

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 54 (1963)
Heft: 12

Artikel: Über Atomkernstrahlungen und Strahlungsmessgeräte
Autor: Bartneck, K.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916492>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 21.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

- [7] *Fuchs, C.:* Schweißtechnik im Maschinenbau, Konstruktion 13(1961), S. 155...163.
- [8] *Roberts, S. C.:* Review of Motor Insulation with special reference to Breakdowns by Discharges encountered in the Mining Industry, Trans. of the African Institute of electrical Engineers, 52/7(1961), S. 166...210.
- [9] *Abegg, K.:* Aus der Technologie der Wasserkraftgeneratoren: die Statorwicklungen, Bulletin SEV, 51(1960), S. 418...427.
- [10] *Abegg, K., Ch. Caflisch, F. Knapp:* Isolationen hoher Festigkeit für Generatoren grosser Leistung, Bulletin Oerlikon, Nr. 332 (1959), S. 8...21.
- [11] *Blinne, K., O. Mäder, J. Peter:* Orlitherm — eine moderne Hochspannungsleitung, Bulletin Oerlikon, Nr. 345 (1961), S. 37...60.
- [12] *Doljak, B., M. Moravec, O. Wohlfahrt:* Micadur — eine neue Isolation für Statorwicklungen elektrischer Maschinen, BBC-Mitteilungen, 47(1960)5/6, S. 352...360.
- [13] *Nowak, P. und F. Weber:* Epoxidharze und ihre Verwendung in der Elektrotechnik, ETZ — B, 10(1958), S. 101...107.
- [14] *Laffoon, C. M., C. F. Hill, G. L. Moses, L. J. Berberich:* A new High-Voltage Insulation for Turbine Generator Stator Windings, AIEE Trans. 70(1951), S. 721...726.

Adresse des Autors:

K. Abegg, Ingenieur, Chef der Konstruktionsabteilung für Grossmaschinen, Maschinenfabrik Oerlikon, Zürich 11/50.

Über Atomkernstrahlungen und Strahlungsmessgeräte

Von *K. Bartneck, Ulm*

539.16 ; 539.1.07

Es wird über die heute allgemein interessierenden Fragen der Atomkernstrahlungen und im besonderen über die für die Messungen dieser Strahlen hauptsächlich erforderlichen Geräte berichtet.

Die stetig zunehmende Bedeutung der Atomkernstrahlungen auf fast allen Gebieten der Wissenschaft hat in den letzten Jahren viele Forscher in der ganzen Welt angeregt, sich mit der atomaren Kernphysik und Kernchemie eingehender zu befassen. Durch diese Forschungen entstanden neben den Kernforschungszentren mit ihren Kernreaktoren und Teilchenbeschleunigern eine Vielzahl neuer Anwendungsgebiete der erwähnten Strahlen für einige Zweige der Technik, Chemie, Physik, Biologie, Medizin, Landwirtschaft, um einige zu nennen.

Die Voraussetzung für das Arbeiten mit Atomkernstrahlungen ist das Vorhandensein einer Anzahl verschiedener Strahlungsmessgeräte für die vielseitigen Messaufgaben. Bevor die wichtigsten Strahlungsmessgeräte und ihre Anwendungen näher behandelt werden, soll einiges über die atomaren Strahlungen zum besseren Verständnis vorausgeschickt werden.

Atome sind bekanntlich die Bausteine der gesamten Materie. Gase (Luft), Flüssigkeiten (Wasser) und feste Stoffe (Erde) bestehen alle aus Atomen bzw. Atomgruppen (Moleküle). Das Atom enthält den Atomkern und die ihn in relativ grossem Abstand umgebende Atomhülle. Der Kern ist aus kleinsten Elementar-Teilchen zusammengesetzt, den elektrisch positiv geladenen Protonen und den elektrisch neutralen Neutronen. Die einzige Ausnahme bildet der Wasserstoff-Atomkern, er besitzt nur 1 Proton und keine Neutronen. Die Hülle der Atome besteht aus elektrisch negativ geladenen Elektronen, die den Kern auf Planetenbahnen umkreisen.

Bisher hat man etwa 100 verschiedene Elemente (Grundstoffe) in der Natur entdeckt und viele andere künstlich dargestellt.

Die Elemente unterscheiden sich durch ihren Atomaufbau, d. h. durch die Anzahl der Protonen im Atomkern und der Elektronen in der Atomhülle. Alle Atome desselben Elementes verhalten sich chemisch gleich, sie können aber durch die Anzahl der Neutronen im Atomkern physikalisch von einander abweichen und werden in diesen Fällen als Isotope des betreffenden Atoms bezeichnet. Es gibt nichtstrahlende und strahlende Isotope. Nichtstrahlende Isotope sind die sog. stabilen Isotope, die strahlenden dagegen heißen instabile oder radioaktive Isotope. Die Radioaktivität der insta-

bilen Isotope beruht auf Kernumwandlungen, bei denen eine oder mehrere Strahlenarten emittiert werden.

Es gibt in der Natur vorkommende Isotope mit natürlicher und solche mit künstlicher Radioaktivität, die Produkte künstlicher Kernumwandlungen sind und z. B. durch Neutronenbeschuss entstehen. Die Zeit, in der die Hälfte eines radioaktiven Stoffes zerfällt bzw. sich in ein anderes Isotop umgewandelt hat, wird mit Halbwertzeit bezeichnet.

Ein Atom (oder eine Atomgruppe), das weniger oder mehr Elektronen in seiner Hülle besitzt als zur Neutralisierung des Atoms erforderlich sind, nennt man Ion. Ionen sind demnach, im Gegensatz zum neutralen Atom, positiv oder negativ geladen. Sie werden als positive oder negative Ionen bezeichnet. Ionen entstehen u. a. auch durch die ionisierende Wirkung von Atomkernstrahlungen. Hierbei werden den bestrahlten Atomen oder Molekülen Elektronen weggerissen, wodurch sich positive Ionen bilden. Die weggerissenen negativen Elektronen lagern sich neutralen Atomen oder Molekülen an; hierdurch entstehen negative Ionen. Wegen ihrer mittelbar oder unmittelbar ionisierenden Eigenschaft werden Atomkernstrahlen auch ionisierende Strahlen genannt und in einigen Strahlungsdetektoren zur Messung der Strahlenintensität ausgenutzt.

Die bei der Kernumwandlung durch den radioaktiven Zerfall frei werdenden Strahlungen, unterscheiden sich in Korpuskularstrahlen (Teilchen) und in elektromagnetische Wellenstrahlen (Quanten). Zu den Korpuskularstrahlen gehören die Alpha- und Beta-Strahlen sowie die Neutronen. Gamma- und Röntgen-Strahlen sind elektromagnetische Wellenstrahlen. Die Eigenschaften dieser verschiedenen Strahlenarten sollen beschrieben werden.

Korpuskularstrahlen

Alpha-Strahlen (Symbol α) sind positiv geladene Teilchen mit der Masse eines Helium-Kernes, welcher aus 2 Protonen und 2 Neutronen besteht. Sie werden mit einer ihre Energie bestimmenden Geschwindigkeit von einem Atomkern ausgesandt. Trotz der grossen Energie ist die Reichweite der Alpha-Strahlen sehr gering. Sie beträgt in der Luft nur einige Zentimeter. Selbst die energiereichsten harten Alpha-Strahlen lassen sich wegen ihres geringen Durchdringungs-

vermögens durch eine dünne Aluminiumfolie abschirmen. Sie verlieren ihre Energie durch Ionisation der durchquerten Atome, so dass sie bald in der Abschirmfolie stecken bleiben. Hierbei sind Kernumwandlungen möglich.

Einer der bekanntesten Alpha-Strahler aus der Uran-Zerfallsreihe ist das natürlich-radioaktive Radium mit einer Halbwertszeit von 1580 Jahren. Radium emittiert außerdem noch Beta- und Gamma-Strahlen. Polonium²⁰⁴ dagegen ist ein reiner Alpha-Strahler. Ein künstlich-radioaktiver Alpha-Strahler ist das Plutonium, welches u. a. wie das Uran, als Brennstoff in Kernreaktoren verwendet wird.

Alpha-Strahlen lassen sich in der Wilson-Nebelkammer, in Ionisationskammern, mit Geiger-Müller-Fensterzählrohren, Szintillationszählern mit silberaktiviertem Zinksulfidschirm, Proportionalzählern, Methandurchflusszählern und speziellen Halbleitern nachweisen und messen.

Beta-Strahlen bestehen entweder aus negativ geladenen Elektronen (Symbol β^-), die auch Negatronen genannt werden, oder aus kurzlebigen positiv geladenen Elektronen (Symbol β^+), die Positronen heißen. Der Atomkern der Beta-Strahler enthält keine Elektronen. Diese bilden sich erst beim radioaktiven Zerfall. Hierbei entsteht ein Elektron, das als Beta-Teilchen abgestrahlt wird.

Die Reichweite der Beta-Strahlen ist im Gegensatz zur Alpha-Strahlung grösser und beträgt, je nach Härte der Strahlung, bis zu vielen Metern. Harte Strahlen erfordern zur Abschirmung eine etwa 5 mm starke Aluminium- oder eine etwa 1 mm starke Blei-Platte.

Zu den radioaktiven Isotopen, die reine Beta-Strahler sind, gehört das Strontium⁹⁰ mit einer Halbwertszeit von 28 Jahren. Phosphor³², Schwefel³⁵ und Kohlenstoff¹⁴ sind ebenfalls reine Beta-Strahler.

Beta-Strahlen lassen sich mit einigen Ausnahmen mit den gleichen Messgeräten bzw. Strahlungsdetektoren nachweisen und messen, wie sie für Alpha-Strahlen verwendet werden. Für Szintillationszählern muss man Anthracenkristalle benutzen, da Zinksulfidschirme auf Beta-Strahlen nicht reagieren.

Neutronen (Symbol N) sind elektrisch neutrale schwere Atomkern-Elementarteilchen. Sie bilden mit den Protonen die Bausteine der Atomkerne. Im Gegensatz zu den Alpha- und Beta-Strahlen haben Neutronen eine sehr grosse Reichweite und besitzen ein sehr grosses Durchdringungsvermögen, das je nach der Energie verschieden gross ist. Man unterscheidet *schnelle* energiereiche und *langsame* (thermische) Neutronen. Schnelle Neutronen, die z. B. bei der Kernspaltung im Kernreaktor entstehen, lassen sich durch sog. Moderatoren auf thermische Energien abbremsen. Als Moderatorstoffe werden u. a. schwerer Wasserstoff (Deuterium) oder Graphit (Kohlenstoff) verwendet. Auch Paraffin eignet sich zur Abbremsung von Neutronen. Bei der Wahl der Moderatorstoffe muss beachtet werden, dass das Abschirmmaterial durch den Neutronenbeschuss radioaktiv werden kann und dadurch sekundäre Gammastrahlen entstehen, welche ebenfalls wieder abgeschirmt werden müssen. Man verwendet daher zur Abschirmung von Kernreaktoren starke Schwerbetonmauern, die gegen die Gammastrahlen einen guten Schutz bieten.

Neutronen werden nicht wie Alpha-, Beta- und Gamma-Strahlen beim radioaktiven Zerfall von natürlichen Isotopen frei gesetzt, sondern sie können nur durch Kernumwandlungen frei werden. Das geschieht z. B. durch Beschießung

leichter Atomkerne (Beryllium) mit energiereichen Alpha-Strahlen. Künstliche Neutronenquellen sind die Kernreaktoren.

Zum Nachweis und zur Messung von Neutronen werden besondere Neutronen-Detektoren benötigt. Schnelle Neutronen werden meist durch wasserstoff- oder kohlenstoffhaltige Stoffe abgebremst und dann als langsame (thermische) Neutronen gemessen. Für langsame (thermische) Neutronen sind als Detektoren Ionisationskammern oder Zählrohre gebräuchlich, die innen eine dünne Bor-Schicht tragen bzw. eine Bortrifluor-Gasfüllung enthalten. Zur quantitativen Messung von Neutronen werden auch Szintillationszählern mit europiumaktivierten Lithium-Jodid-Kristallen verwendet. Sämtliche Neutronendetektoren basieren auf der Umwandlung von Neutronen-Strahlung in ionisierende Strahlung durch die in den Detektoren zusätzlich enthaltenen Isotope, wie Bor oder Lithium.

Elektromagnetische Wellenstrahlung oder Strahlungs-Quanten

Gamma-Strahlen (Symbol γ) sind extrem- kurzwellige und energiereiche Strahlungs-Quanten. Die Energie ist der Frequenz der Strahlung proportional. Gamma-Strahlen entstehen z. B. beim radioaktiven Zerfall bestimmter Atomkerne. Sie besitzen eine wesentlich grössere Reichweite als Alpha- und Beta-Strahlen; sie kann bis zu einigen hundert Metern betragen. Für eine Abschirmung von Gamma-Strahlen mit Energien bis zu einigen MeV sind etwa 5 cm dicke Bleiabschirmungen oder starke Schwerbeton-Mauern erforderlich.

Bekannte und gebräuchliche Gamma-Strahler sind Kobalt⁶⁰ mit einer Halbwertszeit von etwa 5 Jahren und Cäsium¹³⁷, das eine Halbwertszeit von etwa 30 Jahren hat. Zum Nachweis und zur Messung von Gamma-Strahlung werden als Detektoren Ionisationskammern, Geiger-Müller-Zählrohre und Szintillationszählern mit thalliumaktivierten Natrium-Jodid-Kristallen verwendet.

Röntgen-Strahlen (X-Strahlen) gehören in das Band der elektromagnetischen Wellen-Strahlung. Die Erzeugung erfolgt künstlich in Röntgenröhren durch Abbremsung von Elektronen oder in Beschleunigern durch Abbremsung von schweren geladenen Teilchen.

Die Messmethoden und Meßsonden sind die gleichen wie bei Gamma-Strahlen, sofern der Energiebereich der Röntgenstrahlen entsprechend hoch ist.

Im Jahre 1895 erkannte *Wilhelm Konrad Röntgen* erstmals die durchstrahlende Wirkung der von ihm entdeckten und künstlich in einer Vakuumröhre erzeugten elektromagnetischen Wellenstrahlung, die später nach ihm benannt wurde. 1896 entdeckte *Henri Bequerel* die natürliche Strahlung des schweren Elements Uran. Bereits 1898 gelingt es dem Physiker-Ehepaar *Marie* und *Pierre Curie* in dem uranhaltigen Gestein der Pechblende das stark strahlende Element Radium zu entdecken und rein zu gewinnen.

Diese bahnbrechenden Entdeckungen und Forschungsergebnisse waren der Beginn weiterer erfolgreicher und bedeutender Arbeiten auf dem Gebiet der Atome und Kernstrahlungen.

Masseinheiten

Das *Röntgen* (r) ist die Masseinheit der Bestrahlungsdosis (Ionendosis) für Röntgen- und Gamma-Strahlen, jedoch nicht für andere ionisierende Strahlungen.

Die genaue Definition des Röntgen lautet:

«Das Röntgen (r) ist die Einheit der Dosis für Röntgen- und Gamma-Strahlen. Die Dosis beträgt 1 Röntgen, wenn diese Strahlung in Luft pro 0,001293 g Luft¹⁾ eine solche Korpuskular-emission bewirkt, dass die dadurch in Luft erzeugten Ionen beiderlei Vorzeichens je eine Elektrizitätsmenge von 1 elektrostatischen Einheit (ESE)²⁾ tragen.»

Diese Masseinheit der Dosis kann praktisch für Quanten-energien bis zu 3 MeV benutzt werden. Bei Normalluft entspricht 1 r einer Absorption von 84 erg/g Luft = 0,84 rad.

Das *rad* (*radiation absorbed dose*) ist die Masseinheit der Energiedosis. Die genaue Definition ist:

«Die absorbierte Dosis irgendeiner ionisierenden Strahlung ist die Energie, die an Materie durch ionisierende Teilchen pro Masseneinheit des bestrahlten Stoffes an der interessierenden Stelle abgegeben wird. 1 rad = 100 erg/g = 10⁻² J/kg. Dies gilt für jeden Stoff, innerhalb dessen die Strahlungsenergie umgesetzt wird.»

Als Masseinheit für die relative biologische Wirksamkeit (RBW) wurde das «rem» (*roentgen equivalent man*) eingesetzt. Man bezeichnet die RBW-Dosis auch mit «Biologische Äquivalenzdosis». Bei gleicher absorbiertener Energiedosis verschiedener Strahlenarten kann der biologische Effekt verschieden sein. Um die Wirkung einer aus mehreren Strahlenarten gemischten Strahlung abschätzen zu können, wurde die RBW-Dosis eingeführt. Die Definition des «rem» lautet:

«1 rem ist die absorbierte Dosis irgendeiner ionisierenden Strahlung, die die gleiche biologische Wirksamkeit hat wie 1 rad einer Röntgenstrahlung mit einer mittleren spezifischen Ionisation von 100 Ionenpaaren pro Mikron Wasser, bezogen auf Luft, in demselben Bereich. Die Dosis in rem ist gleich der Dosis in rad, multipliziert mit dem entsprechenden RBW-Faktor der betreffenden Strahlung.»

Die Masseinheit der Aktivität eines radioaktiven Präparates ist das «Curie». Hierunter versteht man die Zahl der pro Sekunde im Präparat zerfallenden Atomkerne.

«1 Curie, die Einheit der Radioaktivität, ist definiert als diejenige Menge radioaktiver Kernteilchen, für die die Zahl der Zerfallsakte pro Sekunde $3,7 \cdot 10^{10}$ beträgt.»

1 Curie Radium = 1 g Radium.

Die *Strahlungs-Energie* wird in Elektronenvolt (eV), gemessen.

Die Strahlungs-Intensität ist der Energiefluss einer Strahlung pro Zeit- und Flächeneinheit senkrecht zur Strahlrichtung.

Strahlungsdetektoren

Um die kernphysikalischen Messgeräte für die Kernstrahlungen zum Ansprechen zu bringen, werden verschiedene Strahlungsdetektoren benötigt, die den Strahlungsmessgeräten vorgeschaltet sind.

Der bekannteste Strahlungsdetektor ist das *Geiger-Müller-Zählrohr* (Fig. 1). Es ist ein Auslösezähler und besteht aus einem Entladungsraum, der heute meist mit einem Halogengasgemisch gefüllt ist. Im Innern des Entladungsraumes befindet sich ein Zähldraht als positive Elektrode. Die zylindrische Gehäusewand des Zählrohres dient als negative Elektrode. An diese beiden Elektroden wird eine konstante Gleichspannung von einigen hundert Volt gelegt. Diese

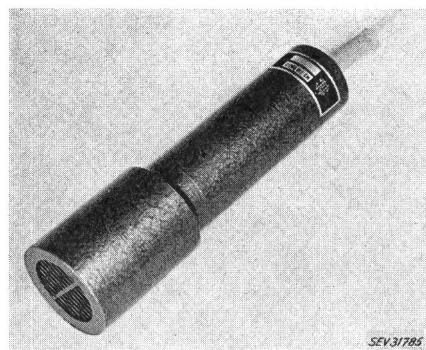


Fig. 1

Geiger-Müller-Fenster-Zählerkopf
zum Nachweis von Alpha-, Beta- und Gamma-Strahlung

Spannung ist so bemessen, dass gerade noch keine spontane Entladung auftritt. Beim Durchgang eines Gamma-Quantes oder Alpha- bzw. Beta-Teilchens entsteht eine Ionisierung, die eine Gasentladung im Zählrohr auslöst. Der damit verbundene Stromstoss erzeugt am Arbeitswiderstand des Zählrohres einen elektrischen Impuls, den man dem Strahlungsmessgerät zuführt, um durch die Impulszählung die Intensität der gemessenen Strahlung zu bestimmen. Zählrohre, die nur für Gamma-Strahlung oder Neutronen bestimmt sind, besitzen einen Körper aus Glas, Metall oder einem anderen Stoff, dessen Wandungen nicht von Alpha- oder Beta-Teilchen durchdrungen werden können. Für Alpha- und Beta-Strahlen benutzt man Fensterzählrohre mit einem außerordentlich dünnen Fenster, z. B. aus Glimmer, durch welches diese Teilchen in das Zählrohr eintreten können.

Zur Analyse einer Kernstrahlung werden häufig Szintillations- und Proportional-Zähler benutzt. Sie erzeugen Ausgangsimpulse, die bei gegebener Strahlenart in ihrer Höhe proportional der Energie der Strahlung sind. Hierdurch ist es möglich, die Energie der Strahlungen zu messen und für die Spektrometrie auszuwerten.

Der *Szintillationszähler* (Fig. 2) besteht im wesentlichen aus einem Szintillationskristall und einem Sekundärelektronen-Vervielfacher. Für Gamma-Strahlung werden meistens thalliumaktivierte Natrium-Jodid-Kristalle verwendet, für Beta-Strahlungen benutzt man organische Phosphore, z. B. Anthracen. Zum Nachweis von Alpha-Strahlung haben sich silberaktivierte Zinksulfid-Leuchtschirme bewährt. Neutro-

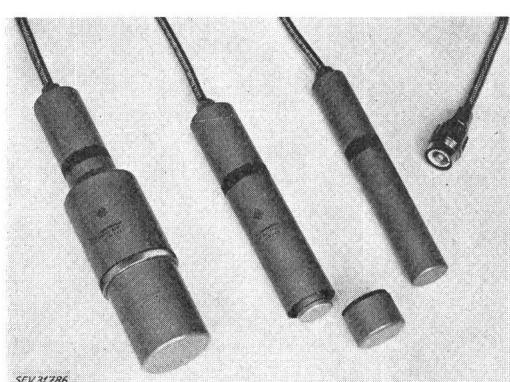


Fig. 2

Szintillationsmessköpfe
zur Aktivitätsmessung und Spektrometrie von Alpha-, Beta-, Gamma- und Röntgen-Strahlung sowie zur Zählung von Neutronen

¹⁾ 0,001293 g Luft ist die Masse von 1 cm³ trockener atmosphärischer Luft bei 0 °C und einem Druck von 760 mm Quecksilbersäule.

²⁾ 1 ESE = $2,08 \cdot 10^9$ Ionenpaare pro cm³ Luft.

nen lassen sich mit europiumaktivierten Lithium-Jodid-Kristallen nachweisen und zählen.

Die einfallenden Strahlungsquanten oder Teilchen erzeugen in den Szintillationskristallen schwache Lichtblitze. Die auf die Photokathode des Sekundärelektronen-Vervielfachers übergehenden Lichtquanten lösen dort Elektronen aus. Durch ein elektrisches Feld werden die Elektronen abgesaugt und durchlaufen nun ein System stufenweise hintereinander geschalteter Dynoden. In diesen Dynoden werden die Elektronen durch Sekundär-Emission z. B. um den Faktor 100 000 vervielfacht. Der gesamte Elektronenstrom fällt auf die Anode und erzeugt an einem angeschlossenen Arbeitswiderstand einen Impuls. Dieser Impuls besitzt nun eine brauchbare Grösse und kann dem jeweiligen Messgerät zugeführt werden. Die Grösse der Impulse ist der Helligkeit der Lichtblitze proportional und damit auch der im Kristall absorbierten Strahlungsenergie.

Kristall und Vervielfacher sind zusammen in einem Messkopf eingebaut und gegen äussere Lichteinflüsse völlig geschützt. Die kreisförmige ebene Fläche der Photokathode soll in ihrem Durchmesser möglichst der Kristallgrösse entsprechen, um eine optimale Anpassung zu erzielen.

Proportional-Zählrohre sind Gasentladungszählrohre, die im Proportionalspannungsbereich arbeiten und für die Zählung sowie Bestimmung der Energie verschiedener Kernstrahlungen geeignet sind. Man verwendet sie häufig zur Unterscheidung von Alpha- und Beta-Strahlen. Alpha-Teilchen können wegen ihrer viel stärkeren Ionisation gegenüber Beta-Teilchen mit einem Proportional-Zählrohr allein gezählt werden, ohne dass die Zählung durch gleichzeitig vorhandene Beta-Teilchen gestört wird. Da man auch Teilchen-Energien messen kann, wird das Proportional-Zählrohr auch zur Spektrometrie benutzt. Zum Nachweis von thermischen Neutronen werden Zählrohre mit Bortrifluorid- (BF_3 -Gas-) Füllung verwendet.

Der *Methan-Durchfluss-Zähler* (Fig. 3) arbeitet als Proportionalzähler mit hohem Wirkungsgrad für Alpha- und Beta-Strahlung. Das radioaktive Präparat lässt sich zur Messung direkt in das Zählrohrinnere (Zählkammer) einbringen. Weiche Strahlungen mit geringer Reichweite werden nicht

durch ein Endfenster absorbiert. Durch die halbkugelförmige Geometrie der Zählkammer ist der Wirkungsgrad gut. Dieser lässt sich bei gleichzeitiger Verwendung von 2 Methandurchflusszählern noch weiter verbessern, wenn diese in eine besondere Bleikammer eingesetzt werden. Beide Zählkammern werden darin gegeneinander gesetzt und dazwischen das Präparat gebracht, so dass eine fast kugelförmige Geometrie erzielt wird.

Der Methandurchflusszähler besteht aus einer abgeschlossenen Zählkammer in Form einer Halbkugelschale, die als Kathode dient. Als Anode ragt eine sehr dünne Molybdändrahtschleife in die Zählkammer hinein. Bei modernen Geräten ist die Zählkammer aus korrosionsfestem V4A-Stahl hergestellt, um bei einer Kontamination (Verunreinigung durch radioaktive Präparate) ein leichtes Reinigen durch Säuren oder Alkalien zu ermöglichen. Zur Abschirmung der Präparate gegen das elektrische Feld des Zählers kann ein anschraubbares weitmaschiges Drahtgitter vor die Zählkammer gebracht werden. Es verhindert die Aufladung der Präparate und Feldverzerrungen bei nichtleitenden Präparaten. Das ständig die Molybdändrahtschleife umspülende technisch reine Methan dient als Zählgas und ermöglicht eine Gasverstärkung. Diese Gasverstärkung beruht auf sekundärer Stossionisation im Gas in der Zählkammer. Das Methan verlässt den Zähler über einen Durchflussmesser.

Die vom zu messenden Präparat in der Zählkammer ausgestrahlten Alpha- und Beta-Teilchen ionisieren eine Anzahl der vorhandenen Gasmoleküle. Hierdurch entstehen positive Ionen und die gleiche Zahl negativer Elektronen. Die Elektronen wandern zum positiven Zähldraht (Anode). Das extrem hohe elektrische Feld an der Anode beschleunigt die Elektronen so stark, dass eine neue sekundäre Stossionisation auftritt. Das Verhältnis der 1. zur gesamten Ionisation wird als Gasverstärkung bezeichnet. Diese Gasverstärkung ermöglicht auch von weichen, schwach ionisierenden Betastrahlen ausreichend grosse Ausgangsimpulse zu erzeugen, die noch vom eingebauten Transistor-Verstärker verarbeitet werden können.

Wie bei den Proportional-Zählrohren lassen sich auch beim Methandurchfluss-Zähler aus der Impulsamplitude Hinweise über die Art der Teilchen entnehmen. Die günstigsten Arbeitspunkte für die Messungen von Alpha- und Beta-Teilchen liegen beim Methandurchfluss-Zähler weit auseinander und differieren um einige 100 V. Hierdurch und wegen der unterschiedlichen Plateaus lassen sich bei gemischten Strahlenquellen Alpha- und Beta-Teilchen getrennt voneinander zählen.

Strahlungsdetektoren für besondere Zwecke

Anschliessend sind noch 2 besondere Strahlungsdetektoren zu erwähnen, und zwar der Antikoinzidenz-Messkopf zur Herabdrückung des störenden Nulleffektes bei der Messung von schwachen Beta-Aktivitäten sowie das Gasfüll-Zählrohr zur Messung von gasförmigen schwachenergetischen Beta-Strahlern.

Antikoinzidenz-Messkopf. Dieser (Fig. 4) besteht im wesentlichen aus einer Geiger-Müller-Zählrohrkombination mit einem Schutzzählrohr und einem Messzählrohr. Das Messzählrohr ist von dem glockenförmigen Schutzzählrohr so weit umschlossen, dass nur noch das hauchdünne Endfen-



Fig. 3

Methan-Durchflusszähler

zur Messung von Beta- und Alpha-Strahlung. Er arbeitet mit technisch reinem Methan als Zählgas

ster von aussen zugänglich ist. Im Mittelteil des Messkopfes befindet sich die transistorisierte elektronische Antikoinzidenzschaltung. Der untere Teil enthält die Hochspannungsschaltung und das Anschlusskabel.

Bei der Messung von Präparaten mit sehr schwachen Beta-Aktivitäten stören die von der hochenergetischen kosmischen Höhenstrahlung stammenden Teilchen das Messergebnis als Nulleffekt bereits erheblich. Beim Antikoinzidenz-Messverfahren wird durch eine Schutzzählrohr-Anordnung der störende Nulleffekt weitgehend unwirksam gemacht. Sobald ein hochenergetisches Teilchen aus der Höhenstrahlung, welches auch eine Bleiabschirmung durchdringen kann, den Messkopf trifft, wird sowohl im Schutzzählrohr als auch im Messzählrohr ein Impuls ausgelöst. Über je einen Verstärker gelangen diese Impulse zu zwei Impulsverlängerern. Durch eine Antikoinzidenzschaltung wird erreicht, dass der im Messkanal liegende Impulsverlängerer nur ansprechen kann, wenn gleichzeitig aus der Höhenstrahlung über das Schutzzählrohr kein Impuls eintrifft und sich damit der Impulsverlängerer im Überwachungskanal im Ruhezustand befindet. Jeder vom Messzählrohr kommende Impuls wird gesperrt, wenn gleichzeitig ein Impuls aus dem Schutzzählrohr im Überwachungskanal auftritt. Hierdurch können nur die vom radioaktiven Präparat ausgelösten Impulse für die Messung ausgewertet werden.

Um die natürliche Umgebungsstrahlung, die auch aus radioaktiven Niederschlägen (fall out) stammen kann, von der Messanordnung fern zu halten und den Nulleffekt auf ein Mindestmass herabzudrücken, wird der Antikoinzidenz-Messkopf in eine grosse Quecksilber-Bleiabschirmung (Fig 5) eingesetzt. Die 50 mm starke Bleiwandung besitzt noch eine schwache natürliche Bleieigenstrahlung. Diese Eigenstrahlung muss zusätzlich durch eine 20 mm dicke Quecksilberschicht in Kunststoffbehältern von allen Seiten von der Messkammer fern gehalten werden. Man erreicht dadurch den sehr niedrigen und kaum mehr störenden Nulleffekt von etwa 1,3 Impulsen pro Minute.

Gasfüll-Zählrohre. Die Aktivitätsbestimmung von gasförmigen niedrigerenergetischen Beta-Strahlern kann nicht mit normalen Strahlungsdetektoren durchgeführt werden. Gasförmige radioaktive Stoffe werden daher vorteilhaft in Gasfüll-Zählrohre eingebracht, bei denen die Strahlung unmit-



Fig. 5

Die «Grosse Quecksilber-Bleiabschirmung»

Sie wiegt 350 kg und dient insbesondere zur Messung geringfügig radioaktiv markierter Präparate

telbar im aktiven Zählvolumen frei wird und ohne Wandabsorption genau gemessen werden kann. In der Zählrohrfassung befindet sich das Hochspannungssiebglied mit den Anschlüssen für das Messkabel. Das Gasfüllzählrohr kann mit ringförmigen Bleiabschirmungen umgeben werden, um den Nulleffekt zu reduzieren.

Strahlenschutz

Wegen der ionisierenden und damit auch biologischen Wirkung aller Strahlenarten ist der direkte und indirekte Strahlenschutz des Menschen die wichtigste Voraussetzung für das Arbeiten mit den verschiedenen Strahlen.

Alpha- und Beta-Strahlen besitzen keine grosse Reichweite und lassen sich, wie bereits erwähnt, leicht abschirmen. Diese beiden Strahlenarten haben aber eine grosse biologische Wirksamkeit und man muss sehr darauf achten, dass sie nicht in Form von radioaktiven Gasen, Flüssigkeiten oder festen staubförmigen Präparaten in den Körper des Menschen gelangen. So ist z. B. Strontium⁹⁰ ein sehr gefährlicher Beta-Strahler, welcher sich in der Knochensubstanz anreichert und dadurch das blutbildende Knochenmark dauernd bestrahlt.

Es ist hierbei zu unterscheiden zwischen somatischen (körperlichen) Strahlenschäden, die den Körper des Betroffenen schädigen und genetischen (erblichen) Strahlenwirkungen, die auf die Nachkommen des Betroffenen schädigend wirken können.

Gamma- und Röntgen-Strahlen sowie Neutronen haben eine grosse Reichweite und lassen sich nur schwer abschirmen. Sie durchdringen leicht den ganzen Körper, wenn man sich nicht dagegen schützt.

Die strengen gesetzlichen Strahlenschutz-Vorschriften verlangen zur individuellen Überwachung aller strahlgefährdeten Personen das Tragen von Taschendosimetern. Filmplaketten, an welchen man nach der Entwicklung am Schwärzungsgrad die empfangene Strahlendosis grob auswerten kann, stellen das älteste «Messgerät» zum Nachweis von Strahlungen dar. Heute werden neben den Filmplaketten meist direkt anzeigennde Taschendosimeter (Fig. 6) benutzt. Das sind kleine Quarzfaden-Elektrometer mit einer

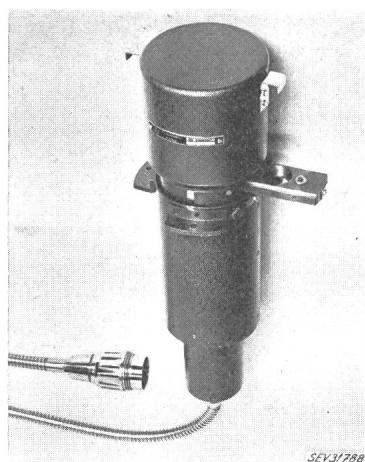


Fig. 4

Antikoinzidenz-Messkopf

zur Messung schwacher Beta-Strahlung mit Geiger-Müller-Zählrohren

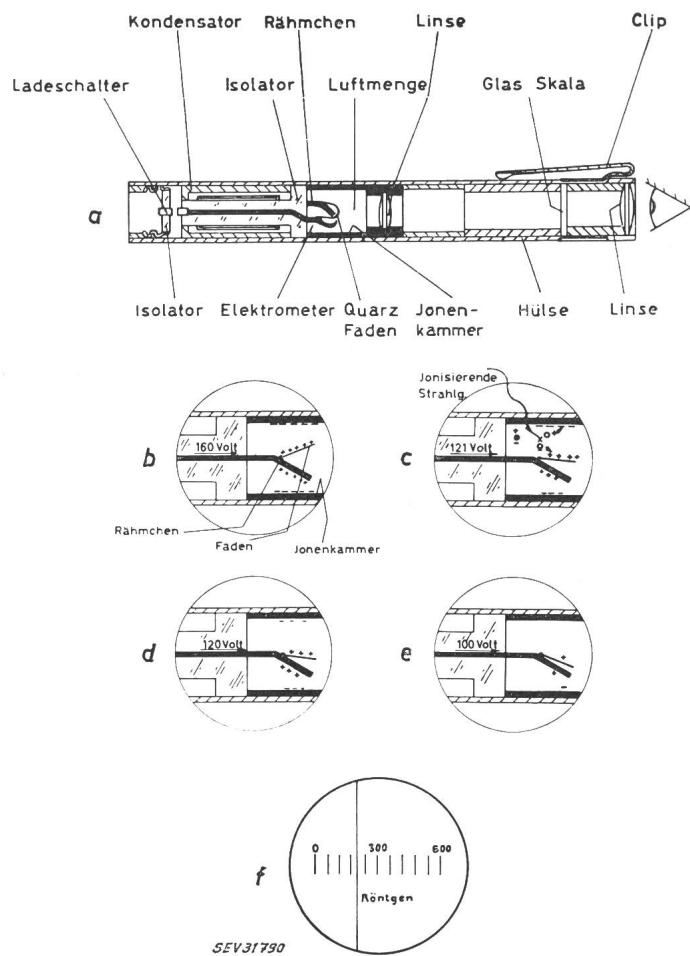


Fig. 6

Aufbau und Wirkungsweise des Strahlenschutz-Taschendosimeters

Ionisationskammer und einer geeichten Skala, eingebaut in ein Taschen-Mikroskop, ungefähr von der Grösse eines Füllfederhalters. Diese Dosimeter dienen der integrierenden Messung von Gamma- und Röntgenstrahlen; sie sind in Röntgen geeicht und für verschiedene Messbereiche erhältlich. Es gibt auch Spezialausführungen für langsame (thermische) Neutronen, die in «rem» geeicht sind und für schnelle Neutronen, mit in «rad» geeichter Skala.

Die Arbeitsweise der Strahlenschutz-Taschendosimeter ist folgende: Mit einem besonderen Ladegerät wird das Elektrometer des Dosimeters auf etwa 160 V aufgeladen, bis der durch das eingebaute Mikroskop zu beobachtende Teil des Quarzfadens auf der Skala bei Null zu stehen kommt. Durch die sehr hohe Isolation aller Teile des Elektrometers, der Ionisationskammer und des Ladekontakte, ist der Ladeverlust äusserst gering. Nach dem Aufladen kommt der innere Ladekontakt mit dem äusseren Ladeschalter nicht mehr in Berührung und ist somit von der äusseren Atmosphäre vollkommen isoliert. Nur beim Laden des Dosimeters, was je nach Bestrahlung etwa alle 8 Tage erforderlich ist, wird durch eine hermetisch verschlossene Wellrohrfeder der Ladeschalter heruntergedrückt und im Ladegerät der äussere mit dem inneren Kontakt des Dosimeters verbunden.

Bei der Durchstrahlung der Ionisationskammer des Dosimeters werden durch Zusammenstoss mit Luftmolekülen Ionenpaare gebildet. Durch ihre entgegengesetzte Polarität wird ein Ionenstrahl erzeugt, der eine entsprechende Entladung des Elektrometers hervorruft. Die Entladung des Elektro-

meters ist der empfangenen Strahlendosis proportional. Wenn man nun durch das Okular des Dosimeters gegen eine beliebige Lichtquelle schaut, lässt sich am Stand des Quarzfadens auf der Skala jederzeit feststellen, ob man einer ionisierenden Gamma- oder Röntgen- bzw. Neutronen-Strahlung ausgesetzt und wie gross die Strahlendosis war. Diese Dosimeter sind äusserst robust und betriebssicher.

Zählratenmesser

Zur Überwachung ionisierender Strahlungen werden heute vielfach Zählratenmesser eingesetzt, die den Mittelwert der Zählrate anzeigen. Der Quotient aus der Zahl der gemessenen Impulse und der Messzeit ist die Zählrate. Die Messbereiche dieser Geräte sind daher in Impulsen pro Minute geeicht. Moderne Zählratenmesser sind meist volltransistorisiert und sofort nach dem Einschalten messbereit, ausserdem besitzen sie eine hohe Betriebssicherheit und lange Lebensdauer. Durch Schreiberanschlüsse lässt sich das Messergebnis laufend automatisch mit Linien-, Punkt- oder Potentiometerschreibern registrieren. Die Betriebsspannungen werden durch elektronische Regelung hochkonstant gehalten, auch bei starken Netzschwankungen.

Als Standard-Messgerät aus der Reihe der Zählratenmesser kann man den *Strahlungs-Monitor* (Fig. 7) bezeichnen. Er gestattet den Anschluss von Geiger-Müller-Zählrohren und zur Empfindlichkeitssteigerung den Anschluss eines besonderen Szintillationsmesskopfes mit eingebautem Transistorverstärker. Der grosse, umschaltbare Messbereich erlaubt die Strahlungsintensität in Räumen und an Arbeitsplätzen zu überwachen oder die radioaktive Verseuchung von Personen und Gegenständen zu kontrollieren. Ebenso lässt sich die Zählrate von radioaktiven Präparaten messen. Die Empfindlichkeit des Monitors ist so gross, dass bereits die stets vorhandene natürliche Strahlung im empfindlichsten Messbereich etwa $\frac{1}{3}$ des Anzeigebereichs des Messinstrumentes



Fig. 7
Strahlungsmonitor
mit Geiger-Müller-Fensterzählrohr im Kernreaktor Karlsruhe

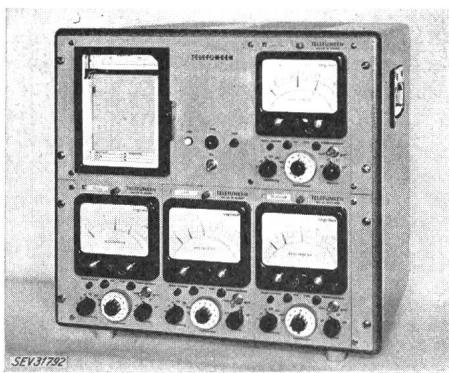


Fig. 8
Überwachungsanlage mit 4 Überwachungs-Zählratenmessern
für 4 Meßstellen

zur automatischen Kontrolle des Strahlungspegels in radioaktiv
gefährdeten Anlagen und Räumen

einnimmt. Eine eingebaute Alarmeinrichtung besitzt eine leicht einstellbare Auslöseschwelle, bei deren Überschreitung durch eine erhöhte Strahlungsintensität ein Warnton entsteht. Der Anschluss weiterer akustischer oder optischer Signalanlagen für andere Räume ist möglich, um auch ausserhalb der Gefahrenzone auf das Überschreiten der zulässigen Aktivität aufmerksam zu machen.

Für grössere Anlagen und höhere Ansprüche ist der *Überwachungs-Zählratenmesser* (Fig. 8) entwickelt worden. Mit diesem Gerät können betriebsmässige Strahlungsüberwachungs-Anlagen mit einer beliebigen Zahl von Meßstellen aufgebaut werden. Solche Anlagen werden nach den gesetzlichen Vorschriften von Kernreaktoranlagen und grösseren Isotopenlaboratorien benötigt, wo Abwässer, Abgase und andere Radioaktivitäten laufend an vielen Stellen überwacht werden müssen. Das Überwachungsgerät steht hierbei in der Überwachungszentrale. Die dazugehörenden Strahlungsdetektoren sind an den zu überwachenden Stellen angebracht und mit besonderen Leitungen mit dem Überwachungs-Zählratenmesser verbunden.

Das Überwachungsgerät enthält je eine über den ganzen Messbereich verstellbare untere und obere Schwelle mit entsprechenden Markierungen auf dem Messinstrument. Bei Überschreitung der durch die obere Schwelle gesicherten, zulässigen Zählrate wird die Alarmeinrichtung der Überwachungsanlage sofort in Betrieb gesetzt und es können zusätzlich automatisch die erforderlichen Sicherheitsmassnahmen eingeleitet werden. Ebenso wird bei Unterschreitung der natürlichen oder zugelassenen Mindest-Aktivität unter die untere Schwelle die Alarmeinrichtung betätigt. Hierdurch ist sichergestellt, dass auch die Betriebsbereitschaft der einzelnen Strahlungsdetektoren und ihrer Zuleitungen jederzeit unter Kontrolle stehen.

Ein eingebauter 6fach-Punktschreiber kann die jeweilige Zählrate der Zählratenmesser registrieren. Der gleichfalls eingebaute Prüfimpulsgenerator dient zur Funktionskontrolle der Zählratenmesser. Die Prüfimpulse können durch einen Umschalter wahlweise an die Verstärkereingänge der Zählratenmesser gelegt werden.

Der *Präzisions-Zählratenmesser* ist für die genaue Ermittlung und Registrierung der Zählrate einer Strahlenquelle bestimmt. Er kann auch für betriebsmässige Dauerüberwachungen verwendet werden. Von dieser Möglichkeit wird Gebrauch gemacht, wenn Strahlungsdetektoren angeschlos-

sen werden sollen, die Hochspannungen über 2 kV oder mit sehr hoher Konstanz benötigen. Für Sonderaufgaben bei der Strahlungsüberwachung lässt sich das Gerät ebenfalls verwenden, z. B. zur Aufzeichnung der Zählrate einer bestimmten Energielinie aus dem Energiespektrum eines radioaktiven Präparates. Zur genauen Bestimmung der Aktivität einer Strahlenquelle werden die vom Strahlungsdetektor gelieferten Impulse während einer bestimmten Messzeit gezählt. Die Genauigkeit der Messung wächst mit der Zahl der gemessenen Impulse und mit der Vergrösserung der Messzeit.

Der Apparat besitzt im Gegensatz zu den erwähnten Zählratenmessern eine streng logarithmische und eine lineare Anzeige. Er wird in erster Linie verwendet um die zeitliche Änderung einer Aktivität zu messen. Die streng logarithmische Skala gestattet die zeitliche Abnahme der Radioaktivität eines reinen Strahlers als Gerade auf dem anschliessbaren Schreiber darzustellen, die bei einer linearen Anzeige eine exponentiell verlaufende Kurve ergeben würde. Präparate, die mehrere Strahlenarten mit verschiedenen Halbwertzeiten abstrahlen, sind bei einer streng logarithmischen Messung sofort daran zu erkennen, dass ein Abweichen von der Linearität auf dem Schreiber festgestellt wird.

Der eingebaute Amplitudendiskriminator ist wahlweise als Differential- oder als Integral-Diskriminator verwendbar. Er dient als Differential-Diskriminator zur Impulsauswahl entsprechend der eingestellten Kanallage und Kanalbreite. Bei der Schaltung als Integral-Diskriminator wird das Kanallagen-Potentiometer zur Schwelleneinstellung verwendet. Der Integral-Diskriminator unterdrückt Störpulse bzw. unerwünschte Impulse, die unterhalb der Schwelle bzw. Signalamplitude liegen.

Aktivitäts-Messgeräte

Zu den Hauptaufgaben der Strahlungsmesstechnik gehört die Aktivitätsmessung durch Zählung der Impulse, die bei Einwirkungen eines Strahlungs-Quantes oder Teilchens in einem Strahlungsdetektor ausgelöst werden. Die Impulszählung kann mit Hilfe eines Strahlungsdetektors in einem Strahlungsmessgerät erfolgen, das nach der digitalen Messmethode oder nach dem Analogverfahren arbeitet. Das digitale Strahlungsmessgerät zählt die Impulse in einer vorgewählten Messzeit. Man wendet die digitale Messmethode hauptsächlich an, wenn die Strahlungsaktivität während der Messzeit annähernd konstant bleibt. Für Überwachungsaufgaben, bei denen die zeitliche Änderung einer Aktivität laufend kontrolliert werden muss, benützt man als Strahlungsmessgerät Zählratenmesser, die nach dem Analogverfahren arbeiten.

Die Impulszählung erfolgt beim digitalen Strahlungsmessgerät mit mehreren hintereinander geschalteten dekadischen Zählröhren und einem elektromechanischen Zählwerk. Über einen Vorverstärker und Impulsformer gelangt jeder Impuls auf die 1. dekadische Zählröhre. Mit jedem einfallenden Impuls rückt der Elektronenstrahl der Zählröhre auf der Ziffernreihe von 0 bis 9 um eine Ziffer weiter, wobei die Ziffer jeweils aufleuchtet. Von der Ziffer 9 der 1. dekadischen Zählröhre springt der Elektronenstrahl beim nächsten Impuls auf Null zurück und gibt gleichzeitig einen Impuls an die nächste Zählröhre ab, die nun ebenfalls mit Eins zu zählen beginnt, wobei 1 in der 2. Zählröhre 10, in der 3. Stufe 100 usw. bedeutet. Um die Anzahl der dekadischen Zählröhren nicht unnötig zu vergrössern, werden für die höheren Zähldeka-



Fig. 9
Digitales Standard-Strahlungsmessgerät
 mit elektrischer Schaltuhr im Kernreaktor Karlsruhe

den, die ja nur langsamere Zählschritte auszuführen haben, elektromechanische Zählregister verwendet. Die Zählkapazität der digitalen Strahlungsmessgeräte ist je nach Apparatetyp verschieden und beträgt z. B. 10^6 oder 10^7 Impulse.

Für die Zeitvorwahl benötigt jedes digitale Strahlungsmessgerät eine Zeitschaltuhr. Nach dem Ablauf der vorgewählten Messzeit schaltet diese Uhr das Messgerät ab. Am Zählgerät kann nun die während dieser Zeit gemessene Zahl der Impulse abgelesen werden.

Ein digitales Standard-Strahlungsmessgerät (Fig. 9) eignet sich zur Aktivitätsmessung von Alpha-, Beta- und Gamma-Strahlung mit allen selbstlöschenden Geiger-Müller-Zählrohren, die mit Spannungen zwischen 300 und 2000 V betrieben werden. Durch die grosse Eingangsempfindlichkeit, die Konstanz der Hochspannung und das zeitliche Auflösungsvermögen der Impulsfolge kann dieses Gerät für viele Messaufgaben in Instituten und Laboratorien, aber auch für Lehrzwecke und Praktikumsversuche verwendet werden.

Zur automatischen Reihenuntersuchung von radioaktiven Präparaten gehört ein grosser digitaler Strahlungsmessplatz³⁾,

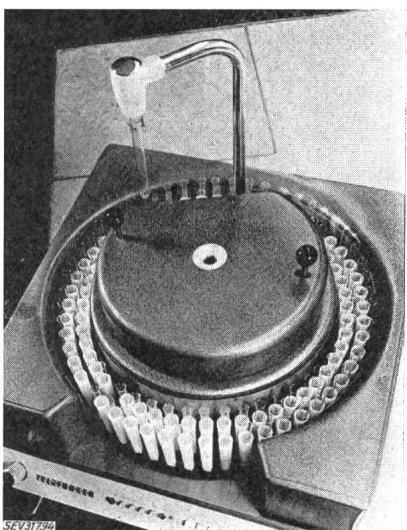


Fig. 10
Automatischer Probenwechsler
 für 100 Reagenzgläser mit radioaktiven Präparaten

³⁾ Siehe Bull. SEV 53(1962)5, S. 210.

welcher durch seine komfortable Ausrüstung hierfür besonders geeignet ist, und ein automatischer Probenwechsler.

Dieser Probenwechsler (Fig. 10) wird vom Strahlungsmessplatz so gesteuert, dass nach Beendigung der vorgewählten Zeit oder Impulszahl automatisch ein neue Probe unter den am Wechsler montierten Strahlungsdetektor geschoben wird. Dadurch kann über längere Zeit eine grosse Anzahl Proben gemessen werden.

Messgeräte zur Spektrometrie von Kernstrahlungen

Ähnlich der optischen Spektralanalyse zur qualitativen Untersuchung eines Stoffes kann man auch Kernstrahlungen bzw. radioaktive Isotope analysieren. Um die Zusammensetzung einer Kernstrahlung nach Art, Energie und Intensität zu bestimmen, benötigt man einen Impulshöhen-Analysator, auch Spektrometer genannt. Er ermöglicht die genaue Analyse des von einer Kernstrahlung über einen Strahlungsdetektor gelieferten Impulshöhenpektrums. Das Spektrum ist die Häufigkeitsverteilung der Impulse, deren Amplitude von der Energie der Strahlung abhängt.

Die Impulshöhenanalyse beruht auf der Umwandlung der Energie von im Strahlungsdetektor absorbierten Strahlungs-Quanten oder Teilchen in energieproportionale elektrische Spannungsimpulse. Die Impulse werden im Impulshöhenanalysator ihrer Höhe nach sortiert und getrennt gezählt. Die dadurch gewonnene Impulshöhenverteilung ist das Abbild des Energiespektrums der Kernstrahlung.

Folgende Verfahren der Impulshöhenanalyse sind zu unterscheiden:

1. *Einkanal-Spektrometrie*. Dieses Verfahren ist wenig aufwendig, aber genau. Es ist nur nicht besonders schnell, da nur ein Bruchteil der angebotenen Impulse ausgewertet und das Abtasten über den ganzen Auswertebereich mit einem Kanal kaum unter 15 min herabgedrückt werden kann.

2. *Graukeil-Spektrometrie*. Sie ist sehr wenig aufwendig, aber nicht so genau wie die Einkanalspektrometrie, dafür schnell, weil alle angebotenen Impulse ausgewertet werden.

3. *Vielkanal-Spektrometrie*. Dieses Messverfahren ist sehr aufwendig, genau und schnell. Es werden alle angebotenen Impulse ausgewertet, und das Ergebnis ausgedruckt.

Der *Einkanal-Impulshöhen-Analysator* (Fig. 11) führt die vom Szintillationszähler kommenden Impulse über einen Spannungsteiler zu einem Linearverstärker. Nach entsprechender Verstärkung gelangen die Impulse zu einem Amplitudenselektor. Dieser besitzt zwei Schwellen, die um eine in verschiedenen Stufen wählbare konstante Kanalbreite auseinander liegen. Nur wenn die Impulsamplitude zwischen den beiden Schwellen in den Kanal fällt, erscheint am Ausgang ein Impuls. Bei Unter- oder Überschreiten der Kanalschwellen wird kein Ausgangssignal abgegeben.

Durch langsames automatisches Verschieben des Kanals (bei konstanter Kanalbreite) über den ganzen Auswertebereich, erhält man die Impulshäufigkeit in Abhängigkeit von der Strahlungsenergie. Zur Aufzeichnung der Häufigkeitsverteilung der Impulse wird die Zahl der pro Zeiteinheit vom Amplitudenselektor gelieferten Impulse durch einen Integrator in einen Analogwert umgewandelt. Der Integrator liefert dabei eine Gleichspannung, die proportional der mittleren Zählrate ist. Der Mittelwert wird vom Messinstrument des eingebauten und in Impulsen/min geeichten Zählratenmessers linear angezeigt und gleichzeitig einem Linien-Schreiber zugeführt, der die Häufigkeitsverteilung als Spek-



Fig. 11

Impulshöhen-Analysator mit Strahlungsdetektor
in Bleikammer zur spektrometrischen Auswertung radioaktiver Präparate

trum laufend aufzeichnet. Über ein Logarithmierteil lässt sich der Mittelwert auch logarithmisch aufzeichnen.

Vor dem Integrator besteht ein Anschluss für ein digitales Zählgerät, um auch die zu messenden Impulse für eine vorgeählte Zeit einzeln zählen zu können.

Einige Wissenschaftler und Radiochemiker, die keine Elektroniker sind, haben eine verständliche Abneigung gegen komplizierte und schwer bedienbare Messgeräte. Moderne Einkanal-Impulshöhen-Analysatoren sind deshalb leicht bedienbar und besitzen den dafür erforderlichen Komfort. Hierzu einige Beispiele: Die bereits oben erwähnte automatische Kanallagenverschiebung sorgt gleichzeitig für den synchronen Papivorschub des Linienschreibers. Die Anfangs- und Endwerte der Kanallage werden auf dem Registrierpapier automatisch markiert. Die vom Linearverstärker kommenden Impulse können in ihrer Gesamtheit in einem zwangssynchronisierten Oszillographen beobachtet werden. Für Reihenmessungen ist die Anschlussmöglichkeit und automatische Steuerung von Probenwechslern vorgesehen.

Die *Graukeil-Spektrometrie* ist für die Spektrometrie von Isotopen mit kurzer Halbwertszeit und solche geringer Aktivität dem Einkanalverfahren vorzuziehen. Man wird die Graukeilspektrometrie immer dort anwenden, wo ein Vielkanal-Analysator nicht zur Verfügung steht oder zu aufwendig ist und wenn eine geringere Messgenauigkeit der Zählrate in Kauf genommen werden kann.

Besonders vorteilhaft für die Graukeil-Spektrometrie sind Einkanal-Impulshöhen-Analysatoren, die durch einen eingebauten Impulsverlängerer und entsprechenden Umschalter die Möglichkeit besitzen, zusätzlich auch das Graukeilverfahren anzuwenden.

Bei der Graukeil-Spektrometrie werden alle vom Strahlungsdetektor angebotenen Impulse ausgewertet. Das Spektrum wird während der Messung sofort durch einen über den Bildschirm des Oszillographen angebrachten optischen

Graukeil sichtbar gemacht. Durch die photographische Aufnahme des Spektrums nach einer Belichtung von etwa 1 min erhält man nach der Entwicklung gut auswertbare Spektren. Bei der Verwendung einer Polaroid-Photokamera, die sich leicht mit Einblicktubus und Graukeil zusammen vor den Bildschirm montieren lässt, sind schon 10 s nach der Aufnahme brauchbare Spektren zu erhalten.

Das Messprinzip der Graukeil-Spektrometrie ist folgendes:

Den vom Linearverstärker des Spektrometers kommenden Impulsen werden in der Höhe ihrer Scheitelpunkte durch einen Impulsverlängerer horizontale Dächer angehängt, die der Bildschirmbreite entsprechen und die nach einigen Mikrosekunden wieder nach Null abklingen. Die so verlängerten Impulse werden im Oszillographen des Gerätes sichtbar gemacht. Die Zeitablenkung wird dabei von jedem Impuls neu ausgelöst, desgleichen die Helltastung. Die häufiger vorkommenden Amplituden, welche den Linien des Spektrums entsprechen, sind wesentlich heller und heben sich von den dunkleren Linien der seltener vorkommenden Amplituden gut ab. Um das Spektrum auswerten zu können, muss über das Schirmbild ein optischer Graukeil befestigt werden. Dieser Graukeil schwächt das Schirmbildspektrum, der Schreibrichtung entgegen, von 1 : 1 bis etwa 1 : 100 stetig zunehmend ab. Die hellen Linien des Spektrums sind daher im dunklen Bereich des Graukeils weiter sichtbar wie die dunklen Linien. Da das Auge nicht in der Lage ist, die Helligkeitsunterschiede der einzelnen Linien ausreichend genau zu mitteln, wird erst durch die photographische Aufnahme des Graukeilspektrums ein sicheres und bleibendes Dokument des gemessenen Spektrums geschaffen.

Vielkanal-Spektrometer (auch *Vielkanal-Rechen-Analysatoren* genannt) können die vom Strahlungsdetektor kommenden Impulse, weitgehend unabhängig von ihrer Grösse, der Amplitude nach sortieren. Sie werden bei modernen Geräten in mehrere Hundert aneinander anschliessender Kanäle sortiert. Jedem Kanal ist bei diesen Vierkanal-Spektrometern eine Adresse des Ferrit-Magnetkern-Speichers zugeordnet. Die Speicherinhalte sämtlicher Adressen können nach der Messung als Energiespektrum auf dem Schirmbild einer Oszillographenröhre dargestellt und ausgewertet oder zur Dokumentation photographiert werden. Die Speicherinhalte lassen sich auch zur späteren Betrachtung oder Auswertung mit einem Tonbandgerät oder Lochstreifen für unbegrenzte Zeit speichern und können dann in den Ferrit-Magnetkern-Speicher wieder eingegeben werden. Weitere Vorteile sind das Ausdrucken der Inhalte aller Speicherkanäle durch einen Digitaldrucker und die Einzeldarstellung des Kanalinhaltens mit Anzeigeröhren. Zusätzlich kann das Spektrum mit einem XY-Schreiber geschrieben werden. Diese Darstellung entspricht dem Spektrum auf dem Oszillographen-Schirmbild.

Der technische und elektronische Aufwand eines modernen Vielkanal-Spektrometers, das alle Anforderungen nach dem neuesten Stand der Technik erfüllen soll, ist erheblich. Seine Funktion lässt sich im Rahmen dieses Aufsatzes nicht mit einigen Sätzen erklären. Daher soll nur noch erwähnt werden, dass auch beim Vielkanal-Verfahren wie bei der Graukeilspektrometrie den Eingangsimpulsen in der Höhe ihrer Maximal-Amplitude horizontale Dächer angehängt werden. Mittels einer Sägezahnspannung lässt sich die Zeit

messen, die vom Beginn des Startes der Sägezahnspannung bis zur Amplitudengleichheit mit dem Impulsdach vergeht und der Impulsamplitude proportional ist. Durch das gleichzeitige Anschwingen eines Oszillators wird ausgezählt, wieviele Perioden der Oszillatorschwingung vom Beginn des Sägezahnstartes bis zum Zusammentreffen mit der Maximal-Amplitude des Impulses verstrichen sind. Hierdurch erhält man die gewünschte Zuordnung der Impulsamplitude zu einem der oben genannten Kanäle.

Literatur

[1] *Braunbek, W.*: Grundbegriffe der Kernphysik. München: Thiemig 1958.

- [2] *Braunbek, W.*: Kernphysikalische Messmethoden. München: Thiemig 1960.
- [3] *Kment, V. und A. Kuhn*: Technik des Messens radioaktiver Strahlung. Leipzig: Geest & Portig 1961.
- [4] *Fränz, K.*: Einführung in die Elektronik der Strahlungsmessgeräte. Ulm (Donau): S.-A. Telefunken 1960.
- [5] *Fränz, K.*: Strahlungsdetektoren und Strahlungsmessgeräte. Ulm (Donau): S.-A. Telefunken 1961.
- [6] *Boucke, G.*: Zählratenmesser mit linearer und logarithmischer Skala. Telefunken-Ztg. 35(1962)135, S. 12...19.
- [7] *Schulz, J.*: Graukeilspektroskopie mit dem Impulshöhenanalysator. Ulm (Donau): S.-A. Telefunken 1959.

Adresse des Autors:

K. Bartneck, Telefunken GmbH, Anlagen-Hochfrequenz, Ulm/Donau (Deutschland).

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Le choix du nouvel — et peut-être dernier — échelon de tension en courant alternatif: 700...750/765 kV¹⁾

621.311.13

Depuis le début du siècle le développement des consommations d'énergie électrique entraîne une montée des tensions des lignes de transport.

Cette montée est discontinue dans chaque pays car les postes de transformation sont coûteux et le souci de ne pas les multiplier conduit à espacer suffisamment les échelons de tension successifs.

Au fur et à mesure que les tensions montent, leurs rayons d'action s'élèvent, les lignes électriques franchissent de plus en plus souvent les frontières politiques, et ceci confère une nécessité croissante à une normalisation internationale que justifierait déjà l'intérêt de réduire les coûts des matériaux en les construisant par séries plus importantes.

La tension de 225 kV, utilisée pour la première fois en Californie en 1925 et qui s'est beaucoup généralisée dans les années précédant la deuxième guerre mondiale, avait été un succès pratique de normalisation.

Après la guerre, devant un grand nombre de projets d'utilisation de tensions plus élevées mais très variées, les réunions tenues à Lucerne et à Paris dans le cadre de la Commission Electrotechnique Internationale avaient abouti à normaliser l'échelon de 380 kV nominal, 420 kV maximum. C'était le résultat d'un compromis entre la Suède qui se préparait à faire du 350 kV nominal et divers pays qui envisageaient des tensions allant de 400 nominal à 440 nominal.

La Suède a été la première à réaliser un transport à 380 kV, mais son exemple a été très vite suivi par différents pays de l'Europe de l'ouest et le réseau correspondant que l'on dénomme maintenant plus souvent 400 kV nominal se développe de plus en plus, non seulement dans tout l'ouest du continent Européen, mais aussi dans l'est de l'Europe (Pologne, Roumanie, Tchécoslovaquie, Yougoslavie), dans les îles Britanniques et dans quelques autres pays (Brésil, etc...).

Les dénominations de 380 kV et 400 kV nominal correspondent d'ailleurs bien en fait au même matériel et aux mêmes conditions d'exploitation qui sont caractérisées par la valeur de 420 kV pour la tension maximum, valeur sur laquelle l'accord est unanime.

Malheureusement la normalisation internationale n'a pas été observée dans deux cas très importants:

Aux USA le premier réseau qui ait eu besoin d'une tension de cet ordre était un réseau équipé non pas en lignes à 225 kV mais seulement en lignes à 135 et 150 kV; il s'est fié à une étude économique qui conduisait pour son cas particulier à un optimum

de tension de l'ordre de 345 kV. A l'époque il n'avait pas encore été mis en évidence que les optima de ce genre sont extrêmement plats, mais en fait l'économie d'une solution à 380 kV n'aurait pas présenté de différence significative par rapport à l'économie d'une solution à 345 kV. D'autre part ce réseau ne visait dans sa décision que son cas particulier alors que l'intérêt de l'unité de tension dans une zone à l'échelle du très grand rayon d'action des tensions de cet ordre a imposé en fait son choix aux autres réseaux du pays.

L'URSS de son côté équipait les deux grandes artères de la Volga à Moscou (4 circuits) à la tension normalisée, mais les projets étaient préparés avec une telle prudence et de tels coefficients de sécurité qu'aussitôt la première artère en service il apparut que la plupart des ouvrages pouvaient en fait tenir la tension de 500 kV au lieu de 400 kV. Ce relèvement de tension apparaissait si payant dans ces conditions de suréquipement qu'il n'était pas question de ne pas profiter de cette récupération économique pour le seul motif de respecter une norme.

Malgré l'objection de principe que soulève toujours en normalisation la régularisation des dissidences, l'importance considérable des réseaux en cause tant aux Etats-Unis qu'en Russie conduis à inscrire les deux tensions correspondantes, en plus de la tension 400 nominal 420 maximum, dans la normalisation internationale. Celle-ci comprendra ainsi une série beaucoup plus nombreuse d'échelons de tension, caractéristique d'une situation finale peu logique mais à laquelle il faut bien se résigner. Sa seule contrepartie est de nous alerter tous sur les efforts à faire pour éviter dans l'avenir des situations aussi peu satisfaisantes.

Lors de ces divers choix de tensions, c'est-à-dire autour de l'année 1955, l'utilité d'un échelon de tension encore plus élevé était généralement considérée comme très lointaine.

Mais dans les toutes dernières années il est devenu assez brusquement clair que ce problème se posait au contraire à un terme bien plus rapproché qu'on ne l'avait cru en général.

En fait la décision est pratiquement prise de construire pour 1965 une artère à une tension de l'ordre de 700 kV au Canada dans la province de Québec, et l'équipement de la Sibérie amène l'URSS à envisager des transports massifs à plus de 1000 km de distance pour des dates à peine plus éloignées.

Il était donc tout à fait temps de chercher un accord international sur la valeur de ce nouvel échelon de tension.

La nécessité d'un tel accord est facile à démontrer:

Au point de vue de ces très gros matériaux, il s'agit de construire des transformateurs, des disjoncteurs, etc..., en un nombre au total assez réduit alors que leur mise au point nécessitera des frais d'études très élevés et que leur coût de fabrication comprendra des charges fixes considérables. Il n'est pas désirable que chaque pays s'équipe pour tout construire et un gaspillage au point de vue de l'économie mondiale résulterait de la dispersion excessive des fabrications qu'entraînerait certainement une dispersion des niveaux de tension choisis.

¹⁾ Voir aussi *P. Ailleret*: Le choix du nouvel — et peut-être dernier — échelon de tension en courant alternatif: 700—750/765 kilovolts. Rev. gén. électr. 46(1962)12, p. 531...534.