

KFK-354

# KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Februar 1965



KFK 354

Strahlenmeßabteilung

Erfahrungen mit Phosphatglasdosimetern zur Personendosimetrie

H. Kiefer, R. Maushart, E. Piesch



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE



Internationale Monatsschrift für angewandte Atomenergie in Industrie, Landwirtschaft, Naturwissenschaften und Medizin unter besonderer Berücksichtigung der Medizinischen Strahlenbiologie sowie des Strahlenschutzes

Hauptschriftleiter: Prof. Dr. rer. nat. Dr. med. E. H. Graul, Marburg/L., Robert-Koch-Str. 8a · Verlag G. Braun, Karlsruhe, Karl-Friedrich-Str. 14—18

---

## Erfahrungen mit Phosphatglasdosimetern zur Personendosimetrie \*

Von H. Kiefer, R. Maushart, und E. Piesch

Aus der Strahlenmeßabteilung  
des Kernforschungszentrums  
Karlsruhe

Die Eigenschaft silberaktivierter Metaphosphatgläser, nach einer Bestrahlung Radiophotolumineszenz zu zeigen, wird seit einigen Jahren zur Bestimmung der akkumulierten Dosis von Röntgen- und  $\gamma$ -Strahlung ausgenutzt. Die ersten Schulman-Gläser [1, 2] waren jedoch relativ unempfindlich und konnten nur für Hochdosismessungen verwendet werden. Glasdosimeter wurden für die routinemäßige Personendosimetrie erst dann von besonderem Interesse, als es Yokota [3] gelang, ein Glas mit einer kleineren

Vordosis, einer verbesserten Dosisempfindlichkeit, einer geringeren Energieabhängigkeit und einer stabileren Meßwertspeicherung herzustellen.

Solche Gläser werden im Kernforschungszentrum Karlsruhe seit etwa 3 Jahren von der Strahlenmeßabteilung benutzt. Teilweise werden sie parallel zu den üblichen, vorgeschriebenen Personendosimetern im Routinebetrieb eingesetzt, teilweise dienen sie zu Ortsdosismessungen. Zur Zeit sind etwa 1200 solcher Dosimeter im Gebrauch.

\* Manuskripteingang: 17. 3. 1964

## 1. Strahlungsnachweis mit Glasdosimetern

Metaphosphatgläser sind Festkörperdosimeter, in die Silberatome als Fehlstellen eingebaut werden. Bei Strahlungsabsorption gelangen Elektronen aus dem Valenzband in das Leitfähigkeitsband. Diese Elektronen diffundieren entweder direkt zu den Fehlstellen, wo sie von Silberionen eingefangen werden. Sie können aber auch über sogenannte Haftstellen verzögert zu den Fehlstellen gelangen, wenn sie zu einem späteren Zeitpunkt durch eine äußere Energiezufuhr (Wärme oder UV-Licht) aus den Haftstellen mit unterschiedlichem Energieniveau freigesetzt werden. Die entstandenen metastabilen Silberatome sind Fluoreszenzzentren. Ihre Anzahl ist direkt proportional zur absorbierten Strahlungsdosis. Mit UV-Licht (3600 Å) läßt sich eine Fluoreszenzstrahlung von ca. 6200 Å anregen, deren Intensität mit einem Photomultiplier gemessen werden kann. Als Dosismesswert wird eine Fluoreszenzintensität in  $\mu\text{A}$  erhalten.

Gegenüber chemischen Dosimetern, die bleibende Veränderungen erfahren, und Thermolumineszenzdosimetern, deren Meßwert bei der Abfrage gelöscht wird, haben Radiophotolumineszenzdosimeter folgende Vorteile:

- die metastabilen Fluoreszenzzentren werden durch die UV-Lichtanregung beim Ausmessen nicht zerstört,
- eine Messung kann ohne nennenswerten Meßwertverlust beliebig oft wiederholt werden,
- das Dosimeter kann nach einer Auswertung weiterhin Strahlungsdosen aufaddieren,
- die metastabilen Leuchtzentren können durch Energiezufuhr oberhalb  $+100^\circ\text{C}$  wieder gelöscht werden,
- das Dosimeter ist nach einer Meßwertlöschung wieder verwendbar.

Eine gewisse Erschwernis des Auswertvorgangs kann darin gesehen werden, daß auch unbestrahlte Gläser ein Fluoreszenzlicht anderer Wellenlängenverteilung aussenden, dessen Anteil am Meßwert als Vordosis bezeichnet wird. Ihre Höhe hängt sowohl von der Herstellungstechnik und Zusammensetzung des Glases als auch von der Güte der Filterung des gesamten Fluoreszenzlichtes im Auswertgerät ab. Bei einer Dosismessung im unteren Meßbereich muß diese Vordosis schon vor der Bestrahlung bestimmt werden und wird dann vom Meßwert subtrahiert.

## 2. Die Auswertmethode

Verwendet werden japanische Yokota-Glasdosimeter, die für eine besonders hohe Empfindlichkeit und eine geringe Energieabhängigkeit bekannt sind [3 bis 9]. Es handelt sich um das von der Firma Toshiba gelieferte Glas Nr. 2, das zu gleichen Teilen aus  $\text{Al}(\text{PO}_3)_3$  und  $\text{LiPO}_3$  besteht, wobei 7%  $\text{AgPO}_3$  und 3%  $\text{B}_2\text{O}_2$  zugesetzt sind. Die Größe der Gläser beträgt  $8 \times 8 \times 4,7 \text{ mm}^3$ . Sie können an einer mattierten Seitenfläche unverwechselbar gekennzeichnet werden. Zur Verwendung als Personendosimeter werden die Gläser in ein Filter verpackt, wie weiter unten beschrieben wird.

Das Auswertgerät für Glasdosimeter enthält eine spannungstabilisierte Quecksilberhochdrucklampe, deren Licht über ein optisches System zum Glas geführt wird. Das vom Glas ausgesandte gefilterte Fluoreszenzlicht wird senkrecht dazu durch einen Photomultiplier mit rot empfindlicher Bi-Cs-Kathode nachgewiesen. Zur Messung gelangt der Anodenstrom des Photomultipliers. Als Meßwert wird die Fluoreszenzintensität in  $\mu\text{A}$  angegeben.

Bei dem in Karlsruhe verwendeten Auswertgerät handelt es sich um eines der ersten Laborgeräte der Firma Toshiba, das heute durch ein besseres ersetzt werden kann [4].

Die Auswertung der Gläser erfolgt nach einer einstündigen Temperaturbehandlung bei  $+100^\circ\text{C}$ . Vor der Auswertung findet eine dreistufige Reinigung der Gläser in der Reihenfolge Azeton-Wasser-Alkohol statt. Anstelle von Azeton können auch Detergentien verwendet werden. Allerdings muß ein bestimmter Waschvorgang beibehalten werden. Nach dem Trocknen der Gläser darf kein sichtbarer Rückstand zurückbleiben. Das Waschen ist nur notwendig, wenn es sich um den Nachweis von kleinen

Dosen handelt. Der Waschvorgang verhindert, daß vor allem Fettverunreinigungen auf der Glasoberfläche zusätzliches Fluoreszenzlicht erzeugen und damit eine erhöhte Dosis vortäuschen, oder andere Verunreinigungen Fluoreszenzlicht aus dem Glas nicht mehr in den Photomultiplier gelangen lassen und deshalb die Dosis scheinbar erniedrigen. Die Kalibrierung des Auswertgeräts erfolgt über Referenzgläser, denen eine definierte Menge von Samarium zugesetzt wurde, wodurch eine unterschiedlich große Bestrahlungsdosis simuliert wird. Diese Referenzgläser haben den Vorteil, unloschbar zu sein und praktisch keine Veränderungen zu zeigen. Sie werden ebenfalls von der Firma Toshiba geliefert.

## 3. Verhalten

Um die meßtechnischen Eigenschaften der Glasdosimeter besser bewerten zu können, sollen folgende Eigenschaften näher untersucht werden:

- Energieabhängigkeit,
- Richtungsabhängigkeit,
- Dosisbereich,
- Dosisleistungsabhängigkeit,
- Meßwertänderung nach der Exposition,
- Temperaturverhalten während der Bestrahlung,
- Meßwertstreuung,
- Empfindlichkeit gegenüber Neutronenstrahlung.

### a) Energieabhängigkeit

Die von uns gemessene Energieabhängigkeit [5, 6] der Phosphatgläser ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Kurve a zeigt das Glas ohne jede Filterung. Bei der Kurve b wurde eine Filterung von 0,3 mm Sn, bei c eine von 0,6 mm Sn und bei d eine von 1,2 mm Sn verwendet. Ein Dosimeter mit einer Filterung von 1,2 mm Sn oder 1 mm Cd ist oberhalb 85 keV innerhalb  $\pm 20\%$  energieunabhängig.

In manchen Fällen ist es notwendig, die Energieunabhängigkeit noch nach niederen Energien hin zu verbessern. Dies gelingt durch ein Dosimeter mit konisch aufgebohrter Metallkapsel (1 mm Cd) [7]. Es ist oberhalb 45 keV innerhalb  $\pm 30\%$  energieunabhängig (Abbildung 1, Kurve e).

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, daß ein Doppeldosimeter getragen wird, wovon das eine mit 2 mm Plexiglas, das andere mit 2 mm Zn gefiltert wird [8]. Der Meßwert des mit Plexiglas abgedeckten Dosimeters wird zu 15% bewertet, die Summendosis beider Dosimeter ist dann oberhalb 35 keV innerhalb von

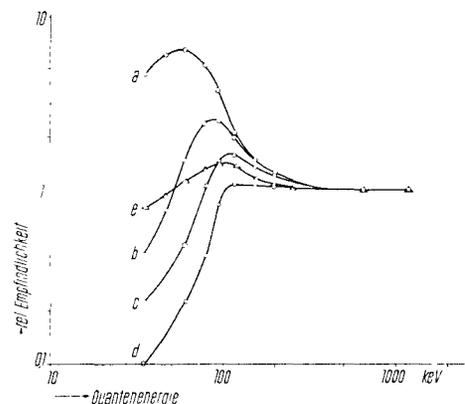


Abbildung 1. Die relative Dosimeteranzeige von Yokota-Glasdosimetern ( $8 \times 8 \times 4,7 \text{ mm}^3$ ) mit verschiedener Metallfilterung in Abhängigkeit von der Quantenenergie;

- Glas ohne Filterung,
- Glas mit 0,3 mm Sn,
- Glas mit 0,6 mm Sn,
- Glas mit 1,2 mm Sn,
- Glas mit 1 mm Cd und konischer Bohrung nach [7]

$\pm 20\%$  energieunabhängig. Abbildung 2 zeigt die hierfür gewonnenen Meßkurven. In diesem Fall kann ähnlich wie beim Filmdosimeter bei homogener Strahlung eine Strahlenqualität angegeben werden.<sup>1</sup>

#### b) Richtungsabhängigkeit

Da die verwendeten Glasdosimeter ( $8 \times 8 \times 4,7 \text{ mm}^3$ ) relativ dick sind, ist nur eine geringe Richtungsabhängigkeit zu erwarten. Ein gewisser Rückgang der Dosisempfindlichkeit ist bei Metallfilterung unter einer Strahleneinfallrichtung von  $45^\circ$  bzw.  $60^\circ$  jedoch unvermeidlich, wo die Filterdicke größer ist und daher energiariche Strahlung bevorzugt geschwächt wird. Die Richtungsabhängigkeit sollte demnach insbesondere an der unteren Grenze des jeweiligen Energiebereichs bestimmt werden. Es wurde experimentell gefunden, daß bei einer Filterung des Glases von 1 mm Cd bei  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ -Strahlung die Richtungsabhängigkeit nur etwa  $\pm 3\%$  betrug, bei 200 keV Röntgenstrahlung  $\pm 5\%$  und bei 94 keV Röntgenstrahlung  $\pm 18\%$ . Für ein Filter von 1 mm Cd mit konisch aufgebohrten Seitenflächen (nach [7]) erhielten wir eine Richtungsabhängigkeit von  $\pm 7\%$  für eine 200 keV Röntgenstrahlung bzw. von  $\pm 37\%$  für eine 45 keV Röntgenstrahlung.

Bei Filterung mit 2 mm Plexiglas ist das Glas noch für eine Strahlungsenergie von 45 keV innerhalb  $\pm 5\%$  richtungsabhängig, bei einer Filterung von 2 mm Sn betrug die Richtungsabhängigkeit für 94 keV Röntgenstrahlung  $\pm 25\%$ . Bei der praktischen Verwendung eines solchen Filtersystems wird auf einen experimentellen Kalibrierwert bezogen, welcher diese Richtungsabhängigkeit annähernd mittelt. Die Richtungsabhängigkeit läßt sich wesentlich verkleinern, wenn das Metallfilter keine rechtwinkligen, sondern abgerundete Kanten hat oder wenn ein kugelförmiges Filter [10, 11] verwendet wird.

#### c) Dosisbereich

Wie die Abbildung 3 zeigt, ist die gemessene Fluoreszenzintensität in einem weiten Bereich direkt proportional der eingestrahlten Dosis. Die untere Meßgrenze hängt von der Vordosis und damit auch vom Auswertegerät ab. Bei unserem — veralteten — Auswertegerät<sup>2</sup> beträgt der Standardfehler bei einer eingestrahlten Dosis von 40 mR  $\pm 30\%$ . Die obere Grenze des linearen Nachweisbereichs liegt bei 1000 R. Bei höheren Dosen führt ein Ausscheiden von kolloidalem Silber zur Verfärbung des Glases und zur Absorption des Fluoreszenzlichtes. Das hat ein Abweichen des Meßwerts vom linearen Verlauf zur Folge. Mit entsprechender Kalibrierung können trotzdem  $\gamma$ -Dosen bis ca.  $10^5$  R gemessen werden. Bei Verwendung kleinerer Gläser (1 mm  $\varnothing$ , 6 mm Länge) liegt die obere Grenze des linearen Bereichs bei 10 000 R. Für  $8 \times 8 \times 4,7 \text{ mm}^3$ -Gläser beträgt die Vordosis etwa 100 mR. Abbildung 4 zeigt die Streuung der Vordosis, wie sie bei 100 beliebigen Gläsern einer Sendung in ungewaschenem Zustand sowie nach dem Waschvorgang erhalten wurde.

#### d) Dosisleistungsabhängigkeit

Die Abhängigkeit der Dosisanzeige des Glasdosimeters von der Dosisleistung wurde von uns für Dosisleistungen von 0,001 R/h bis 50 000 R/h einer äquivalenten  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ -Strahlung untersucht. In diesem Bereich wurde keine Abhängigkeit von der Dosisleistung gefunden, die über den Meßfehler von 3% hinausgeht. Dies entspricht auch Ergebnissen anderer Autoren, die bis zu Dosisleistungen von 1000 R/h gemessen haben [7, 8].

#### e) Meßwertänderung nach der Exposition

Im Gegensatz zu anderen Personendosimetern wird bei Glasdosimetern beobachtet, daß die Fluoreszenzintensität in der Zeit nach der Bestrahlung zunimmt. Je nach den Temperaturverhältnissen wird ein maximaler Meßwert früher oder später asymptotisch erreicht. Der Anstieg der Fluoreszenzintensität in Abhängigkeit von der Zeit nach der Exposition bei Zimmertemperatur ist in Abbildung 5 dargestellt. Ein Meßwert, der eine Stunde nach

<sup>1</sup> Neuerdings ist in Karlsruhe ein Kugeldosimeter entwickelt worden, dessen Energie- und Richtungsabhängigkeit oberhalb einer Quantenenergie von 45 keV innerhalb  $\pm 18\%$  liegt [10,11].

<sup>2</sup> Mit einem neueren Auswertegerät wird bei einer Vordosis von 150 mrad folgende Meßgenauigkeit erreicht [4]: 10 mrad  $\pm 15\%$ , 15 mrad  $\pm 10\%$ , 25 mrad  $\pm 6\%$ , 50 mrad  $\pm 2\%$ , 100 mrad  $\pm 2\%$ .

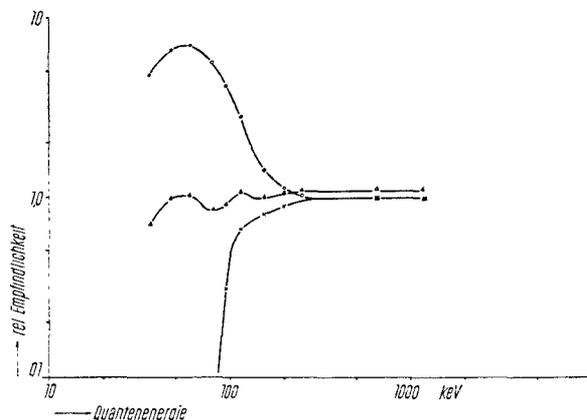


Abbildung 2. Die relative Dosimeteranzeige von Yokota-Glasdosimetern ( $8 \times 8 \times 4,7 \text{ mm}^3$ ) mit einer Filterung von

○—○ 2 mm Plexiglas,  
×—× 2 mm Zinn,  
sowie der Summenmeßwert beider Dosimeter (Meßwert des Plexiglasdosimeters mit 15% bewertet) in Abhängigkeit von der Quantenenergie

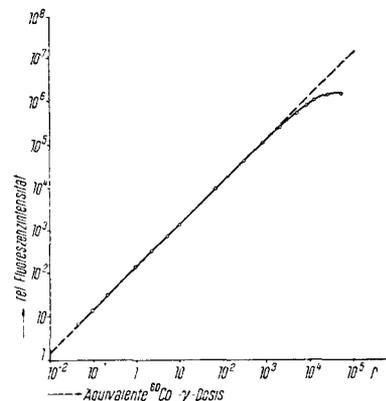


Abbildung 3. Die relative Fluoreszenzintensität von Yokota-Glasdosimetern ( $8 \times 8 \times 4,7 \text{ mm}^3$ ) in Abhängigkeit von der  $\gamma$ -Dosis einer äquivalenten  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ -Strahlung

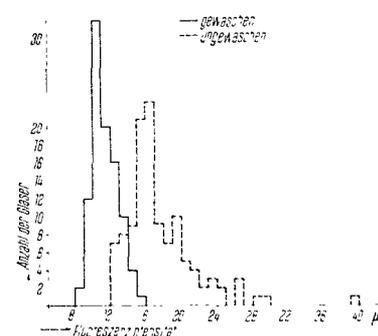


Abbildung 4. Die Streuung der Fluoreszenzintensität nicht strahlenexponierter Yokota-Gläser ( $8 \times 8 \times 4,7 \text{ mm}^3$ ) (Vordosis) bei 100 Gläsern einer Serie

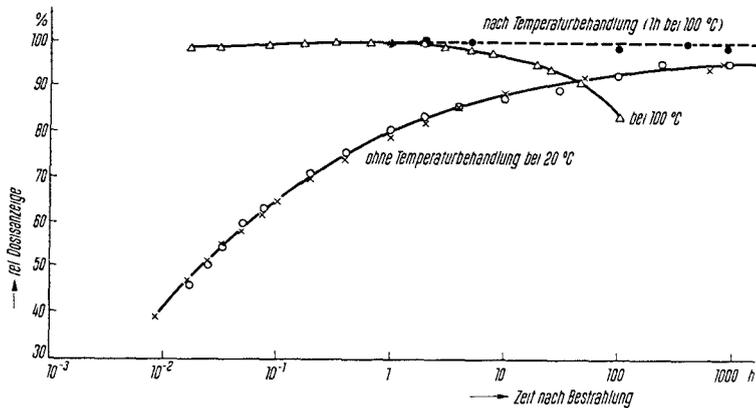


Abbildung 5. Die relative Änderung der Fluoreszenzintensität von Yokota-Gläsern ( $8 \times 8 \times 4,7 \text{ mm}^3$ ) bezogen auf einen Höchstwert, der nach einer einstündigen Temperaturbehandlung bei  $100^\circ\text{C}$  erhalten wurde, in Abhängigkeit von der Zeit nach der Bestrahlung (Kurzzeitbestrahlung);

- a) Meßwertänderung bei Zimmertemperatur für  
 $\times \cdot \times$   $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ -Strahlung ohne Temperaturbehandlung,  
 $\circ - \circ$  ca. 80 keV Röntgenstrahlung ohne Temperaturbehandlung,  
 $\bullet - \bullet$  Temperaturbehandlung 1 h /  $+100^\circ\text{C}$ ,  
b)  $\triangle - \triangle$  Meßwertänderung bei einer konstanten Temperatur von  $+100^\circ\text{C}$

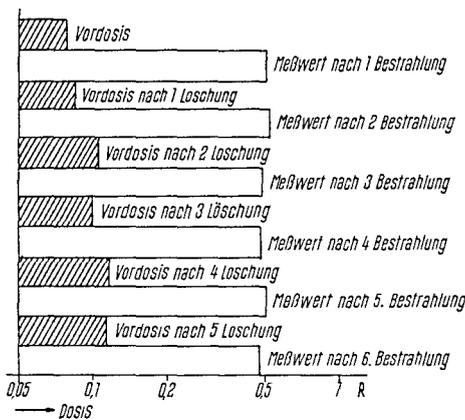


Abbildung 6. Die Änderung der „Vordosis“ von Yokota-Glasdosimetern sowie der Meßwert bei Exposition auf die gleiche Dosis nach mehrmaliger Löschung des Meßwerts

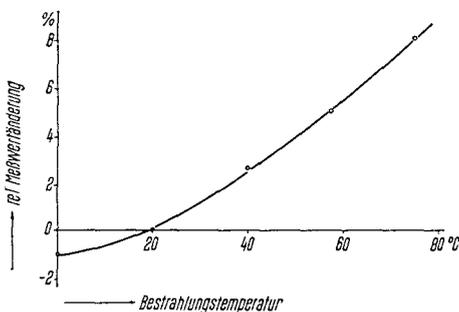


Abbildung 7. Die relative Änderung der Fluoreszenzausbeute von Yokota-Gläsern in Abhängigkeit von der Temperatur während der Bestrahlung, bezogen auf einen Meßwert bei Zimmertemperatur

einer Kurzzeitbestrahlung gemessen wird, unterscheidet sich von dem Meßwert nach 100 Tagen um weniger als 20%. Durch geeignete Temperaturbehandlung bei  $+100^\circ\text{C}$  wird die Einstellung des Endwerts wesentlich beschleunigt, wie ebenfalls in Abbildung 5 zu sehen ist. Bei der Auswertung selbst besteht kein Temperatureinfluß, weil die Referenzgläser bei der Auswertung auf dieselbe Temperatur gebracht werden wie die auszumessenden Gläser.

Abbildung 5 zeigt die Änderung der Fluoreszenzintensität eines Glasdosimeters, das bei  $+100^\circ\text{C}$  gelagert wird, in Abhängigkeit von der Zeit. Bei dieser Temperatur kann man nach mehreren Stunden ein Fading beobachten. Weiter ist aus dem Bild zu ersehen, daß eine einstündige Temperierung genügt, um den Höchstwert zu erhalten.

Bei von uns vorgenommenen Versuchen über einen Zeitraum von einem halben Jahr konnte unter normalen Temperaturverhältnissen kein signifikantes Fading beobachtet werden. Dies ist darauf zurückzuführen, daß bei nicht temperaturbehandelten Gläsern ein tatsächlich vorhandenes Fading durch den Anstieg des Meßwerts in den ersten Monaten kompensiert wird. Dieser Vorteil des Yokota-Glases gegenüber den Schulman-Gläsern gestattet eine Dosisüberwachung auch über längere Zeiträume. In der Literatur [8] werden umfangreiche Fadingversuche ebenfalls über ein halbes Jahr beschrieben, bei denen nachgewiesen wurde, daß das Fading in dieser Zeit unterhalb von 5% liegt.<sup>3</sup>

Es muß bei einer Beurteilung des Fading allerdings beachtet werden, daß es möglich ist, mit UV-Licht (Sonnenlicht) eine Abnahme der Fluoreszenzintensität zu erzielen. Ein dem Sonnenlicht ausgesetztes Glasdosimeter zeigte eine Abnahme der Fluoreszenzintensität von ca. 7% innerhalb einer Expositionszeit von 1 bis 5 Stunden, entsprechend dem jeweiligen Expositionsort (Höhe ü. d. M.) und der jeweiligen Jahreszeit. In der Praxis hat das allerdings keine Bedeutung, da Glasdosimeter in UVlichtundurchlässigen Filtern verpackt sind. Eine ähnliche Abnahme des Fluoreszenzlichts wird bei künstlicher UV-Lichtbestrahlung festgestellt. Die beim Ausmessen des Glases eingestrahelte UV-Lichtmenge ist jedoch so gering, daß auch vielfaches Ausmessen nicht zu einer Verminderung der Fluoreszenzintensität führt (s. auch [7, 8]).

Zum Löschen der aufgespeicherten Dosis werden die Gläser für eine Stunde auf  $+400^\circ\text{C}$  erhitzt. Sie können anschließend wieder verwendet werden, wobei allerdings die Vordosis etwas ansteigt.

Abbildung 6 zeigt das Verhalten eines Glases, das mehrfach bestrahlt und wieder gelöscht wurde. Es zeigt sich dabei, daß die Vordosis langsam zugenommen hat, während die Empfindlichkeit des Glases innerhalb der Meßwertstreuung gleich geblieben ist. Die nach dem Löschen wieder vorhandene Vordosis ist unabhängig davon, mit welcher Dosis das Glas vorher bestrahlt worden war.

#### f) Temperaturverhalten während der Bestrahlung

Die Temperatur während der Bestrahlung hat nur einen geringen Einfluß auf die Bildung der Fluoreszenzzentren. Messungen der Fluoreszenzintensität nach Bestrahlung bei verschiedenen Temperaturen ergaben eine relative Meßwertänderung von weniger als  $+0,2\%$  pro  $1^\circ\text{C}$  Temperaturänderung im Temperaturbereich von  $+20$  bis  $+80^\circ\text{C}$  (Temperaturkoeffizient nach [8]  $+0,2\%/1^\circ\text{C}$ , nach [7]  $+0,4\%/1^\circ\text{C}$  oberhalb  $+40^\circ\text{C}$ ). Für Temperaturen unterhalb  $+20^\circ\text{C}$  wurde von uns ein Temperaturkoeffizient kleiner als  $+0,1\%/1^\circ\text{C}$  erhalten. Abbildung 7 zeigt die experimentell bestimmte relative Änderung der Fluoreszenzausbeute in Abhängigkeit von der Temperatur während der Bestrahlung. Der

<sup>3</sup> Neuere Veröffentlichungen nennen über ein volles Jahr eine Meßwertänderung von weniger als 10% [12]

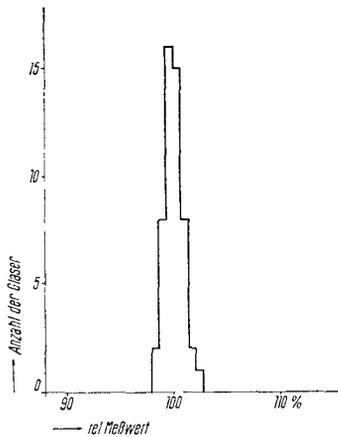


Abbildung 8. Die Streuung des Dosismesswerts von 52 Yokota-Glasdosimetern ( $8 \times 8 \times 4,7 \text{ mm}^3$ ), die mit einer Dosis von 1,65 R einer  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ -Strahlung bestrahlt wurden

Messwert bei  $0^\circ \text{C}$  ist demnach um ca. 1% niedriger, bei  $+40^\circ \text{C}$  um ca. 3% höher als der bei einer Temperatur von  $+20^\circ \text{C}$  gemessene Wert.

#### g) Messwertstreuung

Um festzustellen, wie stark der Messwert bei gleicher eingestrahelter Dosis von Glas zu Glas schwankt, wurden 52 Gläser mit je 1,65 R exponiert. Die gefundene maximale Streuung des Dosiswerts betrug  $\pm 2,4\%$  (s. Abbildung 8). In der Literatur [4] finden sich Angaben, die mit neuen Auswertegeräten gewonnen wurden; es wird bei größeren Serien für die Standardabweichung 0,7% festgestellt.

#### b) Empfindlichkeit gegenüber Neutronenstrahlung

Wegen des Gehalts an Li, B und Ag sind die Glasdosimeter auch gegenüber thermischen Neutronen empfindlich. Die Dosisäquivalent-Empfindlichkeit des Glasdosimeters gegenüber thermischen Neutronen ist um den Faktor 3,34 höher als gegenüber der  $\gamma$ -Strahlung von  $^{60}\text{Co}$ . Die Empfindlichkeit gegenüber schnellen Neutronen von 3 MeV ist nur 0,7% der  $\gamma$ -Empfindlichkeit [6]. Sie kann deshalb vernachlässigt werden.

Ein Glasdosimeter mit einer Filterung von 1 mm Cd ergibt als Messwert eine Summendosis in rem aus der  $\gamma$ -Strahlung und der von langsamen Neutronen herrührenden Strahlung. Wird eine Trennung beider Dosisanteile gewünscht, so kann ein Doppeldosimeter getragen werden, von dem das eine mit Cd, das andere mit Sn umhüllt ist. Die Verwendungsmöglichkeit des Yokota-Glases zur Dosismessung in gemischten Strahlungsfeldern bei Anwesenheit von  $\gamma$ -Strahlung sowie von thermischen und schnellen Neutronen ist an anderer Stelle bereits behandelt worden [6, 9].

## 4. Folgerungen

Yokota-Gläser erfüllen hinsichtlich der Messwert-Registrierung, der Messwertspeicherung und der Messwertwiedergabe alle Voraussetzungen, die man heute an ein Langzeitdosimeter stellen kann. Als unlösbares Dosimeter — keine Messwertlöschung durch den Messvorgang — hat es den unverkennbaren Vorteil, daß es nach der Messung wieder verwendbar ist und daß es beliebig oft Zwischenablesungen gestattet. Die untere Dosisnachweisgrenze ist daher für einen Überwachungszeitraum von einem Jahr bei einem einzigen Glasdosimeter trotz 14tägiger Auswertung 40 mR/Jahr.

Um eine bessere Vergleichsmöglichkeit mit anderen Personendosimetern zu haben, sollen zum Schluß nochmals die wichtigsten Eigenschaften der Glasdosimeter zusammengestellt werden (Tabelle 1).

Tabelle 1. Eigenschaften von Yokota-Glasdosimetern

<b>Dosisbereich</b>	
linear	40 mR bis 1000 R
gesamt	40 mR bis ca. $10^5 \text{ R}$
<b>Dosisäquivalent-Empfindlichkeit gegenüber Neutronen, bezogen auf <math>\gamma</math>-Empfindlichkeit</b>	
thermische Neutronen unterhalb 0,5 eV	345%
schnelle Neutronen bei 3 MeV	0,7%
mit 1 mm Cd-Filterung Summendosis von $\gamma$ und $n_{\text{th}}$	100 bis 110%
<b>Dosisleistungsabhängigkeit</b>	
0,001 bis 50 000 R/h für äquivalente $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ -Strahlung	$< 3\%$
<b>Energieunabhängigkeit</b>	
Dosisanzeige für eine Filterung mit 1 mm Cd oberhalb 85 keV	$\pm 20\%$
Dosisanzeige für eine Cd-Filterung mit konischer Bohrung, oberhalb 45 keV	$\pm 30\%$
Dosisanzeige für ein Doppeldosimeter mit einer Filterung von 2 mm Plexiglas und 2 mm Sn, oberhalb 35 keV	$\pm 20\%$
<b>Richtungsabhängigkeit</b>	
bezogen auf frontale Bestrahlung	
für 1 mm Cd mit 94 keV Röntgenstrahlung	$\pm 18\%$
mit 200 keV Röntgenstrahlung	$\pm 5\%$
für 1 mm Cd mit $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ -Strahlung	$\pm 3\%$
für 1 mm Cd mit konischer Bohrung mit 45 keV	$\pm 37\%$
mit 200 keV	$\pm 7\%$
für 2 mm Plexiglas mit 45 keV	$\pm 5\%$
für 2 mm Zinn mit 94 keV	$\pm 25\%$
<b>Fading</b> innerhalb eines Jahres	unter 5%
<b>Temperaturabhängigkeit</b>	
nur während der Exposition	unter 0,2% pro $1^\circ \text{C}$ Temperaturänderung
<b>Empfindlichkeit</b>	
gegen Luftfeuchtigkeit	keine
gegen Luftdruck	keine
gegen chemische Einflüsse	vernachlässigbar
gegen mechanische Einflüsse	gering
<b>Lagerzeit</b>	unbegrenzt
<b>Messwertbestimmung</b>	
Zwischenablesung	beliebig oft
Löschung bei $+400^\circ \text{C}$	beliebig oft
Messwertstreuung bei verschiedenen Dosimetern bei 1 R innerhalb unterer Meßgenauigkeit für eine Tragdauer von einem Jahr bei 14tägiger Auswertung	$\pm 3\%$
40 mR	
<b>Auswertzeit</b>	
Reinigung des Glases und Fluoreszenzbestimmung	200 Gläser pro Stunde und Arbeitskraft
<b>Kosten</b>	
Preis pro Glas	ca. DM 5,00
Preis pro Filter	ca. DM 6,00
Preis pro Auswertung	ca. DM 0,50

## Literatur

- [1] Schulman I. H., Ginther R. J., Klick C. C., Alger R. S. und Levy R. A.: J. Appl. Phys. 22, 1479 (1951)
- [2] Ginther R. I. und Schulman I. H.: Nucleonics 18 (Nr. 4), 94 (1960)
- [3] Yokota R., Nakajima S. und Sakai E.: Health Physics 5, 219 (1961)
- [4] Yokota R. und Nakajima S.: Toshiba Rebuy 18 (Nr. 2), 1 (1963) (UCRL-Trans.-984)
- [5] Kiefer H. und Maushart R.: „Strahlenschutzmeßtechnik“, Braun-Verlag, Karlsruhe 1964
- [6] Piesch E.: Atompraxis 10, (1964)
- [7] Becker K.: Nukleonik 5, 154 (1963)
- [8] Miyanaga J. und Yamamoto H.: Health Physics 9 965 (1963)
- [9] Piesch E.: Direct Information 3/63
- [10] Maushart R. und Piesch, E.: Proceedings of the International Symposium on Dosimetry of Irradiations from external Sources, Paris 1964 (im Druck)
- [11] Piesch, E.: Direct Information 17/64
- [12] Cheka, J. S.: Health Physics 10 (1964) S. 303

Anschrift der Verfasser: Dr. H. Kiefer, Dr. R. Maushart und Dipl.-Phys. E. Piesch, Kernforschungszentrum Karlsruhe, Strahlenmeßdienst, 75 Karlsruhe, Postfach 947

### Erfahrungen mit Phosphatglasdosimetern zur Personendosimetrie

Aufgrund einer mehrjährigen Erfahrung im praktischen Einsatz von silberaktivierten Metaphosphatgläsern nach Yokota werden die meßtechnischen Eigenschaften — insbesondere die Energieabhängigkeit, Richtungsabhängigkeit und Dosisleistungsabhängigkeit der Dosisanzeige — von einfachen Dosimeteranordnungen beschrieben, die im Kernforschungszentrum Karlsruhe zur praktischen Dosismessung verwendet werden. — Die bisherigen Erfahrungen und Ergebnisse zeigen, daß Phosphatgläser nach Yokota in Verbindung mit geeigneter Kapselung — zunächst für Quantenenergien oberhalb etwa 35 keV — den in Deutschland gebräuchlichen Filmdosimetern an Zuverlässigkeit, Einfachheit und Genauigkeit der Meßwertregistrierung überlegen sind.

### Experience with Phosphate Glass Dosimeters in Personnel Dosimetry

Several years of experience in the practical use of silver-activated metaphosphate glasses according to Yokota provide the background for a description of the measuring properties — in particular energy dependence, direction sensitivity and dose rate dependence of dose indication — of simple dosimeter arrangements used in practical dose measurements at the Karlsruhe Nuclear Research Center. — Present experience and results show that phosphate glasses according to Yokota in connection with a suitable type of capsule — for the time being for quantum energies above some 35 keV — are superior to the film dosimeters customary in Germany as regards reliability, simplicity and accuracy of recording the measured values.

### Expériences sur les dosimètres au verre de phosphate pour la dosimétrie du personnel

A partir d'une expérience de plusieurs années dans l'utilisation de verres de métaphosphate activés à l'argent d'après Yokota, les propriétés métrologiques, en particulier la variation en fonction de l'énergie, en fonction de la direction et en fonction de la puissance dosique de l'indication de simples dispositifs dosimétriques sont décrites. Ces dispositifs sont utilisés dans le centre de recherches nucléaires de Karlsruhe. Les résultats montrent que les verres de phosphate d'après Yokota capsulés de manière appropriée sont supérieurs du point de vue sûreté, simplicité et précision de l'enregistrement de la valeur à mesurer aux dosimètres à pellicules utilisés en Allemagne, du moins dans la marge d'énergie supérieure à 35 keV.