer Einzelaufnahme in der Mitte des Überwachungsintervalls ausgegangen wird. In diesem Beispiel liegt das Verhältnis der ermittelten Dosis zur wahren Dosis im Bereich von 0,82 bis 14 bei der Ganzkörperüberwachung und von 0,52 bis 130 bei der Urinüberwachung.



Inhalation von ^{60}Co , AMAD = 5 μm , Absorptionstyp S. Aufnahme ermittelt durch a) Ganzkörpermessung und b) Messung einer 24-h-Urinprobe

Legende

- X wahrer Aufnahmezeitpunkt, Tage
- Y ermittelte Dosis/wahre Dosis
- 1 Urin
- 2 Ganzkörpermessung

Bild 4 — Auswirkung des Zeitpunkts einer einzelnen akuten Aufnahme in einem 90 Tage dauernden Überwachungsintervall auf die ermittelte Dosis, wenn als Aufnahmezeitpunkt die Intervallmitte angenommen wird

8.3.2 Unsicherheiten der Bioassay-Messgrößen

Beruhet die ermittelte Dosis auf einer Einzelmessung, sollten das 2,5%- und das 97,5%-Vertrauensniveau für die Bioassay-Messgröße aus den Daten zu den Streufaktoren, angegeben in Anhang B, Tabelle B.1, Tabelle B.2 und Tabelle B.3, und der jeweilige Vertrauensbereich der ermittelten Dosis bestimmt werden. Die Vertrauensniveaus für eine logarithmische Normalverteilung mit einer geometrischen Standardabweichung oder einem Streufaktor, K_{SF} , sind in Gleichung (13) und Gleichung (14) angegeben:

$$\text{Vertrauensniveau } 2,5 \% = M / K_{\text{SF}}^{1,96} \quad (13)$$

$$\text{Vertrauensniveau } 97,5 \% = M \times K_{\text{SF}}^{1,96} \quad (14)$$

Dabei ist

M der Messwert.

Bei mehreren Messungen der Bioassay-Größe ist die Unsicherheit der ermittelten Dosis geringer als bei einer Einzelmessung. Diese Verringerung darf entweder quantifiziert werden oder der Vertrauensbereich der ermittelten Dosis für eine Einzelmessung als ein oberer Wert angesetzt werden.

8.3.3 Unsicherheiten des aktivitätsbezogenen mittleren aerodynamischen Durchmessers (AMAD)

Wenn der AMAD des Aerosols, dem der Beschäftigte möglicherweise ausgesetzt war, unsicher ist, jedoch Informationen zu dem 95-%-Vertrauensbereich der Wahrscheinlichkeitsverteilung möglicher AMADs verfügbar sind, dann sollten die Dosen für AMADs innerhalb dieses Bereichs ermittelt und die Mindest- und Höchstdosis bewertet werden. Ist ein realistischer Wert der mit dem AMAD verbundenen geometrischen Standardabweichung bekannt, sollte dieser Wert angewendet werden. Liegt ein derartiger Wert nicht vor, sollte für die geometrische Standardabweichung der Wert 2,5 angesetzt werden (Vorgabewert aus ICRP 66 [7]). Stehen keine Informationen zu der Wahrscheinlichkeitsverteilung von AMADs zur Verfügung, sollte der 95-%-Vertrauensbereich angewendet werden, der aus den Ergebnissen der Untersuchung von AMADs am Arbeitsplatz in [25] abgeleitet wurde, d. h. 1,35 μm bis 14,25 μm , mit einem Medianwert von 5 μm . Es kann sich als hilfreich erweisen, die Ergebnisse in ein Diagramm entsprechend Bild 4 einzutragen, wobei der AMAD die Abszisse darstellt.

8.3.4 Unsicherheiten der Absorptionsklassifizierung und gastrointestinaler Aufnahmefaktor

Wenn die Absorptionsklassifizierung bzw. die Absorptionsparameterwerte des Materials, dem der Beschäftigte möglicherweise ausgesetzt war, unsicher sind, jedoch Informationen zu der möglichen Variabilität der Absorptionsmerkmale vorliegen, dann sollten der entsprechende Bereich der Dosen ermittelt und die Mindest- und Höchstdosen bewertet werden. Liegen derartige Informationen nicht vor, sollte der Dosisbereich, der den Standardabsorptionstypen entspricht, die in den maßgeblichen ICRP-Veröffentlichungen für das betreffende Element oder Material festgelegt sind, bewertet werden. Wenn zum Beispiel der Absorptionstyp entweder Typ M oder Typ S sein könnte, dann sollte die Dosis für ein Gemisch aus Material des Typs M und des Typs S, in dem die Anteile des Materials des Typs M zwischen 0 und 1 schwanken dürfen, ermittelt werden. Im Allgemeinen empfiehlt die ICRP für jeden Absorptionstyp bestimmte Werte für den gastrointestinalen Aufnahmefaktor, sodass also Unsicherheiten sowohl hinsichtlich des Absorptionstyps als auch des gastrointestinalen Aufnahmefaktors in der Regel gemeinsam berücksichtigt werden können. Es kann sich als hilfreich erweisen, die Ergebnisse in ein Diagramm entsprechend Bild 4 einzutragen, wobei der Prozentanteil des besser löslichen Absorptionstyps die Abszisse darstellt.

8.3.5 Unsicherheiten durch die relativen Beiträge von Radionukliden in Gemischen

Wird ein Nuklid als repräsentativ für ein Nuklidgemisch überwacht, dann wird davon ausgegangen, dass während der Festlegung des Überwachungsprogramms die relativen Beiträge zur Dosis mit ausreichender Zuverlässigkeit quantifiziert wurden. Die mit dem relativen Beitrag verbundene Unsicherheit wird dann als vernachlässigbar im Vergleich zu dem beschriebenen Ansatz, der weitaus konservativer ist, betrachtet. Gibt es einen Hinweis darauf, dass die Unsicherheit des relativen Beitrags zur Jahresdosis des überwachten Nuklids 30 % möglicherweise überschreitet, dann ist eine Ermittlung durch Fachleute erforderlich.

8.3.6 Unsicherheiten bei der Überwachung der Luft

Unsicherheiten des Typs B, die mit Messungen zur Überwachung der Luft zusammenhängen, sollten bewertet werden. Die Anwendung dieser Unsicherheiten sollte analog zu den vorstehenden Unterabschnitten erfolgen [26].

8.4 Anschlussmaßnahmen

Überschreitet der obere Wert der ermittelten Dosis für einen bestimmten Faktor die Jahresdosisgrenze für Beschäftigte, dann sollten angemessene Bemühungen erfolgen, bessere Informationen zu diesem Faktor zu erhalten und so die Zuverlässigkeit der Dosismessung zu erhöhen. Es kann sinnvoll sein, zur Verbesserung der Informationen zu den Partikelgrößenverteilungen des Aerosols, dem Beschäftigte ausgesetzt sein können, Arbeitsplatzmessungen vorzunehmen oder Studien durchzuführen, um die Informationen zu den Absorptionsmerkmalen des Materials zu verbessern. Zusätzliche Überwachungsmessungen können erforderlich sein, und Messungen, die mit einem anderen Überwachungsverfahren erfolgt sind, können nützlich sein (z. B. kann eine nach einer hohen routinemäßigen Urinmessung entnommene Stuhlprobe beim Ausschluss früherer Aufnahmezeitpunkte innerhalb des möglichen Expositionsintervalls helfen). Ebenso kann es sinnvoll sein, das Überwachungsintervall eines Routineüberwachungsprogramms zu verkürzen. Diese Maßnahmen führen im Allgemeinen zu einer Verringerung der Unsicherheit der ermittelten Dosis.

9 Sonderthemen

9.1 Auswertung von Mehrfachdaten aus der Sonderüberwachung

9.1.1 Allgemeines

Die Durchführung eines individuellen Sonderüberwachungsprogramms für eine vermutete Aufnahme stellt Bioassay-Daten bereit, die aus den Ergebnissen unterschiedlicher zu unterschiedlichen Zeitpunkten genommener Proben bestehen, bei denen sogar unterschiedliche Überwachungstechniken angewendet worden sein können, z. B. Urindaten und Stuhldaten und In-vivo-Messungen. In allen diesen Fällen muss die Aufnahme ermittelt und die Dosis berechnet werden durch gleichzeitige Anpassung vorhergesagter Werte an die unterschiedlichen Arten von Messdaten.

Ist nur eine einzige Bioassay-Messung verfügbar, erfolgt eine Punktschätzung der Aufnahme. Bei mehreren verfügbaren Messwerten kann eine beste Schätzung der Aufnahme durch Anwendung eines statistischen Anpassungsverfahrens erreicht werden. Zweck ist die Ermittlung des besten Schätzwertes der Aufnahme, I , sodass das Produkt aus der Aufnahme und der Retentions- oder Ausscheidungsfunktion zum Zeitpunkt t_i , d. h. $I \cdot m(t_i)$, am besten zu den Messdaten M_i passt.

Zur Berücksichtigung mehrfacher Messwerte bei der Datenanpassung zur Aufnahmeabschätzung stehen zahlreiche statische Verfahren zur Verfügung [27]. Die meisten üblichen Verfahren beruhen auf einem Mittelwert der Aufnahmen, ermittelt anhand einer Einzelmessung, der ungewichteten oder gewichteten Anpassung der kleinsten Quadrate oder, allgemeiner, dem minimierten χ^2 -Verfahren. Zwei häufig angewendete statistische Ansätze sind die Maximum-Likelihood-Methode und der Bayessche Ansatz. Beide können auf Fälle angewendet werden, bei denen davon ausgegangen wird, dass die Messwerte eine logarithmische Normalverteilung aufweisen, wie allgemein empfohlen, was auch in den folgenden Unterabschnitten übernommen wurde. Andere Verfahren, zum Beispiel die Methode der kleinsten Quadrate, sind Sonderfälle der Maximum-Likelihood-Methode unter bestimmten Annahmen.

Im folgenden Unterabschnitt wird die Maximum-Likelihood-Methode erläutert, und es sind Beispiele für die Aufnahmeermittlung angegeben.

9.1.2 Maximum-Likelihood-Methode

Die Wahrscheinlichkeitsfunktion gibt die Wahrscheinlichkeit eines Messwertsatzes angesichts des wahren Wertes der Aufnahme I an. Messunsicherheiten entstehen aus Zählstatistiken, die durch eine Poisson-Verteilung (Fehler des Typs A) gekennzeichnet sind, sowie auch aus systematischen Fehlern, die durch eine einzelne logarithmische Normalverteilung beschrieben sind (Fehler des Typs B) [20] beschrieben sind. In Fällen, in denen Fehler des Typs A relativ klein sind (kleiner als 30 %), können sowohl Fehler des Typs A als auch des Typs B durch logarithmische Normalverteilungen näherungsweise bestimmt werden. Die geometrische Standardabweichung jeder logarithmischen Normalverteilung wird als Streufaktor, K_{SF} , bezeichnet, und der Gesamtwert K_{SF_i} für die logarithmische Normalverteilung, der die Gesamtunsicherheit für die Messung M_i beschreibt, ist durch Gleichung (15) gegeben:

$$K_{SF_i} = \exp \sqrt{[\ln(K_{SF_A})]^2 + [\ln(K_{SF_B})]^2} \quad (15)$$

wobei K_{SF_A} und K_{SF_B} die Streufaktoren für Fehler des Typs A bzw. des Typs B sind.

Der Wert der Aufnahme, I , der die Wahrscheinlichkeitsfunktion maximiert, ist wie folgt gegeben:

$$\ln(I) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\ln[M_i/m(t_i)]}{[\ln(K_{SF_i})]^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{[\ln(K_{SF_i})]^2}} \quad (16)$$

Die Größe $M_i/m(t_i)$ ist die aus dem Einzelmesswert zum Zeitpunkt t_i berechnete Aufnahme, I_i .

Gleichung (16) kann zu Gleichung (17) vereinfacht werden:

$$\ln(I) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\ln(I_i)}{[\ln(K_{SF_i})]^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{[\ln(K_{SF_i})]^2}} \quad (17)$$

Somit ist $\ln(I)$ ein gewichteter Mittelwert von $\ln(I_i)$, dem Logarithmus der individuellen Aufnahmeschätzungen, berechnet anhand einer einzelnen Bioassay-Messung.

Wenn in der einfachsten Situation der Streufaktor durch Fehler des Typs B beherrscht wird, ist dieser für jede Messung konstant, d. h. $SF_i = SF = \text{konstant}$. Daher verkürzt sich die Gleichung (17) für die beste Schätzung der Aufnahme zu

$$\ln(I) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(I_i) = \ln \left[\left(\prod_{i=1}^n I_i \right)^{\frac{1}{n}} \right] \quad (18)$$

Also

$$I = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n I_i} \quad (19)$$

Wenn also die K_{SF} -Werte der einzelnen Messungen als gleich betrachtet werden können, ist die beste Schätzung der Aufnahme der geometrische Mittelwert der einzelnen Aufnahmeschätzungen.

Gleichung (17) muss angewendet werden, wenn Datensätze zur Verfügung stehen, die mit unterschiedlichen Überwachungstechniken erhalten wurden. Wenn zum Beispiel Datensätze für Urin und Stuhl verfügbar sind (mit den Datenpunkten n_u bzw. n_f) und die Streufaktoren für jeden Datensatz konstant sind (K_{SF_u} bzw. K_{SF_f}), dann wird aus Gleichung (17) Gleichung (20):

$$\ln(I) = \frac{\sum_{i=1}^{n_u} \frac{\ln(I_i)}{[\ln(K_{SF_u})]^2} + \sum_{j=1}^{n_f} \frac{\ln(I_j)}{[\ln(K_{SF_f})]^2}}{\sum_{i=1}^{n_u} \frac{1}{[\ln(K_{SF_u})]^2} + \sum_{j=1}^{n_f} \frac{1}{[\ln(K_{SF_f})]^2}} \quad (20)$$

wobei sich I_i auf die Einnahmeschätzung aus dem i -ten Urindatenpunkt bezieht und I_j auf die Einnahmeschätzung aus dem j -ten Stuhldatenpunkt.

Anhang B enthält K_{SF} -Werte für die wichtigsten Überwachungstechniken.

9.2 Daten unterhalb der Erkennungsgrenze, y_i^*

Die Maximum-Likelihood-Methode kann angewendet werden, um eine Aufnahme aus Datensätzen zu ermitteln, die Messwerte enthalten, die als unterhalb der Erkennungsgrenze, y_i^* (die der i -ten Messung entsprechende Erkennungsgrenze), liegend angegeben wurden. Die Wahrscheinlichkeitsfunktion für einen Messwert unterhalb der Erkennungsgrenze gibt die Wahrscheinlichkeit an, dass ein Messwert angesichts einer wahren Aufnahme I als „unterhalb der Erkennungsgrenze“ angegeben wird. Die auf allgemeine Datensätze mit Messwerten oberhalb und unterhalb der Erkennungsgrenze angewendete Maximum-Likelihood-Methode ergibt einen unverzerrten Schätzwert der Einnahme, I [27].

Eventuell ist die Anwendung der Maximum-Likelihood-Methode auf die Daten unterhalb der Erkennungsgrenze ohne spezielle Software nicht möglich. Für die Anwendung dieser Internationalen Norm müssen Messwerte unterhalb der Erkennungsgrenze einen Wert erhalten, der der Hälfte der Erkennungsgrenze entspricht: $y_i^*/2$. Bei mit diesem Ansatz berechneten Aufnahmeschätzungen wird erwartet, dass diese innerhalb von $\pm 20\%$ der mit der Maximum-Likelihood-Methode berechneten Werte liegen [21] [22]. Ausgehend davon, dass unter den n Messungen eine Teilmenge von N Daten unterhalb der Erkennungsgrenze y_i^* liegt, gelten die allgemeinen Ausdrücke zur Beurteilung der Aufnahme, Gleichung (17), Gleichung (19) und Gleichung (20), dennoch, wobei zur Berechnung der Aufnahme, I_i , aus einer einzelnen Messung zum Zeitpunkt t_i die folgenden Ausdrücke angewendet werden:

$$I_i = \frac{M_i}{m(t_i)} \quad (21)$$

für die $(n - p)$ -Messwerte oberhalb der Erkennungsgrenze, y_i^* , und

$$I_i = \frac{y_i^*}{2 \cdot m(t_i)} \quad (22)$$

Für die N -Messwerte unterhalb der Erkennungsgrenze, y_i^* .

Wenn die Aufnahme auf der Grundlage von mit unterschiedlichen Überwachungstechniken gewonnenen Daten ermittelt wird, wird I_i in Gleichung (20) unter Anwendung von y^* für die jeweilige Überwachungstechnik berechnet.

9.3 Ausreißer

Bei einer Ermittlung sollte eine kohärente und konsistente Erklärung aller vorliegenden Daten angestrebt werden. Werden in Schritt 5 (siehe 7.1.5 und Bild 2) „Ausreißer“ für die Sonderüberwachung vermutet, muss für diese ein Grund genannt werden (z. B. Verunreinigung, nicht normgerechte Probenahme). Wenn das Ergebnis nicht erklärt werden kann und die Absicht besteht, es nicht zu berücksichtigen, sollte überprüft werden, ob dies die Aufnahmeschätzung signifikant beeinflussen würde. Falls nicht (also eine Änderung von weniger als dem Faktor K_{SF}^3 eintritt), sollte das Ergebnis nicht verworfen werden. Wäre die Änderung signifikant, erfordert die Ermittlung eine professionelle Beurteilung außerhalb des Anwendungsbereichs dieser Internationalen Norm.

9.4 Dosisberechnung für Embryo/Fetus und Säugling

Gibt eine Beschäftigte an, schwanger zu sein, muss die Dosis für den Embryo/Fetus unter Berücksichtigung aller Expositionen des Fetus, einschließlich jener ab dem Konzeptionszeitpunkt bis zur Feststellung und/oder Bekanntgabe der Schwangerschaft, für die gesamte Dauer der Schwangerschaft bis zur Geburt ermittelt werden, sofern nicht durch nationale Regelungen anders gefordert. Alle bekannten Aufnahmen vor der Konzeption bis zur Erklärung der Schwangerschaft müssen berücksichtigt werden.

Bei der Berechnung der Dosis müssen die von der ICRP empfohlenen Modelle, Szenarien und Daten angewendet werden [12].

Die Dosen, denen Säuglinge durch Stillen ausgesetzt sind, müssen auf der Grundlage der ICRP-Modelle und -Daten ermittelt werden [15].

10 Dokumentation

Die Einzelheiten aller Ermittlungen müssen ausreichend protokolliert sein, sodass die genauen Bedingungen der Ermittlung später reproduziert werden können.

Alle Berichte und Aufzeichnungen müssen vom zuständigen Verantwortlichen bestätigt werden.

Die nationalen Anforderungen in Bezug auf die Aufzeichnungen sind zu berücksichtigen.

Jede Ermittlung muss eine eindeutige Identifikation erhalten. Diese Identifikation muss dazu verwendet werden, die Ergebnisse mit dem Beschäftigten und dem Datum und Zeitpunkt der Messung oder der Probenahme zu verknüpfen.

Die bei der Dosisberechnung angewendete Vorgehensweise muss dokumentiert werden. Dies muss die getroffenen Annahmen im Hinblick auf Aufnahmeweg, zeitliches Muster der Aufnahme, Standard-AMAD oder spezifischer AMAD (oder f_A -Wert bei Ingestion), chemische und physikalische Art des radioaktiven Aerosols zusammen mit Annahmen zum Absorptionstyp umfassen.

Erfolgt die Dosisberechnung manuell, muss diese aufgezeichnet werden. Wird zur Berechnung eine Software verwendet, muss die verwendete Software zusammen mit allen bei der Berechnung angewendeten Parametern dokumentiert werden.

Alle Dosen müssen auf eine Dezimalstelle in Millisievert angegeben werden.

Informationen zum Beitrag der berücksichtigten Faktoren zur Gesamtunsicherheit, abgeleitet mit Hilfe der in 8.3.1 bis 8.3.4 beschriebenen Verfahren, sollten in dem in Tabelle 7 angegebenen Format aufgezeichnet werden. Sind diese Informationen für ein bestimmtes Überwachungsverfahren abgeleitet, sollten die Dosen je Messeinheit ermittelt werden, wobei der Messwert so gewählt wird, dass er um einen Faktor 10 größer ist als die Erkennungsgrenze für diesen Messwert. Wird die Information für einen Einzelfall abgeleitet, sollte(n) der tatsächliche Messwert bzw. die tatsächlichen Messwerte angewendet werden.

Tabelle 7 — Beiträge zur Gesamtunsicherheit der ermittelten Dosis

Zur Gesamtunsicherheit beitragender Faktor	Unterer Wert der ermittelten Dosis	Mit Parameterwerten bester Schätzung und/oder Standardannahmen ermittelte Dosis	Oberer Wert der ermittelten Dosis
Unsicherheit hinsichtlich Zeitpunkt oder Zeitraum der Aufnahme			
Unsicherheit der Messgröße (Typ A und Typ B kombiniert)			
Unsicherheit der Partikelgrößenverteilung			
Unsicherheit hinsichtlich Absorptionsklassifizierung und gastrointestinalem Aufnahmefaktor			

Bei der Bestimmung des Dosisbereichs für jeden Faktor sollten beste Schätzungen oder Standardannahmen für Parameterwerte angewendet werden, die die übrigen Faktoren beschreiben.

Liegen die Messwerte unterhalb von kritischen Werten, braucht nur der Messwert dokumentiert zu werden.

11 Berichterstattung

Es müssen Vorkehrungen getroffen werden, um sicherzustellen, dass die Ergebnisse aller Ermittlungen exakt und innerhalb eines vernünftigen Zeitraums an den Dosis-Aufzeichnungsdienst des Kunden berichtet werden.

In jedem Bericht müssen die Ergebnisse eindeutig so gekennzeichnet sein, dass die Identität des einzelnen Beschäftigten und das Datum (die Daten) auf das (die) sich die Messung(en) bezieht (beziehen), deutlich ist.

Die Ergebnisse müssen angegeben werden als effektive 50-Jahre-Folgedosis ab Aufnahme des radioaktiven Materials während des Überwachungsintervalls.

Die im Bericht anzugebenden Dosiswerte sind Referenzwerte; Unsicherheiten sind nur dann anzugeben, wenn dies vom Kunden ausdrücklich angefordert wird; in diesem Fall müssen die nach 8.3.1 und 8.3.2 berechneten Unsicherheiten angegeben werden.

Liegen Messwerte unterhalb von kritischen Werten, braucht nur der Messwert zusammen mit der Schlussfolgerung „Ergebnis unterhalb des kritischen Werts“ angegeben zu werden. Beruhen kritische Werte auf einem Dosiskriterium (siehe Abschnitt 5), das von 0,1 mSv abweicht, muss dies angegeben werden.

Bei der Sonderüberwachung müssen zusätzlich zu den für ein Routineüberwachungsprogramm geltenden Anforderungen Vorkehrungen getroffen werden, um die Ergebnisse einer nach einem Unfall oder Ereignis vorgenommenen Dosisermittlung schnellstmöglich und direkt an den Kunden zu berichten, sofern dies vom Kunden gefordert wird. Dies ist auch erforderlich, wenn außergewöhnliche Ergebnisse festgestellt wurden. Sieht die nationale Gesetzgebung die Berichterstattung an nationale Behörden vor, müssen entsprechende Vorkehrungen getroffen werden.

12 Qualitätssicherung

Die fortgesetzte Wirksamkeit eines Strahlungsüberwachungsprogramms hängt davon ab, dass die Verantwortlichen die verschiedenen Komponenten implementieren, wozu auch die Anwendung eines wirksamen Qualitätssicherungsprogramms auf der Grundlage von ISO 28218 und ISO 20553 gehört.

Qualitätssicherung umfasst die Qualitätslenkung, zu der alle Maßnahmen gehören, mit denen die Eignung von Werkzeugen und Verfahren anhand von festgelegten Anforderungen bewertet wird. Qualitätssicherungsanforderungen können durch nationale Bestimmungen festgelegt sein.

Bei Vorliegen einer der folgenden Bedingungen müssen Überprüfungen oder Audits durchgeführt werden:

- signifikante Änderungen von Teilen der Ermittlungsverfahren, zum Beispiel Neuorganisation der Mitarbeiter oder des Managements oder verfahrenstechnische Revision;
- Validierung der Umsetzung zuvor ermittelter Korrekturmaßnahmen.

Werden zur Berechnung der Dosen und/oder Aufnahmen Maschinencodes eingesetzt, muss zusätzlich zur Übereinstimmung mit den in dieser Internationalen Norm gegebenen Prozessen, auf die sich die Codes beziehen, die Übereinstimmung mit den ICRP-Empfehlungen nachgewiesen werden.

Darüber hinaus sollten Laboratorien, die Ermittlungen für eine interne Dosimetrie durchführen, an nationalen oder internationalen Ringversuchen teilnehmen. Ringversuche erlauben es den Teilnehmern, die Ergebnisse der Dosisermittlungen, die unter klar definierten Bedingungen erhalten wurden, mit Referenzwerten und mit den Ergebnissen anderer Laboratorien zu vergleichen. Ringversuche zu den Ergebnissen der Auswertung der Überwachungsdaten aus Fallstudien helfen bei der Verbesserung der Zuverlässigkeit der Ergebnisse und erleichtern die Harmonisierung von Verfahren auf nationaler wie auch internationaler Ebene.

Anhang A (informativ)

Vorhergesagte Bereiche von Bioassay-Messgrößen, $E(50) = 20$ mSv

Die in diesem Anhang dargestellten Diagramme und Tabellen zeigen die vorhergesagten Bereiche, innerhalb derer eine Bioassay-Messgröße wahrscheinlich liegt, wenn eine akute Aufnahme eines bestimmten Radionuklids erfolgt ist, die zu einer effektiven Folgedosis, $E(50)$, von 20 mSv führt. Die Diagramme zeigen auch die Werte der Bioassay-Größe für dieselbe Referenzdosishöhe, berechnet mit Hilfe der geeigneten Standardwerte für den Absorptionstyp und die Partikelgrößenverteilung des eingeatmeten Aerosols (d. h. AMAD = 5 μm , geometrische Standardabweichung $\sigma_g = 2,5$). Die primäre Quelle für die Zahlenwerte sollten die in Bild A.1 bis Bild A.40 dargestellten Diagramme sein; Tabelle A.2 bis Tabelle A.41 dienen als zusätzliche Hilfe.

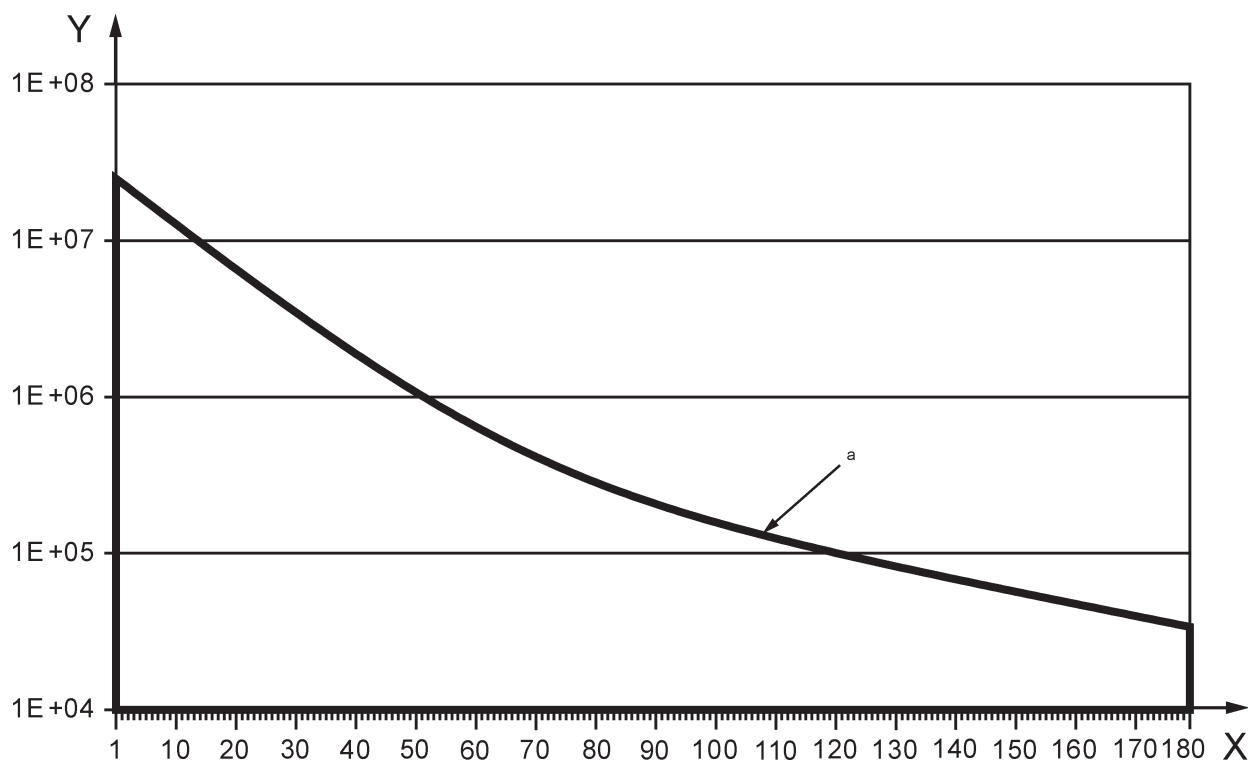
In allen Fällen entspricht der Bereich der in den Berechnungen der vorhergesagten Bioassay-Größenbereiche angewendeten Partikelgrößen dem 95-%-Vertrauensbereich (Vertrauensniveaus 2,5 % bis 97,5 %), d. h. 1,35 μm bis 14,25 μm . Dieser Bereich wurde anhand der Ergebnisse einer Untersuchung der Partikelgrößenverteilungen radioaktiver Aerosole, die an Arbeitsplätzen gemessen wurden, bestimmt [25]. Berechnungen für Partikelgrößen innerhalb dieses Bereiches erfolgten mit einer geometrischen Standardabweichung $\sigma_g = 1$.

Unsicherheit oder Variabilität bei den Absorptionsmerkmalen wurde unter der Annahme modelliert, dass ein Element jeden der von der ICRP festgelegten Standardabsorptionstypen annehmen kann. Für Cäsium (Cs) wird somit angenommen, dass es nur ein Verhalten des Typs F aufweist; infolgedessen wird angenommen, dass keine Unsicherheit oder Variabilität bei den Absorptionsmerkmalen auftritt. Für Uran wird angenommen, dass es jeden Absorptionstyp aufweisen kann (Typ F, Typ M oder Typ S). Da Beschäftigte potentiell einer großen Anzahl von Uranverbindungen mit jeweils unterschiedlichen Absorptionsmerkmalen ausgesetzt sind, sind die Diagramme für Uran mit drei möglichen Absorptionstypbereichen, F-M, M-S und F-M-S, dargestellt.

Die Bereiche des Absorptionstyps und des gastrointestinalen Aufnahmefaktors, f_A , sind ICRP 68 [8] entnommen und in Tabelle A.1 dargestellt. Die Wertebereiche von f_A sind unmittelbar mit dem Absorptionstypbereich verbunden, da die ICRP für jeden Absorptionstyp einen eindeutigen f_A -Wert definiert.

Tabelle A.1 — Parameterwertebereiche

Element	Absorptionstyp	f_A -Werte	Chemische Verbindungen
Co	M	5,0 E - 4	nicht festgelegte Verbindungen
	S	1,0 E - 5	Oxide, Hydroxide, Halide und Nitrate
Cs	F	1,0	alle Verbindungen
(Natur-)Uran	F	0,02	die meisten sechswertigen Verbindungen [UF_6 , UO_2F_2 und $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$]
	M	0,02	schlechter lösliche Verbindungen (UO_3 , UF_4 , UCl_4 und die meisten übrigen sechswertigen Verbindungen)
	S	0,002	sehr schlecht lösliche Verbindungen (UO_2 und U_3O_8)
Pu	M	5,0 E - 4	nicht festgelegte Verbindungen
	S	1,0 E - 5	nicht lösliche Oxide



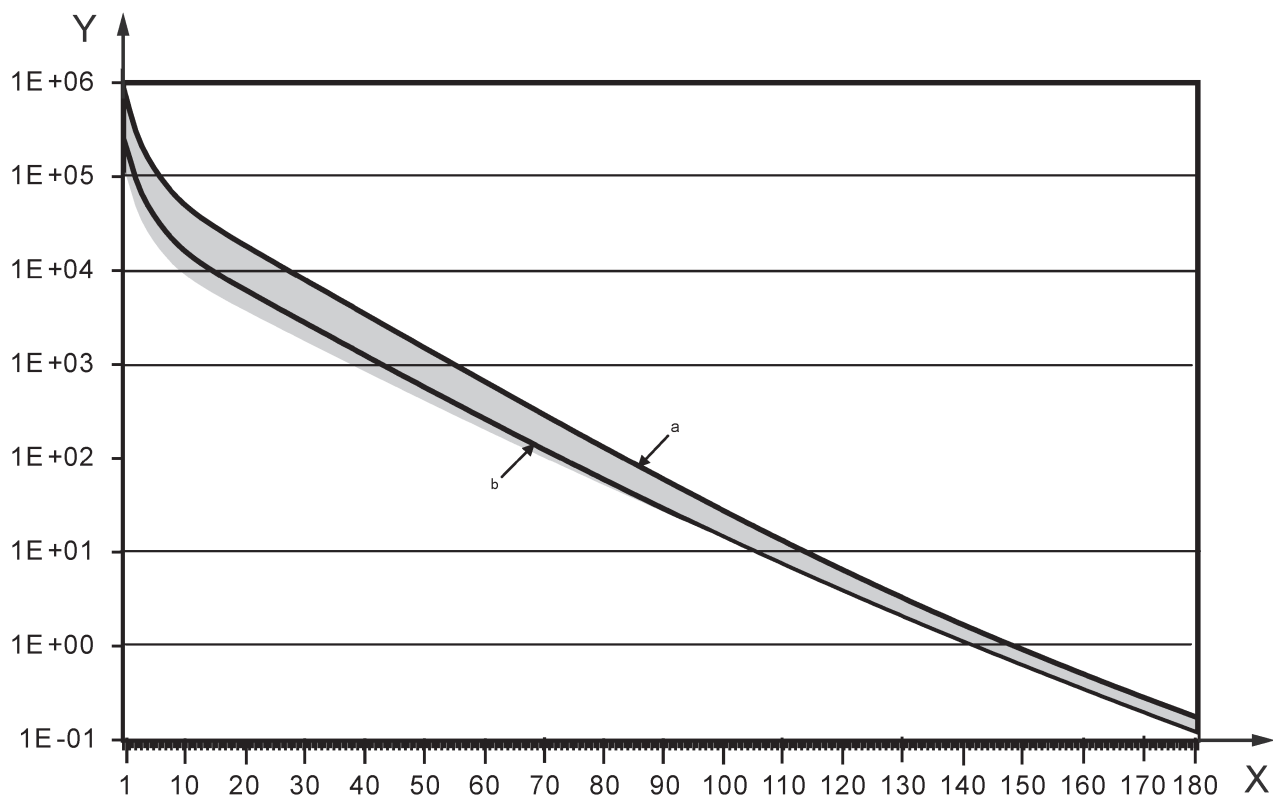
Legende

- X Tage nach Aufnahme
Y Aktivität im Urin, $\text{Bq} \cdot \text{l}^{-1}$
a SR-2, Typ V

Bild A.1 — Wasserstoff-3, vorhergesagter Bereich der Messwerte der täglichen Urinausscheidung ($\text{Bq} \cdot \text{l}^{-1}$) für eine Referenzdosishöhe von 20 mSv

Tabelle A.2 — Wasserstoff-3, Bereich der täglichen Urinausscheidung

Zeit nach der Aufnahme Tage	Aktivität der täglichen Urinausscheidung ($\text{Bq} \cdot \text{l}^{-1}$) für eine Referenzdosishöhe von 20 mSv	
	Mindestwert	Höchstwert
1	2,49 E + 07	2,49 E + 07
2	2,33 E + 07	2,33 E + 07
5	1,90 E + 07	1,90 E + 07
10	1,36 E + 07	1,36 E + 07
20	7,01 E + 06	7,01 E + 06
50	1,13 E + 06	1,13 E + 06
100	1,62 E + 05	1,62 E + 05
180	3,39 E + 04	3,39 E + 04



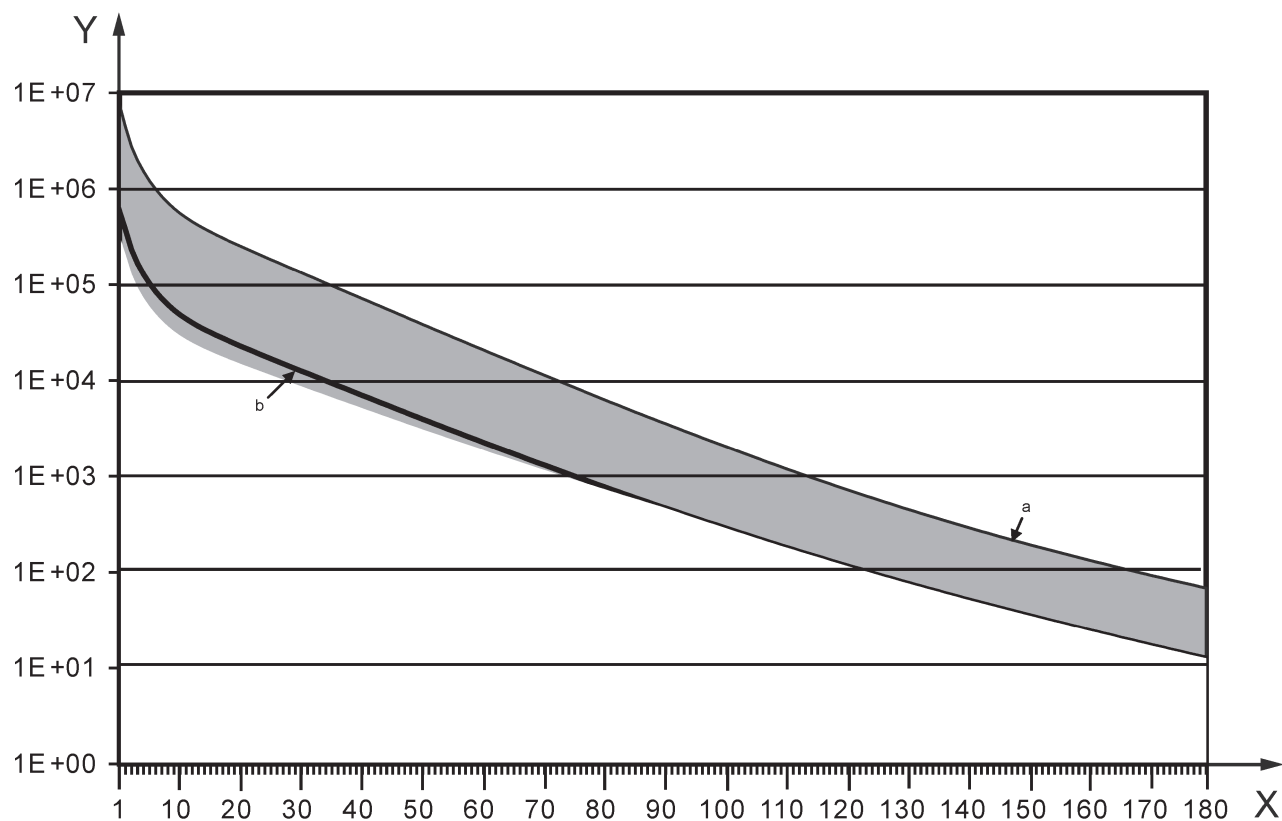
Legende

- X Tage nach Aufnahme
Y Aktivität im Urin, $\text{Bq} \cdot \text{d}^{-1}$
a AMAD = 5 μm ; Typ F
b AMAD = 5 μm ; Typ M

Bild A.2 — Phosphor-32, vorhergesagter Bereich der Messwerte der täglichen Urinausscheidung ($\text{Bq} \cdot \text{d}^{-1}$) für eine Referenzdosishöhe von 20 mSv

Tabelle A.3 — Phosphor-32, Bereich der täglichen Urinausscheidung

Zeit nach der Aufnahme Tage	Tägliche Urinausscheidung ($\text{Bq} \cdot \text{d}^{-1}$) für eine Referenzdosishöhe von 20 mSv	
	Mindestwert	Höchstwert
1	1,31 E + 05	9,02 E + 05
2	8,21 E + 04	5,13 E + 05
5	2,70 E + 04	1,64 E + 05
10	1,09 E + 04	6,08 E + 04
20	4,26 E + 03	2,11 E + 04
50	4,61 E + 02	1,69 E + 03
100	1,54 E + 01	3,05 E + 01
180	1,17 E - 01	1,77 E - 01



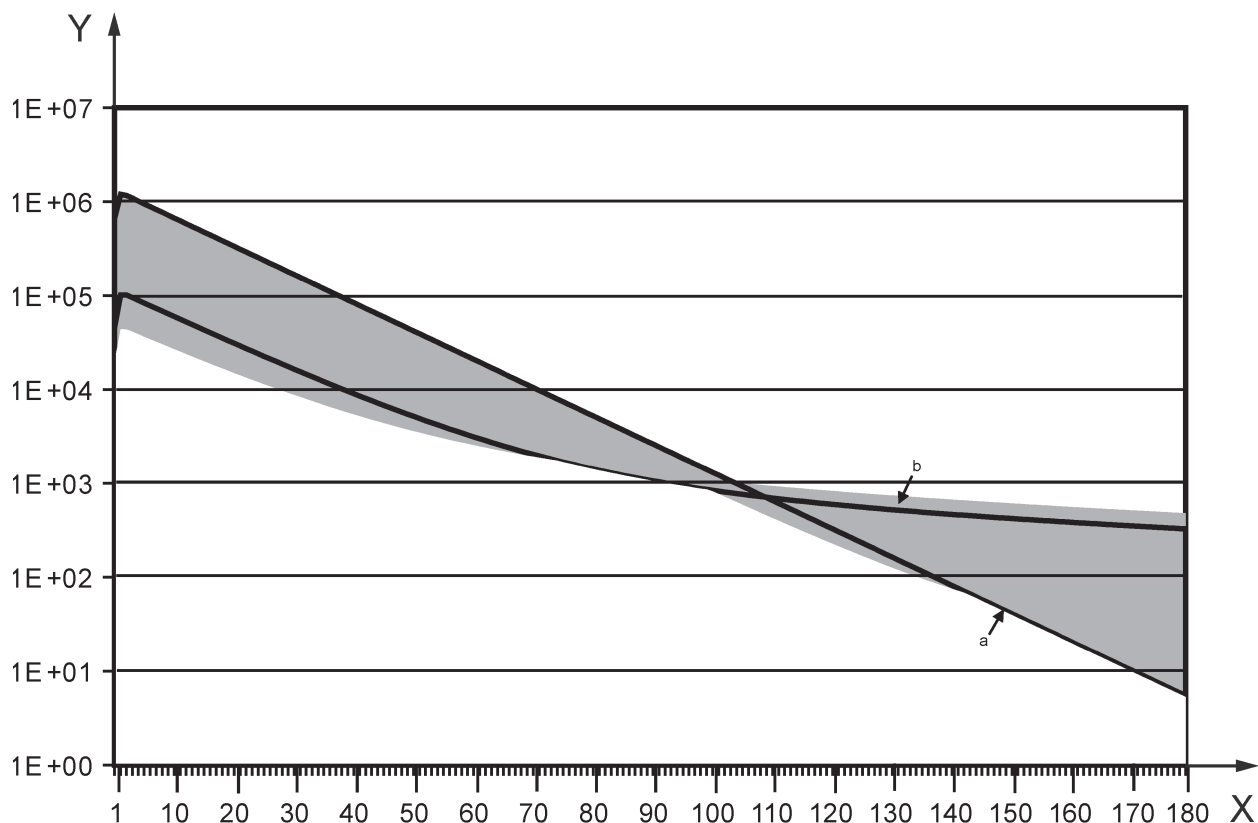
Legende

- X Tage nach Aufnahme
Y Aktivität im Urin, $\text{Bq} \cdot \text{d}^{-1}$
a AMAD = 5 μm ; Typ F
b AMAD = 5 μm ; Typ M

Bild A.3 — Phosphor-33, vorhergesagter Bereich der Messwerte der täglichen Urinausscheidung ($\text{Bq} \cdot \text{d}^{-1}$) für eine Referenzdosishöhe von 20 mSv

Tabelle A.4 — Phosphor-33, Bereich der täglichen Urinausscheidung

Zeit nach der Aufnahme Tage	Tägliche Urinausscheidung ($\text{Bq} \cdot \text{d}^{-1}$) für eine Referenzdosishöhe von 20 mSv	
	Mindestwert	Höchstwert
1	3,24 E + 05	7,63 E + 06
2	2,07 E + 05	4,43 E + 06
5	7,25 E + 04	1,51 E + 06
10	3,26 E + 04	6,24 E + 05
20	1,58 E + 04	2,69 E + 05
50	3,24 E + 03	4,08 E + 04
100	3,00 E + 02	2,14 E + 03
180	1,26 E + 01	6,86 E + 01



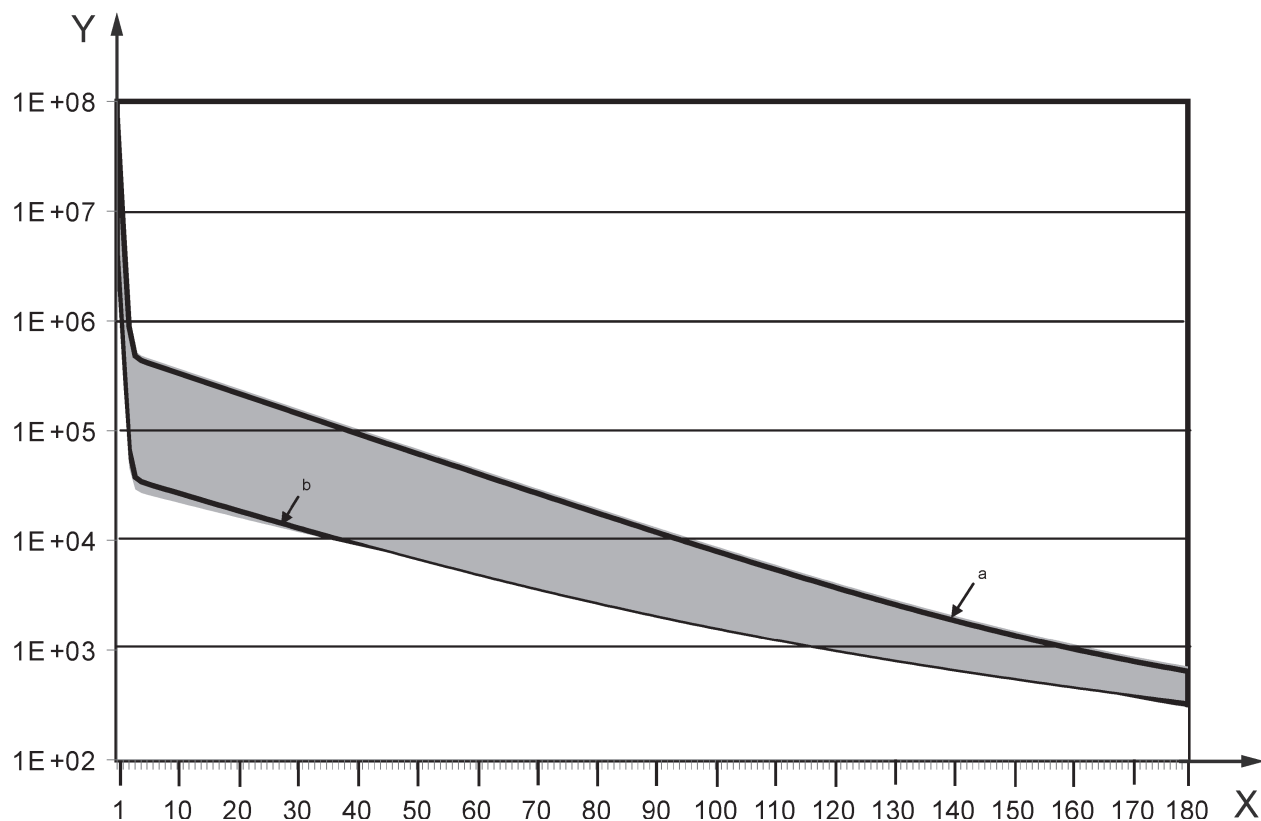
Legende

- X Tage nach Aufnahme
Y Aktivität im Urin, $\text{Bq} \cdot \text{d}^{-1}$
a AMAD = 5 μm ; Typ F
b AMAD = 5 μm ; Typ M

Bild A.4 — Chlor-36, vorhergesagter Bereich der Messwerte der täglichen Urinausscheidung ($\text{Bq} \cdot \text{d}^{-1}$) für eine Referenzdosishöhe von 20 mSv

Tabelle A.5 — Chlor-36, Bereich der täglichen Urinausscheidung

Zeit nach der Aufnahme Tage	Tägliche Urinausscheidung ($\text{Bq} \cdot \text{d}^{-1}$) für eine Referenzdosishöhe von 20 mSv	
	Mindestwert	Höchstwert
1	1,99 E + 04	7,13 E + 05
2	4,37 E + 04	1,25 E + 06
5	3,87 E + 04	1,06 E + 06
10	2,85 E + 04	7,49 E + 05
20	1,58 E + 04	3,75 E + 05
50	3,74 E + 03	4,68 E + 04
100	8,61 E + 02	1,46 E + 03
180	5,31 E + 00	4,81 E + 02



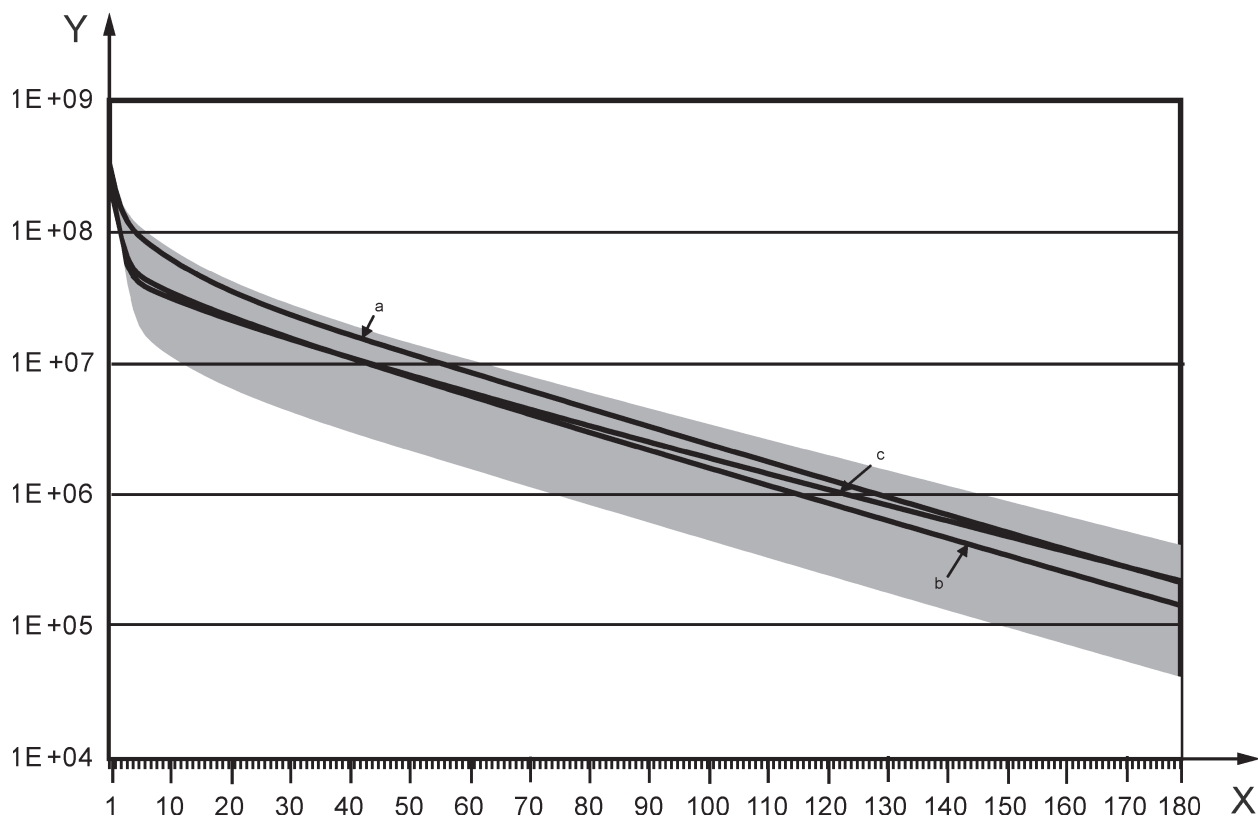
Legende

- X Tage nach Aufnahme
Y Aktivität im Urin, $\text{Bq} \cdot \text{d}^{-1}$
a AMAD = 5 μm ; Typ F
b AMAD = 5 μm ; Typ M

Bild A.5 — Schwefel-35, vorhergesagter Bereich der Messwerte der täglichen Urinausscheidung ($\text{Bq} \cdot \text{d}^{-1}$) für eine Referenzdosishöhe von 20 mSv

Tabelle A.6 — Schwefel-35, Bereich der täglichen Urinausscheidung

Zeit nach der Aufnahme Tage	Tägliche Urinausscheidung ($\text{Bq} \cdot \text{d}^{-1}$) für eine Referenzdosishöhe von 20 mSv	
	Mindestwert	Höchstwert
1	2,11 E + 06	7,97 E + 07
2	2,65 E + 05	7,68 E + 06
5	2,69 E + 04	4,80 E + 05
10	2,28 E + 04	3,87 E + 05
20	1,66 E + 04	2,53 E + 05
50	6,79 E + 03	7,14 E + 04
100	1,56 E + 03	9,18 E + 03
180	2,98 E + 02	7,06 E + 02



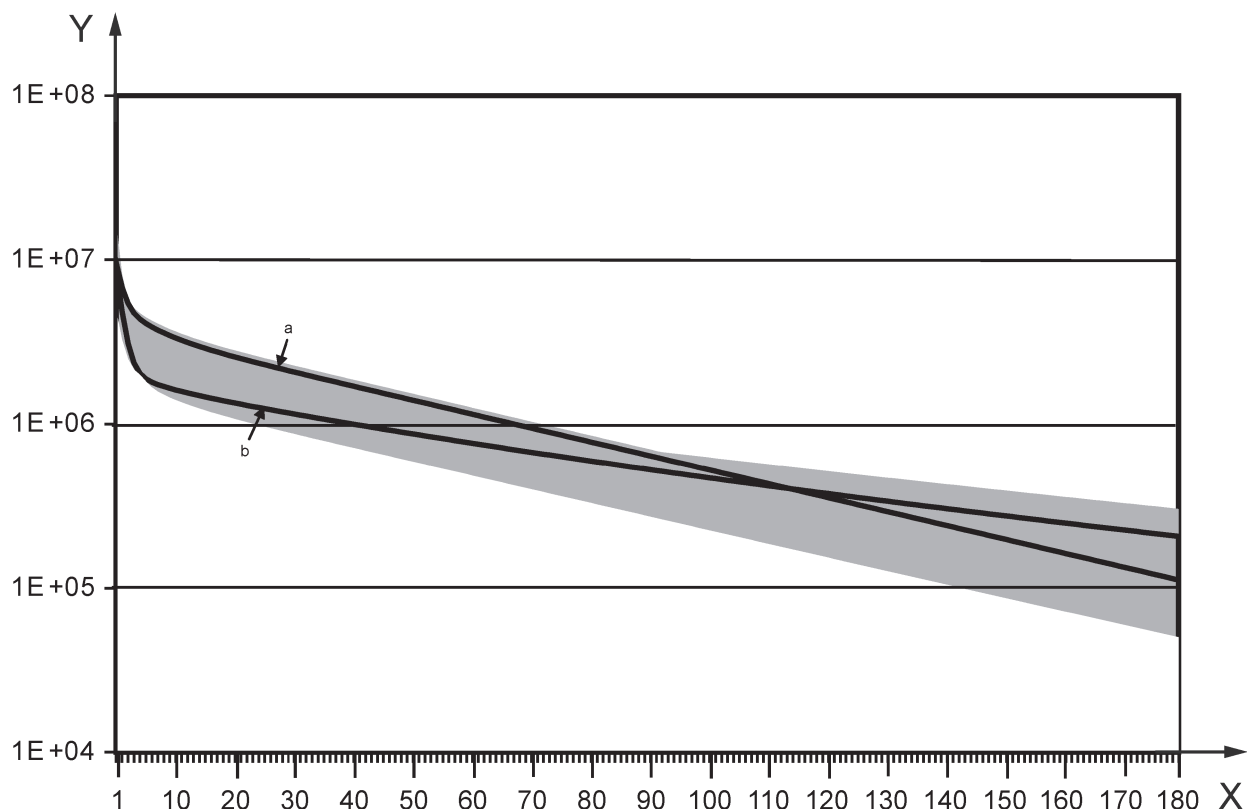
Legende

- X Tage nach Aufnahme
Y Aktivität im gesamten Körper, Bq
a AMAD = 5 µm; Typ F
b AMAD = 5 µm; Typ M
c AMAD = 5 µm; Typ S

Bild A.6 — Chrom-51, vorhergesagter Bereich der Messwerte der Ganzkörperaktivität (Bq) für eine Referenzdosishöhe von 20 mSv

Tabelle A.7 — Chrom-51, Bereich der Ganzkörperaktivitäten

Zeit nach der Aufnahme Tage	Ganzkörperaktivität (Bq) für eine Referenzdosishöhe von 20 mSv	
	Mindestwert	Höchstwert
1	1,92 E + 08	3,73 E + 08
2	1,22 E + 08	2,22 E + 08
5	2,56 E + 07	1,24 E + 08
10	1,24 E + 07	8,18 E + 07
20	6,91 E + 06	4,55 E + 07
50	2,27 E + 06	1,49 E + 07
100	4,70 E + 05	3,59 E + 06
180	4,15 E + 04	4,19 E + 05



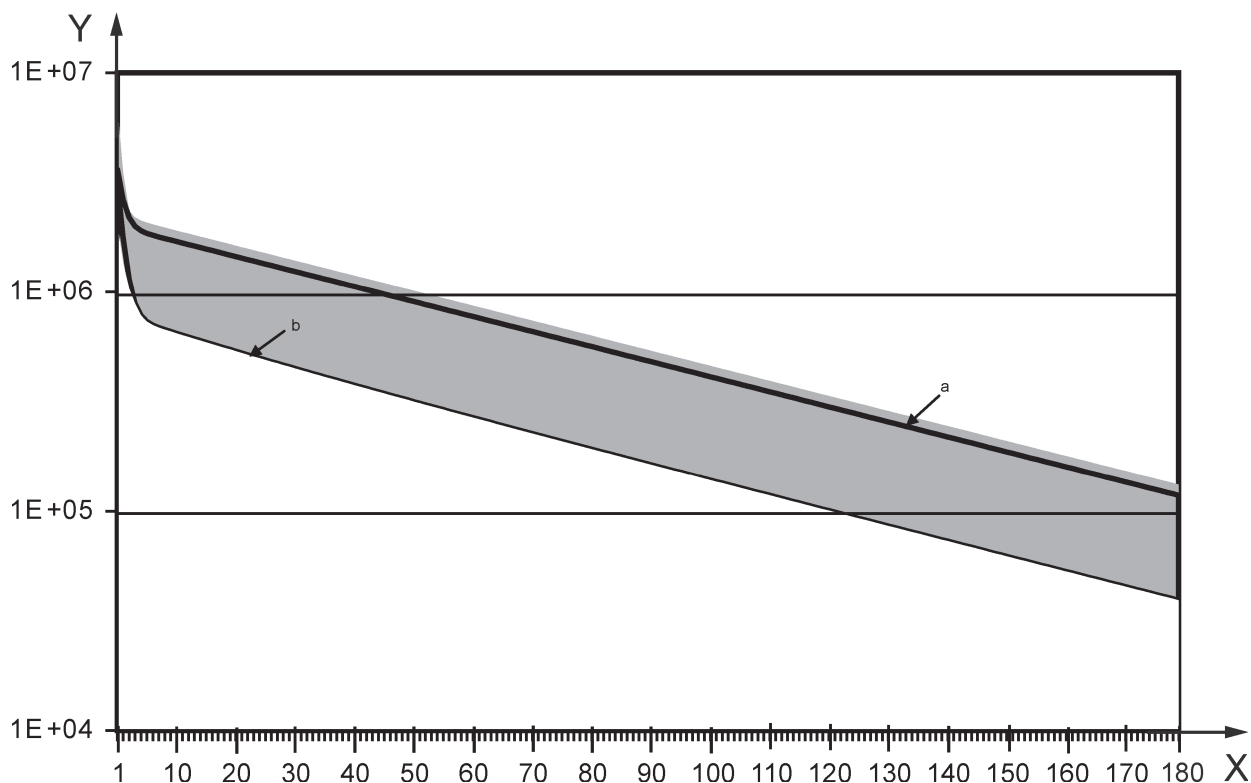
Legende

- X Tage nach Aufnahme
Y Aktivität im gesamten Körper, Bq
a AMAD = 5 µm; Typ F
b AMAD = 5 µm; Typ M

Bild A.7 — Mangan-54, vorhergesagter Bereich der Messwerte der Ganzkörperaktivität (Bq) für eine Referenzdosishöhe von 20 mSv

Tabelle A.8 — Mangan-54, Bereich der Ganzkörperaktivitäten

Zeit nach der Aufnahme Tage	Ganzkörperaktivität (Bq) für eine Referenzdosishöhe von 20 mSv	
	Mindestwert	Höchstwert
1	4,86 E + 06	1,65 E + 07
2	3,25 E + 06	8,16 E + 06
5	1,99 E + 06	4,71 E + 06
10	1,45 E + 06	3,77 E + 06
20	1,10 E + 06	2,86 E + 06
50	5,99 E + 05	1,55 E + 06
100	2,28 E + 05	6,29 E + 05
180	5,03 E + 04	3,03 E + 05



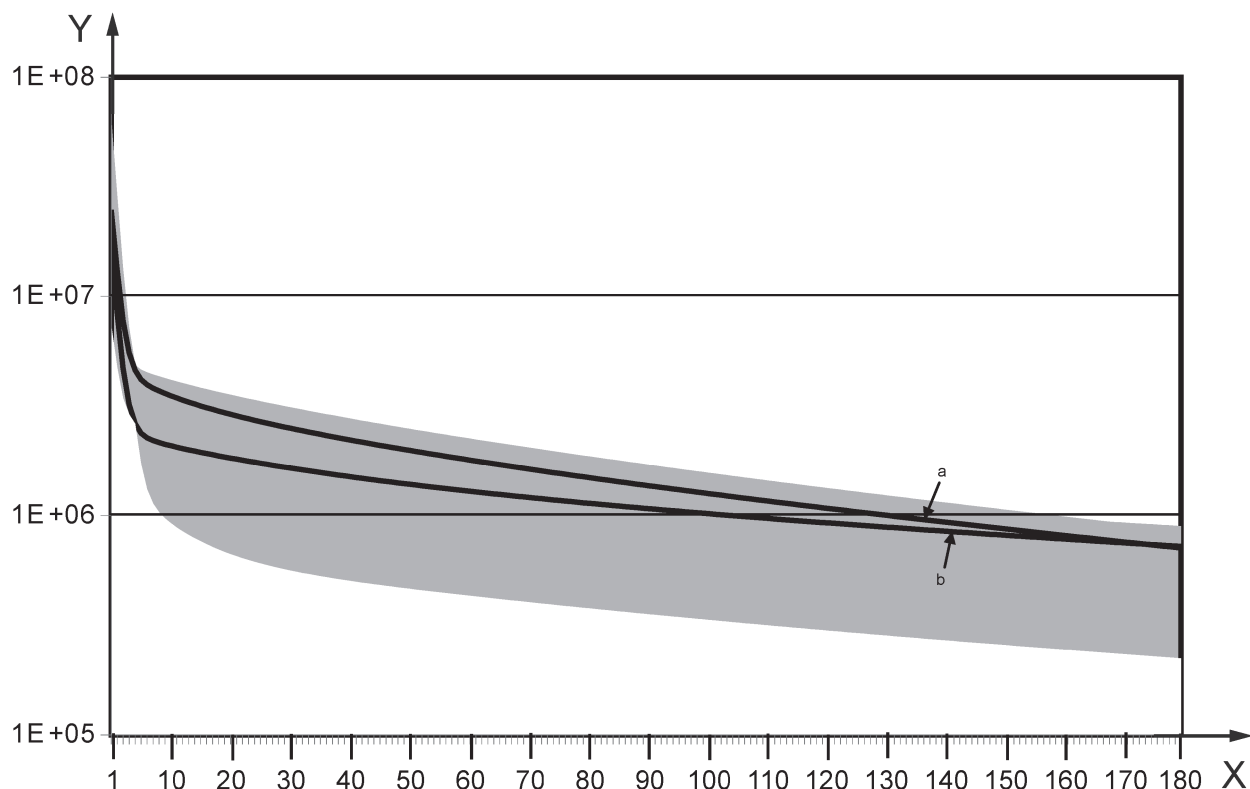
Legende

- X Tage nach Aufnahme
Y Aktivität im gesamten Körper, Bq
a AMAD = 5 μ m; Typ F
b AMAD = 5 μ m; Typ M

Bild A.8 — Eisen-59, vorhergesagter Bereich der Messwerte der Ganzkörperaktivität (Bq) für eine Referenzdosishöhe von 20 mSv

Tabelle A.9 — Eisen-59, Bereich der Ganzkörperaktivitäten

Zeit nach der Aufnahme Tage	Ganzkörperaktivität (Bq) für eine Referenzdosishöhe von 20 mSv	
	Mindestwert	Höchstwert
1	2,04 E + 06	7,09 E + 06
2	1,36 E + 06	3,49 E + 06
5	7,79 E + 05	2,12 E + 06
10	6,59 E + 05	1,93 E + 06
20	5,46 E + 05	1,65 E + 06
50	3,22 E + 05	1,03 E + 06
100	1,41 E + 05	4,67 E + 05
180	3,93 E + 04	1,32 E + 05



Legende

- X Tage nach Aufnahme
Y Aktivität im gesamten Körper, Bq
a AMAD = 5 µm; Typ M
b AMAD = 5 µm; Typ S

Bild A.9 — Cobalt-57, vorhergesagter Bereich der Messwerte der Ganzkörperaktivität (Bq) für eine Referenzdosishöhe von 20 mSv

Tabelle A.10 — Cobalt-57, Bereich der Ganzkörperaktivitäten

Zeit nach der Aufnahme Tage	Ganzkörperaktivität (Bq) für eine Referenzdosishöhe von 20 mSv	
	Mindestwert	Höchstwert
1	7,46 E + 06	6,54 E + 07
2	4,73 E + 06	2,88 E + 07
5	2,63 E + 06	4,86 E + 06
10	9,71 E + 05	4,23 E + 06
20	6,83 E + 05	3,61 E + 06
50	4,67 E + 05	2,52 E + 06
100	3,37 E + 05	1,58 E + 06
180	2,23 E + 05	8,95 E + 05