

## **Bekanntmachung einer Empfehlung der Strahlenschutzkommission (Anforderungen an die Kontaminationskontrolle beim Verlassen eines Kontrollbereichs [§ 44 der Strahlenschutzverordnung])**

**Vom 5. Juni 2002**

Nachfolgend wird die Empfehlung der Strahlenschutzkommission (SSK) "Anforderungen an die Kontaminationskontrolle beim Verlassen eines Kontrollbereichs (§ 44 der Strahlenschutzverordnung)", verabschiedet in der 177. Sitzung der Kommission am 28. Februar 2002, bekannt gegeben.

Bonn, den 5. Juni 2002

RS II 2 – 17 027/2

### **Anforderungen an die Kontaminationskontrolle beim Verlassen eines Kontrollbereichs (§ 44 der Strahlenschutzverordnung)**

Empfehlung der Strahlenschutzkommission

Die Empfehlung ersetzt die gleichnamige Empfehlung der Strahlenschutzkommission aus dem Jahr 1993 (Bundesanzeiger Nr. 184a) vom 28. September 1994)

Verabschiedet in der 177. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 28. Februar 2002

#### **Inhaltsverzeichnis**

1	Einführung.....	2
2	Voraussetzungen für die Kontaminationskontrolle .....	2
2.1	Allgemeine Voraussetzungen .....	2
2.1.1	Geeignete Kontaminationsmessgeräte .....	2
2.1.2	Ermittlung der "kleinsten nachweisbaren Kontamination" .....	3
2.1.3	Einstellung der Alarmschwelle des Kontaminationsmessgerätes .....	6
2.2	Besondere Voraussetzungen für die Kontaminationskontrolle an Personen .....	6
2.2.1	Überwachungs- und Präventivmaßnahmen .....	6
2.2.2	Repräsentative Messfläche .....	7
2.3	Besondere Voraussetzungen für die Kontaminationskontrolle an beweglichen Gegenständen... 7	
3	Vorgehensweise zur Kontaminationskontrolle an Personen .....	8
3.1	Vorbemerkung .....	8
3.2	Vorgehensweise bei schwer nachweisbaren Radionukliden sowie Alphastrahlern .....	8
3.2.1	Tritium .....	8
3.2.2	Alphastrahler.....	9
3.2.3	Sonstige schwer nachweisbare Nuklide .....	9
3.2.4	Ermittlung der "kleinsten nachweisbaren Kontamination" bei schwer nachweisbaren Nukliden 9	
3.3	Beurteilung der radiologischen Relevanz einer Kontamination der Haut.....	9
3.4	Maßnahmen und weitere Messungen bei Überschreiten der Alarmschwelle bei Personenkontamination .....	10
4	Vorgehensweise zur Kontaminationskontrolle an beweglichen Gegenständen .....	11
4.1	Kontrolle der Oberflächenkontamination durch direkte Messung.....	11
4.1.1	Wahl des geeigneten Messgerätes .....	11
4.1.2	Entscheidungsmessung.....	11
4.2	Kontrolle der Oberflächenkontamination durch indirekte Messung.....	11
4.2.1	Entnahme der Wischproben .....	11
4.3	Kontrolle der spezifischen Aktivitäten.....	12
4.4	Dokumentation.....	13
	Anlagen (nichtamtliches Verzeichnis).....	13
	Anlage 1: Mindestens erforderliches Oberflächenansprechvermögen von Kontaminationsmessgeräten.. 13	
	Anlage 2: Flussdiagramme zur Anwendung der Empfehlung .....	13
	Anlage 3: Anwendungsbeispiele .....	13
	Anlage 4: Beispielrechnungen zur Beurteilung der radiologischen Relevanz einer verbleibenden Hautkontamination.....	13

## 1 Einführung

Beim Verlassen eines Kontrollbereichs, in dem mit offenen radioaktiven Stoffen umgegangen wird, sind Personen und bewegliche Gegenstände grundsätzlich auf Kontamination zu prüfen (§ 44 der Strahlenschutzverordnung – StrlSchV). Die Empfehlung enthält die Voraussetzungen für die Kontaminationskontrolle. Hierzu werden Anforderungen sowohl an das Verfahren zur Kontaminationskontrolle als auch an die Anwendung von Geräten zur Messung der Oberflächenkontamination gestellt, die zu Messungen an Personen und an beweglichen Gegenständen beim Ausschleusen aus einem Kontrollbereich verwendet werden. Es werden Verfahren und Formeln zur Ermittlung der "kleinsten nachweisbaren Kontamination" (radionuklidspezifische, flächenbezogene Aktivität, die mit einem Kontaminationsmessgerät noch nachweisbar ist) angegeben, die es ermöglichen festzustellen, ob das vorhandene Kontaminationsmessgerät für Messungen nach § 44 StrlSchV in Verbindung mit § 67 StrlSchV geeignet ist (Abschnitte 2 und 4).

Für Messungen nach § 44 StrlSchV sollen nur Kontaminationsmessgeräte verwendet werden, die den Anforderungen dieser Empfehlung entsprechen. Ein solches Kontaminationsmessgerät ist in der Lage, bei der Kontaminationskontrolle an Personen bzw. bei der Kontaminationskontrolle an beweglichen Gegenständen für die meisten Radionuklide flächenbezogene Aktivitäten in Höhe der Werte der Oberflächenkontamination nach Anlage III Tabelle 1 Spalte 4 StrlSchV nachzuweisen. Für einige Radionuklide, die in der Praxis der Kontaminationskontrolle schwer nachweisbar sind, trifft dies nicht zu. Die Empfehlung gibt an, wie in solchen Fällen zu verfahren ist (Abschnitt 3.2). Darüber hinaus werden Maßnahmen bei Überschreiten der am Messgerät eingestellten Alarmschwelle sowie Empfehlungen zur Beurteilung der radiologischen Relevanz einer festgestellten Hautkontamination gegeben (Abschnitte 3.3 und 3.4). Anwendungsbeispiele werden in Anlage 4 aufgeführt.

Die Anlage 1 der Empfehlung enthält für eine große Anzahl von Radionukliden das mindestens erforderliche Oberflächenansprechvermögen eines Kontaminationsmessgerätes, wenn dieses flächenbezogene Aktivitäten in Höhe der Werte nach Anlage III Tabelle 1 Spalte 4 StrlSchV nachweisen soll. Es ist außerdem angegeben, ob ein Gerät unter den vorgegebenen Randbedingungen für das betreffende Radionuklid "geeignet", "möglicherweise geeignet" oder "ungeeignet" ist.

Die Empfehlung soll auch bei der Planung des Umgangs mit radioaktiven Stoffen sowie bei der Auswahl von Überwachungsverfahren und von Kontaminationsmessgeräten berücksichtigt werden. Die Anwendung der Empfehlung ist in Anlage 2 in Flussdiagrammen vereinfacht dargestellt. Anlage 3 enthält Anwendungsbeispiele.

Die Anforderungen an die Kontaminationskontrolle am Kontrollbereichsausgang sind direkt abhängig von den Maßnahmen zur Kontaminationsvermeidung im Kontrollbereich. Werden bereits aufgrund von organisatorischen Festlegungen sowie zusätzlichen Überwachungsmaßnahmen im Kontrollbereich Verschleppungen von radioaktiven Stoffen bis zum Kontrollbereichsausgang weitgehend vermieden, so kann der Aufwand zur Kontaminationskontrolle beim Verlassen des Kontrollbereiches entsprechend reduziert werden. Beispiele hierzu werden in den Abschnitten 2.2 und 2.3 gegeben.

Die in dieser Empfehlung genannten Anforderungen an Kontaminationsmessgeräte gelten sinngemäß auch für Kontaminationsmonitore (Kontaminationsmessgeräte mit einstellbarer Schwelle und Alarmgeber). In dieser Empfehlung verwendete Begriffe sind in DIN 44801 und in IEC 61098 definiert. Zusätzliche Definitionen erfolgen nur, wenn dies aus Gründen der Präzisierung notwendig erscheint.

Die Empfehlung ist nicht bestimmt für die Kontaminationskontrolle an Gegenständen, die aus einem Kontrollbereich zum Zwecke eines direkt anschließenden Beförderungsvorganges als Gefahrgut nach § 2 des Gefahrgutbeförderungsgesetzes Klasse 7 ausgeschleust werden sollen. Hierfür sind die Vorschriften in den dem Beförderungsvorgang entsprechenden Verordnungen zu beachten. Sie ist weiterhin nicht bestimmt für die Freigabe von Gegenständen nach § 29 StrlSchV und für die Abgabe von radioaktiven Stoffen nach § 69 StrlSchV.

Die Empfehlung erstreckt sich auch auf Kontaminationskontrollen an beweglichen Gegenständen, die bereits vorher aus dem Kontrollbereich mit dem Ziel der Weiternutzung im Überwachungsbereich ausgeschleust worden sind und nun auch den Überwachungsbereich verlassen sollen. Sie kann auch auf Kontaminationskontrollen angewendet werden, die ausschließlich zum Ausschleusen von Gegenständen aus dem Kontrollbereich in den Überwachungsbereich dienen. Hierbei sind die entsprechenden Werte der Oberflächenkontamination nach § 44 Abs. 2 Nr. 2 StrlSchV zu verwenden.

## 2 Voraussetzungen für die Kontaminationskontrolle

### 2.1 Allgemeine Voraussetzungen

#### 2.1.1 Geeignete Kontaminationsmessgeräte

Ein am Ausgang des Kontrollbereiches eingesetztes Kontaminationsmessgerät muss mindestens die Werte der Oberflächenkontamination nach Anlage III Tab. 1 Spalte 4 StrlSchV für das jeweilige Radionuklid nachweisen können. Die Eignung des Gerätes für diese Messaufgabe ist mit Prüfstrahlern festzustellen. Als

Prüfstrahler sollen vorrangig solche Radionuklide verwendet werden, mit denen umgegangen wird. Ist dieses nicht möglich, können andere geeignete Radionuklide als Prüfstrahler verwendet werden. Diese sind z. B.:

1. Alphastrahler:

Am-241  
Pu-238

2. Für Betastrahler mit einer Maximalenergie kleiner 200 keV

C-14 ( $E_{\max} = 0,115 \text{ MeV}$ )

3. Für Betastrahler mit einer Maximalenergie zwischen 200 keV und 500 keV

Tc-99 ( $E_{\max} = 0,3 \text{ MeV}$ )

Co-60 ( $E_{\max} = 0,31 \text{ MeV}$ )

4. Für Betastrahler mit einer Maximalenergie größer 500 keV

Cl-36 ( $E_{\max} = 0,7 \text{ MeV}$ )

TI-204 ( $E_{\max} = 0,77 \text{ MeV}$ )

Sr-90/Y-90 ( $E_{\max} = 2,26 \text{ MeV}$ )

(auch anwendbar für Xenonzähler zur Erfassung reiner Photonenstrahler)

Die Aktivität des Prüfstrahlers orientiert sich an der Größenordnung der nachzuweisenden Werte der Oberflächenkontamination nach Anlage III Tab. 1 Spalte 4 StrlSchV. Bei schwer nachweisbaren Radionukliden ist zusätzlich ein besonderes Vorgehen erforderlich (vgl. Abschnitt 3 und Anlage 1). Für die Messung von Alpha- und Betastrahlung kommen Messgeräte mit Großflächen-Endfenster-Proportionalzählrohren im Zählgasdurchflussbetrieb in Frage. Sind ausschließlich Kontaminationen durch Photonenstrahler zu erwarten, empfiehlt sich die Verwendung von Detektoren mit Xenonzählern oder Szintillationszählern.

Darüber hinaus können auch andere Detektortypen Anwendung finden, wenn sie die o. g. Bedingungen erfüllen.

Bei der Planung und Ausführung der routinemäßigen Kontaminationsüberprüfung ist ein möglichst geringer Abstand zwischen Messfläche (Person oder Gegenstand) und Detektor in die Überlegungen einzubeziehen.

Um die Eignung des Messgerätes für die geplante Betriebsdauer zu gewährleisten, sind regelmäßige Wartungen und Wiederholungsprüfungen vorzuschreiben (s. auch § 67 StrlSchV). Entsprechende Vorgaben des Herstellers sind hierbei zu berücksichtigen.

## 2.1.2 Ermittlung der "kleinsten nachweisbaren Kontamination"

### 2.1.2.1 Vorbemerkung

Die nachfolgend beschriebenen Messungen und Auswerteverfahren sind mit allen Detektoren eines Kontaminationsmessgerätes durchzuführen. Für ein Kontaminationsmessgerät mit mehreren Detektoren gilt als "kleinste nachweisbare Kontamination" (entspricht sinngemäß der Nachweisgrenze nach DIN 25 482 Teil 10, 05/00) der höchste der für diese Detektoren ermittelten Werte. Diese "kleinste nachweisbare Kontamination" muss unterhalb der Werte der Anlage III Tab. 1 Spalte 4 StrlSchV liegen. Bei schwer nachweisbaren Radionukliden sind zusätzliche Maßnahmen nach Abschnitt 3.2 zu berücksichtigen.

Bei der Ermittlung der "kleinsten nachweisbaren Kontamination" ist von der im Routinebetrieb eingestellten Messzeit bzw. Zeitkonstante auszugehen.

### 2.1.2.2 Ermittlung des Nulleffektes

Als Nulleffekt des Kontaminationsmessgerätes wird der Messwert bezeichnet, der sich aufgrund der Umgebungsstrahlung, einer eventuell vorhandenen Kontamination des Detektors oder anderer Einflüsse ergibt, wenn eine Messung z. B. an einer kontaminationsfreien Person durchgeführt wird. Der Nulleffekt kann sich durch zunehmende Kontamination der Schutzfolie des Detektors, verstärkte Einwirkung natürlicher Alphastrahler, durch Ansteigen der Ortsdosisleistung oder durch andere Einflüsse am Aufstellungsort des Kontaminationsmessgerätes erhöhen.

Bei Messgeräten, die mehrere Betriebsarten ermöglichen (z. B.  $\alpha$  oder  $\alpha+\beta$ ) ist für jede Betriebsart der Nulleffekt gesondert zu ermitteln.

Zur Ermittlung der "kleinsten nachweisbaren Kontamination" ist der Nulleffekt unter den ungünstigsten Bedingungen zu bestimmen, also beim höchsten im Routinebetrieb vorkommenden Nulleffekt. Wenn beim Betrieb des Messgerätes der Nulleffekt z. B. durch Kontamination der Schutzfolie des Detektors ansteigt, ist von dem Wert des Nulleffektes auszugehen, bei dem gerade noch kein Auswechseln der Schutzfolie erforderlich ist.

Bei Messungen kann außerdem unter ungünstigen Witterungsbedingungen durch erhöhte Einwirkung natürlicher Radionuklide (z. B. Radonfolgeprodukte) der Nulleffekt ungewöhnlich hohe Werte annehmen. Solche vorübergehend hohen Werte können bei der Ermittlung des Nulleffektes unberücksichtigt bleiben. Der Strahlenschutzverantwortliche oder -beauftragte hat in solchen Fällen durch besondere organisatorische Maßnahmen sicherzustellen, dass keine radiologisch relevanten Kontaminationen (s. Abschnitt 3.3) verschleppt werden.

Der Nulleffekt ist in einer Messzeit zu ermitteln, die mindestens dem Zehnfachen der Messzeit entspricht, die beim Routinebetrieb bei der Messung an Personen bzw. beweglichen Gegenständen eingestellt wird. Bei Kontaminationsmessgeräten mit automatischer Berücksichtigung des Nulleffektes ist in der Regel diese Forderung erfüllt.

Der so ermittelte Nulleffekt ist in die Formeln für die "kleinste nachweisbare Kontamination" im Abschnitt 2.1.2.4 einzusetzen.

Bei zählenden Geräten ist in die Formel (1) und (3) der Mittelwert der Impulszahl des Nulleffektes für die beim Routinebetrieb gewählte Messzeit einzusetzen und nicht die Impulszahl, die sich bei der längeren Messzeit zur Ermittlung des Nulleffektes ergibt.

Die Standardabweichung des Nulleffektes  $\sigma$  wird wie folgt ermittelt: Bei zählenden Geräten nach der Formel

$$\sigma_1 = \sqrt{N_0} \quad (1)$$

bei Geräten mit Ratemeter nach der Formel

$$\sigma_2 = \sqrt{\frac{n_0}{2\tau}} \quad (2)$$

Dabei ist

$N_0$  Mittelwert der Impulszahl bei Nulleffektmessung während der Messzeit  $t$  bei Routinebetrieb;

$n_0$  Nulleffekt-Zählrate in  $s^{-2}$ ;

$\tau$  Zeitkonstante des Ratemeters in  $s$  für Routinebetrieb im Anzeigebereich des Nulleffektes.

### 2.1.2.3 Oberflächenansprechvermögen, Prüfstrahler, Feststellung der Eignung

Sofern zur Ermittlung der "kleinsten nachweisbaren Kontamination" des zu messenden Radionuklids vom Hersteller oder Lieferer keine schriftlichen Angaben über das Oberflächenansprechvermögen vorliegen, muss der Betreiber des Kontaminationsmessgerätes das Oberflächenansprechvermögen für das zu messende Radionuklid selbst ermitteln.

Als Oberflächenansprechvermögen des Gerätes gilt der Quotient aus der Zählrate (nach Abzug der Nulleffekt-Zählrate) und der sie verursachenden flächenbezogenen Aktivität des Prüfstrahlers. Für die Ermittlung der "kleinsten nachweisbaren Kontamination" ist vom niedrigsten Wert des Oberflächenansprechvermögens aller beim Gebrauch des Gerätes verwendeten Detektoren auszugehen.

Zur Ermittlung des Oberflächenansprechvermögens sind Prüfstrahler der Klasse 2 nach ISO 8769 (1998) mit einer Fläche von  $100 \text{ cm}^2$  bis  $150 \text{ cm}^2$ , für Körperdetektoren bis  $300 \text{ cm}^2$  zu verwenden. Eine Fläche von  $100 \text{ cm}^2$  bis  $150 \text{ cm}^2$  ist konkretisierend zu den Festlegungen nach Anlage III StrlSchV einzuhalten, um mit einem Prüfstrahler möglichst unterschiedlich große Zählrohrflächen prüfen zu können. Die Messungen mit Prüfstrahler sollen möglichst repräsentativ den späteren Einsatz des Messgerätes abbilden. Dazu ist es notwendig, dass die Fläche des Prüfstrahlers kleiner als die Detektorfläche ist. Ist der Prüfstrahler nicht repräsentativ bzgl. der Messaufgabe, z. B. bei Selbstabsorption, ist das mit dem Prüfstrahler ermittelte Oberflächenan-

sprechvermögen entsprechend zu korrigieren. Im Übrigen ist bei der Ermittlung des Oberflächenansprechvermögens für das zu messende Radionuklid in analoger Weise zu verfahren, wie dies nachfolgend für die Feststellung der Eignung dargestellt ist.

Zur Feststellung der Eignung eines Kontaminationsmessgerätes nach Abschnitt 2.1.1 ist das Oberflächenansprechvermögen mit den entsprechenden Prüfstrahlern wie folgt zu ermitteln.

Sind beim Betrieb des Kontaminationsmessgerätes Alphastrahler zu messen, so sind Alpha-Prüfstrahler entsprechend Abschnitt 2.1.1 zu verwenden, bei Betastrahlern für die jeweiligen in Frage kommenden Energiebereiche jeweils ein in Abschnitt 2.1.1 aufgeführtes Radionuklid.

Bei gleichzeitigem Auftreten von Alphastrahlern und Betastrahlern sind zur Ermittlung der "kleinsten nachweisbaren Kontamination" beide Prüfstrahler erforderlich.

Beim Messen mit den Prüfstrahlern sind folgende Abstände der Prüfstrahler von den Oberflächen der Detektoren (z. B. Detektorfolie) einzuhalten:

Alphastrahler	0,5 cm
Betastrahler	

bei fest eingebauten Detektoren (z. B. Ganzkörperkontaminationsmonitore)

Hand-, Kopf- und Fußdetektor	1 cm
Detektoren für sonstige Körperbereiche	5 cm

bei nicht fest eingebauten Detektoren (z. B. tragbare Kontaminationsmonitore)	1 cm
---	------

Auch beim Umgang mit schwer nachweisbaren Radionukliden (vgl. Abschnitt 3) dienen die Messungen mit den genannten Prüfstrahlern der Feststellung der Eignung im Sinne des Abschnitts 2.1.1.

Darüber hinaus sind zur Feststellung der Eignung von fest eingebauten Kontaminationsmonitoren folgende Anforderungen zu beachten:

1. Der Monitor soll während der Arbeitszeiten ständig eingeschaltet sein. Eine Umgehung der Kontaminationskontrolle durch ein manuelles Abschalten des Gerätes soll z. B. durch Verschluss der entsprechenden Schalter nicht möglich sein.
2. Der Monitor soll während der Arbeitszeiten neben der Kontaminationsprüfung an Personen auch ständig den Nulleffekt messen. Bei Abweichungen, die die erforderliche Messgenauigkeit deutlich beeinträchtigen können, ist der Strahlenschutzbeauftragte oder eine von ihm benannte Person zu alarmieren.

#### 2.1.2.4 Formeln zur Ermittlung der "kleinsten nachweisbaren Kontamination"

Für die Ermittlung der "kleinsten nachweisbaren Kontamination"  $k_{\min}$  in  $\text{Bq cm}^{-2}$  wird eine Wahrscheinlichkeit für die Fehler der 1. und 2. Art von 5% sowohl für die Einstufung einer nicht kontaminierten Fläche als kontaminiert als auch einer kontaminierten Fläche als nicht kontaminiert (Quantile der Standard-Normalverteilung,  $k_{1-\alpha}$  und  $k_{1-\beta}$ , jeweils gleich 1,65) angenommen:

Kontaminationsmessgeräte mit Impulszähler:

$$k_{l, \min} = \frac{3,3}{S} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot N_0}{t^2}}$$

(3)

Dabei ist	S	das Oberflächenansprechvermögen in $\text{s}^{-1} \text{Bq}^{-1} \text{cm}^2$
	$N_0$	der Mittelwert der Anzahl der Impulse des Nulleffektes während der Messzeit t
	t	die Messzeit im Routinebetrieb in s.

Voraussetzung für die Gültigkeit der Gliederung (3) ist, dass die Bestimmung der Nulleffekt-Impulszahl in einer Zeit erfolgt, die groß ist gegenüber der eigentlichen Messzeit  $t$ .

Kontaminationsmessgeräte mit Ratemeter:

$$k_{2\min} = \frac{3,3}{S} \sqrt{\frac{n_0}{\tau}} \quad (4)$$

Dabei ist

$S$	das Oberflächenansprechvermögen in $\text{s}^{-1} \text{Bq}^{-1} \text{cm}^2$
$n_0$	die Zählrate des Nulleffektes in $\text{s}^{-1}$
$\tau$	die Zeitkonstante des Ratemeters in s für Routinebetrieb im Anzeigebereich des Nulleffektes.

Voraussetzung für die Gültigkeit der Gleichung (4) ist ein Ablesen des Wertes frühestens nach der dem Dreifachen der Zeitkonstanten entsprechenden Zeit.

Detaillierte Informationen hierzu können der DIN 25482-10 entnommen werden unter Berücksichtigung der Näherung, dass die dort angeführten Standardunsicherheiten für Nulleffekt und Messwert gleich sind.

### 2.1.3 Einstellung der Alarmschwelle des Kontaminationsmessgerätes

Die Empfehlung geht von dem Grundsatz aus, dass die Verschleppung jeder nachweisbaren nichtfesthaftenden Kontamination zu vermeiden ist. Daher ist die Alarmschwelle eines Kontaminationsmessgerätes am Ausgang des Kontrollbereichs in allen Fällen auch unterhalb der Werte der Oberflächenkontamination nach Anlage III Tab. 1 Spalte 4 StrlSchV so niedrig wie möglich einzustellen. Andererseits soll die Einstellung der Alarmschwelle so erfolgen, dass Fehlalarme durch Nulleffektschwankungen möglichst vermieden werden. Sie sollen mit einer Wahrscheinlichkeit von höchstens 5 % auftreten, damit die Benutzer des Kontaminationsmessgerätes das Vertrauen in die Zuverlässigkeit des Gerätes nicht verlieren. Für Messgeräte ohne Alarmschwelle gelten die Angaben sinngemäß für den Messwert, der zur Feststellung "Kontamination vorhanden" führt.

Die einzustellende Alarmschwelle ergibt sich für den Fall des einzelnen Detektors somit als Summe aus dem Nulleffekt und dem 1,6-fachen der Standardabweichung des Nulleffektes (vgl. Abschnitt 2.1.2.2). Bei mehreren parallel betriebenen Detektoren mit jeweils eigenem Zähler oder Ratemeter ist die Alarmschwelle für das Gesamtsystem zu berechnen oder experimentell zu ermitteln.

## 2.2 Besondere Voraussetzungen für die Kontaminationskontrolle an Personen

### 2.2.1 Überwachungs- und Präventivmaßnahmen

Überwachungs- und Präventivmaßnahmen im Kontrollbereich sollen die Entstehung und Verschleppung von Kontaminationen innerhalb des Kontrollbereiches weitgehend vermeiden. Im Folgenden werden hierzu Empfehlungen gegeben, die insbesondere bei hoher Kontaminationsgefährdung bzw. in großen Kontrollbereichen zu berücksichtigen sind. Entsprechend dem Umfang dieser Maßnahmen kann der Umfang der Kontaminationskontrolle am Ausgang erleichtert werden.

In Kontrollbereichen, in denen offene radioaktive Stoffe vorhanden sind, ist grundsätzlich auf eine weitgehende Trennung zwischen Privat- und Kontrollbereichskleidung zu achten. Kann die Kontamination der Haare eine besondere Inkorporationsquelle darstellen (z. B. Resuspension und nachfolgend Inkorporation von Alpha-Strahlern), ist für einen entsprechenden Schutz der Haare zu sorgen.

Werden bei der Kontaminationskontrolle an Personen oder an beweglichen Gegenständen Kontaminationen oberhalb der Alarmschwelle festgestellt, ist der Strahlenschutzbeauftragte oder eine von ihm benannte Person umgehend zu informieren. Diese Informationspflicht ist erforderlich, damit die für den Strahlenschutz zuständigen Personen Kontaminationswege erkennen und entsprechende Maßnahmen ergreifen können. Darüber hinaus ist die regelmäßige Überprüfung von solchen Bereichen außerhalb des Kontrollbereiches, die direkt an die Schleusenbereiche angrenzen, in die Überwachung mit einzubeziehen. Hierzu gehören z. B. auch Schränke im Überwachungsbereich, in denen regelmäßig Gegenstände aus dem Kontrollbereich gelagert werden. Für Patienten, die unter die Regelungen der Richtlinie Strahlenschutz in der Medizin fallen, können hiervon abweichende Festlegungen getroffen werden.

### **2.2.2 Repräsentative Messfläche**

Als repräsentative Messfläche gilt die Fläche, die während des vorgesehenen Umgangs mit offenen radioaktiven Stoffen kontaminiert werden kann. Der Ganzkörper ist als repräsentative Messfläche anzunehmen, sofern nicht durch Personenschutzmaßnahmen (z. B. Schutzkleidung), aufgrund der Arbeitsbedingungen (z. B. Arbeiten unter Laborabzug) oder aufgrund von Erfahrungswerten Kontaminationen bestimmter Körperpartien ausreichend vermieden werden können. Der Strahlenschutzverantwortliche oder -beauftragte hat daher nach den betrieblichen Gegebenheiten die für die Kontamination einer beruflich strahlenexponierten Person repräsentative Messfläche geeignet festzulegen. Bei Vorliegen eines konkreten Kontaminationsverdachts sind ggf. über die repräsentative Messfläche hinaus auch weitere Körperpartien auf Kontamination zu überprüfen. Ist zum Beispiel vom Strahlenschutzverantwortlichen oder Strahlenschutzbeauftragten festgelegt worden, dass zur Vermeidung von Kontaminationen mit Alphastrahlern Handschuhe zu tragen sind und erfolgt die Kontaminationskontrolle nur an den Händen und den Schuhen, so können die Handschuhe in die Prüfung auf Kontamination mit einbezogen werden. Bei Feststellung von Kontamination an den Handschuhen ist die Messfläche auf den Körper zu erweitern, da von einer Verschleppung auszugehen ist.

Sofern kein Indiz für eine Kontamination der Person besteht, sollen ggf. erforderliche Waschvorgänge für Körperoberflächen erst nach der Kontaminationskontrolle ausgeführt werden.

Damit soll vermieden werden, dass durch ausschließliches Messen der bereits gewaschenen Körperoberflächen möglicherweise höher kontaminierte andere Stellen nicht erkannt werden.

### **2.3 Besondere Voraussetzungen für die Kontaminationskontrolle an beweglichen Gegenständen**

Nach § 44 Abs. 3 StrlSchV sind bewegliche Gegenstände, die aus Kontrollbereichen in nicht überwachte Bereiche herausgelangen sollen, auf Kontamination zu prüfen. Eine eventuelle Oberflächenkontamination darf nicht höher sein als in Anlage III Tab. 1 Spalte 4 StrlSchV angegeben, und die massenbezogene Aktivität darf die Werte der Anlage III Tab. 1 Spalte 5 StrlSchV nicht übersteigen. Der zuständige Strahlenschutzbeauftragte ist verantwortlich dafür, dass diese Werte eingehalten werden und der Materialfluss derart gestaltet ist, dass eine Kontaminationskontrolle stets gewährleistet ist (§ 33 Abs. 1 Nr. 2 StrlSchV).

Um den Aufwand für Kontrollmessungen so gering wie möglich zu halten, sollten in Kontrollbereiche deshalb nur Gegenstände verbracht werden, die dort unmittelbar benötigt werden, dies gilt wegen der unter Umständen sehr aufwendigen Kontaminationskontrolle ganz besonders für Bücher, Akten und Zeitschriften.

Bei den beweglichen Gegenständen ist entsprechend des Aufwandes (Messung, Dokumentation etc.) zu unterscheiden:

1. Kleidung und Kleinteile, wie Schreibgeräte, Notizen usw., die bei der Personenkontrolle erfasst werden (Abschnitt 2.2),
2. Gegenstände des arbeitstäglichen Bedarfs (Werkzeuge, kleine Messgeräte u. ä. – kurze Verweildauer im Kontrollbereich) sowie
3. Geräte, Mobiliar oder Anlagenteile (längere Verweildauer im Kontrollbereich).

An allen diesen Gegenständen ist am Ausgang des Kontrollbereichs eine messtechnische Prüfung auf Einhaltung der Werte der Anlage III Tab. 1 Spalten 4 und 5 StrlSchV vorzunehmen. Für innerbetriebliche Transportvorgänge kontaminierter Gegenstände zwischen Kontrollbereichen können hiervon abweichende Regelungen getroffen werden, wenn durch geeignete Maßnahmen sichergestellt wird, dass eine Kontaminationsverschleppung in nicht überwachte Bereiche ausgeschlossen ist.

Für die unter 3. genannten Geräte, Mobiliar oder Anlagenteile ist für eine Weiterverwendung außerhalb von Strahlenschutzbereichen eine formale Freigabe nach § 29 StrlSchV erforderlich, wenn sie von einer atom- oder strahlenschutzrechtlichen Genehmigung erfasst sind.

Die Prüfung soll in der Regel durch Direktmessung mit einem geeigneten Messgerät erfolgen. In besonderen Fällen (ungünstige Geometrie, schwer nachweisbares Nuklid) ist unter Umständen nur eine indirekte Bestimmung der Oberflächenkontamination mit Hilfe einer Wischprüfung möglich, wobei dann aber nur der nicht festhaftende Anteil der Oberflächenkontamination ermittelt werden kann.

### 3 Vorgehensweise zur Kontaminationskontrolle an Personen

#### 3.1 Vorbemerkung

Die Messung der Kontamination an Personen, die einen Kontrollbereich verlassen, in dem offene radioaktive Stoffe vorhanden sind, ist entsprechend den in dieser Empfehlung formulierten Anforderungen durchzuführen.

Bei der Kontaminationskontrolle an Personen ist auf einen möglichst geringen Abstand zwischen Detektor und Person zu achten, um mindestens den Wert der Oberflächenkontamination nach Anlage III Tab. 1 Spalte 4 StrlSchV nachweisen zu können. Für eine Reihe von Radionukliden ist die Einhaltung dieser Forderung jedoch mit den in der Praxis üblichen Personenmonitoren (Großflächen-Proportionalzähler mit Methan oder Erdgas als Zählgas) entweder nicht möglich oder aber nur in einer für die Personenkontrolle unzumutbaren und impraktikablen Zeit (schwer nachweisbare Radionuklide).

Als schwer nachweisbar sind in der Tabelle der Anlage 1 alle Radionuklide angegeben, bei denen bei Kontaminationskontrolle mit der Standardmethode (Hand-Fuß-Kleidermonitor) der Wert der Oberflächenkontamination unter der Nachweisgrenze des Gerätes liegt. Beim Umgang mit solchen Radionukliden ist daher von Fall zu Fall eine besondere von dem jeweiligen Radionuklid abhängige Vorgehensweise notwendig, um ebenfalls eine ausreichende Kontaminationskontrolle beim Verlassen eines Kontrollbereiches zu gewährleisten.

Es ist zunächst entsprechend Abschnitt 2.1.1 und 2.1.2.3 die Eignung des vorgesehenen Messgerätes festzustellen. Zusätzlich ist mit einem Prüfstrahler des zu messenden Radionuklids oder Radionuklidgemisches nach Abschnitt 3.2.4 die "kleinste nachweisbare Kontamination" für dieses Radionuklid oder das Radionuklidgemisch zu ermitteln, falls vom Hersteller keine entsprechenden Angaben vorliegen. Liegt dieser Wert unterhalb des Wertes der Oberflächenkontamination nach Anlage III Tab. 1 Spalte 4 StrlSchV, so kann das Gerät für Messungen nach § 44 Abs. 1 StrlSchV verwendet werden.

Ist für das zu messende Radionuklid oder Radionuklidgemisch kein geeigneter Prüfstrahler verfügbar, kann die Eignung des Messgerätes durch Bestimmung des für die vorgesehene Messaufgabe mindestens erforderlichen Oberflächenansprechvermögens geprüft werden.

Das mindestens erforderliche Oberflächenansprechvermögen  $S_{\min}$  eines Kontaminationsmessgerätes mit Impulszähler zum Nachweis einer flächenbezogenen Aktivität eines Radionuklides in Höhe des Wertes  $O_p$  der Oberflächenkontamination nach Anlage III Tab. 1 Spalte 4 StrlSchV errechnet sich nach Gleichung (3) zu

$$S'_{\min} = \frac{3,3}{O_p} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot N_0}{t^2}} \quad (5)$$

Dabei ist  $N_0$  der Mittelwert der Anzahl der Impulse des Nulleffektes während der Messzeit  $t$  der Kontaminationsmessung.

Das Messgerät ist geeignet, wenn das in der Praxis erreichbare Oberflächenansprechvermögen des Gerätes größer als  $S_{\min}$  ist. Das mindestens erforderliche Oberflächenansprechvermögen  $S_{\min}$  eines Kontaminationsmessgerätes mit Ratometer lässt sich aus der Gleichung (4) in Abschnitt 2.1.2.4 entsprechend ableiten.

#### 3.2 Vorgehensweise bei schwer nachweisbaren Radionukliden sowie Alphastrahlern

##### 3.2.1 Tritium

Von den derzeit verfügbaren speziellen Kontaminationsmonitoren für Tritium mit fensterlosen Proportionalzählern oder Szintillatoren ist keiner zur Überwachung der Personenkontamination geeignet. Die im Handel angebotenen Geräte mit sehr kleiner Detektoröffnung sind in einem für eine Kontrolle der Personenkontamination beim Verlassen des Kontrollbereichs zumutbaren und praktikablen Zeitraum nur zur punktuellen Prüfung kleiner Flächen einsetzbar, das heißt bei konkretem Verdacht einer kleinflächigen Kontamination an einer definierten Stelle. Wischttests sind wegen der erforderlichen Zeit zur Auswertung für eine Kontrollmessung zum Verlassen des Kontrollbereichs ebenfalls nur in Einzelfällen geeignet.

Einer Personenkontamination durch Tritium ist daher vorrangig durch entsprechende technische Schutzmaßnahmen (z. B. besondere Schutzkleidung, dichter Einschluss, Handschuhkastentechnik, Automatisierung der Arbeitsvorgänge, geeignete Luftführung usw.) vorzubeugen.

Ist die Raumluft auf Tritium zu überwachen, können diese Daten als Kriterium (Erfahrungswert) herangezogen werden, ob eine weitergehende Kontaminationsprüfung an Personen erforderlich ist.



### 3.2.2 Alphastrahler

Die meisten Alphastrahler sind bei einem Abstand von 0,5 cm zur Detektoroberfläche problemlos nachweisbar (s. Tabelle in Anlage 1), also bei Kontaminationen an Händen oder an den Schuhsohlen. Kontaminationen an Kleidung oder am Kopf werden aber bei dem üblichen Messverfahren nicht entdeckt. Beim Umgang mit Nuklidgemischen, die zu einem definierten Prozentsatz Alphastrahlen enthalten, ist eine ausreichende Kontaminationskontrolle in der Regel über die Messung leicht nachweisbarer Anteile des Radionuklidgemisches möglich.

Beim Umgang mit reinen Alphastrahlern sind jedoch bei Kontaminationsverdacht oder bei Feststellung von Kontaminationen an Händen oder Schuhen zusätzliche sorgfältige Messungen mit Detektoren erforderlich, die möglichst dicht über die zu messenden Oberflächen geführt werden können. Wie bei Tritium kommt auch beim Umgang mit reinen Alphastrahlern der Prävention gegen Kontamination durch technische Schutzmaßnahmen besondere Bedeutung zu.

### 3.2.3 Sonstige schwer nachweisbare Nuklide

Beim Umgang mit den in den Tabellen als schwer nachweisbar angegebenen Radionukliden ist zunächst zu prüfen, ob die Nachweisbarkeit durch Verwendung eines anderen Gerätes verbessert werden kann (z. B. tragbarer Monitor statt festinstallierter Hand/Fußmonitor).

Weitere Möglichkeiten sind z. B.:

- Verlängerung der Messzeit,
- Verbesserung der Empfindlichkeit des Detektors durch Verwendung optimierter Fenster (z. B. Reduzierung der Folienstärke oder Gitterfläche),
- Verbesserung der Empfindlichkeit des Detektors durch Verwendung anderer Zählgase (z. B. Xenon für niederenergetische Photonenstrahlung).

In vielen Fällen ist es möglich, bei Vorliegen von Radionuklidgemischen einen für die Anwendung repräsentativen Nuklidvektor zu ermitteln. Ein gegebenenfalls nur in einem geringen Prozentsatz vorhandenes, leicht nachweisbares Nuklid wird dann als Leitnuklid bestimmt und die Kalibrierung so vorgenommen, dass über den messtechnischen Nachweis dieses Nuklids die Einhaltung der Werte der Oberflächenkontamination unter Berücksichtigung der Summenformel auch für die übrigen Nuklide gewährleistet ist.

Ist mit allen diesen Möglichkeiten noch immer keine Kontaminationskontrolle an Personen möglich, sind technische Maßnahmen zu ergreifen wie unter Abschnitt 3.2.1 angegeben.

### 3.2.4 Ermittlung der "kleinsten nachweisbaren Kontamination" bei schwer nachweisbaren Nukliden

Zur Ermittlung der "kleinsten nachweisbaren Kontamination" für ein schwer nachweisbares Nuklid ist ein Prüfstrahler der Klasse 2 dieses Nuklids nach ISO 8769 (1988) oder ein Prüfstrahler, der das zu messende Nuklid im Hinblick auf das Oberflächenansprechvermögen ausreichend repräsentiert (s. Tabelle in Anlage 1), mit einer Fläche von 100 cm<sup>2</sup> bis 150 cm<sup>2</sup>, bei Körperdetektoren 300 cm<sup>2</sup> zu verwenden.

Bei Radionuklidgemischen kann auch ein einzelnes, im Gemisch vorhandenes sowie leicht nachweisbares Nuklid als Leitnuklid oder eine Kombination von Radionukliden verwendet werden, die für das tatsächliche Gemisch repräsentativ sind, so dass keine Unterschätzung der tatsächlichen Kontamination erfolgen kann.

Abschnitt 2.1.2 ist zu beachten.

## 3.3 Beurteilung der radiologischen Relevanz einer Kontamination der Haut

Bei Hautkontamination ist entsprechend der SSK-Empfehlung "Maßnahmen nach Kontamination der Haut mit radioaktiven Stoffen" (Veröffentlichungen der SSK, Bd. 15, 1991) zu verfahren. Verbleiben nach den Dekontaminationsmaßnahmen Restkontaminationen, z. B. an Kopf, Händen oder Unterarmen, ist deren radiologische Relevanz nach folgenden Kriterien zu prüfen:

1. Die Hautdosis für die betroffene Person soll 5 mSv (1% des Jahresgrenzwertes der lokalen Hautdosis für beruflich strahlenexponierte Personen gemäß § 55 Abs. 2 Nr. 2 StrlSchV) nicht überschreiten.
2. Die effektive Dosis für die betroffene Person durch Inkorporation abgestoßener kontaminierter Hautschuppen soll 0,2 mSv (1% des Jahresgrenzwertes für beruflich strahlenexponierte Personen gemäß § 55 Abs. 1 StrlSchV) nicht überschreiten.

Ist der Erfolg zwischen zwei Dekontaminationsschritten kleiner als 10% und werden im Übrigen die vorgenannten Kriterien eingehalten, kann auf weitere Dekontaminationsmaßnahmen verzichtet werden.

Diese Kriterien sind bei einer kontaminierten Fläche von einigen 100 cm<sup>2</sup> immer eingehalten, wenn

- bei Radionukliden mit Freigrenzen von  $\geq 10^7$  Bq die Aktivität pro Flächeneinheit kleiner als 100 Bq cm<sup>-2</sup>,
- bei allen übrigen Radionukliden mit Ausnahme von Alpha-Strahlern die Aktivität pro Flächeneinheit kleiner als 10 Bq cm<sup>-2</sup> ist.

Beispielrechnungen zur Anwendung der Kriterien sind in Anlage 4 gegeben.

Werden die Kriterien nicht eingehalten, sind Überlegungen anzustellen, welche weiteren Maßnahmen zur Dosisreduktion bei der betroffenen Person und zur Vermeidung von Kontaminationsverschleppungen zu ergreifen sind. Methodische Empfehlungen geben die "Maßnahmen nach Kontamination der Haut mit radioaktiven Stoffen" (Veröffentlichungen der SSK, Bd. 15, 1991).

Bei Kontaminationen mit Alpha-Strahlern ist besondere Vorsicht geboten, da bei einer Reihe von Nukliden schon Kontaminationen von wenigen Bq durch Inkorporation abgestoßener kontaminierter Hautschuppen zu strahlenschutzrelevanten Folgedosen führen können. Bei Hautkontaminationen mit Alpha-Strahlern ist daher zusätzlich Sorge zu tragen, dass eine Verschleppung der Kontamination in den privaten Bereich nicht zu radiologisch relevanten Folgedosen für Dritte führt.

### **3.4 Maßnahmen und weitere Messungen bei Überschreiten der Alarmschwelle bei Personenkontamination**

Wird bei der ersten Kontaminationsmessung die Alarmschwelle überschritten, so ist die Kontamination möglichst genau zu lokalisieren und festzustellen, ob nur eine Kontamination der Kleidung oder auch der Haut vorliegt. Bei Verdacht auf weitere Kontaminationen (auch von schwer ausmessbaren Körperbereichen), die bei der Erstmessung nicht erfasst wurden, sind zusätzliche Messungen erforderlich. Dazu kann zusätzlich ein tragbares Kontaminationsmessgerät herangezogen werden.

Ein Verdacht auf Kontamination weiterer Körperbereiche liegt zum Beispiel in folgenden Fällen jeweils vor:

- bereits die Erstmessung hat die Kontamination mehrerer Hautbereiche ergeben.
- aufgrund der Betriebserfahrung besteht ein deutliches Kontaminationsrisiko,
- es wurden zeitnah bei anderen Personen, die sich in demselben Kontrollbereich mit vergleichbaren Arbeitsbedingungen aufhielten, Kontaminationen festgestellt,
- es erfolgte ein Umgang mit einem schwer nachweisbaren Radionuklid oder einem Gemisch schwer nachweisbarer Radionuklide.

Für Maßnahmen bei Hautkontaminationen ist eine Dekontaminationsanweisung entsprechend der SSK-Empfehlung "Maßnahmen nach Kontamination der Haut mit radioaktiven Stoffen" zu erstellen, in die aufzunehmen ist:

1. die durchzuführende(n) Erstmaßnahme(n), z. B. normaler Waschvorgang bei staubförmiger Kontamination,
2. die weitere Vorgehensweise bei Kontaminationen, die mit den Erstmaßnahmen nicht zu beseitigen sind.

Bei einer festgestellten Hautkontamination auch unterhalb der Werte der Oberflächenkontamination nach Anlage III Tab. 1 Spalte 4 StrlSchV ist grundsätzlich ein Dekontaminationsvorgang entsprechend der SSK-Empfehlung "Maßnahmen nach Kontamination der Haut mit radioaktiven Stoffen" mit der jeweils vorgesehenen Erstmaßnahme vorzunehmen. Zur Ermittlung der Hautdosis ist zu berücksichtigen, dass über eine Fläche von 1 cm<sup>2</sup> im Bereich der höchsten Strahlenexposition zu mitteln ist (s. SSK-Veröffentlichung Band 43: Berechnungsgrundlage für die Ermittlung von Körperdosen bei äußerer Strahlenexposition).

Liegt bei der Wiederholungsmessung die Hautkontamination weiter über der Alarmschwelle, entscheidet der zuständige Strahlenschutzverantwortliche oder -beauftragte, gegebenenfalls unter Hinzuziehung eines ermächtigten Arztes, über weitere Maßnahmen entsprechend der SSK-Empfehlung "Maßnahmen nach Kontamination der Haut mit radioaktiven Stoffen". Dabei soll auch die Möglichkeit einer Inkorporation beachtet werden.

Bei einer Kontamination der Hände sind die unbedeckten Hautpartien vollständig auf Kontamination mittels eines tragbaren Kontaminationsmessgerätes zu überprüfen. Bei festgestellter Kontamination eines Kleidungsstücks ist das Kleidungsstück in der Regel ohne weitere Messungen einer hierfür vorgesehenen Reinigung zuzuführen. Ist keine generelle Reinigung der Kleidung vorgesehen, muss die Kleidung vollständig ausgemessen werden.

Entsprechend Anlage III Tab. 1 StrlSchV ist ein gesonderter Nachweis der Einhaltung des massenspezifischen Wertes für Kleidung nicht erforderlich, sofern die Masse weniger als 3 kg beträgt. Für Kleidung mit Kontaminationen oberhalb der Werte der Oberflächenkontamination nach Anlage III Tab. 1 Spalte 4 StrlSchV sind separate Festlegungen zu treffen (Verbleib im Kontrollbereich, Entsorgung als radioaktiver Abfall).

Kontaminierte Kleidung kann der uneingeschränkten Freigabe fester Stoffe zugeführt werden, wenn die Werte der Anlage III Tab. 1 Spalte 4 und 5 StrlSchV eingehalten sind. Sie kann ebenfalls der Freigabe fester Stoffe zur Beseitigung zugeführt werden, wenn die Werte der Anlage III Tab. 1 Spalte 4 und 9 StrlSchV eingehalten sind.

Detaillierte Kriterien für die weitergehenden Kontaminationsmessungen beim Verlassen des Kontrollbereiches sollen von dem Strahlenschutzverantwortlichen oder -beauftragten spezifisch für die im Kontrollbereich durchgeführten Tätigkeiten, sofern möglich, und für die betretenen Raumbereiche auf der Basis der Betriebserfahrung festgelegt und periodisch auf ihre Eignung hin überprüft werden.

Die Abfolge der Maßnahmen, nach denen in der Regel zu verfahren ist, ist in Anlage 2, Diagramm 2, dargestellt.

## **4 Vorgehensweise zur Kontaminationskontrolle an beweglichen Gegenständen**

### **4.1 Kontrolle der Oberflächenkontamination durch direkte Messung**

#### **4.1.1 Wahl des geeigneten Messgerätes**

Die Kriterien für die Auswahl des geeigneten Messgerätes sind auch für die Kontaminationskontrolle an Gegenständen die gleichen, wie unter Abschnitt 2.1.1 ausgeführt. In jedem Fall muss das verwendete Messgerät beziehungsweise die angewendete Methode zur Bestimmung der Kontamination in der Lage sein, mindestens den Wert der Oberflächenkontamination nach Anlage III Tab. 1 Spalte 4 StrlSchV sicher nachzuweisen. Die zur Kontaminationskontrolle an Gegenständen allgemein verwendeten tragbaren Proportionalzähler mit Zählgas erfüllen diese Forderungen in der überwiegenden Zahl der Fälle. Falls gammastrahlende Radionuklide oder Radionuklidgemische mit einem als Leitnuklid definierbaren Gammastrahler zu messen sind, bieten sich zur Kontaminationskontrolle auch Gesamtgamma-Messeinrichtungen an. Bei sehr ungünstiger Geometrie, bei weichen Betastrahlern (z. B. H-3, C-14), reinen Photonenstrahlern (z. B. Tc-99m), Elektroneneinfangstrahlern oder Positronen-Strahlern müssen entweder speziell für diese Zwecke geeignete Geräte verwendet werden (s. Abschnitt 3), oder es müssen Wischproben genommen werden, die dann in geeigneten Messgeräten auszuwerten sind (s. Abschnitt 4.2).

#### **4.1.2 Entscheidungsmessung**

Bei der Durchführung einer Messung, um zu entscheiden, ob die Kontamination an einem Gegenstand die Werte der Oberflächenkontamination nach Anlage III Tab. 1 Spalte 4 StrlSchV nicht überschreitet, ist der Betriebsanleitung für die verwendeten Messgeräte zu folgen. Es müssen folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

- Der Abstand zwischen Detektor und Messfläche ist möglichst klein zu halten.
- Das Gerät muss für das zu messende Radionuklid/Radionuklidgemisch und für den bei der Messung mindestens einzuhaltenden Detektorabstand zur Messfläche mit einem geeigneten Prüfstrahler kalibriert sein (Anzeige in Bq/cm<sup>2</sup>).
- Vor Durchführung einer Messung ist die Nulleffektzählrate zu ermitteln. Falls keine automatische Nulleffektkorrektur erfolgt, ist die Nulleffektzählrate bei länger dauernden Messungen von Zeit zu Zeit zu kontrollieren.
- Die fehlerfreie Funktion des Gerätes ist anhand eines geeigneten Kontrollstrahlers zu überprüfen. Bei Abweichung von mehr als 25% vom Sollwert ist eine Nachkalibrierung des Gerätes vorzunehmen.
- Häufig gebrauchte Geräte sind arbeitstäglich zu überprüfen, in den übrigen Fällen ist mindestens eine Funktionsprüfung jeweils vor Gebrauch erforderlich.
- Bei tragbaren Geräten ist, um genaue Messergebnisse zu erzielen, der Detektor langsam über die auszumessende Fläche zu bewegen (dynamische Messung), Wird eine kontaminierte Fläche gefunden, muss der Detektor bis zur Stabilisierung der Anzeige am Messort gehalten werden. Dieses entspricht etwa dem Dreifachen der am Ratemeter eingestellten Zeitkonstanten.

### **4.2 Kontrolle der Oberflächenkontamination durch indirekte Messung**

#### **4.2.1 Entnahme der Wischproben**

Die Entnahme von Wischproben orientiert sich an der DIN ISO 7503. Als Wischmaterial ist in der Regel trockenes, rundes Filterpapier zu verwenden, es können jedoch bei Bedarf auch andere geeignete Materialien verwendet werden oder fauchte Proben genommen werden (beispielsweise für Tritium). Die zu kontrollierenden Flächen müssen frei von Fremtteilen (beispielsweise Klebeband, groben Verschmutzungen) sein.

Bei der Wischprüfung sollte der Kraftaufwand in etwa der Intensität zerstörungsfreier Kontakte mit der gewischten Oberfläche entsprechen. Kleinere Gegenstände sind flächendeckend zu überprüfen, Die gewischte Fläche ist genau zu bestimmen und soll 300 cm<sup>2</sup> [Mittelungsfläche nach Anlage III Tab. 1 StrlSchV] nicht wesentlich übersteigen. Bei größeren Gegenständen kann von dem grundsätzlichen Prinzip der flächendeckenden Überprüfung abgewichen werden, wenn für die Oberflächenkontamination repräsentative Probenahmeorte bestimmt werden können. Hierzu kann eine flächendeckende Überprüfung ("Screening") über größere Wischflächen (mindestens 0,5 m<sup>2</sup>) von Vorteil sein, um mögliche Kontaminationen einzugrenzen und anschließend gezielt durch Entnahme von Wischproben zu überprüfen.

## 4.2.2 Entscheidungsmessung

Bei der Auswertung der Wischproben ist folgendermaßen zu verfahren:

Gemäß DIN ISO 7503 Teil 1 ist für die Wischprüfung ein Entnahmefaktor von 0,1 anzusetzen, falls genauere Werte für den Entnahmefaktor bei den entsprechenden Randbedingungen nicht bekannt sind.

Die Wischproben sind nach ihrer Entnahme in der Regel an einem geeigneten Strahlungsmessplatz (beispielsweise Großflächendurchflusszähler) zu messen. In Ausnahmefällen können auch entsprechend kalibrierte tragbare Kontaminationsmessgeräte verwendet werden.

Das verwendete Gerät kann dann als geeignet angesehen werden, wenn es in der Lage ist, 10% des Wertes der Oberflächenkontamination nach Anlage III Tab. 1 Spalte 4 StrlSchV multipliziert mit der gewischten Fläche (in cm<sup>2</sup>) sicher nachzuweisen.

Die Messwerte sind gemäß DIN ISO 7503 Teil 1 Punkt 4.3.3 auszuwerten. Die Aktivität je Flächeneinheit  $A_F$  ergibt sich danach zu:

$$A_F = \frac{n - n_0}{E_1 \cdot f \cdot F_W \cdot \epsilon_S} \quad [\text{Bq} \cdot \text{cm}^{-2}]$$

mit

$n$  gemessene Gesamtzählrate [ $\text{s}^{-1}$ ]

$n_0$  Nulleffektzählrate [ $\text{s}^{-1}$ ]

$E_1$  Ansprechvermögen des Messgerätes nach DIN ISO 7503 Teil 1

*(Das Ansprechvermögen ist gemäß Herstellerangaben bzw. durch Kalibrierung zu ermitteln. Bei der Bestimmung des Ansprechvermögens sind der Wirkungsgrad der Kalibrierquelle und die Messgeometrie zu beachten).*

$f$  Entnahmefaktor (Üblicherweise  $f = 0,1$ ; andere Faktoren sind im Messprotokoll zu vermerken)

$F_W$  gewischte Fläche

$\epsilon_S$  Wirkungsgrad der Strahlungsquelle (Wischprobe), berücksichtigt Selbstabsorption:

$\beta$ -Strahlung:	$\epsilon_{S\beta} = 0,5,$	wenn $E_{\beta\text{max}} > 0,4 \text{ MeV};$
	$\epsilon_{S\beta} = 0,25,$	wenn $E_{\beta\text{max}} \leq 0,4 \text{ MeV};$
$\alpha$ -Strahlung:	$\epsilon_{S\alpha} = 0,25.$	

Kann eine festhaftende Kontamination nicht ausgeschlossen werden, ist dieser Anteil zusätzlich durch geeignetes Material abtragende Verfahren zu ermitteln (zum Beispiel Kratzproben an repräsentativen Stellen).

## 4.3 Kontrolle der spezifischen Aktivitäten

Ein Verbringen von Gegenständen aus einem Kontrollbereich in nicht überwachte Bereiche ist erst zulässig, wenn neben den Werten der Oberflächenkontamination auch die Werte der spezifischen Aktivität für uneingeschränkte Freigabe nach Anlage III Tab. 1 Spalte 5 StrlSchV nicht überschritten werden. Zum Nachweis der Einhaltung der Werte sind je nach Art des betreffenden beweglichen Gegenstandes folgende Verfahren geeignet:

1. Messung der Oberflächenkontamination und der spezifischen Aktivität,
2. Messung der Oberflächenkontamination und entsprechende Plausibilitätsüberlegungen, mit denen die Einhaltung der Werte für die spezifische Aktivität dargelegt werden kann,
3. Messung nur der Oberflächenkontamination, wenn die entsprechende spezifische Aktivität unterhalb der Nachweisgrenze liegt oder die Masse weniger als 3 kg beträgt, z. B. bei einzelnen Papierselten (Notizen, Arbeitsanweisungen usw.),
4. Messung nur der spezifischen Aktivität, wenn z. B. wegen einer komplexen Geometrie die Oberfläche nicht bestimmbar ist, oder es sich um nicht zugängliche Kontaminationen, wie z. B. bei einer Bohrmaschine, handelt.

Wenn davon ausgegangen werden kann, dass die Kontamination nicht in das Material des Gegenstandes eingedrungen ist, wird es in der Regel zum Nachweis der Einhaltung der Werte nach Anlage III Tab. 1 Spalte 5 StrlSchV ausreichen, die gemessene Oberflächenkontamination auf die Gesamtmasse des Gegenstandes zu beziehen. Wurden die Werte der Oberflächenkontamination mit indirekten Methoden ermittelt, sind in diese

Betrachtung die Ergebnisse eventueller Kratz- oder Materialproben einzubeziehen. Ebenso kann verfahren werden, wenn der Gegenstand aus einem Bereich kommt, in dem nicht mit Aktivierungen zu rechnen ist.

Kann ein Eindringen der Kontamination in das Material nicht ausgeschlossen werden (bei Tritiumkontaminationen in der Regel der Fall) oder kommt der Gegenstand aus einem Bereich, in dem Aktivierungen möglich sind, so können an repräsentativen Stellen Materialproben entnommen werden, um die spezifische Aktivität mit geeigneten Methoden zu bestimmen (z. B. Gammasspektrometrie bei Nukliden oder Nuklidgemischen mit gammastrahlender Komponente), oder die spezifische Aktivität wird durch andere Methoden (z. B. Gesamt-Gamma-Messung) bestimmt. Gleiches trifft auch für sehr dünne Gegenstände zu (beispielsweise dünne Bleche), bei denen die Nachweisgrenze des für die Messung der Oberflächenkontamination verwendeten Messgerätes nicht ausreicht, um durch Bezug auf die in diesem Falle im Verhältnis zur Oberfläche sehr geringe Masse den Nachweis der Einhaltung der Werte nach Anlage III Tab. 1 Spalte 5 StrlSchV zu führen.

#### **4.4 Dokumentation**

Die Ergebnisse der Kontaminationskontrolle von Gegenständen, die einen Kontrollbereich verlassen, sollen in geeigneter Weise protokolliert werden. Kleinteile und Kleidung werden bei der Personenkontrolle erfasst und nicht gesondert protokolliert.

Bei Gegenständen des arbeitstäglichen Bedarfs (Abschnitt 2.3.3 Punkt 2, Werkzeuge, kleine Messgeräte u. ä., die arbeitstäglich aus dem Kontrollbereich herausgebracht werden) genügt eine vereinfachte Protokollierung, beispielsweise die Erfassung der Kontrollmessungen in einer Auflistung der beweglichen Gegenstände durch den zuständigen Strahlenschutzbeauftragten oder einer von ihm beauftragten Person. In begründeten Fällen (z. B. wesentliche Behinderung des Arbeitsablaufes, unverhältnismäßiger Aufwand) kann auch von einer Protokollierung abgesehen werden, sofern auf andere Weise nachvollziehbar gewährleistet wird, dass die Kontamination der herausgebrachten Gegenstände die Werte der Anlage III Tab. 1 Spalten 4 und 5 StrlSchV nicht überschreitet.

Bei Büchern, Mobiliar, Geräten oder sonstigen Apparaturen, die über den arbeitstäglichen Einsatz hinaus längere Zeit im Kontrollbereich verblieben sind, soll die Kontaminationskontrolle in einem Messprotokoll dokumentiert werden. Die ordnungsgemäße Durchführung der Messungen ist durch den für die Messungen verantwortlichen Strahlenschutzbeauftragten oder die von ihm beauftragte Person in diesem Protokoll zu bestätigen.

#### **Anlagen (nichtamtliches Verzeichnis)**

[Anlage 1: Mindestens erforderliches Oberflächenansprechvermögen von Kontaminationsmessgeräten](#)

[Anlage 2: Flussdiagramme zur Anwendung der Empfehlung](#)

[Anlage 3: Anwendungsbeispiele](#)

[Anlage 4: Beispielrechnungen zur Beurteilung der radiologischen Relevanz einer verbleibenden Hautkontamination](#)

## Anlage 1

Mindestens erforderliches Oberflächenansprechvermögen von festinstallierten Hand-, Fuß-, Kleider und Ganzkörper-Kontaminationsmessgräten (Schuhdetektor) sowie von tragbaren Kontaminationsmessgeräten mit Großflächenproportionalzählern und Kohlenwasserstoffen als Zählgas

1. Unter Oberflächenansprechvermögen wird hier der Quotient aus Nettozählrate (Zählrate nach Abzug der Nulleffekt-Zählrate) und flächenbezogener Aktivität eines Prüfstrahlers verstanden. Das Oberflächenansprechvermögen ist in  $\text{Bq}^{-1}\text{s}^{-1} \text{ cm}^2$  angegeben.
2. Das mindestens erforderliche Oberflächenansprechvermögen  $S_{\min}$  ist unter den nachfolgend angeführten Annahmen ermittelt worden. Für tragbare Kontaminationsmessgeräte sind dabei typische Werte für Großflächenproportionalzählrohre mit einer Fläche von ca.  $200 \text{ cm}^2$  zugrunde gelegt, für festinstallierte Kontaminationsmessgeräte typische Werte für Großflächenproportionalzählrohre mit einer Fläche von ca.  $600 \text{ cm}^2$ .

Annahmen für die Berechnung des mindestens erforderlichen Oberflächenansprechvermögens  $S_{\min}$ :

- Nulleffektzählrate
    - bei festinstallierten Geräten in der Betriebsart ( $\alpha$ ):  $0,1 \text{ s}^{-1}$   
in der Betriebsart ( $\alpha+\beta$ ):  $20 \text{ s}^{-1}$
    - bei tragbaren Geräten in der Betriebsart ( $\alpha$ ):  $0,03 \text{ s}^{-1}$   
in der Betriebsart ( $\alpha+\beta$ ):  $6 \text{ s}^{-1}$
  - Messzeit: 10 s
  - Impulszählung (bei Ratemeteranzeige ist  $S_{\min}$  bei gleicher Messzeit größer als bei Impulszählung)
  - kontaminierte Fläche:  $100 \text{ cm}^2$
  - Abstand des Detektors von der zu überprüfenden Fläche bei festinstallierten Geräten: etwa 0,5 cm (Auflage auf das Gitter des Schuhdetektors) und 5 cm, bei tragbaren Geräten max. 1 cm (ab Detektorfolie)
  - Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% sowohl für die Einstufung einer nicht kontaminierten Fläche als kontaminiert als auch einer kontaminierten Fläche als nicht kontaminiert.
  - Einzelheiten zu diesen Annahmen können folgender Veröffentlichung entnommen werden: *M. Heinzelmann und G. H. Schnepel* "Erfassung von Personenkontaminationen in Höhe der Grenzwerte der Flächenkontamination nach Anl. IX StrlSchV für Gegenstände, Kleidung und Wäsche außerhalb von betrieblichen Überwachungsbereichen"; Berichte des Forschungszentrums Jülich: Jül 2678, September 1992. In dieser Veröffentlichung werden auch Erläuterungen zum Vorgehen bei Radionuklidgemischen und Radionukliden aus Zerfallsreihen gegeben.
3. Auf der Basis der in dieser Veröffentlichung genannten, tatsächlich erreichbaren Werte für das Oberflächenansprechvermögen nach den Zerfallsschemata aus ICRP-Publication 38 (Radionuclide

Transformations – Energy and Intensity of Emissions) und der errechneten Werte für das mindestens erforderliche Ansprechvermögen unter den in 2. genannten Rahmenbedingungen wurde eine grobe nuklidspezifische Kategorisierung für die Eignung von Kontaminationsmessgeräten vorgenommen. Für eine Reihe besonders relevanter Radionuklide wurde das Oberflächenansprechvermögen unter Verwendung experimentell erhaltener Werte bei gebräuchlichen Hand-Fuß-Kontaminationsmessgeräten ermittelt. Die Angaben für einen Detektorabstand von 5 cm wurden durch Extrapolation anhand des Diagramms 1 gewonnen. In die Kategorie "möglicherweise geeignet" sind die Radionuklide aufgenommen, für die das tatsächlich erreichbare Oberflächenansprechvermögen vom mindestens erforderlichen Ansprechvermögen um nicht mehr als 50% abweicht. In solchen Fällen ist eine Einzelprüfung des entsprechenden Gerätes mit einem geeigneten Kalibrierstrahler erforderlich.

4. In der nachfolgenden Tabelle der Nuklide sind aufgelistet:

Spalte 1

Nuklid und Halbwertszeit  $T_{1/2}$

Spalte 2

Wert  $O_i$  der Oberflächenkontamination nach Anlage III Tab. 1 Spalte 4 StrlSchV bzw. für dort nicht aufgeführte Werte, kursiv und in Klammern gesetzt, pauschal 0,1 Bq/cm<sup>2</sup>, 1 Bq/cm<sup>2</sup> bzw. 100 Bq/cm<sup>2</sup> entsprechend den Erläuterungen zu Anlage III Tab. 1 Spalte 4. Bei der Einstufung wurden Emissionswahrscheinlichkeiten unter 1% (in Summe) für  $\beta^-$  bzw.  $\beta^+$  Teilchen mit Grenzenergien > 0,2 MeV und für  $\alpha$ -Teilchen vernachlässigt. Ebenfalls nicht berücksichtigt wurden Konversionselektronen mit Energien > 0,2 MeV. Die in der Tabelle in Klammern genannten Werte  $O_i$  der Oberflächenkontamination stellen daher keine Empfehlung dar. Sie dienen lediglich zur Veranschaulichung der Basis, auf der die Eignung des Gerätes ermittelt wurde. Entsprechend den Erläuterungen zu Anlage III Tab. 1 Spalte 4 StrlSchV können unter Umständen für Nuklide, für die in Anlage III Tab. 1 keine Werte  $O_i$  der Oberflächenkontamination angegeben sind und für die hier 0,1 Bq/cm<sup>2</sup> bzw. 1 Bq/cm<sup>2</sup> eingesetzt wurde, durch Einzelberechnung höhere Werte  $O_i$  als die hier angegebenen ermittelt werden.

Spalte 3

Mindestens erforderliches Oberflächenansprechvermögen  $S_{\min}(\alpha)$  für den Messmodus ( $\alpha$ ) und  $S_{\min}(\alpha+\beta)$  für den Messmodus ( $\alpha+\beta$ ) von festinstallierten Kontaminationsmessgeräten zum Nachweis von flächenbezogenen Aktivitäten in Höhe des Wertes  $O_i$  der Oberflächenkontamination nach Anlage III Tab. 1 Spalte 4 StrlSchV bzw. nach den Erläuterungen zu Anlage III Tab. 1 Spalte 4.

Spalte 4

Mindestens erforderliches Oberflächenansprechvermögen  $S_{\min}(\alpha)$  für den Messmodus ( $\alpha$ ) und  $S_{\min}(\alpha+\beta)$  für den Messmodus ( $\alpha+\beta$ ) von tragbaren Kontaminationsmessgeräten zum Nachweis von

flächenbezogenen Aktivitäten in Höhe des Wertes  $O_1$  der Oberflächenkontamination nach Anlage III Tab. 1 Spalte 4 StrlSchV bzw. nach den Erläuterungen zu Anlage III Tab. 1 Spalte 4.

Spalte 5

Eignung des Gerätes im Sinne dieser Empfehlung unter den vorstehend in 2. angegebenen Randbedingungen für Messungen zum Nachweis von flächenbezogenen Aktivitäten in Höhe des Wertes  $O_1$  der Oberflächenkontamination nach Anlage III Tab. 1 Spalte 4 StrlSchV bzw. der Pauschalwerte nach den Erläuterungen zu Anlage III. Tab. 1 Spalte 4. Die Angaben beziehen sich für festinstallierte Geräte auf Abstände von 0,5 und 5 cm des zu prüfenden Gegenstandes vom Detektor (wegen des stabilen Gitters erfolgen die Angaben für die bezüglich des Oberflächenansprechvermögens ungünstigen Schuh-Detektoren) und für tragbare Geräte auf einen maximalen Abstand von 1 cm zum Detektor (Detektorfolie).

5. Alle kursiv gesetzten Daten sind in der Anlage III Tab. 1 StrlSchV nicht aufgeführt.
6. Es sind nur Radionuklide mit Halbwertszeiten größer als 1 Stunde aufgeführt.

Da die Werte der Tabelle in Abhängigkeit vom Detektortyp Schwankungen bis zum Faktor 3 aufweisen, können dem Diagramm nur Anhaltswerte entnommen werden, ob der Detektorgeeignet sein könnte.

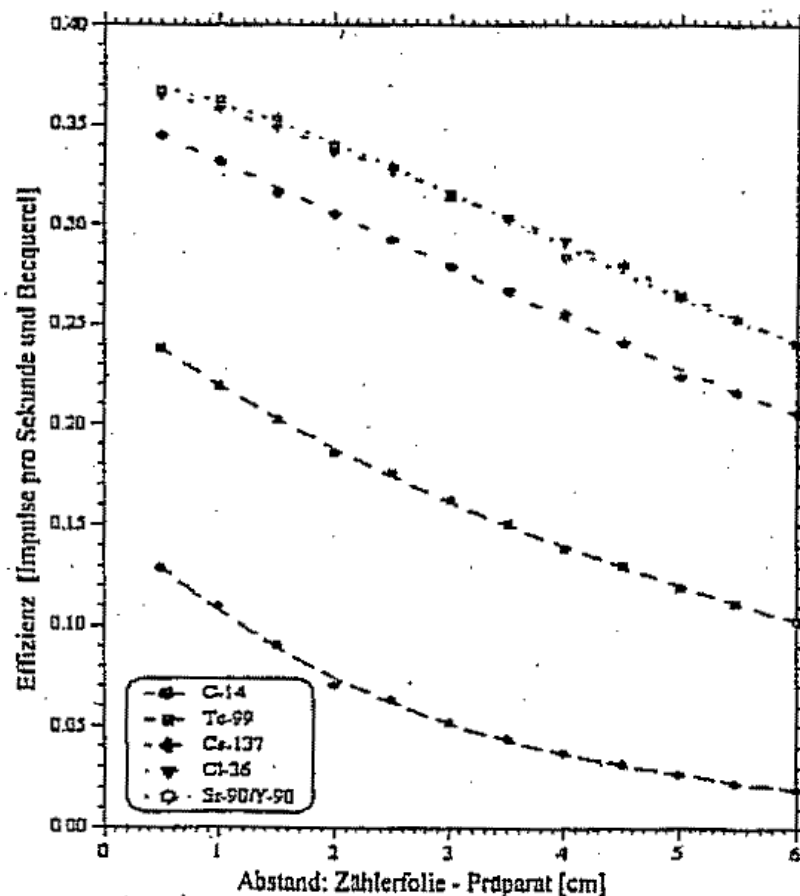


Diagramm 1: Abhängigkeit der Effizienz von Energie und Detektorabstand



**Tabelle der Radionuklide 1**

Radionuklid	T <sub>1/2</sub>	Wert nach Anlage III Tab. 1 Sp. 4 [Bq cm <sup>-2</sup> ]	festinstalliert S <sub>min</sub> (α) S <sub>min</sub> (α+β) [Bq <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> cm <sup>2</sup> ]	tragbar S <sub>min</sub> (α) S <sub>min</sub> (α+β) [Bq <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> cm <sup>2</sup> ]	Nachweisbarkeit des Wertes der Anlage III Tab. 1 Sp. 4 StrlSchV festinstalliert tragbar Detektorabstand		
					0,5 cm	5 cm	1 cm
1		2	3	4	5		
1 H 3	12,3 a	100	0,066	0,036	0	0	0
4 Be 7	53,3 d	100	0,066	0,036	0	0	0
4 Be 10	1,6E+8a	(1)	6,6	3,6	x	x	x
6 C 14	5,7E+3 a	100	0,066	0,036	x	#	x
9 F 18	109,7 m	1	6,6	3,6	x	x	x
11 Na 22	2,6 a	1	6,6	3,6	x	x	x
11 Na 24	15 h	1	6,6	3,6	x	x	x
12 Mg 28	20,9 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
13 Al 26	7,2E+5 a	(1)	6,6	3,6	x	x	x
14 Si 31	2,6 h	100	0,066	0,036	x	x	x
14 Si 32	101 a	(1)	6,6	3,6	#	0	x
15 P 32	14,3 d	100	0,066	0,036	x	x	x
15 P 33	25,3 d	100	0,066	0,036	x	x	x
16 S 35	87,5 d	100	0,066	0,036	x	#	x
17 Cl 36	3E+5 a	100	0,066	0,036	x	x	x
19 K 40	1,3E+9 a	10	0,66	0,36	x	x	x
19 K 42	12,4 h	10	0,66	0,36	x	x	x
19 K 43	22,2 h	1	6,6	3,6	x	x	x
20 Ca 41	1,0E+5 a	(100)	0,066	0,036	0	0	0
20 Ca 45	163 d	100	0,066	0,036	x	x	x
20 Ca 47+	4,5 d	1	6,6	3,6	x	x	x
21 Sc 43	3,9 h	(100)	0,066	0,036	x	x	x
21 Sc 44	2,4 d	(1)	6,6	3,6	x	x	x
21 Sc 44m	58,6 h	(1)	6,6	3,6	0	0	#
21 Sc 46	83,6 d	1	6,6	3,6	x	#	x
21 Sc 47	3,4 d	10	0,66	0,36	x	x	x
21 Sc 48	43,7 h	1	6,6	3,6	x	x	x

22 Ti 44+	47,3 a	(1)	6,6	3,6	0	0	#
22 Ti 45	3,1 h	(100)	0,066	0,036	x	x	x
23 V 48	16 d	1	6,6	3,6	x	#	x
23 V 49	330 d	(100)	0,066	0,036	0	0	#
24 Cr 48	21,6 h	(1)	6,6	3,6	0	0	0
24 Cr 51	27,7 d	100	0,066	0,036	x	0	x
25 Mn 52	5,6 d	(1)	6,6	3,6	#	#	x
25 Mn 53	3,7E+5 a	100	0,066	0,036	x	0	x
25 Mn 54	312,2 d	1	6,6	3,6	0	0	0
25 Mn 56	2,6 h	1	6,6	3,6	x	x	x
26 Fe 52	8,3 h	100	0,066	0,036	x	#	x
26 Fe 55	2,7 a	100	0,066	0,036	x	0	x
26 Fe 59	45,1 d	1	6,6	3,6	x	#	x

Spalte 1: Ein + bedeutet: unter Berücksichtigung der Folgeprodukte

Spalte 2: *Kursive Zahlen in Klammern bedeuten*, dass in der Anlage III Tab. 1 Spalte 4 StrlSchV kein Wert angegeben ist und entsprechend den Erläuterungen zu Anlage III Tab. 1 Spalte 4 eingesetzt wurde

Spalte 5: x bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen geeignet im Sinne dieser Empfehlung

# bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen möglicherweise geeignet, d.h. dass im Einzelfall geprüft wird, ob das jeweilige Gerät geeignet ist

0 bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen ungeeignet

Tabelle der Radionuklide 2

26 Fe 60+	1,0E+5 a	(1)	6,6	3,6	#	0	x
27 Co 55	17,5 h	1	6,6	3,6	x	x	x
27 Co 56	78,8 d	1	6,6	3,6	#	0	x
27 Co 57	271,3 d	10	0,66	0,36	#	0	x
27 Co 58	70,8 d	1	6,6	3,6	#	0	x
27 Co 58m	8,9 h	100	0,066	0,036	x	0	x
27 Co 60	5,3 a	1	6,6	3,6	x	#	x
27 Co 61	1,7 h	10	0,66	0,36	x	x	x
28 Ni 56	6,1 d	(1)	6,6	3,6	0	0	0
28 Ni 57	36,1 h	(1)	6,6	3,6	#	#	x
28 Ni 59	7,5E+4 a	100	0,066	0,036	x	0	x
28 Ni 63	100 a	100	0,066	0,036	x	0	x
28 Ni 65	2,5 h	10	0,66	0,36	x	x	x

28 Ni 66	54,6 h	(1)	6,6	3,6	#	0	x
29 Cu 61	3,4 h	(1)	6,6	3,6	x	#	x
29 Cu 64	12,7 h	10	0,66	0,36	x	x	x
29 Cu 67	61,9 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
30 Zn 62	9,1 h	(1)	6,6	3,6	0	0	#
30 Zn 65	244 d	1	6,6	3,6	0	0	0
30 Zn 69m+	13,8 h	10	0,66	0,36	x	0	x
30 Zn 71m	3,9 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
30 Zn 72	46,5 h	(1)	6,6	3,6	x	#	x
31 Ga 66	9,4 h	(1)	6,6	3,6	x	#	x
31 Ga 67	78,3 h	(1)	6,6	3,6	0	0	#
31 Ga 68	68,3 m	(1)	6,6	3,6	x	x	x
31 Ga 72	14,1 h	1	6,6	3,6	x	x	x
31 Ga 73	4,9 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
32 Ge 66	2,3 h	(1)	6,6	3,6	#	0	x
32 Ge 68	288 d	(1)	6,6	3,6	0	0	0
32 Ge 69	39 h	(1)	6,6	3,6	#	#	x
32 Ge 71	11,2 d	100	0,066	0,036	x	0	x
32 Ge 75	83 m	(1)	6,6	3,6	x	x	x
32 Ge 77	11,3 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
32 Ge 78	87 m	(1)	6,6	3,6	x	x	x
33 As 71	64 h	(1)	6,6	3,66	#	0	x
33 As 72	26 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
33 As 73	80,3 d	100	0,066	0,036	x	0	x
33 As 74	17,8 d	1	6,6	3,6	x	#	x
33 As 76	26,4 h	10	0,66	0,36	x	x	x

Spalte 1: Ein + bedeutet: unter Berücksichtigung der Folgeprodukte

Spalte 2: *Kursive Zahlen in Klammern bedeuten*, dass in der Anlage III Tab. 1 Spalte 4 StrlSchV kein Wert angegeben ist und entsprechend den Erläuterungen zu Anlage III Tab. 1 Spalte 4 eingesetzt wurde

Spalte 5: x bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen geeignet im Sinne dieser Empfehlung

# bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen möglicherweise geeignet, d.h. dass im Einzelfall geprüft wird, ob das jeweilige Gerät geeignet ist

0 bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen ungeeignet

33 As 77	38,8 h	100	0,066	0,036	x	x	x
33 As 78	1,5 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
34 Se 73	7,1 h	(1)	6,6	3,6	x	#	x
34 Se 75	120 d	10	0,66	0,36	#	0	x
34 Se 79	0,5E+4 a	(1)	6,6	3,6	#	0	x
35 Br 75	1,6 h	(1)	6,6	3,6	x	#	x
35 Br 76	16 h	(1)	6,6	3,6	x	#	x
35 Br 77	57 h	(100)	0,066	0,36	x	0	x
35 Br 80m	4,4 h	(1)	6,6	3,6	0	0	0
35 Br 82	35,3 h	1	6,6	3,6	x	#	x
35 Br 83	2,4 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
37 Rb 81	4,6 h	(1)	6,6	3,6	x	#	x
37 Rb 82 m	6,3 h	(1)	6,6	3,6	#	0	x
37 Rb 83+	86,2 d	(1)	6,6	3,6	0	0	0
37 Rb 84	32,8 d	(1)	6,6	3,6	#	0	x
37 Rb 86	18,7 d	10	0,66	0,36	x	x	x
37 Rb 87	4,8E+10 a	(1)	6,6	3,6	x	#	x
38 Sr 80	1,8 h	(1)	6,6	3,6	0	0	0
38 Sr 82	25,5 d	(1)	6,6	3,6	0	0	0
38 Sr 83	32,4 h	(1)	6,6	3,6	#	0	x
38 Sr 85	64,9 d	1	6,6	3,6	0	0	0
38 Sr 85m	67,7 m	10	0,66	0,36	#	0	x
38 Sr 87m	2,8 h	10	0,66	0,36	x	0	x
38 Sr 89	50,5 d	100	0,066	0,036	x	x	x
38 Sr 90+	28,5 a	10	0,66	0,36	x	x	x
38 Sr 91	9,5 h	1	6,6	3,6	x	x	x
38 Sr 92	2,7 h	1	6,6	3,6	x	x	x
39 Y 86	14,7 h	(1)	6,6	3,6	#	0	x
39 Y 87+	80,3 h	(1)	6,6	3,6	0	0	0
39 Y 88	106,6 d	(1)	6,6	3,6	0	0	0
39 Y 90	64,1 h	100	0,066	0,036	x	x	x
39 Y 91	58,5 d	100	0,066	0,036	x	x	x
39 Y 92	3,5 h	10	0,66	0,36	x	x	x
39 Y 93	10,1 h	10	0,66	0,36	x	x	x
40 Zr 86	16,5 h	(1)	6,6	3,6	0	0	0
40 Zr 88	83,4 d	(1)	6,6	3,6	0	0	0
40 Zr 89	78,4 h	(1)	6,6	3,6	#	0	x

40 Zr 93+	1,5E+06 a	100	0,066	0,036	x	0	x
-----------	-----------	-----	-------	-------	---	---	---

Spalte 1: Ein + bedeutet: unter Berücksichtigung der Folgeprodukte

Spalte 2: *Kursive Zahlen in Klammern bedeuten*, dass in der Anlage III Tab. 1 Spalte 4 StrlSchV kein Wert angegeben ist und entsprechend den Erläuterungen zu Anlage III Tab. 1 Spalte 4 eingesetzt wurde

Spalte 5: x bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen geeignet im Sinne dieser Empfehlung

# bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen möglicherweise geeignet, d.h. dass im Einzelfall geprüft wird, ob das jeweilige Gerät geeignet ist

0 bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen ungeeignet

Tabelle der Radionuklide 4

40 Zr 95	64 d	1	6,6	3,6	x	#	x
40 Zr 97+	16,8 h	1	6,6	3,6	x	x	x
41 Nb 89	2 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
41 Nb 90	14,6 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
41 Nb 93m	16,1 a	100	0,066	0,036	0	0	#
41 Nb 94	2E+4 a	1	6,6	3,6	x	x	x
41 Nb 95	35 d	1	6,6	3,6	#	0	x
41 Nb 96	23,4 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
41 Nb 97	74 m	1	6,6	3,6	x	x	x
42 Mo 90	5,7 h	1	6,6	3,6	x	#	x
42 Mo 93	3,5E+3 a	100	0,066	0,036	0	0	x
42 Mo 99	66 h	10	0,66	0,36	x	x	x
43 Tc 93	2,7 h	(1)	6,6	3,6	0	0	0
43 Tc 94	4,9 h	(1)	6,6	3,6	#	0	x
43 Tc 95	20 h	(100)	0,066	0,036	x	#	x
43 Tc 95m+	60 d	(1)	6,6	3,6	0	0	0
43 Tc 96	4,3 d	1	6,6	3,6	0	0	0
43 Tc 97	4E+6 a	100	0,066	0,036	0	0	#
43 Tc 97m	92,2 d	100	0,066	0,036	x	x	x
43 Tc 98	4,2E+6 a	(1)	6,6	3,6	x	x	x
43 Tc 99	2,1 E+5 a	100	0,066	0,036	x	x	x
43 Tc 99m	6 h	10	0,66	0,36	x	#	x
44 Ru 97	2,9 d	10	0,66	0,36	#	0	x
44 Ru 103+	39,3 d	10	0,66	0,36	x	x	x
44 Ru 105	4,4 h	1	6,6	3,6	x	x	x

44 Ru 106+	373,6 d	10	0,66	0,36	x	x	x
45 Rh 99	16 d	(1)	6,6	3,6	0	0	#
45 Rh 99m	4,7 h	(1)	6,6	3,6	0	0	#
45 Rh 100	20,8 h	(1)	6,6	3,6	0	0	#
45 Rh 101	3,3 a	(1)	6,6	3,6	0	0	#
45 Rh 101m	4,4 d	(1)	6,6	3,6	0	0	#
45 Rh 102	2,9 a	(100)	0,066	0,036	x	#	x
45 Rh 102m	206 d	(1)	6,6	3,6	#	0	x
45 Rh 105	35 h	10	0,66	0,36	x	x	x
45 Rh 106m	2,2 h	(1)	0,66	0,36	x	x	x
46 Pd 100	3,7 d	(1)	6,6	3,6	0	0	#

Spalte 1: Ein + bedeutet: unter Berücksichtigung der Folgeprodukte

Spalte 2: *Kursive Zahlen in Klammern bedeuten*, dass in der Anlage III Tab. 1 Spalte 4 StrlSchV kein Wert angegeben ist und entsprechend den Erläuterungen zu Anlage III Tab. 1 Spalte 4 eingesetzt wurde

Spalte 5: x bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen geeignet im Sinne dieser Empfehlung

# bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen möglicherweise geeignet, d.h. dass im Einzelfall geprüft wird, ob das jeweilige Gerät geeignet ist

0 bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen ungeeignet

Tabelle der Radionuklide 5

46 Pd 101	8,5 h	(1)	6,6	3,6	0	0	#
46 Pd 103+	17 d	100	0,066	0,036	0	0	x
46 Pd 107	6,5E+6 a	(100)	0,066	0,036	0	0	0
46 Pd 109	13,4 h	100	0,066	0,036	x	x	x
47 Ag 103	1,1 h	(1)	6,6	3,6	#	#	x
47 Ag 104	69,2 m	(100)	0,066	0,036	x	#	x
47 Ag 105	41,3 d	1	6,6	3,6	0	0	0
47 Ag 106m	6,3 d	(1)	6,6	3,6	0	0	#
47 Ag 108m+	418 a	1	3,6	3,6	0	0	#
47 Ag 110m+	249,9 d	1	6,6	3,6	#	0	x
47 Ag 111	7,5 d	100	0,066	0,036	x	x	x
47 Ag 112	3,1 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
48 Cd 107	6,5 h	(1)	6,6	3,6	#	0	x
48 Cd 109+	453 d	100	0,066	0,036	x	x	x
48 Cd 113	9E+15 a	(100)	0,066	0,036	x	x	x

48 Cd 113m	14,6 a	(1)	6,6	3,6	x	x	x
48 Cd 115	53,4 h	10	0,66	0,36	x	x	x
48 Cd 115m+	44,8 d	(1)	6,6	3,6	x	x	x
48 Cd 117	2,4 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
48 Cd 117m	3,3 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
49 In 109	4,2 h	(1)	6,6	3,6	0	0	#
49 In 110	69,1 m	(1)	6,6	3,6	x	x	x
49 In 111	2,8 d	10	0,66	0,36	x	0	x
49 In 113m	99,5 m	10	0,66	0,36	x	x	x
49 In 114m+	49,5 d	10	0,66	0,36	x	x	x
49 In 115	5E+15 a	(1)	6,6	3,6	x	x	x
49 In 115m	4,5 h	10	0,66	0,36	x	x	x
49 In 117m	1,9 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
50 Sn 110	4 h	(1)	6,6	3,6	0	0	0
50 Sn 113+	115,1 d	10	0,66	0,36	0	0	0
50 Sn 117m	13,6 d	(1)	6,6	3,6	x	#	x
50 Sn 119m	203 d	(1)	6,6	3,6	#	0	x
50 Sn 121	27 h	(1)	6,6	3,6	x	#	x
50 Sn 121m+	50 a	(1)	6,6	3,6	0	0	#
50 Sn 123	129,2 d	(1)	6,6	3,6	x	x	x
50 Sn 125	9,6 d	10	0,66	0,36	x	x	x
50 Sn 126+	1E+5 a	(1)	6,6	3,6	x	#	x
50 Sn 127	2,1 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x

Spalte 1: Ein + bedeutet: unter Berücksichtigung der Folgeprodukte

Spalte 2: *Kursive Zahlen in Klammern bedeuten*, dass in der Anlage III Tab. 1 Spalte 4 StrlSchV kein Wert angegeben ist und entsprechend den Erläuterungen zu Anlage III Tab. 1 Spalte 4 eingesetzt wurde

Spalte 5: x bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen geeignet im Sinne dieser Empfehlung

# bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen möglicherweise geeignet, d.h. dass im Einzelfall geprüft wird, ob das jeweilige Gerät geeignet ist

0 bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen ungeeignet

Tabelle der Radionuklide 6

51 Sb 116m	60 m	(1)	6,6	3,6	#	0	x
51 Sb 117	2,8 h	(1)	6,6	3,6	0	0	#
51 Sb 118m	5 h	(1)	6,6	3,6	0	0	#

51 Sb 119	38,5 h	(100)	0,066	0,036	#	0	x
51 Sb 120m	5,8 d	(1)	6,6	3,6	#	0	x
51 Sb 122	2,7 d	10	0,66	0,36	x	x	x
51 Sb 124	60,3 d	1	6,6	3,6	x	x	x
51 Sb 125+	2,8 a	10	0,66	0,36	x	x	x
51 Sb 126	12,4 d	(1)	6,6	3,6	x	x	x
51 Sb 127	3,9 d	(1)	6,6	3,6	x	x	x
51 Sb 128m	9 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
51 Sb 129	4,3 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
52 Te 116	2,5 h	(1)	6,6	3,6	#	0	x
52 Te 121	16,8 d	(1)	6,6	3,6	0	0	0
52 Te 121m	154 d	(100)	0,066	0,036	x	x	x
52 Te 123	1,2E+13 a	(100)	0,066	0,036	0	0	x
52 Te 123m	119,7 d	10	0,66	0,36	x	0	x
52 Te 125m	57,4 d	100	0,066	0,036	x	x	x
52 Te 127	9,4 h	100	0,066	0,036	x	x	x
52 Te 127m+	109 d	100	0,066	0,036	x	x	x
52 Te 129	69,6 m	10	0,66	0,36	x	x	x
52 Te 129m+	33,6 d	10	0,66	0,36	x	x	x
52 Te 131m+	30 h	1	6,6	3,6	x	x	x
52 Te 132	78,3 h	1	6,6	3,6	x	0	x
53 I 120	1,4 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
53 I 121	2,1 h	(1)	6,6	3,6	#	0	x
53 I 123	13,2 h	10	0,66	0,36	x	0	x
53 I 124	4,2 d	(1)	6,6	3,6	#	0	x
53 I 125	59,4 d	10	0,66	0,36	0	0	#
53 I 126	13 d	10	0,66	0,36	x	x	x
53 I 129	1,6E+7 a	1	6,6	3,6	#	0	x
53 I 130	12,4 h	1	6,6	3,6	x	x	x
53 I 131	8 d	10	0,66	3,6	x	x	x
53 I 132	2,3 h	1	6,6	3,6	x	x	x
53 I 132m	83,6 m	(1)	6,6	3,6	#	0	x
53 I 133+	20,8 h	10	6,6	3,6	x	x	x
53 I 135	6,6 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
55 Cs 127	6,3 h	(100)	0,066	0,036	x	#	x
55 Cs 129	32,1 h	10	0,66	0,36	#	0	x



- Spalte 1: Ein + bedeutet: unter Berücksichtigung der Folgeprodukte  
 Spalte 2: *Kursive Zahlen in Klammern bedeuten*, dass in der Anlage III Tab. 1 Spalte 4 StrlSchV kein Wert angegeben ist und entsprechend den Erläuterungen zu Anlage III Tab. 1 Spalte 4 eingesetzt wurde  
 Spalte 5: x bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen geeignet im Sinne dieser Empfehlung  
 # bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen möglicherweise geeignet, d.h. dass im Einzelfall geprüft wird, ob das jeweilige Gerät geeignet ist  
 0 bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen ungeeignet

Tabelle der Radionuklide 7

55 Cs 131	10 d	100	0,066	0,036	0	0	x
55 Cs 132	6,5 d	1	6,6	3,6	0	0	0
55 Cs 134	2,1 a	1	6,6	3,6	x	x	x
55 Cs 134m	2,9 h	100	0,066	0,036	x	x	x
55 Cs 135	2E+6 a	100	0,066	0,036	x	#	x
55 Cs 136	13,2 d	1	6,6	3,6	x	#	x
55 Cs 137+	30,2 a	1	6,6	3,6	x	x	x
56 Ba 126	100 m	(100)	0,066	0,36	x	0	x
56 Ba 128	2,4 d	(100)	0,066	0,036	x	0	x
56 Ba 131+	11,5 d	10	0,66	0,36	x	0	x
56 Ba 133	10,5 a	1	6,6	3,6	0	0	#
56 Ba 133m	38,9 h	(1)	6,6	3,6	x	#	x
56 Ba 135m	28,7 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
56 Ba 139	83,1 m	(1)	6,6	3,6	x	x	x
56 Ba 140+	12,8 d	1	6,6	3,6	x	x	x
57 La 132	4,8 h	(1)	6,6	3,6	#	0	x
57 La 135	19,4 h	(100)	0,066	0,036	#	0	x
57 La 137	6E+4 a	(100)	0,066	0,036	#	0	x
57 La 138	1,4E+11 a	(1)	6,6	3,6	#	0	x
57 La 140	40,3 h	1	6,6	3,6	x	x	x
57 La 141	3,9 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
57 La 142	92,5 m	(1)	6,6	3,6	x	x	x
58 Ce 134	75,9 h	(100)	0,066	0,036	#	0	x
58 Ce 135	17,8 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
58 Ce 137	9 h	(100)	0,066	0,036	#	0	x
58 Ce 137m	34,4 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
58 Ce 139	137,6 d	10	0,66	0,36	x	0	x

58 Ce 141	32,5 d	10	0,66	0,36	x	x	x
58 Ce 143	33 h	10	0,66	0,36	x	x	x
58 Ce 144+	284,8 d	100	0,066	0,036	x	x	x
59 Pr 137	76,6 m	(1)	6,6	3,6	#	0	x
59 Pr 138m	2 h	(1)	6,6	3,6	#	0	x
59 Pr 139	4,5 h	(1)	6,6	3,6	0	0	#
59 Pr 142	19,1 h	100	0,066	0,036	x	x	x
59 Pr 143	13,6 d	100	0,066	0,036	x	x	x
59 Pr 145	6 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
60 Nd 139m	5,5 h	(1)	6,6	3,6	#	0	x
60 Nd 141	2,5 h	(1)	6,6	3,6	0	0	0

Spalte 1: Ein + bedeutet: unter Berücksichtigung der Folgeprodukte

Spalte 2: *Kursive Zahlen in Klammern bedeuten*, dass in der Anlage III Tab. 1 Spalte 4 StrlSchV kein Wert angegeben ist und entsprechend den Erläuterungen zu Anlage III Tab. 1 Spalte 4 eingesetzt wurde

Spalte 5: x bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen geeignet im Sinne dieser Empfehlung

# bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen möglicherweise geeignet, d.h. dass im Einzelfall geprüft wird, ob das jeweilige Gerät geeignet ist

0 bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen ungeeignet

Tabelle der Radionuklide 8

60 Nd 147	11 d	10	0,66	0,36	x	x	x
60 Nd 149	1,7 h	10	0,66	0,36	x	x	x
61 Pm 143	265 d	(1)	6,6	3,6	0	0	0
61 Pm 144	1 a	(1)	6,6	3,6	0	0	0
61 Pm 145	17,7 a	(1)	6,6	3,6	0	0	0
61 Pm 146	5,5 a	(1)	6,6	3,6	#	0	x
61 Pm 147	2,6 a	100	0,066	0,036	x	x	x
61 Pm 148	5,4 d	(1)	6,6	3,6	x	x	x
61 Pm 148m+	41,3 d	(1)	6,6	3,6	x	x	x
61 Pm 149	53,1 h	100	0,066	0,036	x	x	x
61 Pm 150	2,7 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
61 Pm 151	28 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
62 Sm 142	72,4 m	(1)	6,6	3,6	0	0	#
62 Sm 145	340 d	(100)	0,066	0,036	x	0	x
62 Sm 146	1E+8 a	(0,1)	4,7	66	2,5	36	0 <sup>1)</sup>

62 Sm 147	1E+11 a	(0,1)	4,7	66	2,5	36	0	0	0 <sup>1)</sup>
62 Sm 151	93 a	100		0,066		0,036	x	#	x
62 Sm 153	46,8 h	10		0,66		0,36	x	x	x
62 Sm 156	9,4 h	(1)		6,6		3,6	x	x	x
63 Eu 145	5,9 d	(1)		6,6		3,6	0	0	0
63 Eu 146	4,5 d	(1)		6,6		3,6	0	0	#
63 Eu 147	24,6 d	(100)		0,066		0,036	x	#	x
63 Eu 148	55,6 d	(1)		6,6		3,6	0	0	#
63 Eu 149	93,1 d	(1)		6,6		3,6	0	0	0
63 Eu 150	35,8 a	(1)		6,6		3,6	0	0	#
63 Eu 152	13,3 a	1		6,6		3,6	#	0	x
63 Eu 152m	9,32 h	10		0,66		0,36	x	x	x
63 Eu 154	8,8 a	1		6,6		3,6	x	x	x
63 Eu 155	4,8 a	10		0,66		0,36	x	#	x
63 Eu 156	15,2 d	(1)		6,6		3,6	x	x	x
63 Eu 157	15,2 h	(1)		6,6		3,6	x	x	x
64 Gd 146+	48,3 d	(100)		0,066		0,036	x	x	x
64 Gd 147	38,1 h	(1)		6,6		3,6	#	0	x
64 Gd 148	90 a	(0,1)	4,7	66	2,5	36	0	0	0 <sup>1)</sup>
64 Gd 149	9,5 d	(1)		6,6		3,6	#	0	x
64 Gd 151	120 d	(1)		6,6		3,6	0	0	#
64 Gd 152	1,1E+14 a	(0,1)	4,7	66	2,5	36	0	0	0 <sup>1)</sup>
64 Gd 153	239,5 d	10		0,66		0,36	#	0	x

Spalte 1: Ein + bedeutet: unter Berücksichtigung der Folgeprodukte

Spalte 2: *Kursive Zahlen in Klammern bedeuten*, dass in der Anlage III Tab. 1 Spalte 4 StrlSchV kein Wert angegeben ist und entsprechend den Erläuterungen zu Anlage III Tab. 1 Spalte 4 eingesetzt wurde

Spalte 5: x bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen geeignet im Sinne dieser Empfehlung

# bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen möglicherweise geeignet, d.h. dass im Einzelfall geprüft wird, ob das jeweilige Gerät geeignet ist

0 bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen ungeeignet

<sup>1)</sup> bei  $\alpha$ -Strahlern: die Symbole für "Eignung" gelten ohne Zusatz sowohl für  $\alpha$  als auch  $\alpha+\beta$  Modus, mit Zusatz " $\alpha$ " nur für den  $\alpha$ -Modus, mit Zusatz " $\beta$ " nur für den  $\alpha+\beta$  Modus

Tabelle der Radionuklide 9

64 Gd 159	18,5 h	100		0,066		0,036	x	x	x
-----------	--------	-----	--	-------	--	-------	---	---	---

65 Tb 147	1,65 h	(100)	0,066	0,036	x	x	x
65 Tb 149	4,1 h	(1)	6,6	3,6	#	0	x
65 Tb 150	3,7 h	10	0,66	0,36	x	#	x
65 Tb 151	17,6 h	(1)	6,6	3,6	#	0	x
65 Tb 153	2,3 d	(100)	0,066	0,036	x	0	x
65 Tb 154	21 h	(100)	0,066	0,036	x	#	x
65 Tb 155	5,3 d	(100)	0,066	0,036	x	0	x
65 Tb 156	5,4 d	(100)	0,066	0,0367	x	x	x
65 Tb 156m	5,4 h	(100)	0,066	0,036	x	x	x
65 Tb 157	150 a	(100)	0,066	0,036	#	0	x
65 Tb 158	150 a	(1)	6,6	3,6	#	0	x
65 Tb 160	72,1 d	1	6,6	3,6	x	x	x
65 Tb 161	6,9 d	(1)	6,6	3,6	x	x	x
66 Dy 155	10 h	(1)	6,6	3,6	0	0	0
66 Dy 157	8,1 h	(100)	0,066	0,036	x	0	x
66 Dy 159	144,4 d	(1)	6,6	36	0	0	0
66 Dy 165	2,4 h	100	0,066	0,036	x	x	x
66 Dy 166+	81,5 h	10	0,66	0,36	x	x	x
67 Ho 161	2,5 h	(100)	0,066	0,036	x	0	x
67 Ho 162m	68 m	(100)	0,066	0,036	x	#	x
67 Ho 166	26,8 h	100	0,066	0,036	x	x	x
67 Ho 166m	1,2E+3 a	(100)	0,066	0,036	x	x	x
67 Ho 167	3,1 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
68 Er 161	3,2 h	(1)	6,6	3,6	0	0	#
68 Er 165	10,36 h	(100)	0,066	0,036	#	0	x
68 Er 169	9,4 d	100	0,066	0,036	x	x	x
68 Er 171	7,5 h	10	0,66	0,36	x	x	x
68 Er 172	49 h	(1)	6,6	3,6	x	#	x
69 Tm 166	7,7 h	(1)	6,6	3,6	#	0	x
69 Tm 167	9,3 d	(100)	0,066	0,036	x	#	x
69 Tm 170	128,6 d	100	0,066	0,036	x	x	x
69 Tm 171	1,9 a	100	0,066	0,036	x	#	x
69 Tm 172	63,6 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
69 Tm 173	8,2 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
70 Yb 168	56,7 h	(100)	0,066	0,036	x	0	x
70 Yb 169	32 d	(100)	0,066	0,036	x	#	x
70 Yb 175	4,2 d	100	0,066	0,036	x	x	x

- Spalte 1: Ein + bedeutet: unter Berücksichtigung der Folgeprodukte  
 Spalte 2: *Kursive Zahlen in Klammern bedeuten*, dass in der Anlage III Tab. 1 Spalte 4 StrlSchV kein Wert angegeben ist und entsprechend den Erläuterungen zu Anlage III Tab. 1 Spalte 4 eingesetzt wurde  
 Spalte 5: x bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen geeignet im Sinne dieser Empfehlung  
 # bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen möglicherweise geeignet, d.h. dass im Einzelfall geprüft wird, ob das jeweilige Gerät geeignet ist  
 0 bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen ungeeignet

Tabelle der Radionuklide 10

70 Yb 177	1,9 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
70 Yb 178	74 m	(1)	6,6	3,6	x	x	x
71 Lu 169	1,4 d	(1)	6,6	3,6	0	0	#
71 Lu 170	2 d	(100)	0,066	0,036	x	#	x
71 Lu 171	8,2 d	(100)	0,066	0,036	x	#	x
71 Lu 172	6,7 d	(100)	0,066	0,036	x	x	x
71 Lu 173	1,4 a	(100)	0,066	0,036	x	0	x
71 Lu 174	3,3 a	(100)	0,066	0,036	x	#	x
71 Lu 174m	142 d	(100)	0,066	0,036	x	0	x
71 Lu 176	3,6E+10 a	(1)	6,6	3,6	x	x	x
71 Lu 176m	3,7 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
71 Lu 177	6,7 d	(1)	6,6	3,6	x	x	x
71 Lu 177m	160,1 d	(1)	6,6	3,6	x	x	x
71 Lu 179	4,6 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
72 Hf 170	16 h	(100)	0,066	0,036	x	0	x
72 Hf 172+	1,9 a	(100)	0,066	0,036	x	#	x
72 Hf 173	23,6 h	(100)	0,066	0,036	x	#	x
72 Hf 175	70 d	(1)	6,6	3,6	0	0	#
72 Hf 178m	31 a	(100)	0,066	0,036	x	x	x
72 Hf 179m	25 d	(100)	0,066	0,036	x	x	x
72 Hf 180m	5,5 h	(1)	6,6	3,6	#	0	x
72 Hf 181	42,4 d	1	6,6	3,6	x	x	x
72 Hf 182	9E+6 a	(1)	6,6	3,6	x	#	x
72 Hf 182m	61,5 m	(1)	6,6	3,6	x	#	x
72 Hf 183	64 m	(1)	6,6	3,6	x	x	x
72 Hf 184	4,1 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x

73 Ta 173	3,6 h	(100)	0,066	0,036	x	x	x
73 Ta 174	1 h	(100)	0,066	0,036	x	x	x
73 Ta 175	10,5 h	(100)	0,066	0,036	x	#	x
73 Ta 176	8,1 h	(100)	0,066	0,036	x	x	x
73 Ta 177	56,6 h	(100)	0,066	0,036	x	#	x
73 Ta 178	2,5 h	(1)	6,6	3,6	x	0	x
73 Ta 179	665 d	(100)	0,066	0,036	x	0	x
73 Ta 180	1E+13 a	(1)	6,6	3,6	#	#	x
73 Ta 180m	8,2 h	(1)	6,6	3,6	#	0	x
73 Ta 182	114,4 d	1	6,6	3,6	x	#	x
73 Ta 183	5 d	(1)	6,6	3,66	x	x	x
73 Ta 184	8,7 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
74 W 176	2,5 h	(1)	6,6	3,6	0	0	#

Spalte 1: Ein + bedeutet: unter Berücksichtigung der Folgeprodukte

Spalte 2: *Kursive Zahlen in Klammern bedeuten*, dass in der Anlage III Tab. 1 Spalte 4 StrlSchV kein Wert angegeben ist und entsprechend den Erläuterungen zu Anlage III Tab. 1 Spalte 4 eingesetzt wurde

Spalte 5: x bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen geeignet im Sinne dieser Empfehlung

# bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen möglicherweise geeignet, d.h. dass im Einzelfall geprüft wird, ob das jeweilige Gerät geeignet ist

0 bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen ungeeignet

Tabelle der Radionuklide 11

74 W 177	2,3 h	(100)	0,066	0,036	x	#	x
74 W 178+	22 d	(100)	0,066	0,036	x	0	x
74 W 181	121,2 d	100	0,066	0,036	x	0	x
74 W 185	75,1 d	100	0,066	0,036	x	x	x
74 W 187	23,8 h	10	0,66	0,36	x	x	x
74 W 188+	69 d	(1)	6,6	3,6	x	#	x
75 Re 181	20 h	(1)	6,6	3,6	#	0	x
75 Re 182m <sub>1</sub>	12,7 h	(1)	6,6	3,6	#	0	x
75 Re 182m <sub>2</sub>	64 h	(100)	0,066	0,036	x	x	x
75 Re 184	38 d	(100)	0,066	0,036	x	#	x
75 Re 184m	165 d	(100)	0,066	0,036	x	x	x
75 Re 185	90,6 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
75 Re 185m	2E+5 a	(100)	0,066	0,036	x	0	x

75 Re 187	5E+10 a	(100)	0,066	0,036	0	0	0
75 Re 188	17 h	10	0,66	0,36	x	x	x
75 Re 189+	24,3 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
76 Os 181	1,8 h	(100)	0,066	0,036	x	x	x
76 Os 182	22,1 h	(1)	6,6	3,6	0	0	#
76 Os 185	94 d	1	6,6	3,6	0	0	0
76 Os 189m	6 h	(1)	6,6	3,6	0	0	0
76 Os 191	15,4 d	10	0,66	0,36	x	#	x
76 Os 191m	13,1 h	100	0,066	0,036	x	#	x
76 Os 193	30 h	10	0,66	0,36	x	x	x
76 Os 194	5 a	1	6,6	3,6	0	0	0
76 Os 194+	6 a	1	6,6	3,6	x	x	x
77 Ir 184	3 h	(100)	0,066	0,036	x	x	x
77 Ir 185	14 h	(100)	0,066	0,036	x	#	x
77 Ir 186	15,8 h	(1)	6,6	3,6	#	0	x
77 Ir 187	10,5 h	(100)	0,066	0,036	x	#	x
77 Ir 188	41,5 h	(1)	6,6	3,6	#	0	x
77 Ir 189+	13,3 d	(1)	6,6	3,6	0	0	0
77 Ir 190	12,1 d	1	6,6	3,6	#	#	x
77 Ir 190m <sub>1</sub>	1,2 h	(1)	6,6	3,6	0	0	0
77 Ir 190m <sub>2</sub>	3,1 h	(100)	0,066	0,036	x	x	x
77 Ir 192	74 d	1	6,6	3,6	x	x	x
77 Ir 192m	241 a	(1)	6,6	3,6	0	0	0
77 Ir 194	19,5 h	10	0,66	0,36	x	x	x
77 Ir 194m	171 d	(1)	6,6	3,6	x	x	x
77 Ir 195	2,5 h	(100)	0,066	0,036	x	x	x

Spalte 1: Ein + bedeutet: unter Berücksichtigung der Folgeprodukte

Spalte 2: *Kursive Zahlen in Klammern bedeuten*, dass in der Anlage III Tab. 1 Spalte 4 StrlSchV kein Wert angegeben ist und entsprechend den Erläuterungen zu Anlage III Tab. 1 Spalte 4 eingesetzt wurde

Spalte 5: x bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen geeignet im Sinne dieser Empfehlung

# bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen möglicherweise geeignet, d.h. dass im Einzelfall geprüft wird, ob das jeweilige Gerät geeignet ist

0 bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen ungeeignet

77 Ir 195m	3,8 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
78 Pt 186	2 h	(100)	0,066	0,036	x	0	x
78 Pt 188+	10,2 d	(1)	6,6	3,6	#	0	x
78 Pt 189	11 h	(1)	6,6	3,6	0	0	#
78 Pt 191	2,8 d	10	0,66	0,36	x	#	x
78 Pt 193	50 a	(100)	0,066	0,036	#	0	x
78 Pt 193m	4,3 d	100	0,066	0,036	x	x	x
78 Pt 195m	4 d	(100)	0,066	0,036	x	x	x
78 Pt 197	18,3 h	100	0,066	0,036	x	x	x
78 Pt 197m	94,4 m	10	0,66	0,36	x	x	x
78 Pt 200	12,5 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
79 Au 193	17,7 h	(100)	0,066	0,036	x	#	x
79 Au 194	39,5 h	(1)	6,6	3,6	0	0	#
79 Au 195	183 d	(100)	0,066	0,036	x	#	x
79 Au 198	2,7 d	10	0,66	0,36	x	x	x
79 Au 198m	2,3 d	(1)	6,6	3,6	x	x	x
79 Au 199	3,1 d	10	0,66	0,36	x	x	x
79 Au 200m	18,7 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
80 Hg 193	3,5 h	(100)	0,066	0,036	x	x	x
80 Hg 193m	11,1 h	(1)	6,6	3,6	x	0	x
80 Hg 194+	367 a	(1)	6,6	3,6	0	0	0
80 Hg 195	9,5 h	(100)	0,066	0,036	x	#	x
80 Hg 195m+	40 h	(100)	0,066	0,036	x	#	x
80 Hg 197	64,1 h	10	0,66	0,36	x	#	x
80 Hg 197m	23,8 h	10	0,66	0,36	x	x	x
80 Hg 203	46,6 d	10	0,66	0,36	x	x	x
81 Tl 195	1,1 h	(100)	0,066	0,036	x	#	x
81 Tl 197	2,8 h	(100)	0,066	0,036	x	#	x
81 Tl 198	5,3 h	(1)	6,6	3,6	0	0	#
81 Tl 198m	1,9 h	(1)	6,6	3,6	x	#	x
81 Tl 199	7,4 h	(100)	0,066	0,036	x	x	x
81 Tl 200	26,1 h	1	6,6	3,6	0	0	#
81 Tl 201	73,1 h	10	0,66	0,36	x	#	x
81 Tl 202	12,2 d	10	0,66	0,36	x	0	x
81 Tl 204	3,8 a	100	0,066	0,036	x	x	x
82 Pb 198	2,4 h	(1)	6,6	3,6	#	0	x
82 Pb 199	1,5 h	(1)	6,6	3,6	0	0	#



82 Pb 200	21,5 h	(1)	6,6	3,6	#	0	x
82 Pb 201	9,4 h	(1)	6,6	3,6	0	0	#

Spalte 1: Ein + bedeutet: unter Berücksichtigung der Folgeprodukte

Spalte 2: *Kursive Zahlen in Klammern bedeuten*, dass in der Anlage III Tab. 1 Spalte 4 StrlSchV kein Wert angegeben ist und entsprechend den Erläuterungen zu Anlage III Tab. 1 Spalte 4 eingesetzt wurde

Spalte 5: x bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen geeignet im Sinne dieser Empfehlung

# bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen möglicherweise geeignet, d.h. dass im Einzelfall geprüft wird, ob das jeweilige Gerät geeignet ist

0 bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen ungeeignet

Tabelle der Radionuklide 13

82 Pb 202	3,0E+5 a	(1)	6,6	3,6	0	0	0
82 Pb 202m	3,6 h	(1)	6,6	3,6	#	0	x
82 Pb 203	51,9 h	10	0,66	0,36	x	#	x
82 Pb 205	1,5E+7 a	(100)	0,066	0,036	0	0	#
82 Pb 209	3,3 h	(1)	6,6	3,6	x	x	x
82 Pb 210+	22,3 a	1	6,6	3,6	0	0	0
82 Pb 212+	10,6 h	1	6,6	3,6	x	x	x
83 Bi 201	1,8 h	(100)	0,066	0,036	x	x	x
83 Bi 202	1,7 h	(100)	0,066	0,036	x	x	x
83 Bi 203	11,8 h	(1)	6,6	3,6	0	0	#
83 Bi 205	15,3 d	(1)	6,6	3,6	0	0	#
83 Bi 206	6,2 d	1	6,6	3,6	#	0	x
83 Bi 207	31,6 a	1	6,6	3,6	0	0	x
83 Bi 210	5 d	100	0,066	0,036	x	x	x
83 Bi 210m+	3E+6 a	(1)	0,47	6,6	0,25	3,6	x #ß x <sup>1)</sup>
83 Bi 212+	60 m	1	0,47	6,6	0,25	3,6	x #ß x <sup>1)</sup>
84 Po 205	1,8 h	1	6,6	3,6	0	0	#
84 Po 206	8,6 d	(0,1)	4,7	66	2,5	36	0 0 0 <sup>1)</sup>
84 Po 207	5,8 h	1	6,6	3,6	0	0	#
84 Po 210	138,4 d	1	0,47	6,6	0,25	3,6	x 0 x <sup>1)</sup>
85 At 207	1,8 h	(0,1)	4,7	66	2,5	36	0 0 #α/0ß <sup>1)</sup>
85 At 211	7,2 h	10	0,047	0,66	0,025	0,36	x 0 x <sup>1)</sup>
88 Ra 223+	11,4 d	1	0,47	6,6	0,25	3,6	x #ß x <sup>1)</sup>
88 Ra 224+	3,7 d	1	0,47	6,6	0,25	3,6	x #ß x <sup>1)</sup>

88 Ra 225	14,8 d	0,1		66		36	0	0	0
88 Ra 226+	1,5E+3 a	1	0,47	6,6	0,25	3,6	$x\alpha/\#\beta$	0	$x^{1)}$
88 Ra 228+	5,8 a	1		6,6		3,6	0	0	0
89 Ac 224	2,9 h	(0,1)	4,7	66	2,5	36	0	0	$\#\alpha/0\beta^{1)}$
89 Ac 225+	10 d	(0,1)	4,7	66	2,5	36	$x\alpha/0\beta$	0	$x\alpha/\#\beta^{1)}$
89 Ac 226+	29 h	(1)		6,6		3,6	x	x	x
89 Ac 227+	21,8 a	1	0,47	6,6	0,25	3,6	0	0	$0^{1)}$
89 Ac 228	6,1 h	1		6,6		3,6	x	x	x
90 Th 227	18,7 d	0,1	4,7	66	2,5	36	$x\alpha/0\beta$	0	$x\alpha/0\beta^{1)}$
90 Th 228+	1,9 a	0,1	4,7	66	2,5	36	$x\alpha/0\beta$	0	$x\alpha/0\beta^{1)}$
90 Th 229+	7,9E+3 a	0,1	4,7	66	2,5	36	$\#\alpha/0\beta$	0	$x\alpha/0\beta^{1)}$
90 Th 230	7,5E+4 a	0,1	4,7	66	2,5	36	$\#\alpha/0\beta$	0	$x\alpha/0\beta^{1)}$
90 Th 231	25,5 h	100		0,066		0,036	x	x	x

Spalte 1: Ein + bedeutet: unter Berücksichtigung der Folgeprodukte

Spalte 2: *Kursive Zahlen in Klammern bedeuten*, dass in der Anlage III Tab. 1 Spalte 4 StrlSchV kein Wert angegeben ist und entsprechend den Erläuterungen zu Anlage III Tab. 1 Spalte 4 eingesetzt wurde

Spalte 5: x bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen geeignet im Sinne dieser Empfehlung

# bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen möglicherweise geeignet, d.h. dass im Einzelfall geprüft wird, ob das jeweilige Gerät geeignet ist

0 bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen ungeeignet

<sup>1)</sup> bei  $\alpha$ -Strahlern: die Symbole für "Eignung" gelten ohne Zusatz sowohl für  $\alpha$ - als auch  $\alpha+\beta$ -Modus, mit Zusatz " $\alpha$ " nur für den  $\alpha$ -Modus, mit Zusatz " $\beta$ " nur für den  $\alpha+\beta$ -Modus

Tabelle der Radionuklide 14

90 Th 232	1,4E+10 a	0,1	4,7	66	2,5	36	0	0	$\#\alpha/0\beta^{1)}$
90 Th 234+	24,1 d	100		0,066		0,036	x	x	x
91 Pa 228	22 h	(0,1)	4,7	66	2,5	36	0	0	$0^{1)}$
91 Pa 230	17,4 d	1		6,6		3,6	0	0	#
91 Pa 231	3,3E+4 a	0,01	47	660	25	360	0	0	$0^{1)}$
91 Pa 232	1,3 d	(1)		6,6		3,6	x	x	x
91 Pa 233	27 d	10		0,66		0,36	x	x	x
91 Pa 234	6,7 h	(1)		6,6		3,6	x	x	x
92 U 230+	20,8 d	0,1	4,7	66	2,5	36	$x\alpha/0\beta$	0	$x\alpha/\#\beta^{1)}$
92 U 231	4,2 d	10		0,66		0,36	x	0	x

92 U 232+	68,9 a	0,1	4,7	66	2,5	36	$x\alpha/0\beta$	0	$x\alpha/0\beta^{1)}$
92 U 233	1,6E+5 a	1	0,47	6,6	0,25	3,6	$x\alpha/\#\beta$	0	$x^{1)}$
92 U 234	2,5E+5 a	1	0,47	6,6	0,25	3,6	$x\alpha/\#\beta$	0	$x^{1)}$
92 U 235+	7E+8 a	1	0,47	6,6	0,25	3,6	$x\alpha/\#\beta$	0	$x^{1)}$
92 U 236	2,3E+7 a	1	0,47	6,6	0,25	3,6	$x\alpha/\#\beta$	0	$x^{1)}$
92 U 237	6,8 d	10		0,66		0,36	x	x	x
92 U 238+	4,4E+9 a	1	0,47	6,6	0,25	3,6	$x\alpha/0\beta$	0	$x\alpha/\#\beta^{1)}$
92 U 240	14,1 h	10		0,66		0,36	x	x	x
93 Np 234	4,4 d	(1)		6,6		3,6	0	0	#
93 Np 235	396,2 d	(1)		6,6		3,6	0	0	0
93 Np 236	22,5 h	(1)		6,6		3,6	#	0	x
93 Np 236m	1,2E+5 a	(1)		6,6		3,6	x	#	x
93 Np 237	2,1E+6 a	0,1	4,7	66	2,5	36	$\#\alpha/0\beta$	0	$\#\alpha/0\beta^{1)}$
93 Np 238	2,1 d	(1)		6,6		3,6	x	x	x
93 Np 239	2,4 d	10		0,66		0,36	x	x	x
93 Np 240	65 m	1		6,6		3,6	x	x	x
94 Pu 234	8,8 h	10	0,047	0,66	0,025	0,36	x	0	$x^{1)}$
94 Pu 236	2,9 a	0,1	4,7	66	2,5	36	$x\alpha/0\beta$	0	$x\alpha/\#\beta^{1)}$
94 Pu 237	45,3 d	100		0,066		0,036	x	0	x
94 Pu 238	87,7 a	0,1	4,7	66	2,5	36	$x\alpha/0\beta$	0	$x\alpha/\#\beta^{1)}$
94 Pu 239	2,4E+4 a	0,1	4,7	66	2,5	36	$x\alpha/0\beta$	0	$x\alpha/0\beta^{1)}$
94 Pu 240	6,6E+3 a	0,1	4,7	66	2,5	36	$x\alpha/0\beta$	0	$x\alpha/0\beta^{1)}$
94 Pu 241	14,4 a	10		0,66		0,36	0	0	0
94 Pu 242	3,8E+5 a	0,1	4,7	66	2,5	36	$\#\alpha/0\beta$	0	$x\alpha/0\beta^{1)}$
94 Pu 243	5 h	100		0,066		0,036	x	x	x
94 Pu 244+	8,3E+7 a	0,1	4,7	66	2,5	36	$\#\alpha/0\beta$	0	$\#\alpha/0\beta^{1)}$
94 Pu 245	10,5 h	(1)		6,6		3,6	x	x	x

Spalte 1: Ein + bedeutet: unter Berücksichtigung der Folgeprodukte

Spalte 2: *Kursive Zahlen in Klammern bedeuten*, dass in der Anlage III Tab. 1 Spalte 4 StrlSchV kein Wert angegeben ist und entsprechend den Erläuterungen zu Anlage III Tab. 1 Spalte 4 eingesetzt wurde

Spalte 5: x bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen geeignet im Sinne dieser Empfehlung

# bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen möglicherweise geeignet, d.h. dass im Einzelfall geprüft wird, ob das jeweilige Gerät geeignet ist

<sup>1)</sup> bei  $\alpha$ -Strahlern: die Symbole für "Eignung" gelten ohne Zusatz sowohl für  $\alpha$ - als auch  $\alpha+\beta$ -Modus, mit Zusatz " $\alpha$ " nur für den  $\alpha$ -Modus, mit Zusatz " $\beta$ " nur für den  $\alpha+\beta$ -Modus

0 bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen ungeeignet

<sup>1)</sup> bei  $\alpha$ -Strahlern: die Symbole für "Eignung" gelten ohne Zusatz sowohl für  $\alpha$ - als auch  $\alpha+\beta$ -Modus, mit Zusatz " $\alpha$ " nur für den  $\alpha$ -Modus, mit Zusatz " $\beta$ " nur für den  $\alpha+\beta$ -Modus

Tabelle der Radionuklide 15

94 Pu 246	10,9 d	(1)		6,6		3,6	#	0	x
95 Am 237	73 m	(1)		6,6		3,6	#	0	x
95 Am 238	1,6 h	(1)		6,6		3,6	0	0	#
95 Am 239	11,9 h	(1)		6,6		3,6	#	0	x
95 Am 240	50,8 h	(1)		6,6		3,6	0	0	#
95 Am 241	432,6 a	0,1	4,7	66	2,5	36	$x\alpha/0\beta$	0	$x\alpha/\#\beta^{1)}$
95 Am 242	16 h	100		0,066		0,036	x	x	x
95 Am 242m	141 a	0,1	4,7	66	2,5	36	$x\alpha/0\beta$	0	$x\alpha/0\beta^{1)}$
95 Am 243+	7,4E+3	0,1	4,7	66	2,5	36	$x\alpha/0\beta$	0	$x\alpha/0\beta^{1)}$
95 Am 244	10,1 h	(1)		6,6		3,6	x	x	x
95 Am 245	2,1 h	(1)		6,6		3,6	x	x	x
96 Cm 238	2,4 h	(0,1)	4,7	66	2,5	36	0	0	$\# \alpha/0\beta^{1)}$
96 Cm 240	32,8 d	(0,1)	4,4	66	2,5	36	$x\alpha/0\beta$	0	$x\alpha/\#\beta^{1)}$
96 Cm 241	32,8 d	(0,1)	4,4	66	2,5	36	0	0	0 <sup>1)</sup>
96 Cm 242	162,8 d	1	0,47	6,6	0,25	3,6	x	0	x <sup>1)</sup>
96 Cm 243	20,1 a	0,1	4,7	66	2,5	36	$x\alpha/0\beta$	0	$x\alpha/\#\beta^{1)}$
96 Cm 244	18,1 a	0,1	4,7	66	2,5	36	$x\alpha/0\beta$	0	$x\alpha/\#\beta^{1)}$
96 Cm 245	8,5E+3 a	0,1	4,7	66	2,5	36	$x\alpha/0\beta$	0	$x\alpha/\#\beta^{1)}$
96 Cm 246	4,7E+3 a	0,1	4,7	66	2,5	36	$x\alpha/\beta$	0	$x\alpha/\#\beta^{1)}$
96 Cm 247+	1,6E+7 a	0,1	4,7	66	2,5	36	$x\alpha/0\beta$	0	$x\alpha/\#\beta^{1)}$
96 Cm 248	3,4E+5 a	0,01	47	660	25	360	0	0	0 <sup>1)</sup>
96 Cm 249	64,2 m	(1)		6,6		3,6	x	x	x
96 Cm 250&	1,1E+4 a	(0,1)	4,7	66	2,5	36	0	0	0 $\alpha/\#\beta^{1)}$
97 Bk 245	4,0 d	(1)		6,6		3,6	#	#	x
97 Bk 246	1,8 d	(1)		6,6		3,6	0	0	0
97 Bk 247	1,4E+3 a	(0,1)	4,7	66	2,5	36	$x\alpha/0\beta$	0	$x\alpha/\#\beta^{1)}$
97 Bk 249	320 d	10		0,66		0,36	x	0	x
97 Bk 250	3,2 h	(1)		6,6		3,6	x	x	x
98 Cf 246	31,7 h	10	0,047	0,66	0,025	0,36	x	0	x <sup>1)</sup>

98 Cf 248	333,5 d	1	0,47	6,6	0,25	3,6	x	0	x <sup>1)</sup>
98 Cf 249	350,47 a	0,1	4,7	66	2,5	36	x $\alpha$ /0 $\beta$	0	x $\alpha$ /# $\beta$ <sup>1)</sup>
98 Cf 250	13,1 a	0,1	4,7	66	2,5	36	x $\alpha$ /0 $\beta$	0	x $\alpha$ /# $\beta$ <sup>1)</sup>
98 Cf 251	898 a	0,1	4,7	66	2,5	36	x $\alpha$ /0 $\beta$	0	x $\alpha$ /# $\beta$ <sup>1)</sup>
98 Cf 252	2,638 a	0,1	4,7	66	2,5	36	x $\alpha$ /0 $\beta$	0	x $\alpha$ /# $\beta$ <sup>1)</sup>
98 Cf 253+	17,8 d	1		6,6		3,6	x	#	x
98 Cf 254+&	60,5 d	0,1	4,7	66	2,5	36	0	0	0 $\alpha$ /# $\beta$ <sup>1)</sup>

Spalte 1: Ein + bedeutet: unter Berücksichtigung der Folgeprodukte

Spalte 2: *Kursive Zahlen in Klammern bedeuten*, dass in der Anlage III Tab. 1 Spalte 4 StrlSchV kein Wert angegeben ist und entsprechend den Erläuterungen zu Anlage III Tab. 1 Spalte 4 eingesetzt wurde

Spalte 5: x bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen geeignet im Sinne dieser Empfehlung

# bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen möglicherweise geeignet, d.h. dass im Einzelfall geprüft wird, ob das jeweilige Gerät geeignet ist

0 bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen ungeeignet

<sup>1)</sup> bei  $\alpha$ -Strahlern: die Symbole für "Eignung" gelten ohne Zusatz sowohl für  $\alpha$ - als auch  $\alpha$ + $\beta$ -Modus, mit Zusatz " $\alpha$ " nur für den  $\alpha$ -Modus, mit Zusatz " $\beta$ " nur für den  $\alpha$ + $\beta$ -Modus

Tabelle der Radionuklide 16

99 Es 250	2,1 h	(1)		6,6		3,6	0	0	0
99 Es 251	33 h	(1)		6,6		3,6	0	0	#
99 Es 253	20,4 d	1		6,6		3,6	x	0	x
99 Es 254+	275,7 d	1	0,47	6,6	0,25	3,6	x	x $\beta$	x <sup>1)</sup>
99 Es 254m	39,3 h	(1)		6,6		3,6	x	#	x
100 Fm 252	25,4 h	(0,1)	4,7	66	2,5	36	x $\alpha$ /0 $\beta$	0	x $\alpha$ /# $\beta$ <sup>1)</sup>
100 Fm 253	3 d	(0,1)	4,7	66	2,5	36	0	0	# $\alpha$ /0 $\beta$ <sup>1)</sup>
100 Fm 254	3,2 h	100	0,0047	0,066	0,0025	0,036	x	0	x <sup>1)</sup>
100 Fm 255	20,1 h	10	0,047	0,66	0,025	0,36	x	# $\beta$	x <sup>1)</sup>
100 Fm 257	100,5 d	(0,1)	4,7	66	2,5	36	x $\alpha$ /0 $\beta$	0	x $\alpha$ /# $\beta$ <sup>1)</sup>
101 Md 257	5 h	(0,1)	4,7	66	2,5	36	0	0	# $\alpha$ /0 $\beta$ <sup>1)</sup>
101 Md 258	56 d	(0,1)	4,7	66	2,5	36	x $\alpha$ /0 $\beta$	0	x $\alpha$ /# $\beta$ <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> bei  $\alpha$ -Strahlern: die Symbole für "Eignung" gelten ohne Zusatz sowohl für  $\alpha$ - als auch  $\alpha$ + $\beta$ -Modus, mit Zusatz " $\alpha$ " nur für den  $\alpha$ -Modus, mit Zusatz " $\beta$ " nur für den  $\alpha$ + $\beta$ -Modus

Spalte 1: Ein + bedeutet: unter Berücksichtigung der Folgeprodukte

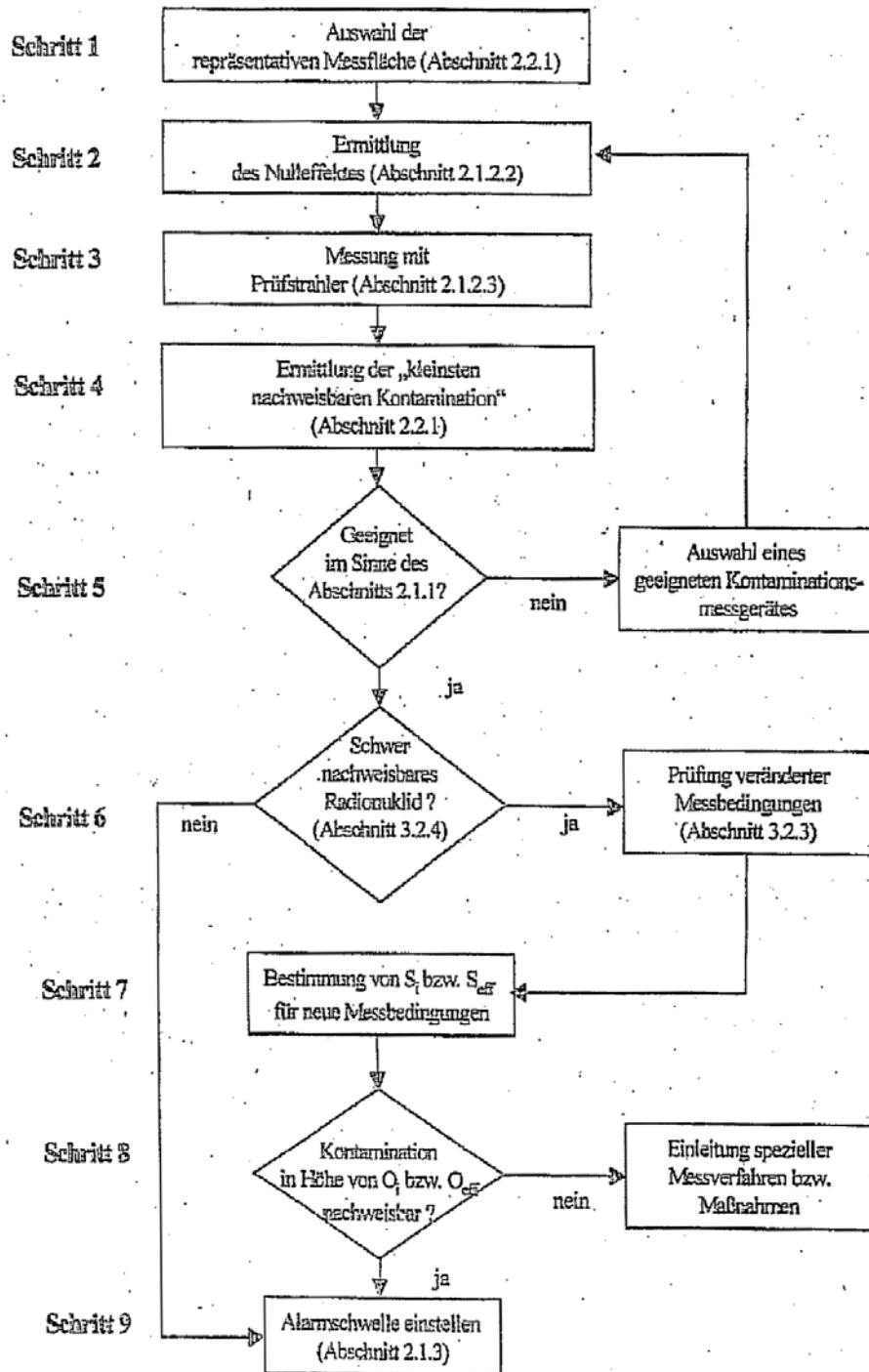
Spalte 2: *Kursive Zahlen in Klammern bedeuten*, dass in der Anlage III Tab. 1 Spalte 4 StrlSchV kein Wert angegeben ist und entsprechend den Erläuterungen zu Anlage III Tabl 1 Spalte 4 eingesetzt wurde.

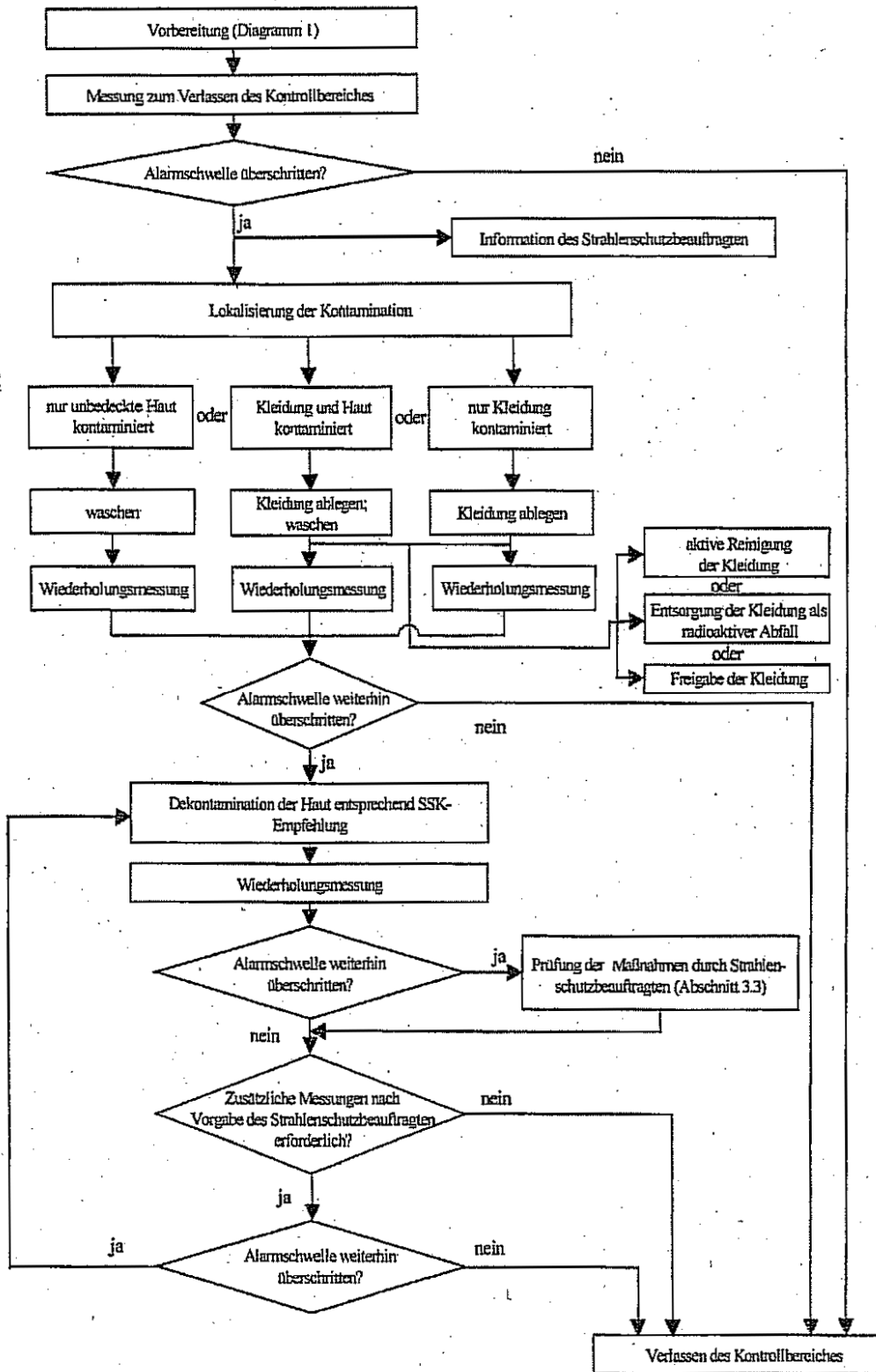
Spalte 5: x bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen geeignet im Sinne dieser Empfehlung  
# bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen möglicherweise geeignet, d. h. dass im Einzelfall geprüft wird, ob das jeweilige Gerät geeignet ist  
0 bedeutet: unter den vorgegebenen Randbedingungen ungeeignet

<sup>1)</sup> bei  $\alpha$ -Strahlern: die Symbole für "Eignung" gelten ohne Zusatz sowohl für  $\alpha$ - als auch  $\alpha+\beta$ -Modus, mit Zusatz " $\alpha$ " nur für den  $\alpha$ -Modus, mit Zusatz " $\beta$ " nur für den  $\alpha+\beta$ -Modus

## Anlage 2

Flussdiagramme zur Anwendung der Empfehlung







## Anlage 3

### Anwendungsbeispiele

#### Allgemeines

Die nachfolgenden Beispiele erläutern die zur Vorberereitung einer Kontaminationskontrolle erforderlichen Schritte. Es wird gezeigt, wie bei Vorliegen eines Einzelnuclides oder eines Radionuclidgemisches, das aus zwei oder mehr Einzelnucliden bestehen kann, zu verfahren ist. Die Abfolge der Vorbereitungsschritte entspricht dem in Anlage 2 Diagramm 1 dargestellten Schema.

Die Werte der Oberflächenkontamination gemäß Anlage III Tabelle 1 Spalte 4 der Strahlenschutzverordnung werden im folgenden vereinfacht als *Werte der Oberflächenkontamination* bezeichnet.

Bei Vorliegen eines Radionuclidgemisches wird für jedes Radionuclid eine dem *Wert der Oberflächenkontamination* äquivalente Größe berechnet, die sowohl den prozentualen Aktivitätsanteil des Radionuclids im Gemisch als auch dessen radiologische Wichtung impliziert. Diese Größe ist der gewichtete und normierte Kontaminationswert eines Einzelnuclids in einem Gemisch; die Summe dieser Werte ergibt den für das Gemisch zu ermittelnden effektiven Kontaminationswert. Die Bedeutung des effektiven Kontaminationswertes ist der Bedeutung der *Werte der Oberflächenkontamination* adäquat: Mit der Kontaminationsmessung ist nachzuweisen, dass für ein Einzelnuclid der *Wert der Oberflächenkontamination* und für ein Radionuclidgemisch der effektive Kontaminationswert nicht überschritten wird.

Zum Nachweis einer flächenbezogenen Aktivität in Höhe des *Wertes der Oberflächenkontamination* bzw. des effektiven Kontaminationswertes muss ein Kontaminationsmessgerät mindestens ein Oberflächenansprechvermögen in Höhe von  $S_{\min}$  aufweisen. Das in der Praxis ersichtbare Oberflächenansprechvermögen des Gerätes muss größer als  $S_{\min}$  sein, damit das Gerät für die Messaufgabe geeignet ist.

In Tabelle A ist beispielhaft das in der Praxis erreichbare Oberflächenansprechvermögen von Großflächenproportionalzählern mit Kohlenwasserstoffen als Zählgas für eine Reihe ausgewählter Radionuclide angegeben. Die Werte beziehen sich auf ein gebräuchliches festinstalliertes Hand-Fuß-Kontaminationsmessgerät. Einzelheiten zu den Messbedingungen, unter denen die Werte bestimmt wurden, enthält der Bericht "Erfassung von Personenkontaminationen in Höhe der Grenzwerte der Flächenkontamination nach Anlage IX StrlSchV ..." des Forschungszentrums Jülich; 2578, September 1992, ISSN 0366-0885.

**Tabelle A**

Radionuclid	Oberflächenansprechvermögen; $s^{-1} Bq^{-1} cm^2$	
	$S(\alpha)$	$S(\alpha+\beta)$
5 C-14		7,9
9 F-18		22
11 Na-22		19
15 P-32		21
15 P-33		11
16 S-35		7,7
17 Cl-36		21

Radionuklid	Oberflächenansprechvermögen; s <sup>-1</sup> Bq <sup>-1</sup> cm <sup>2</sup>	
	S(α)	S(α+β)
20 Ca-45		11
24 Cr-51		0,10
25 Mn-54		0,31
26 Fe-55		0,11
27 Co-57		0,67
27 Co-58		3,4
27 Co-60		13
28 Ni-63		0,73
29 Cu-64		11
30 Zn-65		0,53
31 Ga-67		2,8
34 Se-75		0,74
34 Se-79		8,6
35 Br-77		0,49
38 St-89		21
38 Sr-90+		19
39 Y-90		21
40 Zr-88		0,65
40 Zr-93		1,3
40 Zr-95		14
41 Nb-93m		<0,01
41 Nb-94		18
41 Nb-95		6,9
43 Tc-99m		1,3
43 Tc-99		13
42 Mo-99		20
44 Ru-103+		9,8
47 Ag-106m		1,2
49 In-111		2,4
44 Ru-106+		<0,01
47 Ag-110m+		7,7
47 Ag-111		21
51 Sb-124		19
51 Sb-125		11
51 Sb-127		21
53 I-123		2
53 I-125		0,06

Radionuklid	Oberflächenansprechvermögen; s <sup>-1</sup> Bq <sup>-1</sup> cm <sup>2</sup>	
	S(α)	S(α+β)
53 I-126		9,9
53 I-131		19
55 Cs-134		16
55 Cs-137+		20
58 Ce-141		18
58 Ce-144+		12
61 Pm-147		9,2
62 Sm-147	<0,01	<0,01
63 Eu-152		9,1
63 Eu-154		21
68 Er-169		13
75 Re-186m		0,38
75 Re-186		21
75 Re-187		<0,01
75 Re-188		22
80 Hg-194		0,05
81 Tl-201		2
81 Tl-204		20
82 Pb-210		0,01
83 Bi-210m+	7	10
83 Bi-210		21
88 Ra-224	16	16
88 Ra-226	5,4	5,7
88 Ra-228		<0,01
90 Th-228	13	14
90 Th-229	6,4	11
90 Th-230	4,9	5,2
90 Th-232	1,2	1,2
92 U-234	5,3	5,3
92 U-235	3,5	4,8
92 U-236	4	4
92 U-238+	2,4	2,4
93 Np-236		8,1
93 Np-237	5,4	6,8
94 Pu-236	17	17
94 Pu-238	14	14
94 Pu-239	9,7	9,7

Radionuklid	Oberflächenansprechvermögen; s <sup>-1</sup> Bq <sup>-1</sup> cm <sup>2</sup>	
	S(α)	S(α+β)
94 Pu 241		<0,01
95 Am-241	14	14

### 1 Kontaminationskontrolle bei Tc-99m

Technetium-99m ist ein reiner Photonenstrahler mit einer dominierenden Gammakomponente  $E_\gamma = 141 \text{ keV}$  (89%). Dieses Radionuklid wird nahezu ausschließlich für nuklearmedizinische Untersuchungen verwendet. Kontaminationen erfolgen überwiegend im Bereich der Hände. Zur Kontaminationskontrolle wird ein handelsübliches stationäres Kontaminationsmessgerät mit Xenonzählrohr verwendet, in vorliegendem Beispiel mit linearem Ratemeter ohne Nulleffektsabstraktion. Eine Alarmschwelle ist nicht vorgesehen; die Entscheidung über eine Überschreitung der Alarmschwelle wird durch Ablesen der angezeigten Impulsrate getroffen.

Der Wert der Oberflächenkontamination beträgt  $O_{\text{Tc-99m}} = 10 \text{ Bq cm}^{-2}$ . Zur Vorbereitung der Kontaminationskontrolle ist gemäß Anlage 2 Diagramm 1 der Empfehlung zu verfahren.

#### Schritt 1: Auswahl der repräsentativen Messfläche (Abschnitt 2.2.1)

Repräsentative Messfläche sind die Hände.

#### Schritt 2: Ermittlung des Nulleffektes (Abschnitt 2.1.2.2)

Die Zeitkonstante des Kontaminationsmessgerätes beträgt  $\tau = 3 \text{ s}$ . Als Messzeit für die Ermittlung der Nulleffektzählrate wird das Zehnfache der Zeitkonstante gewählt; die Messzeit des Nulleffektes beträgt  $t = 30 \text{ s}$ . Die Nulleffekt-Zählrate von  $n_0 = 20 \text{ s}^{-1}$  wird durch Ablesung am Ratemeter ermittelt.

#### Schritt 3: Messung mit Prüfstrahler (Abschnitt 2.1.2.3)

In diesem und den nachfolgenden Schritten wird geprüft, ob das gewählte Kontaminationsmessgerät in Verbindung mit einem geeigneten Prüfstrahler den Messanforderungen gerecht wird.

Zum Nachweis eines Photonenstrahlers wie Tc-99m ist ein Xenonzählrohr geeignet; als Prüfstrahler wird die Verwendung von Sr-90/Y-90 empfohlen. Das Oberflächenansprechvermögen eines Xenonzählrohres bei einem Sr-90/Y-90-Prüfstrahler beträgt gemäß Herstellerangabe  $S = 20 \text{ s}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ cm}^2$ .

#### Schritt 4: Ermittlung der "kleinsten nachweisbaren Kontamination" (Abschnitt 2.1.2.4)

Für die vorliegende Messanordnung und einen Sr-90/Y-90-Prüfstrahler wird nach Formel (4) als kleinste nachweisbare Kontamination errechnet:

$$k_{1\text{min}} = \frac{3,3}{S} \sqrt{\frac{n_0}{\tau}} = \frac{3,3}{20} \sqrt{\frac{20}{3}} \cong 0,4 \text{ Bq cm}^{-2}$$

#### Schritt 5: Geeignet im Sinne des Abschnitts 2.1.1?

Das vorgesehene Messgerät ist im Sinne des Abschnitts 2.1.1 geeignet. Eine flächenbezogene Sr-90/Y-90-Aktivität von  $10 \text{ Bq cm}^{-2}$ , die dem Wert der Oberflächenkontamination des im Prüfstrahler verwendeten Radionuklids entspricht, ist mit der im Routinebetrieb eingestellten Zeitkonstante  $\tau = 3 \text{ s}$  nachweisbar, denn

$$k_{1\text{min}} = 0,4 \text{ Bq cm}^{-2} < 10 \text{ Bq cm}^{-2}$$

#### Schritt 6: Schwer nachweisbares Radionuklid? (Abschnitt 3.2.4)

Sofern keine Angaben des Herstellers über die Nachweisgrenzen des Messgerätes für die interessierenden Radionuklide vorliegen, ist zu prüfen, ob diese schwer nachweisbar sind.

Im vorliegenden Fall wird dazu das mindestens erforderliche Oberflächenansprechvermögen  $S_{\min}$  des Kontaminationsmessgerätes zum Nachweis einer flächenbezogenen Tc-99m-Aktivität in Höhe des Wertes der Oberflächenkontamination  $O_{\text{Tc-99m}} = 10 \text{ Bq cm}^{-2}$

- bei einer Nulleffektzählrate in der für den Xenon-Detektor zutreffenden Betriebsart ( $\alpha+\beta$ ) von  $n_0 = 20 \text{ s}^{-1}$
- und einer Zeitkonstante von  $\tau = 3 \text{ s}$

gemäß Formel (5) errechnet

$$S_{\min} = \frac{3,3}{O_{\text{Tc-99m}}} \sqrt{\frac{n_0}{\tau}} = \frac{3,3}{10} \sqrt{\frac{20}{3}} \cong 0,9 \text{ s}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ cm}^2$$

Das in der Praxis erreichbare Oberflächenansprechvermögen des Kontaminationsmessgerätes bei Tc-99m beträgt nach Tabelle A:  $S(\alpha+\beta) = 1,3 \text{ s}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ cm}^2$ . (Die Werte in Tabelle A gelten für Großflächenproportionalzählrohre mit Kohlenwasserstoffen als Zählgas; das Oberflächenansprechvermögen eines Xenonzählrohres für Tc-99m ist etwas günstiger als in der Tabelle angegeben.)

$$S(\alpha+\beta) = 1,3 \text{ s}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ cm}^2 > S_{\min} = 0,9 \text{ s}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ cm}^2$$

Tc-99m ist ein Radionuklid mit ausreichend guter Nachweisbarkeit.

Da Tc-99m ein Radionuklid mit ausreichend guter Nachweisbarkeit ist, können die Schritte 7 und 8 entfallen.

### **Schritt 9: Alarmschwelle einstellen** (Abschnitt 2.1.3)

Das vorgesehene stationäre Kontaminationsmessgerät besitzt keine einstellbare Alarmschwelle. Als Überschreitung der Alarmschwelle gilt die Anzeige von Messwerten größer

$$n_{\text{alarm}} = n_0 + 1,6 \sigma$$

Mit  $\sigma = \sqrt{\frac{n_0}{2 \cdot \tau}} = \sqrt{\frac{20}{2 \cdot 3}} = 1,7$  ist

$$n_{\text{alarm}} = 20 + 2,7 \cong 23 \text{ s}^{-1}$$

Der Messwert  $n_{\text{alarm}}$  ist ein Maß für das minimale Ansprechvermögen des Messgerätes unter den gegebenen Messbedingungen.

Der Wert der Oberflächenkontamination  $O_{\text{Tc-99m}}$  für das zu kontrollierende Objekt (im vorliegenden Fall die Hände) ist eingehalten, wenn das Kontaminationsmessgerät eine Zählrate von

$$Z = n_0 + (O_{\text{Tc-99m}} \cdot S) = 20 \text{ s}^{-1} + (10 \text{ Bq cm}^{-2} \cdot 1,3 \text{ s}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ cm}^2) = 33 \text{ s}^{-1}$$

nicht überschreitet.

## **2 Kontaminationskontrolle bei Pu-239/241**

Bei der Kontaminationskontrolle ist ein Radionuklidgemisch, bestehend aus Plutonium-239 und Plutonium-241, nachzuweisen; das Aktivitätsverhältnis von Pu-239 zu Pu-241 betrage 1:10. Pu-239 ist ein energiereicher Alphastrahler mit  $E_\alpha > 5 \text{ MeV}$ ; Pu-241 hingegen emittiert eine sehr weiche Betastrahlung mit einer mittleren Energie von  $E_\beta \cong \text{keV}$ . Da das Kontaminationsmessgerät für die Alphastrahlung des Pu-239 ein höheres

Oberflächenansprechvermögen aufweist als für die Betastrahlung des Pu-241, wird das Kontaminationsmessgerät auf die Betriebsart "Alphamessung" eingestellt.

Es wird vom Strahlenschutzbeauftragten ein stationäres Kontaminationsmessgerät mit Hand- und Schuhdetektor als erforderlich angesehen. Jeder Detektor hat einen Impulszähler mit Zeitvorwahl, es erfolgt keine Nulleffektsubtraktion und jeder Detektor hat eine getrennt einstellbare Alarmschwelle.

Wert der Oberflächenkontamination für Pu-239  $O_{\text{Pu-239}} = 0,1 \text{ Bq cm}^{-2}$

Wert der Oberflächenkontamination für Pu-241  $O_{\text{Pu-241}} = 10 \text{ Bq cm}^{-2}$

Zur Vorbereitung der Kontaminationskontrolle ist gemäß Anlage 2 Diagramm 1 der Empfehlung zu verfahren.

**Schritt 1: Auswahl der repräsentativen Messfläche** (Abschnitt 2.2.1)

Repräsentative Messfläche sind Hände und Schuhe.

**Schritt 2: Ermittlung des Nulleffektes** (Abschnitt 2.1.2.2)

Als Messzeit bei der Ermittlung des Nulleffektes wird das Zehnfache der im Routinebetrieb eingestellten Messzeit gewählt. Die Messzeit im Routinebetrieb beträgt  $t = 10 \text{ s}$ ; die Messzeit bei der Ermittlung des Nulleffektes beträgt dementsprechend  $t = 100 \text{ s}$ . Der Mittelwert der Impulszahl des Nulleffektes in der Messzeit  $t = 10 \text{ s}$  bei Routinebetrieb beträgt  $N_0 = 1$ .

**Schritt 3: Messung mit Prüfstrahler** (Abschnitt 2.1.2.3)

In diesem und den nachfolgenden Schritten wird geprüft, ob das gewählte Kontaminationsmessgerät in Verbindung mit einem geeigneten Prüfstrahler den Messanforderungen gerecht wird.

Bei der Kontaminationskontrolle von Alphastrahlern ist Am-241 als Radionuklid des Prüfstrahlers zu verwenden.

Für das Oberflächenansprechvermögen des Kontaminationsmessgerätes werden die im Vergleich zum Handdetektor ungünstigeren Daten des Schuhdetektors gewählt. Die Herstellerangabe für das Oberflächenansprechvermögen des Schuhdetektors bei einem Am-241-Prüfstrahler ist  $S = 16 \text{ s}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ cm}^2$ .

**Schritt 4: Ermittlung der "kleinsten nachweisbaren Kontamination"** (Abschnitt 2.1.2.4)

Nach Formel (3) wird für einen Am-241-Prüfstrahler als kleinste nachweisbare Kontamination errechnet:

$$k_{\text{min}} = \frac{3,3}{S} \sqrt{\frac{2 \cdot N_0}{t}} = \frac{3,3}{16} \sqrt{\frac{2 \cdot 1}{10}} \approx 0,03 \text{ Bq cm}^{-2}$$

**Schritt 5: Geeignet im Sinne des Abschnitts 2.1.1?**

Das vorgesehene Messgerät ist im Sinne des Abschnitts 2.1.1 geeignet, d. h. eine flächenbezogene Am-241-Aktivität von  $0,1 \text{ Bq cm}^{-2}$ , die dem Wert der Oberflächenkontamination des im Prüfstrahler verwendeten Radionuklids entspricht, ist mit der im Routinebetrieb eingestellten Messzeit von  $t = 10 \text{ s}$  nachweisbar, denn

$$k_{\text{min}} = 0,03 \text{ Bq cm}^{-2} < 0,1 \text{ Bq cm}^{-2}.$$

**Schritt 6: Schwer nachweisbares Radionuklid?** (Abschnitt 3.2.4)

Sofern keine Angaben des Herstellers über die Nachweisgrenzen des Messgerätes für die interessierenden Radionuklide vorliegen, ist zu prüfen, ob diese schwer nachweisbar sind. Dazu muss der effektive Kontaminationswert für das Radionuklidgemisch Pu-239/241 im angegebenen Aktivitätsverhältnis unter Anwendung der Summenformel errechnet werden.

Da in die Berechnung des effektiven Kontaminationswertes als bestimmende Größe nicht die aus einer Messung herrührenden absoluten Werte der Aktivität pro Flächeneinheit eingehen, sondern das Aktivitätsverhältnis der Gemischkomponenten, können die Werte der Aktivität pro Flächeneinheit normiert dargestellt werden.

	Aktivität pro Flächen-	Wert der Oberflächenkont am.	$A_{Fi}/O_i =$ $Q_{gi}$	$Q_{ni}$	$O_{gni}$
	$A_{Fi} \text{ Bq cm}^{-2}$	$O_i \text{ in Bq cm}^{-2}$		%	$\text{Bq cm}^{-2}$
Pu-239	1	0,1	10	90,9	0,09
Pu-241	10	10	1	9,1	0,91
			11	100 %	$O_{\text{eff}} = 1 \text{ Bq cm}^{-2}$

Aus den Aktivitätsanteilen  $A_{Fi}$  und den nuklidspezifischen Werten der Oberflächenkontamination  $O_{i1}$  wird die Verteilung der gewichteten Verhältniszahlen  $Q_{gi}$  bestimmt und gemäß dem Kriterium  $\sum_i \frac{A_{Fi}}{O_i} \leq \sum_i Q_{ni} \leq 100\%$  normiert. Aus der prozentualen Verteilung der Verhältniszahlen  $Q_{ni}$  werden die gewichteten und normierten Kontaminationswerte  $O_{gni}$  der Gemischkomponenten berechnet, deren Summe gleich dem effektiven Kontaminationswert für das Gemisch  $O_{\text{eff}} = \text{Bq cm}^{-2}$  ist.

Zur Bewertung des Messeffektes, den die energiearme Betestrahlung des Pu-241 unter den vorliegenden Messbedingungen in der Betriebsart ( $\alpha+\beta$ ) erzeugt, wird folgende Betrachtung vorgenommen:

Das mindestens erforderliche Oberflächenansprechvermögen  $S_{\text{min}}$  des Kontaminationsmessgerätes zum Nachweis einer flächenbezogenen Pu-241-Aktivität in Höhe des gewichteten und normierten Kontaminationswertes  $O_{\text{gn Pu-241}} = 0,91 \text{ Bq cm}^{-2}$  errechnet sich

– bei einer Nulleffektzählrate in der Betriebsart ( $\alpha+\beta$ ) von  $18 \text{ s}^{-1}$   
gemäß Formel (5)

$$S_{\text{min}} = \frac{3,3}{O_{\text{Pu-241}}} \sqrt{\frac{2 \cdot N_2}{t^2}} = \frac{3,3}{0,91} \sqrt{\frac{2 \cdot 180}{10^2}} \approx 6,9 \text{ s}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ cm}^2$$

Das in der Praxis erreichbare Oberflächenansprechvermögen des Kontaminationsmessgerätes bei Pu-241 beträgt nach Tabelle A:  $S(\alpha+\beta) < 0,01 \text{ s}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ cm}^2$

$$S(\alpha+\beta) = 0,01 \text{ s}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ cm}^2 \ll S_{\text{min}} = 6,9 \text{ s}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ cm}^2$$

Pu-241 ist ein schwer nachweisbares Radionuklid; die von Pu-241 emittierte sehr energiearme Betestrahlung erzeugt im Messgerät keinen signifikanten Messeffekt.

Da im Gemisch neben Pu-241 auch das besser nachweisbare Pu-239 in einem definierten Aktivitätsverhältnis vorliegt, wird letzteres als Leitnuklid betrachtet und zur Messung herangezogen.

Das verwendete Kontaminationsmessgerät wird zur Messung der Pu-239-Komponente in der Betriebsart ( $\alpha$ ) betrieben.

Anstelle des mindestens erforderlichen Oberflächenansprechvermögens  $S_{\text{off min}}$  des Kontaminationsmessgerätes zum Nachweis einer flächenbezogenen Pu-239/241-Aktivität in Höhe des effektiven Kontaminationswertes für das Gemisch  $O_{\text{off}} = 1 \text{ Bq cm}^{-2}$  wird, da ausschließlich das Leitnuklid Pu-239 nachgewiesen werden kann, das mindestens erforderliche Oberflächenansprechvermögen  $S_{\text{min}}$  des Messgerätes zum Nachweis einer

flächenbezogenen Pu-239-Aktivität in Höhe des gewichteten und normierten Kontaminationswertes  $O_{gn \text{ Pu-239}} = 0,09 \text{ Bq cm}^{-2}$  bestimmt

- bei einer Nulleffektzählrate in der Betriebsart ( $\alpha$ ) von  $0,1 \text{ s}^{-1}$
- und einer Messzeit von  $t = 10 \text{ s}$

gemäß Formel (5)

$$S_{\text{min}} = \frac{3,3}{O_{gn \text{ Pu-239}}} \sqrt{\frac{2 \cdot N_0}{t}} = \frac{3,3}{0,09} \sqrt{\frac{2 \cdot 1}{10}} \approx 5,2 \text{ s}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ cm}^2$$

Das in der Praxis erzielbare Oberflächenansprechvermögen des Kontaminationsmessgerätes bei Pu-239 beträgt nach Tabelle A:  $S(\alpha) = 9,7 \text{ s}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ cm}^2$ .

$$S(\alpha) = 9,7 \text{ s}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ cm}^2 > S_{\text{min}} = 5,2 \text{ s}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ cm}^2$$

Pu-239 ist ein Radionuklid mit ausreichend guter Nachweisbarkeit und kann im vorliegenden Radionuklidgemisch als Leitnuklid herangezogen werden.

Da Pu-239 ein Radionuklid mit ausreichend guter Nachweisbarkeit ist, können die Schritte 7 und 8 entfallen.

### Schritte 9: Alarmschwelle einstellen (Abschnitt 2.1.3)

Das vorgesehene stationäre Kontaminationsmessgerät mit Hand- und Schuhdetektor besitzt für jeden Detektor getrennt einstellbare Alarmschwellen. Diese sind auf folgende Impulszahlen einzustellen:

$$N_{\text{alarm}} = N_0 + 1,6 \sigma$$

Mit  $\sigma = \sqrt{N_0} = 1$

$$N_{\text{alarm}} = 2,6 \quad \text{ist}$$

Die Alarmschwelle ist auf 3 Impulse in 10 s einzustellen.

Der gewichtete und normierte Kontaminationswert  $O_{gn \text{ Pu-239}}$  für das zu kontrollierende Objekt (im vorliegenden Fall für Hände und Schuhe) ist eingehalten, wenn das Kontaminationsmessgerät eine Impulszahl von

$$N = N_0 + (O_{gn \text{ Pu-239}} \cdot S_{\text{Pu-239}}) \cdot t = 1 + (0,09 \text{ Bq cm}^{-2}) \cdot 10 \text{ s}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ cm}^2 \cdot 10 \text{ s} = 10$$

nicht überschreitet.

Da sich die Aktivität pro Flächeneinheit von Pu-239 zu Pu-241 im definierten Verhältnis von 1 : 10 befindet, ist bei Einhaltung des gewichteten und normierten Kontaminationswertes für Pu-239 in Höhe von  $0,09 \text{ Bq cm}^{-2}$  auch der gewichtete und normierte Kontaminationswert für Pu-241 in Höhe von  $0,91 \text{ Bq cm}^{-2}$  und insgesamt der effektive Kontaminationswert für das Gemisch von  $O_{\text{off}} = 1 \text{ Bq cm}^{-2}$  eingehalten.

### 3 Kontaminationskontrolle bei einem Radionuklidgemisch (Beispiel I)

Das in diesem Beispiel verwendete Radionuklidgemisch entspricht dem Ergebnis einer Oberflächenkontaminationsmessung in einer für einen bestimmten Arbeitsbereich und über einen bestimmten Kontrollzeitraum als konstant angenommen. Da das Radionuklidgemisch überwiegend Beta/Gammastrahler enthält, von denen einige signifikant zum Messeffekt des Kontaminationsmessgerätes beitragen, und der Anteil der Alphastrahler im Bereich von Bruchteilen eines Prozentes liegt, wird das Kontaminationsmessgerät auf die Betriebsart "Alpha/Betamessung ( $\alpha+\beta$ )" eingestellt.



Es wird ein stationäres Kontaminationsmessgerät für den Ganzkörper verwendet. Jeder Detektor hat einen Impulszähler mit Zeitvorwahl, es erfolgt keine Nulleffektsubtraktion und jeder Detektor hat eine getrennt einstellbare Alarmschwelle.

Die im Radionuklidgemisch enthaltenen Nuklide, deren normierte Aktivitätsanteile, die relevante Strahlungskomponenten sowie die nuklidspezifischen *Werte der Oberflächenkontamination* sind in den Spalten 1 bis 4 der Tabelle B dargestellt.

Zur Vorbereitung der Kontaminationskontrolle ist gemäß Anlage 2 Diagramm 1 der Empfehlung zu verfahren.

**Schritt 1: Auswahl der repräsentativen Messfläche** (Abschnitt 2.2.1)

Repräsentative Messfläche ist der Ganzkörper.

**Schritt 2: Ermittlung des Nulleffektes** (Abschnitt 2.1.2.2)

Als Messzeit bei der Ermittlung des Nulleffektes wird das Zehnfache der im Routinebetrieb eingestellten Messzeit gewählt. Die Messzeit im Routinebetrieb beträgt  $t = 10$  s; die Messzeit bei der Ermittlung des Nulleffektes beträgt dementsprechend  $t = 100$  s. Der Mittelwert der Impulszahl des Nulleffektes in der Messzeit  $t = 10$  s bei Routinebetrieb beträgt  $N_0 = 180$ .

**Schritt 3: Messung mit Prüfstrahler** (Abschnitt 2.1.2.3)

In diesem und den nachfolgenden Schritten wird geprüft, ob das gewählte Kontaminationsmessgerät in Verbindung mit einem geeigneten Prüfstrahler den Messanforderungen genügt.

Bei der Kontaminationskontrolle eines Radionuklidgemisches vorliegender Zusammensetzung wird Sr-90/Y-90 als Radionuklid des Prüfstrahlers empfohlen. Für das Oberflächenansprechvermögen des Kontaminationsmessgerätes werden die im Vergleich zum Handdetektor ungünstigeren Daten des Schuhdetektors gewählt. Die Herstellerangabe für das Oberflächenansprechvermögen bei einem Sr-90/Y-90-Prüfstrahler ist  $S = 20 \text{ s}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ cm}^2$ .

**Schritt 4: Ermittlung der "kleinsten nachweisbaren Kontamination"** (Abschnitt 2.1.2.4)

Nach Formel (3) wird für einen Sr-90/Y-90-Prüfstrahler als kleinste nachweisbare Kontamination errechnet:

$$k_{1\min} = \frac{3,3}{S} \sqrt{\frac{2 \cdot N_0}{t^2}} = \frac{3,3}{20} \sqrt{\frac{2 \cdot 180}{10^2}} \cong 0,3 \text{ Bq cm}^{-2}$$

**Schritt 5: Geeignet im Sinne des Abschnitts 2.1.1?**

Das vorgesehene Messgerät ist im Sinne des Abschnitts 2.1.1 geeignet, d. h. eine flächenbezogene Sr-90/Y-90-Aktivität von  $10 \text{ Bq cm}^{-2}$ , die dem *Wert der Oberflächenkontamination* des im Prüfstrahler verwendeten Radionuklids entspricht, ist mit der im Routinebetrieb eingestellten Messzeit von  $t = 10$  s nachweisbar, denn

$$k_{1\min} = 0,3 \text{ Bq cm}^{-2} < 10 \text{ Bq cm}^{-2}$$

**Schritt 6: Schwer nachweisbare Radionuklide?** (Abschnitt 3.2.4)

Sofern keine Angaben des Herstellers über die Nachweisgrenzen des Messgerätes für die interessierenden Radionuklide vorliegen, ist zu prüfen, ob diese schwer nachweisbar sind.

Mit der Bestimmung des mindestens erforderlichen Oberflächenansprechvermögens  $S_{\min}$  eines Kontaminationsmessgerätes enthält man eine Information darüber, ob eine Oberflächenkontamination mit einem Radionuklid, dessen Aktivität pro Flächeneinheit gleich dem *Wert der Oberflächenkontamination* ist, mit dem gewählten Gerät unter den gegebenen Messbedingungen nachgewiesen werden kann.

Um bei Vorliegen eines Radionuklidgemisches eine analoge Aussage treffen zu können, muss der effektive Kontaminationswert für das Gemisch bestimmt werden.

Da in die Berechnung des effektiven Kontaminationswertes als bestimmende Größe nicht die aus der Messung herrührenden absoluten Werte der Aktivität pro Flächeneinheit eingehen, sondern die Aktivitätsverhältnisse der Gemischkomponenten zueinander, können die Werte der Aktivität pro Flächeneinheit normiert dargestellt werden (Tabelle B, Spalte 2).

Aus den Aktivitätsanteilen  $A_{Fi}$  der im Gemisch vorliegenden Radionuklide und den nuklidspezifischen *Werten der Oberflächenkontamination*  $O_i$  wird die Verteilung der gewichteten Verhältniszahlen  $Q_{gi}$  bestimmt (Tabelle B, Spalte 5). Die prozentuale Verteilung der gewichteten Verhältniszahlen wird auf 100% normiert (Spalte 6), womit

die Summe der gewichteten und normierten Verhältniszahlen  $Q_{ni}$  dem Kriterium  $\sum_i \frac{A_{Fi}}{O_i} \leq \sum_i Q_{ni} \leq 100\%$  entspricht.

Einige Radionuklide tragen nur einen geringen (Teilsumme < 10%) Anteil zur Verteilung der gewichteten und normierten Verhältniszahlen  $Q_{ni}$  bei. Das sind Radionuklide, die wegen ihrer geringen Emissionswahrscheinlichkeit pro Kernzerfall bzw. wegen der geringen Energie ihrer Emissionskomponenten einen hohen *Wert der Oberflächenkontamination* aufweisen und/oder mit einem geringen Aktivitätsanteil im Gemisch vertreten sind. Diese Radionuklide sind von geringer radiologischer Relevanz und können gemäß Anlage III zu § 45 StrlSchV ohne Berücksichtigung bleiben (Spalte 6).

Im Ergebnis erhält man die gewichteten und normierten Kontaminationswerte  $O_{gni}$  für die relevanten Radionuklide (Spalte 7). Deren Summe entspricht dem effektiven Kontaminationswert des Gemisches  $O_{eff}$ . Die prozentualen Aktivitätsanteile  $p_{ni}$  der relevanten Radionuklide sind in Spalte 8 angegeben. Das mindestens erforderliche Oberflächenansprechvermögen  $S_{eff min}$  des Kontaminationsmessgerätes zum Nachweis einer flächenbezogenen Aktivität des Gemisches, die gleich dem effektiven Kontaminationswert  $O_{eff}$  ist, errechnet sich gemäß Formel (5)

$$S_{eff min} = \frac{3,3}{O_{eff}} \sqrt{\frac{2 \cdot N_0}{t^2}} = \frac{3,3}{0,92} \sqrt{\frac{2 \cdot 180}{10^2}}$$

zu  $S_{eff min} \cong 6,8 \text{ s}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ cm}^2$ . (Spalte 9)

Das in der Praxis erreichbare Oberflächenansprechvermögen des Kontaminationsmessgerätes für die im Gemisch relevanten Radionuklide errechnet sich mit den aus Tabelle A entnommenen Einzelangaben (Spalte 10) zu

$$S_{off} (\alpha+\beta) = (p_{ni} \cdot S_i (\alpha+\beta))$$

**Tabelle B**

Radionuklid	Aktivität pro Flächeneinh.	Strahlungsart	Wert der Oberfl.kont	$A_{Fi}/Q_i = Q_{gi}$	$Q_{ni}$	$Q_{gni}$	Aktivitätsanteils $P_{ni}$	$S_{off\ min}$	$S_1 (\alpha+\beta)$	$P_{\mu l} \cdot S_1 (\alpha+\beta)$	
	$A_{p1}; Bq\ cm^{-2}$		$O_i; Bq\ cm^{-2}$		%	$Bq\ cm^{-2}$	%	$s^{-1}\ Bq^{-1}\ cm^2$	$s^{-1}\ Bq^{-1}\ cm^2$	$s^{-1}\ Bq^{-1}\ cm^2$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Co-60	19,04	$\beta/\gamma$	1	19	26,7	0,27	29,4	6,8	13	3,8	
Fe-55	23,46	$\beta/\gamma$	100	0,23							
Ni-59	0,13	$\beta/\gamma$	100	0,0013							
Ni-63	3,50	$\beta$	100	0,035							
Sr-90 +	31,20	$\beta$	1	31,2	43,6	0,44	47,8		20	0,6	
Ag-108m	0,06	$\beta/\gamma$	1	0,06							
Cs-134	0,07	$\beta/\gamma$	1	0,07							
Cs-137+	15,24	$\beta/\gamma$	1	15,2	21,3	0,21	22,8		20	4,6	
Eu-152	3,34	$\beta/\gamma$	1	3,3							
Eu-154	1,53	$\beta/\gamma$	1	1,5							
Eu-155	0,27	$\beta/\gamma$	10	0,03							
Pu-238	0,01	$\alpha$	0,1	0,1							
Pu-239/240	0,02	$\alpha$	0,1	0,2							
Pu-241	2,09	$\beta$	10	0,2							
Am-241	0,04	$\alpha$	0,1	0,4							
				$\cong 71,5$	$= 100\ %$	$O_{off} \cong 0,92\ Bq\ cm^{-2}$	100 %			$S_{off} (\alpha+\beta) \cong 18\ s^{-1}\ Bq^{-1}\ cm^2$	

$$S_{\text{off}}(\alpha+\beta) = 18 \text{ s}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ cm}^2 \text{ (Spalte 11)}$$

Der Vergleich der Werte ergibt

$$S_{\text{off}}(\alpha+\beta) = 18 \text{ s}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ cm}^2 > S_{\text{off min}} = 6,8 \text{ s}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ cm}^2$$

Das vorliegende Radionuklidgemisch ist ausreichend gut nachweisbar.

Da das vorliegende Radionuklidgemisch ausreichend gut nachweisbar ist, können die Schritte 7 und 8 entfallen.

### Schritt 9: Alarmschwelle einstellen (Abschnitt 2.1.3)

Das vorgesehene Ganzkörper-Kontaminationsmessgerät besitzt für jeden Detektor getrennt einstellbare Alarmschwellen. Diese sind auf folgende Impulszahlen einzustellen:

$$\begin{aligned} N_{\text{alarm}} &= N_0 + 1,6 \sigma \\ \text{Mit } \sigma &= \sqrt{N_0} = \sqrt{180} \cong 13 \quad \text{ist} \\ N_{\text{alarm}} &\cong 200 \end{aligned}$$

Die Alarmschwelle ist auf 200 Impulse in 10 s einzustellen.

Der effektive Kontaminationswert  $O_{\text{off}}$  für das zu kontrollierende Objekt (im vorliegenden Fall Ganzkörper) ist eingehalten, wenn das Kontaminationsmessgerät eine Impulszahl von

$$\begin{aligned} N &= N_0 + \sum_i (O_{\text{gr}i} \cdot S_i(\alpha + \beta)) \cdot t \\ N &= 180 + (3,5 + 8,8 + 4,2) \text{ s}^{-1} \cdot 10 \text{ s} \cong 345 \end{aligned}$$

nicht überschreitet.

## 4 Kontaminationskontrolle bei einem Radionuklidgemisch (Beispiel II)

Das in diesem Beispiel verwendete Radionuklidgemisch entspricht dem Ergebnis einer Oberflächenkontaminationsmessung in einer kerntechnischen Anlage. Das Aktivitätsverhältnis der Radionuklide wird für einen bestimmten Arbeitsbereich und über einen bestimmten Kontrollzeitraum als konstant angenommen. Da das Radionuklidgemisch ausschließlich Beta/Gammastrahler enthält, wird das Kontaminationsmessgerät auf die Betriebsart "Alpha/Betamessung ( $\alpha+\beta$ )" eingestellt.

Es wird ein stationäres Kontaminationsmessgerät mit Hand- und Schuhdetektor verwendet. Jeder Detektor hat einen Impulszähler mit Zeitvorwahl, es erfolgt keine Nulleffektsubtraktion und jeder Detektor hat eine getrennt einstellbare Alarmschwelle.

Die im Radionuklidgemisch enthaltenen Nuklide, deren normierte Aktivitätsanteile, die relevante Strahlungskomponente sowie die nuklidspezifischen *Werte der Oberflächenkontamination* sind in den Spalten 1 bis 4 der Tabelle C dargestellt.

Zur Vorbereitung der Kontaminationskontrolle ist gemäß Anlage 2 Diagramm 1 der Empfehlung zu verfahren.

### Schritt 1: Auswahl der repräsentativen Messfläche (Abschnitt 2.2.1)

Repräsentative Messfläche ist der Ganzkörper.

## Schritt 2: Ermittlung des Nulleffektes (Abschnitt 2.1.2.2)

Als Messzeit bei der Ermittlung des Nulleffektes wird das Zehnfache der im Routinebetrieb eingestellten Messzeit gewählt. Die Messzeit im Routinebetrieb beträgt  $t = 10$  s; die Messzeit bei der Ermittlung des Nulleffektes beträgt dementsprechend  $t = 100$  s. Der Mittelwert der Impulszahl des Nulleffektes in der Messzeit  $t = 10$  s bei Routinebetrieb beträgt  $N_0 = 180$ .

## Schritt 3: Messung mit Prüfstrahler (Abschnitt 2.1.2.3)

In diesem und den nachfolgenden Schritten wird geprüft, ob das gewählte Kontaminationsmessgerät in Verbindung mit einem geeigneten Prüfstrahler den Messanforderungen genügt.

Bei der Kontaminationskontrolle eines Radionuklidgemisches vorliegender Zusammensetzung wird Co-60 als Radionuklid des Prüfstrahlers empfohlen. Für das Oberflächenansprechvermögen des Kontaminationsmessgerätes werden die im Vergleich zum Handdetektor ungünstigeren Daten des Schuhdetektors gewählt. Das Oberflächenansprechvermögen bei einem Co-60-Prüfstrahler beträgt gemäß Tabelle A :  $S = 13 \text{ s}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ cm}^2$ .

## Schritt 4: Ermittlung der "kleinsten nachweisbaren Kontamination" (Abschnitt 2.1.2.4)

Nach Formel (3) wird für einen Co-60-Prüfstrahler als kleinste nachweisbare Kontamination errechnet:

$$k_{\min} = \frac{3,3}{S} \sqrt{\frac{2 \cdot N_0}{t^2}} = \frac{3,3}{13} \sqrt{\frac{2 \cdot 180}{10^2}} = 0,48 \text{ Bq cm}^{-2}$$

## Schritt 5: Geeignet im Sinne des Abschnitts 2.1.1?

Das vorgesehene Messgerät ist im Sinne des Abschnitts 2.1.1 geeignet, d. h. eine flächenbezogene Co-60-Aktivität von  $1 \text{ Bq cm}^{-2}$ , die dem Wert der Oberflächenkontamination des im Prüfstrahler verwendeten Radionuklids entspricht, ist mit der im Routinebetrieb eingestellten Messzeit von  $t = 10$  s nachweisbar, denn

$$k_{\min} = 0,48 \text{ Bq cm}^{-2} < 1 \text{ Bq cm}^{-2}$$

## Schritt 6: Schwer nachweisbare Radionuklide? (Abschnitt 3.2.4)

Sofern keine Angaben des Herstellers über die Nachweisgrenzen des Messgerätes für die interessierenden Radionuklide vorliegen, ist zu prüfen, ob diese schwer nachweisbar sind.

Mit der Bestimmung des mindestens erforderlichen Oberflächenansprechvermögens  $S_{\min}$  eines Kontaminationsmessgerätes erhält man eine Information darüber, ob eine Oberflächenkontamination mit einem Radionuklid, dessen Aktivität pro Flächeneinheit gleich dem Wert der Oberflächenkontamination ist, mit dem gewählten Gerät unter den gegebenen Messbedingungen nachgewiesen werden kann.

Um bei Vorliegen eines Radionuklidgemisches eine analoge Aussage treffen zu können, muss der effektive Kontaminationswert für das Gemisch bestimmt werden.

Da in die Berechnung des effektiven Kontaminationswertes als bestimmende Größe nicht die aus der Messung herrührenden absoluten Werte der Aktivität pro Flächeneinheit eingehen, sondern die Aktivitätsverhältnisse der Gemischkomponenten zueinander, können die Werte der Aktivität pro Flächeneinheit normiert dargestellt werden (Tabelle C, Spalte 2).

Aus den Aktivitätsanteilen  $A_{F_i}$  der im Gemisch vorliegenden Radionuklide und den nuklidspezifischen Werten der Oberflächenkontamination  $O_i$  wird die Verteilung der gewichteten Verhältniszahlen  $Q_{gi}$  bestimmt (Tabelle C, Spalte 5). Die prozentuale Verteilung der gewichteten Verhältniszahlen wird auf 100% normiert

(Spalte 6), womit die Summe der gewichteten und normierten Verhältniszahlen  $Q_{ni}$  dem Kriterium  $\sum_i \frac{A_{F_i}}{O_i} \leq \sum_i Q_{ni}$   $\leq 100\%$  entspricht.

Einige Radionuklide tragen nur einen geringen (Teilsumme < 10%) Anteil zur Verteilung der gewichteten und normierten Verhältniszahlen  $Q_{ni}$  bei. Das sind Radionuklide, die wegen ihrer geringen Emissionswahrscheinlichkeit pro Kernzerfall bzw. wegen der geringen Energie ihrer Emissionskomponenten einen hohen *Wert der Oberflächenkontamination* aufweisen und/oder mit einem geringen Aktivitätsanteil im Gemisch vertreten sind. Diese Radionuklide sind von geringer radiologischer Relevanz und können gemäß Anlage III zu § 45 StrlSchV ohne Berücksichtigung bleiben (Spalte 6).

Im Ergebnis erhält man die gewichteten und normierten Kontaminationswerte  $O_{gni}$  für die relevanten Radionuklide (Spalte 7). Deren Summe entspricht dem effektiven Kontaminationswert des Gemisches  $O_{off}$ . Die prozentualen Aktivitätsanteile  $p_{ni}$  der relevanten Radionuklide sind in Spalte 8 angegeben.

**Tabelle C**

Radionuklid	Aktivität pro Flächeneinh.	Strahlungsart	Wert der Oberfl.kont	$A_{Fi}/Q_i = Q_{gi}$	$Q_{ni}$	$Q_{gni}$	Aktivitätsanteile $P_{ni}$	$S_{off\ min}$	$S_i (\alpha+\beta)$	$P_{ni} \cdot S_i (\alpha+\beta)$
	$A_{Fi}; Bq\ cm^{-2}$		$O_i; Bq\ cm^{-2}$		%	$Bq\ cm^{-2}$	%	$s^{-1}\ Bq^{-1}\ cm^2$	$s^{-1}\ Bq^{-1}\ cm^2$	$s^{-1}\ Bq^{-1}\ cm^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Be-7	2,9	$\gamma$	100	0,020				6,6		
Cr-51	20,7	$\gamma$	100	0,287						
Mn-54	25,2	$\gamma$	1	25,2	37,6	0,38	40		0,31	0,12
Co-58	12,5	$\beta/\gamma$	1	12,5	18,66	0,19	20		3,4	0,68
Fe-59	0,2	$\beta/\gamma$	1	0,2						
Co-60	5,8	$\beta/\gamma$	1	5,8	8,7	0,09	9,5		13	1,2
Zr-95	8,8	$\beta/\gamma$	1	8,8	13,1	0,13	13,7		14	1,9
Nb-95	10,9	$\beta/\gamma$	1	10,9	16,2	0,16	16,8		0,9	1,2
Ag-110m	2,8	$\beta/\gamma$	1	2,8						
Sn-113	0,8	$\beta/\gamma$	10	0,00						
Sb-125	1,1	$\beta/\gamma$	10	0,11						
Cs-134	0,1	$\beta/\gamma$	1	0,1						
Cs-137	0,2	$\beta/\gamma$	1	0,2						
				$\equiv 67$	= 100 %	$O_{off} = 0,05\ Bq\ cm^{-2}$	100 %			

Das mindestens erforderliche Oberflächenansprechvermögen  $S_{\text{off min}}$  des Kontaminationsmessgerätes zum Nachweis einer flächenbezogenen Aktivität des Gemisches, die gleich dem effektiven Kontaminationswert  $O_{\text{off}}$  ist, errechnet sich gemäß Formel (5)

$$S_{\text{eff min}} = \frac{3,3}{O_{\text{eff}}} \sqrt{\frac{2 \cdot N_0}{t^2}} = \frac{3,3}{0,95} \sqrt{\frac{2 \cdot 180}{10^2}}$$

$$S_{\text{eff min}} \cong 6,6 \text{ s}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ cm}^2. \quad (\text{Spalte 9})$$

Das in der Praxis erreichbare Oberflächenansprechvermögen des Kontaminationsmessgerätes für die im Gemisch relevanten Radionuklide errechnet sich mit den aus Tabelle A entnommenen Einzelangaben (Spalte 10) zu

$$S_{\text{off}}(\alpha+\beta) = (P_{\text{ni}} \cdot S_{\text{l}}(\alpha+\beta))$$

$$S_{\text{off}}(\alpha+\beta) = 5,1 \text{ s}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ cm}^2 \quad (\text{Spalte 11})$$

Der Vergleich der Werte ergibt

$$S_{\text{off}}(\alpha+\beta) = 5,1 \text{ s}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ cm}^2 < S_{\text{off min}} = 6,6 \text{ s}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ cm}^2$$

Das vorliegende Radionuklidgemisch ist schwer nachweisbar.

**Schritt 7: Prüfung veränderter Messbedingungen zum Nachweis schwer nachweisbarer Radionuklide** (Abschnitt 3.2.3)

Entsprechend der für dieses Anwendungsbeispiel eingangs getroffenen Vorgaben soll für die Kontaminationskontrolle ein festinstalliertes Kontaminationsmeßgerät mit Hand- und Schuhdetektor verwendet werden. Die zur Bestimmung des Oberflächenansprechvermögens  $S_{\text{off}}(\alpha+\beta)$  dieses Gerätes erforderlichen nuklidspezifischen Einzelangaben  $S_{\text{l}}(\alpha+\beta)$  wurden der Tabelle A entnommen. Die Schlussfolgerung, dass das vorliegende Radionuklidgemisch schwer nachweisbar ist, gilt demzufolge für festinstallierte Hand-, Fuß-, Kleider- und Ganzkörper-Kontaminationsmonitore, für die die Werte in Tabelle A unter bestimmten Messbedingungen ermittelt wurden.

**Tabelle D**

Radionuklid	$O_{\text{gni}}$	Aktivitätsanteile $P_{\text{ni}}$	$S_{\text{off min}}$	$S_{\text{l}}(\alpha+\beta)$	$P_{\text{ni}} \cdot S_{\text{l}}(\alpha+\beta)$
	Bq cm <sup>-2</sup>	%	s <sup>-1</sup> Bq <sup>-1</sup> cm <sup>2</sup>	s <sup>-1</sup> Bq <sup>-1</sup> cm <sup>2</sup>	s <sup>-1</sup> Bq <sup>-1</sup> cm <sup>2</sup>
1	7	8	9	10	11
Be-7					
Cr-51					
Mn-54	0,38	40		0,41	0,16
Co-58	0,19	20		5,5	1,1
Fe-59					
Co-60	0,09	9,5		21	2,0
Zr-95	0,13	13,7	6,6	23	3,15



Radionuklid	$O_{gni}$	Aktivitätsanteile $P_{ni}$	$S_{off\ min}$	$S_i (\alpha+\beta)$	$P_{ni} \cdot S_i (\alpha+\beta)$
	$Bq\ cm^{-2}$	%	$s^{-1}\ Bq^{-1}\ cm^2$	$s^{-1}\ Bq^{-1}\ cm^2$	$s^{-1}\ Bq^{-1}\ cm^2$
1	7	8	9	10	11
Nb-95	0,16	16,8		12	2,0
Ag-110m					
Sn-113					
Sb-125					
Cs-134					
Cs-137					
	$O_{off} = 0,95\ Bq\ cm^{-2}$	100 %			$S_{off} (\alpha+\beta) = 8,4\ s^{-1}\ Bq^{-1}\ cm^2$

Der Vergleich der Werte ergibt

$$S_{off} (\alpha+\beta) = 8,4\ s^{-1}\ Bq^{-1}\ cm^2 > S_{off\ min} = 6,6\ s^{-1}\ Bq^{-1}\ cm^2$$

Das vorliegende Radionuklidgemisch ist ausreichend gut nachweisbar.

Eine Möglichkeit, vorliegendes Radionuklidgemisch dennoch einer Messung zugänglich zu machen, besteht generell darin, das nuklidspezifische Oberflächenansprechvermögen  $S_i (\alpha+\beta)$  durch Änderung der Messbedingungen zu erhöhen und/oder ein geeignetes Kontaminationsmeßgerät zu verwenden, das sich durch ein höheres Oberflächenansprechvermögen gegenüber den Strahlungskomponenten auszeichnet, die von den im Gemisch vorliegenden Radionukliden emittiert werden.

In diesem Anwendungsbeispiel wird geprüft, ob ein geeigneteres Kontaminationsmeßgerät zur Verfügung steht. Es sei angenommen, dass die Kontaminationskontrolle ersatzweise mit einem tragbaren Kontaminationsmeßgerät durchgeführt werden kann, dessen Oberflächenansprechvermögen gegenüber den relevanten Strahlungskomponenten größer ist als bei dem festinstallierten Kontaminationsmonitor.

Für das neu gewählte Kontaminationsmeßgerät ist zu prüfen, ob mit dem in der Praxis erreichbaren Oberflächenansprechvermögen  $S_{off} (\alpha+\beta)$  mindestens eine flächenbezogene Aktivität des Gemisches, die gleich dem effektiven Kontaminationswert  $O_{off}$  ist, nachgewiesen werden kann. Zur Berechnung des Oberflächenansprechvermögens  $S_{off} (\alpha+\beta)$  werden nuklidspezifische Werte  $S_i (\alpha+\beta)$  herangezogen, die für tragbare Kontaminationsmessgeräte gelten.

Die für die Neuberechnung erforderlichen Spalten der Tabelle C sind in Tabelle D dargestellt.

Das in der Praxis erreichbare Oberflächenansprechvermögen des Kontaminationsmessgerätes für die im Gemisch relevanten Radionuklide errechnet sich mit den für tragbare Geräte geltenden Einzelangaben (Spalte 10) zu

$$S_{off} (\alpha+\beta) = (P_{ni} \cdot S_i (\alpha+\beta))$$

$$S_{off} (\alpha+\beta) = 8,4\ s^{-1}\ Bq^{-1}\ cm^2 \text{ (Spalte 11)}$$

**Schritt 8: Ist eine Kontamination in Höhe des effektiven Kontaminationswertes nachweisbar?**

Da mit dem neu gewählten Kontaminationsmessgerät das vorliegende Radionuklidgemisch ausreichend gut nachweisbar ist, kann die Einleitung spezieller Messverfahren bzw. Maßnahmen entfallen.

**Schritt 9: Alarmschwelle einstellen** (Abschnitt 2.1.3)

Für das tragbare Kontaminationsmessgerät ist zunächst der Nulleffekt in der Betriebsart ( $\alpha + \beta$ ) zu ermitteln. Der Mittelwert der Impulszahl des Nulleffektes in der Messzeit  $t = 10$  s bei Routinebetrieb betrage  $N_0 = 60$ . Die Alarmschwelle ist auf folgende Impulszahl einzustellen:

$$N_{\text{alarm}} = N_0 + 1,6 \sigma$$

Mit  $\sigma = \sqrt{N_0} = \sqrt{60} \cong 8$  ist

$$N_{\text{alarm}} \cong 73$$

Die Alarmschwelle ist auf 73 Impulse in 10 s einzustellen.

Der effektive Kontaminationswert  $O_{\text{eff}}$  für das zu kontrollierende Objekt (im vorliegenden Fall Ganzkörper) ist eingehalten, wenn das Kontaminationsmessgerät eine Impulszahl von

$$N = N_0 + \sum (O_{\text{eff},i} \cdot S_i \cdot (\alpha + \beta)) \cdot t$$
$$N = 60 + (0,2 + 1,1 + 1,9 + 3,0 + 1,9) \text{ s}^{-1} \cdot 10 \text{ s} \cong 140$$

nicht überschreitet.

Bekanntmachung einer Empfehlung der Strahlenschutzkommission (Anforderungen an die Kontaminationskontrolle beim Verlassen eines Kontrollbereichs (§ 44 der Strahlenschutzverordnung))

## Anlage 4

### Beispielrechnungen zur Beurteilung der radiologischen Relevanz einer verbleibenden Hautkontamination

Gemäß Abschnitt 3.3 sind folgende Kriterien zu prüfen:

1. Die Hautdosis für die betroffene Person überschreiten nicht **5 mSv**.

Die Berechnung der Hautdosis erfolgt gemäß Kapitel 7 der SSK-Empfehlung "Berechnungsgrundlage für die Ermittlung von Körperdosen bei äußerer Strahlenexposition" (Veröffentlichungen der SSK, Bd. 43, 2000).

2. Die effektive Dosis für die betroffene Person durch Inkorporation abgestoßener kontaminierter Hautschuppen überschreitet nicht **0,2 mSv**.

Zur Bestimmung der auf der Haut verbleibenden Aktivität ist die Fläche der kontaminierten Hautpartie abzuschätzen. Ist das nicht möglich, kann ersatzweise eine kontaminierte Fläche von 500 cm<sup>2</sup> angenommen werden. Zur Bestimmung der effektiven Dosis kann angenommen werden, dass 25%

der Aktivität durch Ingestion in den Körper gelangen. Eine Inhalation kann vernachlässigt werden, da die Aufnahme von kontaminierten Hautschuppen prozentual gering ist und solche Hautschuppen i. a. aufgrund ihrer Größe keine lungengängigen Aerosole darstellen. Die Dosiskoeffizienten zur Berechnung der effektiven Dosis werden der Bekanntmachung der Dosiskoeffizienten zur Berechnung der Strahlenexposition vom 23. Juli 2001 (BAnz. Nr. 160 a und 160 h vom 28. August 2001) entnommen.

Bei der Berechnung der Hautdosis in Kriterium 1 wird davon ausgegangen, dass die Aktivitätskonzentration der Kontaminanten in der obersten Hornschicht der Haut exponentiell mit der Tiefe abnimmt. Die Hornschicht wird im Verlauf von ca. 2 Wochen sukzessive abgestoßen. In der Modellbetrachtung wird eine Expositionsdauer von 1 Woche (168 h) angenommen. Die Berechnung der Hautdosis führt damit zu konservativen Ergebnissen, da die Abnahme der Aktivität pro Flächeneinheit durch die Abstoßung kontaminierter Hautschuppen vernachlässigt wird. Der radioaktive Zerfall kurzlebiger Radionuklide ist zu berücksichtigen.

Der Abschätzung der effektiven Dosis in Kriterium 2 liegt kein Expositionsmodell zugrunde, das den Mechanismus des Radionuklidtransfers von der kontaminierten Hautfläche über den Pfad der Ingestion in Werte der Aktivitätszufuhr für die exponierte Person in rechnerisch erfassbare Schritte umsetzt. Mit Hilfe des Kriteriums wird geprüft, ob die angenommene ingestive Zufuhr einer Aktivitätsmenge, die in einem bestimmten Verhältnis zur Hautkontamination steht, zu einer radiologisch signifikanten Überschreitung des gewählten Schwellenwertes der effektiven Dosis führt. Bei einer Kontamination mit einem Radionuklidgemisch sind für jedes Kriterium die Dosisbeiträge der einzelnen Komponenten getrennt zu berechnen und zu summieren.

**Beispiel I: Tc-99m**

Radionuklid mit der Freigrenze  $10^7$  Bq

Halbwertszeit  $T_{1/2} = 6$  h Zerfallskonstante  $\lambda = 0,12$  h<sup>-1</sup>

Wert der Oberflächenkontamination  $O_{Tc-99m} = 10$  Bq cm<sup>-2</sup>

Es sei eine verbleibende Hautkontamination von 100 Bq cm<sup>-2</sup> angenommen.

**Kriterium 1**

ist.

Die Hautdosis  $H_T$  bei gleichmäßiger Kontamination der betrachteten Hautoberfläche berechnet sich zu

$$H_T = A_{F,0} I_c \lambda^{-1} (1 - e^{-\lambda t}) \quad (1)$$

wobei	$H_T$	die Äquivalentdosis der kontaminierten Haut
	$A_{F,0}$	die flächenbezogene Aktivität zu Beginn der Kontamination
	$\lambda$	die Zerfallskonstante
	$t$	die Dauer der Kontamination
	$I_c$	der Äquivalentdosisleistungsfaktor (s. Tab. 7.1 Bd. 43 SSK)

Wegen  $T_{1/2} \ll t$  vereinfacht sich die Formel (1) zu

$$H_T = A_{F,0} I_c \lambda^{-1} \quad (2)$$

$$H_T = \frac{100 \text{ Bq cm}^2 \cdot 2,4 \cdot 10^{-1} \mu\text{Sv h}}{0,12 \text{ h}^{-1}}$$

$$H_T = 200 \mu\text{Sv}$$

Das Kriterium 1 ist eingehalten.

**Kriterium 2**

Bei einer kontaminierten Hautfläche von 500 cm<sup>2</sup> beträgt die verbleibende Gesamtaktivität  $A = 5 \cdot 10^4$  Bq.

Durch Ingestion werden 25% zugeführt:  $A_{\text{Ing}} = 1,25 \cdot 10^4$  Bq.

Die effektive Dosis  $E_{\text{eff}}$  berechnet sich zu

$E_{\text{eff}} = \text{zugeführte Aktivität } A_{\text{Ing}} \cdot \text{Dosiskoeffizient } h_{\text{Ing}(g)}$

$$E_{\text{eff}} = 1,25 \cdot 10^4 \text{ Bq} \cdot 2,2 \cdot 10^{-11} \text{ Sv Bq}^{-1}$$

$$E_{\text{eff}} = 0,3 \mu\text{Sv}$$

Das Kriterium 2 ist eingehalten.

**Schlußfolgerung:** Weitere Dekontaminationsmaßnahmen sind nicht erforderlich.

**Beispiel II: Co-60**

Radionuklid mit der Freigrenze  $10^5$  Bq

Halbwertszeit  $T_{1/2} = 5,27$  a

Wert der Oberflächenkontamination  $O_{Co-60} = 1$  Bq cm<sup>-2</sup>

Es sei eine verbleibende Hautkontamination von 10 Bq cm<sup>-2</sup> angenommen.

**Kriterium 1**

Da es nicht erforderlich ist, die Abnahme der Aktivität pro Flächeneinheit durch radioaktiven Zerfall zu berücksichtigen ( $T_{1/2} \gg t$ ), vereinfacht sich die

Formel (1) zur Berechnung der Hautdosis  $H_T$  zu:

$$H_T = A_{F,0} I_c t$$

$$H_T = 10 \text{ Bq cm}^{-2} \cdot 1,1 \text{ } \mu\text{Sv h}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ cm}^2 \cdot 168 \text{ h}$$

$$H_T = 1,9 \text{ mSv}$$

Das Kriterium 1 ist eingehalten.

**Kriterium 2**

Bei einer kontaminierten Hautfläche von  $500 \text{ cm}^2$  beträgt die verbleibende Gesamtaktivität  $A = 5 \cdot 10^3 \text{ Bq}$ . Durch Ingestion werden 25% zugeführt:  $A_{ing} = 1,25 \cdot 10^3 \text{ Bq}$ .

Die effektive Dosis  $E_{eff}$  berechnet sich zu

$$E_{eff} = \text{zugeführte Aktivität } A_{ing} \cdot \text{Dosiskoeffizient } h_{ing(g)}$$

$$E_{eff} = 1,25 \cdot 10^3 \text{ Bq} \cdot 3,4 \cdot 10^{-9} \text{ SvBq}^{-1}$$

$$E_{eff} = 4 \text{ } \mu\text{Sv}$$

Das Kriterium 2 ist eingehalten.

**Schlussfolgerung:** Weitere Dekontaminationsmaßnahmen sind nicht erforderlich.

**Beispiel III: Am-241**

Radionuklid mit der Freigrenze  $10^4 \text{ Bq}$

Halbwertszeit  $T_{1/2} = 432,7 \text{ a}$

Wert der Oberflächenkontamination  $O_{Am-241} = 0,1 \text{ Bq cm}^{-2}$

Es sei eine verbleibende Hautkontamination von  $0,1 \text{ Bq cm}^{-2}$  angenommen.

**Kriterium 1**

Da es nicht erforderlich ist, die Abnahme der Aktivität pro Flächeneinheit durch radioaktiven Zerfall zu berücksichtigen ( $T_{1/2} \gg t$ ), vereinfacht sich die Formel (1) zur Berechnung der Hautdosis  $H_T$  zu:

$$H_T = A_{F,0} I_c t$$

$$H_T = 0,1 \text{ Bq cm}^{-2} \cdot 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ } \mu\text{Sv h}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ cm}^2 \cdot 168 \text{ h}$$

$$H_T = 0,25 \text{ } \mu\text{Sv}$$

Das Kriterium 1 ist eingehalten.

**Kriterium 2**

Bei einer kontaminierten Hautfläche von 500 cm<sup>2</sup> beträgt die verbleibende Gesamtaktivität A = 50 Bq. Durch Ingestion werden 25% zugeführt:  $A_{ing} = 12,5$  Bq.

Die effektive Dosis  $E_{eff}$  berechnet sich zu

$E_{eff} = \text{zugeführte Aktivität } A_{ing} \cdot \text{Dosiskoeffizient } h_{ing(g)}$

$$E_{eff} = 12,5 \text{ Bq} \cdot 2,0 \cdot 10^{-7} \text{ Sv Bq}^{-1}$$

$$E_{eff} = 2,5 \text{ } \mu\text{Sv}$$

$$E_{eff} = 0,003 \text{ mSv}$$

Das Kriterium 2 ist eingehalten.