

	DIN EN ISO 18589-7 (VDE 0493-4-5897)	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 13.080.99; 17.240 Ersatz für DIN ISO 18589-7 (VDE 0493-4-5897):2014-12 Siehe Anwendungsbeginn Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Erdboden – Teil 7: In-situ-Messung von Gammastrahlung emittierenden Radionukliden (ISO 18589-7:2013); Deutsche Fassung EN ISO 18589-7:2016 Measurement of radioactivity in the environment – Soil – Part 7: In situ measurement of gamma-emitting radionuclides (ISO 18589-7: 2013); German version EN ISO 18589-7:2016 Mesurage de la radioactivité dans l'environnement – Sol – Partie 7: Mesurage in situ des radionucléides émetteurs gamma (ISO 18589-7:2013); Version allemande EN ISO 18589-7:2016 Gesamtumfang 64 Seiten DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE DIN-Normenausschuss Radiologie (NAR)		

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CEN am 2016-02-21 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2016-05-01.

Für **DIN ISO 18589-7 (VDE 0493-4-5897):2014-12** besteht eine Übergangsfrist bis 2016-10-31.

Nationales Vorwort

Zu diesem Dokument wurde ein Manuskriptverfahren in den DIN-Mitteilungen veröffentlicht.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium GUK 967.2 „Aktivitätsmessgeräte für den Strahlenschutz“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de), Gemeinschaftsgremium mit dem Normenausschuss Radiologie (NAR) im DIN, zuständig. Die inhaltliche Bearbeitung erfolgte im Arbeitskreis GAK 967.2.3 „In-situ-Gammaspektrometrie“.

Die vorliegende Norm enthält die deutsche Übersetzung der Internationalen Norm ISO 18589-7:2013.

Die enthaltene ISO-Publikation wurde vom SC 2 „Radiological protection“ des ISO/TC 85 „Nuclear energy, nuclear technologies and radiological protection“ der Internationalen Normungsorganisation (ISO) erarbeitet.

Zur Normenreihe ISO 18589 sind derzeit folgende DIN-Normen veröffentlicht:

- DIN ISO 18589-1:2009-02, *Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Erdboden – Teil 1: Allgemeiner Leitfaden und Begriffe (ISO 18589-1:2005)*
- **DIN ISO 18589-2 (VDE 0493-4-5892):2015-10**, *Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Erdboden – Teil 2: Leitlinie für die Auswahl der Probenahme-strategie, Probenahme und Vorbehandlung der Proben (ISO 18589-2:2015)*
- **DIN ISO 18589-3 (VDE 0493-4-5893):2015-10**, *Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Erdboden – Teil 3: Messung von Gammastrahlung emittierenden Radionukliden mittels Gammaspektrometrie (ISO 18589-3:2015)*
- DIN ISO 18589-4:2010-06, *Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Erdboden – Teil 4: Messung von Plutoniumisotopen (Plutonium-238 und Plutonium-239 + 240) durch Alphaspektrometrie (ISO 18589-4:2009)*
- DIN ISO 18589-5:2010-06, *Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Erdboden – Teil 5: Messung von Strontium-90 (ISO 18589-5:2009)*
- DIN ISO 18589-6:2010-06, *Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Erdboden – Teil 6: Messung der Alpha- und Beta-Gesamtaktivitäten (ISO 18589-6:2009)*
- DIN EN ISO 18589-7 (VDE 0493-4-5897):2016-05, *Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Erdboden – Teil 7: In-situ-Messung von Gammastrahlung emittierenden Radionukliden (ISO 18589-7:2013); Deutsche Fassung EN ISO 18589-7:2016*

Zurzeit werden die Teile 4, 5 und 6 dieser Normenreihe überarbeitet. Norm-Entwürfe dazu sind in Vorbereitung.

Änderungen

Gegenüber **DIN ISO 18589-7 (VDE 0493-4-5897):2014-12** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Die Anforderungen wurden als Europäische Norm übernommen.

Frühere Ausgaben

DIN 25462: 2000-10

DIN ISO 18589-7 (VDE 0493-4-5897): 2014-12

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

Europäisches Dokument	Internationales Dokument	Deutsches Dokument	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
–	IEC 61275:2013	DIN IEC 61275 (VDE 0493-4-3):2014-12	VDE 0493-4-3
–	ISO 11929:2010	DIN ISO 11929:2011-01	–
–	–	DIN ISO 11929 Bbl 1:2014-08	–
EN ISO/IEC 17025	ISO/IEC 17025	DIN EN ISO/IEC 17025	–
–	ISO 18589 (alle Teile)	DIN ISO 18589 (alle Teile)	–
–	ISO 18589-1:2005	DIN ISO 18589-1:2009-02	–
–	ISO 18589-2:2015	DIN ISO 18589-2 (VDE 0493-4-5892):2015-10	VDE 0493-4-5892
–	ISO 18589-3:2015	DIN ISO 18589-3 (VDE 0493-4-5893):2015-10	VDE 0493-4-5893
–	ISO/IEC-Guide 98-3 = GUM:1995	–	–
–	IEC/TR 62461:2015	Für Strahlenschutz siehe DIN IEC/TR 62461 (VDE 0493-1000):2015-07	VDE 0493-1000

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

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

DIN IEC 61275 (VDE 0493-4-3):2014-12, *Strahlenschutz-Messgeräte – Messung einzelner Radionuklide in der Umwelt – In-situ-Photonenspektrometriesystem mit Germaniumdetektor (IEC 61275:2013)*

DIN IEC/TR 62461 (VDE 0493-1000):2015-07, *Strahlenschutz-Messgeräte – Bestimmung der Unsicherheit beim Messen (IEC/TR 62461:2015)*

DIN ISO 11929:2011-01, *Bestimmung der charakteristischen Grenzen (Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze und Grenzen des Vertrauensbereichs) bei Messungen ionisierender Strahlung – Grundlagen und Anwendungen (ISO 11929:2010)*

DIN ISO 11929 Bbl 1:2014-08, *Bestimmung der charakteristischen Grenzen (Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze und Grenzen des Vertrauensbereichs) bei Messungen ionisierender Strahlung – Grundlagen und Anwendungen; Beiblatt 1: Beispiele*

DIN ISO 18589 (alle Teile), *Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Erdboden*

DIN ISO 18589-1:2009-02, *Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Erdboden – Teil 1: Allgemeiner Leitfaden und Begriffe (ISO 18589-1:2005)*

DIN ISO 18589-2 (VDE 0493-4-5892):2015-10, *Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Erdboden – Teil 2: Leitlinie für die Auswahl der Probenahmestrategie, Probenahme und Vorbehandlung der Proben (ISO 18589-2: 2015)*

DIN ISO 18589-3 (VDE 0493-4-5893):2015-10, *Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Erdboden – Teil 3: Messung von Gammastrahlung emittierenden Radionukliden mittels Gammaspektrometrie (ISO 18589-3: 2015)*

**Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt –
Erdboden –
Teil 7: In-situ-Messung von Gammastrahlung emittierenden Radionukliden
(ISO 18589-7:2013)**

Measurement of radioactivity in the environment –
Soil –
Part 7: In situ measurement of gamma-emitting
radionuclides
(ISO 18589-7: 2013)

Mesurage de la radioactivité dans
l'environnement – Sol –
Partie 7: Mesurage in situ des radionucléides
émetteurs gamma
(ISO 18589-7:2013)

Diese Europäische Norm wurde von CEN am 2016-02-21 angenommen.

CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC Management Centre oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem CEN-CENELEC Management Centre mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

CEN

Europäisches Komitee für Normung
European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation

CEN-CENELEC Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort.....	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe, Formelzeichen und Einheiten	7
3.1 Begriffe	7
3.2 Formelzeichen und Einheiten	10
4 Kurzbeschreibung.....	12
4.1 Messverfahren	12
4.2 Unsicherheiten des Messverfahrens	13
5 Ausrüstung	13
5.1 Tragbares In-situ-Spektrometriesystem	13
5.2 Detektorsystem.....	14
5.3 Elektronik zur Impulsverarbeitung	15
5.4 Haltevorrichtung für das Detektorsystem	16
5.5 Kollimierter Detektor	16
6 Verfahren	18
6.1 Kalibrierung	18
6.2 Kombiniertes Kalibrierverfahren	19
7 Qualitätssicherung und Programm zur Qualitätsüberwachung.....	24
7.1 Allgemeines	24
7.2 Einflussgrößen.....	24
7.3 Geräteüberprüfung	24
7.4 Überprüfung des Verfahrens	24
7.5 Qualitätsüberwachungsprogramm	24
7.6 Standardarbeitsanweisung	26
8 Darstellung der Ergebnisse	26
8.1 Berechnung der flächen- oder massenbezogenen Aktivität.....	26
8.2 Berechnung der charakteristischen Grenzen sowie der besten Schätzung der Messgröße und der dieser zugeordneten Standardunsicherheit	26
8.3 Berechnung der nuklidspezifischen Ortsdosisleistung.....	28
9 Prüfbericht	29
Anhang A (informativ) Einfluss von Radionukliden in Luft auf das Ergebnis bei der Bestimmung der flächen- oder massenbezogenen Aktivität mit einem In-situ-Gammaspektrometer.....	30
Anhang B (informativ) Einflussgrößen	31
Anhang C (informativ) Kenndaten von Germaniumdetektoren	34
Anhang D (informativ) Sichtbereiche eines In-situ-Gammaspektrometers als Funktion der Photonenenergie bei verschiedenen Radionuklidverteilungen im Boden.....	36

Anhang E (informativ) Grundlagen zur Berechnung von Geometrie- und Winkelkorrektionsfaktoren.....	40
Anhang F (informativ) Beispiel für die Berechnung der charakteristischen Grenzen sowie der besten Schätzung der Messgröße und der dieser zugeordneten Standardunsicherheit.....	47
Anhang G (informativ) Faktoren zur Umrechnung der flächen- oder massenbezogenen Aktivität in Luftkermaleistung und Umgebungs-Äquivalentdosisleistung bei verschiedenen Verteilungen von Radionukliden im Boden	51
Anhang H (informativ) Massenschwächungskoeffizienten für Boden und Schwächungskoeffizienten für Luft als Funktion der Photonenenergie und Abweichung von $G(E, V)$ für verschiedene Bodenzusammensetzungen.....	58
Literaturhinweise	60

Bilder

Bild 1 – Schematische Darstellung (Schnitt) einer Anordnung aus Germaniumdetektor und zylinderförmigem Kollimator	17
Bild 2 – Schematische Übersicht über empirische und Modell-Größen und ihre Verknüpfung zur Kalibrierung eines In-situ-Gammaspektrometers.....	20
Bild 3 – Schematische Übersicht der individuellen Module für die numerische Kalibrierung	23
Bild A.1 – Flächenbezogene Aktivität bei Ablagerung auf der Bodenoberfläche oder massenbezogene Aktivität bei homogener Verteilung im Boden, hervorgerufen durch Aktivität in der Umgebungsluft mit einer Aktivitätskonzentration von $1 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$	30
Bild C.1 – Photonentransmission für verschiedene Detektortypen, Fenster- und Endkappenmaterialien als Funktion der Photonenenergie	35
Bild D.1 – Sichtbereiche eines In-situ-Gammaspektrometers als Funktion der Photonenenergie für verschiedene Radionuklidverteilungen im Boden und eine Detektorhöhe von 1 m, mit Relaxationsmassenflächendichte β in $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ als Parameter	36
Bild D.2 – Detektoransprechvermögen eines isotropen Detektors als Funktion der Photonenenergie für eine homogene unendlich ausgedehnte Oberflächenkontamination	37
Bild D.3 – Detektoransprechvermögen eines nicht-isotropen Detektors als Funktion der Photonenenergie für eine homogene unendlich ausgedehnte Oberflächenkontamination	38
Bild D.4 – Detektoransprechvermögen eines kollimierten Detektors als Funktion der Photonenenergie für eine homogene endlich ausgedehnte Oberflächenkontamination	39
Bild E.1 – Geometriefunktionen für eine Ablagerung auf der Bodenoberfläche ($\beta = 0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$) und für verschiedene exponentielle Verteilungen von Radionukliden im Boden als Funktion der Photonenenergie (Detektorhöhe 1 m, Relaxationsmassenflächendichte β als Parameter)	41
Bild E.2 – Geometriefunktion für homogene Verteilung von Radionukliden im Boden als Funktion der Photonenenergie (Detektorhöhe 1 m)	42
Bild H.1 – Massenschwächungskoeffizienten μ_S/ρ_S von Boden und Schwächungskoeffizienten μ_{Air} von Luft als Funktion der Photonenenergie	58
Bild H.2 – Verhältnis der Geometriefunktionen $G(E, V)$ für ISO- und ICRU-Bodenzusammensetzungen.....	59

Tabellen

Tabelle 1 – Formelzeichen	10
Tabelle 2 – Geeignete Werkstoffe für Kollimatoren und deren Kenndaten.....	18
Tabelle C.1 – Kenndaten von Germaniumdetektoren für die In-situ-Gammaspektrometrie	34
Tabelle E.1 – Zahlenbeispiel für die Berechnung des Winkelkorrektionsfaktors für ein In-situ-Gammaspektrometer ohne Kollimator	45

Tabelle E.2 – Zahlenbeispiel für die Berechnung des Winkelkorrektionsfaktors W für ein In-situ-Gammaspektrometer mit Kollimator.....	46
Tabelle G.1 – Faktoren zur Umrechnung der massenbezogenen Aktivität in Luftkermaleistung in 1 m Höhe über dem Boden für natürliche Radionuklide bei homogener Verteilung ($\beta \rightarrow \infty \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$)	51
Tabelle G.2 – Faktoren zur Umrechnung der flächenbezogenen Aktivität in Luftkermaleistung in 1 m Höhe über dem Boden für verschiedene Relaxationsmassenflächendichten β	52
Tabelle G.3 – Faktoren zur Umrechnung der flächenbezogenen Aktivität in Umgebungs-Äquivalentdosisleistung $\dot{H}^*(10)$ in 1 m Höhe über dem Boden für verschiedene Relaxationsmassenflächendichten β	54

Europäisches Vorwort

Der Text von ISO 18589-7:2013 wurde vom ISO/TC 85 „Nuclear energy, nuclear technologies and radiological protection“ der Internationalen Organisation für Standardisierung (ISO) erarbeitet und als EN ISO 18589-7:2016 durch das Technische Komitee CEN/TC 430 „Kernenergie, Kerntechnik und Strahlenschutz“, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird, übernommen.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Oktober 2016, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen spätestens im Oktober 2016 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, der Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 18589-7:2013 wurde von CEN als EN ISO 18589-7:2016 ohne irgendeine Abänderung angenommen.

Einleitung

Die In-situ-Gammaspektrometrie ist eine schnelle und genaue Methode, die spezifische Aktivität von Gammastrahlung emittierenden Radionukliden zu bestimmen, die sich in der oberen Bodenschicht befinden oder sich als Niederschlag auf der Bodenoberfläche absetzen. Diese Methode wird ebenso zur Ermittlung der Ortsdosisleistung einzelner Radionuklide eingesetzt.

Die In-situ-Gammaspektrometrie stellt eine direkte Messmethode für Radioaktivität dar, bei der keine Bodenproben erforderlich sind. Dadurch werden Zeit und Kosten für zahlreiche Laboranalysen von Bodenproben eingespart.

Die quantitative Auswertung der aufgenommenen Impulshöhenspektren setzt eine geeignete Messfläche voraus. Zudem sind zur Bestimmung der Aktivität der Radionuklide im Boden Kenntnisse über bestimmte physikalisch-chemische Eigenschaften des Bodens sowie die vertikale Verteilung der Radionuklide im Boden erforderlich.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der ISO 18589 spezifiziert die Identifizierung von Radionukliden und ihre Aktivitätsmessung im Boden mittels tragbarer In-situ-Gammaspektrometriesysteme mit Germanium- oder Szintillationsdetektoren.

Dieser Teil der ISO 18589 behandelt die Schnellbestimmung von künstlichen und natürlichen Radionukliden, die sich auf Bodenoberflächen ablagern oder in Bodenschichten großer Messflächen vorkommen.

Dieser Teil der ISO 18589 kann mit Laboruntersuchungen von Radionukliden in Bodenproben (ISO 18589-3) kombiniert und für folgende Fälle eingesetzt werden:

- Routineüberwachung zur Auswirkung von Freisetzung von Radioaktivität aus kerntechnischen Anlagen oder zur Entwicklung der Radioaktivität in der Region;
- Untersuchungen bei Unfällen oder Störfallsituationen;
- Planung und Überwachung bei der Sanierung;
- Stilllegung von Anlagen oder Freimessung von Materialien.

Er kann ebenfalls bei der Identifizierung luftgetragener künstlicher Radionuklide eingesetzt werden, wenn die Höhe der Exposition innerhalb von Gebäuden oder während Abläufen bei der Abfallentsorgung abgeschätzt werden soll.

Nach einem Nuklearunfall ist die In-situ-Gammaspektrometrie eine leistungsfähige Methode zur schnellen Einschätzung sowohl der abgelagerten Aktivität Gammastrahlung emittierender Radionuklide auf Bodenoberflächen als auch der Oberflächenkontamination von flachen Gegenständen.

ANMERKUNG Die Methode, die in diesem Teil der ISO 18589 beschrieben wird, ist nicht geeignet, wenn die räumliche Verteilung der Radionuklide in der Umwelt nicht genau bekannt ist (Einflussgrößen, unbekannte Verteilung im Boden) oder in Situationen mit sehr hohem Photonenfluss. Jedoch erlaubt der Einsatz eines kleinvolumigen Detektors mit geeigneter Elektronik Messungen unter hohem Photonenfluss.

2 Normative Verweisungen

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

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

IEC 61275, *Radiation protection instrumentation – Measurement of discrete radionuclides in the environment – In situ photon spectrometry system using a germanium detector*

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*

3 Begriffe, Formelzeichen und Einheiten

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1.1

axialer Wirkungsquerschnitt des Detektors

(en: intrinsic efficiency)

η_0

Wirkungsquerschnitt des Detektors für Photonen aus der Richtung der Kristallsymmetrieachse

Anmerkung 1 zum Begriff: Der axiale Wirkungsquerschnitt hängt von der Energie des Photons ab.

3.1.2

Detektoreffizienz

(en: detector efficiency)

$\eta_0(E)$

Detektorausbeute in Richtung der Kristall-Symmetrieachse in Abhängigkeit von der Photonenenergie E

3.1.3

Detektorhöhe

(en: detector height)

d

Abstand des geometrischen Kristallmittelpunkts des Detektors zur Bodenoberfläche

3.1.4

flächen- oder massenbezogene Nachweiswahrscheinlichkeit

(en: efficiency per unit of surface area or unit of mass)

ε

Verhältnis aus Nettozählrate einer GesamtabSORPTIONSLINIE mit der Energie E und der Photonenemissionsrate der betrachteten Flächen- oder Masseneinheit

3.1.5

relative Nachweiswahrscheinlichkeit

(en: relative detection efficiency)

Verhältnis, ausgedrückt in Prozent, der Nettozählrate einer ^{60}Co -1 333-keV-GesamtabSORPTIONSLINIE zu derjenigen, die mit einem 3 × 3 Zoll großen Natriumiodiddetektor für ungestreute Photonen und im Abstand von 0,25 m vom Strahler erhalten wurde

3.1.6

Geometriefaktor

(en: geometry factor)

G

Verhältnis von Flussdichte ungestreuter Photonen, gemessen am Ort des Detektors, zur Photonenemissionsrate der betrachteten Flächen- oder Masseneinheit

3.1.7

Öffnungswinkel des Kollimators

(en: aperture angle of collimator)

ϑ_{col}

charakteristischer Winkel eines In-situ-Gammaspektrometers mit Kollimator^{N1)}

3.1.8

Relaxationsmassenflächendichte

(en: relaxation mass per unit area [7])

β

Parameter zur mathematischen Beschreibung der Verteilung eines Radionuklids als Funktion der Bodentiefe

Anmerkung 1 zum Begriff: Sie gibt die Bodenmasse je Flächeneinheit an, innerhalb derer die Aktivität auf 1/e (37 %) abnimmt.

^{N1)} Nationale Fußnote: Der Öffnungswinkel ist eine Kenngröße zur Spezifizierung eines In-situ-Gammaspektrometers mit Kollimator. Sie ergibt sich aus dem Sichtbereich für eine Photonenenergie von 662 keV bei Oberflächenbelegung und einer Detektorhöhe von 1 m. Der Öffnungswinkel wird als Polarwinkel ϑ gegen die Kristallsymmetrieachse angegeben.

3.1.9

Sichtbereich des Detektors

(en: field of view of a detector)

Radius des Bodenbereichs, aus dem 90 % der vom Detektor registrierten ungestreuten Photonen stammen^{N2)}

3.1.10

Verteilungsmodell

(en: distribution model)

V

Gesamtheit aller physikalischen und geometrischen Parameter zur Beschreibung der Verteilung des betrachteten Radionuklids in der Umwelt sowie der Wechselwirkung emittierter Photonen mit dem Boden und der Luft

3.1.11

Winkelkoeffizient

(en: angular coefficient)

k_m

Faktor unter Berücksichtigung des Winkel-Wirkungsquerschnitts des Detektors und der Winkelverteilung der einfallenden Photonen^{N3)}

3.1.12

Messfläche

(en: measurement area)

Bereich im Boden und/oder auf der Bodenoberfläche, für den eine nuklidspezifische flächen- oder massenbezogene Aktivität gilt^{N4)}

3.1.13

Massenbelegung

(en: mass per unit area [7])

ζ_{col}

<Kollimator> Produkt aus Dichte und Wanddicke eines Kollimators

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Massenbelegung wird angegeben für einen Polarwinkel ϑ von 90° auf Höhe des geometrischen Kristallmittelpunkts.

3.1.14

Wirkungsquerschnitt des Detektors

(en: cross section of the detector)

Verhältnis von Nettozählrate der auszuwertenden Gesamtabsorptionslinie bei der Energie E zur Flussdichte ungestreuter Photonen der Energie E am Ort des Detektors^{N5)}

3.1.15

flächen- oder massenbezogener Kalibrierfaktor

(en: calibration factor per unit of surface area or unit of mass)

w

Verhältnis von flächen- oder massenbezogener Aktivität des auszuwertenden Radionuklids zur Nettoimpulsrate der auszuwertenden Gesamtabsorptionslinie

^{N2)} Nationale Fußnote: Der Sichtbereich ist eine von den Modellannahmen abhängige Hilfsgröße zur Veranschaulichung des von einem In-situ-Gammaspektrometer erfassten Bodenbereichs.

^{N3)} Nationale Fußnote: Verhältnis des Wirkungsquerschnitts des Detektors für Photonen aus einem bestimmten Raumwinkel zum axialen Wirkungsquerschnitt. Der Winkelkoeffizient ist abhängig von der Photonenenergie E und dem Raumwinkelsegment m , aus dem die Photonen auf den Detektor treffen. Winkelkoeffizienten sind reine Detektorgrößen.

^{N4)} Nationale Fußnote: Bodenbereich, für den eine gleichmäßige flächen- oder massenbezogene Aktivitätsverteilung des auszuwertenden Radionuklids vorausgesetzt wird.

^{N5)} Nationale Fußnote: Wirkungsquerschnitte hängen vom Einfallswinkel der Photonen und deren Energie ab. Sie werden messtechnisch bestimmt und sind reine Detektorgrößen.

3.2 Formelzeichen und Einheiten

Für die Anwendung dieses Teiles der ISO 18589 gelten die Formelzeichen und Einheiten nach ISO 11929 und nach Tabelle 1.

Tabelle 1 – Formelzeichen (1 von 3)

Formelzeichen	Beschreibung	Einheit
a	Aktivität eines betrachteten Radionuklids zum Zeitpunkt der Messung a) flächenbezogen b) massenbezogen	$\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$ $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$
$\hat{a}$	Beste Schätzung der Messgröße des betrachteten Radionuklids ^{N6)} a) flächenbezogen b) massenbezogen	$\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$ $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$
a_K	Aktivität des Kalibrierstrahlers zum Zeitpunkt der Messung	Bq
a_0	Flächenbezogene Aktivität des betrachteten Radionuklids auf der Bodenoberfläche	$\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$
$a(\zeta)$	Flächenbezogene Aktivität als Funktion der Massenflächendichte	$\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$
a^*	Erkennungsgrenze der Messgröße des betrachteten Radionuklids zum Zeitpunkt der Messung a) flächenbezogen b) massenbezogen	$\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$ $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$
$a^\#$	Nachweisgrenze der Messgröße des betrachteten Radionuklids zum Zeitpunkt der Messung a) flächenbezogen b) massenbezogen	$\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$ $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$
$a^<, a^>$	Untere bzw. obere Grenze des Vertrauensbereichs der Messgröße des betrachteten Radionuklids zum Zeitpunkt der Messung a) flächenbezogen b) massenbezogen	$\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$ $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$
c_0, c_1, c_2	Hilfsgrößen zur Berechnung von Erkennungs- und Nachweisgrenzen	–
d	Abstand des geometrischen Kristallmittelpunkts von der Bodenoberfläche oder vom Kalibrierstrahler	m
$\dot{D}$	Ortsdosisleistung als Luftkermaleistung	$\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$
E	Photonenenergie	keV
E_1	Exponentialintegralfunktion 1. Ordnung $E_1(\alpha) = \int_1^\infty \frac{e^{-\alpha x}}{x} dx$	–
E_2	Exponentialintegralfunktion 2. Ordnung $E_2(\alpha) = \int_1^\infty \frac{e^{-\alpha x}}{x^2} dx$	–
f_d	Zerfallskorrektur	–

^{N6)} Nationale Fußnote: Zum Zeitpunkt der Messung.

Tabelle 1 (2 von 3)

Formelzeichen	Beschreibung	Einheit
f_D	Faktor zur Umrechnung der flächen- oder massenbezogenen Aktivität eines Radionuklids in Ortsdosisleistung als Luftkermaleistung a) flächenbezogen b) massenbezogen	$\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}$ $\text{Gy} \cdot \text{kg} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}$
$f_{H^*(10)}$	Faktor zur Umrechnung der flächen- oder massenbezogenen Aktivität eines Radionuklids in Umgebungs-Äquivalentdosisleistung a) flächenbezogen b) massenbezogen	$\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}$ $\text{Sv} \cdot \text{kg} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}$
G	Geometriefaktor a) flächenbezogen b) massenbezogen	– $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$
$G(E, V)$	Geometriefunktion der Photonenenergie E und der Verteilung V a) flächenbezogen b) massenbezogen	– $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$
$\dot{H}^*(10)$	Äquivalentdosisleistung an einem interessierenden Punkt im tatsächlichen Strahlungsfeld, das in einem entsprechend ausgerichteten und aufgeweiteten Strahlungsfeld in einer Tiefe d (hier 10 mm) der ICRU-Kugel, mit einem Radius entgegen der Richtung des gerichteten Strahlungsfelds, erzeugt würde ^{N7)}	$\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$
$k, k_{1-\alpha}, k_{1-\beta}, k_{1-\beta/2}$	Quantile der Verteilungsdichtefunktionen	–
k_m	Winkelkoeffizient für Photonenstrahlung aus dem Polarwinkelsegment m	–
M	Anzahl der Polarwinkelsegmente	–
m	Index für die Kennzeichnung der Polarwinkelsegmente	–
n_g	Gesamtimpulszahl im Bereich der auszuwertenden Gesamtabsorptionslinie	–
n_b	Untergrundimpulszahl im Bereich der auszuwertenden Gesamtabsorptionslinie	–
n_n	Nettoimpulszahl der auszuwertenden Gesamtabsorptionslinie	–
p	Emissionswahrscheinlichkeit je Zerfall für die betrachtete Photonenenergie E	–
R	Radius des Verteilungsmodells	m
R_S	Radius des Sichtbereichs	m
t	Messdauer	s
$u(x_i)$	Standardunsicherheit der Eingangsgröße x_i	Die Einheit ergibt sich aus der Ausgangsgröße.
$u_{\text{rel}}^2(x_i)$	Relative Varianz der Eingangsgröße x_i	Die Einheit ergibt sich aus der Ausgangsgröße.
V	Verteilungsmodell	–
W	Winkelkorrektionsfaktor	–
w	Kalibrierfaktor zur Berechnung der flächen- oder massenbezogenen Aktivität des betrachteten Radionuklids	m^{-2} oder kg^{-1}

^{N7)} Nationale Fußnote: Ortsdosisleistung des betrachteten Radionuklids als Umgebungs-Äquivalentdosisleistung in 10 mm Tiefe.

Tabelle 1 (3 von 3)

Formelzeichen	Beschreibung	Einheit
w_h	Kalibrierfaktor zur Berechnung der nuklidspezifischen Umgebungs-Äquivalentdosisleistung	–
ζ	Massenflächendichte	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$
z	Bodentiefe	m
z'	Integrationsvariable für die Bodentiefe z	–
ϑ	Polarwinkel	Grad
ε	Nachweiswahrscheinlichkeit a) flächenbezogen b) massenbezogen	m^2 kg
η_m	Wirkungsquerschnitt des Detektors für Photoneneinfall aus dem Polarwinkelsegment m	m^2
η_0	Axialer Wirkungsquerschnitt des Detektors	m^2
ϑ_{ext}	Äußerer Polarwinkel des betrachteten Winkelsegments	Grad
ϑ_{lim}	Grenzwinkel des Verteilungsmodells	Grad
ϑ_{int}	Innerer Polarwinkel des betrachteten Winkelsegments	Grad
ϑ_{col}	Öffnungswinkel des kollimierten Spektrometers	Grad
μ_{Air}	Schwächungskoeffizient von Luft	m^{-1}
μ_s / ρ_s	Massenschwächungskoeffizient des Bodens	$\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$
$\rho_s(z)$	Dichte des Bodens als Funktion der Bodentiefe z	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Φ	Flussdichte ungestreuter Photonen der auszuwertenden Photonenenergie E für die Verteilung V am Ort des Detektors	$\text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$
$\left(\frac{\Delta \Phi_m}{\Phi} \right)_{E,V}$	Flussdichteanteil ungestreuter Photonen der auszuwertenden Photonenenergie E für die Verteilung V am Ort des Detektors, der aus dem Polarwinkelsegment m stammt	–
β	Relaxationsmassenflächendichte	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$

4 Kurzbeschreibung

4.1 Messverfahren

In-situ-Gammaspektrometrie ist eine direkte, physikalische Messmethode zur schnellen nuklidspezifischen Bestimmung flächen- oder massenbezogener Aktivitäten von Gammastrahlung emittierenden Radionukliden im Boden oder abgelagert auf dem Boden.

In-situ-Gammaspektrometrie kann als Übersichtuntersuchungsmethode eingesetzt werden, welche die Entnahme von Bodenproben mit anschließender Auswertung im Labor ergänzt, mit folgenden Vorteilen:

- Es ist keine aufwändige Probenentnahme und keine Probenvorbereitung im Labor erforderlich;
- kurze Messdauer;
- sofortige Verfügbarkeit der Messergebnisse im Feld;
- hohe Repräsentativität des Messergebnisses aufgrund des großen Sichtbereichs des Detektors.

Während der Messung wird vorzugsweise ein Germaniumdetektor mit nach unten gerichteter Endkappe auf einer Haltevorrichtung positioniert.

Zur quantitativen Auswertung der Impulshöhenspektren müssen Modellannahmen hinsichtlich der Nuklidverteilung im Boden sowie bestimmter physikalischer Eigenschaften des Bodens und der Luft getroffen werden.

Im Allgemeinen ist die Radionuklidverteilung im Boden nicht bekannt. Deshalb werden zur Beschreibung folgende idealisierte Modelle verwendet:

- homogene Verteilung bei natürlichen Radionukliden;
- Verteilung auf der Bodenoberfläche bei frischer, trockener Ablagerung;
- exponentiell abnehmende spezifische Aktivität mit zunehmender Bodentiefe, die sich dadurch ergibt, dass nach einem Fallout die Radionuklide zunächst oberflächlich deponiert werden und dann in der Folge in tiefere Schichten eindringen.

ANMERKUNG Meist werden zur Beschreibung der Aktivitätsverteilung im Boden einfache Exponentialmodelle zugrunde gelegt.

Entsprechend des angenommenen Verteilungsmodells wird die Aktivität homogen verteilter Radionuklide in Zerfällen je Masseneinheit angegeben, während für künstliche Radionuklide, die zunächst auf der Bodenoberfläche deponiert wurden und erst danach in tiefere Schichten eindringen, die Aktivität in Zerfällen je Flächeneinheit angegeben wird.

4.2 Unsicherheiten des Messverfahrens

Die Unsicherheiten des Messverfahrens sind grundsätzlich gegeben durch:

- Unsicherheit bezüglich der Verteilung der Radionuklide im oder auf dem Boden;
- Fremdbeiträge von anderen Strahlern (z. B. Strahlungsbeiträge aus dem Luftvolumen, siehe [Anhang A](#)).

Wesentliche Einflussgrößen auf das Messergebnis sind in [Anhang B](#) mit numerischen Angaben aus Referenz [14] zusammengestellt^{N8)}.

5 Ausrüstung

5.1 Tragbares In-situ-Spektrometriesystem

Ein In-situ-Gammaspektrometer umfasst fünf Hauptkomponenten, wie im Folgenden aufgeführt:

- Reinstgermanium- oder Szintillationsdetektor;
- Elektronik zur Impulsverarbeitung;
- System zur Datenerfassung und Datenauswertung;
- Haltevorrichtung für das Detektorsystem (z. B. Dreibein);
- Kühlung und bedarfsweise Abschirmung.

Als In-situ-Spektrometriesystem wird ein portables System empfohlen. Es besteht aus tragbarer Kühlung und Elektronik (im Allgemeinen ein eigenständiger oder PC-basierter Vielkanalanalysator (VKA) mit eingebauter Hochspannungsversorgung und Impulsverstärkung. Heutzutage wird die Impulsverarbeitung bevorzugt als digitale Impulsverarbeitung durchgeführt). Die Übertragung der Spektrendaten kann mittels Fernübertragung, z. B. über Kabel, Funk oder Satellit, an einen Rechner erfolgen. Dort werden sie auf einer Festplatte oder einem anderen digitalen Speichermedium abgelegt (z. B. Speichersticks, Speicherkarten).

Da bei Messungen vor Ort im Allgemeinen keine Netzspannung zur Verfügung steht, ist es zweckmäßig, die Messapparatur auch für netzunabhängigen Betrieb auszuliegen.

^{N8)} Nationale Fußnote: Das Messverfahren kann grundsätzlich nicht mehr eingesetzt werden, wenn eine hohe Ortsdosisleistung am Messort zu einer Überlastung des Messsystems hinsichtlich der Signalverarbeitung führt.

5.2 Detektorsystem

5.2.1 Allgemeines

Das Reinstgermanium-Detektorsystem (HPGe-System) ist in [ISO 18589-3](#) und [IEC 61275](#) beschrieben. Je nach Messaufgabe stehen zwei Germanium-Kristalltypen (n-Typ- und p-Typ-Kristalle) in unterschiedlichen Ausführungen zur Verfügung. Sie können in verschiedenen Formen, Kristallhalterungen, Endkappen und Endkappen-Fenster, hergestellt werden. Diese Detektoreigenschaften bestimmen den Messbereich, insbesondere die untere Grenze der erfassbaren Photonenenergie und der Zählrate. Eine Übersicht über Kenn-
daten ist in [Anhang C](#) angegeben.

Jedoch muss betont werden, dass Detektoren, die in der Lage sind, sehr niedrige Energien zu erfassen (wie n-Typ-Detektoren oder Detektoren mit speziellen Endkappenmaterialien), nicht für den Einsatz in der In-situ-Gammaspektrometrie geeignet sind. Dies liegt daran, dass die Detektoren naturgemäß sehr empfindlich sind und sich eine große Messunsicherheit der Aktivität aufgrund hoher Absorption von niederenergetischer Gammastrahlung in Luft und Boden ergibt.

ANMERKUNG 1 Wenn auch quantitative Messungen von Radionukliden mit niedriger Photonenenergie bei In-situ-Messungen nicht mit p-Typ-HPGe-Detektoren möglich sind, erlaubt der Einsatz von n-Typ-Detektoren oder Detektoren mit speziellem Endkappen-Material, Radionuklide mit Energien unterhalb von 60 keV zu identifizieren.

Für allgemeine Anwendungen, wie zur Bestimmung der massenbezogenen Aktivität natürlicher Radionuklide (NORM) im Boden oder der Bodenkontamination durch künstliche Radionuklide, wird empfohlen, Germaniumdetektoren mit einer relativen Nachweiswahrscheinlichkeit von 20 % bis 50 % und einem Energiebereich ab 50 keV zu verwenden.

ANMERKUNG 2 Für Messungen im Notfall mit hohen Dosisraten über 20 $\mu\text{Sv/h}$ (hohe Photonenflüsse) sind kleine Germaniumdetektoren mit relativer Detektorausbeute von weniger als 20 % geeignet.

Es wird empfohlen, Germaniumdetektoren zu verwenden, die eine sogenannte „isotropic response function“ haben, das heißt z. B. Detektoren, die keine oder nur eine geringfügige Richtungsabhängigkeit in Richtung der einfallenden Photonen aufweisen. Dies ist annähernd dann gegeben, wenn der Wirkungsquerschnitt des Detektors unabhängig vom Einfallswinkel ist, z. B. wenn der Kristalldurchmesser näherungsweise gleich seiner Länge ist.

ANMERKUNG 3 Für Detektoren mit starker Vorzugsrichtung zieht man mathematische Kalibriermethoden zur Simulation der Detektorzählausbeute einer experimentell ermittelten vor, wenn die Richtungsabhängigkeit dabei grundsätzlich berücksichtigt wird. Auf der anderen Seite sind diese Detektoren vorteilhaft, wenn ein begrenzter Sichtbereich erforderlich ist.

Unter bestimmten Umständen können auch Systeme mit Szintillationsdetektoren [NaI(Tl) , LaBr_3] zum Einsatz kommen, insbesondere wenn keine hohe Präzision erforderlich ist. In diesem Fall entfällt die Notwendigkeit der Kühlung. Allerdings liegen wegen der schlechteren Energieauflösung dieser Detektoren die Werte für Nuklidnachweis- und -erkennungsgrenzen höher.

5.2.2 Sichtbereich des Detektors

Der Sichtbereich des Detektors entspricht der Bodenoberfläche, aus der 90 % der vom Detektor registrierten ungestreuten Photonen stammen. Der Bereich hängt von der Charakteristik des Detektors, der Messhöhe, der Gammaenergie und von der Verteilung der interessierenden Radionuklide im Boden ab. Der Sichtbereich wird immer für eine unendlich ausgedehnte Messfläche berechnet.

5.2.3 Besondere Anforderungen

Das Detektorsystem muss besonderen Anforderungen für die Anwendung bei Feldmessungen nach [IEC 61275](#) genügen. Insbesondere ist Folgendes bei der Auswahl zu berücksichtigen:

- a) Das System muss feuchtigkeits- und spritzwassergeschützt ausgeführt sein. Dies gilt auch für die mechanischen und elektrischen Verbindungen zwischen Vorverstärker und Elektronik zur Impulsverarbeitung.

- b) Der Kristall ist so in der Endkappe zu montieren, dass während des Transports auftretende mechanische Belastungen keine Beschädigung des Detektors zur Folge haben. Dies setzt voraus, dass für den Detektor transportsichere Verpackungen zur Verfügung stehen.
- c) Die Arbeitstemperatur des Detektors muss für einen Bereich von -20 °C bis $+50\text{ °C}$ ausgelegt sein (eine höhere Umgebungstemperatur an der Detektorkapsel kann zu einer Verschlechterung des Vakuums zwischen Endkappe und Kristall führen).
- d) Das Leistungsvermögen des Kühlsystems muss für eine komplette Betriebsdauer ausgelegt sein. Bei Kühlausfall (beispielsweise wenn der flüssige Stickstoff im Dewar-Gefäß verbraucht ist) ist die vom Hersteller angegebene Regenerierzeit des Detektors zu berücksichtigen.

ANMERKUNG 1 Beim Transport von mit flüssigem Stickstoff gekühlten Detektorsystemen ist mit einem erhöhten Stickstoffverbrauch zu rechnen.

ANMERKUNG 2 Für die üblichen Anwendungsbereiche von In-situ-Gammaspektrometern ist die Verwendung hochreiner Materialien für die Kristallhalterung, die Endkappe und das Eintrittsfenster nicht erforderlich.

5.3 Elektronik zur Impulsverarbeitung

5.3.1 Komponenten

Die Elektronik zur Impulsverarbeitung besteht aus folgenden Komponenten:

- Detektor-Hochspannungsversorgung;
- Spektroskopieverstärker;
- Analog-Digital-Wandler (ADC);
- Vielkanalanalysator (VKA).

Bei modernen Elektronikseinheiten wird die Impulsverarbeitung hauptsächlich durch Digitalelektronik ausgeführt. In diesem Fall werden der Spektroskopieverstärker und der Analog-Digital-Wandler durch eine Einheit, den digitalen Signalprozessor, ersetzt.

Es ist sehr zu empfehlen, eine integrierte Impulsverarbeitungseinheit einzusetzen. Alle Komponenten sind in diesem Fall in einem Gehäuse eingebaut und einerseits mit dem Detektorvorverstärker und andererseits mit dem Rechner (PC) verbunden.

Die Verbindung der Messeinheit mit dem PC kann über eine serielle Schnittstelle (Kabel), über USB-Anschluss (Kabel), über WLAN (ohne Kabel) oder andere drahtlose Kommunikationsarten erfolgen. Der PC sollte mit Akkus betrieben werden können.

5.3.2 Besondere Anforderungen

Die Elektronik zur Impulsverarbeitung muss für einen Feldeinsatz die folgenden besonderen Anforderungen erfüllen; wenn keine digitale Verarbeitung vorliegt, sollte das System temperaturstabilisiert sein. Dies kann durch digitale Spektrumsstabilisatoren geschehen. Digitale signalverarbeitende Einheiten sind üblicherweise nicht oder nur wenig temperaturabhängig, deshalb ist hier keine Stabilisierung erforderlich.

ANMERKUNG Im Feldeinsatz kann die Stabilisierung anhand der Gammalinie von ^{40}K bei 1 461 keV erfolgen.

Bevorzugt sollte die Elektronik mit Batterien betrieben werden. Die Mindestbetriebsdauer sollte 4 h betragen. Ein automatisches Umschalten zwischen Batterie- und Netzbetrieb sollte möglich sein.

5.3.3 Anforderungen an die Auswertprogramme

Rechenprogramme zur Auswertung der mit einem In-situ-Gammaspektrometer gemessenen Impulshöhenpektren müssen Zusatzfunktionen aufweisen, die über die Standardauswertungen von Rechenprogrammen in einem Radioaktivitätsmesslabor hinausgehen. Diese zusätzlichen Funktionen können durch spezielle Zusatzprogramme oder Module erfüllt werden. Sie müssen folgende Grund- und Zusatzfunktionen erfüllen:

- Durchführung von Energiekalibrierungen und, falls erforderlich, Energiestabilisierung;

- automatische Peaksuche und Peakflächenbestimmung. Eine manuelle Auswertung sollte möglich sein (Peak-Bereiche festlegen usw.). Die Peakflächenbestimmung beinhaltet die Berechnung der Peakposition, der Halbwertsbreite, der Nettopeakfläche und der Standardmessunsicherheit der Peakfläche. Multiplettentfaltung von Mehrfachpeaks muss möglich sein;
- Identifikation von Radionukliden anhand einer Radionuklidbibliothek, mit der Möglichkeit der Änderung und Ergänzung durch berechnete Personen. Die Identifikation der Radionuklide beinhaltet die Berechnung der Nuklidaktivität, Nachweis- und Erkennungsgrenzen nach ISO 11929. Der Algorithmus muss auch Korrekturmöglichkeiten bei überlagernden Nuklidlinien (Interferenzkorrektion) haben. Eine Umrechnung von Aktivitäten und Nachweis- und Erkennungsgrenzen auf ein frei wählbares Bezugsdatum muss möglich sein.

Folgende Zusatzfunktionen können hilfreich sein:

- Bestimmung des Winkelkorrekturfaktors W des verwendeten Detektors;
- Möglichkeit der Variation der Höhe des Detektors über der Bodenoberfläche;
- Berechnung der flächenbezogenen Aktivität in $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$ für exponentielle Radionuklidverteilung mit der Möglichkeit der Variation der Relaxationsmassenflächendichte von zumindest $3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ bis $150 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$;
- Berechnung der flächenbezogenen Aktivität in $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$ für auf der Bodenoberfläche abgelagerte Radionuklide;
- Berechnung der massenbezogenen Aktivität in $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ für homogen im Boden verteilte Radionuklide;
- Berechnung der nuklidspezifischen Umgebungs-Äquivalentdosisleistung in einer Höhe von 1 m über der Bodenoberfläche ist zweckmäßig. Eine Möglichkeit zum Ändern oder Ergänzen des Faktors f_D oder $f_{H^*(10)}$ zur Umrechnung der flächen- oder massenbezogenen Aktivität eines Radionuklids in Luftkermaleistung oder Umgebungs-Äquivalentdosisleistung in Luft muss im Programm vorgesehen werden.

5.4 Haltevorrichtung für das Detektorsystem

Die Haltevorrichtung sollte die Positionierung des Detektorsystems in verschiedenen Höhen erlauben. Die Haltevorrichtung sollte vorzugsweise aus Materialien mit kleiner Kernladungszahl und geringer Dichte (wie z. B. Aluminium, Kunststoff oder Holz) gefertigt werden. Das Material der Haltevorrichtung sollte eine geringe spezifische Eigenaktivität besitzen. Im Allgemeinen wird der Detektor in einer Höhe von 1 m positioniert.

Die meisten Haltevorrichtungen sind dreibeinige Stative.

5.5 Kollimierter Detektor

5.5.1 Aufbau

Ein In-situ-Gammaspektrometer mit kollimiertem Detektor stellt eine besondere Ausführung eines In-situ-Gammaspektrometers dar. Der Kollimator reduziert den Sichtbereich des Detektors. Der Kollimator bestimmt den Raumwinkel, der eine endliche Messfläche der Bodenfläche begrenzt. Durch den Kollimator werden Photonenfluenzen ausgeblendet, die nicht aus einer definierten Messfläche stammen.

ANMERKUNG Typische Anwendungsgebiete für ein In-situ-Gammaspektrometer mit kollimiertem Detektor sind:

- Aktivitätsmessung mit einem eingeschränkten Sichtbereich;
- Aktivitätsmessung bei Vorliegen von Fremdbeiträgen (z. B. luftgetragener Aktivität);
- Erhöhung des oberen Nenngebrauchsbereichs (Intensität des Strahlungsfeldes, siehe B.10);
- Freigabemessungen bei kerntechnischen Anlagen.

Ein In-situ-Gammaspektrometer mit kollimiertem Detektor besteht aus einem tragbaren Germaniumdetektor mit einem vorzugsweise zylindrischen Kollimator (siehe Bild 1).

Die Auslegung des Kollimators hängt von der Messaufgabe und den Bedingungen am Messort ab (Energie und Intensität der abzuschirmenden Störstrahlung). Parameter zur Spezifizierung eines Kollimators sind der Öffnungswinkel und die Massenbelegung.