

## Strahlungselektrometer \*

Von B. Heß und H. Frank

Eingegangen am 9. 8. 1968

Die Zahl der Methoden, die zur Messung der Intensität ionisierender Strahlung oder zur Messung der verabfolgten Strahlendosis angewendet werden, ist sehr groß<sup>1</sup>. Der Gebrauch vieler verschiedener Verfahren zur Bestimmung einer physikalischen Größe zeigt einerseits die Bedeutung, die den betreffenden physikalischen Größen zukommt, aber andererseits läßt die Verwendung vieler verschiedener Methoden immer auch erkennen, daß die einzelnen Methoden jeweils nur einem Teil der Forderungen genügen, die an die Messung gestellt werden. Einmal wird von der Messung große Genauigkeit verlangt; das andere Mal ist, wie z. B. bei Strahlenschutzmessungen, nur geringe Genauigkeit notwendig, dafür jedoch ein großer Meßbereich von kleinsten bis zu schädigenden Dosen wünschenswert. Unabhängigkeit des Meßresultates von der Temperatur, Zuverlässigkeit des Meßgerätes ohne Wartungsansprüche, große mechanische Unempfindlichkeit oder Unabhängigkeit von einer Stromversorgung sind ebenfalls häufig gestellte Forderungen. Oft sind auch Billigkeit der Herstellung, laien-sichere Handhabung, das Fehlen von Alterungserscheinungen und andere Eigenschaften notwendige Voraussetzungen für die zu wählende Meßmethode<sup>2</sup>.

In besonders zuverlässiger und meßtechnisch einfacher Weise läßt sich die verabfolgte Strahlendosis mit dem 1941 angegebenen *Strahlungselement*<sup>3</sup> messen. Industriell wurde ein nach diesem Verfahren arbeitendes Personendosimeter entwickelt<sup>4</sup>.

Beim Strahlungselement stehen sich im Vakuum Oberflächen aus voneinander isoliertem Material verschiedener Ordnungszahl gegenüber, die sich durch ihren äußeren Photo- bzw. Comptonelektroneneffekt unterscheiden. Die bei Bestrahlung entstehende elektrische Spannung wird mit einem gut isolierten Elektrometer, meist einem Einfadenelektrometer, gemessen.

In den folgenden Ausführungen wird die methodische Weiterentwicklung des Strahlungselements zum *Strahlungselektrometer* beschrieben. Das Strahlungselektrometer ist ein Elektrometer höchster Ladungsempfindlichkeit bei einfachster Bauart, das gleichzeitig die Rolle des Strahlungsempfängers erfüllt.

Wir wissen aus der ersten Stunde unseres Physikunterrichtes über Elektrizität, daß mit Holundermarkkugeln kleine Ladungen bequem nachgewiesen und gemessen werden können. Wir wissen ferner aus dem *Millikanschen Versuch*, daß in einem elektrostatischen Feld durch die Kraftwirkung auf die kleinste Ladung sogar das elektrische Elementarquantum bequem nachgewiesen und gemessen werden kann.

Um diese Versuche zu einer technisch brauchbaren Meßmethode zu entwickeln, kommt es darauf an, daß wir

1. die *rücktreibende Kraft* geschickt in den Griff bekommen,
2. eventuell auftretende *Reibungskräfte* soweit als möglich verringern.

Bei den an langen Fäden aufgehängten Holundermarkkugeln verändert sich die als rücktreibende Kraft wirkende tangentielle Schwerkraftkomponente mit dem Ausschlag. Um diese variable Schwerkraftkomponente klein zu halten, sind sehr lange Aufhängefäden notwendig.

Bei dem Millikanschen Versuch wird als rücktreibende Kraft das ganze Gewicht des Öltröpfchens, eine gleichbleibende, also ortsunabhängige Kraft, verwendet.

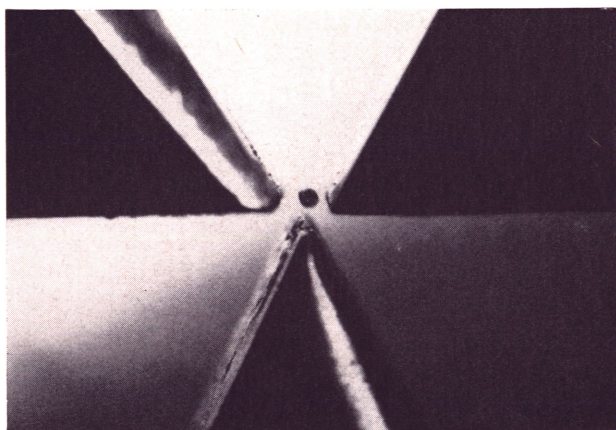
\* Als Vortrag veröffentlicht in „Colloque d'Electronique Nucléaire et Radioprotection“, Toulouse, 4. bis 8. März 1968, Bd. I, Session III

Anschrift der Verfasser: Prof. Dr. B. Heß und Dr. H. Frank, Physikalisches Institut Regensburg, 84 Regensburg, Ägidienplatz 2

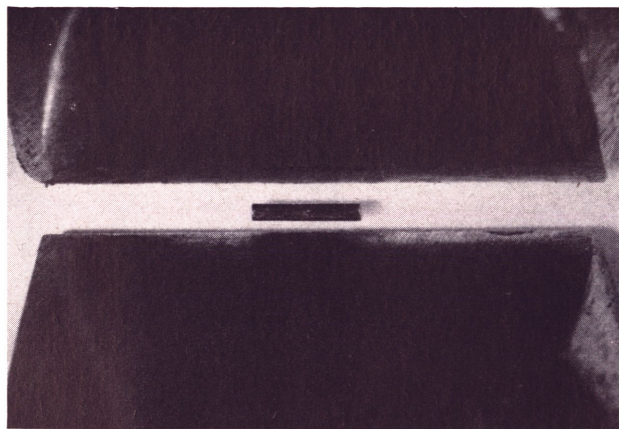
Beide Verfahrensweisen sind für unseren Zweck, die Konstruktion eines Meßgerätes, noch nicht geeignet.

Diese Versuche wurden in der Weise abgewandelt, daß als *rücktreibende Kraft* eine Kraftwirkung benutzt wurde, die sich erstens beliebig klein machen und zweitens in einen beliebigen Kurvenverlauf bringen läßt. Dafür eignet sich nicht die ungebührenderweise so vielfach zur Anwendung kommende elastische Kraft; man muß eine der beiden Fernwirkungskräfte, die elektrostatische Kraftwirkung oder die Kraft im magnetischen Feld, benutzen. Bei dem hier gezeigten Strahlungselektrometer wird die Kraftwirkung im magnetischen Feld eines Dauermagneten benutzt.

Um die *Reibung* möglichst gering zu halten und besonders um von der Haftreibung frei zu werden, benutzen wir zur Anzeige einen diamagnetischen Körper, der frei im Magnetfeld schwimmt. *Bild 1* zeigt ein frei im Magnetfeld schwimmendes Graphitzylinderchen (Durchmesser 1 mm) und *Bild 2* ein 3 mm langes Wismutstäbchen (in einer etwas anderen Magnetanordnung), dieses von oben gesehen.

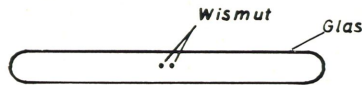


*Bild 1:* Im Magnetfeld schwimmendes Graphitzylinderchen (Durchmesser 1 mm)

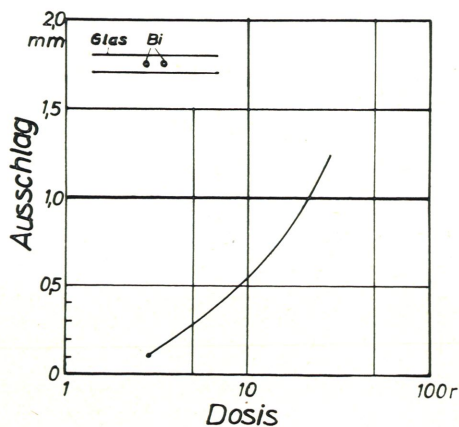


*Bild 2:* Im Magnetfeld schwimmendes 3 mm langes Wismutstäbchen, von oben gesehen

Zwei kleine Körnchen z. B. aus Wismut in einem evakuierten Glasröhrchen, das sich im Magnetfeld befindet, stellen das ganze Strahlungsmesssystem dar (*Bild 3*). Trifft Röntgen- oder Gammastrahlung auf dieses System, so laden sich die Wismutkörnchen mehr und mehr positiv auf und stoßen sich ab. Sie bewegen sich so lange, bis die rücktreibende magnetische Kraft und die abstoßende elektrostatische Kraft gleich groß sind. Der Abstand bleibt beliebig lange unverändert erhalten, da die Ladungsträger sich im ideal isolierenden Vakuum befinden. Außer der abstoßenden Kraftwirkung der beiden Wismutkörnchen aufeinander sind natürlich auch die anziehenden Kräfte zu den praktisch auf Erdpotential liegenden Wänden des Glasröhrchens vorhanden. Das die Wismutkörnchen tragende magnetische Feld nimmt aber nach den Seiten zur Wand des Röhrchens hin zu, so daß sich die Wismutkörnchen in der Feldstärkenmulde in Richtung der Achse des Röhrchens bewegen, nur ihren einander abstoßenden Kräften folgend. Die schwache Rückstellkraft wurde bei den hier beschriebenen Ausführungen in einfacher Weise dadurch erreicht, daß von den drei Polschuhen in *Fig. 1* und *2* nur zwei genau gerade und einander parallel waren, während die Schneide des dritten unteren Pols ganz schwach mit einem Krümmungshalbmesser von 44 cm gekrümmt war. Die größte Entfernung der gekrümmten Schneide von den beiden parallelen lag in der Mitte, so daß auf das zwischen den Polschneiden schwebende diamagnetische Material eine ganz schwache Kraft in Richtung zur Mitte der Polschuhe wirkte. Die Wismutkörnchen waren noch ziemlich groß, etwa 0,1 mm dick; der Durchmesser des Glasröhrchens war 2,6 mm.



*Bild 3:* Schematische Zeichnung eines Zweipunkt-Strahlungselektrometers

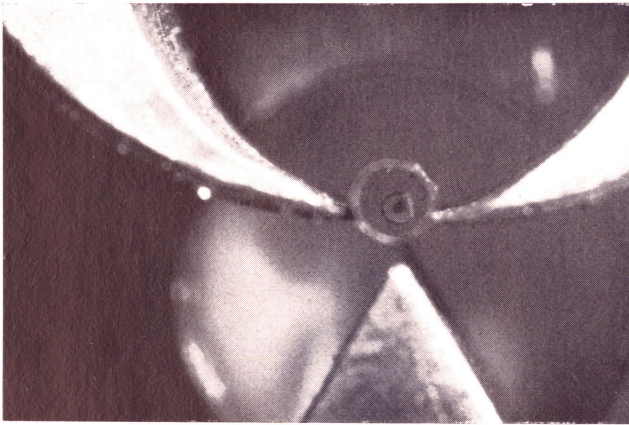


*Bild 4:* Empfindlichkeitskurve eines Zweipunkt-Strahlungselektrometers mit Wismutkörnchen

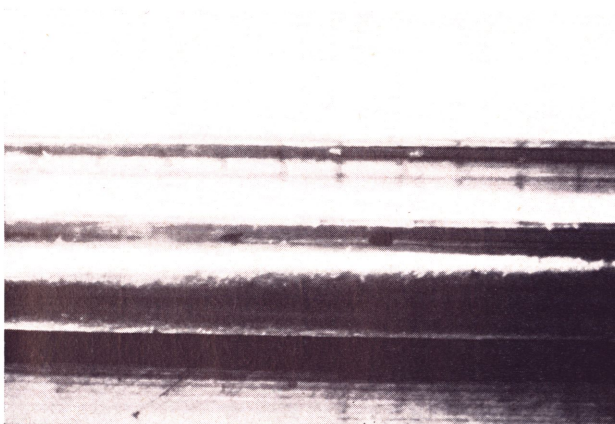
*Bild 4* gibt die Empfindlichkeitskurve, also die Entfernung der beiden Körnchen voneinander in Abhängigkeit von der verabfolgten Dosis, wieder. Die Ablesegenauigkeit war nur 0,1 mm. Der ausgemessene Bereich erstreckte sich von 3 bis 30 r. Die gezeigten Empfindlichkeitskurven der verschiedenen Systeme stammen jeweils von der ersten vom Mechaniker gefertigten Ausführung, woraus die Einfachheit der Herstellung ersehen werden soll. Die Empfindlichkeit und der Meßbereich lassen sich vergrößern.

Alle Bestrahlungsversuche wurden durchgeführt mit Röntgenstrahlung von 100 kV und Eisenfilterung. Die Elektrometersysteme befanden sich während der Bestrahlung in einem Glasröhrchen, das evakuiert wurde.

In *Bild 5* ist ein schwebendes Graphitzylinderchen gezeigt, das diesmal von einem dünnen Zylinder aus Goldfolie umgeben ist. *Bild 6* zeigt dieselbe Anordnung von oben gesehen, jetzt jedoch mit 2 Graphitkörnchen in ca. 1 mm Abstand, die wir durch den Spalt des nicht ganz geschlossenen Goldfolienzylinders erkennen können. Das Goldzylinderchen mit seinen Graphitkügelchen im Innern befindet sich wieder in einem evakuierten Glasröhrchen.



*Bild 5:* Im Magnetfeld schwebendes Graphitzylinderchen, umgeben von einem Zylinder aus dünner Goldfolie



*Bild 6:* Zwei im Magnetfeld schwebende Graphitkörnchen, von einem oben nicht ganz geschlossenen Goldfolienzylinder umgeben, von oben gesehen

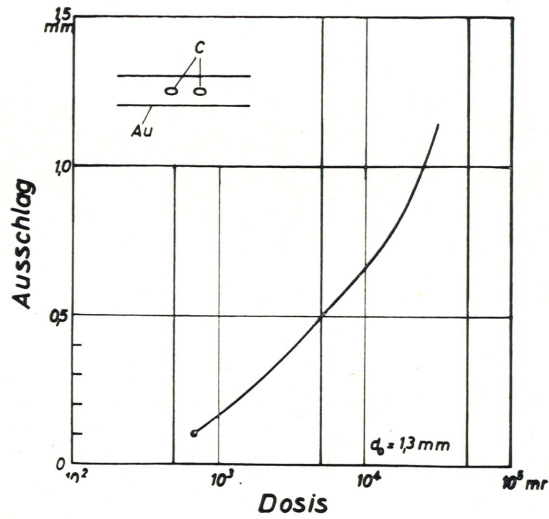


Bild 7: Empfindlichkeitskurve zum Elektrometersystem Bild 6

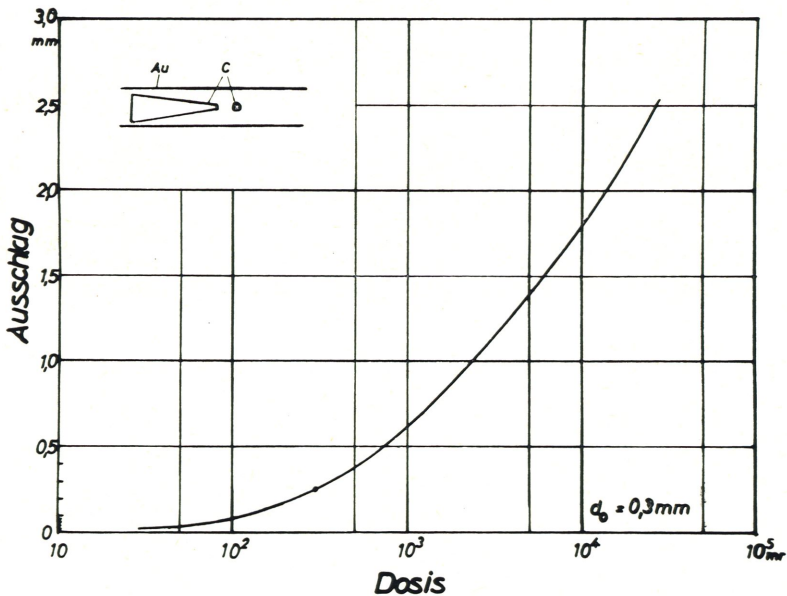


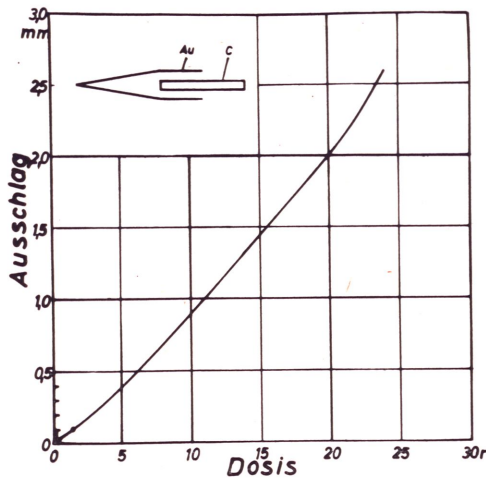
Bild 8: Empfindlichkeitskurve eines Elektrometersystems, bestehend aus einem frei beweglichen Graphitkörnchen in einem Goldfolienzylinder und einem festen Konus aus Kohlenstoff, der gegen die Goldzylinderfläche isoliert ist

Der Abstand der beiden Graphitkörnchen, die sich bei Bestrahlung diesmal negativ aufladen, nimmt mit zunehmender Dosis wieder zu. Die Empfindlichkeitskurve ist in Bild 7 dargestellt. Die in der rechten unteren Ecke stehende Angabe „ $d_0 =$ “ bezeichnet die Ausgangsposition, d. h. den Abstand zwischen den beiden Graphitstückchen, von dem

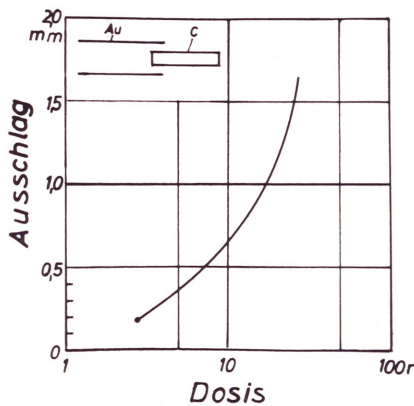
aus die Abstandsänderung gemessen wurde. Ein äußerst kleines  $d_0$  verursacht einige Schwierigkeiten, da die magnetische Anziehung der beiden magnetisierten diamagnetischen Körper aufeinander kompensiert werden muß, z. B. durch einen entsprechenden Feldverlauf des benutzten magnetischen Feldes. Für die gezeigte Kurve zwischen 600 mr und 30 r gilt wieder, daß der Meßbereich und auch die Empfindlichkeit vergrößert werden können.

Die benutzten Graphitstückchen waren wieder etwa 0,1 mm dick. Der Durchmesser des Metallzylinders war 2,4 mm.

Die nächste Anordnung, *Bild 8*, unterscheidet sich von der vorhergehenden dadurch, daß der kleine Goldfolienzylinder statt zwei Graphitkörnchen nur *ein* frei bewegliches Graphitstückchen und einen unbeweglichen, elektrisch gegen das Gold isolierten Konus aus Kohlenstoff umschließt, und im besonderen dadurch, daß das Graphitkörnchen diesmal kleiner war, etwa 0,05 mm dick.



*Bild 9:* Empfindlichkeitskurve eines schwebenden Graphitzylinderchens, das zum Teil in einen unbeweglichen Goldfolienzylinder mit aufgesetztem Goldfolienkonus hineinragt



*Bild 10:* Dieselbe Anordnung wie Bild 9, jedoch mit Goldfolienzylinder ohne aufgesetzten Konus

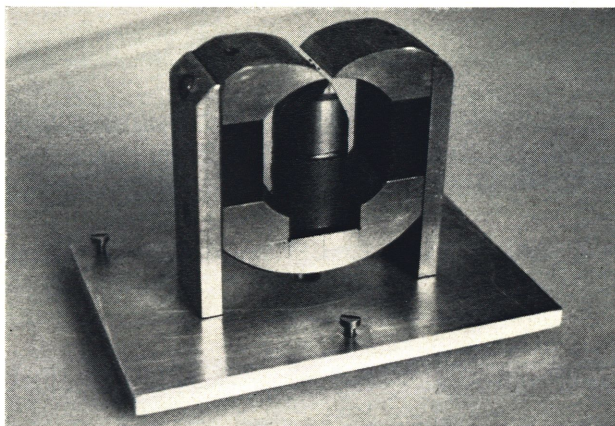
Dieses Strahlungselektrometer überstreicht mit seinem günstigen Kurvenverlauf bereits einen Meßbereich von 30 mr bis 30 r. Die Ablesegenauigkeit betrug hier 0,02 mm.

Das nächste und das übernächste Bild (9 und 10), das erste im doppelt linearen, das zweite im linear-logarithmischen Maßstab, zeigen noch weitere Systeme und ihre Empfindlichkeitskurven.

In *Bild 11* ist eines der zur Zeit benutzten Magnetsysteme (Breite 7,5 cm) mit zwei (hier in Luft) zwischen den Schneiden der Polschuhe schwebenden Graphitkörnchen abgebildet. Der Abstand desselben wird mit Lupe und Mikromeßskala oder mit Okular-Mikrometer gemessen.

Die Empfindlichkeit des Meßsystems läßt sich stark vergrößern, wenn man ein elektrisches Feld zur Ablenkung des diamagnetischen Punktzeigers benutzt. Das Meßsystem stellt dann eine Abwandlung der Millikanschen Anordnung zur Bestimmung der Elementarladung dar mit dem Unterschied, daß die Ladungsänderung des kleinen, im Magnetfeld schwimmenden diamagnetischen Körperchens um 1 Elektron eine bestimmte Ausschlagsänderung zur Folge hat.

Die Magnetsysteme wurden von Herrn R. Gareis konstruiert und in Zusammenarbeit mit Herrn W. Köhler hergestellt.



*Bild 11:* Vollständiges Magnetsystem, Breite 7,5 cm, mit zwei zwischen den Schneiden der Polschuhe schwebenden Graphitkörnchen

### *Zusammenfassung*

Das wohl einfachste exakt anzeigende Gerät zur Messung der Dosis ionisierender Strahlung wird beschrieben. Ein im Magnetfeld schwebendes diamagnetisches Körperchen, das sich bei Bestrahlung photoelektrisch auflädt, dient gleichzeitig als Strahlungsempfänger und Ladungsanzeiger. Beobachtet wird die Ortsveränderung des Körperchens. Es wird eine magnetische Rückstellkraft verwendet. Das Strahlungselektrometer kann zur Messung kleinster und größter Dosen verwendet werden.

## Literatur

- <sup>1</sup> An Zusammenstellungen siehe z. B. *E. Fünfer* und *H. Neuert*, Zählrohre und Szintillationszähler<sup>2</sup>, Karlsruhe 1959; *B. Heß* und *I. Köck*, Meßmethoden für den Strahlenschutz, Acta Albertina Ratisbonensia 28, 1967
- <sup>2</sup> *B. Heß* und *I. Köck*, a. a. O.
- <sup>3</sup> *B. Heß*, Röntgenelement. Z. ang. Phys. 11, 1959, S. 449—453; *B. Heß*, Deutsche Patentschrift 940 847 vom 29. 3. 1941 „Einrichtung zum Nachweis und zur Messung von Röntgen-, Gamma- und Neutronenstrahlen“
- <sup>4</sup> *B. Heß*, *R. Hosemann*, *H. Warrikhoff*, Deutsche Patentschrift 1 067 535 vom 24. 5. 1957 „Taschendosimeter“; *H. F. H. Warrikhoff*, Röntgenelemente für die Dosimetrie I, Z. ang. Phys. 18, 1965, S. 44—53; II, S. 89—95; III, S. 95—105