

EUR 2264.d

REPRINT

EUROPÄISCHE ATOMGEMEINSCHAFT — EURATOM

**PERSONENDOSIMETRIE NACH DEM
FILMSCHWÄRZUNGSVERFAHREN**

von

M. OBERHOFER

1965



Gemeinsame Kernforschungsstelle
Forschungsanstalt Ispra — Italien
Abteilung Strahlenschutz

Sonderdruck aus
ARCHIV FÜR TECHNISCHES MESSEN

Lieferung 342, Juli 1964

HINWEIS

Das vorliegende Dokument ist im Rahmen des Forschungsprogramms der Kommission der Europäischen Atomgemeinschaft (EURATOM) ausgearbeitet worden.

Es wird darauf hingewiesen, daß die Euratomkommission, ihre Vertragspartner und alle in deren Namen handelnden Personen :

- 1° — keine Gewähr dafür übernehmen, daß die in diesem Dokument enthaltenen Informationen richtig und vollständig sind, oder daß die Verwendung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen, oder der in diesem Dokument beschriebenen technischen Anordnungen, Methoden und Verfahren nicht gegen gewerbliche Schutzrechte verstößt;
- 2° — keine Haftung für die Schäden übernehmen, die infolge der Verwendung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen oder der in diesem Dokument beschriebenen technischen Anordnungen, Methoden oder Verfahren entstehen könnten.

This reprint is intended for restricted distribution only. It reproduces, by kind permission of the publisher, an article from "ARCHIV FÜR TECHNISCHES MESSEN" - Lieferung 342, Juli 1964, S. 149-152. For further copies please apply to R. Oldenbourg Verlag, Rosenheimer Strasse 145 - 8 München 8 (Deutschland).

Dieser Sonderdruck ist für eine beschränkte Verteilung bestimmt. Die Wiedergabe des vorliegenden in „ARCHIV FÜR TECHNISCHES MESSEN“ - Lieferung 342, Juli 1964, S. 149-152 erschienenen Aufsatzes erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Herausgebers. Bestellungen weiterer Exemplare sind an R. Oldenbourg Verlag, Rosenheimer Strasse 145 - 8 München 8 (Deutschland) zu richten.

Ce tiré-à-part est exclusivement destiné à une diffusion restreinte. Il reprend, avec l'aimable autorisation de l'éditeur, un article publié dans « ARCHIV FÜR TECHNISCHES MESSEN » Lieferung 342, Juli 1964, S. 149-152. Tout autre exemplaire de cet article doit être demandé à R. Oldenbourg Verlag, Rosenheimer Strasse 145 - 8 München 8 (Deutschland).

Questo estratto è destinato esclusivamente ad una diffusione limitata. Esso è stato riprodotto, per gentile concessione dell'Editore, da « ARCHIV FÜR TECHNISCHES MESSEN » - Lieferung 342, Juli 1964, S. 149-152. Ulteriori copie dell'articolo debbono essere richieste a R. Oldenbourg Verlag, Rosenheimer Strasse 145 - 8 München 8 (Deutschland).

Deze overdruk is slechts voor beperkte verspreiding bestemd. Het artikel is met welwillende toestemming van de uitgever overgenomen uit „ARCHIV FÜR TECHNISCHES MESSEN“ - Lieferung 342, Juli 1964, S. 149-152. Meer exemplaren kunnen besteld worden bij R. Oldenbourg Verlag, Rosenheimer Strasse 145 - 8 München 8 (Deutschland).

EUR 2264 . d

REPRINT

PERSONENDOSIMETRIE NACH DEM FILMSCHWÄRZUNGSVERFAHREN von
M. OBERHOFER

Europäische Atomgemeinschaft - EURATOM
Gemeinsame Kernforschungsstelle
Forschungsanstalt Ispra - Italien
Abteilung Strahlenschutz
Sonderdruck aus „Archiv für Technisches Messen“
Lieferung 342, Juli 1964, S. 149-152.

Es wird ein Überblick über die Verwendung photographischer Emulsionen zur Personendosimetrie gegeben. Ausgehend vom Begriff der Schwärzung und von der Schwärzungskurve wird die Empfindlichkeit von Photoemulsionen gegenüber Röntgen- und γ -Strahlen und die Energieabhängigkeit der Schwärzung diskutiert.

Die Energieabhängigkeit der Schwärzung kann zur Energiebestimmung ausgenutzt werden. Es folgen Abschnitte über die β -Dosimetrie mit Photoemulsionen und die β - γ -Dosismessung in Strahlungsmischfeldern. In weiteren Abschnitten wird auf die qualitative und quantitative Messung von thermischen und schnellen Neutronen mit Photoemulsionen eingegangen. Abschliessend folgen einige Hinweise zur Plakettengestaltung, über Eichverfahren, Fehlermöglichkeiten und die Genauigkeit der Dosismessung mit Hilfe von Photoemulsionen.

EUR 2264 . d

REPRINT

DOSIMETRY OF INDIVIDUALS BY THE FILM BLACKENING METHOD
by M. OBERHOFER

European Atomic Energy Community - EURATOM
Joint Nuclear Research Center
Ispra Establishment - Italy
Radiation Protection Service
Reprinted from "Archiv für Technisches Messen"
Lieferung 342, July 1964, pp. 149-152.

A survey is given of the use of photographic emulsions for individual dosimetry. Starting from the concept of blackening and the blackening curve, the sensitivity of photoemulsions to X- and γ -rays and the energy dependence of the blackening are discussed.

The energy dependence of the blackening can be used for energy determination. The following sections deal with β -dosimetry with photoemulsions and β - γ -dosimetry in mixed radiation fields. An account is then given of the qualitative and quantitative measurement of thermal and fast neutrons with photoemulsions. In conclusion, information is given concerning film badge design, calibration methods, error possibilities and the accuracy of dosimetric techniques involving the use of photoemulsions.

EUR 2264 . d

REPRINT

DOSIMETRY OF INDIVIDUALS BY THE FILM BLACKENING METHOD
by M. OBERHOFER

European Atomic Energy Community - EURATOM
Joint Nuclear Research Center
Ispra Establishment - Italy
Radiation Protection Service
Reprinted from "Archiv für Technisches Messen"
Lieferung 342, July 1964, pp. 149-152.

A survey is given of the use of photographic emulsions for individual dosimetry. Starting from the concept of blackening and the blackening curve, the sensitivity of photoemulsions to X- and γ -rays and the energy dependence of the blackening are discussed.

The energy dependence of the blackening can be used for energy determination. The following sections deal with β -dosimetry with photoemulsions and β - γ -dosimetry in mixed radiation fields. An account is then given of the qualitative and quantitative measurement of thermal and fast neutrons with photoemulsions. In conclusion, information is given concerning film badge design, calibration methods, error possibilities and the accuracy of dosimetric techniques involving the use of photoemulsions.

EUR 2264 . d

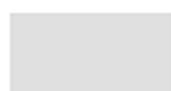
REPRINT

DOSIMETRY OF INDIVIDUALS BY THE FILM BLACKENING METHOD
by M. OBERHOFER

European Atomic Energy Community - EURATOM
Joint Nuclear Research Center
Ispra Establishment - Italy
Radiation Protection Service
Reprinted from "Archiv für Technisches Messen"
Lieferung 342, July 1964, pp. 149-152.

A survey is given of the use of photographic emulsions for individual dosimetry. Starting from the concept of blackening and the blackening curve, the sensitivity of photoemulsions to X- and γ -rays and the energy dependence of the blackening are discussed.

The energy dependence of the blackening can be used for energy determination. The following sections deal with β -dosimetry with photoemulsions and β - γ -dosimetry in mixed radiation fields. An account is then given of the qualitative and quantitative measurement of thermal and fast neutrons with photoemulsions. In conclusion, information is given concerning film badge design, calibration methods, error possibilities and the accuracy of dosimetric techniques involving the use of photoemulsions.



Personendosimetrie nach dem Filmschwärzungsverfahren

V 62-8

Juli 1964

Verfasser: Dipl.-Phys. Martin Oberhofer, Euratom C. C. R., Ispra

DK 621.386.82

1. Historisches

Gleichzeitig mit der Entdeckung der Röntgenstrahlen im Jahre 1895 wurde bekannt, daß photographische Trockenplatten für „X-Strahlen“ empfindlich sind. Diese Entdeckung durch C. W. Röntgen führte zunächst zur Verwendung der Photoemulsion für Probleme der medizinischen Dosimetrie. Erst im Jahre 1939 wurde versucht, den photographischen Film zur Ermittlung der Dosisbelastung von Personen beim Arbeiten mit Röntgenapparaten zu verwenden. Im großen Maßstabe wurde dann der Film zur Personendosimetrie mit der stürmischen Entwicklung der Atomkernenergie vor allem in den USA eingesetzt. Heute ist die Filmdosimetrie eines der wichtigsten und am weitesten verbreiteten Verfahren zur Ermittlung der Strahlenbelastung von in medizinischen und in kerntechnischen Betrieben beschäftigten Personen in allen Ländern der Erde.

2. Begriff der Schwärzung

Setzt man photographische Emulsionen der Einwirkung von Röntgenstrahlen oder Kernstrahlungen aus und entwickelt sie, so beobachtet man eine von der Art der Strahlung, ihrer Intensität und der Bestrahlungsdauer abhängige Schwärzung des Photomaterials. (Phys. und chem. Grundlagen siehe Becker¹ und Angerer, Joos².)

Für meßtechnische Zwecke wurde die „Schwärzung“, abgekürzt durch S , als der dekadische Logarithmus des Reziprokwerts der Transparenz des geschwärmten Materials (Photoplatte oder Film) definiert, wobei unter Transparenz das Verhältnis des durch die geschwärmte Schicht hindurchgehenden Lichts I zu dem auf die Schicht auffallenden Licht I_0 verstanden wird, also:

$$S = \log 1/T = \log I_0/I.$$

Die Schwärzung erhält man danach einfach durch Messung von I und I_0 , was mit Hilfe eines Densitometers geschehen kann. Ein solches Gerät zeigt Bild 1. Im einfachsten Falle besteht ein derartiges Densitometer aus einer Lichtquelle und einer Photozelle mit Galvanometer, die so angeordnet sind, daß die Platte oder der Film, dessen Schwärzung ermittelt werden soll, dazwischengeschoben werden kann. Es wird einmal die Lichtintensität mit, das anderemal ohne die geschwärmte Schicht gemessen. In der Regel wird das Licht der



Bild 1. Häufig für filmdosimetrische Zwecke verwendetes Densitometer.

Lichtquelle vor oder nach dem Durchgang durch das entwickelte Photomaterial noch durch eine Streuscheibe diffus gemacht.

3. Schwärzungskurve

Die Schwärzung einer Photoemulsion nimmt bis zu einem bestimmten Wert (Solarisation) der von der Emulsion aufgenommenen Dosis mit der Dosis zu, dann ab, um schließlich bei noch höherer Energiezufuhr wieder zuzunehmen etc., bis

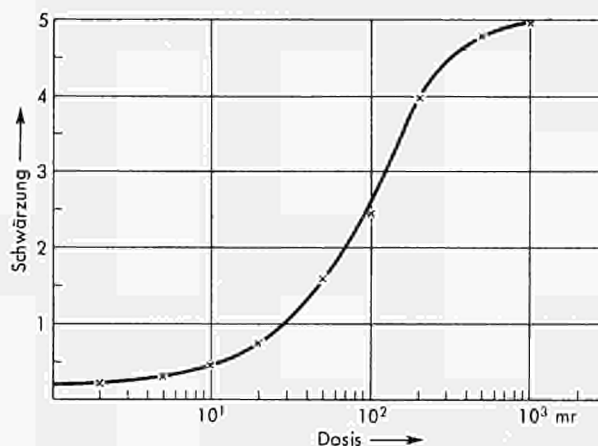


Bild 2. Schwärzungskurve nach Hurter-Driffield.

sich schließlich photolytisches Silber auszuschleiden beginnt. In der Personendosimetrie interessiert vor allem der erste Anstieg der Schwärzung mit der Dosis. Die graphische Darstellung der Abhängigkeit der Schwärzung von der Dosis bezeichnet man als Schwärzungskurve des Photomaterials. Bei der gebräuchlichsten Darstellung der Dosisabhängigkeit der Schwärzung wird die Schwärzung über dem Logarithmus der Dosis aufgetragen (Schwärzungskurven nach Hurter-Driffield). Den typischen Verlauf einer solchen Kurve gibt Bild 2 wieder. Von entscheidendem Einfluß vor allem auf die Lage der Kurve im S - D -Koordinatensystem ist bei den meisten Photoemulsionen ihre von der Energie der Strahlung abhängige Empfindlichkeit. Die Form der Schwärzungskurve ist jedoch für ein bestimmtes Photomaterial weitgehend unabhängig von der Strahlungsenergie und von der Dosisleistung. Weiter hängt die Lage der Schwärzungskurve von den Entwicklungsbedingungen ab, denen für genaue Messungen große Aufmerksamkeit zu widmen ist.

4. Empfindlichkeit von Photoemulsionen gegenüber Röntgen- und γ -Strahlen

Normale Photoemulsionen, sowie sie als Platten und Filme für photographische Zwecke im Handel angeboten werden, sind relativ unempfindlich gegenüber Röntgen- und Kernstrahlungen. Merkbare Schwärzungen erzielt man nur mit sehr hohen Dosen. Durch Einbau größerer Mengen Brom- und Jodsilbers in die Emulsion kann die Empfindlichkeit wesentlich gesteigert werden. Solche Filme sind als Röntgenfilme in der Röntgendiagnostik weit verbreitet. Die Empfindlichkeit läßt sich weiter steigern, wenn man den Emulsionsträger nicht nur ein-

seitig, sondern doppelseitig mit der strahlenempfindlichen Emulsion begiebt. Die käuflichen Röntgenfilme liegen in vielen Fällen außerdem noch zwischen im Röntgenlicht fluoreszierenden „Verstärkerfolien“. Hier wird also auch noch die Empfindlichkeit der Emulsion gegen Fluoreszenzlicht ausgenutzt. Fast alle erhältlichen Röntgenfilme lassen sich zur Messung von Strahlendosen verwenden. Der zunehmende Bedarf an Dosismeßfilmen zur Personendosimetrie in den letzten Jahren hat jedoch die Photoindustrie dazu veranlaßt, speziell auf die Erfordernisse der Quantendosimetrie zur Personenüberwachung abgestimmte Emulsionen zu entwickeln. Neuerdings versucht man Dosismeßfilme herzustellen, die Terphenyl als Fluoreszenzstoff fein verteilt in der Emulsion enthalten. Mit derartigen Emulsionen läßt sich selbst noch eine Dosis von 5 mr nachweisen.

Die niedrigsten Dosen, die man mit Hilfe von Photoemulsionen heute nachweisen kann, liegen bei etwa 0,1 mr. Die obere Grenze liegt bei etwa 10^8 r.

Die zwölf Zehnerpotenzen, über die sich die nachweisbare Dosis erstreckt, können selbstverständlich nicht mit einem einzigen Verfahren erfaßt werden. Die dazu erforderlichen filmdosimetrischen Meßsysteme lassen sich in vier Gruppen einteilen, die Bild 3 zu entnehmen sind. Die höchsten in der Personendosimetrie interessierenden Dosen liegen in der Gegend der Letaldosen, also bei etwa 700 bis 1000 r.

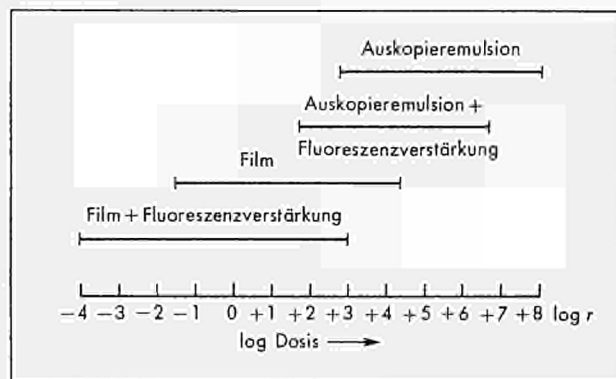


Bild 3. Empfindlichkeitsbereiche verschiedener filmdosimetrischer Meßsysteme gegenüber γ -Strahlung nach Becker¹.

5. Energieabhängigkeit der Schwärzung

Für Röntgen- und γ -Strahlen weisen die meisten der bisher gebräuchlichen Dosismeßfilme eine Energieabhängigkeit der Schwärzung auf, was die oberste Kurve in Bild 4 veranschaulicht. Die für gleiche Dosen über der Strahlenqualität aufgetragene Schwärzung hat hier bei 40 keV ein Maximum. Um mit Strahlen einer Quantenenergie von z. B. über 1 MeV die gleiche Schwärzung zu erzeugen wie mit 40 keV Quantenstrahlung ist danach eine etwa 40mal höhere Dosis erforderlich. Für verschiedene Emulsionstypen schwankt dieser Wert zwischen 30 und 50. Im Schwärzungs-Dosis-Diagramm macht sich die Energieabhängigkeit der Schwärzung in einer Verschiebung der Schwärzungskurve nach links oder rechts bemerkbar. Für personendosimetrische Zwecke ist die Energieabhängigkeit der Schwärzung oft deshalb nicht erwünscht, weil es ohne zusätzliche Einrichtungen nicht möglich ist, aus der Schwärzung einer mit Quantenstrahlen unbekannter Energie bestrahlten Emulsion auf die Dosis zu schließen.

Weitgehende Energieunabhängigkeit der Filmschwärzung erreicht man durch Abdecken der Emulsionen mit Metallblechen (sog. Kompensationsfiltern) mit geeigneten Absorptionseigenschaften. Das Bild 4 zeigt dies für

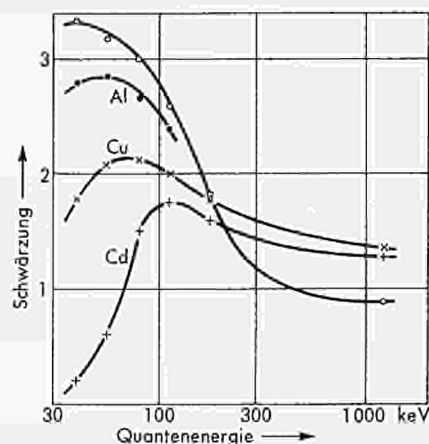


Bild 4. Energieabhängigkeit der Schwärzung einer photographischen Emulsion und ihre Verminderung durch verschiedene Metallfilter von jeweils 1 mm Dicke (aus Becker¹).

drei verschiedene 1 mm starke Bleche. Mit abnehmender Energieabhängigkeit verschiebt sich der Anwendungsbereich der Emulsionen in der Regel nach höheren Energien zu, so daß sie schließlich unter Umständen bei nahezu energieunabhängiger Dosisregistrierung zur Messung von Dosen, herrührend von weichen Quantenstrahlen überhaupt nicht mehr verwendbar sind (unterste Kurve in Bild 4).

Praktisch vollkommen energieunabhängige Filmdosimeter, auch im niederenergetischen Bereich, lassen sich mit terphenylhaltigen Emulsionen herstellen (Leuchtstoffdosimeter). Ihre Verwendbarkeit nach niedrigen Quantenenergien zu, ist nur durch die Absorption der Quanten in der Schicht selbst begrenzt. Leider stört bei den Leuchtstoffdosimetern der aus der Photographie bekannte Schwarzschildeffekt, so daß es nicht mehr gleichgültig ist, in welchem Zeitraume die Emulsion eine bestimmte Dosis erhalten hat (Reziprozitätsfehler).

6. Ermittlung der Strahlenhärte nach dem Filterverfahren

In vielen Fällen wird die Energieabhängigkeit der Filmschwärzung zur Ermittlung der Strahlenqualität ausgenutzt. Die entsprechenden Meßverfahren benutzen alle entweder verschieden starke Absorber aus ein und demselben Material, z. B. Kupferbleche oder Filter mit verschiedenen Absorptionseigenschaften, z. B. Aluminium-, Stahl-, Silber-, Kupfer-, Blei- oder Kadmiumfilter, die oft auf beide Seiten des Filmmaterials spiegelbildlich zueinander aufgelegt werden. Im praktischen Falle werden die gut verpackten Filme in Kassetten aus Metall oder häufiger aus Kunststoff eingelegt, auf deren Innenseiten die Filter angebracht sind. Je nach der Energie der Röntgen- oder γ -Strahlen erhält man hinter den einzelnen Filtern verschieden starke Schwärzungen, aus deren Verhältnis man bei homogener Strahlung auf die Quantenenergie und bei inhomogener Strahlung auf die effektive Härte der Strahlung schließen kann. Ein derartiges Dosimeter beschreibt z. B. Cipperey³. Es enthält außer einem Plastikfeld mit 100 mg/cm^2 die folgenden Filter: 0,5 mm Aluminium, 0,13 mm Silber und 1 mm Kadmium. Aus den hinter den einzelnen Filtern

erhaltenen Schwärzungen werden zur Energiemittlung die folgenden Schwärzungsverhältnisse gebildet:

$$A = \frac{S_{\text{Plastik}} - S_{\text{Cd}}}{S_{\text{Ag}} - S_{\text{Cd}}} \quad B = \frac{S_{\text{Plastik}} - S_{\text{Cd}}}{S_{\text{Al}} - S_{\text{Cd}}}$$

Durch Eichbestrahlungen mit Quanten bekannter Energie lassen sich diese Verhältnisse in Abhängigkeit von der Quantenenergie ermitteln. Man erhält so Kurven nach Bild 5, aus denen für ein bestimmtes A bzw. B die dazugehörige effektive Quantenenergie herausgelesen werden kann. Mit Hilfe der nun bekannten Energie und von Standard-Eichkurven wird dann die Dosis bestimmt (s. Abschn. 12).

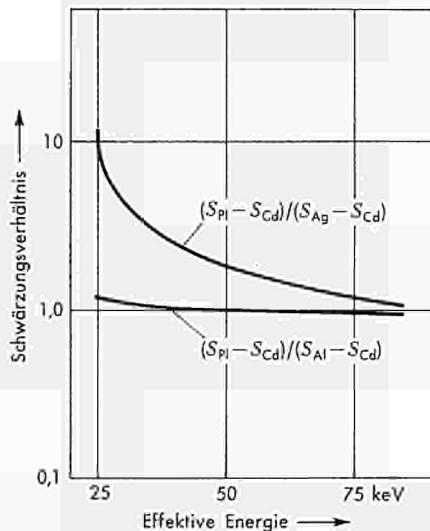


Bild 5. Abhängigkeit der Schwärzungsverhältnisse A und B von der Quantenenergie.

7. β -Dosimetrie mit Photoemulsionen

Röntgenfilme werden auch zur Bestimmung von β -Dosen verwendet. Die Schwierigkeiten der β -Dosimetrie mit Filmen liegen einmal darin, daß die β -Teilchen in den β -Strahlenfeldern keine einheitliche Energie haben, sondern ein mehr oder weniger vom ursprünglichen β -Spektrum abweichendes Energiespektrum, und zum anderen darin, daß ein Teil der β -Teilchen schon das Photopapier oder das Plastikmaterial, in welches die Filme eingewickelt oder eingeschweißt sind, nicht mehr zu durchdringen vermag. 30 mg/cm² (üblicher Wert für die Filmverpackung) absorbieren alle β -Teilchen mit Energien unterhalb 0,15 MeV! Da selbst energiereichere β -Teilchen das Plakettenmaterial und die fast in allen Plaketten enthaltenen Metallfilter nicht durchdringen können, versieht man die Plaketten mit offenen „Fenstern“, an die sich zur Energiedifferenzierung gelegentlich Stufenfilter aus dem Plastikmaterial der Plakette anschließen. Auch hier ist wieder die densitometrisch ermittelte Filmschwärzung im Leerfeld oder hinter den Plastikabsorbern ein Maß für die absorbierte Dosis. Mit Hilfe der Stufenfilter kann man auf die β -Dosis hinter einer Absorberdicke von 7 mg/cm², die etwa der toten menschlichen Hornhaut entspricht, extrapolieren.

8. β - γ -Dosismessung mit Filmen in gemischten Strahlungsfeldern

In sehr vielen Fällen handelt es sich bei den in der Praxis vorkommenden Strahlungsfeldern um Strahlungsbereiche mit energetisch inhomogener Strahlung und

mit verschiedenen Strahlenarten, so daß z. B. dosimetrisch β -, Röntgen- und γ -Strahlen zugleich zu erfassen sind. Dies ist mit den zur Zeit praktizierten Filmmeßverfahren nur in seltenen Fällen zufriedenstellend möglich. Auf die zahlreichen Meßverfahren und Unterscheidungsvorschläge sei hier nur hingewiesen (ausführliche Beschreibung der verschiedenen Möglichkeiten bei Becker¹). Am genauesten läßt sich die Dosis noch ermitteln, wenn energiearme Quantenstrahlen als Bestandteil des Strahlungsgemisches ausgeschlossen werden können. Ist das Plakettenmaterial so stark gewählt, daß die β -Teilchen außer an der Stelle des β -Fensters und des β -Stufenfilters das Plakettenmaterial nicht durchdringen können, so erfolgt die Dosisbestimmung mit zufriedenstellender Genauigkeit durch die getrennte Ermittlung der γ -Dosis aus der Schwärzung hinter den γ -Filtern und der β -Dosis, die über die Differenzbildung aus den Schwärzungen an der Stelle des β -Fensters und unter dem γ -Filter mit der geringsten Massenbelegung erhalten wird.

9. Messung von thermischen Neutronen mit Photoemulsionen

Auch thermische Neutronen lassen sich mit Photoemulsionen nachweisen und quantitativ messen, wenn man die Filme mit Silber-, Indium-, Rhodium- oder Kadmiumfolien geeigneter Stärke abdeckt. Die Schwärzung hinter den ersten drei „Konvertern“, hervorgerufen durch die induzierte kurzlebige β -Aktivität, und die hinter dem Kadmiumkonverter, hervorgerufen durch die induzierte γ -Strahlung, ist ein Maß für den Neutronenfluens.

Bei gleichzeitiger Anwesenheit von γ -Strahlung und thermischen Neutronen differenziert man zwischen beiden Strahlenarten durch zusätzliche Bleifilter, die so stark sein müssen, daß sie die γ -Strahlen im selben Maße absorbieren wie die verwendeten Konverterbleche. Die Schwärzungsdifferenz aus den Schwärzungen hinter den beiden Metallblechen erlaubt dann die Ermittlung des von den thermischen Neutronen herrührenden Dosisanteils an der Gesamtdosis.

10. Kernspurfilm zur Messung von schnellen Neutronen

Die direkte photographische Wirkung von thermischen Neutronen auf konventionelle Röntgenfilme ist sehr gering. Noch geringer ist sie für schnelle Neutronen, die entweder über die Erzeugung von Rückstoßkernen in der Emulsion oder durch Kernreaktionen mit den Atomen der Emulsion reagieren.

Zur Erzeugung einer Schwärzung, die der Schwärzung von 10 mr γ -Strahlung entspricht, sind etwa 4×10^7 senkrecht auf die Schicht auffallende thermische Neutronen pro cm² oder bis zu 28×10^7 schnelle Neutronen erforderlich. Der höchstzulässige wöchentliche Partikelfluens beträgt für thermische Neutronen $9,6 \times 10^7$ n/cm² und für 1-MeV-Neutronen $2,6 \times 10^6$ n/cm². Für schnelle Neutronen erhält man demnach bei 40stündiger Einwirkung des höchstzulässigen Fluxes auf die Emulsionen pro Woche Schwärzungen, die für die praktische Neutronendosimetrie zu klein sind. Diese Schwierigkeiten werden dadurch umgangen, daß man nicht die makroskopisch in Erscheinung tretende Schwärzung mißt, sondern mikroskopisch die über Kernprozesse im Photo-

material erzeugten „Kernspuren“ auszählt. Solche Kernspuren erhält man immer dann, wenn stark ionisierende Teilchen, z. B. α -Teilchen oder Protonen photographische Schichten durchsetzen. Wegen der hohen spezifischen Ionisation entstehen längs ihrer Bahnen in dichter Folge entwickelbare Keime. Die Dichte der beim Entwickeln aus ihnen entstehenden Silberkörper ist ein Maß für die spezifische Ionisation und damit ein Maß für die Ladungszahl der Teilchen, eine wesentliche Größe zur Identifizierung der Teilchenart, und die Länge der Spuren ein Maß für ihre ursprüngliche Energie. Unter bestimmten Voraussetzungen kann aus der Spurenzahl pro Flächeneinheit auf den Partikelfluens der direkt ionisierenden Teilchen selbst oder der sie indirekt erzeugenden Strahlenart, z. B. Neutronen, geschlossen werden.

Mit den in der Personendosimetrie verwendeten Kernspuremulsionen werden sowohl schnelle Neutronen über die in der Emulsion selbst und in ihrer Umgebung (Filmverpackung) erzeugten Rückstoßprotonen, als auch thermische Neutronen über die von ihnen nach der Reaktionsformel $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$ aus dem Stickstoff der Emulsion entstehenden Protonen nachgewiesen. Eine Trennung der beiden Komponenten ist durch Abdecken eines Teils des Kernspurfilms mit Kadmium oder Rhodium möglich. Beide Metalle haben einen hohen Einfangquerschnitt für thermische Neutronen. Die hinter den Filtern in der Emulsion beobachteten Protonenspuren rühren daher von den schnellen, die in dem un abgeschirmten Teil von thermischen und schnellen Neutronen her.

Die Auszählung der Kernspuren erfolgt häufig visuell mit Mikroskopen ausreichender Vergrößerung (ab etwa 800fach), in einigen Fällen mit automatischen Kernspur-Zählgeräten.

11. Plakettengestaltung

Den zahlreichen Möglichkeiten zur Dosismessung mit Photoemulsionen entsprechend läßt sich eine Vielzahl von Filmplaketten zur Personendosismessung entwerfen. In der filmdosimetrischen Praxis werden augenblicklich etwa 50 verschiedene Plakettentypen oft recht unterschiedlicher Bauart verwendet. Für die Wahl einer bestimmten Plakettentype sind vielerlei Faktoren maßgebend, z. B. die Art der nachzuweisenden Strahlung (Röntgenstrahlen oder γ - + Neutronenstrahlung), der Informationsgehalt des Films, die Schnelligkeit der Auswertung (bedeutsam für den Luftschutz) und die Kosten der Plakette. Bild 6 zeigt zwei in Italien eingeführte Plaketten.

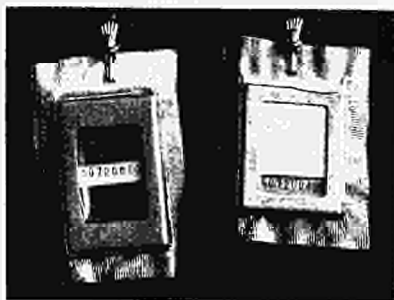


Bild 6. In Italien eingeführte Filmplaketten.

12. Eichbestrahlungen von Vergleichsfilmen

Aus der Schwärzung eines Filmmaterials, welches einer unbekanntem Dosis ausgesetzt worden ist, kann man nur dann auf die Strahlungsdosis schließen, wenn die Schwärzungskurve für das betreffende Filmmaterial bekannt ist. In der praktischen Film dosimetrie zur Personenüberwachung werden deshalb in jeder Überwachungsperiode Vergleichsfilme in den dazugehörigen Kassetten oder Plaketten mit bekannten Dosen bestrahlt und später zusammen mit den von den zu überwachenden Personen getragenen Filmen unter genau den gleichen Bedingungen entwickelt. Die Qualität der Eichstrahlung wird dabei möglichst genau an die Strahlung angepaßt, mit der die getragenen Plaketten belichtet werden. Die unbekanntem Dosen werden dann mit Hilfe der für das Filmmaterial erhaltenen Schwärzungskurven bestimmt.

Die Eichung der Vergleichsfilme erfolgt mit gefilterter Röntgenstrahlung aus Röntgenanlagen mit Röhrenspannung bis zu 300 kV und mit Hilfe radioaktiver, γ -Quanten emittierender Nuklide, wie z. B. Ra, Cs¹³⁷ und Co⁶⁰.

Für β -Eichungen werden β -Strahler verschiedener mittlerer β -Energien, die auf die Filmplaketten aufgelegt werden, verwendet, für die Kernspurfilm Po-Be- oder Pu-Be-Neutronenquellen ausreichender Quellstärken.

Die zur Dosisberechnung erforderlichen Dosisleistungen werden mit Hilfe geeigneter Ionisationskammern gemessen.

13. Fehlermöglichkeiten

Die Genauigkeit mit der die Dosis nach dem Filmschwärzungsverfahren ermittelt werden kann, ist durch folgende Fehlermöglichkeiten gegeben:

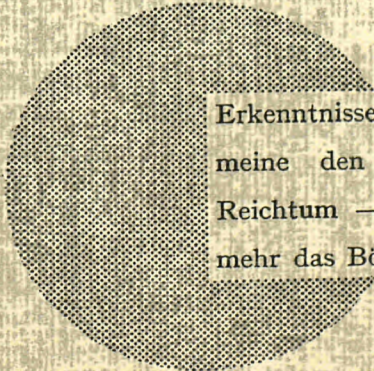
1. Emulsionsfehler
2. Fehler, die auf die Energieabhängigkeit der Dosisregistrierung zurückzuführen sind
3. Reziprozitätsfehler (Abhängigkeit der Dosisregistrierung von der Dosisleistung)
4. Latenzbildschwind (Fading, d. h. Abnahme der entwickelbaren Keime in der Emulsion.
5. Schleierzunahme (Film zeigt von der Bestrahlungszeit abhängige Zunahme der Grundschwärzung = Schwärzung durch Einfluß der Umgebungsstrahlung, Temperatur usw.)
6. Fehler durch die Richtungsabhängigkeit der Dosisregistrierung
7. Fehler durch gleichzeitiges Vorhandensein von β - und Neutronenstrahlen
8. Rückstreu- und Absorptions- bzw. Moderationsfehler bei Kernspuremulsionen
9. Eichfehler
10. Fehler durch ungleichmäßige Entwicklung, vor allem bei getrennter Entwicklung von Überwachungsfilm und Eichfilmen
11. Ungenaue Schwärzungsermittlung für geringe Schwärzungen
12. Zählfehler bei Kernspurfilmern

14. Genauigkeit der Dosisermittlung

Ein großer Teil der obenerwähnten Fehler wird sich gegenseitig aufheben, so daß es sehr schwierig ist, einen Wert für den Gesamtfehler anzugeben. Unter optimalen Bedingungen ist es für Röntgen- und γ -Strahlen möglich, eine mittelgroße Dosis mit etwa $\pm 30\%$ zu ermitteln. Oft ist der Fehler jedoch wesentlich größer. Am wenigsten genau lassen sich Dosen, herrührend von thermischen und schnellen Neutronen bestimmen. Der nach den beschriebenen Verfahren gemessene Partikelfluens für schnelle Neutronen z. B. kann bis zu mehreren 100% nach oben und unten vom tatsächlichen Wert abweichen.

Schrifttum

1. Becker, K., Film dosimetrie. Berlin 1962: Springer-Verlag. — 2. Angerer, E. v., Joos G., Wissenschaftliche Photographie, Leipzig 1962: Akad. Verlagsgesellschaft. — 3. Cipperley, F. V., Gammill, W. P., paper pres. at Health Physics Society Meeting 1959, Health and Safety Div., Idaho Falls, Idaho.



Erkenntnisse verbreiten ist soviel wie Wohlstand verbreiten — ich meine den allgemeinen Wohlstand, nicht den individuellen Reichtum — denn mit dem Wohlstand verschwindet mehr und mehr das Böse, das uns aus dunkler Zeit vererbt ist.

Alfred Nobel

CDNA02264DEC

EURATOM — C.I.D.
51-53, rue Belliard
Bruxelles (Belgique)