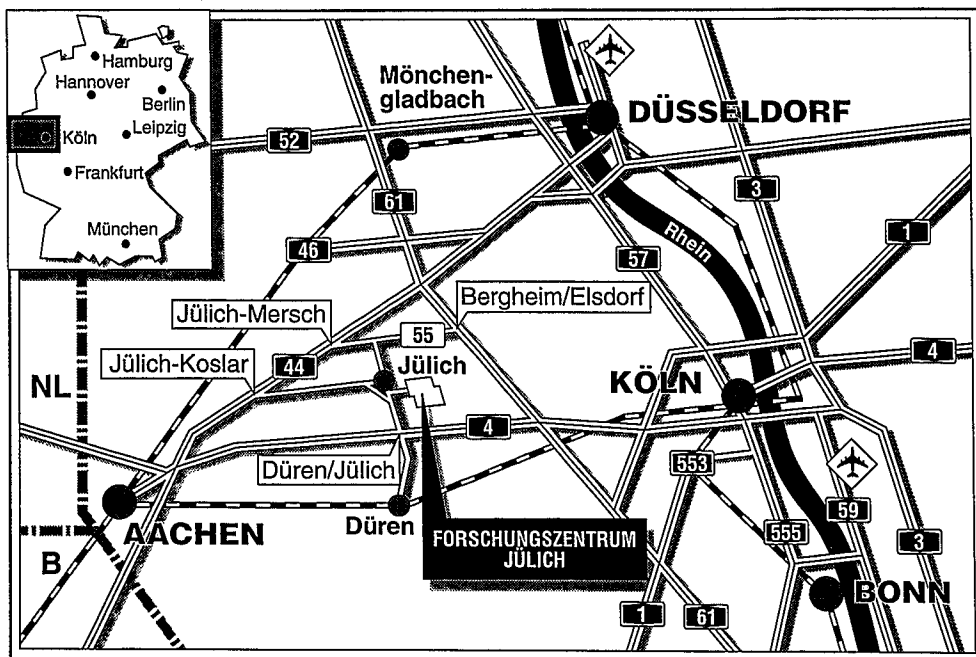


Abteilung Sicherheit und Strahlenschutz

**Erfassung von Personenkontaminationen in
Höhe der Grenzwerte der Flächenkontamination
nach Anlage IX StrlSchV für Gegenstände,
Kleidung und Wäsche außerhalb von
betrieblichen Überwachungsbereichen**

M. Heinzelmann G.H. Schnepel



Berichte des Forschungszentrums Jülich ; 2678

ISSN 0366-0885

Abteilung Sicherheit und Strahlenschutz Jüli-2678

Zu beziehen durch: Forschungszentrum Jülich GmbH · Zentralbibliothek
 Postfach 1913 · D-5170 Jülich · Bundesrepublik Deutschland
 Telefon: 02461/61-6102 · Telefax: 02461/61-6103 · Telex: 833556-70 kfa d

**Erfassung von Personenkontaminationen in
Höhe der Grenzwerte der Flächenkontamination
nach Anlage IX StrlSchV für Gegenstände,
Kleidung und Wäsche außerhalb von
betrieblichen Überwachungsbereichen**

M. Heinzelmann¹⁾ G.H. Schnepel²⁾

¹⁾ Forschungszentrum Jülich, Jülich

²⁾ Bundesamt für Strahlenschutz, Bonn

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1	Einleitung	3
2	Betrachtete Radionuklide	4
3	Kontaminationsmonitore	4
3.1	Allgemeines	4
3.1.1	Hand-Fuß- und Ganzkörperkontaminationsmonitore	5
3.1.2	Tragbare Kontaminationsmonitore	5
3.2	Voraussetzungen zur Abschätzung des Kontaminations- nachweises	6
3.2.1	Meßgeräte	7
3.2.2	Geometrie der Meßanordnung	7
3.3	Oberflächenansprechvermögen	8
3.3.1	α -Strahler	9
3.3.2	β -Strahler	10
3.3.3	Konversions- und Augerelektronen	11
3.3.4	Photonenstrahlung	13
3.3.5	Spontanspalter	13
4	Abschätzung des Oberflächenansprechvermögens für Radionuklide	22
4.1	Nuklidgemische im radioaktiven Gleichgewicht	23
4.2	Cf-254 und Cm-250	24
5	Grenzwerte der Flächenkontamination	26
5.1	Festlegung der Begriffe α -Strahler, β -Strahler und Elektronen- einfangstrahler	26
5.2	Radionuklidgemische	27
6	Nachweisgrenzen und minimal erforderliches Oberflächenan- sprechvermögen	29
7	Nicht aufgeführte Nuklide und Nuklidgemische	33
8	Diskussion	33
8.1	Allgemeines	33
8.2	Vergleich unterschiedlicher Geräte	35
8.3	Einfluß des Zählgases	38
8.4	Kontamination durch Tritium	40
8.5	Kontaminationsnachweis von schwer nachweisbaren Radionukliden	41

9	Literatur	42
	Danksagung	43
	Tabellenanhang	44
	Anhang A: Erläuterungen zu den Tabellen	45
	Anhang B: Oberflächenansprechvermögen zum Nachweis von Oberflächenkontaminationen mit Hand-Fuß- oder Ganzkörper-Kontaminationsmonitoren für Nuklide mit Halbwertszeiten größer als eine Stunde.	47
	Anhang C: Oberflächenansprechvermögen zum Nachweis von Oberflächenkontaminationen mit tragbaren Konta- minationsmonitoren für Nuklide mit Halbwerts- zeiten größer als eine Stunde.	58
	Anhang D: Oberflächenansprechvermögen zum Nachweis von Oberflächenkontaminationen mit Hand-Fuß- oder Ganzkörper-Kontaminationsmonitoren für Nuklid- gemische im radioaktiven Gleichgewicht.	69
	Anhang E: Oberflächenansprechvermögen zum Nachweis von Oberflächenkontaminationen mit tragbaren Konta- minationsmonitoren für Nuklidgemische im radio- aktiven Gleichgewicht.	72

Einleitung

An Personen, die einen Kontrollbereich verlassen, in dem offene radioaktive Stoffe vorhanden sind, ist nach der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) (1) zu prüfen, ob die Haut oder die Kleidung kontaminiert sind. Während für die Kleidung Kontaminationsgrenzwerte in Anlage IX StrlSchV festgelegt sind, gibt es solche Werte für die Haut nicht. Obgleich Werte für Personen nicht festgelegt sind, wird angestrebt, beim Verlassen eines Kontrollbereichs mindestens Personenkontaminationen in Höhe der Grenzwerte der Spalte 4 Anlage IX zu erfassen.

Die Arbeitsgruppe "Messung von Oberflächenkontaminationen" des Ausschusses "Strahlenschutztechnik" der "Strahlenschutzkommission" (SSK) ist beauftragt worden, die Meßtechnik der Erfassung von Oberflächenkontaminationen für alle Radionuklide zu untersuchen und zu prüfen, ob die in der Anlage IX der StrlSchV festgelegten Grenzwerte von Kontaminationsmeßgeräten, die dem derzeitigen Stand der Technik entsprechen, erfaßt werden können.

Im Rahmen der Aufgaben der Arbeitsgruppe "Messung von Oberflächenkontaminationen" ist der vorliegende Bericht erstellt worden. In ihm wird das Oberflächenansprechvermögen zum Kontaminationsnachweis für 589 Radionuklide und 44 Radionuklidgemische abgeschätzt und mit dem minimalen Oberflächenansprechvermögen, das zum Nachweis von Flächenkontaminationen in Höhe der Grenzwerte für Gegenstände, Kleidung und Wäsche außerhalb von betrieblichen Überwachungsbereichen erforderlich ist, verglichen. Zur Berechnung des Oberflächenansprechvermögens zum Kontaminationsnachweis für die betrachteten ca. 600 Nuklide, die α -, β -, γ -Strahlung und Konversionselektronen unterschiedlicher Energie aussenden, müßte das Oberflächenansprechvermögen für eine hinreichend große Anzahl geeigneter Nuklide bekannt sein. Das ist nicht der Fall. Die hier durchgeführten Rechnungen beruhen nur auf einigen experimentellen Werten. Deswegen kann das Oberflächenansprechvermögen nur abgeschätzt werden. Diese Abschätzungen sind konservativ, d.h. das Oberflächenansprechvermögen guter Kontaminationsmonitore kann geringfügig größer sein als hier abgeschätzt wird.

2 **Betrachtete Radionuklide**

Für diese Untersuchungen sind die Radionuklide ausgewählt, für die in den Berichten des Instituts für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes Heft 63 (2), Heft 78 (3) und Heft 80 (4) Dosisfaktoren angegeben sind. Nicht berücksichtigt werden Edelgasnuklide und Nuklide mit Halbwertszeiten kleiner als eine Stunde. Bei einigen Radionukliden entstehen radioaktive Folgeprodukte. Folgeprodukte mit Halbwertszeiten kleiner als eine Stunde können aber, da immer mit der Muttersubstanz gleichzeitig vorhanden, nicht außer acht gelassen werden. Für diese Folgeprodukte wird der Kontaminationsnachweis für das Gemisch aus Mutter- und Tochternuklid unter der Annahme radioaktiven Gleichgewichts berechnet.

3 **Kontaminationsmonitore**

3.1 **Allgemeines**

In der Bundesrepublik Deutschland werden von Ausnahmen abgesehen zur Personenüberwachung nur Kontaminationsmonitore mit Großflächen-Proportionalzähler verwendet. Zur Abschätzung, bei welchen Radionukliden Personenkontaminationen in Höhe der Grenzwerte für Flächenkontaminationen nach Anlage IX StrlSchV erfaßt werden können, können nicht alle gebräuchlichen Kontaminationsmonitore berücksichtigt werden, sondern die Abschätzung muß sich auf charakteristische Beispiele beschränken. Vor der Auswahl von zwei typischen Geräten wird zunächst ein Überblick über die Kontaminationsmonitore gegeben.

Die Kontaminationsmonitore können eingeteilt werden in

Hand-Fuß- und Ganzkörper-Kontaminationsmonitore,
tragbare Kontaminationsmonitore und
spezielle Geräte (z.B. Fußbodenmonitore).

Die dritte Gruppe wird nicht betrachtet.

3.1.1 **Hand-Fuß- und Ganzkörper-Kontaminationsmonitore**

Hand-Fuß-Monitore besitzen bis zu vier Sonden zur Kontrolle der Hände und eine oder zwei Sonden zur Kontrolle der Füße. Vielfach besitzen die Geräte noch eine zusätzliche, frei bewegliche Sonde zur Kontrolle der Kleidung. Ganzkörper-Kontaminationsmonitore haben zusätzlich zu den Hand- und Fußsonden eine Reihe weiterer, fest installierter Sonden zur Kontrolle von Kopf und Kleidung. Abgesehen von einigen Geräten mit kleinflächigen Hand- oder auch Fuß-Sonden ist die Fläche einer einzelnen Sonde relativ groß (ca. 600 cm²). Bedingt durch die große Sondenfläche ist die Nulleffekt-Zählrate dieser Geräte größer als die tragbarer Kontaminationsmonitore. Das Oberflächenansprechvermögen für den Kontaminationsnachweis ist bei verschiedenen Sonden unterschiedlich. Es ist bei Handsonden größer als bei Fußsonden, da über diesen ein Rost für die zu untersuchende Person angebracht ist. Die Sonden der Ganzkörper-Kontaminationsmonitore zur Kontrolle von Kopf und Kleidung befinden sich in einem größeren Abstand von der zu überprüfenden Fläche, und sie weisen deswegen Kontaminationen nicht so empfindlich wie die Handsonden nach. Da bei den Sonden zur Kontaminationsüberprüfung von Kopf und Kleidung der Abstand zur kontrollierenden Fläche von Größe und Statur der Person abhängt, sind Aussagen über den Kontaminationsnachweis schwierig, und diese Sonden werden in diesem Bericht nicht betrachtet. Die hier durchgeführte Abschätzung des Kontaminationsnachweises von ca. 600 Nukliden bezieht sich auf die relativ unempfindliche Fußsonde. Das Oberflächenansprechvermögen der Handsonde ist etwa gleich dem von tragbaren Kontaminationsmonitoren. Bei einigen Hand-Fuß- und Ganzkörper-Kontaminationsmonitoren ist die Fläche der Handsonden so klein, daß die Zählrate des Nulleffektes gleich der tragbarer Kontaminationsmonitore ist. Dann ist die Nachweisgrenze für die Handsonden etwa gleich der tragbarer Kontaminationsmonitore.

3.1.2 **Tragbare Kontaminationsmonitore**

Tragbare Kontaminationsmonitore besitzen eine Detektorfläche von etwa 150 bis 200 cm². Wegen dieser kleinen Fläche ist die Nulleffekt-Zählrate kleiner als die der Hand-Fuß- und Ganzkörper-Kontaminationsmonitore. Bei einigen tragbaren Kontaminationsmonitoren kann die Impulszahl während einer vorgegebenen Meßzeit bestimmt werden. Häufiger sind Geräte mit Ratemeteranzeige.

In diesem Bericht wird das zur Messung von Kontaminationen in Höhe der Grenzwerte minimal erforderliche Oberflächenansprechvermögen für Geräte berechnet, bei denen die Impulse gezählt werden, da mit diesen Geräten bei gleicher Meßzeit geringere Kontaminationen nachgewiesen werden können als mit Geräten mit Ratemeteranzeige (Abschnitt 6).

Die Großflächen-Proportionalzähler der Kontaminationsmonitore verwenden als Zählgas in vielen Fällen Kohlenwasserstoffe oder - dies gilt nur für Hand-Fuß- und Ganzkörper-Kontaminationsmonitore - Argon-Methan oder Argon-Kohlendioxid. Das Oberflächenansprechvermögen der Monitore für α - und für β -Strahler ist bei den genannten Gasen vom Zählgas unabhängig. Für Nuklide, die sehr niederenergetische Photonen ($< \text{ca. } 10 \text{ keV}$) aussenden, ist das Ansprechvermögen mit den argonhaltigen Zählgasen größer. In diesem Bericht werden Detektoren mit Kohlenwasserstoffen als Zählgas betrachtet. Zusätzlich wird für einige Nuklide das Oberflächenansprechvermögen für Kontaminationsmonitore mit argonhaltigem Zählgas angegeben (Abschnitt 8.3).

Zum Nachweis von Nukliden, die niederenergetische Photonen aussenden, werden Kontaminationsmonitore mit Xenon als Zählgas verwendet. Die Sonden dieser Geräte müssen gasdicht sein, und sie besitzen deswegen eine stabilere Fensterfolie als die anderen Kontaminationsmonitore. Das Oberflächenansprechvermögen der Geräte mit Xenonsonden ist daher für α - und β -Strahler, wenn diese nicht gleichzeitig niederenergetische γ -Strahlung emittieren, kleiner als bei Geräten mit Kohlenwasserstoffen als Zählgas (Tabelle 7). Für die Abschätzung des Oberflächenansprechvermögens der Xenondetektoren sind die bisher vorliegenden Daten für das Ansprechvermögen als Funktion der Photonenenergie noch nicht ausreichend.

3.2 Voraussetzungen zur Abschätzung des Kontaminationsnachweises

Der Nachweis einer Personenkontamination hängt wesentlich vom Oberflächenansprechvermögen des verwendeten Kontaminationsmonitors, von der Meßgeometrie, vom Nulleffekt und von der Meßzeit ab. Zur Abschätzung, ob bei einem Radionuklid Personenkontaminationen in Höhe der Grenzwerte für Flächenkontaminationen nach Anlage IX StrlSchV erfaßt werden können, werden in den Abschnitten 3.2.2 (Geometrie der Meßanordnung), 3.3 (Oberflächenansprechvermögen) und 6 (Nachweisgrenzen und minimal erforderliches Oberflächenansprechvermögen) geeignete Ausgangswerte festgelegt.

3.2.1 Meßgeräte

Das Oberflächenansprechvermögen von Kontaminationsmonitoren ist für nur wenige Nuklide bestimmt worden. Die Ergebnisse reichen nicht aus, um das Ansprechvermögen als Funktion der Energie der α -, β -, Konversionselektronen- und Photonenstrahlung genau zu bestimmen. Angaben verschiedener Autoren können nicht ohne weiteres kombiniert werden, da die Geometrie bei der Messung nicht gleich zu sein braucht. DIN 44801 Teil 1 verlangt z.B. für die Prüfung des Ansprechvermögens in Abhängigkeit von der Strahlenenergie einen minimalen Abstand zwischen Detektoroberfläche und Präparat, legt diesen Abstand aber nicht fest. In neueren Untersuchungen (5,6) werden zur Bestimmung des Ansprechvermögens in Abhängigkeit von der Strahlenenergie eine in etwa ausreichende Zahl von Nukliden verwendet. Das Ansprechvermögen von 5 tragbaren Kontaminationsmonitoren und 2 Fußsonden verschiedener Hand-Fuß-Monitore ist in diesen Untersuchungen für 20 ausgewählte Nuklide gemessen worden. Von den tragbaren Kontaminationsmonitoren ist das Gerät des Typs Microcont¹⁾ für die meisten der untersuchten Nuklide am empfindlichsten. Das Ansprechvermögen der Fußsonde des Hand-Fuß-Monitors des Typs FH 65 M²⁾ ist für die untersuchten Nuklide größer als das der entsprechenden Sonde des zweiten Hand-Fuß-Monitors. Das Ansprechvermögen dieser Geräte, der Fußsonde des FH 65 M und des Microconts HGZ 190, werden der Abschätzung des Kontaminationsnachweises zugrunde gelegt (siehe Abschnitt 3.3).

3.2.2 Geometrie der Meßanordnung

Das Oberflächenansprechvermögen eines Kontaminationsmonitors hängt vom Abstand der zu überprüfenden Fläche von der Sonde ab. Für eine empfindliche Messung sollte dieser Abstand möglichst klein sein, zugleich sollte aber ein Kontakt mit der zu prüfenden Fläche zur Verhinderung einer Kontamination der Sonde vermieden werden. Wird berücksichtigt, daß die Körperoberfläche nicht eben ist, so kann ein Abstand von 5 mm zwischen der zu prüfenden Fläche und dem Gitter über der Sonde als sinnvolle Annahme bei tragbaren Kontaminationsmonitoren und bei Handsonden von Hand-Fuß-Monitoren für die Abschätzung des Kontaminationsnachweises angesehen werden.

¹⁾ Hersteller: Herfurth, Hamburg

²⁾ Hersteller: FAG Kugelfischer Georg Schäfer, Erlangen

Bei der Kontaminationskontrolle der Schuhsohlen steht die Person auf dem Rost der Fußsonde. Auch wenn ein geringes Profil der Schuhsohlen nicht ausgeschlossen wird, ist der Abstand bei den Fußsonden kleiner als bei der Überprüfung der Hände. Bei Sohlen mit stärkerem Profil kann davon ausgegangen werden, daß die Kontamination sich dort, wo Bodenkontakt war, befindet. Bei Fußsonden der Hand-Fuß-Monitore wird deshalb ein Abstand von 1 mm zwischen zu überprüfender Fläche und Rost angenommen.

3.3 Oberflächenansprechvermögen

Zur Messung einer Oberflächenkontamination müssen der Wirkungsgrad ϵ oder das Oberflächenansprechvermögen S des Kontaminationsmonitors für das Radionuklid bekannt sein. Ist n die Impulsratenerhöhung erzeugt von einem Nuklid mit der Aktivität A , das als Flächenkontamination $a = A:F$ auf einer Fläche F verteilt ist, dann ist der Wirkungsgrad

$$\epsilon = \frac{n}{A} = \frac{n}{aF} \quad (1)$$

und das Oberflächenansprechvermögen

$$S = \frac{n}{a} = \frac{nF}{A} \quad (2)$$

Häufig wird von einer auf einer Fläche $F = 100 \text{ cm}^2$ verteilten Kontamination ausgegangen. Wird der Wirkungsgrad, wie häufig üblich, in Prozent angegeben, dann sind bei Annahme einer Fläche $F = 100 \text{ cm}^2$ die Zahlenwerte von Wirkungsgrad und Oberflächenansprechvermögen gleich.

Für die Berechnung des Oberflächenansprechvermögens für eine große Anzahl von Radionukliden wird in diesem Bericht von experimentellen Werten des Oberflächenansprechvermögens für das Microcont HGZ 190 und der Fußsonde des FH 65 M nach (5,6) ausgegangen. Diese Werte gelten für einen Abstand von 3 mm zwischen Sonde und kontaminierter Fläche. Zusätzlich werden für einige Radionuklide das Oberflächenansprechvermögen in Abhängigkeit

vom Abstand zwischen Sonde und kontaminierter Fläche angegeben (Abb. 3, 4). Mit Hilfe dieser Werte wird das Ansprechvermögen für verschiedene Strahlenarten und verschiedene Energien bestimmt für die Abstände 1 mm bei der Fußsonde des FH 65 M und 5 mm beim Microcont und unter der Voraussetzung, daß in 100 % der Zerfälle nur eine Strahlenart und nur Strahlung einer Energie (bei β -Strahlung ein Partialspektrum) emittiert wird (Tabelle 1 und 2). Anhand der so ermittelten Werte des Oberflächenansprechvermögens werden zur Berechnung des Oberflächenansprechvermögens für beliebige Radionuklide Ausgangswerte festgelegt. Diese Ausgangswerte sind für einige Energien in den Tabellen 3 und 4 zusammengestellt. Zwischen den in diesen Tabellen angegebenen Werten wird das Oberflächenansprechvermögen als Funktion der Energie linear interpoliert. In den Abbildungen 1 und 2 sind zum Vergleich diese Ausgangswerte für die Berechnungen gemeinsam mit den in den Tabellen 1 und 2 für 1 mm bzw. 5 mm Abstand berechneten Werten dargestellt. Erläuterungen zur Umrechnung der Werte nach (5,6) in den Tabellen 1 und 2 und zur Festlegung der Ausgangswerte in den Tabellen 3 und 4 werden für die verschiedenen Strahlenarten in den Abschnitten 3.3.1 bis 3.3.5 gegeben.

3.3.1 α -Strahler

Die Werte des Oberflächenansprechvermögens für α -Strahler sind im α -Modus der Kontaminationsmonitore gemessen. Ein Einfluß anderer Strahlenarten auf die Meßwerte kann damit ausgeschlossen werden.

Die Werte für U-238 in den Tabellen 1 und 2 sind nicht direkt gemessen, sondern aus den Meßwerten von Uran und Np-237 ermittelt. Das verwendete Uranpräparat enthält Uran mit einem Aktivitätsverhältnis der Uranisotope von $A_{U-234}:A_{U-235}:A_{U-238} = 0,53:0,039:1$. Unter Annahme gleichen Oberflächenansprechvermögens für U-234 ($\bar{E}_\alpha = 4,76$ MeV, $\bar{E}_\alpha$ = mittlere Energie) und für Np-237 ($\bar{E}_\alpha = 4,77$ MeV) und unter Vernachlässigung des U-235 ist das Oberflächenansprechvermögen für U-238 berechnet worden.

Die Korrekturfaktoren f zur Umrechnung des Oberflächenansprechvermögens für andere Abstände sind für U-238, Uran und Am-241 aus den Meßwerten (5,6) für die anderen Nuklide interpoliert worden.

Es sollten möglichst keine zu großen Ausgangswerte für die Berechnung des Oberflächenansprechvermögens für beliebige Nuklide festgelegt werden. Deswegen sind

- für die Korrekturfaktoren f für Uran und U-238, da nach (5,6) nur für größere α -Energien Werte vorliegen, konservative Werte abgeschätzt (klein für Umrechnungen auf 1 mm Abstand und groß für Umrechnung auf 5 mm Abstand),
- die Ausgangswerte etwas kleiner als die Werte in Spalte 6 der Tabellen 1 und 2 festgelegt,
- der relativ große Wert für Pu-239 nicht berücksichtigt,
- oberhalb der höchsten gemessenen α -Energie das Oberflächenansprechvermögen als konstant angenommen und
- unterhalb von 4 MeV das Oberflächenansprechvermögen gleich null gesetzt worden.

3.3.2 β -Strahler

In den Tabellen 1 und 2 ist bei den Werten des Oberflächenansprechvermögens für 3 mm Abstand in Spalte 4 der Beitrag der γ -Strahlung bei Co-60 und Na-22 nicht berücksichtigt. Die angegebenen Werte beruhen auf einer Differenzmessung mit den unabgeschirmten Präparaten und mit abgeschirmter β -Strahlung.

Die Werte des Oberflächenansprechvermögens für 1 mm bzw. 5 mm Abstand in Spalte 6 gelten unter der Annahme, daß in 100 % der Zerfälle nur β -Strahlung eines Partialspektrums emittiert wird. Deswegen sind außer der Abstandskorrektur bei Na-22, Cl-36 und Tl-204 berücksichtigt, daß nicht in 100 % der Zerfälle β -Strahlung emittiert wird. β -Strahlung eines anderen Partialspektrums als das mit der in Spalte 3 der Tabelle angegebenen Maximalenergie wird bei Co-60, Na-22 und Cl-36 in weniger als 10^{-3} der Zerfälle emittiert. Diese β -Strahlung wird ebenso wie die von diesen Nukliden mit noch geringerer Wahrscheinlichkeit emittierte Konversionselektronenstrahlung nicht berücksichtigt.

Die zur Umrechnung des Oberflächenansprechvermögens von 3 mm Abstand auf 1 mm bzw. 5 mm Abstand verwendeten Korrekturfaktoren in Spalte 5 der Tabellen 1 und 2 sind Meßwerte (5,6) (Ni-63, C-14, Co-60, Cl-36) oder sind aus diesen Meßwerten interpoliert worden.

Das Oberflächenansprechvermögen in Spalte 6 der Tabellen 1 und 2 nimmt nicht monoton mit der Energie der β -Strahlung zu. Dies ist nicht nur durch Meßunsicherheiten, sondern auch durch die individuellen Unterschiede der β -Spektren bedingt. Letzteres wird bei Vergleich der Werte von jeweils zwei Nukliden in den Spalten 2 und 3 der Tabellen 1 und 2 deutlich: Zu einem größeren Wert der β -Maximalenergie gehört mehrfach ein kleinerer Wert der mittleren Energie. Zur Festlegung der Ausgangswerte zur Berechnung des Oberflächenansprechvermögens für beliebige Nuklide werden deswegen die relativ hohen Werte in Spalte 6 der Tabellen 1 und 2 nicht berücksichtigt. Die Ausgangswerte für die Berechnung werden im allgemeinen etwas kleiner festgelegt als die Meßwerte (Ausnahmen Tl-204 und P-32, Abb. 1). Unterhalb der kleinsten Energie ($\bar{E} = 17 \text{ keV}$) wird das Oberflächenansprechvermögen gleich null gesetzt. Bei hohen Energien wird das Oberflächenansprechvermögen als konstant angenommen. Durch diese Festlegungen wird das für andere Nuklide berechnete Ansprechvermögen nur in wenigen Fällen und wenn, dann auch nur um einen kleinen Beitrag, zu klein abgeschätzt.

Für Positronenstrahlung und Elektronenstrahlung wird dieselbe Abhängigkeit des Oberflächenansprechvermögens von der Energie angenommen.

3.3.3 Konversions- und Augerelektronen

Für Konversionselektronen liegen nur von zwei Radionukliden Werte vor. Jedes sendet Konversionselektronen mit verschiedenen Energien aus (Energiebereich z.B. 62 bis 88 keV beim Ag-109m). Das gemessene Oberflächenansprechvermögen ist der mittleren Elektronenenergie zugeordnet worden.

Bei den Werten in Spalte 4 der Tabellen 1 und 2 ist der Beitrag der γ -Strahlung zum Oberflächenansprechvermögen nicht berücksichtigt.

Zur Umrechnung des Oberflächenansprechvermögens für 3 mm Abstand auf 1 mm bzw. 5 mm Abstand ist von den Korrekturfaktoren für β -Strahlung ausgegangen worden. Bei Umrechnung auf größere Abstände ist der Korrekturfaktor für einen Konversionselektronenstrahler größer als für einen β -Strahler gleicher Maximalenergie und kleiner als für einen β -Strahler gleicher mittlerer Energie. Bei Korrektur auf kleinere Abstände gelten die umgekehrten

Beziehungen. Zur Ermittlung des Korrektionsfaktors für Konversionselektronen $f(E_{\text{kon}})$ wird angenommen, daß er sich weniger von dem Korrektionsfaktor eines Strahlers mit gleicher mittlerer β -Energie $f(\bar{E})$ unterscheidet als von dem eines Strahlers mit gleicher β -Maximalenergie $f(E_{\text{max}})$. Aus den graphisch interpolierten Werten von $f(\bar{E})$ und $f(E_{\text{max}})$ ist der Korrektionsfaktor für Konversionselektronen für unsere Berechnungen bestimmt worden nach

$$f(E_{\text{kon}}) = \frac{2f(\bar{E}) + f(E_{\text{max}})}{3} \quad (3)$$

Bei der Berechnung der Werte des Oberflächenansprechvermögens für 1 mm bzw. 5 mm Abstand in Spalte 6 der Tabellen 1 und 2 wird die Emission eines Konversionselektrons in 100 % der Zerfälle angenommen.

Die Festlegung des Ansprechvermögens als Funktion der Energie für Konversionselektronenstrahler ist aus den zwei Werten in Tabelle 1 und 2 nicht ohne Willkür möglich. Als Ausgangswerte zur Berechnung des Oberflächenansprechvermögens für andere Nuklide sind im Bereich von 60 keV bis 150 keV Werte etwas kleiner als die für Cd-109/Ag-109m und Ce-139 konservativ festgelegt worden. Für Konversionselektronen mit Energien kleiner als die β -Maximalenergie des Ni-63, des Nuklids mit der kleinsten β -Energie, kann ein Nachweis nicht mehr mit Sicherheit vorausgesetzt werden. Deswegen wird für Konversionselektronen mit Energien kleiner als 60 keV das Oberflächenansprechvermögen gleich null gesetzt. Oberhalb von 150 keV kann das Oberflächenansprechvermögen nur geschätzt werden. Die festgelegten Werte sind willkürlich so gewählt, daß die tatsächlichen Werte größer als die festgelegten Werte angenommen werden können.

Für Augerelektronen wird dieselbe Abhängigkeit des Oberflächenansprechvermögens als Funktion der Energie wie für Konversionselektronen angenommen.

3.3.4 Photonenstrahlung

Das Oberflächenansprechvermögen für Photonenstrahler ist klein. Hoffmeister (5,6) gibt für einige α -, β - und γ -Strahler das Oberflächenansprechvermögen beim Nachweis nur der Photonen an. Aus diesen Ergebnissen folgt ein größeres Ansprechvermögen für Radionuklide mit kleiner (Cr-51 , Fe-55 ; $E_\gamma < 10 \text{ keV}$) und großer Photonenenergie (Na-22 , Co-60 ; $E_\gamma > 500 \text{ keV}$) als für Nuklide mit mittlerer Photonenenergie (Am-241 , Ce-139 , Cd-109/Ag-109m). Da Photonen von Kontaminationsmonitoren nur mit kleiner Wahrscheinlichkeit nachgewiesen werden, tragen sie nur wenig zum Oberflächenansprechvermögen bei. Deswegen können, ohne die Genauigkeit der Berechnung des Ansprechvermögens für beliebige Radionuklide unzulässig zu beeinflussen, pauschale Annahmen über den Beitrag der Photonenstrahlung zum Oberflächenansprechvermögen gemacht werden. Die Werte in den Tabellen 3 und 4 entsprechen in etwa den Ergebnissen nach (5,6), und sie berücksichtigen das größere Ansprechvermögen der Photonen kleiner und hoher Energie. Für Photonen mit Energien kleiner als 4,9 keV, der Energie der K-Strahlung des Cr-51 , wird der Beitrag der Photonen zum Oberflächenansprechvermögen gleich null gesetzt.

3.3.5 Spontanspalter

Kernspaltung läßt sich mit Kontaminationsmonitoren kaum nachweisen. Die Spaltprodukte können das Detektorfenster nicht durchdringen, und die bei der Spaltung entstehenden Photonen und Neutronen werden nur mit kleiner Wahrscheinlichkeit nachgewiesen. Bei den in diesem Bericht betrachteten Nukliden tritt - abgesehen von Cm-250 und Cf-254 - Spontanspaltung nur mit geringer Wahrscheinlichkeit auf und wird bei Abschätzung des Oberflächenansprechvermögens nicht berücksichtigt. Bei Cm-250 und Cf-254 wird ein Kontaminationsnachweis über die Spaltprodukte betrachtet (Abschnitt 4.2). Für sie wird das gleiche Oberflächenansprechvermögen wie für β -Strahler mit mittleren Energien größer als 0,7 MeV angenommen.

Tabelle 1
Oberflächenansprechvermögen der Fußsonde des
Hand-Fußmonitors FH 65 M für verschiedene
Abstände und verschiedene Strahlenarten

α-Strahler					
Nuklid	$\bar{E}$ MeV	$E_{\max}$ MeV	$S_3^{1)}$ $Bq^{-1}.s^{-1}.cm^2$	$f^{2)}$	$S_1^{3)}$ $Bq^{-1}.s^{-1}.cm^2$
U-238	4,18	---	2,26	1,19	2,69
Uran	4,38	---	3,1	1,19	3,69
Np-237	4,77	---	4,6	1,19	5,47
Pu-239	5,15	---	13,8	1,12	15,5
Am-241	5,48	---	12,5	1,12	14,0
Cm-244	5,80	---	16,0	1,088	17,4
β-Strahler					
Nuklid	$\bar{E}$ MeV	$E_{\max}$ MeV	$S_3^{1)}$ $Bq^{-1}.s^{-1}.cm^2$	$f^{2)}$	$S_1^{3)}$ $Bq^{-1}.s^{-1}.cm^2$
Ni-63	0,0171	0,067	0,6	1,33	0,8
C-14	0,0495	0,156	7,8	1,08	8,4
S-35	0,0488	0,167	8,4	1,08	9,1
Pm-147	0,0620	0,230	15,3	1,05	16,1
Tc-99	0,1013	0,290	12,7	1,033	13,1
Co-60	0,0958	0,310	13,9 ⁴⁾	1,04	14,5 ⁵⁾
Na-22	0,2154	0,540	18,9 ⁴⁾	1,015	21,4 ⁵⁾
Cl-36	0,2788	0,710	23,7	1,01	24,4 ⁵⁾
Tl-204	0,2439	0,765	20,1	1,01	20,8 ⁵⁾
P-32	0,6947	1,710	20,4	1,01	20,6
Konversionselektronenstrahler					
Nuklid	$\bar{E}$ MeV	$E_{\max}$ MeV	$S_3^{1)}$ $Bq^{-1}.s^{-1}.cm^2$	$f^{2)}$	$S_1^{3)}$ $Bq^{-1}.s^{-1}.cm^2$
Cd-109/ Ag-109m	0,0753	---	8,1 ⁴⁾	1,11	9,3 ⁵⁾
Ce-139	0,1318	---	3,0 ⁴⁾	1,05	15,0 ⁵⁾

¹⁾ Oberflächenansprechvermögen für 3 mm Abstand.

²⁾ Korrektionsfaktor zur Umrechnung Oberflächenansprechvermögen von 3 mm auf 1 mm Abstand.

³⁾ Oberflächenansprechvermögen für 1 mm Abstand.

⁴⁾ Beitrag der γ -Strahlung nicht berücksichtigt.

⁵⁾ Werte bezogen auf β -Emission bzw. Konversionselektronenemission in 100 % der Zerfälle.

Tabelle 2
Oberflächenansprechvermögen des Kontaminations-
monitors Microcont HGZ 190 für verschiedene
Abstände und verschiedene Strahlenarten

α-Strahler					
Nuklid	$\bar{E}$ MeV	$E_{\max}$ MeV	$S_3^{1)}$ $Bq^{-1}.s^{-1}.cm^2$	$f^{2)}$	$S_5^{3)}$ $Bq^{-1}.s^{-1}.cm^2$
U-238	4,19	---	5,84	0,80	4,67
Uran	4,38	---	6,7	0,83	5,56
Np-237	4,77	---	8,3	0,87	7,22
Pu-239	5,15	---	23,2	0,92	21,3
Am-241	5,48	---	22,1	0,92	20,3
Cm-244	5,80	---	28,0	0,92	25,8
β-Strahler					
Nuklid	$\bar{E}$ MeV	$E_{\max}$ MeV	$S_3^{1)}$ $Bq^{-1}.s^{-1}.cm^2$	$f^{2)}$	$S_5^{3)}$ $Bq^{-1}.s^{-1}.cm^2$
Ni-63	0,0171	0,067	2,5	0,60	1,5
C-14	0,0495	0,156	16,0	0,86	13,7
S-35	0,0488	0,167	16,5	0,85	14,0
Pm-147	0,0620	0,230	29,5	0,87	25,6
Tc-99	0,1013	0,290	24,0	0,89	21,3
Co-60	0,0958	0,310	27,4 ⁴⁾	0,88	24,1 ⁵⁾
Na-22	0,2154	0,540	34,6 ⁴⁾	0,95	36,6 ⁵⁾
Cl-36	0,2788	0,710	39,6	0,97	39,1 ⁵⁾
Tl-204	0,2439	0,765	38,7	0,96	38,1 ⁵⁾
P-32	0,6947	1,710	43,6	0,97	42,3
Konversionselektronenstrahler					
Nuklid	$\bar{E}$ MeV	$E_{\max}$ MeV	$S_3^{1)}$ $Bq^{-1}.s^{-1}.cm^2$	$f^{2)}$	$S_5^{3)}$ $Bq^{-1}.s^{-1}.cm^2$
Cd-109/ Ag-109m	0,0753	---	15,7 ⁴⁾	0,797	13,0 ⁵⁾
Ce-139	0,1318	---	5,4 ⁴⁾	0,88	22,7 ⁵⁾

1) Oberflächenansprechvermögen für 3 mm Abstand.

2) Korrektionsfaktor zur Umrechnung Oberflächenansprechvermögen von 3 mm auf 5 mm Abstand.

3) Oberflächenansprechvermögen für 5 mm Abstand.

4) Beitrag der γ -Strahlung nicht berücksichtigt.

5) Werte bezogen auf β -Emission bzw. Konversionselektronenemission in 100 % der Zerfälle.

Tabelle 3

**Ausgangswerte zur Berechnung des Oberflächen-
ansprechvermögens der Fußsonden von Hand-Fuß-Monitoren
für beliebige Radionuklide
(Abstand 1 mm)**

α-Strahlung	
E MeV	S $\text{Bq}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^2$
< 4,0	0
4,0	1,5
4,8	5,5
5,5	14
$\geq 5,8$	17
β-Strahlung	
$\bar{E}$ MeV	S $\text{Bq}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^2$
< 0,017	0
0,017	0,7
0,05	8
0,10	13
$\geq 0,22$	21
Konversions- und Augerelektronen	
E MeV	S $\text{Bq}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^2$
< 0,06	0
0,06	5
0,15	14
$\geq 0,35$	21
Photonenstrahlung	
E MeV	S $\text{Bq}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^2$
$E < 0,0049$	0
$0,0049 \leq E < 0,01$	0,4
$0,01 \leq E < 0,5$	0,04
$0,5 \leq E$	0,3

Tabelle 4

**Ausgangswerte zur Berechnung des Oberflächen-
ansprechvermögens von tragbaren Kontaminations-
monitoren für beliebige Radionuklide
(Abstand 5 mm)**

α-Strahlung	
E MeV	S $\text{Bq}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^2$
< 4,0	0
4,0	3,5
4,8	7,2
$\geq 5,8$	25,5
β-Strahlung	
$\bar{E}$ MeV	S $\text{Bq}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^2$
< 0,017	0
0,017	1,5
0,05	13,5
0,10	21
0,25	38
$\geq 0,70$	42
Konversions- und Augerelektronen	
E MeV	S $\text{Bq}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^2$
< 0,06	0
0,06	9
0,15	22
0,40	37
$\geq 1,0$	42
Photonenstrahlung	
E MeV	S $\text{Bq}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^2$
$E < 0,0049$	0
$0,0049 \leq E < 0,01$	0,7
$0,01 \leq E < 0,5$	0,2
$0,5 \leq E$	0,4

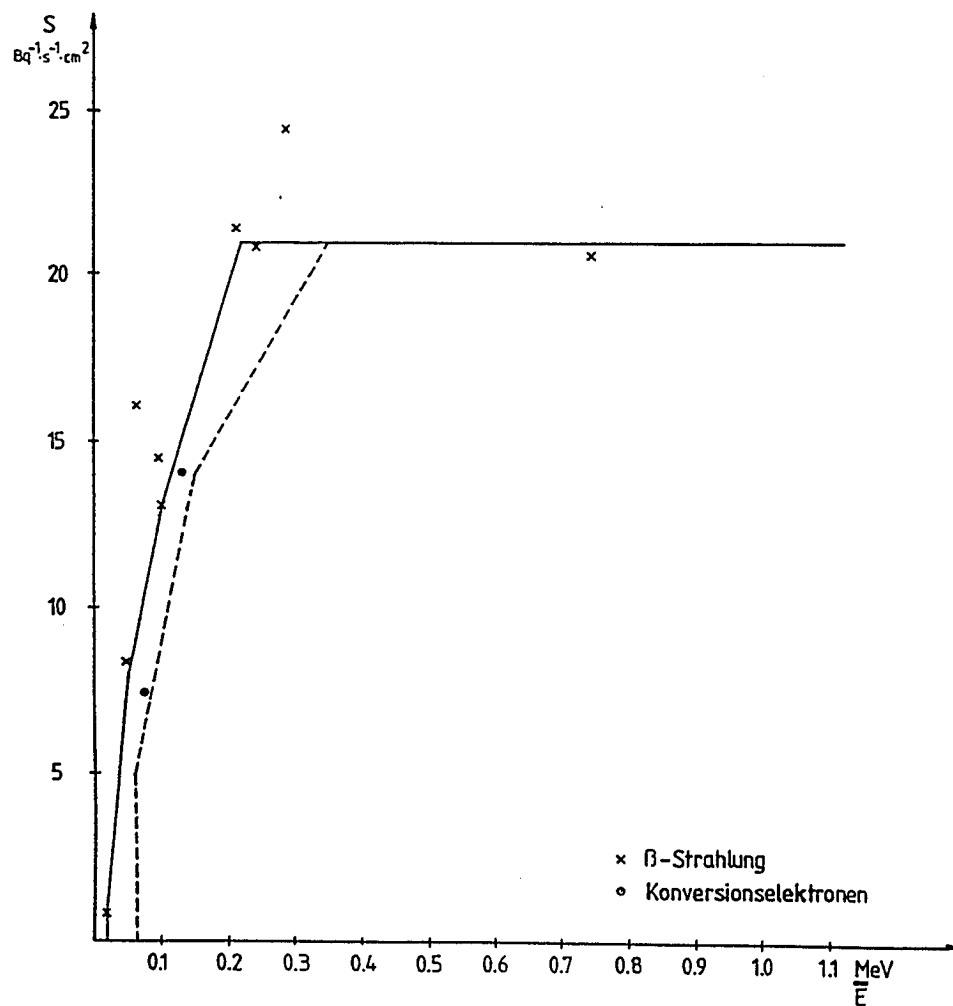
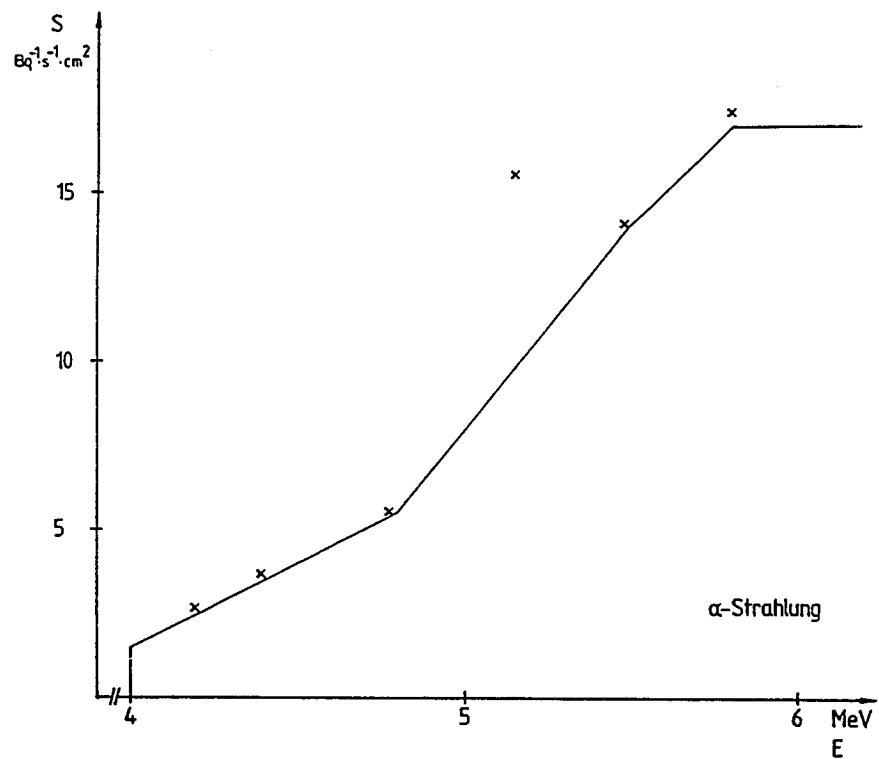


Abb. 1: Vergleich der Ausgangswerte zur Berechnung des Oberflächenansprechvermögens der Fußsonden von Hand-Fuß-Monitoren mit den Werten der Tabelle 1

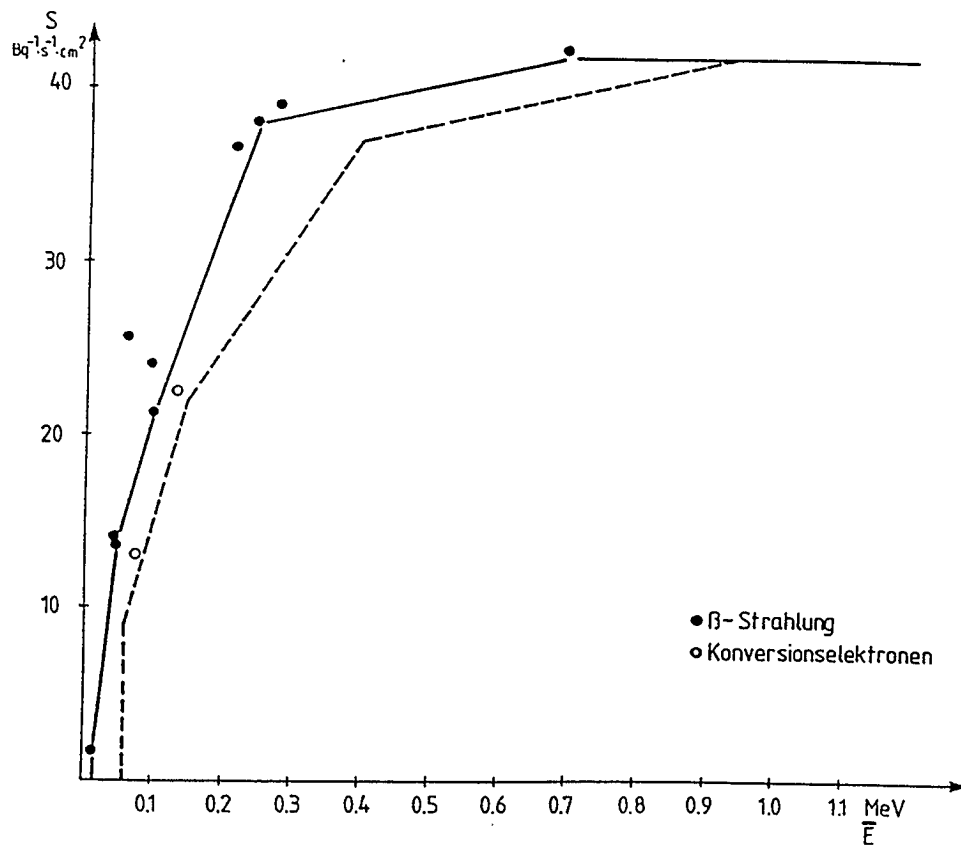
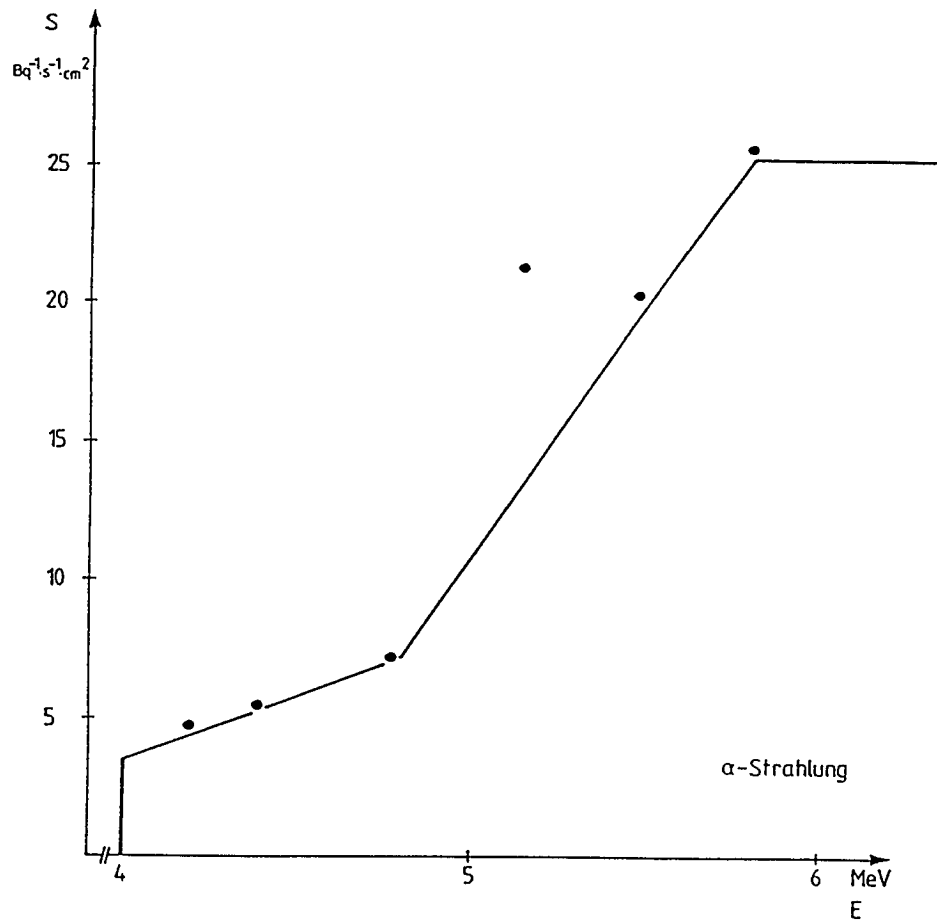


Abb. 2: Vergleich der Ausgangswerte zur Berechnung des Oberflächenansprechvermögens von tragbaren Kontaminationsmonitoren mit den Werten der Tabelle 2

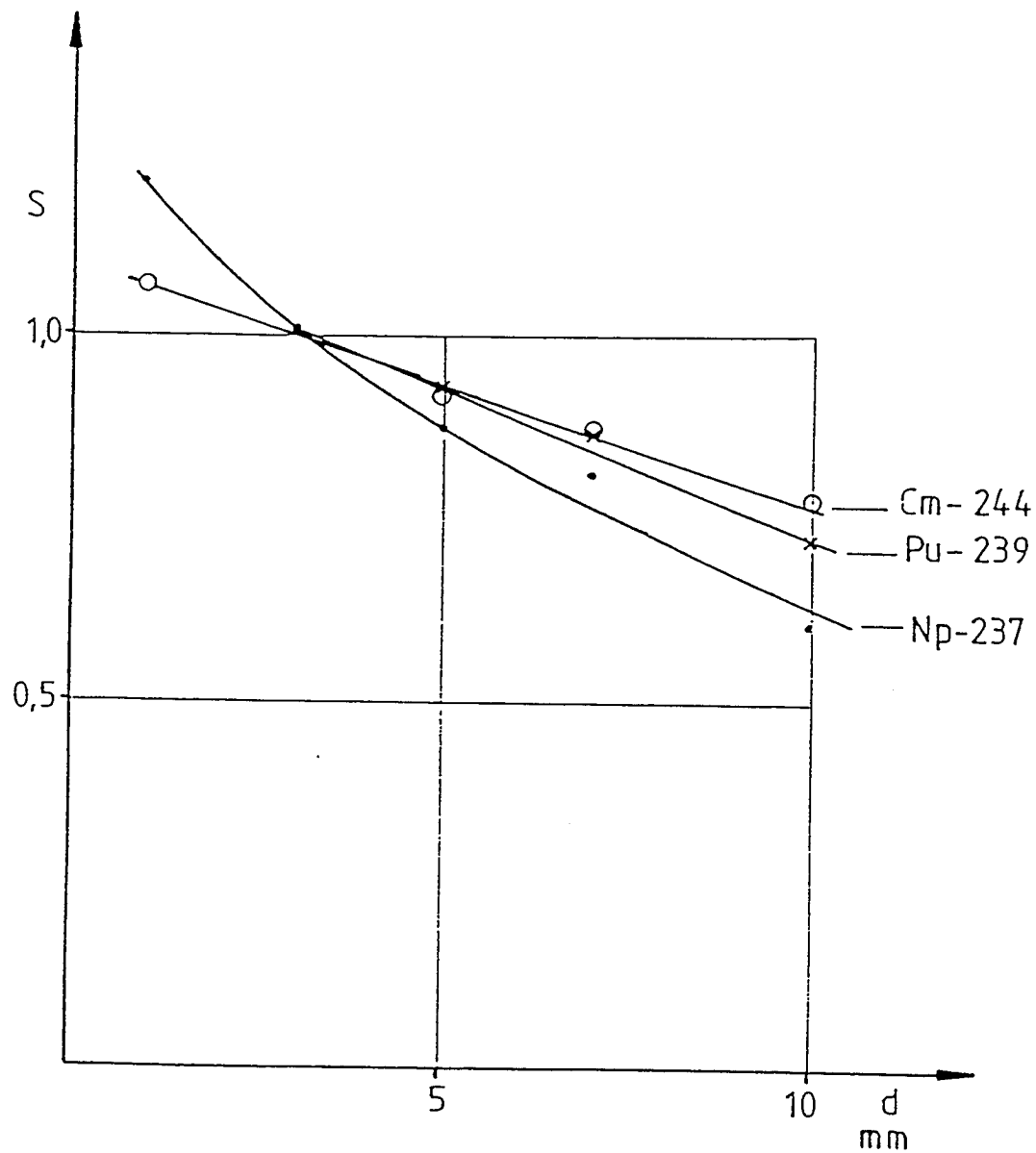


Abb. 3: Oberflächenansprechvermögen des tragbaren Kontaminationsmonitors Microcont HGZ 190 für verschiedene α -Strahler in Abhängigkeit vom Abstand Präparat - Sonde nach (5)
Werte normiert auf 3 mm

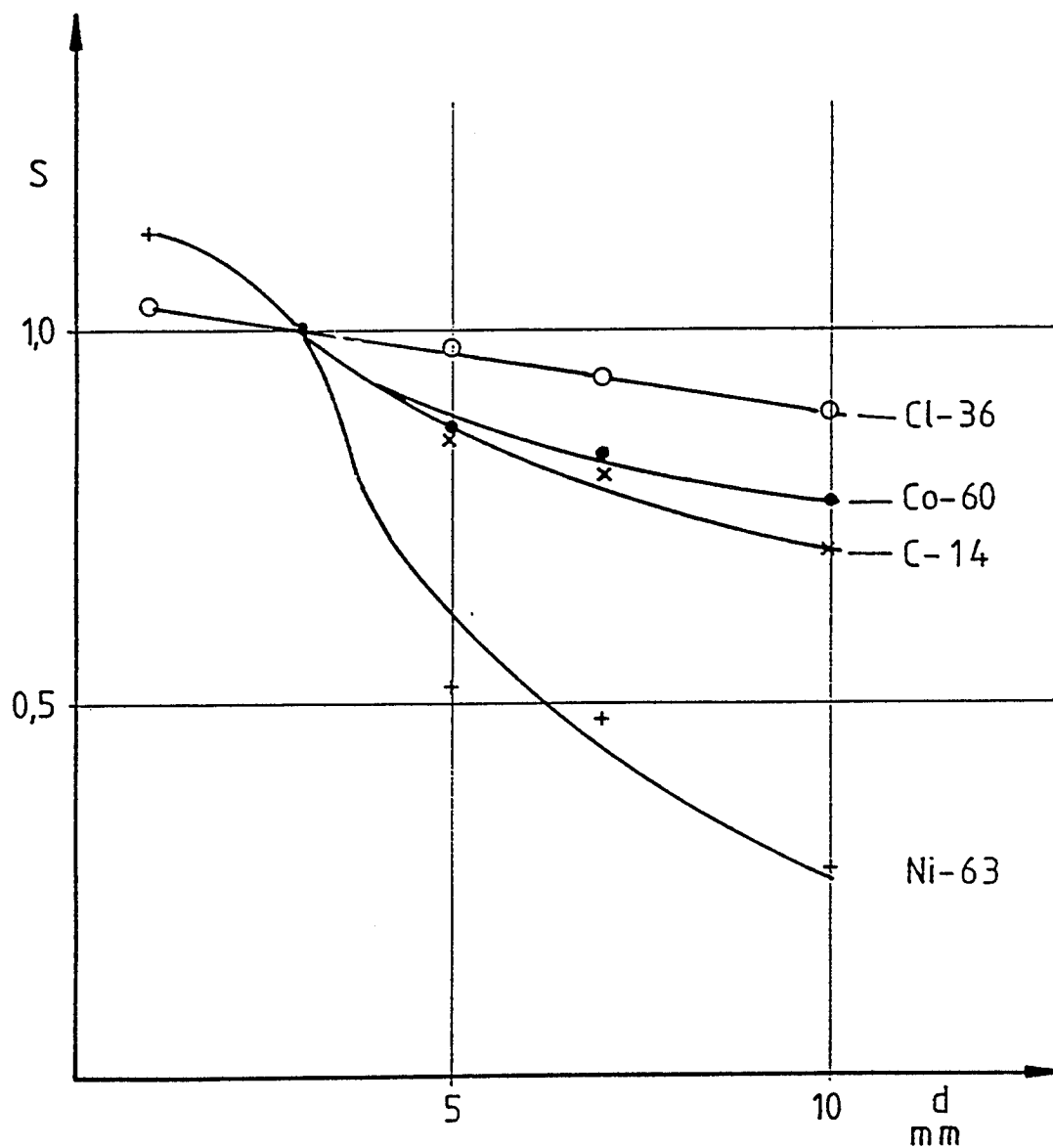


Abb. 4: Oberflächenansprechvermögen des tragbaren Kontaminationsmonitors Microcont HGZ 190 für verschiedene β -Strahler in Abhängigkeit vom Abstand Präparat - Sonde nach (5)

Werte normiert auf 3 mm

4 Abschätzung des Oberflächenansprechvermögens für Radionuklide

Das Oberflächenansprechvermögen zum Kontaminationsnachweis von Radionukliden wird sowohl für Messung allein der α -Strahlung (α -Modus) als auch für gleichzeitige Messung von α - und β -Strahlung ($\alpha+\beta$ -Modus) berechnet. Kurzlebige metastabile Folgeprodukte mit Halbwertszeiten kleiner als 10 min, die nur γ -Strahlung oder Konversionselektronen emittieren, werden nicht als eigenes Nuklid betrachtet (Nb-97m, Ag-109m, Ba-137m) (7). Diese Folgeprodukte werden beim Nachweis des Ausgangsnuklids mitberücksichtigt.

Das Oberflächenansprechvermögen S_α zum Nachweis eines Radionuklids ist bei Messung allein der α -Strahlung gleich

$$S_\alpha = \sum_i p_i S_{\alpha i} \quad (4)$$

Dabei sind p_i = Wahrscheinlichkeit für die Emission eines α -Teilchens bestimmter Energie
 $S_{\alpha i}$ = Oberflächenansprechvermögen zum Nachweis eines α -Strahlers bei Emission von α -Teilchen in 100 % der Zerfälle mit der zu p_i gehörenden Energie

Das Oberflächenansprechvermögen $S_{\alpha+\beta}$ zum Nachweis eines Radionuklids ist bei Messung der α - und β -Strahlung gleich

$$S_{\alpha+\beta} = \sum_i p_i S_{\alpha i} + \sum_j p_j S_{\beta j} + \sum_k p_k S_{ek} + \sum_l p_l S_{\gamma l} \quad (5)$$

Dabei sind p_j = Wahrscheinlichkeit für die Emission eines Elektrons oder Positrons, das zu einem Partialspektrum mit bestimmter Energie gehört
 $S_{\beta j}$ = Oberflächenansprechvermögen für den Nachweis eines β -Strahlers mit dem zu p_j gehörenden Partialspektrum bezogen auf 100 % Emissionswahrscheinlichkeit für dieses Partialspektrum
 p_k = Wahrscheinlichkeit für die Emission eines Konversionselektrons bestimmter Energie

S_{ek} = Oberflächenansprechvermögen für den Nachweis eines Konversionselektronenstrahlers bezogen auf 100 % Emissionswahrscheinlichkeit für Konversionselektronen dieser Energie

p_1 = Wahrscheinlichkeit für die Emission eines Photons mit bestimmter Energie

$S_{\gamma 1}$ = Oberflächenansprechvermögen zum Nachweis eines Photonenstrahlers dieser Energie bezogen auf 100 % Emissionswahrscheinlichkeit

$p_1, S_{\alpha 1}$ haben dieselbe Bedeutung wie in Gleichung (4).

Die Energien und die Emissionswahrscheinlichkeiten sind ICRP 38 (8) entnommen. Das Oberflächenansprechvermögen ist in Abschnitt 3.3 angegeben.

Das Oberflächenansprechvermögen S_{α} und $S_{\alpha+\beta}$ wird für tragbare Kontaminationsmonitore und für Fußsonden von Hand-Fuß- bzw. Ganzkörper-Kontaminationsmonitoren berechnet. Werden bei den Fußsonden eine etwas robustere Fensterfolie oder eine zusätzliche Schutzfolie verwendet, dann wird nur β -Strahlung nachgewiesen, und mit Hilfe der Gleichung (5) wird das Oberflächenansprechvermögen bei Nukliden, die sowohl α - als auch β -Strahlung emittieren, zu hoch abgeschätzt.

Die Ergebnisse sind im Tabellenanhang zusammengestellt. Sie werden dort mit den Werten des minimal erforderlichen Oberflächenansprechvermögens verglichen. Radionuklidgemische und die Spontanspalter Cf-254 und Cm-250 werden in den folgenden Abschnitten betrachtet.

4.1 Nuklidgemische im radioaktiven Gleichgewicht

Bei Nukliden mit radioaktiven Folgeprodukten mit Halbwertszeiten kleiner als eine Stunde wird unter Annahme radioaktiven Gleichgewichts das Oberflächenansprechvermögen zum Nachweis des Nuklidgemisches berechnet. Nicht berücksichtigt werden Edelgase als Folgeprodukte, da diese nicht auf der Oberfläche haften. Kurzlebige metastabile Folgeprodukte mit Halbwertszeiten kleiner als 10 Minuten, die nur γ -Strahlung oder Konversionselektronen emittieren, werden nicht als eigene Nuklide betrachtet. In diesen Fällen wird das Folgeprodukt (z.B. Ba-137m) im Oberflächenansprechvermögen des Ausgangsnuklids (Cs-137) berücksichtigt.

Sind A_1 die Aktivität des Ausgangsnuklids und $A_i = f_i \cdot A_1$ die Aktivitäten der Folgeprodukte, dann ist die Gesamtaktivität $A = A_1 \sum f_i$. Sind S_i die Oberflächenansprechvermögen zum Nachweis der einzelnen Nuklide, dann ist das Oberflächenansprechvermögen S zum Nachweis des Nuklidgemisches gleich

$$S = \frac{A_1}{A} \sum_i f_i S_i \quad (6)$$

In der Mehrzahl der Fälle wird nur ein Folgeprodukt mit einer Aktivität gleich der des Ausgangsnuklids betrachtet. In diesem Fall gilt

$$S = \frac{S_1 + S_2}{2} \quad (7)$$

Bei einigen betrachteten Nuklidgemischen zerfällt das Ausgangsnuklid entweder direkt in verschiedene radioaktive Folgeprodukte, oder es entsteht eine Zerfallsreihe, in der nacheinander verschiedene Radionuklide entstehen. Die Folgeprodukte haben unterschiedliche Halbwertszeiten. Die Annahme radioaktiven Gleichgewichtes braucht bei radioaktiven Folgeprodukten mit längerer Halbwertszeit keine gute Näherung für die Zusammensetzung des Nuklidgemisches zu sein. Aus diesem Grunde werden hier bei Nuklidgemischen nur die radioaktiven Folgeprodukte mit Halbwertszeiten kleiner als eine Stunde berücksichtigt. Falls auch die längerlebigen Folgeprodukte im Nuklidgemisch berücksichtigt werden müssen, ist dies mit den im Tabellenanhang angegebenen Werten des Oberflächenansprechvermögens für die längerlebigen Radionuklide möglich.

4.2 Cf-254 und Cm-250

Der Zerfall durch Spontanspaltung ist bei den Nukliden Cf-254 und Cm-250 so häufig, daß die Spaltprodukte nicht außer acht gelassen werden dürfen. Alle Spaltprodukte einzeln zu berücksichtigen, würde über den Rahmen dieser Betrachtung hinausgehen. Es sind hier nur einfache Annahmen möglich. Die primär bei der Spaltung entstehenden Radionuklide sind äußerst kurzlebig. Sie sind Ursprung von Zerfallsreihen mit zunächst ebenfalls sehr kurzlebigen Nukliden. Erst die späteren Glieder dieser Zerfallsreihen haben längere Halbwertszeiten. Die ersten Glieder der Zerfallsreihen stehen im radioaktiven Gleichgewicht mit dem Spontanspalter Cf-254 bzw. Cm-250. Nur wenn als

Spaltprodukt ein Edelgas entsteht, kann angenommen werden, daß dieses und die weiteren Folgeprodukte nicht zur Hautkontamination beitragen. Hier wird vereinfachend angenommen, daß pro Spaltung 4 kurzlebige Folgeprodukte im radioaktiven Gleichgewicht vorhanden sind. Diese Annahme ist wahrscheinlich konservativ. Die tatsächliche Aktivität der Folgeprodukte im Gleichgewicht mit dem Spontanspalter sollte größer sein. Die bei der Spaltung entstehenden Nuklide sind β -Strahler. Kurzlebige β -Strahler senden ein β -Spektrum mit hoher Energie aus. Für diese Spaltprodukte wird gleiches Oberflächenansprechvermögen angenommen wie für β -Strahler mit einer mittleren Energie größer als 0,7 MeV.

Cf-254 zerfällt zu fast 100 % durch spontane Spaltung. Nur in $3,1 \cdot 10^{-3}$ der Zerfälle wird α -Strahlung von 5,8 MeV emittiert. Unter Berücksichtigung von 4 Folgeprodukten im radioaktiven Gleichgewicht und bei Nachweis nur der α -Strahlung ist das Oberflächenansprechvermögen der Fußsonden von Hand-Fuß-Monitoren

$$S_a = 0,01 \text{ Bq}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^2$$

und das der tragbaren Kontaminationsmonitore

$$S_a = 0,02 \text{ Bq}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^2$$

Beim Nachweis von α - und β -Strahlung kann der Beitrag der α -Strahlung vernachlässigt werden. Die Spaltung selbst wird nicht nachgewiesen ($S_1 = 0$). Für die 4 Folgeprodukte ist der Wirkungsgrad gleich dem für β -Strahler mit einer mittleren Energie größer als 0,7 MeV ($S_{0,7 \text{ MeV}}$). Der Wirkungsgrad zum Nachweis des Nuklidgemisches ist dann gleich

$$S_{\alpha+\beta} = \frac{4}{5} S_{0,7 \text{ MeV}}$$

Daraus folgt,

$S_{\alpha+\beta} = 17 \text{ Bq}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^2$ für die Fußsonde von Hand-Fuß-Monitoren und

$S_{\alpha+\beta} = 34 \text{ Bq}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^2$ bei tragbaren Kontaminationsmonitoren.

Cm-250 zerfällt nur zu 61 % durch spontane Spaltung ($f_i = 0,61$; $i = 2$ bis 5). In 14 % der Zerfälle wird β -Strahlung mit einer Maximalenergie von 0,037 MeV und in 25 % der Zerfälle wird α -Strahlung mit einer Energie von 5,19 MeV ausgesandt. Die Folgeprodukte des α - und β -Zerfalls haben Halbwertszeiten größer als eine Stunde und werden nicht berücksichtigt. Die niederenergetische β -Strahlung wird von den Kontaminationsmonitoren nicht erfaßt. Die α -Strahlung muß berücksichtigt werden. Für das Nuklidgemisch aus Cm-250 und 4 bei der Spaltung entstehenden Folgeprodukten (Gesamtaktivität $3,44 A_1$; $A_1 =$ Aktivität des Cm-250) ist nach Gleichung (6) das Oberflächenansprechvermögen für die Fußsonde eines Hand-Fuß- oder eines Ganzkörper-Kontaminationsmonitores gleich

$$\begin{aligned} S_{\alpha} &= 0,74 \text{ Bq}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^2 \\ S_{\alpha+\beta} &= 16 \text{ Bq}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^2 \end{aligned}$$

Für tragbare Kontaminationsmonitore gilt

$$\begin{aligned} S_{\alpha} &= 1,0 \text{ Bq}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^2 \\ S_{\alpha+\beta} &= 31 \text{ Bq}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^2 \end{aligned}$$

5 Grenzwerte der Flächenkontamination

5.1 Festlegung der Begriffe α -Strahler, β -Strahler und Elektroneneinfangstrahler

Die Grenzwerte der Flächenkontamination für Gegenstände, Kleidung und Wäsche außerhalb von betrieblichen Überwachungsbereichen nach Anlage IX StrlSchV sind für einige Nuklide nicht eindeutig, da die Begriffe α -Strahler, β -Strahler und Elektroneneinfangstrahler für eine Zuordnung dieser Grenzwerte nicht festgelegt sind. Für Nuklide mit mehreren Zerfallsmöglichkeiten (z.B. gleichzeitig α - und β -Strahler) können bei einer Freigrenze von $5\cdot 10^3$ Bq oder $5\cdot 10^6$ Bq verschiedene Grenzwerte in Anlage IX StrlSchV gelten.

Zur Bestimmung des Grenzwertes für Flächenkontaminationen müssen die Begriffe α -Strahler, β -Strahler und Elektroneneinfangstrahler festgelegt werden¹⁾:

¹⁾ Ausführliche Diskussion in (7). Die dort vorgeschlagenen Definitionen der Begriffe α -Strahler, β -Strahler und Elektroneneinfangstrahler stimmen nicht mit den hier getroffenen Festlegungen überein.

Als α -Strahler werden nur Nuklide betrachtet, bei denen in mindestens 1 % der Zerfälle α -Teilchen ausgesandt werden. Radionuklide mit mehr als 1 % Wahrscheinlichkeit für Spontanspaltung werden bezüglich der Grenzwerte wie α -Strahler behandelt.

Als β -Strahler und Elektroneneinfangstrahler werden nur Nuklide betrachtet, die keine α -Strahler sind und bei denen die Summe der Wahrscheinlichkeiten für β^- -Zerfall, β^+ -Zerfall und Elektroneneinfang mindestens 90 % beträgt.

Durch diese Festlegung wird erreicht, daß der Grenzwert von $0,05 \text{ Bq.cm}^{-2}$ für Flächenkontaminationen von Gegenständen, Kleidung und Wäsche außerhalb von betrieblichen Überwachungsbereichen nur dann gilt, wenn die Wahrscheinlichkeit für α -Zerfall größer als 1 % ist. Der Grenzwert von 5 Bq.cm^{-2} gilt nur, wenn in mindestens 90 % der Zerfälle ein β -Teilchen ausgesandt oder ein Elektron vom Kern eingefangen wird.

5.2 Radionuklidgemische

Grenzwerte für Radionuklidgemische sind in Anlage IX StrlSchV (1) nicht angegeben. Gilt für alle Nuklide eines Gemisches derselbe Grenzwert für Oberflächenkontaminationen, dann gilt dieser auch für das Gemisch. Für Radionuklidgemische mit unterschiedlichen Grenzwerten für die einzelnen Nuklide wird, da die StrlSchV direkt keinen Wert festlegt, unseren Untersuchungen ein Grenzwert zugrunde gelegt analog der Festlegung von Freigrenzen und Grenzwerten der Jahres-Aktivitätszufuhr. Nach Anlage IV StrlSchV sind

"für mehrere Radionuklide oder ein Radionuklidgemisch bekannter Zusammensetzung die Freigrenzen und der Grenzwert der Jahres-Aktivitätszufuhr als Summe der Nuklidanteile zu ermitteln. Die Summe der Verhältniszahlen aus der Aktivität und der Freigrenze bzw. der Jahres-Aktivitätszufuhr und dem Grenzwert der Jahres-Aktivitätszufuhr der einzelnen Radionuklide muß dafür 1 sein".

Zur Festlegung von Grenzwerten für Oberflächenkontaminationen gilt entsprechend

$$\sum_i \frac{a_i}{G_i} = 1 \quad (8)$$

Dabei sind: $a_i = A_i \cdot F$ = Flächenkontamination des i-ten Nuklids

A_i = Aktivität des i-ten Nuklids

F = Fläche

G_i = Grenzwert der Flächenkontamination des i-ten Nuklids

Für den Grenzwert G des Nuklidgemisches gilt

$$\frac{a}{G} = \sum_i \frac{a_i}{G_i} = 1 \quad (9)$$

mit $a = \sum_i a_i$

In unseren Untersuchungen werden nur Radionuklidgemische betrachtet, die aus einem Ausgangsnuklid mit einer Halbwertszeit größer als eine Stunde und einem oder mehreren Folgeprodukten mit Halbwertszeiten kleiner als eine Stunde bestehen. Für diese Radionuklidgemische ist die Annahme radioaktiven Gleichgewichtes eine gute Näherung. Im häufigsten Fall bei nur einem Folgeprodukt mit einer Aktivität gleich der des Ausgangsnuklids gilt

$$G = \frac{2G_1G_2}{G_1 + G_2} \quad (10)$$

Aus Gleichung (10) berechnete Grenzwerte sind in Tabelle 5 zusammengestellt.

Tabelle 5

**Grenzwert G nach Gl. (10) für Flächenkontaminationen
von Nuklidgemischen**

G_1 Bq.cm ⁻²	G_2 Bq.cm ⁻²	G Bq.cm ⁻²
0,5	0,05	0,09
0,5	5	0,9

Entsteht ein radioaktives Folgeprodukt in weniger als 100 % der Zerfälle und sind die Grenzwerte für Mutter- und Tochternuklid unterschiedlich, dann kann unter Berücksichtigung der Zerfallswahrscheinlichkeit mit Hilfe von Gleichung (9) der Grenzwert für das Gemisch berechnet werden. Die so ermittelten Werte sind im Tabellenanhang bei den entsprechenden Nuklidgemischen angegeben. Bei den Nukliden Ag-110m, Cd-117 und Ac-227 ist die Wahrscheinlichkeit für die Entstehung der kurzlebigen Folgeprodukte so klein, daß der Grenzwert des Nuklidgemisches gleich dem des Ausgangsnuklids ist.

Wie in Abschnitt 4.2 beschrieben werden bei den durch spontane Spaltung zerfallenden Nukliden Cf-254 und Cm-250 pro Spaltung 4 Folgeprodukte im radioaktiven Gleichgewicht angenommen. Der Grenzwert für Flächenkontamination für Gegenstände, Kleidung und Wäsche außerhalb von betrieblichen Überwachungsbereichen ist für Cf-254 und Cm-250 $0,05 \text{ Bq.cm}^{-2}$ und für die Spaltprodukte $0,5 \text{ Bq.cm}^{-2}$. Bei Cf-254, das praktisch zu 100 % durch spontane Spaltung zerfällt, ist der entsprechende Grenzwert für Flächenkontaminationen des Nuklidgemisches $G=0,18 \text{ Bq.cm}^{-2}$. Cm-250 zerfällt nur in 61 % durch spontane Spaltung. Die längerlebigen Folgeprodukte des α - und β -Zerfalls des Cm-250 werden nicht betrachtet. Der entsprechende Grenzwert für Flächenkontaminationen ist für das Nuklidgemisch im Falle des Cm-250 $G = 0,14 \text{ Bq.cm}^{-2}$.

6 Nachweisgrenzen und minimal erforderliches Oberflächenansprechvermögen

Die Nachweisgrenze hängt außer vom Oberflächenansprechvermögen des Detektors von den statistisch bedingten Zählratenschwankungen des Nulleffektes ab. Für diese Untersuchungen wird angenommen, daß die Impulse während der Meßzeit gezählt werden. Für solche zählenden Meßeinrichtungen ist der Erwartungswert der Zählrate n_n^* für die untere Nachweisgrenze nach deutscher Norm (9) gleich

$$n_n^* = (K_{1-\alpha} + K_{1-\beta}) \sqrt{n_0 \left(\frac{1}{t_0} + \frac{1}{t} \right)} + \frac{1}{4} (K_{1-\alpha} + K_{1-\beta})^2 \cdot \left(\frac{1}{t_0} + \frac{1}{t} \right) \quad (11)$$

Dabei sind: $K_{1-\alpha}$ = Quantile der Standard-Normalverteilung mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit α zur Einstufung einer nicht kontaminierten Fläche als kontaminiert

- $K_{1-\beta}$ = Quantile der Standard-Normalverteilung mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit β zur Einstufung einer kontaminierten Fläche als nicht kontaminiert
 n_0 = Zählrate des Nulleffektes
 t_0 = Meßzeit zur Bestimmung der Nulleffekt-Zählrate
 t = Meßzeit der Kontaminationsmessung

Für eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % ($\alpha = \beta = 0,05$) ist

$K_{1-\alpha} = K_{1-\beta} = 1,65$ (9). Ist die Zeit zur Bestimmung der Nulleffekt-Zählrate groß gegen die eigentliche Meßzeit ($t_0 \gg t$), dann gilt

$$n_n^* = 3,3 \cdot \left(\sqrt{\frac{n_0}{t}} + \frac{3,3}{4t} \right) \quad (12)$$

Bei einer kontaminierten Fläche $F = 100 \text{ cm}^2$ und einem Oberflächenansprechvermögen S des Detektors folgt als Wert der minimal feststellbaren Kontamination

$$a_{\min} = \frac{A_{\min}}{F} = \frac{3,3}{S} \left(\sqrt{\frac{n_0}{t}} + \frac{3,3}{4t} \right) \quad (13)$$

Dabei ist $A_{\min}$ die minimal feststellbare Aktivität.

Mit Hilfe der Gleichung (13) kann bei bekannter Meßzeit und bei bekannter Zählrate des Nulleffektes das zum Nachweis einer Kontamination minimal erforderliche Oberflächenansprechvermögen $S_{\min}$ berechnet werden. Da Kontaminationsmessungen bei Routineüberprüfungen relativ schnell durchgeführt werden müssen, wird eine Meßzeit von 10 s angenommen. Die Zählrate des Nulleffektes ist bei Detektoren von Hand-Fuß- oder Ganzkörper-Kontaminationsmonitoren mit einer Detektorfläche von ca. 600 cm^2 etwa gleich 18 s^{-1} bei Messung von α -Strahlen und Elektronen ($(\alpha + \beta)$ -Modus) und etwa gleich $0,1 \text{ s}^{-1}$ bei Messung nur der α -Strahlung (α -Modus). Für tragbare Kontaminationsmonitore mit einer Detektorfläche von ca. 150 bis 200 cm^2 beträgt die Zählrate des Nulleffektes etwa 6 s^{-1} im $(\alpha + \beta)$ -Modus und etwa $0,03 \text{ s}^{-1}$ im α -Modus. Für diese Nulleffekt-Zählraten wird das minimal erforderliche Oberflächenansprechvermögen zum Nachweis einer Kontamination in

Höhe des Grenzwertes berechnet. Die Ergebnisse sind für 10 s Meßzeit in Tabelle 6 zusammengestellt. Das minimal erforderliche Oberflächenansprechvermögen kann durch Verlängerung der Meßzeit verringert werden.

Für Geräte mit Ratemeteranzeige gilt für den Erwartungswert der Zählrate bei der unteren Nachweisgrenze (10)

$$n_n^* = \left(K_{1-\alpha} + K_{1-\beta} \cdot \sqrt{1 + K_{1-\alpha} \sqrt{\frac{1}{2n_0\tau}}} \right) \cdot \sqrt{\frac{n_0}{2\tau}} + \frac{K_{1-\beta}^2}{4\tau} \quad (14)$$

Dabei ist τ die Dämpfungszeitkonstante des Ratemeters. Die Bedeutung der anderen Symbole entspricht der für Gleichung (11). Voraussetzung für die Gültigkeit der Gleichung (14) ist eine Standardabweichung für die Zählrate des Nulleffektes von maximal 1/3 der Brutto-Zählrate.

Für die minimal nachweisbare Kontamination $a_{\min}$ gilt

$$a_{\min} = \frac{n_n^*}{S} \quad (15)$$

Voraussetzung für die Gültigkeit der Gleichungen (14) und (15) ist ein Ablesen des Gerätes frühestens nach der dem Dreifachen der Zeitkonstanten entsprechenden Zeit. Für die angenommene Meßdauer von 10 s darf die Zeitkonstante nicht größer als etwa 3 s sein. Für diese Zeitkonstante und - analog wie bei zählenden Geräten - für eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % sowohl für die Einstufung einer nicht kontaminierten Fläche als kontaminiert als auch für die Einstufung einer kontaminierten Fläche als nicht kontaminiert ist für tragbare Kontaminationsmonitore mit Ratemeteranzeige das minimal erforderliche Oberflächenansprechvermögen in Tabelle 6 angegeben. Wie daraus hervorgeht, ist bei etwa gleicher Meßzeit (Ablesung erst nach dem Dreifachen der Zeitkonstanten) das minimal erforderliche Oberflächenansprechvermögen bei Impulszählung kleiner als bei Ratemeteranzeige.

Im Tabellenanhang sind zusammen mit den abgeschätzten Werten des Oberflächenansprechvermögens für die einzelnen Nuklide und Nuklidgemische die minimal erforderlichen Werte für Geräte mit Impulszählung angegeben. Soll das berechnete Oberflächenansprechvermögen für ein Nuklid mit dem minimal erforderlichen eines Gerätes mit Ratemeteranzeige verglichen werden, dann gelten die Werte der Tabelle 6, Spalte C.

Tabelle 6

**Minimal erforderliches Oberflächenansprechvermögen zum Nachweis einer Kontamination
in Höhe des Grenzwertes G für Flächenkontaminationen**

G Bq.cm ⁻²	A S _{min} (α) S _{min} ($\alpha+\beta$)		B S _{min} (α) S _{min} ($\alpha+\beta$)		C S _{min} (α) S _{min} ($\alpha+\beta$)		Bemerkungen
	S _{min} (α)	S _{min} ($\alpha+\beta$)	S _{min} (α)	S _{min} ($\alpha+\beta$)	S _{min} (α)	S _{min} ($\alpha+\beta$)	
0,05 0,5 5,0	12 1,2 0,12	94 9,4 0,94	9,1 0,91 0,09	57 5,7 0,57	12 1,2 0,12	75 7,5 0,75	Grenzwerte für Einzelnuklide und für Gemische mit gleichem Grenzwert für alle Komponenten
0,09 0,9	6,7 0,67	52 5,2	5,0 0,5	32 3,2	6,7 0,67	41 4,1	Grenzwerte für Gemische zweier Nuklide mit gleicher Aktivität und unterschiedlichen Grenzwerten
0,13 0,14 0,18 0,6 0,7 0,8	4,7 4,3 3,4 1,0 0,90 0,75	36 34 26 7,8 6,7 5,9	3,5 3,2 2,5 0,76 0,65 0,57	22 20 16 4,7 4,1 3,6	4,6 4,3 3,3 1,0 0,90 0,75	29 27 21 6,2 5,3 4,7	Grenzwerte für Gemische zweier Nuklide mit unterschiedlicher Aktivität oder für Gemische aus mehr als zwei Nukliden

Erläuterungen:

- A** Für Fußsonden von Hand-Fuß- oder Ganzkörper-Kontaminationsmonitoren bei Impulszählung, Meßzeit 10 s und Nulleffektzählrate im α -Modus 0,1 s⁻¹ und im ($\alpha+\beta$)-Modus 18 s⁻¹.
- B** Für tragbare Kontaminationsmonitore bei Impulszählung, Meßzeit 10 s und Nulleffektzählrate im α -Modus 0,03 s⁻¹ und im ($\alpha+\beta$)-Modus 6 s⁻¹.
- C** Für tragbare Kontaminationsmonitore mit Ratemeteranzeige, Zeitkonstante des Ratemeters 3 s; Nulleffektzählraten wie bei B.
- S_{min}(α)** Minimal erforderliches Oberflächenansprechvermögen bei Messung im α -Modus in Bq⁻¹·s⁻¹·cm².
- S_{min}($\alpha+\beta$)** Minimal erforderliches Oberflächenansprechvermögen bei Messung im ($\alpha+\beta$)-Modus in Bq⁻¹·s⁻¹·cm².

7 **Nicht aufgeführte Nuklide und Nuklidgemische**

Im Tabellenanhang ist für 589 Radionuklide und 44 Radionuklidgemische das Oberflächenansprechvermögen für den Kontaminationsnachweis angegeben. Für andere Nuklide kann das Oberflächenansprechvermögen anhand der Angaben des Abschnittes 3 und bei bekannten Zerfallsdaten, d.h. Art, Häufigkeit und Energie der emittierten Strahlung, berechnet werden. Für in dieser Arbeit nicht explizit behandelte Nuklidgemische kann bei bekannter Zusammensetzung das Oberflächenansprechvermögen anhand der Angaben des Abschnittes 4.1 abgeschätzt werden.

8 **Diskussion**

8.1 **Allgemeines**

Die durchgeführten Untersuchungen geben für eine große Zahl von Radionukliden das Oberflächenansprechvermögen guter Kontaminationsmonitore an. Sie ermöglichen eine Beurteilung, bei welchen Radionukliden Kontaminationen in Höhe der Grenzwerte der Flächenkontamination für Gegenstände, Kleidung und Wäsche außerhalb von betrieblichen Überwachungsbereichen nach Anlage IX StrlSchV mit gebräuchlichen Kontaminationsmonitoren erfaßt werden können. Die Ergebnisse geben einen Überblick über den Stand der Technik beim Kontaminationsnachweis. Es darf aber nicht ohne weiteres vorausgesetzt werden, daß alle im Tabellenanhang als nicht schwer nachweisbar gekennzeichneten Radionuklide bei einer Kontaminationskontrolle auch erfaßt werden. Es muß berücksichtigt werden, daß

- die Angaben im Tabellenanhang auf einer sorgfältigen Messung (Zählendes Meßinstrument, relativ lange Meßzeit, kleiner Abstand, Alarmschwelle optimal eingestellt) mit einem guten Gerät beruhen,
- das Oberflächenansprechvermögen von α -Strahlern bei verunreinigter oder feuchter Oberfläche kleiner als angenommen sein kann,
- das den Rechnungen zugrunde liegende Oberflächenansprechvermögen auf Interpolation von relativ wenigen Meßwerten beruht,
- das Oberflächenansprechvermögen bei Geräten verschiedenen Typs unterschiedlich ist (siehe 8.2),

- das Oberflächenansprechvermögen sich auch bei Geräten desselben Typs unterscheiden kann und
- die für die Berechnung des minimal erforderlichen Oberflächenansprechvermögens zugrunde gelegte Nulleffekt-Zählrate nicht zu stimmen braucht.

Die letzten 4 Punkte werden hier und in Abschnitt 8.2 diskutiert.

Die Ausgangswerte für die Rechnungen sind im allgemeinen etwas kleiner als die von den Meßwerten direkt abgeleiteten Werte (Ausnahmen Tl-204 und P-32; Abb. 1). Dabei werden, da die Ausgangswerte auf nur wenigen Meßwerten beruhen, Besonderheiten einzelner Nuklide nicht berücksichtigt. Das β -Spektrum zweier Nuklide mit gleicher mittlerer β -Energie ist z.B. nicht völlig gleich. Die Annahmen über das Oberflächenansprechvermögen für Photonenstrahler sind nur sehr pauschal, und auch die Meßunsicherheiten der experimentellen Werte sind nicht berücksichtigt. Nicht berücksichtigt ist auch das für α -Strahler im α -Modus kleinere Oberflächenansprechvermögen als im $(\alpha + \beta)$ -Modus. Hier ist nur das Oberflächenansprechvermögen im α -Modus zugrunde gelegt. Wegen der sorgfältigen Auswahl der Ausgangswerte für die Rechnungen kann angenommen werden, daß für die meisten Nuklide das Oberflächenansprechvermögen etwas größer als hier abgeschätzt ist. Es kann aber nicht ausgeschlossen werden, daß das Oberflächenansprechvermögen für wenige Nuklide etwas kleiner als abgeschätzt ist.

Unterschiede des Ansprechvermögens können auch bei Geräten desselben Typs vorhanden sein. Diese Unterschiede sind bei gleich dicken Detektorfenstern klein. Geräte desselben Typs können unterschiedlich dicke Fenster besitzen (siehe Abschnitt 8.2). Über den Fußsonden von Hand-Fuß-Monitoren sind häufig zusätzliche Schutzfolien angebracht. Diese können das Oberflächenansprechvermögen erheblich verkleinern.

Die Nulleffekt-Zählrate kann unterschiedlich sein. Sie hängt vom Strahlenpegel am Meßort ab. Auch Verunreinigungen im Zählgas können sie beeinflussen. So ist z.B. bei Verwendung von Erdgas als Zählgas die Nulleffekt-Zählrate im α -Modus größer als bei Verwendung der Zählgase Methan oder Propan/Butan. Die für die Berechnung des minimal erforderlichen Oberflächenansprechvermögens zugrunde gelegten Nulleffekt-Zählraten entsprechen denen typischer Kontaminationsmonitore. Die Nulleffekt-Zählraten sind aber in jedem Einzelfall zu überprüfen.

8.2 Vergleich unterschiedlicher Geräte

Den hier verwendeten Ausgangswerten zur Berechnung des Oberflächenansprechvermögens liegen Meßwerte von zwei Geräten zugrunde, die bei einer Untersuchung von fünf tragbaren Kontaminationsmonitoren und zwei Fußsonden von Hand-Fuß-Monitoren für die meisten verwendeten Nuklide die größten Werte des Oberflächenansprechvermögens aufweisen. Zur Beurteilung, wie gut die Werte des Tabellenanhangs auf andere Geräte übertragbar sind, werden hier einige Werte anderer Kontaminationsmonitore angegeben. In Abb. 5 wird das Oberflächenansprechvermögen verschiedener Kontaminationsmonitore für β -Strahler und in Abb. 6 das für α -Strahler verglichen (5). Beim Minicont sind Werte für Sonden mit verschiedenen dicken Fensterfolien angegeben (Flächengewicht der Folie 0,3 und 1,0 mg.cm⁻²). Das Flächengewicht der Fensterfolie des Microconts beträgt 0,7 mg.cm⁻². Für β -Strahler großer Energie ist - unabhängig von der Dicke der Fensterfolie - das Oberflächenansprechvermögen des Miniconts um einen konstanten Faktor kleiner als das des Microconts. Für β -Strahlung kleiner Energie hängt das Oberflächenansprechvermögen aber von der Dicke des Detektorfensters ab. Für Ni-63 ist das Oberflächenansprechvermögen des Miniconts mit dem dünnen Fenster größer als das des Microconts. Dies gilt auch für die meisten α -Strahler.

Kontaminationsmonitore mit sehr dünnen Fensterfolien werden in der Praxis nicht gern benutzt, weil diese Folien mechanisch nicht stabil genug sind. Deswegen werden Werte des Oberflächenansprechvermögens eines Gerätes mit einer solchen Folie auch nicht als Ausgangswerte den Rechnungen zugrunde gelegt. In kritischen Fällen, in denen das abgeschätzte Oberflächenansprechvermögen etwas kleiner ist als das minimal erforderliche, kann ein Kontaminationsmonitor mit sehr dünner Fensterfolie eventuell das minimal erforderliche Oberflächenansprechvermögen erreichen. Aus Abb. 5 folgt, daß das Oberflächenansprechvermögen eines Gerätes mit Xenonsonde für β -Strahler deutlich kleiner ist als das anderer Kontaminationsmonitore.

Es kann nicht ausgeschlossen werden, daß bei neu entwickelten Kontaminationsmonitoren das Ansprechvermögen größer ist, als hier für die Ausgangswerte angenommen worden ist. So ist z.B. das Ansprechvermögen der Fußsonde des Hand-Fuß-Monitors FH 65 P nach Firmenangabe (11) erheblich größer als das des Gerätes FH 65 M desselben Herstellers, mit dem unsere Ausgangswerte ermittelt worden sind.

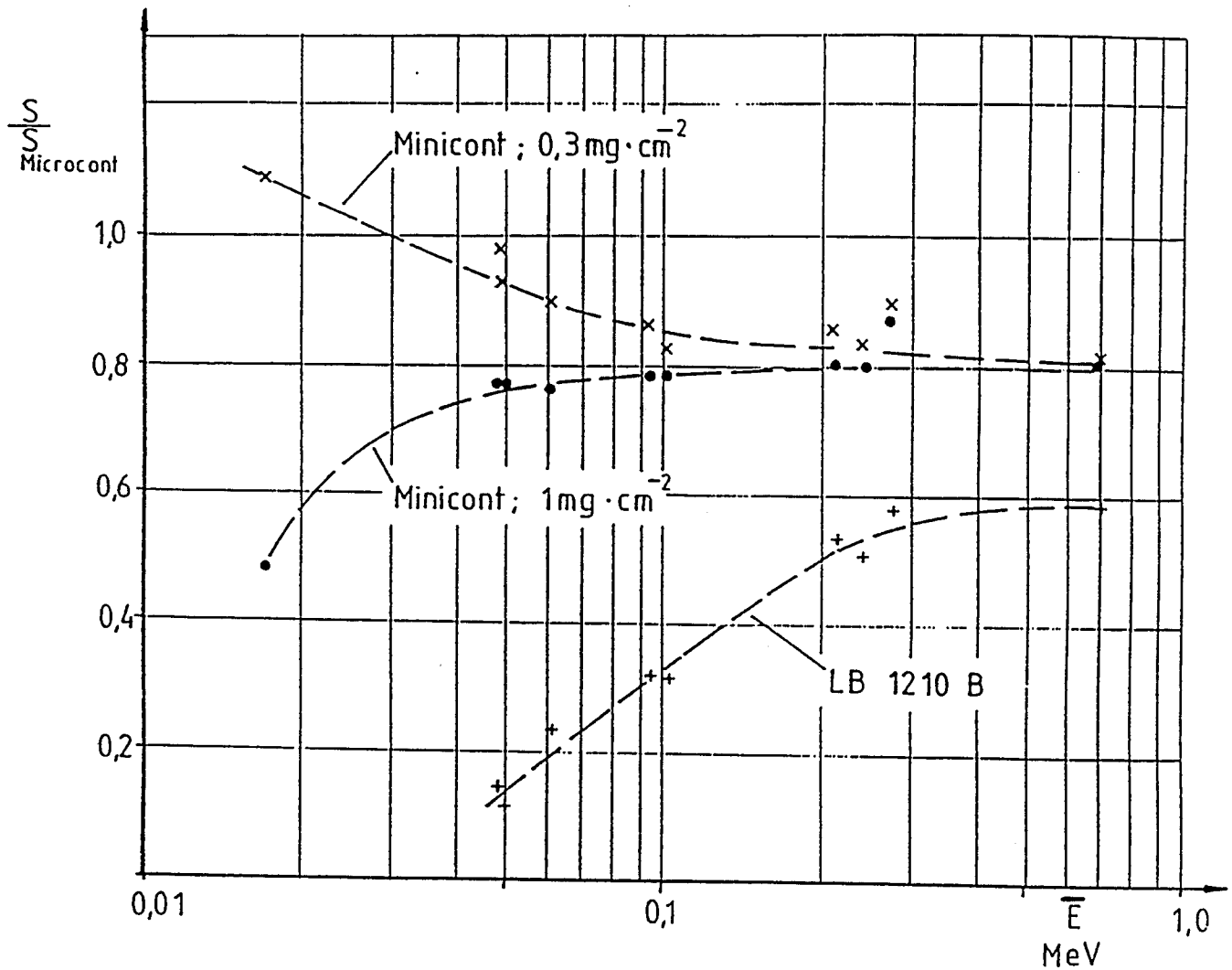


Abb. 5: Verhältnis des Oberflächenansprechvermögens verschiedener tragbarer Kontaminationsmonitore zu dem des Microconts HGZ 190 in Abhängigkeit von der mittleren Energie der β -Strahlung (5)

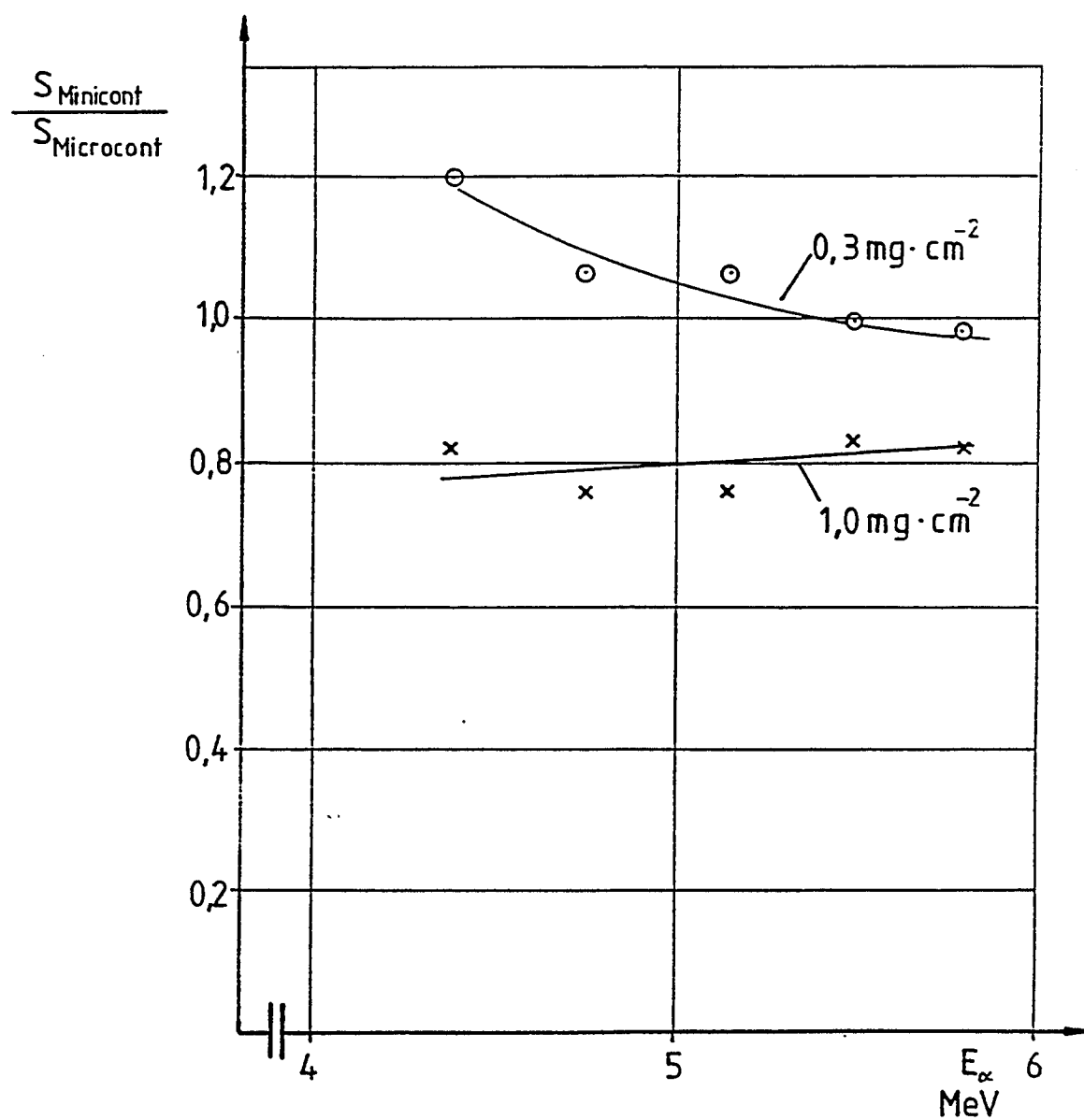


Abb. 6: Verhältnis des Oberflächenansprechvermögens des Kontaminationsmonitors Minicont zu dem des Microconts HGZ 190 für α -Strahler verschiedener Energie (5)

Werte für zwei Fensterfolien verschiedener Dicke beim Minicont

8.3 Einfluß des Zählgas

Zum Kontaminationsnachweis von Radionukliden, die vor allem Photonen emittieren, werden Großflächen-Proportionalzähler mit Xenon als Zählgas empfohlen (12,13). Bei K-Einfängern können auch Detektoren mit dem Zählgas Argon-Methan vorteilhaft sein (14). Das vorhandene Datenmaterial reicht nicht aus, um unter genauerer Berücksichtigung der Energieabhängigkeit für γ -Strahlung den Wirkungsgrad der Kontaminationsmonitore zu berechnen. Hier können deswegen nur einige Angaben zu den Detektoren mit anderen Zählgasen gemacht werden. In Tabelle 7 werden für einige Nuklide Angaben eines Gerätes mit 2 Sonden mit unterschiedlichem Zählgas verglichen (12). Für β -Strahler (Mo-99, Sr-90, Tl-204, Cs-137, Co-60, C-14) ist im allgemeinen das Oberflächenansprechvermögen bei Verwendung des Zählgases Xenon kleiner als beim Zählgas Propan-Butan. Beim α -Strahler Am-241 ist das Ansprechvermögen für beide Sonden gleich. Ursache hierfür ist die hohe Empfindlichkeit des Xenondetektors für die niederenergetische γ -Strahlung des Am-241. Nuklide, die hauptsächlich niederenergetische γ -Strahlung emittieren, werden mit der Xenonsonde besser nachgewiesen als mit der mit Propan/Butan betriebenen Sonde. Besonders deutlich ist das für I-125, bei dem der Kontaminationsnachweis ausschließlich über die K-Strahlung geschieht. Sehr deutlich ist auch die Verbesserung des Oberflächenansprechvermögens durch eine Xenonsonde beim Cr-51 von 0,3 auf 2,5 $\text{Bq}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^2$. Beim Mn-54, dessen K-Strahlung nur wenig energiereicher als die des Cr-51 ist, ist dagegen die Verbesserung durch die Xenonsonde vergleichsweise gering. Da Mn-54 auch γ -Strahlung und - mit sehr geringer Emissionswahrscheinlichkeit - auch Konversionselektronen hoher Energie aussendet, ist für dieses Nuklid das Ansprechvermögen mit der Sonde HGZ 190 größer als beim Cr-51. Die durch die Xenonsonde bedingte Erhöhung des Ansprechvermögens beim Mn-54 ist aufgrund der Absorption der K-Strahlung des Mn-54 in der Titan-Fensterfolie des Detektors so gering. Die Energie der K-Kante des Titans von 4,964 keV liegt zwischen den Energien der K-Strahlung des Cr-51 und des Mn-54.

Tabelle 7

**Oberflächenansprechvermögen S des Kontaminationsmonitors
Microcont mit zwei unterschiedlichen Sonden (12)**

Wirkungsgrade mit Abdeckgitter

Sonde HGZ 190: Großflächendetektor mit Zählgas Propan/Butan

Sonde HXE 260: Xenonsonde

Nuklid	S Bq ⁻¹ .s ⁻¹ .cm ²	
	HGZ 190	HXE 260
I-131	27	23
I-123	5,0	7,0
I-125	0,3	5,0
Tc-99m	3,8	4,0
Mo-99/Tc-99m	44	38
Sr-90/Y-90	40	34
Tl-204	35	30
Cs-137	30	25
Co-60	26	13
C-14	15	5,2
Cr-51	0,3	2,5
Mn-54	0,6	1,0
Am-241	20	20 (6*)

* Bei Abschirmung der α -Strahlen

Zum Nachweis der K-Strahler Mn-54, Fe-55 und Zn-65, die in Kernkraftwerken gemeinsam mit Cr-51 als Kontamination auftreten, sind Kontaminationsmonitore mit den Zählgasen Argon-Methan oder Argon-Kohlendioxid besser geeignet als solche mit Xenon, da erstere Kunststoffolien als Detektorfenster verwenden. Das Oberflächenansprechvermögen eines Großflächen-
Proportionalzählers mit dem Zählgas Argon-Methan beträgt 4,1 Bq⁻¹.s⁻¹.cm² für Fe-55 und 4,8 Bq⁻¹.s⁻¹.cm² für Zn-65 (14). Für Cr-51 ist das Oberflächenansprechvermögen mit dem Zählgas Argon-Methan mehr als doppelt so hoch wie bei Kohlenwasserstoffen als Zählgas (6).

8.4 Kontamination durch Tritium

Tritiumkontaminationen sind mit den bisher betrachteten Geräten nicht nachweisbar. Wegen der geringen Energie der Tritium β -Strahlung (0,0186 MeV) sind spezielle Kontaminationsmonitore zum Tritiumnachweis entwickelt worden. Die Detektoren dieser Geräte sind entweder Szintillatoren oder fensterlose Proportionalzähler.

Mit dem Tritium-Kontaminationsmonitor mit Szintillator (Whitlock Tritium Meter¹⁾) ist nach Herstellerangabe eine Kontamination von 3,7 Bq.cm⁻² meßbar (15). Das Gerät ist nur auf glatter, ebener Unterlage einsetzbar, da es zwischen zu prüfender Fläche und Szintillator einen verminderten Luftdruck (1/2 Atmosphäre) benötigt. Der seitliche Abschluß zwischen Meßgerät und zu prüfender Fläche muß wegen der Lichtempfindlichkeit des Szintillators lichtdicht sein. Bei Abstandsänderung zwischen Oberfläche und Szintillator von $\pm 0,025$ mm ändert sich die Zählrate um 5 %. Aus diesen Gründen ist ein solches Gerät zur Messung von Personenkontaminationen ungeeignet.

Beim Tritium-Kontaminationsmonitor mit Proportionalzähler (z.B. LB 1210 mit Tritiumsonde LB 6255²⁾) wird vom Hersteller kein Wert des Oberflächenansprechvermögens direkt angegeben, sondern die Angaben über die Nachweisgrenze beziehen sich nur auf den Anteil der Oberflächenemission eines speziellen Tritiumstrahlers. Die Geräte besitzen eine kleine Detektoröffnung (22 bzw. 3 cm²), so daß zur Überprüfung größerer Flächen sehr viele Messungen erforderlich sind. Eine sorgfältige Kontaminationskontrolle von Personen verbunden mit der genauen Überprüfung einzelner Körperteile ist mit diesen Geräten innerhalb eines zumutbaren Zeitraumes nicht möglich.

Für eine routinemäßige Personenkontrolle sind die derzeitigen Tritium-Kontaminationsmonitore ungeeignet. Nicht ausgeschlossen werden kann, daß beim Umgang mit tritiiertem Wasser aufgrund der Inkorporationsmöglichkeit durch die Haut die Inkorporationskontrolle eine geeignete Form der Kontaminationskontrolle ist.

¹⁾ Hersteller: Hughes Whitlock Ltd., Malvern, England

²⁾ Hersteller: Fa. Laboratorium Prof. Dr. Berthold, Wildbad

8.5 **Kontaminationsnachweis von schwer nachweisbaren Radionukliden**

Radionuklide, für die im Tabellenanhang ein Oberflächenansprechvermögen kleiner als das minimal erforderliche angegeben ist, werden hier als schwer nachweisbar bezeichnet.

Auch für schwer nachweisbare Nuklide kann ein Kontaminationsnachweis mit Kontaminationsmonitoren mit Großflächen-Proportionalzähler möglich sein:

Ein für einen Hand-Fuß- oder Ganzkörper-Kontaminationsmonitor schwer nachweisbares Nuklid braucht für einen tragbaren Kontaminationsmonitor nicht schwer nachweisbar zu sein.

Einige schwer nachweisbare Nuklide lassen sich durch Verlängerung der Meßzeit hinreichend genau messen. Das gilt besonders für die Nuklide, für welche die in dem Tabellenanhang angegebenen Werte nur wenig kleiner als die des minimal erforderlichen Oberflächenansprechvermögens sind.

Schwer nachweisbare Radionuklide können als Teil eines Radionuklidgemisches überwacht werden.

Bei niederenergetischen α - oder β -Strahlern kann der Kontaminationsnachweis durch Sonden mit dünneren Fenstern verbessert werden (siehe 8.2).

Bei Radionukliden, die niederenergetische Photonen emittieren, wird der Kontaminationsnachweis bei Verwendung der Zählgase Xenon oder Argon-Methan erheblich verbessert. So sind mit Xenon die Nuklide Cr-51, I-123 und I-125 und mit Argon-Methan die Nuklide Cr-51 und Fe-55 nicht mehr schwer nachweisbar (siehe 8.3).

Gibt es für die als schwer nachweisbar eingestuften Nuklide keinen geeigneten Kontaminationsnachweis, dann sind durch technische Hilfsmittel (z.B. geeignete Schutzkleidung) Personenkontaminationen auszuschließen.

Literatur

- (1) Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlung
Neufassung der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV)
BGBl.I. S. 1321, 1989

- (2) D. Noßke, B. Gerich, S. Langner
Dosisfaktoren für Inhalation und Ingestion von Radionuklid-
verbindungen (Erwachsene)
Institut für Strahlenhygiene des BGA,
ISH-Heft 63, April 1985

- (3) K. Henrichs, U. Elsasser, C. Schotola, A. Kaul
Dosisfaktoren für Inhalation und Ingestion von Radionuklid-
verbindungen (Altersklasse 1 Jahr)
Institut für Strahlenhygiene des BGA,
ISH-Heft 78, November 1985

- (4) K. Henrichs, U. Elsasser, C. Schotola, A. Kaul
Dosisfaktoren für Inhalation und Ingestion von Radionuklid-
verbindungen (Altersklasse 10 Jahre)
Institut für Strahlenhygiene des BGA,
ISH-Heft 80, November 1985

- (5) M. Hoffmeister
Untersuchungen über den Wirkungsgrad von Kontaminationsmonitoren
ASS-Bericht 0544 (Interner Bericht, KFA-Jülich) 1992

- (6) M. Heinzelmann, M. Hoffmeister
Wirkungsgrad von Kontaminationsmonitoren
in: H. Jacobs, H. Bonka, Strahlenschutz für Mensch und Umwelt
Publikationsreihe: Fortschritte im Strahlenschutz, Verlag TÜV Rhein-
land
FS-91-55-T, Band II, S. 701, 1991

- (7) M. Heinzelmann
Kritische Anmerkungen zur Neufassung der Strahlenschutzverordnung
Jül-2357, Mai 1990

- (8) ICRP Publication 38
Radionuclide Transformations
Annals of the ICRP, 11-13, 1983

- (9) Nachweisgrenze und Erkennungsgrenze bei Kernstrahlungsmessungen;
Zählende Messungen ohne Berücksichtigung des Probenbeeinflussungseinflusses
DIN 25482 Teil 1, 1989

- (10) Nachweisgrenze und Erkennungsgrenze bei Kernstrahlungsmessungen;
Messungen mit linearen analog arbeitenden Ratemetern
Entwurf, DIN 25482, Teil 3, 1990

- (11) Hand-Fuß-Kleider-Monitor FHT 65 P
Firmenprospekt KB-013-900322,
FAG Kugelfischer Georg Schäfer KGaA, Erlangen, ohne Jahreszahl

- (12) Firmenprospekt: Microcont
Firma Herfurth GmbH, Hamburg, ohne Jahreszahl

- (13) J. Fritz, M. Iwatschenko-Borho, H.-J. Kreiner, R. Lin, G. Rupp
Monitor zur schnellen Erkennung von EC-Strahler-Kontaminationen
Atomwirtschaft, 2, S. 93, Februar 1989

- (14) M. Heinzelmann, H. Schüren
Studies on the Detection of Surface Contamination by Electron Capture
Emitters
Radiation Protection Dosimetry, 29, S. 183-188, 1989

- (15) Service Manual - The Whitlock Tritium Meter
Hughes Whitlock Ltd., Malvern, England

Danksagung

Wir danken Herrn Dr. Noßke, Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Strahlenhygiene, für die Überlassung der Nukliddaten von ICRP 38 auf Datenträger. Hierdurch ist es uns möglich gewesen, die Untersuchungen umfassend durchzuführen. Vor allem danken wir Fräulein Kathrin Hilker, Forschungszentrum Jülich, für die Ausführung der Rechnungen und für ihre Geduld bei unseren häufigen Änderungswünschen.

Tabellenanhang

Anhang A: Erläuterungen zu den Tabellen

Anhang B: Oberflächenansprechvermögen zum Nachweis von Oberflächenkontaminationen mit Hand-Fuß- oder Ganzkörper-Kontaminationsmonitoren für Nuklide mit Halbwertszeiten größer als eine Stunde.

Anhang C: Oberflächenansprechvermögen zum Nachweis von Oberflächenkontaminationen mit tragbaren Kontaminationsmonitoren für Nuklide mit Halbwertszeiten größer als eine Stunde

Anhang D: Oberflächenansprechvermögen zum Nachweis von Oberflächenkontaminationen mit Hand-Fuß- oder Ganzkörper-Kontaminationsmonitoren für Nuklidgemische im radioaktiven Gleichgewicht

Anhang E: Oberflächenansprechvermögen zum Nachweis von Oberflächenkontaminationen mit tragbaren Kontaminationsmonitoren für Nuklidgemische im radioaktiven Gleichgewicht.

Anhang A:

Erläuterungen zu den Tabellen

1. Erklärung der Symbole

$T_{1/2}$	=	Halbwertszeit in Minuten (M), Stunden (H), Tagen (D) oder Jahren (Y)
G	=	Grenzwert der Oberflächenkontamination nach Anlage IX Spalte 4 StrlSchV
$S_{\min}(\alpha)$	=	Minimal erforderliches Oberflächenansprechvermögen zum Nachweis einer Oberflächenkontamination in Höhe des Grenzwertes bei Nachweis nur von α -Strahlung (Messung im α -Modus)
$S_{\min}(\alpha+\beta)$	=	Minimal erforderliches Oberflächenansprechvermögen zum Nachweis einer Oberflächenkontamination in Höhe des Grenzwertes bei Nachweis von α - und β -Strahlung (Messung im $(\alpha+\beta)$ -Modus)
$S(\alpha)$	=	Berechnetes Oberflächenansprechvermögen bei Messung von α -Strahlung (Messung im α -Modus)
$S(\alpha+\beta)$	=	Berechnetes Oberflächenansprechvermögen bei Messung von α - und β -Strahlung (Messung im $(\alpha+\beta)$ -Modus)
*	=	Dieser Stern kennzeichnet die schwer nachweisbaren Nuklide, bei denen
		$S(\alpha) < S_{\min}(\alpha) \quad \text{Fall 1}$ oder $S(\alpha+\beta) < S_{\min}(\alpha+\beta) \quad \text{Fall 2}$
		ist. Je nachdem, ob Fall 1 oder Fall 2 vorliegt, ist die Lage des Sternes unterschiedlich. Gegebenenfalls sind auch zwei Sterne bei einem Nuklid angegeben.

2. Anmerkungen

- a) Die Angaben in den Anhängen B und D beziehen sich auf die relativ unempfindliche Fußsonde von Hand-Fuß- oder Ganzkörper-Kontaminationsmonitoren. Das Oberflächenansprechvermögen der Handsonde ist etwa gleich dem tragbarer Kontaminationsmonitore.

- b) Beim Zerfall eines Nuklids entstehende metastabile Nuklide mit Halbwertszeiten kleiner als 10 Minuten werden nicht als eigene Nuklide behandelt, wenn sie weder α -, β - oder β^+ -Teilchen aussenden, noch durch Elektroneneinfang zerfallen (Beispiel: Ba-137m und Nb-97m als Folgeprodukte von Cs-137 und Zr-97). In der Angabe des Oberflächenansprechvermögens für das Ausgangsnuklid wird in diesen Fällen die Strahlung des Folgeproduktes mitberücksichtigt.
- c) Bei einigen Radionukliden gibt es 2 Isomere, von denen nicht bekannt ist, welches im Grundzustand vorliegt (z.B. Sb-120; Sb-128; Ta-178). In den Tabellen sind nur die Isomere mit Halbwertszeiten größer als eine Stunde aufgeführt, ohne auf das Isomer mit kleinerer Halbwertszeit hinzuweisen.
- d) Zur Berechnung des Oberflächenansprechvermögens bei Nuklidgemischen wird radioaktives Gleichgewicht angenommen. Berücksichtigt und in der ersten Spalte der Anhänge D und E aufgeführt sind nur die Folgeprodukte eines Ausgangsnuklids mit Halbwertszeiten kleiner als eine Stunde. Folgeprodukte mit Halbwertszeiten größer oder gleich einer Stunde sind auch dann nicht berücksichtigt, wenn sie gleichzeitig mit solchen kleinerer Halbwertszeit entstehen. Bei Folgeprodukten mit Halbwertszeiten größer als eine Stunde braucht die Annahme radioaktiven Gleichgewichtes keine gute Näherung zu sein. Im Bedarfsfall kann das Oberflächenansprechvermögen für ein Nuklidgemisch mit Folgeprodukten größerer Halbwertszeit aus den Werten der Anhänge B und C berechnet werden.

Anhang B:

Oberflächenansprechvermögen zum Nachweis von Oberflächenkontaminationen mit Hand-Fuß- oder Ganzkörper-Kontaminationsmonitoren für Nuklide mit Halbwertszeiten größer als eine Stunde.

Nuklid		$T_{1/2}$	G	$S_{min}(\alpha)$	$S_{min}(\alpha+\beta)$	$S(\alpha)$	$S(\alpha+\beta)$	schwer nachweisbar	
			Bq·cm ⁻²	Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	(α)	($\alpha+\beta$)
1 H	3	12.35 Y	5		0.94		<0.01	*	
4 Be	7	53.3 D	5		0.94		<0.01	*	
4 Be	10	0.16E+07 Y	0.5		9.4		21		
6 C	14	5730 Y	5		0.94		7.9		
9 F	18	109.77 M	5		0.94		22		
11 Na	22	2.602 Y	0.5		9.4		19		
11 Na	24	15 H	0.5		9.4		22		
12 Mg	28	# 20.91 H	0.5		9.4		17		
13 Al	26	716000 Y	0.5		9.4		18		
14 Si	31	157.3 M	5		0.94		21		
14 Si	32	450 Y	0.5		9.4		9.5		
15 P	32	14.29 D	0.5		9.4		21		
15 P	33	25.4 D	5		0.94		11		
16 S	35	87.44 D	5		0.94		7.7		
17 Cl	36	301000 Y	0.5		9.4		21		
19 K	40	0.128E+10 Y	5		0.94		19		
19 K	42	12.36 H	0.5		9.4		21		
19 K	43	22.6 H	0.5		9.4		21		
20 Ca	41	140000 Y	5		0.94		<0.01	*	
20 Ca	45	163 D	5		0.94		11		
20 Ca	47	4.53 D	0.5		9.4		21		
21 Sc	43	3.891 H	5		0.94		17		
21 Sc	44 m	58.6 H	0.5		9.4		2.2	*	
21 Sc	44	3.927 H	0.5		9.4		21		
21 Sc	46	83.83 D	0.5		9.4		14		
21 Sc	47	3.351 D	0.5		9.4		17		
21 Sc	48	43.7 H	0.5		9.4		22		
22 Ti	44	47.3 Y	0.5		9.4		0.87	*	
22 Ti	45	3.08 H	5		0.94		18		
23 V	48	16.238 D	5		0.94		11		
23 V	49	330 D	5		0.94		0.01	*	
24 Cr	48	22.96 H	0.5		9.4		0.58	*	
24 Cr	51	27.704 D	5		0.94		0.10	*	
25 Mn	52	5.591 D	0.5		9.4		7.3	*	
25 Mn	53	0.37E+07 Y	5		0.94		0.10	*	
25 Mn	54	312.5 D	0.5		9.4		0.31	*	
25 Mn	56	2.5785 H	5		0.94		21		
26 Fe	52	# 8.275 H	0.5		9.4		12		
26 Fe	55	2.7 Y	5		0.94		0.11	*	
26 Fe	59	44.529 D	0.5		9.4		14		
26 Fe	60	# 100000 Y	0.5		9.4		7.8	*	
27 Co	55	17.54 H	0.5		9.4		17		
27 Co	56	78.76 D	0.5		9.4		5.0	*	
27 Co	57	270.9 D	0.5		9.4		0.67	*	
27 Co	58 m	9.15 H	0.5		9.4		0.11	*	
27 Co	58	70.8 D	0.5		9.4		3.4	*	
27 Co	60	5.271 Y	0.5		9.4		13		
27 Co	61	1.65 H	5		0.94		21		
28 Ni	56	6.1 D	0.5		9.4		0.73	*	
28 Ni	57	36.08 H	0.5		9.4		9.0	*	
28 Ni	59	75000 Y	5		0.94		0.14	*	
28 Ni	63	96 Y	5		0.94		0.73	*	
28 Ni	65	2.52 H	5		0.94		21		
28 Ni	66	# 54.6 H	0.5		9.4		9.7		
29 Cu	61	3.408 H	5		0.94		13		
29 Cu	64	12.701 H	5		0.94		11		
29 Cu	67	61.86 H	0.5		9.4		17		
30 Zn	62	# 9.26 H	0.5		9.4		2.2	*	
30 Zn	65	243.9 D	0.5		9.4		0.53	*	
30 Zn	69 m	# 13.76 H	0.5		9.4		1.1	*	
30 Zn	71 m	3.92 H	5		0.94		21		

#) siehe Nuklidgemische

Nuklid	$T_{1/2}$	G Bq·cm ⁻²	$S_{min}(\alpha)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	$S_{min}(\alpha+\beta)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	$S(\alpha)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	$S(\alpha+\beta)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	schwer nachweisbar	
							(α)	($\alpha+\beta$)
30 Zn 72	46.5 H	0.5		9.4		12		
31 Ga 66	9.4 H	0.5		9.4		12		
31 Ga 67	78.26 H	0.5		9.4		2.8		*
31 Ga 68	68 M	5		0.94		19		
31 Ga 72	14.1 H	0.5		9.4		22		
31 Ga 73	4.91 H	5		0.94		21		
32 Ge 66	2.27 H	5		0.94		5.6		
32 Ge 68	288 D	0.5		9.4		0.16		*
32 Ge 69	39.05 H	0.5		9.4		7.7		*
32 Ge 71	11.8 D	5		0.94		0.16		*
32 Ge 75	82.78 M	5		0.94		21		
32 Ge 77	11.3 H	0.5		9.4		21		
32 Ge 78	87 M	5		0.94		21		
33 As 71	64.8 H	0.5		9.4		7.6		*
33 As 72	26 H	0.5		9.4		19		
33 As 73	80.3 D	0.5		9.4		0.37		*
33 As 74	17.76 D	0.5		9.4		14		
33 As 76	26.32 H	0.5		9.4		21		
33 As 77	38.8 H	0.5		9.4		21		
33 As 78	90.7 M	5		0.94		21		
34 Se 73	7.15 H	0.5		9.4		14		
34 Se 75	119.8 D	0.5		9.4		0.74		*
34 Se 79	65000 Y	0.5		9.4		8.6		*
35 Br 75	98 M	5		0.94		16		
35 Br 76	16.2 H	0.5		9.4		13		
35 Br 77	56 H	5		0.94		0.49		*
35 Br 80 m #	4.42 H	0.5		9.4		0.05		*
35 Br 82	35.3 H	0.5		9.4		16		
35 Br 83	2.39 H	5		0.94		21		
37 Rb 81	4.58 H	5		0.94		11		
37 Rb 82 m	6.2 H	5		0.94		5.9		
37 Rb 83	86.2 D	0.5		9.4		0.35		*
37 Rb 84	32.77 D	0.5		9.4		6.7		*
37 Rb 86	18.66 D	0.5		9.4		21		
37 Rb 87	0.47E+11 Y	5		0.94		14		
38 Sr 80 #	100 M	0.5		9.4		0.02		*
38 Sr 82 #	25 D	0.5		9.4		0.02		*
38 Sr 83	32.4 H	0.5		9.4		5.4		*
38 Sr 85 m	69.5 M	0.5		9.4		0.45		*
38 Sr 85	64.84 D	0.5		9.4		0.46		*
38 Sr 87 m	2.805 H	0.5		9.4		3.7		*
38 Sr 89	50.5 D	0.5		9.4		21		
38 Sr 90	29.12 Y	0.5		9.4		19		
38 Sr 91 #	9.5 H	0.5		9.4		21		
38 Sr 92	2.71 H	0.5		9.4		18		
39 Y 86	14.74 H	0.5		9.4		8.0		*
39 Y 87	80.3 H	0.5		9.4		0.15		*
39 Y 88	106.64 D	0.5		9.4		0.65		*
39 Y 90 m	3.19 H	0.5		9.4		2.4		*
39 Y 90	64 H	0.5		9.4		21		
39 Y 91	58.51 D	0.5		9.4		21		
39 Y 92	3.54 H	0.5		9.4		21		
39 Y 93	10.1 H	0.5		9.4		21		
40 Zr 86	16.5 H	0.5		9.4		0.79		*
40 Zr 88	83.4 D	0.5		9.4		0.65		*
40 Zr 89	78.43 H	0.5		9.4		5.4		*
40 Zr 93	0.153E+07 Y	0.5		9.4		1.3		*
40 Zr 95	63.98 D	0.5		9.4		14		
40 Zr 97	16.9 H	0.5		9.4		22		
41 Nb 89	66 M	5		0.94		19		
41 Nb 89	122 M	5		0.94		16		

#) siehe Nuklidgemische

Nuklid		$T_{1/2}$	G	$S_{\min}(\alpha)$	$S_{\min}(\alpha+\beta)$	$S(\alpha)$	$S(\alpha+\beta)$	schwer nachweisbar	
			Bq·cm ⁻²	Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	(α)	($\alpha+\beta$)
41 Nb	90	14.6 H	0.5		9.4		16		
41 Nb	93 m	13.6 Y	0.5		9.4		<0.01		*
41 Nb	94	20300 Y	0.5		9.4		18		
41 Nb	95 m	86.6 H	0.5		9.4		12		
41 Nb	95	35.15 D	0.5		9.4		6.9		*
41 Nb	96	23.35 H	0.5		9.4		22		
41 Nb	97	72.1 M	5		0.94		21		
42 Mo	90	5.67 H	0.5		9.4		11		
42 Mo	93 m	6.85 H	0.5		9.4		7.2		*
42 Mo	93	3500 Y	0.5		9.4		0.03		*
42 Mo	99	66 H	0.5		9.4		20		
43 Tc	93	2.75 H	5		0.94		0.34		*
43 Tc	94	293 M	5		0.94		3.5		
43 Tc	95 m	61 D	0.5		9.4		0.90		*
43 Tc	95	20 H	5		0.94		0.36		*
43 Tc	96	4.28 D	0.5		9.4		1.0		*
43 Tc	97 m	87 D	0.5		9.4		7.2		*
43 Tc	97	0.26E+07 Y	5		0.94		0.03		*
43 Tc	98	0.42E+07 Y	5		0.94		17		
43 Tc	99 m	6.02 H	0.5		9.4		1.3		*
43 Tc	99	213000 Y	5		0.94		13		
44 Ru	97	2.9 D	0.5		9.4		0.64		*
44 Ru	103 #	39.28 D	0.5		9.4		9.8		
44 Ru	105	4.44 H	0.5		9.4		21		
44 Ru	106 #	368.2 D	0.5		9.4		<0.01		*
45 Rh	99 m	4.7 H	5		0.94		1.9		
45 Rh	99	16 D	0.5		9.4		2.8		*
45 Rh	100	20.8 H	0.5		9.4		2.0		*
45 Rh	101 m	4.34 D	0.5		9.4		1.2		*
45 Rh	101	3.2 Y	0.5		9.4		2.3		*
45 Rh	102 m	207 D	0.5		9.4		7.2		*
45 Rh	102	2.9 Y	0.5		9.4		0.90		*
45 Rh	105	35.36 H	0.5		9.4		16		
45 Rh	106 m	132 M	5		0.94		22		
46 Pd	100	3.63 D	0.5		9.4		2.1		*
46 Pd	101	8.27 H	5		0.94		1.7		
46 Pd	103 #	16.96 D	0.5		9.4		0.03		*
46 Pd	107	0.65E+07 Y	5		0.94		<0.01		*
46 Pd	109	13.427 H	0.5		9.4		27		
47 Ag	103	65.7 M	5		0.94		8.5		
47 Ag	104	69.2 M	5		0.94		4.4		
47 Ag	105	41 D	0.5		9.4		0.62		*
47 Ag	106 m	8.41 D	0.5		9.4		1.2		*
47 Ag	108 m #	127 Y	0.5		9.4		0.90		*
47 Ag	110 m #	249.9 D	0.5		9.4		7.7		*
47 Ag	111	7.45 D	0.5		9.4		21		
47 Ag	112	3.12 H	0.5		9.4		21		
48 Cd	107	6.49 H	5		0.94		6.7		
48 Cd	109	464 D	0.5		9.4		6.3		*
48 Cd	113 m	13.6 Y	0.5		9.4		19		
48 Cd	113	0.93E+16 Y	5		0.94		12		
48 Cd	115 m	44.6 D	0.5		9.4		21		
48 Cd	115	53.46 H	0.5		9.4		20		
48 Cd	117 m #	3.36 H	5		0.94		19		
48 Cd	117	2.49 H	0.5		9.4		20		
49 In	109	4.2 H	5		0.94		2.6		
49 In	110	4.9 H	5		0.94		1.3		
49 In	110	69.1 M	5		0.94		14		
49 In	111	2.83 D	0.5		9.4		2.4		*
49 In	113 m	1.658 H	0.5		9.4		7.5		*
49 In	114 m #	49.51 D	0.5		9.4		12		

#) siehe Nuklidgemische

Nuklid	$T_{1/2}$	G Bq·cm ⁻²	$S_{\min}(\alpha)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	$S_{\min}(\alpha+\beta)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	$S(\alpha)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	$S(\alpha+\beta)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	schwer nachweisbar	
							(α)	($\alpha+\beta$)
49 In 115 m	4.486 H	0.5		9.4		11		
49 In 115	0.51E+16 Y	5		0.94		16		
49 In 117 m #	116.5 M	0.5		9.4		17		
50 Sn 110	4 H	0.5		9.4		0.61	*	
50 Sn 113	115.1 D	0.5		9.4		0.04	*	
50 Sn 117 m	13.61 D	0.5		9.4		14		
50 Sn 119 m	293 D	0.5		9.4		3.6	*	
50 Sn 121 m	55 Y	0.5		9.4		3.2	*	
50 Sn 121	27.06 H	0.5		9.4		14		
50 Sn 123	129.2 D	0.5		9.4		21		
50 Sn 125	9.64 D	0.5		9.4		20		
50 Sn 126 #	100000 Y	0.5		9.4		15		
50 Sn 127	2.1 H	5		0.94		20		
51 Sb 116 m	60.3 M	5		0.94		9.0		
51 Sb 117	2.8 H	5		0.94		2.1		
51 Sb 118 m	5 H	5		0.94		1.8		
51 Sb 119	38.1 H	5		0.94		0.04	*	
51 Sb 120	5.76 D	0.5		9.4		3.7	*	
51 Sb 122	2.7 D	0.5		9.4		21		
51 Sb 124	60.2 D	0.5		9.4		19		
51 Sb 125	2.77 Y	0.5		9.4		11		
51 Sb 126	12.4 D	0.5		9.4		19		
51 Sb 127	3.85 D	0.5		9.4		21		
51 Sb 128	9.01 H	0.5		9.4		22		
51 Sb 129	4.32 H	0.5		9.4		21		
52 Te 116 #	2.49 H	5		0.94		3.8		
52 Te 121 m	154 D	0.5		9.4		4.8	*	
52 Te 121	17 D	0.5		9.4		0.45	*	
52 Te 123 m	119.7 D	0.5		9.4		6.2	*	
52 Te 123	0.1E+14 Y	5		0.94		0.03	*	
52 Te 125 m	58 D	0.5		9.4		8.1	*	
52 Te 127 m	109 D	0.5		9.4		4.7	*	
52 Te 127	9.35 H	5		0.94		21		
52 Te 129 m	33.6 D	0.5		9.4		12		
52 Te 129	69.6 M	5		0.94		21		
52 Te 131 m #	30 H	0.5		9.4		17		
52 Te 132	78.2 H	0.5		9.4		11		
53 I 120	81 M	0.5		9.4		18		
53 I 121	2.12 H	5		0.94		3.9		
53 I 123	13.2 H	0.5		9.4		2.0	*	
53 I 124	4.18 D	0.5		9.4		5.3	*	
53 I 125	60.14 D	0.5		9.4		0.06	*	
53 I 126	13.02 D	0.5		9.4		9.9		
53 I 129	0.157E+08 Y	5		0.94		7.8		
53 I 130	12.36 H	0.5		9.4		21		
53 I 131	8.04 D	0.5		9.4		19		
53 I 132 m	83.6 M	0.5		9.4		9.4	*	
53 I 132	2.3 H	0.5		9.4		22		
53 I 133	20.8 H	0.5		9.4		21		
53 I 135	6.61 H	0.5		9.4		20		
55 Cs 127	6.25 H	5		0.94		1.5		
55 Cs 129	32.06 H	5		0.94		0.36	*	
55 Cs 131	9.69 D	5		0.94		0.03	*	
55 Cs 132	6.475 D	0.5		9.4		0.85	*	
55 Cs 134 m	2.9 H	0.5		9.4		8.8	*	
55 Cs 134	2.062 Y	0.5		9.4		16		
55 Cs 135	0.23E+07 Y	5		0.94		9.7		
55 Cs 136	13.1 D	0.5		9.4		16		
55 Cs 137	30 Y	0.5		9.4		20		
56 Ba 126 #	96.5 M	5		0.94		0.93	*	
56 Ba 128 #	2.43 D	0.5		9.4		0.22	*	

#) siehe Nuklidgemische

Nuklid	$T_{1/2}$	G Bq·cm ⁻²	$S_{\min}(\alpha)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	$S_{\min}(\alpha+\beta)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	$S(\alpha)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	$S(\alpha+\beta)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	schwer nachweisbar (α) ($\alpha+\beta$)	
56 Ba 131	11.8 D	0.5		9.4		3.0	*	
56 Ba 133 m	38.9 H	0.5		9.4		14		
56 Ba 133	10.74 Y	0.5		9.4		1.3	*	
56 Ba 135 m	28.7 H	0.5		9.4		15		
56 Ba 139	82.7 M	5		0.94		22		
56 Ba 140	12.74 D	0.5		9.4		20		
57 La 132	4.8 H	0.5		9.4		9.0	*	
57 La 135	19.5 H	5		0.94		0.05	*	
57 La 137	60000 Y	0.5		9.4		0.05	*	
57 La 138	0.135E+12 Y	5		0.94		4.5		
57 La 140	40.272 H	0.5		9.4		22		
57 La 141	3.93 H	0.5		9.4		21		
57 La 142	92.5 M	5		0.94		21		
58 Ce 134 #	72 H	0.5		9.4		0.05	*	
58 Ce 135	17.6 H	0.5		9.4		20		
58 Ce 137 m	34.4 H	0.5		9.4		15		
58 Ce 137	9 H	5		0.94		0.08	*	
58 Ce 139	137.66 D	0.5		9.4		2.6	*	
58 Ce 141	32.501 D	0.5		9.4		18		
58 Ce 143	33 H	0.5		9.4		21		
58 Ce 144 #	284.3 D	0.5		9.4		12		
59 Pr 137	76.6 M	5		0.94		5.6		
59 Pr 138 m	2.1 H	5		0.94		8.5		
59 Pr 139	4.51 H	5		0.94		1.8		
59 Pr 142	19.13 H	0.5		9.4		21		
59 Pr 143	13.56 D	0.5		9.4		21		
59 Pr 145	5.98 H	0.5		9.4		21		
60 Nd 138 #	5.04 H	0.5		9.4		0.15	*	
60 Nd 139 m #	5.5 H	0.5		9.4		6.1	*	
60 Nd 141	2.49 H	5		0.94		0.62	*	
60 Nd 147	10.98 D	0.5		9.4		20		
60 Nd 149	1.73 H	5		0.94		24		
61 Pm 143	265 D	0.5		9.4		0.18	*	
61 Pm 144	363 D	0.5		9.4		1.0	*	
61 Pm 145	17.7 Y	0.5		9.4		0.37	*	
61 Pm 146	2020 D	0.5		9.4		7.7	*	
61 Pm 147	2.6234 Y	5		0.94		9.2		
61 Pm 148 m	41.3 D	0.5		9.4		17		
61 Pm 148	5.37 D	0.5		9.4		21		
61 Pm 149	53.08 H	0.5		9.4		21		
61 Pm 150	2.68 H	5		0.94		23		
61 Pm 151	28.4 H	0.5		9.4		20		
62 Sm 142 #	72.49 M	5		0.94		1.3		
62 Sm 145	340 D	0.5		9.4		0.18	*	
62 Sm 146	0.103E+09 Y	0.5	1.2	9.4	<0.01	<0.01	*	*
62 Sm 147	0.106E+12 Y	0.5	1.2	9.4	<0.01	<0.01	*	*
62 Sm 151	90 Y	0.5		9.4		1.3		*
62 Sm 153	46.7 H	0.5		9.4		22		
62 Sm 156	9.4 H	0.5		9.4		18		
63 Eu 145	5.94 D	0.5		9.4		1.2	*	
63 Eu 146	4.61 D	0.5		9.4		2.3	*	
63 Eu 147	24 D	0.5		9.4		2.9	*	
63 Eu 148	54.5 D	0.5		9.4		1.4	*	
63 Eu 149	93.1 D	0.5		9.4		0.21	*	
63 Eu 150	34.2 Y	0.5		9.4		2.0	*	
63 Eu 150	12.62 H	0.5		9.4		19		
63 Eu 152 m	9.32 H	0.5		9.4		16		
63 Eu 152	13.33 Y	0.5		9.4		9.1	*	
63 Eu 154	8.8 Y	0.5		9.4		21		
63 Eu 155	4.96 Y	0.5		9.4		6.9	*	
63 Eu 156	15.19 D	0.5		9.4		19		

#) siehe Nuklidgemische

Nuklid	$T_{1/2}$	G Bq·cm ⁻²	$S_{min}(\alpha)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	$S_{min}(\alpha+\beta)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	$S(\alpha)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	$S(\alpha+\beta)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	schwer nachweisbar (α) ($\alpha+\beta$)	
63 Eu 157	15.15 H	0.5		9.4		21		
64 Gd 146	48.3 D	0.5		9.4		10		
64 Gd 147	38.1 H	0.5		9.4		3.7	*	*
64 Gd 148	93 Y	0.05	12	9.4	<0.01	<0.01	*	*
64 Gd 149	9.4 D	0.5		9.4		4.1		*
64 Gd 151	120 D	0.5		9.4		1.2		*
64 Gd 152	0.108E+15 Y	0.5	1.2	9.4	<0.01	<0.01	*	*
64 Gd 153	242 D	0.5		9.4		0.91		*
64 Gd 159	18.56 H	0.5		9.4		21		
65 Tb 147	1.65 H	5		0.94		9.9		
65 Tb 149	4.15 H	0.5		9.4		5.3		*
65 Tb 150	3.27 H	5		0.94		9.3		
65 Tb 151	17.6 H	0.5		9.4		3.9		*
65 Tb 153	2.34 D	0.5		9.4		1.0		*
65 Tb 154	21.4 H	0.5		9.4		4.4		*
65 Tb 155	5.32 D	0.5		9.4		1.2		*
65 Tb 156 m	24.4 H	0.5		9.4		0.05		*
65 Tb 156 m	5 H	0.5		9.4		6.8		*
65 Tb 156	5.34 D	0.5		9.4		6.7		*
65 Tb 157	150 Y	0.5		9.4		0.05		*
65 Tb 158	150 Y	0.5		9.4		7.9		*
65 Tb 160	72.3 D	0.5		9.4		22		
65 Tb 161	6.91 D	0.5		9.4		17		
66 Dy 155	10 H	5		0.94		1.0		
66 Dy 157	8.1 H	5		0.94		0.40		*
66 Dy 159	144.4 D	0.5		9.4		0.11		*
66 Dy 165	2.334 H	5		0.94		21		
66 Dy 166	81.6 H	0.5		9.4		15		
67 Ho 161	2.5 H	5		0.94		0.35		*
67 Ho 162 m #	68 M	0.5		9.4		3.1		*
67 Ho 166 m	1200 Y	0.5		9.4		9.7		
67 Ho 166	26.8 H	0.5		9.4		23		
67 Ho 167	3.1 H	5		0.94		19		
68 Er 161	3.24 H	5		0.94		3.0		
68 Er 165	10.36 H	5		0.94		0.09		*
68 Er 169	9.3 D	0.5		9.4		13		
68 Er 171	7.52 H	0.5		9.4		23		
68 Er 172	49.3 H	0.5		9.4		14		
69 Tm 166	7.7 H	5		0.94		5.7		
69 Tm 167	9.24 D	0.5		9.4		8.9		*
69 Tm 170	128.6 D	0.5		9.4		22		
69 Tm 171	1.92 Y	0.5		9.4		2.5		*
69 Tm 172	63.6 H	0.5		9.4		22		
69 Tm 173	8.24 H	0.5		9.4		22		
70 Yb 166	56.7 H	0.5		9.4		1.1		*
70 Yb 169	32.01 D	0.5		9.4		6.3		*
70 Yb 175	4.19 D	0.5		9.4		14		
70 Yb 177	1.9 H	5		0.94		20		
70 Yb 178 #	74 M	5		0.94		19		
71 Lu 169	34.06 H	0.5		9.4		1.7		*
71 Lu 170	2 D	0.5		9.4		4.0		*
71 Lu 171	8.22 D	0.5		9.4		3.6		*
71 Lu 172	6.7 D	0.5		9.4		7.6		*
71 Lu 173	1.37 Y	0.5		9.4		1.1		*
71 Lu 174 m	142 D	0.5		9.4		0.55		*
71 Lu 174	3.31 Y	0.5		9.4		2.6		*
71 Lu 176 m	3.68 H	5		0.94		24		
71 Lu 176	0.36E+11 Y	5		0.94		27		
71 Lu 177 m	160.9 D	0.5		9.4		21		
71 Lu 177	6.71 D	0.5		9.4		16		
71 Lu 179	4.59 H	5		0.94		21		

#) siehe Nuklidgemische

Nuklid	$T_{1/2}$		G Bq·cm ⁻²	$S_{\min}(\alpha)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	$S_{\min}(\alpha+\beta)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	S(α) Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	S($\alpha+\beta$) Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	schwer nachweisbar (α) ($\alpha+\beta$)
72 Hf 170	16.01 H		0.5		9.4		2.2	*
72 Hf 172	1.87 Y		0.5		9.4		2.4	*
72 Hf 173	24 H		0.5		9.4		3.3	*
72 Hf 175	70 D		0.5		9.4		2.3	*
72 Hf 178 m	31 Y		0.5		9.4		18	
72 Hf 179 m	25.1 D		0.5		9.4		11	
72 Hf 180 m	5.5 H		0.5		9.4		9.4	
72 Hf 181	42.4 D		0.5		9.4		21	
72 Hf 182 m	61.5 M		0.5		9.4		18	
72 Hf 182	0.9E+07 Y		0.5		9.4		10	
72 Hf 183	64 M		5		0.94		22	
72 Hf 184	4.12 H		0.5		9.4		26	
73 Ta 173	3.65 H		5		0.94		8.9	
73 Ta 174	1.2 H		5		0.94		12	
73 Ta 175	10.5 H		5		0.94		2.7	
73 Ta 176	8.08 H		0.5		9.4		5.2	*
73 Ta 177	56.6 H		5		0.94		1.1	
73 Ta 178	2.2 H		5		0.94		10	
73 Ta 179	664.9 D		0.5		9.4		0.10	*
73 Ta 180 m	8.1 H		5		0.94		4.2	
73 Ta 180	0.1E+14 Y		5		0.94		8.8	
73 Ta 182	115 D		0.5		9.4		20	
73 Ta 183	5.1 D		0.5		9.4		26	
73 Ta 184	8.7 H		0.5		9.4		29	
74 W 176	2.3 H		5		0.94		1.5	
74 W 177	135 M		5		0.94		3.8	
74 W 178 #	21.7 D		5		0.94		0.08	*
74 W 181	121.2 D		5		0.94		0.13	*
74 W 185	75.1 D		0.5		9.4		15	
74 W 187	23.9 H		0.5		9.4		21	
74 W 188	69.4 D		0.5		9.4		13	
75 Re 181	20 H		0.5		9.4		6.7	*
75 Re 182	64 H		0.5		9.4		12	
75 Re 182	12.7 H		5		0.94		4.8	
75 Re 184 m	165 D		0.5		9.4		8.5	*
75 Re 184	38 D		0.5		9.4		3.6	*
75 Re 186 m	200000 Y		0.5		9.4		0.38	*
75 Re 186	90.64 H		0.5		9.4		21	
75 Re 187	0.5E+11 Y		5		0.94		<0.01	*
75 Re 188	16.98 H		0.5		9.4		22	
75 Re 189	24.3 H		0.5		9.4		22	
76 Os 181	105 M		5		0.94		5.5	
76 Os 182	22 H		0.5		9.4		1.5	*
76 Os 185	94 D		0.5		9.4		0.77	*
76 Os 189 m	6 H		0.5		9.4		0.06	*
76 Os 191 m	13.03 H		0.5		9.4		5.0	*
76 Os 191	15.4 D		0.5		9.4		6.9	*
76 Os 193	30 H		0.5		9.4		22	
76 Os 194	6 Y		0.5		9.4		1.7	*
77 Ir 184	3.02 H		5		0.94		10	
77 Ir 185	14 H		0.5		9.4		3.9	*
77 Ir 186	15.8 H		0.5		9.4		7.3	*
77 Ir 186	1.75 H		5		0.94		7.6	
77 Ir 187	10.5 H		5		0.94		1.9	
77 Ir 188	41.5 H		0.5		9.4		3.6	*
77 Ir 189	13.3 D		0.5		9.4		0.91	*
77 Ir 190 m	3.1 H		5		0.94		6.6	
77 Ir 190 m	1.2 H		0.5		9.4		0.06	*
77 Ir 190	12.1 D		0.5		9.4		9.1	*
77 Ir 192 m	241 Y		0.5		9.4		0.04	*
77 Ir 192	74.02 D		0.5		9.4		20	

#) siehe Nuklidgemische

Nuklid	$T_{1/2}$	G	$S_{\min}(\alpha)$	$S_{\min}(\alpha+\beta)$	$S(\alpha)$	$S(\alpha+\beta)$	schwer nachweisbar
		Bq·cm ⁻²	Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	(α) ($\alpha+\beta$)
77 Ir 194 m	171 D	0.5		9.4		16	
77 Ir 194	19.15 H	0.5		9.4		21	
77 Ir 195 m	3.8 H	5		0.94		25	
77 Ir 195	2.5 H	5		0.94		22	
78 Pt 186	2 H	5		0.94		0.53	*
78 Pt 188	10.2 D	0.5		9.4		4.9	*
78 Pt 189	10.87 H	5		0.94		2.5	
78 Pt 191	2.8 D	0.5		9.4		7.9	*
78 Pt 193 m	4.33 D	0.5		9.4		9.9	
78 Pt 193	50 Y	5		0.94		0.04	*
78 Pt 195 m	4.02 D	0.5		9.4		11	
78 Pt 197 m	94.4 M	0.5		9.4		18	
78 Pt 197	18.3 H	0.5		9.4		24	
78 Pt 200 #	12.5 H	0.5		9.4		21	
79 Au 193	17.65 H	5		0.94		3.4	
79 Au 194	39.5 H	0.5		9.4		1.9	*
79 Au 195	183 D	0.5		9.4		1.5	*
79 Au 198 m	2.3 D	0.5		9.4		23	
79 Au 198	2.696 D	0.5		9.4		22	
79 Au 199	3.139 D	0.5		9.4		16	
79 Au 200 m #	18.7 H	0.5		9.4		23	
80 Hg 193 m	11.1 H	0.5		9.4		7.3	*
80 Hg 193	3.5 H	5		0.94		6.7	
80 Hg 194	260 Y	0.5		9.4		0.05	*
80 Hg 195 m	41.6 H	0.5		9.4		7.7	*
80 Hg 195	9.9 H	5		0.94		0.98	
80 Hg 197 m	23.8 H	0.5		9.4		18	
80 Hg 197	64.1 H	0.5		9.4		4.6	*
80 Hg 203	46.6 D	0.5		9.4		12	
81 Tl 195	1.16 H	5		0.94		2.4	
81 Tl 197	2.84 H	5		0.94		3.3	
81 Tl 198 m	1.87 H	0.5		9.4		13	
81 Tl 198	5.3 H	5		0.94		1.7	
81 Tl 199	7.42 H	5		0.94		3.5	
81 Tl 200	26.1 H	0.5		9.4		1.9	*
81 Tl 201	3.044 D	5		0.94		2.0	
81 Tl 202	12.23 D	0.5		9.4		0.92	*
81 Tl 204	3.779 Y	0.5		9.4		20	
82 Pb 198	2.4 H	5		0.94		4.8	
82 Pb 199	90 M	5		0.94		2.7	
82 Pb 200	21.5 H	0.5		9.4		6.9	*
82 Pb 201	9.4 H	5		0.94		3.1	
82 Pb 202 m	3.62 H	0.5		9.4		5.8	*
82 Pb 202	300000 Y	0.5		9.4		0.01	*
82 Pb 203	52.05 H	0.5		9.4		3.2	*
82 Pb 205	0.143E+08 Y	5		0.94		0.01	*
82 Pb 209	3.253 H	5		0.94		20	
82 Pb 210	22.3 Y	0.5		9.4		0.01	*
82 Pb 212	10.64 H	0.5		9.4		19	
83 Bi 201	108 M	5		0.94		9.5	
83 Bi 202	1.67 H	5		0.94		4.8	
83 Bi 203	11.76 H	0.5		9.4		3.0	*
83 Bi 205	15.31 D	0.5		9.4		1.2	*
83 Bi 206	6.243 D	0.5		9.4		8.2	*
83 Bi 207	38 Y	0.5		9.4		3.1	*
83 Bi 210 m #	0.3E+07 Y	0.5	1.2	9.4	7.0	10	
83 Bi 210	5.012 D	0.5		9.4		21	
83 Bi 212 #	60.55 M	0.5	1.2	9.4	6.1	19	
84 Po 205	1.8 H	5		0.94		2.6	
84 Po 207	350 M	5		0.94		2.2	
84 Po 210	138.38 D	0.05	12	94	12	12	*

#) siehe Nuklidgemische

Nuklid	$T_{1/2}$		G $\text{Bq} \cdot \text{cm}^{-2}$	$S_{\min}(\alpha)$ $\text{Bq}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^2$	$S_{\min}(\alpha+\beta)$ $\text{Bq}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^2$	$S(\alpha)$ $\text{Bq}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^2$	$S(\alpha+\beta)$ $\text{Bq}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^2$	schwer nachweisbar	
								(α)	($\alpha+\beta$)
85 At 207	1.8 H		0.5	1.2	9.4	1.7	6.4		*
85 At 211	# 7.214 H		0.5	1.2	9.4	7.1	7.2		*
88 Ra 223	11.434 D		0.05	12	94	16	19		*
88 Ra 224	3.66 D		0.5	1.2	9.4	16	16		
88 Ra 225	14.8 D		0.5		9.4		12		
88 Ra 226	1600 Y		0.05	12	94	5.4	5.7	*	*
88 Ra 228	5.75 Y		0.5		9.4		<0.01		*
89 Ac 224	# 2.9 H		0.5	1.2	9.4	1.7	3.9		*
89 Ac 225	# 10 D		0.05	12	94	17	17		*
89 Ac 226	# 29 H		0.5		9.4		18		
89 Ac 227	# 21.773 Y		0.05	12	94	0.10	0.10	*	*
89 Ac 228	6.13 H		0.5		9.4		22		
90 Th 227	18.718 D		0.05	12	94	17	18		*
90 Th 228	1.9131 Y		0.05	12	94	13	14		*
90 Th 229	7340 Y		0.05	12	94	6.4	11	*	*
90 Th 230	77000 Y		0.05	12	94	4.9	5.2	*	*
90 Th 231	25.52 H		0.5		9.4		12		
90 Th 232	0.1405E+11 Y		0.5	1.2	9.4	1.2	1.2		*
90 Th 234	# 24.1 D		0.5		9.4		7.5		*
91 Pa 228	22 H		0.5	1.2	9.4	0.34	7.8	*	*
91 Pa 230	17.4 D		0.5		9.4		2.6		*
91 Pa 231	32760 Y		0.05	12	94	7.6	8.1	*	*
91 Pa 232	1.31 D		0.5		9.4		15		
91 Pa 233	27 D		0.5		9.4		17		
91 Pa 234	6.7 H		0.5		9.4		30		
92 U 230	# 20.8 D		0.05	12	94	17	18		*
92 U 231	4.2 D		0.5		9.4		1.2		*
92 U 232	72 Y		0.05	12	94	12	12		*
92 U 233	158500 Y		0.05	12	94	5.7	5.8	*	*
92 U 234	244500 Y		0.05	12	94	5.3	5.3	*	*
92 U 235	0.7038E+09 Y		0.5	1.2	9.4	3.5	4.8		*
92 U 236	.23415E+08 Y		0.5	1.2	9.4	4.0	4.0		*
92 U 237	6.75 D		0.5		9.4		17		
92 U 238	0.4468E+10 Y		0.5	1.2	9.4	2.4	2.4		*
92 U 240	14.1 H		0.5		9.4		13		
93 Np 234	4.4 D		0.5		9.4		1.4		*
93 Np 235	396.1 D		0.5		9.4		0.02		*
93 Np 236	115000 Y		0.5		9.4		14		
93 Np 236	22.5 H		0.5		9.4		8.1		*
93 Np 237	0.214E+07 Y		0.05	12	94	5.4	6.8	*	*
93 Np 238	2.117 D		0.5		9.4		15		
93 Np 239	2.355 D		0.5		9.4		22		
93 Np 240	65 H		5		0.94		37		
94 Pu 234	8.8 H		0.5	1.2	9.4	1.0	1.2	*	*
94 Pu 236	2.851 Y		0.05	12	94	17	17		*
94 Pu 237	45.3 D		0.5		9.4		0.11		*
94 Pu 238	87.74 Y		0.05	12	94	14	14		*
94 Pu 239	24065 Y		0.05	12	94	9.7	9.7	*	*
94 Pu 240	6537 Y		0.05	12	94	9.8	9.8	*	*
94 Pu 241	14.4 Y		0.5		9.4		<0.01		*
94 Pu 242	376300 Y		0.05	12	94	6.6	6.6	*	*
94 Pu 243	4.956 H		5		0.94		17		
94 Pu 244	0.826E+08 Y		0.5	1.2	9.4	4.4	4.4		*
94 Pu 245	10.5 H		0.5		9.4		24		
94 Pu 246	# 10.85 D		0.5		9.4		9.6		
95 Am 237	73 M		5		0.94		4.6		
95 Am 238	98 M		0.5		9.4		1.1		*
95 Am 239	11.9 H		5		0.94		9.4		
95 Am 240	50.8 H		0.5		9.4		2.6		*
95 Am 241	432.2 Y		0.05	12	94	14	14		*

#) siehe Nuklidgemische

Nuklid	$T_{1/2}$	G Bq·cm ⁻²	$S_{\min}(\alpha)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	$S_{\min}(\alpha+\beta)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	$S(\alpha)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	$S(\alpha+\beta)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	schwer nachweisbar	
							(α)	($\alpha+\beta$)
95 Am 242 m	152 Y	0.5		9.4		0.08		*
95 Am 242	16.02 H	0.5		9.4		16		
95 Am 243	7380 Y	0.05	12	94	11	12	*	*
95 Am 244	10.1 H	0.5		9.4		28		
95 Am 245	2.05 H	5		0.94		23		
96 Cm 238	2.4 H	0.5	1.2	9.4	1.7	1.9		*
96 Cm 240	27 D	0.05	12	94	17	17		*
96 Cm 241	32.8 D	0.5	1.2	9.4	0.17	6.0	*	*
96 Cm 242	162.8 D	0.05	12	94	17	17		*
96 Cm 243	28.5 Y	0.05	12	94	17	25		*
96 Cm 244	18.11 Y	0.05	12	94	17	17		*
96 Cm 245	8500 Y	0.05	12	94	12	14		*
96 Cm 246	4730 Y	0.05	12	94	13	13		*
96 Cm 247	0.156E+08 Y	0.05	12	94	7.3	8.2	*	*
96 Cm 248	339000 Y	0.05	12	94	8.1	8.1	*	*
96 Cm 249	64.15 M	5		0.94		21		
96 Cm 250	6900 Y	0.14	4.3	34 &	0.74	16	*	* &
97 Bk 245	4.94 D	0.5		9.4		9.9		
97 Bk 246	1.83 D	0.5		9.4		0.91		*
97 Bk 247	1380 Y	0.05	12	94	15	20		*
97 Bk 249	320 D	0.5		9.4		4.2		*
97 Bk 250	3.222 H	0.5		9.4		22		
98 Cf 246	35.7 H	0.5	1.2	9.4	17	17		
98 Cf 248	333.5 D	0.05	12	94	17	17		*
98 Cf 249	350.6 Y	0.05	12	94	17	18		*
98 Cf 250	13.08 Y	0.05	12	94	17	17		*
98 Cf 251	898 Y	0.05	12	94	16	29		*
98 Cf 252	2.638 Y	0.05	12	94	16	17		*
98 Cf 253	17.81 D	0.5		9.4		11		
98 Cf 254	60.5 D	0.18	3.4	26 &	0.01	17	*	* &
99 Es 250	2.1 H	0.5		9.4		0.37		*
99 Es 251	33 H	0.5		9.4		1.2		*
99 Es 253	20.47 D	0.5	1.2	9.4	17	17		
99 Es 254 m	39.3 H	0.5		9.4		18		
99 Es 254	275.7 D	0.05	12	94	17	17		*
100 Fm 252	22.7 H	0.5	1.2	9.4	17	17		
100 Fm 253	3 D	0.5	1.2	9.4	2.0	3.0		*
100 Fm 254	3.24 H	0.5	1.2	9.4	17	17		
100 Fm 255	20.07 H	0.5	1.2	9.4	17	20		
100 Fm 257	100.5 D	0.05	12	94	17	22		*
101 Md 257	5.2 H	0.5	1.2	9.4	1.7	2.0		*

#) siehe Nuklidgemische

&) unter Beruecksichtigung von Spaltprodukten

Anhang C:

Oberflächenansprechvermögen zum Nachweis von Oberflächenkontaminationen mit tragbaren Kontaminationsmonitoren für Nuklide mit Halbwertszeiten größer als eine Stunde

Nuklid		$T_{1/2}$	G	$S_{\min}(\alpha)$	$S_{\min}(\alpha+\beta)$	$S(\alpha)$	$S(\alpha+\beta)$	schwer nachweisbar	
			Bq·cm ⁻²	Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	(α)	($\alpha+\beta$)
1 H	3	12.35 Y	5		0.57		<0.01		*
4 Be	7	53.3 D	5		0.57		0.02		*
4 Be	10	0.16E+07 Y	0.5		5.7		38		
6 C	14	5730 Y	5		0.57		13		
9 F	18	109.77 M	5		0.57		39		
11 Na	22	2.602 Y	0.5		5.7		32		
11 Na	24	15 H	0.5		5.7		41		
12 Mg	28	# 20.91 H	0.5		5.7		28		
13 Al	26	716000 Y	0.5		5.7		34		
14 Si	31	157.3 M	5		0.57		41		
14 Si	32	450 Y	0.5		5.7		16		
15 P	32	14.29 D	0.5		5.7		42		
15 P	33	25.4 D	5		0.57		17		
16 S	35	87.44 D	5		0.57		13		
17 Cl	36	301000 Y	0.5		5.7		38		
19 K	40	0.128E+10 Y	5		0.57		37		
19 K	42	12.36 H	0.5		5.7		42		
19 K	43	22.6 H	0.5		5.7		39		
20 Ca	41	140000 Y	5		0.57		<0.01		*
20 Ca	45	163 D	5		0.57		18		
20 Ca	47	4.53 D	0.5		5.7		38		
21 Sc	43	3.891 H	5		0.57		32		
21 Sc	44 m	58.6 H	0.5		5.7		3.7		*
21 Sc	44	3.927 H	0.5		5.7		40		
21 Sc	46	83.83 D	0.5		5.7		23		
21 Sc	47	3.351 D	0.5		5.7		28		
21 Sc	48	43.7 H	0.5		5.7		36		
22 Ti	44	47.3 Y	0.5		5.7		1.8		*
22 Ti	45	3.08 H	5		0.57		34		
23 V	48	16.238 D	5		0.57		20		
23 V	49	330 D	5		0.57		0.02		*
24 Cr	48	22.96 H	0.5		5.7		1.2		*
24 Cr	51	27.704 D	5		0.57		0.18		*
25 Mn	52	5.591 D	0.5		5.7		12		
25 Mn	53	0.37E+07 Y	5		0.57		0.18		*
25 Mn	54	312.5 D	0.5		5.7		0.41		*
25 Mn	56	2.5785 H	5		0.57		41		
26 Fe	52	# 8.275 H	0.5		5.7		23		
26 Fe	55	2.7 Y	5		0.57		0.20		*
26 Fe	59	44.529 D	0.5		5.7		23		
26 Fe	60	# 100000 Y	0.5		5.7		13		
27 Co	55	17.54 H	0.5		5.7		32		
27 Co	56	78.76 D	0.5		5.7		9.3		
27 Co	57	270.9 D	0.5		5.7		1.3		*
27 Co	58 m	9.15 H	0.5		5.7		0.20		*
27 Co	58	70.8 D	0.5		5.7		5.5		*
27 Co	60	5.271 Y	0.5		5.7		21		
27 Co	61	1.65 H	5		0.57		40		
28 Ni	56	6.1 D	0.5		5.7		1.3		*
28 Ni	57	36.08 H	0.5		5.7		16		
28 Ni	59	75000 Y	5		0.57		0.24		*
28 Ni	63	96 Y	5		0.57		1.5		
28 Ni	65	2.52 H	5		0.57		40		
28 Ni	66	# 54.6 H	0.5		5.7		16		
29 Cu	61	3.408 H	5		0.57		25		
29 Cu	64	12.701 H	5		0.57		19		
29 Cu	67	61.86 H	0.5		5.7		28		
30 Zn	62	# 9.26 H	0.5		5.7		3.8		*
30 Zn	65	243.9 D	0.5		5.7		0.83		*
30 Zn	69 m	# 13.76 H	0.5		5.7		2.1		*
30 Zn	71 m	3.92 H	5		0.57		41		

#) siehe Nuklidgemische

Nuklid			$T_{1/2}$	G	$S_{\min}(\alpha)$	$S_{\min}(\alpha+\beta)$	$S(\alpha)$	$S(\alpha+\beta)$	schwer nachweisbar	
				Bq·cm ⁻²	Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	(α)	(α+β)
30 Zn	72		46.5 H	0.5		5.7		20		
31 Ga	66		9.4 H	0.5		5.7		24		
31 Ga	67		78.26 H	0.5		5.7		4.8		*
31 Ga	68		68 M	5		0.57		38		
31 Ga	72		14.1 H	0.5		5.7		39		
31 Ga	73		4.91 H	5		0.57		40		
32 Ge	66		2.27 H	5		0.57		10		
32 Ge	68		288 D	0.5		5.7		0.23		*
32 Ge	69		39.05 H	0.5		5.7		15		
32 Ge	71		11.8 D	5		0.57		0.28		*
32 Ge	75		82.78 M	5		0.57		39		
32 Ge	77		11.3 H	0.5		5.7		40		
32 Ge	78		87 M	5		0.57		37		
33 As	71		64.8 H	0.5		5.7		14		
33 As	72		26 H	0.5		5.7		38		
33 As	73		80.3 D	0.5		5.7		0.68		*
33 As	74		17.76 D	0.5		5.7		26		
33 As	76		26.32 H	0.5		5.7		41		
33 As	77		38.8 H	0.5		5.7		36		
33 As	78		90.7 M	5		0.57		42		
34 Se	73		7.15 H	0.5		5.7		28		
34 Se	75		119.8 D	0.5		5.7		1.5		*
34 Se	79		65000 Y	0.5		5.7		14		
35 Br	75		98 M	5		0.57		31		
35 Br	76		16.2 H	0.5		5.7		25		
35 Br	77		56 H	5		0.57		0.88		
35 Br	80	m #	4.42 H	0.5		5.7		0.23		*
35 Br	82		35.3 H	0.5		5.7		27		
35 Br	83		2.39 H	5		0.57		38		
37 Rb	81		4.58 H	5		0.57		20		
37 Rb	82	m	6.2 H	5		0.57		11		
37 Rb	83		86.2 D	0.5		5.7		0.		*
37 Rb	84		32.77 D	0.5		5.7		13		
37 Rb	86		18.66 D	0.5		5.7		42		
37 Rb	87		0.47E+11 Y	5		0.57		22		
38 Sr	80	#	100 M	0.5		5.7		0.12		*
38 Sr	82	#	25 D	0.5		5.7		0.12		*
38 Sr	83		32.4 H	0.5		5.7		10		
38 Sr	85	m	69.5 M	0.5		5.7		0.86		*
38 Sr	85		64.84 D	0.5		5.7		0.77		*
38 Sr	87	m	2.805 H	0.5		5.7		6.4		
38 Sr	89		50.5 D	0.5		5.7		41		
38 Sr	90		29.12 Y	0.5		5.7		32		
38 Sr	91	#	9.5 H	0.5		5.7		40		
38 Sr	92		2.71 H	0.5		5.7		30		
39 Y	86		14.74 H	0.5		5.7		15		
39 Y	87		80.3 H	0.5		5.7		0.45		*
39 Y	88		106.64 D	0.5		5.7		0.94		*
39 Y	90	m	3.19 H	0.5		5.7		4.4		*
39 Y	90		64 H	0.5		5.7		42		
39 Y	91		58.51 D	0.5		5.7		41		
39 Y	92		3.54 H	0.5		5.7		42		
39 Y	93		10.1 H	0.5		5.7		42		
40 Zr	86		16.5 H	0.5		5.7		1.6		*
40 Zr	88		83.4 D	0.5		5.7		1.3		*
40 Zr	89		78.43 H	0.5		5.7		9.9		
40 Zr	93		0.153E+07 Y	0.5		5.7		2.5		*
40 Zr	95		63.98 D	0.5		5.7		23		
40 Zr	97		16.9 H	0.5		5.7		42		
41 Nb	89		66 M	5		0.57		37		
41 Nb	89		122 M	5		0.57		32		

#) siehe Nuklidgemische

Nuklid		$T_{1/2}$	G	$S_{\min}(\alpha)$	$S_{\min}(\alpha+\beta)$	$S(\alpha)$	$S(\alpha+\beta)$	schwer nachweisbar	
			Bq·cm ⁻²	Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²		Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²		(α)	($\alpha+\beta$)
41 Nb 90		14.6 H	0.5		5.7		30		
41 Nb 93 m		13.6 Y	0.5		5.7		0.02	*	
41 Nb 94		20300 Y	0.5		5.7		29		
41 Nb 95 m		86.6 H	0.5		5.7		20		
41 Nb 95		35.15 D	0.5		5.7		12		
41 Nb 96		23.35 H	0.5		5.7		39		
41 Nb 97		72.1 M	5		0.57		40		
42 Mo 90		5.67 H	0.5		5.7		20		
42 Mo 93 m		6.85 H	0.5		5.7		11		
42 Mo 93		3500 Y	0.5		5.7		0.13	*	
42 Mo 99		66 H	0.5		5.7		37		
43 Tc 93		2.75 H	5		0.57		0.54	*	
43 Tc 94		293 M	5		0.57		6.0		
43 Tc 95 m		61 D	0.5		5.7		1.6	*	
43 Tc 95		20 H	5		0.57		0.58		
43 Tc 96		4.28 D	0.5		5.7		1.5	*	
43 Tc 97 m		87 D	0.5		5.7		12		
43 Tc 97		0.26E+07 Y	5		0.57		0.13	*	
43 Tc 98		0.42E+07 Y	5		0.57		28		
43 Tc 99 m		6.02 H	0.5		5.7		2.2	*	
43 Tc 99		213000 Y	5		0.57		21		
44 Ru 97		2.9 D	0.5		5.7		1.2	*	
44 Ru 103 #		39.28 D	0.5		5.7		17		
44 Ru 105		4.44 H	0.5		5.7		39		
44 Ru 106 #		368.2 D	0.5		5.7		<0.01	*	
45 Rh 99 m		4.7 H	5		0.57		3.5		
45 Rh 99		16 D	0.5		5.7		5.2	*	
45 Rh 100		20.8 H	0.5		5.7		3.6	*	
45 Rh 101 m		4.34 D	0.5		5.7		2.2	*	
45 Rh 101		3.2 Y	0.5		5.7		4.0	*	
45 Rh 102 m		207 D	0.5		5.7		14		
45 Rh 102		2.9 Y	0.5		5.7		1.5	*	
45 Rh 105		35.36 H	0.5		5.7		27		
45 Rh 106 m		132 M	5		0.57		40		
46 Pd 100		3.63 D	0.5		5.7		4.0	*	
46 Pd 101		8.27 H	5		0.57		3.3		
46 Pd 103 #		16.96 D	0.5		5.7		0.14	*	
46 Pd 107		0.65E+07 Y	5		0.57		<0.01	*	
46 Pd 109		13.427 H	0.5		5.7		50		
47 Ag 103		65.7 M	5		0.57		17		
47 Ag 104		69.2 M	5		0.57		7.9		
47 Ag 105		41 D	0.5		5.7		1.3	*	
47 Ag 106 m		8.41 D	0.5		5.7		2.0	*	
47 Ag 108 m #		127 Y	0.5		5.7		1.6	*	
47 Ag 110 m #		249.9 D	0.5		5.7		13		
47 Ag 111		7.45 D	0.5		5.7		39		
47 Ag 112		3.12 H	0.5		5.7		41		
48 Cd 107		6.49 H	5		0.57		12		
48 Cd 109		464 D	0.5		5.7		11		
48 Cd 113 m		13.6 Y	0.5		5.7		31		
48 Cd 113		0.93E+16 Y	5		0.57		20		
48 Cd 115 m		44.6 D	0.5		5.7		41		
48 Cd 115		53.46 H	0.5		5.7		36		
48 Cd 117 m #		3.36 H	5		0.57		32		
48 Cd 117 #		2.49 H	0.5		5.7		36		
49 In 109		4.2 H	5		0.57		4.8		
49 In 110		4.9 H	5		0.57		2.0		
49 In 110		69.1 M	5		0.57		27		
49 In 111		2.83 D	0.5		5.7		4.2	*	
49 In 113 m		1.658 H	0.5		5.7		13		
49 In 114 m #		49.51 D	0.5		5.7		19		

#) siehe Nuklidgemische

Nuklid	$T_{1/2}$	G	$S_{\min}(\alpha)$	$S_{\min}(\alpha+\beta)$	$S(\alpha)$	$S(\alpha+\beta)$	schwer nachweisbar	
							(α)	($\alpha+\beta$)
49 In 115 m	4.486 H	0.5		5.7		18		
49 In 115	0.51E+16 Y	5		0.57		27		
49 In 117 m #	116.5 M	0.5		5.7		31		
50 Sn 110	4 H	0.5		5.7		1.2	*	
50 Sn 113	115.1 D	0.5		5.7		0.17	*	
50 Sn 117 m	13.61 D	0.5		5.7		23		
50 Sn 119 m	293 D	0.5		5.7		6.4		
50 Sn 121 m	55 Y	0.5		5.7		5.3		
50 Sn 121	27.06 H	0.5		5.7		23		
50 Sn 123	129.2 D	0.5		5.7		40		
50 Sn 125	9.64 D	0.5		5.7		39		
50 Sn 126 #	100000 Y	0.5		5.7		24		
50 Sn 127	2.1 H	5		0.57		37		
51 Sb 116 m	60.3 M	5		0.57		16		
51 Sb 117	2.8 H	5		0.57		3.6		
51 Sb 118 m	5 H	5		0.57		3.1		
51 Sb 119	38.1 H	5		0.57		0.18	*	
51 Sb 120	5.76 D	0.5		5.7		6.3		
51 Sb 122	2.7 D	0.5		5.7		40		
51 Sb 124	60.2 D	0.5		5.7		34		
51 Sb 125	2.77 Y	0.5		5.7		18		
51 Sb 126	12.4 D	0.5		5.7		33		
51 Sb 127	3.85 D	0.5		5.7		38		
51 Sb 128	9.01 H	0.5		5.7		41		
51 Sb 129	4.32 H	0.5		5.7		37		
52 Te 116 #	2.49 H	5		0.57		6.7		
52 Te 121 m	154 D	0.5		5.7		8.3		
52 Te 121	17 D	0.5		5.7		0.77	*	
52 Te 123 m	119.7 D	0.5		5.7		11		
52 Te 123	0.1E+14 Y	5		0.57		0.15	*	
52 Te 125 m	58 D	0.5		5.7		14		
52 Te 127 m	109 D	0.5		5.7		8.0		
52 Te 127	9.35 H	5		0.57		35		
52 Te 129 m	33.6 D	0.5		5.7		23		
52 Te 129	69.6 M	5		0.57		40		
52 Te 131 m #	30 H	0.5		5.7		27		
52 Te 132	78.2 H	0.5		5.7		18		
53 I 120	81 M	0.5		5.7		36		
53 I 121	2.12 H	5		0.57		7.2		
53 I 123	13.2 H	0.5		5.7		3.4	*	
53 I 124	4.18 D	0.5		5.7		10		
53 I 125	60.14 D	0.5		5.7		0.29	*	
53 I 126	13.02 D	0.5		5.7		18		
53 I 129	0.157E+08 Y	5		0.57		13		
53 I 130	12.36 H	0.5		5.7		37		
53 I 131	8.04 D	0.5		5.7		31		
53 I 132 m	83.6 M	0.5		5.7		16		
53 I 132	2.3 H	0.5		5.7		40		
53 I 133	20.8 H	0.5		5.7		39		
53 I 135	6.61 H	0.5		5.7		37		
55 Cs 127	6.25 H	5		0.57		2.8		
55 Cs 129	32.06 H	5		0.57		0.82		
55 Cs 131	9.69 D	5		0.57		0.15	*	
55 Cs 132	6.475 D	0.5		5.7		1.5	*	
55 Cs 134 m	2.9 H	0.5		5.7		14		
55 Cs 134	2.062 Y	0.5		5.7		26		
55 Cs 135	0.23E+07 Y	5		0.57		16		
55 Cs 136	13.1 D	0.5		5.7		26		
55 Cs 137	30 Y	0.5		5.7		34		
56 Ba 126 #	96.5 M	5		0.57		1.8		
56 Ba 128 #	2.43 D	0.5		5.7		0.49	*	

#) siehe Nuklidgemische

Nuklid	$T_{1/2}$	G Bq·cm ⁻²	$S_{\min}(\alpha)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	$S_{\min}(\alpha+\beta)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	$S(\alpha)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	$S(\alpha+\beta)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	schwer nachweisbar (α) (α+β)
56 Ba 131	11.8 D	0.5		5.7		5.3	*
56 Ba 133 m	38.9 H	0.5		5.7		23	
56 Ba 133	10.74 Y	0.5		5.7		2.5	*
56 Ba 135 m	28.7 H	0.5		5.7		23	
56 Ba 139	82.7 M	5		0.57		43	
56 Ba 140	12.74 D	0.5		5.7		35	
57 La 132	4.8 H	0.5		5.7		18	
57 La 135	19.5 H	5		0.57		0.20	*
57 La 137	60000 Y	0.5		5.7		0.18	*
57 La 138	0.135E+12 Y	5		0.57		7.2	
57 La 140	40.272 H	0.5		5.7		42	
57 La 141	3.93 H	0.5		5.7		42	
57 La 142	92.5 M	5		0.57		42	
58 Ce 134 #	72 H	0.5		5.7		0.18	*
58 Ce 135	17.6 H	0.5		5.7		34	
58 Ce 137 m	34.4 H	0.5		5.7		23	
58 Ce 137	9 H	5		0.57		0.25	*
58 Ce 139	137.66 D	0.5		5.7		4.4	*
58 Ce 141	32.501 D	0.5		5.7		30	
58 Ce 143	33 H	0.5		5.7		40	
58 Ce 144 #	284.3 D	0.5		5.7		19	
59 Pr 137	76.6 M	5		0.57		11	
59 Pr 138 m	2.1 H	5		0.57		16	
59 Pr 139	4.51 H	5		0.57		3.4	
59 Pr 142	19.13 H	0.5		5.7		42	
59 Pr 143	13.56 D	0.5		5.7		39	
59 Pr 145	5.98 H	0.5		5.7		42	
60 Nd 138 #	5.04 H	0.5		5.7		0.36	*
60 Nd 139 m #	5.5 H	0.5		5.7		10	
60 Nd 141	2.49 H	5		0.57		1.2	
60 Nd 147	10.98 D	0.5		5.7		36	
60 Nd 149	1.73 H	5		0.57		44	
61 Pm 143	265 D	0.5		5.7		0.37	*
61 Pm 144	363 D	0.5		5.7		1.7	*
61 Pm 145	17.7 Y	0.5		5.7		0.76	*
61 Pm 146	2020 D	0.5		5.7		14	
61 Pm 147	2.6234 Y	5		0.57		15	
61 Pm 148 m	41.3 D	0.5		5.7		28	
61 Pm 148	5.37 D	0.5		5.7		41	
61 Pm 149	53.08 H	0.5		5.7		39	
61 Pm 150	2.68 H	5		0.57		45	
61 Pm 151	28.4 H	0.5		5.7		37	
62 Sm 142 #	72.49 M	5		0.57		2.5	
62 Sm 145	340 D	0.5		5.7		0.51	*
62 Sm 146	0.103E+09 Y	0.5	0.91	5.7	<0.01	<0.01	*
62 Sm 147	0.106E+12 Y	0.5	0.91	5.7	<0.01	<0.01	*
62 Sm 151	90 Y	0.5		5.7		2.5	*
62 Sm 153	46.7 H	0.5		5.7		37	
62 Sm 156	9.4 H	0.5		5.7		31	
63 Eu 145	5.94 D	0.5		5.7		2.1	*
63 Eu 146	4.61 D	0.5		5.7		3.9	*
63 Eu 147	24 D	0.5		5.7		4.9	*
63 Eu 148	54.5 D	0.5		5.7		2.3	*
63 Eu 149	93.1 D	0.5		5.7		0.46	*
63 Eu 150	34.2 Y	0.5		5.7		3.6	*
63 Eu 150	12.62 H	0.5		5.7		35	
63 Eu 152 m	9.32 H	0.5		5.7		31	
63 Eu 152	13.33 Y	0.5		5.7		16	
63 Eu 154	8.8 Y	0.5		5.7		37	
63 Eu 155	4.96 Y	0.5		5.7		12	
63 Eu 156	15.19 D	0.5		5.7		33	

#) siehe Nuklidgemische

Nuklid	$T_{1/2}$	G	$S_{\min}(\alpha)$	$S_{\min}(\alpha+\beta)$	$S(\alpha)$	$S(\alpha+\beta)$	schwer nachweisbar	
							(α)	($\alpha+\beta$)
		Bq·cm ⁻²	Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²		
63 Eu 157	15.15 H	0.5		5.7		39		
64 Gd 146	48.3 D	0.5		5.7		17		
64 Gd 147	38.1 H	0.5		5.7		6.2		
64 Gd 148	93 Y	0.05	9.1	57	<0.01	<0.01	*	*
64 Gd 149	9.4 D	0.5		5.7		6.8		
64 Gd 151	120 D	0.5		5.7		2.0		*
64 Gd 152	0.108E+15 Y	0.5	0.91	5.7	<0.01	<0.01	*	*
64 Gd 153	242 D	0.5		5.7		1.8		*
64 Gd 159	18.56 H	0.5		5.7		38		
65 Tb 147	1.65 H	5		0.57		19		
65 Tb 149	4.15 H	0.5		5.7		9.9		
65 Tb 150	3.27 H	5		0.57		18		
65 Tb 151	17.6 H	0.5		5.7		6.7		
65 Tb 153	2.34 D	0.5		5.7		1.9		*
65 Tb 154	21.4 H	0.5		5.7		7.5		
65 Tb 155	5.32 D	0.5		5.7		2.3		*
65 Tb 156 m	24.4 H	0.5		5.7		0.15		*
65 Tb 156 m	5 H	0.5		5.7		11		
65 Tb 156	5.34 D	0.5		5.7		11		
65 Tb 157	150 Y	0.5		5.7		0.10		*
65 Tb 158	150 Y	0.5		5.7		14		
65 Tb 160	72.3 D	0.5		5.7		38		
65 Tb 161	6.91 D	0.5		5.7		27		
66 Dy 155	10 H	5		0.57		1.9		
66 Dy 157	8.1 H	5		0.57		0.90		
66 Dy 159	144.4 D	0.5		5.7		0.32		*
66 Dy 165	2.334 H	5		0.57		40		
66 Dy 166	81.6 H	0.5		5.7		24		
67 Ho 161	2.5 H	5		0.57		0.77		
67 Ho 162 m #	68 M	0.5		5.7		5.4		*
67 Ho 166 m	1200 Y	0.5		5.7		17		
67 Ho 166	26.8 H	0.5		5.7		45		
67 Ho 167	3.1 H	5		0.57		32		
68 Er 161	3.24 H	5		0.57		4.9		
68 Er 165	10.36 H	5		0.57		0.26		*
68 Er 169	9.3 D	0.5		5.7		21		
68 Er 171	7.52 H	0.5		5.7		43		
68 Er 172	49.3 H	0.5		5.7		22		
69 Tm 166	7.7 H	5		0.57		9.9		
69 Tm 167	9.24 D	0.5		5.7		14		
69 Tm 170	128.6 D	0.5		5.7		40		
69 Tm 171	1.92 Y	0.5		5.7		4.4		*
69 Tm 172	63.6 H	0.5		5.7		41		
69 Tm 173	8.24 H	0.5		5.7		40		
70 Yb 166	56.7 H	0.5		5.7		2.1		*
70 Yb 169	32.01 D	0.5		5.7		11		
70 Yb 175	4.19 D	0.5		5.7		23		
70 Yb 177	1.9 H	5		0.57		37		
70 Yb 178 #	74 M	5		0.57		31		
71 Lu 169	34.06 H	0.5		5.7		3.1		*
71 Lu 170	2 D	0.5		5.7		7.0		
71 Lu 171	8.22 D	0.5		5.7		6.3		
71 Lu 172	6.7 D	0.5		5.7		13		
71 Lu 173	1.37 Y	0.5		5.7		2.1		*
71 Lu 174 m	142 D	0.5		5.7		1.1		*
71 Lu 174	3.31 Y	0.5		5.7		4.7		*
71 Lu 176 m	3.68 H	5		0.57		45		
71 Lu 176	0.36E+11 Y	5		0.57		45		
71 Lu 177 m	160.9 D	0.5		5.7		35		
71 Lu 177	6.71 D	0.5		5.7		26		
71 Lu 179	4.59 H	5		0.57		40		

#) siehe Nuklidgemische

Nuklid	$T_{1/2}$	G Bq·cm ⁻²	$S_{\min}(\alpha)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	$S_{\min}(\alpha+\beta)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	$S(\alpha)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	$S(\alpha+\beta)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	schwer nachweisbar	
							(α)	($\alpha+\beta$)
72 Hf 170	16.01 H	0.5		5.7		3.8		*
72 Hf 172	1.87 Y	0.5		5.7		4.4		*
72 Hf 173	24 H	0.5		5.7		6.0		
72 Hf 175	70 D	0.5		5.7		3.9		*
72 Hf 178 m	31 Y	0.5		5.7		31		
72 Hf 179 m	25.1 D	0.5		5.7		18		
72 Hf 180 m	5.5 H	0.5		5.7		16		
72 Hf 181	42.4 D	0.5		5.7		34		
72 Hf 182 m	61.5 M	0.5		5.7		30		
72 Hf 182	0.9E+07 Y	0.5		5.7		17		
72 Hf 183	64 M	5		0.57		41		
72 Hf 184	4.12 H	0.5		5.7		47		
73 Ta 173	3.65 H	5		0.57		17		
73 Ta 174	1.2 H	5		0.57		22		
73 Ta 175	10.5 H	5		0.57		4.7		
73 Ta 176	8.08 H	0.5		5.7		9.0		
73 Ta 177	56.6 H	5		0.57		2.0		
73 Ta 178	2.2 H	5		0.57		18		
73 Ta 179	664.9 D	0.5		5.7		0.24		*
73 Ta 180 m	8.1 H	5		0.57		7.2		
73 Ta 180	0.1E+14 Y	5		0.57		15		
73 Ta 182	115 D	0.5		5.7		32		
73 Ta 183	5.1 D	0.5		5.7		43		
73 Ta 184	8.7 H	0.5		5.7		53		
74 W 176	2.3 H	5		0.57		2.8		
74 W 177	135 M	5		0.57		6.8		
74 W 178 #	21.7 D	5		0.57		0.17		*
74 W 181	121.2 D	5		0.57		0.31		*
74 W 185	75.1 D	0.5		5.7		24		
74 W 187	23.9 H	0.5		5.7		37		
74 W 188	69.4 D	0.5		5.7		21		
75 Re 181	20 H	0.5		5.7		11		
75 Re 182	64 H	0.5		5.7		21		
75 Re 182	12.7 H	5		0.57		8.3		
75 Re 184 m	165 D	0.5		5.7		15		
75 Re 184	38 D	0.5		5.7		6.0		
75 Re 186 m	200000 Y	0.5		5.7		0.72		*
75 Re 186	90.64 H	0.5		5.7		39		
75 Re 187	0.5E+11 Y	5		0.57		<0.01		*
75 Re 188	16.98 H	0.5		5.7		44		
75 Re 189	24.3 H	0.5		5.7		40		
76 Os 181	105 M	5		0.57		9.7		
76 Os 182	22 H	0.5		5.7		2.7		*
76 Os 185	94 D	0.5		5.7		1.3		*
76 Os 189 m	6 H	0.5		5.7		0.11		*
76 Os 191 m	13.03 H	0.5		5.7		8.8		
76 Os 191	15.4 D	0.5		5.7		12		
76 Os 193	30 H	0.5		5.7		40		
76 Os 194	6 Y	0.5		5.7		3.0		*
77 Ir 184	3.02 H	5		0.57		17		
77 Ir 185	14 H	0.5		5.7		6.8		
77 Ir 186	15.8 H	0.5		5.7		12		
77 Ir 186	1.75 H	5		0.57		14		
77 Ir 187	10.5 H	5		0.57		3.4		
77 Ir 188	41.5 H	0.5		5.7		6.0		
77 Ir 189	13.3 D	0.5		5.7		1.7		*
77 Ir 190 m	3.1 H	5		0.57		11		
77 Ir 190 m	1.2 H	0.5		5.7		0.11		*
77 Ir 190	12.1 D	0.5		5.7		15		
77 Ir 192 m	241 Y	0.5		5.7		0.20		*
77 Ir 192	74.02 D	0.5		5.7		33		

- #) siehe Nuklidgemische

Nuklid	$T_{1/2}$	G Bq·cm ⁻²	$S_{min}(\alpha)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	$S_{min}(\alpha+\beta)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	S(α) Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	S($\alpha+\beta$) Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	schwer nachweisbar (α) ($\alpha+\beta$)
77 Ir 194 m	171 D	0.5		5.7		27	
77 Ir 194	19.15 H	0.5		5.7		42	
77 Ir 195 m	3.8 H	5		0.57		43	
77 Ir 195	2.5 H	5		0.57		41	
78 Pt 186	2 H	5		0.57		0.92	
78 Pt 188	10.2 D	0.5		5.7		8.2	
78 Pt 189	10.87 H	5		0.57		4.4	
78 Pt 191	2.8 D	0.5		5.7		5.1	*
78 Pt 193 m	4.33 D	0.5		5.7		16	
78 Pt 193	50 Y	5		0.57		0.08	*
78 Pt 195 m	4.02 D	0.5		5.7		19	
78 Pt 197 m	94.4 M	0.5		5.7		29	
78 Pt 197	18.3 H	0.5		5.7		40	
78 Pt 200 #	12.5 H	0.5		5.7		35	
79 Au 193	17.65 H	5		0.57		5.	
79 Au 194	39.5 H	0.5		5.7		3.4	*
79 Au 195	183 D	0.5		5.7		2.6	*
79 Au 198 m	2.3 D	0.5		5.7		38	
79 Au 198	2.696 D	0.5		5.7		40	
79 Au 199	3.139 D	0.5		5.7		26	
79 Au 200 m #	18.7 H	0.5		5.7		38	
80 Hg 193 m	11.1 H	0.5		5.7		12	
80 Hg 193	3.5 H	5		0.57		11	
80 Hg 194	260 Y	0.5		5.7		0.10	*
80 Hg 195 m	41.6 H	0.5		5.7		13	
80 Hg 195	9.9 H	5		0.57		1.8	
80 Hg 197 m	23.8 H	0.5		5.7		28	
80 Hg 197	64.1 H	0.5		5.7		8.2	
80 Hg 203	46.6 D	0.5		5.7		20	
81 Tl 195	1.16 H	5		0.57		4.3	
81 Tl 197	2.84 H	5		0.57		5.8	
81 Tl 198 m	1.87 H	0.5		5.7		20	
81 Tl 198	5.3 H	5		0.57		3.0	
81 Tl 199	7.42 H	5		0.57		5.9	
81 Tl 200	26.1 H	0.5		5.7		3.3	*
81 Tl 201	3.044 D	5		0.57		3.6	
81 Tl 202	12.23 D	0.5		5.7		1.8	*
81 Tl 204	3.779 Y	0.5		5.7		36	
82 Pb 198	2.4 H	5		0.57		8.1	
82 Pb 199	90 M	5		0.57		4.7	
82 Pb 200	21.5 H	0.5		5.7		11	
82 Pb 201	9.4 H	5		0.57		5.2	
82 Pb 202 m	3.62 H	0.5		5.7		9.5	
82 Pb 202	300000 Y	0.5		5.7		0.04	*
82 Pb 203	52.05 H	0.5		5.7		5.4	*
82 Pb 205	0.143E+08 Y	5		0.57		0.05	*
82 Pb 209	3.253 H	5		0.57		32	
82 Pb 210	22.3 Y	0.5		5.7		0.06	*
82 Pb 212	10.64 H	0.5		5.7		30	
83 Bi 201	108 M	5		0.57		17	
83 Bi 202	1.67 H	5		0.57		8.3	
83 Bi 203	11.76 H	0.5		5.7		5.2	*
83 Bi 205	15.31 D	0.5		5.7		2.1	*
83 Bi 206	6.243 D	0.5		5.7		14	
83 Bi 207	38 Y	0.5		5.7		5.8	
83 Bi 210 m #	0.3E+07 Y	0.5	0.91	5.7	9.4	15	
83 Bi 210	5.012 D	0.5		5.7		39	
83 Bi 212 #	60.55 M	0.5	0.91	5.7	9.1	35	
84 Po 205	1.8 H	5		0.57		4.5	
84 Po 207	350 M	5		0.57		3.8	
84 Po 210	138.38 D	0.05	9.1	57	16	16	*

#) siehe Nuklidgemische

Nuklid	$T_{1/2}$	G Bq·cm ⁻²	$S_{\min}(\alpha)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	$S_{\min}(\alpha+\beta)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	$S(\alpha)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	$S(\alpha+\beta)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	schwer nachweisbar (α) ($\alpha+\beta$)	
85 At 207	1.8 H	0.5	0.91	5.7	2.5	10		
85 At 211	# 7.214 H	0.5	0.91	5.7	11	11		
88 Ra 223	11.434 D	0.05	9.1	57	23	29		*
88 Ra 224	3.66 D	0.5	0.91	5.7	23	23		
88 Ra 225	14.8 D	0.5		5.7		20		
88 Ra 226	1600 Y	0.05	9.1	57	7.1	7.6	*	*
88 Ra 228	5.75 Y	0.5		5.7		<0.01		*
89 Ac 224	# 2.9 H	0.5	0.91	5.7	2.5	6.6		
89 Ac 225	# 10 D	0.05	9.1	57	25	26		*
89 Ac 226	# 29 H	0.5		5.7		34		
89 Ac 227	# 21.773 Y	0.05	9.1	57	0.13	0.14	*	*
89 Ac 228	6.13 H	0.5		5.7		41		
90 Th 227	18.718 D	0.05	9.1	57	25	27		*
90 Th 228	1.9131 Y	0.05	9.1	57	18	21		*
90 Th 229	7340 Y	0.05	9.1	57	8.5	17	*	*
90 Th 230	77000 Y	0.05	9.1	57	6.6	7.2	*	*
90 Th 231	25.52 H	0.5		5.7		21		
90 Th 232	0.1405E+11 Y	0.5	0.91	5.7	2.7	2.8		*
90 Th 234	# 24.1 D	0.5		5.7		13		
91 Pa 228	22 H	0.5	0.91	5.7	0.51	13	*	
91 Pa 230	17.4 D	0.5		5.7		4.4		*
91 Pa 231	32760 Y	0.05	9.1	57	10	11		*
91 Pa 232	1.31 D	0.5		5.7		24		
91 Pa 233	27 D	0.5		5.7		29		
91 Pa 234	6.7 H	0.5		5.7		51		
92 U 230	# 20.8 D	0.05	9.1	57	25	26		*
92 U 231	4.2 D	0.5		5.7		2.3		*
92 U 232	72 Y	0.05	9.1	57	16	16		*
92 U 233	158500 Y	0.05	9.1	57	7.6	7.6	*	*
92 U 234	244500 Y	0.05	9.1	57	7.0	7.1	*	*
92 U 235	0.7038E+09 Y	0.5	0.91	5.7	5.3	7.7		
92 U 236	.23415E+08 Y	0.5	0.91	5.7	5.8	5.9		
92 U 237	6.75 D	0.5		5.7		28		
92 U 238	0.4468E+10 Y	0.5	0.91	5.7	4.4	4.4		*
92 U 240	14.1 H	0.5		5.7		21		
93 Np 234	4.4 D	0.5		5.7		2.5		*
93 Np 235	396.1 D	0.5		5.7		0.09		*
93 Np 236	115000 Y	0.5		5.7		23		
93 Np 236	22.5 H	0.5		5.7		13		
93 Np 237	0.214E+07 Y	0.05	9.1	57	7.1	9.6	*	*
93 Np 238	2.117 D	0.5		5.7		28		
93 Np 239	2.355 D	0.5		5.7		37		
93 Np 240	65 M	5		0.57		65		
94 Pu 234	8.8 H	0.5	0.91	5.7	1.5	1.9		*
94 Pu 236	2.851 Y	0.05	9.1	57	25	25		*
94 Pu 237	45.3 D	0.5		5.7		0.31		*
94 Pu 238	87.74 Y	0.05	9.1	57	20	20		*
94 Pu 239	24065 Y	0.05	9.1	57	14	14		*
94 Pu 240	6537 Y	0.05	9.1	57	14	14		*
94 Pu 241	14.4 Y	0.5		5.7		<0.01		*
94 Pu 242	376300 Y	0.05	9.1	57	8.9	8.9	*	*
94 Pu 243	4.956 H	5		0.57		28		
94 Pu 244	0.826E+08 Y	0.5	0.91	5.7	6.2	6.2		
94 Pu 245	10.5 H	0.5		5.7		42		
94 Pu 246	# 10.85 D	0.5		5.7		16		
95 Am 237	73 M	5		0.57		7.7		
95 Am 238	98 M	0.5		5.7		2.1		*
95 Am 239	11.9 H	5		0.57		15		
95 Am 240	50.8 H	0.5		5.7		4.6		*
95 Am 241	432.2 Y	0.05	9.1	57	20	20		*

#) siehe Nuklidgemische

Nuklid	$T_{1/2}$	G Bq·cm ⁻²	$S_{\min}(\alpha)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	$S_{\min}(\alpha+\beta)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	$S(\alpha)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	$S(\alpha+\beta)$ Bq ⁻¹ ·s ⁻¹ ·cm ²	schwer nachweisbar	
							(α)	($\alpha+\beta$)
95 Am 242 m	152 Y	0.5		5.7		0.15		*
95 Am 242	16.02 H	0.5		5.7		26		
95 Am 243	7380 Y	0.05	9.1	57	16	17		*
95 Am 244	10.1 H	0.5		5.7		46		
95 Am 245	2.05 H	5		0.57		40		
96 Cm 238	2.4 H	0.5	0.91	5.7	2.6	2.9		*
96 Cm 240	27 D	0.05	9.1	57	25	25		*
96 Cm 241	32.8 D	0.5	0.91	5.7	0.25	10	*	
96 Cm 242	162.8 D	0.05	9.1	57	26	26		*
96 Cm 243	28.5 Y	0.05	9.1	57	25	38		*
96 Cm 244	18.11 Y	0.05	9.1	57	25	25		*
96 Cm 245	8500 Y	0.05	9.1	57	17	21		*
96 Cm 246	4730 Y	0.05	9.1	57	18	18		*
96 Cm 247	0.156E+08 Y	0.05	9.1	57	9.9	11		*
96 Cm 248	339000 Y	0.05	9.1	57	11	11		*
96 Cm 249	64.15 M	5		0.57		38		
96 Cm 250	6900 Y	0.14	3.2	20 &	1.0	31	*	&
97 Bk 245	4.94 D	0.5		5.7		16		
97 Bk 246	1.83 D	0.5		5.7		1.7		*
97 Bk 247	1380 Y	0.05	9.1	57	22	30		*
97 Bk 249	320 D	0.5		5.7		7.3		
97 Bk 250	3.222 H	0.5		5.7		36		
98 Cf 246	35.7 H	0.5	0.91	5.7	25	26		
98 Cf 248	333.5 D	0.05	9.1	57	26	26		*
98 Cf 249	350.6 Y	0.05	9.1	57	25	28		*
98 Cf 250	13.08 Y	0.05	9.1	57	25	25		*
98 Cf 251	898 Y	0.05	9.1	57	24	46		*
98 Cf 252	2.638 Y	0.05	9.1	57	25	25		*
98 Cf 253	17.81 D	0.5		5.7		18		
98 Cf 254	60.5 D	0.18	2.5	16 &	0.02	34	*	&
99 Es 250	2.1 H	0.5		5.7		0.77		*
99 Es 251	33 H	0.5		5.7		2.1		*
99 Es 253	20.47 D	0.5	0.91	5.7	25	25		
99 Es 254 m	39.3 H	0.5		5.7		32		
99 Es 254	275.7 D	0.05	9.1	57	25	26		*
100 Fm 252	22.7 H	0.5	0.91	5.7	26	26		
100 Fm 253	3 D	0.5	0.91	5.7	3.1	4.8		*
100 Fm 254	3.24 H	0.5	0.91	5.7	26	26		
100 Fm 255	20.07 H	0.5	0.91	5.7	25	31		
100 Fm 257	100.5 D	0.05	9.1	57	25	34		*
101 Md 257	5.2 H	0.5	0.91	5.7	2.6	3.3		*

#) siehe Nuklidgemische

&) unter Berücksichtigung von Spaltprodukten

Anhang D:

Oberflächenansprechvermögen zum Nachweis von Oberflächenkontaminationen mit Hand-Fuß- oder Ganzkörper-Kontaminationsmonitoren für Nuklidgemische im radioaktiven Gleichgewicht.

Ganzkörper-Kontaminationsmonitore

Nuklidgemisch ¹⁾	G Bq.cm ⁻²	S _{min} (α) Bq ⁻¹ .s ⁻¹ .cm ²	S _{min} (α+β) Bq ⁻¹ .s ⁻¹ .cm ²	S(α) Bq ⁻¹ .s ⁻¹ .cm ²	S(α+β) Bq ⁻¹ .s ⁻¹ .cm ²	schwer nachweisbar (α) (α+β)
12 Mg-28 /13 Al-28	0.9		5.2		19	
26 Fe-52 /25 Mn-52m	0.9		5.2		17	
26 Fe-60 /27 Co-60m	0.5		9.4		4.0	*
28 Ni-66 /29 Cu-66	0.5		9.4		15	
30 Zn-62 /29 Cu-62	0.5		9.4		12	
30 Zn-69m /30 Zn-69	0.9		5.2		11	
35 Br-80m /35 Br-80	0.9		5.2		9.9	
38 Sr-80 /37 Rb-80	0.5		9.4		11	
38 Sr-82 /37 Rb-82	0.5		9.4		10	
38 Sr-91 /39 Y-91m	0.5		9.4		14	
44 Ru-103 /45 Rh-103m	0.5		9.4		4.9	*
44 Ru-106 /45 Rh-106	0.5		9.4		11	
46 Pd-103 /45 Rh-103m	0.5		9.4		0.02	*
47 Ag-108m/47 Ag-108	0.5		9.4		2.5	*
47 Ag-110m/47 Ag-110	0.5		9.4		7.9	*
48 Cd-117 /49 In-117	0.5		9.4		20	
48 Cd-117m/49 In-117	5		0.94		21	
49 In-114m/49 In-114	0.5		9.4		16	
49 In-117m/49 In-117	0.7		6.7		19	
50 Sn-126 /51 Sb-126m	0.5		9.4		17	
52 Te-116 /51 Sb-116	5		0.94		7.1	
52 Te-131m/52 Te-131	0.6		7.8		18	
56 Ba-126 /55 Cs-126	0.9		5.2		9.7	
56 Ba-128 /55 Cs-128	0.5		9.4		7.5	*
58 Ce-134 /57 La-134	0.5		9.4		6.6	*
58 Ce-144 /59 Pr-144	0.9		5.2		17	
60 Nd-138 /59 Pr-138	0.5		9.4		8.2	*
60 Nd-139m/60 Nd-139	0.6		7.8		6.0	*
62 Sm-142 /61 Pm-142	0.9		5.2		9.0	
67 Ho-162m/67 Ho-162	0.8		5.9		3.2	*
70 Yb-178 /71 Lu-178	5		0.94		21	

Ganzkörper-Kontaminationsmonitore

Nuklidgemisch ¹⁾	G Bq.cm ⁻²	S _{min} (α) Bq ⁻¹ .s ⁻¹ .cm ²	S _{min} (α+β) Bq ⁻¹ .s ⁻¹ .cm ²	S(α) Bq ⁻¹ .s ⁻¹ .cm ²	S(α+β) Bq ⁻¹ .s ⁻¹ .cm ²	schwer nachweisbar (α) (α+β)
74 W -178 /73 Ta-178 ²⁾	5		0.94		1.0	
78 Pt-200 /79 Au-200	0.9		5.2		21	
79 Au-200m/79 Au-200	0.6		7.8		22	
83 Bi-210m/81 Tl-206	0.5	1.2	9.4	3.5	16	
83 Bi-212 /84 Po-212/ 81 Tl-208	0.5	1.2	9.4	8.5	19	
85 At-211 /84 Po-211	0.5	1.2	9.4	11	11	
89 Ac-224 /87 Fr-220/ 85 At-216	0.5	1.2	9.4	4.2	6.2	*
89 Ac-225 /87 Fr-221/ 85 At-217 /83 Bi-213/ 84 Po-213 /81 Tl-209	0.18	3.4	26	14	18	*
89 Ac-226 /90 Th-226/ 88 Ra-222	0.5	1.2	9.4	11	18	
89 Ac-227 /87 Fr-223 90 Th-234 /91 Pa-234m	0.05 0.5	12	94 9.4	0.10	0,41 14	*
92 U -230 /90 Th-226/ 88 Ra-222	0.13	4.7	36	17	18	*
94 Pu-246 /95 Am-246m	0.9		5.2		16	

¹⁾ Nuklidgemische im radioaktiven Gleichgewicht. Nur Folgeprodukte mit Halbwertszeiten kleiner als 60 Minuten werden betrachtet, auch wenn längerlebige Folgeprodukte vorhanden sein können.

²⁾ 73 Ta-178 mit 9,31 Minuten Halbwertszeit

Anhang E:

Oberflächenansprechvermögen zum Nachweis von Oberflächenkontaminationen mit tragbaren Kontaminationsmonitoren für Nuklidgemische im radioaktiven Gleichgewicht.

Tragbare Kontaminationsmonitore

Nuklidgemisch ¹⁾	G Bq.cm ⁻²	S _{min} (α) Bq ⁻¹ .s ⁻¹ .cm ²	S _{min} (α+β) Bq ⁻¹ .s ⁻¹ .cm ²	S(α) Bq ⁻¹ .s ⁻¹ .cm ²	S(α+β) Bq ⁻¹ .s ⁻¹ .cm ²	schwer nachweisbar (α) (α+β)
12 Mg-28 /13 Al-28	0.9		3.2		35	
26 Fe-52 /25 Mn-52m	0.9		3.2		33	
26 Fe-60 /27 Co-60m	0.5		5.7		6.7	
28 Ni-66 /29 Cu-66	0.5		5.7		29	
30 Zn-62 /29 Cu-62	0.5		5.7		23	
30 Zn-69m /30 Zn-69	0.9		3.2		21	
35 Br-80m /35 Br-80	0.9		3.2		20	
38 Sr-80 /37 Rb-80	0.5		5.7		21	
38 Sr-82 /37 Rb-82	0.5		5.7		21	
38 Sr-91 /39 Y-91m	0.5		5.7		26	
44 Ru-103 /45 Rh-103m	0.5		5.7		8.5	
44 Ru-106 /45 Rh-106	0.5		5.7		21	
46 Pd-103 /45 Rh-103m	0.5		5.7		0.08	*
47 Ag-108m/47 Ag-108	0.5		5.7		4.7	*
47 Ag-110m/47 Ag-110	0.5		5.7		13	
48 Cd-117 /49 In-117	0.5		5.7		36	
48 Cd-117m/49 In-117	5		0.57		36	
49 In-114m/49 In-114	0.5		5.7		30	
49 In-117m/49 In-117	0.7		4.1		34	
50 Sn-126 /51 Sb-126m	0.5		5.7		31	
52 Te-116 /51 Sb-116	5		0.57		13	
52 Te-131m/52 Te-131	0.6		4.7		30	
56 Ba-126 /55 Cs-126	0.9		3.2		19	
56 Ba-128 /55 Cs-128	0.5		5.7		15	
58 Ce-134 /57 La-134	0.5		5.7		13	
58 Ce-144 /59 Pr-144	0.9		3.2		30	
60 Nd-138 /59 Pr-138	0.5		5.7		16	
60 Nd-139m/60 Nd-139	0.6		4.7		10	
62 Sm-142 /61 Pm-142	0.9		3.2		18	
67 Ho-162m/67 Ho-162	0.8		3.6		5.6	
70 Yb-178 /71 Lu-178	5		0.57		38	

Tragbare Kontaminationsmonitore

Nuklidgemisch ¹⁾	G Bq.cm ⁻²	S _{min} (α) Bq ⁻¹ .s ⁻¹ .cm ²	S _{min} (α+β) Bq ⁻¹ .s ⁻¹ .cm ²	S(α) Bq ⁻¹ .s ⁻¹ .cm ²	S(α+β) Bq ⁻¹ .s ⁻¹ .cm ²	schwer nachweisbar (α) (α+β)
74 W -178 /73 Ta-178 ²⁾	5		0.57		1.8	
78 Pt-200 /79 Au-200	0.9		3.2		38	
79 Au-200m/79 Au-200	0.6		4.7		38	
83 Bi-210m/81 Tl-206	0.5	0.91	5.7	4.7	28	
83 Bi-212 /84 Po-212/ 81 Tl-208	0.5	0.91	5.7	13	34	
85 At-211 /84 Po-211	0.5	0.91	5.7	16	16	
89 Ac-224 /87 Fr-220/ 85 At-216	0.5	0.91	5.7	6.4	9.9	
89 Ac-225 /87 Fr-221/ 85 At-217 /83 Bi-213/ 84 Po-213 /81 Tl-209	0.18	2.5	16	20	29	
89 Ac-226 /90 Th-226/ 88 Ra-222	0.5	0.91	5.7	16	29	
89 Ac-227 /87 Fr-223 90 Th-234 /91 Pa-234m	0.05 0.5	9.1	57 5.7	0.13	0.70 27	* *
92 U -230 /90 Th-226/ 88 Ra-222	0.13	3.5	22	25	27	
94 Pu-246 /95 Am-246m	0.9		3.2		29	

- ¹⁾ Nuklidgemische im radioaktiven Gleichgewicht. Nur Folgeprodukte mit Halbwertszeiten kleiner als 60 Minuten werden betrachtet, auch wenn längerlebige Folgeprodukte vorhanden sein können.
- ²⁾ 73 Ta-178 mit 9,31 Minuten Halbwertszeit

Jül-2678
September 1992
ISSN 0366-0885