

**DIN ISO 20042
(VDE 0493-2042)****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 13.280

**Messung der Radioaktivität –
Gammastrahlung emittierende Radionuklide –
Allgemeines Messverfahren mittels Gammaskpektrometrie
(ISO 20042:2019)**

Measurement of radioactivity –
Gamma-ray emitting radionuclides –
Generic test method using gamma-ray spectrometry
(ISO 20042:2019)

Mesurage de la radioactivité –
Radionucléides émetteurs de rayons gamma –
Méthode d'essai générique par spectrométrie à rayons gamma
(ISO 20042:2019)

Gesamtumfang 62 Seiten

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

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für diese Norm ist 2020-05-01.

Inhalt	Seite
Nationales Vorwort.....	6
Nationaler Anhang NA (informativ) Zusammenhang mit europäischen und internationalen Dokumenten	7
Nationaler Anhang NB (informativ) Literaturhinweise.....	9
Vorwort.....	11
Einleitung	12
1 Anwendungsbereich	14
2 Normative Verweisungen	15
3 Begriffe	16
4 Symbole und Einheiten.....	19
5 Kurzbeschreibung.....	19
5.1 Allgemeines	19
5.2 Summationsmethode.....	20
5.3 Approximationsmethode.....	21
6 Validierungsmessungen mittels Gammaskpektrometrie.....	21
6.1 Allgemeines	21
6.2 Schritt 1: Kundenanforderungen	22
6.3 Schritt 2: Technische Anforderungen	22
6.4 Schritt 3: Detaillierte Ausführung	23
6.5 Schritt 4: Errichtung	23
6.6 Schritt 5: Validierungsstudien	24
6.7 Schritt 6: Robustheit	24
6.8 Schritt 7: Betrieb und Wartung	24
7 Kernzerfallsdaten.....	25
7.1 Empfohlene Kernzerfallsdaten	25
7.2 Auswahl von Gammalinien für die Aufnahme in Bibliotheken zur Spektralanalyse	25
7.3 Zerfallsreihen	26
8 Kalibrierung des Detektors bezüglich Energie und Nachweiswahrscheinlichkeit	26
8.1 Energiekalibrierung.....	26
8.2 Kalibrierung bezüglich Nachweiswahrscheinlichkeit	27
8.3 Referenzquelle(n) für die Energiekalibrierung.....	28
8.4 Referenzquelle(n) für die Kalibrierung bezüglich Nachweiswahrscheinlichkeit	28
9 Probenbehälter	29
10 Verfahren	30
10.1 Verfahren der Probenmessung	30
10.2 Analyse des Spektrums.....	32

11	Darstellung der Ergebnisse	34
11.1	Berechnung der Aktivität und der Aktivität je kg (oder m ³) der Probe	34
11.2	Bestimmung der charakteristischen Grenzen	34
12	Prüfbericht	35
Anhang A (informativ) Qualitätssicherung und Programm zur Qualitätskontrolle		36
A.1	Allgemeines	36
A.2	Einflussgrößen	36
A.3	Überprüfung der Geräte	36
A.4	Überprüfung des Verfahrens	36
A.5	Qualitätssicherungsplan	36
A.6	Energiekalibrierung	37
A.7	Kalibrierung bezüglich Nachweiswahrscheinlichkeit	37
A.8	Halbwertsbreite	37
A.9	Untergrund	37
A.10	Ausbildung und Bewertung des Personals	37
A.11	Dokumentation	37
Anhang B (informativ) Korrekturen am Analyseprozess		38
B.1	Allgemeines	38
B.2	Probengeometrie	38
B.3	Korrektur bezüglich Zusammensetzung und Dichte (interne Absorption)	39
B.4	Pulsauflösung und Totzeit	40
B.5	Kaskaden-Summutationskorrektur	41
Anhang C (informativ) Unsicherheitsbudget		42
C.1	Allgemeines	42
C.2	Unsicherheitsbeiträge	42
C.3	Umsetzung des Unsicherheitsbudgets	43
Anhang D (informativ) Detektortypen		44
Anhang E (informativ) Beispiel: Berechnung des ¹³⁷ Cs-Aktivitätsgehalts und der charakteristischen Grenzen in einer wässrigen Probe		47
E.1	Kurzbeschreibung	47
E.2	Messung	47
E.3	Berechnung des Aktivitätsgehalts	47
E.4	Charakteristische Grenzen	50
E.5	Erkennungsgrenze	50
E.6	Nachweisgrenze	51
Anhang F (informativ) Beispiel: Simulation von Korrekturfaktoren bezüglich Probenpositionierung, Geometrie, Matrix, Dichte und Kaskaden-Summutation		52
F.1	Übersicht	52
F.2	Einfluss des Probe-Detektor-Abstands (H1)	53

	Seite
F.3 Einfluss der Achsenverschiebung (PA)	55
F.4 Einfluss der Füllhöhe (HS).....	56
F.5 Nachweiswahrscheinlichkeit für verschiedene Probenschichten	57
F.6 Einfluss der Dichte (RO) und der Matrix (MA).....	58
F.7 Auswirkung der Kaskaden-Summutationskorrektur als Funktion des Probe-Detektor- Abstands (H1).....	59
F.8 Zusammenfassung	60
Literaturhinweise	61

Bilder

Bild 1 – Schema der Validierung	21
Bild 2 – Typisches Spektrum eines hochauflösenden Gamma-Spektrometers	33
Bild B.1	41
Bild D.1 – Typische Gammaspektren von NaI-, LaBr ₃ - und Ge-Spektrometern, die die Unterschiede in der Energieauflösung zwischen den verschiedenen Detektortypen aufzeigen.....	46
Bild E.1 – ¹³⁷ Cs-Totalabsorptionslinie in einem Gammaspektrum einer wässrigen Prüfprobe	48
Bild F.1 – Parameter, die die Systemgeometrie beschreiben, und Vorgabewerte.....	52
Bild F.2 – Geometrie: relative Nachweiswahrscheinlichkeit für ein Filter als Funktion des Probe- Detektor-Abstands H1 [mm]	53
Bild F.3 – Geometrie: relative Nachweiswahrscheinlichkeit für einen 0,25-l-Becher als Funktion des Probe-Detektor-Abstands H1 [mm]	54
Bild F.4 – Geometrie: relative Nachweiswahrscheinlichkeit für ein Filter als Funktion der Achsenverschiebung PA [mm]	55
Bild F.5 – Geometrie: relative Nachweiswahrscheinlichkeit für einen 0,25-l-Becher als Funktion der Achsenverschiebung PA [mm]	55
Bild F.6 – Geometrie: relative Volumen-Nachweiswahrscheinlichkeit für einen 0,25-l-Becher als Funktion der Füllhöhe HS [in mm].....	56
Bild F.7 – Geometrie: relative Zählereignisse je Schicht für einen 0,25-l-Becher	57
Bild F.8 – Geometrie: Einfluss der Dichte [in g/cm ³] auf die relative Nachweiswahrscheinlichkeit für einen 0,25-l-Becher	58
Bild F.9 – Geometrie: Einfluss der Matrix auf die relative Nachweiswahrscheinlichkeit für einen 0,25-l-Becher	58
Bild F.10 – Geometrie: Zählverluste durch Summationseffekte für eine Punktquelle als Funktion des Probe-Detektor-Abstands H1 [mm]	59
Bild F.11 – Geometrie: Zählverluste durch Summationseffekte für einen 0,25-l-Becher als Funktion des Probe-Detektor-Abstands H1 [mm]	60

Tabellen

Tabelle 1 – Symbole und Einheiten	19
Tabelle 2 – Normen für Probenahme und Probenvorbereitung für verschiedene Arten von Proben	31
Tabelle B.1 – Korrekturen bezüglich der Probengeometrie	38
Tabelle B.2 – Korrektur bezüglich Zusammensetzung und Dichte	39
Tabelle B.3 – Korrektur bezüglich Pulsaufstockung	40
Tabelle B.4 – Kaskaden-Summutationskorrektur	41

Tabelle C.1 – Unsicherheitsbeiträge vom Typ A	42
Tabelle C.2 – Unsicherheitsbeiträge vom Typ B	43
Tabelle D.1 – Typische Charakteristika von Halbleiterdetektoren	44
Tabelle D.2 – Typische Charakteristika von Szintillationsdetektoren	45
Tabelle E.1 – Gemessene Impulse für die auf dem Detektor platzierte Prüfprobe im Bereich der ¹³⁷ Cs-Totalabsorptionslinie, $t_m = 60\,000\text{ s}$	49
Tabelle E.2 – Zählereignisse in definierten Regionen des Spektrums	49
Tabelle F.1 – Parameter, die die Systemgeometrie beschreiben	53

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: *E DIN ISO 20042 (VDE 0493-2042):2016-12.*

Die Internationale Norm ISO 20042:2019, *Measurement of radioactivity – Gamma-ray emitting radionuclides – Generic test method using gamma-ray spectrometry*, ist unverändert in diese Norm übernommen worden.

Die Internationale Norm wurde vom SC 2 „Radiological protection“ des ISO/TC 85 „Nuclear energy, nuclear technologies and radiological protection“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium DKE/GK 851 „Aktivitätsmessgeräte für den Strahlenschutz“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de), Gemeinschaftsgremium mit dem DIN-Normenausschuss Radiologie (NAR), zuständig.

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit europäischen und internationalen Dokumenten

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.

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ist nachstehend wiedergegeben.

Tabelle NA.1 (1 von 2)

Europäisches Dokument	Internationales Dokument	Deutsches Dokument	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
–	ISO/IEC Guide 98-3:2008	–	–
EN ISO 542	ISO 542	DIN EN ISO 542 <i>zurückgezogen</i>	–
EN ISO 707	ISO 707	DIN EN ISO 707	–
–	ISO 5500	–	–
–	ISO 5538	–	–
EN ISO 5667-1	ISO 5667-1	DIN EN ISO 5667-1	–
–	ISO 5667-10	–	–
EN ISO 10703	ISO 10703	DIN EN ISO 10703	–
–	ISO 11929 <i>ersetzt durch:</i>	DIN ISO 11929	–
–	ISO 11929-1:2019 <i>siehe auch:</i>	DIN ISO 11929-1 (VDE 0493-9391):2020-03	VDE 0493-9391
–	ISO 11929-2:2019	DIN ISO 11929-2 (VDE 0493-9392):2020-03	VDE 0493-9392
–	ISO 11929-3:2019	DIN ISO 11929-3 (VDE 0493-9393):2020-03	VDE 0493-9393
EN ISO/IEC 17025	ISO/IEC 17025	DIN EN ISO/IEC 17025	–
EN ISO 17604	ISO 17604	DIN EN ISO 17604	–
–	ISO 18400-101	DIN ISO 18400-101	–
–	ISO 18400-102	DIN ISO 18400-102	–
–	ISO 18400-103	DIN ISO 18400-103 <i>zurückgezogen</i>	–
–	ISO 18400-104	DIN ISO 18400-104 ^a	–
–	ISO 18400-107	DIN ISO 18400-107	–
–	ISO 18400-202	DIN ISO 18400-202 ^a	–

Tabelle NA.1 (2 von 2)

–	ISO 18400-203	DIN ISO 18400-203 ^a	–
–	ISO 18400-204	–	–
–	ISO 18400-205	–	–
EN ISO 18589-2	ISO 18589-2	DIN EN ISO 18589-2 (VDE 0493-4-5892)	VDE 0493-4-5892
EN ISO 18589-3	ISO 18589-3	DIN EN ISO 18589-3 (VDE 0493-4-5893)	VDE 0493-4-5893
EN ISO 18589-7	ISO 18589-7	DIN EN ISO 18589-7 (VDE 0493-4-5897)	VDE 0493-4-5897
EN ISO 24333	ISO 24333	DIN EN ISO 24333	–
^a In Vorbereitung.			

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 542 (zurückgezogen), *Ölsamen – Probenahme*

DIN EN ISO 707, *Milch und Milcherzeugnisse – Leitfaden zur Probenahme*

DIN EN ISO 5667-1, *Wasserbeschaffenheit – Probenahme – Teil 1: Anleitung zur Erstellung von Probenahmeprogrammen und Probenahmetechniken*

DIN EN ISO 10703, *Wasserbeschaffenheit – Bestimmung der Aktivitätskonzentration von Radionukliden – Verfahren mittels hochauflösender Gammaskpektrometrie*

DIN EN ISO 17604, *Mikrobiologie der Lebensmittelkette – Probenahme von Schlachttierkörpern zur mikrobiologischen Untersuchung*

DIN EN ISO 18589-2 (VDE 0493-4-5892), *Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Erdboden – Teil 2: Leitlinie für die Auswahl der Probenahme-strategie, Probenahme und Vorbehandlung der Proben*

DIN EN ISO 18589-3 (VDE 0493-4-5893), *Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Erdboden – Teil 3: Messung von Gammastrahlen emittierenden Radionukliden mittels Gammaskpektrometrie*

DIN EN ISO 18589-7 (VDE 0493-4-5897), *Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Erdboden – Teil 7: In-situ-Messung von Gammastrahlung emittierenden Radionukliden*

DIN EN ISO 24333, *Getreide und Getreideerzeugnisse – Probenahme*

DIN ISO 11929-1 (VDE 0493-9391):2020-03, *Bestimmung der charakteristischen Grenzen (Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze und Grenzen des Vertrauensbereichs) bei Messungen ionisierender Strahlung – Grundlagen und Anwendungen – Teil 1: Elementare Anwendungen (ISO 11929-1:2019)*

DIN ISO 11929-2 (VDE 0493-9392):2020-03, *Bestimmung der charakteristischen Grenzen (Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze und Grenzen des Vertrauensbereichs) bei Messungen ionisierender Strahlung – Grundlagen und Anwendungen – Teil 2: Fortgeschrittene Anwendungen (ISO 11929-2:2019)*

DIN ISO 11929-3 (VDE 0493-9393):2020-03, *Bestimmung der charakteristischen Grenzen (Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze und Grenzen des Vertrauensbereichs) bei Messungen ionisierender Strahlung – Grundlagen und Anwendungen – Teil 3: Anwendung von Entfaltungstechniken (ISO 11929-3:2019)*

DIN ISO 18400-101, *Bodenbeschaffenheit – Probenahme – Teil 101: Rahmen für die Vorbereitung und Anwendung eines Probenahmeplans*

DIN ISO 18400-102, *Bodenbeschaffenheit – Probenahme – Teil 102: Auswahl und Anwendung von Probenahmetechniken*

DIN ISO 18400-103 (zurückgezogen), *Bodenbeschaffenheit – Probenahme – Teil 103: Sicherheit*

DIN ISO 18400-104 (in Vorbereitung), *Bodenbeschaffenheit – Probenahme – Teil 104: Strategien*

DIN ISO 18400-107, *Bodenbeschaffenheit – Probenahme – Teil 107: Aufzeichnung und Berichtswesen*

DIN ISO 18400-202 (in Vorbereitung), *Bodenbeschaffenheit – Probenahme – Teil 202: Historische Recherchen*

DIN ISO 20042 (VDE 0493-2042):2020-05

DIN ISO 18400-203 (in Vorbereitung), *Bodenbeschaffenheit – Probenahme – Teil 203: Untersuchungen vermutlich kontaminierter Standorte*

DIN EN ISO/IEC 17025, *Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien*

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von ISO Technischen Komitees 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 zum freiwilligen Charakter von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT) berücksichtigt, enthält der folgende Link: www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 85 „Nuclear energy, nuclear technologies, and radiological protection“, Unterkomitee SC 2 „Radiological protection“ erarbeitet.

Alle Rückmeldungen und Fragen zu diesem Dokument sollten direkt an die Nationale Normungsorganisation des Lesers gesendet werden. Eine vollständige Liste dieser Organisationen kann auf www.iso.org/members.html gefunden werden.

Einleitung

Jeder wird mit natürlicher Strahlung exponiert. Die natürlichen Strahlungsquellen sind kosmische Strahlung und natürlich vorkommende radioaktive Stoffe, die innerhalb der Erde selbst und im menschlichen Körper vorhanden sind. Menschliche Aktivitäten, die den Umgang mit Strahlung und radioaktiven Stoffen beinhalten, verursachen Strahlenexposition zusätzlich zur natürlichen Exposition. Einige dieser Aktivitäten, wie z. B. Bergbau und die Verwendung von Erzen, die natürliche radioaktive Stoffe (NORM) enthalten, und die Energieerzeugung durch Verbrennung von Kohle, die derartige Stoffe enthält, erhöhen die Exposition gegenüber natürlichen Strahlungsquellen. Kernkraftwerke und andere kerntechnische Einrichtungen verwenden radioaktive Stoffe und erzeugen radioaktive Abwässer und Abfälle während ihres Betriebs und bei ihrem Rückbau. Die Verwendung radioaktiver Stoffe in Industrie, Landwirtschaft und Forschung nimmt in der ganzen Welt zu.

Auch bewirken alle diese menschlichen Aktivitäten üblicherweise Strahlenexpositionen, die jedoch nur einen kleinen Teil des globalen mittleren Niveaus der natürlichen Strahlenexposition betragen. Die medizinische Anwendung von Strahlung ist die größte und weiterhin zunehmende menschengemachte Quelle der Strahlenexpositionen in entwickelten Ländern. Sie beinhaltet die diagnostische Radiologie, die Strahlentherapie, die Nuklearmedizin und die interventionelle Radiologie.

Strahlenexposition entsteht auch als Ergebnis von beruflichen Aktivitäten. Sie ergibt sich bei Arbeitern in der Industrie, Medizin und Forschung beim Umgang mit Strahlung oder radioaktiven Stoffen, auch bei Passagieren und Besatzungsmitgliedern während des Luftverkehrs. Die mittlere berufliche Strahlenexposition ist im Allgemeinen ähnlich dem globalen Mittelwert der natürlichen Strahlenexposition [1].

Mit der zunehmenden Verwendung von Strahlung nehmen auch das mögliche Gesundheitsrisiko und die Bedenken der Öffentlichkeit zu. Deshalb werden alle diese Expositionen regelmäßig erfasst, um

- a) das Verständnis für globale Niveaus und zeitliche Trends der Exposition der Öffentlichkeit und der beruflich strahlenexponierten Personen zu verbessern,
- b) die Komponenten der Exposition zu bestimmen wie auch um ein Maß für ihre relative Bedeutung zur Verfügung zu stellen und
- c) aufkommende Aspekte zu identifizieren, die mehr Aufmerksamkeit und eine genauere Untersuchung rechtfertigen könnten.

Während die Dosiswerte von beruflich strahlenexponierten Personen meist direkt gemessen werden, werden die Dosiswerte der Öffentlichkeit üblicherweise mittels indirekter Methoden unter Verwendung der Ergebnisse von Messungen der Radioaktivität aus verschiedenen Quellen wie Abfall, Abwasser und/oder Umweltproben bestimmt.

Um sicherzustellen, dass die aus den Programmen zur Radioaktivitätsüberwachung erhaltenen Daten für den beabsichtigten Verwendungszweck geeignet sind, ist es wesentlich, dass sich die Interessenvertreter (die Betreiber, die zuständigen Behörden, die örtlichen Informationskomitees und Vereine usw.) auf geeignete Methoden und Verfahren für Probenahme, Handhabung, Transport, Lagerung und Aufbereitung der Proben, Prüfverfahren und für die Berechnung der Messunsicherheit einigen. Auch eine Bestimmung der Gesamt-Messunsicherheit muss systematisch durchgeführt werden. Da verlässliche, vergleichbare und für den Messzweck geeignete Daten wesentliche Voraussetzung für jede auf Messungen der Radioaktivität basierende Entscheidung über die öffentliche Gesundheit sind, sind Internationale Normen für geprüfte und validierte Radionuklid-Prüfverfahren ein wichtiges Werkzeug für die Erzeugung solcher Messergebnisse. Die Anwendung von Normen dient auch dazu, eine kontinuierliche Vergleichbarkeit der Prüfergebnisse verschiedener Prüflaboratorien sicherzustellen. Laboratorien wenden sie an, um ihre technische Qualifikation zu demonstrieren und um Eignungsprüfungen im Rahmen von Ringversuchen erfolgreich abzuschließen, zwei Voraussetzungen zur Erlangung der nationalen Akkreditierung.

Zurzeit stehen über einhundert Internationale Normen für die Anwendung durch Prüflaboratorien zur Messung der Radionuklide in verschiedenen Medien zur Verfügung.

Fachgrundnormen helfen den Prüflaboratorien durch die Aufstellung allgemeiner Anforderungen und Verfahren für die Kalibrierung der Geräte und Validierung der Techniken, den Messprozess zu managen. Diese Normen unterstützen spezifische Normen, die durch das verantwortliche Personal anzuwendende Prüfverfahren

ren beschreiben, z. B. für die unterschiedlichen Arten von Proben. Die spezifischen Normen beschreiben Prüfverfahren für:

- natürliche Radionuklide (einschließlich ^{40}K , ^3H , ^{14}C und diejenigen, die aus den Zerfallsreihen von Thorium und Uran herrühren, insbesondere ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{234}U , ^{238}U und ^{210}Pb), die in Materialien natürlicher Herkunft gefunden werden können oder aus technischen Prozessen, die natürlich vorkommendes radioaktives Material beinhalten, freigesetzt werden können (z. B. Bergbau und Verarbeitung von mineralischen Sanden oder die Herstellung und Verwendung von Phosphatdüngern);
- künstliche Radionuklide, wie z. B. die Transurane (Americium, Plutonium, Neptunium und, Curium), ^3H , ^{14}C , ^{90}Sr und Gammastrahlung emittierende Radionuklide, die in Abfall, flüssigen und gasförmigen Ableitungen, in Umweltmedien (Wasser, Luft, Boden, Flora und Fauna), in Lebens- und Futtermitteln sowie als Ergebnis genehmigter Ableitungen in die Umwelt, als Fallout aus der Explosion von Kernwaffen in der Atmosphäre und Fallout ausgehend von Unfällen wie z. B. denen in Tschernobyl und Fukushima vorkommen.

Der Anteil der Untergrunddosisleistung, die auf den Menschen aus der Umgebungsstrahlung, hauptsächlich Gammastrahlung, einwirkt, ist sehr variabel und hängt von Faktoren wie z. B. der Radioaktivität im lokalen Gestein und Boden, der Art des Baumaterials und der Konstruktion der Häuser ab, in denen die Menschen leben und arbeiten.

Eine verlässliche Bestimmung der Aktivitätskonzentration der Gammastrahlung emittierenden Radionuklide in verschiedenen Umweltmedien ist für die Abschätzung der möglichen menschlichen Exposition (der Bevölkerung und der Arbeiter) durch die Radioaktivität aus allen diesen Quellen erforderlich, um die Übereinstimmung mit den Strahlenschutz- und Umweltschutzregeln zu belegen oder Anleitungen zur Reduzierung der Gesundheitsrisiken zur Verfügung zu stellen. Gammastrahlung emittierende Radionuklide werden auch als Tracer in Biologie, Medizin, Physik, Chemie und Ingenieurwesen verwendet. Genaue Messungen der Aktivität der Radionuklide werden auch für den Heimatschutz und in Verbindung mit dem Atomsperrvertrag (NPT) benötigt.

Dieses Dokument beschreibt die allgemeinen Anforderungen, um, nach geeigneter Probenahme, Probenhandhabung und Probenaufbereitung, die Aktivitätskonzentration von Gammastrahlung emittierenden Radionukliden in Proben in einem Prüflabor oder direkt vor Ort zu quantifizieren.

Dieses Dokument muss im Zusammenhang mit einem Qualitätssicherungs-Managementsystem (ISO/IEC 17025) angewandt werden. Es bildet die Grundlage für Messaufgaben unter Verwendung von Gamma-spektrometrie, wie sie in ISO 18589-3, **ISO 18589-7**, ISO 10703, ISO 13164-2 und ISO 13165-3 angegeben sind.

Dieses Dokument gehört zu einem Satz von generischen Internationalen Normen zur Messung der Radioaktivität, wie z. B. **ISO 19361**.

Messung der Radioaktivität – Gammastrahlung emittierende Radionuklide – Allgemeines Messverfahren mittels Gammaskpektrometrie

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument beschreibt die Verfahren zur Bestimmung der Aktivität (in Bq) von Gammastrahlung emittierenden Radionukliden in Prüfproben mittels Gammaskpektrometrie. Die Messungen werden nach geeigneter Probenvorbereitung in einem Prüflaboratorium durchgeführt. Die Prüfproben können fest, flüssig oder gasförmig sein. Hierzu gehören die folgenden Anwendungen:

- Routineüberwachung der von kerntechnischen Anlagen oder von Orten, die erhöhte Konzentrationen von natürlich auftretenden radioaktiven Stoffen ableiten, freigesetzten Radioaktivität;
- Beiträge zur Bestimmung der Ausbreitung von Radioaktivität in der Umgebung;
- Untersuchung von Unfällen und Zwischenfällen mit dem Ziel, Sanierungsmaßnahmen zu planen und deren Effektivität zu überwachen;
- Beurteilung von möglicherweise kontaminierten Reststoffen aus den Hinterlassenschaften bei der Stilllegung kerntechnischer Anlagen;
- Überwachung von radioaktiven Kontaminationen in Materialien wie z. B. Böden, Lebensmitteln, Trinkwasser, Grundwasser, Meerwasser oder Klärschlamm;
- Messungen zur Abschätzung der Aktivitätsaufnahme (durch Inhalation, Ingestion oder Injektion) von Gammastrahlung emittierenden Radionukliden in den Körper.

Es wird davon ausgegangen, dass der Anwender dieses Dokuments Informationen zur Zusammensetzung der Prüfproben oder des Geländes erhalten hat. In einigen Fällen sind die zu analysierenden Radionuklide angegeben, falls charakteristische Grenzen erforderlich sind. Es wird ebenfalls angenommen, dass die Prüfproben homogenisiert und repräsentativ für das zu prüfende Material sind.

Es sind allgemeine Anleitungen zur Vorbehandlung der Proben für die Messungen enthalten. Jedoch müssen einige Probenarten gemäß den Anforderungen von speziellen Normen, auf die in diesem Dokument verwiesen wird, vorbereitet werden. Die allgemeinen Empfehlungen können auch für die Vor-Ort-Messung von Gammastrahlern hilfreich sein.

Dieses Dokument beinhaltet allgemeine Empfehlungen für die Auswahl von Geräten (siehe [Anhang A](#)), Detektoren (weitere detailliertere Informationen sind im [Anhang D](#) enthalten) und für die Inbetriebnahme von Geräten und der Validierung von Verfahren. [Anhang F](#) fasst für typische Gammaskpektrometriesysteme die Einflüsse verschiedener Messparameter auf deren Ergebnisse zusammen. Qualitätskontrolle und routinemäßige Wartung werden ebenfalls abgedeckt, aber die elektrische Prüfung des Detektors und der Elektronik zur Pulsverarbeitung werden nicht behandelt. Es wird angenommen, dass jedwede verwendete Software zur Datensammlung und zur Analyse in Übereinstimmung mit relevanten Software-Normen wie z. B. ISO/IEC/IEEE 12207 geschrieben und geprüft wurde.

Die Kalibrierung unter Verwendung von Referenzquellen und/oder numerischen Verfahren wird abgedeckt, einschließlich der Verifizierung der Ergebnisse. Sie beinhaltet auch das Verfahren zur Abschätzung des Aktivitätsgehalts der Probe (in Bq) aus dem Spektrum.

Die Grundsätze, die in diesem Dokument aufgestellt werden, sind anwendbar auf Messungen mittels Gammaskpektrometrie in Prüflaboratorien und bei Feldmessungen (In-situ-Messungen). Detaillierte Anforderungen für die Messung mittels In-situ-Gammaskpektrometrie werden jedoch in [ISO 18589-7](#) beschrieben und liegen außerhalb des Anwendungsbereichs dieses Dokuments.

Dieses Dokument deckt, ohne darauf beschränkt zu sein, Gammastrahler, die Photonen im Energiebereich von 5 keV bis 3 000 keV emittieren, ab. Die Mehrzahl der Messungen fällt jedoch in den Bereich von 40 keV bis 2 000 keV. Die Aktivität (in Bq) reicht von niedrigen Niveaus (im Sub-Bq-Bereich), wie sie bei Umweltproben gefunden werden, bis zu Aktivitäten, die bei Unfallbedingungen und in hochradioaktiven Abfällen gefunden werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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 542, *Oilseeds – Sampling*

ISO 707, *Milk and milk products – Guidance on sampling*

ISO 5500, *Oilseed residues – Sampling*

ISO 5538, *Milk and milk products – Sampling – Inspection by attributes*

ISO 5667-1, *Water quality – Sampling – Part 1: Guidance on the design of sampling programmes and sampling techniques*

ISO 5667-10, *Water quality – Sampling – Part 10: Guidance on sampling of waste waters*

ISO 10703, *Water quality – Determination of the activity concentration of radionuclides – Method by high resolution gamma-ray spectrometry*

ISO 11929, *Determination of the characteristic limits (decision threshold, detection limit and limits of the confidence interval) for measurements of ionizing radiation – Fundamentals and application*

ISO 17604, *Microbiology of the food chain – Carcass sampling for microbiological analysis*

ISO 18400-101, *Soil quality – Sampling – Part 101: Framework for the preparation and application of a sampling plan*

ISO 18400-102, *Soil quality – Sampling – Part 102: Selection and application of sampling techniques*

ISO 18400-103, *Soil quality – Sampling – Part 103: Safety*

ISO 18400-104, *Soil quality – Sampling – Part 104: Strategies*

ISO 18400-107, *Soil quality – Sampling – Part 107: Recording and reporting*

ISO 18400-202, *Soil quality – Sampling – Part 202: Preliminary investigations*

ISO 18400-203, *Soil quality – Sampling – Part 203: Investigation of potentially contaminated sites*

ISO 18400-204, *Soil quality – Sampling – Part 204: Guidance on sampling of soil gas*

ISO 18400-205, *Soil quality – Sampling – Part 205: Guidance on the procedure for investigation of natural, near-natural and cultivated sites*

ISO 18589-2, *Measurement of radioactivity in the environment – Soil – Part 2: Guidance for the selection of the sampling strategy, sampling and pre-treatment of samples*

ISO 18589-3, *Measurement of radioactivity in the environment – Soil – Part 3: Test method of gamma-emitting radionuclides using gamma-ray spectrometry*

ISO 18589-7, *Measurement of radioactivity in the environment – Soil – Part 7: In situ measurement of gamma-emitting radionuclides*

ISO 24333, *Cereals and cereal products – Sampling*

ISO/IEC Guide 98-3:2008, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM: 1995)*

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

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten 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

Untergrund-Kontinuum

(en: background continuum)

Ereignisse im Spektrum, die eine glatte Kurve formen, auf der die Totalabsorptionslinien aufsitzen

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Kontinuum kann durch gestreute Gammastrahlen in der Prüfprobe oder jedem umgebenden Material, durch kosmische Strahlung oder durch Radionuklide im umgebenden Material entstehen.

3.2

Nullprobe

Untergrundprobe

(en: blank sample)

mit der Prüfprobe vergleichbares Probenmaterial, enthält jedoch im Vergleich zur Prüfprobe vernachlässigbare radioaktive Verunreinigungen

3.3

Kalzinierung

(en: calcination)

thermische Behandlung von Pulver mit dem Ziel, flüchtige Verunreinigungen zu entfernen oder die Dichte oder spezifische Oberfläche des Pulver zu ändern

[QUELLE: ISO 13779-6:2015, 3.4]

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Kalzinierung wird üblicherweise an Proben wie Erdboden angewendet.

3.4

Zerkleinerung

(en: comminution)

Verfahren zur Reduzierung der Partikelgröße durch Zerdrücken, Mahlen oder Pulverisieren

3.5

Totzeit

(en: dead time)

Zeitspanne während der Aufnahme des Spektrums (Messzeit), während der die Pulse nicht aufgenommen oder verarbeitet werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Totzeit ergibt sich aus Messzeit minus Live-Zeit.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Zeit wird in Sekunden angegeben.

3.6

Erkennungsgrenze

(en: decision threshold)

Wert einer Messgröße, dessen Überschreiten durch ein ermitteltes Messergebnis für diese Messgröße, die einen physikalischen Effekt quantifiziert, anzeigt, dass der physikalische Effekt vorliegt

[QUELLE: ISO 11929, 3.6]

3.7

Nachweisempfindlichkeit

(en: detection efficiency)

Wahrscheinlichkeit, mit der ein emittierter Gammastrahl mit einer bestimmten Energie (keV) beim Zerfall eines Radionuklids in einer Prüfprobe in einer Totalabsorptionslinie mit der entsprechenden Energie erkannt wurde

3.8**Nachweisgrenze**

(en: detection limit)

kleinster wahrer Wert der Messgröße, der mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit durch das Messverfahren erkannt wird

[QUELLE: ISO 11929, 3.7]

3.9**Fraktionierung**

(en: fractionation)

Trennung eines Produkts in eine Anzahl kleinerer Mengen (Fraktionen) durch ein geeignetes Verfahren, wie z. B. Destillation oder Kristallisation

[QUELLE: ISO 1998-4:1998, 4.20.300]

3.10**Halbwertsbreite****FWHM**

(en: full width half maximum)

Breite einer Totalabsorptionslinie einer Gammastrahlung bei der Hälfte des höchsten Werts ihrer Verteilung

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Breite wird in Kiloelektronenvolt angegeben.

3.11**vor Ort**

In situ

(en: in situ)

Anwendung eines tragbaren Gammaskpektrometers zur direkten Messung der Aktivität (z. B. in der Umgebung und in Gebäuden) je Einheit einer Oberfläche oder je Masseneinheit eines Gammastrahlung emittierenden Radionuklids, das im Boden enthalten, auf der Bodenfläche abgelagert oder in großen Objekten wie Abfallfässern enthalten ist

3.12**Live-Zeit**

(en: live time)

Zeitspanne während einer Messzeit, während der Impulse verarbeitet werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Zeit wird in Sekunden angegeben.

3.13**Netto-Peakfläche**

(en: net photopeak area)

Fläche (Anzahl der Impulse), die in einer Totalabsorptionslinie beobachtet wurden

3.14**Weglänge**

(en: pathlength)

Weg, den ein Photon in Materie zurücklegt

3.15**Peak-zu-Compton-Verhältnis**

(en: peak-to-Compton ratio)

Verhältnis der Anzahl der Impulse im höchsten Kanal der 1 332,5-keV-Linie des ^{60}Co zur mittleren Anzahl von Impulsen in den Kanälen, die den Bereich von 1 040 keV bis 1 096 keV repräsentieren

[QUELLE: 325-1996, *IEEE Standard Test Procedures for Germanium Gamma-Ray Detectors*]**3.16****Perkolation**

(en: percolation)

Trenntechnik zum selektiven Anreichern von Ionen eines Elements (z. B. durch Ionenaustausch oder Fällung)

3.17

Totalabsorptionslinie

Photolinie

(en: photopeak)

in einem Gammaspektrum oberhalb des Untergrund-Kontinuums beobachtete Linie aufgrund von Ereignissen, die die gesamte Energie des Photons im Detektormaterial deponieren, üblicherweise näherungsweise gaußförmig

3.18

Radionuklid

(en: radionuclide)

radioaktives Nuklid

[QUELLE: IEV 881-02-36]

3.19

Messzeit

Echtzeit

(en: real time)

Zeitspanne, die zur Erfassung des Spektrums verwendet wurde

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Zeit wird in Sekunden angegeben.

3.20

Referenzquelle

(en: reference source)

Material (fest, flüssig oder gasförmig), das ein oder mehrere Radionuklide bekannter Aktivität (in Bq, $\text{Bq}\cdot\text{g}^{-1}$ oder $\text{Bq}\cdot\text{ml}^{-1}$) enthält und so hergestellt ist, dass die Aktivität rückführbar auf nationale oder internationale primäre Radioaktivitätsnormale ist

3.21

Region von Interesse

(en: region of interest)

Teil des Spektrums, das eine Totalabsorptionslinie einschließt

3.22

Spektrometriesystem

(en: spectrometry system)

komplette Anordnung von Sensor und impulsverarbeitender Elektronik, die die mittels des Sensors registrierten Gammastrahlen in ein Impulshöhenspektrum umwandelt

3.23

Prüfprobe

(en: test sample)

Gegenstand (z. B. Bodenprobe in einem Kunststoffbehälter), dessen Gehalt an Gammastrahlung emittierenden Radionukliden gemessen werden soll

3.24

Koinzidenz

(en: true coincidence summing)

simultane Detektion von zwei oder mehr Gammastrahlen in einem Spektrometriesystem infolge der Emission einer Kaskade von Gammastrahlen eines einzigen Kerns in der Prüfprobe

4 Symbole und Einheiten

Für dieses Dokument gelten die folgenden Symbole.

Tabelle 1 – Symbole und Einheiten

Symbol	Beschreibung
A	Aktivität (in Bq) jedes Radionuklids in der Kalibrierquelle zur Kalibrierzeit (t_c).
a, a_m	Aktivität (in Bq) eines Radionuklids in der Probe, spezifische Aktivität (in $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$) in der Probe
a^*	Erkennungsgrenze (in Bq)
$a^\#$	Nachweisgrenze (in Bq)
$\tilde{a}$	wahrer Wert der Aktivität
ε_E	Nachweiswahrscheinlichkeit bei der Energie E
f_d	Korrektionsfaktor für den radioaktiven Zerfall während der Messzeit, t und t_i
P_E	Emissionswahrscheinlichkeit von Gammastrahlen mit der Energie E , je Zerfall eines Radionuklids
λ	Zerfallskonstante eines Radionuklids (in s^{-1}). Die Zerfallskonstante entspricht $\ln 2 \cdot t_{1/2}^{-1}$
m	Probenmasse (in kg)
$n_{N,E}$	Anzahl der Zählereignisse in der Nettofläche einer Linie bei der Energie E im Probenspektrum
$n_{Ns,E}$	Anzahl der Zählereignisse in der Nettofläche einer Linie bei der Energie E im Kalibrierspektrum
u	dem Messergebnis zugeordnete Standardunsicherheit (in Bq)
U	erweiterte Unsicherheit, berechnet nach $U = k \cdot u$, wobei k der Erweiterungsfaktor ist
t	Zähldauer des Probenspektrums (Live-Zeit) (in s)
t_i	Zähldauer zwischen der Referenzzeit für das Ergebnis und dem Start der Messzeit (in s)
t_s	Zähldauer des Kalibrierspektrums (Live-Zeit) (in s)
$t_{1/2}$	Halbwertszeit des Radionuklids (in s)
V	Probenvolumen (in m^3)

5 Kurzbeschreibung

5.1 Allgemeines

Die in den zu analysierenden Prüfproben vorhandene Aktivität gammastrahlender Radionuklide wird üblicherweise unter Verwendung von hochauflösenden, gammaspektrometrischen Techniken bestimmt, die auf der Analyse der Energien und der Linienflächen der Totalabsorptionslinien basieren. Diese Techniken erlauben die Identifizierung und die Quantifizierung von Radionukliden und werden üblicherweise mittels der Analysesoftware ausgeführt.

ANMERKUNG In bestimmten Fällen können Detektoren mit geringerer Auflösung, wie z. B. Natriumjodid oder andere Szintillationsmaterialien, für die Messung der Radioaktivität in Prüfproben verwendet werden (siehe [ISO 19581](#)). Zum Beispiel sind Detektoren mit geringer Auflösung nützlich für das schnelle Screening von Lebensmittelproben im Fall eines nuklearen Unfalls, aber hochauflösende Spektrometrie ist für Proben notwendig, die komplexe Radionuklid-Mischungen enthalten, wie z. B. Umweltproben.

Die Beschaffenheit und die Geometrie sowohl des Detektors als auch der Prüfproben erfordern geeignete Kalibrierungen bezüglich Energie und Nachweiswahrscheinlichkeit. Bei Halbleiterdetektoren werden durch die Wechselwirkung von ionisierender Strahlung mit dem Detektormaterial (durch den Photoeffekt, den Compton-Effekt oder durch Paarbildung) freie Ladungsträger erzeugt. An den Detektorkristall wird mittels einer Hochspannungsversorgung eine Vorspannung angelegt, die zu einem elektrischen Feld führt. Die freien Ladungsträger (Elektronen und Löcher) werden durch das elektrische Feld in Richtung der Elektroden des