

**DIN EN 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

Einsprüche bis 2021-08-04

Vorgesehen als Ersatz für
DIN ISO 20042
(VDE 0493-2042):2020-05

Entwurf

**Bestimmung der Radioaktivität –
Gammastrahlung emittierende Radionuklide –
Allgemeines Messverfahren mittels Gammaskpektrometrie
(ISO 20042:2019);
Deutsche Fassung prEN ISO 20042:2021**

Measurement of radioactivity –
Gamma-ray emitting radionuclides –
Generic test method using gamma-ray spectrometry
(ISO 20042:2019);
German version prEN ISO 20042:2021

Mesurage de la radioactivité –
Radionucléides émetteurs gamma –
Méthode d'essai générique par spectrométrie gamma
(ISO 20042:2019);
Version allemande prEN ISO 20042:2021

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-06-04 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

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

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

Gesamtumfang 58 Seiten

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

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist ...

Nationales Vorwort

Die Deutsche Fassung des europäischen Dokuments prEN ISO 20042:2021: „Bestimmung der Radioaktivität – Gammastrahlung emittierende Radionuklide – Allgemeines Messverfahren mittels Gammaskpektrometrie“ (Entwurf in der Umfrage) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden.

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

Dokumente, die bei CEN als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

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.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DKE (www.dke.de) und DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

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

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

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

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.

Änderungen

Gegenüber **DIN ISO 20042 (VDE 0493-2042):2020-05** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Die Anforderungen der bestehenden Norm sollen unverändert als Europäische Norm übernommen werden.

**Bestimmung der Radioaktivität –
Gammastrahlung emittierende Radionuklide –
Allgemeines Messverfahren mittels Gammaskpektrometrie**

Inhalt

Seite

Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe	10
4 Symbole und Einheiten	13
5 Kurzbeschreibung	13
5.1 Allgemeines	13
5.2 Summationsmethode	14
5.3 Approximationsmethode	15
6 Validierungsmessungen mittels Gammaskpektrometrie	15
6.1 Allgemeines	15
6.2 Schritt 1: Kundenanforderungen	16
6.3 Schritt 2: Technische Anforderungen	16
6.4 Schritt 3: Detaillierte Ausführung	17
6.5 Schritt 4: Errichtung	17
6.6 Schritt 5: Validierungsstudien	18
6.7 Schritt 6: Robustheit	18
6.8 Schritt 7: Betrieb und Wartung	18
7 Kernzerfallsdaten	19
7.1 Empfohlene Kernzerfallsdaten	19
7.2 Auswahl von Gammalinien für die Aufnahme in Bibliotheken zur Spektralanalyse	19
7.3 Zerfallsreihen	20
8 Kalibrierung des Detektors bezüglich Energie und Nachweiswahrscheinlichkeit	20
8.1 Energiekalibrierung	20
8.2 Kalibrierung bezüglich Nachweiswahrscheinlichkeit	21
8.3 Referenzquelle(n) für die Energiekalibrierung	22
8.4 Referenzquelle(n) für die Kalibrierung bezüglich Nachweiswahrscheinlichkeit	22
8.4.1 Allgemeines	22
8.4.2 Referenzquellen für Laborsysteme	23
8.4.3 Referenzquellen zur Verwendung in Verbindung mit numerischen Methoden	23
9 Probenbehälter	23
10 Verfahren	24
10.1 Verfahren der Probenmessung	24

	Seite
10.1.1 Probenahme	24
10.1.2 Probenaufbereitung	24
10.1.3 Befüllen des Probenbehälters	26
10.1.4 Speicherung des Probenspektrums	26
10.2 Analyse des Spektrums	26
10.2.1 Verfahren für Messsysteme in Laboratorien	26
10.2.2 Korrekturen bezüglich Untergrund	27
11 Darstellung der Ergebnisse	28
11.1 Berechnung der Aktivität und der Aktivität je kg (oder m ³) der Probe	28
11.2 Bestimmung der charakteristischen Grenzen	28
12 Prüfbericht	29
Anhang A (informativ) Qualitätssicherung und Programm zur Qualitätskontrolle	30
A.1 Allgemeines	30
A.2 Einflussgrößen	30
A.3 Überprüfung der Geräte	30
A.4 Überprüfung des Verfahrens	30
A.5 Qualitätssicherungsplan	30
A.6 Energiekalibrierung	31
A.7 Kalibrierung bezüglich Nachweiswahrscheinlichkeit	31
A.8 Halbwertsbreite	31
A.9 Untergrund	31
A.10 Ausbildung und Bewertung des Personals	31
A.11 Dokumentation	31
Anhang B (informativ) Korrekturen am Analyseprozess	32
B.1 Allgemeines	32
B.2 Probengeometrie	32
B.3 Korrektur bezüglich Zusammensetzung und Dichte (interne Absorption)	33
B.4 Pulsaufstockung und Totzeit	34
B.5 Kaskaden-Summutationskorrektur	35
Anhang C (informativ) Unsicherheitsbudget	36
C.1 Allgemeines	36
C.2 Unsicherheitsbeiträge	36
C.3 Umsetzung des Unsicherheitsbudgets	37
Anhang D (informativ) Detektortypen	38
Anhang E (informativ) Beispiel: Berechnung des ¹³⁷ Cs-Aktivitätsgehalts und der charakteristischen Grenzen in einer wässrigen Probe	41
E.1 Kurzbeschreibung	41
E.2 Messung	41

E.3	Berechnung des Aktivitätsgehalts	41
E.4	Charakteristische Grenzen	44
E.5	Erkennungsgrenze	45
E.6	Nachweisgrenze	45
Anhang F (informativ)	Beispiel: Simulation von Korrekturfaktoren bezüglich Probenpositionierung, Geometrie, Matrix, Dichte und Kaskaden-Summation	46
F.1	Übersicht	46
F.2	Einfluss des Probe-Detektor-Abstands (H1)	47
F.3	Einfluss der Achsenverschiebung (PA)	49
F.4	Einfluss der Füllhöhe (HS)	50
F.5	Nachweiswahrscheinlichkeit für verschiedene Probenschichten	51
F.6	Einfluss der Dichte (RO) und der Matrix (MA)	52
F.7	Auswirkung der Kaskaden-Summationskorrektur als Funktion des Probe-Detektor- Abstands (H1)	53
F.8	Zusammenfassung	54
Literaturhinweise		55
Bilder		
Bild 1	– Schema der Validierung	15
Bild 2	– Typisches Spektrum eines hochauflösenden Gamma-Spektrometers	27
Bild B.1		35
Bild D.1	– Typische Gammaspektren von NaI-, LaBr ₃ - und Ge-Spektrometern, die die Unterschiede in der Energieauflösung zwischen den verschiedenen Detektortypen aufzeigen	40
Bild E.1	– ¹³⁷ Cs-Totalabsorptionslinie in einem Gammaspektrum einer wässrigen Prüfprobe	42
Bild F.1	– Parameter, die die Systemgeometrie beschreiben, und Vorgabewerte	46
Bild F.2	– Geometrie: relative Nachweiswahrscheinlichkeit für ein Filter als Funktion des Probe- Detektor-Abstands H1 [mm]	47
Bild F.3	– Geometrie: relative Nachweiswahrscheinlichkeit für einen 0,25-l-Becher als Funktion des Probe-Detektor-Abstands H1 [mm]	48
Bild F.4	– Geometrie: relative Nachweiswahrscheinlichkeit für ein Filter als Funktion der Achsenverschiebung PA [mm]	49
Bild F.5	– Geometrie: relative Nachweiswahrscheinlichkeit für einen 0,25-l-Becher als Funktion der Achsenverschiebung PA [mm]	49
Bild F.6	– Geometrie: relative Volumen-Nachweiswahrscheinlichkeit für einen 0,25-l-Becher als Funktion der Füllhöhe HS [in mm]	50
Bild F.7	– Geometrie: relative Zählereignisse je Schicht für einen 0,25-l-Becher	51
Bild F.8	– Geometrie: Einfluss der Dichte [in g/cm ³] auf die relative Nachweiswahrscheinlichkeit für einen 0,25-l-Becher	52
Bild F.9	– Geometrie: Einfluss der Matrix auf die relative Nachweiswahrscheinlichkeit für einen 0,25-l-Becher	52
Bild F.10	– Geometrie: Zählverluste durch Summationseffekte für eine Punktquelle als Funktion des Probe-Detektor-Abstands H1 [mm]	53
Bild F.11	– Geometrie: Zählverluste durch Summationseffekte für einen 0,25-l-Becher als Funktion des Probe-Detektor-Abstands H1 [mm]	54

Tabellen

Tabelle 1 – Symbole und Einheiten	13
Tabelle 2 – Normen für Probenahme und Probenvorbereitung für verschiedene Arten von Proben	25
Tabelle B.1 – Korrekturen bezüglich der Probengeometrie	32
Tabelle B.2 – Korrektur bezüglich Zusammensetzung und Dichte	33
Tabelle B.3 – Korrektur bezüglich Pulsaufstockung	34
Tabelle B.4 – Kaskaden-Summationskorrektur	35
Tabelle C.1 – Unsicherheitsbeiträge vom Typ A	36
Tabelle C.2 – Unsicherheitsbeiträge vom Typ B	37
Tabelle D.1 – Typische Charakteristika von Halbleiterdetektoren	38
Tabelle D.2 – Typische Charakteristika von Szintillationsdetektoren	39
Tabelle E.1 – Gemessene Impulse für die auf dem Detektor platzierte Prüfprobe im Bereich der ¹³⁷ Cs-Totalabsorptionslinie, $t_m = 60\,000\text{ s}$	43
Tabelle E.2 – Zählereignisse in definierten Regionen des Spektrums	43
Tabelle F.1 – Parameter, die die Systemgeometrie beschreiben	47

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.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe: 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.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

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 Gammaskpektrometrie, 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.

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 Gammaspektrometers 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 ⁶⁰Co 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 Gammaskpektrum 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 Detektors beschleunigt. Die gesammelte Ladung wird durch einen Vorverstärker in einen Ausgangs-Spannungspuls konvertiert und der Ausgangspuls wird durch den Hauptverstärker verstärkt und geformt. Die maximale Impulshöhe wird mittels eines Analog-Digital-Wandlers (ADC) in einen digitalen Wert umgewandelt und die Impulshöhe mittels eines Vielkanal-Analysators (MCA) gespeichert. Die Impulshöhe ist proportional zur Menge der freien Ladungsträger und daher zur Energie der ionisierenden Strahlung, die den Detektor getroffen hat.

Das vom Vielkanal-Analysator gespeicherte Spektrum zeigt eine Anzahl von Linien (Totalabsorptionslinien), die dem Untergrund-Kontinuum aus gestreuter Strahlung überlagert sind; [21] enthält Beispiele für Gamma-spektr. Die Totalabsorptionslinien sind näherungsweise gaußförmig. Die zum Schwerpunkt der Linie gehörende Kanalnummer des Spektrums hängt von der Energie der nachgewiesenen Photonen ab, und die Nettofläche der Linie ist zu der Anzahl der Photonen mit dieser Energie, die mit dem Detektor während der Zählzeitspanne wechselgewirkt haben, proportional. Die Nettofläche der Linie wird üblicherweise von der Analyse-Software bestimmt, und zwar mit einer der beiden folgenden verschiedenen Methodiken – Summation (Aufsummierung) oder Approximation (Annäherung).

5.2 Summationsmethode

Die Anzahl der Zählereignisse in der Totalabsorptionslinie wird berechnet, indem die Gesamtanzahl der Zählereignisse in einem interessierenden Bereich um die Linie addiert und davon das Untergrund-Kontinuum abgezogen wird. Die Gesamtanzahl der Zählereignisse ist gegeben durch:

$$N = \sum_{i=L}^H C_i \quad (1)$$

Dabei ist

N die Gesamtanzahl der Zählereignisse von Kanal L (niedrigste Energie) bis Kanal H (höchste Energie) im interessierenden Bereich des Spektrums;

C_i die Anzahl der Zählereignisse im Kanal der Nummer i .

Unter der Annahme eines linearen Untergrund-Kontinuums unter der Linie ergibt sich der Untergrund in dem gleichen interessierenden Bereich ist gegeben durch:

$$B = \frac{n(C_L + C_H)}{2} \quad (2)$$

Dabei ist

B die Anzahl der Zählereignisse im Untergrund von Kanal L bis Kanal H ;

n die Anzahl der Kanäle in dem interessierenden Bereich ($n = H - L + 1$).

Die Netto-Linienfläche ergibt sich zu $N - B$ und die Standardunsicherheit der Linienfläche (unter der Annahme einer Poisson-Verteilung für die Inhalte jedes Kanals) ist gegeben durch

$$u = \left(\sum_{i=L}^H C_i + \frac{n^2(C_L + C_H)}{4} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Verschiedene Softwarepakete verwenden verschiedene Methoden, um die obere und untere Grenze des interessierenden Bereichs und die Form der Untergrundfunktion zu bestimmen. Der interessierende Bereich muss mit Bedacht ausgewählt werden, insbesondere, wenn die Totalabsorptionslinie nahe einer Diskontinuität im Spektrum, nahe einer anderen Totalabsorptionslinie oder auf einem hohen Untergrund-Kontinuum liegt (siehe [2]).

Die Linienposition wird generell aus den Netto-Zählereignissen in jedem Kanal bestimmt:

$$C_h = \frac{\sum_{i=L}^H i \cdot C'_i}{\sum_{i=L}^H C'_i} \quad (4)$$

Dabei ist

C_h die Linienposition (Kanalnummer);

C'_i die Anzahl der Netto-Zählereignisse im Kanal der Nummer i .

5.3 Approximationsmethode

Bei dieser Methode wird die Nettofläche der Linie durch eine nichtlineare Kleinste-Quadrate-Approximation einer analytischen Funktion an die Zählereignisse bestimmt. Die analytische Funktion ist üblicherweise eine Gaußfunktion, aber einige Ansätze beinhalten einen oder mehrere exponentielle Ausläufer, um die Form der Linie besser anzunähern. Die Nettofläche und die Position der Linie werden aus den Parametern der Approximation bestimmt. Weitere Details zur Unsicherheit der Linienfläche bei Verwendung dieser Methode sind in [2] angegeben.

Zur Trennung überlappender Linien in einem Spektrum muss die Approximationsmethode verwendet werden.

Die in der Prüfprobe vorhandenen Radionuklide können aus den Energien der vorhandenen Linien identifiziert werden; auch kann die Aktivität (in Bq) in der Prüfprobe bestimmt werden, und zwar aus der in der Totalabsorptionslinie beobachteten Zählrate, korrigiert bezüglich Faktoren wie Nachweiswahrscheinlichkeit, Gamma-Emissionswahrscheinlichkeit und Halbwertszeit. Es ist auch darauf zu achten, dass von vielen kommerziellen Softwarepaketen zur Analyse des Spektrums Korrekturen der Effekte, wie z. B. Kaskaden-Sum-mation (en: true coincidence summing), nicht durchgeführt werden.

ANMERKUNG Diese Beschreibung gilt für Halbleiterdetektoren einschließlich CdZnTe, aber ähnliche Prinzipien können auch auf andere Detektoren [NaI(Tl), LaBr₃(Ce), CeBr₃ usw.) angewendet werden.

6 Validierungsmessungen mittels Gammaspektrometrie

6.1 Allgemeines

Dieser Unterabschnitt beschreibt die zu befolgenden Schritte, beginnend beim Aufstellen der Anforderungen des Kunden und der Auswahl der Geräte bis zu Betrieb und Wartung, wie auch in ISO/IEC 17025 gefordert. Es müssen dokumentierte Nachweise, dass die Messverfahren den Anforderungen der Kunden entsprechen, vorhanden sein. Das Verfahren der Validierung wird in Bild 1 zusammengefasst.

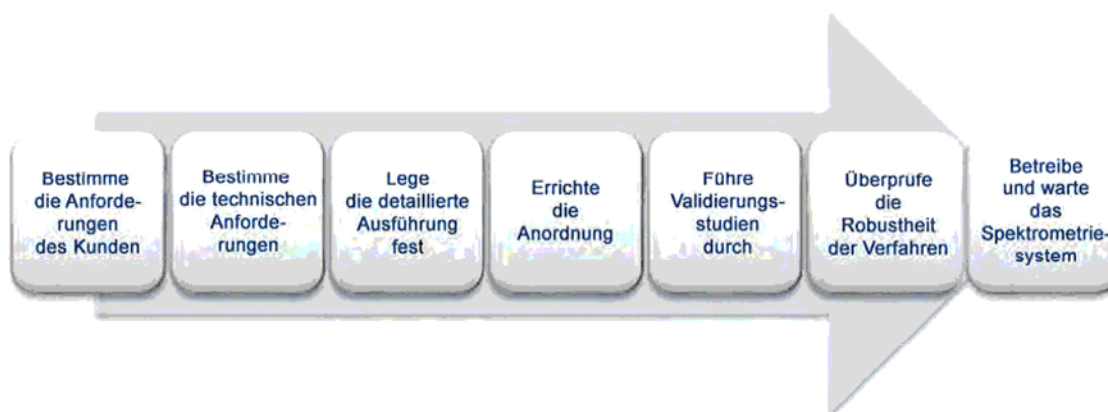


Bild 1 – Schema der Validierung

6.2 Schritt 1: Kundenanforderungen

Die Spezifikationen für das Spektrometriesystem müssen festgelegt werden, einschließlich der Energiebereich, charakteristische Grenzen, maximale Aktivität und die Unsicherheit, wie vom Kunden gefordert. Die Spezifikationen müssen, soweit erforderlich, in Abstimmung mit andern Mitarbeitern, ebenfalls die folgenden Punkte berücksichtigen:

- Kompatibilität mit vorhandenen Geräten;
- Ort (z. B. Nähe zu hochradioaktiven Quellen, Beschleunigern, Reaktoren);
- Umgebungsbedingungen;
- Ausbildungsanforderungen;
- notwendige Dokumentation;
- Probendurchsatz und Umlaufzeiten;
- Aktivität der Proben;
- geforderte Messunsicherheiten.

Die Nutzeranforderungen können auch durch den Kunden oder lokale, nationale oder internationale Anforderungen als Kriterien für bestanden/nicht bestanden festgelegt werden (z. B. Prüfung, ob der Aktivitätsgehalt einer Trinkwasserprobe die nationalen Anforderungen erfüllt). Die charakteristischen Grenzen sollten abgeschätzt werden und die Nachweisgrenze muss niedriger als die geforderten Grenzwerte sein.

6.3 Schritt 2: Technische Anforderungen

Die technischen Anforderungen an das Spektrometriesystem müssen so festgelegt werden, dass die in Schritt 1 (siehe 6.2) festgelegten Anforderungen eingehalten werden. Diese Anforderungen müssen beinhalten:

- Charakteristika des Detektors [z. B. Detektortyp (siehe [Anhang D](#)), Detektorgeometrie, Material des Detektorfensters, Verwendung von ausgewähltem Material mit niedrigem Untergrund];
- Art des Kühlsystems, sofern erforderlich (flüssiger Stickstoff, elektrische Kühlung oder elektro-mechanische Kältemaschine);
- Abschirmung und andere Methoden zur Reduzierung der Untergrundstrahlung;
- System zur Positionierung der Proben / automatischer Probenwechsler;
- Umgebungsbedingungen;
- Art der Elektronik zur Signalverarbeitung (analog oder digital);
- Art des Vorverstärkers (ohmsche Rückkopplung oder optische Rückkopplung);
- Anforderungen an die Spannungsversorgung;
- Anforderungen an die Software zur Datensammlung, Analyse und Speicherung (Dauer);
- Minimierung der Korrekturfaktoren, um die Anforderungen bezüglich Messunsicherheiten zu erfüllen (siehe [Anhänge B, C und F](#)).

Es wird empfohlen, die folgenden Aspekte in den technischen Anforderungen zu berücksichtigen (siehe auch [\[3\]](#) und [\[24\]](#)):

- a) Der Detektor sollte üblicherweise von allen Seiten (einschließlich der Grundfläche) abgeschirmt sein, um Untergrundsignale, die von kosmischer Strahlung, natürlich vorkommenden Radionukliden im Baumaterial oder aus anderen Quellen ionisierender Strahlung, wie z. B. einem Beschleuniger, stammen, zu reduzieren. Es ist üblicherweise ausreichend, den Detektor mit 10 cm dicken Wänden aus Blei mit niedriger Aktivität abzuschirmen. Die Wände dürfen mit Cadmium- und Kupferschichten oder anderen Materialien abgedeckt sein, um die Fluoreszenz-Röntgenstrahlung aus der Wechselwirkung der Gammastrahlung mit dem Blei abzuschwächen, insbesondere, wenn Messungen unterhalb von 100 keV erforderlich sind.