

KFK-375

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM  
KARLSRUHE**

Oktober 1965

KFK 375

Schule für Kerntechnik

Abteilung Strahlenschutz und Dekontamination

Moderne Detektoren im Strahlenschutz

H. Kiefer, R. Maushart



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE



# Moderne Detektoren im Strahlenschutz

Von H. Kiefer und R. Maushart, Karlsruhe

Der Mensch ist von Natur aus nicht darauf vorbereitet, mit ionisierender Strahlung umzugehen. Wenn er sich ihrer bedienen will, muß er sich zu seinem Schutz völlig auf eine lückenlose und betriebssichere Meßtechnik verlassen. Strahlungsdetektoren sind für den Strahlenschutz daher mehr als Teile einer physikalischen Meßanordnung. Sie sind künstliche Sinnesorgane. Im Gegensatz zu den natürlichen Sinnesorganen können sie jedoch ständig verbessert und den wechselnden und vielfältigen Aufgaben angepaßt werden.

Im folgenden sollen der derzeitige Einsatz moderner Detektoren im Strahlenschutz umrissen und einige Ausblicke auf die Entwicklungstendenzen gegeben werden. Dazu ist es notwendig, zunächst kurz die verschiedenen Aufgabebereiche zu zeigen, in denen Strahlungsdetektoren für den Schutz des Menschen Verwendung finden können.

## Meßaufgaben des Strahlenschutzes

Die Meßaufgaben des Strahlenschutzes werden schematisch in Tabelle 1 zusammengefaßt. Zunächst müssen wir beide Wege betrachten, auf denen die Strahlung dem Menschen gefährlich werden kann: Solange ein Mensch in einem Strahlungsfeld steht, wirkt auf ihn die Strahlung von außen ein. Wenn der Mensch Radionuklide in den Körper gelangen läßt — sei es durch Ingestion, durch Inhalation, durch Wunden oder auch durch die gesunde Haut —, so wirkt die Strahlung von innen auf ihn ein, weil die radioaktiven Stoffe mit dem Körperstoffwechsel verteilt werden und, entsprechend ihrer physikalischen Halbwertszeit und der natürlichen Ausscheidung aus dem Körper, so lange strahlen, bis sie nicht mehr vorhanden sind.

Für beide Fälle benötigt man zweierlei Meßtechniken: solche, die es ermöglichen, präventive Messungen durchzuführen, um eine Bestrahlung überhaupt zu verhindern, und solche, die nachträglich eine Kontrolle erlauben, ob der Mensch nicht einer Strahlung ausgesetzt war. *Vorbeugende Messungen* gegen die Strahlung von außen sind z. B. Ortsdosismessungen, während die sogenannte *Personendosimetrie Kontrollmessungen* durchführt, die der nachträglichen Registrierung einer bereits empfangenen Dosis dienen. Zum Schutz vor Inkorporationen dienen Messungen der Aktivität in der Luft, im Trinkwasser und in Lebensmitteln, aber auch Messungen der Kontamination von Arbeitsplätzen durch Wischtests, Untersuchungen der Kleidung u. ä. Die entsprechende nachträgliche Kontrollmessung auf Inkorporation findet entweder direkt mit dem Ganzkörperzähler oder indirekt über die Ausscheidungen statt.

Geigerzähler und Filmplakette vermögen den heutigen Anforderungen der Personendosimetrie schon lange nicht mehr vollkommen zu entsprechen. Ein wirksamer Strahlenschutz ist nur durch zahlreiche spezielle Meßanordnungen mit jeweils besonderen Detektoren möglich. Die Gründe, die zur Entwicklung und Einführung moderner Detektoren führen, werden an drei für das Gebiet wesentlichen Beispielen erläutert. Davon ist das Großflächen-Proportionalzählrohr bereits eingeführt, Glasdosimeter stehen in der praktischen Erprobung und Halbleiterdetektoren befinden sich im Stadium der Erwägung.

Dabei muß noch bemerkt werden, daß die Messungen mit dem Ganzkörperzähler häufig so empfindlich sind, daß sie es ermöglichen, eine für den Körper vernachlässigbar kleine Dosis nachzuweisen. Hierdurch wird, ehe eine *eigentliche Belastung* für den Menschen aufgetreten ist, festgestellt, daß irgendwelche Arbeitsmethoden falsch waren oder Schutzmaßnahmen versagt haben. Es ist dadurch möglich, die weiteren Arbeiten so einzurichten, daß es nicht zu einer höheren Belastung kommt. Insofern können solche Messungen auch zu den Präventivmessungen gezählt werden.

Tabelle 1: Schematische Darstellung der Strahlenschutzmeßaufgaben

Meßaufgabe	Strahleneinwirkung	
	von außen	von innen
Präventivmessungen	Ortsdosismessung	Radioaktivitätsmessung von Luft, Wasser und Nahrungsmitteln Kontaminationsmessungen
Kontrollmessungen	Personendosismessung	direkte u. indirekte Inkorporationsmessungen

## Voraussetzungen für die Einführung neuer Detektoren

Betrachtet man die „landläufigen“ und sozusagen alt-ehrwürdigen Detektoren, nämlich das *Geiger-Müller-Zählrohr* und die *Filmplakette*, die im Strahlenschutz lange Zeit fast ausschließlich benutzt worden sind, so sieht man schnell ein, daß damit die gestellten Aufgaben kaum zu erfüllen sind. Das Geiger-Müller-Zählrohr etwa kann zum Strahlungsnachweis dienen, aber es versagt bereits, wenn eine genaue Ortsdosismessung durchgeführt werden soll. Für die Meßaufgaben, die erwähnt worden sind, wird das Geiger-Müller-Zählrohr kaum noch verwendet. Die Filmplakette wird in großer Zahl speziell in medizinischen Betrieben zur Überwachung der Personendosis eingesetzt; trotzdem weiß man heute, daß die Filmplakette nur unzulänglich die Aufgaben der Personendosimetrie erfüllen kann und in absehbarer Zeit besseren Methoden weichen wird. Ihr großes Verdienst in der Vergangenheit war es zweifellos, daß durch die Verwendung eines Nachweismittels für die Dosis die Strahlenbelastung speziell in den medizinischen Betrieben sehr stark abgenommen hat. Das lag aber nicht unbedingt an der inhärenten Qualität der

Anschrift der Verfasser:

Dr. H. Kiefer, Schule für Kerntechnik, Kernforschungszentrum Karlsruhe,  
Dr. R. Maushart, Strahlenmeßdienst, Kernforschungszentrum Karlsruhe.

# Moderne Detektoren im Strahlenschutz

Von H. Kiefer und R. Maushart, Karlsruhe

Der Mensch ist von Natur aus nicht darauf vorbereitet, mit ionisierender Strahlung umzugehen. Wenn er sich ihrer bedienen will, muß er sich zu seinem Schutz völlig auf eine lückenlose und betriebssichere Meßtechnik verlassen. Strahlungsdetektoren sind für den Strahlenschutz daher mehr als Teile einer physikalischen Meßanordnung. Sie sind künstliche Sinnesorgane. Im Gegensatz zu den natürlichen Sinnesorganen können sie jedoch ständig verbessert und den wechselnden und vielfältigen Aufgaben angepaßt werden.

Im folgenden sollen der derzeitige Einsatz moderner Detektoren im Strahlenschutz umrissen und einige Ausblicke auf die Entwicklungstendenzen gegeben werden. Dazu ist es notwendig, zunächst kurz die verschiedenen Aufgabebereiche zu zeigen, in denen Strahlungsdetektoren für den Schutz des Menschen Verwendung finden können.

## Meßaufgaben des Strahlenschutzes

Die Meßaufgaben des Strahlenschutzes werden schematisch in Tabelle 1 zusammengefaßt. Zunächst müssen wir beide Wege betrachten, auf denen die Strahlung dem Menschen gefährlich werden kann: Solange ein Mensch in einem Strahlungsfeld steht, wirkt auf ihn die Strahlung von außen ein. Wenn der Mensch Radionuklide in den Körper gelangen läßt — sei es durch Ingestion, durch Inhalation, durch Wunden oder auch durch die gesunde Haut —, so wirkt die Strahlung von innen auf ihn ein, weil die radioaktiven Stoffe mit dem Körperstoffwechsel verteilt werden und, entsprechend ihrer physikalischen Halbwertszeit und der natürlichen Ausscheidung aus dem Körper, so lange strahlen, bis sie nicht mehr vorhanden sind.

Für beide Fälle benötigt man zweierlei Meßtechniken: solche, die es ermöglichen, präventive Messungen durchzuführen, um eine Bestrahlung überhaupt zu verhindern, und solche, die nachträglich eine Kontrolle erlauben, ob der Mensch nicht einer Strahlung ausgesetzt war. *Vorbeugende Messungen* gegen die Strahlung von außen sind z. B. Ortsdosismessungen, während die sogenannte *Personendosimetrie Kontrollmessungen* durchführt, die der nachträglichen Registrierung einer bereits empfangenen Dosis dienen. Zum Schutz vor Inkorporationen dienen Messungen der Aktivität in der Luft, im Trinkwasser und in Lebensmitteln, aber auch Messungen der Kontamination von Arbeitsplätzen durch Wischtests, Untersuchungen der Kleidung u. ä. Die entsprechende nachträgliche Kontrollmessung auf Inkorporation findet entweder direkt mit dem Ganzkörperzähler oder indirekt über die Ausscheidungen statt.

Geigerzähler und Filmplakette vermögen den heutigen Anforderungen der Personendosimetrie schon lange nicht mehr vollkommen zu entsprechen. Ein wirksamer Strahlenschutz ist nur durch zahlreiche spezielle Meßanordnungen mit jeweils besonderen Detektoren möglich. Die Gründe, die zur Entwicklung und Einführung moderner Detektoren führen, werden an drei für das Gebiet wesentlichen Beispielen erläutert. Davon ist das Großflächen-Proportionalzählrohr bereits eingeführt, Glasdosimeter stehen in der praktischen Erprobung und Halbleiterdetektoren befinden sich im Stadium der Erwägung.

Dabei muß noch bemerkt werden, daß die Messungen mit dem Ganzkörperzähler häufig so empfindlich sind, daß sie es ermöglichen, eine für den Körper vernachlässigbar kleine Dosis nachzuweisen. Hierdurch wird, ehe eine *eigentliche Belastung* für den Menschen aufgetreten ist, festgestellt, daß irgendwelche Arbeitsmethoden falsch waren oder Schutzmaßnahmen versagt haben. Es ist dadurch möglich, die weiteren Arbeiten so einzurichten, daß es nicht zu einer höheren Belastung kommt. Insofern können solche Messungen auch zu den Präventivmessungen gezählt werden.

Tabelle 1: Schematische Darstellung der Strahlenschutzmeßaufgaben

Meßaufgabe	Strahleneinwirkung	
	von außen	von innen
Präventivmessungen	Ortsdosismessung	Radioaktivitätsmessung von Luft, Wasser und Nahrungsmitteln Kontaminationsmessungen
Kontrollmessungen	Personendosismessung	direkte u. indirekte Inkorporationsmessungen

## Voraussetzungen für die Einführung neuer Detektoren

Betrachtet man die „landläufigen“ und sozusagen alt-ehrwürdigen Detektoren, nämlich das *Geiger-Müller-Zählrohr* und die *Filmplakette*, die im Strahlenschutz lange Zeit fast ausschließlich benutzt worden sind, so sieht man schnell ein, daß damit die gestellten Aufgaben kaum zu erfüllen sind. Das Geiger-Müller-Zählrohr etwa kann zum Strahlungsnachweis dienen, aber es versagt bereits, wenn eine genaue Ortsdosismessung durchgeführt werden soll. Für die Meßaufgaben, die erwähnt worden sind, wird das Geiger-Müller-Zählrohr kaum noch verwendet. Die Filmplakette wird in großer Zahl speziell in medizinischen Betrieben zur Überwachung der Personendosis eingesetzt; trotzdem weiß man heute, daß die Filmplakette nur unzulänglich die Aufgaben der Personendosimetrie erfüllen kann und in absehbarer Zeit besseren Methoden weichen wird. Ihr großes Verdienst in der Vergangenheit war es zweifellos, daß durch die Verwendung eines Nachweismittels für die Dosis die Strahlenbelastung speziell in den medizinischen Betrieben sehr stark abgenommen hat. Das lag aber nicht unbedingt an der inhärenten Qualität der

Anschrift der Verfasser:

Dr. H. Kiefer, Schule für Kerntechnik, Kernforschungszentrum Karlsruhe,  
Dr. R. Maushart, Strahlenmeßdienst, Kernforschungszentrum Karlsruhe.

Filmplakette, sondern wohl auch an dem psychologischen Effekt, daß die Beschäftigten wußten, daß sie überwacht wurden.

Die Vielfalt der Meßaufgaben im Strahlenschutz hat inzwischen auch eine Vielfalt von spezialisierten Meßanordnungen mit besonderen Detektoren hervorgebracht. Man kann heute sagen, daß mit den vorhandenen Detektoren ein wirksamer Strahlenschutz durchgeführt werden kann — wenn auch nicht alle Anforderungen, die etwa die 1. Strahlenschutzverordnung stellt, meßtechnisch zu verwirklichen sind. Das liegt allerdings nicht allein am Stand der Entwicklung der Meßtechnik, es liegt teilweise auch am Prinzip, an den Anforderungen selbst. So wird beispielsweise gefordert, daß die Aktivität eines beliebigen Gemisches von Radionukliden ausgemessen werden soll. Nach Definition ist die Aktivität die Zahl der Kernzerfälle pro Zeiteinheit. Gemessen werden mit Strahlungsdetektoren jedoch die emittierten Teilchen pro Zeiteinheit. Eine Relation zwischen emittierten Teilchen und zerfallenden Kernen ist aber nur möglich, wenn das Zerfallschema jedes einzelnen Radionuklids bekannt ist. Dies ist aber bei einem beliebigen Gemisch von Radionukliden, also bei unbekannter Aktivität, prinzipiell nicht möglich!

Die *Neutronendosis an Personen* kann über das gesamte Neutronenspektrum von seiten der Meßtechnik bisher nicht mit ausreichender Meßempfindlichkeit erfaßt werden. Zwar kann man auf der einen Seite Neutronen mit Energien über 0,5 MeV durch *Kernspurfilm*e kontrollieren, auf der anderen Seite auch langsame Neutronen nachweisen, aber der Zwischenbereich bleibt der Personenmessung unzugänglich, weil eine Messung mit den bisherigen Methoden immer nur dann durchzuführen ist, wenn die Neutronen vorher moderiert werden. Die dazu nötigen Moderatoren sind aber so schwer und unhandlich, daß derartige „Personendosimeter“ nicht mehr am Körper getragen werden können. Von der theoretischen Möglichkeit, den Körper selbst als Moderator zu benutzen, wurde bisher noch kaum Gebrauch gemacht. Allerdings zeichnet sich auch hier durch die Kombination von *Phosphatglasdosimetern* mit *Aktivierungs-* und *Spaltfolien* ein Lösungsweg ab. Verbesserungen der vorhandenen Meßanordnungen und Verfeinerungen der bekannten Methoden reichen aber nicht aus, um den Strahlenschutz wirksamer zu machen. Es kommen auch ständig physikalisch-technische Entwicklungen dazu, die neue Meßmöglichkeiten erschließen. So muß hier speziell der *Halbleiterdetektor* erwähnt werden. Halbleiterdetektoren können eine ähnliche Umwälzung bedeuten, wie sie etwa das Ersetzen der Radioröhren durch die Transistoren gebracht hat. Die Entwicklung ist hier in vollem Gange. Wir sind heute im Strahlenschutz in einer ähnlichen Situation wie seinerzeit die Rundfunktechnik, als man mit Transistoren schon normale Wellenbereiche, aber noch keine Ultrakurzwellen empfangen konnte.

Dabei soll noch einmal besonders darauf hingewiesen werden, daß sich die Einführung und die Entwicklung moderner Detektoren nicht als Revolution, sondern als Evolution vollziehen. Erfahrungsgemäß liegt zeitlich immer ein großer Zwischenraum zwischen der Erfindung sowie ihrem Bekanntwerden aus der Literatur und der tatsächlichen Einführung und Verwendung dieser Detektoren im Routinestrahlenschutz. Man kann also nicht sagen: Gestern war dieser Detektor noch nicht da, heute wird er plötzlich überall benutzt. Neue Detektoren werden kontinuierlich immer weitere Aufgabenbereiche übernehmen. Die Detektoren müssen sich einerseits den speziellen Bedingungen, den Einzelaufgaben anpassen; andererseits wird sich auch die Auffassung über eine sinnvolle Überwachung ändern, wenn durch solche Detektoren neue Meßmöglichkeiten da sind, und man wird bereits eingeführte Meßprogramme erweitern. Schließlich genügt es auch nicht, wenn ein besonders guter, wirksamer oder andersartiger Detektor entwickelt wird; es sind immer noch Hilfsgeräte, vor allem

elektronischer Art, notwendig, die mitentwickelt werden müssen. Man braucht nur an Szintillationsdetektoren zu denken, die schon in der allerersten Zeit der Kernphysik Anwendung fanden. Sie sind dann lange Jahre gegenüber dem Geiger-Müller-Zählrohr zurückgetreten, weil das Geiger-Müller-Zählrohr keine besonderen Hilfsgeräte zu benötigen schien. Mit der Einführung der Sekundärelektronenvervielfacher und schließlich mit dem Bau von Impulshöhenanalysatoren kommt der Szintillationsmeßtechnik speziell zum Nachweis und zur Analyse der Gammastrahlung heute ein überragender Platz in der gesamten Strahlenmeßtechnik zu.

An drei wesentlichen Beispielen soll nun gezeigt werden, welche Gründe zur Einführung neuer Detektoren in den Strahlenschutz geführt haben. Im ersten Fall — dem *Großflächenproportionalzählrohr* — handelt es sich um Detektoren, die sich bereits eingeführt haben; im zweiten Fall — bei den *Glasdosimetern* — haben wir es mit Detektoren zu tun, die gerade erst eingeführt werden; schließlich im dritten Fall — bei den *Halbleiterdetektoren* — wird ein Detektortyp behandelt, der sich zweifellos in der Zukunft erst in den Strahlenschutz richtig einführen wird. Jedesmal müssen zwei Arten von Gründen zusammenkommen, um eine Neueinführung durchzusetzen. Erstens bedarf es immer physikalischer Gründe, d. h. die neuen Detektoren müssen bessere Meßergebnisse bringen. Entweder kann der Meßbereich erweitert oder die Genauigkeit wesentlich gesteigert oder überhaupt ein ganz neues Gebiet, z. B. eine neue Strahlungsart, der Messung erschlossen werden! Die andere Art sind praktische Gründe, d. h. die Detektoren lassen sich einfacher handhaben, sie erfordern einen geringeren Aufwand in der Bedienung, der Auswertung der Meßresultate, sie sind weniger störanfällig, oder sie liegen in ihrer Anwendung preislich günstiger als die bisher üblichen. Das soll nun im einzelnen gezeigt werden.

### Beispiele für die Einführung neuer Detektoren Großflächenproportionalzählrohr

Die Wiederaufnahme kerntechnischer Arbeiten in der Bundesrepublik im Jahre 1955 war von Anfang an mit oft besonders hart empfundenen Strahlenschutzforderungen durch die verschiedenen Aufsichts- und Genehmigungsbehörden verbunden. Es zeigte sich, daß die Forderungen, die später auch teilweise in der 1. Strahlenschutzverordnung verankert wurden, mit den damals kommerziell erhältlichen Detektoren meßtechnisch nicht zu verwirklichen waren. Es erschien nun im wesentlichen auf Grund dieser Anforderungen zweckmäßig, einen neuen Detektor zu entwickeln. Er sollte Alpha- und Betastrahlung getrennt messen können, also vom Prinzip her ein Proportionalzählrohr sein; er sollte auch besonders energiearme Strahlung noch messen können, also ein fensterloser Zähler sein; er sollte in der Lage sein, besonders geringe Aktivitäten zu messen, also eine gute Geometrie ( $2\pi$ -Geometrie) haben, und schließlich sollte er geringe spezifische Aktivitäten messen können, d. h. ungewöhnlich großflächig sein. All dem genügten die Endfensterzählrohre nicht. Die Entwicklung führte zum heute bekannten Großflächenproportionalzählrohr, das aus den Präventivmessungen gegen mögliche Inkorporationen nicht mehr wegzudenken ist. Mit diesen Detektoren werden heute allgemein Wasserüberwachung, Überwachung von biologischem Material, die Ausmessung von Aerosolfiltern und ähnliche Meßaufgaben durchgeführt.

Diese physikalischen Vorteile hätten aber zweifellos allein nicht ausgereicht, um einen neuen Detektor einzuführen. Der praktische Grund war im Fall des Großflächenproportionalzählrohres insbesondere die Vereinfachung der Wassermessung. Durch die große Fläche war es möglich geworden, das Wasser in den Zählschalen direkt einzudampfen, so daß der bisherige umständliche Arbeitsgang wegfiel, bei dem immer in Zwischenstufen das Eindampfgefäß ge-

spült und gereinigt und die Probe in die Meßschale überführt werden mußten, was außerdem zu sehr hohen Fehlern führte. Weiterhin konnte nun in bestimmten Fällen, wo es auf besonders hohe Empfindlichkeit ankam, an Stelle des langwierigen Eindampfens ein Mitfällungs- und Adsorptionsverfahren eingesetzt werden, was ebenfalls die Arbeit wesentlich vereinfachte.

Bei der gleichfalls oft vorkommenden Meßaufgabe, Wasser direkt auszumessen, lag immer das schwierige Problem der Kontamination der Detektoren vor. Wenn die Detektoren für eine günstige Meßgeometrie und Messung in das Wasser eingehängt wurden, reichte sie auf ihrer Oberfläche in kurzer Zeit so viel Aktivität an, daß sie nur diese Aktivität anzeigten, nicht aber mehr die des Wassers selbst. Das Problem konnte nun mit großflächigen Zählern ebenfalls leicht gelöst werden, indem der Zähler einfach über die Wasseroberfläche gehängt wurde.

Es ist verständlich, daß derartige Detektoren nun auch für viele andere Zwecke im Strahlenschutz eingesetzt werden. So mißt man heute Oberflächen mit ihnen aus, bestückt Hand- und Fußmonitore mit ihnen oder setzt sie für spezielle Geräte ein, mit denen radioaktiv verunreinigte Wäsche überprüft werden muß. Auch die Direktüberwachung der Luft wird mit ihnen möglich, wobei die Detektoren teilweise unmittelbar in die Luftschächte eingebaut werden.

Bei diesem Stand der Technik erfolgte nun, obwohl die Meßaufgaben erfüllt waren, die den Anstoß zur Entwicklung des Detektors gegeben hatten, eine Weiterentwicklung. Dies geschah einerseits, um neue Meßaufgaben durchführen zu können, also auf physikalischer Ebene. So entstand eine Detektorkombination, die es über die Rückstreuung der Betastrahlung gestattet, die mittlere Betaenergie eines Strahlers zu bestimmen. Es wurden Detektoren gebaut, die der Spektroskopie besonders weicher Röntgenstrahlung, insbesondere der L-Strahlung von Plutonium, dienen, um eine in-vivo-Überwachung der mit Plutonium Beschäftigten zu ermöglichen. Mit einer physikalisch ähnlichen Anordnung kann das Tritium in der Luft überwacht werden, unabhängig davon, in welcher chemischen Form es vorliegt. Die Empfindlichkeit hierbei ist um etwa den Faktor 10 größer als bei den sonst üblichen Geräten. Dieselbe Anlage gestattet es auch, die zulässige Konzentration von Tritium in Wasser kontinuierlich zu überwachen. Neben diesen Entwicklungen, die der physikalischen Erweiterung und Anwendung von Großflächenproportionalzahlrohren dienen, stehen andererseits Weiterentwicklungen, die den praktischen Einsatz verbessern. So ist es z. B. möglich, die Arbeitszeit für eine Messung dadurch noch herabzusetzen, daß Doppeldetektoren benutzt werden, die Alpha- und Betastrahlung gleichzeitig während einer Messung erfassen. Man kann dabei noch den Arbeitsgang des Spülens des Detektors dadurch ausschalten, daß der  $\alpha$ -Detektor fensterlos mit Luft als Zählgas arbeitet, während der  $\beta$ -Detektor mit einer dünnen Folie abgeschlossen vollständig von Methan durchströmt wird. So läßt sich die Arbeitszeit pro Messung auf ein Drittel herabsetzen, da bei den üblichen Detektoren eine gewisse Spülzeit für den Detektor benötigt wird, anschließend Alphastrahlung und danach Alpha- und Betastrahlung gemessen werden müssen. Hier wird ein eindrucksvolles Beispiel für die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten geboten, die sich aus einem einmal verwirklichten neuen Detektorprinzip heraus entwickeln.

### Radiophotolumineszenzgläser

Die Möglichkeit, die Radiophotolumineszenz silberaktiver Metaphosphatgläser zur Dosisbestimmung zu benutzen, ist schon seit vielen Jahren bekannt. In den USA wurde schon nach dem Zweiten Weltkrieg die Marine mit Glasdosimetern ausgerüstet; sie waren allerdings so unempfindlich, daß sie nur als „Katastrophendosimeter“ be-

nutzt werden konnten. Für den konventionellen Strahlenschutz wurden Phosphatglasdosimeter erst interessant, als 1961 Yokota Glasdosimeter mit so niedriger Vordosis entwickelte, daß noch eine Dosis von 50 mR ohne Schwierigkeit nachgewiesen werden konnte. Sie enthielten zu 50% Lithiummetaphosphat und zeigten deshalb ohne jede Filterung eine relative Energieabhängigkeit von 6:1, die also wesentlich besser ist als die von einem ungefilterten Film. Auch hier können wir wieder die physikalischen und praktischen Gründe verfolgen, die die Einführung dieses Dosimeters eingeleitet haben. An physikalischen Gründen kann insbesondere der große Meßbereich hervorgehoben werden, der bei Fluoreszenzmessungen von einigen 10 mrem bis zu 1000 rem reicht (vgl. Abb. 1) und der über 1000 rem hinaus noch über einige Zehnerpotenzen durch Absorptionsmessungen erweitert werden kann. Dazu kommen die Richtungsunabhängigkeit der Glasdosimetermeßergebnisse, die gute Reproduzierbarkeit und schließlich die einfache Möglichkeit, eine energieunabhängige Dosis im interessierenden Energiebereich durch Filterung zu erhalten.

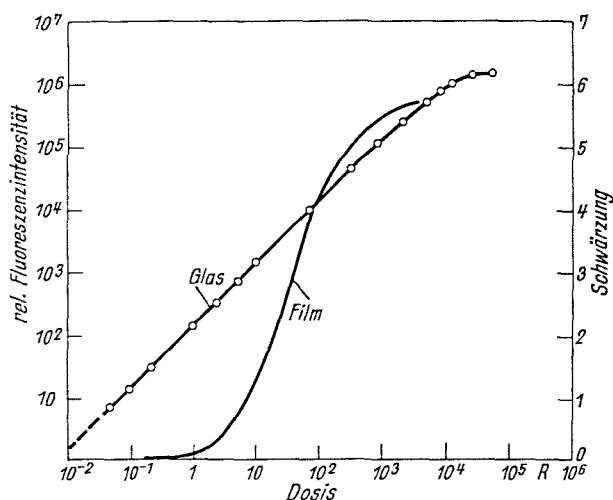


Abb 1: Charakteristiken der Gammadosis-Empfindlichkeit eines Phosphatglasdosimeters und eines Filmdosimeters.

An praktischen Gründen kann die Unempfindlichkeit des Glases gegenüber Temperatur, Feuchtigkeit, chemischen Einflüssen u. ä. erwähnt werden, weiter das fast völlige Fehlen eines Fadings, das es ermöglicht, Glasdosimeter auch noch nach langer Zeit auszuwerten, und das es weiter ermöglicht, die Dosis über beispielsweise ein Jahr aufzusummieren. Schließlich kann ein Glasdosimeter mehrmals hintereinander ausgewertet werden, ohne daß die Dosisanzeige darunter leiden würde. Die Messung kann jeweils in kürzester Zeit ausgewertet werden. Die Preise für Glasdosimeter liegen niedriger als für ein entsprechendes Filmdosimeter. Das hängt damit zusammen, daß Filme nach einmaliger Benutzung stets durch neue ersetzt werden müssen, während Glasdosimeter beliebig lange getragen werden können; sie lassen sich bei Bedarf durch eine einfache Temperaturbehandlung wieder auf „Null“ zurückstellen.

Die „Hilfsgeräte“ für die volle Ausnutzung der Gläser sind auf der einen Seite die Dosimeterkapselungen, die den Einsatzbereich in bezug auf Strahlung und Energie bestimmen; es war keinesfalls ausreichend, nur das Glas selbst zur Verfügung zu haben. Erst seine Ergänzung durch verschiedene Filtersysteme, z. B. eine kugelförmige Kapselung mit fast völliger Energie- und Richtungsunabhängigkeit der  $\gamma$ -Dosisanzeige für Energien bis zu 40 keV sowie ein Doppelglassystem als Weichstrahldosimeter für den Bereich von 15 bis 40 keV, schuf die Grundlage für

einen routinemäßigen Einsatz der Glasdosimeter in größerem Rahmen. Aber auch das ist noch nicht völlig ausreichend, sondern es macht sich leider das Fehlen geeigneter Auswertegeräte störend bemerkbar. Leider wirken die Gegebenheiten hier gegeneinander: kein großer Einsatz von Glasdosimetern — kein Anreiz für die Industrie, Auswertegeräte zu entwickeln; keine guten Auswertegeräte — keine guten Ergebnisse bei den Vorversuchen, folglich kein großer Einsatz. Es steht jedoch zu hoffen, daß trotzdem bald geeignete Geräte auf den Markt kommen.

Trotz alledem sind die Vorteile dieser Glasdosimeter offensichtlich; sie werden auch an sehr vielen Stellen in der Praxis erprobt. Es gibt jedoch bis heute noch kein Land, das ausschließlich die Glasdosimetrie eingeführt hätte. Stellen, die es sich leisten können, wie z. B. manche Kernforschungszentren, setzen bereits Glasdosimeter gleichzeitig mit den Filmdosimetern ein oder beabsichtigen zumindest, sie bald einzuführen. Auch hier ist ersichtlich,

flüssigem Stickstoff, so daß die Anlagen wenig robust, keinesfalls wartungsfrei und deshalb schlecht für den Routinestrahlenschutz geeignet sind.

In den Fällen, wo  $\alpha$ -Spektroskopie im Strahlenschutz notwendig ist, beispielsweise bei der Inkorporationsüberwachung von Arbeitern, die mit Plutonium umgehen, werden solche Halbleiterdetektoren heute schon routinemäßig benutzt. Das Ziel, großflächige Halbleiterdetektoren für  $\alpha$ -Messungen zu bauen, ist aber bisher noch nicht erreicht worden. Man hat zwar versucht, eine größere Zahl von Halbleiterdetektoren parallelzuschalten; in diesem Fall wird aber das Auflösungsvermögen wieder wesentlich schlechter. Für die  $\gamma$ -Spektroskopie werden lithiumgetriggerte Germanium-Halbleiter verwendet, deren Auflösungsvermögen in Abb. 2 an einem Holmiumspektrum gezeigt wird. Der Vergleich mit einem durch NaJ(Tl)-Szintillationszähler aufgenommenen Spektrum zeigt, um wieviel besser Germanium-Halbleiter ein Spektrum auflösen können.

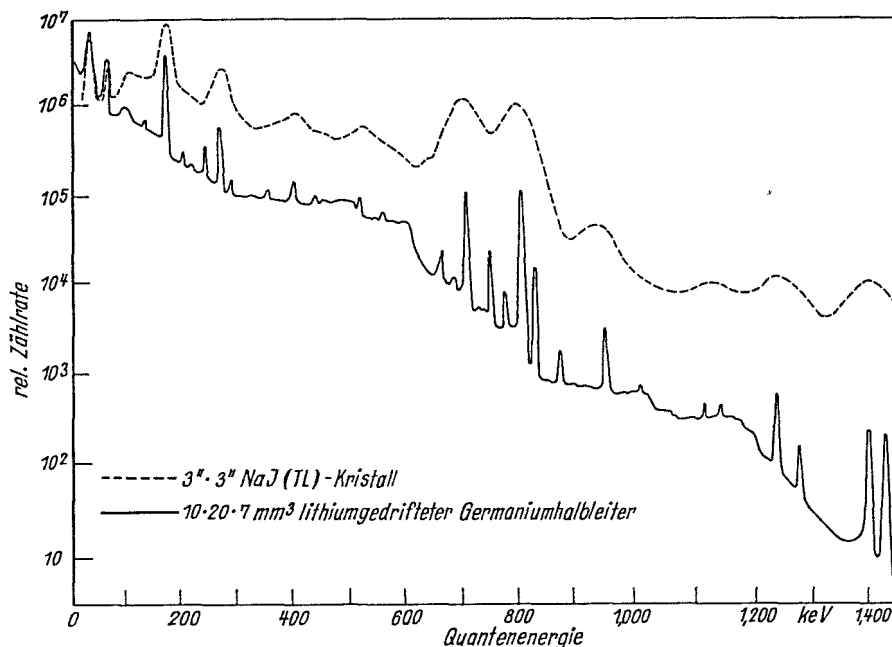


Abb. 2: Das Gammaskpektrum von Holmium-166m.

daß von der Erfindung bis zum routinemäßigen Einsatz viele Jahre vergehen können.

### Halbleiterdetektoren

Als letztes Beispiel sollen die Halbleiterdetektoren erwähnt werden. Sie haben, von der physikalischen Seite gesehen, zweifellos große Vorteile, denn zur  $\alpha$ - oder auch  $\gamma$ -Spektroskopie empfehlen sie sich durch ein Auflösungsvermögen, welches das von anderen Detektoren für diesen Zweck bekannte wesentlich übersteigt. Hier liegt die Schwierigkeit bei der Einführung als Detektor im Strahlenschutz zur Zeit noch bei den praktischen Erwägungen. Vor allem arbeitstechnisch zeigen die Halbleiterdetektoren bisher noch kaum Vorteile; so ist im Gegenteil etwa zur  $\alpha$ -Spektroskopie eine aufwendige Probenvorbereitung notwendig, was mit der Kleinheit der Detektoren zusammenhängt, die eine Abtrennung der Alphastrahler von dem übrigen, nichtaktiven, absorbierenden Material notwendig macht.

Zur  $\gamma$ -Spektroskopie ist wegen des relativ geringen Ansprechvermögens dieser Detektoren nicht nur eine größere Aktivitätsmenge notwendig, sondern der Detektor selbst muß sehr sorgfältig ausgesucht sein. Außerdem ist ein Haupthindernis die notwendige ständige Kühlung mit

Hierdurch entsteht auf der anderen Seite aber auch eine Linienvielfalt, die man im Routinestrahenschutz bisher keineswegs gewohnt war. Für die Praxis bedeutet das, daß zur Trennung eines Gemisches mehrerer  $\gamma$ -Strahler das hohe Auflösungsvermögen dieser Detektoren nur dann ausgenutzt werden kann, wenn man sich eines elektronischen Rechners bedient, also wenn man zusätzlich einen ganz erheblichen apparativen Aufwand treiben kann. Bisher sind kaum Aufgaben bekanntgeworden, wo dieses Auflösungsvermögen im eigentlichen Strahlenschutz gefordert wurde. Grenzfälle sind die Bestimmung der Reinheit von Strahlenquellen oder die zerstörungsfreie Messung der Bestandteile bestrahlter Brennelemente. Beispielsweise wird für Standardquellen oft Cs-137 benutzt. Dieses Cs-137 ist fast immer mit Cs-134 verunreinigt, und zwar in Mengen, die unter 1% liegen. Hier hilft der Halbleiter als  $\gamma$ -Spektrometer weiter. Es dürfte aber kein Zweifel bestehen, daß durch die Möglichkeit, ein höheres Auflösungsvermögen in der  $\gamma$ -Spektroskopie zu erzielen, auch neue Aufgaben, die damit gelöst werden können, an den Strahlenschutz herangetragen werden.

DK 539.1.074.9:614.898.5

(Eingegangen am 24. 6. 65)

Filmplakette, sondern wohl auch an dem psychologischen Effekt, daß die Beschäftigten wußten, daß sie überwacht wurden.

Die Vielfalt der Meßaufgaben im Strahlenschutz hat inzwischen auch eine Vielfalt von spezialisierten Meßanordnungen mit besonderen Detektoren hervorgebracht. Man kann heute sagen, daß mit den vorhandenen Detektoren ein wirksamer Strahlenschutz durchgeführt werden kann — wenn auch nicht alle Anforderungen, die etwa die 1. Strahlenschutzverordnung stellt, meßtechnisch zu verwirklichen sind. Das liegt allerdings nicht allein am Stand der Entwicklung der Meßtechnik, es liegt teilweise auch am Prinzip, an den Anforderungen selbst. So wird beispielsweise gefordert, daß die Aktivität eines beliebigen Gemisches von Radionukliden ausgemessen werden soll. Nach Definition ist die Aktivität die Zahl der Kernzerfälle pro Zeiteinheit. Gemessen werden mit Strahlungsdetektoren jedoch die emittierten Teilchen pro Zeiteinheit. Eine Relation zwischen emittierten Teilchen und zerfallenden Kernen ist aber nur möglich, wenn das Zerfallschema jedes einzelnen Radionuklids bekannt ist. Dies ist aber bei einem beliebigen Gemisch von Radionukliden, also bei unbekannter Aktivität, prinzipiell nicht möglich!

Die *Neutronendosis an Personen* kann über das gesamte Neutronenspektrum von seiten der Meßtechnik bisher nicht mit ausreichender Meßempfindlichkeit erfaßt werden. Zwar kann man auf der einen Seite Neutronen mit Energien über 0,5 MeV durch *Kernspurfilm*e kontrollieren, auf der anderen Seite auch langsame Neutronen nachweisen, aber der Zwischenbereich bleibt der Personenmessung unzugänglich, weil eine Messung mit den bisherigen Methoden immer nur dann durchzuführen ist, wenn die Neutronen vorher moderiert werden. Die dazu nötigen Moderatoren sind aber so schwer und unhandlich, daß derartige „Personendosimeter“ nicht mehr am Körper getragen werden können. Von der theoretischen Möglichkeit, den Körper selbst als Moderator zu benutzen, wurde bisher noch kaum Gebrauch gemacht. Allerdings zeichnet sich auch hier durch die Kombination von *Phosphatglasdosimetern* mit *Aktivierungs-* und *Spaltfolien* ein Lösungsweg ab. Verbesserungen der vorhandenen Meßanordnungen und Verfeinerungen der bekannten Methoden reichen aber nicht aus, um den Strahlenschutz wirksamer zu machen. Es kommen auch ständig physikalisch-technische Entwicklungen dazu, die neue Meßmöglichkeiten erschließen. So muß hier speziell der *Halbleiterdetektor* erwähnt werden. Halbleiterdetektoren können eine ähnliche Umwälzung bedeuten, wie sie etwa das Ersetzen der Radioröhren durch die Transistoren gebracht hat. Die Entwicklung ist hier in vollem Gange. Wir sind heute im Strahlenschutz in einer ähnlichen Situation wie seinerzeit die Rundfunktechnik, als man mit Transistoren schon normale Wellenbereiche, aber noch keine Ultrakurzwellen empfangen konnte.

Dabei soll noch einmal besonders darauf hingewiesen werden, daß sich die Einführung und die Entwicklung moderner Detektoren nicht als Revolution, sondern als Evolution vollziehen. Erfahrungsgemäß liegt zeitlich immer ein großer Zwischenraum zwischen der Erfindung sowie ihrem Bekanntwerden aus der Literatur und der tatsächlichen Einführung und Verwendung dieser Detektoren im Routinestrahlenschutz. Man kann also nicht sagen: Gestern war dieser Detektor noch nicht da, heute wird er plötzlich überall benutzt. Neue Detektoren werden kontinuierlich immer weitere Aufgabenbereiche übernehmen. Die Detektoren müssen sich einerseits den speziellen Bedingungen, den Einzelaufgaben anpassen; andererseits wird sich auch die Auffassung über eine sinnvolle Überwachung ändern, wenn durch solche Detektoren neue Meßmöglichkeiten da sind, und man wird bereits eingeführte Meßprogramme erweitern. Schließlich genügt es auch nicht, wenn ein besonders guter, wirksamer oder andersartiger Detektor entwickelt wird; es sind immer noch Hilfsgeräte, vor allem

elektronischer Art, notwendig, die mitentwickelt werden müssen. Man braucht nur an Szintillationsdetektoren zu denken, die schon in der allerersten Zeit der Kernphysik Anwendung fanden. Sie sind dann lange Jahre gegenüber dem Geiger-Müller-Zählrohr zurückgetreten, weil das Geiger-Müller-Zählrohr keine besonderen Hilfsgeräte zu benötigen schien. Mit der Einführung der Sekundärelektronenvervielfacher und schließlich mit dem Bau von Impulshöhenanalysatoren kommt der Szintillationsmeßtechnik speziell zum Nachweis und zur Analyse der Gammastrahlung heute ein überragender Platz in der gesamten Strahlenmeßtechnik zu.

An drei wesentlichen Beispielen soll nun gezeigt werden, welche Gründe zur Einführung neuer Detektoren in den Strahlenschutz geführt haben. Im ersten Fall — dem *Großflächenproportionalzählrohr* — handelt es sich um Detektoren, die sich bereits eingeführt haben; im zweiten Fall — bei den *Glasdosimetern* — haben wir es mit Detektoren zu tun, die gerade erst eingeführt werden; schließlich im dritten Fall — bei den *Halbleiterdetektoren* — wird ein Detektortyp behandelt, der sich zweifellos in der Zukunft erst in den Strahlenschutz richtig einführen wird. Jedesmal müssen zwei Arten von Gründen zusammenkommen, um eine Neueinführung durchzusetzen. Erstens bedarf es immer physikalischer Gründe, d. h. die neuen Detektoren müssen bessere Meßergebnisse bringen. Entweder kann der Meßbereich erweitert oder die Genauigkeit wesentlich gesteigert oder überhaupt ein ganz neues Gebiet, z. B. eine neue Strahlungsart, der Messung erschlossen werden! Die andere Art sind praktische Gründe, d. h. die Detektoren lassen sich einfacher handhaben, sie erfordern einen geringeren Aufwand in der Bedienung, der Auswertung der Meßresultate, sie sind weniger störanfällig, oder sie liegen in ihrer Anwendung preislich günstiger als die bisher üblichen. Das soll nun im einzelnen gezeigt werden.

### Beispiele für die Einführung neuer Detektoren Großflächenproportionalzählrohr

Die Wiederaufnahme kerntechnischer Arbeiten in der Bundesrepublik im Jahre 1955 war von Anfang an mit oft besonders hart empfundenen Strahlenschutzforderungen durch die verschiedenen Aufsichts- und Genehmigungsbehörden verbunden. Es zeigte sich, daß die Forderungen, die später auch teilweise in der 1. Strahlenschutzverordnung verankert wurden, mit den damals kommerziell erhältlichen Detektoren meßtechnisch nicht zu verwirklichen waren. Es erschien nun im wesentlichen auf Grund dieser Anforderungen zweckmäßig, einen neuen Detektor zu entwickeln. Er sollte Alpha- und Betastrahlung getrennt messen können, also vom Prinzip her ein Proportionalzählrohr sein; er sollte auch besonders energiearme Strahlung noch messen können, also ein fensterloser Zähler sein; er sollte in der Lage sein, besonders geringe Aktivitäten zu messen, also eine gute Geometrie ( $2\pi$ -Geometrie) haben, und schließlich sollte er geringe spezifische Aktivitäten messen können, d. h. ungewöhnlich großflächig sein. All dem genügten die Endfensterzählrohre nicht. Die Entwicklung führte zum heute bekannten Großflächenproportionalzählrohr, das aus den Präventivmessungen gegen mögliche Inkorporationen nicht mehr wegzudenken ist. Mit diesen Detektoren werden heute allgemein Wasserüberwachung, Überwachung von biologischem Material, die Ausmessung von Aerosolfiltern und ähnliche Meßaufgaben durchgeführt.

Diese physikalischen Vorteile hätten aber zweifellos allein nicht ausgereicht, um einen neuen Detektor einzuführen. Der praktische Grund war im Fall des Großflächenproportionalzählrohres insbesondere die Vereinfachung der Wassermessung. Durch die große Fläche war es möglich geworden, das Wasser in den Zählschalen direkt einzudampfen, so daß der bisherige umständliche Arbeitsgang wegfiel, bei dem immer in Zwischenstufen das Eindampfgefäß ge-



spült und gereinigt und die Probe in die Meßschale überführt werden mußten, was außerdem zu sehr hohen Fehlern führte. Weiterhin konnte nun in bestimmten Fällen, wo es auf besonders hohe Empfindlichkeit ankam, an Stelle des langwierigen Eindampfens ein Mitfällungs- und Adsorptionsverfahren eingesetzt werden, was ebenfalls die Arbeit wesentlich vereinfachte.

Bei der gleichfalls oft vorkommenden Meßaufgabe, Wasser direkt auszumessen, lag immer das schwierige Problem der Kontamination der Detektoren vor. Wenn die Detektoren für eine günstige Meßgeometrie und Messung in das Wasser eingehängt wurden, reichte sie auf ihrer Oberfläche in kurzer Zeit so viel Aktivität an, daß sie nur diese Aktivität anzeigten, nicht aber mehr die des Wassers selbst. Das Problem konnte nun mit großflächigen Zählern ebenfalls leicht gelöst werden, indem der Zähler einfach über die Wasseroberfläche gehängt wurde.

Es ist verständlich, daß derartige Detektoren nun auch für viele andere Zwecke im Strahlenschutz eingesetzt werden. So mißt man heute Oberflächen mit ihnen aus, bestückt Hand- und Fußmonitore mit ihnen oder setzt sie für spezielle Geräte ein, mit denen radioaktiv verunreinigte Wäsche überprüft werden muß. Auch die Direktüberwachung der Luft wird mit ihnen möglich, wobei die Detektoren teilweise unmittelbar in die Luftschächte eingebaut werden.

Bei diesem Stand der Technik erfolgte nun, obwohl die Meßaufgaben erfüllt waren, die den Anstoß zur Entwicklung des Detektors gegeben hatten, eine Weiterentwicklung. Dies geschah einerseits, um neue Meßaufgaben durchführen zu können, also auf physikalischer Ebene. So entstand eine Detektorkombination, die es über die Rückstreuung der Betastrahlung gestattet, die mittlere Betaenergie eines Strahlers zu bestimmen. Es wurden Detektoren gebaut, die der Spektroskopie besonders weicher Röntgenstrahlung, insbesondere der L-Strahlung von Plutonium, dienen, um eine in-vivo-Überwachung der mit Plutonium Beschäftigten zu ermöglichen. Mit einer physikalisch ähnlichen Anordnung kann das Tritium in der Luft überwacht werden, unabhängig davon, in welcher chemischen Form es vorliegt. Die Empfindlichkeit hierbei ist um etwa den Faktor 10 größer als bei den sonst üblichen Geräten. Dieselbe Anlage gestattet es auch, die zulässige Konzentration von Tritium in Wasser kontinuierlich zu überwachen. Neben diesen Entwicklungen, die der physikalischen Erweiterung und Anwendung von Großflächenproportionalzahlrohren dienen, stehen andererseits Weiterentwicklungen, die den praktischen Einsatz verbessern. So ist es z. B. möglich, die Arbeitszeit für eine Messung dadurch noch herabzusetzen, daß Doppeldetektoren benutzt werden, die Alpha- und Betastrahlung gleichzeitig während einer Messung erfassen. Man kann dabei noch den Arbeitsgang des Spülens des Detektors dadurch ausschalten, daß der  $\alpha$ -Detektor fensterlos mit Luft als Zählgas arbeitet, während der  $\beta$ -Detektor mit einer dünnen Folie abgeschlossen vollständig von Methan durchströmt wird. So läßt sich die Arbeitszeit pro Messung auf ein Drittel herabsetzen, da bei den üblichen Detektoren eine gewisse Spülzeit für den Detektor benötigt wird, anschließend Alphastrahlung und danach Alpha- und Betastrahlung gemessen werden müssen. Hier wird ein eindrucksvolles Beispiel für die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten geboten, die sich aus einem einmal verwirklichten neuen Detektorprinzip heraus entwickeln.

### Radiophotolumineszenzgläser

Die Möglichkeit, die Radiophotolumineszenz silberaktiver Metaphosphatgläser zur Dosisbestimmung zu benutzen, ist schon seit vielen Jahren bekannt. In den USA wurde schon nach dem Zweiten Weltkrieg die Marine mit Glasdosimetern ausgerüstet; sie waren allerdings so unempfindlich, daß sie nur als „Katastrophendosimeter“ be-

nutzt werden konnten. Für den konventionellen Strahlenschutz wurden Phosphatglasdosimeter erst interessant, als 1961 Yokota Glasdosimeter mit so niedriger Vordosis entwickelte, daß noch eine Dosis von 50 mR ohne Schwierigkeit nachgewiesen werden konnte. Sie enthielten zu 50% Lithiummetaphosphat und zeigten deshalb ohne jede Filterung eine relative Energieabhängigkeit von 6:1, die also wesentlich besser ist als die von einem ungefilterten Film. Auch hier können wir wieder die physikalischen und praktischen Gründe verfolgen, die die Einführung dieses Dosimeters eingeleitet haben. An physikalischen Gründen kann insbesondere der große Meßbereich hervorgehoben werden, der bei Fluoreszenzmessungen von einigen 10 mrem bis zu 1000 rem reicht (vgl. Abb. 1) und der über 1000 rem hinaus noch über einige Zehnerpotenzen durch Absorptionsmessungen erweitert werden kann. Dazu kommen die Richtungsunabhängigkeit der Glasdosimetermeßergebnisse, die gute Reproduzierbarkeit und schließlich die einfache Möglichkeit, eine energieunabhängige Dosis im interessierenden Energiebereich durch Filterung zu erhalten.

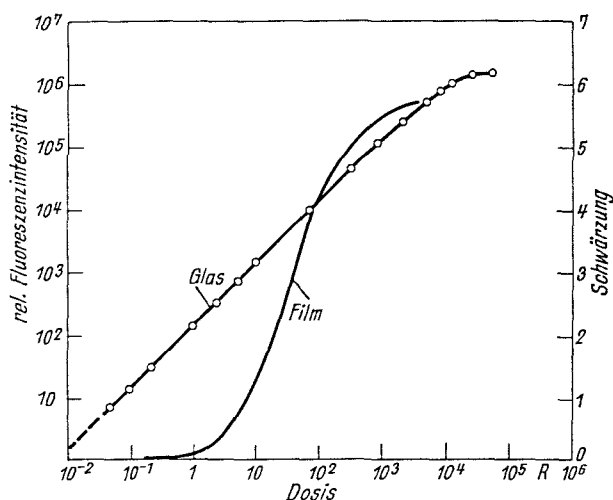


Abb 1: Charakteristiken der Gammadosis-Empfindlichkeit eines Phosphatglasdosimeters und eines Filmdosimeters.

An praktischen Gründen kann die Unempfindlichkeit des Glases gegenüber Temperatur, Feuchtigkeit, chemischen Einflüssen u. ä. erwähnt werden, weiter das fast völlige Fehlen eines Fadings, das es ermöglicht, Glasdosimeter auch noch nach langer Zeit auszuwerten, und das es weiter ermöglicht, die Dosis über beispielsweise ein Jahr aufzusummieren. Schließlich kann ein Glasdosimeter mehrmals hintereinander ausgewertet werden, ohne daß die Dosisanzeige darunter leiden würde. Die Messung kann jeweils in kürzester Zeit ausgewertet werden. Die Preise für Glasdosimeter liegen niedriger als für ein entsprechendes Filmdosimeter. Das hängt damit zusammen, daß Filme nach einmaliger Benutzung stets durch neue ersetzt werden müssen, während Glasdosimeter beliebig lange getragen werden können; sie lassen sich bei Bedarf durch eine einfache Temperaturbehandlung wieder auf „Null“ zurückstellen.

Die „Hilfsgeräte“ für die volle Ausnutzung der Gläser sind auf der einen Seite die Dosimeterkapselungen, die den Einsatzbereich in bezug auf Strahlung und Energie bestimmen; es war keinesfalls ausreichend, nur das Glas selbst zur Verfügung zu haben. Erst seine Ergänzung durch verschiedene Filtersysteme, z. B. eine kugelförmige Kapselung mit fast völliger Energie- und Richtungsunabhängigkeit der  $\gamma$ -Dosisanzeige für Energien bis zu 40 keV sowie ein Doppelglassystem als Weichstrahldosimeter für den Bereich von 15 bis 40 keV, schuf die Grundlage für

einen routinemäßigen Einsatz der Glasdosimeter in größerem Rahmen. Aber auch das ist noch nicht völlig ausreichend, sondern es macht sich leider das Fehlen geeigneter Auswertegeräte störend bemerkbar. Leider wirken die Gegebenheiten hier gegeneinander: kein großer Einsatz von Glasdosimetern — kein Anreiz für die Industrie, Auswertegeräte zu entwickeln; keine guten Auswertegeräte — keine guten Ergebnisse bei den Vorversuchen, folglich kein großer Einsatz. Es steht jedoch zu hoffen, daß trotzdem bald geeignete Geräte auf den Markt kommen.

Trotz alledem sind die Vorteile dieser Glasdosimeter offensichtlich; sie werden auch an sehr vielen Stellen in der Praxis erprobt. Es gibt jedoch bis heute noch kein Land, das ausschließlich die Glasdosimetrie eingeführt hätte. Stellen, die es sich leisten können, wie z. B. manche Kernforschungszentren, setzen bereits Glasdosimeter gleichzeitig mit den Filmdosimetern ein oder beabsichtigen zumindest, sie bald einzuführen. Auch hier ist ersichtlich,

flüssigem Stickstoff, so daß die Anlagen wenig robust, keinesfalls wartungsfrei und deshalb schlecht für den Routinestrahlenschutz geeignet sind.

In den Fällen, wo  $\alpha$ -Spektroskopie im Strahlenschutz notwendig ist, beispielsweise bei der Inkorporationsüberwachung von Arbeitern, die mit Plutonium umgehen, werden solche Halbleiterdetektoren heute schon routinemäßig benutzt. Das Ziel, großflächige Halbleiterdetektoren für  $\alpha$ -Messungen zu bauen, ist aber bisher noch nicht erreicht worden. Man hat zwar versucht, eine größere Zahl von Halbleiterdetektoren parallelzuschalten; in diesem Fall wird aber das Auflösungsvermögen wieder wesentlich schlechter. Für die  $\gamma$ -Spektroskopie werden lithiumgetriggerte Germanium-Halbleiter verwendet, deren Auflösungsvermögen in Abb. 2 an einem Holmiumspektrum gezeigt wird. Der Vergleich mit einem durch NaJ(Tl)-Szintillationszähler aufgenommenen Spektrum zeigt, um wieviel besser Germanium-Halbleiter ein Spektrum auflösen können.

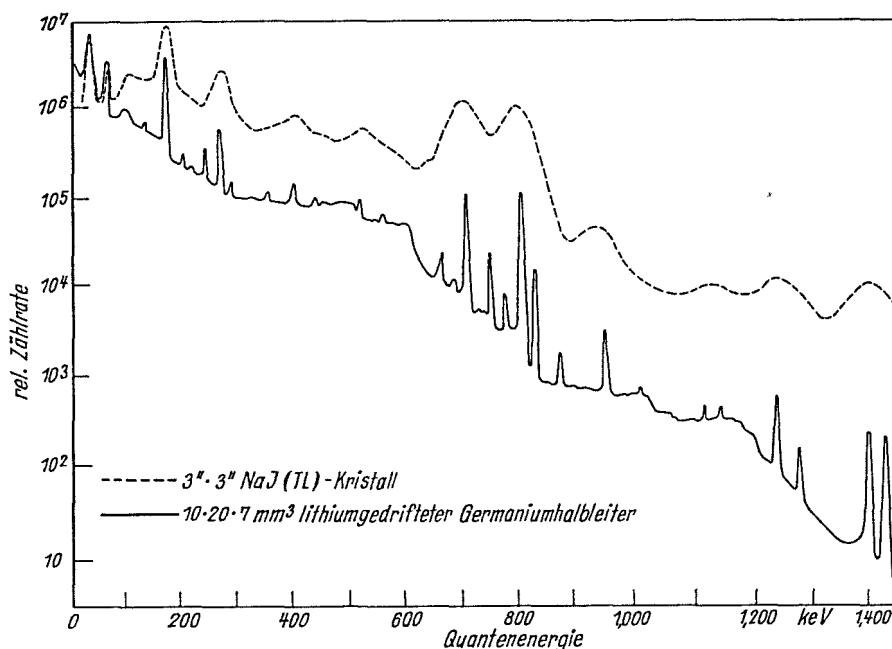


Abb. 2: Das Gammaskpektrum von Holmium-166m.

daß von der Erfindung bis zum routinemäßigen Einsatz viele Jahre vergehen können.

### Halbleiterdetektoren

Als letztes Beispiel sollen die Halbleiterdetektoren erwähnt werden. Sie haben, von der physikalischen Seite gesehen, zweifellos große Vorteile, denn zur  $\alpha$ - oder auch  $\gamma$ -Spektroskopie empfehlen sie sich durch ein Auflösungsvermögen, welches das von anderen Detektoren für diesen Zweck bekannte wesentlich übersteigt. Hier liegt die Schwierigkeit bei der Einführung als Detektor im Strahlenschutz zur Zeit noch bei den praktischen Erwägungen. Vor allem arbeitstechnisch zeigen die Halbleiterdetektoren bisher noch kaum Vorteile; so ist im Gegenteil etwa zur  $\alpha$ -Spektroskopie eine aufwendige Probenvorbereitung notwendig, was mit der Kleinheit der Detektoren zusammenhängt, die eine Abtrennung der Alphastrahler von dem übrigen, nichtaktiven, absorbierenden Material notwendig macht.

Zur  $\gamma$ -Spektroskopie ist wegen des relativ geringen Ansprechvermögens dieser Detektoren nicht nur eine größere Aktivitätsmenge notwendig, sondern der Detektor selbst muß sehr sorgfältig ausgesucht sein. Außerdem ist ein Haupthindernis die notwendige ständige Kühlung mit

Hierdurch entsteht auf der anderen Seite aber auch eine Linienvielfalt, die man im Routinestrahenschutz bisher keineswegs gewohnt war. Für die Praxis bedeutet das, daß zur Trennung eines Gemisches mehrerer  $\gamma$ -Strahler das hohe Auflösungsvermögen dieser Detektoren nur dann ausgenutzt werden kann, wenn man sich eines elektronischen Rechners bedient, also wenn man zusätzlich einen ganz erheblichen apparativen Aufwand treiben kann. Bisher sind kaum Aufgaben bekanntgeworden, wo dieses Auflösungsvermögen im eigentlichen Strahlenschutz gefordert wurde. Grenzfälle sind die Bestimmung der Reinheit von Strahlenquellen oder die zerstörungsfreie Messung der Bestandteile bestrahlter Brennelemente. Beispielsweise wird für Standardquellen oft Cs-137 benutzt. Dieses Cs-137 ist fast immer mit Cs-134 verunreinigt, und zwar in Mengen, die unter 1% liegen. Hier hilft der Halbleiter als  $\gamma$ -Spektrometer weiter. Es dürfte aber kein Zweifel bestehen, daß durch die Möglichkeit, ein höheres Auflösungsvermögen in der  $\gamma$ -Spektroskopie zu erzielen, auch neue Aufgaben, die damit gelöst werden können, an den Strahlenschutz herangetragen werden.

DK 539.1.074.9:614.898.5

(Eingegangen am 24. 6. 65)