

KFK-235:2

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Juni 1964

KFK 235

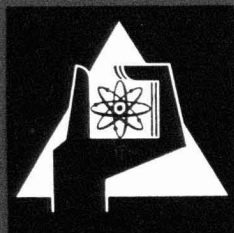
Strahlenmeßabteilung

Die Verwendung von silberaktivierten Metaphosphatgläsern zur
Bestimmung einer Personen- und Ortsdosis von Gamma-
und Neutronenstrahlung

*Gesellschaft für Kernforschung m. B. H.
Zentrum Karlsruhe*

14. Dez. 1964

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

*Gesellschaft für Kernforschung m.b.H.
Zentralbücherei*

Die Verwendung von silberaktivierten Metaphosphatgläsern zur Bestimmung einer Personen- und Ortsdosis von Gamma- und Neutronenstrahlung

Von E. Piesch



Die Verwendung von silberaktivierten Metaphosphatgläsern zur Bestimmung einer Personen- und Ortsdosis von Gamma- und Neutronenstrahlung

Aus der Strahlenmeßabteilung
des Kernforschungszentrums
Karlsruhe

Von E. Piesch

Gesellschaft für Kernforschung m.b.H.
Zentralbücherei

Silberaktivierte Metaphosphatgläser nach Schulman [1 bis 6], die wegen großer Vordosis und geringer Dosisempfindlichkeit nur zu Hochdosismessungen verwendbar waren, sind durch Yokota [7] in einer Weise verbessert worden, daß sie für eine Routineüberwachung in kerntechnischen Anlagen den bisher verwendeten Film dosimetern immer häufiger vorgezogen werden. Die Überlegenheit des Glasdosimeters gegenüber dem Film dosimeter beruht auf Eigenschaften, — relativ geringe Energieabhängigkeit, Fehlen eines Fadingeffektes, großer Meßbereich, Erhaltung des Meßwerts beim Meßvorgang, Möglichkeit einer Zwischenablesung — die eine zuverlässige Dosisregistrierung, eine unveränderliche Meßwertspeicherung und eine einfache Dosisauswertung gewährleisten.

Um Glasdosimeter den Bedürfnissen einer energieunabhängigen γ -Dosisbestimmung anzupassen, können verschiedene Metallfilterkombinationen verwendet werden, wie sie beispielsweise auch in der Film dosimetrie schon lange bekannt sind [8]. An eine routinemäßige Personenüberwachung in kerntechnischen Anlagen wird aber auch die Forderung gestellt, daß eine γ -Dosisbestimmung bei gleichzeitiger Anwesenheit von Neutronenstrahlung möglich ist. Bei den meisten Film dosimetern wurde die Empfindlichkeit gegenüber thermischen Neutronen durch den Kalibrierwert des neutronenempfindlichen Filterfeldes berücksichtigt. Andererseits zeigen Film dosimeter gegenüber thermischen Neutronen nur etwa $\frac{1}{4}$ der γ -Dosisempfindlichkeit. Die Neutronenempfindlichkeit von Phosphatgläsern mit niederatomigen Anteilen beträgt demgegenüber ein Vielfaches der γ -Dosisempfindlichkeit (s. Tabelle 1). Phosphatgläser sind daher in erster Linie thermische Neutronendetektoren und können erst nach entsprechender Filterung auf eine γ -Dosisbestimmung abgestimmt werden.

Die Verwendbarkeit von Yokota-Gläsern zur Dosisbestimmung in gemischten Strahlungsfeldern bei gleichzeitiger Anwesenheit von γ -Strahlung und Neutronen werden im folgenden nach meßtechnischen Gesichtspunkten diskutiert, wie sie sich aus der Praxis ergeben, wenn

1. nur eine γ -Dosis bestimmt werden soll,
2. die γ -Dosis getrennt von einem Dosisanteil thermischer Neutronen bestimmt werden soll,
3. eine Summendosis von γ -Strahlung und thermischen Neutronen bestimmt werden soll,
4. eine Summendosis von schnellen, mittelschnellen und langsamen Neutronen sowie einer γ -Strahlung bestimmt werden soll.

Die Empfindlichkeit von Glasdosimetern gegenüber γ -Strahlung und Neutronen

Silberaktivierte Metaphosphatglasdosimeter haben die Eigenschaft, nach Strahlungsabsorption Radiophotolumineszenz zu zeigen. Die hierbei im Festkörper freigewordenen Sekundärelektronen diffundieren zu sogenannten Fehlstellen, wo sie von Silberionen eingefangen werden und metastabile Fluoreszenzleuchtzentren bilden. Die Leuchtzentren können mit UV-Licht (3600 Å) zu einem sekundären Fluoreszenzlicht (6400 Å) angeregt werden, dessen Intensität ein Maß für die eingestrahlte Dosis ist.

Durch Bestrahlung z. B. mit einer ^{60}Co - γ -Quelle erhält man eine Zuordnung der gemessenen Fluoreszenzlichtintensität zur Bestrahlungsdosis (s. Abbildung 1). Die Fluoreszenzintensität $F[\mu\text{A}]$ ist hierbei über einen Dosisbereich von 50 mr bis zu einigen tausend Röntgen direkt proportional zur Dosis $D[\text{r}]$:

$$F_{\gamma} = f_{\gamma}(E) \times D_{\gamma}$$

Die Dosiszuordnung ist energieabhängig. Im Vergleich zu Schulman-Gläsern zeigen hochempfindliche Yokota-Gläser eine relativ kleine Energieabhängigkeit [9] (s. Abbildung 2). Im Empfindlichkeitsmaximum bei ca. 50 keV ist die Dosisempfindlichkeit um den Faktor 6 größer als bei 1,2 MeV. Zur praktischen Dosisbestimmung

Tabelle 1. Zusammensetzung und Dosisempfindlichkeit von silberaktivierten Metaphosphatgläsern [5, 11]

	Schulman-Glas		Yokota-Glas Nr. 2
	high-Z-Glas	low-Z-Glas	
Zusammensetzung	50% Al (PO ₃) ₃ 25% Ba (PO ₃) ₂ 25% KPO ₃ +8% AgPO ₃	50% Al (PO ₃) ₃ 25% Mg (PO ₃) ₂ 25% LiPO ₃ +8% AgPO ₃	50% Al (PO ₃) ₃ 50% LiPO ₃ +8% AgPO ₃ +3% B ₂ O ₃
Relative γ -Energieabhängigkeit*	18 : 1	13 : 1	6 : 1
Dosisbereich	oberhalb 1 bis 10 r bis 10000 r		50 mr bis 3000 r
Relative Neutronenempfindlichkeit**	0,32 : 1	2,8 : 1	3,45 : 1

* Dosisempfindlichkeit im Empfindlichkeitsmaximum bei 50 keV zur Dosisempfindlichkeit bei ^{60}Co - γ -Strahlung ohne Filterung.

** Dosisempfindlichkeit für langsame Neutronen zur Dosisempfindlichkeit bei ^{60}Co - γ -Strahlung [r/rem]; $9,6 \cdot 10^8 \text{ n}_1/\text{cm}^2$ entsprechen einer Dosis von 1 rem.

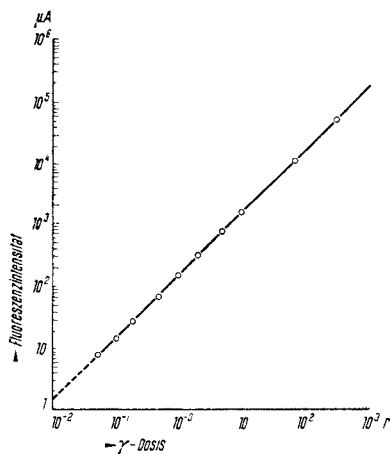


Abbildung 1. Die Fluoreszenzintensität von Yokota-Glasdosimetern ($8 \times 8 \times 4,7 \text{ mm}^3$) in Abhängigkeit von der γ -Dosis einer ^{60}Co -Quelle

werden die Gläser durch Metallfilter abgedeckt, um eine annähernd energieunabhängige Dosisanzeige zu erhalten. Abbildung 3 zeigt die Energieabhängigkeit für ein Glas in einer 1,2 mm dicken Sn-Kapsel, womit man oberhalb 80 keV eine bis auf $\pm 30\%$ energieunabhängige Dosisanzeige erhält¹). Wird dieselbe Kapsel allseitig mit speziellen konischen Bohrungen versehen, dann erreicht man schon oberhalb 35 keV Energieunabhängigkeit [10].

Wegen des Anteils an Lithium, Bor und Silber werden mit Glasdosimetern auch langsame Neutronen nachgewiesen. Abbildung 4 zeigt den Wirkungsquerschnitt für die $\text{Li}(n, \alpha)$ - und $\text{B}(n, \alpha)$ -Reaktion, sowie für den Neutroneneinfang von Silber in Abhängigkeit von der Neutronenenergie [17]. Auch hier erhält man nach Neutroneneinfang eine Fluoreszenzlichtintensität F , welche proportional zur Anzahl der pro Flächeneinheit einstrahlten Neutronen $[n/\text{cm}^2]$ bzw. proportional zur Dosis $[\text{rem}]$ ist.

$$F_n = f_n(E) \times D_n$$

Es ist zweckmäßig, den Proportionalitätsfaktor $f_n(E)$ in verschiedene Energiebereiche aufzuteilen (thermische, mittelschnelle, schnelle Neutronen f_{th}, f_m, f_{sch}). Bezogen auf die Dosisempfindlichkeit einer ^{60}Co - γ -Strahlung $f_\gamma [\mu\text{A}/\text{r}]$, erhält man für die Dosisempfindlichkeit $f_n [\mu\text{A}/\text{rem}]$ folgende Werte [11]:

thermische Neutronen bis 0,5 eV:

$$f_{th} : f_\gamma \approx 4 \text{ r/rem (experimentelle Bestimmung)}$$

mittelschnelle Neutronen $0,5 \text{ eV} \leq E \leq 0,5 \text{ MeV}$:

$$f_m : f_\gamma \approx 0,04 \text{ r/rem (Abschätzung)}$$

schnelle Neutronen $0,5 \text{ MeV} \leq E \leq 10 \text{ MeV}$:

$$f_{sch} : f_\gamma \approx 0,01 \text{ r/rem (experimentelle Bestimmung)}.$$

Das Glasdosimeter kann daher praktisch keine mittelschnellen oder schnellen Neutronen nachweisen. Außerdem ist eine Messung der γ -Dosis bei gleichzeitiger Anwesenheit störender thermischer Neutronen nicht direkt möglich. Um thermische Neutronen vom Nachweis auszuschließen, verwendet man ^6Li - oder ^{10}B -haltige Abschirmungen, welche thermische Neutronen schon vor Erreichen des Glasdosimeters absorbieren.

Eine solche Abschirmung erhält man beispielsweise, wenn Lithium-6-Carbonat oder Bor-10-Oxyd mit Teflon (im Verhältnis 10 : 1) bei ca. 300°C unter Druck (z. B. Spindelpresse) in speziellen Formen gesintert wird. Eine solche Kapselung ist auch bei Verwendung des angereicherten Isotops voluminös, ferner muß zur Kompensierung der γ -Energieabhängigkeit eine zusätzliche Metallfilterung gewählt werden. In der Praxis wird man daher zwei andere Möglichkeiten einer γ -Dosisbestimmung bevorzugen.

¹ Dasselbe erreicht man mit einer 1 mm Cd-Kapsel, siehe auch [24].

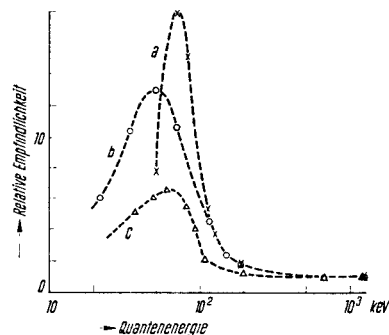


Abbildung 2. Die relative Dosimeteranzeige von Phosphatglasdosimetern in Abhängigkeit von der Quantenenergie [9] a) High-Z-Schulmanglas, b) Low-Z-Schulmanglas, c) Yokota-Glas Nr. 2

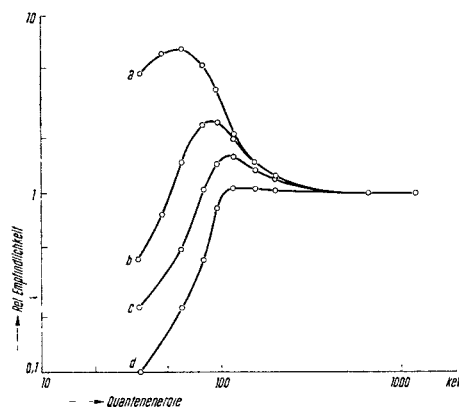


Abbildung 3. Die relative Dosimeteranzeige von Yokota-Glasdosimetern ($8 \times 8 \times 4,7 \text{ mm}^3$) mit verschiedener Metallfilterung in Abhängigkeit von der Quantenenergie. — a) Glas ohne Filterung, b) Glas mit 0,3 mm Sn, c) Glas mit 0,6 mm Sn, d) Glas mit 1,2 mm Sn

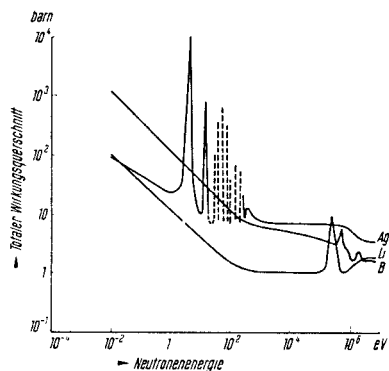


Abbildung 4. Der totale Wirkungsquerschnitt für eine Absorption und Streuung von Neutronen in Lithium, Bor und Silber im natürlichen Isotopengemisch in Abhängigkeit von der Neutronenenergie [17]

Im ersten Fall muß man experimentell eine solche Filterung bestimmen, daß die Dosisempfindlichkeit gegenüber thermischen Neutronen der γ -Dosisempfindlichkeit entspricht. Ein solches Dosimeter (RBW-Dosimeter) würde γ -Strahlung und thermische Neutronendosis als Summendosis anzeigen, was gerade für die Bestimmung einer Personendosis von Bedeutung ist, wo eine Trennung der γ -Dosis und der Neutronendosis im allgemeinen nicht notwendig ist.

Im anderen Fall werden zwei Gläser mit verschiedener Metallfilterung verwendet, welche eine gleiche γ -Empfindlichkeit, jedoch eine unterschiedliche Neutronenempfindlichkeit zeigen. Da die

Meßwert-Differenz beider Gläser proportional zur Neutronendosis ist, erreicht man damit eine einfache Trennung bzw. Unterscheidung von γ -Dosis- und Dosisanteil der thermischen Neutronen. Die meßtechnischen Möglichkeiten einer γ -Dosisbestimmung mit einem neutronenempfindlichen Glasdosimeter wurden in Tabelle 2 zusammengestellt [11].

Kalibrierung der Glasdosimeter mit thermischen Neutronen

Da Glasdosimeter nach der Bestrahlung eine zeitliche Veränderung des Meßwerts zeigen, wurden alle Gläser vor der Auswertung 1 Stunde lang bei 100 ° C temperiert. Nach dieser Wärmebehandlung wird eine vom Auswertungszeitpunkt annähernd unabhängige Fluoreszenzintensität erhalten (s. z. B. [10, 12]). Alle Kalibrierwerte beziehen sich auf diese Wärmebehandlung und einen Fluoreszenzmeßwert, der über einen samariumaktivierten Standard erhalten wurde.

Für eine Eichung mit thermischen Neutronen stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung, nämlich eine Bestrahlung

1. in der thermischen Säule eines Reaktors,
2. im Core bzw. im Experimentierkanal eines Reaktors,
3. mit einer Neutronenquelle (van de Graaff bzw. (α, n)-Neutronen-Quellen) unter Verwendung spezieller Moderatoranordnungen.

Eine Bestrahlung in der thermischen Säule hat den Vorteil, daß der γ -Anteil gering ist und daß hauptsächlich thermische Neutronen vorhanden sind. In Experimentierkanälen, im Reaktorcore, insbesondere aber bei speziellen Moderatoranordnungen wird der γ -Dosisanteil größer. Neutronenquellen haben ferner den Nachteil, daß durch Moderierung der schnellen Neutronen nur ein gewisser Bruchteil an thermischen Neutronen entsteht. Bei einer Folienaktivierung zur Bestimmung des thermischen Neutronenflusses werden daher je nach der verwendeten Sonde außer thermischen Neutronen auch Resonanzneutronen einen unterschiedlichen Aktivierungsanteil ergeben. Hinzu kommt, daß im Fall einer unsymmetrischen Moderatoranordnung kein isotroper Neutronenfluß vorherrscht. Konstante (α, n)-Neutronenquellen haben wiederum kleine Neutronenausbeuten, wenn sie auch bei symmetrischer Anordnung (2 Quellen) einen konstanten Neutronenfluß und eine definierte Energieverteilung gewährleisten, und daher zu Kalibrierungen besonders geeignet sind.

Eine Kalibrierung der Glasdosimeter mit thermischen Neutronen setzt voraus, daß der Meßwertanteil der vorkommenden γ -Strahlung bekannt ist. Um den γ -Dosisanteil zu bestimmen, wurden



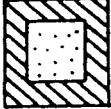

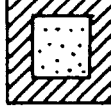
Glasdosimeter mit einer ca. 10 mm dicken Schicht von $^6\text{Li-Carbonat}$ umgeben. Dadurch wird der Flußanteil thermischer Neutronen bis auf etwa 8% absorbiert, so daß der Meßwert des Glasdosimeters nach entsprechender Korrektur einer γ -Dosis zugeordnet werden kann. Zur Bestimmung der γ -Dosis wurden aber auch Filmdosimeter verwendet, deren Dosisempfindlichkeit für thermische Neutronen nur etwa ein Viertel der γ -Empfindlichkeit entspricht [13, 14, 15]. Bei bekanntem Neutronenfluß konnte der Schwärzungsanteil der thermischen Neutronen von der Gesamtschwärzung subtrahiert werden. Für Glasdosimeter und Filmdosimeter wurde hierbei dieselbe Filterung von 1,2 mm Zinn gewählt, was einer energieunabhängigen γ -Dosisbestimmung oberhalb 80 keV entspricht.

Zur Bestimmung des Neutronenflusses wurden Gold- oder Indiumfolien gleichzeitig mit den Glasdosimetern bestrahlt. Der thermische Neutronenflußanteil wurde aus der Aktivität von 2 Folien bestimmt, die zur gleichen Zeit mit und ohne Cadmium aktiviert wurden. Bei den Bestrahlungen im Reaktor wurde eine Zweifolienmethode [16] (aufeinanderliegende Au- und Cu-Folie) zur Trennung des thermischen und epithermischen Neutronenflusses benutzt². Die Folienaktivität wurde in einem 2π -Durchflußzähler gemessen. Der Wirkungsgrad dieser Meßanordnung, einschließlich Selbstabsorption und Rückstreuung der Folie, war auf ca. $\pm 10\%$ genau bestimmt worden. Die Kalibrierung der Glasdosimeter mit thermischen Neutronen erfolgte mit einer Meßgenauigkeit von ca. $\pm 15\%$. Neben dem eigentlichen Meßfehler der Glasdosimeterauswertung ist dies vor allem auf Meßgenauigkeiten bei der Bestimmung des thermischen Neutronenflusses sowie bei der getrennten Bestimmung des γ -Dosisanteils unter Berücksichtigung des thermischen Meßwertanteiles zurückzuführen.

Die Bestrahlungen wurden am Karlsruher Forschungsreaktor FR 2 in der thermischen Säule, im Zentralloop und im Reaktorcore durchgeführt. Es wurden aber auch zum Vergleich Glasdosimeter in verschiedenen Moderatoranordnungen am Van de Graaff, sowie mit konstanten (α, n) Neutronenquellen kalibriert. Hierbei konnte bei den Bestrahlungen im Reaktor wegen der ausreichend großen Experimentierkanäle der Neutronenfluß am genauesten bestimmt werden³. Bei den Moderatoranordnungen hingegen war der Neutronenfluß durch die auf kleinstem Raum angeordneten Folien (mit und ohne Cd) und Glasdosimeter merklich gestört. Als Moderatoranordnung verwendet wurde z. B. ein Paraffinpile von ca. 40 cm Länge und Höhe, bzw. Paraffin-Zylinder mit 7,5 cm Wandstärke und Polyäthylenkugeln verschiedener Durchmesser.

² Bestrahlungen und Folienauswertung wurden von Herrn Dipl.-Ing. W. Glauner bzw. Herrn Dipl.-Phys. Hagen, Reaktorbetriebsabteilung, Kernforschungszentrum Karlsruhe, ausgeführt.

Tabelle 2. Die Verwendung von Yokota-Glasdosimetern bei gleichzeitiger Anwesenheit von γ -Strahlung und thermischen Neutronen

	Yokota-Glas	γ -Dosimeter	Doppeldosimetersystem		RBW-Dosimeter
Dosimeteranordnung					
	Glas	Glas m. ^6Li -Absorber	Glas mit Sn-Filter	Glas mit Cd-Filter	Glas mit Cd-Filter
Meßmöglichkeit	Strahlungsnachweis	γ -Dosis	Dosis von γ und n_1 getrennt		Summendosis γ u. n_1
γ -Empfindlichkeit	energieabhängig		energieunabhängig oberhalb 100 keV		
Meßwert*	$D_{\gamma+1} \sim F_{\gamma+1}$	$D_{\gamma} \sim F_{\gamma}$	$D_{\gamma} + 4 D_1 \sim F_{\text{Sn}}$	$D_{\gamma} + D_1 \sim F_{\text{Cd}}$	$D_{\gamma+1} \sim F_{\gamma+1}$
γ -Dosis	$D_{\gamma} \sim F_{\gamma}$ 100%	$D_{\gamma} \sim F_{\gamma}$ 100%	$D_{\gamma} \sim F_{\text{Sn}} - A(F_{\text{Sn}} - F_{\text{Cd}})$ 100%		$D_{\gamma} \sim F_{\gamma}$ 100%
n_1 -Dosis	$D_1 \sim F_1$ ca. 400%	< 8%	$D_1 \sim A(F_{\text{Sn}} - F_{\text{Cd}})$ ca. 400%		$D_1 \sim F_1$ ca. 100%
n_m -Dosis	< 4%	< 1%	des γ -Anteils {		< 4%
n_s -Dosis	< 1%	< 1%			< 1%

* Als Meßwert wird die Fluoreszenzintensität $F [\mu\text{A}]$ verstanden, welche direkt proportional zur Dosis $D [\text{rem}]$ ist. Der Dosis 1 rem entspricht eine Neutronenfluenz von $9,6 \cdot 10^8 n_1/\text{cm}^2$; $A =$ Kalibrierfaktor.

Tabelle 3. Die Kalibrierung von Glasdosimetern mit thermischen Neutronen

	Bestrahlungsdosis		Sn-Dosimeter	Cd-Dosimeter	Doppeldosimeter	$\left(\frac{f_{Sn}}{f_{Cd}}\right)_{th}$	
	γ -Strahlung [r]	therm. N. [rem]	$f_{th Sn} \left[\frac{\mu A}{rem}\right]$	$f_{th Cd} \left[\frac{\mu A}{rem}\right]$	$(f_{Sn} - f_{Cd})_{th} \left[\frac{\mu A}{rem}\right]$		
Reaktorbestrahlung: Thermische Säule	4,02	26,3	508	169,5	339	3	Glas 8 × 8 × 4,7 cm ³
	4,45	30,1	502	166,5	335	3,01	
	6,05	40,6	495	164,5	332	3,01	
Zentralloop Reaktorcore	354	421	2,35	0,785	1,57	2,99	Glas 1 mm \varnothing × 6 mm
	140	257	2,31	0,778	1,53	2,97	
Moderatoranordnung							
Paraffinpile 40 cm	8,8	3,7	487	161	324	3,03	
Paraffinzylinder	0,76	0,47	500	167	334	2,99	
Polyäthylenkugel	0,37	0,13	518	169	349	3,07	

In Tabelle 3 wurden Kalibrierwerte zusammengestellt, wie sie aus einzelnen Messungen an den verschiedenen Bestrahlungsorten für das einfache Sn- und Cd-Dosimeter, sowie für das Doppeldosimeter erhalten wurden. In Spalte 2 findet man ebenso die am Meßort mit Glas- bzw. Filmdosimeter festgestellte γ -Dosis als auch die aus Folienaktivierung bestimmte Dosis thermischer Neutronen. Der RBW-Dosis von 1 rem entspricht dabei eine Neutronenfluenz von $9,6 \cdot 10^8 n_{th}/cm^2$.

Die relativen Fluoreszenzintensitäten der bestrahlten Glasdosimeter sind in den Abbildungen 5 und 6 in Abhängigkeit von der Dosis thermischer Neutronen aufgetragen. Glasdosimeter zeigen demnach auch gegenüber thermischen Neutronen eine lineare Dosisempfindlichkeit, die Fluoreszenzintensität wurde für die Glasgröße $8 \times 8 \times 4,7 mm^3$ über einen Dosisbereich von 0,1 bis 100 rem direkt proportional zur Neutronendosis gefunden. Für Yokota-Gläser ergeben sich folgende Dosisempfindlichkeiten gegenüber thermischen Neutronen:

	Glas $8 \times 8 \times 4,7 mm^3$	Glas 1 mm $\varnothing \times 6 mm$
Sn-Dosimeter	$f_{th} = 500 \frac{\mu A}{rem}$	$f_{th} = 2,34 \frac{\mu A}{rem}$
Cd-Dosimeter	$f_{th} = 167$	$f_{th} = 0,78$

Die Neutronendosisempfindlichkeit ist für beide Dosimetergrößen um den Faktor 3,45 größer als die γ -Dosisempfindlichkeit bei 1,2 MeV (Filterung 1,2 mm Sn).

Von Yokota wurde für Messing eine um 40% und für Cadmium eine um 30% größere Neutronenempfindlichkeit festgestellt [7]. Jene Kalibrierwerte wurden jedoch mit einer Filterung von 0,3 mm erhalten, wodurch der Meßwertanteil der γ -Dosis relativ energieabhängig bestimmt wurde⁴ (s. Abbildung 3).

Verschiedene Anwendungen des Glasdosimeters

a) Personendosimetrie

Für eine routinemäßige Personendosisüberwachung in kerntechnischen Anlagen, ebenso wie für den Einsatz von Unfall- bzw. Katastrophen-Dosimetern ist es wünschenswert, ein Dosimeter zu verwenden, welches sowohl γ -Strahlung als auch thermische Neutronen dosisrichtig anzeigt. Ein solches Dosimeter erhält man aus einer Kombination eines Metallfilters und eines Neutronenabsorbers oder einer Aktivierungsschicht. Die Metallschicht dient hierbei zum energieabhängigen Begrenzen der γ -Strahlenwirkung, während ein zusätzlicher Neutronenabsorber bzw. eine zusätzliche

³ Bestrahlungszeit 1 h bei unterschiedlicher Reaktorleistung bzw. verschiedenen Meßorten.

⁴ Am Meßort war $D_{th} = 0,442 rem/min$, $D_{\gamma} = 1,03 r/min$, Bestrahlungszeit: 1, 4, 8, 12, 16 min. Neuere Messungen (25) ergaben 3,96 für das Verhältnis der Dosisempfindlichkeit von thermischen Neutronen zu ²²⁶Ra- γ -Strahlung.

Neutronenaktivierungssubstanz die Dosisempfindlichkeit des Glases verringert oder erhöht, je nachdem, ob die Dosisempfindlichkeit des Glases für thermische Neutronen größer oder kleiner ist als die γ -Dosisempfindlichkeit. Die einfachste Art einer solchen Filterung erhält man mit Cadmium, welches die gewünschten Eigenschaften — γ -energieabhängiges Begrenzen des Meßwertes, Neutronenabsorber- und Neutronenaktivierungswirkung — in sich vereinigt.

Aufgrund der Neutroneneichung ist das Cd-Dosimeter um den Faktor 1,15 r/rem -empfindlicher, bezogen auf eine ⁶⁰Co- γ -Strahlung. Wird für die γ -Dosis eine auf Gewebeabsorption bezogene Energiedosiseneinheit (1 r entspricht 0,97 rad) zugrundegelegt, dann erhält man für das Cd-Dosimeter eine um 11% größere Neutronen- zu γ -Dosisempfindlichkeit.

Ein Cd-Dosimeter erfüllt demnach die Forderung, γ -Strahlung oberhalb 80 keV und thermische Neutronen unterhalb ca. 0,5 eV rem-dosisrichtig anzuzeigen. Der Dosismeßbereich liegt für γ -Strahlung und thermische Neutronen zwischen 50 mrem und 1000 rem.

Wird die Cd-Kapsel an allen 6 Seitenflächen konisch aufgebohrt [10], dann erhält man ein Dosimeter, dessen Anzeige oberhalb einer γ -Energie von 30 keV ausreichend energieunabhängig ist. Ein solches Dosimeter kann jedoch thermische Neutronen nicht dosisrichtig anzeigen. Der Neutronenanteil wird hierbei überbestimmt. An Reaktoren wird eine auftretende γ -Strahlung des öfteren von einem thermischen Neutronenanteil begleitet. Es ist daher vorteilhaft, die konischen Bohrungen mit Lithium- bzw. borhaltigen Absorbieren abzudecken, um eine annähernd dosisrichtige Dosimeteranzeige zu erhalten. Die Forderung einer dosisrichtigen Anzeige ist vom

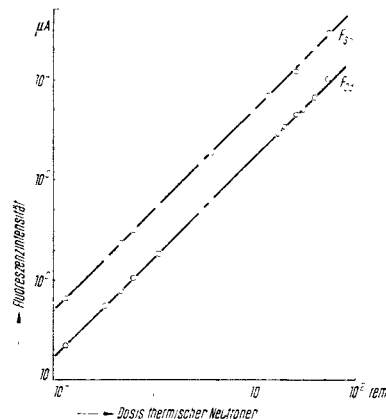


Abbildung 5. Die Fluoreszenzintensität von Yokota-Gläsern ($8 \times 8 \times 4,7 mm^3$) mit Sn- und Cd-Filterung in Abhängigkeit von der Dosis thermischer Neutronen (1 rem entsprechen $9,6 \cdot 10^8 n/cm^2$)

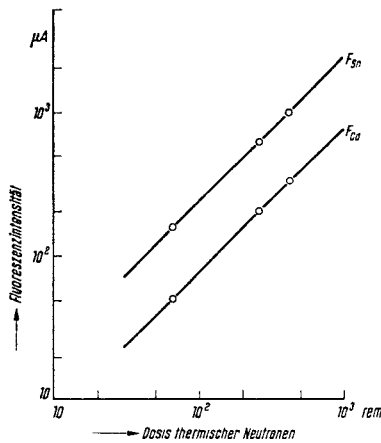


Abbildung 6. Die Fluoreszenzintensität von Yokota-Gläsern (1 mm \varnothing \times 6 mm) mit Sn- und Cd-Filterung in Abhängigkeit von der Dosis thermischer Neutronen.

praktischen Standpunkt notwendig, weil andernfalls eine nachträgliche Korrektur des Meßwerts nur möglich ist, wenn ein zusätzlicher Detektor zum Nachweis thermischer Neutronen getragen wurde. Man verzichtet dafür in vielen Fällen auf eine dosisrichtige Anzeige des γ -Strahlungsanteils unterhalb einer γ -Energie von 80 keV, weil dort der Einfluß der Strahleneinfallrichtung und der Körperabschirmung die Bestimmung einer Personendosis grundsätzlich fraglich erscheinen läßt. Andererseits zeigen Vergleichsmessungen mit verschiedenen Personendosimetern, die auch unterhalb 80 keV empfindlich sind, daß der Dosisanteil unter 80 keV zu vernachlässigen ist, so lange eine Strahlenbelastung von Röntgenstrahlung bzw. von energiearmen Isotopen ausgeschlossen wird.

Da das Cd-Dosimeter γ -Strahlung und thermische Neutronen dosisrichtig anzeigt, erscheint eine Trennung von Neutronen und γ -Anteil nicht notwendig. Wird dies jedoch in speziellen Fällen gefordert, dann kann ein Doppeldosimeter als Personendosimeter getragen werden.

b) Getrennte Bestimmung der γ -Dosis und des Dosisanteils thermischer Neutronen mit einem Doppeldosimetersystem

Spezielle Messungen, z. B. im Reaktorcore oder an Neutronengeneratoren vor und hinter der Abschirmung, erfordern eine Trennung der γ -Dosis von dem Meßwert der thermischen Neutronen. Dies erreicht man mit zwei Dosimetern, welche dieselbe γ -Dosisempfindlichkeit zeigen, jedoch gegenüber thermischen Neutronen unterschiedlich empfindlich sind. Es können hierbei zwei Phosphatgläser verschiedener Zusammensetzung ausgesucht werden, deren unterschiedliche Neutronenempfindlichkeit eine Trennung der beiden Dosisanteile erlaubt. Es können aber auch zwei gleiche Gläser verwendet werden, welche durch Neutronenabsorber — im einfachsten Fall durch zwei verschiedene Metallfilterungen — eine unterschiedliche Neutronenempfindlichkeit ergeben.

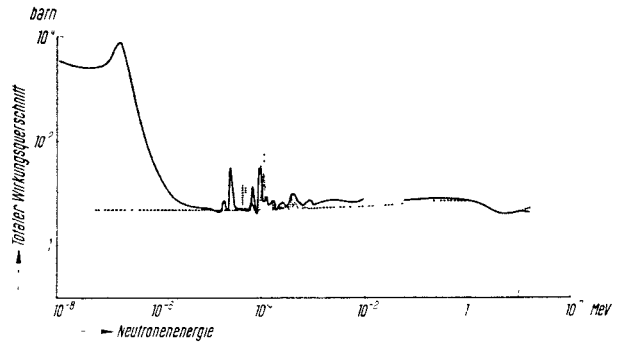


Abbildung 7. Der totale Wirkungsquerschnitt von Cadmium (—) und Zinn (.....) in Abhängigkeit von der Neutronenenergie [17]

Als Beispiel eines solchen Doppeldosimetersystems wurden zwei Gläser mit gewichtsäquivalenten Metallkapseln aus Cadmium (1 mm Dicke) und Zinn (1,2 mm Dicke) verwendet, die gegenüber γ -Strahlung annähernd gleiche Absorptionsverhältnisse zeigen und deren Dosisanzeigen oberhalb 80 keV energieunabhängig sind. Die Empfindlichkeit gegenüber thermischen Neutronen ist jedoch unterschiedlich, da thermische Neutronen durch Cadmium absorbiert werden und die erzeugten Einfang-Gammas einen kleinen Fluoreszenzanteil ergeben, verglichen mit dem Fluoreszenzanteil, der von thermischen Neutronen direkt hinter der Zinnkapsel erhalten wird.

In einem gemischten Strahlungsfeld seien nach einer definierten Bestrahlungszeit die Dosisanteile von γ -Strahlung, thermischen, mittelschnellen und schnellen Neutronen mit D_γ , D_{th} , D_m und D_{sch} [rem] und die betreffenden Dosisempfindlichkeiten mit f_γ , f_{th} , f_m und f_{sch} bezeichnet. Für die gemessene Fluoreszenzintensität des Zinn- bzw. des Cadmiumdosimeters F_{Sn} bzw. F_{Cd} erhält man dann:

$$F_{Sn} = f_{th Sn} \times D_{th} + f_m Sn \times D_m + f_{sch Sn} \times D_{sch} + f_\gamma Sn \times D_\gamma \quad (1)$$

$$F_{Cd} = f_{th Cd} \times D_{th} + f_m Cd \times D_m + f_{sch Cd} \times D_{sch} + f_\gamma Cd \times D_\gamma \quad (2)$$

Beide Dosimeter sind gegenüber γ -Strahlung, sowie oberhalb 0,5 eV gegenüber mittelschnellen und schnellen Neutronen annähernd gleich empfindlich ($f_\gamma Sn = f_\gamma Cd$; $f_m Sn = f_m Cd$; $f_{sch Sn} = f_{sch Cd}$) [17] (s. Abbildung 7).

Tabelle 4. Die durch Einfang thermischer Neutronen im Glasdosimeter und in der Sn- und Cd-Filterung entstehenden γ -Strahler

Ausgangsisotop	Anteil im natürlichen Isotopengemisch (%)	Isotop	Halbwertszeit	γ -Linien	Emittierte Quanten pro Kernzerfall (%)
^{109}Ag	48,65	^{110m}Ag	253 d	0,447	96
				0,656	
				0,884	
^{114}Cd	28,86	^{115}Cd	53 h	0,335	100
				0,523	24,8
				0,49	11,5
^{112}Sn	0,95	^{113}Sn	119 d	0,393	73
^{116}Sn	14,24	^{117m}Sn	14 d	0,162	91
				0,159	100
^{63}Cu	69	^{64}Cu	12,8 h	0,51	38

Die Differenz beider Meßwerte ist demnach proportional zum Dosisanteil der thermischen Neutronen

$$F_{\text{Sn}} - F_{\text{Cd}} = (f_{\text{Sn}} - f_{\text{Cd}})_{\text{th}} \times D_{\text{th}} \quad (3)$$

Andererseits muß aber auch die Neutronenabsorption im Cadmium und damit der Fluoreszenzanteil der Einfang-Gammas proportional zur Dosis der thermischen Neutronen sein. Damit wird

$$F_{\text{Sn}} - F_{\text{Cd}} = (f_{\text{Sn}} - f_{\text{Cd}})_{\text{th}} \times D_{\text{th}} = \frac{1}{A} \times f_{\text{th Sn}} \times D_{\text{th}} \quad (4)$$

Damit erhält man aus Gleichung (1) für den Fluoreszenzanteil der γ -Strahlung

$$f_{\gamma} \times D_{\gamma} = F_{\text{Sn}} - A(F_{\text{Sn}} - F_{\text{Cd}}) - f_{\text{m Sn}} \times D_{\text{m}} - F_{\text{sch Sn}} \times D_{\text{sch}}$$

Der Fluoreszenzanteil der mittelschnellen und schnellen Neutronen kann in erster Näherung vernachlässigt werden (s. o.), somit ergibt sich für das Doppeldosimetersystem der γ -Anteil zu

$$f_{\gamma} \times D_{\gamma} = F_{\text{Sn}} - A \times (F_{\text{Sn}} - F_{\text{Cd}}),$$

der Anteil der thermischen Neutronen zu

$$f_{\text{th}} \times D_{\text{th}} = A \times (F_{\text{Sn}} - F_{\text{Cd}}).$$

Aus den gemessenen Fluoreszenzlichtintensitäten F_{Sn} und F_{Cd} läßt sich bei Kenntnis des Kalibrierfaktors A getrennt der Dosisanteil der γ -Strahlung und der Dosisanteil thermischer Neutronen bestimmen. Die experimentell bestimmte Meßwertdifferenz ($F_{\text{Sn}} - F_{\text{Cd}}$) ist in Abhängigkeit von der Neutronendosis in Abbildung 8 wiedergegeben. Aus der Dosisempfindlichkeit des Doppeldosimeters $f_{\text{th}} = 334 \mu\text{A}/\text{rem}$ folgt ein Kalibrierfaktor von $A = 1,5$. Die γ -Dosis erhält man direkt aus dem Meßwert des Sn- oder Cd-Dosimeters durch Subtraktion des thermischen Meßwertanteils. Letzterer ergibt sich aus der Meßwertdifferenz ($F_{\text{Sn}} - F_{\text{Cd}}$) unter Berücksichtigung des entsprechenden Faktors 1,5 bzw. 0,5.

Als Anwendungsbeispiel des Doppeldosimetersystems sei eine Messung im Reaktor FR 2 angeführt. Hier wurde die Aufgabe gestellt, im Zentralloop und in einem Experimentierkanal die örtliche Verteilung der γ -Dosisleistung zu bestimmen. Abbildung 9 zeigt die aus der Meßwertdifferenz erhaltene γ -Dosisleistung in Abhängigkeit vom Meßort für den Zentralloop mit und ohne einen zusätzlichen Holzstopfen und für einen Isotopenkanal. Da gleichzeitig Aktivierungsfolien bestrahlt wurden, konnte die Neutronenflußverteilung mit der aus dem Glasdosimeter bestimmten Neutronendosis verglichen werden. Die entsprechende Verteilung der Neutronendosisrate ist in Abbildung 10 wiedergegeben. Der thermische Neutronenfluß wurde aus einer Zweifolienaktivierung bestimmt und entspricht im Reaktorcore den Meßwerten des Glasdosimeters. Außerhalb des Reaktorcores, wo der thermische Neu-

tronenfluß anisotrop wird, ist die Folienaktivierungsgröße bis um den Faktor 2 kleiner als die mit dem Glasdosimeter erhaltene Neutronendosis. Die Unterschiede sind darauf zurückzuführen, daß das Glasdosimeter durch den relativ geringen Anteil an Li und B einen $1/v$ -Absorber darstellt, die verwendete Indiumfolie hingegen als Resonanzsonde ein viel effektiverer Neutronenabsorber ist, und dadurch eine größere Selbstabsorption und Richtungsabhängigkeit zeigt.

Das Doppeldosimeter ist vor allem für Messungen an solchen Stellen geeignet, an denen ein isotroper Neutronenfluß vorherrscht. Bei einem anisotropen Neutronenfluß z. B. am Ausgang eines Experimentierkanals, müssen beide Glasdosimeter so exponiert werden, daß sie sich nicht gegenseitig abdecken. Eine Trennung der beiden Strahlungskomponenten ist wegen der Differenzbildung nicht mehr möglich, wenn der γ -Dosisanteil zu klein ist (z. B. in der thermischen Säule), oder wenn durch eine spezielle Lithium-Bor- oder Cadmiumabschirmung keine eigentliche thermische Komponente vorliegt.

Bei großen Neutronenflüssen wird sowohl die Metallfilterung als auch das Glas selbst aktiviert. Dies ist beim Glas hauptsächlich auf den Silberanteil zurückzuführen. Der Einfang thermischer

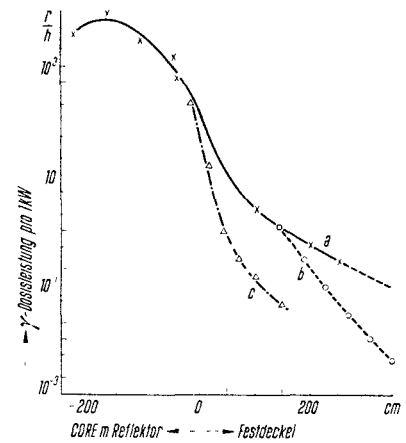


Abbildung 9. Die Verteilung der γ -Dosisleistung im Experimentierkanal mit (b) und ohne (a) Holzstopfen, sowie in einem Isotopenkanal (c) des Reaktors FR 2, bezogen auf eine Reaktorleistung von 1 kW, gemessen mit dem Doppeldosimetersystem.

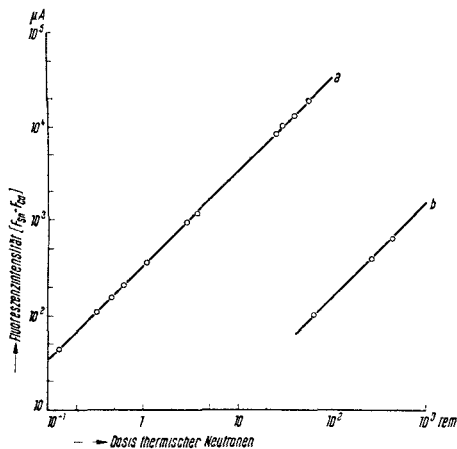


Abbildung 8. Die Fluoreszenzintensität ($F_{\text{Sn}} - F_{\text{Cd}}$) des Sn-Cd-Doppeldosimeters in Abhängigkeit von der Dosis thermischer Neutronen für a) Yokotaglas $8 \times 8 \times 4,7 \text{ mm}^3$, b) Yokotaglas $1 \text{ mm } \varnothing \times 6 \text{ mm}$

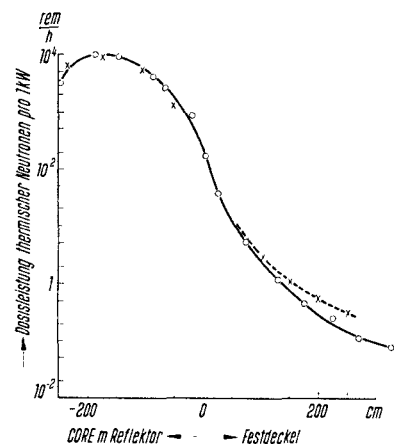


Abbildung 10. Die Verteilung der Dosisleistung thermischer Neutronen im Experimentierkanal des Reaktors FR 2, bezogen auf eine Reaktorleistung von 1 kW, gemessen mit dem Doppeldosimeter $\times - \times$ und mit Aktivierungsfolien $\circ - \circ$

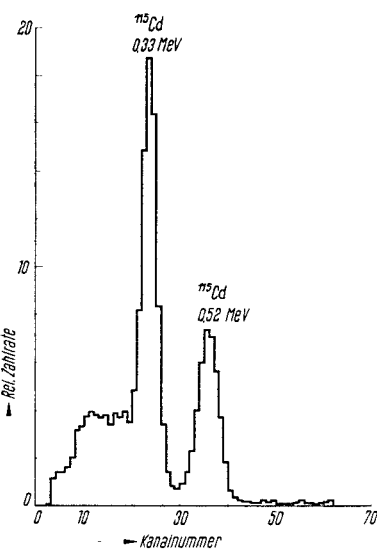
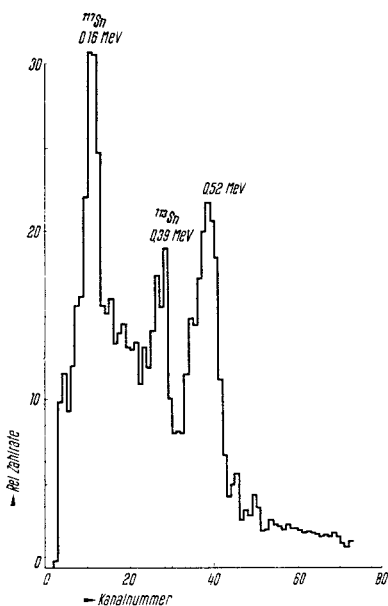
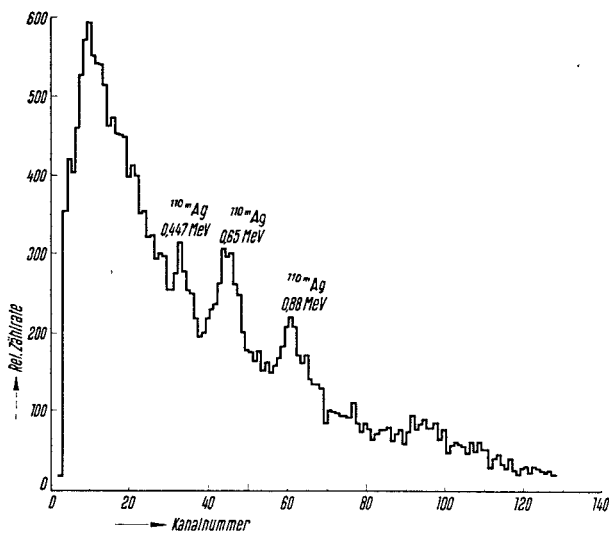


Abbildung 11. Die γ -Spektren eines Glasdosimeters (a) sowie einer Sn- (b) und Cd-Kapsel (c), die in einem thermischen Neutronenfluß von ca. 10^{12} n/cm² aktiviert worden sind, 2 Tage nach der Bestrahlung

Neutronen führt hier zum relativ langlebigen Isotop ¹¹⁰Ag, welches mit einer Halbwertszeit von 270 Tagen unter β - und γ -Zerfall zerfällt. Dies führt über einen längeren Zeitraum zu keiner wesentlichen Vergrößerung der Fluoreszenzlichtintensität. Einen noch kleineren Einfluß auf den Meßwert haben die aktivierten Isotope des Zinns und Cadmiums der Filterung. Abbildung 11 zeigt das γ -Spektrum eines Phosphatglases, einer Zinnkapsel und einer Cadmiumkapsel, wie es ca. 2 Tage nach der Aktivierung mit ca. 10^{12} n/cm² bestimmt wurde. Aus der Aktivität des Glases und der Filter kann bei bekanntem Aktivierungszeitpunkt ebenso ein Neutronenfluß bzw. eine Neutronendosis oberhalb 500 rem bestimmt werden (s. Tabelle 4)⁵.

c) Dosimetrie schneller Neutronen in Verbindung mit Moderatoranordnungen

Dosisempfindlichkeit für schnelle Neutronen. Schnelle Neutronen können nur über eine elastische Streuung an Atomkernen der im Glas enthaltenen Elemente Energie übertragen. Die absorbierte Energiemenge pro Gramm Glassubstanz ist daher klein verglichen mit dem im Gewebe — hauptsächlich durch Rückstoßprotonen — absorbierten Energiebetrag. Andererseits entstehen Fluoreszenzzentren durch Elektroneneinfang, so daß sich bei Rückstoßkernen die Fähigkeit verringert, Fluoreszenzzentren zu erzeugen.

Yokota-Glasdosimeter wurden mit schnellen Neutronen kalibriert, die mit einem 2 MeV-Van de Graaff über eine ⁹Be(d, n)¹⁰B-Reaktion erzeugt wurden. Der γ -Dosisanteil wurde mit Ionisationskammern und Filmdosimetern bestimmt und vom Meßwert des Glasdosimeters subtrahiert. Wird die so erhaltene RBW-Dosisempfindlichkeit für schnelle Neutronen (s. Abbildung 12) auf eine Gewebe-rad-äquivalente Dosis einer ⁶⁰Co- γ -Strahlung bezogen, dann werden schnelle Neutronen mit etwa $0,7 \pm 0,35$ nachgewiesen. Für Schulman-Gläser wurde eine rad-Empfindlichkeit zwischen 0,7% bei 0,5 bis 1,5 MeV [5] und 14% bei 14 MeV [12] gefunden.

Ein rem-dosisrichtig anzeigendes Dosimeter für Neutronen- und γ -Strahlung. Für den Nachweis schneller Neutronen ist ein einfaches Glasdosimeter zu unempfindlich. Die Kalibrierung mit thermischen Neutronen zeigte, daß ein silberaktiviertes Phosphatglas ein relativ empfindlicher Detektor für thermische Neutronen ist. Da ein Doppeldosimetersystem ein annähernd γ -unabhängiger Detektor ist, können in Verbindung mit Moderatoranordnungen thermische, mittelschnelle und schnelle Neutronen neben anwesender γ -Strahlung nachgewiesen werden. Hierbei wird mit dem Doppeldosimeter eine eindeutige Zuordnung der Meßwertgröße ($F_{Sn} - F_{Cd}$) zu einer experimentell bestimmten Neutronendosis erhalten.

Um schnelle Neutronen nachzuweisen, wurden Glasdosimeter in Polyäthylenkugeln verschiedener Größe angeordnet. Gemessen werden dann langsame Neutronen, die durch elastische Streuung schneller Neutronen in der wasserstoffhaltigen Moderatoranordnung entstehen. Der Meßwert ($F_{Sn} - F_{Cd}$) des oben angeführten Doppeldosimeters ist in Abbildung 13 für verschieden große Polyäthylenkugeln über der Dosis schneller Neutronen einer Pu-Be (α, n)-Quelle aufgetragen. Ein größerer Kugeldurchmesser wird die Dosisempfindlichkeit des Moderator-detektors gegenüber thermischen Neutronen herabsetzen, gegenüber schnellen Neutronen zunächst anheben, wie dies für Pu-Be-Neutronen dargestellt wurde. Eine RBW-dosisrichtige Anzeige für alle Neutronenenergien unter 8 MeV wird mit einer Moderatorkugel von 25 bis 30 cm Durchmesser erhalten (experimentell bestimmt mit einem ⁶Li J-Kristall als Detektor von Bramblatt [18] und von Hankins [19]). Wird eine Moderator-Absorber-Kombination benutzt [20], dann erhält man schon mit kleineren Anordnungen (15 bis 20 cm Durchmesser) eine annähernd RBW-dosisproportionale Anzeige (experimentell bestimmt mit einem BF₃-Zählrohr und einer zylindersymmetrischen Moderatoranordnung von Anderson [21]). Bei Verwendung anders dimensionierter Moderatoranordnungen kann wahlweise eine Dosisbestimmung im Energiebereich mittelschneller oder schneller Neutronen oder eine Art „long counter“-Anzeige erhalten werden (s. z. B. [22] und Tabelle 5).

⁵ Das aktivierte Zinnfilter zeigt eine 0,52 MeV-Linie, die auf Verunreinigung des Zinns zurückgeführt wird (z. B. ⁶⁴Cu).

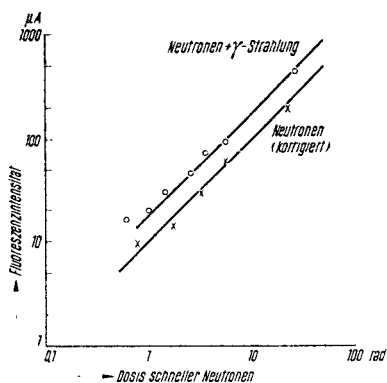


Abbildung 12. Die Fluoreszenzintensität von Yokota-Glasdosimetern in Abhängigkeit von der Dosis schneller Neutronen (Be (d,n)-Reaktion) ohne und mit Meßwertkorrektur des γ -Anteils. (1 rad entspricht $2,5 \cdot 10^8$ n/cm²)

Die Verwendung des Doppeldosimeters erlaubt daher eine remdosisrichtige Neutronenmessung im Energiebereich von 0,025 eV bis 8 MeV mit einer gleichzeitigen Bestimmung der γ -Dosis. Die Nachweisempfindlichkeit des Dosimeters liegt für Neutronen bei 0,5 bis 1000 rem. Der Vorteil dieses Ortsdosimeters liegt darin, daß es ohne Kenntnis der Neutronenenergieverteilung auch eine Dosisbestimmung im Energiebereich der mittelschnellen Neutronen ermöglicht. Wie wesentlich dieser Energiebereich zur Gesamtdosis beiträgt, zeigen Messungen der Dosisleistung hinter der biologischen Abschirmung verschiedener Reaktoren, wo der Dosisanteil mittelschneller Neutronen bis zu 90% der gesamten Neutronendosis betragen kann [23, 26]. Das ortsfeste Dosimeter ist sowohl für den Routinebetrieb als auch als Unfalldosimeter zur Verwendung an Reaktoren und Neutronengeneratoren geeignet.

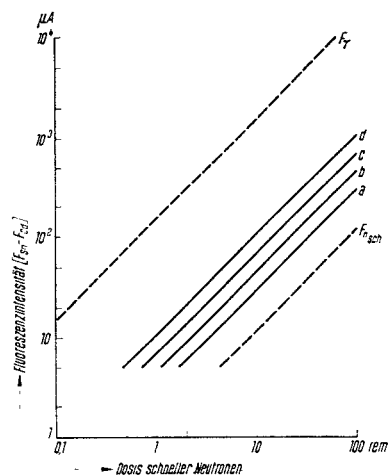


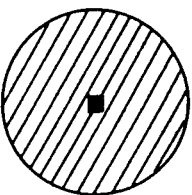
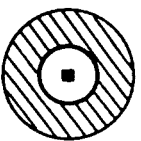


Abbildung 13. Die Fluoreszenzintensität ($F_{Sn} - F_{Cd}$) des Doppeldosimeters in Kombination mit Polyäthylenkugeln verschiedener Größe in Abhängigkeit von der Dosis schneller Neutronen einer Pu-Be-(α,n)-Quelle, für Kugeldurchmesser 7 cm (a), 11 cm (b), 16 cm (c), 21 cm (d). (1 rem entspricht $2,5 \cdot 10^7$ n/cm²)

Vorteile bieten eine zwischenzeitliche Meßwertbestimmung, sowie die Bestimmung einer effektiven Jahresdosis an einem bestimmten Arbeitsort.

Für die Kombination eines Einfachdosimeters mit einer Moderatoranordnung muß die Empfindlichkeit von γ -Strahlung und thermischen Neutronen so aufeinander abgestimmt werden, daß der Meßwert eine Summendosis aus γ -Strahlung und langsamen,

Tabelle 5. Die Verwendung von Yokota-Gläsern zur Dosisbestimmung langsamer, mittelschneller und schneller Neutronen

	Glasdosimeter	Glasdosimeter mit verschiedenen Moderatorkombinationen		
Dosimeteranordnung				
	Glasdosimeter mit Filter oder Doppeldosimetersystem	Glasdosimeter in Polyäthylenkugel mit Cd-Hülle	Glasdosimeter in Polyäthylenkugel	Glasdosimeter in Polyäthylenkugel, dazwischen ⁶ Li- oder ¹⁰ B-Absorberschichten
Meßmöglichkeit Einfachdosis	$(\gamma + n_1)$	$\gamma + n_m + n_s$	$\gamma + n_1 + n_m + n_s$	$\gamma + n_1 + n_m + n_s$
Meßmöglichkeit Doppeldosis	$\gamma; n_1$	$\gamma; (n_m + n_s)$	$\gamma; (n_1 + n_m + n_s)$	$\gamma; (n_1 + n_m + n_s)$
Neutronendosis-Nachweis	n_1	Strahlungsnachweis	Summendosis	Summendosis
Neutronendosis-Meßwert	RBW-Dosis prop.*	energieabhängig (Erststoßdosis)	RBW-Dosis prop.	etwa RBW-Dosis prop.
Dosimetergröße	$10 \times 10 \times 6,7$ mm ³	ca. 10 cm	25 bis 30 cm	15 bis 20 cm
Gewicht	3,9 g	ca. 0,5 kg	8 bis 14 kg	1,6 bis 4 kg

* RBW-Dosis in der Einheit rem, bestimmt aus den maximal zulässigen Neutronenflußwerten nach NBS-Handbook No. 62; Erststoßdosis in der Einheit rad.

mittelschnellen und schnellen Neutronen ergibt. Eine RBW-dosisrichtige Anzeige von γ -Strahlung und Neutronen kann mit einem Yokota-Glas nicht erreicht werden, wohl aber eine rad-äquivalente Dosisbestimmung (multi collision dose). Die Neutronenempfindlichkeit des Glases kann aber vergrößert und auf die γ -Empfindlichkeit abgestimmt werden, wenn für den Lithiumanteil im Glas (50% LiPO_3) angereichertes ^6Li verwendet wird. Damit könnte man mit einem Einfachdosimeter, aber auch mit einem Doppeldosimeter, eine RBW-Dosis von 0,1 rem bestimmen.

Über Ortsdosismessungen mit dem rem-äquivalenten Dosimeter soll an anderer Stelle berichtet werden, ebenso über andere Kombinationen von Moderator-Absorber-Anordnungen und Glasdosimetern, die zur Zeit noch erprobt werden.

Herrn Dipl.-Ing. Glauner und Herrn Dipl.-Phys. Hagen von der Reaktorbetriebsabteilung danke ich für die Bestrahlungen am Reaktor FR 2, Herrn Dipl.-Phys. Dauch vom Institut für Strahlenbiologie für die Bestrahlungen am Van de Graaff. Für ihre Mithilfe bei der Auswertung der Glasdosimeter danke ich meinen Mitarbeiterinnen Fräulein Seger, Fräulein Leppert und Fräulein Thomaier.

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] Schulman I. H., Schurcliff W., Ginther R. J. und Attix F. A.: Nucleonics 11 (Nr. 10), 52 (1953)
- [3] Schulman I. H. und Etzel H. W.: Science 118, 184 (1953)
- [4] Ginther R. I. und Schulman I. H.: Nucleonics 18 (Nr. 4), 94 (1960)
- [5] Bernard C. H., Thornton W. T. und Auxier J. A.: Health Physics 4, 236 (1961)
- [6] Hardt H. J., Heuser J. und Rudloff A.: Atompraxis 9, 43 (1963)

Die Verwendung von silberaktivierten Metaphosphatgläsern zur Bestimmung einer Personen- und Ortsdosis von Gamma- und Neutronenstrahlung

The Use of Silveractivated Metaphosphate Glasses for the Determination of Personal and Local Doses of Gamma- and Neutron-Irradiation

L'utilisation de verres en métaphosphate activés à l'argent pour la détermination des doses personnelles et locales de radiations gamma et neutronique

Zur Bestimmung einer akkumulierten Bestrahlungsdosis sind Phosphatgläser besonders geeignete Dosimeter. Da Yokotagläser auch gegenüber thermischen Neutronen empfindlich sind, ist eine Verwendung in kerntechnischen Anlagen nur mit speziellen Filterungen möglich. Dazu wurde die Dosisempfindlichkeit des Yokotaglases für thermische und schnelle Neutronen experimentell bestimmt. Die RBW-Dosisempfindlichkeit — bezogen auf eine ^{60}Co - γ -Strahlung — ergab sich hierbei zu $D_{\text{th}}: D_{\gamma}: D_{\text{sch}} = 3,3: 1: 0,007$. — Es wird ferner ein Personendosimeter angegeben, welches innerhalb $\pm 10\%$ eine Summendosis von γ -Strahlung und thermischen Neutronen anzeigt (Meßbereich 50 mrem bis 1000 rem), es wurde aber auch ein Doppeldosimeter erprobt, das eine Trennung der γ -Dosis von dem Dosisanteil thermischer Neutronen gestattet (Meßbereich 50 mrem bis 500 rem). Über die Aktivierung des Glases und der Filter kann eine Dosis thermischer Neutronen auch oberhalb 500 rem bestimmt werden. Mit dem Doppeldosimeter und speziellen Moderatoranordnungen wird für Neutronen im Energiebereich von 0,025 eV bis 8 MeV ein empfindliches Ortsdosimeter mit annähernd RBW-dosisrichtiger Anzeige erhalten (Meßbereich 1 bis 1000 rem).

Phosphate glasses are especially suitable for the determination of an accumulated irradiation dose. Because of their sensitiveness to thermal neutrons the use of Yokota glasses in nuclear plants is possible only by special filtering. Therefore the sensitiveness in dose for thermal and fast neutrons of the Yokota glasses had been determined. The RBW-dose-sensitiveness — in comparison to ^{60}Co - γ -radiation — was: $D_{\text{th}}: D_{\gamma}: D_{\text{f}} = 3,3: 1: 0,007$. Further on a personal dosimeter is shown which in a range of $\pm 10\%$ indicates the sum of the doses from γ -radiation and thermal neutrons (measuring range 50 mrem to 1000 rem), but as well a double dosimeter was tested which allows a separation of the γ -dose from that part of dose induced by thermal neutrons (measuring range 50 mrem to 500 rem). Using the activation of the glass and the filters a dose of thermal neutrons may be determined in a range higher than 500 rem too. For neutrons with an energy range from 0,025 eV to 8 MeV this double dosimeter with special arrangements of moderators is a sensitive local dosimeter which shows approximately the "correct RBE-dose" (measuring range 1 to 1000 rem).

Les verres de phosphate sont des dosimètres spécialement appropriés pour déterminer les doses d'irradiation accumulées. Étant donné que les verres d'Yokota sont également sensibles aux neutrons thermiques, leur application dans des centrales nucléaires n'est possible qu'après filtration spéciale. À cette fin la sensibilité dosique du verre d'Yokota relative aux neutrons thermiques et rapides a été déterminée expérimentalement. Pour la sensibilité dosique (efficacité biologique relative) par rapport au rayonnement gamma du ^{60}Co a été trouvé $D_{\text{th}}: D_{\gamma}: D_{\text{r}} = 3,3: 1: 0,007$. — L'auteur décrit en plus un dosimètre pour le personnel qui indique dans la marge de $\pm 10\%$ la somme des doses gamma et des doses en neutrons thermiques (50 mrem à 1000 rem). — D'autre part a été étudié un dosimètre double qui permet de séparer la dose gamma de la dose en neutrons thermiques (50 mrem à 500 rem). Par l'activation du verre et des filtres une dose en neutrons thermiques plus élevée que 500 rem peut également être déterminée. En utilisant le dosimètre double et des dispositifs spéciaux de modérateurs on obtient pour des neutrons dans la gamma énergétique de 0,025 eV à 8 MeV un dosimètre local sensible dont l'indication correspond approximativement aux doses de l'efficacité biologique relative (1 à 1000 rem).

- [7] Yokota R., Nakajima S. und Sakai E.: Health Physics 5, 219 (1961)
- [8] Literaturzusammenstellung vgl. Becker K.: „Film dosimetrie“, Springer-Verlag, 1962
- [9] Kiefer H. und Maushart R.: „Strahlenschutzmeßtechnik“, Abschn. 2.33: Phosphatglasdosimeter, G. Braun-Verlag, Karlsruhe 1964
- [10] Becker K.: Nukleonik 5, 154 (1963)
- [11] Piesch E.: Compact Information 3/63 (1963)
- [12] Kondo S.: Health Physics 7, 25 (1961)
- [13] Ehrlich M.: Health Physics 4 (Nr. 2), 113 (1960)
- [14] Mercer T. T. und Golden R.: Health Physics 9 (Nr. 2), 187 (1963)
- [15] Smith R. J. und Benck R. F.: Health Physics 9 (Nr. 5), 473 (1963)
- [16] Meister H., Glauner H. W. und Hagen S.: Interner Arbeitsbericht Nr. 61/124, Kernforschungszentrum Karlsruhe
- [17] Hughes D. J. und Harvey J. A.: Neutron Cross Sections BNL 325 (1955)
- [18] Bramblet R. L.: Nucl. Instr. and Methods 9, 1 (1960)
- [19] Hankins D. E.: LA-2717 (1962)
- [20] Piesch E.: DBP angemeldet, 1962
- [21] Anderson J. Ö. und Braun J.: Proc. of IAEA-Symposium Harwell, 1962
- [22] Literaturzusammenstellung vgl. Kiefer H. und Maushart R.: „Strahlenschutzmeßtechnik“, Abschn. 2.23 Neutronenstrahlung, G. Braun-Verlag, Karlsruhe 1964
- [23] Hankins D. E.: Health Physics 9, 31 (1963)
- [24] Kiefer H., Maushart R. und Piesch E.: Atompraxis 10 (1964), in Vorbereitung
- [25] Miyayaga J. und Yamamoto H.: Health Physics 9 (1963) 971
- [26] Nachtigall D.: Dissertation TH Aachen (1964)

Anschrift des Verfassers: Dipl.-Phys. E. Piesch, Strahlenmeßabteilung, Kernforschungszentrum Karlsruhe (Baden)