Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 61 (1970)

Heft: 24

Artikel: Ein empfindlicher Dosisleistungsmesser mit Szintillationsdetektor für Strahlenschutzzwecke

Autor: Lauterbach, U. / Kolb, W. / Seyfried, P.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916003

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: 07.01.2026

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

Ein empfindlicher Dosisleistungsmesser mit Szintillationsdetektor für Strahlenschutzzwecke [1])

Von *U. Lauterbach, W. Kolb* und *P. Seyfried*, Braunschweig

2016-2026

539.1.074.3

Es wird über einen Dosisleistungsmesser mit einem Szintillator als Detektor berichtet, der bei einem Detektorvolumen von 15 cm³ im empfindlichsten Messbereich für 100 μR/h Vollausschlag aufweist. Eine energieunabhängige Anzeige innerhalb von ±15 % von 22 keV bis 3 MeV der Gleichgewichts-Ionendosisleistung (exposure rate) wird durch Kombination zweier Szintillatoren im Detektor erreicht. Die Energieabhängigkeit der Fluoreszenzausbeute der benutzten Szintillatoren, das Abklingen der Phosphoreszenz der anorganischen Szintillatorkomponente, die Nachweisgrenze und die Temperaturabhängigkeit des Detektors wurden untersucht. Im zweiten Teil wird der technische Aufbau des Dosisleistungsmessers beschrieben.

L'exposé traite d'un dosimètre utilisant comme détecteur un scintillateur, qui, à un volume de détection de 15 cm³, présente une élongation maximale dans la gamme de mesure la plus sensible à 100 μ R/h. Une indication indépendante de l'énergie, se rapportant au taux d'exposition (exposure rate) dans les limites de ± 15 % de 22 keV à 3 MeV est réalisée par une combinaison de deux scintillateurs dans un même détecteur. On examina l'indépendance de l'énergie du rendement de la fluorescence des scintillateurs utilisés, l'amortissement de la phosphorescence des composantes anorganiques du scintillateur, la limite d'indication et la dépendance de la température du détecteur. La seconde partie est consacrée à la construction technique du dosimètre.

1. Einleitung

In vielen Bereichen der Technik und Medizin trifft man auf Geräte, bei denen während des Betriebes gewollt oder auch ungewollt ionisierende Strahlung entsteht. Neben Röntgenanlagen, Radiographiegeräten und Bestrahlungsanlagen mit radioaktiven Nukliden gehören hierzu Elektronenröhren, die mit höheren Spannungen als 20 kV betrieben werden, Elektronenstrahlschweissmaschinen, Elektronenmikroskope oder auch die Bildröhren von Farb-Fernsehgeräten, um nur einige Beispiele anzuführen. Diese Beispiele zeigen, dass ein universeller Dosisleistungsmesser für Röntgen- und Gammastrahlung über einen grossen Bereich (20 keV bis 3 MeV) die Gleichgewichts-Ionendosisleistung (im folgenden kurz Dosisleistung) energieunabhängig anzeigen sollte. Um auch schmale Strahlenbündel erfassen zu können, sollte ausserdem das Detektorvolumen möglichst klein sein ($\approx$ 20 cm³). Die Nachweisempfindlichkeit sollte so gross sein, dass Dosisleistungen von 0,1 mR/h noch sicher gemessen werden können (z. B. bei Bauartprüfungen nach der Ersten Strahlenschutzverordnung [8] [2]).

Die Forderungen nach kleinem Detektorvolumen und grosser Nachweisempfindlichkeit bedeuten aber bei Ionisationskammern die Messung von Strömen von einigen 10^{-16} A, was nur mit einem grossen apparativen und zeitlichen Aufwand möglich ist. Verwendet man statt dessen Szintillatoren, so lassen sich die Forderungen nach grosser Nachweisempfindlichkeit und kleinem Detektorvolumen gut erfüllen. Vorversuche zeigten, dass sich mit Anthrazenkristallen von 15 cm³ Volumen Dosisleistungen von 10 μR/h bis zu einigen R/h messen lassen. Wie nachstehend gezeigt wird, lässt sich durch eine geeignete Szintillatoranordnung auch eine für Strahlenschutzzwecke ausreichende Energieunabhängigkeit der Dosisleistungsmessung im Bereich von 20 keV bis 3 MeV erzielen.

2. Die Szintillatoranordnung

Die Ionendosisleistung ist definitionsgemäss proportional zur Ladungsträgerbildung und damit proportional zu der im Luftvolumen V absorbierten Strahlungsleistung [1; 2]:

$$P_L = \psi \, \eta'_L \, V \qquad (1)$$

wobei ψ die Energieflussdichte der auftreffenden monoenergetischen Strahlung und η_L' der von der Photonenenergie abhängige Energieabsorptionskoeffizient für Luft ist. In erster Näherung ist bei Szintillatoren die Ausbeute an Fluoreszenzstrahlung und damit der Messeffekt ebenfalls proportional zu der im Szintillator absorbierten Strahlungsleistung:

$$P_S = \psi \, (1 - a) \, \eta_S' \, V \qquad (2)$$

wobei a die mittlere Schwächung der Strahlung im Szintillator angibt. In einem vergleichbaren Luftvolumen ist wegen der geringen Luftdichte a vernachlässigbar.

Eine Energieunabhängigkeit der Anzeige der Dosisleistung unter Ausnutzung der Fluoreszenzstrahlung setzt voraus, dass:

$$k = \frac{P_S}{P_L} = (1 - a) \frac{\eta_S'}{\eta_L'} = \text{const.} \qquad (3)$$

in dem betrachteten Energiebereich ist.

Soweit a im Gebiet harter Strahlung vernachlässigbar klein ist, muss η_S' den gleichen Gang mit der Energie wie η_L' haben, um eine energieunabhängige Anzeige der Dosisleistung zu erhalten. Für organische Szintillatoren ist diese Bedingung oberhalb 100 keV nahezu erfüllt. Besonders sind Anthrazenkristalle wegen der hohen Fluoreszenzausbeute geeignet. Der Verlauf von η_A'/η_L' (A = Anthrazen) in Abhängigkeit von der Energie ist in Fig. 1 dargestellt.

Um einen genaueren Überblick über die Energieabhängigkeit der Fluoreszenzausbeute und damit der Dosisleistungsanzeige von Anthrazen zu erhalten, wurde sie an einem halbkugelförmigen Kristall (Volumen 15 cm³) experimentell untersucht und der Einfluss von a in Abhängigkeit von der Energie auch rechnerisch ermittelt (Fig. 2) [3; 4]. Bei Einführung von Zylinderkoordinaten gilt für die im ringförmigen Volumenelement $dV = 2\,\pi\, r\, dr\, dz$ absorbierte Strahlungsleistung

$$d\,P_A = 2\pi \cdot \eta_A' \, \psi_0 \, r \, e^{-\mu\left(\sqrt{R^2 - r^2} - z\right)} \, dr\, dz \qquad (4)$$

(Ψ_0 Energieflussdichte der einfallenden monoenergetischen Strahlung, μ linearer Schwächenkoeffizient).

Das Koordinatensystem wurde so gewählt, dass die z-Achse der einfallenden Strahlung entgegengerichtet ist und die Schnittfläche der Halbkugel senkrecht zur einfallenden Strahlung steht.

[1]) Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Braunschweig.

[2]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

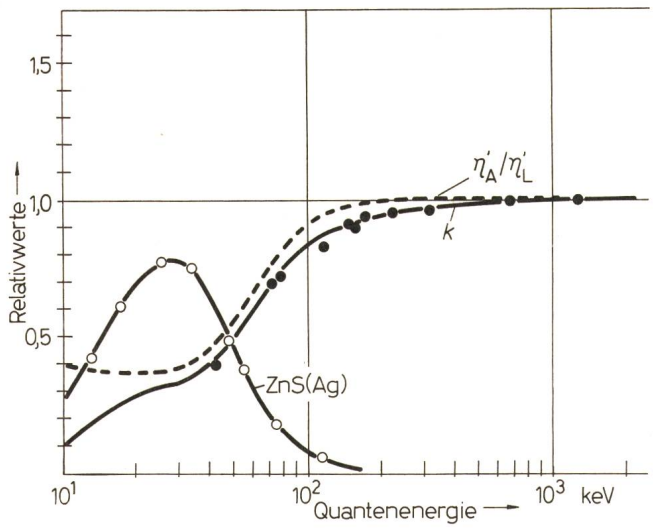

Fig. 1
Energieabhängigkeit von η_A'/η_L' [1]) und von k
Berechnet nach Gl. (6); Relativwerte, bezogen auf den jeweiligen Wert bei 1 MeV. Zum Vergleich sind die experimentell ermittelten Quotienten aus Vervielfacherstrom und Dosisleistung eingetragen.
● halbkugelförmiger Anthrazenkristall; o ZnS (Ag)-Schicht von 30 µm Dicke
(Messwerte bezogen auf den Quotienten für Anthrazen bei 1,25 MeV)
[1]) η_A' und η_L Energieabsorptionskoeffizienten von Anthrazen und Luft berechnet nach Berger, R., NBS-Report 6806 (1960).

Die gesamte absorbierte Strahlungsleistung beträgt dann:

$$P_A = 2\pi\eta_A'\psi_0 \int_{r=0}^{R} \int_{z=0}^{\sqrt{R^2-r^2}} r\, e^{-\mu(\sqrt{R^2-r^2}-z)}\, dr\, dz \qquad (5)$$

Die Integration und eine Reihenentwicklung führen zu dem Ergebnis:

$$P_A = \eta_A'\psi_0 V 3 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-\mu R)^{n-1}}{(n+2)\,n!} = \qquad (6)$$

$$= \eta_A'\psi_0 V\left(1 - \frac{3}{8}\mu R + \frac{1}{10}\mu^2 R^2 - \ldots\right)$$

Der mit

$$a = \frac{3}{8}\mu R - \frac{1}{10}\mu^2 R^2 + \ldots$$

berechnete Verlauf von k mit der Photonenenergie ist in Fig. 1 als durchgezogene Kurve dargestellt. Eingetragene Punkte sind die durch Messungen bei verschiedenen Photonenenergien gewonnenen Quotienten aus Verfielfacherstrom bei konstanter Verstärkung und Dosisleistung. Zwischen der berechneten Kurve und den gemessenen Werten ergibt sich trotz einiger Vernachlässigungen eine gute Übereinstimmung. Weiter zeigt Fig. 1 aber auch, dass bei der einfachen Anordnung mit dem halbkugelförmigen Anthrazenkristall die Proportionalität zwischen Anzeige und Ionendosisleistung unterhalb 80 keV nicht mehr erfüllt ist.

Schon 1952 machte *Breitling* [5] den Vorschlag, durch Mischen von verschiedenen flüssigen organischen Substanzen einen Szintillator für eine luftäquivalente Messung der Dosisleistung herzustellen. Grosse Bedeutung hat dieser Vorschlag nicht erlangt, da die Lichtausbeute dieser Mischungen recht klein war. Es ist naheliegend, den Abfall der Anzeige des Anthrazenkristalls unter 80 keV durch einen zweiten Szintillator zu kompensieren, der nur im Gebiet der weichen Röntgenstrahlung wirksam ist und über 80 keV nicht mehr zur Fluoreszenzstrahlung beiträgt. Dünne Schichten von anorganischen Szintillatoren wie z. B ZnS haben das Maximum der Fluoreszenzausbeute, bezogen auf konstante Dosisleistung, im Bereich der weichen Röntgenstrahlung. Das Ergebnis einer solchen Untersuchung gibt in Fig. 1 die mit ZnS bezeichnete Kurve wieder. *Belcher* [6] erreicht durch das Beimischen von ZnS zu Plastik-Szintillatoren, dass der Abfall der Ausbeute an Fluoreszenzstrahlung im Gebiet der weichen Röntgenstrahlung durch den Anstieg der Fluoreszenzstrahlung des ZnS (Ag) kompensiert wird. Diese Belcherschen Szintillatoren gestatten eine energieunabhängige Messung im Bereich von 30 keV bis über 1 MeV hinaus und werden in der medizinischen Dosimetrie eingesetzt. *Arsaev* u. M. [7] entwickelten auf dieser Grundlage ein für Strahlenschutzzwecke geeignetes Dosimeter, dessen empfindlichster Messbereich für 1 µR/s = 3,6 mR/h Vollausschlag ausgelegt war.

Wie bereits erwähnt, wird die Empfindlichkeit des Dosimeters massgeblich vom Volumen des Szintillators bestimmt. Wenn dieses so gross wird, dass die weiche Röntgenstrahlung wegen der erheblichen Schwächung in den äusseren Schichten das im Inneren befindliche ZnS nicht mehr zur Fluoreszenz anregen kann, versagt das Belchersche Verfahren. Zu den wesentlich günstigeren Resultaten gelangt man, wenn der Anthrazen- oder Plastikszintillator von einer dünnen Schicht ZnS umgeben wird. Da die Fluoreszenzausbeute von ZnS sehr gross und die Dichte um den Faktor 3,2 grösser als die von Anthrazen ist, genügen schon Schichten mit Flächendichten von etwa 10 mg/cm² entsprechend einer Schichtdicke von 30 µm. Der schematische Aufbau einer solchen Anordnung aus zwei Szintillatorkomponenten ist in Fig. 3 wiedergegeben. Aus technologischen Gründen wurde für diese Anordnung vorerst ein zylindrischer Anthrazenkristall gewählt.

Im Gebiet der weichen Röntgenstrahlung liefert allein die ZnS-Schicht das Fluoreszenzlicht, während der Anthrazenkristall praktisch nur als Lichtleiter dient. Oberhalb von 100 keV durchdringt die Gamma- oder Röntgenstrahlung fast ungeschwächt die dünne ZnS-Schicht, und das Fluoreszenzlicht wird hauptsächlich in dem dickeren organischen Kri-

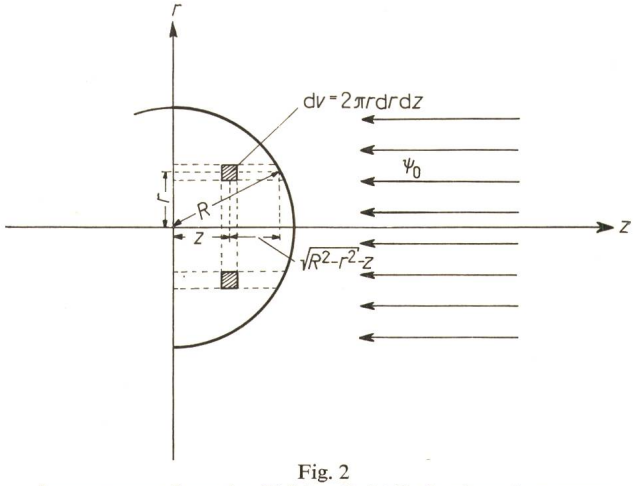

Fig. 2
Angenommene Lage des Halbkugelkristalls in einem homogenen Strahlungsfeld mit der Energieflussdichte ψ_0 zur Berechnung der Energieabsorption
R Radius der Halbkugel; r, z Koordinaten

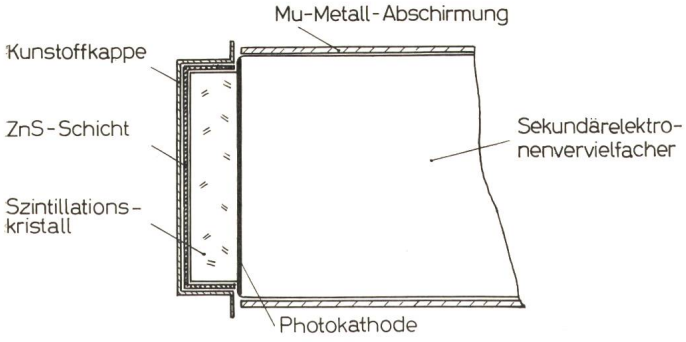

Fig. 3
Schematischer Aufbau der Szintillatoranordnung

stall erzeugt. Fig. 4 zeigt die Energieabhängigkeit der Anzeige einer solchen Szintillatorenanordnung, die aus einem Anthrazenkristall von 44 mm Durchmesser und 10 mm Höhe und einer dünnen Schicht ZnS (Ag) geeigneter Dicke besteht. Diese Kombination, die zu einer innerhalb ± 15 % energieunabhängigen Anzeige zwischen 22 keV und 1,3 MeV führt, wird in dem hier beschriebenen Dosisleistungsmesser benutzt.

Wie experimentell gezeigt werden konnte, sind die Schichten, bei denen wegen der Eigenabsorption der Fluoreszenzstrahlung im ZnS eine Sättigung der Lichtausbeute eintritt, wesentlich dicker als die oben angegebenen Werte. Das bedeutet, dass diese Art, die Energieunabhängigkeit der Dosisleistungsanzeige zu verbessern, auch bei noch grösseren Kristallen anwendbar ist.

Leider weisen anorganische Szintillatoren neben der kurzzeitig abklingenden Fluoreszenz eine mehr oder weniger langandauernde Phosphoreszenz auf. Diese Eigenschaft muss bei der Auswahl der anorganischen Szintillatorkomponente besonders beachtet werden. Bei ausgeprägter Phosphoreszenz kann sonst nach einer Messung bei grossen Dosisleistungen das Nachleuten ein nichtvorhandenes Strahlungsfeld vortäuschen. Das Nachleuchten sollte eine Minute nach dem Umschalten vom unempfindlichsten auf den empfindlichsten Messbereich die Messung nicht mehr wesentlich beeinflussen. Bei 4 Dekaden umfassenden Messbereichen ergibt sich daraus die Bedingung, dass eine Minute nach der Anregung die Intensität der Phosphoreszenz höchstens $1 \cdot 10^{-5}$ der ursprünglichen Fluoreszenzintensität betragen darf.

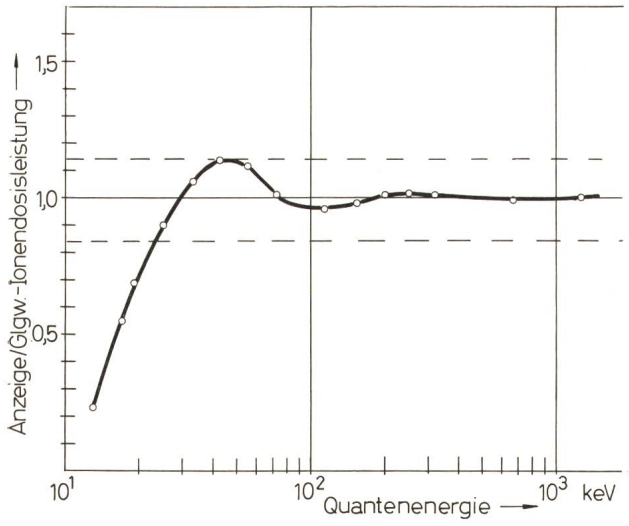

Fig. 4
Energieabhängigkeit der Dosisleistungsanzeige mit der Szintillatoranordnung gemäss Fig. 3

Das Nachleuchten verschiedener anorganischer Szintillatoren, deren Phosphoreszenz durch den Einbau geeigneter Fremdatome in das Kristallgitter weitgehend unterdrückt war, wurde nach Anregung durch 60 kV Röntgenstrahlung (Filterung 4 mm Al) untersucht. Die Anregungsbedingungen wurden jeweils so gewählt, dass sich für die verschieden empfindlichen Proben während der Anregung dieselbe Fluoreszenzintensität ergab (Anregungsbedingungen s. Legende zu Fig. 5). Wie man der Fig. 5 entnehmen kann, beträgt eine Minute nach der Anregung die Intensität des Nachleuchtens bei den Proben II und III noch $7{,}5 \cdot 10^{-5}$ und bei Probe I $2{,}6 \cdot 10^{-4}$ der ursprünglichen Fluoreszenzintensität. Diese Szintillatoren erfüllen noch nicht vollständig die oben aufgestellte Forderung. In dem Messkopf wird als anorganische Szintillatorkomponente die Probe II verwendet, da sie bei einer nahezu ausreichend unterdrückten Phosphoreszenz die grösste Fluoreszenzausbeute aufweist.

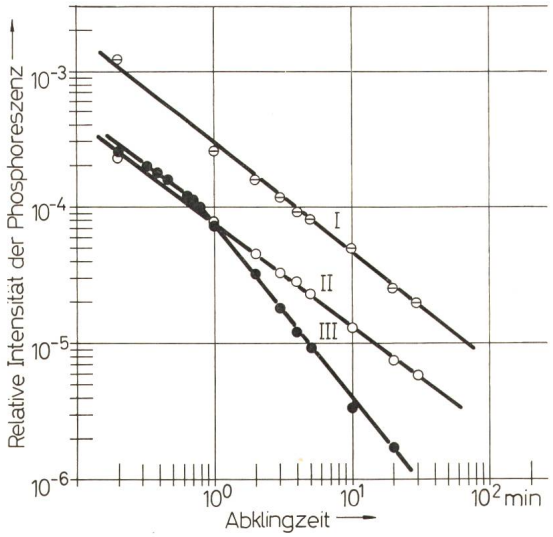

Fig. 5
Abklingkurven für verschiedene anorganische Szintillatoren
Anregungsbedingungen: 60-kV-Röntgenstrahlung (Filter 4 mm Al)
Probe I: 180 mR/h, 4 min; *II:* 180 mR/h, 4 min; *III:* 360 mR/h, 5 min.
Die Intensität ist auf die ursprünglich vorhandene Fluoreszenzausbeute bezogen

2. Der Photovervielfacher

a) Nachweisgrenze

Der grösste Teil des apparativ bedingten Nulleffektes wird von dem Dunkelstrom des Photovervielfachers verursacht. In dem Detektor wird ein Vervielfacher des Typs EMI 9635 QA verwendet, der sich durch eine hohe Kathodenempfindlichkeit und Verstärkung bei gleichzeitig niedrigem Dunkelstrom auszeichnet. Um den günstigsten Arbeitspunkt für den empfindlichsten Messbereich von 100 µR/h Vollausschlag aufzufinden, wurde das Verhältnis Nutzstrom für 100 µR/h zu Dunkelstrom bei einer Temperatur von $+20$ °C in Abhängigkeit von der Vervielfacherspannung aufgenommen (Fig. 6). Das günstigste Verhältnis ergibt sich in dem Spannungsbereich zwischen 700 V und 800 V. Hier ist der Dunkelstrom um den Faktor 580 kleiner als der Nutzstrom und würde einer Dosisleistung von 0,17 µR/h (entsprechend 0,17 % vom Vollausschlag) entsprechen. Dieser Wert ist bei 100 µR/h Vollausschlag vernachlässigbar. Für besondere Zwecke könnte demnach die Empfindlichkeit

noch um den Faktor 10 vergrössert werden, ohne dass der Dunkelstrom das Messergebnis schon wesentlich verfälscht.

b) Temperaturabhängigkeit

Messungen des Dunkelstroms bei verschiedenen Temperaturen ergaben zwischen +20 °C und +30 °C eine Zunahme um den Faktor 2, die ebenfalls bezogen auf den Vollausschlag von 100 µR/h noch vernachlässigbar ist. Mit abnehmender Temperatur wird der Dunkelstrom kleiner, so dass bei + 10 °C das Signal-Dunkelstrom-Verhältnis den Wert 1000 erreicht.

Für die Gesamtanordnung ergab sich ein Temparaturgang im Sinne eines Anstiegs der Empfindlichkeit mit abnehmender Temperatur, der im Bereich zwischen +10 °C und + 30 °C etwa 0,7 % / °C beträgt. Dieser Temperaturgang ist in erster Linie auf die Änderung der Vervielfacherverstärkung zurückzuführen, da sich die Fluoreszenzausbeute der Szintillatoranordnung nach Messungen der Autoren um nicht mehr als 0,1 % / °C ändert. Eine Kompensation dieses

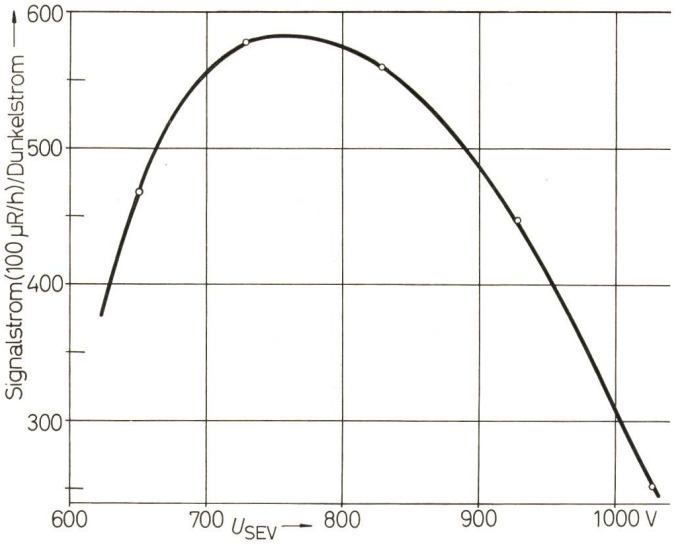

Fig. 6
Abhängigkeit des Signal-Dunkelstrom-Verhältnisses von der Vervielfacherspannung bei einer Dosisleistung von 100 µR/h und einer Temperatur von + 20 °C
U_{SEV} Vervielfacherspannung

Temperatureffektes durch geeignete elektronische Massnahmen ist geplant.

3. Der technische Aufbau des Dosisleistungsmessers

Das in Fig. 7 gezeigte Versuchsmuster besteht aus zwei Teilen, dem Betriebsgerät und dem Messkopf. Der Messkopf enthält den Szintillator mit dem Vervielfacher. Im Betriebsgerät befinden sich ein stabilisiertes umschaltbares Hochspannungsgerät, ein Gleichstromverstärker, das Anzeigeinstrument und die Stromversorgung aus wiederaufladbaren DEAC-Zellen. Bei der kommerziellen Ausführung (Fig. 8) sind dagegen beide Geräteteile zusammengefasst.

Die Umschaltung der 10 Messbereiche zwischen 100 µR/h bis 3 R/h Vollausschlag erfolgt durch Änderung der Vervielfacherspannung. Im empfindlichsten Messbereich entspricht die Spannung dem günstigsten Signal- zu Dunkelstrom-Verhältnis (700 bis 800 V). Bei 100 µR/h ergibt sich ein Ausgangsstrom von 30 nA. In den weiteren Messbereichen wird die Spannung so erniedrigt, dass man jeweils

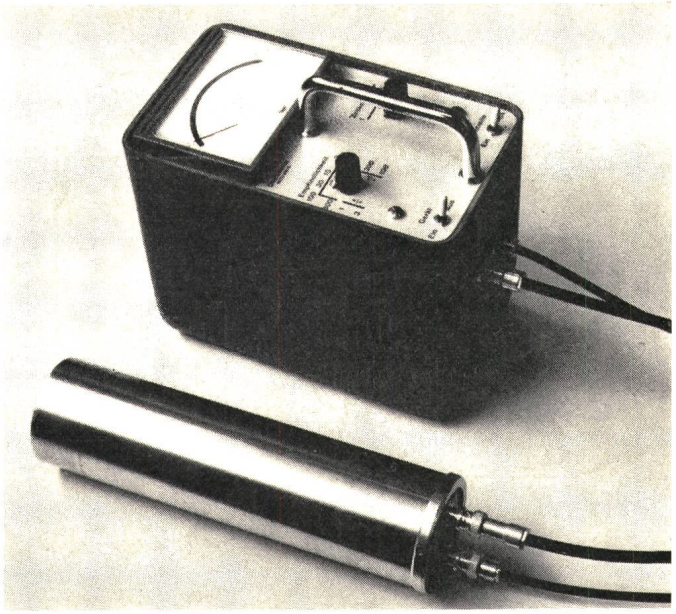

Fig. 7
Der in der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt entwickelte Dosisleistungsmesser

30 nA bei Vollausschlag erhält. Diese Art der Messbereichsumschaltung verhindert eine Überlastung des Vervielfachers bei grossen Dosisleistungen.

a) Verstärker

Als Verstärker wurde ein integrierter Operationsverstärker (V1 in Fig. 9) gewählt, dem ein Feldeffekttransistor (FET 1) als Impedanzwandler vorgeschaltet ist. Die Schaltung wurde so ausgelegt, dass bei einem Eingangsstrom von 30 nA eine Ausgangsspannung von rund 9 V erhalten wird. Unter allen auftretenden Betriebsbedingungen ruft der Verstärker keinen grösseren zusätzlichen Fehler als 1,5 % (Klassengenauigkeit des Anzeigeinstrumentes) hervor. Als Einflussgrössen kommen im wesentlichen nur die Umgebungstemperatur und, da das Gerät aus Batterien gespeist wird, die Versorgungsspannung in Betracht.

Temperaturänderungen ergeben eine Änderung des Eingangsstromes des FET und der Fehlerspannung am Eingang des Verstärkers. Verwendet man einen FET mit einem garantierten Gate-Strom $< 0{,}1$ nA bei 25 °C, so ist die Änderung des Gate-Stromes im Bereich von 25 bis 50 °C $< 0{,}3$nA und zu tieferen Temparaturen $< 0{,}1$ nA. Der hierdurch verursachte Fehler liegt damit unter 1 % des Messbereichsendwertes. Die Änderung der Fehlerspannung ist vernachlässigbar. Dies gilt auch, wenn der FET nicht im temperaturstabilen Arbeitspunkt betrieben wird.

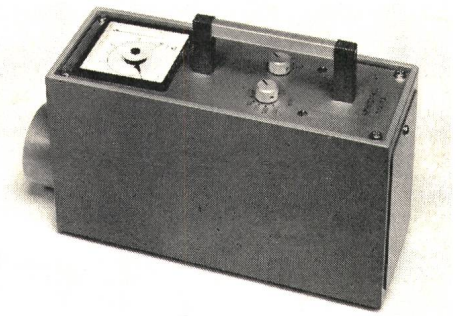

Fig. 8
Die kommerzielle Ausführung des Dosisleistungsmessers

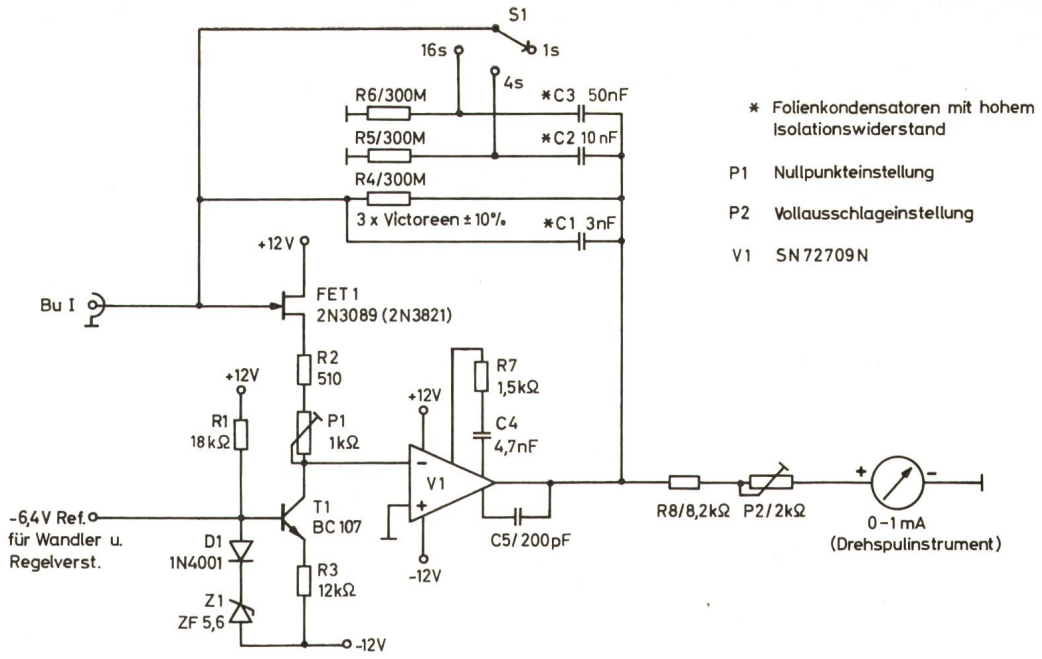

Fig. 9
Schaltschema des Messverstärkers
Bezeichnungen siehe im Text

Als einzige Quelle für eine merkliche Fehlerspannung bleiben Änderungen der Speisespannung. Sie wirken sich als Änderungen der Drain-Spannung (U_{DS}) des FET auf die für einen bestimmten eingeprägten Drain-Strom (I_D) notwendige Gate-Source-Spannung (U_{GS}) aus. Für den verwendeten FET (2N 3089) ergibt sich $dU_{GS}/dU_{DS} = 1{,}6 \cdot 10^{-2}$ bei $I_D = 0{,}5$ mA. Bei einer Spannungsänderung von 12 auf 10 V erhält man damit eine Fehlerspannung von 32 mV. Sie liegt innerhalb der zulässigen Grenzen.

Die Schaltung des Verstärkers zeigt Fig. 9. Dem Verstärker V1 (SN 72 709 N) ist ein FET als Source-Folger vorgeschaltet (FET 1, 2N 3089). T1 (BC 107) bildet zusammen mit R3, Z1 und der Diode D1 (Temperaturkompensation) eine Konstantstromquelle. P1 in Reihe mit R2 dient der Nullpunkteinstellung des Verstärkers. Der gesamte Verstärker arbeitet als Inverter. Die Rückkopplung erfolgt über R4 (300 MΩ). Der parallel zu R4 liegende Kondensator C1 (3 nF) ergibt eine Zeitkonstante von rund 1 s. Grössere Zeitkonstanten (4 s, 16 s) können mit S1 gewählt werden. Es werden dann die Kondensatoren C2 oder C3 zusätzlich parallel zu C1 geschaltet. Die Widerstände in Reihe mit diesen beiden Kondensatoren bewirken eine Vorladung der nicht eingeschalteten Kondensatoren auf den Messwert. Wird der entsprechende Kondensator eingeschaltet, so liegt der dazugehörige Widerstand zwischen Verstärkereingang und Masse. Da beim richtig abgeglichenen Verstärker am Eingang keine Spannung erscheint, hat ein Widerstand nach Masse keinen Einfluss auf das Messergebnis. Diese sehr einfache Schaltung hat den Vorteil, dass die nicht eingeschalteten Kondensatoren stets auf den Mittelwert der Meßspannung aufgeladen werden. Beim Umschalten der Zeitkonstanten kann daher der Messwert sofort abgelesen werden. Dies gilt aber nur unter der Voraussetzung, dass der Messwert länger angelegen hat, als die neu eingeschaltete Zeitkonstante beträgt. Die Einstellung der Empfindlichkeit des Anzeigeinstrumentes (0...1 mA) erfolgt mit P2.

Die Vorspannung für die Konstantstromquelle wird auch als Hilfsspannung für den Hochspannungswandler und den Regelverstärker benutzt, sie ist daher herausgeführt und wird mit —6,4 V Ref. bezeichnet.

b) Hochspannungswandler

Als Hochspannungswandler (Fig. 10) wurde ein fremdgesteuerter Gegentaktwandler gewählt, um auch bei stark

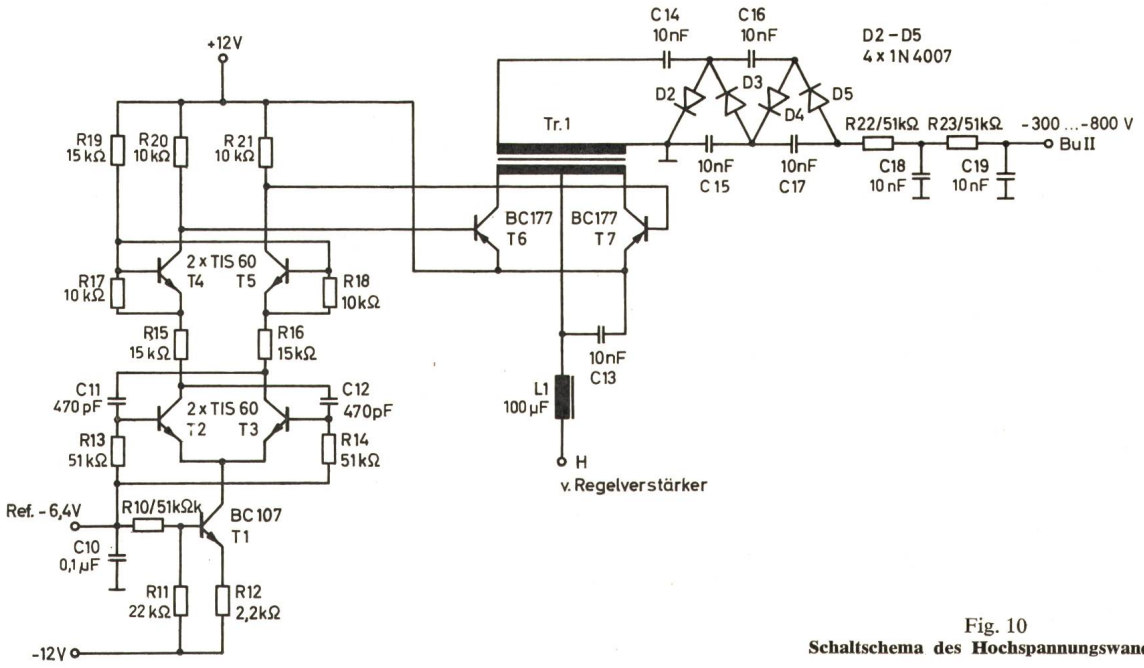

Fig. 10
Schaltschema des Hochspannungswandlers

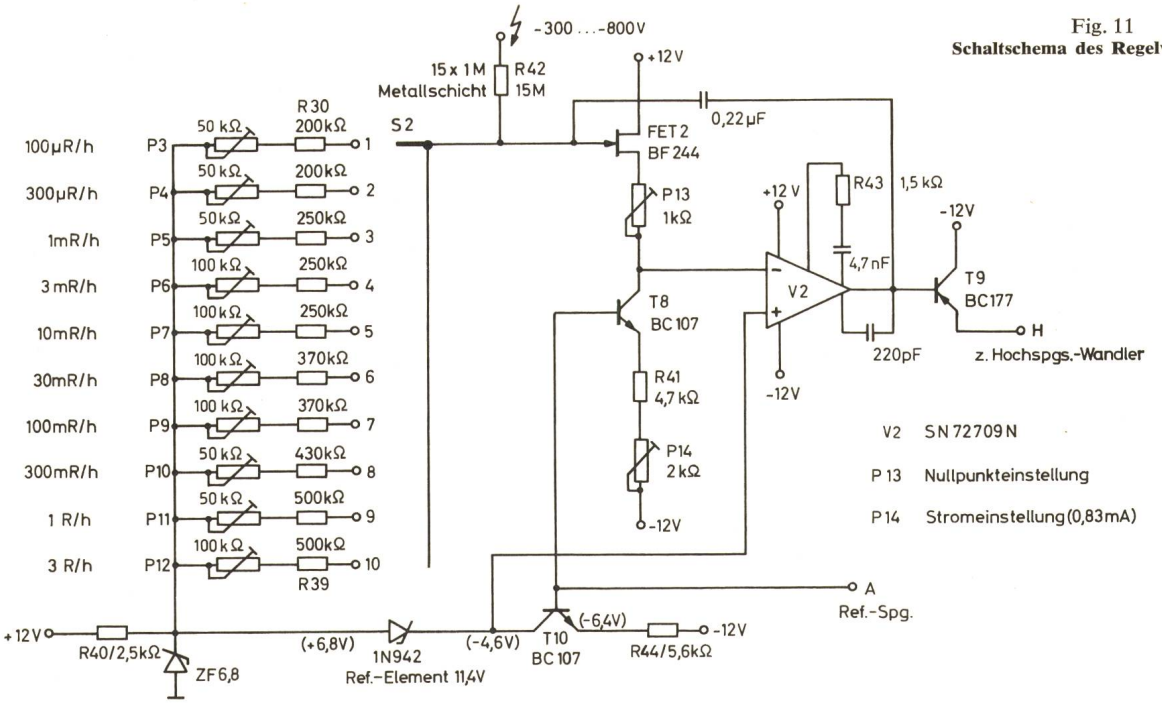

Fig. 11
Schaltschema des Regelverstärkers

veränderbarer Hochspannung und damit Eingangsspannung einen gleichbleibend guten Wirkungsgrad zu erreichen. Im Gegensatz zum selbstschwingenden Spannungswandler wird die Schaltfrequenz durch einen Multivibrator vorgegeben. Der Wandler besteht aus den Transistoren T6 und T7, dem Transformator Tr1 sowie einer Vervierfacherschaltung. Der Multivibrator (T2, T3) erhält über T1 einen konstanten Strom eingeprägt, um Funktion und Frequenzkonstanz über einen grossen Bereich der Versorgungsspannung zu gewährleisten.

Die Transistoren T4 und T5 entkoppeln die Schalttransistoren vom Multivibrator. Die Zeitkonstanten zwischen Basis und Emitter dieser beiden Transistoren bewirken zusätzlich, dass die zeitlich versetzten Umschaltsignale an den Kollektoren nicht unmittelbar aufeinander folgen; es entsteht eine Lücke zwischen den wechselseitigen Impulsen, so dass verhindert wird, dass beide Schalttransistoren, z. B. auf Grund von Ladungsspeicherung in der Basis für einen Moment gleichzeitig leitend sind. Es treten sonst hohe Stromspitzen auf, die einen schlechten Wirkungsgrad zur Folge haben.

Die Regelung der Hochspannung erfolgt durch Verändern der Eingangsspannung am Mittelpunkt der Primärwicklung.

c) Regelverstärker

Der Regelverstärker (Fig. 11) entspricht in seinem Aufbau weitgehend dem Messverstärker. Einem Operationsverstärker vom Typ 709 (V2) ist ebenfalls ein FET (BF 244) vorgeschaltet. Dieser wird mit konstantem Strom gespeist. Die Ankopplung an den Wandler erfolgt über den Emitterfolger T9. Die heruntergeteilte Hochspannung wird am Eingang des Verstärkers mit einer Referenzspannung von 11,4 V verglichen. Die Wahl der Hochspannung geschieht mittels des Schalters S2 in 10 Stufen. Jede Stufe ist einem Messbereich zugeordnet. Die Einstellung der genauen Spannung erfolgt bei der Kalibrierung. Dazu ist für jede Stufe ein Potentiometer vorhanden. Die Referenzzenerdiode wird über eine Konstantstromquelle versorgt, damit auch hier der Einfluss von Änderungen der Versorgungsspannungen reduziert wird. An den FET werden hinsichtlich des Eingangsstromes keine so hohen Anforderungen wie beim Messverstärker gestellt, da der minimale Querstrom des Teilers 20 µA beträgt. Für gute Temperaturstabilität ist es jedoch erforderlich, den FET im temperaturstabilen Arbeitspunkt zu betreiben. Der zugehörige Strom wird mit P14 eingestellt.

Das Versuchsmuster hat sich während einer mehrjährigen Erprobungszeit gut bewährt, und zwar sowohl bei Messungen von Dosisleistungen im Bereich der natürlichen Umgebungsstrahlung als auch bei Dosisleistungen von 1000 mR/h, wie sie bei der Bauartprüfung von Röntgenstrahlern auftreten. In letzterem Fall erwies sich die Trennung von Messkopf und Anzeigeteil im Hinblick auf den Strahlenschutz als sehr vorteilhaft. Eine Beeinflussung der Anzeige durch elektromagnetische Streufelder z. B. von Transformatoren in Röntgengeneratoren oder von Ablenkeinheiten in Fernsehempfängern wurde nicht beobachtet.

Die Autoren danken Ingenieur *Pietsch* für den Aufbau der Elektronik und *H. Waechter* für gewissenhafte Ausführung der Messungen und die Hilfe beim Entwurf des Messkopfes.

Literatur

[1] *G. C. Hine* and *G. L. Brownell:* Radiation Dosimetry. New York, Academic Press, 1956.

[2a] Begriffe und Benennungen in der radiologischen Technik. Strahlenphysik. DIN 6814, Blatt 2.

[2b] Begriffe und Benennungen in der radiologischen Technik. Dosisgrössen und Dosiseinheiten. DIN 6814, Blatt 3 (Entwurf).

[3] *W. Kolb* und *U. Lauterbach:* Ein empfindlicher Dosisleistungsmesser für Strahlenschutzzwecke. Physikalische Verhandlungen 14(1963)9, S. 195.

[4] *W. Kolb* und *U. Lauterbach:* Messungen der Umgebungsstrahlung in einem Steinsalzbergwerk. Kerntechnik 10(1968)3, S. 125...130.

[5] *G. Breitling:* Über die Wellenlängenabhängigkeit der Fluoreszenz organischer Leuchtstoffe im Röntgengebiet. Zeitschr. angew. Physik 4(1952)11, S. 401...409.

[6] *E. H. Belcher* and *J. E. Geilinger:* Improved scintillating media for radiation dosimetry. British Journal of Radiology 30(1957)350, p. 103...105.

[7] *M. I. Arsaev, B. E. Osopov* and *N. E. Sulimova:* A scintillation dose-rate meter for the measurement of X- and gamma radiation. Health Physics 14(1968)3, p. 273...274.

[8] Erste Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Strahlen radioaktiver Stoffe in der Fassung vom 15. Oktober 1965. In: *E. Witt:* Erste und zweite Strahlenschutzverordnung. Köln, Heymanns, (1965).

Adresse der Autoren:
U. Lauterbach, Dr. *W. Kolb* und *P. Seyfried*, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, D-33 Braunschweig.