

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

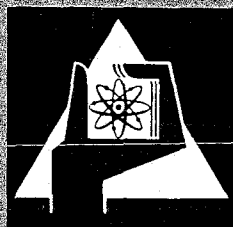
März 1972

KFK 1609

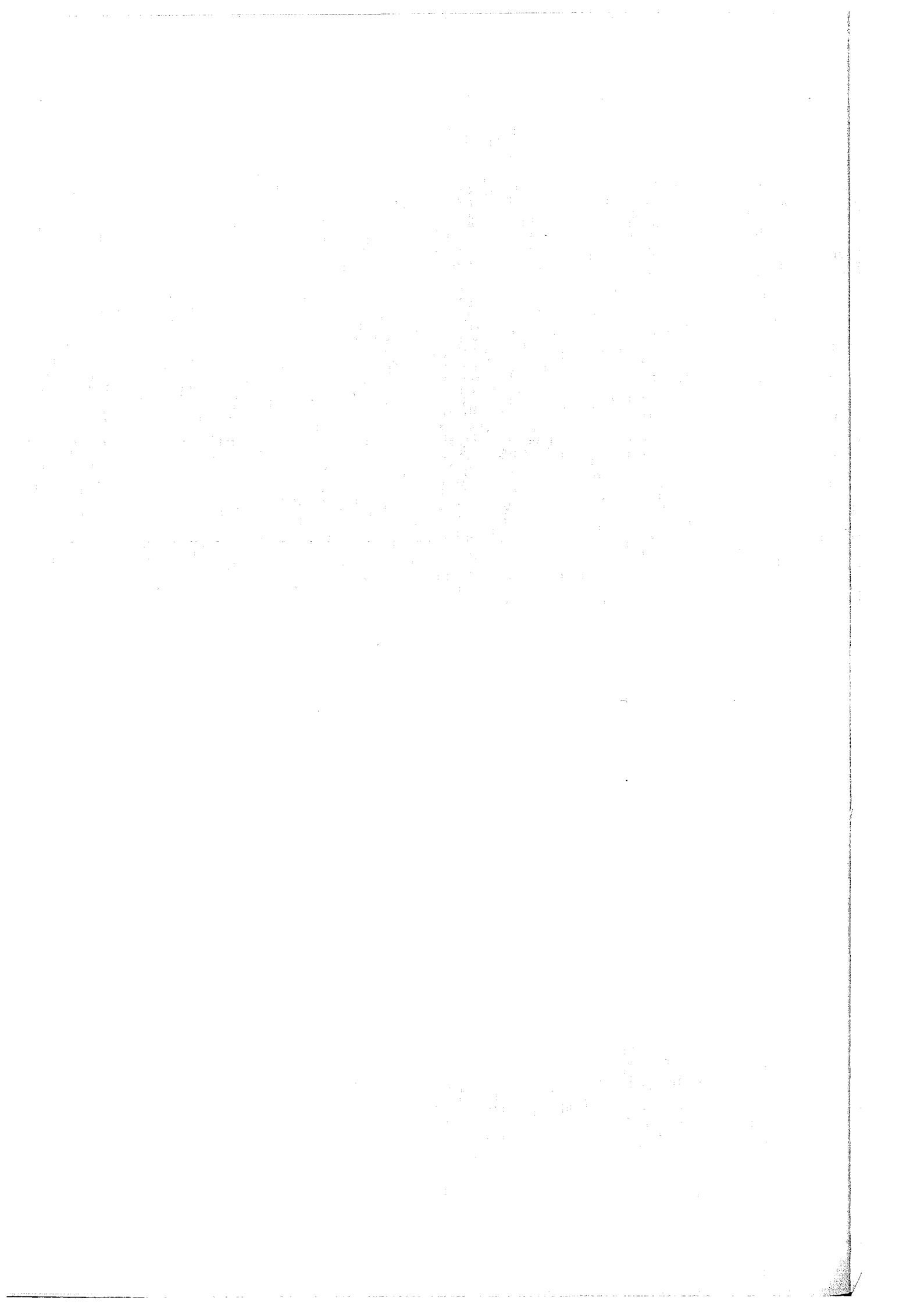
Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

**Verwendung von CaF_2 -Thermolumineszenzdosimetern
zur Messung der natürlichen Umgebungsstrahlung**

B. Burgkhardt, E. Piesch



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.
KARLSRUHE



Sonderdruck aus der Fachzeitschrift »KERNTECHNIK, ISOTOPENTECHNIK UND -CHEMIE«
14. Jg. 1972 · Heft 3 · S. 128 - 134 — Verlag Karl Thiemig, 8 München 90, Pilgersheimer Straße 38

Verwendung von CaF_2 -Thermolumineszenzdosimetern zur Messung der natürlichen Umgebungsstrahlung

Use of CaF_2 thermoluminescent dosimeters for measuring the natural background radiation

B. Burgkhardt, E. Piesch Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit, Kernforschungszentrum Karlsruhe

1. Einleitung

Zur Messung des natürlichen Strahlenpegels bieten sich heute verschiedene Festkörperdosimetersysteme an. Silberaktivierte Phosphatgläser, die bereits seit mehreren Jahren hierzu eingesetzt werden [1], können auch bei zwischenzeitlichen Ablesungen eine langjährige Ionendosis akkumulieren. Sie messen aber nur Dosen oberhalb 40 mR, wozu eine Expositionsdauer von etwa 6 Monaten erforderlich ist. Demgegenüber ermöglichen LiF -Dosimeter schon Dosismessungen oberhalb 5 mR. Es müssen jedoch noch empfindlichere Dosimeter eingesetzt werden, um auch kurzzeitige Schwankungen des natürlichen Strahlenpegels infolge zusätzlicher Strahlenquellen in der näheren Umgebung kerntechnischer Anlagen zu erfassen. Gute Einsatzmöglichkeiten zeigten bisher $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ -Dosimeter, die bereits Dosen oberhalb $20 \mu\text{R}$ anzeigen [2]. Aber auch CaF_2 -Dosimeter ermöglichen mit kommerziellen Auswertesystemen Dosismessungen schon oberhalb 0,1 mR. Im folgenden werden die Ergebnisse unserer Untersuchungen mit $\text{CaF}_2(\text{nat})$ -Dosimetern der Type PNP 090 [B 1] wiedergegeben. Die Ausmessung der Dosimeter erfolgte hierbei im Auswertegerät TL-Reader PNH 801 [B 1]. Außerdem werden die Einsatzmöglichkeiten dieses Dosimetersystems im Vergleich zu anderen Festkörperdosimetern beschrieben.

1. Introduction

Various solid state dosimetry systems are now available for measuring the natural background radiation level. Silver-activated phosphate glass dosimeters, which have already been in use for many years [1], can accumulate several years' exposure even with intermediate readouts. They only measure, however, exposures of over 40 mR, which requires exposure time of about 6 months. In contrast, LiF dosimeters make it possible to measure exposures of 5 mR. However, in order to be also able to measure short-term fluctuations of the natural background radiation level due to additional radiation sources in the near vicinity of nuclear engineering facilities, it is necessary to use even more sensitive dosimeters. Good results have been obtained so far with $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ dosimeters, which indicate exposures above $20 \mu\text{R}$ [2]. However, CaF_2 dosimeters also make it possible, in conjunction with commercial evaluation systems, to measure exposures of 0,1 mR. This paper presents the results of our investigations on $\text{CaF}_2(\text{nat})$ dosimeters type PNP 090 [B 1]. The dosimeters were read out in the evaluation device TL-Reader PNH 801 [B 1]. In addition, the possibilities of use of this dosimetry system, in comparison with other solid state dosimeters, are also discussed.

2. Ionendosisbereich und Energieabhängigkeit

Die Meßwertanzeige von CaF_2 -Dosimetern ist über einen großen Bereich von 0,1 mR bis 3000 R direkt proportional zur Meßwertgröße. Die mit dem Auswertesystem erhaltene Dosisanzeige ist in Fig. 1 für den hier interessierenden Meßbereich unterhalb 100 mR wiedergegeben.

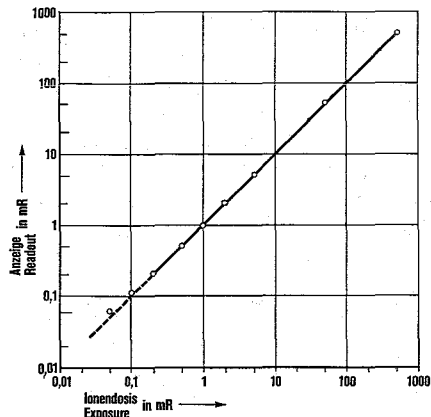


Fig. 1: Dosisanzeige im unteren Meßbereich von $\text{CaF}_2(\text{nat})$ -Dosimetern Typ PNP 090 [B 1]

Fig. 1: Exposure readout in the lower measuring range of CaF_2 (nat) dosimeters type PNP 090 [B 1]

Die Energieabhängigkeit des CaF_2 -Dosimeters wurde mit hartgefilterter Röntgenbremsstrahlung sowie mit γ -Strahlung von ^{137}Cs und ^{60}Co ermittelt. Fig. 2 zeigt die Meßergebnisse für das Dosimeter mit und ohne Energiekompensationsfilter. Die Einstrahlung erfolgte bei rotierendem Dosimeter senk-

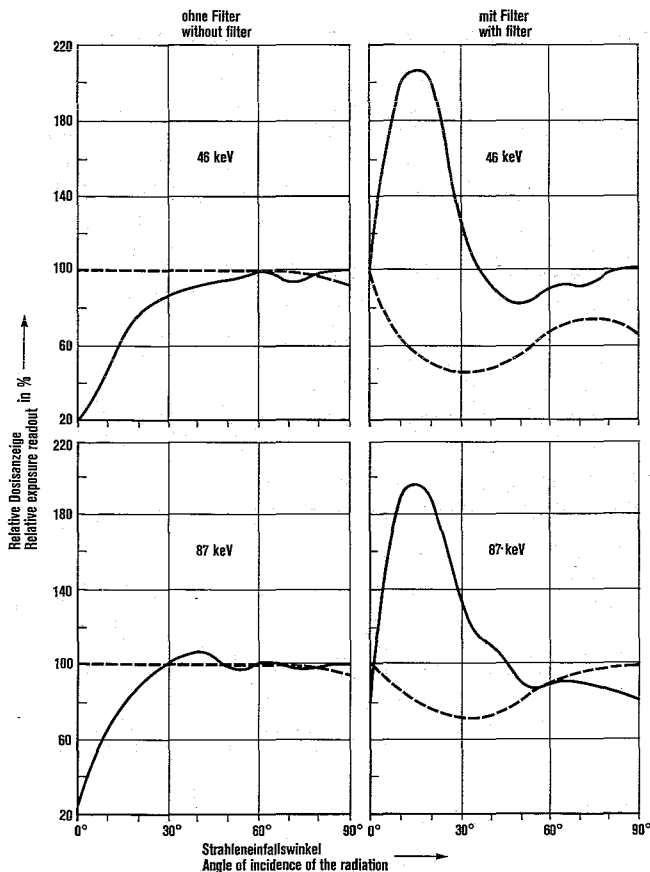


Fig. 3: Relative Richtungsabhängigkeit der Dosimeteranzeige von CaF_2 -Dosimetern mit und ohne Energiekompensationsfilter für Quantenenergien von 46 keV und 87 keV

Fig. 3: Relative direction dependence of the dosimeter readout for CaF_2 dosimeters with and without energy compensation filters, for quantum energies of 46 keV and 87 keV

2. Exposure range and energy-dependence

The readout of CaF_2 dosimeters is directly proportional to the exposure over the wide range from 0,1 mR to 3000 R. Fig. 1 shows the readouts obtained with the evaluation system in the measuring range up to 100 mR relevant in the present context.

The energy dependence of CaF_2 dosimeters was determined with sharply filtered X-rays and with the gamma radiation of ^{137}Cs and ^{60}Co . Fig. 2 shows the results obtained with the dosimeter with and without an energy compensation filter. The direction of the radiation incidence was at right angles to the dosimeter axis; the dosimeter was rotated during irradiation. The CaF_2 dosimeter is $\pm 20\%$ energy dependent in the energy range from 30 keV to 1,2 MeV.

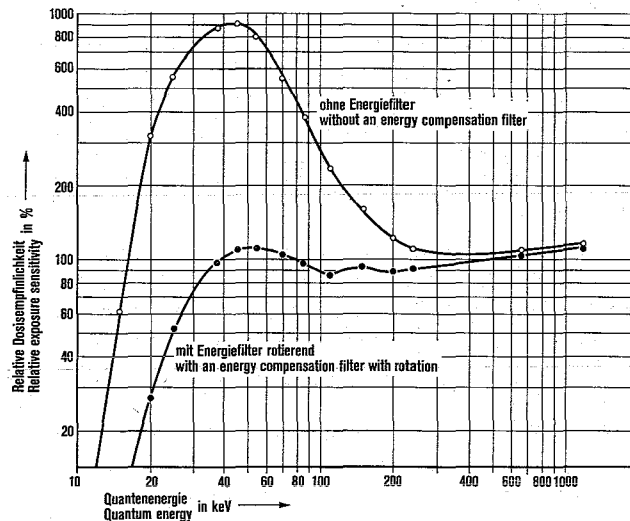


Fig. 2: Relative Energieabhängigkeit der Dosisanzeige von CaF_2 -Dosimetern PNP 090 [B 1] mit und ohne Energiekompensationsfilter

Fig. 2: Relative energy-dependence of the exposure readout of CaF_2 dosimeters PNP 090 [B 1] with and without an energy compensation filter

The dosimeter readout is also direction-dependent, particularly with dosimeters with an energy compensation filter (Fig. 3).

3. Pre-dose

The readout of an unexposed dosimeter is called the zero-effect or pre-dose. In measuring small exposures it is sometimes necessary to subtract this pre-dose from the total exposure. The pre-dose level depends not only on the properties of the dosimeter but also on the evaluation technique of the dosimetry system.

Thus, the infra-red emission of the dosimeter and of the cathode during the heating cycle can be substantially reduced by the use of an infra-red filter and by switching off the heating after reaching the glow peak maximum. Carrying out selective measurements of the height of the third emission peak only in a limited temperature range, the other glow peaks may be ignored (see also Fig. 5).

The residual exposure remaining after reading out an exposed dosimeter amounts to about 0,3% of the original exposure with a standard heating cycle (7 seconds) during the readout process, but can be reduced to 0,01% by post-readout heating (9 seconds).

In order to determine the pre-dose, we read out 10 unexposed dosimeters five times consecutively. From this total of 50 measurements we found a mean pre-dose of 34 μR with a standard deviation of $\pm 14 \mu\text{R}$ (Fig. 4). It should be noted,

recht zur Dosimeterachse. Das CaF_2 -Dosimeter ist im Energiebereich 30 keV bis 1,2 MeV innerhalb $\pm 20\%$ energieabhängig.

Eine Richtungsabhängigkeit der Dosimeteranzeige ist vor allem beim Dosimeter mit Energiekompensationsfilter vorhanden (Fig. 3).

3. Vordosis

Die Anzeige des unbestrahlten Dosimeters wird als Null-effekt oder Vordosis bezeichnet. Bei der Messung kleiner Dosen muß diese Vordosis unter Umständen von der Gesamtdosis subtrahiert werden. Der Betrag der Vordosis wird hierbei nicht nur durch die Eigenschaften des Dosimeters, sondern auch durch die Auswertetechnik des Dosimetersystems bestimmt.

So wird während des Aufheizzyklus die Infrarotemission des Dosimeters und der Kathode sowohl mit einem Infrarotfilter als auch durch Abschalten des Heizvorganges nach Erreichen des Meßpeakmaximums wesentlich reduziert. Durch selektive Messung der Höhe des dritten Emissionspeaks nur im eingeschränkten Temperaturbereich bleiben andere Peaks unberücksichtigt (siehe auch Fig. 5).

Die Restdosis, die nach Ausmessen eines bestrahlten Dosimeters verbleibt, beträgt bei Standardheizung während des Auswertevorganges (7 s) etwa 0,3%, bei längerem Aufheizen anschließend an die Auswertung (9 s) 0,01% der Dosis.

Zur Ermittlung der Vordosis wurden 10 unbestrahlte Dosimeter fünfmal hintereinander ausgemessen. Aus insgesamt 50 Messungen wurde eine mittlere Vordosis von 34 μR mit einer Standardabweichung von $\pm 14 \mu\text{R}$ erhalten (Fig. 4). Dieser Vordosiswert addiert sich jedoch nur zum Teil zum strahleninduzierten Meßwert. Für Dosen von 200 μR , 100 μR und 50 μR wurde der Meßwertanteil der Vordosis zu 5 μR , 12 μR und nochmals 12 μR ermittelt. Der Vordosisanteil verursacht das Abweichen vom linearen Verlauf im Dosisbereich unterhalb 200 μR (Fig. 1). Oberhalb 200 μR muß die Vordosis nicht mehr berücksichtigt werden.

Die Ursache für den unerwartet geringen Einfluß der Vordosis ist darin zu sehen, daß jeweils die maximale Lumineszenzintensität im Temperaturbereich des Glowpeaks (Zeitraum 4 bis 6,5 s nach Aufheizbeginn, siehe auch Fig. 5) gemessen wird. Bei einem unbestrahlten Dosimeter wird von den kurzzeitigen statistischen Schwankungen des Dunkelstromes der höchste Wert in diesem Bereich angezeigt. Die Wahrscheinlichkeit ist aber gering, daß das strahleninduzierte Peakmaximum und ein hoher Wert des Dunkelstromes zum gleichen Zeitpunkt auftreten. Dadurch trägt bei der Messung kleiner Dosen im Mittel nur etwa $\frac{1}{3}$ des mit dem unbestrahlten Dosimeter ermittelten Vordosiswertes zum Gesamtwert bei.

4. Nulleffektzuwachs infolge interner Strahlung

Ein geringer Anteil an natürlichen radioaktiven Stoffen im Material des Dosimeters, insbesondere aber in der Glaskapselung, wird bei der Messung kleiner Dosen während einer längeren Expositionszeit neben der natürlichen Umgebungsstrahlung zum Meßeffect beitragen. Dieser Zuwachs des Nulleffektes infolge interner Strahlung wurde von verschiedenen Autoren (Tab. 1) bisher nur einschließlich der natürlichen Umgebungsstrahlung angegeben. Um diesen Anteil zu trennen, wurden mehrere Dosimeter in der Stahlkammer des Ganzkörperzählers hinter einer Abschirmung von 15 cm Stahl längere Zeit gelagert. Unter Berücksichtigung

however, that this pre-dose cumulates only partly with the radiation-induced exposure. Thus, for exposures of 200 μR , 100 μR and 50 μR , we found measured pre-dose components of 5 μR , 12 μR and again 12 μR respectively. The pre-dose component causes a deviation from linearity in the exposure range up to 200 μR (Fig. 1). Above 200 μR the pre-dose need not be taken into account.

The unexpectedly small effect of the pre-dose can be explained by the fact that the maximum luminescence intensity will be measured only in the temperature range of the glow peak (time interval from 4 s to 6,5 s after switching on the heating, see also Fig. 5). With an unexposed dosimeter, the short-term statistical fluctuations of the dark current show a maximum in this range. The probability is however low that the radiation-induced peak maximum and a high value of the dark current coincide in time. For this reason, when measuring small exposures, the total measured value is burdened, on average, with only about $\frac{1}{3}$ of the pre-dose measured on the unexposed dosimeter.

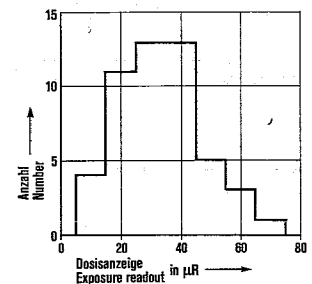


Fig. 4: Die Streuung der Meßwertanzeige von unbestrahlten CaF_2 -Dosimetern

Fig. 4: Variation of the readout of unexposed CaF_2 dosimeters

4. Zero-effect increase owing to internal radiation

The material of the dosimeter, and especially of the glass capsule, contains a small proportion of natural radioactive substances which contribute to the measured effect when measuring small exposures over long periods of time. So far, this increase of the zero-effect owing to internal radiation has been reported by various authors (Table 1) only together with the natural background radiation effect. In order to separate these components, we stored several dosimeters for a long time inside the steel chamber of the Whole Body Counter behind a shielding of 15 cm steel. Taking into account the relatively low natural radiation level in the chamber, amounting to 3,2 $\mu\text{R}/\text{h}$ [5], we determined a readout increment of 1 $\mu\text{R}/\text{h}$ as being due to internal radiation.

Tab. 1: Nulleffektzuwachs von CaF_2 -Dosimetern
Table 1: Zero-effect increase of CaF_2 dosimeters

Dosisanzeige pro Tag Exposure read-out per day μR	Dosisleistung Exposure rate $\mu\text{R}/\text{h}$	Herkunft Reference	
680	28*	einschl. nat. Umgebungsstrahlung incl. nat. background radiation	
300 . . . 500	12,5 . . . 21		[3]
250 . . . 270	10,5 . . . 11,2		[B 1]
24	1	[B 1]	
6,6	0,3	[4]	
(nat. CaF_2 ohne Glaskapsel nat. CaF_2 without glass capsule)			

* Infolge natürlicher ^{40}K -Aktivität der Glaskapselung bei älteren Dosimetern - Owing to natural ^{40}K activity of the glass capsules of former dosimeters

des relativ kleinen natürlichen Strahlungsanteiles in der Kammer in Höhe von $3,2 \mu\text{R/h}$ [5] konnte ein Betrag von $1 \mu\text{R/h}$ auf den Meßwertzuwachs infolge interner Strahlung zurückgeführt werden.

5. Temperaturabhängigkeit und Lichtempfindlichkeit

Zur Untersuchung des Temperatureinflusses auf die Dosimeteranzeige wurden Dosimeter im Temperaturbereich -20°C bis 50°C bestrahlt. Eine Abhängigkeit der Dosismessung von der Umgebungstemperatur während der Bestrahlung konnte nicht festgestellt werden.

Gegenüber Lichteinwirkung sind CaF_2 -Dosimeter jedoch sehr empfindlich. Die durch Sonneneinstrahlung hervorgerufene Dosimeteranzeige betrug 45 mR und $1,3 \text{ R}$ für eine Expositionsdauer von 1 Minute bzw. 2 Stunden. Nach einminütiger Bestrahlung mit Kunstlicht in unmittelbarer Nähe einer Glühbirne bzw. Leuchtstoffröhre von 60 W wurden nur 3 mR gemessen, in $1,5 \text{ m}$ Abstand konnte kein Meßeffect mehr festgestellt werden. Der Glowpeak der lichtinduzierten Lumineszenz liegt im Vergleich zur strahleninduzierten Lumineszenz bei höheren Temperaturen (Fig. 5).

Eine lichtinduzierte Lumineszenz tritt auch auf, wenn ein Teil der bei der Ausmessung nicht abgefragten Dosis, die in Glowpeaks höherer Temperaturen gespeichert wird, durch Einwirkung von UV-Licht in Glowpeak III übergeführt wird. Durch absichtliche UV-Lichteinwirkung kann damit eine größere, bis dahin akkumulierte Gesamtdosis des Dosimeters abgefragt werden [6].

Bei der Messung kleiner Dosen muß daher jede unkontrollierbare Lichteinwirkung während der Bestrahlung und Auswertung vermieden werden. Fig. 6 soll verdeutlichen, in welchem Maße bereits eine kurzzeitige Lichteinwirkung während der Auswertung zur Fehlmessung führen kann. Es wurden 3 Dosimeter unter sonst gleichen Bestrahlungs- und Auswertebedingungen einmal in einem Raum mit indirektem Tageslicht, ein anderes Mal in einem ausschließlich mit Kunstlicht beleuchteten Raum wiederholt ausgemessen. Die Lichteinwirkung erfolgte hierbei nur kurzzeitig beim Einlegen in das Auswertegerät (einige Sekunden). Die Auswertung sollte nur in ausschließlich mit Kunstlicht beleuchteten Räumen erfolgen.

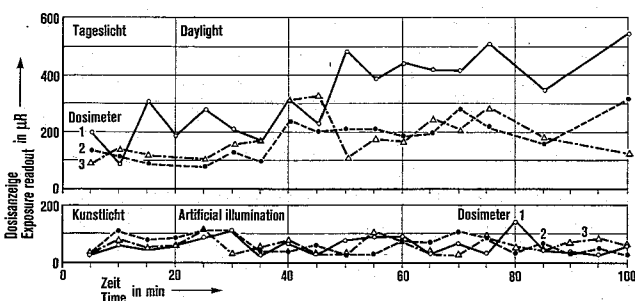


Fig. 5: Thermolumineszenz-Glowkurven eines CaF_2 -Dosimeters in Abhängigkeit von der Zeit während und nach dem Ausheizen für ein unbestrahltes Dosimeter sowie für dasselbe Dosimeter im Anschluß an eine γ -Bestrahlung bzw. Lichteinwirkung

Fig. 5: Thermoluminescence glow curves of a CaF_2 dosimeter during and after the heating cycle, for an unexposed dosimeter and for the same dosimeter after exposure to gamma radiation and to sunlight

6. Meßgenauigkeit

Der Hersteller läßt für den Sondenfaktor (Verhältnis Meßwertanzeige/Meßwertgröße) einer Dosimeterserie eine Toleranz von $\pm 15\%$ zu.

5. Temperature-dependence and sensitivity to light

In order to determine the effect of the temperature during irradiation on the readout of the dosimeter, we irradiated dosimeters in the temperature range from -20°C to 50°C . We found no effect of the ambient temperature during irradiation on the exposure readout.

CaF_2 dosimeters are, however, very sensitive to light. The dosimeter readout induced by exposure to sunlight for 1 minute and for 2 hours amounted to 45 mR and to $1,3 \text{ R}$ respectively. In contrast, after an exposure of 1 minute to artificial light in the immediate vicinity of a 60 W incandescent light bulb or luminescent tube, the measured effect amounted to only 3 mR , whereas at a distance of $1,5 \text{ m}$ no effect could be measured at all. The glow peak of the light-induced thermoluminescence is shifted towards higher temperatures in comparison with the peak of radiation-induced luminescence (Fig. 5).

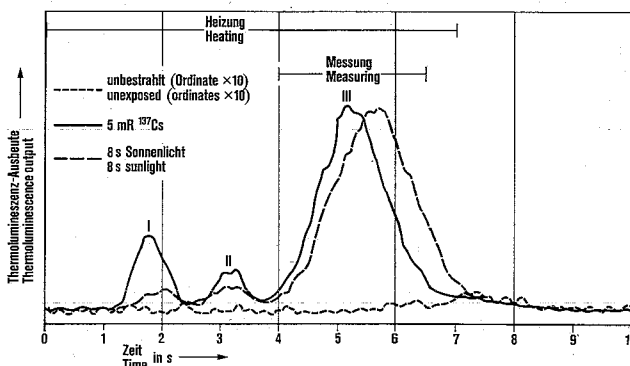


Fig. 6: Änderung der Dosisanzeige von drei CaF_2 -Dosimetern bei wiederholter Auswertung in einem Raum mit indirektem Tageslicht und mit Kunstlichtbeleuchtung

Fig. 6: Change of the exposure readout of three CaF_2 dosimeters in repeated readouts in a room with indirect daylight and in a room with artificial illumination

A light-induced thermoluminescence is also observed when part of the exposure stored in higher temperature glow peaks, and therefore not read out in the course of measurement, is transferred to glow peak III by exposure to UV light. Deliberate exposure to UV light thus makes it possible to read out a larger total exposure of the dosimeter accumulated up to that time [6].

When measuring small radiation exposures it is therefore important to avoid any uncontrolled exposure of the dosimeter to light during irradiation as well as in the course of evaluation. The extent to which the readout can be vitiated by even a brief exposure to light in the course of evaluation is illustrated in Fig. 6. In this experiment, 3 dosimeters were repeatedly read out under identical irradiation and evaluation conditions except that one set of measurements took place in a room with indirect daylight and the other in a room with exclusively artificial illumination. In all cases the dosimeters were exposed to light for only a few seconds while being placed into the evaluation apparatus. These results show that evaluation should always be conducted in a room with exclusively artificial illumination.

6. Measurement accuracy

The manufacturer allows for the calibration factor (ratio readout/exposure) of a dosimeter series a tolerance of $\pm 15\%$.

In order to determine the reproducibility of a single exposure readout, we repeatedly irradiated and read out a dosi-

Zur Ermittlung der Reproduzierbarkeit einer Dosismessung wurde je ein Dosimeter wiederholte Male auf 500 mR und auf 4 mR bestrahlt und ausgewertet. Fig.7 gibt die Meßwertstreuung des Einzeldosimeters wieder, für die eine relative Standardabweichung von $\pm 0,6\%$ bzw. $1,9\%$ berechnet wurde.

Dieselbe Reproduzierbarkeit erzielt man innerhalb einer Dosimeterserie, wenn für jedes Dosimeter der individuelle Sondenfaktor berücksichtigt wird. Die Meßgenauigkeit auch für kleine Dosen ist in Tab.2 wiedergegeben. Die bei der Messung kleiner Dosen ermittelte Standardabweichung von $\pm 20 \mu\text{R}$ ist neben den Fehlereinflüssen der Thermolumineszenzmessung im wesentlichen auf Schwankungen des Dunkelstromes zurückzuführen, die schon beim unbestrahlten Dosimeter zur Unsicherheit der Vordosismessung führen. Die Messung kleiner Dosen sollte wegen der möglichen maximalen Meßwertstreuung der Einzeldosimeter durch gleichzeitige Bestrahlung mehrerer Dosimeter erfolgen.

Tab. 2: Standardabweichung und max. Meßwertstreuung von CaF_2 -Dosimetern, ermittelt aus mindestens 50 Messungen

Table 2: Standard deviation and max. readout variation of CaF_2 dosimeters, determined with at least 50 measurements

Dosis Exposure μR	Standardabweichung Standard deviation μR	%	max. Meßwert- streuung max. readout variation μR
500 000	± 3000	$\pm 0,6$	± 9000
4 000	± 76	$\pm 1,9$	- 160 + 240
200	± 23	± 15	- 7 + 100
100	± 21	± 21	- 32 + 68
50	± 20	± 40	- 72 + 88
34 (Vordosis) (Pre-dose)	± 14		- 26 + 40

Als Beispiel für die Messung einer kleinen Dosis wurden einige Dosimeter 90 Stunden lang (4 Tage) im Freien einer natürlichen Umgebungsstrahlung von etwa $10 \mu\text{R}/\text{h}$ ausgesetzt. Die Dosis wurde in folgender Weise ermittelt:

Dosimeteranzeige	$1125 \mu\text{R} \pm 30 \mu\text{R}$
Null effektzuwachs	$-93 \mu\text{R}$
Vordosis	$-5 \mu\text{R} \pm 20 \mu\text{R}$
Meßwert für 3 h Zwischenlagerung	$-30 \mu\text{R}$
Dosis der natürlichen Umgebungsstrahlung	$997 \mu\text{R} \pm 50 \mu\text{R}$

Eine Dosisleistung von $10 \mu\text{R}/\text{h}$ kann nach einer viertägigen Expositionszeit mit einer Genauigkeit von etwa $\pm 5\%$ ermittelt werden. Damit lassen sich noch örtliche oder zeitliche Schwankungen des natürlichen Strahlungsfeldes von $2 \mu\text{R}/\text{h}$ feststellen.

7. Vergleich mit anderen Festkörperdosimetern

Zur Messung einer langfristig akkumulierten Strahlungsdosis werden in der Umgebung des Kernforschungszentrums Karlsruhe schon seit 5 Jahren Phosphatglasdosimeter und seit 2 Jahren LiF-Dosimeter eingesetzt. Um kurzfristige Änderungen und Erhöhungen der Umgebungsstrahlung zu ermitteln, eignen sich neben den oben untersuchten CaF_2 -Dosimetern vor allem Exoelektronen-Dosimeter, deren praktische Anwendung jedoch erst nach einem gewissen Abschluß der Entwicklung geeigneter Dosimetersysteme möglich sein wird [7].

meter, to 500 mR in one series of measurements and to 4 mR in the other. The results are shown as histograms in Fig.7. The relative standard deviation calculated from these results was $\pm 0,6\%$ for 500 mR and $\pm 1,9\%$ for 4 mR.

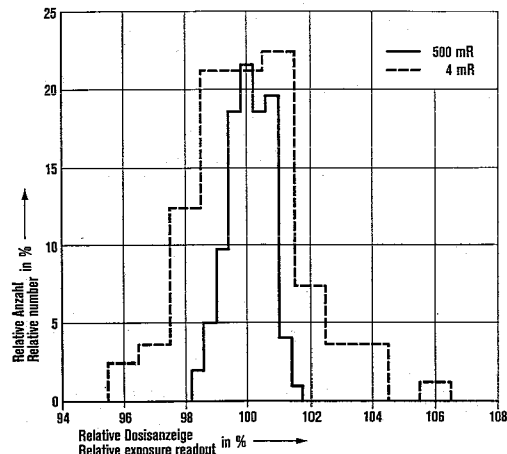


Fig. 7: Relative Meßwertstreuung eines CaF_2 -Dosimeters bei einer Ionendosis von 500 mR (102 Auswertungen) und 4 mR (80 Auswertungen)

Fig. 7: Relative readout deviation of a CaF_2 dosimeter at an exposure of 500 mR (102 readouts) and 4 mR (80 readouts)

The same reproducibility can be achieved within a dosimeter series, provided we take into account the individual calibration factor of each dosimeter. The measurement accuracy for small exposures is shown in tabulated form in Table 2. The standard deviation of $\pm 20 \mu\text{R}$ found in measuring small exposures is due partly to error factors in measuring the thermoluminescence and partly to fluctuations of the dark current which also result in uncertainties in pre-dose measurements on unexposed glass. Owing to the possible variation of the readouts of individual dosimeters, small exposures should be measured with several dosimeters simultaneously.

As an example for the measurement of a small exposure a few dosimeters were exposed for 90 hours (4 days) in the open in a location with a natural background radiation level of about $10 \mu\text{R}/\text{h}$. The exposure was determined as follows:

Dosimeter readout	$1125 \mu\text{R} \pm 30 \mu\text{R}$
Zero effect increase	$-93 \mu\text{R}$
Pre-dose	$-5 \mu\text{R} \pm 20 \mu\text{R}$
Measured value for 3 hours storage	$-30 \mu\text{R}$
Natural background radiation exposure	$997 \mu\text{R} \pm 50 \mu\text{R}$

This shows that, with an exposure time of 4 days, an exposure rate of $10 \mu\text{R}/\text{h}$ can be measured with an accuracy of about $\pm 5\%$. This makes it possible to detect local or temporal fluctuations of the natural background level of $2 \mu\text{R}/\text{h}$.

7. Comparison with other solid state dosimetry systems

Phosphate glass dosimeters have been in use for the last 5 years, and LiF dosimeters for the 2 years, for measuring long-term accumulated radiation exposures in the vicinity of the Karlsruhe Nuclear Research Centre. As far as short-term variations and increases of the background radiation level are concerned, the most suitable dosimeters, besides the CaF_2 dosimeters discussed here, are exo-electron dosimeters whose practical use, however, must await the completion of development of appropriate dosimetry systems [7]. In order to illustrate the possibilities for monitoring the surroundings to nuclear engineering facilities, offered at present by the solid state dosimetry systems mentioned above, the characteristics of these systems are summarised in Table 3 (see also [8]). In selecting an appropriate dosimetry

Tab. 3: Vergleich einiger Eigenschaften verschiedener Dosimetersysteme
 Table 3: Comparison of some characteristics of various dosimetry systems

Eigenschaft	Property		Dosimeter				
			Radiophoto- lumineszenz- dosimeter Radio-photo- luminescence dosimeters Phosphatgläser Phosphate glass dosimeters [B 2]	Thermolumineszenzdosimeter Thermoluminescence dosimeters LiF-Presslinge LiF ribbons [B 3]	Exoelektronendosimeter Exo-electron dosimeters natürl. CaF ₂ Natural CaF ₂ [B 1]	CaSO ₄	BeO (Thermalox 995)
Abmessungen des Dosimeters der Kapsel	Dimensions of the Dosimeter of the capsule	mm mm	8 × 8 × 4,7 19 φ	3 × 3 × 1 —	70/10 φ 80/15 φ	ca. 20 φ, 3 dick	thickness
Nachweisgrenze	Detection limit	mR	> 10	> 1	> 0,1	> 0,01	> 0,5
Meßbereich	Measuring range	mR	10 ... 3 × 10 ⁶ linear	1 ... 10 ⁶	0,1 ... 10 ⁷ linear	0,01 ... 10 ⁹	0,5 ... 10 ⁹
Vordosis	Pre-dose	mR	ca. 50	ca. 25	ca. 0,07	—	—
Meßfehler bei Verdopplung der Vordosis	Measurement error when the pre-dose is doubled	mR	± 15	± 1	± 0,04	—	—
Standardabweichung für 1 R (Serienmessung)	Standard deviation for 1 R (series measurements)	%	± 0,6	± 6 ± 4*	± 15 ± 0,6*	—	± 5%*
Energieabhängigkeit a) ohne, b) mit Energie- kompensationsfilter	Energy-dependence a) without, b) with energy compensation filter	a) % b) %	bis + 700 (+280)** ± 8 (≥ 45 keV)	bis + 140 —	bis + 800 ± 20 (≥ 30 keV)	bis + 800 —	bis - 20 —
Richtungsabhängigkeit	Direction-dependence		gering slight	gering slight	nicht vernach- lässigbar not negligible	—	—
Fading	Fading		gering slight	gering slight	vernachlässig- bar negligible	stark strong	gering slight
Beim Auswertevorgang besonders zu beachten:	In the evaluation, particular notice should be taken of:		bei UV-Lichtein- fluß Meßwert- abnahme, Glas- reinigung UV light causes a drop of the readout, glass cleaning	UV-Lichteinfluß, N ₂ -Spülung, 100 °C-Tem- perierg., Änderung der Dosisempf. nach Regenerierung Effect of UV light, N ₂ flush- ing, tempering at 100 °C, alter- ation of expo- sure sensitivity after regenera- tion	stark lichtemp- findlich (Meß- wertzunahme!) Strongly light- sensitive (increase of readout)	stark lichtempfindlich (Meßwert- zunahme!), Oberflächen- beschädigung Strongly light-sensitive (increase of readout), surface damage	
Möglichkeit einer a) Wiederverwendung b) Dosisakkumulation mit Zwischenauswertung	Possibility of a) Re-use b) Exposure accumulation with intermediate readouts	ja yes ja yes	ja (nach Regen.) yes (after regeneration) nein no	ja yes nein no	ja yes nein no	ja yes nein no	ja yes nein no
Preis/Stück bei Abnahme von mehr als 100 Stck.	Cost, each, for DM orders of over 100 pieces		3,50 (o. Kaps.) 20,- (m. Kaps.) (without cap- sules) (with capsules)	10,-	75,- (o. Kaps.) 120,- (m. Kaps.) (without cap- sules) (with capsules)	—	16,- (o. Kaps.) (without cap- sules)
Mindestexpositionszeit für akku- mulierte Dosis bei Meßfehler 25 %	Minimum exposure time for accu- mulated dose for measurement error of 25 %		250 d 60 mR	16 d 4 mR	16 h 160 μR	2 h 20 μR	

* Bei individueller Eichung · With individual calibration
 ** Neues Yokota-Glas FD-7 [B 2] · New Yokota glass FD-7 [B 2]

Um die Möglichkeiten aufzuzeigen, welche die oben genannten Festkörperdosimeter heute zur Überwachung der Umgebung kerntechnischer Anlagen bieten, wurden deren Eigenschaften in Tab.3 gegenübergestellt (siehe auch [8]). Bei der Auswahl eines geeigneten Dosimetersystems müssen unter diesem Gesichtspunkt neben den meßtechnischen Eigenschaften auch praktische Gesichtspunkte, wie z. B. Anschaffungspreis, Dosimetergröße, Verpacken zum Schutz gegenüber Umwelteinflüssen, Zeitbedarf für die Auswertung herangezogen werden.

Besonders interessiert die in Tab.3 angeführte Mindestexpositionsdauer, die zur Messung der natürlichen Umgebungstrahlung erforderlich ist, wenn der Meßfehler 25% nicht übersteigen soll. Außerdem wurde der benötigte Zeitbedarf für die Auswertung von 100 Dosimetern in Tab. 4 detailliert wiedergegeben, da zur Messung der örtlichen Dosisverteilung in der Umgebung kerntechnischer Anlagen eine Vielzahl von Dosimetern gleichzeitig eingesetzt wird.

Als besondere Vorteile des hier untersuchten Dosimetersystemes sind anzuführen die Möglichkeiten der Messung kleiner Dosen oberhalb 0,1 mR, eine Meßgenauigkeit von $\pm 5\%$ für die Messung des natürlichen Strahlenpegels nach 4tägiger Exposition, praktisch keine Temperatur- und Fadingeinflüsse, sofortige Wiederverwendung des Dosimeters ohne Regenerierung bei unverändertem Sondenfaktor, einfache Handhabung und schnelle Auswertung des Dosimeters.

Gewisse Nachteile sind die hohen Anschaffungskosten für die Dosimeter, die Notwendigkeit der Verwendung von Energiekompensationsfiltern sowie der Auswertung in einem kunstlichtbeleuchteten Raum.

(Eingegangen am 4. 8. 1971)

Literatur - References

- [1] Maushart, R., E. Piesch und M. Winter: KFK-Report 551 (1967), Gesellschaft für Kernforschung Karlsruhe
- [2] Mejdahl, V.: Health Physics 18, 164 (1970)
- [3] Attix, F. H., und T. L. Johnson: Proceedings of 1st International Congress of IRPA, Rome 1966, S. 457
- [4] Aitken, M. J.: Proceedings of Sec. Int. Conf. Luminescence Dosimetry, Bericht CONF-680920, 208 (1968)
- [5] Piesch, E.: Atompraxis, Direct Information 4/69 (1969)
- [6] Brooke, C., und R. Schayes: Proceedings of IAEA Symposium Solid State Dosimetry. Wien 1967
- [7] Becker, K., u. a.: Proceedings of IAEA-Symposium on New Development in Physical and Biological Radiation Detection. Wien 1971
- [8] Winter, M.: Proceedings of IAEA Symposium on rapid methods, Wien: IAEA 1972

Bezugsquellen - Suppliers

- [B 1] M.B.L.E. - Manufacture de Belge de Lampes et de Matériel Electronique S.A., Brüssel, Belgien
- [B 2] Toshiba, Tokyo, oder Schott u. Gen., Mainz
- [B 3] Harshaw Chemical Company, Cleveland, Ohio, USA

system it is of course necessary to take into account, besides the characteristics of the measurement technique also such practical considerations as the initial cost, the size of the dosimeters, the packing required for protection against ambient factors, and the time required for evaluation.

A particularly interesting aspect shown in Table 3 is the minimum exposure time required for measuring the natural background radiation if the measurement error is not to exceed 25%. The time required for evaluation is also of interest, because measurements of the local exposure level distribution in the vicinity of nuclear engineering facilities require the simultaneous use of a large number of dosimeters. Table 4 shows breakdown of the time required for the evaluation of 100 dosimeters of three different types.

Tab. 4: Vergleich des Zeitbedarfs zur Auswertung verschiedener Dosimeter-typen

Table 4: Comparison of readout times required for various dosimetry systems

Arbeitsgang · Working step		Benötigte Zeit zur Auswertung von je 100 Dosimetern Readout times required per 100 dosimeters		
		Phosphat-glas Dosimeter Phosphate glass dosimeters [B 2]	LiF-Preßlinge LiF ribbons [B 3]	CaF ₂ [B 1]
Auspacken, Einsetzen in Wasch- bzw. Sortierrahmen Unpacking, setting into washing and sorting frames	min	25	30	9
Waschen und Trocknen Washing and drying	min	6	2	—
Temperieren und Abkühlen Tempering and cooling	min	—	14	—
Messen · Measuring	min	60	150	50
Dosisbestimmung Determining the exposure	min	18	18	18
Einpacken, Beschriftung Repacking, marking	min	24	70	9
Arbeitszeit insgesamt ca. Total working time, about	min	133	284	86
Regenerierung vor Wiederverwendung Regeneration before re-use	min	—	270	—

The particular advantages of the dosimetry system described here are: the possibility of measuring small exposures of the order of 0,1 mR, a measuring accuracy of $\pm 5\%$ for measuring the natural radiation background level with an exposure time of 4 days, virtually no temperature and fading effects, immediate re-usability of the dosimeter without regeneration and without alteration of the calibration factor, simple handling and rapid evaluation of the dosimeter.

Amongst the disadvantages should be mentioned the high cost of the dosimeters, the necessity of using energy compensation filters, and the necessity of carrying out the evaluation in a room with only artificial illumination.