

ORTSDOSIMETER FÜR BETA STRAHLUNG

R. Pintaske, I. Thieme, W. Zimmermann, A. Pohlent
STEP Sensortechnik und Elektronik Pockau GmbH
D-09509 Pockau, Siedlungsstraße 5-7; Email: r.pintaske@step-sensor.de

1 Einleitung

Für Beta- und Beta/Gamma-Strahler werden immer neue Anwendungsgebiete erschlossen, insbesondere im medizinischen Bereich. Jedoch sind zur Erfassung der Expositionsbedingungen gegenwärtig kaum geeignete Ortsdosimeter kommerziell verfügbar [1][2][3]. Ziel des vom Bundesamt für Strahlenschutz geförderten Entwicklungsvorhabens (StSch 4226) war deshalb die Entwicklung eines für Routinemessungen an Arbeitsplätzen mit Beta-Strahlungs-Exposition, wie z. B. in der Brachytherapie und der Herstellung von Strahlungsquellen geeigneten Strahlungsmessgerätes. Dieses Gerät sollte als Ortsdosimeter für Betastrahlung gleichzeitig auch die Messung der Umgebungsäquivalentdosisleistung in Photonenstrahlungsfeldern ermöglichen. Bei der Entwicklung wurde besonderer Wert auf einfache Handhabbarkeit und geringe Störanfälligkeit gelegt.

2 Aufbau

Das Beta-Gamma-Dosimeter BD-01 ist als tragbares, batteriebetriebenes Dosisleistungsmessgerät zur Erfassung der Messgrößen $\dot{H}^*(10)$ und $\dot{H}'(0,07)$ konzipiert [4]. Es besteht aus einer absetzbaren Messsonde mit integriertem Messverstärker sowie einem Anzeigeteil (Abb. 1). Durch eine schwenkbare Beta-Blende kann das stirnseitige Eintrittsfenster verschlossen werden, wodurch sich die beiden Messgrößen getrennt erfassen lassen. Die Gesamtlänge der Sonde beträgt ca. 200 mm, der Außendurchmesser 60 mm (Handstück: 50 mm).



Abb. 1 Gesamtansicht des Beta-Gamma-Dosimeters BD-01

2.1 Ionisationskammer-Detektor

Der Detektor ist eine zylindrische Ionisationskammer mit einem Messvolumen von etwa 100 cm^3 . Die Flächenmasse der Kammerwand, die aus einem Schichtaufbau von Aluminium – PMMA – Graphit (von außen nach innen) besteht, beträgt $510 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$.

Das abblendbare Eintrittsfenster (siehe Abb. 2) besteht aus zwei mit Aluminium bedampften PETP-Folien, wobei die bedampften Seiten jeweils nach außen zeigen. Eine Seite liegt auf Kammerpotenzial, die andere auf Massepotenzial. Durch eine geeignete Konstruktion des Trageringes werden beide Folien aufeinanderliegend gespannt. Auf Grund dieser beiden konstruktiven Maßnahmen ist die Störanfälligkeit des Sonde gegen äußere Einflüsse wie elektromagnetische Felder, Berührung und Schallwellen sehr gering. Das Eintrittsfenster wurde als einheitliche Baugruppe ausgeführt, so dass es bei Beschädigung der Fenster-Folie leicht ausgetauscht werden kann.

Die Flächenmasse des Eintrittsfensters beträgt ca. $7 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$. Die Blende hat den gleichen Schichtaufbau wie die Kammerwand. Dadurch wird erreicht, dass bei abgeblendetem Eintrittsfenster Betastrahlung mit einer maximalen Energie bis 2,3 MeV (Y-90) noch ausreichend abgeschirmt wird.



Abb. 2 Strahlungseintrittsfenster bei geöffneter Blende

2.2 Messverstärker

Der entwickelte Messverstärker ist für die Strommessung im Bereich von 20 fA bis 200 pA optimiert. Die Stromausbeute einer Ionisationskammer der vorliegenden Bauart beträgt ungefähr $1 \text{ fA}/(\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1})$, so dass der Messbereichsumfang des kompletten Gerätes zwischen $20 \mu\text{Sv}/\text{h}$ und $200 \text{ mSv}/\text{h}$ liegt. Der Messverstärker, welcher den primären Strom der Ionisationskammer in eine auswertbare Spannung umsetzt, besteht aus folgenden Komponenten:

Der *Transimpedanzverstärker* wandelt das Stromsignal der Ionisationskammer über den Messwiderstand ($10 \text{ G}\Omega$) in ein proportionales Spannungssignal um. Die Größe des Messwiderstandes bestimmt die Transimpedanz. Die Verstärkung der Ausgangsstufe des Transimpedanzverstärkers kann in einem gewissen Umfang variiert werden.

Der *Tiefpassfilter* besitzt eine niedrige Grenzfrequenz (ca. 1 Hz), um die durch die hohe Stromempfindlichkeit des Systems bedingten Rausch- und Störstromeinflüsse zu minimieren.

Um das verstärkte Signal über ein geeignetes Kabel variabler Länge zum Anzeigeteil ohne Verfälschung zu übertragen, wurde ein *Ausgangstreiber* integriert. Gleichzeitig verstärkt der Treiber das Signal so, dass es optimal an das Anzeigesystem angepasst ist.

Die *Energieversorgung* des Verstärkers erfolgt vom Anzeigeteil aus über das Messkabel. Mit einem externen Einstellregler ist vor jedem Messzyklus eine Nullpunkt-Korrektur durchführbar.

Zur Reduzierung von elektrischen und mechanischen Störeinflüssen wurde eine *kompakte und stabile Gehäusekonstruktion* mit Schirmelementen für die empfindlichsten Bauteile (Messwiderstand, Eingangsverstärker) realisiert.

Die Anzeigeeinheit ist in einem kompakten, robusten Gehäuse integriert und besteht im wesentlichen aus Stromversorgung, AD-Wandler und LC-Display.

3 Messergebnisse

In Tabelle 1 sind ausgewählte Werte für das Ansprechvermögen für Photonen- und Beta-Strahlung angegeben. Die Messunsicherheiten betragen $\pm 5\%$ für Photonenstrahlung, $\pm 10\%$ für Beta-Strahlung des Sr-90/Y-90 und Kr-85 sowie $\pm 20\%$ für Pm-147-Beta-Strahlung. Die Messungen erfolgten mit den Kalibrierquellen der Fa. STEP bzw. mit dem Beta-Sekundär-Standard BSS-2 [5].

Tab. 1 Relatives Ansprechvermögen für verschiedene Photonen- und Beta-Energien, normiert auf den Wert für Sr-90/Y-90 (für Betastrahlung ist die mittlere Energie angegeben)

Strahlung	Nuklid	Energie / keV	Einstrahl-Richtung	Strahlentritts-Fenster	Relatives Ansprechvermögen
Photonen	Cs-137	662	Radial	Geschlossen	1,16
Photonen	Co-60	1250	Radial	Geschlossen	1,15
Beta	Sr-90/Y-90	800	Axial	Offen	1,00
Beta	Kr-85	240	Axial	Offen	0,55
Beta	Pm-147	80	Axial	Offen	1,03

In Abb. 3 ist die Energieabhängigkeit des Ansprechvermögens für Photonenstrahlung für die beiden ausgezeichneten Einstrahlrichtungen (radial bzw. axial) dargestellt. Normiert wurde auf den jeweiligen Wert des Ansprechvermögens für Cs-137-Photonenstrahlung (662 keV).

In den Abbildungen 4 und 5 ist die Winkelabhängigkeit des relativen Ansprechvermögens für Beta- und Photonen-Strahlung unterschiedlicher Energie gezeigt. Normiert wurde jeweils auf den Wert bei Einstrahlung senkrecht zum Eintrittsfenster (axiale Einstrahlung).

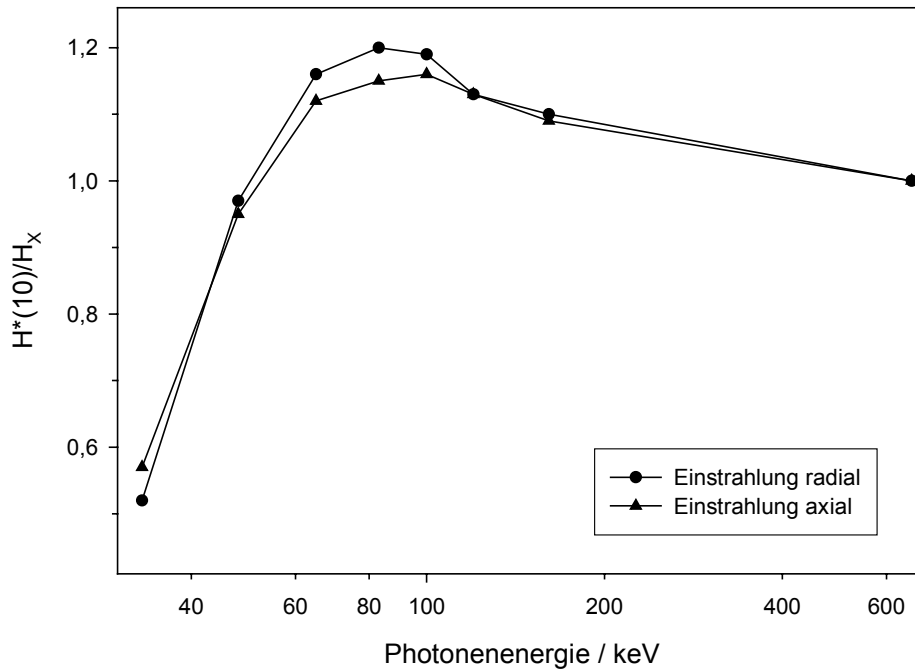


Abb. 3 Energieabhängigkeit des Ansprechvermögens für Photonenstrahlung (bezogen auf die Messgröße Photonen-Äquivalentdosis H_X , Eintrittsfenster abgeblendet)

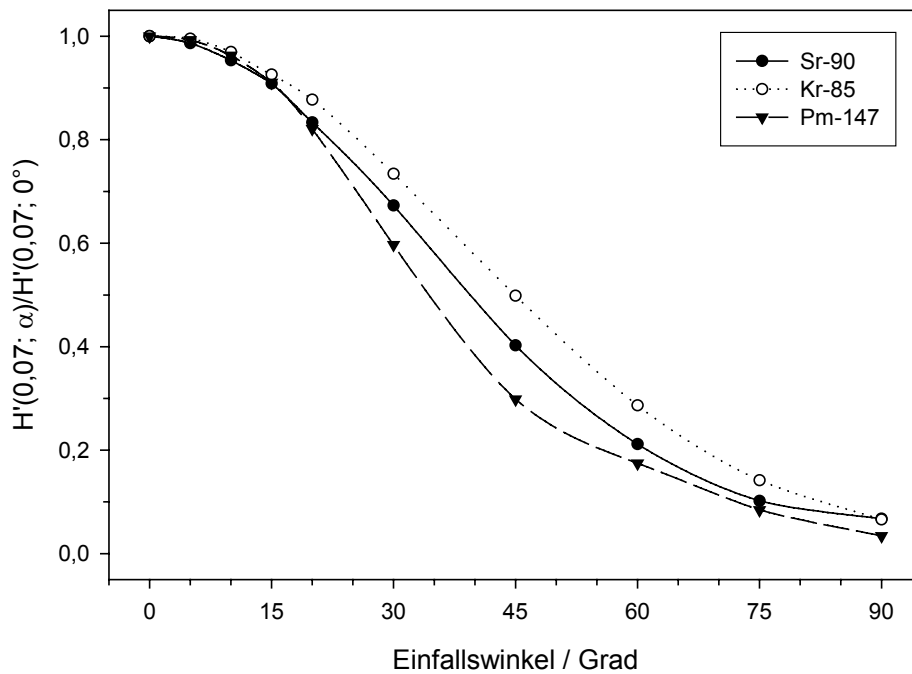


Abb. 4 Winkelabhängigkeit des Ansprechvermögens für Betastrahlung (parallele Strahlungsfelder nach ISO 6980 [5], Eintrittsfenster offen)

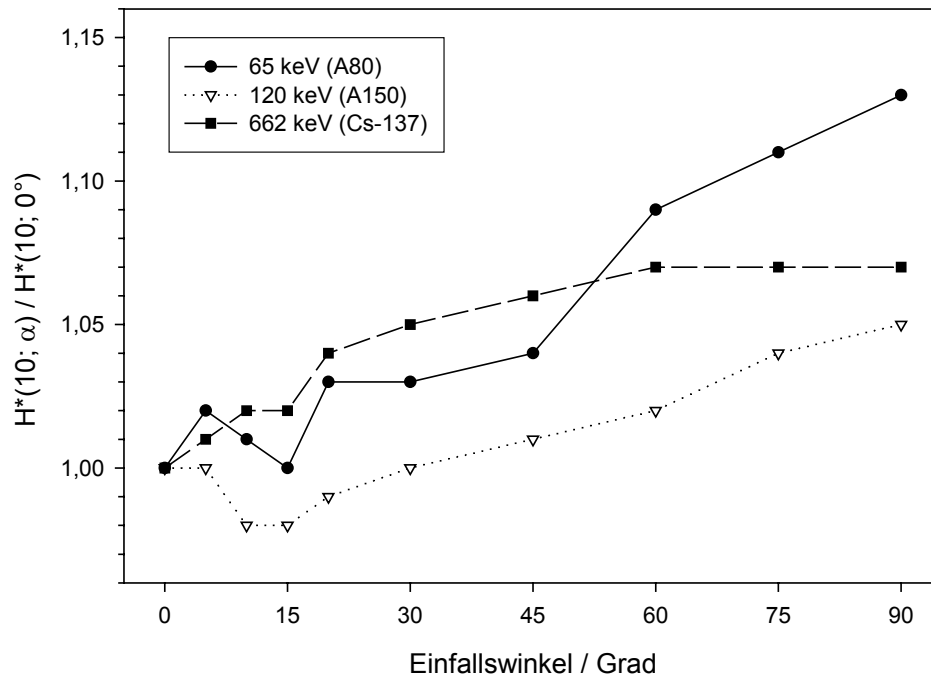


Abb. 5 Winkelabhängigkeit des Ansprechvermögens für Photonen-Strahlung (Eintrittsfenster abgeblendet)

In Abb. 6 ist das Ansprechvermögen des BD-01 in Abhängigkeit von der Photonen-Äquivalentdosisleistung über einen Bereich dargestellt.

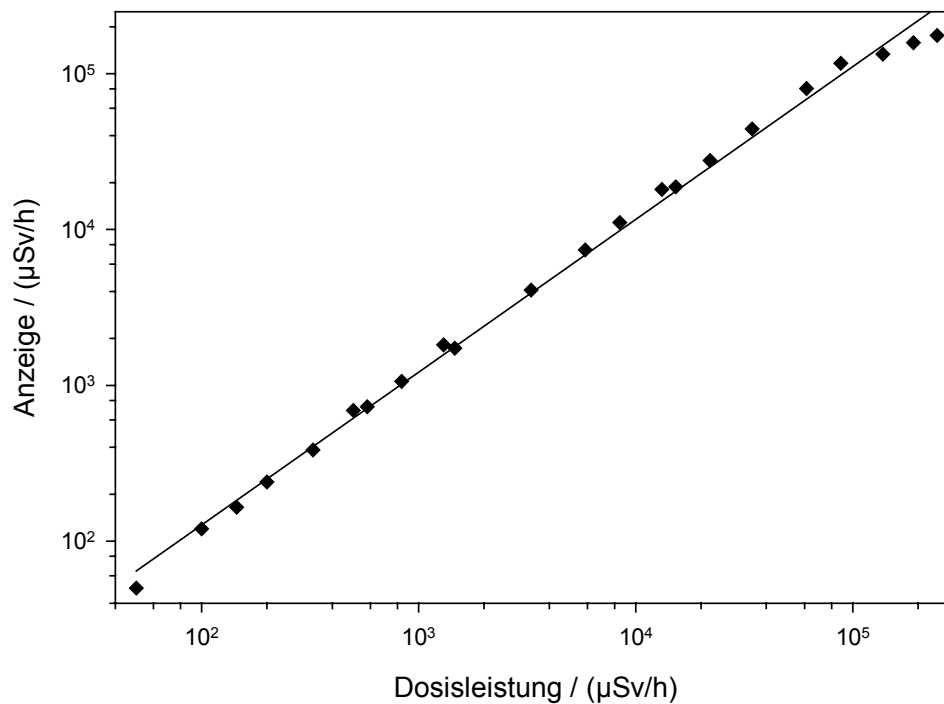


Abb. 6 Sättigungsverhalten bei Bestrahlung mit Photonen (Kammerpotenzial + 150 V)

4 Diskussion

Für die Ortsdosimetrie von Betastrahlung im gesamten Energiebereich sowie für Photonenstrahlung mit Energien unterhalb 15 keV ist die Richtungs-Äquivalentdosis $H'(0,07)$ die für den Strahlenschutz maßgebliche Ortsdosis-Messgröße. Für Photonenstrahlung oberhalb dieser Energie ist die Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$ relevant. Die getrennte Erfassung der entsprechenden Dosisleistungen $\dot{H}^*(10)$ und $\dot{H}'(0,07)$ mit dem Beta-Gamma-Dosimeter BD-01 erfolgt gemäß:

Eintrittsfenster geöffnet	Messwert = $\dot{H}^*(10) + \dot{H}'(0,07)$
Eintrittsfenster abgeblendet	Messwert = $\dot{H}^*(10)$

Betastrahlung mit Energien bis zu 2,3 MeV (Y-90) wird durch das verschlossene Eintrittsfenster und die Kammerwand ausreichend abgeschirmt, so dass in diesem Falle nur die Messgröße $H^*(10)$ erfasst wird. Bei höherenergetischen Betastrahlern muss mit einer Messunsicherheit für $\dot{H}^*(10)$ von mindestens + 20 % gerechnet werden. In diesem Falle werden vom Detektor auch Beiträge der Betastrahlung mit erfasst.

Aus den in Tab. 1 angegebenen, auf Sr-90/Y-90 bezogenen Werten für das relative Ansprechvermögen ist ersichtlich, dass für Photonenstrahlung eine Überbewertung erfolgt. Die Ursache dafür ist, dass für durchdringende Photonenstrahlung das Kammervolumen vollständig zur Bildung von Ladungsträgern genutzt wird. Für Betastrahlung hingegen treten „Abschattungseffekte“ durch Kammerkomponenten auf, welche zur Verringerung des effektiven Kammervolumens und damit des Ansprechvermögens führen.

Die Abhängigkeit des Ansprechvermögens für Betastrahlung unterschiedlicher Energien kann teilweise auch mit solchen Abschattungseffekten erklärt werden. Eine weitere Ursache liegt in der energieabhängigen Ionisierungsdichte in Abhängigkeit von der Tiefe im Detektorvolumen, wie auch durch eigene Monte-Carlo-Simulationsrechnungen bestätigt wird.

Durch geeignete Materialien und den Aufbau der Kammerwand kann das Ansprechvermögen für Photonenstrahlung so modifiziert werden, dass die Anforderungen für Ortsdosimeter erfüllt werden [6][7].

Die in Abb. 4 dargestellte Winkelabhängigkeit des Ansprechvermögens für Beta-Strahlung ist deutlich ausgeprägt. Eine zwingende Notwendigkeit zur Anpassung an die Erfordernisse die Messung von $H'(0,07)$ [7] wird jedoch nicht gesehen. Die bei der bisherigen Praxiserprobung der Beta-Gamma-Dosimeters gewonnenen Erfahrungen haben gezeigt, dass durch die charakteristische Winkelabhängigkeit des Ansprechvermögens die Lokalisation von Beta-Quellen oder -Kontaminationen erleichtert wird.

Das für die beschriebene Ionisationskammer typische Verhalten, dass das Ansprechvermögen für Photonenstrahlung mit wachsendem Einfallswinkel der Strahlung zunimmt, kann durch geeignete Maßnahmen soweit reduziert werden (vgl. Abb. 5), so dass selbst bei der „kritischen“ Energie von 65 keV der Unterschied im Ansprechvermögen zwischen den beiden ausgezeichneten Einstrahlrichtungen „radial“ und „axial“ weniger als 15 % beträgt.

Um das Sättigungsdefizit bei hohen Dosisleistungen möglichst gering zu halten, wurde die Kammeranspannung auf + 150 V gewählt. Aus Abbildung 6 ist ersichtlich, dass das Messgerät über mehr als 3 Größenordnungen der Dosisleistung linear arbeitet. Die Verluste durch unvollständige Sättigung sind im Dosisleistungsbereich bis 100 mSv/h kleiner als 5 %.

5 Weitere Vorgehensweise

Das Beta-Gamma-Dosimeter BD-01 befindet sich gegenwärtig noch in der Entwicklungs- und Erprobungsphase. Es wurden zunächst einige Prototypen des BD-01 hergestellt. Folgende weitere Untersuchungen sind vorgesehen:

- Kalibrierung in gemischten Strahlungsfeldern
- Praktische Erprobung durch potenzielle Anwender
- Optimierung der Energieabhängigkeit für Beta- und Photonenstrahlung
- Messung in inhomogenen Beta-Feldern

6 Literatur

- [1] I. Barth, J. Mielcarek, Beta-Strahlenexposition des medizinischen Personals in der endovaskulären Brachytherapie, in: R. Michel, M. Täschner, A. Beyer (Hrsg.), 34. Jahrestagung des FV Strahlenschutz (FS-02-119-T), Kloster Seon, April 2002
- [2] K. Helmstädter, P. Ambrosi, Strahlenschutzmessungen in Betastrahlungsfeldern für die endovasale Brachytherapie, Strahlenschutzpraxis Heft 3/2000, S. 19-24
- [3] Healthcare Product Comparison System „Radiation Survey Meters, Ionization Chambers“, ECRI, Plymouth Meeting, PA, Juni 2002 (www.ecri.org)
- [4] Datenblatt Beta-Gamma-Dosimeter BD-01, STEP GmbH, Juni 2003
- [5] Datenblatt Beta-Sekundär-Standard Typ 2 (BSS-2), AEA Technology QSA GmbH, Braunschweig
- [6] W. G. Alberts, P. Ambrosi u. a., Neue Dosismessgrößen im Strahlenschutz, PTB-Bericht, PTB-Dos-23, Braunschweig, 1994
- [7] PTB-Anforderungen PTB-A-23.3 - Strahlenschutzmessgeräte: Ortsdosimeter zur Messung der Umgebungs- und Richtungs-Äquivalentdosis und der Umgebungs- und Richtungs-Äquivalentdosisleistung, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, November 2000