

DIN EN ISO 19017



ICS 17.240; 27.120.30

**Leitfaden für gammaspektrometrische Messungen von radioaktivem Abfall
(ISO 19017:2015);
Deutsche Fassung EN ISO 19017:2017**

Guidance for gamma spectrometry measurement of radioactive waste (ISO 19017:2015);
German version EN ISO 19017:2017

Lignes directrices pour le mesurage de déchets radioactifs par spectrométrie gamma
(ISO 19017:2015);
Version allemande EN ISO 19017:2017

Gesamtumfang 59 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

Nationales Vorwort

Die Internationale Norm ISO 19017:2015 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 85 „Nuclear energy, nuclear technologies, and radiological protection“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und vom Technischen Komitee CEN/TC 430 „Kernenergie, Kerntechnik und Strahlenschutz“, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird, übernommen.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 062-07-46 „Reststofffragen“ im DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP).

Für die in diesem Dokument zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

IEC 61508	siehe DIN EN 61508 (VDE 0803)
ISO 11929:2010	siehe DIN ISO 11929:2011-01
ISO/IEC 17025	siehe DIN EN ISO/IEC 17025

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 61508(VDE 0803), *Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme*

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

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)*

Deutsche Fassung

Leitfaden für gammaspektrometrische Messungen
von radioaktivem Abfall
(ISO 19017:2015)

Guidance for gamma spectrometry
measurement of radioactive waste
(ISO 19017:2015)

Lignes directrices pour le mesurage de déchets
radioactifs par spectrométrie gamma
(ISO 19017:2015)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 13. September 2017 angenommen.

Die 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-Zentrum 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 Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute 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, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

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

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	3
Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	6
2 Begriffe	6
3 Anwendung	13
3.1 Allgemeines	13
3.2 Typische Anwendungen	13
4 Messgeräte	14
4.1 Allgemeines	14
4.2 Offene Detektorgeometrie	15
4.3 Kollimierte Detektorgeometrie	17
4.4 Bestandteile von Gammamesssystemen	20
4.4.1 Mechanische Geräte	21
4.4.2 Strahlungsmessgerät	21
4.4.3 Datenerfassungs- und Analyseeinheit	21
4.4.4 Elektrische Steuerung	21
4.4.5 Zusätzliche Anlageteile	22
5 Kalibrierung	22
5.1 Allgemeines	22
5.2 Kalibrierung von Peakenergie und Peakform des gammaspektrometrischen Systems	22
5.3 Effizienzkalibrierung des gammaspektrometrischen Systems	23
5.4 Techniken zur Schwächungskorrektur	25
6 Auswertung	26
6.1 Auswertungsschritte	26
6.2 Berechnung der Netto-Peakzählraten	26
6.3 Berechnung des Gammaaktivitätsinventars des Abfallgebundes	28
6.4 Berechnung der Messunsicherheit	28
6.5 Berechnung der Nachweisgrenze	30
7 Qualitätssicherung	32
7.1 Allgemeines	32
7.2 Aufzeichnung von Kalibrierungs-, Validierungs- und Abfallmessungen	32
7.3 Dokumentation und Verfahrensanweisungen	33
7.4 Qualitätssicherung	33
7.5 Fachkunde	34
Anhang A (informativ) Anwendungsbeispiele für die in dieser Internationalen Norm behandelten Techniken und Verfahren	35
Literaturhinweise	56

Europäisches Vorwort

Der Text von ISO 19017:2015 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 85 „Nuclear energy, nuclear technologies, and radiological protection“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und als EN ISO 19017:2017 durch das Technische Komitee CEN/TC 430 „Kernenergie, Kerntechnik und Strahlenschutz“ übernommen, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis April 2018, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis April 2018 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist 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, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 19017:2015 wurde von CEN als EN ISO 19017:2017 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung von Nationalen Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird normalerweise 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 Organisationen, staatlich und nicht-staatlich, in Liaison mit ISO, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) bei allen elektrotechnischen Themen 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. Im Besonderen sollten die für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten notwendigen Annahmekriterien 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 empfangenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname wird als Information zum Nutzen der Anwender angegeben und stellt keine Anerkennung dar.

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

Das für dieses Dokument verantwortliche Komitee ist ISO/TC 85, „Nuclear energy, nuclear technologies, and radiological protection“, Unterkomitee SC 5, „Nuclear fuel cycle“.

Die erste Ausgabe von ISO 19017 ersetzt ISO 14850-1:2006, in welcher insbesondere Segmentmessungen mit Kollimatoren, der mögliche Einsatz von numerischer Simulation für Kalibrierung und Unsicherheitsbewertung sowie Gammastrahlungsdetektoren mit anderen Halbleitern als hochreinem Germanium nicht berücksichtigt wurden.

Einleitung

In der kerntechnischen Industrie kommt routinemäßig eine Vielzahl von Techniken für die zerstörungsfreie Analyse zum Einsatz, mit denen das Radionuklidinventar in Gebinden mit radioaktivem Material gemessen oder Informationen zu dessen anderweitiger Quantifizierung gewonnen werden. Diese Internationale Norm behandelt speziell gammaspektrometrische Messungen an radioaktiven Abfallgebinden.

Die in dieser Internationalen Norm behandelten Verfahren und Techniken kommen bei der routinemäßigen Analyse verschiedener Arten von radioaktivem Abfall zum Einsatz, welcher auf unterschiedliche Weise und unter Verwendung unterschiedlicher Behältergrößen und -typen verpackt ist. Behandelt werden grundlegende, seit vielen Jahren eingesetzte Techniken ebenso wie neue Techniken, die wegen der zunehmenden Anzahl an zu prüfenden Produkten und Formen entwickelt wurden, und um den immer anspruchsvolleren Anforderungskriterien gerecht zu werden.

Wo ein Leitfaden gegeben wird, wird dieser als beste gegenwärtige Praxis angesehen und beruht auf Erfahrung mit dem Einsatz von Messsystemen für die quantitative Gammaspektrometrie für eine große Bandbreite von Anwendungen mit dem Zweck, Radionuklide zu bestimmen und Informationen zu deren Aktivität bereitzustellen.

Es ist das Ziel dieser Internationalen Norm, eine einheitliche Vorgehensweise für gammaspektrometrische Messungen an radioaktiven Abfallgebinden zu etablieren.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm ist für Gammastrahlungsmessungen an radioaktivem Abfall anwendbar.

Radioaktive Abfälle können in unterschiedlicher Form vorliegen und eine große Bandbreite an Merkmalen aufweisen. Dazu zählen:

- Rohabfälle oder nicht konditionierte Abfälle, darunter Abfälle bei der Produktion (Filter, Harze, Steuerstäbe, Altstoffe usw.) sowie Abfälle, die im Zuge von Stilllegung oder Rückbau anfallen;
- konditionierte Abfälle in unterschiedlichen Formen und Matrizen (Bitumen, Zement, hydraulisches Bindemittel usw.);
- sehr schwachradioaktive Abfälle (en: very low-level waste, VLLW), schwachradioaktive Abfälle (en: low-level waste, LLW), mittelfachradioaktive Abfälle (en: intermediate-level waste, ILW) und hochradioaktive Abfälle (en: high-level radioactive waste, HLW);
- unterschiedliche Gebindeformen: zylindrisch, würfelförmig, quaderförmig usw.

Es wird ein Leitfaden hinsichtlich Umsetzung, Kalibrierung und Qualitätssicherung gegeben. Aufgrund der Vielfalt an Anwendungen und Systemausführungen (von Forschungs- bis Industriesystemen, von sehr schwachradioaktiven bis hochradioaktiven Abfällen, von Klein- bis Großgebinden mit unterschiedlichen Formen, Anforderungen an die Durchführung und zulässigen Messzeiten) ist es unmöglich, für jeden Anwendungsfall einen spezifischen Leitfaden zu geben; das Ziel dieser Internationalen Norm ist deshalb die Festlegung einer Reihe grundlegender Leitprinzipien. Die Umsetzung dieser Leitprinzipien hat durch entsprechend geschultes und erfahrenes Personal zu erfolgen, und es muss ihr ein umfassendes Verständnis zu den Einflussgrößen, Einflussvariablen und Anforderungen an die Durchführung der jeweiligen Messanwendung zugrunde liegen.

Diese Internationale Norm setzt voraus, dass der Bedarf für die Einführung eines solchen Systems hinreichend abgewogen wurde und dass die Anforderungen an die Anwendung und die Durchführung im Rahmen eines strukturierten Prozesses zur Anforderungserfassung, z. B. durch die Bestimmung von Datenqualitätszielen (en: data quality objectives, DQO), adäquat definiert wurden.

Obwohl nicht in den Anwendungsbereich dieser Internationalen Norm fallend, sei angemerkt, dass viele der hier behandelten Prinzipien, Messverfahren und empfohlenen Praktiken gleichermaßen für Gammastrahlungsmessungen an Gegenständen anwendbar sind, die keinen radioaktiven Abfall darstellen (z. B. lose Nahrungsmittel, Wasser, freistehende Stapel von Materialien), oder für Messungen an radioaktiven Substanzen in nicht-konventionellen Gebinden (z. B. in Transportbehältern).

2 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ANMERKUNG Die hier enthaltenen Definitionen beschränken sich in der Mehrzahl auf Begriffe, die nicht in den einschlägigen Glossaren zu nuklearem Material enthalten sind oder die in diesem Dokument eine spezifische Verwendung finden. Zur Verbesserung der Anwenderfreundlichkeit werden Schlüsselbegriffe hier wiederholt.

2.1

Analyse

Verfahren zur quantitativen Ermittlung der Menge eines oder mehrerer der zu betrachtenden Radionuklide in einem Gebinde

2.2

Schwächung

physikalischer Vorgang beruhend auf der Interaktion einer Strahlungsquelle mit einer sich im Strahlengang befindlichen Materie, in deren Folge sich die Strahlungsintensität verringert

Anmerkung 1 zum Begriff: Die durch *zerstörungsfreie Analyse* (NDA) (2.27) ermittelte radioaktive Schwächung in Abfallgebinden beinhaltet sowohl die *Selbstschwächung* (2.37) durch das radioaktive Material selbst als auch Schwächungseffekte in der *Abfallmatrix* (2.23) sowie durch innere Barrieren und äußere Behälter.

2.3

Korrekturfaktor für die Schwächung

Faktor zur Korrektur (zum Ausgleich) des Schwächungseffektes bei einer NDA-Messung, der dem Verhältnis zwischen dem nicht geschwächten und dem geschwächten Strahlungsfluss entspricht

Anmerkung 1 zum Begriff: Nach erfolgter Korrektur der Schwächung gilt die gemessene Größe als repräsentativ für die nicht geschwächte Aktivität der analysierten radioaktiven Substanz.

2.4

Bias

Schätzwert eines systematischen Messfehlers

2.5

Kalibrierstandard

Primärstandard

Standard, der die höchsten metrologischen Forderungen erfüllt oder weitgehend als solches anerkannt ist und dessen Wert ohne Bezugnahme auf andere Standards der gleichen Messgröße anerkannt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Kalibrierstandard sollte physikalisch, radiologisch und chemisch den zu prüfenden Gegenständen ähnlich sein, für die die Aktivität aller zu betrachtenden Radionuklide sowie alle relevanten Eigenschaften, die das Messverfahren beeinflussen, mit ausreichender Genauigkeit bekannt sind.

[QUELLE: www.french-metrology.com]

2.6

Kalibrierung

Arbeitsgänge, durch die unter bestimmten Bedingungen die Beziehung zwischen den durch ein Messgerät oder ein Messsystem angezeigten oder den sich aus einer Materialmessung oder Referenzmaterial ergebenden Werten und den entsprechenden bekannten Werten eines Referenzstandards bestimmt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Ergebnis einer Kalibrierung erlaubt entweder die Zuordnung der Werte der Messgröße zur Anzeige oder die Ermittlung von Korrekturen für die Anzeige.

Anmerkung 2 zum Begriff: Durch eine Kalibrierung können auch andere metrologische Merkmale wie die Wirkung von Einflussgrößen ermittelt werden.

Anmerkung 3 zum Begriff: Das Ergebnis einer Kalibrierung kann in einem Dokument festgehalten werden, das auch Kalibrierschein oder Kalibrierbericht genannt wird.

[QUELLE: www.french-metrology.com]

2.7

Kollimierung

Verfahren zur Begrenzung des Sichtfeldes eines Detektors auf bestimmte Bereiche eines zu messenden Gegenstandes

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine Abschirmung entlang der Kanten des Detektors, welche weiterhin die Sicht auf den gesamten Gegenstand zulässt, ist aus technischer Sicht kein Kollimator. Durch eine derartige Abschirmung ändert sich die Nachweiswahrscheinlichkeit des Detektors nicht.

2.8

Kollimator

Vorrichtung zur Kollimierung des Strahlenbündels, die in der Regel aus einem oder mehreren hochabschwächenden Werkstoffen, wie z. B. Wolfram oder Blei, besteht. Kollimatoren können parallele oder divergente Strahlenbündel erzeugen

2.9

kollimierte (Detektor-)Geometrie

Messanordnung, bei der nur ein Teil des Abfallgebundes ein Ansprechen des Detektionssystems auslösen kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Gesamtaktivität wird durch Abrastern des ganzen Gebundes ermittelt, oder durch die Annahme, dass der Teil des Gebundes, der sich während einer oder mehrerer Messungen im Sichtfeld des Detektors befindet, repräsentativ für das ganze Gebinde ist.

2.10

Compton-Kontinuum

kontinuierliches Impulshöhenspektrum aufgrund von Compton-Elektronen, die in einem Detektor freigesetzt wurden

Anmerkung 1 zum Begriff: Full-Energy-Peaks werden auf das Kontinuum aufgesetzt und ihre „Nettoflächen“ werden bestimmt durch Subtraktion des mittleren Compton-Kontinuum-Werts, von dem angenommen wird, dass er unter jedem einzelnen Peak liegt, z. B. wie in ISO 11929 aufgeführt.

[QUELLE: IEC 60050-395:2014]

2.11

Behälter

Gefäß, in dem das *Abfallprodukt* (2.41) zum Zwecke der Handhabung, des Transports, der Lagerung und/oder der Entsorgung verpackt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Er ist auch die äußere Barriere, die den Abfall vor Störungen von außen schützt.

[QUELLE: IAEA Radioactive Waste Management Glossary, Ausgabe 2003]

2.12

Abdeckungsfaktor

abdeckender Faktor

obwohl bei vielen Messergebnissen die kombinierte Standardabweichung zum Ausdrücken der Messunsicherheit verwendet wird, wird bei einigen gewerblichen, industriellen und rechtlichen Anwendungen (z. B. insoweit Arbeits- und Gesundheitsschutz betroffen sind) häufig ein Maß für die Messunsicherheit gefordert, das ein Vertrauensintervall um ein Messergebnis herum definiert, innerhalb dessen der Wert der Messgröße sicher als richtig angesehen werden kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Maß der Messunsicherheit, das diesen Anforderungen gerecht wird, wird erweiterte Messunsicherheit genannt und durch Multiplikation der Standardabweichung mit dem Abdeckungsfaktor, vorgeschlagenes Symbol k , berechnet. Im Allgemeinen wird der Abdeckungsfaktor k entsprechend dem gewünschten Vertrauensintervall gewählt, in dem der wahre Wert liegen soll.

[QUELLE: <http://physics.nist.gov/cuu/Uncertainty/coverage.html>]

2.13

Verfahren zur Bestimmung der Datenqualitätsziele

DQO-Verfahren

(en: data quality objectives process)

siebenstufiger Anforderungserfassungsprozess zur Bestimmung von Typ, Menge und Qualität der Daten, die als Entscheidungsgrundlage benötigt werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Zweck dieses Verfahrens, das von der US-Umweltschutzbehörde Environmental Protection Agency veröffentlicht wurde, besteht darin, Organisationen allgemeine Leitlinien für die Ausarbeitung von Qualitätskriterien für Daten sowie Leistungsspezifikationen als Entscheidungsgrundlage an die Hand zu geben.

2.14

Totzeit

nichtaktive Zeitspanne eines Detektionssystems während der Messzeit

Anmerkung 1 zum Begriff: Zeitspanne unmittelbar nach einem Detektionsereignis verbunden mit der Verarbeitung des Signals, während der das System keine anderen Gammaereignisse verarbeiten kann. Es handelt sich um einen Leistungsparameter des Systems, der in der Regel als Prozentwert der Messzeit angegeben wird. Aufgrund der Totzeit ist die Anzahl der gemessenen Impulse geringer als die der tatsächlich aufgetretenen Impulse, weshalb die Zahl korrigiert werden muss.

2.15

Erkennungsgrenze

DT

(en: decision threshold)

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

Anmerkung 1 zum Begriff: Für den Fall, dass das Messergebnis y größer ist als die Erkennungsgrenze y^* , ist die Erkennungsgrenze so festgelegt, dass die Wahrscheinlichkeit, dass der wahre Wert der Messgröße Null ist, kleiner oder gleich einem vorgegebenen Wert α ist.

Anmerkung 2 zum Begriff: Wenn das Messergebnis y kleiner als die Erkennungsgrenze y^* ist, kann das Ergebnis nicht dem physikalischen Effekt zugeordnet werden. Trotzdem kann daraus nicht geschlossen werden, dass der physikalische Effekt nicht vorliegt.

[QUELLE: ISO 11929:2010, 3.6]

2.16

Detektorgeometrie

Beschreibung, aus der sich der Grad der Detektorkollimierung in Bezug auf den zu messenden Gegenstand ergibt

Anmerkung 1 zum Begriff: In diesem Leitfaden wird zwischen zwei prinzipiellen Messanordnungen unterschieden: kollimierte Geometrie und offene Geometrie.

2.17

Nachweisgrenze

DL

(en: detection limit)

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

Anmerkung 1 zum Begriff: Mit der obigen Definition der Erkennungsgrenze ist die Nachweisgrenze der kleinste wahre Wert der Messgröße, für den die Wahrscheinlichkeit für die falsche Entscheidung, dass der wahre Wert der Messgröße Null ist, gleich einem vorgegebenen Wert β ist, wenn der wahre Wert in Wirklichkeit nicht Null ist.

[QUELLE: ISO 11929:2010, 3.7]

2.18

Emissions-Computertomographie

ECT

(en: emission computed tomography)

zerstörungsfreies Analyseverfahren, das die Bestimmung der Verteilung der Nuklidaktivität in Teilbereichen des Abfallgebundes ermöglicht

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Technik basiert auf Messspektren von Segmenten der Abfallmatrix, die von einem Detektor durch einen Kollimator erfasst wurden. Um genaue Ergebnisse zu erzielen, wird Kenntnis der Matrixdichteverteilung innerhalb des Teilbereichs (oder in 3D) benötigt, in der Regel erzielt durch eine *Transmissions-Computertomographie* (TCT) (2.38).

Anmerkung 2 zum Begriff: ECT wird auch als *tomographisches Gamma-Scanning* (TGS) bezeichnet (2.39).

2.19

Full-Energy-Peak

Peak des Gammaskpektrums, der der Deposition der gesamten Energie eines Photons entspricht, das von einem Radionuklid emittiert wurde

Anmerkung 1 zum Begriff: Es kommt nicht zu Energieverlusten durch die Interaktion von Photonen im Abfallgebinde oder durch die Freisetzung von sekundären Photonen vom Detektor infolge der Interaktion(en) mit dem primären Photon, die zu seinem Nachweis führt/führen.

2.20

Halbwertsbreite

FWHM

(en: full width at half maximum)

Breite eines Gammastrahlenpeaks bei halber Höhe des Scheitelwerts der Peakverteilung

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieser Parameter dient der Beschreibung der energetischen Auflösung. Die Halbwertsbreite wird oft herangezogen, um die Leistung eines Detektors zu bestimmen (z. B. Halbwertsbreite für eine bestimmte Energie, z. B. 662 keV). Die Halbwertsbreite kann in Energieeinheiten (z. B. keV) oder, wenn auf die Energie der Gammastrahlen normiert, in % angegeben werden.

2.21

intrinsische Detektoreffizienz

intrinsische Nachweiswahrscheinlichkeit

Anzahl an Zählungen im *Full-Energy-Peak* (2.19) bei einer bestimmten Energie E (Nettofläche nach Subtraktion des Compton-Kontinuums und anderer Untergrundstrahler im Gammaskpektrum) dividiert durch die Anzahl an Photonen, die bei dieser Energie in den Detektor eintreten

2.22

Live Time

Differenz zwischen Messzeit und Totzeit

2.23

Matrix

Abfallmatrix

Bestandteil an nichtradioaktivem Material im *Abfallgebinde* (2.29), in dem die radioaktiven Substanzen verteilt sind

2.24

Messgröße

zu messende physikalische Größe

[QUELLE: ISO 11929:2010, 3.2]

2.25

Messgenauigkeit

Übereinstimmungsgenauigkeit zwischen einem gemessenen Messwert und einem wahren Messwert der Messgröße

2.26

Messzeit

Zeitspanne, während der eine Messung erfolgt

2.27**zerstörungsfreie Analyse****NDA**

(en: non-destructive assay)

Verfahren, das auf der Beobachtung von spontan auftretender oder stimulierter radioaktiver Strahlung basiert, für die, ohne Einflussnahme auf die physikalische oder chemische Form des Materials, der Anteil von einem oder mehreren in dem zu prüfenden Gegenstand enthaltenen Radionukliden bestimmt wird

2.28**offene (Detektor-)Geometrie**

Messanordnung, bei der alle Teile eines *Abfallgebindes* (2.29) ein Ansprechen des Detektionssystems auslösen können

2.29**Gebinde****Abfallgebinde**

Produkt der Konditionierung bestehend aus dem *Abfallprodukt* (2.41), Behälter/n und inneren Barrieren

[QUELLE: ISO 12749-3:2015, 3.5.2]

2.30**Präzision****statistische Präzision**

Oberbegriff, der die Verteilung von Messwerten bei Messungen unter reproduzierbaren Messbedingungen beschreibt

2.31**radioaktiver Abfall**

Material, für das keine weitere Verwendung vorgesehen ist und das die Radionuklide beinhaltet oder damit kontaminiert ist

[QUELLE: ISO 12749-3:2015, 3.7.1]

2.32**Radioaktivität**

Phänomen mit spontanem, zufälligem Zerfall von Atomen, das in der Regel mit der Freisetzung von Strahlung einhergeht

[QUELLE: IAEA Radioactive Waste Management Glossary, Ausgabe 2003]

2.33**Radionuklid**

Kern (eines Atoms), der die Eigenschaft des Spontanzerfalls (*Radioaktivität* [2.32]) besitzt

Anmerkung 1 zum Begriff: Nuklide unterscheiden sich nach ihrer Masse und Kernladungszahl.

[QUELLE: IAEA Radioactive Waste Management Glossary, Ausgabe 2003]

2.34**Rasterungsprofil****Abtastprofil**

Verteilung von aufgezeichneten Messsignalen des Systems in Abhängigkeit von aufeinanderfolgenden Rasterpositionen

2.35**(Gamma-)Teilspektrum**

Gamma-Emissionsspektrum, das von nur einem Teil des *Abfallgebindes* (2.29) stammt

2.36

segmentiertes Gamma-Scanning

SGS

(en: segmented gamma scanning)

Verfahren zur Messung von einem oder mehrere *Teilspektren* (2.35) eines Abfallgebindes

Anmerkung 1 zum Begriff: Für das segmentierte Gamma-Scanning wird eine *kollimierte Detektorgeometrie* (2.9) benötigt. Es gibt verschiedene, derzeit gängige SGS-Messanordnungen. In dieser Internationalen Norm wird unterschieden zwischen vertikalem, horizontalem und Winkelscanning, siehe Bild 3. Jede dieser Varianten kann kombiniert oder separat angewendet werden (in der Praxis erfolgt SGS in der Regel als Kombination aus vertikalem Scanning und kontinuierlicher Rotation).

- **Vertikales Scanning** [siehe Bild 3 a)] ist die Erfassung vertikal segmentierter Gammaspektren, die repräsentativ für gestapelte Scheiben des Gebindes sind. Die mechanische Bewegung kann sowohl schrittweise mit einer Erfassung je Scheibe erfolgen als auch kontinuierlich mit zeitsegmentierter Erfassung (die Mechanik ist einfacher und die Messzeiten sind kürzer, die Auswertung der Daten jedoch komplexer). Vertikales Scanning wird in der Regel in Verbindung mit kontinuierlicher Rotation angewendet.
- **Horizontales Scanning** [siehe Bild 3 b)] wird in der Regel in Verbindung mit Winkel- und vertikalem Scanning bei TGS eingesetzt sowie, in Verbindung mit vertikalem Scanning, an Prüfobjekten ohne Drehsymmetrie.
- **Winkelscanning** [siehe Bild 3 c)] wird in der Regel nicht alleine, sondern als Teil von TGS-Systemen eingesetzt. Die technische Umsetzung kann mit einem Detektor oder, zur Verkürzung der Erfassungszeiten, mit mehreren Detektoren (wie dargestellt) sowie mit schrittweiser Rotation oder kontinuierlicher Rotation mit zeitsegmentierter Erfassung erfolgen.

2.37

Selbstschwächung

Selbstabsorption

Schwächung der Gammastrahlung im radioaktiven Material selbst (wie bei Pu oder U)

Anmerkung 1 zum Begriff: Es wird hier eine Abgrenzung vorgenommen zwischen diesem Effekt und der Schwächung der Gammastrahlung in nicht radioaktivem Material, wie z. B. der Abfallmatrix, inneren Abschirmungen, Behältern, äußeren Abschirmungen, Kollimatoren usw.

2.38

Transmissions-Computertomographie

TCT

(en: transmission computed tomography)

Transmissionstechnik für Gamma- oder Röntgenstrahlen zur Bestimmung der Matrixdichteverteilung in Teilen des Abfallgebindes mithilfe von Winkel- oder horizontalem Scanning bei ECT und als 3D mit ergänzendem vertikalem Scanning

Anmerkung 1 zum Begriff: 3D-Densitometrie ermöglicht eine genauere Korrektur der Schwächung von Gammastrahlung in nichthomogenen Matrizen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Sowohl bei ECT als auch TCT können 2D-Teile des Gebindes mithilfe von Winkel- und horizontalem Scanning rekonstruiert werden. Vollständige 3D-Daten können durch vertikale Überlagerung der Scheiben oder durch kontinuierliches Schrägspurscanning erzielt werden.

2.39

tomographisches Gamma-Scanning

TGS

(en: tomographic gamma scanning)

üblicherweise eine Kombination von Emissions-Computertomographie (ECT) und Transmissions-Computertomographie (TCT)

2.40

Gesamtdetektoreffizienz

Gesamtnachweiswahrscheinlichkeit

Anzahl der Zählungen im Full-Energy-Peak (Nettofläche) je emittiertem Photon der Energie E aus dem Abfallgebinde

2.41

Abfallprodukt

physikalische und chemische Form nach Behandlung oder Konditionierung vor dem Verpacken und Bestandteil des *Abfallgebundes* (2.29)

[QUELLE: ISO 12749-3:2015, 3.7.6]

3 Anwendung

3.1 Allgemeines

Die Messung von Gammastrahlung ist ein zerstörungsfreies Verfahren zur Ermittlung des Inventars an gammastrahlenden Radionukliden in einem Abfallgebinde.

Gammastrahlungsmessungen können mit relativ einfachen Techniken (wie die offene Detektorgeometrie, siehe 4.2) und Messverfahren erfolgen, wenn Abfälle und Abfallmatrix gut bekannt sind oder davon ausgegangen werden kann, dass Strahlungsquellen und Matrix gleichmäßig durchmischt sind (sodass mit einer einfachen Messung ein repräsentatives Ergebnis erzielt werden kann).

Es können aber auch wenig bis keine Informationen über Strahlungsquellen, Verteilung der Aktivität, Zusammensetzung oder Homogenität der Matrix vorliegen; in diesen Fällen ist oft der Einsatz komplexerer Techniken (wie z. B. Messungen mit kollimierter Detektorgeometrie, siehe 4.3) erforderlich.

Je nach Intensität der Gammastrahlung können Abschirmungen und/oder kollimierte Geometrien auch deshalb notwendig sein, um sicherzustellen, dass die Zählraten von Detektor und Erfassungssystem innerhalb zulässiger Betriebsgrenzen verbleiben.

3.2 Typische Anwendungen

Das derzeitige Anwendungsspektrum für Systeme zur Gammastrahlungsmessung an radioaktiven Abfallgebünden ist breit gefächert und umfasst die folgenden Bereiche:

- Bestimmung des Inventars im Vorfeld der Behandlung, Lagerung oder des Transports von Abfällen;
- Verifizierung des Inventars im Vorfeld der Behandlung, Lagerung oder des Transports von Abfällen;
- Abfallprüfung während der Zwischen- oder Endlagerung;
- Qualitätsprüfung von Verfahren zur Abfallkonditionierung;
- Freigabemessungen.

ANMERKUNG Die Gammaspektroskopie findet vielfach Anwendung in Bereichen, die nicht im Anwendungsbereich dieser Internationalen Norm liegen, darunter verfahrenstechnische Überwachung, Bewertung von Radioaktivität in Umweltmedien (Boden, Vegetation, Wasser usw.), Charakterisierung von Schutt bei Aufräumarbeiten nach Störfällen, Messungen an Schüttgut usw. Die hier genannten Leitprinzipien und "good practices" können vielfach auch auf diese Bereiche übertragen werden.

Radionuklide, die mit diesem Verfahren nachgewiesen werden sollen, müssen Gammastrahlung mit einer ausreichenden Intensität und Energie emittieren, so dass sie die umgebenden Materialien durchdringt und den Behälter verlässt, um sie zu messen.

Der geeignete Energiebereich hängt von einer Reihe von Faktoren ab, darunter die Zusammensetzung und Verteilung der Matrix; die Position der Strahler und/oder die Verteilung der Strahlungsquellen im Gebinde sowie Art und Abmessungen des Behälters. Für die meisten Anwendungen liegt der für die Analyse von Abfallgebinden zu betrachtende Energiebereich der Gammastrahlung zwischen einigen zehn keV und 3 MeV. Der Bereich der Gammastrahlungsenergie, die in anderen Anwendungen und unter anderen Bedingungen erfolgreich nachgewiesen werden kann, kann kleiner sein.

4 Messgeräte

4.1 Allgemeines

Derzeit werden eine Reihe unterschiedlicher Systeme zur Messung von Gammastrahlung an Gebinden mit radioaktivem Abfall eingesetzt. Diese Internationale Norm verfolgt nicht das Ziel, den Aufbau der einzelnen Systeme im Detail zu behandeln. Vielmehr geht es um die Behandlung allgemeiner Gesichtspunkte, die für die Umsetzung in spezifischen Messanordnungen sowie für die Leistungsbeurteilung relevant sind. Einige Beispiele für derzeit in Analyse-Anwendungen eingesetzte Messsysteme werden in Anhang A genannt. Die Angaben in Anhang A dienen lediglich zu Informationszwecken und sollten weder als verbindlich noch als vollständig betrachtet werden.

Wo Messungen an Gebinden mit radioaktivem Abfall erfolgen, besteht das Ziel der Messung im Allgemeinen darin, die Aktivität der zu betrachtenden, im Gebinde enthaltenen Radionuklide im Kontext der Anwendung zu bestimmen. Die benötigten Informationen können von Anwendung zu Anwendung variieren. So kann z. B. die benötigte Information, die für die Überwachung der Kritikalitätssicherheit ausschließlich am Standort der Herkunft benötigt wird, eine Untermenge des Gesamttradionuklidinventars im Gebinde sein, welche nur thermisch spaltbare Isotope umfasst (z. B. ^{235}U , ^{239}Pu , ^{241}Pu); ein vollständigeres Radionuklidinventar kann für den Transport im öffentlichen Raum erforderlich sein (z. B. eine Anzahl an Beta- und Alpha-Aktivitäten), wohingegen für die Endlagerung wiederum andere Informationen benötigt werden können (Gesamtinventar einschließlich z. B. der langlebigen Isotope). Ebenso können die Leistungsanforderungen des Systems von Anwendung zu Anwendung variieren. In jedem Fall müssen jedoch die Funktions- und Leistungsanforderungen an das System vor der Entwicklung des Systems festgelegt werden.

In diesem Abschnitt werden die grundlegenden Merkmale der Systeme beschrieben, die derzeit für die Messung von Gammastrahlung an Gebinden mit radioaktivem Abfall eingesetzt werden. Die derzeit gebräuchlichen Systeme reichen von einfachen Vorrichtungen (mit nur einem, unkollimierten, Detektor) bis hin zu hochkomplexen Messanordnungen (mit mehreren Detektoren, hochentwickelten Scanning-Techniken und modernen Zählanlagen).

Die meisten Systeme zur Messung von Gammastrahlung an Abfallgebinden mit Drehsymmetrie verfügen über einen Drehteller, auf dem das Gebinde während der Messung rotiert. An kastenförmigen Gebinden werden üblicherweise mehrere Messungen von unterschiedlichen Positionen und an verschiedenen Seiten vorgenommen. Diese Mehrfachmessungen und die Rotation dienen in erster Linie dazu, Schwankungen im Ansprechverhalten des Messsystems bei nichthomogenen Abfällen zu mitteln.

Die Messsysteme können grob nach der Detektorgeometrie und dem Messverfahren unterteilt werden in

- Anordnungen mit offener Detektorgeometrie und
- Anordnungen mit kollimierter Geometrie.

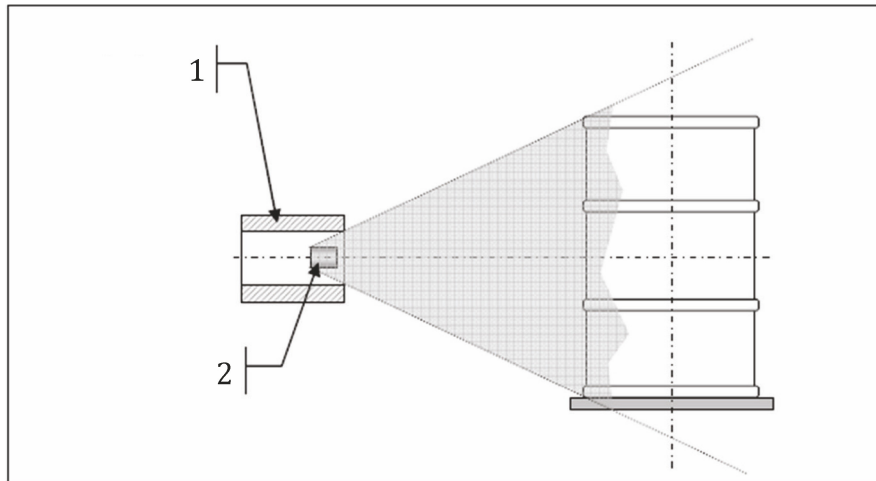
Gammaskpektrometrische Systeme können mit einem oder mehreren Detektoren betrieben werden, um die Durchsatzleistung des Systems zu erhöhen. Diese Internationale Norm bezieht sich nur auf Systeme mit einem Detektor, da sich die Leistungsmerkmale der beiden Messanordnungen, abgesehen von den Effizienzvorteilen der mit mehreren Detektoren ausgestatteten Systeme, nicht prinzipiell unterscheiden.

4.2 Offene Detektorgeometrie

Die Grundanordnung für diese Art der Messung besteht aus einem oder mehreren Detektoren, der/die an einem festen Platz relativ zum Abfallgebinde montiert ist/sind. Die Messanordnung mit offener Geometrie ist so eingerichtet, dass alle Teile des Gebindes zum Ansprechen des Detektors beitragen können (siehe Bild 1). Um die Messunsicherheit bei Gebinden mit ungleichmäßiger Radioaktivitätsverteilung zu reduzieren, dürfen Gebinde während der Messung gedreht oder mehrere Messungen aus unterschiedlichen Richtungen durchgeführt und anschließend gemittelt werden. Die Entscheidung für eine Rotation des Gebindes oder eine Erfassung aus mehreren Perspektiven hängt von der Heterogenität des Abfalls (Substanzen und Aktivität) und deren Einfluss auf die Messunsicherheit ab. Welches Verfahren letztendlich gewählt wird, kann das Ergebnis von Abwägungen zwischen Messunsicherheitszielen und praktischen Einschränkungen sein (so z. B. sind Rotationsmessungen für zylindrische Gebinde üblich, während bei würfel- oder quaderförmigen Gebinden im Allgemeinen jede Fläche gemessen wird).

Systeme mit dieser Art der Messanordnung haben den Vorteil einer einfacheren Hardware und einer allgemein höheren Detektoreffizienz im Vergleich zu Systemen mit kollimierter Geometrie und einem Abtastsystem. Die Praxiserfahrung hat gezeigt, dass die Nachweisgrenzen bei Messsystemen mit offener Geometrie in der Regel bedeutend niedriger liegen; andererseits sind hier die Ergebnisse im Allgemeinen empfindlicher gegenüber der Aktivitätsverteilung sowie Dichteschwankungen der Abfallmatrix.

Ist bekannt, dass Abfallstoff und Aktivitätsverteilungen recht homogen sind, kann zur Korrektur der Matrixschwächung (Einflüsse der Dichte und der Messgut-Zusammensetzung) eine Gammatransmissions-technik eingesetzt werden. Der Teil des Abfalls, der vom Transmissionsstrahler abgesucht wird, muss so repräsentativ wie möglich für das Gesamtvolumen sein. Die Repräsentativität kann durch den Einsatz mehrerer externer Transmissionsstrahler weiter verbessert werden, die den oberen Bereich auf halber Höhe und den unteren Bereich des Gebindes absuchen; alternativ dazu kann ein kontinuierlicher vertikaler Scan implementiert werden (damit gehen jedoch komplexere Anforderungen an die Hardware und Software einher). Das Gebinde kann während der Transmissionsmessung gedreht werden; alternativ können mehrere Messungen aus unterschiedlichen Richtungen durchgeführt und anschließend gemittelt werden.



Legende

- 1 Abschirmung
- 2 Detektor

ANMERKUNG Eine Abschirmung entlang der Seiten und gelegentlich auch an der Rückseite des Detektors zur Reduktion des Untergrunds ist wünschenswert. Dabei ist jedoch darauf zu achten, dass das gesamte Abfallgebinde im Sichtfeld des Detektors bleibt.

Bild 1 — Offene Detektorgeometrie (Strahler für die Transmissionskorrektur nicht dargestellt)

Die offene Detektorgeometrie ist anwendbar, wenn Schwankungen der Aktivitätsverteilung im Gebinde und andere Merkmale des Abfalls (insbesondere die Dichteverteilung) nicht zu einer extrem hohen Messunsicherheit führen.¹⁾

Bei heterogenen Abfällen kann die Messunsicherheit trotz Rotation des Gebindes, Mehrfachmessungen aus unterschiedlichen Richtungen und Gammatransmissionsmessung extrem ausgeprägt sein. Für diese Fälle kann die kollimierte Detektorgeometrie in Verbindung mit Techniken wie dem segmentierten Gamma-Scanning (SGS) oder dem tomographischen Gamma-Scanning (TGS), die im Folgenden beschrieben werden, besser geeignet sein.

ANMERKUNG Der Aspekt der Messunsicherheit wird in 6.4 behandelt.

1) Die Rotation des Gebindes während der Messung ermöglicht eine Verringerung der durch radiale Heterogenität verursachten Messunsicherheit.