

Dieses Beiblatt enthält Informationen zu DIN 25482-2,  
jedoch keine zusätzlich genormten Festlegungen.

ICS 17.240

Detection limit and decision threshold for ionizing radiation measurements –  
Part 2: Counting measurements by spectrometry, neglecting the influence of  
sample treatment; comments and examples

Limite de détection et seuil de décision d'une mesure de rayonnement ionisant –  
Partie 2: Méthode de mesure par spectrométrie négligeant l'influence de la  
préparation d'un échantillon; commentaires et exemples

### Inhalt

	Seite		Seite
<b>Vorwort</b> . . . . .	2	3.5 Dokumentation der Ergebnisse . . . . .	7
<b>1 Einführung</b> . . . . .	2	3.6 Diskussion der Ergebnisse . . . . .	7
<b>2 Erläuterungen zur Anwendung der Norm</b> . . . . .	2	<b>4 Eng benachbarte Linien: <sup>134</sup>Cs neben <sup>137</sup>Cs im NaI-Spektrum einer Ganzkörpermessung</b> . . . . .	9
2.1 Allgemeines . . . . .	2	4.1 Aufgabenstellung . . . . .	9
2.2 Kalibrierung erkannter Nettoflächen in Aktivitäten . . . . .	2	4.2 Vorgaben . . . . .	10
2.3 Verwendete Spektren . . . . .	2	4.3 Bereiche . . . . .	10
2.4 Festlegung der Bereichslängen und statistisch bedingte Probleme der Erkennung von Linien . . . . .	2	4.4 Berechnung . . . . .	10
2.4.1 Festlegung der Länge $z_b$ des interessierenden Bereiches $B$ im Spektrum . . . . .	2	4.5 Dokumentation der Ergebnisse . . . . .	11
2.4.2 Festlegung der Länge $z_0$ des zur Ermittlung des Untergrundes $N_0$ heranzuziehenden Bereiches . . . . .	2	<b>5 Schwache Linie auf einer hohen Flanke</b> . . . . .	12
2.4.3 Festlegung der Bereichslängen bei nicht auflösbaren Multipletts . . . . .	3	5.1 Aufgabenstellung . . . . .	12
<b>3 Ungestörte Linien: Natürliche Radionuklide im NaI-Spektrum einer Ganzkörpermessung</b> . . . . .	3	5.2 Vorgaben . . . . .	13
3.1 Aufgabenstellung . . . . .	3	5.3 Bereiche . . . . .	13
3.2 Vorgaben . . . . .	3	5.4 Berechnung . . . . .	13
3.3 Bereiche . . . . .	3	5.5 Dokumentation der Ergebnisse . . . . .	14
3.4 Berechnung . . . . .	5	<b>6 Gestörte Linie in einem hochaufgelösten Gammaskpektrum</b> . . . . .	15
		6.1 Aufgabenstellung . . . . .	15
		6.2 Vorgaben . . . . .	16
		6.3 Bereiche . . . . .	16
		6.4 Berechnung . . . . .	16
		6.5 Dokumentation der Ergebnisse . . . . .	17
		<b>Anhang</b> (informativ) Literaturhinweise . . . . .	18

Fortsetzung Seite 2 bis 18

## Vorwort

Dieses Beiblatt wurde vom Fachbereich Kerntechnik NMP 722 „Nachweisgrenzen radioaktiver Stoffe“ erarbeitet.

## 1 Einführung

Die Erläuterungen und Beispiele beziehen sich auf DIN 25482-2. Sie dienen dazu, das Verständnis der Norm zu fördern und ihre Anwendung zu erleichtern.

Es wird gezeigt, wie bei Spektren, die mit Detektoren geringer Auflösung (NaI(Tl)) aufgenommen wurden, DIN 25482-2 für die Berechnung von Erkennungs- und Nachweisgrenzen im Einzelfall angewandt wird.

Die Beispiele sollen möglichst viele bei Anwendung der Norm auftretende Fälle abdecken. Hieraus lässt sich auch für Sonderfälle die grundsätzliche Vorgehensweise erkennen.

Die Beispiele umfassen Anwendungen der in der Norm angegebenen Gleichungen bei:

- ungestörten Linien auf dominierendem Untergrund (siehe Abschnitt 3),
- durch Nachbarlinien gestörten Linien (siehe Abschnitt 4),
- schwachen Linien auf Flanken einer stark ausgeprägten Linie (siehe Abschnitt 5),
- Linien in einem Germaniumdetektorspektrum in unmittelbarer Nachbarschaft anderer Linien, bei denen der Untergrund nicht durch eine Gerade angenähert werden kann (siehe Abschnitt 6).

## 2 Erläuterungen zur Anwendung der Norm

### 2.1 Allgemeines

Der mathematische Formalismus der Bestimmung der Erkennungs- und Nachweisgrenze ist so beschaffen, dass er bei schwachen Linien, die sich nur geringfügig vom Untergrund unterscheiden, für die Erkennungs- und Nachweisgrenze zuverlässige Aussagen liefert. Bei Nettopeakflächen, die deutlich über der Erkennungsgrenze liegen, können jedoch zu hohe Werte für die Nachweisgrenze entstehen.

ANMERKUNG Um ein Nachvollziehen der Zwischenrechnungen zu ermöglichen, werden in einigen Fällen die Zwischenergebnisse mit einer größeren Anzahl von Ziffern angegeben, als dies in der Praxis für Endergebnisse sinnvoll ist.

### 2.2 Kalibrierung erkannter Nettoflächen in Aktivitäten

Aufgabe von DIN 25482-2 ist nicht die Bestimmung einer Aktivität, sondern die Berechnung der Erkennungs- und Nachweisgrenze; das Berechnungsmodell ist nur bedingt für die Berechnung von Aktivitäten aus den Nettopeakflächen geeignet. In DIN 25482-2 wird unter anderem festgelegt, dass bei dominierendem Untergrund für die optimale Ermittlung von Erkennungs- und Nachweisgrenzen nur ein Ausschnitt der Breite  $1,2 h$  (entspricht 84 % der Fläche unter der Linie) für den Peakbereich und den Untergrund zu verwenden ist ( $h$  = Halbwertsbreite des Peaks; siehe DIN 25482-2:1992-09 5.2, Gleichung (1)). Die Ermittlung der Aktivität benötigt hingegen die gesamte Nettofläche des Peaks. Für sie ist eine separate Ermittlung erforderlich, und hierfür sind andere Rechenverfahren besser geeignet.

### 2.3 Verwendete Spektren

Die Norm DIN 25482-2 ist aufgrund des verwendeten mathematischen Modells auf jede Art von Gammaskpektren anwendbar. Grundsätzlich gilt dies auch für hoch aufgelöste Spektren, jedoch wird für diese Art von Spektren auf DIN 25482-5 und Beiblatt 1 DIN 25482-5 verwiesen. Nur in Abschnitt 6 wird in diesem Beiblatt eine gestörte Linie eines hochaufgelösten Spektrums behandelt, die bei Anwendung von DIN 25482-5 Schwierigkeiten bereitet (siehe DIN 25482-5 Bbl 1:1997-12 4.6, Absatz 2).

Da die Anzahl der Kanäle und das Auflösungsvermögen für das Prinzip der Anwendung der Norm ohne Belang sind und einige der zu erläuternden Fälle an einem komprimierten Spektrum besser gezeigt werden können, werden in zwei Fällen ein 100-Kanal-Spektrum und ein 128-Kanal-Spektrum verwendet.

### 2.4 Festlegung der Bereichslängen und statistisch bedingte Probleme der Erkennung von Linien

Bei der Analyse von Spektren gibt DIN 25482-2 Empfehlungen für die Festlegung der Längen der einzelnen Bereiche zur Ermittlung der Erkennungs- und Nachweisgrenzen.

#### 2.4.1 Festlegung der Länge $z_b$ des interessierenden Bereiches $B$ im Spektrum

Der von DIN 25482-2 empfohlene Wert für die Länge  $z_b = 1,2 h$  für die optimale Ermittlung der Erkennungsgrenze ist naturgemäß nicht ganzzahlig. Er ist daher in die nächstliegende ganze Zahl zu runden. Bei sehr geringen Kanalzahlen ( $z_b \leq 3$ ) ist aufzurunden.

#### 2.4.2 Festlegung der Länge $z_0$ des zur Ermittlung des Untergrundes $N_0$ heranzuziehenden Bereiches

Die Länge der zur Ermittlung des Untergrundes  $N_0$  im interessierenden Spektrenbereich  $B$  heranzuziehenden Bereiche  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  und  $A_4$  werden zur Minimierung des Beitrags der zählstatistischen Unsicherheit möglichst groß gewählt. Dabei ist jedoch wesentlich, dass das zur Beschreibung des Untergrundverlaufes angesetzte Polynom dritten Grades noch eine gute Approximation darstellt, da andernfalls die hierdurch bedingten Abweichungen bei der Ermittlung des Untergrundes  $N_0$  im Vergleich zum zählstatistischen Aspekt nicht mehr unwesentlich sind. Die dabei einzuhaltenden Kriterien enthält DIN 25482-2:1992-09 Anhang A.

Bei der Ermittlung der Untergrundbereiche  $A_i$  wird zweckmäßigerweise mit der minimalen für ein Polynom 3. Grades in Frage kommenden Bereichslänge begonnen. Da für eine Ausgleichsrechnung für ein Polynom 3. Grades (Freiheitsgrad

$f=4$ ) mindestens 5 Stützpunkte benötigt werden, muss daher für jeden der 4 Bereiche  $A_i$  mit je 2 Kanälen (insgesamt  $4 \times 2 = 8$ ) begonnen werden. Bei Erfüllung des Prüfkriteriums der Gleichungen (10) und (11) DIN 25482-2:1992-09 wird die Länge der einzelnen Bereiche  $A_i$  jeweils um eins erhöht. Als endgültige Bereichslänge  $z_0$  wird der höchste Wert verwendet, für den das genannte Kriterium noch erfüllt ist. Ist dieses Kriterium nicht einmal für die Bereichslänge  $z_0 = 8$  erfüllt, so wird der in DIN 25482-2:1992-09 Anhang A, genannte Ansatz einer Geraden verwendet. Ist auch mit diesem Ansatz die Prüfbedingung nicht erfüllbar, so kann notfalls DIN 25482-5 zum Ziel führen.

### 2.4.3 Festlegung der Bereichslängen bei nicht auflösbaren Multipletts

Liegen Spektrallinien so dicht nebeneinander, dass der Untergrund weder durch ein Polynom 3. Grades noch durch eine Gerade zu approximieren ist (Multiplett), wird DIN 25482-2 angewendet, um zu prüfen, ob im Multiplettbereich eine im Vergleich zum Untergrund erhöhte Zählrate vorliegt. Hierzu ist es sinnvoll, die Länge  $z_b$  gleich der Breite des Multipletts festzulegen, im übrigen aber wie unter 2.4.2 vorzugehen.

Besteht Unkenntnis über die Breite des möglichen Multipletts, empfiehlt es sich, die Länge  $z_b$  wie bei ausgeprägten Spektrallinien zu wählen ( $z_b = 2,5 h$ ) und die Länge  $z_0$  zunächst möglichst so groß festzulegen, wie dies der Verlauf des Spektrums zu beiden Seiten des Multipletts zulässt. Bei sukzessiver Verringerung der Länge  $z_0$  bis zur Erfüllung des Prüfkriteriums DIN 25482-2:1992-09, Gleichung (11) kann so mitunter eine angemessene Beurteilung des Spektrabschnittes erfolgen. Bei positivem Befund kann anschließend die Länge  $z_b$  sukzessive um je einen Kanal erweitert werden und das Verfahren so lange wiederholt werden, wie der Nettoeffekt im Multiplettbereich größer wird. Als Ergebnis erhält man den Nettoeffekt des Multipletts.

## 3 Ungestörte Linien: Natürliche Radionuklide im NaI-Spektrum einer Ganzkörpermessung

### 3.1 Aufgabenstellung

Es ist die Qualität eines Ganzkörperzählers durch den Nachweis natürlicher Radionuklide im Menschen zu prüfen.

- Es sind die Kennwerte nach DIN 25482-2 für die natürlichen Radionuklide  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Tl}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  und  $^{40}\text{K}$  in einem Spektrum (Bild 1) zu bestimmen.
- Es ist zu prüfen, ob das Messverfahren zum Nachweis der vorgenannten natürlichen Radionuklide geeignet ist.

Für die unter a) genannten natürlichen Radionuklide gelten die Daten der Tabelle 1.

**Tabelle 1 – Daten der natürlichen Radionuklide  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Tl}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{40}\text{K}$**

Radionuklid	Gammaenergie (keV)	Emissions- wahrscheinlichkeit (%)	Kalibrierfaktor $f$ (kBq/s <sup>-1</sup> )	Halbwertsbreite $h$ Kanäle
$^{214}\text{Pb}$	352	36	0,89	2,4
$^{208}\text{Tl}$	511	23	1,7	3,1
	583	86	0,55	3,5
$^{214}\text{Bi}$	609	43	1,1	3,5
	1764	24	4,9	8,1
$^{40}\text{K}$	1461	11	9,2	6,5

### 3.2 Vorgaben

Die Wahrscheinlichkeiten für den Fehler 1. und 2. Art werden nach DIN 25482-2 mit  $\alpha = \beta = 0,025$  und das Vertrauensniveau mit  $1 - \gamma = 0,95$  vorgegeben. Ein Richtwert für zu bestimmende Aktivitäten wird nicht vorgegeben.

Der Nettoeffekt erkannter Linien wird mit Hilfe der Kalibrierfaktoren in die für die betreffenden Radionuklide zugehörige Aktivität mit Vertrauensintervall umgerechnet.

Die Messwerte des Spektrums sind in Tabelle 4 enthalten.

Die Messdauer beträgt 600 s.

### 3.3 Bereiche

Bild 1 stellt das gesamte Spektrum im Energiebereich von 0 bis 2 000 keV in 100 Kanälen dar. Die Linien der oben genannten natürlichen Radionuklide sind bei den Kanälen 18; 26,5; 31,5; 77,5 und 93,5 zu finden.

Die Bilder 2 bis 7 zeigen Ausschnitte des Spektrums der jeweils interessierenden Bereiche, für die Erkennungs- und Nachweisgrenzen bestimmt werden.

Der Verlauf des Untergrundes wird nach DIN 25482-2:1992-09 Anhang A Gleichung (9) (gekrümmter Untergrund) unter Berücksichtigung der Kriterien nach Gleichungen (10) und (11) ermittelt. Der so berechnete Untergrund ist in den Bildern 2 bis 7 unter den in Frage kommenden Linien als Kurvenverlauf eingezeichnet. Die Bereiche zur Ermittlung des Untergrundes sowie die Trennlinien zwischen diesen Bereichen sind durch senkrechte Striche dargestellt.

Die Anzahl der Kanäle in den einzelnen Linienbereichen entspricht der Breite  $1,2 h$ , gerundet auf die jeweils nächstliegende ganze Zahl.