

**Nachweisgrenze und Erkennungsgrenze
bei Kernstrahlungsmessungen**
Teil 13: Zählende Messungen an bewegten Objekten

DIN
25482-13

ICS 17.240

Detection limit and decision threshold for ionizing radiation measurements —
Part 13: Counting measurements on moving objects

Limite de détection et seuil de décision d'une mesure de rayonnements
ionisants — Partie 13: Mesures par comptage sur des objets en mouvement

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
1 Anwendungsbereich	3
2 Normative Verweisungen	3
3 Begriffe	4
4 Größen und Formelzeichen	5
5 Grundlagen	6
5.1 Allgemeines	6
5.2 Modell	7
6 Charakteristische Grenzen	8
6.1 Allgemeines	8
6.2 Erkennungsgrenze	8
6.3 Nachweisgrenze	8
6.4 Vertrauensgrenzen	8
7 Berechnungen und Beurteilungen	9
7.1 Vorgaben	9
7.2 Allgemeine Festlegung der charakteristischen Grenzen	9
7.3 Beurteilung eines Messverfahrens	10
7.4 Beurteilung eines Messergebnisses	10
8 Prüfbericht	11
Anhang A (informativ) Anwendungsbeispiele	12
A.1 Allgemeine Daten	12
A.2 Charakteristische Grenzen	13
A.2.1 Erkennungsgrenze	13
A.2.2 Nachweisgrenze	13
A.2.3 Vertrauensgrenzen	14
A.2.4 Bester Schätzwert	15
A.3 Anwendungsbeispiel	15
Anhang B (informativ) Verteilungsfunktion der standardisierten Normalverteilung	16

Fortsetzung Seite 2 bis 17

Normenausschuss Materialprüfung (NMP) – FB Kerntechnik – im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Vorwort

Diese Norm wurde vom Arbeitsausschuss NMP 722 „Radioaktivitätsmessung in der Umwelt und Nachweisgrenzen“ des Fachbereiches Kerntechnik im Normenausschuss Materialprüfung (NMP) erarbeitet.

DIN 25482 „Nachweisgrenze und Erkennungsgrenze bei Kernstrahlungsmessungen“ besteht aus:

- Teil 1: *Zählende Messungen ohne Berücksichtigung des Probenbehandlungseinflusses*
- Beiblatt 1 zu Teil 1: *Zählende Messungen ohne Berücksichtigung des Probenbehandlungseinflusses; Erläuterungen und Beispiele*
- Teil 2: *Zählende spektrometrische Messungen ohne Berücksichtigung des Probenbehandlungseinflusses*
- Beiblatt 1 zu Teil 2: *Zählende spektrometrische Messungen ohne Berücksichtigung des Probenbehandlungseinflusses; Erläuterungen und Beispiele*
- Teil 3: *Messungen mit linearen, analog arbeitenden Zählratenmessgeräten (Ratemeter)*
- Teil 4: *Zählende alphaspektrometrische Messungen ohne Berücksichtigung von Probenbehandlungs- und Geräteeinflüssen*
- Teil 5: *Zählende hochauflösende gammaspektrometrische Messungen ohne Berücksichtigung des Probenbehandlungseinflusses*
- Beiblatt 1 zu Teil 5: *Zählende hochauflösende gammaspektrometrische Messungen ohne Berücksichtigung des Probenbehandlungseinflusses; Beispiele und Erläuterungen*
- Teil 6: *Zählende Messungen mit Berücksichtigung des Probenbehandlungs- und Geräteeinflusses*
- Beiblatt 1 zu Teil 6: *Zählende Messungen mit Berücksichtigung des Probenbehandlungs- und Geräteeinflusses; Erläuterungen und Beispiele*
- Teil 7: *Zählende Messungen an Filtern während der Anreicherung radioaktiver Stoffe*
- Teil 10: *Allgemeine Anwendungen*
- Teil 11: *Messungen mit Albedodosimetern*
- Teil 12: *Entfaltung von Spektren*
- Teil 13: *Zählende Messungen an bewegten Objekten*

Auf der Grundlage von DIN 25482-10 wird die Berechnung der Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze und Vertrauensgrenzen (im Folgenden charakteristische Grenzen genannt) für Messungen an bewegten Objekten über die Standardmessunsicherheit der Messgröße (im Folgenden Standardunsicherheit genannt) durchgeführt, die im Rahmen der Auswertung der Messung nach DIN 1319-3 oder DIN 1319-4 sowie [2] und [4] ermittelt wird.

Es werden Gleichungen für die Berechnung der charakteristischen Grenzen bei der Impulsraten-Messung angegeben, wobei sowohl die Unsicherheiten bei der Zählmessung als auch bei der Kalibrierung der Messeinrichtung ausdrücklich berücksichtigt werden. Letztere werden aber aus Voruntersuchungen als bekannt angenommen.

Die im Folgenden dargestellten Messungen werden an Grenzübergängen, bei Annahmestellen von Gütern und Gegenständen oder auch im Vorbeifahren am rollenden Verkehr durchgeführt, um unerkannte oder verborgene Radioaktivität anhand der erhöhten Strahlung aufzuspüren und die betreffenden Objekte oder Gegenstände dann gegebenenfalls einer detaillierten Kontrolle zuzuleiten.

Diese Norm basiert auf Verfahren der Bayes-Statistik [1], [2], damit bei ihrer Anwendung auch unsichere Größen und Einflüsse berücksichtigt werden können, die sich bei mehrmals wiederholten oder bei zählenden Messungen nicht zufällig verhalten.

Die Anhänge A und B sind informativ.

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für die Berechnung charakteristischer Grenzen nach DIN 25482-10 bei der Beurteilung der Nachweismöglichkeiten von Kernstrahlung an Objekten, die sich während der Messung relativ zum Detektor bewegen.

2 Normative Verweisungen

Diese Norm enthält durch datierte oder 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 (einschließlich Änderungen).

DIN 1319-1, *Grundlagen der Messtechnik — Teil 1: Grundbegriffe*.

DIN 1319-3, *Grundlagen der Messtechnik — Teil 3: Auswertung von Messungen einer einzelnen Messgröße, Messunsicherheit*.

DIN 1319-4, *Grundlagen der Messtechnik — Teil 4: Auswertung von Messungen, Messunsicherheit*.

DIN 13303-1, *Stochastik — Wahrscheinlichkeitstheorie, Gemeinsame Grundbegriffe der mathematischen und der beschreibenden Statistik — Begriffe und Zeichen*.

DIN 13303-2, *Stochastik — Mathematische Statistik — Begriffe und Zeichen*.

DIN 25482-1, *Nachweisgrenze und Erkennungsgrenze bei Kernstrahlungsmessungen — Teil 1: Zählende Messungen ohne Berücksichtigung des Probenbehandlungseinflusses*.

DIN 25482-10, *Nachweisgrenze und Erkennungsgrenze bei Kernstrahlungsmessungen — Teil 10: Allgemeine Anwendungen*.

DIN 55350-21, *Begriffe der Qualitätssicherung und Statistik — Begriffe der Statistik — Zufallsgrößen und Wahrscheinlichkeitsverteilungen*.

DIN 55350-22, *Begriffe der Qualitätssicherung und Statistik — Begriffe der Statistik — Spezielle Wahrscheinlichkeitsverteilungen*.

DIN 55350-23, *Begriffe der Qualitätssicherung und Statistik — Begriffe der Statistik — Beschreibende Statistik*.

DIN 55350-24, *Begriffe der Qualitätssicherung und Statistik — Begriffe der Statistik — Schließende Statistik*.

DIN 55350-34, *Begriffe der Qualitätssicherung und Statistik — Erkennungsgrenze, Erfassungsgrenze und Erfassungsvermögen*.

[1] Weise, K.: *Bayesian-statistical decision threshold, detection limit and confidence interval in nuclear radiation measurement*, Kerntechnik 63; 214-224; 1998.

- [2] Weise, K., Wöger, W.: *Messunsicherheit und Messdatenauswertung*, Wiley-VCH (Weinheim) 1999.
- [3] *Internationales Wörterbuch der Metrologie*, DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), 2. Auflage, Beuth Verlag, Berlin, Wien (Zürich) 1994.
- [4] *Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen*, Beuth Verlag, Berlin, Köln 1995 (*Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, ISO International Organization (Genf) 1993, korrigierter Neudruck 1995).
- [5] Kohlrausch, F.: *Praktische Physik*, 24. Auflage, Band 3, S. 613, B.G. Teubner (Stuttgart) 1996.
- [6] Abramowitz, M., Stegun, I.: *Handbook of Mathematical Functions*, 5. Auflage, Kap. 26, Dover Publication (New York) 1968.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Norm gelten die Begriffe nach DIN 1319-1, DIN 1319-3, DIN 1319-4, DIN 13303-1, DIN 13303-2, DIN 25482-1, DIN 25482-10, DIN 55350-21, DIN 55350-22, DIN 55350-23, DIN 55350-24, DIN 55350-34, [1], [2] und [3] und die folgenden:

3.1

Messverfahren (bei zählenden Kernstrahlungsmessungen an bewegten Objekten)

Anwendung eines Kernstrahlungsdetektors und eines Zählgerätes zur Ermittlung der Impulsrate an bewegten Objekten sowie die Auswertung der Messung

3.2

Messgröße (bei zählenden Kernstrahlungsmessungen an bewegten Objekten)

Nettozählrate, Differenz einer Bruttozählrate und einer Nulleffektzählrate

ANMERKUNG Die Nettozählrate ist nichtnegativ und quantifiziert einen betrachteten Kernstrahlungs-Effekt. Hat sie den Wert null, liegt dieser Effekt nicht vor.

3.3

Messobjekt (bei zählenden Kernstrahlungsmessungen an bewegten Objekten)

Objekt, das auf Radioaktivität untersucht wird und das sich während der Messung relativ zum Detektor bewegt

ANMERKUNG Beispiele für solche Objekte sind Lastkraftwagen, Waggons, Schiffe, Container, Behälter, Koffer, Einzelteile, Schüttgüter.

3.4

Nulleffekt

Messeffekt, der durch den Untergrund (z. B. natürliche Strahlungsquellen) ohne Messobjekt bewirkt wird [DIN 25482-1:1989-04]

ANMERKUNG Der Nulleffekt bei Messungen an bewegten Objekten wird ohne Messobjekt gemessen.

3.5

Bruttoeffekt (bei zählenden Kernstrahlungsmessungen an bewegten Objekten)

Messeffekt, der durch die Strahlung des Messobjektes und durch den Untergrund (z. B. natürliche Strahlungsquellen) mit Messobjekt bewirkt wird

ANMERKUNG Der Messeffekt der Strahlung durch den Untergrund wird im Allgemeinen durch die Abschirmwirkung des Messobjektes vermindert.

4 Größen und Formelzeichen

f	Faktor, der die Reduzierung der Nulleffektzählrate durch die Abschirmungswirkung des Messobjektes beschreibt
G	Modellfunktion; Funktion, die die Messgröße X (Ergebnisgröße) mathematisch mit den Eingangsgrößen $R_{b,i}$ ($i = 1, \dots, n$), $R_{0,i}$ ($j = 1, \dots, m$), T_k ($k = 1, \dots, r$) verknüpft ANMERKUNG Die Funktion G braucht nicht unbedingt explizit als mathematischer Ausdruck vorzuliegen, sie darf auch als Algorithmus, z. B. in Form eines Rechenprogramms, für die Auswertung gegeben sein (siehe DIN 25482-10).
k_p	Quantil der standardisierten Normalverteilung zur Wahrscheinlichkeit p (z. B. $p = 1 - \alpha$, $1 - \beta$ oder $1 - \gamma/2$)
l	Länge der Messstrecke
N_b	Anzahl der Impulse, die bei der Messung des Bruttoeffekts gezählt werden
N_0	Anzahl der Impulse, die bei der Messung des Nulleffekts gezählt werden
R_b	ermittelter Wert der Bruttozählrate, Quotient aus den während der Messdauer t_b gezählten Impulsen N_b und der Messdauer t_b , d. h. $R_b = N_b / t_b$; Schätzwert von ρ_b
R_i	Zählraten als Eingangsgrößen im allgemeinen Modell
R_n	ermittelter Wert der Nettozählrate, Differenz aus den Messwerten der Brutto- und der Nulleffektzählrate, $R_n = R_b - R_0$; Schätzwert von ρ_n
R_n^*	Erkennungsgrenze für die Nettozählrate
R_0	ermittelter Wert der Nulleffektzählrate, Quotient aus den während der vorgewählten Messdauer t_0 gezählten Impulsen N_0 und der Messdauer t_0 , d. h. $R_0 = N_0 / t_0$; Schätzwert von ρ_0
T_k	sonstige Eingangsgrößen für die Auswertung ($k = 1, \dots, r$)
t_b	Messdauer der Bruttoeffektmessung
t_0	Messdauer der Nulleffektmessung
$u(x)$	Standardunsicherheit der Messgröße zum primären Messergebnis x
$u(z)$	Standardunsicherheit der Messgröße zum besten Schätzwert z
$\tilde{u}(\xi)$	Standardunsicherheit der Messgröße X als Funktion des wahren Werts ξ
v	Relativgeschwindigkeit zwischen Objekt und Detektor
X	Messgröße, für die die charakteristischen Grenzen zu ermitteln sind
x	ermittelter Wert der Messgröße X ; primäres Messergebnis und Schätzwert für den wahren Wert ξ der Messgröße X
x^*	Erkennungsgrenze für die Messgröße X
z	bester Schätzwert der Messgröße

α	Wahrscheinlichkeit für den Fehler erster Art
β	Wahrscheinlichkeit für den Fehler zweiter Art
$1 - \gamma$	Wahrscheinlichkeit zum Vertrauensbereich für einen erkannten Wert x der Messgröße X ; $x > x^*$
ε	Ansprechvermögen des Detektors
ξ	wahrer Wert der Messgröße X
ξ^*	Nachweisgrenze für die Messgröße X
ξ_o, ξ_u	obere, untere Vertrauensgrenze für die Messgröße X
ρ_b	wahrer Wert der Bruttozählrate
ρ_n	wahrer Wert der Nettozählrate
ρ_n^*	Nachweisgrenze für die Nettozählrate
ρ_0	wahrer Wert der Nulleffektzählrate

5 Grundlagen

5.1 Allgemeines

Diese Norm legt charakteristische Grenzen nach DIN 25482-10 fest, die eine Beurteilung der Nachweismöglichkeiten von Kernstrahlung an Objekten ermöglichen, die sich während der Messung relativ zum Detektor bewegen. Das können Fahrzeuge (z. B. LKW, Eisenbahnwaggons oder Schiffe), Container, Massengüter oder Gegenstände (z. B. Gepäckstücke) auf einem Laufband oder während der Verladung am Kranhaken sein, aber auch Gegenstände, die mit einem Messgerät abgetastet werden. Ziel derartiger Messungen ist es häufig, lediglich eine signifikante Zunahme der gemessenen Impulsrate zu erkennen und nicht Aktivitäten zu ermitteln. Dieser Fall wird hier explizit behandelt.

ANMERKUNG Bei Messungen an bewegten Objekten, bei denen Aktivitäten oder massen- oder oberflächenbezogene Aktivitäten ermittelt werden, können die charakteristischen Grenzen auf der Grundlage von DIN 25482-10 analog zu dem hier angewandten allgemeinen Modell der Auswertung nach Gleichung (1) ermittelt werden.

Bei dem betrachteten Messverfahren bewegen sich Messobjekt und Detektor relativ zueinander. Dabei kann sich das Messobjekt an einem Detektor (oder mehreren Detektoren) vorbeibewegen (z. B. ein Fahrzeug, das durch eine Messstation fährt, Gegenstände, die auf einem Transportband am Detektor vorbeilaufen, Gegenstände, die am Greifer oder am Kranhaken am Detektor vorbeigeführt werden). Es kann aber auch ein mobiler Detektor am Messobjekt vorbeibewegt werden. Dabei kann sich der Detektor in einem Messfahrzeug befinden, das an anderen Fahrzeugen oder lagernden Gegenständen vorbeifährt; er kann aber auch mechanisch oder von Hand an Objekten wie z. B. Schiffen, Containern oder aufgeschichtetem Material vorbeibewegt werden. Die Bruttoeffektmessung wird vom Benutzer oder automatisch über Sensoren gestartet, wenn ein Messobjekt in einen vordefinierten Bereich relativ zum Detektor eintritt, und beendet, wenn das Messobjekt diesen Bereich verlässt. Damit hängt die Dauer t_b der Bruttoeffektmessung von der geometrischen Anordnung des Detektors (oder der Detektoren), der Länge des Objekts und seiner Geschwindigkeit relativ zum Detektor ab. Die Anzahl der Bruttoimpulse beträgt N_b . Der Nulleffekt wird gemessen, solange sich kein Messobjekt im vordefinierten Bereich des Detektors befindet. Die Messdauer beträgt t_0 und die Anzahl der Nulleffekt-Impulse N_0 . Durch die Abschirmwirkung des Messobjekts wird im Allgemeinen der Messeffekt der Strahlung durch den Untergrund während der Bruttoeffektmessung um den Faktor f vermindert.