

Nukleare Instrumentierung  
**Kalibrierung und Verwendung von gasgefüllten  
 Alpha/Beta-Proportionalzählern**  
 (IEC 45/463/CD : 1999)

**DIN**  
**IEC 62089**

Einsprüche bis 31. Mrz 2000

ICS 17.240

Nuclear instrumentation -  
 Calibration and usage of alpha/beta gas proportional counters  
 (IEC 45/463/CD : 1999)

Instrumentation nucléaire -  
 Étalonnage et mise en œuvre des compteurs proportionnelles  
 des rayonnements alpha/beta à courant gazeux  
 (CEI 45/463/CD : 1999)

**Das internationale Schriftstück 45/463/CD:1999-07 „Draft IEC 62089, Ed. 1: Nuclear instrumentation - Calibration and usage of alpha/beta proportional counters“, ist unverändert in diesen deutschen Norm-Entwurf übernommen worden.**

### Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten an die Deutsche Elektrotechnische Kommission im DIN und VDE (DKE), Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

### Nationales Vorwort

Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung des Internationalen Norm-Entwurfs [Committee Draft (CD)] IEC 45/463/CD:1999-07 "Draft IEC 62089, Ed. 1: Nuclear instrumentation - Calibration and usage of alpha/beta proportional counters".

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD beigelegt, wobei dies keinen wesentlichen Einfluß auf den Preis des Norm-Entwurfs hat.

Der Internationale Entwurf wurde vom TC 45 "Nuclear instrumentation" der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und als CD herausgegeben. Die IEC und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, daß ein auf IEC-Ebene entstandener Internationaler Norm-Entwurf im Schlußstadium [Final Draft International Standard (FDIS)] zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Abstimmung gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS nur 2 Monate beträgt, und zum FDIS keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine "JA/NEIN"-Entscheidung möglich ist, wobei eine "NEIN"-Entscheidung fundiert begründet werden muß, wird bereits der CD als Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit noch vor der Abstimmung berücksichtigen zu können.

Für den vorliegenden Norm-Entwurf ist das nationale Arbeitsgremium K 967 „Strahlungsmeßgeräte“ der Deutschen Elektrotechnischen Kommission im DIN und VDE (DKE) zuständig.

Fortsetzung Seite 2 bis 30  
 und 40 Seiten IEC-Original

Deutsche Elektrotechnische Kommission im DIN und VDE (DKE)

Stellungnahmen zu diesem Norm-Entwurf werden in der deutschen Stellungnahme zum nachfolgenden Internationalen Entwurf (CDV) berücksichtigt werden. Die vom K 967 abgegebene Stellungnahme zum vorliegenden CD ist nachfolgend wiedergegeben:

- Instead of various non-specific terms we should generally refer to basic publications as IEC 60050-393 and -394 (as indicated) and VIM (to be added). We should restrict clause 2 on the really needed specific definitions. For all general terms defined in IEC 60050-393 or -394, we should refer to those documents instead of excessive definition repetitions or new fictions. Necessary acronyms should be listed in a separate subclause.

**Proposal:** Delete definitions (subclauses) 3.2.1, 3.2.4, 3.2.9, 3.2.10, 3.2.11, 3.2.13, 3.2.17, 3.2.18, 3.2.20, 3.2.22, 3.2.25, 3.2.26, 3.2.28, 3.2.30, 3.2.31, 3.2.33, 3.2.36, 3.2.37 and make a subclause with definitions of acronyms.

- Combine the various definitions of sources, i.e. 3.2.38 through 3.2.43 as paragraphs under one subclause.

**Proposal:** 3.2.35 source.

A general term ....

- source, checking. A general term ...
- source, performance checking .....
- etc.

- The definitions 3.2.2, 3.2.3, 3.2.6 and 3.2.7 should be combined in order not to extend this clause too much.

**Proposal:** Replace the current subclauses by the following single definition:

alpha/beta emission rate

Release of alpha/beta particles of all energies from the surface of a material into the adjoining space per unit time.

Note 1: The source or sample may contain one or more alpha/beta emitting radionuclides.

Note 2: The surface emission rate refers to the emission rate from only one surface of the source or sample (also called:  $2\pi$  emission rate); the emission rate covers the whole emission into  $4\pi$ .

- Both subclauses, 3.2.15 and 3.2.44, describe exactly the same fact: the crosstalk from one channel to the other one, caused by variations of the measured quantity. The only difference is the discriminating method. Furthermore, the introduction of "spillup/spilldown" is unnecessary, its definition is misleading because, if "spillup/spilldown" is equivalent to "crosstalk", it may also be used in the case of pulse height discrimination. The definitions should be combined in order not to extend this clause too much.

**Proposal:** Replace the current subclauses by the following single definition:

crosstalk

Undesired event appearing in one signal path (channel) through coupling from another signal path.

Note 1: PHD crosstalk: ((repeat the current note to 3.2.15))

Note 2: RTD crosstalk: Equivalent to the PHD-crosstalk, but the method of discrimination is rise time (pulse shape) discrimination.

- One should avoid laboratory jargon.
- Proportional counters are always gas-filled.

**Proposal:** Replace the heading of 9.2 by "Specific to alpha/beta proportional counters".

- Table 1 is not "specific to alpha/beta proportional counters" as stated in the heading of subclause 9.2. This is general textbook information and it is not needed here.

**Proposal:** Delete Table 1.

- Annexes B2 to B5: Consistent description is needed. The counting time has the symbol  $t$  and it is assumed but not stated that the time is in minutes. Therefore one has to divide by 60 in many following equations when countrates are converted to becquerels.

**Proposal:** Define counting times in seconds and delete the division by 60 in equations 17, 18, 19, 20, 21 and 22.

Sowie eine Vielzahl eher redaktioneller oder die Gliederung betreffender Punkte.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm oder andere Unterlage ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm oder anderen Unterlage.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm oder anderen Unterlage.

Der Zusammenhang der in diesem Norm-Entwurf zitierten Normen und anderen Unterlagen mit den entsprechenden Deutschen Normen und anderen Unterlagen ist nachstehend wiedergegeben. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Norm waren die angegebenen Ausgaben gültig.

IEC hat 1997 die Benummerung der IEC-Publikationen geändert. Zu den bisher verwendeten Normnummern wird jeweils 60 000 addiert. So ist zum Beispiel aus IEC 68 nun IEC 60068 geworden.

| Europäische Norm | Internationale Norm            | Deutsche Norm               | Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk |
|------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|
| -                | IEC 60050(393):1996            | E DIN IEC 60050-393:1997-04 | -                                      |
| -                | IEC 60050(394):1995<br>A1:1996 | E DIN IEC 60050-394:1996-06 | -                                      |
| -                | ISO 1993 : 1995                | -                           | -                                      |

## Nationaler Anhang NA (informativ)

### Literaturhinweise

|                          |                                                                                                                                                                           |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| E DIN IEC 60050-393      | Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch - Teil 393: Nukleare Instrumentierung; Physikalische Phänomene und grundlegende Begriffe (IEC 60050(393):1996)              |
| E DIN IEC 45/434/CDV-393 | Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch - Teil 393: Nukleare Instrumentierung; Physikalische Phänomene und grundlegende Begriffe - Änderung 1 (IEC 45/434/CDV:1998) |
| E DIN IEC 60050-394      | Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch - Teil 394: Nukleare Instrumentierung; Geräte (IEC 60050(394):1995 und IEC 1/1577/FDIS:1995)                                |
| E DIN IEC 45/435/CDV-394 | Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch - Teil 394: Nukleare Instrumentierung; Geräte- Änderung 2 (IEC 45/435/CDV:1998)                                             |

Deutsche Übersetzung

Nukleare Instrumentierung  
Kalibrierung und Verwendung von gasgefüllten Alpha/Beta-Proportionalzählern

| Abschnitt                                                                                                           | Inhalt | Seite     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------|
| <b>Vorwort</b> .....                                                                                                |        | <b>5</b>  |
| <b>Einführung</b> .....                                                                                             |        | <b>5</b>  |
| <b>1 Anwendungsbereich und Zweck</b> .....                                                                          |        | <b>5</b>  |
| 1.1 Anwendungsbereich.....                                                                                          |        | 5         |
| 1.2 Zweck.....                                                                                                      |        | 5         |
| <b>2 Normative Verweisungen</b> .....                                                                               |        | <b>5</b>  |
| <b>3 Interpretationen, Definitionen, Abkürzungen und Formelzeichen</b> .....                                        |        | <b>6</b>  |
| 3.1 Interpretationen.....                                                                                           |        | 6         |
| 3.2 Definitionen und Abkürzungen.....                                                                               |        | 6         |
| 3.3 Formelzeichen.....                                                                                              |        | 11        |
| <b>4 Strahler</b> .....                                                                                             |        | <b>12</b> |
| 4.1 Nachweiswahrscheinlichkeits-Kalibrierstrahler.....                                                              |        | 12        |
| 4.2 Prüfstrahler.....                                                                                               |        | 12        |
| <b>5 Plateau-Messungen und Systemeinstellungen</b> .....                                                            |        | <b>13</b> |
| 5.1 Plateaumessung.....                                                                                             |        | 13        |
| 5.2 Diskriminatoreinstellungen.....                                                                                 |        | 14        |
| <b>6 Kalibrierung</b> .....                                                                                         |        | <b>16</b> |
| 6.1 Allgemeines.....                                                                                                |        | 16        |
| 6.2 Nachweiswahrscheinlichkeit.....                                                                                 |        | 16        |
| 6.3 Korrekturen der Nachweiswahrscheinlichkeit.....                                                                 |        | 17        |
| <b>7 Untergrund</b> .....                                                                                           |        | <b>17</b> |
| <b>8 Leistungsprüfungen</b> .....                                                                                   |        | <b>18</b> |
| 8.1 Wiederholpräzision des Systems.....                                                                             |        | 18        |
| 8.2 Nachweiswahrscheinlichkeit des Systems.....                                                                     |        | 18        |
| 8.3 Überprüfung des Detektor-Untergrundes.....                                                                      |        | 18        |
| 8.4 Überprüfung der Einstellpunkte der Betriebsspannungen auf dem Plateau für Alpha-, Beta- und Schirmdetektor..... |        | 18        |
| 8.5 Überprüfung des Übersprechens (der Aufwärts-/Abwärtsstreuung).....                                              |        | 19        |
| 8.6 Wirksamkeit des Schirmdetektors.....                                                                            |        | 19        |
| 8.7 Überprüfung der Alpha- und Beta-Nachweiswahrscheinlichkeit.....                                                 |        | 19        |
| 8.8 Allgemeine Betrachtungen zur Messung von Alpha- und Beta-Emissionsraten.....                                    |        | 19        |

|            |                                                                                    |           |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>9</b>   | <b>Bestimmung von Unsicherheiten und deren Fortpflanzung</b>                       | <b>20</b> |
| 9.1        | Allgemeines                                                                        | 20        |
| 9.2        | Besonderheiten bei gasgefüllten Alpha/Beta-Proportionalzählern                     | 21        |
| <b>10</b>  | <b>Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung</b>                                   | <b>23</b> |
|            |                                                                                    |           |
| Bild 1:    | Alpha-Plateau, gemessen mit einem Po-210-Strahler                                  | 14        |
| Bild 2:    | Beta-Plateau, gemessen mit einem Sr-90-Strahler                                    | 15        |
| Bild 3:    | Alpha-(□) und Beta-(◇) Untergrundzählraten, gemessen über ein langes Zeitintervall | 17        |
|            |                                                                                    |           |
| Tabelle 1: | Unsicherheiten                                                                     | 22        |
| Tabelle 2: | Abgeschätzte Beiträge zur Unsicherheit                                             | 22        |
|            |                                                                                    |           |
| Anhang A:  | Herstellung von Gebrauchsnormen aus Standardlösungen                               | 24        |
| Anhang B:  | Anleitung zur Probenmessung                                                        | 25        |
| Anhang C:  | Informative Verweisungen und Literaturverzeichnis                                  | 30        |

## Vorwort

Diese Internationale Norm wurde vom Technischen Komitee Nr. 45 „Nuclear Instrumentation“ der IEC ausgearbeitet.

## Einführung

Diese Norm befaßt sich mit gasgefüllten Alpha/Beta-Proportionalzählersystemen zur Messung von Alpha- und Beta-Emissionsraten. Ein typisches Alpha/Beta-Proportionalzählersystem besteht aus einem oder mehreren gasgefüllten Proportionalzählern mit einem Gasdurchflußsystem, Schirmdetektoren und einer geeigneten Abschirmung, zusammen mit Hochspannungsversorgungen und elektronischen Geräten für die Signalverarbeitung, an deren Ende häufig ein Vielkanal-Impulsamplitudenanalysator oder ein Rechner steht. Es gibt auch Systeme ohne Schirmdetektor und ohne Gasdurchfluß. Die im Anhang C aufgeführten informativen Verweisungen [IR 1], [IR 2] und [IR 3] informieren über die Grundlagen und den Betrieb von gasgefüllten Alpha/Beta-Proportionalzählern.

## 1 Anwendungsbereich und Zweck

### 1.1 Anwendungsbereich

Diese internationale Norm bezieht sich auf gasgefüllte Alpha/Beta-Proportionalzählersysteme zur Bestimmung von Emissionsraten der Alpha- oder Betastrahlung von Radionukliden. Obwohl die in diesem Dokument behandelten Techniken im Prinzip für Beta-Energien oberhalb von 100 keV anzuwenden sind, können sie auch bei niedrigeren Beta-Energien von Nutzen sein, vorausgesetzt, bei der Probenpräparation, Kalibrierung und Messung wird mit erhöhter Sorgfalt gearbeitet.

### 1.2 Zweck

Diese Norm legt Standardverfahren für die Kalibrierung und den Gebrauch von gasgefüllten Alpha/Beta-Proportionalzählern fest, einschließlich der Messung ihrer Kenngrößen.

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden Normen enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in diesem Text Bestandteil der vorliegenden Internationalen Norm sind. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Norm waren die angegebenen Ausgaben gültig. Alle Normen unterliegen der Überarbeitung, und Vertragspartner, deren Vereinbarungen auf dieser Internationalen Norm basieren, werden gebeten, die Möglichkeit zu prüfen, ob die jeweils neue-

sten Ausgaben der im folgenden genannten Normen angewendet werden können. Die Mitglieder von IEC und ISO führen Verzeichnisse der gegenwärtig gültigen Internationalen Normen.

(NR 1)

IEC 60050-393:1996-10 International Electrotechnical Vocabulary - Chapter 393: Nuclear instrumentation: Physical phenomena and basic concepts.

(NR 2)

IEC 60050-394:1995-10 International Electrotechnical Vocabulary - Chapter 394: Nuclear instrumentation: Instruments.

(NR 3)

ISO 1993:1995 Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement.

### 3 Interpretationen, Definitionen, Abkürzungen und Formelzeichen

#### 3.1 Interpretationen

In dieser Norm bezeichnet das Wort „muß“ eine zwingende Anforderung, das Wort „sollte“ bezeichnet eine Empfehlung. Das Wort „kann, darf“ steht für „Erlaubnis“, wird aber auch in allgemeinerem Sinne benutzt. Messungen mit gasgefüllten Alpha/Beta Proportionalzählern, die in Übereinstimmung mit dieser Norm erfolgen sollen, müssen die Anforderungen, nicht jedoch notwendigerweise auch die Empfehlungen einhalten; für Abweichungen von einer Empfehlung sollte aber in jedem Falle eine Begründung dokumentiert werden.

NR(x) bezieht sich auf die normativen Verweisungen in Abschnitt 2; [IR(x)] bezieht sich auf die informativen Verweisungen und [BBx] auf das Literaturverzeichnis, beide im Anhang C.

#### 3.2 Definitionen und Abkürzungen

Im Rahmen dieser internationalen Norm gelten die folgenden Definitionen und Abkürzungen:

##### 3.2.1 Aktivität

[en: activity]

Quotient  $dN/dt$ , wobei  $dN$  der Erwartungswert der Anzahl der spontanen Übergänge aus einem speziellen Energiezustand zu einem gegebenen Zeitpunkt im Zeitintervall  $dt$  ist [IEV 393-04-10].

$$A = dN/dt$$

##### 3.2.2 Alpha-Emissionsrate

[en: alpha emission rate]

Anzahl der je Zeiteinheit aus der Oberfläche eines Materials in den angrenzenden Raum emittierten Alphateilchen aller Energien [IEV 111-14-46].

Anmerkung: Die Quelle oder Probe kann eines oder mehrere Alphastrahlung emittierende Radionuklide enthalten.

##### 3.2.3 Alpha-Oberflächenemissionsrate

[en: alpha surface emission rate]

Anzahl der Alphateilchen, die je Zeiteinheit aus der Vorderseite oder dem Fenster einer Quelle oder Probe austreten [IEV 393-04-92].

Anmerkung 1: Die Quelle oder Probe kann eines oder mehrere Alphastrahlung emittierende Radionuklide enthalten.

Anmerkung 2: Die Oberflächenemissionsrate bezieht sich auf die Emission aus einer einzigen Oberfläche der Quelle oder Probe; die Emissionsrate schließt die gesamte Emission ein.

##### 3.2.4 Schwächung

[en: attenuation]

Verringerung einer strahlungsbezogenen Größe, wie z. B. Energie, Fluenz usw., beim Durchgang der Strahlung durch Materie als Folge aller Arten der Wechselwirkung mit der Materie [IEV 393-03-20].

##### 3.2.5 Untergrund-Zählrate

[en: background count rate]

Zählrate, die von einem Gerät bei der Messung der Strahlung natürlicher und künstlicher Quellen registriert wird, unter Ausschluß der Strahlung, die gemessen werden soll [IEV 393-02-10].

Anmerkung: Dabei handelt es sich um Zählereignisse je Zeiteinheit, die nicht vom radioaktiven Zerfall eines Kalibrierstrahlers oder einer Probe verursacht werden, sondern von Zerfallsprozessen in der Umgebung oder von Wechselwirkungen kosmischer Strahlung im oder nahe am Detektor, die sich dem Nachweis durch den Schirmdetektor (sofern vorhanden) entzogen haben. Zur Untergrund-Zählrate können natürlich vorkommende radioaktive Zerfälle in den Bestandteilen des Detektors, in der Abschirmung oder durch Höhenstrahlung verursachte ionisierende Strahlung beitragen.

### **3.2.6 Beta-Emissionsrate** [en: beta emission rate]

Anzahl der je Zeiteinheit aus der Oberfläche eines Materials in den angrenzenden Raum emittierten Betateilchen aller Energien [IEV 111-14-46].

Anmerkung: Das Material kann eines oder mehrere Betastrahlung emittierende Radionuklide enthalten.

### **3.2.7 Beta-Oberflächenemissionsrate** [en: beta surface emission rate]

Anzahl der Betateilchen pro Zeiteinheit, die aus der Vorderseite oder dem Fenster einer Quelle oder Probe austreten.

Anmerkung1: Die Quelle oder Probe kann eines oder mehrere Betastrahlung emittierende Radionuklide enthalten.

Anmerkung 2: Die Oberflächenemissionsrate bezieht sich auf die Emission aus einer einzigen Oberfläche der Quelle oder Probe; die Emissionsrate schließt die gesamte Emission ein.

### **3.2.8 Nulleffekt-Zählrate** [en: blank count rate]

Von einem Gerät registrierte Untergrund-Zählrate, wenn sich die Leerprobe (Probenschälchen und Probenmatrix) an ihrem Platz befindet.

Anmerkung: Eine Leerprobe besteht aus dem Probenschälchen und der Probenmatrix. Er kann einige natürlich vorkommende Radionuklide und deren Tochterprodukte enthalten, jedoch sollten diese auf das mit vertretbaren Mitteln erreichbare Mindestmaß beschränkt werden.

### **3.2.9 Kalibrierter Strahler** [en: calibrated source]

Siehe: Strahler, kalibrierter.

### **3.2.10 Zertifizierter Strahler** [en: certified source]

Siehe: Strahler, zertifizierter.

### **3.2.11 Prüfstrahler** [en: check source]

Siehe: Strahler, Prüf....

### **3.2.12 Kombinierte Unsicherheit** [en: combined uncertainty]

Die Unsicherheit, die sich aus der Kombination von Unsicherheiten der Gruppen A und B, wie sie vom Bureau International des Poids et Measures (BIPM) definiert wurden, mit Hilfe normaler statistischer Methoden ergibt. Unsicherheiten der Gruppe A werden durch Anwendung statistischer Methoden auf eine Folge wiederholter Messungen bestimmt, sie sind durch die geschätzte Standardabweichung  $S_A$  charakterisiert; Unsicherheiten der Gruppe B werden Größen zugeordnet, deren Schwankung nicht explizit beobachtet wurde. Unsicherheiten der Gruppe B werden durch Abschätzung aus anderen Informationen näherungsweise als zugehörige Standardabweichung  $S_B$  (deren Existenz vorausgesetzt wird) bestimmt. Die Abweichungen werden kombiniert, als ob sie alle Standardabweichungen wären.

### **3.2.13 Zählrate** [en: count rate]

Anzahl der Zählereignisse je Zeiteinheit [IEV 394-19-03].

**3.2.14 Kammereinstreuung**  
[en: cross-chamber interference]

Der Anteil aller, entweder im Alpha- oder im Beta-Kanal eines Mehrkammer-Detektorsystems registrierten Impulse, der auf die Anwesenheit einer Probe in einer benachbarten Detektorkammer zurückzuführen ist.

**3.2.15 Übersprechen**  
[en: crosstalk]

In einem Signalweg von anderen Signalwegen eingekoppelte unerwünschte Energie.

Anmerkung: Bei gasgefüllten Alpha/Beta-Proportionalzählern bezeichnet „Übersprechen“ den Anteil aller, von Alphateilchen herrührenden registrierten Impulse, der infolge Amplitudenverlust im Beta-Kanal registriert wird, oder den Anteil aller, von Betateilchen herrührenden registrierten Impulse, der infolge von Impulsaufstockungen oder anderen Effekten im Alpha-Kanal registriert wird. Das Übersprechen von Beta-Impulsen in den Alpha-Kanal sollte vernachlässigbar sein, wenn der Arbeitspunkt (siehe Definition) richtig gewählt wurde. Der Ausdruck „Übersprechen“ ist gleichbedeutend mit dem Ausdruck „Aufwärts-/Abwärtsstreuung“. Der Ausdruck „Übersprechen“ wird üblicherweise benutzt, um anzuzeigen, daß in der Betriebsart „Impulsamplitudendiskriminierung“ gemessen wird (siehe die Definition von „Aufwärts-/Abwärtsstreuung“).

**3.2.16 Totzone**  
[en: dead band]

Ein Impulsamplitudenbereich zwischen dem größten Beta-Impuls und dem kleinsten Alpha-Impuls für ein vorgegebenes Radionuklid oder ein Radionuklidgemisch, in dem bei den Betriebsarten „Amplituden-“ oder „Anstiegszeitdiskriminierung“ keine Impulse vorkommen. Infolge physikalischer Prozesse und elektronischer Begrenzungseffekte können in dieser Zone trotzdem unerwartete Impulse auftreten.

**3.2.17 DSE**  
[en: DVA]

Detektorspannungseinstellung

**3.2.18 Nachweiswahrscheinlichkeits-Kalibrierstrahler**  
[en: efficiency calibration source]

Siehe: Strahler zur Kalibrierung der Nachweiswahrscheinlichkeit.

**3.2.19 Schirmdetektor**  
[en: guard detector]

Ein Detektor aus ähnlichen Materialien mit ähnlicher Geometrie wie der eigentliche Meßdetektor für die Probe, der in dessen Nähe angeordnet ist, damit er auf das gleiche kosmische und terrestrische Untergrund-Strahlungsfeld anspricht, wie der Meßdetektor, und dieses unterdrückt. Normalerweise wird dieser Detektor in einer Antikoinzidenzschaltung betrieben, um den Einfluß der Umgebungsstrahlung auszuschalten.

**3.2.20 Einstreuung**  
[en: interference]

Gleichbedeutend mit „Kammereinstreuung“.

**3.2.21 Meß{genauigkeits}sicherungsprogramm (MSP)**  
[en: measurements assurance program (MAP)]

Ein Programm, das Herstellern ermöglicht, die Genauigkeit ihrer Messungen durch Austausch von Proben mit dem NSLR ihres Landes zu prüfen. Es umfaßt die Analyse von Blind-Prüfproben, die vom NSLR an die Lieferanten gesandt werden und die Messung von durch den Lieferanten zertifizierten und angelieferten Strahlern durch das NSLR.

**3.2.22 NSLR**  
[en: NSLR]

Nationales Standardlaboratorium für Radioaktivitätsmessungen.

**3.2.23    Arbeitspunkte**  
[en: operation points]

Die Kanallagen oder die Spannungseinstellungen für die unteren und oberen Diskriminatorschwellen eines jeden Meßkanals und, falls angebracht, die Einstellung der Totzone zur Trennung der Bereiche für die Messung von Alpha- und Betateilchen durch Impulsamplituden- oder Impulsanstiegszeitdiskriminierung.

**3.2.24    P-10 (oder P-5) Zählgas**  
[en: P-10 (or P-5) counting gas]

Ein Gasmisch, bestehend aus etwa 10 % Methan und 90 % Argon bei P-10 oder 5 % Methan und 95 % Argon bei P-5, das üblicherweise in Alpha/Betadetektoren verwendet wird.

**3.2.25    Leistungsfähigkeits-Prüfstrahler**  
[en: performance checking source]

Siehe: Strahler, Leistungsfähigkeits-Prüf...

**3.2.26    IAD**  
[en: HPD]

Impulsamplitudendiskriminierung (oder -diskriminator).

**3.2.27    Impulsaufstockung**  
[en: pulse-pileup]

Effekt, bei dem ein Impuls dem vorangehenden Impuls überlagert ist, so daß die Impulsamplitude falsch angezeigt wird. (Anmerkung: Die Aufstockung kann dazu führen, daß ein Teil der Impulse nicht aufgelöst wird) [IEV 394-19-14].

**3.2.28    Qualitätssicherungs-Prüfstrahler**  
[en: quality assurance checking source]

Siehe: Strahler, Qualitätssicherungs-Prüf...

**3.2.29    Radioaktive Probe**  
[en: radioactive sample]

Eine Probe, die eines oder mehrere Radionuklide enthält, deren Aktivität, Aktivitätskonzentration, Emissionsrate oder Oberflächenemissionsrate gemessen werden soll.

**3.2.30    Radioaktive Quelle**  
[en: radioactive source]

Siehe: Quelle, radioaktive.

**3.2.31    Radioaktives Normal**  
[en: radioactivity standard source]

Siehe: Normal, radioaktives.

**3.2.32    Anstiegszeit (eines Impulses)**  
[en: rise time]

Die Spanne zwischen den Zeitpunkten, zu denen der Momentanwert der Impulsamplitude zum ersten Mal festgelegte untere und obere Grenzwerte erreicht, nämlich 10 % und 90 % des Spitzenwertes, sofern nicht anders spezifiziert.

**3.2.33    AZD**  
[en: RTD]

Anstiegszeitdiskriminierung (oder -diskriminator).

**3.2.34    Probe**  
[en: sample]

Eine repräsentative Menge eines Stoffes oder eines Stoffgemisches.

**3.2.35 Quelle**  
[en: source]

Ein allgemeiner Ausdruck, der auf alle hier definierten Quellen zutrifft.

**3.2.36 Strahler, kalibrierter (kalibrierter Strahler)**  
[en: source, calibrated (calibrated source)]

Gleichbedeutend mit „Radioaktives Normal“.

**3.2.37 Strahler, zertifizierter (zertifizierter Strahler)**  
[en: source, certified (certified source)]

Gleichbedeutend mit „Radioaktives Normal“.

**3.2.38 Strahler, Prüf... (Prüfstrahler)**  
[en: source, checking (checking source)]

Ein allgemeiner Ausdruck sowohl für 1.) Leistungsfähigkeits-Prüfstrahler als auch 2.) Qualitätssicherungs-Prüfstrahler, wie sie in dieser Norm definiert sind.

**3.2.39 Strahler, Nachweiswahrscheinlichkeits-Kalibrier... (Nachweiswahrscheinlichkeits-Kalibrierstrahler) [zur Kalibrierung von gasgefüllten Alpha/Beta-Proportionalzählern]**  
[en: source, efficiency calibration (efficiency calibration source)]

Ein radioaktives Normal mit sehr genau bekannter Aktivität und zusätzlichen Eigenschaften entsprechend der Beschreibung in 4.1 dieses Dokumentes, das zur Kalibrierung der Nachweiswahrscheinlichkeit benutzt wird. Bei einem Nachweiswahrscheinlichkeits-Kalibrierstrahler vom Typ 1 ist die Aktivitätskalibrierung auf das NSLR desjenigen Landes zurückverfolgbar, in dem der Strahler benutzt wird. Ein Nachweiswahrscheinlichkeits-Kalibrierstrahler von Typ 2 ist aus radioaktiven Lösungen hergestellt, die auf das NSLR zurückverfolgbar sind oder von einem Händler bezogen wurden, der an einem Meß(genauigkeits)sicherungsprogramm (MSP) des NSLR teilnimmt.

**3.2.40 Strahler, Leistungsfähigkeits-Prüf... (Leistungsfähigkeits-Prüfstrahler)**  
[en: source, performance checking (performance checking source)]

Ein radioaktiver Strahler, der zur Bestätigung der normalen Funktion der Meßgeräte benutzt wird und den in 4.2.2 beschriebenen Anforderungen für derartige Strahler entspricht. Ein Leistungsfähigkeits-Prüfstrahler ist nicht unbedingt kalibriert,

**3.2.41 Strahler, Qualitätssicherungs-Prüf... (Qualitätssicherungs-Prüfstrahler)**  
[zur Qualitätssicherungsprüfung von gasgefüllten Alpha/Beta-Proportionalzählern]  
[en: source, quality assurance checking (quality assurance checking source)]

Ein radioaktiver Strahler, der täglich für Zwecke der Qualitätssicherung benutzt wird und den in 4.2.1 beschriebenen Anforderungen für derartige Strahler entspricht. Ein Qualitätssicherungs-Prüfstrahler ist nicht unbedingt kalibriert,

**3.2.42 Quelle, radioaktive (radioaktive Quelle)**  
[en: source, radioactive (radioactive source)]

Menge von radioaktivem Material, deren Aktivität und spezifische Aktivität über festgelegten Werten liegen [IEV 393-02-71].

Anmerkung: Eine Quelle enthält eines oder mehrere Radionuklide, deren Aktivitätskonzentration oder Emissionsrate möglicherweise aber nicht notwendigerweise bekannt sind.

**3.2.43 Normal, radioaktives (radioaktives Normal)**  
[en: source, radioactivity standard (radioactivity standard source)]

Ein radioaktiver Strahler, dessen absolute Aktivität zertifiziert ist, entweder durch 1.) das Laboratorium, das als Nationales Standardlaboratorium für Radioaktivitätsmessungen (NSLR) des Landes betrachtet wird oder durch 2.) einen Händler, der an Meß(genauigkeits)sicherungsmaßnahmen mit dem NSLR teilnimmt, sofern derartige Normale erhältlich sind. Bei derartigen Meß(genauigkeits)sicherungsmaßnahmen muß der vom Hersteller kalibrierte Aktivitätswert mit dem Wert des NSLR innerhalb der vom Hersteller in seinem Prüfprotokoll für die gleiche Charge von Strahlern oder in seinem Zertifikat für vergleichbare Chargen angegebenen erweiterten Unsicherheit übereinstimmen.

### 3.2.44 Aufwärts-/Abwärtsstreuung [en: spillup/spilldown]

Der Anteil aller, von Alphateilchen herrührenden registrierten Impulse, der infolge ihrer langen Anstiegszeit im Beta-Kanal registriert wird, oder der Anteil aller, von Betateilchen herrührenden registrierten Impulse, der infolge ihrer kurzen Anstiegszeit im Alpha-Kanal registriert wird. Dieser Ausdruck ist gleichbedeutend mit dem Ausdruck „Übersprechen“. Aufwärts-/Abwärtsstreuung wird üblicherweise benutzt, um anzuzeigen, daß in der Betriebsart „Anstiegszeitdiskriminierung“ (Impulsformdiskriminierung) gemessen wird (siehe die Definition von „Übersprechen“).

### 3.2.45 Rückverfolgbarkeit [en: traceability]

Eigenschaft eines Meßergebnisses, wodurch dieses durch eine ununterbrochene Kette von Vergleichen auf entsprechende, im allgemeinen internationale oder nationale Normale bezogen werden kann [VIM 6.12 und ISO 100-12-1].

Anmerkung: Die ununterbrochene Kette von Vergleichen wird als „Rückverfolgbarkeitskette“ bezeichnet.

In dieser Norm bezieht sich Rückverfolgbarkeit auf die Möglichkeit, die Genauigkeit bei der Messung radioaktiver Strahler auf nationale physikalische Normale zu beziehen. Rückverfolgbarkeit wird gewährleistet durch den Befähigungsnachweis zur Herstellung genau standardisierter Strahler durch Teilnahme an einem Meß(genauigkeits)sicherungsprogramm in Verbindung mit dem NSLR des Heimatlandes und durch die Herstellung zertifizierter Materialien im Einklang mit einem Qualitätssicherungsprogramm, das den Richtlinien dieser Norm entspricht.

### 3.2.46 Unsicherheit (für den Gebrauch in dieser Norm) [en: uncertainty (for use with this document)]

Siehe 3.2.12, kombinierte Unsicherheit.

### 3.2.47 Fensterbreite (eines Impulsamplitudendiskriminators) [en: window width (of a pulse-height discriminator)]

Differenz zwischen den Einstellungen der oberen und der unteren Schwelle des Impulsamplitudendiskriminators, angegeben in Volt oder in Energieeinheiten (keV oder MeV).

### 3.2.48 Gebrauchsnorm [en: working standard]

Präparierte Probe, die ein Radionuklid mit bekannter Aktivitätskonzentration enthält und auf ein bekanntes Normal der NSLR zurückverfolgt werden kann.

## 3.3 Formelzeichen

|                                |                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $T_{\alpha+\beta}$             | Anzahl der Zählereignisse im Alpha/Beta-Betrieb bei der Betriebsart „Detektorspannungseinstellung“ (DSE).                                                                                          |
| $T_{\alpha}$                   | Anzahl der Zählereignisse im reinen Alphabetrieb beim DSE-Betrieb                                                                                                                                  |
| $T_{\beta}$                    | Anzahl der Zählereignisse im reinen Betabetrieb beim DSE-Betrieb                                                                                                                                   |
| $R_{\alpha}$                   | Netto-Alphazählrate                                                                                                                                                                                |
| $N_{\alpha}$                   | Summe der Zählereignisse im Alpha-Kanal                                                                                                                                                            |
| $t_0$                          | Probenmeßzeit                                                                                                                                                                                      |
| $R(B)_{\alpha}$                | Alpha-Untergrundzählrate                                                                                                                                                                           |
| $X_{\beta \rightarrow \alpha}$ | Prozentsatz des Übersprechens vom Beta- in den Alpha-Kanal bei Impulsamplitudendiskriminierung (IAD) oder der Aufwärtsstreuung vom Beta- in den Alpha-Kanal bei Anstiegszeitdiskriminierung (AZD). |
| $R_{\beta}$                    | Netto-Betazählrate                                                                                                                                                                                 |
| $N_{\beta}$                    | Summe der Zählereignisse im Beta-Kanal                                                                                                                                                             |

|                                |                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $X_{\alpha \rightarrow \beta}$ | Prozentsatz des Übersprechens vom Alpha- in den Beta-Kanal bei Impulsamplitudendiskriminierung (IAD) oder der Abwärtsstreuung vom Alpha- in den Beta-Kanal bei Anstiegszeitdiskriminierung (AZD). |
| $t_B$                          | Untergrund-Meßzeit                                                                                                                                                                                |
| $C_\alpha$                     | Alpha-Aktivitätskonzentration                                                                                                                                                                     |
| $V$                            | Volumen der Probe                                                                                                                                                                                 |
| $\epsilon_\alpha$              | Alpha-Nachweiswahrscheinlichkeit                                                                                                                                                                  |
| $C_\beta$                      | Beta-Aktivitätskonzentration                                                                                                                                                                      |
| $\epsilon_\beta$               | Beta-Nachweiswahrscheinlichkeit                                                                                                                                                                   |
| $Q_{R\alpha}$                  | Unsicherheit der Netto-Alpha-Zählrate                                                                                                                                                             |
| $Q_{R\beta}$                   | Unsicherheit der Netto-Beta-Zählrate                                                                                                                                                              |
| $W_\alpha$                     | Korrektionsfaktor für den Verlust an $\alpha$ -Nachweiswahrscheinlichkeit                                                                                                                         |
| $W_\beta$                      | Korrektionsfaktor für den Verlust an $\beta$ -Nachweiswahrscheinlichkeit                                                                                                                          |

## 4 Strahler

### 4.1 Nachweiswahrscheinlichkeits-Kalibrierstrahler

Nachweiswahrscheinlichkeits-Kalibrierstrahler, wie in 3.2.43 definiert, sind radioaktive Normale mit hoher Aktivität (typischerweise etwa 500 Bq). Sie sollten die zu erwartende Geometrie und Matrix der unbekannten Quellen reproduzieren, d. h. man braucht punktförmige Normale für punktförmige Meßproben und ausge-dehnte Normale für ausgedehnte Meßproben usw.. Nachweiswahrscheinlichkeits-Kalibrierstrahler sollten für jeden in den Meßproben zu erwartenden Alpha- und Betastrahler zur Verfügung stehen. Sie müssen entwereder dem Typ 1 oder dem Typ 2 angehören. Ein Typ 1-Nachweiswahrscheinlichkeits-Kalibrierstrahler ist da-durch gekennzeichnet, daß seine Aktivitätskalibrierung auf das nationale Standardlaboratorium für Radioak-tivitätsmessungen (NSLR) des Landes, in dem der Strahler benutzt wird, zurückverfolgt werden kann. Ein Typ 2-Nachweiswahrscheinlichkeits-Kalibrierstrahler ist entweder aus radioaktiven Lösungen hergestellt, die auf das NSLR zurückverfolgt werden können oder er wurde von einem Lieferanten bezogen, der einem Kali-brierdienst des NSLR angeschlossen ist (siehe z.B. die informative Verweisung [IR 4] in Anhang C.)

**Achtung:** Ein Nachweiswahrscheinlichkeits-Kalibrierstrahler darf nicht aus mehreren Radionukliden beste-hen.

Die Aktivität des Nachweiswahrscheinlichkeits-Kalibrierstrahlers sollte so hoch sein, daß sich damit Kalibra-tionsdaten innerhalb einer vernünftigen Zeitspanne gewinnen lassen, allerdings ohne im Gerät eine Totzeit von mehr als einigen Prozent zu verursachen.

**Warnung:** Bei der Beschaffung von Nachweiswahrscheinlichkeits-Kalibrierstrahlern ist Vorsicht geboten. Manche Strahler in Probenschälchenform mit einer vom NSLR zertifizierten Aktivitätskalibration, die sich für Alpha/Beta-Messungen bei geringen Aktivitäten eignen, sind nicht notwendigerweise als Normal zur Kalibrie-rung der Oberflächenemissionsrate geeignet. Dies ist der Fall, wenn das Normal mit Hilfe eines Flüssigszin-tillators oder einer Gamma-Messung kalibriert wurde. Dadurch ist die Aktivitätskalibration in Becquerel zwar für die Strahlersubstanz korrekt, nicht aber für die  $2\pi$ -Oberflächenemissionsrate der Alpha- oder Betateil-chen aus der Oberfläche eines präparierten Strahlers. Soll die  $2\pi$ -Oberflächenemissionsrate einer Probe er-mittelt werden, muß die Nachweiswahrscheinlichkeit mit Hilfe eines Oberflächenemissionsnormals genau gemessen werden.

### 4.2 Prüfstrahler

Es gibt zwei Arten von Prüfstrahlern: 1.) Qualitätssicherungs-Prüfstrahler, 2.) Leistungsfähigkeits-Prüfstrah-ler. Ein einziger Strahler, der den Anforderungen in 4.2.1 und 4.2.2 genügt, kann sowohl als Qualitätssiche-rungs-Prüfstrahler wie auch als Leistungsfähigkeits-Prüfstrahler dienen.

#### 4.2.1 Qualitätssicherungs-Prüfstrahler

Qualitätssicherungs-Prüfstrahler, wie in 3.2.41 definiert, werden zur Feststellung der statistischen Schwan-gung des Gerätes durch tägliche Überprüfung der Nachweiswahrscheinlichkeit benutzt. Es ist nicht erforder-

lich, daß diese Strahler eine bestimmte Aktivität, Genauigkeit oder Geometrie aufweisen, allerdings ist die Verwendung genau charakterisierter Strahler zulässig. Auf jeden Fall müssen die Qualitätssicherungsprüfungen immer mit den gleichen Strahlern, der gleichen Meßgeometrie und der gleichen Meßzeit durchgeführt werden. Enthält ein Strahler Tochterprodukte, müssen alle Bestandteile bei sämtlichen Messungen im Gleichgewicht sein.

Qualitätssicherungs-Prüfstrahler sollten Aktivitäten von 200 - 1 000 Bq und eine sehr geringe Selbstabsorption aufweisen. Sie sind typischerweise elektroplattiert oder anodisiert.

#### 4.2.2 Leistungsfähigkeits-Prüfstrahler

Leistungsfähigkeits-Prüfstrahler, wie in 3.2.40 definiert, werden zur Bestimmung der Plateau-Charakteristik des Detektors und zur Einstellung der Alpha/Beta-Diskriminatoren (bei IAD oder AZD) benutzt. Sie werden darüber hinaus für viele andere Zwecke gebraucht, einschließlich Systemeinstellung, -wartung und -diagnostik. Sollen mit dem Gerät sowohl Alpha- als auch Beta-Messungen durchgeführt werden, müssen bei diesen Prüfungen zwei separate Strahler, einer für die Alpha- und einer für die Beta-Leistungsfähigkeitsmessung, verwendet werden.

Die Aktivität der Leistungsfähigkeits-Prüfstrahler sollte so gewählt werden, daß in angemessener Zeit eine statistisch aussagekräftige Anzahl von Ereignissen über dem Untergrund gemessen werden kann. Auf keinen Fall sollten die Strahleraktivitäten so hoch sein, daß durch die Totzeit der Elektronik mehr als 5 % der Ereignisse verloren gehen. Eine Aktivität zwischen 170 Bq und 840 Bq (10 000 bis 50 000 Zerfälle pro Minute) sollte zur Erzielung guter Ergebnisse ausreichen und nicht zu viel Totzeit in der Elektronik verursachen. Enthält die Betriebsanleitung keine Information über die Abhängigkeit der Totzeit von der Zählrate, sollte diese empirisch mit Hilfe eines Strahlers mit kurzer, genau bekannter Halbwertszeit (z.B.  $^{56}\text{Mn}$ ) oder mit einem Satz von Strahlern (z.B.  $^{60}\text{Co}$ ), bei dem die Aktivitätsverhältnisse genau bekannt sind und die Aktivitäten von niedrigen Werten bis zu mehr als 100 000 Ereignissen/s variieren, gemessen werden (siehe z. B. die informativen Verweisungen [IR 10] und [IR 11] im Anhang C). Ein solcher Satz von Strahlern ist auf dem Markt erhältlich.

Die Genauigkeit der Aktivitätsangaben ist kein wichtiger Gesichtspunkt, wenn die Strahler nicht zur Messung von Korrekturfaktoren für die Nachweiswahrscheinlichkeit benutzt werden, allerdings ist die Verwendung von Strahlern mit genau bekannten Aktivitäten zulässig. Zur Ausmessung von Plateaus und zur Einstellung von Diskriminatorschwellen sollte nur ein Strahler, der aus einem reinen Radionuklid besteht, verwendet werden. Strahler, die durch interne Bildung von Tochterprodukten oder Radon-Tochterablagerungen verunreinigt sind, sollten nicht verwendet werden.

## 5 Plateau-Messungen und Systemeinstellungen

### 5.1 Plateaumessung

Zur Bestimmung der optimalen Betriebsspannung für den Detektor ist der Zusammenhang zwischen Zählrate und Betriebsspannung (die Plateaukurve) für den Detektor zu ermitteln. Die Plateaukurve muß bei der ersten Inbetriebnahme des Gerätes gemessen werden. Sie muß bei jedem Wechsel des Gases oder des Gaszylinders erneut gemessen werden, es sei denn, Tests zeigen, daß im Bereich der maximal in Betracht zu ziehenden Betaenergien keine durch die Gasverstärkung des neuen Gases bedingten Änderungen im Ansprechvermögen des Gerätes oder im Zeitverhalten der Ladungssammlung eingetreten sind. Wird die Plateaukurve neu bestimmt, müssen Nachweiswahrscheinlichkeit, Diskriminatoreinstellungen und Untergrundzählrate überprüft und, falls Änderungen eingetreten sind, auf die alten Werte zurückgebracht werden.

Die Breite des Plateaus, typischerweise etwa 100 V, hängt vom Gerät und von der Meßgeometrie ab. Daher sollte die Plateaukurve mit Strahlern aufgenommen werden, welche die zu messenden Proben simulieren. Enthalten die Empfehlungen des Herstellers zur Betriebsspannung keine Angabe über die Plateaubreite, muß diese im Rahmen der Kalibration bestimmt werden.

Es gibt drei grundlegende Verfahren zur Unterscheidung von Alpha- und Betateilchen (Alpha/Beta-Diskriminierung), die hier beschrieben werden:

- a) **Detektorspannungseinstellung (DSE).** Bei dieser Betriebsart wird die Probe zuerst bei einer Detektorspannung gemessen, bei der nur die Alphateilchen nachgewiesen werden, danach bei einer Detektorspannung für simultanen Alpha- und Beta-Nachweis („Alpha/Beta-Betrieb“). Diese Methode erfordert die Bestimmung sowohl des Alpha- als auch des Beta-Plateaus.
- b) **Impulsamplitudendiskriminierung (IAD).** Bei dieser Betriebsart wird die Meßprobe typischerweise bei einer Detektorspannung für Alpha/Beta-Betrieb gemessen; die Alphateilchen werden auf Grund ihrer größeren Impulsamplitude von den Betateilchen unterschieden. Im Alpha/Beta-Betrieb ist nur das Beta-Plateau zu bestimmen. Wird nur der Alpha-Betrieb verwendet, muß außerdem das Alpha-Plateau bestimmt werden.

- c) **Anstiegszeitdiskriminierung (AZD).** Bei dieser Betriebsart wird die Meßprobe typischerweise bei einer Detektorspannung für Alpha/Beta-Betrieb gemessen, die Alphateilchen werden auf Grund der Tatsache, daß die Impulsanstiegszeit bei den Alphateilchen (wegen der stärkeren Ionisation) kürzer ist als bei den Betateilchen, von den Betateilchen unterschieden. Im Alpha/Beta-Betrieb ist nur das Beta-Plateau zu bestimmen. Wird nur der Alpha-Betrieb verwendet, muß außerdem das Alpha-Plateau bestimmt werden. (Anmerkung: Diese Methode der Unterscheidung zwischen Alpha- und Betateilchen kann auch als Impulsformdiskriminierung bezeichnet werden).

Bei Verwendung der IAD- oder der AZD-Betriebsart muß der Zusammenhang zwischen Zählrate und Detektorspannung (d.h. die Plateaukurven) bei der maximalen Kanalbreite des gewählten Meßkanals aufgenommen werden, um keine in der Energieskala verschobenen Alpha- oder Betateilchen auszuschließen. Das Beta-Plateau muß mit Hilfe eines separaten reinen Betastrahlers und das Alpha-Plateau mit Hilfe eines separaten reinen Alphastrahlers bestimmt werden. Kombinierte Alpha und Betastrahler dürfen nicht benutzt werden.

Zur Aufnahme der Plateaukurve muß eine Folge von Messungen an einem Strahler durchgeführt werden, wobei nach jeder Messung die Hochspannung am Detektor erhöht wird. Die Erhöhung sollte in kleinen Schritten erfolgen (z. B. 10 V, jedoch nicht mehr als 50 V pro Schritt).

Nachdem die Messung eines Strahlers beendet ist, sollte der Zusammenhang zwischen der Summe der bei jeder Hochspannungseinstellung registrierten Zählereignisse und der jeweils eingestellten Hochspannung aufgezeichnet werden. Bei P-5 oder P-10 Zählgas wird die von einem Alphastrahler herrührende Kurve bei etwa 400 V beginnen, vom Zählratenwert 0 an anzusteigen, um ab etwa 700 V in die Horizontale überzugehen. Die von einer Betaquelle herrührende Kurve wird bei etwa 1000 V beginnen, vom Zählratenwert 0 an anzusteigen und bei etwa 1400 V in die Horizontale übergehen. Dies gilt für die meisten Systeme; bei manchen Detektoren liegen die Plateaus und die Betriebsspannungen allerdings bei höheren Spannungswerten.

Die Detektorspannungen für die beiden Betriebsarten sollten innerhalb der Plateaubereiche der Kurven gewählt werden. Die optimalen Betriebsspannungen für reinen Alphabetrieb und simultanen Alpha/Beta-Betrieb liegen in den Punkten minimalen Anstiegs der entsprechenden Kurven und 30 - 150 V oberhalb des Knies der Plateaukurve. Bei einer Punktquelle in unmittelbarer Nähe zum Detektor sollte der Anstieg des Alpha-Plateaus innerhalb einer Spanne von 100 V 5 % nicht überschreiten. Ist der Anstieg steiler als 5 %, sollte die Ursache ermittelt werden. Sie kann beispielsweise im Zählgas oder im Anodendraht liegen, die gegebenenfalls ausgetauscht werden müssen. Ist unter vergleichbaren Bedingungen die Steigung des Beta-Plateaus über eine Spanne von 100 V größer als 5 %, sollten ebenfalls die Ursachen ermittelt und geeignete Maßnahmen getroffen werden.

Bild 1 und Bild 2 zeigen typische Alpha- und Beta-Plateaukurven, die mit  $^{210}\text{Po}$  (Alpha)- bzw.  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  (Beta)-Strahlern und einem scheibenförmigen (Pancake) Detektor mit P-10 Zählgas aufgenommen wurden. Man beachte, daß sich der 5 %-Anstieg über einen Plateaubereich von 100 V auf Punktstrahler bezieht; bei räumlich ausgedehnten Strahlern kann der Anstieg des Plateaus größer sein.

Alpha-Plateau bei Verwendung von Po-210

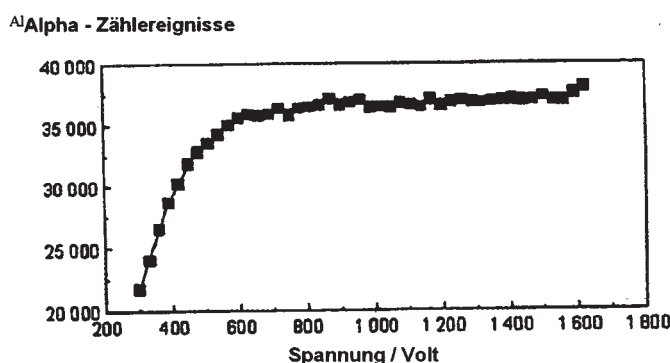


**Bild 1: Alpha-Plateau, gemessen mit einem Po-210-Strahler**  
Meßzeit bei jedem Spannungswert: 1 min.

## 5.2 Diskriminatoreinstellungen

In der Betriebsart „Detektorspannungseinstellung“ (DSE) sollten die Diskriminatorschwellen so eingestellt werden, daß das von ihnen gebildete Fenster weit geöffnet ist. Die Unterscheidung zwischen Alpha- und Betateilchen erfolgt durch Auswahl der Betriebsspannung.

<sup>\*</sup>) Alle Bilder wurden von EG&G ORTEC und Canberra Industries zur Verfügung gestellt.

Typischer sind Proportionalzählersysteme, die zur Unterscheidung der von Alpha- und Betaereignissen herührenden Impulse entweder Impulsamplitudendiskriminierung (IAD) oder Anstiegszeitdiskriminierung (AZD) verwenden. Dabei ist der Abgleich der Einstellungen wichtig für die Genauigkeit des Endresultates, insbesondere bei Radionuklidgemischen und/oder bei veränderlicher Selbstabsorption in der Meßprobe.

Beta-Plateau bei Verwendung von Sr-90

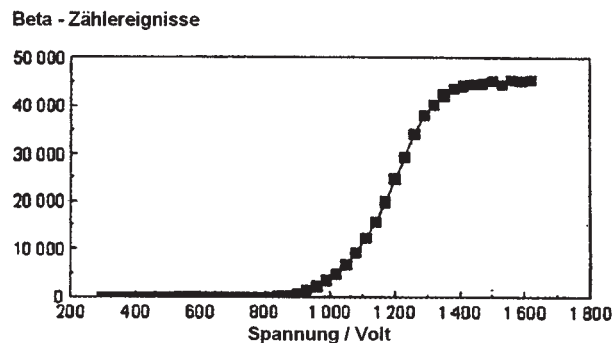


**Bild 2: Beta-Plateau, gemessen mit einem Sr-90-Strahler**  
Meßzeit bei jedem Spannungswert: 1 min.

Übersprechen (im Falle von IAD) und Aufwärts-/Abwärtsstreuung (im Falle von AZD) sind Effekte, bei denen ein Alpha-Ereignis vom System als Beta-Ereignis registriert wird und umgekehrt. Dieser Effekt kann durch die Detektorkonstruktion, das Zählgas, die Einstellungen der Elektronik und, in gewissem Ausmaß durch die physikalische Beschaffenheit der Probe verursacht sein. Übersprechen und Aufwärts-/Abwärtsstreuung müssen angegeben werden als Prozentsatz der Gesamtanzahl von Ereignissen in demjenigen Kanal, von dem sie herrühren. Somit ist das Alpha-Übersprechen der Anteil der von Alphateilchen erzeugten Zählrate, der im Beta-Kanal erscheint, angegeben als Prozentsatz der gleichzeitig im Alpha-Kanal erscheinenden Zählrate; das Umgekehrte gilt für das Beta-Übersprechen.

Ist bekannt, daß der chemische und physikalische Zustand der zu messenden Radionuklide (ebenso wie die Radionuklide selbst) eine Totzone verursachen, ist die Einschaltung einer Totzone zwischen Alpha- und Betakanal zulässig. Können Zusammensetzung sowie physikalischer und chemischer Zustand der Probe bei der Kalibrierung nicht vollständig abgeklärt werden, darf keine Totzone eingeschaltet werden. Der Grund dafür ist, daß infolge Selbstabsorption und/oder einer unbekannten Nuklidzusammensetzung Alpha- und/oder Beta-Zählimpulse in die Totzone von Energie (Impulsamplitude) oder Anstiegszeit fallen könnten, so daß sie nicht registriert würden. Sind allerdings diese Parameter bekannt und kann der Kalibrierstrahler als Duplikat der Meßprobe hergestellt werden, ist die Einschaltung einer Totzone zulässig.

**Vorsicht:** Die Einschaltung einer Totzone kann zur deutlichen Unterschätzung der wirklichen Quellenaktivitäten führen, wenn die Meßprobe nicht mit den Annahmen bei der Einstellung der Totzone im Einklang steht.

Da Übersprechen und Aufwärts-/Abwärtsstreuung die Meßgenauigkeit beeinflussen können, ist es wichtig, diese Effekte möglichst klein zu halten. Allerdings ist es wichtiger, die Größe dieser Faktoren sehr genau zu kennen, als Arbeitspunkte einzustellen, die sie minimieren. Große Fehler in diesen Korrekturfaktoren, auch wenn diese selbst relativ klein sind, können die Gesamtgenauigkeit der Messung beeinträchtigen.

Der Abgleich des Übersprechens bzw. der Aufwärts-/Abwärtsstreuung kann mit Hilfe von Prüfstrahlern mit dem gleichen Radionuklid und gleichem physikalischen Aufbau wie bei dem jeweiligen Probenotyp durchgeführt werden, da es nur auf eine exakte Simulation der Energie für jeden Quellentyp ankommt. Die Detektorspannung sollte auf die für simultanen Alpha/Beta-Betrieb optimale Plateauspannung eingestellt werden.

### 5.2.1 Einstellungen für die Impulsamplitudendiskriminierung

Zur Einstellung des Übersprechens bei der IAD wird zunächst der Betastrahler in die Probenkammer des Detektors gebracht. Der Diskriminator für die untere Schwelle im Alpha-Kanal sollte ausreichend weit oberhalb der von irgendeinem Beta-Ereignis zu erwartenden Impulsamplitude, aber unterhalb der niedrigsten zu erwartenden Alpha-Energie (Impulsamplitude) eingestellt werden. Der Diskriminator für die obere Schwelle im Beta-Kanal sollte auf den gleichen Pegel eingestellt werden, wie der Diskriminator für die untere Schwelle im Alpha-Kanal. Der Diskriminator für die untere Schwelle im Beta-Kanal sollte knapp oberhalb des Rauschpegels der Elektronik eingestellt werden, um Triggerungen des Beta-Zählers durch Rauschsignale zu verhindern. Der Diskriminator für die obere Schwelle im Alpha-Kanal sollte oberhalb der höchsten zu erwartenden Alpha-Energie (Impulsamplitude) eingestellt werden oder so hoch, wie es das Gerät zuläßt.

Die obere Diskriminatorschwelle im Beta-Kanal und die untere Diskriminatorschwelle im Alpha-Kanal sollten zusammen abgesenkt werden, bis der Prozentsatz des Übersprechens von Beta-Ereignissen in den Alpha-Kanal den gewünschten Wert erreicht. Der Betastrahler sollte dann aus der Meßkammer entfernt und durch einen reinen Alphastrahler ersetzt werden. Die obere Diskriminatorschwelle im Beta-Kanal sollte soweit abgesenkt werden, bis das Übersprechen von Alpha-Ereignissen in den Beta-Kanal die gewünschte Größenordnung erreicht.

### 5.2.2 Einstellungen für die Anstiegszeitdiskriminierung

Bei der AZD-Methode muß zuerst sichergestellt werden, daß die Detektorspannung innerhalb des Plateaus auf den optimalen Spannungswert für die simultane Messung von Alpha- und Betateilchen eingestellt ist, wie zuvor beschrieben. Der reine Beta-Prüfstrahler muß in die Probenkammer eingebracht werden und der Anstiegszeitdiskriminator für die Alpha-Impulse muß auf die längste Anstiegszeit eingestellt werden, die das Gerät zuläßt. Das Fenster des Diskriminators für die Anstiegszeit der Beta-Impulse muß dann ganz auf die kürzeste Anstiegszeit eingestellt werden, die das Gerät zuläßt, (d. h. es muß voll geöffnet sein). Dies hat zur Folge, daß alle möglichen Beta-Ereignisse im Beta-Kanal erfaßt werden, während einige Beta-induzierte Ereignisse im Alpha-Kanal erscheinen. Danach muß die Einstellung des Alpha-Anstiegszeitdiskriminators vorsichtig in Richtung kürzerer Anstiegszeiten verändert werden, bis die Beta-induzierte Zählrate im Alpha-Kanal auf den gewünschten Wert zurückgegangen ist (z. B. 3 - 5 % der Zählrate im Beta-Kanal). Diese Einstellung des Anstiegszeitdiskriminators ist als „Alpha-AZD-Einstellung“ festzuhalten.

Der reine Beta-Prüfstrahler muß dann entfernt und durch einen reinen Alpha-Prüfstrahler ersetzt werden. In ähnlicher Weise, wie bei der Einstellung des Alpha-Kanals muß die Beta-AZD Einstellung auf die kürzeste Anstiegszeit, die das Gerät zuläßt, abgeglichen werden. Das Fenster für die Anstiegszeit der Alpha-Impulse muß dann ganz auf die kürzeste Anstiegszeit eingestellt werden, die das Gerät zuläßt (d.h. es muß voll geöffnet sein). Dies hat zur Folge, daß alle möglichen Alpha-Ereignisse im Alpha-Kanal erfaßt werden, während einige Alpha-induzierte Ereignisse im Beta-Kanal erscheinen. Danach muß die Einstellung des Beta-Anstiegszeitdiskriminators vorsichtig in Richtung kürzerer Anstiegszeiten verändert werden, bis die Alpha-induzierte Zählrate im Beta-Kanal auf den gewünschten Wert zurückgegangen ist (z. B. 3 - 5 % der Zählrate im Alpha-Kanal). Diese Einstellung des Anstiegszeitdiskriminators ist als „Beta-AZD-Einstellung“ festzuhalten.

Zum Schluß müssen die Einstellelemente des Alpha-Anstiegszeitdiskriminators auf die beim ersten Abgleichschritt gefundene „Alpha-AZD-Einstellung“ und die Einstellelemente des Beta-Anstiegszeitdiskriminators auf die beim zweiten Abgleichschritt gefundene „Beta-AZD-Einstellung“ eingestellt und dort fixiert werden.

## 6 Kalibrierung

### 6.1 Allgemeines

Die Systemkalibrierung erstreckt sich auf Messungen mit den in Abschnitt 4 erwähnten Normalen für alle Radionuklide, die möglicherweise in den unbekannten Meßproben enthalten sein können. Detektoren mit Fenster und fensterlose Detektoren erfordern unterschiedliche Meßmethoden. Die Kalibrierung der Nachweiswahrscheinlichkeit sollte immer dann wiederholt werden, wenn einer oder mehrere der folgenden Umstände eingetreten sind: 1.) ein Teil der Hardware wurde ersetzt oder repariert, 2.) am System wurden Änderungen vorgenommen (z. B. Neueinstellung der Gas-Durchflußmenge, Änderungen bei der Probenpräparation usw.) oder 3.) die Beschaffenheit des Zählgases oder dessen Hersteller wurden gewechselt. Zur Bestätigung, daß sich die Leistungsfähigkeit des Gerätes nicht verändert hat, sollte außerdem täglich ein Qualitätssicherungs-Prüfstrahler (siehe 4.2.1) eingesetzt werden, auch immer dann, wenn eine aufgebrauchte Zählgasflasche durch eine neue ersetzt wurde, selbst wenn das neue Gas hinsichtlich Typ, Reinheit und Hersteller mit dem alten übereinstimmt.

### 6.2 Nachweiswahrscheinlichkeit

Die Nachweiswahrscheinlichkeit muß für jedes Radionuklid, das sich möglicherweise in den Meßproben findet, mit Hilfe von Nachweiswahrscheinlichkeits-Kalibrierstrahlern (siehe 4.1) bestimmt werden. Die Strahler, die zur Kalibrierung von Nachweiswahrscheinlichkeiten verwendet werden, sollten nur ein einziges reines Radionuklid enthalten. Ein Satz von Kalibrierstrahlern sollte jede Probengeometrie berücksichtigen. Für reinen Alpha-Betrieb des Detektors genügt die reine Alpha-Nachweiswahrscheinlichkeit. Für Alpha/Beta-Betrieb müssen die Alpha- und die Beta-Nachweiswahrscheinlichkeit gleichzeitig bestimmt werden, indem der Detektor im Alpha/Beta-Betrieb betrieben wird. Zur Bestimmung der Nachweiswahrscheinlichkeit sollten in jedem Falle mindestens 100 000 Brutto-Zählereignisse registriert werden. Nachweiswahrscheinlichkeitswerte, welche die Probengeometrie oder das Radionuklid nicht korrekt berücksichtigen, sollten nicht verwendet werden, außer wenn eine Korrelationsfunktion zur Korrektur der Abweichungen aufgestellt, überprüft und angewendet wird.

### 6.3 Korrekturen der Nachweiswahrscheinlichkeit

Bei der Bestimmung der Nachweiswahrscheinlichkeit für einen Probenotyp muß gegebenenfalls die Schwächung (durch Selbstabsorption der Strahlung in der Probe) berücksichtigt werden. Zur Kalibrierung der Schwächungskorrekturen dient ein Satz von Kalibrierstrahlern, deren flächenbezogene Masse bei konstant gehaltener Aktivität variiert. Der Zusammenhang zwischen Nachweiswahrscheinlichkeit und flächenbezogener Masse des Strahlers sollte aufgelistet werden. Die Nachweiswahrscheinlichkeit für Meßproben mit unterschiedlicher flächenbezogener Masse ( $\text{g/cm}^2$ ) kann dann an Hand der Tabelle korrigiert werden. Für jedes Radionuklid, jede Probengeometrie und jede Probenmatrix, die zur Messung anstehen, sollte eine Tabelle der Schwächungsfaktoren erstellt werden.

**Vorsicht:** Die Rückstreuung von Beta- und Alphateilchen kann bei vielen Quellen einen scheinbaren Anstieg der gemessenen Nachweiswahrscheinlichkeit zur Folge haben und dementsprechend die Meßempfindlichkeit für manche Meßproben erhöhen. Falls Rückstreuung vorliegt, ist bei der Korrektur von Probandaten Vorsicht geboten. Korrekturen der Nachweiswahrscheinlichkeit können nicht ordentlich durchgeführt werden, wenn Daten, die auf einem masselosen Kalibrierstrahler basieren, zur Korrektur von Daten einer Quelle mit Rückstreuung oder Schwächung durch Selbstabsorption benutzt werden. Darüber hinaus dürfen Daten, die mit einem Detektor mit Fenster aufgenommen wurden, nicht zur Korrektur der Aktivität einer Probe benutzt werden, die mit einem fensterlosen Detektor gemessen wurde und umgekehrt.

## 7 Untergrund

Es müssen sowohl „Langzeit“- als auch „Meßzeit“-Untergrundmessungen nach einem geordneten Schema durchgeführt werden.

Die „Langzeit“-Untergrundmessung muß mindestens vierteljährlich durchgeführt werden. Sie sollte sich über ein Zeitintervall von einigen Stunden oder über mehrere kürzere Zeitintervalle, deren Summe einige Stunden beträgt, erstrecken, so daß eine gute Zählstatistik erreicht wird. Sie muß außerdem zur gleichen Tageszeit durchgeführt werden, wie die Probenmessungen, um systematische Meßabweichungen durch tageszeitabhängige Schwankungen im Untergrund zu vermeiden. Bild 3 zeigt ein Beispiel für das Ausmaß der tageszeitabhängigen Schwankungen. Die Untergrunddaten aus dieser Messung müssen zur Untergrundsubtraktion verwendet werden, falls eine solche erforderlich ist. Wird keine Untergrundsubtraktion durchgeführt, kann auf diese Art von Untergrundmessung verzichtet werden.

Beispiel für die tägliche Schwankung bei Untergrundmessungen

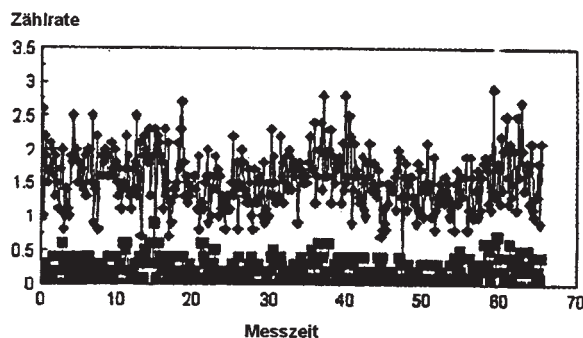


**Bild 3:** Alpha-(□) und Beta-(◇) Untergrundzählraten, gemessen über ein langes Zeitintervall

Die „Meßzeit“-Untergrundbestimmung muß täglich durchgeführt werden. Dabei ist es notwendig, die Meßdaten über ein Zeitintervall aufzunehmen, das mit der Proben-Meßzeit vergleichbar ist. Diese Daten sollten als Qualitätssicherungsprüfung dienen, um zu bestätigen, daß das System nicht kontaminiert wurde und innerhalb annehmbarer Grenzen arbeitet, sie sollten als Bestandteil der Qualitätssicherungsprüfung archiviert werden. Untergrundmessungen müssen sowohl für reinen Alpha- als auch für simultanen Alpha/Beta-Betrieb durchgeführt werden, sofern beide Betriebsarten benutzt werden.

Bei der Langzeit-Aufnahme der Untergrunddaten sollten mehr als eine Quellenhalterung verwendet werden, um sicherzustellen, daß die untergrundkorrigierten Messdaten eine statistische Mittelung über viele mögliche Quellenhalterungen beinhalten. Bei der Messung von Proben mit unbekannter Aktivität müssen jeweils die gleichen Quellenhalterungen benutzt werden, wie bei den Untergrundmessungen. Es sollte beachtet werden, daß die Untergrunddaten von vielen Quellenhalterungen nicht notwendigerweise eine Normalverteilung aufweisen. Bei fensterlos betriebenen Gasdurchflußzählersystemen muß eine minimale Spülzeit zur vollständigen Durchspülung des Systems zwischen zwei Wechseln der Quellenhalterung entweder vom Hersteller

spezifiziert oder durch den Betreiber ermittelt werden. Das System benötigt ausreichend Zeit, um sich zu stabilisieren.

**Vorsicht:** Während der Probenmessungen sollte die Anwesenheit von starken radioaktiven Quellen in der Nähe des Proportionalzählers verhindert werden, um nicht dokumentierte Änderungen der Untergrund-Zählraten zu vermeiden.

## 8 Leistungsprüfungen

Alle nachfolgend aufgeführten Prüfungen müssen durchgeführt werden. Die spezifischen Leistungsanforderungen und -empfehlungen sind in der Beschreibung einer jeden Prüfung enthalten.

### 8.1 Wiederholpräzision des Systems

Die Wiederholpräzision des Systems muß durch mehrfach wiederholte Messung eines Nachweiswahrscheinlichkeits-Kalibrierstrahlers geprüft werden, dabei ist dieser zwischen zwei Messungen jeweils aus der Meßposition zu entfernen, um geometrisch bedingte Schwankungen auszumitteln. Das Ergebnis einer jeden Messung sollte innerhalb des statistischen Schwankungsbereiches für die gewählte Quellstärke und Meßzeit liegen. Werden Gebrauchsnormale zur Messung der Wiederholpräzision des Systems hergestellt, sollten mindestens drei Normale angefertigt und gemessen werden.

### 8.2 Nachweiswahrscheinlichkeit des Systems

Die Nachweiswahrscheinlichkeit des Systems muß durch Messung von Nachweiswahrscheinlichkeits-Kalibrierstrahlern mit bekannten Aktivitäten und unterschiedlichen Quellstärken, welche den bei den aktuellen Messungen zu erwartenden Aktivitätsbereich abdecken, geprüft werden. Diese Prüfungen sollten täglich oder vor jeder Messung durchgeführt werden. Sowohl die Alpha- als auch die Betastrahler sollten einzeln gemessen werden. Die gemessene Aktivität muß für jeden der bekannten Strahler innerhalb der zweifachen veranschlagten Standardabweichung (d. h. innerhalb des 95 %-Vertrauensniveaus) der bekannten Aktivität liegen, wenn das System einwandfrei arbeitet. Wird keine Übereinstimmung innerhalb dieses Bereiches erzielt, sollte der Strahler nachgemessen werden. Wird auch nach der zweiten Messung keine Übereinstimmung erzielt, sollte die Ursache für die Diskrepanz (z. B. Schwankungen der Untergrund-Zählrate, schadhafter oder alter Strahler, nicht mehr kalibrierte Meßparameter, schlechtes Zählgas, unzulänglicher Anodendraht, Fehler im Schirmdetektor oder im Impulsverarbeitungssystem usw.) ermittelt werden.

### 8.3 Überprüfung des Detektor-Untergrundes

Bei komplett eingestellten Parametern (einschließlich der Detektorspannung und der Diskriminatorschwellen) sollte eine Untergrundmessung ohne Quelle bzw. mit leerem Probenschälchen in der Probenkammer über ein Zeitintervall von mehr als 10 000 Sekunden durchgeführt werden. Die Anzahl der in den Alpha- und Beta-Kanälen registrierten Zählereignisse sollte innerhalb der dreifachen Standardabweichung des Mittelwertes der zuvor bei leerer Probenkammer gemessenen Untergrund-Zählereignisse liegen. Ist der Proportionalzähler mit einem wirksamen Schirmdetektor ausgestattet, sollten Schwankungen der Höhenstrahlungskomponente im Beta-Untergrund nicht nachweisbar sein. Ist der Proportionalzähler nicht mit einem Schirmdetektor versehen, könnte die Höhenstrahlungskomponente im Untergrund meßbare Veränderungen der Beta-Untergrundzählrate verursachen. Die Untergrundmessungen sollten zur gleichen Tageszeit durchgeführt werden, wie die Probenmessungen.

**Warnung:** Gamma-Quellen mit hoher Aktivität und hoher Energie, die sich in der Nähe des Proportionalzählers befinden, können den Untergrund in der Meßkammer merklich erhöhen; wird unter diesen Umständen der Untergrund nicht bestimmt, kann dies schwerwiegende Fehler bei den gemessenen Zählraten zur Folge haben.

### 8.4 Überprüfung der Einstellpunkte der Betriebsspannungen auf dem Plateau für Alpha-, Beta- und Schirmdetektor

Die Betriebs-Hochspannung sollte auf den Alpha- und Beta-Plateaus genügend weit oberhalb des Knies der Plateaukurven eingestellt werden, um Zählrateneffekte infolge von Hochspannungsänderungen oder geringfügigen Veränderungen des Probendurchmessers bzw. des Abstands der Probe vom Detektorfenster zu minimieren. Allerdings sollte die Betriebsspannung nicht soweit oberhalb des Knies eingestellt werden, daß sich die Breite der registrierten Impulse unnötigerweise vergrößert. Typischerweise sollte die Betriebsspannung 30 bis 150 V oberhalb des Knies der Plateaukurve eingestellt werden. Die Betriebsspannungseinstellung sollte aufgezeichnet und mit früheren Plateaumessungen verglichen werden.

**Vorsicht:** Veränderungen in der Lage des Knies innerhalb der Spannungsskala der Plateaukurve bei vorgegebenem Radionuklid-Strahler und festgehaltenen Meßbedingungen können auf Veränderungen der Qualität des Anodendrahtes, der Reinheit des Zählgases, des Leckstromes oder auf Leistungsabfall oder andere

Fehlfunktionen im Zählersystem hinweisen. Eine geringfügige Änderung der Alpha- oder Beta-Plateaukurve kann auch beim Wechsel des Radionuklids des zur Messung der jeweiligen Plateaukurve benutzten Strahlers in Erscheinung treten.

**Vorsicht:** Vom Hersteller des Gerätes gelieferte Plateaukurven müssen nachgemessen werden, um ihre Richtigkeit zu überprüfen.

### 8.5 Überprüfung des Übersprechens (der Aufwärts-/Abwärtsstreuung)

Zur Nachprüfung, daß bei Ausnutzung des Alpha- plus Beta-Plateaus die Alpha- und die Beta-Impulsamplitudendiskriminatoren richtig eingestellt wurden, um Korrekturen hinsichtlich der Anzahl der Alpha-Zählereignisse im Beta-Kanal und der Anzahl der Beta-Zählereignisse im Alpha-Kanal zu ermöglichen, sollten standardisierte Strahler aus  $^{241}\text{Am}$  (oder  $^{210}\text{Po}$ ) und  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  mit bekannter Aktivität bei den passenden Einstellungen einzeln gemessen werden, bis mehr als 50 000 Zählereignisse gespeichert sind. Der Prozentsatz des Übersprechens (der Aufwärts-/Abwärtsstreuung) in den entgegengesetzten Kanal sollte mit früheren Messungen beim Übersprechen vom Alpha- in den Beta-Kanal (Abwärtsstreuung) innerhalb von 10 % und beim Übersprechen vom Beta- in den Alpha-Kanal (Aufwärtsstreuung) innerhalb von 3 % übereinstimmen. Wird keine Übereinstimmung erzielt, muß der Arbeitspunkt für das Übersprechen (die Aufwärts-/Abwärtsstreuung) neu bestimmt werden.

### 8.6 Wirksamkeit des Schirmdetektors

Die Wirksamkeit des Schirmdetektors sollte bestimmt werden. Dazu wird die Anzahl der von zwei Prüfstrahlern oder von einem kombinierten Prüfstrahler mit einer Aktivität von ca. 400 Bq herrührenden Beta- und Alpha-Zählereignisse über eine Zeitspanne von 1000 s gemessen und registriert, wobei sich außerhalb des Zählers keinerlei externe Quellen befinden. Nach Beendigung dieser Messungen wird eine Gamma-Strahlungsquelle mit hoher Energie (z. B.  $^{60}\text{Co}$ ) und einer Aktivität von ca. 40 000 Bq über oder unter den Schirmdetektor des Proportionalzählers gebracht, so daß nur Strahlung, die den Schirmdetektor passiert hat, den aktiven Detektor durchdringen kann. Die Beta- und die Alpha-Zählereignisse werden über eine Zeitspanne von 1000 s aufgenommen und registriert. Die so erhaltene Anzahl von Zählereignissen sollte mit der zuvor registrierten innerhalb von 3 % übereinstimmen.

### 8.7 Überprüfung der Alpha- und Beta-Nachweiswahrscheinlichkeit

Zur Bestätigung der Kalibrationseinstellungen und der gemessenen Detektor-Nachweiswahrscheinlichkeit für ein bestimmtes Radionuklid, eine bestimmte Probenmatrix und Meßgeometrie wird eine Radionuklidprobe mit bekannter Aktivität unter den gleichen Bedingungen gemessen, bis mehr als 50 000 Zählereignisse registriert wurden. Die Emissionsrate wird auf normale Weise unter Anwendung aller Korrekturfaktoren bestimmt. Der Meßwert der Emissionsrate muß mit dem bekannten Wert innerhalb der zweifachen Standardabweichung der kombinierten Unsicherheit übereinstimmen, wobei diese Unsicherheit des Meßwertes Unsicherheiten der Typen A und B (siehe Definitionen in den Abschnitten 9 und 3) einschließt.

### 8.8 Allgemeine Betrachtungen zur Messung von Alpha- und Beta-Emissionsraten

Gasgefüllte Proportionalzähler als Integralzähler sind ausgelegt für die Messung der Emissionsraten 1.) eines einzelnen Radionuklids, 2.) zweier Radionuklide, von denen eines durch Alpha-Emission und das andere durch Beta-Emission zerfällt oder 3.) von Radionukliden mit Alpha- und Beta-Emission, die sich im Gleichgewicht mit ihren Tochterprodukten befinden. Die Möglichkeiten eines gasgefüllten Proportionalzählers, Übersichtsmessungen an Radionuklidproben unbekannter Zusammensetzung durchzuführen, sind begrenzt. Bei Betastrahlern hängt die Beta-Nachweiswahrscheinlichkeit des Detektors von der Energie ab. Bei einer herkömmlichen Methode der Nutzung von Alpha/Beta-Proportionalzählern zur überschlägigen Aktivitätsbestimmung wird die Nachweiswahrscheinlichkeit mit demjenigen Radionuklid kalibriert, das die niedrigste maximale Beta-Energie aufweist, die in den Meßproben erwartet wird (z. B.  $^{60}\text{Co}$ ). Für eine solche überschlägige Übersichtsmessung dürfen nur Proben mit etwa gleicher Selbstabsorption in Betracht gezogen werden, sofern die schwächende Masse nicht gemessen und eine Korrektur hinsichtlich der Schwächung durchgeführt werden kann. Daher sind z. B. Luftteilchenfilter mit deutlich unterschiedlicher Massenbelegung nicht akzeptabel.

Bei Radionukliden mit Elektroneneinfang ohne Positronenemission sollte sich die Messung auf einzelne Radionuklide beschränken, weil die Nachweiswahrscheinlichkeit eines Proportionalzählers auf Grund des bei niedrigen Energien stark energieabhängigen photoelektrischen Massenschwächungskoeffizienten des Zählgases eine sich rasch ändernde nichtlineare Funktion der Röntgenenergie ist.

Bei Alphastrahlern hängt der Schwächungsfaktor sehr empfindlich von der Dicke und Zusammensetzung der Probenmatrix ab. Daher können bei Messungen von Emissionsraten auch ohne schwächende Masse große Fehler auftreten.

Sofern die in den Proben erwarteten Radionuklide ähnliche maximale Betaenergien haben und die Proben eine ähnliche relative Nuklidzusammensetzung aufweisen, ihre flächenbezogene Masse nahezu gleich ist und ihre Matrix die gleiche Zusammensetzung hat, kann der gasgefüllte Proportionalzähler unter Umständen zur überschlägigen Messung der Alpha- und Beta-Emissionsraten verwendet werden.

Die Emissionsraten mit ihren Unsicherheiten können aus den Meßwerten mit Hilfe einer Nachweiswahrscheinlichkeit bestimmt werden, die durch Abschätzung des gewogenen Mittelwertes aus den Nachweiswahrscheinlichkeiten und ihren Unsicherheiten für die erwartete relative Radionuklidzusammensetzung ermittelt wird.

Ein Satz, bestehend aus mindestens fünf Qualitätssicherungsstrahlern mit bekannten Emissionsraten, die Mischungen von Radionukliden mit annähernd gleichem Mischungsverhältnis, wie die voraussichtlichen Meßproben enthalten, sollte gemessen, analysiert und im Ergebnis mit den bekannten Emissionsraten verglichen werden. Die relative Radionuklidzusammensetzung und die Emissionsraten der einzelnen Qualitätssicherungsstrahler sollten sich jeweils um etwa  $\pm 25\%$  ihres gemeinsamen Mittelwertes voneinander unterscheiden.

## 9 Bestimmung von Unsicherheiten und deren Fortpflanzung

### 9.1 Allgemeines

ISO ISBN 92-67-10188-9, 1995 - „Guide to the expression of uncertainty in measurement“ (NR 3), wurde von einer Arbeitsgruppe erstellt, deren Mitglieder durch BIPM, IEC, ISO und OIML benannt wurden. Es ist ein umfassendes Dokument, das als Grundlage dienen kann für die Erstellung weniger ausführlicher Dokumente für spezielle Anwendungen oder für spezielle nationale Bedürfnisse oder Regelungen, die noch mit dem ISO-Dokument im Einklang stehen. Verweisung [IR 5] ist ein Beispiel für ein solches Dokument. Da 9.2 spezifische Unsicherheiten von Alpha/Beta-Proportionalzählersystemen im Einklang mit dem ISO-Dokument behandelt, ist er wesentlich prägnanter und einfacher zu verwenden als die allgemeiner gehaltenen Dokumente. Der Benutzer hat somit die Wahl, auf den hier enthaltenen Abschnitt 9.2 zurückzugreifen oder auf das ISO-Dokument (NR 3) bzw. auf Nachfolge- oder Teildokumente wie [IR 5], die mit dem ISO-Dokument (NR 3) im Einklang stehen.

Immer, wenn über einen Satz von Werten mit gleich großen Unsicherheiten gemittelt werden soll, läßt sich wie folgt auf einfache Weise ein Mittelwert mit seiner Standardabweichung berechnen:

$$\mu_x = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} ; \quad s_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)^2 \quad (1)$$

dabei sind:

$x_i$  die Werte, über die gemittelt werden soll

$n$  die Anzahl der Werte, über die gemittelt werden soll

$\mu_x$  den Mittelwert

$s_x^2$  die Varianz der Stichprobe (die Standardabweichung der Stichprobe ist die Quadratwurzel aus der Varianz)

Immer, wenn über einen Satz von Werten mit individuellen Unsicherheiten gemittelt werden soll, sollte ein gewogener Mittelwert gebildet werden:

$$\mu_x = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{s_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{s_i^2}} \quad (2)$$

Die Unsicherheit des gewogenen Mittelwerts hängt davon ab, ob die Daten in sich konsistent sind, was durch den Chi-Quadrat ( $\chi^2$ )-Test bestimmt wird. Ist  $[\chi^2/(n-1)] \gg 1$  ( $n-1$  bezeichnet die Anzahl der Freiheitsgrade), sind die Daten inkonsistent und die Unsicherheiten der einzelnen Meßwerte werden unterschätzt. Die interne Varianz des gewogenen Mittelwertes wird wie folgt berechnet:

$$s^2(\mu, 1) = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{s_i^2}} \quad (3)$$

für die externe Varianz gilt:

$$s^2(\mu, 2) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{s_i^2} (x_i - \mu_x)^2}{(n-1) \sum_{i=1}^n \frac{1}{s_i^2}} \quad (4)$$

Der größere der beiden Werte  $s^2(\mu_x, 1)$  und  $s^2(\mu_x, 2)$  wird für die Unsicherheit des gewogenen Mittelwerts eingesetzt.

Immer, wenn es erforderlich ist, die kombinierte Meßunsicherheit mit einem Faktor zu multiplizieren, um mit der Gesamtunsicherheit (erweiterter Unsicherheit) mehr auf der sicheren Seite zu liegen, muß der Erweiterungsfaktor angegeben werden (z. B. 2, zeigt Unsicherheiten mit etwa 95 % Vertrauensniveau an).

Immer, wenn ein Satz von Zählereignissen mit konstanter Ereigniszahl (d. h. mit variabler Meßzeit) aufgenommen wurde, muß das harmonische Mittel aus diesen Zählereignissen gebildet werden (siehe Verweisung [IR 11]).

Immer, wenn Proben mit sehr geringer Aktivität untersucht werden, z. B. im Umweltschutz, sollten die Alpha- und die Beta-Emissionsraten oder die Aktivität mit zwei Unsicherheiten angegeben werden, nämlich mit der Unsicherheit der jeweiligen Nettozählrate und mit der kombinierten Unsicherheit. Die Unsicherheit der Nettozählrate wird anzeigen, ob die Zählrate wirklich eine positive Zählrate (d. h. verschieden vom reinen Untergrund) ist oder nicht, währenddem die kombinierte Unsicherheit die Genauigkeit angibt, mit welcher der angegebene Wert bekannt ist.

Zur genauen Abschätzung der kombinierten Unsicherheit kann es erforderlich sein, Korrelationen zwischen den Unsicherheitskomponenten in Betracht zu ziehen. Zur weiteren Information über die Fortpflanzung korrelierter Unsicherheiten siehe Verweisung [IR 7].

## 9.2 Besonderheiten bei gasgefüllten Alpha/Beta-Proportionalzählern

Sämtliche Unsicherheiten, einschließlich der nicht aus einer vollständigen statistischen Berechnung hervorgegangenen, sollten näherungsweise als Standardabweichungen (des Mittelwertes, sofern der Mittelwert benutzt wird) angegeben werden. Diese Methode macht es möglich, die Fortpflanzung aller Unsicherheitskomponenten nach den Regeln der Statistik zu berechnen und führt auf eine kombinierte Unsicherheit (Typ A und Typ B, wie in 3.2 definiert; siehe auch die Verweisungen [IR 5] und [IR 6]). In Tabelle 1 sind die Gleichungen für die Fortpflanzung der Unsicherheiten für einige gebräuchliche algebraische Ausdrücke zusammengestellt. Eine genauere Diskussion der Unsicherheiten und ihrer Fortpflanzung findet sich in den Verweisungen [IR 2], Kapitel 2 oder [IR 7]. Bei der Messung einer Alpha- oder Beta-Emissionsrate (einer Quelle oder Probe) sind die Hauptkomponenten der kombinierten Unsicherheit zurückzuführen auf die Proben-Zählrate, die Nulleffekt-Zählrate, die Nachweiswahrscheinlichkeit, die Arbeitspunkteinstellungen einschließlich der eingestellten Betriebsspannung auf dem Plateau, der Diskriminatoreinstellungen, der Korrektur des Übersprechens und der Aufwärts-/Abwärtsstreuung, sowie auf Aufstockung, Schwächung innerhalb der Quelle und Zerfalls-Korrekturen im jeweiligen Meßkanal. Bei der Messung der Aktivität eines bestimmten Radionuklides, das mehr als einen Zerfallsweg aufweist, muß das prozentuale Verzweungsverhältnis mit seiner Unsicherheit zusammen mit den oben beschriebenen Komponenten in die Korrektur einbezogen werden. Die Leistungsprüfungen in dieser Norm sollten eine gute Vorabschätzung der Unsicherheitskomponenten für einen vorgegebenen experimentellen Aufbau ermöglichen. Diese Abschätzung der Unsicherheitskomponenten sollte mit zunehmender Erfahrung verfeinert werden. Ausgangs-Schätzwerte für diese Komponenten sind in Tabelle 2 angegeben.