

Abschirmung von Detektoren für nuklidspezifische Aktivitätsmessungen Standardsysteme mit Germaniumdetektoren

DIN
25702

ICS 17.240; 27.120.10

Deskriptoren: Detektor, Abschirmung, Germaniumdetektor, Kerntechnik, Aktivitätsmessung

Shieldings for detectors for nuclide-specific activity measurements — Standard-systems with germanium detectors

Blindages pour détecteurs de l'activité spécifique des radioisotopes — Systèmes standards avec détecteurs germanium

Vorwort

Diese Norm wurde vom Normenausschuß Kerntechnik (NKe), AK 2.8B "Abschirmung von Aktivitäts-Meßsystemen", erstellt.

Inhalt

	Seite		Seite
1 Anwendungsbereich	1	5.2 Quadratische Abschirmkammer	4
2 Normative Verweisungen	1	5.3 Innenauskleidung	4
3 Definitionen, Größen und Formelzeichen	2	5.4 Tischgestell	4
3.1 Definitionen	2	6 Anforderungen an das Abschirmmaterial	4
3.2 Größen und Formelzeichen	2	7 Anforderungen an Beschläge und Mechanik	4
4 Angaben zum Standardsystem und Anforderungen an den systembedingten Strahlungsuntergrund	2	8 Anforderungen an das Detektormaterial	5
5 Bauformen und Maße von Abschirmkammern	3	9 Empfehlungen zur Aufstellung	5
5.1 Zylindrische Abschirmkammer	3	Anhang A (informativ) Literaturhinweise	14
		Anhang B (informativ) Hinweise zum Einfluß von Untergrundstrahlung	14

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für Gammastrahlungsmeßplätze, die zur Messung von radioaktiven Stoffen mit geringer spezifischer Aktivität im Energiebereich von 40 keV bis 2 MeV eingesetzt werden, wobei das Detektorsystem innerhalb einer Abschirmkammer betrieben wird. Sie gilt für Meßsysteme mit Germaniumdetektoren für routinemäßige Untersuchungen, bei denen mit Meßzeiten von 1 h die in Tabelle 1 für einige Radionuklide angegebenen Nachweisgrenzen in der Größenordnung von etwa 1 Bq/kg erreicht werden sollen (Standardsysteme mit Germaniumdetektoren).

Die Norm gilt nicht für Meßsysteme zum Nachweis besonders niedriger Aktivitäten, bei denen durch spezielle Bauweise und Auswahl der Werkstoffe oder darüber hinaus mit speziellen Meßtechniken ein besonders niedriger Nulleffekt erreicht wird.

Zweck der Norm ist es, durch Vorgabe von geometrischen Formen, Maßen und Werkstoffen bei Abschirmungseinrichtung und Detektorsystem die Austauschbarkeit von Bauelementen zu erreichen sowie eine Montage von Hand oder mit kleinem Montagekran zu ermöglichen. Ferner werden die zur Erreichung der geforderten Nachweisgrenzen erforderlichen Anforderungen an Geometrie und Material festgelegt.

2 Normative Verweisungen

Diese Norm enthält durch datierte und undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation.

DIN 17640-1

Bleilegierungen — Legierungen für allgemeine Verwendung

DIN 25407-1

Abschirmwände gegen ionisierende Strahlung — Bleibausteine

DIN 25415-1

Dekontamination von radioaktiv kontaminierten Oberflächen — Verfahren zur Prüfung und Bewertung der Dekontaminierbarkeit

DIN 25482-1

Nachweisgrenze und Erkennungsgrenze bei Kernstrahlungsmessungen — Zählende Messungen ohne Berücksichtigung des Probenbeeinflussungseffektes

Fortsetzung Seite 2 bis 14

Normenausschuß Kerntechnik (NKe) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

DIN 25482-5

Nachweisgrenze und Erkennungsgrenze bei Kernstrahlungsmessungen — Zählende hochauflösende gammaspektrometrische Messungen ohne Berücksichtigung des Probenbeeinflussungseffektes

DIN ISO 2768-1

Allgemeintoleranzen — Toleranzen für Längen- und Winkelmaße ohne einzelne Toleranzeintragung; Identisch mit ISO 2768-1 : 1989

3 Definitionen, Größen und Formelzeichen

3.1 Definitionen

Für die Anwendung dieser Norm gelten folgende Definitionen:

3.1.1 Bereich (bei hochauflösenden gammaspektrometrischen Messungen): Menge von Zählkanälen des registrierten Spektrums mit fortlaufenden Kanalnummern. Die Länge des Bereichs ist die Anzahl der Kanäle (aus: DIN 25482-5 : 1993-06).

3.1.2 Blindprobe: Deionisiertes Wasser mit einer spezifischen Aktivität von Radon $< 0,1$ Bq/kg im 1-Liter-Ringbecher.

3.1.3 Blindprobenzählrate (ϱ_n^0): Erwartungswert der Nettoeffektzählrate (R_n), die mit einer Blindprobe im betrachteten Bereich des Spektrums in der Abschirmkammer erhalten wird.

3.1.4 Bruttoeffektzählrate (R_b): Zählrate aller Ereignisse im betrachteten Bereich des Spektrums.

3.1.5 Erkennungsgrenze für die Nettoeffektzählrate (R_n^*): Zählrate, bei deren Überschreitung durch eine gemessene Nettoeffektzählrate gefolgert wird, daß im betrachteten Bereich des Spektrums interessierende Ereignisse vorliegen und daß der Fehler 1. Art höchstens α beträgt (siehe DIN 25482-1).

3.1.6 Frontlader: Abschirmkammer, in die die Meßprobe durch eine Türöffnung in der Vorderwand eingebracht wird.

3.1.7 Kalibrierfaktor (f_K): Verhältnis aus der zu ermittelnden Meßgröße (spezifische Aktivität) und der Meßwertanzeige (Impulsrate) unter den Meßbedingungen eines 1-Liter-Ringbechers.

3.1.8 Nachweisgrenze für die Nettoeffektzählrate (ϱ_n^*): Kleinster Erwartungswert der Nettoeffektzählrate oberhalb der Erkennungsgrenze, für den der Fehler 2. Art höchstens β beträgt (siehe DIN 25482-1).

3.1.9 Nachweisgrenze für die spezifische Aktivität (a_M^*): Produkt aus der Nachweisgrenze (ϱ_n^*) für die Nettoeffektzählrate und dem Kalibrierfaktor (f_K).

3.1.10 Nettoeffektzählrate (R_n): Zählrate der interessierenden Ereignisse im betrachteten Bereich des Spektrums.

3.1.11 Toplader: Abschirmkammer, in die die Meßprobe durch die Deckelöffnung eingebracht wird.

3.1.12 Untergrundzählrate (R_0): Zählrate der nicht einer Linie zuzurechnenden Ereignisse, die mit einer Blindprobe im betrachteten Bereich des Spektrums in der Abschirmkammer erhalten wird.

3.2 Größen und Formelzeichen

- a_M^* Nachweisgrenze für die spezifische Aktivität
 $a_M^* = f_K \cdot \varrho_n^*$ (1)
 b Länge des betrachteten Bereichs eines Spektrums

- f_K Kalibrierfaktor
 h Halbwertsbreite einer Linie im Spektrum
 $k_{1-\alpha}$ Quantil der Normalverteilung bezüglich des Fehlers 1. Art
 $k_{1-\beta}$ Quantil der Normalverteilung bezüglich des Fehlers 2. Art
 l Länge des Bereichs links bzw. rechts neben dem betrachteten Bereich eines Spektrums
 R_b Bruttoeffektzählrate
 R_1 Untergrundzählrate im links an den betrachteten Bereich angrenzenden Bereich der Länge l
 R_2 Untergrundzählrate im rechts an den betrachteten Bereich angrenzenden Bereich der Länge l
 R_0 Untergrundzählrate
 $R_0 = (R_1 + R_2) \frac{b}{2 \cdot l}$ (2)
 R_0^0 Untergrundzählrate der Blindprobenmessung
 R_n Nettoeffektzählrate
 $R_n = R_b - R_0 - \varrho_n^0$ (3)
 R_n^* Erkennungsgrenze für die Nettoeffektzählrate R_n
 $R_n^* = k_{1-\alpha} \cdot \sqrt{\frac{R_0}{t} \left(1 + \frac{b}{2 \cdot l}\right) + \frac{\varrho_n^0}{t} + s_{n0}^2}$ (4)
 ϱ_n^* Nachweisgrenze für die Nettoeffektzählrate R_n
 $\varrho_n^* = (k_{1-\alpha} + k_{1-\beta}) \cdot \sqrt{\frac{\varrho_0}{t} \left(1 + \frac{b}{2 \cdot l}\right) + \frac{\varrho_n^0}{t} + s_{n0}^2}$ (5)
 ϱ_n^0 Blindprobenzählrate
 ϱ_0 Erwartungswert der Untergrundzählrate
 s_{n0}^2 Varianz der Blindprobenzählrate
 $s_{n0}^2 = \frac{\varrho_n^0}{t_0} + \frac{R_0^0}{t_0} \left(1 + \frac{b}{2 \cdot l}\right)$ (6)
 t Dauer der Probenmessung
 t_0 Dauer der Blindprobenmessung

4 Angaben zum Standardsystem und Anforderungen an den systembedingten Strahlungsuntergrund

Das Standardsystem mit Germaniumdetektor ist durch die in Tabelle 1 für die Gammastrahlungsenergien einiger typischer Radionuklide angegebenen Blindproben-, Untergrundzählraten und Nachweisgrenzen gekennzeichnet. Diese Angaben gelten für einen p-Typ-Koaxialdetektor mit einem relativen Ansprechvermögen von 30 %, wobei als Blindprobe deionisiertes Wasser im 1-Liter-Ringbecher vorgesehen ist. Hierbei wird vorausgesetzt, daß die Ortsdosisleistung der Umgebungsstrahlung am Aufstellungsort 100 nSv/h nicht überschreitet. Die erreichbaren Nachweisgrenzen dürfen die in Tabelle 1 angegebenen Zahlenwerte um höchstens 100 % überschreiten.

Zur Grobbewertung des Meßsystems können die in Tabelle 1 für die Energiebereiche 40 keV bis 100 keV, 100 keV bis 500 keV und 500 keV bis 2 000 keV angegebenen integralen Blindprobenzählraten der Blindproben dienen.

Tabelle 1: Blindproben-, Untergrundzählraten und Nachweisgrenzen für die Gammastrahlungsenergien einiger typischer Radionuklide (p-Typ-Koaxialdetektor, 30 % relatives Ansprechvermögen, Halbwertsbreite: 1,8 keV bei 1,33 MeV, Meßzeit: 50 000 s, 1-Liter-Ringbecher)

Radionuklid	Energie keV	Zählrate ¹⁾		Kalibrier- faktor f_K Bq · s/kg	Nachweisgrenze ¹⁾²⁾	
		Blindprobe ϱ_n^0 ks ⁻¹	Untergrund ϱ_0 ks ⁻¹		ϱ_n^* ks ⁻¹	a_M^* Bq/kg
²³⁴ Th	92,6	5,2	8,3	1 300	2,4	3,2
⁵⁷ Co	122,1	—	8,6	35	2,0	0,07
²³⁵ U	143,8	—	8,9	270	2,1	0,6
²³⁵ U	185,7	2,9	7,2	60	2,2	0,1
²²⁶ Ra	186,2	2,9	7,2	970	2,2	2,1
²¹² Pb	238,6	4,0	5,9	95	1,8	0,2
²¹⁴ Pb	351,9	3,3	3,8	160	2,1	0,3
¹³¹ I	364,5	—	3,6	70	1,3	0,1
²¹⁴ Bi	609,3	2,9	1,6	190	1,7	0,3
¹³⁷ Cs	661,6	—	1,6	110	0,9	0,1
²²⁸ Ac	911,0	—	1,2	510	0,9	0,4
⁶⁰ Co	1 332,5	—	0,8	160	0,6	0,1
⁴⁰ K	1 460,8	1,8	0,6	1 600	0,9	1,5
²¹⁴ Bi	1 764,5	—	0,3	1 350	0,9	1,2
	40 bis 100	210				
	100 bis 500	680				
	500 bis 2 000	330				

¹⁾ $b = 2,5 \cdot h; \frac{b}{2} \leq l \leq 5 b$

²⁾ Nach DIN 25482-1 und DIN 25482-5 mit den Irrtumswahrscheinlichkeiten (für Fehler 1. und 2. Art) $\alpha = \beta = 0,025$
Erkennungsgrenze für die Nettoeffektzählrate $R_n^* \approx 0,5 \cdot \varrho_n^*$, falls $R_0 \approx \varrho_0$

5 Bauformen und Maße von Abschirmkammern

(Allgemeintoleranz: ISO 2768—m)

5.1 Zylindrische Abschirmkammer

Die zylindrische Abschirmkammer ist nach Bild 1 (Innendurchmesser 200 mm) oder nach Bild 2 (Innendurchmesser 310 mm) als Toplader aufzubauen. Die Massen der einzelnen Bauelemente (Kammermantel, -deckel und -boden) dürfen jeweils 55 kg nicht überschreiten.

Die den Kammermantel bildenden ringförmigen Bauelemente (Mantelelemente, siehe Bild 3) sind an den waagerechten Stoßflächen mit Rezzsen zu versehen. Auf der Oberseite der Mantelelemente sind diametral zwei Gewindeeinsätze einzulassen, die eine Anbringung von Tragehilfen ermöglichen.

Die Mantelelemente müssen die in Tabelle 2 bzw. Tabelle 3 angegebenen Maße aufweisen, entsprechend Abschirmkammern mit den Innendurchmessern 200 mm und 310 mm und einer Abschirmungsschichtdicke von jeweils 100 mm Blei.

ANMERKUNG 1: Abschirmkammern bestehen im allgemeinen

- bei 200 mm Innendurchmesser aus 9 Mantelelementen entsprechend einer Kammerhöhe von etwa 300,5 mm bzw.
- bei 310 mm Innendurchmesser aus 12 Mantelelementen entsprechend einer Kammerhöhe von etwa 404 mm.

In Tabelle 2 und Tabelle 3 sind zusätzlich zu den Maßen auch die angenäherten Massen der Mantelelemente angegeben.

Das den Deckel aufnehmende oberste Mantelelement der Abschirmkammer ist speziell anzupassen, soweit nicht eine eigene Stützkonstruktion für den Deckel vorgesehen ist.

Der Kammerdeckel ist als Schiebe- oder Schwenckdeckel auszuführen, der in geöffneter Stellung den vollen Kammerdurchmesser freigibt.

Für Abschirmkammern mit 200 mm Innendurchmesser sind Deckelelemente mit den in Tabelle 2 angegebenen Maßen zu verwenden.

Für Abschirmkammern mit 310 mm Innendurchmesser ist ein zweiteiliger Deckel vorzusehen. Zur Vermeidung von direkten Strahlengängen ohne Abschirmung zum Detektor sind die Stoßflächen der beiden Deckelteile mit prismatischen Federn bzw. Nuten zu versehen. Dazu sind bei schichtenförmigem Aufbau vorzugsweise Bleibausteine nach DIN 25407-1 zu verwenden. Falls die beiden Deckelteile als Gußstücke ausgeführt sind, müssen Gewindeinsätze an der Oberseite vorgesehen werden.

Die den Kammerboden bildenden Bauelemente (Bodenelemente) müssen die in Tabelle 2 bzw. Tabelle 3 angegebenen Maße aufweisen. Sie sind an den waagerechten Stoßflächen mit Rezzsen zu versehen. Das Bodenelement, das die Standfläche bildet, muß eine ebene Unterseite aufweisen.

ANMERKUNG 2: Der Kammerboden besteht im allgemeinen aus dem oberen Bodenelement, zwei mittleren und einem unteren Bodenelement.

Als Grundausstattung der Abschirmkammer sind Reduzier- und Blindstopfen nach Bild 4 vorzusehen, die leicht austauschbar in die treppenförmig abgestufte Öffnung am Kammerboden eingepaßt werden können.

Der Innendurchmesser des Reduzierstopfens (siehe Tabelle 4) und die Anordnung der Kabeldurchführung sind der Aufgabenstellung entsprechend mit dem Hersteller zu vereinbaren.

ANMERKUNG 3: Es ist zweckmäßig, für die Zuführung von Stickstoffgas eine Bohrung außerhalb der Sichtlinie zum Detektor vorzusehen.

5.2 Quadratische Abschirmkammer

Die Wände sowie Boden und Deckel der quadratischen Abschirmkammer sind aus Bleibausteinen oder Bleiplatten mit einer Schichtdicke von 100 mm zu erstellen. Die Abschirmkammer ist nach Bild 5 oder Bild 6 als Toplader bzw. nach Bild 7 oder Bild 8 als Frontlader auszuliegen.

Bei Verwendung von Bleibausteinen sind solche mit prismatischen Nuten und Federn nach DIN 25407-1 zu verwenden. Bei Plattenbauweise sind Versetzungen einzuplanen, damit keine durchgehenden Stoßflächen in der Abschirmung entstehen. Alle Platten sind mit entsprechenden Lastanschlagpunkten für Tragehilfen zu versehen. Die Masse einer Platte darf 80 kg nicht überschreiten.

Die Abschirmkammer ist entlang aller Außenkanten mit einem Stahl-Stützrahmen einzufassen, der bei Frontladern die Beschläge für die Turaufhängung trägt und bei Topladern als Auflage für den Deckel dienen kann. Bei den Innenmaßen der Abschirmkammer ist ein Rastermaß von 50 mm einzuhalten. Die innere Seitenlänge muß mindestens 200 mm betragen.

ANMERKUNG: Die innere Höhe der Abschirmkammer beträgt üblicherweise bei Topladern 300 mm und bei Frontladern 400 mm.

Türen und Deckel sind so auszuliegen, daß der volle Kammerquerschnitt zugänglich ist.

Der Stopfen für die Detektordurchführung im Kammerboden ist entsprechend den Vorgaben für zylindrische Abschirmkammern nach 5.1 auszuführen.

Für Frontlader ist im Kammerboden ein nach vorne herausziehbares Schubladenelement nach Bild 9 vorzusehen, so daß der Detektor von vorne in die Abschirmkammer hineingefahren und mit Hilfe eines geteilten Reduzierstopfens dicht umschlossen werden kann.

Bei Frontladern ist vorzugsweise im Bereich der Türen eine geeignete Durchführung für Kabel vorzusehen, die jeweils der Aufgabenstellung entsprechend mit dem Hersteller zu vereinbaren ist. Anmerkung 2 zu 5.1 gilt entsprechend.

5.3 Innenauskleidung

Bei Abschirmkammern, die für Messungen von Gammastrahlungsenergien unterhalb von 100 keV vorgesehen sind, ist die bei Photonenwechselwirkungen im Blei entstehende Fluoreszenzstrahlung durch die innere Auskleidung der Abschirmkammer mit einem Kupferblech von 5 mm Dicke abzuschirmen.

Aus Gründen der leichteren Dekontaminierbarkeit dürfen die Innenwände der Abschirmkammer mit einer Folie oder einer Acrylglasauskleidung versehen werden, die so dünn wie möglich, maximal 4 mm dick, zu wählen ist.

ANMERKUNG: Durch den Einsatz von Materialien mit niedriger Ordnungszahl wird grundsätzlich der Effekt der Thermalisierung von Neutronen und damit die Erzeugung von Einfang-Gammastrahlung verstärkt. Außerdem nimmt die Intensität kosmischer Sekundärstrahlung im Energiebereich zwischen 100 keV und 300 keV mit abnehmender Ordnungszahl zu.

5.4 Tischgestell

Das Tischgestell für die Abschirmkammer ist als Stahlkonstruktion mit einer dem jeweiligen Kammertyp genügenden Mindesttraglast auszulegen. Die Tischhöhe bis zur Unterkante der Tischplatte muß mindestens 820 mm und die lichte Weite zwischen den Tischbeinen mindestens 550 mm betragen. Die Tischplatte muß eine zentrale kreisförmige Öffnung von 120 mm Durchmesser erhalten. Bei Tischen mit Hubeinrichtung ist die zusätzliche Bauhöhe zu berücksichtigen. Bei Frontladern ist eine dem Schubladenelement entsprechende Aussparung vorzusehen.

6 Anforderungen an das Abschirmmaterial

Als Abschirmmaterial ist Hartblei nach DIN 17640-1 (siehe DIN 25407-1) mit einer Mindestdichte von $10,9 \text{ g/cm}^3$ zu verwenden, das eine Eigenaktivität von weniger als 50 mBq/g aufweisen sollte. Für die innere Auskleidung der Abschirmkammer mit Kupferblech ist Elektrolytkupfer zu verwenden.

ANMERKUNG: Blei enthält im allgemeinen ^{210}Pb (E_γ : 46,5 keV), dessen Folgeprodukt ^{210}Bi über die durch die Betastrahlung ($E_{\text{max}} = 1,161 \text{ MeV}$) ausgelöste Bremsstrahlung und charakteristische Röntgenstrahlung des Bleis zur Erhöhung des Nulleffekts beiträgt. Stahlbauteile enthalten vielfach ^{60}Co (E_γ : 1,17 MeV, 1,32 MeV). Auch Grundierungen und Lacke können radioaktive Verunreinigungen enthalten. Elektrolytkupfer enthält erfahrungsgemäß die geringsten radioaktiven Verunreinigungen.

7 Anforderungen an Beschläge und Mechanik

Bauteile, die mechanisch besonders beansprucht werden, wie tragende Konstruktionsteile, Deckel- oder Tür-

elemente, Scharniere und sonstige Aufhängevorrichtungen, sind aus stabilen und nicht oxidierbaren oder lackierten Werkstoffen anzufertigen. Sie sollten sehr gut dekontaminierbar sein (siehe DIN 25415-1).

Die Türen sind leichtgängig, z. B. mit Rollen- oder Kugellagern, auszulegen und müssen im geöffneten und geschlossenen Zustand fixierbar sein. Türgriffe sind fest zu verankern. Schrauben, die tragende Elemente befestigen, sind gegen unbeabsichtigtes Lockern zu sichern. Hervorstehende bzw. scharfkantige Bauelemente sind zu vermeiden.

8 Anforderungen an das Detektormaterial

Es sind Detektorsysteme einzusetzen, deren Werkstoffe hinsichtlich ihrer Eigenstrahlung geprüft sind.

9 Empfehlungen zur Aufstellung

Aktivitätsmeßplätze sollten in Räumen abseits anderer Strahlungsquellen aufgestellt werden. Dabei sind Stand-

orte unterhalb der Erdoberfläche vorzuziehen, damit das umgebende Erdreich und die Baustoffe des Gebäudes zur Abschirmung gegen die kosmische Strahlung genutzt werden. Vor der Aufstellung einer Abschirmkammer ist zu prüfen, ob die Tragfähigkeit des Bodens oder die allgemeinen statischen Erfordernisse gegeben sind. Als Orientierungswerte dienen die in den Bildern 1, 2 und 5 bis 8 angegebenen Massen. Ferner ist darauf zu achten, daß die Materialien in der unmittelbaren Umgebung des Meßplatzes nicht einen vergleichsweise hohen Gehalt an natürlichen oder künstlichen radioaktiven Stoffen aufweisen.

ANMERKUNG: Zum Schutz gegen die Untergrundstrahlung der gasförmigen Radionuklide ^{222}Rn und ^{220}Rn und ihrer Folgeprodukte, die in die Meßkammer gelangen und sich auf Kammerwänden, Detektor und Meßprobe absetzen können, kann die Kammer mit dem aus dem Kühlbehälter mit Flüssigstickstoff entweichenden N_2 -Gas gespült werden. Eine Ausschäumung mit Polyurethan ist ebenfalls möglich.