

DIN 25457-1

ICS 13.030.30; 17.240; 27.120.10

Einsprüche bis 2008-10-31
Vorgesehen als Ersatz für
DIN 25457-1:1993-08 und
DIN 25457-2:1995-12

Entwurf

Aktivitätsmessverfahren für die Freigabe von radioaktiven Stoffen und kerntechnischen Anlagenteilen – Teil 1: Grundlagen

Activity measurement methods for the clearance of radioactive substances and nuclear facility components –
Part 1: Fundamentals

Méthodes de mesure de l'activité pour l'autorisation de la mise en circulation de déchets nucléaires de très faible activité et des composants d'installations nucléaires –
Partie 1: Principes fondamentaux

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2008-06-23 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an nmp@din.de in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den Normenausschuss Materialprüfung (NMP) im DIN, 10772 Berlin (Hausanschrift: Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin).

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

Gesamtumfang 58 Seiten

Normenausschuss Materialprüfung (NMP) im DIN
Normenausschuss Radiologie (NAR) im DIN

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	5
1 Anwendungsbereich.....	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe.....	7
4 Messverfahren.....	8
4.1 Allgemeines	8
4.2 Direkte Oberflächen-Gesamtaktivitätsmessung.....	8
4.2.1 Allgemeines	8
4.2.2 Anforderungen an die Messgeräte.....	9
4.2.3 Anforderungen an die Kalibrierstrahler	9
4.2.4 Oberflächenbeschaffenheit des Messgutes.....	9
4.2.5 Abhängigkeit der Zählrate des Detektors von den geometrischen Bedingungen.....	10
4.2.6 Festlegung eines Richtwerts	10
4.2.7 Messablauf	13
4.2.8 Qualitätssicherung	13
4.3 Indirekte Oberflächen-Gesamtaktivitätsmessung	13
4.3.1 Allgemeines	13
4.3.2 Anforderungen an die Messanordnung.....	14
4.3.3 Anforderungen an den Kalibrierstrahler	14
4.3.4 Kalibrierung	14
4.3.5 Nulleffektbestimmung	14
4.3.6 Durchführung der Messung.....	14
4.3.7 Qualitätssicherung	14
4.4 Spektrometrische Messverfahren	15
4.4.1 Gammaspektrometrie an Materialproben.....	15
4.4.2 In-situ-Gammaspektrometrie	18
4.4.3 Alpha-Spektrometrie an Materialproben	23
4.5 Gesamt-Gamma-Aktivitätsmessung	25
4.5.1 Allgemeines	25
4.5.2 Anforderungen an die Messanlage	25
4.5.3 Eigenschaft des Messgutes.....	26
4.5.4 Anforderungen an die Kalibrierung	26
4.5.5 Durchführung der Messung.....	27
4.5.6 Qualitätssicherung	27
4.5.7 Nachweisgrenze, Erkennungsgrenze und Vertrauensbereich.....	27
4.6 Bestimmung der Alpha-Aktivität mittels Gammaspektrometrie an Materialproben	27
4.6.1 Allgemeines	27
4.6.2 Thorium-Zerfallsreihe und ²³⁰ Th.....	28
4.6.3 Uran	28
4.6.4 Plutonium.....	28
Anhang A (normativ) Bestimmung des Oberflächenansprechvermögens	33
Anhang B (informativ) Energien und Reichweite von Alphateilchen.....	38
Anhang C (informativ) Erläuterungen zur Berechnung der Erkennungs- und Nachweisgrenzen für die Impulszählung nach DIN 25482-1	40
Anhang D (informativ) Erläuterungen zur Berechnung der Nachweis- und Erkennungsgrenze für stationäre Impulsratenmessungen	45
Anhang E (informativ) Erläuterungen zur Berechnung der Nachweis- und Erkennungsgrenze für dynamische Impulsratenmessung	51

Anhang F (normativ) Poisson-Verteilung und Angaben zur Nachweis- und Erkennungsgrenze bei kleinen Impulszahlen	54
Literaturhinweise	58
Bilder	
Bild A.1 — Verlauf der Zählrate in Abhängigkeit von der flächenbezogenen Masse einer Absorptionsschicht.....	35
Bild A.2 — Oberflächenansprechvermögen in Abhängigkeit vom Abstand Kalibrierstrahler zu Detektoroberfläche (Fläche Kalibrierstrahler $B \cdot L = 8 \text{ cm} \cdot 12,5 \text{ cm}$ oder $\varnothing = 6 \text{ cm}$, Detektorfläche $B \cdot L = 9,4 \text{ cm} \cdot 16,6 \text{ cm}$, flächenbezogene Masse der Folie $0,3 \text{ mg/cm}^2$, Zählgas Ar/CH_4)	36
Bild A.3 — Oberflächenansprechvermögen eines Szintillationsdetektors	37
Bild B.1 — Reichweite von Alpha-Teilchen in verschiedenen Medien [9].....	39
Bild C.1 — Skizze zur Erläuterung der Begriffe Erkennungs- und Nachweisgrenze	40
Bild C.2 — Diagramm zur Erläuterung der Begriffe Erkennungs-, Nachweisgrenze, Freigabe- und Richtwert bei $A_{\text{FGW}} = 1,0 \text{ Bq/cm}^2$ und $\eta = 8,1 \text{ s}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ cm}^2$	42
Bild C.3 — Diagramm zur Ermittlung der Nachweis- und Erkennungsgrenze.....	44
Bild D.1 — Ladefunktion f und Bewegungsfunktion g in Abhängigkeit von der normierten Mess- bzw. Überstreichzeit	46
Bild D.2 — Nomogramm zur Bestimmung der Ansprechzeit für stationäre Impulsratenmessung	48
Bild E.1 — Nomogramm zur Bestimmung der Ansprech- und Überstreichzeit für ein bewegtes Impulsratenmessgerät	52
Bild F.1 — Aufsummierte Wahrscheinlichkeit des Erwartungswerts des Nulleffekts einer Poisson-Verteilung bei ganzzahliger Erkennungsgrenze $N_{\text{EG}} = 1, 2$ oder 3 mit der Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Fehlern 1. Art und 2. Art von jeweils 5%	57
Bild F.2 — Aufsummierte Wahrscheinlichkeit des Erwartungswerts der Nachweisgrenze einer Poisson-Verteilung bei ganzzahliger Erkennungsgrenze $N_{\text{EG}} = 1, 2$ oder 3 mit der Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Fehlern 1. Art und 2. Art von jeweils 5%	57
Tabellen	
Tabelle 1 — Messparameter für verschiedene Messverfahren bei einem Vertrauensbereich von 95%	12
Tabelle 2 — Messparameter für stationäre Impulszählung bei geringer Anzahl der Impulse bei einem Vertrauensniveau von 95%	13
Tabelle 3 — Radionuklidgemisch für natürliches Thorium.....	29
Tabelle 4 — Zerfallsdaten für Radionuklide der Th-Zerfallsreihe	29
Tabelle 5 — Alpha-Aktivität von Uran bei verschiedener ^{235}U-Anreicherung [4]	30
Tabelle 6 — Radionuklidgemisch für wiederaufgearbeitetes Uran, beispielhaft hergeleitet aus den Vorgaben von Standard-Spezifikationswerten	31
Tabelle 7 — Gamma-Energien und Gamma-Emissionswahrscheinlichkeiten für Uran-Isotope [10], Plutonium-Isotope [5] und ^{241}Am [10]	32
Tabelle 8 — Beispielhaftes Radionuklidgemisch für Plutonium aus der Wiederaufarbeitung von U-Brennelementen mit einem Abbrand von 32 GWd/Mg nach etwa 7 Jahren Kühlzeit und einer Lagerzeit seit der letzten chemischen Abtrennung.....	32

Tabelle A.1 — Beispiele für Oberflächenansprechvermögen η für verschiedene Gerätetypen mit Kalibrierstrahler 100 cm² und Wirkungsgrad ε_{SC} nach Herstellerangaben	34
Tabelle A.2 — Beispiel für das Oberflächenansprechvermögen η eines Oberflächenkontaminationsmessgerätes mit Plastiksintillationsdetektoren vom Typ RFD 485 mit Kalibrierstrahler 100 cm²	34
Tabelle B.1 — Energien von α-Teilchen in MeV	38
Tabelle F.1 — Nulleffekt und Nachweisgrenze bei vorgegebener Erkennungsgrenze	55
Tabelle F.2 — Anwendung der Poisson-Verteilung bei der Stationären α-Impulszählung Beispiel: Freigabewert $A_{\text{FGW}} = 0,06 \text{ Bq/cm}^2$; Oberflächenansprechvermögen $\eta = 27 \text{ cm}^2/\text{s/Bq}$	56
Tabelle F.3 — Minimal notwendiger Erwartungswert der Impulsanzahl des Freigabewerts N_{FGW} in Abhängigkeit des Messergebnisses (Richtwert)	56

Vorwort

Diese Norm wurde vom Normenausschuss Materialprüfung (NMP), Arbeitsausschuss NA 062-07-46 AA „Reststofffragen“ des Fachbereichs Kerntechnik erstellt.

DIN 25457 „Aktivitätsmessverfahren für die Freigabe von radioaktiven Reststoffen und kerntechnischen Anlagenteilen“ besteht aus:

- Teil 1: Grundlagen
- Teil 4: Metallschrott mit Beta-/Gamma-Aktivität
- Teil 5: Mit Alpha-Aktivität kontaminierter Metallschrott
- Teil 6: Bauschutt und Gebäude
- Teil 7: Bodenflächen

Die Teile 4 und 5 werden derzeit überarbeitet und zu einem neuen Teil 4 „Kontaminierter und aktivierter Metallschrott“ zusammengefasst.

Änderungen

Gegenüber DIN 25457-1:1993-08 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Die Teile 1 und 2 wurden zusammengefasst und überarbeitet;
- b) Es wurde der aktuelle Stand der Messtechnik aufgenommen, insbesondere Hinzunahme der In-situ-Gammaspektrometrie und Szintillationsdetektoren bei Oberflächenmessgeräten, Aufnahme numerischer Kalibration;
- c) Erweiterung der Fehlerbetrachtung (Typ B Messunsicherheiten);
- d) Übergang von einem auf mehrere Schlüsselnuklide;
- e) Die aktuelle Fassung der Strahlenschutzverordnung wurde berücksichtigt.

1 Anwendungsbereich

Die Norm ist anzuwenden bei Aktivitätsmessungen im Rahmen der Freigabe von radioaktiven Stoffen sowie beweglichen Gegenständen, Gebäuden, Bodenflächen, Anlagen oder Anlagenteilen, die aktiviert oder kontaminiert sind und die aus Tätigkeiten im Sinne der StrlSchV stammen und zur Verwendung, Verwertung, Beseitigung, zum Innehaben oder zur Weitergabe an Dritte als nicht radioaktive Stoffe vorgesehen sind.

2 Normative Verweisungen

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

DIN 1319 (alle Teile), *Grundlagen der Messtechnik*

DIN 25401-9:2002-04, *Begriffe der Kerntechnik — Teil 9: Entsorgung*

DIN 25462, *In-situ-Gammaspektrometrie zur nuklidspezifischen Umweltkontaminationsmessung*

DIN 25482-1, *Nachweisgrenze und Erkennungsgrenze bei Kernstrahlungsmessungen — Teil 1: Zählende Messungen ohne Berücksichtigung des Probenbehandlungseinflusses*

DIN 25482-4, *Nachweisgrenze und Erkennungsgrenze bei Kernstrahlungsmessungen — Teil 4: Zählende alphaspektrometrische Messungen ohne Berücksichtigung von Probenbehandlungs- und Geräteeinflüssen*

DIN 25482-5, *Nachweisgrenze und Erkennungsgrenze bei Kernstrahlungsmessungen — Teil 5: Zählende hochauflösende gammaspektrometrische Messungen ohne Berücksichtigung des Probenbehandlungseinflusses*

DIN 25482-10, *Nachweisgrenze und Erkennungsgrenze bei Kernstrahlungsmessungen — Teil 10: Allgemeine Anwendungen*

DIN 51750-1:1990-12, *Prüfung von Mineralölen; Probenahme; Allgemeines*

DIN V ENV 13005, *Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen*

DIN EN 60325, *Strahlenschutz-Messgeräte — Alpha-, Beta- und Alpha/Beta-(Betaenergie > 60 keV) Kontaminationsmessgeräte und -monitore*

DIN ISO 7503-1:1990-07, *Bestimmung der Oberflächenkontamination; Beta-Strahler (Max. Beta-Energie $E_{\beta_{\max}}$ größer als 0,15 MeV) und Alpha-Strahler*

DIN ISO 7503-3, *Bestimmung der Oberflächenkontamination — Teil 3: Isomerische Übergangs- und Elektroneneinfangsstrahler und Niedrigenergie-Betastrahler ($E_{\beta_{\max}} < 0,15$ MeV)*

Strahlenschutzverordnung, *Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung — StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I, 2001, Nr 38, S. 1714-1846), zuletzt geändert durch Verordnung StrlQuellKontrollGber vom 11. Oktober 2005 (BGBl. I, 2005, Nr 64, S. 2976)¹⁾*

¹⁾ Nachgewiesen in der DITR-Datenbank der DIN Software GmbH, zu beziehen bei: Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin (Hausanschrift: Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin).

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Entscheidungsmessung

Aktivitätsmessung, deren Ergebnisse durch Vergleich mit den Freigabewerten (siehe 3.2) eine Entscheidung über die Freigabe des Messgutes ermöglichen

3.2

Freigabewert

gesetzliche oder behördliche Vorgabe für die massen- oder flächenbezogene Aktivität eines Radionuklids, die einzuhalten ist, damit das Messgut aus dem Regelungsbereich des Atomgesetzes entlassen werden kann und für die bei Vorliegen eines Radionuklidgemisches die Summenformel nach Strahlenschutzverordnung einzuhalten ist

3.3

stationäre Messung

Messung bei ortsfester Anordnung des Detektors über der zu messenden Fläche

3.4

dynamische Messung

Messung bei der der Detektor über die zu messende Fläche bewegt oder bei der das Messgut am Detektor vorbeigeführt wird

3.5

Sättigungsschichtdicke

Schichtdicke eines homogenen radioaktiven Stoffes, die der maximalen Reichweite seiner α - bzw. β -Strahlung entspricht

3.6

Oberflächenansprechvermögen

η

Verhältnis zwischen der gemessenen Nettoimpulsrate und der Aktivität je Flächeneinheit

3.7

Richtwert

messtechnische Vorgabe zum Nachweis der Unterschreitung des Freigabewerts, bezogen auf das jeweilige Messverfahren oder Messgerät (z. B. in: Impulse je Sekunde)

3.8

Schlüsselnuklid

ein messtechnisch einfach erfassbares Radionuklid, über dessen Messung das Inventar schwierig zu messender Radionuklide rechnerisch bestimmt werden kann

[DIN 25401-9:2002-04]

3.9

Radionuklidgemisch

in einer definierten Materialcharge vorkommende Radionuklide (α , β , Elektroneneinfang-Strahler und Isomere)

3.10

repräsentative Probe

eine Probe, deren Eigenschaften weitestgehend den Durchschnittseigenschaften der Gesamtmenge des Prüfgutes entsprechen

[DIN 51750-1:1990-12]

3.11

Tracer

Radionuklid, das als Indikator, z. B. zur Bestimmung der chemischen Ausbeute, verwendet wird

4 Messverfahren

4.1 Allgemeines

Das Messverfahren beinhaltet den Messablauf und die Qualitätssicherung der Messungen.

Bei der messtechnischen Planung ist es erforderlich, alle wesentlichen Beiträge zur Messunsicherheit zu quantifizieren und festzulegen, ob die jeweilige Einflussgröße entscheidend für die Eignung des Messverfahrens oder auch entscheidend für die Freigabe selbst ist. Im Folgenden werden Einflussgrößen aufgeführt, welche bei den nachfolgend beschriebenen Messverfahren (siehe 4.2 bis 4.6) in jeweils unterschiedlichem Maße zutreffen. Es handelt sich hierbei um so genannte Typ A- und Typ B-Messunsicherheiten im Sinne von DIN V EN V 13005.

- Schwankungsbreite der Geometrie und der Selbstabschirmung des Messguts;
- Schwankungsbreite der Aktivitätsverteilung im Messgut;
- Schwankungsbreite des Nulleffekts;
- Schwankungsbreite der Aktivitätsanteile der Radionuklide im Radionuklidgemisch in Relation zu den festgelegten Anteilen im Radionuklidvektor;
- Schwankungsbreite des Entnahmefaktors bei indirekter Oberflächen-Gesamtaktivitätsmessung;
- Schwankungsbreite des Gehalts an natürlicher Aktivität im Messgut.

Bei der Quantifizierung der Messunsicherheit ist der Ausschöpfungsgrad der Freigabewerte und die Konservativität aller Schritte des Freigabeverfahrens zu berücksichtigen. Des weiteren können immanente Bedingungen des Freigabeverfahrens, wie z. B. die Probenentnahmestrategie bei statistischen Verfahren, eine Rolle spielen.

Zur Prüfung, ob das Messverfahren für den Messzweck geeignet ist, muss sichergestellt werden, dass die Nachweisgrenze kleiner oder gleich dem vorgegebenen Freigabewert ist.

4.2 Direkte Oberflächen-Gesamtaktivitätsmessung

4.2.1 Allgemeines

Durch die direkten Oberflächen-Gesamtaktivitätsmessverfahren wird die gesamte fest haftende und nicht fest haftende Alpha- oder Beta-Oberflächenkontamination unmittelbar an Materialien bestimmt. Dieses Verfahren ist anwendbar, solange für die kontaminierte Schicht die jeweilige Sättigungsschichtdicke nicht überschritten wird und keine überdeckenden Absorptionsschichten vorhanden sind.

Bei der Bestimmung der Oberflächenaktivität sind zu berücksichtigen:

- das Ansprechvermögen des Messgerätes;
- der Wirkungsgrad der kontaminierten Oberfläche nach DIN ISO 7503-1.

Die Messung der Oberflächenaktivität durch Alpha-Strahler und durch Beta-Strahler mit einer Maximalenergie $> 0,15$ MeV ist nach DIN ISO 7503-1 vorzunehmen. Für Beta-Strahler mit einer Maximalenergie $\leq 0,15$ MeV

und Elektroneneinfang-Strahler gilt DIN ISO 7503-3. Das Ansprechvermögen des Messgerätes und der Wirkungsgrad der kontaminierten Oberfläche liegen für diese Strahler deutlich niedriger.

Das Oberflächenansprechvermögen kann bei einem Radionuklidgemisch je nach der maximalen Energie der Teilchen stark variieren. Sofern die relativen Anteile der einzelnen Radionuklide über die auszumessende Materialcharge schwanken, ist für ein Radionuklidgemisch daher:

- ein nach Radionuklidanteilen gewichteter Kalibrierfaktor, oder
- der Kalibrierfaktor für das Radionuklid mit dem niedrigsten Oberflächenansprechvermögen zu verwenden, oder
- ein Schlüsselnuklid festzulegen, dessen Kalibrierfaktor zu verwenden ist.

4.2.2 Anforderungen an die Messgeräte

Für die Messungen sind Alpha- oder Beta-Kontaminationsmessgeräte zu verwenden, welche die Anforderungen nach DIN EN 60325 erfüllen müssen. Für Entscheidungsmessungen sollten Geräte mit linearer Skala oder mit digitaler Anzeige verwendet werden. Die Geräte müssen eine akustische und sollten eine optische Alarmanzeige besitzen und müssen für eine dynamische Messung über eine Höranzeige für die Impulsrate verfügen.

Zur Messung der Beta-Oberflächenaktivität muss das Ansprechvermögen des Messgerätes für je einen Beta-Strahler mit einer Maximalenergie $< 0,4$ MeV, zwischen $0,4$ MeV und 1 MeV sowie > 1 MeV (z. B. ^{60}Co ($0,3$ MeV), ^{204}Tl ($0,8$ MeV), $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ ($0,5/2,3$ MeV)) bekannt sein. Zur Messung der Alpha-Oberflächenaktivität muss das Ansprechvermögen des Messgerätes bekannt sein. Für beide Messverfahren muss der minimal erreichbare und der maximal zulässige Abstand zwischen der empfindlichen Oberfläche des Detektors und der Oberfläche des Strahlers bekannt sein.

In Tabelle A.1 ist beispielhaft das Oberflächenansprechvermögen verschiedener Zählsonden für verschiedene Alpha- und Beta-Strahler und ^{55}Fe bei minimal erreichbarem Abstand angegeben. In Tabelle A.2 werden entsprechende Daten für einen Oberflächenkontaminationsmessgerät mit Plastiksintillationsdetektoren angeben und in Bild A.3 graphisch dargestellt.

4.2.3 Anforderungen an die Kalibrierstrahler

Als Kalibrierstrahler sind Dünnschichtstrahler bekannter Aktivität und Oberflächenemissionsrate zu verwenden. Die Fläche des Kalibrierstrahlers sollte der Detektoroberfläche des verwendeten Messgerätes entsprechen. Ist die Oberflächenemissionsrate des Kalibrierstrahlers nicht bekannt, ist der Wirkungsgrad des Kalibrierstrahlers nach DIN ISO 7503-1 mit $\varepsilon_{\text{SC}} = 0,5 \text{ s}^{-1} \text{ Bq}^{-1}$ zu verwenden (siehe Anhang A).

4.2.4 Oberflächenbeschaffenheit des Messgutes

Die Oberflächenbeschaffenheit beeinflusst den Emissionswirkungsgrad des Messgutes. Bei Metallen beeinflussen z. B. Schmutz- oder Oxidschichten auf der Oberfläche des Messgutes den Emissionswirkungsgrad. Für eine Oberfläche mit einer Absorptionsschicht, die der Sättigungsschichtdicke entspricht (Alpha-Strahler wenige μm , Beta-Strahler wenige mm), ist das Ansprechvermögen des Messgerätes nach DIN ISO 7503-1 mit $\varepsilon_{\text{s}} = 0,25$ zu verwenden. Bei sehr dünnen Absorptionsschichten darf $\varepsilon_{\text{s}} = 0,5$ verwendet werden (z. B. bei polierten Metalloberflächen). In Bild A.1 ist die Abnahme der Zählrate des Detektors in Abhängigkeit von der Dicke der Absorptionsschicht für verschiedene Radionuklide angegeben.

Bei porösen Materialien wie z. B. Beton und Holz ist mit einem tieferen Eindringen der Kontamination zu rechnen. Dies ist durch gesonderte Untersuchungen zu berücksichtigen.

4.2.5 Abhängigkeit der Zählrate des Detektors von den geometrischen Bedingungen

Bei Beta-Oberflächenaktivitätsmessungen an gekrümmten Oberflächen müssen die unterschiedlichen Abstände zwischen dem Messgut und der Detektoroberfläche für verschiedene Krümmungen entweder durch einen Geometriefaktor oder durch eine Kalibrierung, bei der die entsprechenden Kalibrierabstände gewählt worden sind, berücksichtigt werden. Wird ein Geometriefaktor zur Ausmessung von gekrümmten Oberflächen bestimmt (siehe z. B. [6]), so ist dieser bei der Wahl der Mess- und Ansprechzeiten oder der Überstreichzeiten zu berücksichtigen. Der Geometriefaktor kann als das Verhältnis der Zählrate des Detektors für die gegebene geometrische Anordnung zur Zählrate einer Kalibrierquelle bestimmt werden. Bei größeren Abständen ist zu prüfen, ob eine Korrektur überhaupt möglich ist.

Die Abhängigkeit des Oberflächenansprechvermögens eines Detektors vom Abstand zwischen Kalibrierstrahler und Detektoroberfläche zeigt Bild A.2 für ausgewählte Radionuklide.

Für ungünstige Geometrien (z. B. Rippen, Profile, Sacklöcher) sind konservative Kalibrierfaktoren zu verwenden (siehe z. B. [6]). Für bestimmte Geometrien stehen speziell geformte Detektoren zur Verfügung. Im Zweifelsfall darf das Verfahren der direkten Oberflächenaktivitätsmessung nicht angewendet werden.

Bei Alpha-Oberflächenaktivitätsmessungen an gekrümmten Oberflächen sollte der maximale Abstand zwischen dem Messgut und der Detektoroberfläche kleiner als der Kalibrierabstand sein.

Anhand von Bild B.1 kann die Reichweite von Alpha-Teilchen in Abhängigkeit von ihrer Energie (siehe Tabelle B.1) in verschiedenen Medien als Anhaltspunkt für zulässige Abstände ermittelt werden. Die Abschirmwirkung der Zählrohreintrittsfolie ist zusätzlich zu berücksichtigen.

4.2.6 Festlegung eines Richtwerts

4.2.6.1 Allgemeines

Im Rahmen der Freigabe werden Oberflächenaktivitätsmessungen zur Prüfung der Unterschreitung des Freigabewerts eingesetzt. Dazu ist ein Richtwert vorzugeben, bei dessen Unterschreitung sichergestellt ist, dass der Freigabewert mit vorgegebenem Vertrauensniveau unterschritten wird.

4.2.6.2 Beta-Oberflächenaktivitätsmessung

Die Zählrate des Richtwerts R_{RW} für die Beta-Oberflächenaktivitätsmessung wird durch Gleichung (1) als Bruttowert beschrieben:

$$R_{RW} = R_0 + R_{FGW} - R_{VB} \quad (1)$$

Dabei ist

R_{RW} einzustellender Richtwert bei der Messung in s^{-1} ;

R_0 die Zählrate des Nulleffekts (Nulleffektzählrate) in s^{-1} ;

R_{FGW} die Zählrate, die dem Freigabewert entspricht in s^{-1} (abhängig vom Messverfahren, siehe Tabelle 1);

R_{VB} die Zählrate, die der Intervallbreite des Vertrauensbereiches (einseitig) in s^{-1} entspricht.

Die Zählrate des Vertrauensbereichs ist:

$$R_{VB} = k_{1-\gamma/2} \sqrt{\frac{R_0}{t_0} + \frac{R_{RW}}{t_b}} \quad (2)$$

Dabei ist

$k_{1-\gamma/2}$ Quantil der Standardnormalverteilung;

t_b Messzeit der Bruttoeffektmessung in s;

t_0 Messzeit der Nulleffektmessung in s.

Die durch Einsetzen der Gleichung (2) in Gleichung (1) entstehende quadratische Gleichung wird gelöst durch:

$$R_{RW} = R_0 + R_{FGW} + \frac{k_{1-\gamma/2}^2}{2 \cdot t_b} - \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot R_{FGW} \cdot k_{1-\gamma/2}^2}{t_b} + \frac{k_{1-\gamma/2}^4}{t_b^2} + 4 \cdot k_{1-\gamma/2}^2 \cdot R_0 \left(\frac{1}{t_0} + \frac{1}{t_b} \right)} \quad (3)$$

Für die Beta-Oberflächenaktivitätsmessung werden drei Messverfahren angewendet:

- die stationäre Impulszählung (siehe Anhang C);
- die stationäre Impulsratenmessung (siehe Anhang D) und
- die dynamische Impulsratenmessung (siehe Anhang E).

Bei stationären Messungen ergibt sich die minimale Messzeit $t_{\min}$ aus der Bedingung, dass die Nachweisgrenze gleich R_{FGW} gesetzt wird.

Bei dynamischen Messungen ergibt sich die minimale Überstreichzeit $t_{\min}$ aus der Bedingung, dass die Nachweisgrenze gleich R_{FGW} gesetzt wird. Bei handgeführten Messungen sollte die Nachweisgrenze gleich $0,5 R_{FGW}$ gesetzt werden bzw. die Überstreichzeit $t_{\min}$ verdoppelt werden.

Ist die Messzeit $t \geq t_{\min}$ oder die Überstreichzeit $t_{\bar{u}} \geq t_{\min}$, stellt die Unterschreitung des vorgegebenen Richtwerts die Einhaltung des Freigabewerts sicher.

In Tabelle 1 sind für einen Vertrauensbereich von 95 % für die drei Messverfahren Gleichungen für die Nachweisgrenze, für die Erkennungsgrenze, für die minimale Messzeit $t_{\min}$, für die minimale Überstreichzeit $t_{\bar{u}}$ und die minimale Ansprechzeit $\tau_{\min}$ sowie für die dem Freigabewert entsprechende Zählrate R_{FGW} angegeben.

Tabelle 1 — Messparameter für verschiedene Messverfahren bei einem Vertrauensbereich von 95 %

Verfahren	Nachweis- grenze in s ⁻¹	Erkennungs- grenze in s ⁻¹	t _{min} in s	t _{ümin} in s	τ _{min} in s	R _{FGW} in s ⁻¹
stationäre Impulszäh- lung	$3,3 \sqrt{\rho_0 \left(\frac{1}{t_0} + \frac{1}{t_b} \right)}$	$1,65 \sqrt{\rho_0 \left(\frac{1}{t_0} + \frac{1}{t_b} \right)}$	$\frac{22 \cdot \rho_0}{A_{\text{FGW}}^2 \cdot \eta^2}$	—	—	$A_{\text{FGW}} \cdot \eta$
stationäre Impulsraten- messung	$3,3 \sqrt{\frac{\rho_0}{2} \left(\frac{1}{\tau_0} + \frac{1}{\tau_b} \right)}$	$1,65 \sqrt{\frac{\rho_0}{2} \left(\frac{1}{\tau_0} + \frac{1}{\tau_b} \right)}$	1,3 · τ _{min}	—	$\frac{22 \cdot \rho_0}{A_{\text{FGW}}^2 \cdot \eta^2}$	$A_{\text{FGW}} \cdot \eta (1 - e^{-t_b / \tau_b})$
dynamische Impulsraten- messung	$3,3 \sqrt{\frac{\rho_0}{2} \left(\frac{1}{\tau_0} + \frac{1}{\tau_b} \right)}$	$1,65 \sqrt{\frac{\rho_0}{2} \left(\frac{1}{\tau_0} + \frac{1}{\tau_b} \right)}$	—	1,1 · τ _{min}	$\frac{39 \cdot \rho_0}{A_{\text{FGW}}^2 \cdot \eta^2}$	$A_{\text{FGW}} \cdot \eta \cdot \left(1 - \frac{\ln(2 - e^{-t_{\ddot{u}} / \tau})}{t_{\ddot{u}} / \tau} \right)$
t ₀	Messzeit der Nulleffektmessung in s		τ ₀ ^a	Ansprechzeit für die Nulleffektmessung bei Impulsratenmessgeräten in s		
t _b	Messzeit der Bruttoeffektmessung in s		τ _b	Ansprechzeit für die Bruttoeffektmessung bei Impulsratenmessgeräten in s		
t _{min}	minimale Messzeit bei der Entscheidungsmessung in s, in Spalte 4 angegeben für t ₀ = t _b = t _{min}		τ _{min}	minimale Ansprechzeit bei der Entscheidungsmessung in s für τ ₀ = τ _b = τ _{min}		
t _ü	Überstreichzeit		η	Oberflächenansprechvermögen des Detektors für eine Strahlungsquelle mit Wirkungsgrad ε _s in s ⁻¹ Bq ⁻¹ cm ²		
t _{ümin}	minimale Überstreichzeit für eine Messstrecke entsprechend der Detektorbreite bei der Entscheidungsmessung in s für τ ₀ = τ _b = τ _{min}		A _{FGW}	Freigabewert z. B. nach Anlage III, Tabelle 1 Spalte 4 der StrlSchV in Bq cm ⁻²		
τ	Ansprechzeit τ = τ ₀ = τ _b		ρ ₀	Erwartungswert des Nulleffekts in s ⁻¹ , näherungsweise durch Messung der Nulleffektzählrate R ₀ bestimmt		

^a nach DIN EN 60325

4.2.6.3 Alpha-Oberflächenaktivitätsmessung

Aufgrund der bei der Alpha-Oberflächenaktivitätsmessung auftretenden geringen Anzahl der Impulse ist hier die Impulsratenmessung ungeeignet. Deshalb wird für die Alpha-Oberflächenaktivitätsmessung die stationäre Impulszählung angewendet.

Für die Berechnung des Richtwerts ist bei der Impulszählung die Poisson-Statistik anzuwenden (siehe Anhang F). Die Erkennungsgrenze kann nur ganzzahlige Werte der Impulse je Messintervall annehmen. Sie hängt von dem vorgegebenen Vertrauensniveau sowie von der auftretenden Nulleffektzählrate ab. Bei 95 % Vertrauensniveau entsprechen die Erkennungsgrenzen von 1 oder 2 Impulsen je Messintervall Nachweisgrenzen von 3,0 oder 4,7 Impulsen je Messzeit. Die Zusammenhänge sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2 — Messparameter für stationäre Impulszählung bei geringer Anzahl der Impulse bei einem Vertrauensniveau von 95 %

Anforderungen an die Nulleffektzählrate	Nachweisgrenze	Erkennungsgrenze	$t_{\min}$
$R_0/R_{\text{FGW}} \leq 0,017$	3,0 Impulse	1 Impuls	$3/R_{\text{FGW}}$
$R_0/R_{\text{FGW}} \leq 0,077$	4,7 Impulse	2 Impulse	$4,7/R_{\text{FGW}}$
R_0 Nulleffektzählrate in s^{-1} mit $t_0 \gg t_{\min}$ R_{FGW} Zählrate des Freigabewerts in s^{-1} $t_{\min}$ minimale Messzeit für die Entscheidungsmessung in s			

Die Berechnung der Zählrate des Richtwerts für die Alpha-Oberflächenaktivitätsmessung wird in Anhang F dargestellt.

4.2.7 Messablauf

Für stationäre Messungen ist das Messgut in rasterförmige Flächen einzuteilen, auf die der Detektor aufgesetzt wird. Bei Überschreitung des Richtwerts ist die betreffende Fläche zu markieren.

Bei dynamischen Messungen ist der Detektor gleichmäßig über die Oberfläche des Messgutes zu bewegen. Die nach Tabelle 1 ermittelte minimale Überstreichzeit sowie der maximal zulässige Abstand zwischen Detektorfenster und Oberfläche des Messgutes sind einzuhalten. Wenn bei Bewegung des Detektors über die zu messende Fläche der Richtwert überschritten wird, so ist diese Stelle zu markieren. Markierte Flächen sind nochmals durch stationäre Messungen zu prüfen.

Bei der dynamischen Messung ist als wichtigstes (qualitatives) Hilfsmittel zur Auffindung von Oberflächenkontaminationen die akustische Einzelimpulsregistrierung zu verwenden.

4.2.8 Qualitätssicherung

Zur Kontrolle der Messeinrichtung während einer Messkampagne sind mindestens folgende Prüfungen durchzuführen:

- Die Nulleffektzählrate ist arbeitstäglich mehrmals zu prüfen.
- Mit einem Flächenstrahler, der entsprechend den Anforderungen nach 4.2.3 ausgewählt wurde, ist arbeitstäglich vor dem Beginn und nach dem Ende der Messungen sowie nach jeder Änderung an der Messeinrichtung die Zählrate zu messen und mit Sollwerten zu vergleichen.
- Die Signalgeber sind vor dem Beginn und nach dem Ende der Messungen arbeitstäglich zu prüfen.

4.3 Indirekte Oberflächen-Gesamtaktivitätsmessung

4.3.1 Allgemeines

Durch die indirekte Oberflächen-Gesamtaktivitätsmessung kann die Aktivität auf Oberflächen durch Entnahme von Wischproben bestimmt werden. Dieses Verfahren dient in erster Linie der Ergänzung von Direktmessungen an Stellen, die einer Direktmessung nicht zugänglich sind. Es ermöglicht zwar, die Oberflächenaktivität mit einer niedrigeren Nachweisgrenze als durch direkte Oberflächenaktivitätsmessung nach 4.2 zu bestimmen. Jedoch erfasst diese Methode nur die nicht fest haftende Aktivität mit schwer zu quantifizierendem Entnahmefaktor, der für den jeweiligen Einzelfall festzulegen ist. Nach DIN ISO 7503-1 kann der Entnahmefaktor konservativ zu 0,1 gewählt werden, falls er nicht experimentell ermittelt wird.

Bei der Bestimmung der Oberflächen-Gesamtaktivität ist

- das Ansprechvermögen des Messgeräts,
 - der Emissionswirkungsgrad der Wischprobe, sowie
 - im Falle des Vorliegens von Alpha-Aktivität die Sättigungsschichtdicke der Wischprobe
- zu beachten, siehe hierzu auch DIN ISO 7503-1.

HINWEIS 1 Die Wischprobe einer glatten Oberfläche kann mittels eines Wischtest-Blättchens genommen werden. Eine raue Oberfläche kann mittels einer abziehbaren Klebefolie beprobt werden.

HINWEIS 2 Zur Beurteilung der Freigabefähigkeit von Oberflächen, die wesentlich größer als die erlaubte Mittelungsfläche sind, können so genannte Screeningtests herangezogen werden, die an der gesamten Oberfläche genommen werden.

4.3.2 Anforderungen an die Messanordnung

Zur Messung sind vorzugsweise Großflächenproportionalzählrohre oder Szintillationszähler zu verwenden. Die Nulleffektzählrate in der Messkammer muss für die Nachweisführung hinreichend niedrig sein.

4.3.3 Anforderungen an den Kalibrierstrahler

Als Kalibrierstrahler ist ein Dünnschichtstrahler bekannter Aktivität (z. B. ^{241}Am , ^{99}Tc) mit einer der Probe entsprechenden Fläche zu verwenden. Weiter gilt 4.2.3.

4.3.4 Kalibrierung

Die Kalibrierung ist in der gleichen geometrischen Anordnung wie bei der Messung vorzunehmen.

4.3.5 Nulleffektbestimmung

Der Nulleffekt ist mit einer Messzeit zu bestimmen, die mindestens der der Bruttoeffektmessung entspricht, und es sind mindestens 10 Impulse zu zählen.

4.3.6 Durchführung der Messung

Die auszuwertende Wischprobe ist in die durch die Kalibrierung festgelegte Position zu bringen. Es gelten die Festlegungen nach 4.2.6 für die stationäre Impulszählung.

Es ist darauf zu achten, dass durch die Proben der Detektor und seine Umgebung nicht kontaminiert werden.

4.3.7 Qualitätssicherung

Zur Kontrolle der Messeinrichtung während einer Messkampagne sind mindestens folgende Prüfungen durchzuführen:

- die Nulleffektzählrate ist wöchentlich zu messen;
- mit einem Flächenstrahler (z. B. ^{241}Am , ^{99}Tc) ist vor dem Beginn einer Messkampagne sowie nach jeder Änderung an der Messeinrichtung die Zählrate zu messen und mit Sollwerten zu vergleichen.

4.4 Spektrometrische Messverfahren

4.4.1 Gammaskpektrometrie an Materialproben

4.4.1.1 Allgemeines

In gammaspektrometrischen Messungen können das Gemisch und die Aktivität der beim radioaktiven Zerfall Gamma- oder charakteristische Röntgenstrahlung emittierenden Radionuklide (im Folgenden als gammastrahlende Radionuklide bezeichnet) in Materialproben bestimmt werden.

Das Messverfahren kann im Rahmen der Freigabe z. B. eingesetzt werden, um

- anhand von Stichproben aus einer größeren Materialcharge das Gemisch der gammastrahlenden Radionuklide oder ihre räumliche Verteilung zu ermitteln,
- im Entscheidungsverfahren anhand einer Probe aus dem Material mit homogener Aktivitätsverteilung (z. B. aus einer Schmelze bei metallischen Reststoffen bzw. aus einer homogenisierten Bauschuttcharge) die Einhaltung von Freigabewerten zu prüfen,
- im Entscheidungsverfahren anhand einer Anzahl von Proben unter Verwendung statistischer Auswertungsverfahren die Einhaltung der Freigabekriterien zu prüfen.

4.4.1.2 Probenentnahme

Aus der zu untersuchenden Materialcharge sind repräsentative Proben zu entnehmen. Die Anzahl und die Art der Proben hängen vom Untersuchungszweck und von der Herkunft des zu untersuchenden Materials ab. Bei der Probenentnahme ist darauf zu achten, dass das Radionuklidgemisch und die Aktivität durch die Entnahme selbst nicht verändert werden (z. B. durch Abdampfen an der Materialoberfläche beim Brennschneiden).

Grundsätzlich sollte die Probenentnahme zur Ermittlung eines Nuklidvektors vor der Dekontamination erfolgen. Bei Dekontaminationsverfahren, die zu einer wesentlichen Änderung der Nuklidverhältnisse in der Kontamination führen können (z. B. Systemdekontamination), ist die Probenentnahme nach diesem Dekontaminationsschritt durchzuführen.

Falls das Material vor der Freigabe eingeschmolzen wird, ist die Probe aus der Schmelze zu entnehmen.

Bei oberflächlich kontaminiertem Material sind Proben für die Entscheidungsmessung insbesondere aus denjenigen Bereichen zu entnehmen, in denen Aktivität in das Materialinnere eingedrungen sein kann (z. B. an Schweißnähten, Fugen, Rissen oder Poren).

4.4.1.3 Probenaufbereitung

Die Proben sind durch Aufbereitung in eine solche Geometrie zu bringen, für die der Detektor kalibriert ist. Auf Vergleichbarkeit von Probe und Kalibrierstrahler (z. B. hinsichtlich Material und Aktivitätsverteilung) ist zu achten.

4.4.1.4 Messung der Probenaktivität

4.4.1.4.1 Anforderungen an die Messanordnung

Die Messungen sind in einem Bereich mit möglichst geringer Untergrundstrahlung, vorzugsweise in einer Abschirmung durchzuführen. Auf die Konstanz und die Minimierung der Nulleffektzählrate für die bei den Entscheidungsmessungen wichtigen Gammalinien über die Dauer der Proben- und Nulleffektmessung ist zu achten. Die Messung der Probenaktivität ist mit einem Halbleiterdetektor mit einer Energieauflösung $\leq 2,5$ keV für die Gammalinie der Energie 1 332 keV aus dem Zerfall des ^{60}Co durchzuführen.

Falls Gammaquanten mit Energien kleiner als 80 keV nachgewiesen werden müssen, ist ein Detektor mit einem Kristall mit möglichst dünner Totschicht und einem Fenster mit möglichst geringer Absorption zu verwenden (z. B. n-Typ Reinstgermaniumdetektor).

4.4.1.4.2 Messablauf

Die auszuwertende Probe ist in die durch die Kalibrationsmethode festgelegte Sollposition zu bringen. Die Messzeiten für die Entscheidungsmessungen sind so zu wählen, dass die Einhaltung von Freigabewerten durch das Messergebnis sichergestellt ist (siehe 4.4.1.7).

Es ist darauf zu achten, dass durch die Proben der Detektor und seine Umgebung nicht kontaminiert werden und dass sich in der Nähe der Messanordnung keine weiteren, das Messergebnis beeinflussenden radioaktiven Proben befinden.

ANMERKUNG Mechanische Erschütterungen, starke Geräuscheinwirkungen, starke Temperaturschwankungen oder hochfrequente Störungen in der Netzversorgung können zu einer Verschlechterung der Energieauflösung und zu Messfehlern führen.

4.4.1.4.3 Auswertung der Spektren

Die Auswertung der Vielkanalspektren erfolgt in der Regel mit Hilfe einer Spezialsoftware auf einem Rechner. Ihr ist eine Radionuklidbibliothek mit den in dem zu untersuchenden Material vorkommenden gamma-strahlenden Radionukliden mit den jeweils zugehörigen Spektrallinien (Energie, relative Häufigkeit je Zerfall) zugrunde zu legen.

Wird im Rahmen der Voruntersuchung im Probenspektrum eine Spektrallinie gefunden, die im Untergrundspektrum und in der Radionuklidbibliothek nicht enthalten ist, so ist deren Herkunft zu klären.

Die Peak-Nettoflächen und deren statistische Unsicherheiten sind anhand der Kalibrierfaktoren für die jeweilige Probengeometrie in die Aktivitäten der Probe und deren Unsicherheiten umzurechnen. Unterschiede in der Selbstabsorption in der Mess- und Kalibrierprobe dürfen rechnerisch korrigiert werden.

Anhand der Erkennungsgrenze ist für die relevanten Spektrallinien aus der Radionuklidbibliothek zu entscheiden, ob unter den gemessenen Impulsen ein Beitrag der Probe vorliegt oder nicht. Für die nicht nachgewiesenen relevanten Radionuklide aus der Radionuklidbibliothek sind die in der Messung erreichte Nachweisgrenze und Erkennungsgrenze anzugeben.

4.4.1.5 Qualitätssicherung

Zur Kontrolle der Messeinrichtung während einer Messkampagne sind mindestens folgende Prüfungen durchzuführen:

- Die Linienform im Vielkanalspektrum ist arbeitstäglich visuell zu prüfen. Ferner ist zu überprüfen, ob die anhand der Kalibrierkurve bestimmten Energien der Spektrallinien genau genug sind, um mit Hilfe der Werte der Radionuklidbibliothek eine eindeutige Zuordnung der Radionuklide zu erreichen.
- Sofern im Messgut Radionuklide natürlichen Ursprungs vorhanden sind, können diese zur Überprüfung der Energiekalibrierung herangezogen werden.
- Das Untergrundspektrum ist mindestens wöchentlich auf das Vorhandensein der Spektrallinien der zu bestimmenden Radionuklide zu überprüfen, um z. B. Kontaminationen des Messplatzes festzustellen.
- Sofern ein Radionuklid mehrere gut messbare Spektrallinien hat, können diese zur Überprüfung der Effizienzkalibrierung herangezogen werden.

Die Betreiber von Messanordnungen, die über längere Zeit für Entscheidungsmessungen eingesetzt werden, sollten regelmäßig an Ringvergleichen teilnehmen.

4.4.1.6 Kalibrierung des Messplatzes

4.4.1.6.1 Energiekalibrierung

Die Energiekalibrierung der Messanordnung ist mit einem Mischpräparat oder mit Kalibrierquellen vorzunehmen, die mehrere Spektrallinien emittieren. Die Spektrallinien müssen den interessierenden Energiebereich möglichst gleichmäßig überdecken. Die aus der berechneten Kalibrierkurve abgeleitete Energie für die nachgewiesenen Spektrallinien muss für eine sichere Identifikation der Spektrallinien bei der Analyse der Spektren durch das Auswerteprogramm hinreichend genau sein.

4.4.1.6.2 Effizienzkalibrierung

Für die Umrechnung der gemessenen Peak-Nettoflächen der Spektrallinien in die Aktivität der Radionuklide in der Probe ist die Messanordnung für die Probengeometrie zu kalibrieren. Dazu sind Kalibrierproben mit Radionukliden zu verwenden, deren Spektrallinien den gesamten Energiebereich der zu erwartenden Spektrallinien aus der Probe abdecken.

ANMERKUNG 1: Die Spektrallinien der Kalibrierstrahler sollten um so dichter liegen, je stärker sich die Effizienz in einem Energieintervall ändert.

ANMERKUNG 2: Die Intensitäten der für die Kalibrierung maßgeblichen Spektrallinien der Kalibrierstrahler aus einem Mischpräparat sollten die gleiche Größenordnung besitzen.

Für die Kalibrierung dürfen Standardpräparate in einer Form, die der Geometrie des Messgutes nahe kommt, verwendet werden. Alternativ kann die Geometrie der Kalibrierung auf die Geometrie des Messgutes umgerechnet werden (z. B. durch Verwendung von Monte-Carlo-Simulationen). In der Regel werden folgende Geometrien verwendet:

- Flächengeometrie;
- Zylindergeometrie;
- Ringschalengeometrie;
- Punktstrahler (insbesondere als Bezugswert für Monte-Carlo-Simulationen).

ANMERKUNG 3:

- a) Für Messungen, in denen eine möglichst hohe absolute Effizienz erzielt werden soll, ist die Ringschalengeometrie zu empfehlen.
- b) Die Flächengeometrie kann u. a. zur Untersuchung von oberflächlich kontaminierten Proben mit ebener Oberfläche oder von Kratz- oder Schleifproben von kontaminierten Teilen eingesetzt werden.
- c) Zur Herstellung der Kalibrierproben für zylindrische Geometrien aus den handelsüblichen Präparaten mit inaktivem Vergleichsmaterial sind folgende Verfahren möglich:
 - Sandwich aus scheibenförmigen Präparaten und dünnen Zylindern des zu untersuchenden Materials;
 - Einbringen von Spänen aus dem zu untersuchenden Material in ein Gefäß mit der gewünschten Geometrie und Auffüllen der Hohlräume zwischen den Spänen mit der Kalibrierlösung;
 - Mischen einer Kalibrierlösung mit einer Lösung, in der das zu untersuchende Material aufgelöst wurde.

4.4.1.7 Nachweisgrenze, Erkennungsgrenze und Vertrauensbereich

Die Nachweisgrenzen, die Erkennungsgrenzen und die Vertrauensbereiche für die Probenaktivitäten sind nach DIN 25482-5 zu berechnen.

Die Messwerte sind mit den Erkennungsgrenzen nuklidspezifisch zu vergleichen. Falls der jeweilige Messwert größer als die Erkennungsgrenze ist, wurde in der Probe Aktivität des betreffenden Nuklids gefunden.

Wird das Messergebnis der einzelnen Probe direkt mit den Freigabewerten verglichen, so ist die obere Grenze des vorgegebenen Vertrauensbereiches für den Vergleich heranzuziehen.

4.4.2 In-situ-Gammaspektrometrie

4.4.2.1 Allgemeines

Unter der In-situ-Gammaspektrometrie ist die nuklidspezifische Direktmessung der vom Messgut emittierten Photonenstrahlung zu verstehen. Den Vorteilen

- einer schnellen Freigabeentscheidung mittels einer Direktmessung und damit
- einer uneingeschränkten Reproduzierbarkeit der erzielten Ergebnisse (zerstörungsfreie Prüfung),
- einer möglichen Erfassung von eingedrungener oder überdeckter Aktivität,
- einer hohen Repräsentativität der erzielten Messergebnisse

stehen als Nachteile

- längere Messzeiten verglichen mit zählenden Messverfahren (z. B. Freimessanlagen, Kontaminationsmonitor) an großvolumigen Messgütern,
- und eine aufwendige Abschätzung systematischer Messunsicherheiten (siehe 4.1) gegenüber.

Der verwendete Detektor wird gegen Einstrahlung von der Seite und von hinten abgeschirmt, um den Sichtbereich der Messeinrichtung (siehe auch DIN 25462) festlegen zu können (kollimierte In-situ-Gammaspektrometrie). Unter für die Freigabe geeigneten Randbedingungen werden auch Detektoren ohne zusätzliche Abschirmung eingesetzt (unkollimierte In-situ-Gammaspektrometrie, siehe z. B. DIN 25457-7).

ANMERKUNG 1 Die In-situ-Gammaspektrometrie kann auch unterstützend bei der Charakterisierung des Nuklidgemisches und seiner räumlichen Verteilung eingesetzt werden.

ANMERKUNG 2 Die folgenden normativen Festlegungen können sinngemäß auch für Fassscanner angewendet werden

4.4.2.2 Anwendungsbereich

Die In-situ-Gammaspektrometrie kann bei der Freigabe von radioaktiven Stoffen zur Bestätigung der Einhaltung von massen- und flächenbezogenen Freigabewerten eingesetzt werden. Der Nachweis der Einhaltung flächenbezogener Freigabewerte bei einer Mittelungsfläche von 1 000 cm² sollte mit anderen Messverfahren erfolgen. Bei Mittelungsflächen von 1 m² oder mehr und insbesondere bei eingedrungener Aktivität wie dies bei der Freigabe von Gebäudestrukturen und Bodenflächen im Allgemeinen der Fall ist, stellt die In-situ-Gammaspektrometrie das vorteilhaftere Freigabemessverfahren dar.

Die Praxis zeigt, dass bei fast allen bei der Stilllegung kerntechnischer Anlagen auftretenden Radionuklidgemischen und den Freigabewerten nach StrlSchV spektrometrische Direktmessverfahren zur Bestätigung der Einhaltung der Kriterien aller Freigabepfade eingesetzt werden können.

Bei der Freigabemessung von radioaktiven Stoffen in Fässern oder sonstigen Gebinden (Volumenquellen) sind bei geringer spezifischer Aktivität natürlicher Radionuklide im Messgut und einem hohen Anteil von intensitätsstarken Gammastrahlern im Radionuklidgemisch zählende Messverfahren (z. B. Freimessanlagen) gegenüber dem spektrometrischen Messverfahren in Bezug auf die Messzeiten im Vorteil.

Mit ansteigendem oder stark schwankendem Anteil natürlicher Radionuklide im Messgut und/oder abnehmendem Anteil von Photonenstrahlern im Radionuklidgemisch können zählende Messverfahren den Messeffekt nicht mehr vom Nulleffekt diskriminieren. In diesen Fällen sind spektrometrische Verfahren im Vorteil. Deren Einsatzbereich endet bei unökonomisch langen Messzeiten.