

DIN ISO 8769
(VDE 0412-8769)
DIN

Diese Norm ist zugleich eine **VDE-Bestimmung** im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.

VDE

ICS 17.240

Einsprüche bis 2019-04-08
 Vorgesehen als Ersatz für
DIN ISO 8769
(VDE 0412-8769):2016-08;
 Ersatz für
 E DIN EN ISO 8769
 (VDE 0412-8769):2018-12

Entwurf

Referenzstrahler –
Kalibrierung von Oberflächenkontaminationsmonitoren –
Alpha-, Beta- und Photonenquellen
(ISO/DIS 8769:2018);
Text Deutsch und Englisch

Reference sources –
 Calibration of surface contamination monitors –
 Alpha-, beta- and photon emitters
 (ISO/DIS 8769:2018);
 Text in German and English

Sources de référence –
 Étalonnage des contrôleurs de contamination de surface –
 Émetteurs alpha, bêta et photoniques
 (ISO/DIS 8769:2018);
 Texte en allemand et anglais

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2019-02-08 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

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

Gesamtumfang 36 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE
 DIN-Normenausschuss Radiologie (NAR)

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist

Inhalt

Seite

Nationales Vorwort.....	3
Vorwort.....	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Rückverfolgbarkeit von Referenzstrahlern	7
5 Spezifikation von Referenzstrahlern.....	8
5.1 Allgemeines	8
5.2 Referenzstrahler der Klasse 1	9
5.2.1 Allgemeine Anforderungen.....	9
5.2.2 Aktivität und Oberflächenemissionsrate.....	10
5.2.3 Gleichförmigkeit.....	11
5.2.4 Radionuklide.....	11
5.3 Referenzstrahler der Klasse 2	13
5.3.1 Allgemeine Anforderungen.....	13
5.3.2 Aktivität und Oberflächenemissionsrate.....	13
5.3.3 Gleichförmigkeit.....	13
5.3.4 Radionuklide.....	13
5.4 Arbeitsquellen.....	13
5.4.1 Allgemeine Anforderungen.....	13
5.4.2 Aktivität und Oberflächenemissionsrate.....	14
5.4.3 Gleichförmigkeit.....	14
5.4.4 Radionuklide.....	14
6 Referenz-Transfermessgeräte	14
6.1 Referenz-Transfermessgerät für Alpha- und Betastrahler	14
6.2 Referenz-Transfermessgerät für Photonenstrahler.....	14
6.3 Kalibrierung	15
Anhang A (informativ) Besondere Erwägungen für Referenzstrahler, die Elektronen mit Teilchen- energien kleiner als 0,15 MeV und Photonen mit Energien kleiner als 1,5 MeV emittieren	16
Literaturhinweise.....	18
Tabellen	
Tabelle 1 – Eigenschaften und zusätzliche Filterung von Quellen, die Photonenstrahlung emittieren.....	9
Tabelle 2 – Radionuklide für Alphastrahlung emittierende Quellen	12
Tabelle 3 – Radionuklide für Betastrahlung emittierende Quellen	12
Bilder	
Bild 1 – Querschnitt eines Referenzstrahlers mit seinem Filter.....	7

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument ISO/DIS 8769:2018 „Reference sources – Calibration of surface contamination monitors – Alpha-, beta- and photon emitters“ (DIS, en: Draft International Standard) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des DIS entsprechend der diesbezüglich durch die ISO erteilten Erlaubnis beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen ISO-Text.

Das internationale Dokument wurde vom TC 85/SC 2 „Radiological protection“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme und Abstimmung vorgelegt. Es wird jedoch nicht zeitgleich (parallel) bei ISO und CEN zur Umfrage gestellt. Derzeit ist also nicht vorgesehen, dieses Dokument als Europäische Norm zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS (en: Final Draft International Standard) nur 6 Wochen beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der DIS als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit noch vor der Abstimmung berücksichtigen zu können.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium GK 851 „Aktivitätsmessgeräte für den Strahlenschutz“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Änderungen

Gegenüber **DIN ISO 8769 (VDE 0412-8769):2016-08** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Berücksichtigung der durch ein ISO-Corrigendum vorgesehenen Änderungen in [3.7](#), [5.2.3](#) und [5.3.3](#).

Vorwort

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

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Eine Erläuterung der Bedeutung ISO-spezifischer Benennungen und Ausdrücke, die sich auf Konformitätsbewertung beziehen, sowie Informationen über die Beachtung der Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) zu technischen Handelshemmnissen (TBT, en: Technical Barriers to Trade) durch ISO enthält der folgende Link: www.iso.org/foreword-supplementary-information.html.

Das für dieses Dokument verantwortliche Komitee ist ISO/TC 85 „Nuclear energy, nuclear technologies and radiological protection“, Unterkomitee SC 2 „Radiological protection“.

Diese vierte Ausgabe ersetzt die dritte Ausgabe (ISO 8769:2016), die technisch überarbeitet wurde.

Einleitung

Radioaktive Kontamination von Oberflächen kann durch Vergießen, Verspritzen oder durch Leckage von offenen Quellen entstehen oder durch Aufbrechen oder Verlust der Unversehrtheit von umschlossenen Quellen und kann die folgenden gesundheitlichen Schäden verursachen:

- a) äußere Bestrahlung von Teilen des Körpers in der Nähe der kontaminierten Oberfläche;
- b) innere Bestrahlung durch Aufnahme von radioaktivem Material, das von der Oberfläche freigesetzt wird.

Die Notwendigkeit einer effektiven Überwachung von Oberflächenkontaminationen wurde schon vor langer Zeit erkannt, siehe Literaturhinweis [1]. Die Oberflächenkontamination wird in Einheiten der Aktivität je Flächeneinheit angegeben, derjenigen Größe, die üblicherweise verwendet wird, um „abgeleitete Grenzwerte“ (en: derived limits) anzugeben, das heißt Grenzwerte für die maximale Oberflächenkontamination. Diese Grenzwerte basieren auf Strahlenschutzabwägungen und wurden aus den Grenzwerten für die effektive Dosis oder die Aktivitätszufuhr abgeleitet, die von der Internationalen Kommission für Strahlenschutz (ICRP) empfohlen wurden, siehe Literaturhinweise [2] und [3]. Abgeleitete Grenzwerte sind in vielen nationalen und internationalen Regelwerken enthalten, die sich speziell auf die Überwachung von Oberflächenkontaminationen beziehen.

Das Erfordernis für das vorliegende Dokument entstand aus dem Bedarf für genormte Kalibrierstrahler in jenen Internationalen Normen, die die Kalibrierung von Oberflächenkontaminationsmonitoren behandeln.

Während sich Regelwerke auf die Oberflächenkontamination in Einheiten der Aktivität je Flächeneinheit beziehen, ist die Anzeige von Überwachungsmessgeräten direkt auf die Strahlung bezogen, die von der Oberfläche emittiert wird, und nicht auf die Aktivität, die auf oder innerhalb der Oberfläche enthalten ist. Aufgrund von Änderungen der Absorptions- und Streueigenschaften von realen Oberflächen kann im Allgemeinen nicht angenommen werden, dass es einen einfachen, bekannten Zusammenhang zwischen der Emissionsrate der Oberfläche und der Aktivität gibt. Daraus ergibt sich eine klare Notwendigkeit für Kalibrierstrahler, die vorzugsweise in Einheiten der Oberflächenemissionsrate wie auch der Aktivität spezifiziert sind. Die Art, wie diese Quellen verwendet werden, und die entsprechenden Kalibrierprotokolle variieren von Land zu Land [4].

Die Kalibrierung von Messgeräten in Einheiten der Aktivität für diejenigen Arten von Oberflächen, die üblicherweise in Überwachungssituationen vorgefunden werden, hängt von den folgenden Betrachtungen ab:

- zu überwachende Radionuklide und deren Verhältnis;
- ihre Arten und der Umfang ihrer Emissionen;
- Art der Oberfläche;
- Tiefe und Verteilungsprofile innerhalb der Oberfläche;
- spektrale Absorptionseigenschaften des Eintrittsfensters des Messgeräts;
- Abstand zwischen dem Eintrittsfenster des Messgeräts und der Oberfläche.

Die Ableitung geeigneter Kalibrierfaktoren in Einheiten der Aktivität ist daher ein höchst komplexer Vorgang, der außerhalb des Anwendungsbereichs des vorliegenden Dokuments liegt. Eine geeignete Anleitung für diesen Prozess wird in der Normenreihe ISO 7503 gegeben [5] [6] [7]. Jedoch ist eine Abschätzung der Aktivität der Kalibrierquelle für allgemeine Strahlenschutz Zwecke bei Handhabung, Dichtheitsprüfung, Abschirmung, Verpackung und Transport erforderlich. Dies ist eine grundlegende Aufgabe bezüglich aller radioaktiven Quellen, unabhängig von deren vorgesehener Verwendung, und wird daher im vorliegenden Dokument nicht explizit behandelt.

Die Rückverfolgbarkeit der Kalibrierstrahler auf Internationale oder nationale Normale wird durch ein System von Referenz-Transfermessgeräten sichergestellt.

Referenzstrahler – Kalibrierung von Oberflächenkontaminationsmonitoren – Alpha-, Beta- und Photonenquellen

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt, rückverfolgbar auf nationale Messnormale, Eigenschaften von Referenzstrahlern für radioaktive Oberflächenkontamination zum Zweck der Kalibrierung von Oberflächenkontaminationsmonitoren fest. Dieses Dokument gilt für Alpha-, Beta- und Photonenquellen mit maximalen Photonenenergien bis 1,5 MeV. Es beschreibt nicht die Verfahren für die Anwendung dieser Referenzstrahler für die Kalibrierung von Oberflächenkontaminationsmonitoren. Derartige Verfahren sind in IEC 60325 [8], IEC 62363 [9] und anderen Dokumenten festgelegt.

ANMERKUNG Da einige der vorgeschlagenen Photonenquellen Filter beinhalten, sind diese Quellen als Quellen von Photonenstrahlung mit einem bestimmten Energiebereich anzusehen und nicht als Quellen eines bestimmten Radionuklids. Zum Beispiel emittiert eine ^{241}Am -Quelle mit der empfohlenen Filterung aus der Oberfläche weder die Alphateilchen noch die charakteristische niederenergetische L-Schalen-Röntgenstrahlung, die mit dem Zerfall des Radionuklids verbunden sind. Sie wurde entwickelt, um eine Quelle zu erhalten, die Photonen mit einer mittleren Energie von angenähert 60 keV emittiert.

Dieses Dokument legt auch die für die Kalibrierung von Oberflächenkontaminationsmonitoren bevorzugten Bezugsstrahlungen fest. Diese Bezugsstrahlungen sind als geeignet charakterisierte große Flächenquellen realisiert und ohne Ausnahme in Einheiten der Oberflächenemissionsrate festgelegt, die auf nationale Normale rückverfolgbar ist.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 12749-2, *Nuclear energy, nuclear technologies, and radiological protection – Vocabulary – Part 2: Radiological protection*

ISO/IEC 17025, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*

IEC 60050-395, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 395: Nuclear instrumentation: Physical phenomena, basic concepts, instruments, systems, equipment and detectors*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 12749-2 und IEC 60050-395 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

3.1

Oberflächenemissionsrate

(en: surface emission rate)

<einer Quelle> Anzahl von Teilchen oder Photonen einer vorgegebenen Art oberhalb einer gegebenen Energie, die je Zeiteinheit aus der Stirnfläche der Quelle oder ihrem Austrittsfenster in eine massefreie Umgebung austreten

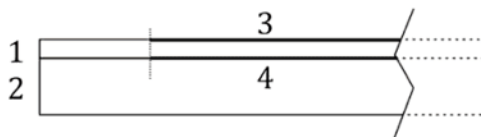
3.2

Stirnfläche

(en: face)

<einer Quelle> vertikale Projektion der nominellen aktiven Fläche auf die Vorderseite der Quelle

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 1.



Legende

- 1 Filter
- 2 Träger
- 3 Stirnfläche
- 4 nominelle aktive Fläche

Bild 1 – Querschnitt eines Referenzstrahlers mit seinem Filter

3.3

Sättigungsschichtdicke

(en: saturation layer thickness)

<einer Quelle, hergestellt aus einem homogenen radioaktiven Stoff> Dicke des Mediums entsprechend der maximalen Reichweite der angegebenen Teilchenstrahlung

3.4

Nachweiswahrscheinlichkeit

(en: instrument efficiency)

Quotient aus Netto-Anzeige (Zählimpulse je Zeiteinheit nach Subtraktion des Untergrunds) durch Oberflächenemissionsrate der Quelle (emittierte Teilchen je Zeiteinheit) in einer in Bezug auf die Quelle festgelegten Geometrie

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Nachweiswahrscheinlichkeit hängt von der Energie der emittierten Strahlung, der Fläche der Quelle und der Fläche des Eintrittsfensters des Detektors ab.

3.5

Selbstabsorption

(en: self-absorption)

<einer Quelle> Absorption von Strahlung, die innerhalb des Materials der Quelle selbst stattfindet

3.6

Unsicherheit

(en: uncertainty)

Standardunsicherheit ($k = 1$), sofern nichts anderes angegeben ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Behandlung von Unsicherheiten erfolgt nach ISO/IEC Guide 98-3 [10].

3.7

Gleichförmigkeit

(en: uniformity)

<einer Oberfläche in Bezug auf eine gegebene Eigenschaft> Angabe des Mangels einer Variation dieser Eigenschaft über die Oberfläche

4 Rückverfolgbarkeit von Referenzstrahlern

Das folgende Schema wird vorgeschlagen, um sicherzustellen, dass Arbeitsnormale, die im praktischen Einsatz für die Routinekalibrierung von Oberflächenkontaminationsmonitoren verwendet werden, über eine klar definierte Kette der Rückverfolgbarkeit unter Verwendung von Referenzstrahlern und Referenz-Transfermessgeräten auf nationale Messnormale bezogen werden müssen.

Referenzstrahler müssen von einer der beiden folgenden Arten sein:

- **Klasse 1:** Referenzstrahler, die von nationalen oder internationalen Metrologieinstituten direkt in Einheiten der Aktivität und der Oberflächenemissionsrate kalibriert wurden.
- **Klasse 2:** Referenzstrahler, die von einem nach ISO 17025 für derartige Messungen akkreditierten Laboratorium mit einem Referenz-Transfermessgerät in Einheiten der Oberflächenemissionsrate kalibriert wurden, dessen Nachweiswahrscheinlichkeit mit einem Referenzstrahler der Klasse 1 des gleichen Radionuklids und gleichem generellen Aufbau unter Verwendung der gleichen Geometrie kalibriert wurde.

Nationale Metrologieinstitute müssen nach ihrem Ermessen die Mittel bereitstellen, mittels derer Referenzstrahler der Klasse 1 eines angegebenen Bereichs der Radionuklide durch sie zertifiziert werden dürfen. Für diejenigen Staaten, die Unterzeichner des Übereinkommens zur gegenseitigen Anerkennung (MRA) (en: Mutual Recognition Arrangement) [11] sind, wird ein Zertifikat, das von einem anderen zugehörigen Institut in einem zweiten Staat ausgestellt wurde, im ersten Staat für diejenigen Größen, Bereiche und Messunsicherheiten, die im Anhang C des Literaturhinweises [11] festgelegt sind, als gültig anerkannt.

Die Aktivität und die Oberflächenemissionsrate von Referenzstrahlern der Klasse 1 muss gemessen werden, zum Beispiel unter Verwendung eines fensterlosen, gasdurchflossenen Proportionalzählers oder durch Verwendung eines Messgeräts, das unter Verwendung von Quellen kalibriert wurde, die absolut ausgemessen wurden. Kalibrierverfahren für die Bestimmung der Aktivität werden zum Beispiel in den Literaturhinweisen [12], [13], [14] und [15] behandelt.

Organisationen, für die ein Erfordernis zur Bauartprüfung und Kalibrierung von solchen Messgeräten besteht, die für die Überwachung von Oberflächenkontaminationen verwendet werden, müssen Zugriff auf geeignete Referenzstrahler der Klasse 1 oder der Klasse 2 haben. Der Zweck einer Arbeitsquelle (en: working source) besteht darin, die Kalibrierung eines Oberflächenkontaminationsmonitors vor Ort zu überprüfen; sie dürfen nicht mit Prüfquellen (en: check sources) verwechselt werden, die nur dazu dienen, zu prüfen, ob ein Monitor arbeitet.

Organisationen, für die ein Erfordernis zur Bereitstellung von Arbeitsquellen für die routinemäßige Bestätigung der Kalibrierung ihrer Oberflächenkontaminationsmonitore besteht, müssen Zugriff auf ein Referenz-Transfermessgerät haben, mit dem sie die Kalibrierung derartiger Quellen in Einheiten der Oberflächenemissionsrate gegen einen Referenzstrahler der Klasse 1 oder der Klasse 2 durchführen können. Sofern die Arbeitsquelle in einer Halterung oder in einer festgelegten Geometrie verwendet wird, muss das Referenz-Transfermessgerät, mit dem die Emissionsrate gemessen wird, unter Verwendung eines Referenzstrahlers unter identischen Bedingungen und gleicher Geometrie kalibriert sein; alternativ muss die Arbeitsquelle aus der Halterung entfernbar sein, so dass sie in üblicher Weise ausgemessen werden kann. Sofern nur wenige Monitore zu kalibrieren sind oder ein hohes Maß von Genauigkeit erforderlich ist, können Klasse 1- oder Klasse 2-Referenzstrahler als Arbeitsquellen verwendet werden. In diesen Fällen muss die Häufigkeit der Rekalibrierung derjenigen für Arbeitsquellen entsprechen. Nationale Regelungen können eine häufigere Kalibrierung fordern.

5 Spezifikation von Referenzstrahlern

5.1 Allgemeines

Es gibt die folgenden Arten von Referenzstrahlern.

- Quellen, die aus einem elektrisch leitfähigen Trägermaterial bestehen, auf dem ein festgelegtes Radionuklid dauerhaft nur einseitig fest aufgebracht oder in einer Seite enthalten ist; die Dicke des Trägermaterials muss ausreichen, um die Emission von Teilchenstrahlung durch den Träger zu verhindern.

oder

- Quellen, die aus einer Materialschicht bestehen, innerhalb der das Radionuklid gleichmäßig verteilt ist, und deren Dicke die Sättigungsschichtdicke der Teilchenstrahlung nicht überschreiten darf. Für Zwecke des vorliegenden Dokuments muss als Aktivität der Quelle diejenige Aktivität angesehen werden, die in einer Oberflächenschicht entsprechend der Sättigungsschichtdicke der Teilchenstrahlung enthalten ist.

Quellen, die Photonenstrahlung emittieren, müssen Filter in Übereinstimmung mit [Tabelle 1](#) beinhalten.

Um die Oberflächenemissionsrate direkt zu messen, ist ein Schwellenwert entsprechend der Mindestenergie einzustellen. Für Betazähler muss dieser so eingestellt werden, dass er einer Photonenenergie von 590 eV entspricht (das 0,1-Fache der Energie der K-Schalen-Röntgenstrahlung von Mn, das aus dem Zerfall von ⁵⁵Fe entsteht). Für Alphazähler sollte der Schwellenwert gerade oberhalb des elektronischen Rauschens des Systems eingestellt werden. Für Photonen-zähler muss der Schwellenwert so eingestellt werden, dass die Energielinie des Photons und das gesamte Compton-Kontinuum enthalten sind.

Bei Alpha- und niederenergetischen Betastrahlern kann die Selbstabsorption signifikant sein. Diese führt zu einer Abschwächung des Emissionsspektrums und kann die Messung mittels Transfermessgeräten beeinflussen, die mit Fenster ausgestattet sind.

Referenzstrahler müssen für den Verwendungszweck geeignet sein, und es liegt in der Verantwortung des Herstellers, die Reinheit des Radionuklids in dem Maße zu bestimmen und mitzuteilen, dass sichergestellt ist, dass die Verwendung der Quelle nicht durch Emissionen von Verunreinigungen beeinträchtigt wird. Es müssen mindestens alle Verunreinigungen des Radionuklids bestimmt und mitgeteilt werden, deren Aktivität größer oder gleich 1 % der Aktivität des Hauptradionuklids ist. Bei Quellen, die Verunreinigungen mit Radionukliden enthalten können, sollte der Anwender sorgfältig darauf achten, dass sich der relative Anteil der Verunreinigungen mit der Zeit ändern wird und einen signifikanten Einfluss auf die Emissionsrate der Quelle haben kann.

Tabelle 1 – Eigenschaften und zusätzliche Filterung von Quellen, die Photonenstrahlung emittieren

Angenäherte mittlere Photonenenergie ^a in keV	Radionuklid	Halbwertszeit	Filtermaterial ^b	Filterdicke
5,9	⁵⁵ Fe	$1,00 \times 10^3$	Keines	
16	²³⁸ Pu	$3,20 \times 10^4$	Zirkonium	0,05 mm 32,5 mg·cm ⁻²
32	¹²⁹ I	$5,88 \times 10^9$	Aluminium	0,3 mm 81 mg·cm ⁻²
60	²⁴¹ Am	$1,58 \times 10^5$	Edelstahl	0,25 mm 200 mg·cm ⁻²
124	⁵⁷ Co	272	Edelstahl	0,25 mm 200 mg·cm ⁻²
660	¹³⁷ Cs	$1,10 \times 10^4$	Edelstahl	1 mm 800 mg·cm ⁻²
250	⁶⁰ Co	$1,93 \times 10^3$	Aluminium	0,3 mm 81 mg·cm ⁻²
ANMERUNG 1 Dies sind Quellen von Photonen eines bestimmten Energiebereichs und nicht Quellen eines bestimmten Radionuklids.				
ANMERUNG 2 In den meisten Fällen emittiert ⁶⁰ Co zwei koinzidente Photonen mit einer Winkelbeziehung zwischen diesen. Große Sorgfalt muss angewandt werden, wenn die Kalibrierung auf andere Energien oder Nuklide übertragen werden soll.				
^a Die angenäherte mittlere Photonenenergie ist durch $(\sum n_i \times E_i) / \sum n_i$ gegeben, wobei n_i die Anzahl der von der Quelle mit der Energie E_i emittierten Photonen ist.				
^b Für das vorliegende Dokument hat Edelstahl die Zusammensetzung 72 % Fe, 18 % Cr, 10 % Ni.				

5.2 Referenzstrahler der Klasse 1

5.2.1 Allgemeine Anforderungen

Um die im vorliegenden Dokument festgelegten Anforderungen zu erfüllen, müssen Referenzstrahler der Klasse 1 ebene Quellen sein, die aus einem elektrisch leitfähigen Trägermaterial bestehen, auf das ein Radionuklid einseitig aufgebracht oder in einer Seite enthalten ist, so dass die Selbstabsorption in der Quelle minimiert wird und die Leitfähigkeit über die gesamte Stirnfläche erhalten bleibt. Die aktive Fläche muss min-

destens 10^4 mm^2 betragen, empfohlene Größen sind $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$, $100 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$, und $150 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$.

Es ist das Ziel, dass Referenzstrahler der Klasse 1 eine ideal „dünne“ Quelle (siehe IEC 60325) im Hinblick auf die Aktivität so weit wie praktischerweise möglich annähern. Es ist jedoch bekannt, dass für Alpha- und niederenergetische Betastrahler die Selbstabsorption signifikant sein kann. Der Erhalt der elektrischen Leitfähigkeit ist für ein fehlerfreies Arbeiten von fensterlosen Proportionalzählern erforderlich. Die Dicke des Trägermaterials sollte so sein, dass die Beiträge von Rückstreuung sowohl von Teilchen als auch von Photonen minimiert werden. Das empfohlene Trägermaterial ist Aluminium von 3 mm Dicke (diese Dicke ist ausreichend zur Vermeidung von Teilchenemission aus der Rückseite der Quelle, mit Ausnahme von $^{106}\text{Ru}/^{106}\text{Rh}$ -Quellen, für die eine Erhöhung der Dicke auf 4,6 mm erforderlich wäre). Die Dicke des Trägermaterials muss innerhalb von $\pm 10 \%$ mit dem zertifizierten Wert übereinstimmen. Das Trägermaterial sollte soweit über die aktive Fläche hinausragen, dass die Rückstreuung über die gesamte aktive Fläche gleichmäßig ist. Es wird empfohlen, dass das Trägermaterial mindestens 10 mm über die aktive Fläche der Quelle hinausragen sollte.

Photonenstrahlung emittierende Quellen müssen die in Tabelle 1 angegebene Filterung beinhalten. Das Filter sollte üblicherweise ein untrennbarer Teil der Quelle sein; es sollte nicht entfernbar sein. Der Zweck der Filter ist in Anhang A beschrieben. Die Fläche des Filters sollte so gewählt sein, dass sie mindestens 10 mm über die aktive Fläche der Quelle hinausragt. Die Dicke des Filters muss innerhalb von $\pm 10 \%$ mit dem in Tabelle 1 angegebenen Wert übereinstimmen.

Zu Quellen muss ein Kalibrierzertifikat mitgeliefert werden, das die folgenden Informationen enthält:

- a) Radionuklid;
ANMERKUNG Werte für die Halbwertszeit und weitere aktuelle Kerndaten können dem Literaturhinweis [16] entnommen werden.
- b) Identifikationsnummer der Quelle;
- c) Oberflächenemissionsrate und ihre Unsicherheit;
- d) Aktivität und ihre Unsicherheit;
- e) Verunreinigungen einer Aktivität von mindestens 1 % der Aktivität des Hauptradionuklids;
- e) Bezugsdatum [muss für c) und d) identisch sein];
- f) aktive Fläche, ihr Ort und ihre Größe;
- g) Art, Dicke, Dichte und Abmessungen des Substrats;
- h) Art, Dicke, Dichte und Abmessungen der Filter (sofern vorhanden);
- i) Gleichförmigkeit und ihre Unsicherheit (Tabelle der relativen Emissionsraten von allen einzelnen Teilen in Bezug auf Ort und Emissionsrate);
- j) Klasse der Quelle.

Hersteller dürfen sich entscheiden, zur Hilfe für den Anwender zusätzliche Informationen anzugeben, wie z. B. die Tiefe der aktiven Schicht. Auf der Quelle selbst müssen das Radionuklid und die Identifikationsnummer der Quelle angegeben werden.

5.2.2 Aktivität und Oberflächenemissionsrate

Die Aktivität von Referenzstrahlern der Klasse 1 der bevorzugten Größe sollte so sein, dass sich eine Oberflächenemissionsrate von etwa $2\,000 \text{ s}^{-1}$ bis $10\,000 \text{ s}^{-1}$ ergibt, um eine Optimierung hinsichtlich von Untergrund, statistischer Unsicherheit und Totzeitfehler zu ermöglichen. Die Aktivität muss mit einer relativen Unsicherheit angegeben werden, die 10 % nicht überschreitet. Die Oberflächenemissionsrate muss vom nationalen Metrologieinstitut mit einer Unsicherheit gemessen werden, die die folgenden Werte nicht überschreitet:

- a) 3 % für Alphastrahler;
- b) 3 % für Betastrahler mit einer Endpunktenergie größer als 150 keV;
- c) 5 % für Betastrahler mit einer Endpunktenergie kleiner als 150 keV;
- d) 10 % für Photonenstrahler.

Referenzstrahler der Klasse 1 sollten mit einer Häufigkeit von nicht weniger als einmal alle vier Jahre bezüglich Aktivität, Oberflächenemissionsrate und Gleichförmigkeit rekali­briert werden.

ANMERKUNG 1 Die Häufigkeit der Rekalibrierung eines Referenzstrahlers kann von Land zu Land unterschiedlich sein, abhängig von nationalen Regelungen.

ANMERKUNG 2 Die Gesamtaktivität der Quelle muss in Bezug zur Größe der Quelle gesetzt werden, wenn die Quellen für die Kalibrierung unterschiedlich großer Detektoren verwendet werden. Für die Quelle kann eine flächenbezogene Aktivität (je cm²) erforderlich sein, die für Detektoren mit einer Arbeitsfläche von 6,4 cm² ausreichend ist, wobei die Aktivität jedoch gering genug ist, dass ein Detektor mit einer Arbeitsfläche von 200 cm² nicht übersteuert.

5.2.3 Gleichförmigkeit

Die Gleichförmigkeit einer Quelle muss als 1 abzüglich der Standardabweichung der Oberflächenemissionsraten (σ_n) jeder einzelnen Teilfläche der gesamten Quelle, dividiert durch den Mittelwert dieser Emissionsraten (n), angegeben werden.

$$\left(1 - \frac{\sigma_n}{n}\right) \times 100(\%)$$

Die Gleichförmigkeit eines Referenzstrahlers der Klasse 1 abzüglich deren relative Standardunsicherheit muss größer als 90 % sein. Zum Zweck der Spezifizierung der Gleichförmigkeit einer Quelle in Bezug auf die Oberflächenemissionsrate je Flächeneinheit muss angenommen werden, dass die Quelle aus einer Anzahl von Teilen gleicher Fläche und Form besteht. Für rechteckige Quellen muss die Form der Teilflächen identisch mit der Form der aktiven Fläche der Quelle sein.

Die Fläche der Teilflächen muss 10 cm² oder weniger betragen. Für die empfohlenen Größen (siehe 5.2.1) muss die aktive Fläche eines Referenzstrahlers von 100 mm × 100 mm und 100 mm × 150 mm in 16 rechteckige Teilflächen aufgeteilt werden, und ein Referenzstrahler von 150 mm × 200 mm muss in 36 rechteckige Teilflächen aufgeteilt werden.

Die individuellen Emissionsraten müssen mit einer relativen Unsicherheit bestimmt werden, die mit der für die gesamte Quelle in 5.2.2 und 5.3.2 angegebenen im Einklang steht. Diese Unsicherheiten müssen bei der Berechnung der experimentellen Standardabweichung berücksichtigt werden, um bei der Bestimmung der Gleichförmigkeit deren resultierende Unsicherheit zu bestimmen (siehe Literaturhinweis [12]).

Die Gleichförmigkeit darf entweder durch Verwendung des „image plate“-Messverfahrens, eines ortsempfindlichen Messsystems, oder durch Einbringen einer Lochplatte zwischen Quelle und Detektor gemessen werden. Die Lochplatte muss eine Öffnung von geeigneter Größe haben und eine ausreichende Abschirmung des Detektors sicherstellen. Bei Verwendung einer Lochplatte sollte sorgfältig darauf geachtet werden, dass immer der selbe Teil des Detektors genutzt wird, um Effekte zu minimieren, die durch das möglicherweise ungleichmäßige Strahlungsansprechvermögen über die Oberfläche des Detektors verursacht werden. Bei den anderen Verfahren sollte darauf geachtet werden, dass Effekte durch das möglicherweise ungleichmäßige Strahlungsansprechvermögen über der Oberfläche des Detektors minimiert werden.

In Fällen, in denen das Detektorfenster kleiner ist als die aktive Fläche der Quelle, ist es möglich auf die Anforderung einer detaillierten Kenntnis der Gleichförmigkeit zu verzichten, indem die Emissionsrate des Teils der Quelle, dem das Detektorfenster ausgesetzt ist, auf integrale Weise beschrieben wird.

5.2.4 Radionuklide

Referenzstrahler der Klasse 1 sollten, sofern möglich, unter Verwendung aller Radionuklide hergestellt werden, die in Tabelle 1, Tabelle 2 und Tabelle 3 angegeben sind. Die Halbwertszeiten sind in diesen Tabellen nur der Information halber angegeben; die für die Kalibrierungen und Kalibrierzertifikate zu verwendenden Daten müssen dem Literaturhinweis [16] entnommen werden.

Tabelle 2 und Tabelle 3 enthalten die Kategorien „bevorzugt“ und „mögliche Alternative“. Die Wahl der bevorzugten Radionuklide erfolgte im Hinblick auf ihre allgemeine Verfügbarkeit, geeignet lange Halbwertszeiten, hohe spezifische Aktivität und der Fähigkeit zur Abdeckung des üblichen Energiebereichs, der in typischen