

Strahlenschutz
Einrichtungen für die in-vivo-Überwachung
(Ganz- und Teilkörperzähler)
Teil 1: Allgemeine Anforderungen und festinstallierte Systeme
(IEC 45B/270/CD:2000)

DIN
IEC 61582-1

Einsprüche bis 2001-04-30

ICS 17.240

Radiation protection - Equipment for in-vivo-monitoring
(whole and partial body counters) -
Part 1: General requirements and installed systems
(IEC 45B/270/CD:2000)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf 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 an die Deutsche Elektrotechnische Kommission im DIN und VDE (DKE), Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

Das internationale Schriftstück IEC 45B/270/CD:2000-06, "Radiation protection instrumentation - Equipment for in-vivo-monitoring - Part 1: General requirements and installed systems", ist unverändert in diesen deutschen Norm-Entwurf übernommen worden.

Nationales Vorwort

Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung des Internationalen Norm-Entwurfs [Committee Draft (CD)] IEC 45B/270/CD:2000-06 "Radiation protection instrumentation - Equipment for in-vivo-monitoring - Part 1: General requirements and installed systems". Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den mit aufgenommenen englischen IEC-Text.

Der Internationale Entwurf wurde vom SC 45B "Radiation protection instrumentation" der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und als CD herausgegeben. Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS nur 2 Monate beträgt, und zum FDIS 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 CD als Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit noch vor der Abstimmung berücksichtigen zu können.

Für den vorliegenden Norm-Entwurf ist das nationale Arbeitsgremium GUK 967.2 „Aktivitätsmessgeräte für den Strahlenschutz“ der Deutschen Elektrotechnischen Kommission im DIN und VDE (DKE) zuständig. Die von GUK 967.2 abgegebene Stellungnahme zum vorliegenden CD ist umseitig wiedergegeben.

Fortsetzung Seite 2 bis 46
und 54 Seiten IEC-Original

Deutsche Elektrotechnische Kommission im DIN und VDE (DKE)

Stellungnahmen zu diesem Norm-Entwurf werden in der deutschen Stellungnahme zum nachfolgenden internationalen Entwurf (CDV) berücksichtigt werden.

Von GUK 967.2 abgegebene Stellungnahme zum vorliegenden CD:

- *Numbering of clauses must be in accordance with ISO/IEC Directives. Renumber as follows:*
 - 1 - *Scope (now: 1.1)*
 - 2 - *Normative references (now: 1.2)*
 - 3 - *Definitions and units (now: 1.3)*
 - 4 - *Classification (now: 4.1)*
 - 5 - *General characteristics (now: 2 + 3)*
 - 6 - *Characteristics of equipment for low energy emitter measurement (now: 4.2)*
 - 7 - *Characteristics of equipment for high energy emitter measurement (now: 4.3)*
 - 8 - *Performance requirements and test procedures for low energy emitter measurement (now: 5)*
 - 9 - *Performance requirements and test procedures for high energy emitter measurement (now: 6)*
- *Zu 1.1: This clause ("scope") must be restricted on the definition of the scope. - Move all descriptive texts from 1.1 to a new clause "Introduction".*
- *Zu 1.2: This clause ("normative references") must list all documents referred to in the document. - Add IEC 60050-393, IEC 60050-394, IEC 60050-151, IEC 60278 and IEC 60357 as well as ICRP 60 and ICRP 61*
- *Zu 1.2 und 7.3: IEC 60278 has been replaced by IEC 61187. - Refer to the valid document IEC 61178:1993*
- *Zu 1.2 und 1.3: IEC 60357 is valid for "tungsten halogen lamps". - Check which document is really meant and correct number or delete*
- *Zu 1.3: We should restrict this clause to the specific definitions that are necessarily be defined in this document. For the other definitions we should refer to the relevant documents (e.g. IEC 60050-393 and IEC 60050-394). - Delete as many general definitions as possible in order to shorten this clause as much as possible. If it is really necessary to repeat a definition, we should repeat the wording of the basic document and indicate the document it is taken from.*
- *Zu 1.3.10: The factor "100" in the equation is misleading - furthermore the definitions and symbols should be unified and the same ones should be used in IEC documents (see IEC 60050-394).*
- *Zu 1.3.13 und 3.4: In accordance with basic ISO and IEC standards, for equations, we shall use symbols (as done in 1.3.3, 1.3.5, 1.3.10 and the second equation of 3.4), not abbreviations (e.g. as LLD and Eff are).*
- *Zu 1.3.14.1: The definition of "type test" should be in accordance with ISO/IEC Guide 2.*
- *Zu 7.2: If an equipment meets the requirements of this standard, this fact should be stated in the certificate. - add a further dash: - statement that this equipment is tested in accordance with this standard (IEC 61582-1:((date of publication)) and meets the requirements specified herein.*
- *Zu Tabelle 2 (Zeile EMV): Typing error in referencing the relevant sub-clause (there is no 5.4.12).*
- *Zu Tabelle 3 (Zeile 14): Typing errors in referencing the relevant sub-clauses (there is neither 5.4.15 nor 5.4.12)*
- *Zu Tabelle 5 (Zeile 14): Typing error in referencing the relevant sub-clause the first time (there is no 5.4.15).*
- *Zu Tabelle 6 (Zeile EMV): Typing error in referencing the relevant sub-clause the first time (there is no 5.4.15).*
- *Zu Anhang A: Heading: Is this Annex informative or normative ? The first paragraph may be the title.*

Nationaler Anhang NA (informativ) Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm oder andere Unterlage ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm oder anderen Unterlage.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm oder anderen Unterlage.

Der Zusammenhang der zitierten Normen und anderen Unterlagen mit den entsprechenden Deutschen Normen und anderen Unterlagen ist nachstehend wiedergegeben. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Norm oder anderen Unterlage waren die angegebenen Ausgaben gültig.

IEC hat 1997 die Benummerung der IEC-Publikationen geändert. Zu den bisher verwendeten Normnummern wird jeweils 60000 addiert. So ist zum Beispiel aus IEC 68 nun IEC 60068 geworden.

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
EN 61000-4-2:1995 EN 61000-4-2/A1: 1998	IEC 61000-4-2:1995 A1:1998	DIN EN 61000-4-2 (VDE 0847 Teil 4-2):1996-03 DIN EN 61000-4-2/A1 (VDE 0847 Teil 4-2/A1):1998-10	VDE 0847 Teil 4-2 VDE 0847 Teil 4-2/A1
EN 61000-4-3:1996 EN 61000-4-3/A1: 1998	IEC 61000-4-3:1995 A1:1998	DIN EN 61000-4-3 (VDE 0847 Teil 4-3):1997-08	VDE 0847 Teil 4-3
EN 61000-4-5:1995	IEC 61000-4-5:1995	DIN EN 61000-4-5 (VDE 0847 Teil 4-5):1996-09	VDE 0847 Teil 4-5
EN 61000-4-8:1993	IEC 61000-4-8:1993	DIN EN 61000-4-8 (VDE 0847 Teil 4-8):1994-05	VDE 0847 Teil 4-8
EN 61000-4-12:1995	IEC 61000-4-12:1995	DIN EN 61000-4-12 (VDE 0847 Teil 4-12):1996-03	VDE 0847 Teil 4-12
–	IEC 61276:xxxx	–	–
–	ISO 11929-1:2000	–	–
–	ICRP 68 and 75	–	–
–	Annals of the ICRP 38	–	–

Nationaler Anhang NB
(informativ)
Literaturhinweise

DIN EN 61000-4-2 (VDE 0847 Teil 4-2), *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4: Prüf- und Meßverfahren; Hauptabschnitt 2: Prüfung der Störfestigkeit gegen die Entladung statischer Elektrizität; EMV-Grundnorm (IEC 61000-4-2:1995); Deutsche Fassung EN 61000-4-2:1995*

DIN EN 61000-4-2/A1 (VDE 0847 Teil 4-2/A1), *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4-2: Prüf- und Meßverfahren; Störfestigkeit gegen die Entladung statischer Elektrizität; Änderung A1 (IEC 61000-4-2:1995/A1:1998); Deutsche Fassung EN 61000-4-2:1995/A1:1998*

DIN EN 61000-4-3 (VDE 0847 Teil 4-3), *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4-3: Prüf- und Meßverfahren; Prüfung der Störfestigkeit gegen hochfrequente elektromagnetische Felder (IEC 61000-4-3:1995 + A1:1998); Deutsche Fassung EN 61000-4-3:1996 + A1:1998*

DIN EN 61000-4-5 (VDE 0847 Teil 4-5), *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4: Prüf- und Meßverfahren; Hauptabschnitt 5: Prüfung der Störfestigkeit gegen Stoßspannungen (IEC 61000-4-5:1995); Deutsche Fassung EN 61000-4-5:1995*

DIN EN 61000-4-8 (VDE 0847 Teil 4-8), *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4: Prüf- und Meßverfahren; Hauptabschnitt 8: Prüfung der Störfestigkeit gegen Magnetfelder mit energietechnischen Frequenzen; EMV-Grundnorm (IEC 61000-4-8:1993); Deutsche Fassung EN 61000-4-8:1993*

DIN EN 61000-4-12 (VDE 0847 Teil 4-12), *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4: Prüf- und Meßverfahren; Hauptabschnitt 12: Prüfung der Störfestigkeit gegen gedämpfte Schwingungen; EMV-Grundnorm (IEC 61000-4-12:1995); Deutsche Fassung EN 61000-4-12:1995*

Deutsche Übersetzung

Strahlenschutz-Instrumentierung
Einrichtungen für die in-vivo-Überwachung
Teil 1: Allgemeine Anforderungen und festinstallierte Systeme

	Inhalt	Seite
1	Allgemeines	8
1.1	Anwendungsbereich.....	8
1.2	Normative Verweisungen	8
1.3	Begriffe.....	9
1.4	Einheiten.....	11
2	Allgemeine Merkmale	11
2.1	Allgemeine Beschreibung des Messgeräts	11
2.1.1	Detektoranordnung	12
2.1.2	Messanordnung	12
2.1.3	Zusatzeinrichtung.....	12
2.1.4	Einfache Handhabung.....	12
2.1.5	Einfache Dekontamination.....	12
2.1.6	Größe der Person	12
2.2	Messverfahren	13
3	Spezifikation	13
3.1	Energiebereich.....	13
3.2	Untergrund.....	13
3.3	Messbereich	13
3.4	Untere Nachweisgrenze	13
4	Klassifikation und Merkmale.....	14
4.1	Klassifikation.....	14
4.1.1	Klassifikation.....	14
4.1.2	Energiebereichsklassifikation Typ 1	14
4.1.3	Spezifität der Messungen.....	14
4.2	Merkmale der Einrichtung zur Messung von Emittlern mit niedriger Energie.....	15
4.2.1	Kleinste nachweisbare Aktivität	15
4.2.2	Messbereiche.....	15
4.2.3	Energieauflösung	15
4.2.4	Integrale Nichtlinearität	15
4.2.5	Natürlicher Untergrund	16
4.2.6	Referenz-Strahlungsansprechvermögen.....	16
4.3	Merkmale der Einrichtung zur Messung von Emittlern mit hoher Energie	16
4.3.1	Kleinste nachweisbare Aktivität	16
4.3.2	Messbereiche.....	16
4.3.3	Energieauflösung	16

4.3.4	Integrale Nichtlinearität	17
4.3.5	Natürlicher Untergrund	17
4.3.6	Referenz-Strahlungsansprechvermögen	17
4.3.7	Höchste messbare Aktivität	17
4.3.8	Anlaufzeit	17
4.3.9	Messzeit	17
5	Leistungsmerkmale und Prüfverfahren für die Messung von Emitttern mit niedriger Energie	18
5.1	Allgemeine Prüfverfahren	18
5.1.1	Art der Prüfungen	18
5.1.2	Prüfungen unter Referenzbedingungen	18
5.1.3	Prüfungen mit Veränderung der Einflussgrößen	18
5.2	Statistische Schwankungen	18
5.3	Referenzphantome und -quellen	18
5.3.1	Primäre Phantome	19
5.3.2	Sekundäre Phantome (radioaktive Quellen)	19
5.3.3	Phantome für den Untergrund	19
5.4	Merkmale bezüglich der Strahlung	19
5.4.1	Relative Eigenabweichung	19
5.4.2	Linearität	19
5.4.3	Ermittlung des Energiebereiches	20
5.4.4	Ermittlung des Fehlers der integralen Nichtlinearität (INL)	20
5.4.5	Ermittlung der Nachweiswahrscheinlichkeit für die 59,5 keV-Gammastrahlung des Americium-241	21
5.4.6	Untergrund	22
5.4.7	Ergebnisse der Messungen	22
5.4.7	Ermittlung der unteren Nachweisgrenze	22
5.4.8	Ermittlung der maximalen Zählrate	22
5.4.9	Ermittlung der Stabilität	23
5.4.10	Messung der Energieauflösung	24
5.4.11	Elektromagnetische Verträglichkeit	25
5.5	Leistungsmerkmale bezüglich der Umgebungsbedingungen	26
5.5.1	Umgebungstemperatur	26
5.5.2	Relative Luftfeuchte	27
5.5.3	Magnetische Felder	27
5.5.4	Luftdruck	27
6	Leistungsmerkmale und Prüfverfahren für Messung von Emitttern mit hoher Energie	27
6.1	Allgemeine Prüfverfahren	27
6.6.1	Art der Prüfungen	27
6.1.2	Prüfungen unter Standardprüfbedingungen	28
6.1.3	Prüfungen mit Veränderung der Einflussgrößen	28

6.2	Statistische Schwankungen.....	28
6.3	Referenzphantome und -quellen	28
6.3.1	Primäre Phantome	28
6.3.2	Sekundäre Phantome (radioaktive Quellen)	28
6.3.3	Phantome für den Untergrund	29
6.4	Merkmale bezüglich der Strahlung	29
6.4.1	Relative Eigenabweichung	29
6.4.2	Linearität.....	29
6.4.3	Ansprechvermögen auf andere Radionuklide	30
6.4.4	Ermittlung des Energiebereiches.....	30
6.4.5	Ermittlung des Fehlers der integralen Nichtlinearität (INL).....	30
6.4.6	Ermittlung der Nachweiswahrscheinlichkeit für die 661,7 keV-Gammastrahlung des Cäsium-137	31
6.4.7	Ermittlung der Nachweiswahrscheinlichkeit für Iod-131	32
6.4.8	Ermittlung der Nachweiswahrscheinlichkeit für Cobalt-60.....	32
6.4.9	Untergrund.....	33
6.4.10	Ermittlung der unteren Nachweisgrenze	33
6.4.11	Ermittlung der maximalen Zählrate	33
6.4.12	Ermittlung der Stabilität	34
6.4.13	Messung der Energieauflösung	35
6.4.14	Elektromagnetische Verträglichkeit	36
6.4.15	Radiofrequenzen (RF).....	36
6.4.16	Störfestigkeit gegenüber Spannungsstößen	36
6.4.17	Störfestigkeit gegen leitungsgeführte Störungen	37
6.4.18	Magnetische Felder.....	37
6.5	Leistungsmerkmale bezüglich der Umgebungsbedingungen.....	37
6.5.1	Umgebungstemperatur.....	37
6.5.2	Relative Luftfeuchte	38
6.5.3	Magnetische Felder.....	39
6.5.4	Luftdruck.....	39
7	Begleitpapiere	39
7.1	Typprüfbericht.....	39
7.2	Zertifikat.....	39
7.3	Bedienungsanleitung und Wartungshandbuch.....	39
	 Tabelle 1 - Referenz- und Standardprüfbedingungen	 40
	Tabelle 2 - In-vivo-Zählung mit Szintillationsdetektoren für niedrige Energie	41
	Tabelle 3 - In-vivo-Zählung mit Germanium-Halbleiterdetektoren für niedrige Energie.....	42
	Tabelle 4 - In-vivo-Zählung mit Szintillationsdetektoren für hohe Energien	43
	Tabelle 5 - In-vivo-Zählung mit Germanium-Halbleiterdetektoren für hohe Energien	44
	Tabelle 6 - In-vivo-Zählung für hohe Energien ohne spektrale Auflösung	45

Anhang A - Anleitung für die Anzahl der erforderlichen unabhängigen Ablesungen zur Erkennung des wahren Unterschiedes zwischen Ablesungssätzen.....	46
---	----

1 Allgemeines

1.1 Anwendungsbereich

Zweck dieser Norm ist die Festlegung der Klassifikation, der allgemeinen Anforderungen an die Auslegung, der Leistungsmerkmale und Prüfverfahren für Ganzkörperzähler und andere in-vivo-Zählersysteme, mit denen Spuren Mengen von Radionukliden in den Körpern von Personen detektiert werden sollen, die in Kernkraftwerken sowie in mit Radionukliden umgehenden Laboratorien und Anlagen arbeiten oder als Bewohner in Gebieten leben, die durch entweder natürlich vorkommende oder künstliche Radionuklide kontaminiert sein können.

Diese Norm ist anwendbar sowohl auf Einrichtungen mit spektroskopischen Fähigkeiten wie auch auf Messgeräte, die nur der schnellen Überprüfung der gesamten internen Kontamination dienen.

Diese Norm ist anwendbar sowohl auf Messgeräte für die Überwachung kritischer Organe (wie z. B. Lunge, Schilddrüse, usw.) als auch auf Messgeräte für die Ganzkörperüberwachung.

Diese Norm gilt für Einrichtungen zur Messung der Aktivität Gammastrahlung emittierender Radionuklide im Menschen und für die Ermittlung der Folge-Äquivalentdosis durch interne Kontamination nach den Empfehlungen der ICRP 60 und 61.

Die Anforderungen dieser Norm sind anwendbar auf fest installierte Apparate, auf in Fahrzeugen montierte Einrichtungen und auf tragbare Messgeräte. Teil 2 dieser Norm legt jedoch die zusätzlichen mechanischen und umweltbezogenen Leistungsmerkmale und Prüfungen fest, die für transportable und tragbare Geräte zusätzlich gefordert werden. Die allgemeinen und radiologischen Anforderungen für alle Typen von in-vivo-Zählern sind in diesem Teil des Standards enthalten.

Abhängig vom Gerätetyp und dem zu untersuchenden Organ kann die Messgeometrie erfordern, dass die dem Überwachungsverfahren unterzogene Person steht, sitzt oder liegt.

Messungen müssen einfach ausgeführt werden können und müssen unter Berücksichtigung der geforderten Empfindlichkeit so schnell wie möglich durchführbar sein, so dass eine große Anzahl von Beschäftigten oder eine allgemeine Bevölkerung effizient erfassbar sind. Es müssen Vorrichtungen vorhanden sein, um die Ergebnisse in Dateien einzugeben.

Die Detektoranordnung besteht aus einem oder mehreren Strahlungsdetektoren. Üblicherweise sind dies abgeschirmte Szintillations- oder Halbleiterdetektoren. Falls eine Ortsidentifikation der Kontamination gefordert ist, können die Detektoren kollimiert sein.

Die Messanordnung enthält Funktionseinheiten zur Verarbeitung der Signale aus der Detektoranordnung und Einheiten zur Anzeige der gemessenen Aktivität.

Für die Messung der Körpermasse kann eine eingebaute Waage dienen.

Die Messgeräte müssen mit Hilfe von Phantomen kalibriert werden, die den menschlichen Körper oder, wenn anwendbar, einzelne menschliche Organe simulieren.

Diese Norm legt die allgemeinen Typen, die spezifischen Merkmale der Messung, die hauptsächlichlichen Prüfverfahren, die elektrischen und mechanischen Merkmale von Ganzkörperzählern und die Anforderungen bezüglich der Untergrundstrahlung in der Umgebung fest.

Diese Einrichtungen dienen nicht der Ermittlung der externen Kontamination des menschlichen Körpers oder der Kleidung der Beschäftigten.

Diese Norm gilt nicht für Einrichtungen wie Strahlungsdetektoren, die in den menschlichen Körper eingeführt werden können.

1.2 Normative Verweisungen

Die folgenden normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in diesem Text Bestandteil dieser Internationalen Norm sind. Bei datierten Verweisungen gelten spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nicht. Anwender dieser Internationalen Norm werden jedoch gebeten, die Möglichkeit zu prüfen, die jeweils neuesten Ausgaben der nachfolgend angegebenen normativen Dokumente zu verwenden.

mente anzuwenden. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen normativen Dokuments. Mitglieder von ISO und IEC führen Verzeichnisse der gültigen Internationalen Normen.

IEC 6100-4-2: 1995, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measuring techniques – Section 2: Electrostatic discharge test*

IEC 6100-4-3: 1995, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measuring techniques – Section 3: Radiated, radiofrequency, electromagnetic field immunity test*

IEC 6100-4-5: 1995, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measuring techniques – Section 5: Surge immunity test*

IEC 6100-4-8: 1995, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measuring techniques – Section 8: Power frequency magnetic field immunity test*

IEC 6100-4-12: 1995, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measuring techniques – Section 12: Oscillatory waves immunity test*

IEC 61276 *Guidelines for selection of metrologically supported nuclear radiation spectrometry systems*

ISO 11929-1 *Determination of the lower limits of detection and decision for ionising radiation measurement*

ICRP 68 und 75

Annals of the ICRP Publication 38 RADIONUCLIDE TRANSFORMATIONS Energy and Intensity of Emissions. 1983

1.3 Begriffe

Die allgemeine Terminologie bezüglich des Nachweises und der Messung ionisierender Strahlung ist in IEC 60050-393 und IEC 60050-394 sowie in IEC 61276 festgelegt. Für die Zwecke dieser Norm gelten auch die Definitionen der ICRP 68 und 75:

1.3.1

konventionell wahrer Wert der Aktivität

[en: conventionally true value of activity]

Bester Schätzwert der Aktivität. Dieser Wert und seine Unsicherheit muss mit einem Primär- oder Sekundärnormal bestimmt werden oder mit einem Referenzmessgerät, das mit einer radioaktiven Sekundär- oder Primärquelle kalibriert wurde.

1.3.2

angezeigte (gemessene) Aktivität

[en: indicated (measured) activity]

Die von der zu prüfenden Messanordnung angezeigte Aktivität.

1.3.3

Variationskoeffizient

[en: coefficient of variation]

Verhältnis V des Schätzers der Standardabweichung S zum arithmetischen Mittelwert aus einer Reihe von n Messwerten x_i ist gegeben durch die Beziehung

$$V = \frac{s}{\bar{x}} = \frac{1}{\bar{x}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

1.3.4

Kalibrierung

[en: calibration]

Vorgang der Ermittlung der numerischen Beziehung zwischen der beobachteten Anzeige und dem Wert der zu messenden Größe.

1.3.5

Strahlungsansprechvermögen

[en: reference radiation response]

Ansprechvermögen (Empfindlichkeit) R_{ref} ist das Ansprechvermögen der Anordnung unter Standardprüfbedingungen (Tabelle 1) auf die Referenzaktivität. Sie ist angegeben als:

$$R_{ref} = \frac{I_p - I_b}{A_i}$$

Dabei ist

- I_{rp} die Anzeige aufgrund der konventionell wahren Aktivität der Referenzquelle und des Untergrundes
 I_b die aufgrund des Untergrundes allein
 A_t die konventionell wahre Aktivität der Referenzquelle

1.3.6

kleinste nachweisbare Aktivität

[en: minimum detectable activity]

Die nach ISO 11929 ermittelte Aktivität.

1.3.7

dynamischer Bereich

[en: dynamic range]

Verhältnis des größten messbaren Signals zu dem der kleinsten nachweisbaren Aktivität entsprechenden Signal.

1.3.8

Anzeigeabweichung

[en: error of indication]

Unterschied zwischen dem angezeigten Wert der Aktivität und dem konventionell wahren Wert der Aktivität am Messort.

1.3.9

relative Abweichung der Anzeige

[en: relative error of indication]

Verhältnis der Anzeige einer Messgröße zum konventionell wahren Wert dieser Größe, in Prozent.

1.3.10

relative Eigenabweichung

[en: intrinsic error]

Relative Abweichung der Anzeige eines Messgeräts bezüglich der Aktivität unter angegebenen Referenzbedingungen. Die relative Eigenabweichung ist durch die folgende Beziehung als Prozentsatz gegeben.

$$F = 100 \frac{A_i - A_t}{A_t}$$

Dabei ist A_i die angezeigte Aktivität und A_t die konventionell wahre Aktivität.

1.3.11

Messbereich

[en: effective range of measurement]

Wertebereich in dem das Messgerät die Anforderungen dieser Norm an die Leistungsmerkmale erfüllt.

1.3.12

Messzeit

[en: measurement time]

Zeitintervall zwischen dem Beginn der Messung und dem Erhalt der letzten Ablesung

1.3.13

Energieauflösung

[en: energy resolution]

Die Energieauflösung ist als Halbwertsbreite definiert.

Die Breite wird zwischen den zwei Punkten des Spektrums gemessen, die auf beiden Seiten des durch die interessierende Energie gegebenen Zentrums liegen und bei denen die Zählrate im Energiekanal halb so groß ist wie im Linienmaximum.

$$HWB = \frac{\text{Breite, als Energie (oder Kanalzahl) angegeben}}{\text{Energie (oder Kanalzahl) des Zentrums der interessierenden Energie}}$$

angegeben in Prozent.

ANMERKUNG Die Breite kann nichtsymmetrisch bezüglich des Zentrums sein.

1.3.14

Eignungsprüfungen

[en: qualification tests]

Eignungsprüfungen werden durchgeführt, um zu zeigen, dass die Anforderungen für eine Eigenschaft erfüllt sind. Die Eignungsprüfungen sind in Typprüfungen und Stückprüfungen unterteilt.

1.3.14.1

Typprüfung

[en: type test]

Prüfung, die üblicherweise an einem einzelnen Gerät oder mehreren Geräten jeder Bauart vorgenommen wird. Zweck einer Typprüfung ist, zu zeigen, dass die Auslegung bestimmte Anforderungen einzuhalten erlaubt (IEV 151-04-15).

1.3.14.2

Stückprüfung

[en: routine test]

Prüfung an jedem einzelnen Gerät während oder nach der Herstellung, um sicherzustellen, dass es vorgegebene Kriterien erfüllt.

1.3.14.3

Abnahmeprüfung

[en: acceptance test]

Eine vertragsmäßige Prüfung, die dem Kunden den Nachweis erbringt, dass das Gerät gewisse Bedingungen seiner Spezifikation einhält.

1.4 Einheiten

In dieser Norm werden die Einheiten des Internationalen Systems (SI)¹ verwendet. Die Definitionen der Strahlungsgrößen und dosimetrischen Begriffe sind in IEC 60050-393 und -394 gegeben. Die entsprechenden, neben dem SI verwendeten Einheiten, sind in Klammern angegeben.

1.4.1 Aktivität

Die SI-Einheit der Radioaktivität eines Materials ist das Becquerel (Symbol Bq).

1 Bq = 1 Kernübergang (Zerfall) in einer Sekunde = 1 Zerfall s⁻¹.

Die Größe hat die Einheit s⁻¹.

1.4.2 Äquivalentdosis

Die Äquivalentdosis H ist das Produkt aus D , Q und N am interessierenden Punkt in Gewebe. Dabei ist D die Energiedosis, Q der Qualitätsfaktor und N ein Produkt aus allen anderen modifizierenden Faktoren:

$$H = D \cdot Q \cdot N$$

Die SI-Einheit der Äquivalentdosis ist das Sievert (Symbol Sv) und 1 Sv = 1 J kg⁻¹.

1.4.3 Einheiten neben den SI

Die folgenden Einheiten werden zur einfachen Handhabung neben dem SI verwendet:

Für die Energie: Elektronenvolt (eV) 1 eV = 1,602 x 10⁻¹⁹ J

Für die Zeit: Jahr (y), Tag (d), Stunde (h), Minute (min).

2 Allgemeine Merkmale

2.1 Allgemeine Beschreibung des Messgeräts

Das Gerät zur Messung des Gehaltes an Radionukliden im menschlichen Körper kann aus folgenden Hauptbestandteilen bestehen:

- Überwachungseinrichtung für den Nachweis der Radioaktivität;
- Zusatzeinrichtungen.

Teile des Gerätes

Die Überwachungseinrichtung für den Nachweis von Radionukliden besteht aus den folgenden Teilen, die eine einzige mechanische Anordnung bilden können.

¹ Bureau International des Poids et Mesures: Le Système International d'Unités, CSI 4 Edition 1981

- Detektoranordnung;
- Messanordnung.

2.1.1 Detektoranordnung

Die Detektoranordnung kann aus den folgenden Einheiten bestehen:

- Detektor (Szintillationszähler oder Halbleiterdetektoren; letztere einschließlich Kyrostat);
- ein oder mehrere Vorverstärker;
- zusätzlicher Detektor (einer oder mehrere) für die Ermittlung der umgebenden Untergrundstrahlung und Kompensation der Messung gegenüber der umgebenden Untergrundstrahlung;
- stabilisierte Spannungsversorgung für die Detektoren;
- Kollimator(en);
- Abschirmung (Eisen, Blei, usw.);
- Raum, Sessel, Stuhl, Couch, Kammer (abhängig von der Messgeometrie).

2.1.2 Messanordnung

Die Messanordnung kann aus einigen oder allen der folgenden Einheiten bestehen:

- Messanordnung für einen oder mehrere Detektoren;
- Messanordnung für den Kompensationsschaltkreis der umgebenden Untergrundstrahlung;
- Eingang und Verarbeitung der Daten für die Probenmassen;
- Messeinheit – Spektrometer;
- Datenverarbeitungseinheit;
- stabilisierte Spannungsversorgung.

2.1.3 Zusatzeinrichtung

Die Zusatzeinrichtung kann aus folgenden Einheiten bestehen:

- Laufwerke für zusätzliche Aufzeichnung und Informationsspeicherung;
- Massen(Gewichts)bestimmungseinrichtungen;
- Phantome;
- radioaktive Spektrometriequelle(n).

2.1.4 Einfache Handhabung

Das Messgerät und die Einrichtung muss so ausgelegt sein, dass die Positionierung der Person in die richtige Messposition und das Entfernen aus dieser Stellung einfach ist.

2.1.5 Einfache Dekontamination

Der oder die Detektoren und andere Teile des Messgeräts und der Einrichtung müssen so ausgelegt sein, dass die Möglichkeit einer Kontamination minimiert ist und Dekontamination und Abbau möglichst einfach sind.

Dies gilt nicht in den Umständen, in denen die Risiken einer Kontamination ausgeschlossen sind.

2.1.6 Größe der Person

Die Einrichtung muss so ausgelegt sein, dass alle Personen mit Größen zwischen 145 cm und 200 cm und einer Abmessung zwischen vorne und hinten von 40 cm überwacht werden können..

Falls die Einrichtung für die Überwachung von Kindern ausgelegt ist, müssen die Grenzen der Maße der Kinder, für die diese besondere Einrichtung ausgelegt ist, vom Hersteller angegeben werden.

2.2 Messverfahren

Um das beste Leistungsverhalten zu erzielen, müssen Abschirmung für niedrigen Untergrund oder Kollimation der Detektoren in Kombination mit der besten Positionierung der Person angewandt werden, wobei diese davon abhängt, ob die Einrichtung ausgelegt ist für stehende, sitzende oder liegende Personen.

3 Spezifikation

3.1 Energiebereich

Wenn die Einrichtung aufgebaut ist, um spezifische Radionuklide zu messen, muss das Messgerät so eingestellt werden, dass die primäre Photonenemission des interessierenden Radionuklids gemessen wird. Es sollte möglich sein, entweder manuell oder automatisch Diskriminatorschwellen und Kanalbreiten zu verändern, so dass auch andere Radionuklide gemessen werden können.

Die Anzeige der eingestellten Schwellenwerte muss als Energiewerte erfolgen, die primäre nachgewiesene Photonenenergie und die gemessenen Radionuklide müssen angegeben werden.

3.2 Untergrund

Die angezeigte Untergrundstrahlung wird bedingt durch:

- Untergrundstrahlung aus der Umgebung;
- störende Radioaktivität in den Komponenten des Messgeräts oder der Einrichtung;
- Kontamination des Detektors und/oder des Sitzes usw.;
- Rauschen der Detektoranordnung;
- natürlich vorkommende interne Aktivität (^{40}K).

Da manche Messgeräte gegebenenfalls im Dauerbetrieb arbeiten, sollten regelmäßige Prüfungen auf Änderungen der Untergrundbedingungen gemacht werden. Untergrundprüfungen können automatisch ausgeführt werden. Falls Änderungen in den Einstellungen gemacht werden (für andere Nuklide) muss die Notwendigkeit einer Änderung in der Untergrundkompensation angezeigt werden, wo dies nicht automatisch erfolgt. Ebenfalls muss die Notwendigkeit, Informationen über den Untergrund zu sammeln angezeigt werden, wo die Untergrundkompensation nicht automatisch erfolgt. Es darf nicht möglich sein, derartige Einstellungen während der Messung der Kontamination einer Person zu ändern.

3.3 Messbereich

Der Messbereich darf nicht kleiner sein als drei Dekaden. Das Messgerät muss innerhalb der Anforderungen dieser Spezifikationen über den ganzen angezeigten Messbereich arbeiten.

3.4 Untere Nachweisgrenze

Zur Ermittlung der kleinsten nachweisbaren Zählrate sollte auf ISO 11929 Bezug genommen werden.

Für jede Messung kann die kleinste nachweisbare Aktivität aus der Beziehung

$$\frac{LLD}{Eff}$$

ermittelt werden, wobei Eff die Nachweiswahrscheinlichkeit für die Messung eines einzelnen Radionuklids in einem angegebenen Organ ist, und LLD die untere Entscheidungsgrenze ist, die als Zählrate angegeben ist. Sie ist gleich

$$\frac{1}{2t_0} \cdot k_{1-\alpha}^2 \left\{ 1 + \sqrt{1 + \frac{4R_b \cdot t_0}{k_{1-\alpha}^2} \left(1 - \frac{t_0}{t_b} \right)} \right\}.$$

Dabei ist

R_b	die Untergrundzählrate
t_0	die Messzeit
t_b	die Messzeit für den Untergrund
$k_{1-\alpha}^2$	die Quantilen der Standard-Normalverteilung

Um die Anforderungen dieser Norm einzuhalten, muss $k_{1-\alpha}$ den Wert 2,3 haben, d.h. hier besteht eine Wahrscheinlichkeit von 0,01 für eine Anzeige einer Aktivität, wenn tatsächlich keine vorhanden ist.

4 Klassifikation und Merkmale

4.1 Klassifikation

4.1.1 Klassifikation

Abhängig vom nachzuweisenden Elementtyp und dem Energiebereich können in-vivo-Überwachungseinrichtungen einfach klassifiziert werden, wobei zwei Überlegungen eine Rolle spielen:

- Energiebereich;
- die Spezifität der Messung.

Außerdem können Ganzkörperzähler und andere Typen von in-vivo-Überwachungseinrichtungen in vier Typen klassifiziert werden, abhängig von folgendem:

- Problem und zu lösende Aufgabe;
- Anzahl des Personals;
- Anzahl der zu überwachenden Personen;
- Art des nuklearen Unfalls (für Überwachung nach Unfall);
- örtliche Umgebung;
- Transportmethode für das System.

ANMERKUNG Da in-vivo-Zähler Gammaskpektrometer beinhalten, können ihre Merkmale einer der Gruppen in Tabellen 4 oder 5 von IEC 61276 entsprechen.

4.1.2 Energiebereichsklassifikation Typ 1

4.1.2.1 in-vivo-Überwachung (Bereich von 10 keV bis 200 keV) für niedrige Energien

Diese in-vivo-Zähler werden für die Überwachung von Emittlern mit niedriger Energie verwendet (hauptsächlich Aktiniden wie Pu, Am, U und Elektroneneinfang-Nuklide). Wegen deren geringen Verlagerung befinden sich diese Radionuklide üblicherweise in der Lunge, und Messungen werden vorzugsweise in diesem Organ gemacht. Messungen in anderen Organen können jedoch auch in Betracht kommen.

4.1.2.2 in-vivo-Überwachung (Bereich 100 keV bis 3 MeV) für hohe Energien

Diese in-vivo-Zähler werden für die Überwachung von Emittlern mit hoher Energie verwendet einschließlich der Messungen von Aktivierungs- und Spaltprodukten. Wegen ihrer schnellen Verlagerung werden Messungen üblicherweise am Ganzkörper gemacht. Messungen in Organen können jedoch auch in Betracht kommen.

4.1.3 Spezifität der Messungen

Diese hängt ab von der Anzahl des Personals, der Anzahl der zu überwachenden Personen, der Art des nuklearen Unfalls (für Überwachung nach Unfall), der örtlichen Umgebung und der Transportmethode der Überwachungseinrichtung an einen beliebigen Ort.

4.1.3.1 Typ 1 – Nuklidspezifisch, ortsspezifisch mit sehr niedrigem Untergrund

Diese in-vivo-Zähler sind genaue radiologische low-level-Überwachungseinrichtungen zur möglichst genauen und richtigen Messung der Radioaktivität. Sie sind üblicherweise in Atomenergie-Forschungseinrichtungen, Kernkraftwerken, Notfallbehandlungszentren, Universitäten und Krankenhäusern mit Forschungsaufgaben eingerichtet.

Die Detektoranordnungen, Antriebsmechanismen für die Bewegung der Detektoren sind in einem abgeschirmten Raum aufgebaut, wobei die Materialien zur Abdeckung der Wände und die in den Raum eintretende Luft (Radon) besondere Beachtung finden.

Datenverarbeitung- und -analyse-, Anzeige- und Datenspeicherungseinrichtungen vervollständigen die gesamte Überwachungseinrichtung.

4.1.3.2 Typ 2 – Nuklidspezifisch, ortsspezifisch mit niedrigen Untergrund

Diese in-vivo-Zähler werden verwendet für die Abschätzung der internen Exposition von Einzelpersonen und sind üblicherweise vorgesehen für Atomenergie-Forschungseinrichtungen, Kernkraftwerken, Notfallbehandlungszentren, usw.

Die Struktur dieses Typs von in-vivo-Zählern ist geeignet für die schnellere Überwachung von vielen Personen, eine Schatten-Abschirmungsanordnung (offene Anordnung die nur die Detektoren und ihr Zubehör abdeckt) ist einfacher als die Typ-1-Konstruktion und wird meist diese Anforderungen erfüllen.

4.1.3.3 Typ 3 – Nuklidspezifisch

Diese in-vivo-Zähler sind übliche Screening-Zähler für beruflich strahlenexponierte Personen und für das Massenscreening der allgemeinen Bevölkerung nach einem nuklearen Unfall. Dieses letztere Screening kann eine anfängliche Messung sein oder eine Folgemessung, um mögliche Änderungen der Bedingungen festzustellen.

Diese Einheiten sind verhältnismäßig einfach von einem Ort zu einem anderen zu bringen.

4.1.3.4 Typ 4 – Nicht nuklid- oder ortsspezifisch

Diese in-vivo-Zähler erfüllen eine ähnliche Funktion wie der Typ 3. Sie sind sehr ähnlich in der Auslegung, außer dass die Detektoren sehr groß sein können.

ANMERKUNG Wegen der Schwierigkeit der Messungen und der hohen Untergrund-Abhängigkeit erfordern Messungen bei niedrigen Energien Einrichtungen für niedrigen Untergrund. Dementsprechend sind Typ-3- und Typ-4-Einrichtungen nicht für diesen Energiebereich geeignet und werden im folgenden nicht weiter betrachtet.

4.2 Merkmale der Einrichtung zur Messung von Emittlern mit niedriger Energie

4.2.1 Kleinste nachweisbare Aktivität

Die kleinste nachweisbare Aktivität muss für jeden Typ der Messgeräte für angegebene Untergrund-Bedingungen und Überwachungszeiten für jedes interessierende Radionuklid ermittelt werden – siehe Unterabschnitt 3.4.

4.2.2 Messbereiche

Die Einrichtung sollte mindestens in der Lage sein, die folgenden Aktivitäten für ^{241}Am und ^{235}U zu messen, wobei der Untergrund in der Umgebung der Einrichtung gleich den in der Tabelle 1 angegebenen Referenzbedingungen ist. Diese Aktivitäten sind als Bq angegeben und beziehen sich auf einen 5 %-Vertrauensbereich ($\alpha = 0.05$ wie in ISO 11929 für die Nachweisgrenze angegeben).

	^{241}Am	^{235}U
In-vivo-Zähler des Typs 1	20	20
In-vivo-Zähler des Typs 2	40	20

4.2.3 Energieauflösung

Die Energieauflösung eines Messgeräts mit Szintillationsdetektor darf eine Halbwertsbreite von 25 keV für die 59,5 Gammalinie des ^{241}Am -Zerfalles nicht überschreiten. Sie muss vom Hersteller angegeben werden.

Die Energieauflösung eines Messgeräts mit Halbleiterdetektor sollte eine Halbwertsbreite von 1,5 keV für die 59,54 keV-Gammalinie des ^{241}Am -Zerfalles nicht überschreiten. Sie darf 2 keV für die 122,1-keV-Linie des ^{57}Co nicht überschreiten. Sie muss vom Hersteller angegeben werden.

ANMERKUNG Diese Auflösungen werden mit Spektrometriequellen frei im Raum erhalten, aber Spektren im normalen Betrieb werden durch Selbstabsorption und Streuung der Quanten im Gewebe verändert. Das Ausmaß der Veränderung hängt vom Ort des Radionuklids im Körper ab.

4.2.4 Integrale Nichtlinearität

Die zulässige Grenze des Konversionsansprechvermögens (integrale Nichtlinearität) bei Referenzbedingungen darf für Messgeräte mit Szintillationsdetektoren nicht größer sein als:

$$\pm 0,5 \%$$

Für in-vivo-Zähler der Typen 1 und 2

Die zulässige Grenze des Konversionsansprechvermögens (integrale Nichtlinearität) bei Referenzbedingungen darf für Messgeräte mit Halbleiterdetektoren nicht größer sein als:

$\pm 0,1 \%$	Für in-vivo-Zähler des Typs 1
$\pm 0,2 \%$	Für in-vivo-Zähler des Typs 2

4.2.5 Natürlicher Untergrund

Die gemessene Untergrund-Zählrate für die angegebenen Energiebereiche muss für einen natürlichen Untergrund definiert sein. Der Höhe des natürlichen Untergrunds muss angegeben werden.

Der Hersteller muss die bei einem natürlich vorkommenden Untergrund unter üblichen Betriebsbedingungen (mit einem nicht-radioaktiven Phantom) erhaltene Zählrate angeben. Für nuklidspezifische Zähler muss sich dies auf eine Reihe von spezifischen Energiebereichen beziehen. Der Hersteller muss die Äquivalentdosisleistung des Untergrunds angeben.

4.2.6 Referenz-Strahlungsansprechvermögen

Das Ansprechvermögen der Einrichtung muss für einzelne Radionuklide in Abhängigkeit vom interessierenden Organ ermittelt werden.

Oder:

Es muss so sein wie von ISO für Lungenzählung festgelegt (zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Schriftstückes existierte noch kein ISO-Schriftstück).

Oder:

Wie zwischen Hersteller und Käufer vereinbart, muss der Hersteller das verwendete Phantom angeben.

Für die Lungen muss das Ansprechvermögen auf die 59,5 keV-Linie des ^{241}Am mit einem gleichförmig kontaminierten Lungenphantom innerhalb eines Ganzkörperphantoms ohne Aktivität ermittelt werden.

4.3 Merkmale der Einrichtung zur Messung von Emittlern mit hoher Energie

4.3.1 Kleinste nachweisbare Aktivität

Die kleinste nachweisbare Aktivität muss für jeden Gerätetyp für angegebene Untergrund-Bedingungen und Überwachungszeiten für jedes Interessierende Radionuklid ermittelt werden – siehe 3.4.

4.3.2 Messbereiche

Die Einrichtung sollte mindestens in der Lage sein, die folgenden Aktivitäten für ^{60}Co und ^{137}Cs zu messen, wobei der Untergrund in der Umgebung der Einrichtung gleich den in der Tabelle 1 angegebenen Referenzbedingungen ist. Diese Aktivitäten sind als Bq angegeben und beziehen sich auf einen 1 %-Vertrauensbereich ($k_{1-\alpha} = 2.326$ wie in ISO 11929 für die Nachweisgrenze angegeben).

	^{60}Co	^{137}Cs
In-vivo-Zähler des Typs 1	20	40
In-vivo-Zähler des Typs 2	40	80
In-vivo-Zähler des Typs 3	200	400
In-vivo-Zähler des Typs 4	200	400

4.3.3 Energieauflösung

Diese Anforderung gilt nur für Einrichtungen zur Erzeugung von Energiespektren, und die in der Lage sein sollen, den Beitrag einzelner Radionuklide zur Gesamtaktivität festzustellen. Es ist keine Anforderung an Zählensysteme für die Gesamtaktivität, die in die Typ-4-Kategorie fallen.

Die Energieauflösung eines Messgeräts mit Szintillationsdetektor darf eine Halbwertsbreite von 9 % für die 661,7 keV-Gammalinie des ^{137}Cs -Zerfalles nicht überschreiten. Sie muss vom Hersteller angegeben werden.

Die Energieauflösung eines Messgeräts mit Germanium-Halbleiterdetektor sollte eine Halbwertsbreite von 2 keV für die 661,7 keV-Gammalinie des ^{137}Cs -Zerfalles nicht überschreiten. Sie darf 4,0 keV für die 1.332 MeV-Linie des ^{60}Co nicht überschreiten. Sie muss vom Hersteller angegeben werden.

Die Energieauflösung eines Messgeräts mit Germanium-Halbleiterdetektor mit einem aktiven Volumen zwischen 50 cm^3 und 100 cm^3 darf für die 1.332-MeV-Linie des ^{60}Co eine Halbwertsbreite von 3 % nicht überschreiten

ANMERKUNG Diese Auflösungen werden mit Spektrometriequellen frei im Raum erhalten, aber Spektren im normalen Betrieb werden durch Selbstabsorption und Streuung der Quanten im Gewebe verändert. Das Ausmaß der Veränderung hängt vom Ort des Radionuklids im Körper ab.

4.3.4 Integrale Nichtlinearität

Die zulässige Grenze des Konversionsansprechvermögens (integrale Nichtlinearität) bei Referenzbedingungen darf für Messgeräte mit Szintillationsdetektoren nicht größer sein als:

$\pm 0,5 \%$	Für in-vivo-Zähler der Typen 1 und 2
$\pm 1,0 \%$	Für in-vivo-Zähler des Typs 3

Die zulässige Grenze des Konversionsansprechvermögens (integrale Nichtlinearität) bei Referenzbedingungen darf für Messgeräte mit Germanium-Halbleiterdetektoren nicht größer sein als:

$\pm 0,1 \%$	Für in-vivo-Zähler des Typs 1
$\pm 0,2 \%$	Für in-vivo-Zähler des Typs 2
$\pm 0,3 \%$	Für in-vivo-Zähler des Typs 3

4.3.5 Natürlicher Untergrund

Die gemessene Untergrund-Zählrate für die angegebenen Energiebereiche muss für einen natürlichen äußeren Untergrund definiert sein. Der Höhe des natürlichen Untergrunds muss angegeben werden.

Der Hersteller muss die bei einem natürlich vorkommenden Untergrund unter üblichen Betriebsbedingungen (mit einem nicht-radioaktiven Phantom) erhaltene Zählrate angeben. Für nuklidspezifische Zähler muss sich dies auf eine Reihe von spezifischen Energiebereichen beziehen. Der Hersteller muss die Äquivalentdosisleistung des Untergrunds angeben.

4.3.6 Referenz-Strahlungsansprechvermögen

Das Ansprechvermögen der Einrichtung muss für einzelne Radionuklide in Abhängigkeit vom interessierenden Organ ermittelt werden.

Zum Beispiel:

Für das Ganzkörper-Ansprechvermögen auf die 661,7 keV-Gammalinie des ^{137}Cs muss diese mit einem gleichförmig kontaminierten Ganzkörperphantom ermittelt werden.

Oder:

Es muss so sein wie von ISO für Lungenzählung festgelegt (zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Schriftstückes existierte noch kein ISO-Schriftstück).

Oder:

Wie zwischen Hersteller und Käufer vereinbart, muss der Hersteller das verwendete Phantom angeben.

Falls die Zählung spezifisch ist für einzelne Organe oder Teile des Körpers, muss das verwendete Phantom zwischen Hersteller und Käufer vereinbart werden.

Für die Lungen muss das Ansprechvermögen auf die 1,332 MeV-Linie des ^{60}Co mit einem gleichförmig kontaminierten Lungenphantom innerhalb eines Ganzkörperphantoms ermittelt werden.

Für die Schilddrüse muss das Ansprechvermögen auf die 364,5 keV-Linie des ^{131}I mit einem gleichförmig kontaminierten Schilddrüsenphantom in einem nichtkontaminierten Halsphantom ermittelt werden.

4.3.7 Höchste messbare Aktivität

Für das Referenznuklid muss vom Hersteller die höchste messbare Aktivität so angegebenen werden, dass ein Fehler aufgrund der Totzeit im Zählsystem keinen größeren Messfehler als 10 % bewirkt.

4.3.8 Anlaufzeit

Die Anlaufzeit muss vom Hersteller angegeben werden.

4.3.9 Messzeit

Um den oben in 4.1.2.1 festgelegten Messbereich zu erreichen, darf die Messung für Typ 1 und Typ 2 nicht länger als 30 min und für Typ 3 und Typ 4 nicht länger als 5 min dauern. Dies schließt nicht die Fähigkeit aus, über längere Zeitperioden zu messen.

5 Leistungsmerkmale und Prüfverfahren für die Messung von Emittlern mit niedriger Energie

5.1 Allgemeine Prüfverfahren

5.1.1 Art der Prüfungen

Alle Prüfungen in diesem Schriftstück sind als Typprüfungen anzusehen außer den in 5.4.2.2b beschriebenen Stückprüfungen. Jedoch können einzelne oder auch alle Prüfungen durch Vereinbarung zwischen Hersteller und Käufer als Abnahmeprüfung behandelt werden. Die angegebenen Anforderungen sind Mindestanforderungen und können auf besondere Messgeräte und Funktionen ausgedehnt werden.

Viele der Prüfverfahren sind denen für Gammaskpektrometer (siehe IEC 61276) ähnlich.

Referenz- und Standardprüfbedingungen sind in Tabelle 1 festgelegt.

5.1.2 Prüfungen unter Referenzbedingungen

Die unter Referenzbedingungen auszuführenden Prüfungen ist in den Tabellen 2, 3 und 4 aufgestellt. In diesen sind für alle Merkmale die Fehlergrenzen und die Unterabschnitte angegeben, in denen die entsprechenden Prüfverfahren beschrieben sind.

5.1.3 Prüfungen mit Veränderung der Einflussgrößen

Mit diesen Prüfungen ist beabsichtigt, die Auswirkungen der Änderung der Einflussgrößen zu ermitteln. Sie sind in den Tabellen 2 und 3 mit den Variationsbereichen aller Einflussgrößen und den entsprechenden Prüfverfahren beschrieben.

Der in den Tabellen 2 und 3 angegebene Bereich der Änderung der Einflussgrößen legt einen nominellen Gebrauchsbereich fest, in dem die Messwertänderung innerhalb der vom Hersteller angegebenen Grenzen bleiben müssen. Diese Grenzen dürfen in keinem Falle die in den Tabellen 2 und 3 angegebenen überschreiten.

Um die Wirkung der Änderung einer einzelnen Einflussgrößen in Tabelle 2 und 3 zu prüfen, bleiben alle anderen Einflussgrößen innerhalb der Grenzen der in Tabelle 1 gegebenen Standardprüfbedingungen, wenn es in dem betreffenden Prüfverfahren nicht anders angegeben ist.

Um diese Prüfungen für die einzelnen Einflussgrößen zu vereinfachen, muss nur die Stückprüfung die Eigenabweichung betreffend so ausgeführt werden, dass nicht weniger als drei Ablesungen bei etwa Skalenmitte in jedem Bereich verwendet werden.

Andere Aspekte des Leistungsverhaltens des Messgeräts müssen mit Änderung der Einflussgrößen nur dann geprüft werden, wenn zu erwägen ist, dass die angegebene Stückprüfung keine repräsentative Messung ergibt.

5.2 Statistische Schwankungen

Wenn die Größenordnung der statistischen Anzeigeschwankungen, welche allein auf die stochastische Natur der Strahlung zurückzuführen sind, einen erheblichen Bruchteil der bei der Prüfung zulässigen Abweichung der Anzeige ausmacht, müssen bei allen Prüfungen mit Strahlung genügend Messungen vorgenommen werden, um zu gewährleisten, dass der Mittelwert dieser Messungen mit hinreichender Genauigkeit abgeschätzt werden kann, so dass sich feststellen lässt, ob die Anforderungen an die zu prüfende Eigenschaft erfüllt werden (siehe Anhang A)

5.3 Referenzphantome und -quellen

Radioaktive Referenzphantome und -quellen, die erforderlich sind das Leistungsverhalten zu ermitteln und die Messgeräte zu prüfen können folgende sein:

- primäre Phantome für die Basiskalibrierung (siehe 5.3.1);
- sekundäre Phantome oder Quellen, die zusätzlich für Stückprüfungen oder spezifische Prüfungen verwendet werden können. Die sekundären Phantome stimmen gegebenenfalls in ihrer körperlichen Form nicht mit den primären Phantomen überein.

Der Wert der konventionell wahren Aktivität der Phantome oder Quellen muss mit einer Unsicherheit nicht größer als 10 % (95 % Vertrauensniveau) bekannt sein und der relative Wert der Aktivität der Phantome oder Quellen muss mit einer Unsicherheit von nicht mehr als 5 % (95 % Vertrauensniveau) bekannt sein. Falls erforderlich muss die Korrektur für den radioaktiven Zerfall der Quellen angewandt werden.

5.3.1 Primäre Phantome

Die primären Phantome bestehen aus einem kontaminierten Organphantom innerhalb eines nichtaktiven Ganzkörperphantoms. Das Organphantom muss gleichförmig mit ^{241}Am gefüllt sein, wenn es nicht anders zwischen Hersteller und Käufer vereinbart ist. Primäre Phantome müssen die Organe simulieren. Alternativ können einfacher anwendbare Radionuklide verwendet werden, zum Beispiel, um den Gehalt an ^{238}Pu oder den von Urannukliden in den Lungen zu ermitteln.

5.3.2 Sekundäre Phantome (radioaktive Quellen)

Die in sekundären Phantomen verwendeten Radionuklide müssen zwischen Käufer und Hersteller vereinbart werden.

Sekundäre Phantome müssen bezüglich primärer Phantome unter ähnlichen Bedingungen kalibriert werden.

5.3.3 Phantome für den Untergrund

Während der Messungen müssen Phantome für den Untergrund (ohne radioaktive Materialien) verwendet werden, um das Ansprechvermögen des in-vivo-Zählers auf den Untergrund zu prüfen.

Diese Phantome müssen identisch mit den Phantomen für die Messung der Leistungsmerkmale sein aber ohne radioaktive Materialien.

5.4 Merkmale bezüglich der Strahlung

5.4.1 Relative Eigenabweichung

5.4.1.1 Anforderungen

Die in 1.3.10 definierte relative Eigenabweichung des Ansprechvermögens muss innerhalb $\pm(10+F_{SA})$ des vom Hersteller angegebenen Ansprechvermögens liegen; dabei ist F_{SA} die Unsicherheit in Prozent der konventionell wahren Aktivität des Prüfphantoms.

5.4.1.2 Prüfverfahren

Das in 5.3.1 definierte primäre Phantom mit dem Referenzradionuklid und das äquivalente Phantom für den Untergrund müssen abwechselnd an ihre festgelegten Positionen bezüglich der Detektoren gebracht werden, wie von Hersteller festgelegt, und es muss abgelesen werden. Die Aktivität des primären Phantoms muss innerhalb $\pm 20\%$ der vom Hersteller angegebenen Aktivität liegen.

5.4.2 Linearität

5.4.2.1 Anforderungen

Unter Standardprüfbedingungen wobei die Kalibriereinstellungen entsprechend den Anweisungen des Herstellers vorgenommen wurden müssen folgende Prüfungen ausgeführt werden:

a) Typprüfungen

Eine Prüfung mit Phantomen oder muss bei etwa 40 % der höchsten und niedrigsten Messdekade ausgeführt werden. Prüfungen mit Phantomen, sekundären Phantomen, Quellen oder äquivalente elektronische Prüfungen müssen bei 20 % und 80 % jeder Dekade des Energiebereiches der Einrichtung und bei 40 % der zwischenliegenden Bereiche oder Dekaden ausgeführt werden. (Die Vorgehensweise zum Vergleich zwischen den effektiven Aktivitäten der sekundären Phantome und der Quellen ist in 5.4.2.2. angegeben).

b) Stückprüfungen

Phantom- oder Quellenprüfungen müssen an mindestens einem Punkt ausgeführt werden. Phantom-, Quelle- oder äquivalente elektrischen Prüfungen müssen an einem Punkt bei etwa 50 % jeder Dekade des Bereiches der Einrichtung ausgeführt werden.

5.4.2.2 Prüfverfahren

a) Prüfungen mit primären Phantomen

Das primäre Phantom, das die Gammastrahlung des Radionuklids aus dem Körper simuliert, und das Phantom für den Untergrund werden wie von Hersteller festgelegt an ihre definierten Positionen bezüglich des Detektors oder der Detektoren gebracht.

Zusätzlich sind während der Typprüfung, falls sekundäre Phantome oder Quellen für nachfolgende Prüfungen verwendet werden müssen, die geeigneten sekundären Phantome oder Quellen in ihre festgelegte Lage relativ zum Detektor zu bringen und das relative Ansprechvermögen der sekundären Phantome oder Quellen in bezug auf die primären Phantome festzustellen. Das zur Ermittlung des relativen Ansprechvermögens verwendete geeignete Phantom oder die geeignete Quelle müssen eine solche Aktivität haben, dass sich ein Ansprechvermögen ergibt, das nicht mehr als $\pm 20\%$ vom Ansprechvermögen des primären Phantoms abweicht.

b) Elektronische Prüfverfahren

Die Messanordnung alleine kann geprüft werden, indem ein geeignetes Signal am üblichen Detektoreingang eingespeist wird.

5.4.2.3 Angabe der Ergebnisse

Die Anforderungen in 5.4.1.1 dürfen als erfüllt angesehen werden, wenn:

- a) die Differenz zwischen allen beobachteten Werten von F , der relativen Eigenabweichung, $(2F_1 + F_{SR})$ nicht überschreitet;
- b) kein beobachteter Wert von F den Wert $(F_1 + F_{SA})$ überschreitet.

Dabei ist

- F_1 die in den Tabellen 2, 3 oder 4 in Prozent angegebene, geforderte Messgenauigkeit ist,
- F_{SA} die absolute Unsicherheit der konventionell wahren Aktivität des Prüfphantoms (Quelle %) (95 % Vertrauen) und
- F_{SR} die relative Unsicherheit der Aktivität des Prüfphantoms bezüglich anderer Quellen oder Phantome im Test, in % (95 % Vertrauen).

5.4.3 Ermittlung des Energiebereiches

5.4.3.1 Anforderungen

Die Ermittlung des Energiebereiches der Gammastrahlung, der von einem Messgerät registriert wird, beruht auf dem experimentellen Befund des Zentrums der Totalabsorptionslinie monoenergetischer Gammastrahlung der Gammastrahlung emittierenden Radionuklide ^{241}Am , ^{57}Co und ^{235}U . Durch Einstellung des Verstärkungsfaktors des Verstärkers wird ein Energiebereich so gewählt, dass 80 % bis 90 % der verfügbaren Kanäle des Vielkanalanalysators genutzt werden. Jede Quelle wird solange am Platz belassen, bis mindestens 2×10^3 Ereignisse akkumuliert sind. Die mittlere Zählrate während der Messung darf nicht größer sein als 10^3 s^{-1} .

5.4.3.2 Ergebnisse der Messung

Der Energiebereich der registrierten Gammastrahlung wird ermittelt durch eine Graden-Extrapolation der Konversionscharakteristik des Messgeräts (siehe 5.4.4).

Der Energiebereich der registrierbaren Gammastrahlung muss so sein wie in 4.2.3 gefordert.

5.4.4 Ermittlung des Fehlers der integralen Nichtlinearität (INL)

5.4.4.1 Messverfahren

Der Fehler der integralen Nichtlinearität (Konversionscharakteristik) wird ebenfalls auf der Grundlage der experimentellen Ermittlung des Zentrums der Totalabsorptionslinie der Gammastrahlung ermittelt. Die Messung muss ausgeführt werden mit den Gammastrahlung emittierenden Radionukliden nach 5.4.3.1 und 5.4.3.2. Als Ergebnis erhält man eine Anzahl von Positionen n_{i0} der Linienzentren entsprechend den Photonenenergien $E_{\gamma i}$.

5.4.4.2 Ermittlung der integralen Nichtlinearität

Die integrale Nichtlinearität wird für jede einzelne Detektoranordnung wie folgt ermittelt. Die Konversionscharakteristik wird durch eine Grade angenähert:

$$N = \tilde{\alpha} + \tilde{B} \cdot E_{\gamma}$$

Dabei ist

$\tilde{\alpha}$ die zum Kanal 0 des Impulshöhenanalysators zugehörige Energie

$\tilde{B} = 1/k$ mit k als Kanalenergiebreite des Vielkanalanalysators auf der gewählten Energieskala des Messgeräts.

Für jede der einer Energie $E_{\gamma i}$ entsprechenden Positionen n_{i0} der Linienzentren wird die Abweichung $\Delta E_{\gamma i}$ von der Gradenapproximation der Konversionscharakteristik berechnet.

Die integrale Nichtlinearität wird mit folgender Gleichung berechnet:

$$\eta(\%) = \frac{\Delta E_{\gamma \max}}{E_{\gamma \max}} 100$$

Dabei ist

$\Delta E_{\gamma \max}$ das Maximum der Absolutwerte von $\Delta E_{\gamma i}$

$\Delta E_{\gamma \max}$ das größte gemessene Impulshöhensignal

5.4.4.3 Ergebnis der Messungen

Der erhaltene Wert für die integrale Nichtlinearität darf die in 4.2.4 angegebenen Werte nicht überschreiten.

5.4.5 Ermittlung der Nachweiswahrscheinlichkeit für die 59,5 keV-Gammastrahlung des Americium-241

5.4.5.1 Messverfahren

Ein ^{241}Am enthaltendes Phantom mit bekannten Abmessungen wird in die vom Hersteller festgelegte Position bezüglich des Detektors gebracht. Die Aktivität der Quelle muss so hoch sein, dass sich eine Zählrate ergibt, die mindestens doppelt so hoch ist wie der Untergrund. Dann wird das Gammastrahlungsspektrum registriert. Die Messung muss dann mit der selben Messzeit T_m mit einem nichtaktiven Phantom (Untergrund) wiederholt werden.

Die Zählrate für die Totalabsorptionslinie wird mit der folgenden Gleichung bestimmt:

$$C = \frac{\sum_{i=n}^m C_i}{T_m}$$

Dabei ist

i die Kanalzahl

C_i die Anzahl im Kanal i

n die Kanalzahl am niedrigsten Punkt der Totalabsorptionslinie

m die Kanalzahl am höchsten Punkt der Totalabsorptionslinie und

T_m die Messzeit

Die Untergrundzählrate B im äquivalenten Bereich zur Totalabsorptionslinie wird ermittelt aus:

$$B = \frac{\sum_{i=n}^m B_i}{T_m}$$

Dabei ist:

B_i ist die Zählrate im Kanal i .

Alle anderen Terme haben die exakt gleichen Werte wie oben.

Die Nachweiswahrscheinlichkeit wird mit der folgenden Gleichung ermittelt:

$$\varepsilon = \frac{\bar{C} - B}{A_0 \Im e^{\frac{0.691r}{r^{0.5}}}}$$

Dabei ist

$\bar{C}$	der Mittelwert der fünf oben erhaltenen Werte von C
$\mathcal{S}$	die sich aus dem Zerfall des ^{241}Am ergebende Häufigkeit von 59,5 keV
$T^{0,5}$	die Halbwertszeit des ^{241}Am (432,2 Jahre)
T	die seit der Kalibrierung der Quelle vergangene Zeit, in Jahren
A_0	die Aktivität der Quelle zum Zeitpunkt ihrer Kalibrierung, in Becquerel

5.4.5.2 Ergebnisse der Messung

Der Hersteller muss den Kalibrierfaktor für die 59 keV-Linie des ^{241}Am als Zählrate durch Aktivität angeben.

5.4.6 Untergrund

5.4.6.1 Messverfahren

Das Verfahren ist das gleiche wie oben in 5.4.5 beschrieben, außer dass drei Messungen über eine Zeitspanne von mehr als 10 min ausgeführt werden müssen. Dies muss ermittelt werden in einer bekannten Umgebung mit weniger als $0,25 \mu\text{Gyh}^{-1}$.

5.4.6.2 Messverfahren für den Untergrund

Die Mittelwerte der Zählraten in den festgelegten Energiebereichen werden mit Bezug auf die in 5.4.5.1 angegebene Gleichung berechnet.

5.4.7 Ergebnisse der Messungen

Der Wert der in 5.4.6.2 ermittelten Untergrundzählraten darf die vom Hersteller festgelegten äquivalenten Werte nicht überschreiten.

5.4.7 Ermittlung der unteren Nachweisgrenze

5.4.7.1 Vorgehensweise

Die Werte der unteren Nachweisgrenze inkorporierter Radionuklide werden durch Rechnung ermittelt, die auf den in den vorhergehenden Prüfungen (5.4.5 bis 5.4.6) erhaltenen Ergebnissen und der in 3.4 angegebenen Gleichung beruht.

Um die Anforderungen dieser Norm zu erfüllen, sollte die untere Nachweisgrenze ermittelt werden mit Hilfe der unteren Entscheidungsgrenze wie in 3.4 angegeben und nicht mit der unteren Nachweisgrenze, wie in ISO 11929-4.

Der Quantilen $k_{1-\alpha}$ muss der Wert 2,3 für den Vergleich von Geräten zugeordnet werden; dies ergibt eine Wahrscheinlichkeit von 1 % für die Falschanzeige und eine Nachweiswahrscheinlichkeit von 50 %.

Der Anwender darf andere Werte für die Quantilen $k_{1-\alpha}$ sowie $k_{1-\beta}$ für andere Nachweiswahrscheinlichkeiten und Falschanzeigewahrscheinlichkeiten verwenden.

5.4.7.2 Ergebnisse der Messungen

Die kleinsten nachweisbaren Aktivitäten müssen vom Hersteller für angegebene Untergrundverhältnisse spezifiziert werden.

5.4.8 Ermittlung der maximalen Zählrate

5.4.8.1 Anforderungen

Die Anforderungen sind so, dass für die maximale Zählrate die Totzeit eine Verringerung der gemessenen Zählrate gegenüber der wahren Zählrate bewirken sollte, die kleiner ist als 10 %.

Damit dieses gilt, ist die maximale Zählrate $0,1/(1,1 \mu)$ oder $0,09099 (1)/(\mu)$ mit μ als der Gesamtzeit.

5.4.8.2 Prüfverfahren

Die höchste Eingangszählrate von den Detektoren ist bestimmt durch die Gesamtzeit des Gerätes.

Hierfür sind zwei Quellen des interessierenden Radionuklids erforderlich, beide mit einer Aktivität von etwa 10 % des höchsten Bereiches der Einrichtung, jedoch nicht höher.

Zunächst wird der Untergrund im relevanten Energieband gemessen, wie in 5.4.6 angegeben. Die Zählrate sei B .

Als nächstes wird eine der Quellen in die Messposition gebracht und gezählt. Diese Zählrate sei C_1 .

Dann wird die andere Quelle in die Messposition gebracht und zwar so, dass sie den Nachweis der Strahlung von der ersten Quelle in keiner Weise beeinflusst und diese Quelle nicht stört. Diese Gesamtzählrate sei C_{12} .

Die erste Quelle wird entfernt und dann die Zählrate C_2 gemessen.

Die Zeit für das Zählen muss so sein, dass sich mindesten 10^5 Ereignisse durch die Quellen ergeben und 10^4 durch den Untergrund (es sei denn, sie übersteigt 3000 s).

Wenn sie nicht verwendet werden, müssen die Quellen so gelagert werden, dass sie keinen Einfluss auf die Einrichtung haben.

Berechne die Gesamtzeit μ in Sekunden:

$$\frac{C_1 + C_2 - C_{12} - B}{C_{12} + B - (C_1^2 + C_2^2)}$$

Dabei werden C_1 , C_2 , C_{12} und B in s^{-1} angegeben.

5.4.9 Ermittlung der Stabilität

5.4.9.1 Anforderungen

Man sieht die Prüfung des Messgeräts als bestanden an, wenn während eines kontinuierlichen Betriebes über 24 h die maximale Instabilität der Lage des Zentrums ± 2 % vom Mittelwert bei Messgeräten mit Szintillationsdetektoren oder $\pm 0,2$ % bei Messgeräten mit Halbleiterdetektoren nicht überschreitet.

5.4.9.2 Prüfverfahren

Die Stabilität wird aus den für die monoenergetischen Gammalinien des ^{241}Am (59,5 keV) und ^{57}Co (122,1 keV) erhaltenen Spektrumsdaten gewonnen. Mehrere aufeinanderfolgende Messungen werden während des ununterbrochenen Betriebs des Messgeräts ausgeführt.

Das Gerät wird eingeschaltet und die vom Hersteller angegebene Anlaufzeit abgewartet.

Die Quellen werden an das Eintrittsfenster des Detektors angrenzend angebracht und ein Spektrum aufgenommen, wobei solange gezählt wird, bis mindestens 10^4 Ereignisse in jeder Linie akkumuliert wurden. Für beide Linien werden die Ereignisse in jedem der Kanäle, die die Totalabsorptionslinie darstellen, aufgezeichnet. Die Zentrumslagen der Linien werden mit Hilfe der folgenden Gleichung berechnet:

$$X = \frac{\sum_{i=n}^m i \cdot C_i}{\sum_{i=n}^m C_i}$$

Dabei ist

- n die niedrigste Kanalzahl der Totalabsorptionslinie
- m die höchste Kanalzahl der Totalabsorptionslinie
- C_i die Anzahl der im Kanal i gesammelten Ereignisse

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^j X_i}{j}$$

Dabei ist

- j die Anzahl der Werte für X

Die Standardabweichungen S_1 und S_2 für die beiden Zentrumslagen werden mit Hilfe der folgenden Gleichung berechnet:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^j (X_i - \bar{X})^2}{j-1}}$$

Der größere Wert von S_1 und S_2 wird verwendet, um die Instabilität F des Messgeräts zu berechnen, angegeben in %:

$$F = \frac{\sigma K}{E_2} 100$$

Dabei ist

k die Breite eines einzelnen Kanals in Einheiten der Energie, keV.

E_2 die Energie der oberen Linie (122,1 keV für ^{57}Co).

5.4.10 Messung der Energieauflösung

5.4.10.1 Vorgehensweise

Das Verfahren für die Ermittlung der Energieauflösung ist wie folgt:

Die Quelle wird entfernt und das Spektrum des Untergrundes wird akkumuliert, das vom vorhergehenden Spektrum subtrahiert wird. Die Lagen der Linienzentren für die Gammalinien $E_{\gamma 1} = 122,1$ keV und $E_{\gamma 2} = 136$ keV des ^{57}Co werden mit Hilfe des in 5.4.4 beschriebenen Verfahrens ermittelt.

Für ein Messgerät mit Germanium- oder Szintillationsdetektor werden ^{241}Am und ^{57}Co verwendet, die abwechselnd in den Halter vor dem Detektor-Eingangsfenster oder dem Kollimator gebracht werden.

Durch Einstellen des Verstärkungsfaktors des Analysatorverstärkers wird ein Spektrum so akkumuliert, dass die volle Halbwertsbreite der Totalabsorptionslinie für die Gammaenergielinie $E_{\gamma 1} = 59,5$ keV mindestens 10 Kanäle beträgt. Es müssen mindestens 10^4 Ereignisse in der Linie akkumuliert werden.

Die Quelle wird entfernt und das Spektrum des Untergrundes wird akkumuliert, das vom Spektrum der Quelle subtrahiert wird.

Danach wird eine ^{57}Co -Quelle im Halter angebracht und das Spektrum wird für die Gammalinie $E_{\gamma 2} = 122$ keV akkumuliert. Die Lage der Linienzentren für die ^{241}Am - und ^{57}Co -Gammalinien wird nach 4.3.3 ermittelt.

5.4.10.2 Anforderung

Die Energieauflösung darf nicht die in 4.3.5 festgelegten Werte überschreiten.

5.4.10.3 Ermittlung der Energieauflösung

Bei bekannter Lage der Zentren der Gammalinien für beide Quelle wird die Kanalbreite des Analysators in Einheiten der Energie ermittelt:

$$K = \frac{E_{\gamma 1} - E_{\gamma 2}}{n_1 - n_2}$$

Dabei ist $E_{\gamma 1} = 59,5$ keV für ^{241}Am und $E_{\gamma 2} = 122$ keV für ^{57}Co ;

n_1 und n_2 sind die den Linienzentren entsprechenden Kanalzahlen.

Die Halbwertsbreite der Totalabsorptionslinie $\Delta\eta$ des ^{241}Am und des ^{57}Co werden graphisch oder mit einer Software ermittelt.

Die absolute Energieauflösung (in keV) wird mit der folgenden Gleichung berechnet:

$$\varepsilon_R = \Delta\eta \cdot k$$

Die relative Energieauflösung (in %) wird mit der folgenden Gleichung berechnet:

$$\varepsilon'_R = \frac{\eta}{E_1} \cdot 100$$

5.4.11 Elektromagnetische Verträglichkeit

5.4.11.1 Entladung statischer Elektrizität

(nach IEC 61000-4-2, "Electrostatic Discharge Immunity Test")

5.4.11.1.1 Anforderungen

Die Prüfungen, um die Störfestigkeit gegen elektrostatische Entladung zu bewerten, müssen das „Kontaktentladungsverfahren“ für leitende Oberflächen und Verbindungsflächen und das „Luftentladungsverfahren“ für isolierende Oberflächen verwenden. Die Entladungspunkte müssen entsprechend der Zugänglichkeit für den Bediener gewählt werden.

5.4.11.1.2 Prüfverfahren

Die folgenden Prüfungen müssen ausgeführt werden; Anleitung kann dem Referenzschriftstück entnommen werden.

- 1) Zehn Entladungen je Entladungspunkt mit mindestens einer Sekunde Erholzeit zwischen den Entladungen.
- 2) Die maximale Spannung jeder Entladung hängt vom Verfahren ab: 6 kV für das Kontaktentladungsverfahren und 8 kV für das Luftentladungsverfahren. Diese Schärfegrade beruhen auf den Tabellen 1 und A1 von IEC 61000-4-2, Schärfegrad 3.
- 3) Die Auswirkungen auf das Ansprechvermögen dürfen $\pm 10\%$ des Ansprechvermögens ohne Entladung nicht überschreiten. Alarm oder andere Ausgangssignale dürfen nicht aktiviert werden, wenn die Einrichtung der Entladung ausgesetzt wird.

5.4.11.2 Radiofrequenzen (RF)

(nach IEC 61000-4-3, "Radiated Radiofrequency, Electromagnetic Immunity")

Die Anforderungen und Prüfverfahren für Störfestigkeit gegenüber Radiofrequenzen muss zwischen Hersteller und Käufer vereinbart werden.

5.4.11.3 Störfestigkeit gegenüber Spannungsstößen

(nach IEC 61000-4-5, "Surge Immunity Test und IEC 61000-4-12 "Oscillatory Waves Immunity Test")

5.4.11.3.1 Anforderungen

Die Prüfungen müssen auf Anforderungen der Klasse 3 beruhen, die im Anhang B von 4-5 angegebenen sind und auf Schärfegrad 3, Tabelle 1 Anforderungen von 4-12. Die Pulse sollten an die Versorgungsnetzeingänge mit einem Koppel/Entkoppel-Netzwerk oder einer äquivalenten Einrichtung angelegt werden. Die Wiederholrate darf nicht größer sein als einmal pro Minute.

5.4.11.3.2 Prüfverfahren

Die folgenden Prüfungen müssen ausgeführt werden. Anleitung kann IEC 61000-4-5 und IEC 61000-4-12 entnommen werden.

- 1) Zehn Pulse müssen an die Einrichtung angelegt werden mit einer Mindestzeit von einer Minute zwischen den Spannungsstößen.
- 2) Jeder Spannungsstoß sollte aus einer Schwingungskombination (1,2/50 μ s bis 8/20 μ s) bestehen mit einer Spannung von 2 kV.
- 3) Ringspannungsstöße sollten nicht größer sein als 2 kV.
- 4) Die Auswirkungen auf das Ansprechvermögen dürfen $\pm 10\%$ des Ansprechvermögens ohne Spannungsstöße nicht überschreiten. Alarm oder andere Ausgangssignale dürfen nicht aktiviert werden, wenn die Einrichtung den Spannungsstößen ausgesetzt wird.

5.4.11.4 Störfestigkeit gegen leitungsgeführte Störungen

Nach IEC 61000-4-6 „Immunity to conducted disturbances, induced by radiofrequency fields“.

5.4.11.4.1 Anforderungen

Die Prüfungen gelten für Einrichtung, die in Anwesenheit von Rundfunksendern im Frequenzbereich von 150 kHz bis 80 MHz verwendet werden. Einrichtungen, die nicht mindestens eine leitende Verbindung (Netzversorgung, Signalleitung oder Erdverbindung) haben, sind ausgeschlossen. Das Protokoll beruht auf den Anforderungen der Klasse 3, die im Anhang C des Referenzschriftstückes angegeben sind.

5.4.11.4.2 Prüfverfahren

Die folgenden Prüfungen müssen ausgeführt werden; Anleitung kann IEC 61000-4-6 entnommen werden.

1. Frequenzbereich von 150 kHz bis mit einer Intensität von 140 dB (mV)
2. Das Signal muss mit einer 1 kHz Sinuswelle 80 % amplitudenmoduliert sein.
3. Die Prüfung sollte ausgeführt werden, indem automatisch durchgestimmt wird mit einer Rate nicht größer als $1,5 \cdot 10^{-3}$ Dekaden pro Sekunde oder 1 % der Grundgröße.
4. Die Auswirkungen auf das Ansprechvermögen dürfen ± 10 % des Ansprechvermögens ohne Feld nicht überschreiten. Alarm oder andere Ausgangssignale dürfen nicht aktiviert werden, wenn die Einrichtung dem Feld ausgesetzt wird.

ANMERKUNG Ein gewisser Grad der Anfälligkeit kann akzeptabel werden, dies muss vom Käufer festgelegt werden.

5.4.11.5 Magnetische Felder

Nach IEC 61000-4-8 „Power frequency magnetic field immunity test“

Prüfverfahren für diese Einwirkung müssen zwischen Hersteller und Käufer vereinbart werden.

5.5 Leistungsmerkmale bezüglich der Umgebungsbedingungen

Es ist nicht erforderlich, Prüfungen eines in-vivo-Zählers auszuführen, um den Betriebsbereich aufgrund der metrologischen Umgebungsbedingungen festzustellen oder nachzuweisen, wenn das Messgerät in einer geregelten Umgebung verwendet wird.

5.5.1 Umgebungstemperatur

5.5.1.1 Anforderungen

Wenn sich die Umgebungstemperatur um mehr als 5 °C von der in Tabelle 1 angegebenen Standardtemperatur unterscheidet, sollte vor Verwendung eine Leistungsprüfung gemacht werden, um die Betriebsfähigkeit sicherzustellen. Wenn eine Prüfung erforderlich ist, muss die in 5.5.1.2 gegebene Anleitung verwendet werden, um die Prüfung auszuführen.

5.5.1.2 Prüfverfahren

Die Einrichtung wird in einer Klimakammer aufgestellt und bei Referenzbedingungen in den Arbeitszustand gebracht.

Eine ^{235}U -Quelle wird vor den Detektor gebracht. Der Verstärkungsfaktor wird für den erforderlichen Energiebereich eingestellt. Das Spektrum wird akkumuliert bis mindestens $2 \cdot 10^3$ Ereignisse aus der Quelle in der 185,7 keV Absorptionslinie enthalten sind. Gemäß 5.4.4 werden die den Energien 143,7 keV und 185,7 keV entsprechenden Zentren der Linien ermittelt.

Die Parameter der Graden, welche die Ansprechfunktion approximiert, und die integrale Nichtlinearität unter Referenzbedingungen werden ermittelt (5.4.4). Die Temperatur in der Kammer wird bis zur festgelegten Obergrenze (+ 35 °C) erhöht mit einer Rate von nicht mehr als 10 °C pro Stunde und wird dann innerhalb von ± 2 °C geregelt. Nach 4 h bei dieser Temperatur wird das Spektrum nochmals akkumuliert. Die Lage der Zentren der Linien mit den Energien 143,7 keV und 185,7 keV wird ermittelt und die Abweichungen ihrer Lagen $\Delta E_{\gamma i}$ von der Ansprechfunktionsgraden bei Referenzbedingungen berechnet. Dann wird der Wert der größten Abweichung $\Delta E_{\gamma \max}$ aus den erhaltenen Abweichungen $\Delta E_{\gamma i}$ entnommen und nach 16.4 die integrale Nichtlinearität für die höchste Betriebstemperatur berechnet.

Die Temperatur in der Kammer wird dann bis zur untersten festgelegten Temperatur gesenkt (10 °C) und bei dieser Temperatur auf ± 2 °C genau gehalten.

Nach 4 h wird das Spektrum der ^{235}U -Quelle erneut akkumuliert. Die Zentrumslagen werden ermittelt und die Abweichung $\Delta E_{\gamma i}$ von der Gradenapproximation der Ansprechkurve bei Referenzbedingungen ermittelt. Dann wird der maximale Abweichungswert $\Delta E_{\gamma \max}$ aus erhaltenen Abweichungswerte ermittelt und der Wert der integralen Nichtlinearität für die niedrigste Betriebstemperatur berechnet.

5.5.1.3 Anforderungen

Man sieht die Prüfung der Einrichtung als bestanden an, wenn bei den extremen Betriebstemperaturen der Fehler der Ansprechkurve die folgenden Werte nicht überschreitet:

- ± 5 % bei Messgeräten mit Szintillationsdetektoren;
- $\pm 0,2$ % bei Messgeräten mit Germanium-Halbleiterdetektoren.

5.5.2 Relative Luftfeuchte

5.5.2.1 Anforderungen

Wenn die umgebende relative Feuchte höher ist als die in der Tabelle 1 festgelegten Grenzen sollte vor Gebrauch eine Überprüfung der Leistungsfähigkeit gemacht werden, um die Betriebsfähigkeit sicherzustellen.

Wenn Prüfungen erforderlich sind, müssen die im Abschnitt 5.5.2.2 gegebenen Anleitungen angewendet werden, um die Prüfungen auszuführen.

5.5.2.2 Prüfverfahren

Prüfungen werden mit einer Klimakammer ausgeführt. Die Kammer muss bei 35 °C (± 2 %) und 40 % relativer Feuchte stabilisiert sein. Eine ausreichende Anzahl von Ablesungen unter Einhaltung der oben gegebenen Anleitungen muss gemacht werden, um eine Ausgangsgrundlage zu erstellen.

Die relative Luftfeuchte muss dann mit einer geregelten Rate innerhalb einer Zeitspanne von nicht mehr als 3 h auf 85 % (± 5 %) erhöht werden. Nach 48 h muss wiederum eine ausreichende Anzahl von Ablesungen gemacht werden.

Die relative Luftfeuchte muss dann mit einer geregelten Rate auf 40 % (± 5 %) gesenkt werden und, nachdem die Kammer sich stabilisiert hat, sind die Ablesungen zu machen.

5.5.2.3 Ergebnisse

Man sieht die Prüfung des Messgeräts als bestanden an, wenn der zusätzliche Fehler des Ansprechvermögens zu dem durch Temperatur allein ± 5 % nicht überschreitet. Dies gilt für alle Messgeräte außer solchen, die Germaniumdetektoren verwenden und bei denen der zusätzliche Fehler 0,3 % sein muss.

5.5.3 Magnetische Felder

5.5.3.1 Anforderungen

Der Einfluss magnetischer Felder äußeren Ursprungs von 40 A/m darf keine Änderung der integralen Nichtlinearität bewirken von mehr als 10 % für Messgeräte mit Szintillationszählern und 0,1 % für Messgeräte mit Germanium-Halbleiterdetektoren.

Im Falle von Einrichtungen ohne Spektrometer muss die Änderung des Ansprechvermögens kleiner sein als 2 %.

5.5.3.2 Prüfverfahren

Falls magnetische Felder vorhanden sein können, muss eine Prüfung ausgeführt werden, um die Betriebsfähigkeit sicherzustellen. Die tatsächlichen Prüfparameter sollten zwischen Hersteller und Käufer vereinbart werden.

5.5.4 Luftdruck

Änderungen des Luftdruckes beeinflussen im allgemeinen nicht den (die) Detektor(en) und die elektronischen Anordnungen.

Repräsentative Prüfungen bei anderen Werten des Luftdruckes müssen ausgeführt werden, falls dies gefordert wird.

6 Leistungsmerkmale und Prüfverfahren für Messung von Emittlern mit hoher Energie

6.1 Allgemeine Prüfverfahren

6.6.1 Art der Prüfungen

Alle Prüfungen in diesem Schriftstück sind als Typprüfungen anzusehen außer den in 6.4.2.2b beschriebenen Stückprüfungen. Jedoch können einzelne oder auch alle Prüfungen durch Vereinbarung zwischen Hersteller und Käufer als Abnahmeprüfung behandelt werden. Die angegebenen Anforderungen sind Mindestanforderungen und können auf besondere Messgeräte und Funktionen ausgedehnt werden.

Viele der Prüfverfahren sind denen für Gammaskpektrometer ähnlich (siehe IEC 61276).

Referenz- und Standardprüfbedingungen sind in Tabelle 1 festgelegt.

6.1.2 Prüfungen unter Standardprüfbedingungen

Die unter Standardprüfbedingungen auszuführenden Prüfungen sind in den Tabellen 4, 5 und 6 zusammengestellt. In diesen sind für alle Merkmale die Fehlergrenzen und die Unterabschnitte angegeben, in denen die entsprechenden Prüfverfahren beschrieben sind.

6.1.3 Prüfungen mit Veränderung der Einflussgrößen

Mit diesen Prüfungen ist beabsichtigt, die Auswirkungen der Änderung der Einflussgrößen zu ermitteln. Sie sind in den Tabellen 4, 5 und 6 (Punkte 14 bis 20) mit den Variationsbereichen aller Einflussgrößen und den entsprechenden Prüfverfahren beschrieben.

Der in den Tabellen 4, 5 und 6 angegebene Bereich der Änderung der Einflussgrößen legt einen nominellen Gebrauchsbereich fest, in dem die Messwertänderung innerhalb der vom Hersteller angegebenen Grenzen bleiben müssen. Diese Grenzen dürfen in keinem Falle die in den Tabellen 2 und 3 angegebenen überschreiten.

Um die Wirkung der Änderung einer einzelnen Einflussgrößen in Tabelle 4, 5 und 6 zu prüfen, bleiben alle anderen Einflussgrößen innerhalb der Grenzen der in Tabelle 1 gegebenen Standardprüfbedingungen, wenn es in dem betreffenden Prüfverfahren nicht anders angegeben ist.

Um diese Prüfungen für die einzelnen Einflussgrößen zu vereinfachen, muss nur die Stückprüfung die Eigenabweichung betreffend so ausgeführt werden, dass nicht weniger als drei Ablesungen bei etwa Skalenmitte in jedem Bereich verwendet werden.

Andere Aspekte des Leistungsverhaltens des Messgeräts müssen mit Änderung der Einflussgrößen nur dann geprüft werden, wenn zu erwägen ist, dass die angegebene Stückprüfung keine repräsentative Messung ergibt.

6.2 Statistische Schwankungen

Wenn die Größenordnung der statistischen Anzeigeschwankungen, welche allein auf die stochastische Natur der Strahlung zurückzuführen sind, einen erheblichen Bruchteil der bei der Prüfung zulässigen Abweichung der Anzeige ausmacht, müssen bei allen Prüfungen mit Strahlung genügend Messungen vorgenommen werden, um zu gewährleisten, dass der Mittelwert dieser Messungen mit hinreichender Genauigkeit abgeschätzt werden kann, so dass sich feststellen lässt, ob die Anforderungen an die zu prüfende Eigenschaft erfüllt werden (siehe Anhang A)

6.3 Referenzphantome und -quellen

Radioaktive Referenzphantome und -quellen, die erforderlich sind das Leistungsverhalten zu ermitteln und die Messgeräte zu prüfen, können folgende sein:

- primäre Phantome für die Basiskalibrierung (siehe 5.3.1);
- sekundäre Phantome oder Quellen, die zusätzlich für Stückprüfungen oder spezifische Prüfungen verwendet werden können. Die sekundären Phantome stimmen gegebenenfalls in ihrer körperlichen Form nicht mit den primären Phantomen überein.

Der Wert der konventionell wahren Aktivität der Phantome oder Quellen muss mit einer Unsicherheit nicht größer als 10 % (95 % Vertrauensniveau) bekannt sein und der relative Wert der Aktivität der Phantome oder Quellen muss mit einer Unsicherheit von nicht mehr als 5 % (95 % Vertrauensniveau) bekannt sein. Falls erforderlich muss die Korrektur für den radioaktiven Zerfall der Quellen angewandt werden.

6.3.1 Primäre Phantome

Die primären Phantome müssen gleichförmig mit ^{137}Cs gefüllt sein, wenn es nicht anders zwischen Hersteller und Käufer vereinbart ist. Primäre Phantome müssen die Organe simulieren. Um zum Beispiel den Gehalt an ^{131}I oder ^{60}Co zu ermitteln, kann ein Halsphantom mit einem ^{131}I gefüllten Schilddrüsenphantom oder ein mit ^{60}Co gefülltes Phantom in der Lungenposition verwendet werden.

6.3.2 Sekundäre Phantome (radioaktive Quellen)

Die in sekundären Phantomen verwendeten Radionuklide müssen zwischen Käufer und Hersteller vereinbart werden.

Sekundäre Phantome müssen bezüglich primärer Phantome unter ähnlichen Bedingungen kalibriert werden.

6.3.3 Phantome für den Untergrund

Während der Messungen müssen Phantome für den Untergrund (ohne radioaktive Materialien) verwendet werden, um das Ansprechvermögen des in-vivo-Zählers auf den Untergrund zu prüfen.

Diese Phantome müssen identisch mit den Phantomen für die Messung der Leistungsmerkmale sein aber ohne radioaktive Materialien.

6.4 Merkmale bezüglich der Strahlung

6.4.1 Relative Eigenabweichung

6.4.1.1 Anforderungen

Die in 1.3.10 definierte relative Eigenabweichung des Ansprechvermögens muss innerhalb $\pm(10+F_{SA})$ des vom Hersteller angegebenen Ansprechvermögens liegen; dabei ist F_{SA} die Unsicherheit der konventionell wahren Aktivität des Prüfphantoms, in %.

6.4.1.2 Prüfverfahren

Das in 6.3.1 definierte primäre Phantom mit dem Referenzradionuklid und das äquivalente Phantom für den Untergrund müssen abwechselnd an ihre festgelegten Positionen bezüglich der Detektoren gebracht werden, wie von Hersteller festgelegt, und es muss abgelesen werden. Die Aktivität des primären Phantoms muss innerhalb ± 20 % der vom Hersteller angegebenen Aktivität liegen.

6.4.2 Linearität

6.4.2.1 Anforderungen

Unter Standardprüfbedingungen, wobei die Kalibriereinstellungen entsprechend den Anweisungen des Herstellers vorgenommen wurden, müssen folgende Prüfungen ausgeführt werden:

a) Typprüfungen

Eine Prüfung mit Phantomen muss bei etwa 40 % der höchsten und niedrigsten Messdekade ausgeführt werden. Prüfungen mit Phantomen, sekundären Phantomen, Quellen oder äquivalente elektronische Prüfungen müssen auch bei 20 % und 80 % jeder Dekade des Energiebereiches der Einrichtung und bei 40 % der zwischenliegenden Bereiche oder Dekaden ausgeführt werden (Die Vorgehensweise zum Vergleich zwischen den effektiven Aktivitäten der sekundären Phantome und der Quellen ist in 6.4.2.2. angegeben).

b) Stückprüfung

Phantom-, Sekundärphantom- oder Quellenprüfungen müssen an mindestens einem Punkt ausgeführt werden. Phantom-, Quelle- oder äquivalente elektrischen Prüfungen müssen an einem Punkt bei etwa 50 % jeder Dekade des Energiebereiches der Einrichtung ausgeführt werden.

6.4.2.2 Prüfverfahren

a) Prüfungen mit primären Phantomen

Das primäre Phantom, das die Gammastrahlung des Radionuklids aus dem Körper simuliert, und das Phantom für den Untergrund sollten an ihre definierten Positionen bezüglich des Detektors oder der Detektoren gebracht werden wie von Hersteller festgelegt.

Zusätzlich sind während der Typprüfung, falls sekundäre Phantome oder Quellen für nachfolgende Prüfungen verwendet werden müssen, die geeigneten sekundären Phantome oder Quellen in ihre festgelegte Lage relativ zum Detektor zu bringen und das relative Ansprechvermögen der sekundären Phantome oder Quellen in bezug auf die primären Phantome festzustellen. Das zur Ermittlung des relativen Ansprechvermögens verwendete geeignete Phantom oder die geeignete Quelle müssen eine solche Aktivität haben, dass sich ein Ansprechvermögen ergibt, das nicht mehr als ± 20 % vom Ansprechvermögen des primären Phantoms abweicht.

b) Elektronische Prüfverfahren

Die Messanordnung alleine kann geprüft werden, indem ein geeignetes Signal am üblichen Detektoreingang eingespeist wird.

6.4.2.3 Angabe der Ergebnisse

Die Anforderungen in 6.4.1.1 können als erfüllt angesehen werden, wenn:

- a) die Differenz zwischen allen beobachteten Werten von F , der relativen Eigenabweichung, $(2F_1 + F_{SR})$ nicht überschreitet;
- b) kein beobachteter Wert von F den Wert $(F_1 + F_{SA})$ überschreitet.

Dabei ist

F_1	die in den Tabellen 4, 5 und 6 angegebene, geforderte Messgenauigkeit, in %
F_{SA}	die absolute Unsicherheit der konventionell wahren Aktivität des Prüfphantoms (Quelle %) (95 % Vertrauen)
F_{SR}	die relative Unsicherheit der Aktivität des Prüfphantoms bezüglich anderer Quellen oder Phantome im Prüfsatz, in % (95 % Vertrauen)

6.4.3 Ansprechvermögen auf andere Radionuklide

(Für in-vivo-Zähler des Typs 4 und spezifische Radionuklide für in-vivo-Zähler des Typs 3).

6.4.3.1 Anforderungen

Wenn Typ-3- oder Typ-4-in vivo Zähler eine begrenzte Anzahl von Radionukliden bestimmen, muss das Ansprechvermögen des Messgeräts für andere Radionuklide als die Bezugsradionuklide vom Hersteller angegeben werden. Die interessierenden Radionuklide sind zwischen Hersteller und Käufer zu vereinbaren.

6.4.3.2 Prüfverfahren

Das Verfahren ist mit dem in 5.4.2.3 angegebenen identisch, jedoch sind die interessierenden, geeigneten Radionuklide zu verwenden.

6.4.4 Ermittlung des Energiebereiches

Dies ist für Typ-4-Ganzkörperzähler nicht erforderlich.

6.4.4.1 Ermittlung des Energiebereiches der Gammastrahlung, der von einem Messgerät registriert wird

Die Ermittlung des Energiebereiches der Gammastrahlung, der von einem Messgerät registriert wird, beruht auf dem experimentellen Befund des Zentrums der Totalabsorptionslinie monoenergetischer Gammastrahlung von ^{241}Am , ^{57}Co , ^{133}Ba , ^{137}Cs , ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{88}Y und ^{228}Th .

Durch Einstellung des Verstärkungsfaktors des Verstärkers wird ein Energiebereich so gewählt, dass 80 % bis 90 % der verfügbaren Kanäle des Vielkanalanalysators genutzt werden. Jede Quelle wird solange am Platz belassen, bis mindestens 2×10^3 Ereignisse akkumuliert sind. Die mittlere Zählrate während der Messung darf nicht größer sein als 10^3 s^{-1} .

6.4.4.2 Ergebnisse der Messung

Der Energiebereich der registrierten Gammastrahlung wird ermittelt durch eine Graden-Extrapolation der Konversionscharakteristik des Messgeräts (siehe 6.4.5).

Der Energiebereich der registrierbaren Gammastrahlung muss so sein wie in 4.3.2 gefordert.

6.4.5 Ermittlung des Fehlers der integralen Nichtlinearität (INL)

Dies ist für Typ-3 und Typ-4-Ganzkörperzähler nicht erforderlich.

6.4.5.1 Messverfahren

Der Fehler der integralen Nichtlinearität (Konversionscharakteristik) wird ebenfalls auf der Grundlage der experimentellen Ermittlung des Zentrums der Totalabsorptionslinie der Gammastrahlung ermittelt. Die Messung muss ausgeführt werden mit den Gammastrahlung emittierenden Radionukliden nach 6.4.4.1 und 6.4.4.2. Als Ergebnis erhält man eine Anzahl von Positionen n_{i0} der Linienzentren entsprechend den Photonenenergien $E_{\gamma i}$.