

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM  
KARLSRUHE**

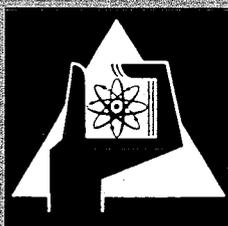
Mai 1970

KFK 1323

Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

Anwendung eines differentiellen Abtastverfahrens für  
Phosphatgläser in der Personendosimetrie?

H. Kiefer, E. Piesch



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.  
KARLSRUHE



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Mai 1970

KFK 1323

Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

Anwendung eines differentiellen Abtastverfahrens für  
Phosphatgläser in der Personendosimetrie?

H. Kiefer und E. Piesch

Gesellschaft für Kernforschung m.b.H., Karlsruhe

---

+ ) Vortrag gehalten auf dem "Second International Congress of the  
International Radiation Protection Association, Brighton, May 3-8, 1970"



## Abstract

The different requirements are established by the users of personal dosimeters for the monitoring of persons exposed to radiation. These are on the basis of different concepts of the purpose of personal dosimetry. Either they require reliable and exact measurements to elucidate the personal dose at the body surface with a dosimeter having a response independent of energy, or they require the possibility of both energy and dose determination for the assessment of the conditions of the irradiation, and thus need energy dependence dosimeters. These in addition can deal with errors of measurement.

The first requirement is principally met in nuclear technology, while in the monitoring of people in medical work it is desirable to ascertain the cause of exposure with the help of additional evidence.

Glass dosimeters currently established as being both energy and direction independent and of being of high precision in routine dosimetry, can also be used for a determination of radiation quality and the direction of incidence. In this way, one dosimeter can satisfy both requirements. For this purpose differential read-out method has proved satisfactory, and with its help the differential dose distribution in glass as a function of depth can be determined.

Measurements were made in the energy range from 10 keV to 1.2 MeV and with angle of incidence between 0 and 180°, with glass dosimeters on an Alderson man-like phantom. The dosimeters were exposed at the surface of the phantom at chest height. The results showed that it is possible to obtain additional information about the radiation quality and the direction of incidence, with phosphate glass personal dosimeters using the differential read-out method. The discussion reviews the possibility of correcting the body dose for backscatter and the possibility of using this method of personal dosimetry with different examples of dosimeter.



Abstract

An Personendosimeter zur Überwachung strahlenexponierter Personen werden von den Benutzern aufgrund verschiedener Auffassung über den Zweck der Personendosimetrie zwei unterschiedliche Anforderungen gestellt:

Entweder zuverlässige und genaue Messung ausschließlich der Personendosis an der Körperoberfläche mit energieunabhängig anzeigenden Dosimetern

Oder Möglichkeit der Energie- und Dosisbestimmung zur Interpretation des Bestrahlungsfalles mit energieabhängigen Dosimetern, wobei größere Meßfehler in Kauf genommen werden.

Die erste Forderung wird vorallem in der Kerntechnik gestellt, während man bei Personenüberwachungen im medizinischen Bereich mit Hilfe zusätzlicher Aussagen die Bestrahlungsursache ermitteln will.

Glasdosimeter, heute als energie- und richtungsunabhängige Dosimeter von hoher Genauigkeit in der Routinedosimetrie eingesetzt, können auch zur Ermittlung der Strahlenqualität und der Strahlungseinfallsrichtung herangezogen werden. So wird ein Dosimeter beiden oben gestellten Anforderungen gerecht. Hierfür bewährt hat sich ein differentielles Abtastverfahren, mit dessen Hilfe die differentielle Dosisverteilung im Glas in Abhängigkeit von der Glastiefe ermittelt wird.

Unter Verwendung eines Alderson-Menschphantoms wurden mit Glasdosimetern Meßreihen mit verschiedenen Strahlungsenergien im Bereich 10 keV - 1,2 MeV und mit verschiedenen Strahleneinfallsrichtungen zwischen  $0^\circ$  und  $180^\circ$  durchgeführt. Die Dosimeter wurden hierbei auf der Phantomvorderseite in Brusthöhe exponiert. Aufgrund der Meßergebnisse wird gezeigt, daß man mit Phosphatglas-Personendosimetern unter Zuhilfenahme des differentiellen Abtastverfahrens zusätzliche Aussagen über Strahlenqualität und Strahleneinfallsrichtung erhalten kann. Es werden Möglichkeiten zur Korrektur des Körpereinflusses bei Rückwärtseinstrahlung sowie Möglichkeiten einer Anwendung dieser Auswertemethode in der Personendosimetrie am Beispiel verschiedener Dosimeterarten diskutiert.

## 1. Einleitung

Der Personendosimetrie wird als Erfolg zugeschrieben, daß die berufliche Strahlenbelastung der Gesamtheit aller beruflich strahlenexponierten Personen in den letzten Jahren erheblich herabgesetzt wurde. Das gilt, obwohl allgemein bekannt ist, daß viele eingesetzte Personendosimeter nicht viel mehr als eine Ja-Nein Aussage zulassen, ob sich jemand überhaupt im Strahlenfeld aufgehalten oder nicht, und weitere quantitative Aussagen mit extremen Fehlern behaftet sein können.

Bei den internationalen Tagungen der letzten Jahre wurden immer wieder die Vor- und Nachteile verschiedener Personendosimeter-Meßmethoden und die an ein Personendosimeter zu stellenden Minimalforderungen diskutiert. Entsprechend den persönlichen Erfahrungen der Beteiligten wurde dann einem speziellen Dosimeter deshalb der Vorzug gegeben,

- weil es das meistbenutzte Personendosimeter der Welt ist, oder
- weil es zwar die Dosis nur ungenau mißt, aber angeblich zusätzliche Aussagen über das Strahlungsfeld ermöglicht, oder
- weil es unter definierten Kalibrierbedingungen die Dosis in einem bestimmten Bereich energie- und richtungsunabhängig anzeigt.

Über das Ziel einer idealen Personendosimetrie bestehen wohl keine Meinungsverschiedenheiten: Es ist dies die Ermittlung bzw. Abschätzung der im jeweiligen kritischen Organ aufgetretenen Strahlenbelastung, wie es die ICRP-Empfehlung vorschreibt. Ein an der Körperoberfläche getragenes Dosimeter läßt jedoch eine solche Abschätzung nur in erster Näherung zu (5,6,7).

Von den Strahlenschutzpraktikern werden aufgrund verschiedener Auffassungen über den Zweck der Personendosimetrie zwei unterschiedliche Anforderungen gestellt:

- entweder die zuverlässige und genaue Messung ausschließlich der Personendosis an der Körperoberfläche mit energieunabhängig anzeigenden Dosimetern, (entspricht in vielen Ländern z.B. in der BDR der gesetzlichen Forderung)
- oder die Möglichkeit der Energie- und Dosisbestimmung zur Interpretation des Bestrahlungsfalles mit energieabhängigen Dosimetern, wobei größere Meßfehler in Kauf genommen werden.

Für eine Routineüberwachung strahlenexponierter Personen ist die erste Forderung zweckmäßig und ausreichend, zumal hier aufgrund langjähriger Erfahrungen während des Überwachungszeitraumes überwiegend Mehrfachbestrahlungen zu verschiedenen Zeiten vorkommen, die eine nähere Analyse des Bestrahlungsfalles (Strahlenqualität, Strahleneinfallsrichtung) aus physikalischen Gründen nicht mehr zulassen. Die zweite Forderung ist im Ernstfall, nämlich bei unvorhergesehenen, hohen Strahlenbelastungen berechtigt, um mit Hilfe zusätzlicher Aussagen die Bestrahlungsursache und/oder Aussagen über das Strahlungsfeld zu erhalten. In solchen Fällen kann aber grundsätzlich auch nicht auf die erste Forderung verzichtet werden.

Es zeigte sich, daß bisher weder das energieabhängige Verfahren der Film-dosimetrie noch energieunabhängige Festkörperdosimeter beide Forderungen gleichzeitig in ausreichender Weise erfüllen.

Es war daher naheliegend, nach einem Dosimeter zu suchen, welches beide Forderungen erfüllt. Von einem solchen Dosimeter werden folgende Eigenschaften erwartet:

- eine gute Meßgenauigkeit, bevorzugt zu verwirklichen über eine energie- und richtungsunabhängige Dosismessung,
- Aussagen über das Strahlungsfeld bei hohen Dosen insbesondere eine Unterscheidung zwischen Vordereinstrahlung und Rückwärtseinstrahlung, beispielsweise zu verwirklichen mit der differentiellen Abtastung des Glases,
- die Ermittlung der Organbelastung, bevorzugt zu verwirklichen mit einem energieunabhängig anzeigenden Dosimeter.

Im folgenden wird die Anwendung eines differentiellen Abtastverfahrens für Phosphatglasdosimeter in der Personendosimetrie vorgeschlagen, welches die Möglichkeit bietet, zusätzliche Aussagen über die Richtung des Strahleneinfalles und über die Strahlenqualität zu liefern. Schließlich werden auch Lösungen aufgezeigt, diese neue Methode mit der einer energieunabhängigen Dosismessung zu kombinieren.

## 2. Methode der differentiellen Auswertung von Phosphatglasdosimetern

Wie unsere Untersuchungen ergaben, kann die differentielle Dosisverteilung im Glas mit Hilfe eines speziellen Abtastverfahrens in Abhängigkeit von der

Abb. 1.

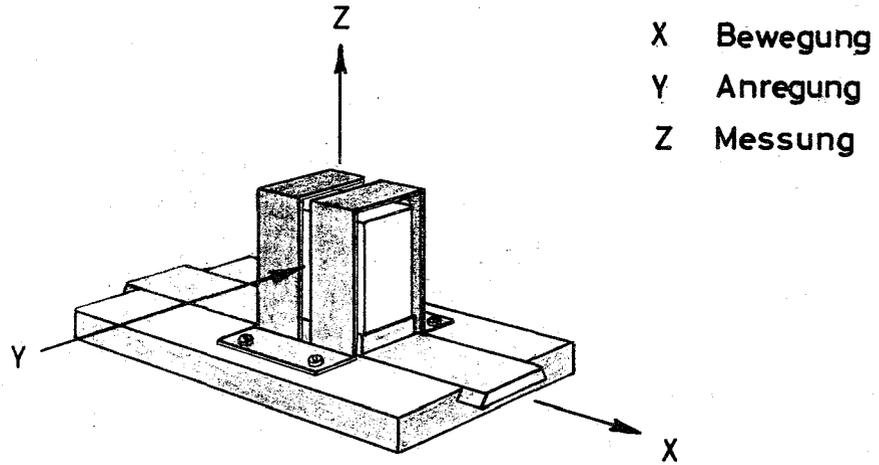
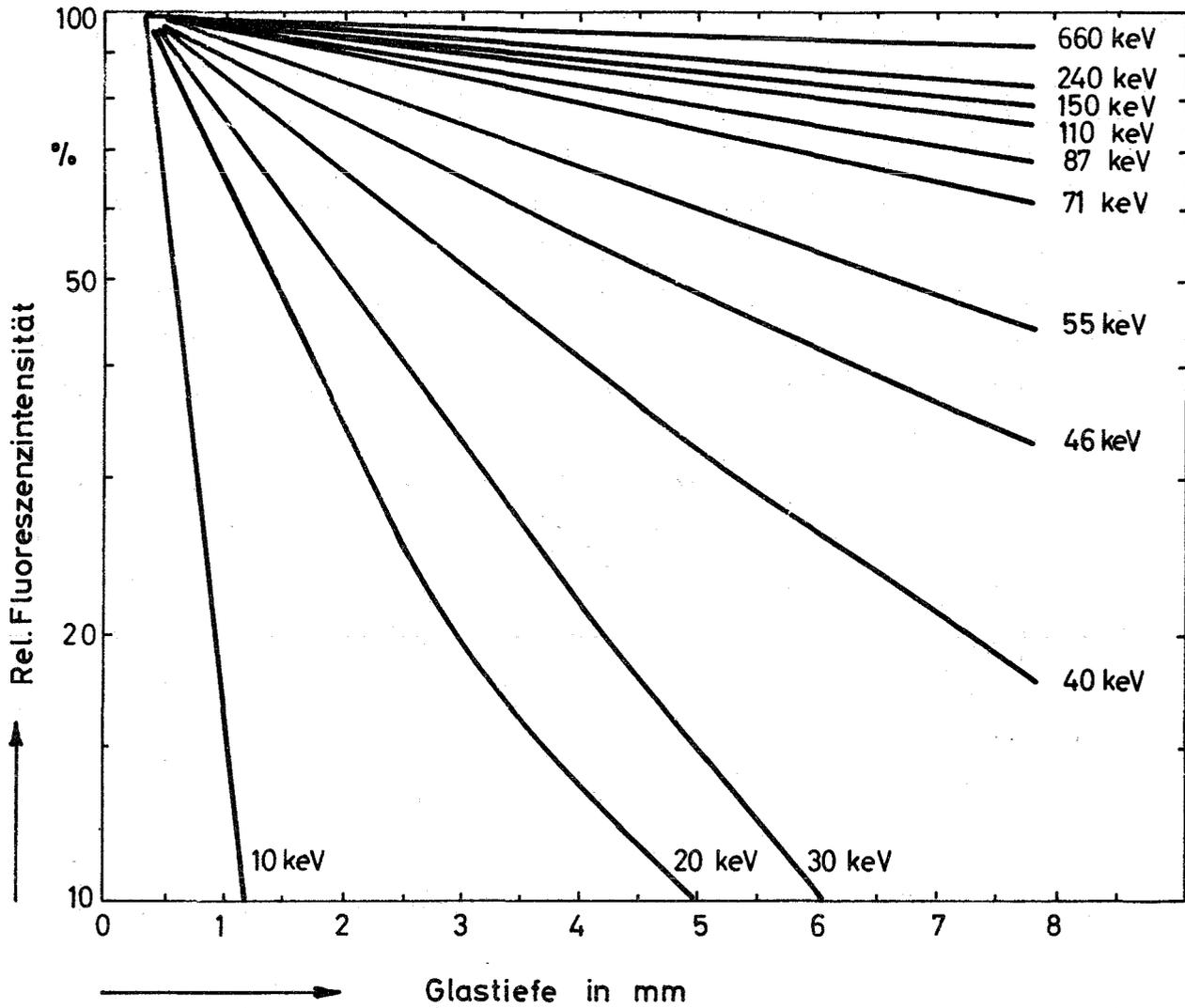
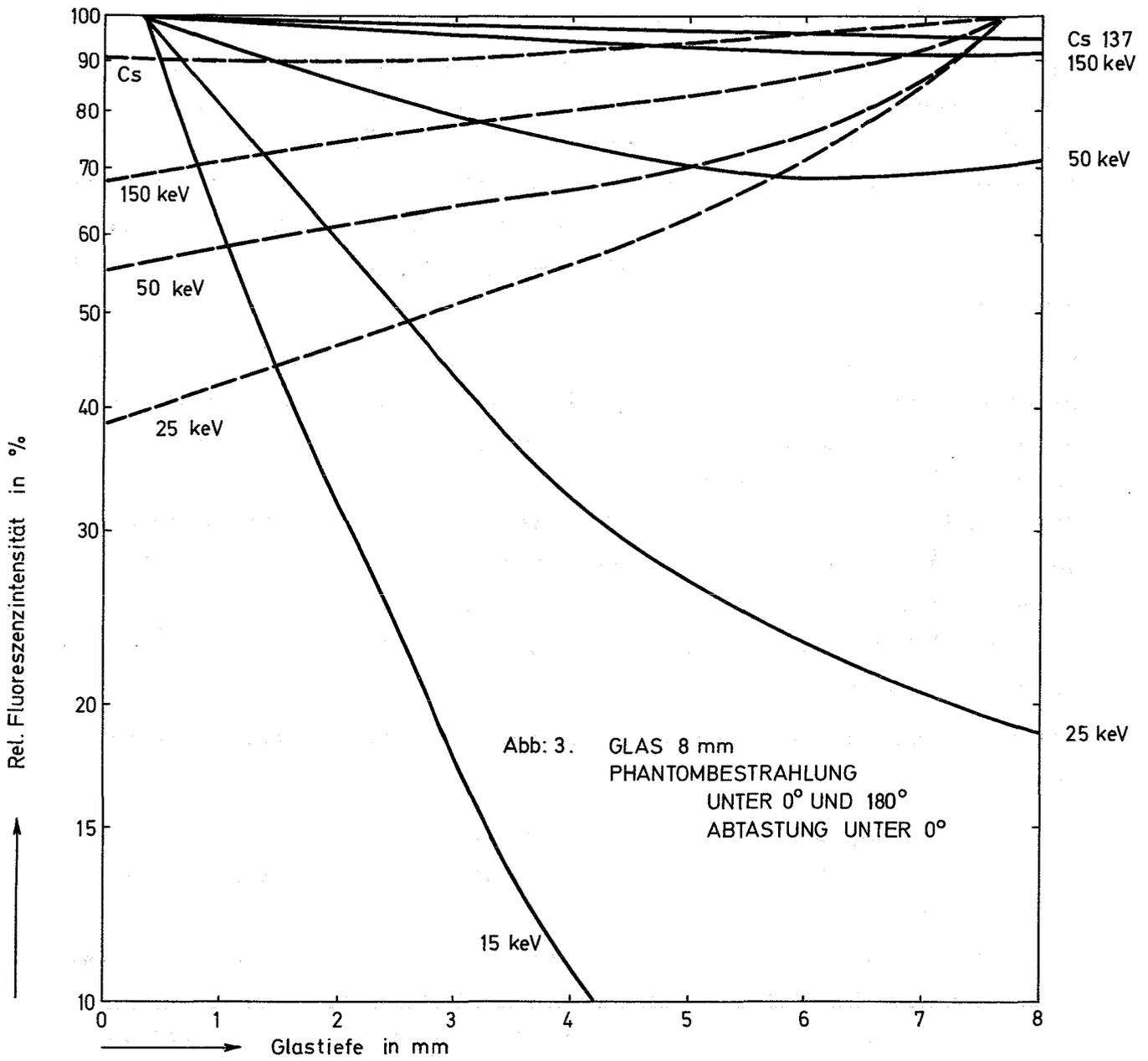


Abb. 2.

Differentielle Auswertung des Phosphatglases





Glastiefe ermittelt werden. Hierbei erfolgt die Fluoreszenzlichtanregung und die Fluoreszenzintensitätsmessung nicht im gesamten Glaskörper, sondern über eine Schlitzblende kontinuierlich in verschiedene Glastiefen. (1).

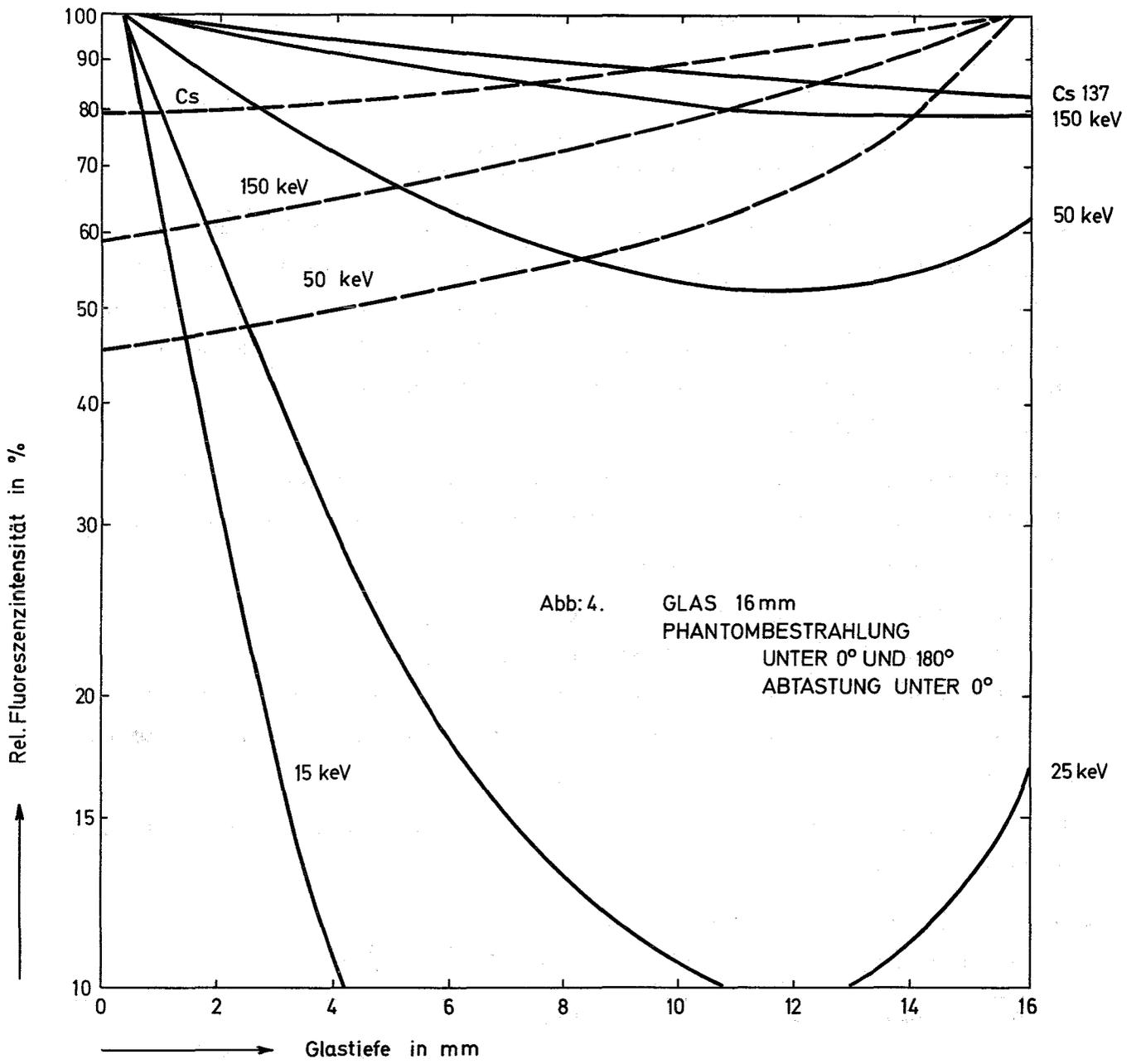
Die differentielle Auswertemethode ist in Abb. 1 näher erläutert. Das Glas wird mittels Motorantrieb in Richtung X kontinuierlich durch eine optische Schlitzblende von etwa 0,3 mm Breite bewegt, in Richtung Y durch diese Blende mittels UV-Licht zur Fluoreszenzlichtaussendung angeregt und die Fluoreszenzintensität in Richtung Z durch einen Photomultiplier registriert. Die differentielle Fluoreszenzintensität wird hierbei mit einem XY-Schreiber in 5 sek (für Glastiefe von 8 mm) in Abhängigkeit von der Glastiefe direkt ausgeschrieben.

Abb. 2 zeigt am Beispiel eines Phosphatglases der Größe  $8 \times 8 \times 4,7 \text{ mm}^3$  experimentell erhaltene Tiefendosisverteilungen, die nach einer Freiluftbestrahlung mit hartgefilterter Quantenstrahlung unterschiedlicher Energie bei Abtastung des Glases in Strahleneinfallrichtung erhalten wurden. Die differentielle Fluoreszenzintensität wurde hierbei jeweils auf den Meßwert in 0,3 mm Glastiefe bezogen, die Bestrahlung erfolgte senkrecht auf die Schmalseite des Glases. Die Meßergebnisse zeigen, daß der Abfall der differentiellen Fluoreszenzintensität exponentiell erfolgt und eine Funktion der effektiven Strahlenqualität ist.

Die neue Auswertemethode bietet für die Personendosimetrie folgende Möglichkeiten:

- Ermittlung der Strahlenqualität aus dem Abfall der Tiefendosisverteilung im Glas bei einer Abtastung des Glases in Strahleneinfallrichtung im Energiebereich 10 keV bis 600 keV.
- Ermittlung der Strahleneinfallrichtung, wenn das Glas gedreht, bzw. in drei zueinander senkrechten Ebenen abgetastet wird.
- Eine - energieabhängige - Dosisbestimmung aus der differentiellen Fluoreszenzintensität in einer vorgegebenen Glastiefe unter Berücksichtigung entsprechender Energiekorrekturfaktoren.
- Ausgehend von der Tiefendosisverteilung im Glas lassen sich zusätzliche Aussagen über die Tiefendosisverteilung im Gewebe machen, um die Strahlenbelastung der Person im Hinblick auf die Belastung des kritischen Organs zu ermitteln.

Die differentielle Auswertemethode wird in der Ortsdosimetrie schon vorteilhaft eingesetzt zur Bestimmung der Halbwertsschicht und des Homogenitätsgrades von



Röntgenstrahlung und zur Ermittlung der Energie- und Dosisanteile von Strahlungsgemischen (1). Interessante Anwendungen ergaben sich bei der Analyse von Strahlungsfeldern an Beschleunigern, bei kurzlebigen Aktivierungsprodukten und bei Messungen in Plutoniumlabors (Trennung von Plutonium- und Americiumanteilen) (2).

### 3. Einfluß des Körpers auf die Personendosisanzeige

Es war Ziel unserer Untersuchungen, mit Hilfe von Phantommessungen den Körpereinfluß bei der Personendosimetrie zu ermitteln. Diese Ergebnisse sollen dazu beitragen, ein geeignetes Personendosimeter zu finden, welches neben einer Dosismessung zusätzliche Aussagen über die Strahlenqualität und über die Richtung des Strahleneinfalles insbesondere auch bei Bestrahlung der Phantomrückseite ermöglicht.

Für die Meßreihen wurde ein Alderson-Mensch-Phantom verwendet, an dessen Vorderseite das Dosimeter in Brusthöhe bestrahlt wurde. Als Dosimeter wurden Yokotagläser (3) verwendet:

- mit einer Glastiefe von 8 mm ohne Kapselung,
- mit einer Glastiefe von 16 mm ohne Kapselung,
- mit einer Glastiefe von 8 mm und einem Halbkugelkompensationsfilter (4) (2 mm dicke perforierte Zinnhalbkugel mit einer 0,5 mm Kupferfolie an der dem Körper zugewandten Seite).

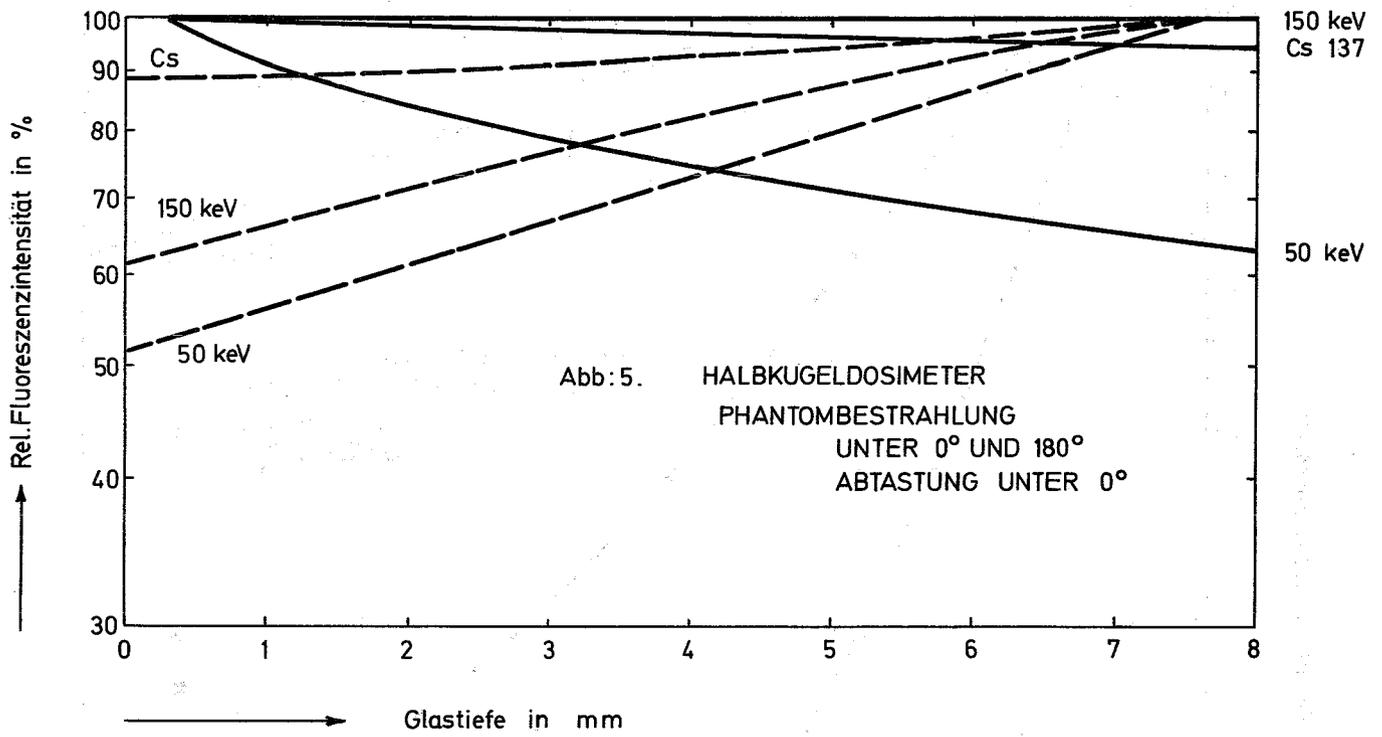
Für die Bestrahlungen wurde eine relativ inhomogene Strahlung (Normalstrahlung) verwendet (s. Tab. 1).

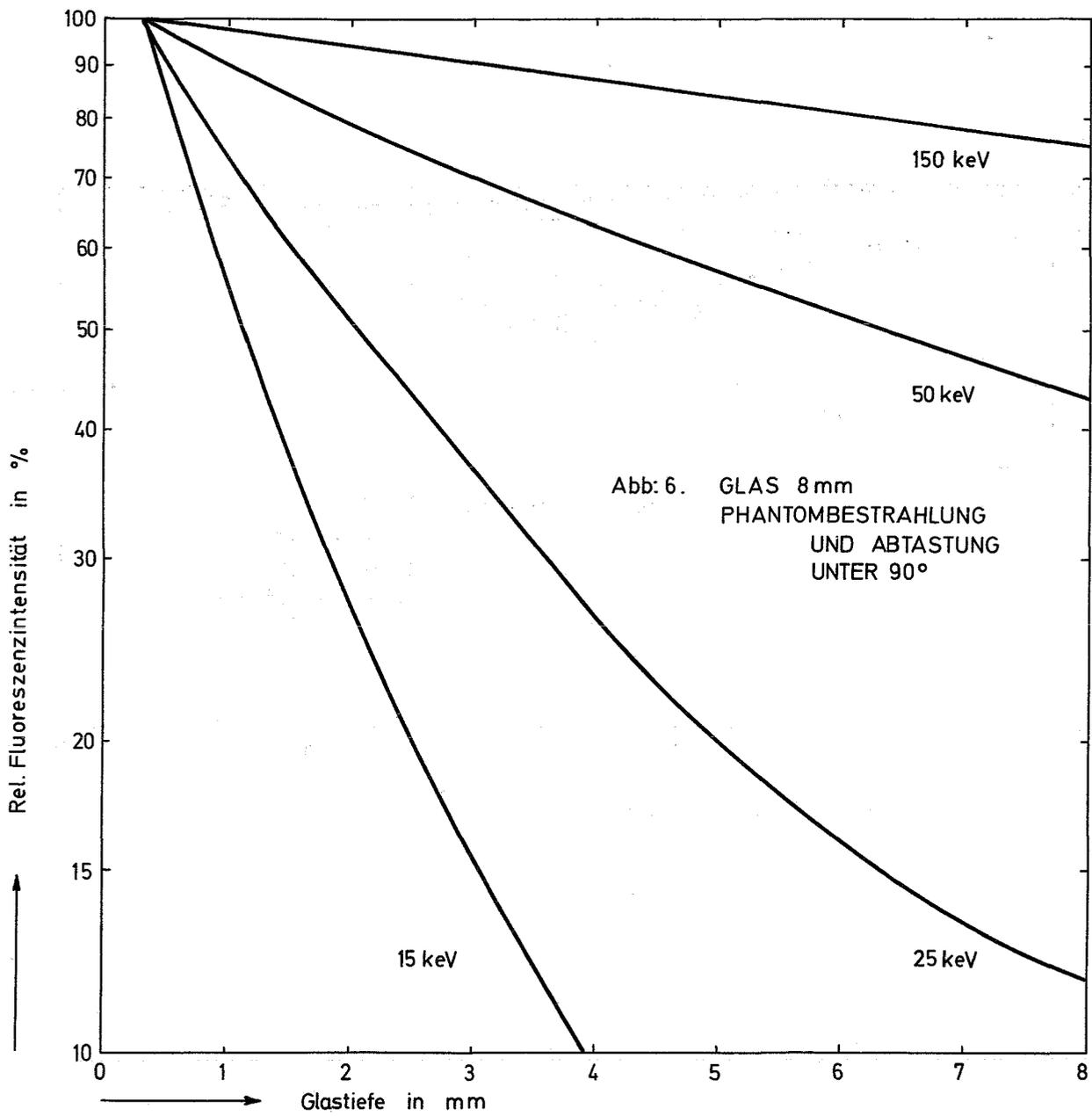
Die Bestrahlungen erfolgten in einer Ebene senkrecht zur Phantomachse für Einfallrichtungen von  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $105^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $165^\circ$  und  $180^\circ$ .

Es wurden folgende Parameter untersucht:

#### 3.1 Strahleneinfallrichtung

Das Ergebnis der Phantombestrahlung ist für eine Bestrahlung des Glases unter  $0^\circ$  und unter  $180^\circ$  in Abb. 3 - 5 wiedergegeben. Der Einfluß des Phantomes führt im Vergleich zur Freiluftbestrahlung für beide Strahleneinfallrichtungen zu einem veränderten Abfall der Tiefendosis Kurve. Bei Vorderbestrahlung erhält man infolge der Rückstreustrahlung vom Phantom in größeren Glastiefen ein





Abweichen vom exponentiellen Abfall, bei Rückwärtsbestrahlung durch Aufhärten der Strahlung einen flacheren Abfall. Eine Unterscheidung zwischen Einstrahlung aus dem vorderen Halbraum und Bestrahlung der Phantomrückseite ist hier auch bei dem Dosimeter mit Energiekompensationsfilter möglich.

Bei seitlicher Bestrahlung des Phantoms wird eine Abtastung des Glases in Richtung  $0^\circ$  nicht immer zum Ziel führen. Dafür muß das Glas in einer Abtastrichtung unter  $90^\circ$  ausgewertet werden. Das Ergebnis dieser Auswertung ist in Abb. 6 wiedergegeben. Entsprechende Tiefendosiskurven für Einfallrichtungen unter  $45^\circ$  und unter  $135^\circ$  zeigt Abb. 7.

Das Halbkugeldosimeter zeigt wegen der Lochverteilung des Energiekompensationsfilters bei einer Bestrahlung unter  $90^\circ$  vorallem für energiearme Quantenstrahlung eine wellige Tiefendosiskurve (Abtastrichtung unter  $0^\circ$ ), jedoch einen exponentiellen Abfall, wenn in Strahleneinfallrichtung abgetastet wurde (siehe Abb.8).

Diese Ergebnisse zeigen, daß bei entsprechender Abtastung des Glases in zueinander senkrechten Ebenen die Strahleneinfallrichtung ermittelt, insbesondere zwischen einer Bestrahlung der Vorderseite und Rückseite unterschieden werden kann.

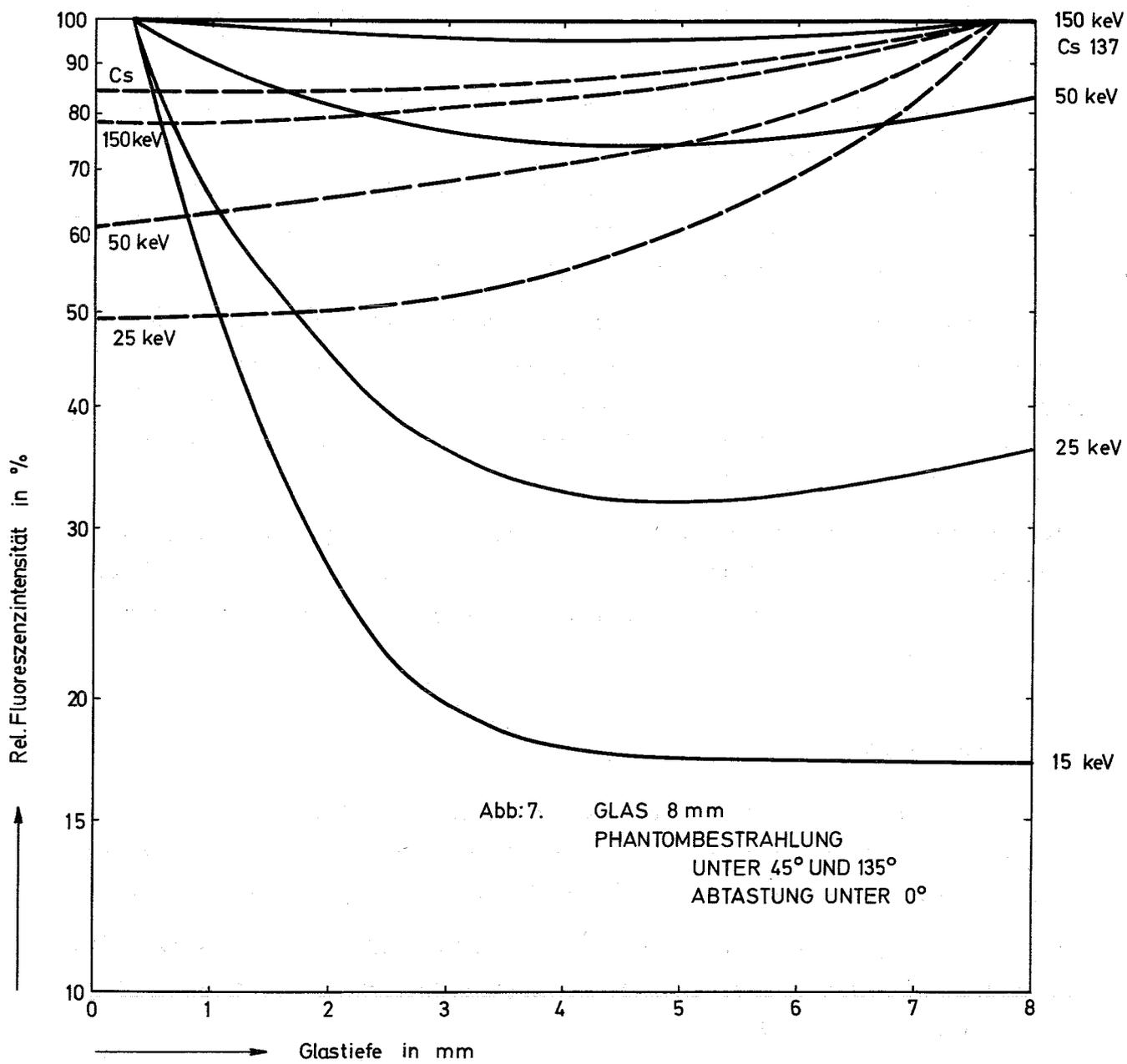
### 3.2 Strahlenqualität

Die Ermittlung der Strahlenqualität aus dem exponentiellen Abfall der Tiefendosisverteilung im Glas ist für Quantenenergien von 10 keV - 600 keV beim Dosimeter ohne Energiekompensationsfilter gewährleistet (s. Abb. oben).

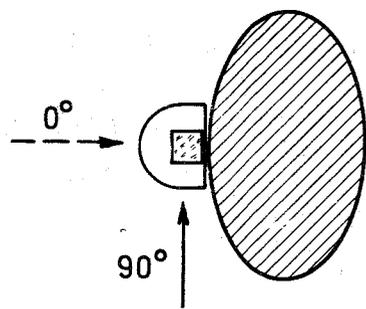
Die genaue Ermittlung der Strahleneinfallrichtung und der Strahlenqualität dient dazu, aus dem Meßwert in einer vorgegebenen Glastiefe die Dosis an gewünschten Stellen im Körper zu ermitteln.

### 3.3 Dosisbestimmung

Die Dosisberechnung erfolgt nach einem energieabhängigen Verfahren ähnlich dem der Filmdosimetrie. Als Dosisanzeige wurde die relative Fluoreszenzintensität in 0,3 mm Glastiefe bezogen auf die Dosis von 1 R in Abb. 9 in Abhängigkeit von der Strahleneinfallrichtung wiedergegeben. Danach zeigt



# HALBKUGELDOSIMETER 90° BESTRAHLUNG



Abtastung in

— Bestrahlungsrichtung

- - - unter 0°

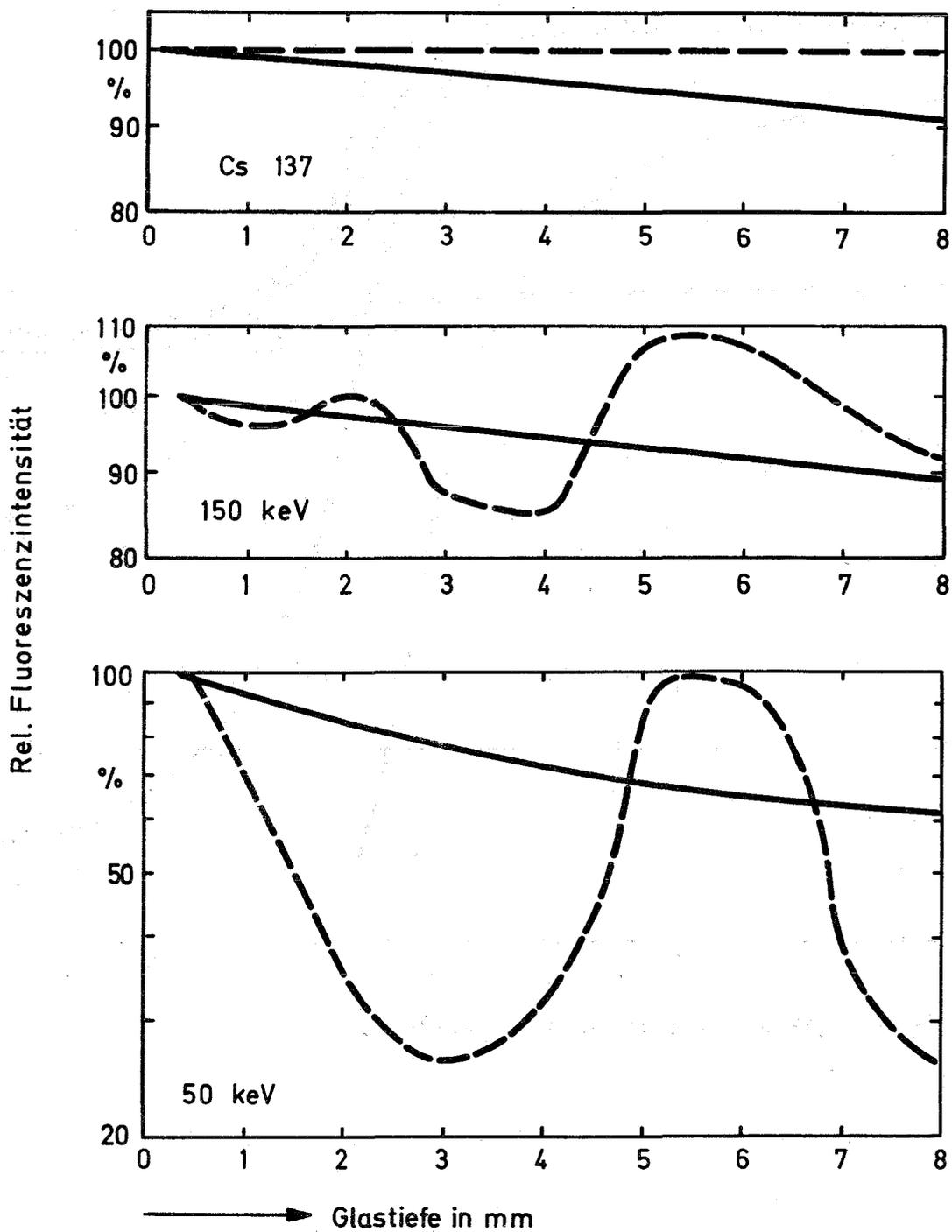


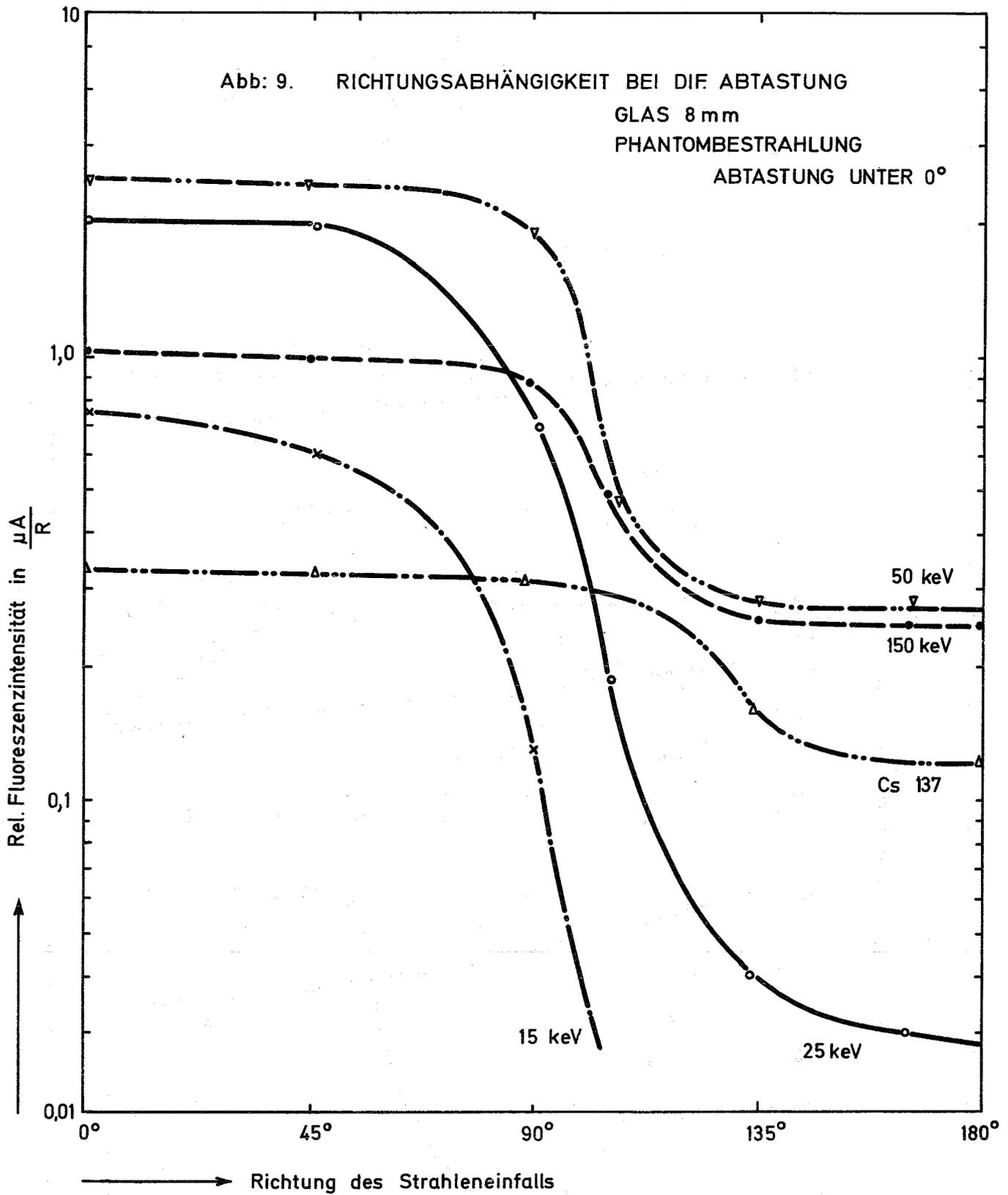
Abb: 8.

Abb: 9. RICHTUNGSABHÄNGIGKEIT BEI DIF ABTASTUNG

GLAS 8 mm

PHANTOMBESTRAHLUNG

ABTASTUNG UNTER 0°



ein Phosphatglas der Größe  $8 \times 8 \times 4,7 \text{ mm}^3$  bei Bestrahlung der Phantomvorderseite erst für energiearme Röntgenstrahlung eine nennenswerte Richtungsabhängigkeit. Die Energieabhängigkeit der Dosisanzeige ist in Abb. 10 für die Strahleneinfallsrichtungen  $0^\circ$  (Bestrahlung der Phantomvorderseite) und  $180^\circ$  (Bestrahlung der Phantomrückseite) dargestellt.

Die Berechnung der Dosis erfolgt bei Kenntnis der Strahlenqualität durch eine entsprechende Korrektur der Energieabhängigkeit. Bei Bestrahlung der Phantomvorderseite zeigt das Glas eine Überempfindlichkeit bis zu einem Faktor 7, bei Bestrahlung der Phantomrückseite eine relativ geringe Unterbewertung der Freiluftdosis bis zu einem Faktor 2.

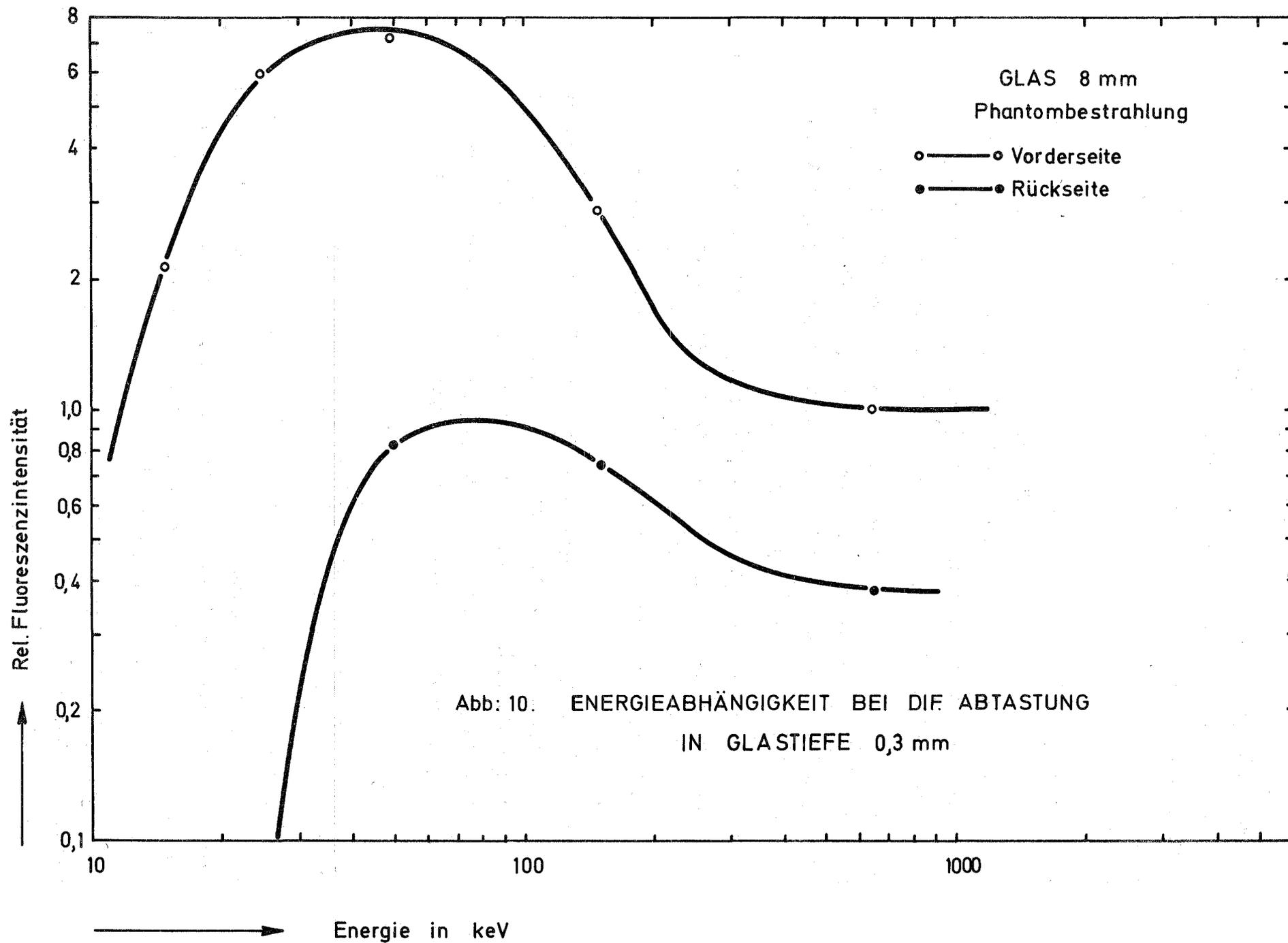
Unter Zuhilfenahme des energieabhängigen Verfahrens kann die Dosis beim Vorliegen einer Einzelbestrahlung (Vorliegen einer definierten Einfallsrichtung und einer Strahlenqualität) mit ausreichender Genauigkeit ermittelt werden. Im Vergleich zum Filmdosimeter

- beträgt der maximal mögliche Korrekturfaktor 7 (Filmdosimeter Faktor 40) bzw. Faktor 2 bei Bestrahlung der Phantomrückseite,
- läßt sich eine Strahleneinfallsrichtung bei Rückwärtsbestrahlung auch für energiereiche Quantenstrahlung oberhalb 100 keV ermitteln,
- ist eine einwandfreie Unterscheidung einer Bestrahlung der Phantomvorderseite und der Phantomrückseite, aber auch eine genaue Richtungsangabe für Bestrahlungen aus dem vorderen Halbraum möglich,
- können aus der Tiefendosiskurve die Energie- und Dosisanteile von evtl. Strahlungsgemischen ermittelt werden.

#### 4. Konzept eines Dosimeters ohne Energiekompensationsfilter

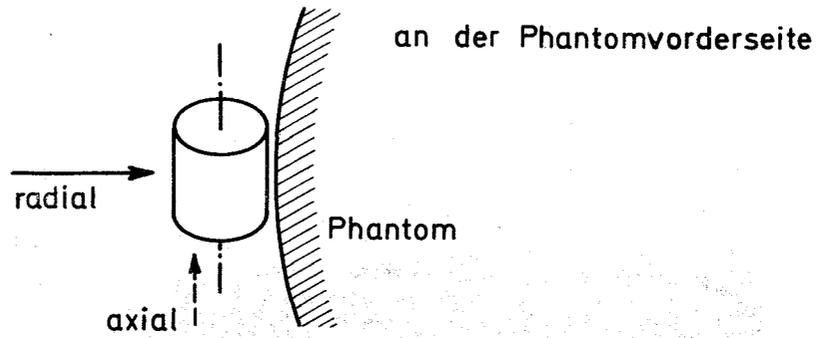
Zur genauen Ermittlung von Strahleneinfallsrichtung, Strahlenqualität und der Dosis von Quantenstrahlung oberhalb 10 keV wurde von der rechteckigen Dosimeterform abgegangen und ein zylindrisches Glas vorgesehen. Dieses Glasdosimeter soll senkrecht an der Körpervorderseite getragen werden (Zylinderachse entspricht der Körperachse).

Die Abtastung des Glases erfolgt in drei entsprechend zueinander senkrechten Ebenen in folgender Weise:

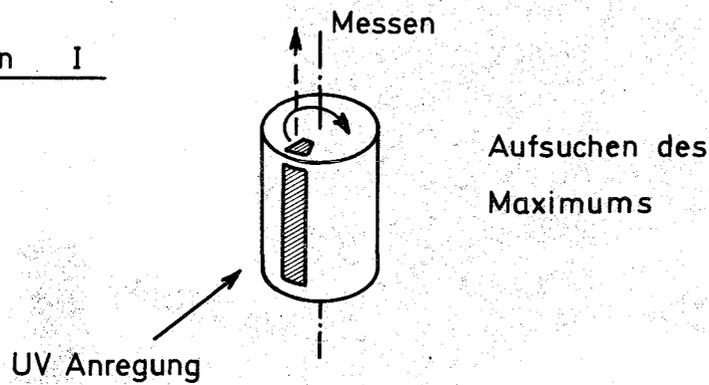


DIFFERENT. AUSWERTUNG DES ZYLINDRISCHEN GLASES

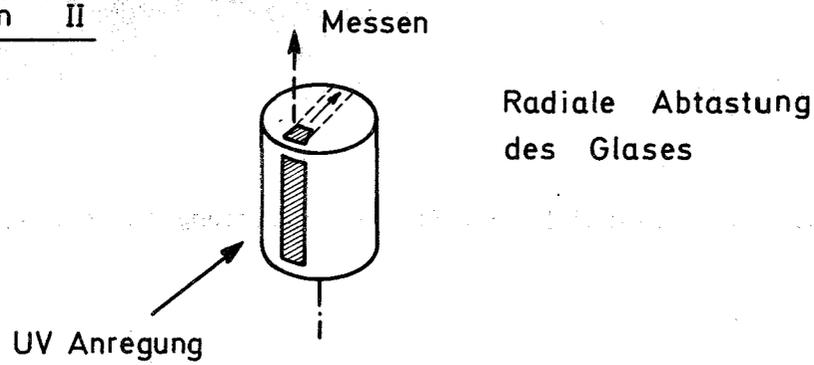
Bestrahlung



Messen I



Messen II



Messen III

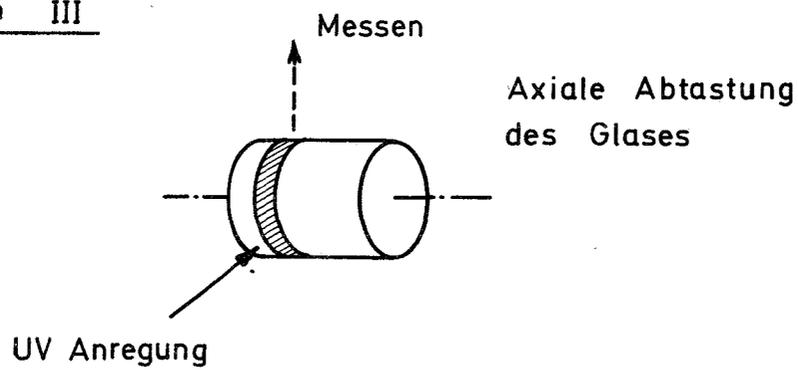


Abb : 11.

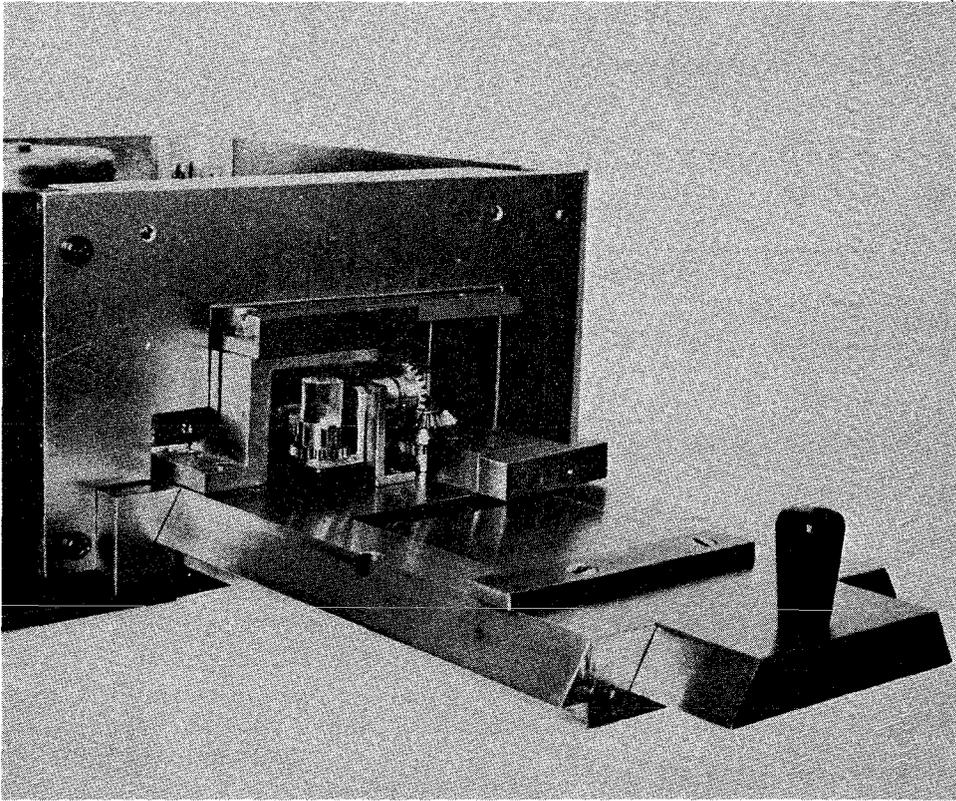


Abb. 12: Teilansicht der Abtastvorrichtung für das zylindrische Glas

1. Drehung des Glases um seine Achse zum Aufsuchen der Strahleneinfallrichtung durch Aufsuchen einer maximalen Fluoreszenzintensität am Glasrand,
2. radiale Abtastung des Glases in Richtung des Strahleneinfalles,
3. achsiale Abtastung des Glases zur Ermittlung einer senkrechten Strahlungskomponente.

Eine schematische Darstellung der hintereinander durchzuführenden Abtastungen ist in Abb. 11 für die vorgegebene Glasgröße 8 mm  $\phi$  und 9 mm Länge dargestellt.

Bei Messung 1 wird der Glaszylinder um seine Achse gedreht, die UV-Lichtanregung erfolgt an der Mantelfläche, die Messung an der Stirnfläche des Glases über eine Ausblendung am Glasrand. Die zweite Messung erfolgt durch Verschieben einer optischen Blende zwischen der Stirnfläche des Glaskörpers und dem Multiplier. Danach wird der Glaskörper in der Horizontalebene um  $90^\circ$  geschwenkt. Bei Messung 3 wird der Glaskörper in Achsenrichtung bewegt und über eine entsprechende Blende längs der Mantelfläche mit dem UV-Strahl abgetastet.

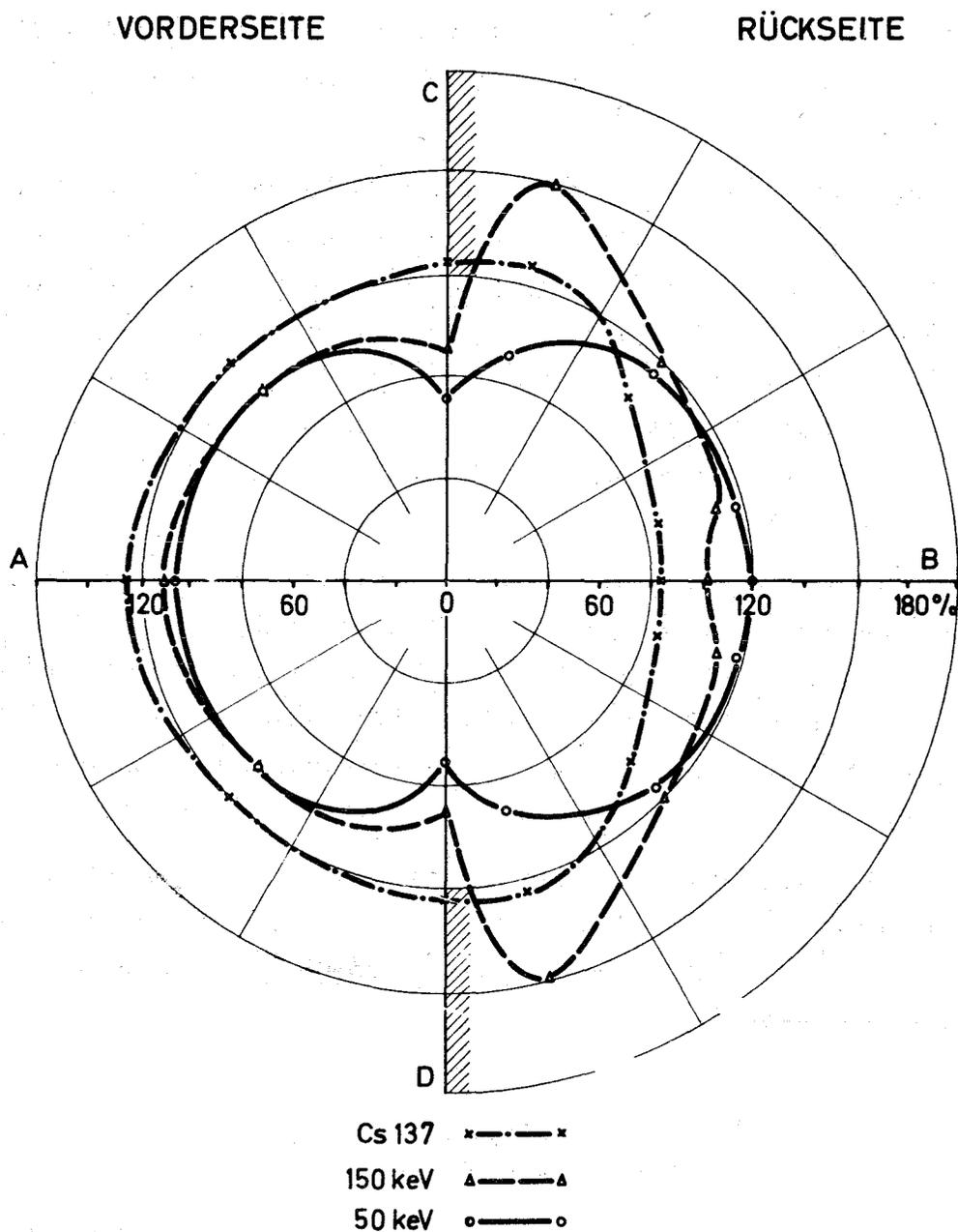
Abb. 12 zeigt ein Bild der beschriebenen Abtastvorrichtung für das zylindrische Glas. Die gesamte Vorrichtung einschließlich Antriebsmotor ist in die optische Kammer eines Toshiba-Auswertegerätes Typ FGD-3B eingebaut. Die Steuerung der vier verschiedenen Bewegungen erfolgt über einen Steuerteil außerhalb des Gerätes. Konstruktion und Bau der Abtastvorrichtung erfolgten von der Fa. Physikalisch Technische Werkstätten Dr. Pychlau, Freiburg.

Mit der gerade fertiggestellten Meßanordnung soll eine Verbesserung der beim Glaswürfel gezeigten Nachweisverhältnisse näher untersucht werden. Es ist zu erwarten, daß das Zylinderglas eine genauere Ermittlung der Strahleneinfallrichtung ermöglicht.

## 5. Anwendungsmöglichkeiten in der Personendosimetrie

In Abb. 13 werden die heute in der Personendosimetrie benutzten Meßverfahren und deren charakteristische Eigenschaften gegenübergestellt. Zur Messung der Dosis benutzt man bevorzugt energieunabhängige Dosimeter. Nach dem derzeitigen Konzept einer Personendosimetrie wird die Messung der Oberflächendosis am Ort

Abb:14. ANZEIGE DER ENERGIEDOSIS IN MÄNNLICHEN  
GONADEN  
STRAHLENEINFALL



## DOSIMETRIE MIT PHOSPHATGLÄSERN

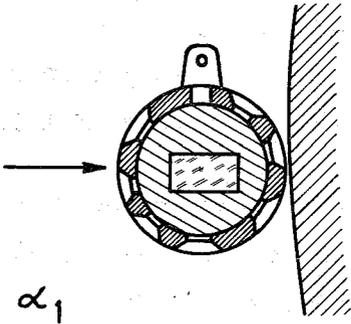
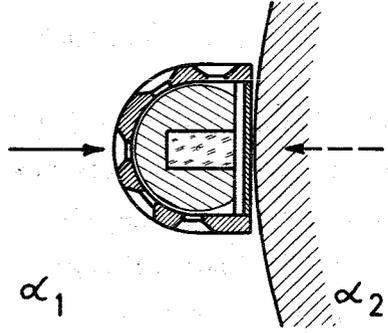
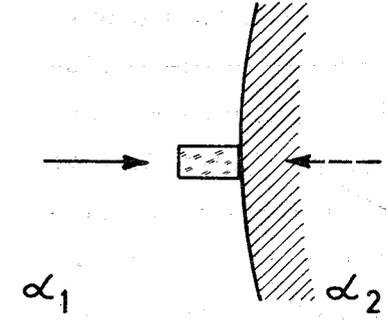
<p style="text-align: center;">KUGELDOSIMETER</p> 	<p style="text-align: center;">MESSUNG DER OBERFLÄCHENDOSIS</p>
<p style="text-align: center;">HALBKUGELDOSIMETER</p> 	<p style="text-align: center;">MESSUNG DER ENERGIEDOSIS IM KRITISCHEN ORGAN</p> <p>Energieabhängigkeit  <math>\pm 20\%</math> für <math>\alpha_1</math> (<math>&gt; 50</math> keV)  <math>\pm 25\%</math> für <math>\alpha_2</math> (<math>&gt; 70</math> keV)</p> <p>Gonaden männlich, Magen-Darm-Trakt;  für Gonaden weiblich u. Blutbildende Organe  Korrektur für <math>\alpha_2</math> aus Tiefendosismessung</p>
<p style="text-align: center;">GLAS OHNE ENERGIE-KOMPENSATIONSFILTER</p> 	<p style="text-align: center;">MESSUNG DER TIEFENDOSISVERTEILUNG</p> <p>Ermittlung von Energie u. Richtung der Strahlung</p> <p>Energieabhängige Dosisbestimmung  <math>&gt; 10</math> keV für <math>\alpha_1</math> und <math>\alpha_2</math></p>

Abb: 15.

des Dosimeters vorgeschrieben. Nach dem neuen Konzept einer Organdosismessung wird die Energiedosis in den interessierenden kritischen Organen direkt mit einem Personendosimeter an der Körperoberfläche angezeigt. Durch ein entsprechendes Energiekompensationsfilter kann beispielsweise ein Phosphatglas diejenige Energieabhängigkeit erhalten, welche durch den Umrechnungsfaktor zur Berechnung der Organdosiss vorgegeben ist (5, 6, 7, 4). Neben einer Phantomkalibrierung bietet hier die Direktanzeige der Dosis auch bei Bestrahlung der Phantomrückseite zusätzliche Verbesserungen der im allgemeinen von der Körperorientierung in ausgeprägtem Maße abhängigen Nachweisverhältnisse.

Beim Vorliegen einer Einzelbestrahlung sind Aussagen über das Strahlungsfeld vorallem mit energieabhängigen Meßmethoden möglich. Das Filmdosimeter ist der typische Vertreter dieser "Spektroskope". Im Vergleich dazu könnte das Phosphatglas mit differentieller Auswertung als "Analysator" bezeichnet werden (siehe auch Abb. 15).

Als Beispiel für die Kombination beider Meßmethoden, nämlich der energieunabhängigen Dosismessung und der differentiellen Abtastung, seien hier noch die dosimetrischen Eigenschaften des Halbkugeldosimeters näher beschrieben.

Dieses Dosimeter wird im Energiebereich oberhalb 50 keV (bei Bestrahlung der Phantomrückseite oberhalb 70 keV) die Energiedosis in allen interessierenden kritischen Organen energie- und richtungsunabhängig anzeigen. Die Energiedosis in den männlichen Gonaden (kritisches Organ für Routineüberwachung) und die Energiedosis im Magen-Darm-Trakt (kritisches Organ für Unfalldosimetrie) wird auch bei Bestrahlung der Phantomrückseite richtig angezeigt (Abb. 14). Eine zusätzliche Aussage über die Richtung des Strahleneinfalles ist hier zur Dosismessung nicht erforderlich.

Für die Direktmessung der Energiedosis in den weiblichen Gonaden und den blutbildenden Organen muß bei Bestrahlung der Phantomrückseite die Dosisanzeige korrigiert werden. Eine Unterscheidung zwischen Vorderseiten- und Rückseitenbestrahlung ist über eine zusätzliche Messung der Tiefendosisverteilung im Glas möglich (siehe Abb. 5). Die Umrechnung von Fluoreszenzintensität in Energiedosis erfolgt über Umrechnungsfaktoren, die lediglich von der Art des kritischen Organes und der Richtung des Strahleneinfalles (Vorder- oder Rückseitenbestrahlung) abhängig sind (siehe Tab. 2).

Auf die Vorteile einer direkten Organdosissanzeige sei hier nicht weiter ein-

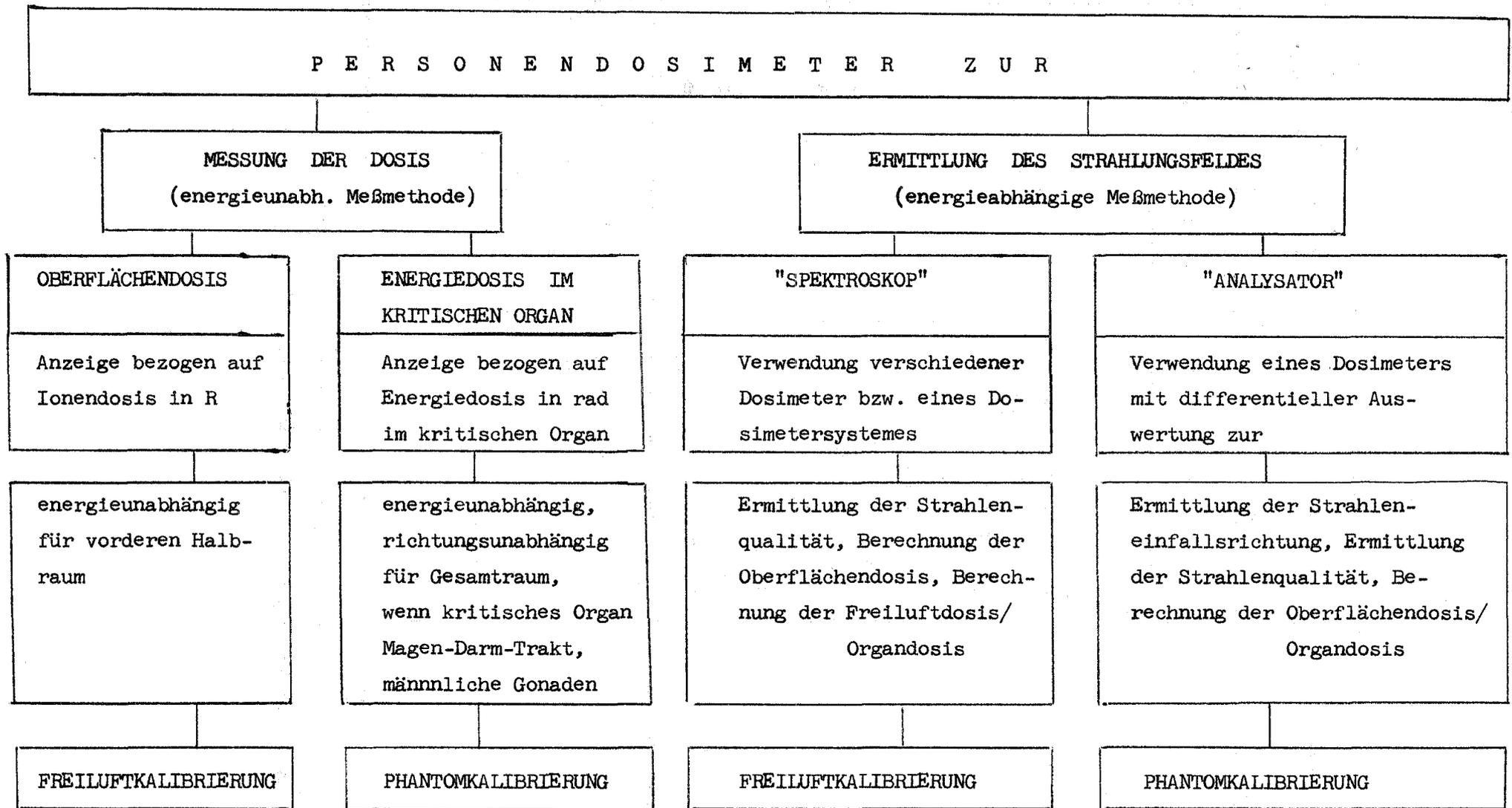


Abb. 13: Schematische Darstellung der Meßverfahren in der Personendosimetrie

Tab. 1: Verwendete Strahlenqualitäten <sup>†</sup>)

Röhrens <span>pan</span> nung (kV)	Zusatzfilterung (mm)	angenommene, eff. Quantenenergie (keV)
F I L T E R K O M B I N A T I O N I		
Cs <sup>137</sup>		
300	2 Al + 5 Cu + 3,5 Pb	240
200	2 Al + 5 Cu + 0,9 Pb	150
150	2 Al + 7 Cu	110
120	2 Al + 3,5 Cu	87
100	2 Al + 2 Cu	71
80	2 Al + 0,7 Cu	55
70	2 Al + 0,4 Cu	46
45	2 Al + 0,45 Cu	40
35	2 Al + 0,2 Cu	30
25	2,5 Al	20
15	0,2 Al	10
F I L T E R K O M B I N A T I O N II		
300	1,7 Cu	150
100	10,5 Al	50
50	2,7 Al	25
30	0,9 Al	15

<sup>†</sup>) Die Freiluftbestrahlungen erfolgten mit Filterkombination I,  
die Phantombestrahlungen mit Filterkombination II.

gegangen. Die Energiedosis in den interessierenden kritischen Organen kann jedoch mit Hilfe eines von der Körperorientierung unabhängigen, direkt anzeigenden Glasdosimeters mit einem wesentlich kleineren Fehler bestimmt werden, als es nach dem konventionellen Konzept einer Oberflächendosismessung und Zugrundelegung einer oft fragwürdigen Abschätzung des Strahlungsfeldes möglich ist.

Das beschriebene Halbkugeldosimeter erfüllt demnach die Grundforderungen, die man an ein funktionsfähiges Personendosimeter stellt, nämlich eine ausreichende Meßgenauigkeit mit Hilfe einer energieunabhängigen Dosismessung und die Möglichkeit zusätzlicher Aussagen über Richtung und Energie der Strahlung mit Hilfe der differentiellen Abtastung des Glases. Bei der normalen Routineauswertung erfolgt die Dosismessung energieunabhängig durch Fluoreszenzanregung des gesamten Glaskörpers, beim Auftreten höherer Dosen  $> 1$  R kann über die differentielle Abtastung des Glases eine zusätzliche Analyse des Bestrahlungsfeldes erfolgen (Auswertung nach Zwischenfällen).

Die Methode der differentiellen Abtastung von Phosphatgläsern wird in Zukunft zweifellos vielseitige Anwendungen in der Personendosimetrie haben. Die Hauptvorteile der neuen Meßmethode ergeben sich aus einer Redzierung des Körpereinflusses und der genauen Bestimmung der Organdosis.

Besonderen Dank schulden wir Herrn Ing. (grad) B. Burgkhardt für die sorgfältige Durchführung der Meßreihen und der Tiefendosisauswertung.

Tab. 2: Die Energieabhängigkeit des Halbkugeldosimeters bei Bestrahlung der Phantomvorderseite und der Phantomrückseite

Energiedosis $D_i$ (rad) im kritischen Organ	ENERGIEABHÄNGIGKEIT	
	VORDERSEITENBESTRAHLUNG (50 keV - 1,2 MeV)	RÜCKSEITENBESTRAHLUNG (70 keV - 1,2 MeV)
Gonaden männlich, $D_t$	$\pm 13 \%$	$\pm 20 \%$
Magen-Darm-Trakt, $D_g$	$\pm 14 \%$	$\pm 25 \%$
Blutbildende Organe, $D_b$	$\pm 20 \%$	$\pm 26 \%$
Gonaden weiblich, $D_o$	$\pm 14 \%$	$\pm 16 \%$
Dosisumrechnung aus Dosimeteranzeige $F$ ( $\mu A$ )	$D_b = 0.60 \times D_g = 0.59 \times D_t = 1.08 \times D_o$ $D_t = 0.0097 \times F$	$D_b = 2.09 \times D_g = 1.93 \times D_t = 1.12 \times D_o$ $D_t = 0.0128 \times F$

Literatur:

- (1) H. Kiefer, E. Piesch: Atompraxis 15, Heft 2, 1969
- (2) H. Kiefer, E. Piesch: Tagungsbericht der 4. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz, Berlin, Mai 1969 S. 490
- (3) R. Jokota, S. Nakajima, E. Sakai: Health Physics 5, 1961, S. 219
- (4) E. Piesch: Proc. 2nd Intern. Conf. Luminesc. Dosimetry Gatlinburg, 1968, S. 783
- (5) A.R. Jones: Health Physics 12, 1966, S. 663
- (6) E. Piesch: Health Physics, 13, 1967, S. 759
- (7) E. Piesch: Health Physics 15, 1968, S. 145

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1    Vorrichtung zur differentiellen Abtastung.
- Abb. 2    Die relative Fluoreszenzintensität eines Phosphatglases bei differentieller Auswertung mit einer Schlitzblende von 0,3 mm Breite für verschiedene Quantenenergien in Abhängigkeit von der Glastiefe bei Freiluftbestrahlung.
- Abb. 3-5    Die relative Fluoreszenzintensität eines Phosphatglases bei differentieller Auswertung mit einer Schlitzblende von 0,3 mm Breite, bezogen auf den Meßwert in 0,3 mm Glastiefe, für verschiedene Quantenenergien in Abhängigkeit von der Glastiefe bei Bestrahlung der Phantomvorderseite ( $0^\circ$ ) und der Phantomrückseite ( $180^\circ$ ) und Abtastung des Glases unter  $0^\circ$ .
- Abb. 6    Die relative Fluoreszenzintensität eines Phosphatglases bei differentieller Auswertung für verschiedene Quantenenergien in Abhängigkeit von der Glastiefe bei Bestrahlung des Phantoms unter  $90^\circ$  und Abtastung des Glases unter  $0^\circ$ .
- Abb. 7    Tiefendosiskurven eines Phosphatglases bei Phantombestrahlungen unter  $45^\circ$  und  $135^\circ$  und Abtastung des Glases unter  $0^\circ$
- Abb. 8    Tiefendosiskurven des Halbkugeldosimeters bei Phantombestrahlung unter  $90^\circ$  und Abtastung des Glases unter  $0^\circ$  und  $90^\circ$ .
- Abb. 9    Die Richtungsabhängigkeit der relativen Fluoreszenzintensität bei differentieller Messung in 0,3 mm Glastiefe für verschiedene Quantenenergien.
- Abb. 10    Die Energieabhängigkeit der relativen Fluoreszenzintensität bei differentieller Messung in 0,3 mm Glastiefe bezogen auf Cs-137 für eine Bestrahlung der Phantomvorderseite und der Phantomrückseite. Die Abtastung erfolgte in Richtung des Strahleneinfalles unter  $0^\circ$  bzw.  $180^\circ$ .
- Abb. 11    Schematische Darstellung der differentiellen Abtastung eines zylindrischen Glases.
- Abb. 12    Teilansicht der Abtastvorrichtung für das zylindrische Glas

Abb. 13 Schematische Darstellung der Meßverfahren in der Personendosimetrie

Abb. 14 Richtungsabhängigkeit des Halbkugeldosimeters für die Direktanzeige der Energiedosis in den männlichen Gonaden bei einer Phantombestrahlung mit verschiedenen Quantenenergien (Normale Fluoreszenzausmessung).

Abb. 15 Verschiedene Methoden einer Personendosimetrie mit Phosphatgläsern.

