

**Aktivitätsmeßverfahren für die Freigabe von
radioaktiven Reststoffen und kerntechnischen
Anlagenteilen**

Grundlagen der Beta- und Gamma-Aktivitätsmeßverfahren

DIN
25 457
Teil 1

Activity measurement methods for the release of radioactive residual materials and decommissioning components of nuclear facilities; principles for beta and gamma radiation measurements

Das Atomgesetz (AtG) und die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) bilden den gesetzlichen Rahmen für die Freigabe von radioaktiven Reststoffen und kerntechnischen Anlagenteilen. Die Einzelheiten dazu sind im AtG und in der StrlSchV nicht festgelegt und werden im Einzelfall im Rahmen einer atomrechtlichen Genehmigung geregelt.

Diese Norm legt keine Grenzwerte fest. Im internationalen Rahmen gilt ISO/CD 11 929 Part 1, Activity measurements of solid materials considered for recycling, reuse, or disposal as non-radioactive waste.

Inhalt

	Seite		Seite
1 Anwendungsbereich	1	Anhang B Erläuterungen zur Berechnung der Erkennungs- und Nachweisgrenzen für Impulszählung nach DIN 25 482 Teil 1	9
2 Zweck	1	Anhang C Erläuterungen zur Berechnung der Nachweis- und Erkennungsgrenze für stationäre Impulsratenmessungen	11
3 Begriffe	1	Anhang D Erläuterungen zur Berechnung der Nachweis- und Erkennungsgrenze für dynamische Impulsratenmessung	13
4 Meßverfahren	2	Anhang E Beispiel für eine Anlage zur Gesamt-Gamma-Aktivitätsmessung	15
4.1 Allgemeines	2		
4.2 Beta-Oberflächenaktivitätsmessungen	2		
4.3 Gamma-Spektrometrie	4		
4.4 Gesamt-Gamma-Aktivitätsmessung	5		
Anhang A Erläuterungen, Tabellen und graphische Darstellungen zur Beta-Oberflächenaktivitätsmessung	7		

1 Anwendungsbereich

Die Norm ist anzuwenden bei Beta- und Gamma-Aktivitätsmessungen im Rahmen der Freigabe von radioaktiven Reststoffen und kerntechnischen Anlagenteilen, die z. B. bei Instandhaltung, Umrüstung oder Abbau von Anlagen aus dem kerntechnischen Bereich anfallen und für die eine schadlose Wiederverwendung bzw. -verwertung vorgesehen ist.

2 Zweck

Durch diese Norm sollen dem Anlagenbetreiber, dem Gutachter sowie der zuständigen Behörde grundsätzliche Anforderungen an Beta- und Gamma-Aktivitätsmeßverfahren an die Hand gegeben werden, die bei der Freigabe von radioaktiven Reststoffen und kerntechnischen Anlagenteilen zu beachten sind.

3 Begriffe

Neben den in dieser Norm aufgeführten Begriffen gelten die Begriffe nach DIN ISO 7503 Teil 1 und Teil 2, DIN 44 801 Teil 1 bis Teil 3 und DIN 25 482 Teil 1 bis Teil 6.

3.1 Freigabe (radioaktive Stoffe)

Freigabe ist die Entlassung radioaktiver Stoffe aus dem genehmigungs- oder anzeigebedürftigen Umgang nach dem Atomrecht.

3.2 Entscheidungsmessung

Die Entscheidungsmessung ist eine Aktivitätsmessung, deren Ergebnisse durch Vergleich mit den vorgegebenen Richt- oder Grenzwerten eine Entscheidung über die Freigabe des Meßgutes ermöglichen.

Fortsetzung Seite 2 bis 17

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

3.3 Stationäre Messung

Die stationäre Messung erfolgt bei ortsfester Anordnung des Detektors über der zu messenden Fläche.

3.4 Dynamische Messung

Bei der dynamischen Messung wird der Detektor über die zu messende Fläche bewegt. Alternativ kann auch das Meßgut am Detektor vorbeigeführt werden.

4 Meßverfahren

4.1 Allgemeines

Das Meßverfahren beinhaltet den Meßablauf und die Qualitätssicherung der Messungen.

Zur Prüfung, ob das Meßverfahren für den Meßzweck geeignet ist, muß sichergestellt werden, daß die Nachweisgrenze (NWG) kleiner oder gleich dem vorgegebenen Richt- oder Grenzwert ist.

4.2 Beta-Oberflächenaktivitätsmessungen

4.2.1 Allgemeines

Durch Beta-Oberflächenaktivitätsmeßverfahren ist die Summe aus festhaftender und nichtfesthaftender Oberflächenkontamination direkt zu bestimmen.

Bei der Bestimmung der Beta-Oberflächenaktivität ist

- das Ansprechvermögen des Meßgerätes sowie
- der Wirkungsgrad der kontaminierten Oberfläche nach DIN ISO 7503 Teil 1

zu berücksichtigen.

Die Messung der Oberflächenkontamination durch Beta-Strahler mit einer Maximalenergie $> 0,15$ MeV ist nach DIN ISO 7503 Teil 1 vorzunehmen. Für Beta-Strahler mit einer Maximalenergie $\leq 0,15$ MeV und Elektroneneinfang-Strahler ist eine gesonderte Norm in Vorbereitung. Ansprechvermögen des Meßgerätes und der Wirkungsgrad der kontaminierten Oberfläche liegen für diese Strahler deutlich niedriger.

4.2.2 Anforderungen an die Meßgeräte

Für die Messungen sind Kontaminationsmeßgeräte zu verwenden, welche die Anforderungen nach DIN 44 801 Teil 1 erfüllen. Für Entscheidungsmessungen sollen die Geräte darüber hinaus mit linearer Skala oder Ziffernanzeige ausgestattet sein und müssen eine akustische und eine optische Alarmanzeige besitzen. Zur Messung der Beta-Oberflächenaktivität muß das Ansprechvermögen des Meßgerätes für je einen Strahler mit einer Maximalenergie $< 0,4$ MeV, zwischen $0,4$ und 1 MeV sowie > 1 MeV, z.B. ^{60}Co ($0,3$ MeV), ^{204}Tl ($0,8$ MeV), $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ ($0,5/2,3$ MeV), sowie der minimal erreichbare Abstand zwischen der empfindlichen Oberfläche des Detektors und der Oberfläche des Strahlers bekannt sein.

In Tabelle A.1 ist beispielhaft das Ansprechvermögen verschiedener Zählsonden für einige Betastrahler und ^{55}Fe bei minimal erreichbarem Abstand angegeben.

4.2.3 Anforderungen an die Kalibrierstrahler

Als Kalibrierstrahler sind Dünnschichtstrahler bekannter Aktivität mit einer Fläche von 100 cm^2 einzusetzen, für die die Oberflächenemissionsrate bekannt sein soll. Falls die Oberflächenemissionsrate des Kalibrierstrahlers nicht bekannt ist, wird der Wirkungsgrad des Kalibrierstrahlers nach DIN ISO 7503 Teil 1 mit $\varepsilon_{\text{sc}} = 0,5$ angesetzt.

4.2.4 Oberflächeneigenschaften des Meßguts

Die Oberflächenbeschaffenheit beeinflusst den Wirkungsgrad ε_s der Oberfläche des Meßgutes. Bei Metallen z.B. beeinflussen Schmutz- oder Oxidschichten auf der Ober-

fläche des Meßgutes den Emissionswirkungsgrad. In Bild A.1 ist die Abnahme der Zählrate des Detektors in Abhängigkeit von der Dicke der Absorptionsschicht für verschiedene Radionuklide angegeben. Bei Materialien wie Beton und Holz ist mit einem tieferen Eindringen der Kontamination zu rechnen. Dies ist durch gesonderte Untersuchungen zu berücksichtigen. Bei polierten Metalloberflächen ist keine Korrektur notwendig.

4.2.5 Abhängigkeit der Zählrate des Detektors von den geometrischen Bedingungen

Es muß das Verhältnis der Zählrate des Detektors für die gewählte geometrische Anordnung zur Zählrate für einen ebenen Kalibrierstrahler in minimalem Abstand bestimmt werden.

Bei der Messung ist grundsätzlich die bei der Kalibrierung benutzte geometrische Anordnung einzuhalten. Ist das aus geometrischen Gründen nicht möglich, sind Korrekturfaktoren zu verwenden, die die unterschiedlichen Abstände berücksichtigen. Die Abhängigkeit der Zählrate eines Detektors vom Abstand zwischen Kalibrierstrahler und Detektoroberfläche zeigt Bild A.2 für ausgewählte Radionuklide.

Für gekrümmte Oberflächen müssen die für verschiedene Krümmungen unterschiedlichen Abstände zwischen Meßgut und Detektoroberfläche durch einen Geometriefaktor berücksichtigt werden. Zur Bestimmung von Geometriefaktoren siehe z. B. [4].

4.2.6 Festlegung des Alarmwerts

Im Rahmen der Freigabe werden Beta-Oberflächenaktivitätsmessungen zur Prüfung der Unterschreitung des Grenzwertes z. B. nach Anlage IX, Spalte 4 der StrlSchV eingesetzt. Dazu ist ein Alarmwert vorzugeben, bei dessen Unterschreitung sichergestellt ist, daß der Grenzwert z. B. nach Anlage IX, Spalte 4 der StrlSchV mit vorgegebenem Vertrauensniveau unterschritten wird.

Für die Oberflächenaktivitätsmessung kommen im wesentlichen vier Verfahren in Frage:

- die stationäre Impulszählung,
- die dynamische Impulszählung,
- die stationäre Impulsratenmessung und
- die dynamische Impulsratenmessung.

Die minimale Meßdauer t_{min} bzw. minimale Überstreichzeit $t_{\text{ümin}}$ ergeben sich aus der Bedingung, daß die Nachweisgrenze gleich dem Grenzwert gesetzt wird.

Wenn die Meßdauer größer als oder gleich t_{min} beträgt, stellt die Unterschreitung des Alarmwerts die Unterschreitung des vorgegebenen Grenzwertes sicher.

In Tabelle 1 sind für die vier Meßverfahren Gleichungen für die Nachweisgrenze NWG, für die minimale Meßzeit t_{min} , für die minimale Ansprechzeit τ_{min} und die minimale Überstreichzeit $t_{\text{ümin}}$ angegeben. Für t_{min} sind die Erkennungsgrenze und der eingestellte Alarmwert gleich der halben Nachweisgrenze.

Zur Einstellung der Alarmschwelle ist für das Oberflächenansprechvermögen der Wert für das vorhandene Radionuklid oder Radionuklidgemisch zu verwenden. Da dies bei einem Gemisch je nach der maximalen Energie der Teilchen stark variieren kann und die relativen Anteile der einzelnen Radionuklide über die auszumessende Materialcharge schwanken können, ist für ein Radionuklidgemisch

- a) ein nach Radionuklidanteilen gewichteter Kalibrierfaktor oder
- b) der Kalibrierfaktor für das Radionuklid mit der niedrigsten Zerfallsenergie

zu verwenden oder

- c) ein Schlüsselnuklid nach DIN 25 457 Teil 4 festzulegen, dessen Kalibrierfaktor genommen wird.

Tabelle 1: Meßparameter für verschiedene Meßverfahren

Verfahren	Nachweisgrenze	$t_{\min}$	$t_{\min}^{1)}$	$\tau_{\min}$
stationäre Impulszählung	$3,3 \sqrt{Q_0 \left(\frac{1}{t_0} + \frac{1}{t_b} \right)}$	$\frac{22 \cdot Q_0}{GW^2 \cdot \eta^2}$	—	—
dynamische Impulszählung	$3,3 \sqrt{Q_0 \left(\frac{1}{t_0} + \frac{1}{t_b} \right)}$	muß vom Hersteller angegeben werden		
stationäre Impulsratenmessung	$3,3 \sqrt{\frac{Q_0}{2} \left(\frac{1}{\tau_0} + \frac{1}{\tau_b} \right)}$	$1,3 \cdot \tau_{\min}$	—	$\frac{22 \cdot Q_0}{GW^2 \cdot \eta^2}$
dynamische Impulsratenmessung	$3,3 \sqrt{\frac{Q_0}{2} \left(\frac{1}{\tau_0} + \frac{1}{\tau_b} \right)}$	—	$1,1 \cdot \tau_{\min}$	$\frac{22 \cdot Q_0}{GW^2 \cdot \eta^2}$
t_0 Meßdauer der Nulleffektmessung in s		τ_b Ansprechzeit für die Bruttoeffektmessung bei Impulsratenmeßgeräten in s		
t_b Meßdauer der Bruttoeffektmessung in s		$\tau_{\min}$ minimale Ansprechzeit bei der Entscheidungsmessung in s für $\tau_0 = \tau_b = \tau_{\min}$		
$t_{\min}$ minimale Meßdauer bei der Entscheidungsmessung in s, in Spalte 2 angegeben für $t_0 = t_b = t_{\min}$		η Oberflächenansprechvermögen des Detektors für eine Strahlungsquelle mit Wirkungsgrad ε_s in $s^{-1} Bq^{-1} cm^2$		
$t_{\min}$ minimale Überstreichzeit für eine Meßstrecke von 10 cm bei der Entscheidungsmessung in s für $\tau_0 = \tau_b = \tau_{\min}$		GW Richtwert oder Grenzwert z. B. nach Anlage IX Spalte 4 der StrlSchV in $Bq cm^{-2}$		
		NWG Nachweisgrenze in s^{-1}		
τ_0 Ansprechzeit ²⁾ für die Nulleffektmessung bei Impulsratenmeßgeräten in s		Q_0 Erwartungswert des Nulleffekts in s^{-1} , näherungsweise durch Messung der Nulleffektzählrate R_0 bestimmt		
¹⁾ für eine Detektorbreite von 10 cm				
²⁾ nach DIN 44 801				

ANMERKUNG: Falls in einem Radionuklidgemisch auch Radionuklide mit dem Grenzwert von $5 Bq/cm^2$ nach Anlage IX, Spalte 4 der StrlSchV vorliegen, ist der für die Radionuklide mit dem Grenzwert $0,5 Bq/cm^2$ anteilig eingestellte Alarmwert ausreichend, wenn das Oberflächenansprechvermögen des Detektors für die Radionuklide mit Grenzwert $5 Bq/cm^2$ mindestens 10 % des Wertes für die Radionuklide mit Grenzwert $0,5 Bq/cm^2$ beträgt. Andernfalls sind die verschiedenen Grenzwerte und Oberflächenansprechvermögen anteilmäßig in den Gleichungen von Tabelle 1 zu berücksichtigen. Dabei ist im Einzelfall zu prüfen, welcher Wert für den Wirkungsgrad ε_s der kontaminierten Oberfläche anzusetzen ist.

4.2.7 Meßablauf

Für stationäre Messungen ist das Meßgut in rasterförmige Flächen einzuteilen, auf die der Detektor im vorgegebenen Abstand und mindestens für die nach Tabelle 1 ermittelte minimale Meßdauer aufgesetzt wird. Bei Überschreitung des Alarmwertes ist die Fläche zu markieren. Bei dynamischen Messungen sind die nach Tabelle 1 ermittelte minimale Überstreichzeit und minimale Ansprechzeit sowie der maximal zulässige Abstand zwischen Detektorfenster und Oberfläche des Meßgutes einzuhalten. Wenn bei dieser Bewegung des Detektors

über die zu messende Fläche Alarm erfolgt, ist der Detektor an dieser Stelle anzuhalten und diese Stelle zu markieren.

Bei der dynamischen Messung ist als wichtigstes (qualitatives) Hilfsmittel zur Auffindung von Oberflächenkontaminationen die akustische Einzelimpulsregistrierung zu verwenden.

4.2.8 Geometrieinfluß

4.2.8.1 Ebene Flächen

Bei der Ausmessung von ebenen Flächen sollte der Detektor mit einem einstellbaren Abstandhalter ausgestattet sein.

4.2.8.2 Gekrümmte Flächen

Zur Ausmessung von gekrümmten äußeren Oberflächen ist der Geometriefaktor zu bestimmen (siehe z.B. [4]). Durch geeignete Wahl der Meß- und Ansprechzeiten bzw. Überstreichgeschwindigkeiten ist sicherzustellen, daß die Nachweisgrenze den Grenzwert nicht übersteigt.

4.2.8.3 Ungünstige Geometrien

Für ungünstige Geometrien (z. B. Rippen, Profile, Sacklöcher) sind konservative Kalibrierfaktoren zu verwenden (siehe z.B. [4]). Für bestimmte Geometrien stehen speziell geformte Detektoren zur Verfügung. Im Zweifelsfall muß auf die Anwendung dieses Verfahrens verzichtet werden.

4.2.9 Qualitätssicherung

4.2.9.1 Prüfung der Meßeinrichtung während der Messungen

Zur laufenden Kontrolle der Meßeinrichtung während der Messungen sind folgende Prüfungen durchzuführen:

- Die Nulleffektzählrate ist arbeitstäglich mehrmals zu prüfen.
- Mit einem oder mehreren für das vorhandene Radionuklidgemisch typischen Flächenstrahlern ist arbeitstäglich vor dem Beginn und nach dem Ende der Messungen sowie nach jeder Änderung an der Meßeinrichtung die Zählrate zu messen und mit Sollwerten zu vergleichen.
- Der Alarmgeber ist vor dem Beginn und nach dem Ende der Messungen arbeitstäglich zu prüfen.

4.2.9.2 Wiederkehrende Prüfung und Wartung

Das Meßgerät ist regelmäßig wiederkehrend auf seine Funktionstüchtigkeit zu prüfen und zu warten (siehe § 72 StrlSchV).

4.3 Gamma-Spektrometrie

4.3.1 Allgemeines

In gammaspektrometrischen Messungen können

- das Gemisch
- und
- die Aktivität

der beim radioaktiven Zerfall Gamma- oder charakteristische Röntgenstrahlung emittierenden Radionuklide (im folgenden als gammastrahlende Radionuklide bezeichnet) in Materialproben bestimmt werden.

Das Meßverfahren kann im Rahmen der Freigabe eingesetzt werden, um

- anhand von Stichproben aus einer größeren Materialcharge das Gemisch der gammastrahlenden Radionuklide oder ihre räumliche Verteilung zu ermitteln,
- im Entscheidungsverfahren anhand einer Probe aus dem Material mit homogener Aktivitätsverteilung (z. B. aus einer Schmelze) die Einhaltung eines vorgegebenen Richt- oder Grenzwertes zu prüfen.

4.3.2 Probenahme

Aus der zu untersuchenden Materialcharge sind repräsentative Proben zu entnehmen. Die Zahl und Art der Proben hängt vom Untersuchungszweck und von der Herkunft des zu untersuchenden Materials ab.

Bei der Probenahme ist darauf zu achten, daß das Radionuklidgemisch und die Aktivität nicht verändert werden (z. B. durch Abdampfen an der Materialoberfläche beim Brennschneiden). Falls das Material vor der Freigabe eingeschmolzen wird, ist die Probe aus der Schmelze zu entnehmen. Bei oberflächlich kontaminiertem Material sind Proben insbesondere aus denjenigen Bereichen zu entnehmen, in denen Aktivität in das Materialinnere eingedrungen sein kann (z. B. an Schweißnähten, Fugen, Rissen oder Poren).

4.3.3 Probenaufbereitung

Die Proben sind durch Aufbereitung in eine solche Geometrie zu bringen, für die der Detektor kalibriert ist. Auf Vergleichbarkeit von Probe und Kalibrierstrahler, z. B. hinsichtlich Material und Aktivitätsverteilung, ist zu achten.

4.3.4 Messung der Probenaktivität

4.3.4.1 Anforderungen an die Meßanordnung

Die Messungen sind in einem Bereich mit möglichst geringer Untergrundstrahlung, vorzugsweise in einer Abschirmung durchzuführen. Auf die Konstanz und Mini-

mierung der Nulleffektzählrate für die bei den Entscheidungsmessungen wichtigen Gammalinien über die Dauer der Proben- und Nulleffektmessung ist zu achten. Die Messung der Probenaktivität ist mit einem Halbleiterdetektor mit einer Energieauflösung $\leq 2,5$ keV für die Gammalinie der Energie 1 332 keV aus dem Zerfall des ^{60}Co durchzuführen.

Falls Gammaquanten mit Energien kleiner als 80 keV nachgewiesen werden müssen, ist ein Detektor mit einem Kristall mit möglichst dünner Totschicht und einem Fenster mit möglichst geringer Absorption zu verwenden (z. B. Reinstgermaniumdetektor mit Berylliumfenster).

4.3.4.2 Meßablauf

Vor Beginn der Messung ist das ordnungsgemäße Funktionieren der Meßeinrichtung zu prüfen.

Das Untergrundspektrum ist regelmäßig mit hinreichend langer Meßdauer aufzunehmen und auszuwerten.

Die auszuwertende Probe ist in die durch die Kalibrierung festgelegte Sollposition zu bringen. Die Meßdauer für die Entscheidungsmessungen ist so zu wählen, daß die Einhaltung der vorgegebenen Richt- oder Grenzwerte durch das Meßergebnis sichergestellt ist (siehe Abschnitt 4.3.6).

ANMERKUNG: Es ist darauf zu achten, daß durch die Proben der Detektor und seine Umgebung nicht kontaminiert werden und daß sich in der Nähe der Meßanordnung keine weiteren das Meßergebnis beeinflussenden radioaktiven Proben befinden. Mechanische Erschütterungen, starke Geräuscheinwirkungen, starke Temperaturschwankungen oder hochfrequente Störungen in der Netzversorgung können zu einer Verschlechterung der Energieauflösung und zu Meßfehlern führen.

4.3.4.3 Auswertung der Spektren

Die Auswertung der Vielkanalspektren erfolgt — soweit notwendig — mit einem Rechner. Ihr ist eine Radionuklidbibliothek mit den in dem zu untersuchenden Material vorkommenden gammastrahlenden Radionukliden und ihren Spektrallinien (Energie, relative Häufigkeit je Zerfall) zugrunde zu legen.

Das Spektrum aus der Probenmessung und das Untergrundspektrum sind getrennt auszuwerten.

Wird in der Probenmessung eine Spektrallinie gefunden, die im Untergrundspektrum und in der Radionuklidbibliothek nicht enthalten ist, so ist deren Herkunft zu klären.

Korrekturen wie Untergrundsubtraktion, Totzeit-, Summations- und Pile-up-Korrektur können entfallen, wenn durch diese das Ergebnis der Messung jeweils zu weniger als einem Prozent beeinflusst wird.

Die korrigierten Peak-Nettoflächen und deren statistischer Fehler sind anhand der Kalibrierfaktoren für die jeweilige Probengeometrie in die Aktivitäten der Probe und deren Fehler umzurechnen. Unterschiede in der Selbstabsorption in der Meß- und Kalibrierprobe können rechnerisch korrigiert werden.

Anhand der Erkennungsgrenze ist für jede Spektrallinie aus der Radionuklidbibliothek zu entscheiden, ob unter den gemessenen Impulsen ein Beitrag der Probe vorliegt oder nicht. Für die nicht nachgewiesenen Radionuklide aus der Radionuklidbibliothek ist die in der Messung erreichte Nachweisgrenze anzugeben.

4.3.4.4 Qualitätssicherung

Bevor ein neuer Meßplatz für Entscheidungsmessungen eingesetzt wird, ist seine Funktionstüchtigkeit durch Messungen von Proben bekannter Aktivität und Vergleichsmessungen mit bereits erprobten Meßplätzen für die Standardgeometrien zu prüfen.

Folgende Prüfungen sind regelmäßig durchzuführen:

- Die Linienform im Vielkanalspektrum ist visuell zu prüfen. Ferner ist zu prüfen, ob die anhand der Kalibrierkurve bestimmten Energien der Spektrallinien genau genug sind, um diese mit den Werten aus der Radionuklidbibliothek eindeutig zuordnen zu können.
- Das Untergrundspektrum ist mindestens wöchentlich auf die Spektrallinien der zu bestimmenden Radionuklide hin zu prüfen.
- Die aus verschiedenen Spektrallinien eines Radionuklids abgeleiteten Aktivitäten müssen innerhalb der Fehlergrenzen gleich sein.
- Die Betreiber von Meßanordnungen, die über längere Zeit für Entscheidungsmessungen eingesetzt werden, müssen regelmäßig an Ringvergleichen teilnehmen.

4.3.5 Kalibrierung des Meßplatzes

4.3.5.1 Energiekalibrierung

Die Energiekalibrierung der Meßanordnung ist mit einem Mischpräparat oder mit Kalibrierquellen, die möglichst viele Spektrallinien emittieren, vorzunehmen. Die Spektrallinien müssen den interessierenden Energiebereich möglichst gleichmäßig überdecken. Die aus der berechneten Kalibrierkurve für die nachgewiesenen Spektrallinien abgeleitete Energie muß hinreichend genau sein für eine sichere Identifikation der Spektrallinien bei der Analyse der Spektren durch das Auswerteprogramm.

4.3.5.2 Nachweiseffizienz

Für die Umrechnung der gemessenen Peak-Nettoflächen der Spektrallinien in die Aktivität der Radionuklide in der Probe ist die Meßanordnung für die Probengeometrien zu kalibrieren. Dazu sind Kalibrierproben mit Radionukliden zu verwenden, deren Spektrallinien den gesamten Energiebereich der zu erwartenden Spektrallinien aus der Probe überdecken.

ANMERKUNG 1:

- Die Spektrallinien der Kalibrierstrahler sollten um so dichter liegen, je stärker sich die Nachweiseffizienz in einem Energieintervall ändert.
- Die Intensitäten der für die Kalibrierung maßgeblichen Spektrallinien der Kalibrierstrahler aus einem Mischpräparat sollten die gleiche Größenordnung besitzen.

Für die Kalibrierung können Standardpräparate in Form von Lösungen oder als scheiben- und punktförmige Strahler verwendet werden.

Das Gammaskpektrometer soll für folgende Geometrien (Standardgeometrien) kalibriert werden:

- Flächengeometrie
- Zylindergeometrie
- Ringschalengeometrie

ANMERKUNG 2:

- Für Messungen, in denen eine möglichst hohe Nachweiseffizienz erzielt werden soll, ist die Ringschalengeometrie zu empfehlen.
- Die Flächengeometrie kann u. a. zur Untersuchung von oberflächlich kontaminierten Proben mit ebener Oberfläche oder von Kratz- oder Schleifproben von kontaminierten Teilen eingesetzt werden.
- Zur Herstellung der Kalibrierproben für zylindrische Geometrien aus den handelsüblichen Präparaten sind folgende Verfahren möglich:
 - Sandwich aus scheibenförmigen Präparaten und dünnen Zylindern des zu untersuchenden Materials (Materialprobe: massiver Zylinder),

- Einbringen von groben Spänen aus dem zu untersuchenden Material in ein Gefäß mit der gewünschten Geometrie und Auffüllen der Hohlräume zwischen den Spänen mit der Kalibrierlösung (Materialprobe: grobe Späne),
- Mischen einer Kalibrierlösung mit einer Lösung, in der das zu untersuchende Material aufgelöst wurde (Materialprobe: Material gelöst in Säure).

4.3.6 Nachweisgrenze, Erkennungsgrenze und Vertrauensbereich

Die Nachweisgrenze, die Erkennungsgrenze und der Vertrauensbereich für die Probenaktivität sind nach DIN 25 482 Teil 2 und Teil 5 zu berechnen.

Der Meßwert ist mit der Erkennungsgrenze zu vergleichen. Falls der Meßwert größer als die Erkennungsgrenze ist, wurde in der Probe Aktivität gefunden. In diesem Fall ist die obere Grenze des Vertrauensbereiches des Meßwertes mit dem Richt- oder Grenzwert zu vergleichen, um dessen Einhaltung zu prüfen.

4.4 Gesamt-Gamma-Aktivitätsmessung

4.4.1 Allgemeines

Für die Gesamt-Gamma-Aktivitätsmessung wird eine energiemäßige Auflösung der Gammaquanten nicht vorgenommen. Durch geeignete Anordnung großflächiger Flüssigkeits- oder Plastikszintillatoren wird für große Meßvolumina bei einer 4 π -nahen Meßgeometrie ein hohes Detektoransprechvermögen erreicht. Dadurch lassen sich kurze Meßzeiten und große Meßgutdurchsätze erzielen.

4.4.2 Anforderungen an die Meßanlage

Die Meßanlage muß die aus den Radionukliden in der Probe emittierten Gammaquanten mit hinreichender Nachweiseffizienz messen können.

Die Empfindlichkeit der Detektoren gegenüber den Gammaquanten der Umgebungsstrahlung erfordert Maßnahmen zur Reduktion oder Kompensation des Nulleffekts. Hierbei ist auch die Abschirmwirkung durch das Meßgut selbst zu berücksichtigen.

Da bei der gleichzeitigen Messung mit mehreren Detektoren eine Vielzahl von Einzeldaten anfällt, ist eine rechnergestützte Erfassung, Bearbeitung, Darstellung und Speicherung der Meßdaten und der zugeordneten Kalibrier- und Hilfsgrößen zweckdienlich.

4.4.3 Eigenschaft des Meßgutes

Die Form des Meßgutes und die davon abhängige Anordnung in der Meßkammer sowie die Selbstabschirmung des Meßgutes beeinflussen den Meßeffect. Das Meßgut ist daher nach Meßgutart (z. B. Rohrleitungen, Bleche, Profilstähle, Armaturen gleicher Wanddicke bzw. Größenbereiche, Schüttgut) zu sortieren, so daß Meßgutchargen mit hinreichend gleicher Geometrie und Selbstabschirmung entstehen. Über diese Sortierung und die Anpassung an das Meßvolumen hinaus bedarf das Meßgut keiner weiteren Aufbereitung.

4.4.4 Anforderungen an die Kalibrierung

Die Kalibrierung der Meßanlage muß getrennt für jede Meßgutart mit einem Referenzmeßgut und mit einer Referenzstrahlenquelle erfolgen. Das Referenzmeßgut kann hierbei aus einer Blindprobe der betreffenden Meßgutart oder aus einem für die Kalibrierung erstellten Phantom bestehen. Sofern das Meßgut durch seine Abschirmwirkung die Nulleffektzählrate wesentlich reduziert, muß dieser Effekt bei der Ermittlung der Nettoeffektzählrate berücksichtigt werden. Dies kann dadurch erfolgen, daß

die Messung der Nulleffektzählrate und die Kalibrierung mit einem Phantom oder einem Referenzmeßgut durchgeführt wird, das die gleiche Abschirmwirkung wie das reale Meßgut besitzt.

Das Referenzmeßgut muß bei der Kalibrierung auf die für die Messung des Meßgutes vorgesehene Position gefahren werden und an definierten Positionen oder Bereichen mit einer oder mehreren Referenzstrahlenquellen versehen werden können. Insbesondere muß die Abschirmung der Referenzstrahlenquelle durch das Phantom bei der Kalibrierung dem maximalen Abschirmeffekt der betreffenden Meßgutart entsprechen.

ANMERKUNG: Bei ^{60}Co können Abschirmdicken des Meßgutes von z.B. 20 mm Stahl bei entsprechender Kalibrierung noch zugelassen werden, da aufgrund der durchdringenden Gamma-Strahlung und der Streueffekte im Meßgut der Abschirmeffekt nur einige 10% beträgt. Dies bedeutet z.B., daß auch innenwändig kontaminierte Rohrleitungen mit einer Wanddicke von 20 mm Stahl noch gemessen werden können.

Zu Beginn und am Ende einer Meßreihe mit einer Meßgutart, nach Reparaturen oder bei signifikanten Änderungen der Nulleffektzählrate ist eine Kalibrierung durchzuführen.

4.4.5 Durchführung der Messung

Arbeitstäglich muß mehrmals die Nulleffektzählrate geprüft werden. Hierdurch wird gleichzeitig auch die Gerätefunktion geprüft. Während der Entscheidungsmessung, der Kalibrierung und Nulleffektmessung ist dafür zu sorgen, daß schwankende äußere Strahlenfelder den bestimmungsgemäßen Betrieb der Meßanlage nicht stören.

Zur Ermittlung der massenbezogenen Aktivität ist das Meßgut zu wiegen. Bei Meßgut mit definierbarer Ober-

fläche und sofern durch die Sortierung in Meßgutarten sichergestellt ist, daß das betreffende Meßgut ein festes Oberflächen-Massen-Verhältnis besitzt, kann die Oberfläche einer Meßgutcharge über die Masse bestimmt und anschließend die oberflächenbezogene Aktivität ermittelt werden. Voraussetzung für diese Art der vollständigen Oberflächen-Aktivitätsbestimmung ist, daß z.B. über Stichprobenmessungen nachgewiesen ist, daß die Oberflächenaktivität hinreichend homogen verteilt vorliegt.

Es ist sicherzustellen, daß bei Meßgut mit höherer Aktivität keine verfälschenden Totzeiteffekte auftreten. Gegebenenfalls ist der Meßwert zu korrigieren.

4.4.6 Meßergebnis

Bei der Ermittlung des Aktivitätswertes der Meßgutcharge wird zunächst aus der Nettoeffektzählrate die obere Grenze des Vertrauensbereiches ermittelt.

Nach DIN 25 482 Teil 1 ergibt sich der Erwartungswert der Nettoeffektzählrate Q_n an der oberen Grenze des Vertrauensbereiches zu:

$$Q_n \leq R_n + k_{1-\gamma/2} \sqrt{\frac{R_0}{t_0} + \frac{R_0}{t_b}} \quad (1)$$

Hierin bedeuten:

$k_{1-\gamma/2}$	Quantil der Standard-Normalverteilung
R_0	Nulleffektzählrate
R_b	Bruttoeffektzählrate
R_n	Nettoeffektzählrate
t_0	Meßdauer der Nulleffektmessung
t_b	Meßdauer der Bruttoeffektmessung

Bei einem gewählten Quantil $k_{1-\gamma/2} = 1,65$ beträgt damit die statistische Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Fehlalarmen und Nichterkennen eines größeren Wertes als Q_n jeweils 5%.