

KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN
COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES
COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES

ERSTE INFORMATIONSTAGUNG

über das

EUROPÄISCHE PERSONENDOSIMETER-VERGLEICHSPROGRAMM
(Photonen-Vergleiche 1974/75)

PREMIERES JOURNEES D'INFORMATION

sur le

PROGRAMME EUROPEEN D'INTERCOMPARAISON DE DOSIMETRES INDIVIDUELS
(Intercomparaisons de photons 1974/75)

FIRST INFORMATION SEMINAR

on the

EUROPEAN PERSONAL DOSIMETER INTERCOMPARISON PROGRAMME
(Photon-Intercomparisons 1974/75)

21. - 23. Juni 1976

BERLIN

COMMISSION DES COMMUNAUTES EUROPEENNES

Direction Générale
de l'Emploi et des Affaires Sociales
Direction Santé et Sécurité

ERSTE INFORMATIONSTAGUNG

über das

EUROPÄISCHE PERSONENDOSIMETER-VERGLEICHSPROGRAMM

(Photonen-Vergleiche 1974/75)

PREMIERES JOURNEES D'INFORMATION

sur le

PROGRAMME EUROPEEN D'INTERCOMPARAISON DE DOSIMETRES INDIVIDUELS

(Intercomparaisons de photons 1974/75)

FIRST INFORMATION SEMINAR

on the

EUROPEAN PERSONAL DOSIMETER INTERCOMPARISON PROGRAMME

(Photon-Intercomparisons 1974/75)

21. - 23. Juni 1976

Berlin

Dieses Dokument ist erhältlich bei:
Ce document peut être obtenu auprès:
This document is available:

Commission des Communautés
Européennes
Direction Générale V-F-3
Bâtiment Jean Monnet
LUXEMBOURG - Kirchberg

V O R W O R T

Die Kommission der Europäischen Gemeinschaften (Direktion Gesundheit und Sicherheit) veranstaltete in der Zeit vom 21. - 23. Juni 1976 in Zusammenarbeit mit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Berlin eine Informationstagung über Personendosimetrie im Strahlenschutz.

An dieser Informationstagung nahmen 70 Strahlenschutzfachleute aus Strahlenforschungsinstituten und Dosismessstellen aus den Mitgliedstaaten der EG teil, mit denen die Kommission seit mehreren Jahren Personendosimeter-Vergleichsmessungen mit dem Ziel durchführt, die Präzision der im praktischen Strahlenschutz verwendeten Personendosimeter zu verbessern. Diese Arbeiten berühren somit direkt einen wichtigen Aspekt der physikalischen Strahlenschutzkontrolle, wie sie in den Empfehlungen und Grundnormen für den Gesundheitsschutz der Bevölkerung und der Arbeitskräfte gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen niedergelegt sind.

Diese Veranstaltung diente hauptsächlich dem Zweck, die Ergebnisse der im europäischen Rahmen unter Leitung der EG-Kommission während der vergangenen Jahre durchgeführten Personendosimeter-Vergleichsprogramme - sowohl vom Blickpunkt der Personendosimeter-Auswertestellen, als auch dem der Institute, welche die für die Vergleiche notwendigen Dosimeter-Bestrahlungen durchgeführt hatten - einer abschliessenden kritischen Prüfung hinsichtlich der bei den Vergleichen erzielten Übereinstimmungen und der aufgetretenen Schwierigkeiten zu unterziehen.

Bei der Diskussion wurde die Nützlichkeit solcher internationaler Vergleiche für die Strahlenschutzpraxis erneut zum Ausdruck gebracht, dieses umso mehr, als es trotz aller in der Dosimetrie erzielten Fortschritte es noch weiterer Bestrebungen bedarf, um Technik, Verfahrensweisen und Interpretation der Messergebnisse bei der Personendosimetrie zu harmonisieren. Diesem Ziel sollen weitere EG-Vergleichsprogramme dienen, deren spezielle Zielrichtung auch auf der Tagung besprochen wurde.

Die vorliegende Veröffentlichung enthält, jeweils in der Originalfassung, die anlässlich dieser Tagung vorgetragenen Referate, sowie die Zusammenfassung der jeweiligen Diskussionen in deutscher und englischer Sprache.

Der Bericht dürfte für alle diejenigen interessant sein, die auf dem Gebiet der Photonendosimetrie tätig sind.

II

AVANT - P R O P O S

La Commission des Communautés européennes (Direction Santé et Sécurité) a organisé du 21 au 23 juin 1976, en collaboration avec la Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Institut physico-technique fédéral) à Berlin, une réunion d'information sur la dosimétrie personnelle en radioprotection.

Soixante-dix spécialistes de la radioprotection travaillant dans des instituts de recherche sur les rayonnements et dans des centres de mesure des doses ont participé à cette réunion d'information; ils provenaient de pays membres de la Communauté européenne avec lesquels la Commission effectue, depuis plusieurs années, des mesures comparatives des dosimètres individuels en vue d'améliorer la précision des dosimètres individuels utilisés effectivement en radioprotection. Ces travaux concernent donc directement un aspect important du contrôle physique de la radioprotection tel qu'il est défini dans les recommandations et normes de base relatives à la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultant des radiations ionisantes.

La réunion considérée avait pour objectif essentiel de soumettre à un examen critique final, portant sur les concordances réalisées lors des comparaisons et les difficultés rencontrées, tant dans l'optique des centres d'évaluation des dosimètres individuels que dans celle des instituts qui ont procédé aux irradiations de dosimètres nécessaires aux comparaisons, les résultats des programmes d'intercomparaison des dosimètres individuels réalisés ces dernières années, dans le cadre européen, sous la direction de la Commission des Communautés européennes.

Lors de la discussion, l'utilité de telles comparaisons internationales pour la pratique de la radioprotection a été une fois de plus affirmée, et ce d'autant plus, qu'en dépit de tous les progrès réalisés en dosimétrie, il est nécessaire de déployer de nouveaux efforts pour harmoniser la technique, les modes opératoires et l'interprétation des résultats des mesures de la dosimétrie individuelle. D'autres programmes d'intercomparaison à réaliser par les Communautés européennes doivent servir cet objectif, et leur orientation spécifique a été également examinée lors de la réunion.

La présente publication reproduit, dans leur version originale, les exposés faits au cours de cette réunion, ainsi que le résumé, rédigé en langues allemande et anglaise, des discussions qui s'en sont suivies.

Ce rapport devrait présenter un intérêt pour tous ceux qui travaillent dans le domaine de la dosimétrie des photons.

P R E F A C E

The Commission of the European Communities (Health and Safety Directorate), working in conjunction with the Physikalisch-Technische Bundesanstalt, organized an information seminar on personal dosimetry in radiation protection from 21-23 June 1976 in Berlin.

This seminar was attended by 70 experts from Member State research institutes and dose measurement stations with which the Commission has carried out comparative measurements in personal dosimetry for several years in an attempt to improve the accuracy of personal dosimeters used in practical radiation protection work. This work touches therefore directly on the important aspect of physical radiation protection surveillance as laid down in the recommendations and basic safety standards for the health protection of workers and the general public against the dangers of ionizing radiation.

The main purpose of this seminar was to make a final critical review of the results of the personal dosimeter comparison programmes carried out in Europe under the auspices of the European Commission in recent years - both from the point of view of the personal dosimetry processing centres and of the institutes which had produced the requisite irradiation for the comparisons - in order to consider the matching results obtained from the comparisons and the difficulties encountered.

In the discussion the use of such international comparisons for radiation protection practice was underlined once more, especially as, despite the progress made in dosimetry, there was still a need for further efforts to harmonize technology, methodology and interpretation of measurement results in personal dosimetry. This would be the objective of further EC comparison programmes, the special aims of which were also discussed at the seminar.

The publication in question contains original language versions of the papers given at the seminar plus a summary of the respective discussions in German and English.

The report is likely to be of interest to all persons working in photon dosimetry.

Dr. P. RECHT
Director

TABLE DES MATIERES

	<u>page</u>
OUVERTURE DU SEMINAIRE	
H. ERISKAT	VIII
S. WAGNER	IX
INTRODUCTION	
Le rôle de la dosimétrie individuelle en radioprotection	
G. PORTAL	6
DISCUSSION	11
PREMIERE SEANCE	Président: S.C. ELLIS
Métrologie	
Größen und Einheiten im Strahlenschutz	
S. WAGNER	14
DISCUSSION	25
Définition, conservation et transfert des unités utilisées en métrologie des rayonnements ionisants (Tâches des laboratoires primaires nationaux)	
J.P. GUIHO	27
DISCUSSION	36
Tasks of the secondary Standard laboratories	
G. BUSUOLI	37
DISCUSSION	41
The role of the intercomparison programmes in the dissemina- tion of units	
P. CHRISTENSEN	42
DISCUSSION	49
DEUXIEME SEANCE	Président: G. PORTAL
Programme d'intercomparaison de dosimètres individuels 1974/1975	
Bericht über die durchgeführten Vergleiche	
H. SEGUIN	52
DISCUSSION	60

	<u>page</u>
Report on the TLD Workshop held in Bologna in 1974	
L. LEMBO	61
DISCUSSION	66
Journées d'expérimentation à Fontenay-aux-Roses du 19 novembre au 5 décembre 1975	
F. BERGMANN	67
DISCUSSION	73
Dosimeter-Kalibrierung mit 9 MeV-Gammastrahlung und mit Röntgenfluoreszenzstrahlung in Fontenay-aux-Roses	
B. BURCKHARDT, A. SCHMITT	75
Irradiations of personal dosimeters at the Rijksinstituut voor de Volksgezondheid, Bilthoven	
C.H. HOFMEESTER	83
Kritische Betrachtung der durchgeführten Arbeiten aus der Sicht der Auswerter	
M. OBERHOFER	88
DISCUSSION	92
TROISIEME SEANCE	Président: H. REICH
Poursuite des programmes d'intercomparaison	
Course to be followed by future intercomparison programmes in the field of personal dosimetry	
J.A. DENNIS	96
DISCUSSION	99
Festlegung der Bestrahlungsbedingungen und Bezugsgrößen für Vergleiche	
E. PIESCH	101
DISCUSSION	116
Normalisation des étalonnages de détecteurs de mesure de l'irradiation externe	
Y. HERBAUT	118
DISCUSSION	127

QUATRIEME SEANCE

La Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Einführung in die Aufgaben der PTB

G. SAUERBREY 130

Bericht über die Arbeiten der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt auf dem Gebiet der Festkörperphysik, im besonderen Festkörperdosimetrie

D. HAHN 133

DISCUSSION

Liste des participants 146

Organisation du Séminaire 154

ERÖFFNUNG DES SEMINARS

OUVERTURE DU SEMINAIRE

—

OPENING OF THE SEMINAR

H. ERISKAT (Kommission der Europäischen Gemeinschaften)

Ich darf Sie sehr herzlich zu der ersten europäischen Informations-
tagung über die Vergleichsprogramme auf dem Gebiet der Personendosimetrie
begrüssen. Diese Tagung, die wir mit Ihnen in den nächsten zwei Tagen veran-
stalten, ist Teil einer Tagungsreihe, die die Kommission seit 1960 gemeinsam
mit Strahlenschutzfachleuten zu aktuellen Fragen des Strahlenschutzes durch-
führt.

Bedingt durch den relativ weit gefächerten Aufgabenbereich der Kom-
mission auf dem Gebiet des Strahlenschutzes werden dabei sowohl Probleme der
medizinischen Strahlenüberwachung, der physikalischen Strahlenkontrolle,
Rechts- und Verwaltungsprobleme des Strahlenschutzes als auch Ausbildungsfr-
agen und Fragen der Strahlenschutzforschung erörtert. Mit diesen Veranstal-
tungen verfolgen wir im wesentlichen zwei Ziele:

Erstens, die Förderung eines objektiven Informations- und Erfahrungs-
austausches im Rahmen der neun Euratom-Mitgliedstaaten,

zweitens, die Anknüpfung und Vertiefung direkter Kontakte zwischen
denen, die in den einzelnen Euratom-Mitgliedstaaten auf dem Gebiet
des Strahlenschutzes die Verantwortung tragen.

Wir freuen uns sehr, dass Sie so zahlreich unserer Einladung gefolgt
sind. Alle Institute und Dosismesstellen, die an dem Personendosimeter-Ver-
gleichsprogramm 1974 und 1975 teilgenommen haben, sind hier vertreten.

Dieses Vergleichsprogramm ist Teil eines von der Kommission seit 1964
in Zusammenarbeit mit den zuständigen nationalen Stellen durchgeführten
Vergleichsprogrammes auf dem Gebiet der Personendosimetrie, das zunächst mit
Vergleichen auf dem Gebiet der Filmdosimetrie gestartet worden und das
anschliessend auf die Thermolumineszenz-, die Radiophotolumineszenz- und
schliesslich auf die Neutronendosimetrie ausgeweitet worden ist. Ziel aller
dieser Programme, die wir mit einer wachsenden Anzahl von Instituten durch-
führen, ist die Verbesserung der Präzision der Messgeräte im praktischen
Strahlenschutz. Diese Arbeiten berühren somit direkt einen wichtigen Aspekt
der physikalischen Strahlenschutzkontrolle, wie sie in den Euratom-Strahlen-
schutzrichtlinien seit dem Jahre 1959 geregelt ist.

Wie Sie wissen, haben diese Euratom-Strahlenschutzrichtlinien für die
Mitgliedstaaten und für die Regierungen der Mitgliedstaaten rechtsverbind-
liche Wirkung; bei dieser Gelegenheit möchte ich Sie davon unterrichten,
dass die Kommission in den letzten Jahren die Euratom-Strahlenschutzrichtlinie
einer generellen Ueberprüfung unterzogen hat; die abgeänderte Richtlinie ist
am 1. Juni dieses Jahres vom Europäischen Ministerrat verabschiedet worden.
Die in ihr niedergelegten neuen Bestimmungen müssen nunmehr in einer Frist
von zwei Jahren von den nationalen Gesetzgebungen übernommen werden.

In diesen Grundnormen ist das Prinzip der Minimierung der Strahlen-
belastung verankert, welches besagt, dass die Zahl der einer Gefährdung durch
ionisierende Strahlung ausgesetzten Personen, wie auch das Bestrahlungsniveau
als solches so gering wie möglich sein sollen. In der neuen, abgeänderten
Euratom-Strahlenschutzrichtlinie wird dieses Grundprinzip des Strahlenschut-
zes unter Berücksichtigung der von der Internationalen Strahlenschutzkommis-
sion (ICRP) eingeführten wirtschaftlich-sozialen Komponente dahingehend prä-
zisiert, dass die Strahlenbelastung, wie auch die Zahl der exponierten Per-

sonen so gering gehalten werden sollen, wie dies sinnvoll durchführbar ist. Dieser Leitsatz an sich könnte - wenn er für sich allein stehen würde - zu einer leeren Formel werden und die höchstzulässigen Dosiswerte könnten, ihrerseits, weitgehend fragwürdig werden, wenn es der Messtechnik nicht gelingen würde, Messdaten mit relativ hoher Präzision zu bestimmen. Sie, meine Damen und Herren, haben bei dieser Tagung die Gelegenheit, Ihre bei dem Vergleichsprogramm 1974/75 gewonnenen Erfahrungen zum Nutzen des Strahlenschutzes anzuwenden, und ich lade Sie herzlich ein, diese Gelegenheit einer eingehenden Diskussion zu nutzen.

Diese Veranstaltung ist in enger Zusammenarbeit mit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt organisiert worden, die grundlegende Arbeiten auf dem Gebiet der Festkörperdosimetrie geleistet hat. Diese Arbeiten sind im wesentlichen im Institut Berlin durchgeführt worden, das Sie am letzten Tage dieser Veranstaltung noch besichtigen werden.

Wie bei anderen Gelegenheiten der Durchführung von Vergleichsprogrammen, so beim Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare in Bologna im Jahre 1974 und beim Commissariat à l'Energie Atomique in Fontenay-aux-Roses im Jahre 1975, haben wir auch hier bei der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt eine ausgezeichnete Kooperationsbereitschaft für die Vorbereitung dieser Tagung vorgefunden. Dies möchte ich auch im Namen von Herrn Dr. RECHT, der leider nicht persönlich diese Tagung eröffnen konnte, ganz besonders hervorheben. Ich darf Sie, Herr Professor WAGNER, bitten, unseren Dank hierfür Ihrem Herrn Präsidenten zu übermitteln. Vor allem aber darf ich den Vertretern der PTB in Berlin, Herrn Professor SAUERBREY, Herrn Professor HAHN und Herrn Dr. NINK für die tatkräftige Mitwirkung bei der Vorbereitung der Tagung sehr herzlich danken.

Ich darf nun Herrn Professor WAGNER, als Vertreter des Herrn Präsidenten der PTB bitten, das Wort zu ergreifen.

Professor S. WAGNER (Physikalisch-Technische Bundesanstalt)

Der Präsident der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig und Berlin, Herr Professor KIND, hat mich gebeten, Sie in seinem Namen hier in Berlin sehr herzlich willkommen zu heissen. Er hatte sich sehr darauf gefreut, Sie selbst begrüßen zu können und bedauert deshalb, dass ihm ein gebrochenes Bein daran gehindert hat von Braunschweig nach Berlin zu kommen. Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt, wir nennen sie kurz "PTB", ist der Kommission der Europäischen Gemeinschaften dankbar, dass sie es ermöglicht hat, diese Informationstagung in Berlin abzuhalten und an ihrer Vorbereitung so kräftig mitgewirkt hat. Dafür möchte ich besonders auch den hier anwesenden Vertretern der Kommission, den Herren ERISKAT, SEGUIN, und nicht zuletzt auch Frau EBERT danken, die in dieser Beziehung keine Mühe gescheut haben und manche Hindernisse aus dem Weg

räumen mussten. Auch Ihnen, meine Damen und Herren, gilt mein Dank dafür, dass Sie der Einladung nach Berlin gefolgt sind und dass viele von Ihnen sich bereit gefunden haben, die Tagung aktiv mitzugestalten. In einer Zeit, in der eine mögliche Gefährdung des Menschen durch ionisierende Strahlen, die zivilisatorisch bedingt sind, im Vordergrund der öffentlichen Diskussion steht, mögen diese nun aus kerntechnischen oder medizinischen Anwendungen stammen, kommt allen Vorhaben, die in diesem Zusammenhang eine Schutzfunktion erfüllen, besondere Bedeutung zu. Sie haben sich zum Ziel gesetzt, die Mess- und Auswertetechnik der Strahlenbelastung für die beruflich strahlenexponierten Personen zusammen mit den Ergebnissen des Vergleichsprogramms, das Sie in den Jahren 1974 und 1975 durchgeführt haben, zu diskutieren, um mit dieser Tagung dazu beizutragen, diese Messungen zuverlässiger und genauer zu machen, damit die Arbeitsplätze sicherer werden. Ein Vorhaben, das wohl von jedem begrüsst werden kann, möge er zur kerntechnischen Entwicklung stehen wie er will. Dazu wünsche ich Ihnen recht guten Erfolg. Ich hoffe aber auch, dass Sie die Gelegenheit dieser Europäischen Tagung nicht nur dazu benutzen, neue persönliche Kontakte untereinander zu knüpfen und alte aufzufrischen, sondern dass Sie darüber hinaus auch etwas Zeit finden mögen, dieser Stadt Berlin und ihren Menschen zu begegnen und so auch ihre besonderen Probleme etwas besser verstehen zu lernen. Ich bin den Programmgestaltern deshalb sehr dankbar, dass sie dafür im offiziellen Programm Raum gegeben haben. Sie werden dann auch Gelegenheit haben, das Institut Berlin der PTB zu besichtigen, und ich kann deshalb jetzt darauf verzichten, Ihnen Näheres über Aufgaben und Tätigkeiten dieses Instituts zu sagen. Lassen Sie mich schliessen mit dem Wunsch für fachlich erfolgreiche Sitzungen, frohe und angenehme, aber auch eindrucksvolle Tage in Berlin.

*

*

*

E I N F U E H R U N G

I N T R O D U C T I O N

LE ROLE DE LA DOSIMETRIE INDIVIDUELLE EN RADIOPROTECTION

G. Portal

I - Introduction

La protection radiologique a pour but de prévenir les effets aigus provoqués par les rayonnements et de limiter à un niveau acceptable les risques d'apparition d'effets tardifs (1). Elle implique la mise en oeuvre de divers moyens de prévention et de surveillance.

La dosimétrie individuelle constitue l'un de ces moyens de surveillance. Elle a deux rôles essentiels:

- dans le cas de la dosimétrie de routine, elle permet de vérifier le respect des normes en vigueur.
- dans le cas de la dosimétrie d'accident, elle contribue à l'évaluation de la dose absorbée au niveau d'une partie du corps ou d'un organe quelconques.

II - Dosimétrie de routine

Rôle principal

Le rôle essentiel de la dosimétrie individuelle de routine est de vérifier que les normes en vigueur sont respectées, c'est-à-dire que la protection radiologique est poussée jusqu'à son point optimum, compte tenu du rapport "coût-efficacité de la protection" et qu'en toutes circonstances les doses maximales admissibles fixées par la C.I.P.R. (2) et par la Commission des Communautés Européennes (3) ne sont pas dépassées.

La mise en oeuvre de dosimètres individuels est impérative pour les travailleurs qui sont susceptibles de recevoir une dose supérieure aux 3/10 des doses maximales admissibles annuelles. Pour les autres il n'est pas nécessaire d'effectuer une surveillance individuelle; il suffit alors de surveiller les lieux de travail. La dosimétrie individuelle est cependant conseillée car elle permet de mettre en évidence une éventuelle modification des conditions de travail.

Du fait de son volume réduit, le dosimètre individuel ne peut qu'indiquer la dose absorbée au point de mesure; il s'agit en fait d'un simple échantillonnage. Par convention on admettra que toute dose enregistrée par le dosimètre est réputée reçue par le porteur jusqu'à preuve formelle du contraire. Seule une enquête effectuée par les autorités compétentes permettra d'établir si le film a été irradié sans le porteur ou dans un rayonnement non homogène.

Dans ce dernier cas, il est recommandé d'utiliser en supplément du dosimètre individuel "principal" un ou plusieurs dosimètres "spéciaux" placés aux points d'irradiation maximale. C'est le cas par exemple des dosimètres d'extrémités destinés à la surveillance des agents qui manipulent des radioéléments.

Le dosimètre individuel "principal" est destiné à fournir les indications concernant la dose absorbée en divers points de l'organisme.

Le dosimètre le plus simple est généralement conçu pour l'estimation de la dose absorbée due aux rayonnements pénétrants à l'équilibre électronique, c'est-à-dire au point où la dose délivrée est maximale. Bien entendu ce point varie avec le type de rayonnement considéré et il est impossible de réaliser un dosimètre simple valable pour tous les rayonnements; il faut tenir compte de ce fait au niveau de l'interprétation.

Le dosimètre est parfois prévu pour la détermination de la dose absorbée au niveau d'un organe déterminé. Après avoir pris l'oeil comme référence pendant de nombreuses années, il semble maintenant que l'on se préoccupe d'organes plus profonds (400 à 1 000 mg.cm⁻²).

Les dosimètres individuels les plus élaborés que l'on appellera ici dosimètres individuels "discriminants" permettent de caractériser le type et l'énergie du rayonnement; ils se prêtent à la détermination de la dose en tout point de l'organisme moyennant une interprétation assez simple.

De plus, les dosimètres individuels sont très souvent prévus pour la détermination de la dose superficielle, mesurée théoriquement à une profondeur de 7 mg.cm⁻².

L'exactitude requise par la C.I.P.R. (4) Pour la dosimétrie individuelle n'est guère contraignante: "L'incertitude dans l'évaluation des limites supérieures de l'équivalent de dose annuel à l'organisme entier ou aux organes ne doit pas dépasser 50 p.cent." Une formulation différente a été présentée par un groupe d'experts de la C.C.E. (5) mais l'ordre de grandeur de l'incertitude admise n'est guère modifié.

Rôle complémentaire

Les données du dosimètre individuel fournissent des renseignements intéressants concernant:

- les conditions existant sur les lieux de travail
- l'état des installations
- les situations nouvelles qui entraînent une modification des risques
- l'éventualité d'une irradiation exceptionnelle accidentelle.

Si ces informations peuvent être considérées comme secondaires pour un organisme qui dispose d'une structure sérieuse de radioprotection mettant en oeuvre de nombreux spécialistes pour la prévention, la surveillance et la protection (cas de l'industrie et de la recherche nucléaire), il n'en est pas de même pour ceux qui ne disposent pas des mêmes moyens. La dosimétrie individuelle supplée en partie ces services spécialisés car elle permet d'attirer l'attention sur les anomalies qui se manifestent.

Il peut être enfin utile de mentionner le rôle psychologique du dosimètre individuel; la connaissance des résultats incite le plus souvent employeurs et employés à la prudence.

Moyens complémentaires

En fait, comme nous l'avons fait remarquer dès le début, le dosimètre individuel n'est pas le seul moyen de surveillance. Il est trop imparfait pour être en mesure d'assumer à lui seul ce rôle. En plus de la somme d'informations qui peuvent être apportées par les spécialistes de la radioprotection locale qui connaissent bien les installations et leurs dangers, il faut mentionner l'existence d'appareils de contrôle complémentaires tels que les dosimètres de zone, les dosimètres à lecture directe, les dosimètres d'alerte etc...

C'est en fait l'ensemble de ces données qui sera confié au spécialiste qui est responsable de l'interprétation des résultats du dosimètre individuel.

Interprétation

Pour la dosimétrie de routine son intervention est peu fréquente car l'interprétation est effectuée selon des critères pré-établis. C'est ainsi que, à titre d'exemple, certains spécialistes ont décidé de considérer comme nulles toutes les doses équivalentes inférieures au seuil de détection du dosimètre; d'autres au contraire, comptabilisent systématiquement la valeur correspondant à ce seuil. (Qui a raison? Ne faudrait-il pas adapter la solution aux conditions d'irradiation de groupes d'individus?) La C.I.P.R. (4) admet même que l'on n'effectue aucune comptabilisation pour le personnel qui n'est pas susceptible de recevoir des doses supérieures aux 3/10 de la D.M.A.

En fait ces spécialistes interviennent essentiellement pour l'évaluation des risques dans le cas d'irradiations plus sérieuses, notamment pour les dépassements de la D.M.A. Il peut être alors utile, avant de prendre des décisions administratives, de calculer, compte tenu des diverses données obtenues et des résultats éventuels de l'enquête, la meilleure estimation possible de l'équivalent de dose aux organes critiques.

Après interprétation, les résultats de la dosimétrie individuelle sont versés au dossier médical et centralisés (à l'échelon national en général) afin qu'aucune irradiation subie par un travailleur ne puisse échapper à la comptabilisation.

III - Dosimétrie d'accident.

Lorsque dans des conditions accidentelles les D.M.A. sont dépassées, il est nécessaire de tout mettre en oeuvre pour la détermination la plus précise possible des paramètres de l'accident.

La dosimétrie individuelle constitue alors un moyen essentiel qui fournit des indications complémentaires à celles des autres types de dosimètres mentionnés précédemment, à celles des dosimètres biologiques et des observations médicales.

Il est souhaitable dans ce cas d'obtenir une estimation des doses (dues aux différents rayonnements) absorbées au niveau des organes critiques plus exacte que précédemment; d'après un groupe d'experts de l'A.I.E.A. (6) l'incertitude doit être limitée à 25 p.cent et non à 50 p.cent.

Si le dosimètre individuel n'est pas "discriminateur", son utilité est réduite; il joue essentiellement un rôle de référence mais les paramètres essentiels (composition et énergie du rayonnement, homogénéité de l'irradiation etc...) doivent être fournis par une reconstitution de l'accident (si celle-ci est réalisable) et par la connaissance de l'installation. On regroupe cependant assez rarement des informations suffisamment précises pour obtenir une évaluation acceptable.

Il est préférable, pour les postes qui comportent un risque d'accident, de mettre en oeuvre un dosimètre individuel "discriminateur", muni éventuellement de systèmes complémentaires (verres radiophotoluminescents, dosimètres à activation, détecteurs pour le tri des personnes irradiées etc...); c'est "le détecteur individuel d'accident". Il a l'avantage d'accélérer l'évaluation et d'apporter des informations précieuses pour une éventuelle reconstitution fidèle de l'accident.

IV - La dosimétrie individuelle au sein de la C.C.E.

La dosimétrie individuelle est-elle suffisamment développée dans les pays de la C.C.E. pour qu'elle soit en mesure de jouer convenablement son rôle? C'est la question qui s'est posée au sein du Département de Biologie et de Protection Sanitaire.

C'est la raison pour laquelle a été organisée dès 1966 une série d'intercomparaisons de dosimètres individuels.

Si les premières expériences, effectuées pourtant avec des rayonnements "simples" X ou γ , ont fait apparaître une dispersion des résultats incompatible dans bien des cas avec les spécifications de l'I.C.P.R., des progrès rapides ont été réalisés et maintenant, malgré l'utilisation de rayonnements mixtes (γ + X), les résultats qui dépassent les limites d'erreur admises sont rares.

Cette série d'expériences a eu le mérite de montrer à quel point les spécifications de l'I.C.R.P. sont raisonnables.

Si l'on peut considérer qu'au sein de la C.C.E. la dosimétrie individuelle de routine pour les X et les γ d'énergie inférieure à 3 MeV est désormais satisfaisante, il ne faut pas cacher les difficultés qui subsistent encore.

Tout d'abord la dosimétrie des neutrons pose de sérieux problèmes surtout pour les énergies inférieures à 2 MeV. Il est souhaitable que les programmes de recherche et d'expérimentation qui ont été commencés soient poursuivis et même accélérés. Bien qu'il soit moins important, le problème de la détermination de la dose superficielle devra être résolu. Est-il raisonnable de mesurer une dose absorbée à une profondeur de tissu de 7 mg.cm^{-2} ? On imagine aisément le résultat obtenu avec des électrons ou des rayonnements β de faible énergie.

Enfin la question de la dosimétrie d'accident se posera avec d'autant plus d'acuité que l'exactitude requise est nettement supérieure à celle spécifiée pour la dosimétrie de routine. Ne faut-il pas envisager dans ce domaine des intercomparaisons calquées sur celles réalisées à l'échelon international, sous l'égide de l'A.I.E.A., par le groupe de travail "Nuclear Accident Dosimetry Systems Intercomparison"?

Bien des problèmes restent encore à résoudre si l'on veut être un jour capable de mettre en oeuvre une dosimétrie individuelle conforme dans tous les cas aux spécifications en vigueur. C'est pour cela que l'on peut se réjouir de l'organisation de ces deux journées de travail.

D'une part seront traités les problèmes liés à l'étalonnage des détecteurs c'est-à-dire ceux concernant les unités utilisées en radioprotection, leur transfert aux laboratoires secondaires et ceux posés par l'étalonnage des détecteurs. La qualité de la dosimétrie individuelle est très étroitement liée à ces divers points.

D'autre part seront analysés les résultats des dernières intercomparaisons et seront élaborés les programmes futurs. Ceci montre à quel point les responsables de la Commission des Communautés Européennes sont soucieux de la poursuite des programmes engagés et conscients de l'ampleur de la tâche qui reste à accomplir.

Je vous invite à vous joindre à moi pour les en remercier et pour les féliciter de la mise au point d'un programme aussi judicieux.

Bibliographie

- (1) Recommendations of the International Commission of Radiological Protection, I.C.R.P. Publication 9, Pergamon Press, OXFORD 1965.
- (2) Recommendations of the International Commission of Radiological Protection, I.C.R.P. Publication 6, Pergamon Press, OXFORD 1962.
- (3) Normes de base relatives à la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultant des radiations ionisantes. C.C.E. Bruxelles 2.2.1959. JO n° 11 du 20.2.1959 et JO n° 216 du 26.11.1966.
- (4) Recommendations of the International Commission of Radiological Protection, I.C.R.P. Publication 12, Pergamon Press, OXFORD 1968.
- (5) Technical Recommendations for monitoring the exposure of individuals to external radiation.
Publication de la C.C.E. - EUR 5287e - 1975.
- (6) Nuclear Accident Dosimetry systems
Proceeding Panel - Vienne 17-21 Février 1969.

DISKUSSION

In der BRD führen zwei Institute Blutuntersuchungen zur Feststellung von Chromosomenaberration nach hohen Bestrahlungen (Unfällen) durch. Die biologische Dosimetrie kann ebenso wie jede andere Dosimetrie bei stark inhomogener Bestrahlung nur gemittelte Werte liefern. Von der physikalischen Dosimetrie kann man selbst bei einheitlicher Bestrahlung nicht auf Organdosen bzw. auf die biologische Wirkung schliessen, da für diesen Fall die biologischen Daten nicht ausreichend genau bekannt sind. In der Praxis wird man bei einem Unfall diesen simulieren und die Kerma in Luft bestimmen. Die Entwicklung eines komplizierten physikalischen Dosimeters, welches alle möglichen Daten erfassen kann, ist nicht gerechtfertigt. Für die Einleitung und Durchführung medizinischer Massnahmen sind die Blutuntersuchungen in Verbindung mit der im nachhinein ermittelten Kerma in Luft im Moment wohl die beste Informationsquelle.

In der weiteren Diskussion wurde die Dicke der Haut behandelt. Die bisher angegebenen 7 mg/cm^2 sind zu dick, da nach neueren Messungen die Dicke der Haut zwischen 4 und 30 mg/cm^2 schwanken kann. Für eine sichere Erfassung der Dosis würden 4 mg/cm^2 der beste Wert sein. Da es schwierig ist, Dosimeter mit solch dünnen Fenstern zu bauen, wird man wahrscheinlich etwas höhere Werte nehmen müssen.

DISCUSSION

Germany had two institutes which carried out blood tests to determine chromosomal aberration following (accidental) high exposure to radiation. Like all other forms of dosimetry, biological dosimetry could provide only average dose figures in cases of high non-homogeneous exposure. With physical dosimetry it was not possible even in cases of homogeneous exposure to determine the partial body (organ) dose or biological effect, since the biological data in such cases were not sufficiently known. In practice, when an accident occurred, the case was simulated and the kerma determined in the atmosphere. The development of a complicated physical dosemeter capable of recording all available data could not be justified. Blood tests accompanied by measurement of the kerma in air were currently the best source of data for the introduction and implementation of medical measures.

The thickness of the skin was subsequently discussed. The figure of 7 mg/cm^2 which has been accepted until now was too thick, since more recent measurements had revealed that the skin thickness can fluctuate between 4 and 30 mg/cm^2 . In view of the difficulty of manufacturing doseimeters with windows of such thinness, it was likely that rather high values would have to be taken.

ERSTE SITZUNG - FIRST SESSION

PREMIERE SESSION

Président: S.C. ELLIS

METROLOGIE - METROLOGY

GROESSEN UND EINHEITEN IM STRAHLENSCHUTZ

S.R. WAGNER

1. Ausgangssituation

Mit der fortschreitenden Entwicklung der Kerntechnik sowie mit der zunehmenden Anwendung radioaktiver Stoffe und der von ihnen wie von Röntgengeräten und Beschleunigern emittierten ionisierenden Strahlen in der medizinischen Diagnostik und Therapie mussten auch die für die Metrologie dieser Strahlen benötigten Definitionen physikalischer Grössen und ihrer Einheiten präziser gefasst werden. Nicht zuletzt hat dazu auch die im Bewusstsein der Öffentlichkeit oft unbegründet weit im Vordergrund stehende Furcht vor ihren schädigenden Wirkungen beigetragen, wodurch die Regierung der Industrienationen veranlasst worden sind, die maximal zulässige Strahlenbelastung der allgemeinen Bevölkerung und der beruflich strahlenexponierten Personen gesetzlich zu regeln. In vielen dieser Gesetze wurde es aber unterlassen, die Messgrössen und Messbedingungen exakt zu definieren, auf welche die festgesetzten Maximalwerte angewendet werden sollten. Wenn auch zugestanden werden muss, dass selbst die in dieser Hinsicht unvollkommenen gesetzlichen Regelungen dazu beigetragen haben, die Strahlenbelastung insbesondere der beruflich exponierten Personen zu vermindern, so hätten sich doch die Gerichte bei juristischen Streitfällen vor kaum eindeutig lösbare Probleme gestellt gesehen. Glücklicherweise sind solche Fälle kaum gerichtsbekannt geworden. Problematische, nicht in jeder Hinsicht präzise definierte Begriffe sind in dem hier interessierenden Zusammenhang im besonderen die Personendosis und die Ortsdosis.

2. Physikalische Grössenarten und ihre Einheiten

(s.a. /1, 2/)

Bevor auf diese Grössen aus dem Strahlenschutzbereich näher eingegangen wird sollen im Folgenden einige allgemeine Grundsätze über die Definition und den Gebrauch physikalischer Grössen vorgestellt werden.

Eine physikalische Grössenart gibt allgemein den qualitativen Wesensinhalt eines physikalischen Begriffs in Form einer treffenden, präzise formulierten Definition wieder. Eine derartige Definition muss unabhängig von irgendwelchen Einheiten sein.

Beispiel:

Elektrische Leistung = Elektrischer Strom x Elektrische Spannung ¹⁾

Der Begriff "physikalische Grösse" bezeichnet darüberhinaus die quantitative Grössenausdehnung als Produkt aus Zahlenwert und Einheit.

1) s. Fussnote auf S. 23

Beispiel:

Elektrische Leistung einer bestimmten Glühlampe = 100 Watt
Grundsätzlich ist zu beachten, dass eine physikalische Grössenart nicht durch die zugehörige Einheit näher bezeichnet werden kann und darf, denn in der Regel gehört die gleiche Einheit zu mehreren Grössenarten.

Beispiel:

Die reziproke Sekunde (s^{-1}) ist Einheit der Winkelgeschwindigkeit, der Frequenz, der Aktivität ...

Deshalb muss bei jeder Angabe eines Produkts aus Zahlenwert und Einheit die physikalische Grösse benannt werden, zu der es gehört.

Beispiel:

Die Grösse Energiedosis erfordert die Angabe des Orts, der Geometrie des Phantoms, seiner Zusammensetzung und Dichte sowie der Bestrahlungsbedingungen.

Davon darf nur dann abgewichen werden, wenn allgemein eingeführte Uebereinkünfte über diese nähere Bedingungen ("Standardbedingungen") bestehen und darauf durch ein entsprechendes Grössensymbol hingewiesen wird.

Beispiel:

Standard-Ionendosis J_S (Gleichgewicht-Ionendosis frei in Luft);
(Exposure X)

3. Grössenarten und Einheiten im Strahlenschutz

Im Strahlenschutz sind vorwiegend die in der Tabelle 1 zusammengefassten Grössenarten und Einheiten von Bedeutung.

Tabelle 1. Größen und Einheiten für Radiologie und Strahlenschutz (Q Betrag der elektrischen Ladung der Ionen eines Vorzeichens, die in Luft durch Strahlung unmittelbar oder mittelbar gebildet werden, m_L Masse der Luft; W Summe der Anfangswerte der kinetischen Energien aller geladenen Teilchen, die durch indirekt ionisierende Strahlung aus dem Material freigesetzt werden, m Masse des Materials; E durch Strahlung auf das Material übertragene Energie; q dimensionsloser Bewertungsfaktor; N Anzahl der Atome in einer Menge eines Radionuklids, t Zeit)

Physikalische Grösse	Definition (s. DIN 6814 [4] Blatt 3 u. 4)	Bisher verwendete Einheit	SI-Einheit	besondere Namen
Ionendosis J	$J = \frac{dQ}{dm_L}$	Röntgen (R) 1 R = $2,58 \cdot 10^{-4} C/kg$	Coulomb durch Kilogramm (C/kg)	
Kerma K	$K = \frac{dW}{dm}$	1 rd = $10^{-2} J/kg$	Joule durch Kilogramm (J/kg)	(Gray)
Energiedosis D	$D = \frac{dE}{dm}$	Rad (rd) 1 rd = $10^{-2} J/kg$	Joule durch Kilogramm (J/kg)	Gray (Gy) 1 Gy = 1 J/Kg
Äquivalentdosis H	$H = q \cdot D$	Rem (rem) 1 rem = $10^{-2} J/kg$	Joule durch Kilogramm (J/kg)	(Gray)
Aktivität A	$A = \frac{dN}{dt}$	Curie (Ci) 1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10} s^{-1}$	Reziproke Sekunde (s^{-1})	Becquerel (Bq) 1 Bq = 1 s^{-1}

Einer Richtlinie der Europäischen Gemeinschaften /3/ zufolge sind die SI-Einheiten nach einer Uebergangsfrist auch für die Grössenarten im Strahlenschutz anzuwenden. Die 15. Generalkonferenz für Mass und Gewicht hat inzwischen mit ihren Resolutionen 8 und 9 /4/ beschlossen, die in der letzten Spalte der Tabelle angegebenen besonderen Einheitenamen einzuführen. Die Tatsache, dass für die alte Einheit "Röntgen" der Ionendosis kein neuer besonderer Name in SI eingeführt worden ist, macht die abnehmende Bedeutung dieser Grössenart für Anwendungen in der messtechnischen Praxis deutlich. Die Formulierung in der Resolution 9, mit der das Gray eingeführt wird, ist ungewöhnlich: Während sonst die physikalische Grössenart genannt wird, für welche die betreffende Einheit verwendet werden soll, wird beim Gray nur gesagt "... als besonderer Name für die ionisierenden Strahlen:"

Der Resolution 9 ist deshalb folgende Fussnote beigefügt:

" Das Gray ist die Einheit der Energiedosis. Im Bereich der ionisierenden Strahlen kann das Gray noch mit anderen physikalischen Grössen verwendet werden, die auch in Joule durch Kilogramm ausgedrückt werden können; das Beratende Komitee für die Einheiten ist beauftragt, diese Frage in Zusammenarbeit mit den zuständigen internationalen Organisationen zu studieren!"

Die hier gemeinten "anderen physikalischen Grössen" sind, neben der auf das Material übertragenen spezifischen Energie, vor allem die Kerma und die Aequivalentdosis, aber auch der Energiedosisindex und der Aequivalentdosisindex. Es bleibt abzuwarten, wie hier entschieden werden wird. Denkbar sind für die im Strahlenschutz besonders interessierende Grössenart "Aequivalentdosis" als SI-Einheit das Joule durch Kilogramm oder das Gray oder ein anderer besonderer Name.

Die letztgenannte Möglichkeit widerspräche der bisher vom CIPM²⁾ vertretenen Politik. Immerhin tagt die Generalkonferenz für Mass und Gewicht, die letztlich darüber zu entscheiden hat, jedoch nur etwa alle vier bis sechs Jahre.

Unabhängig vom Ausgang dieser Entscheidung sind das Gray und das Becquerel schon jetzt gültige SI-Einheiten und werden in den Mitgliedstaaten der Meterkonvention gesetzliche Einheiten, sobald die dazu notwendigen Gesetzesnovellen verabschiedet sind. Für eine gewisse Uebergangsfrist wird es jedoch zugelassen werden, auch die alten Einheiten noch zu verwenden. Von der ICRU und anderen Organisationen wird eine derartige bis 31.12.1985 dauernde Uebergangsfrist befürwortet. Aber auch während dieser Zeit sollten die alten Einheiten nicht mehr allein, sondern nur zusammen mit den neuen verwendet werden.

Natürlich muss auch den Geräteherstellern eine gewisse Frist eingeräumt werden, innerhalb derer sie die Skalen ihrer Geräte auf die SI-Einheiten umstellen können. Es wird für vertretbar gehalten, in geeigneter Weise darauf hinzuwirken, dass ab 1.1.1978 keine Geräte mehr in den Verkehr gebracht werden dürfen, die nicht Skalen mit den SI-Einheiten (falls erwünscht während der Uebergangsfrist daneben Skalen mit den alten Einheiten) aufweisen.

2) Comité International des Poids et Mesures

Was weiter oben zur Notwendigkeit der Grössennennung gesagt worden ist, gilt natürlich auch für den Strahlenschutzbereich. So lässt sich eine spezielle Grösse eben nicht allein dadurch eindeutig kennzeichnen, dass ihrem Zahlenwert die (alte) besondere Einheit "REM" beigelegt wird; Das würde nur darauf hinweisen können, dass die gemeinte Grösse von der Art einer Aequivalentdosis ist. Da die Aequivalentdosis aber eine ortsabhängige Grösse ist, bliebe offen, auf welche Stelle im bestrahlten Objekt sie sich beziehen sollte (vorausgesetzt, dass das Bestrahlungsobjekt (Material und Geometrie) und die Bestrahlungsbedingungen bereits anderweitig eindeutig definiert sind).

4. Definition der Grösseart Personendosis

Die in gesetzlichen Strahlenschutzregelungen angegebenen Maximalwerte sind von der Grösseart Aequivalentdosis, ohne dass in der Regel näheres über Material und Bestrahlungsgeometrie gesagt ist. Geht man auf ihren Ursprung zurück, die Empfehlungen der ICRP /5/, so findet man, dass die dort genannten Werte (im allgemeinen mittlere) Aequivalentdosen in sog. kritischen Organen sind. Für die praktische Messtechnik im Strahlenschutz hilft diese Erkenntnis zunächst wenig, denn die Aequivalentdosis kann an diesen Stellen des menschlichen Körpers nicht gemessen werden. Solange man es nur mit Photonenstrahlen zu tun hatte - und das ist auch heute noch in der Strahlenschutzpraxis vorwiegend so - waren aber die Konsequenzen nicht schwerwiegend: Die Aequivalentdosis im kritischen Organ ist kaum je um mehr als 25 % höher als die von einem Personendosimeter angezeigte /6/, das an einer für die Strahlenexposition repräsentativen Stelle der Körperoberfläche getragen wird und das frei in Luft kalibriert wurde. Für Neutronen ist die Situation wesentlich komplizierter, weil das Sekundärstrahlungsfeld, das im Körper infolge von Streu- und Einfangprozessen entsteht, erheblich stärker zur Anzeige des Personendosimeters beiträgt als im Photonenfall und weil in die Aequivalentdosisbestimmung ein von der Neutronenenergie abhängiger Bewertungsfaktor eingeht, der erheblich von 1 verschieden ist (s. z.B. /7, 8/).

Es liegt deshalb nahe, für die Definition der Personendosis ein Bestrahlungsmodell einzuführen, das einerseits den menschlichen Körper für Strahlenschutz Zwecke hinreichend gut simuliert, andererseits genügend einfach ist, um Dosisberechnungen zu erlauben. Dazu bietet sich der von der ICRU eingeführte Aequivalentdosisindex /9/ an. Dieser ist gleich dem Maximum der Aequivalentdosis in einer Kugel von 30 cm Durchmesser aus Weichteilgewebe definierter Zusammensetzung und Dichte. Die Aequivalentdosis in der äussersten Kugelschale, die der Dicke der unempfindlichen Schicht der Haut entspricht, bleibt dabei unberücksichtigt. Der Kugelform zufolge spielt die Orientierung des Phantoms im Strahlungsfeld keine Rolle.

Definiert man auf diese Weise die Personendosis als Aequivalentdosisindex, so verfügt man zwar über ein für alle Strahlenarten einheitliches Bestrahlungsmodell, kann also im besonderen auch die von verschiedenen Strahlenarten erzeugten Dosisbeiträge sinnvoll überlagern, hat aber immer noch keine Messvorschrift. Diese kann man dadurch gewinnen, dass zunächst der Zusammenhang z.B.

a) für Photonen

zwischen Standard-Ionendosis oder der entsprechenden Standard-Energiedosis in Luft und der wie oben definierten Personendosis;

b) für Elektronen

zwischen der Aequivalentdosis in einem weichteilgewebeaequivalenten Phantom mit ebener Oberfläche, dessen Abmessungen (Länge und Tiefe jedoch kleiner als 30 cm) so gewählt sind, dass diese Aequivalentdosis den höchstmöglichen Wert annimmt, und der Personendosis;

c) für Neutronen

zwischen der Fluenz der einfallenden Neutronen und der Personendosis

berechnet wird. Die Ergebnisse dieser Rechnungen sollten als Grundlage für die Konstruktion von Personendosimetern benutzt werden, deren Anzeige möglichst unabhängig von der Energie der einfallenden Strahlung proportional zur Personendosis ist. Gleichzeitig werden die Rechenergebnisse es erlauben, Personendosimeter mit Hilfe der in den Staatslaboratorien für die Grössen Standardenergiedosis in Luft (für Photonenstrahlen), Aequivalentdosis in Weichteilgewebe (für Elektronen) und Neutronenfluenz vorhandenen Primärstandards zu kalibrieren.

Überlegungen, die physikalische Grössenart Personendosis in der vorbeschriebenen Weise zu definieren, werden gegenwärtig im Deutschen Fachnormenausschuss für Radiologie angestellt.

Für die praktische Bestimmung der Personendosis können näherungsweise die bisher üblichen Messverfahren (s. /10, 11/) benutzt werden:

Für Photonenstrahlung

- a) eine Messung von etwa 70 μ m Tiefe als Mass für die Hautdosis,
- b) eine Messung in etwa 7 mm Tiefe als Mass für die Aequivalentdosis in tiefer liegenden Organen

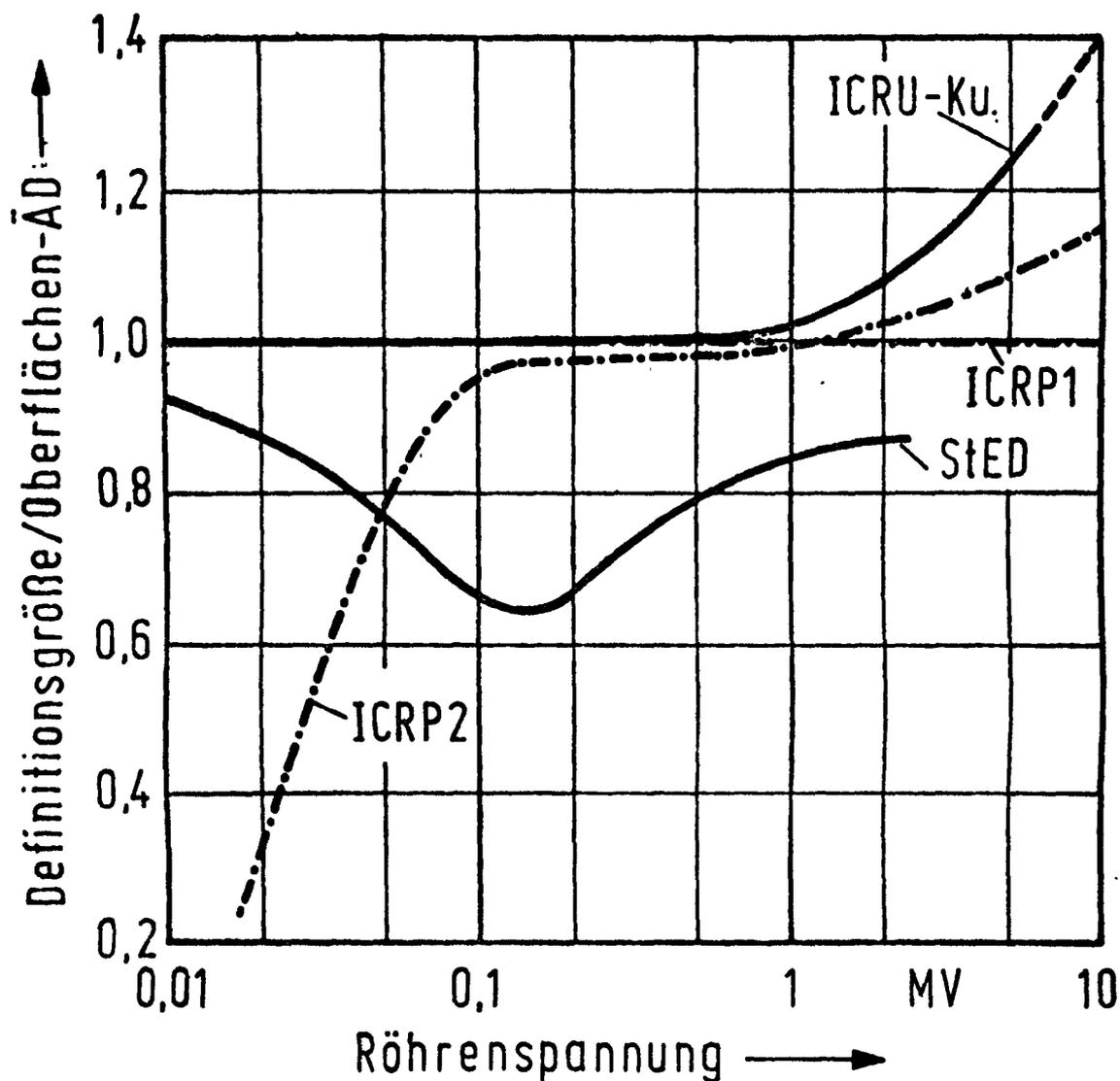
mittels eines am Körper getragenen Dosimeters.

Für Neutronen:

Die Anzeige eines richtungsunabhängigen Detektors, dessen Ansprechvermögen proportional zum Fluenz-Aequivalentdosis-Konversionsfaktor für ein zylinderförmiges Phantom von 30 cm Durchmesser und 60 cm Höhe von der mittleren Zusammensetzung des Standardmenschen ist. Dieses Phantom wird durch die ICRU-Kugel abgelöst werden, sobald dafür gesicherte Rechenergebnisse vorliegen.

Für die in diesem Kreis besonders interessierende Photonenstrahlung sind in der Figur 13) einige Abhängigkeiten von der Strahlenqualität nach grober Schätzung auf Grund von Literaturangaben zusammengestellt.

3) Für die freundliche Ueberlassung dieser Figur danke ich Herrn Prof. Dr. H. Reich, PTB, Braunschweig



FIGUR 1

Unterschiedlich definierte Messgrößen für die Personendosimetrie in Abhängigkeit von der Strahlenqualität (Röhrenspannung). Grobe Schätzung nach Literaturangaben.

- Oberflächen-AED: Aequivalentdosis in 70 μm Tiefe der ICRU-Kugel
- ICRU-Kugel : Aequivalentdosisindex (Maximum der Aequivalentdosis in der ICRU-Kugel)
- ICRP 1 : Oberflächen-AED
- ICRP 2 : Aequivalentdosis in 7 mm Tiefe der ICRU-Kugel
- StED : Standard-Energiedosis frei in Luft

Bezugsgrösse ist die Aequivalentdosis an der Oberfläche der oben erwähnten ICRU-Kugel. Diese entspricht weitgehend der Aequivalentdosis in 70 μm Tiefe wie als Oberflächendosis in Ziffer 79 der ICRP-Veröffentlichung 12 /10/ (s. a. /11/) eingeführt, in der Figur als ICRP 1 bezeichnet. Die Kurve ICRP 2 gibt das Verhältnis der Aequivalentdosis in 7 mm Tiefe, ebenfalls entsprechend den Empfehlungen in /10/ und /11/, zur Oberflächen-Aequivalentdosis für die gleiche Kugel wieder. Im niederenergetischen Teil macht sich dabei die Absorption in der Vorschicht bemerkbar, bei höheren Energien ein geringer Dosis-Aufbau-Effekt. Die Kurve StED gibt die Energieabhängigkeit des Verhältnisses der Standard-Energiedosis frei in Luft zur Oberflächen-Aequivalentdosis auf der ICRU-Kugel wieder. Wird ein so kalibriertes Personendosimeter am Körper getragen, so wird das Minimum der Kurve infolge des Beitrages der Rückstreuung weitgehend eingeebnet werden, so dass das Verhältnis seiner Anzeige zur Oberflächen-Aequivalentdosis dann annähernd energieunabhängig konstant ist.

5. Definition der Gröszenart Ortsdosis

Ortsdosismessungen dienen im allgemeinen dazu, Ueberwachungs-, Kontroll- und Sperrbereiche einzugrenzen, ferner, um festzustellen, ob die Arbeitsbedingungen hinsichtlich der Strahlenabschirmung sicher genug sind sowie um in bestimmten Fällen die Arbeitszeit zu begrenzen, damit die maximal zulässigen Dosiswerte nicht überschritten werden. Die jeweiligen Grenzwerte für die verschiedenen vorerwähnten Fälle sind als Aequivalentdosen festgesetzt, die in Personen erzeugt würden, wenn diese sich während bestimmter Zeiten an den betreffenden Orten des Strahlungsfeldes aufhielten. Deshalb liegt es nahe, die Ortsdosis in gleicher Weise zu definieren wie die Personendosis. Einige Einwände gegen eine derartige Definition seien im folgenden erörtert:

- a) Der Bezugsort für die Messung der Ortsdosis ist ihrer Definition entsprechend der Mittelpunkt der Kugel von 30 cm Durchmesser. Demzufolge könnte es schwierig sein, Ortsdosisverteilungen in sehr inhomogenen Strahlungsfeldern auszumessen, wie sie in der Umgebung punktförmiger Quellen, insbesondere auch von β -Strahlern, bestehen. Diesem Einwand ist zu entgegenen, dass auch das Zentrum (der Schwerpunkt) einer Person sich nicht mehr als das Kugelphantom der Strahlenquelle nähern kann. Ortsdosiswerte für geringere Abstände sind deshalb wenig sinnvoll. Es genügt demnach auch in inhomogenen Strahlungsfeldern, festzustellen, dass die als Aequivalentdosisindex definierte Ortsdosis den maximal zulässigen Wert an keiner Stelle überschreitet, an den die Kugel gebracht werden kann.

In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass die Detektoren, mit deren Hilfe Ortsdosen ermittelt werden, im Falle von Photonenstrahlen natürlich nicht die Abmessungen der ICRU-Kugel besitzen, sondern in der Regel klein gegen diese sind. Lediglich ihre Anzeige soll weitgehend unabhängig von der Strahlenenergie proportional zum Aequivalentdosisindex sein. Kleine Abmessungen sind auch deshalb notwendig, weil das Maximum der Aequivalentdosis in der Kugel in den meisten praktischen Fällen des Strahlenschutzes in nur geringer Tiefe unter der Kugeloberfläche liegt. In inhomogenen Strahlungsfeldern gilt das um so mehr.

- b) In Beförderungsvorschriften für radioaktive Stoffe und in Zulassungsbedingungen für Vorrichtungen, die ionisierende Strahlen aussenden, werden oft Maximalwerte der Dosisleistung an ihrer Oberfläche vorgeschrieben,

die nicht überschritten werden dürfen. Dabei wird die Messgrösse, die ermittelt werden soll, im allgemeinen nicht näher definiert. Den unter a) gegebenen Erläuterungen zufolge sollten die in den genannten Vorschriften festgesetzten Grenzwerte im Sinne der hier definierten Ortsdosisleistung für einen Abstand von mindestens 15 cm von der Oberfläche des Versandstücks oder der Vorrichtung gelten. Besonders in den Fällen, in denen Neutronen wesentlich zur gesamten Aequivalentdosis beitragen, besitzen die Detektoren in der Regel ohnehin Abmessungen in der Grössenordnung der ICRU-Kugel.

Die Einführung des Aequivalentdosisindex als Ortsdosis entspricht einer geänderten Philosophie über Bedeutung und Interpretation der Messgrössen im Strahlenschutz: Bisher wurde bei Photonenstrahlung in der Regel die Standard-Ionendosis frei in Luft gemessen (die entsprechende Energiedosis in Luft hängt damit über einen konstanten Faktor zusammen) und daraus falls notwendig die in einem Menschen, der sich an die gleiche Stelle begibt, zu erwartende Körper- oder Organdosis abgeschätzt. Die Messgrösse Aequivalentdosisindex kommt dieser Körper- oder Organdosis dank des verwendeten Phantoms, das für Strahlenschutz Zwecke hinreichend anthropomorph ist, viel näher. Dieser Schritt in der begrifflichen Entwicklung hat zur Folge, dass nun auch die Dosisbeiträge verschiedener Strahlenarten in gemischten Strahlenfeldern in einheitlicher Weise behandelt werden können. Wenn auch die nur in Luft definierte Ionendosis keine Bedeutung z.B. in Neutronenfeldern hat, so unterscheidet sich doch in diesem Fall auch die etwa analog gebildete Grösse, das ist die in einem kleinen Gewebestück ⁴⁾ ermittelte Aequivalentdosis in einer stark von der Energie der einfallenden Neutronen abhängenden Weise, oft erheblich von der Körperdosis, die in einer an den gleichen Ort gebrachten Person erzeugt wird (s. z.B. /7/). Für die gemischten Strahlenfelder in der Umgebung von Hochenergiebeschleunigern trifft diese Feststellung in ähnlicher Weise zu.

Die Messvorschriften für den Aequivalentdosisindex und damit für die Ortsdosis sowie die Prinzipien, nach denen Messgeräte zu konstruieren sind, müssen noch erarbeitet werden. Zunächst ist zu erwarten, dass die ICRU die begriffliche Basis der von ihr in ihrem Bericht 19 /9/ eingeführten Indexgrössen näher erläutert.

6. Kollektivdosis und Bevölkerungsdosis /12, 13, 14/

In den letzten Jahren ist in zunehmendem Masse der Begriff der Kollektivdosis /12/ angewendet und zuweilen auch missbraucht worden; fälschlich wird er oft auch als man-rem-Konzept bezeichnet. Voraussetzungen und Begrenzungen für die Anwendung dieses Konzepts sollen deshalb im folgenden kurz erläutert werden. Unter der Kollektivdosis H_c versteht man die Grösse

$$H_c = \int_0^{\hat{H}} H \frac{dN}{dH} dH = N\bar{H}$$

4) Dieses Gewebestück sei gerade so gross, dass Sekundärteilchengleichgewicht erreicht wird.

Dabei ist H die Äquivalentdosis ⁵⁾ im kritischen Organ einer Person und \bar{H} (H) die Anzahl der Personen, bei denen diese Äquivalentdosis $H' \leq H$ ist, H die maximale bei irgendeiner Person aus N auftretenden Äquivalentdosis, N die gesamte Anzahl der betrachteten Personen und \bar{H} die darüber gemittelte Äquivalentdosis. Wird dabei eine begrenzte Personengruppe betrachtet, so spricht man von der Kollektivdosis, wird die ganze Bevölkerung einbezogen, so bezeichnet man die Grösse als Bevölkerungsdosis. Die enge Beziehung der Kollektivdosis zur mittleren Dosis, nämlich die blosser Multiplikation mit der Personenanzahl, lässt es fraglich erscheinen, ob dieser Begriff überhaupt zusätzliche neue Informationen liefern kann.

6.1. Zur Dimension der Kollektivdosis

Da die Anzahl N von der Dimension 1 ist oder - wie man oft auch sagt, dimensionslos ist - besitzt H_C die gleiche Dimension wie H und somit auch die gleiche Einheit wie die Äquivalentdosis, deren alter besonderer Name das Rem ist (Joule/Kilogramm oder Gray ist die SI-Einheit). "man" ist keine physikalische Einheit und darf im übrigen auch nicht, wie im Abschnitt 2 bereits dargelegt worden ist, dazu benutzt werden, um die Gröszenart zu kennzeichnen.

6.2. Kollektivdosen und Kollektivrisiko

In vielen Fällen wird nun das Individualrisiko, d.h. die Wahrscheinlichkeit, dass während der Lebensspanne ein Strahlenschaden auftritt, proportional zur kumulierten individuellen Äquivalentdosis gesetzt, und zwar unabhängig von der Dosisleistung oder der zeitlichen Verteilung der Dosis. Dann ist das Kollektivrisiko

$$R_C = \eta \cdot H_C$$

wobei η eine Proportionalitätskonstante ist.

Diese Betrachtung ist aber nur dann richtig, wenn der Strahlenschaden ohne Schwellendosis linear von der Dosis abhängt. Das ist aber bei Strahlung mit niedrigem LET, also bei Elektronen- und Photonenstrahlen, wahrscheinlich nicht der Fall. Damit entfällt aber auch die Grundlage für viele Anwendungen des Kollektivdosisbegriffs; d.h. die Kollektivdosis ist kein verlässliches Mass für zu erwartende Strahlenschäden oder für das Kollektivrisiko, insbesondere dann nicht, wenn die Äquivalentdosen einen grossen Wertebereich umfassen und sehr ungleichmässig im Kollektiv verteilt sind.

Für den Fall, dass die zivilisatorisch bedingten Äquivalentdosen klein gegen die durch die natürliche Strahlenbelastung hervorgerufenen sind, lässt sich die Äquivalentdosis-Effekt-Beziehung für die zivilisatorisch bedingten kleinen Zusatzdosen linearisieren. Dann ist das Verhältnis der Risiken, die durch zwei verschiedene zivilisatorische Quellen bedingt sind, gleich dem Verhältnis der durch sie erzeugten Kollektivdosen.

⁵⁾ Auf Grund der Ausführungen im Abschnitt 4 sollte diese Äquivalentdosis durch die dort definierte Personendosis ersetzt werden.

Anwendungsbeispiel:

Risikovergleich zwischen zwei verschiedenen Radionukliden, die von kerntechnischen Anlagen an die Umgebung entlassen werden.

Bei medizinischen Strahlenanwendungen und auch bei beruflichen Strahlenexpositionen sind die Individualdosen zu hoch, als dass sich das Kollektivdosis-konzept sinnvoll anwenden liesse. Insbesondere darf es nicht herangezogen werden, um über die Notwendigkeit von Strahlenschutzmassnahmen zu entscheiden.

6.3. Integrationsbereich der Individualdosen

Da die natürliche Strahlenexposition durch Strahlenschutzmassnahmen kaum beeinflusst werden kann, sollte die untere Integrationsgrenze für die Kollektivdosis nicht niedriger als die durch die natürliche Strahlenbelastung hervorgerufenen Schwankungen der Individualdosis sein, also mindestens 10^{-5} J/kg im Jahr 1 mrem/a /13/.

6.4. Folgerungen

Wie gezeigt worden ist, ist die Aussagekraft der Grösse Kollektivdosis gering und darüberhinaus sehr beschränkt; sie ist in der Regel auch nicht eindeutig interpretierbar. Die Verteilung der Individualdosen über das Kollektiv zu kennen, ist sicher wichtiger. Es muss deshalb davor gewarnt werden, Kosten-Nutzen- oder Nutzen-Risiko-Abschätzungen mit Hilfe des Kollektivdosis-konzepts vorzunehmen und es allein als Grundlage für Entscheidungen im Strahlenschutz zu benutzen. Zumindest implizit sind diese Vorbehalte auch schon in der ICRP-Veröffentlichung 22 /12/ enthalten.

-
- 1) Bei zeitlich veränderlichen Grössen gilt für den Augenblickswert der Leistung P

$$P(t) = I(t) \cdot U(t)$$

(I elektrischer Strom, U elektrische Spannung, t Zeit). Für Wechselstrom erhält man daraus die mittlere Leistung

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T I(t) \cdot U(t) dt$$

(T Periodendauer)

und für rein sinusförmigen Wechselstrom

$$P = \frac{1}{2} I_0 U_0 \cos \varphi$$

(I_0 Scheitelwert von $I(t)$, U_0 Scheitelwert von $U(t)$,

φ Phasenwinkel zwischen Strom und Spannung)

In die Grössengleichung für die Leistung gehen also Faktoren ("Bewertungsfaktoren") ein, die von der Kurvenform des Stromes und der Spannung und von der Phasenbeziehung zwischen ihnen abhängen. Die Einheit der Leistung bleibt davon völlig unberührt die gleiche (nämlich das Watt im SI).

Literatur

- /1/ U. Stille: Begriffs- und Einheitensysteme; in F. Kohlrausch: Praktische Physik, 22. Auflage, herausgegeben von G. Lautz, R. Taubert; Stuttgart 1968; Band 1, S. 9ff.
- /2/ S. Wagner: Radiation field quantities or dose quantities in radiation protection. Atomkernenergie 25, (1975), 303 .
- /3/ Richtlinie des Rates vom 18.10.1971 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Einheiten im Messwesen Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 243/29 vom 29.10.1971
- /4/ Comptes Rendus des Séances de la Quinzième Conférence Générale des Poids et Mesures, Paris, 27. Mai - 2. Juni 1975; Bureau International des Poids et Mesures, Pavillon de Breteuil, Sèvres, France .
- /5/ Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication No. 9 (Adopted September 17, 1965), Pergamon Press 1966 .
- /6/ A.R. Jones: Proposed calibration factors for various dosimeters at different energies. Health Phys. 12 (1966) 663.
- /7/ S. Wagner: Depth dose and quality factor for neutrons in radiation protection. Atomkernenergie (ATKE) 16 (1970) 243
- /8/ S. Wagner: Zur Problematik der "Personendosimetrie", Atomkernenergie (ATKE) 21, (1973), 153 .
- /9/ Radiation Quantities and Units; International Commission on Radiation Units and Measurements, Report 19, Washington 1971. Dose Equivalent; Supplement to Report 19, Washington 1973.
- /10/ General Principles of Monitoring for Radiation Protection of Workers. ICRP Publication 12, Pergamon Press 1969.
- /11/ Technical Recommendations for Monitoring the Exposure of Individuals to External Radiation. Commission of the European Communities, EUR 5287e, Luxemburg 1975 .
- /12/ Implications of Commission Recommendations that Doses be kept as Low as Readily Achievable, ICRP Publication 22, Pergamon Press 1973.
- /13/ W. Jacobi: Das "Man • Rem-Konzept" und seine Anwendbarkeit. Neuherberg 1976; private Mitteilung .
- /14/ H.J. Dunster: Collective Dose Equivalent: Harwell 1976; private Mitteilung .

DISKUSSION

Die Benutzung der Einheit "Gray" für die Equivalentdosis ist nicht allgemein akzeptiert. Das "Système international" gibt diesbezüglich keine klare Stellungnahme ab. Die Definition der Equivalentdosis scheint immer noch begriffliche Schwierigkeiten zu bereiten, sie ist die Energiedosis, die mit einem Qualitätsfaktor multipliziert wird. Dieser Faktor hat keine Dimension, er bewertet nur die Energiedosis für Strahlenschutz Zwecke und zwar so, dass Dosen verschiedener Strahlenarten addiert und mit gesetzlich festgelegten Grenzwerten verglichen werden können. Dieser Faktor dient nicht dazu, biologische Wirkungen abzuschätzen. Soll dieses geschehen, muss die Energiedosis ermittelt und eine Reihe weitere Informationen über Qualität der Strahlung, der spektralen Verteilung, usw. berücksichtigt werden. Der Strahlenschutz benötigt nur eine Grösse, die etwas über die Risiken aussagt, bzw. über die Wahrscheinlichkeit der Auslösung eines biologischen Effektes. Dem wurde entgegen gehalten, dass die Equivalentdosis nur eine Aussage über die Güte des Schutzes gibt, eine Risikoabschätzung aus dieser Grösse aber nicht möglich ist. Die Hauptgründe dagegen sind die nichtlineare Dosis-Effekt-Beziehung, die Abhängigkeit der Wirkung von der Dosisleistung und Verteilung.

Der Qualitätsfaktor ist nur für Strahlenschutzwerte definiert, was bedeutet, dass die Equivalentdosis nur bis zu den gesetzlich festgelegten Grenzwerten definiert ist.

Zwischen der Körperdosis bzw. Organdosis und der Anzeige des Dosimeters soll im Mittel die Abweichung nicht grösser als 25% sein. Diese Anforderung wird bei homogener Bestrahlung erfüllt, allerdings nicht in der Praxis, da selten eine homogene Bestrahlung vorliegt. Bei einer Bestrahlung mit bewegter Punktquelle kann für die Gonaden ein Unterschied bis zu Faktor 4 gegenüber einer homogenen Bestrahlung auftreten.

Das von der ICRU vorgeschlagene Kugelphantom wird kritisiert und als eine zu grobe Annäherung betrachtet. Für normale Strahlenschutz Zwecke dürfte das Konzept aber ausreichen. Dieses gilt nicht bei Dosisüberschreitung.

DISCUSSION

The use of the "gray" as the unit to measure dose equivalent was not universally accepted. The SI system offered no clear position in this respect. The definition of dose equivalent concept still seemed to pose problems; it was the product of the absorbed dose and a quality factor. The latter had no dimension; it merely indicated the absorbed dose for radiological protection purposes in such a way that doses of different radiation types could be aggregated and compared with legally fixed dose limits. This factor was not used to assess biological effects. If this was required, the absorbed dose had to be determined and a series of further data on the radiation quality, spectral distribution, etc, had also to be considered. Radiological protection required simply a quantity which gave some indication of the risks involved and/or the probability of triggering off some biological effect. This was countered, however, by the view that dose equivalent simply gave information about the quality of protection, but that a risk assessment was not possible on the basis of this quantity. The principal arguments against this are not the non-linear dose-effect relationship and the lack of correlation between the effect and the dose rate and distribution.

The quality factor was defined solely for radiological protection values; this meant that dose equivalent was defined only up to the legally prescribed dose limit values.

The deviation between the whole or partial body dose and the dosimeter count should on average not exceed 25%. This requirement was satisfied in cases of homogeneous exposure. It was seldom satisfied in practice, however, since very few cases of exposure were in fact homogeneous. The dose to the gonads could be up to four times greater with a moving point source than with a homogeneous exposure.

The "sphere" phantom proposed by the ICRP was criticized as being too approximate, though the concept should be adequate for normal radiological protection purposes. This was not valid when dose limits were exceeded.

DEFINITION, CONSERVATION ET TRANSFERT DES UNITES
UTILISEES EN METROLOGIE DES RAYONNEMENTS IONISANTS.
TACHES DES LABORATOIRES PRIMAIRES NATIONAUX

J.P. Guiho

Les méthodes de mesurage fondamental des grandeurs utilisées en métrologie des rayonnements ionisants nécessitent toujours la mise en oeuvre de techniques dont la complexité est telle qu'elles restent l'apanage de laboratoires très spécialisés.

Le physicien oeuvrant dans un laboratoire d'application des rayonnements ionisants est donc confronté à un problème à deux niveaux.

Le premier concerne le choix d'un détecteur qui doit:

- être adapté à la mesure de la grandeur physique considérée,
- se prêter à un étalonnage précis,
- être d'une utilisation pratique aisée,
- être fidèle et aussi peu sensible que possible aux grandeurs d'influence telle que l'énergie du rayonnement par exemple.

Le second concerne le mode d'obtention et de conservation de l'étalonnage du détecteur choisi.

Nous appellerons étalonnage l'ensemble des opérations ayant pour but d'établir une relation entre l'information délivrée par le détecteur et l'unité de grandeur recherchée.

La notion de bon étalonnage ou d'étalonnage correct est tout à fait subjective et il convient que nous cherchions à la mieux définir.

D'une façon générale, l'établissement du facteur d'étalonnage- ou facteur de correction de justesse - d'un instrument de mesurage s'obtient en déterminant l'erreur entre l'indication fournie par l'instrument et la valeur conventionnellement vraie de la grandeur recherchée, dans des conditions de référence données. C'est une caractéristique indispensable à tout instrument de par la définition même de la mesure:

"Comparer une grandeur à une grandeur de même type prise comme référence".

Selon le mode d'obtention de la valeur vraie de la grandeur considérée deux voies sont possibles pour déterminer ce facteur d'étalonnage:

- la première consiste à comparer l'instrument à l'étalon national soit directement soit par l'intermédiaire d'une procédure de transfert,
- la seconde à le comparer à un instrument considéré comme "absolu".

Cette seconde voie qui, à priori, peut sembler la plus séduisante n'est cependant pas celle qui offre le plus de garanties, elle exige en outre de gros investissements en temps et en équipements; on ne l'utilisera donc qu'en dernier recours lorsqu'il n'existe pas d'étalon d'usage dans le domaine considéré.

La comparaison même indirecte avec la référence nationale validée par des intercomparaisons internationales présentera au contraire la sécurité la plus grande si les procédures et méthodes de transfert sont convenablement choisies.

Dans certains pays de la Communauté Européenne ce dernier processus étant le plus souvent possible donc recommandé, nous allons examiner ce qu'il recouvre.

Il est clair qu'à l'échelon d'un pays l'ensemble des mesures, depuis l'étalon le plus élaboré jusqu'à l'instrument de mesure le plus simple, forme un tout qui doit être convenablement structuré afin de "répercuter la connaissance" avec le minimum de pertes.

Si pour diverses raisons les structures des systèmes mis en place dans chacun de ces pays diffèrent notablement au niveau de la conception, il est cependant possible de trouver au niveau de l'application certaines analogies dans les cheminements qui permettent la dissimulation des diverses unités utilisées en métrologie des rayonnements ionisants.

Nous trouvons schématiquement représentées - figure 1 - les différentes étapes du transfert de l'étalon national d'une unité donnée à l'instrument d'usage - (field instrument).

Selon la structure métrologique du pays considéré l'étalon secondaire est détenu, soit par le laboratoire primaire national, soit par un laboratoire secondaire d'étalonnage; dans ce dernier cas, il convient bien évidemment que le laboratoire primaire procède d'une part à un étalonnage périodique de cet étalon secondaire et d'autre part, assume le contrôle technique de l'activité du laboratoire d'étalonnage.

Le type de liaison existant entre les différents niveaux dépendant de la nature de l'étalon, des techniques de mesure utilisables, il serait nécessaire pour procéder à une analyse fine du transfert d'examiner le cas de chacune des grandeurs: activité, exposition, dose absorbée.

Sans entrer dans les méandres d'une classification subtile retenons trois voies principales et citons pour fixer les idées, trois exemples.

L'étalonnage d'un instrument d'usage peut être obtenu:

- par l'intermédiaire d'un détecteur de transfert, il s'agit par exemple du dosimètre au sulfate ferreux pour l'étalonnage de dosimètres,
- par comparaison directe à un étalon secondaire, cette procédure est largement utilisée pour l'étalonnage des exposimètres,
- à l'aide d'une source, procédure particulièrement bien adaptée pour l'unité de grandeur activité, étalonnage de chambre d'ionisation à puits, de compteurs...

sur le schéma figurent également les erreurs associées aux diverses étapes du transfert d'une unité. Les erreurs indicées 1 - 2 - 3 sont relatives respectivement à l'étalon primaire, à l'étalon secondaire, à l'instrument d'usage.

Nous allons maintenant examiner le rôle d'un laboratoire primaire au travers des missions qui lui sont confiées par le gouvernement dont il relève.

Un laboratoire primaire est, pour certaines ou l'ensemble des unités, le gardien des étalons nationaux correspondants. A ce titre il est chargé:

- d'en assurer la conservation et l'amélioration constante. Ce dernier point implique la présence en son sein d'équipes capables d'entreprendre, pour le domaine de la métrologie qui nous concerne, des études portant sur des constantes nucléaires et radiométrologiques telles que périodes, schémas de désintégration, énergies moyennes nécessaires pour créer une paire d'ions dans un gaz... Ces données sont en effet essentielles pour améliorer, soit la qualité des étalons primaires, soit leur transfert à des références secondaires ou tertiaires,
- de valider les qualités métrologiques de ses étalons en participant aux comparaisons organisées par le BIPM et en procédant éventuellement à des intercomparaisons bilatérales avec d'autres laboratoires nationaux,
- d'améliorer et d'assurer, soit directement, soit par l'intermédiaire de laboratoires secondaires la dissémination des unités dont il a en garde les étalons primaires correspondants.

Avant de revenir sur le concept des étalons et afin d'illustrer ce qui a été dit précédemment quant aux structures, nous allons brièvement examiner, à titre d'exemple, l'organisation française.

En France, les actions des laboratoires officiels ayant une activité métrologique, sont coordonnées par le bureau National de Métrologie - B.N.M. - Dans le but de répercuter la connaissance avec le minimum de pertes, le B.N.M. a défini le concept de "chaîne d'étalonnage" et choisi les laboratoires figurant aux différents niveaux de cette chaîne. Chaque maillon correspondant à un niveau d'étalon et à un organe exécutif bien définis, il est possible d'en dégager le schéma général en distinguant les différents niveaux

Au niveau 1 se trouve le laboratoire primaire.

Ses missions recouvrent celles que nous avons examinées précédemment: conservation, amélioration et comparaisons des étalons nationaux avec d'autres étalons de même niveau; dissémination des unités correspondantes. Sauf cas particuliers, il n'étalonne pas directement des instruments d'usage.

Au niveau 2 on trouve les centres d'étalonnage.

Ces laboratoires sont les interlocuteurs directs de l'utilisateur ou du constructeur d'instruments de mesure.

Ils procèdent aux étalonnages des appareils de mesure grâce aux références et aux moyens dont il disposent. Leurs étalons sont naturellement raccordés aux étalons nationaux détenus par le laboratoire primaire.

Ils délivrent des certificats d'étalonnage qui bénéficient d'une reconnaissance officielle. Leur mission présente donc un aspect de service public et les étalonnages sont garantis à tout organisme ou personne qui en fait la demande.

Au niveau 3 on trouve les services de métrologie habilités.

Un certain nombre de sociétés ou d'organismes, ayant une activité dont la métrologie présente une part importante ou constitue la condition nécessaire au développement d'une fabrication, ont été amenés à créer des services internes de métrologie.

Le B.N.M. a institué une procédure d'habilitation qui permet à ces services de métrologie d'obtenir une reconnaissance officielle des moyens d'étalonnage dont ils disposent et qui sont indispensables à l'accomplissement de la mission des organismes ou au développement de l'activité des sociétés dont ils dépendent.

Les étalonnages effectués par un service de métrologie habilité n'engagent pas la responsabilité du B.N.M.

Telles sont les grandes lignes de la structure de la métrologie en France; cependant, pour être complet, il convient de préciser qu'il existe quatre chaînes d'étalonnage dont les domaines et les laboratoires primaires respectifs sont donnés à la figure 2.

Avant d'aller plus en avant dans la description des étalons et de leurs transferts, il nous semble important de faire observer que le choix, par un laboratoire primaire, de la nature d'un étalon national ne constitue pas un problème simple. Nous savons en effet qu'il n'existe pas de concept officiel pour définir ce que doit être un étalon primaire. On peut toutefois considérer qu'il possède un certain nombre de qualités en particulier être exact, universel, immuable et transférable.

- L'exactitude devra bien entendu être la meilleure possible. Il est à cet égard souhaitable que, pour l'étalon primaire, elle soit d'un ordre de grandeur meilleure que celle nécessaire aux utilisateurs et ceci en raison de l'accumulation des erreurs au cours des transferts successifs - figure 1.
- L'universalité est un objectif à atteindre. En se plaçant sur un plan de coordination et d'harmonisation des mesures il est séduisant de chercher à disposer d'un étalon primaire unique par unité. Toutefois en raison de la variété de nature et d'énergie des rayonnements ionisants, de la dynamique des domaines de mesure, il semble vain d'espérer atteindre ce but.
- L'immuabilité est un critère fondamental pour un étalon, encore faut-il s'entendre sur la signification à donner à ce terme. En regard à l'évolution permanente de la science, rien n'est immuable, il suffit pour s'en convaincre d'examiner l'évolution historique des étalons primaires de longueurs. C'est pourquoi il semble plus raisonnable de substituer à la notion d'immuabilité celle de pérennité satisfaisante.
- Le problème du transfert de l'étalon primaire aux étalons secondaires puis aux instruments d'usage peut sembler a priori moins important que les précédents car, somme toute, le transfert se trouve en aval de l'étalon primaire et peut être traité de manière quasi indépendante. A notre sens, au

contraire, le problème du transfert est fondamental et toute démarche conduisant à la conception d'un étalon doit impérativement tenir compte des possibilités des méthodes de transfert existantes ou concevables.

A partir de ces considérations générales observons qu'il n'est pas surprenant que les divers laboratoires primaires aient parfois retenu des solutions différentes pour choisir la nature de leurs étalons.

Nous allons maintenant examiner respectivement pour les grandeurs activité, exposition et dose absorbée les types d'étalons et les procédures de transferts utilisés.

En radioprotection, l'unité de la grandeur activité présente un intérêt marqué car après identification du radionucléide il convient de déterminer la quantité, par unité de volume ou de surface, ayant donné lieu à une contamination afin de la comparer aux concentrations maximales admissibles.

Les étalons de Radium (Curie, Hönig-Schmidt) qui, par le passé ont joué un rôle important, ne présentent maintenant qu'un intérêt historique car, d'une part ils ne correspondent plus à la définition de la grandeur et, d'autre part, ne permettent le transfert de l'unité que dans des cas très particuliers.

Compte-tenu de la variété des modes de désintégration des radionucléides naturels ou artificiels, les laboratoires primaires ont à mettre en oeuvre et à améliorer un grand nombre de techniques permettant des mesures fondamentales de l'activité. Citons pour mémoire: la méthode des coïncidences $4\pi \beta-\gamma$ la méthode de l'angle solide défini applicable uniquement aux radionucléides émetteurs α , la scintillation en phase liquide utilisée pour les émetteurs β purs...

Selon le laboratoire et pour chaque mode de désintégration, l'étalon primaire est soit un instrument de mesure approprié soit une source donnée d'un radionucléide, choisi notamment en raison de son schéma de désintégration et de sa période.

Dans la majorité des cas, le transfert entre l'étalon national et l'instrument d'usage peut s'effectuer par l'intermédiaire de sources étalons secondaires délivrées par le laboratoire primaire. Afin de répondre aux besoins, certains laboratoires primaires proposent une grande variété de sources de types différents se présentant en phase solide, liquide ou gazeuse. Pour plus de 80 radionucléides il est ainsi possible de se procurer des sources dont l'activité peut varier de quelques Bq à quelques 10^8 Bq.

Ces sources étalons secondaires connues avec une précision variant, selon le radionucléide, de quelque pour mille à quelques pour cent permettent le transfert de l'unité d'activité à la plupart des instruments d'usage utilisés en radioprotection: chambres d'ionisation, spectromètres α , X, γ , spectromètres à scintillation liquide, détecteurs de gaz radioactifs....

En ce qui concerne la grandeur exposition les étalons primaires nationaux sont soit des détecteurs: chambres d'ionisation à parois d'air et chambres d'ionisation à cavité selon le domaine d'énergie, soit des faisceaux de photons ayant pour origine des sources radioactives choisies en raison de l'énergie et de la période du radionucléide. L'exactitude de ces étalons primaires est de l'ordre de 1 %.

La procédure de dissémination de l'unité d'exposition généralement utilisée, consiste à comparer l'instrument d'usage à un étalon secondaire détenu ou non par le laboratoire primaire. L'exactitude de cet étalonnage dépend naturellement des qualités intrinsèques de l'exposimètre cependant on peut, pour fixer les idées, indiquer qu'elle est de l'ordre de 2,5 à 3 % pour un instrument de bonne classe.

Dans ce domaine de la métrologie il semble que la précision obtenue en fin du transfert de l'unité, c'est à dire au niveau de l'utilisation d'un instrument d'usage, est satisfaisante pour la majorité des applications notamment en radioprotection.

La dose absorbée est, bien entendu, une grandeur tout à fait essentielle en radioprotection. Observons:

- 1° - que la réalisation d'un étalon primaire de l'unité de cette grandeur présente des difficultés liées à la mise en oeuvre de la calorimétrie seule technique de mesure fondamentale.
- 2° - que le choix de la nature d'un étalon est délicat en raison du fait que cette grandeur est valable quel que soit le type de radiations et quelles que soient la nature et la forme du milieu irradié.

Depuis plusieurs années quelques laboratoires primaires dont le P.T.B., le N.P.L., le L.M.R.I. ont étudié et réalisé des calorimètres en graphite puis les ont mis en oeuvre dans des champs de photons issus de sources au ^{60}Co et au ^{137}Cs . Depuis peu, ces mêmes laboratoires ont mis en service des accélérateurs linéaires qui leur permettent de poursuivre, dans des champs d'X et d'électrons de haute énergie, des travaux sur la réalisation et le transfert de l'unité de dose absorbée.

Pour les photons issus de sources au ^{60}Co et au ^{137}Cs puis, sous certaines réserves, pour les faisceaux d'X et d'électrons pouvant atteindre des énergies de plusieurs dizaines de MeV, la dissémination du Gray s'effectue principalement à l'aide d'un détecteur de transfert: le dosimètre au sulfate ferreux; le milieu de référence retenu est l'eau.

Notons qu'une particularité importante de cette méthode de transfert consiste à ce que l'étalonnage d'un instrument d'usage s'effectue dans le propre faisceau de l'utilisateur, c'est à dire, dans ces conditions aussi voisines que possible de celles de son emploi.

En ce qui concerne le rayonnement β le transfert s'effectue au moyen de sources au $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$, ^{204}Tl ... préalablement étalonnées par le laboratoire primaire.

Avec les neutrons nous allons aborder un dernier volet de la métrologie des rayonnements ionisants.

Si plusieurs laboratoires primaires ont réalisé des références de flux dans les domaines des neutrons thermiques et rapides et délivrent en outre des sources de neutrons étalonnées par la méthode du bain de manganèse, aucun à ce jour n'a défini d'étalon dans le domaine proprement dit de la dosimétrie.

Toutefois, il faut noter que certains d'entre eux, entreprennent des programmes d'études pour établir un étalon et définir les dispositifs de transfert nécessaires.

La spectrométrie par proton de recul est par ailleurs développée, notamment au L.M.R.I., pour caractériser en fluence différentielle en énergie des champs de neutrons.

Compte tenu des nécessités qui se manifestent dans les domaines des applications médicales et de la radioprotection, il est vraisemblable que la métrologie des neutrons connaîtra un développement important au cours de ces prochaines années.

Ce survol de l'activité et du rôle des laboratoires nationaux serait incomplet si nous n'évoquions les contributions qu'ils apportent à la détermination expérimentale et à l'évaluation de constantes nucléaires et radiométrologiques.

L'amélioration de la qualité des étalons primaires et du transfert de ceux-ci à des références secondaires puis à l'instrument d'usage passe en effet par une meilleure connaissance de données telles que:

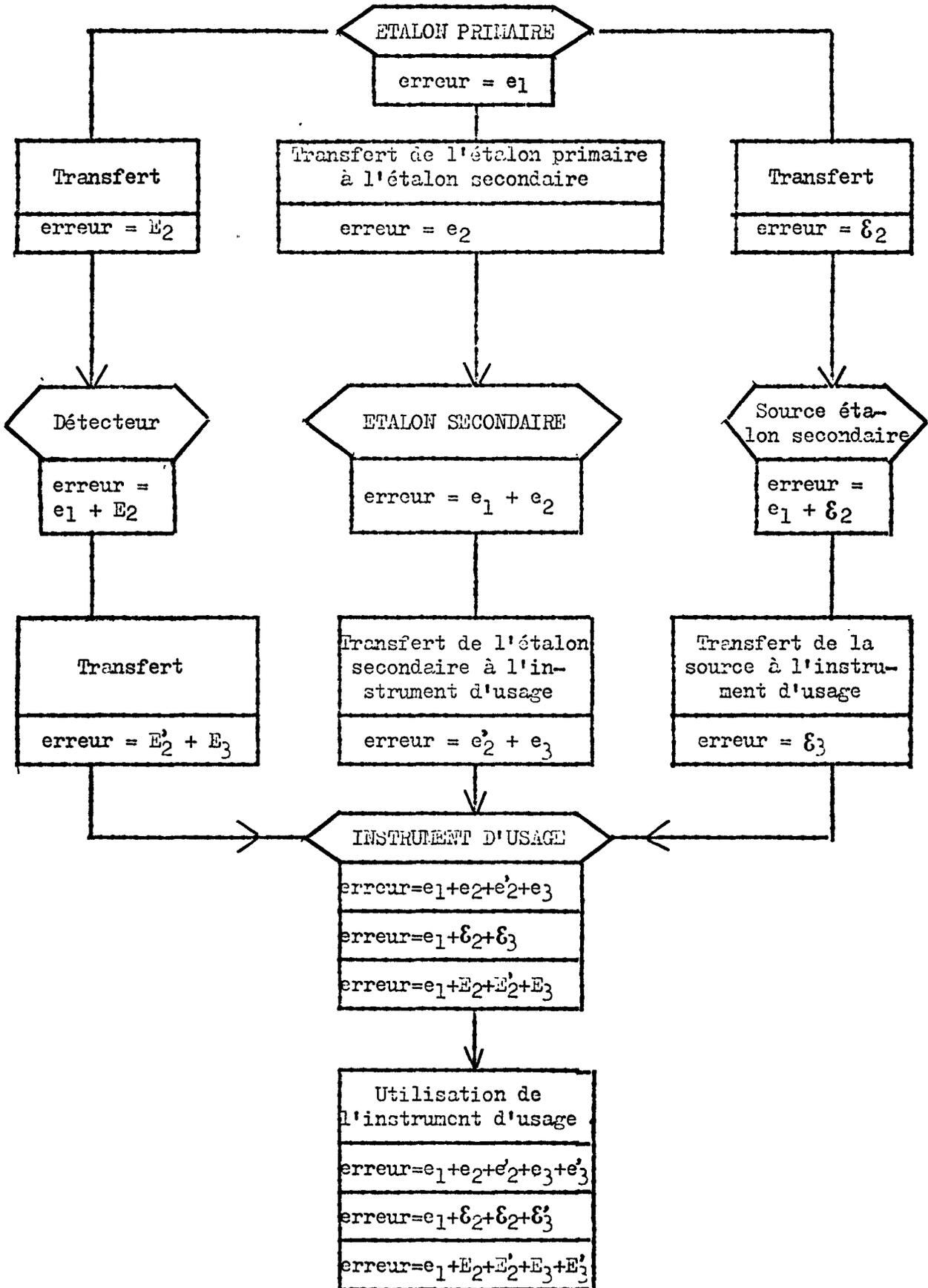
- période, intensités d'émission, coefficient de conversion interne, énergies des rayonnements émis, en ce qui concerne l'unité de la grandeur activité,
- énergies moyennes pour créer une paire d'ions dans différents gaz, rendements radiochimiques ... pour l'unité de dose absorbée.

Par ailleurs, ainsi que nous l'avons déjà mentionné, les laboratoires primaires doivent "valider" leurs étalons en les comparant à des étalons de même niveau. Ces comparaisons s'effectuent, en général, par le canal du Bureau International des Poids et Mesures - B.I.P.M. - qui organise déjà depuis plusieurs décennies des comparaisons pour les unités des grandeurs activité et exposition. Toujours au B.I.P.M. débutera, à la fin de cette année, une première campagne de comparaisons de l'unité de dose absorbée, elle s'effectuera dans un faisceau au Cobalt-60.

Cet aperçu sur la métrologie des rayonnements ionisants, évidemment incomplet compte tenu de la complexité et de l'étendue du domaine, montre les problèmes qui se posent, tant sur le plan fondamental qu'appliqué, et les moyens mis en oeuvre pour les résoudre.

Bien que les législations concernant l'étalonnage des instruments de mesure utilisés tant en radioprotection que pour les applications médicales diffèrent dans les pays de la Communauté Européenne, il faut souhaiter que s'instaure, dans chacun de ces pays, un dialogue toujours plus approfondi entre les organismes de normalisation, les utilisateurs et les laboratoires qui ont en charge la métrologie afin notamment de définir des conditions d'étalonnage adaptées aux contraintes particulières de la radioprotection.

ETAPES ET ACCUMULATION DES ERREURS
AU COURS DU TRANSFERT D'UNE UNITE DONNEE



B . N . M

Conseil de Direction
Conseil Scientifique
Secrétariat Général

Niveau 1
Laboratoires
Primaires

I.N.M
m, kg...

L.C.I.E
A, Ω, F, Wb...

L.M.R.I
Ci, R, rad

Observatoire de
Paris s, Hz

Niveau 2 Centres d'Etalonnage

C.E

C.E

Niveau 3 Services de Métrologie Habilités

S.M.H

S.M.H

Niveau 4 Utilisateurs

Utilisateurs

DISKUSSION

Die Genauigkeit der Kalibrierung liegt bei 2 bis 3% für gute Messinstrumente, wie sie für die Strahlentherapie benutzt werden. Für Strahlenschutzinstrumente sind diese Werte nicht zu erreichen. Wenn trotzdem bei der Weichstrahlentherapie Messfehler auftraten, die bis zu 50% betragen können, liegt es an der unsachgemässen Verwendung der Messinstrumente. Diese Messinstrumente werden von den Primärlaboratorien frei Luft kalibriert, hingegen die Messung aber am Menschen durchgeführt.

Die einzige direkte Methode zur Bestimmung der Energiedosen ist die Kalorimetrie. Die Dosen liegen aber sehr hoch. Um eine Genauigkeit von ca. 1% zu erreichen und eine Temperaturänderung von 10^{-5} °C/min zu erhalten, ist mit einer Kobaltquelle von 1 kCi in einem Meter Abstand zu bestrahlen, die Dosis liegt dann bei ca. 1 krad. Probleme, die durch Wärmeverlust, durch Gitterversetzungen bzw. chemische Reaktionen auftreten, sind bei der Strahlung von Kobalt gering und vernachlässigbar.

Die Genauigkeitsanforderung an Strahlenschutzdosimeter sollte nicht überspannt werden. Für die Radiotherapie ist die Genauigkeit der Messinstrumente nicht immer ausreichend. Hingegen sind wir für normale Strahlenschutz Zwecke und für normal auftretende Bestrahlungen messtechnisch gut ausgerüstet, mit Ausnahme der Neutronen und der Beta-Dosimetrie.

DISCUSSION

Calibration was accurate to within 2-3% for good equipment such as that used for radiotherapy. This accuracy could not be achieved for equipment used in radiological protection. If measuring errors of up to 50% had been found in soft radiation therapy, this was due to incorrect use of the equipment. These instruments were calibrated by the primary laboratories free in air, whereas the measurements taken with them were carried out on human beings.

The only direct method of measuring the absorbed dose was by calorimetry. The doses were very high, however. In order to achieve accuracy to 1% and to maintain a temperature change of 10^{-5} °C/min, a cobalt source of 1 kCi placed at a distance of 1 m had to be used; the approximate dose was then 1 krad. Problems of heat loss, lattice disturbance and chemical reactions were negligible in the case of cobalt radiation and could be ignored.

The accuracy requirements of dosimeters for the purposes of radiological protection should not be made too stringent. In the case of radiotherapy, the accuracy of the measuring equipment was not always adequate. We were, however, well equipped for the normal requirements of radiological protection and the usual types of exposure, though not for neutron and β -ray dosimetry.

TASKS OF THE SECONDARY STANDARD LABORATORIES

G. Busuoli

1. Introduction

I have been requested to prepare a paper on this special subject that I will deal with only in a very limited way. This is due to the fact that I don't think to be the most expert person about the situation of the secondary standard laboratories. However I know that among the bystanders there are persons who can discuss this matter with some more detail and complete my paper with their own data.

Thus I will limit myself to illustrate the Italian situation and particularly the philosophy adopted at the Health Physics Laboratory of Bologna and suggested by us in connection with the standardization for radiation protection in my country. Finally I will try to express my point of view on the new SI units due to the role they play in a secondary standard laboratory.

2. The health physics laboratory of Bologna

The CNEN laboratory of Bologna mainly consists of two groups:

- a) radioactive aerosol group involved in problem of aerosol production, characterization and inhalation toxicology;
- b) external personal dosimetry group, mainly involved in applications to personal radiation protection.

Fig. 1 summarizes in a block diagram the activities of the laboratory. In particular, as concerns dosimetry, a personal dosimetry service is managed both for employers internal and external to CNEN with all kinds of personal dosimeters such as badges, rings, criticality etc. The research activities are mainly addressed to study and set-up new methods useful in routine dosimetry.

Moreover, among the different activities of the Bologna laboratory, a place of primary importance has been ever covered by the set up of calibration and irradiation facilities with reliabilities at the level of a secondary standard. This need has been derived both from the routine calibrations performed by the laboratory and from the research problems encountered in the field of personal dosimetry. We devoted many efforts in order to set up all the instrumentation available at present. Now we have the impression to have reached our goal and hence to dispose of a valid secondary standard facility.

As previously said, the trend impressed in setting up our calibration and irradiation instrumentation has ever been the one of a secondary standard. The analyses made many times to control if our choice was justified by the practical requirements, have ever confirmed the validity of it in ideal opposition to the realization of a primary standard to be used in radiation protection.

We think that our choice is still justified as I think that in my country do not exist so peculiar needs to request the creation of a facility so compelling and expensive as a primary standard laboratory. It is sufficient to have the possibility to strictly collaborate with different already existing European laboratories, as we ever tried to do, in order to guarantee the reliability of the calibration and irradiation facilities. Of course it is necessary to guarantee ever the cooperation with such institutions that I would define supranational; the way to obtain this task can be derived in my opinion from the Commission of the European Communities which should continue the coordination work started since many years firstly through the personal dosimeter intercomparisons and recently through the experimental meetings at different European laboratories (TLD workshop of Bologna and the experimental irradiations to 9 MeV gammas performed at Fontenay-aux-Roses).

Now I will present briefly the main calibration and irradiation facilities of the Health Physics Laboratory of Bologna.

Fig. 2 shows the X-ray tubes working at constant potential: one in the range from 10 to 100 KV, 10 mA and with Be window (low inherent filtration); the other from 100 to 400 KV, 10 mA and with an inherent filtration of 6.6 mm Al.

The beam qualities, i.e. the equivalent energy of the X-rays emerging from the tubes are determined by the half-value layers. All the beams have a homogeneity factor in the range 0.8 - 0.9 and are collimated in such a way to satisfy ISO recommendations on the scattered radiation.

As concerns gamma-ray sources, the laboratory normally uses two collimated sources, one of Co-60 and the other of Cs-137, placed in shielded containers (fig.3) facing, as the X-ray beams, an optical bench on which it is possible to position the different ionization chambers and the dosimeters to be irradiated. Sealed sources of Ra-226, Cs-137 and Co-60 calibrated within $\pm 5\%$ can be used in connection with the irradiation facility shown in fig. 4.

In the laboratory we have also sealed neutron sources with different mean energies from 0.2 to 5 MeV. The irradiations with fast neutrons are performed with the sealed sources in free air, while slow neutron fluences can be obtained by placing Am-Be sources inside hydrogenated media such as a water tank or a polyethylene cube (fig. 5). We do not dispose of intermediate neutron facilities since for budget considerations we try to use special apparatuses properly set-up in Italian or European laboratories in line with the previous considerations. Here again the help and the financial support of the European Commission will greatly contribute to the solution of research problems and also in saving money for the different external users.

Now let me put a question: how could the laboratories be arranged in a next future in order to guarantee reliable standards for the radiation protection? The proposable models are very many as, for example the one to try to solve in the frame of each Country every problem of primary metrology not taking into account the possibilities offered by different already existing organizations or laboratories and which are ready to be used on a multinational basis.

In my opinion it would be logic to try to organize a structure at the Euratom level rising from a strict collaboration among all existing laboratories in order to have a rapid dissemination of the information about the facilities, irradiation and calibration possibilities, etc.

In this way it would be possible to save money and, in the sametime, the facilities already existing would be used more intensively, giving moreover the possibility to set-up in the other countries only what would really be requested for a level of reliability useful in connection with the Country needs.

Taking into account the above considerations I would like to make the proposal to constitute a working group inside Euratom in order to perform a European census of the facilities available e.g. as secondary standards. Moreover this group could collect and draft recommendations in order to define the structure of those laboratories operating or intending to operate in this field.

This means, of course, to have a financial support from the European Community and to meet a number of times, and this is not a pleasant task for the participants in the group, but I think that the work performed would result extremely useful for the radiation protection standardization. Perhaps something has already been done in this field by the IAEA; however, I consider useful to transfer it to a European level as I feel that it is the basis for a constant improvement of the work in our field of activities.

3. The SI units in practical radiation protection

Let me say now two words about the problem of the SI units used in radiation protection dosimetry.

The primary and secondary standard laboratories will be, of course, the first to adopt these new units. From the scientific point of view certainly these changes are widely justified and the adoption of SI system means a better coherence and unification among those who operate in different fields of the physics. However I consider that from a practical point of view, the new system can induce some perplexities in the employers. In fact it has to be taken into account that every one is now confidential with the old special practical units and their modification will mean a new training for thousands of operators in the field of radiology and of radiation protection in order to become confidential and to work with the new units. From my personal experience, deriving from contacts particularly with radiologists, I could say that lately they started to express correctly in terms of practical units, and this derived from the ever increasing contact with the radioprotectionists i.e. with those who daily have to deal with these concepts. Now the deep modification of the units could contribute, in my opinion, to create confusion in the practical work with implications also on the radiation protection.

Personally I agree with ICRU that recommends to let elapse a 10 years period before introducing in practice the new SI units and renouncing completely to the old ones. Anyway the recommendation states to begin to use the new units since now together with the practical units in order to accostum gradually the employers to the new language. During a meeting of a Euratom working group, the same trend was expressed by the different participants. As a final note, I think that this same line will be followed in Italy as I had the opportunity to deduce from informal talks with colleagues working in different environments.

It is well known that in other European countries the new SI units will be introduced in practice from 1978 as stated by governmental laws. On this subject I must put a question: how have been solved there the practical questions connected with the use of the new system? What is the present and future situation in the different European countries?

Conclusions

As a conclusion of this short paper I would like to underline again mainly two concepts.

The former, that I consider very important, concerns the possibility to establish and maintain connections among the different European laboratories having complementary competences. To this purpose, as I have already said (but I wish to insist) an important role is covered by the Commission of the European Communities that must promote a coordination between the activities and sustain from the financial point of view either the efforts to set-up facilities where they are missing or to maintain the reliability of those existing .

The latter concept deals with the new SI units; two words more to underline again the necessity to introduce them gradually in the practice in order to allow a replacement of the old system without dealing with large expenses of reorganization.

DISKUSSION

Bevor die neuen SI-Einheiten eingeführt werden, muss eine Reihe von Problemen gelöst werden. Die Grösse Ionendosis (exposure) hat in dem neuen System keine eigene Einheit mehr. Da diese Grösse für die Primärstandardlaboratorien ihre Bedeutung beibehalten wird, muss geklärt werden, ob für sie eine eigene Einheit beibehalten werden soll, oder ob sie durch eine Grösse wie z.B. Energiedosis in Luft bei Elektronengleichgewicht, deren Einheit das Gray sein könnte, ersetzt wird. Der Umrechnungsfaktor beträgt 33,7 eV.

Die Teilnehmer haben verschiedene Auffassungen und es wird an die Schwierigkeiten erinnert, die die Einführung der Energiedosis in den dreissiger Jahren brachte. Der Vorschlag zur Bildung einer Arbeitsgruppe, die sich mit der Kalibrierung von Strahlenschutzmessgeräten befassen soll, wird von allen begrüsst; diese Gruppe soll auch Probleme der Grössen behandeln.

DISCUSSION

Before the new SI units were introduced, a series of problems had to be solved. In the new system the quantity exposure had no separate unit. As this quantity would remain significant to the primary standard laboratories, it must be decided whether its own unit was to be retained for it or whether it should be replaced by another quantity e.g. the absorbed dose free in air in conditions of electron equilibrium, the unit of which could be the gray. The conversion factor was 33.7 eV.

The participants expressed a variety of opinions, and mention was made of the problems which arose when the concept of absorbed dose was introduced in the 1930s. There was unanimous approval of the proposal to set up a working party to deal with the calibration of radiation measuring equipment. The working party would also tackle problems of quantities.

THE ROLE OF THE INTERCOMPARISON PROGRAMMES
IN THE DISSEMINATION OF UNITS

P. Christensen

Introduction

Reliable and accurate dosimetry requires properly calibrated and rechecked measuring instruments. The aim of intercomparison programmes is to improve practical measurement performance by critical studies of techniques and procedures and by interchanging of the knowledge gained from the studies. Thus intercomparison programmes when carried out on a broad scale play an important role in the dissemination of a homogeneous dosimetry practice.

In this paper some of the benefits which may be drawn from intercomparison programmes are discussed and some experimental results obtained from recent european programmes on photodosimetry are presented.

Performance Tests

"Performance test" is the general term for intercomparison programmes with the objective of testing the performances of routinely used dosimetry systems or irradiation procedures(1). Generally one or more international primary standard laboratory are involved in order to ensure high accuracy in the test exposures.

Performance tests give the participants the opportunity for an overall judgement of the accuracy of the dosimetry practice running at the individual laboratory. The appearance of results significantly diverging from the true values incites participants to re-examinations of procedure and technique. Thus periodic performance tests, when carried out on a broad scale, gradually lead to an over-all improvement of the homogeneity of dosimetry practice and will in addition encourage the participants to new investigations and thereby enhancing their capabilities.

Continued participation in performance tests with good results contributes to a strengthening of the confidence in the methods involved. This may especially be valuable in the dissemination of new techniques the acceptance of which often are impeded by general conservatism and ignorance.

An important factor in performance tests is the subsequent information about the results. A meeting like the present one, where the results are layed out for discussion is of great value for the participant in examining the state of the dosimetry practice running at his own laboratory.

Intercomparison Study Projects

The second category of intercomparison programmes, here termed "intercomparison study projects" are carried out with the aim to focus on specific parameters which are essential for the whole performance of the dosimetry system. Examples are the two workshops recently held in Bologna and Fontenay-aux-Roses with the studies concentrated on measurement precisions (2) and energy dependence of dosimeters, respectively.

In that kind of projects the participants get special possibilities for analyzing and comparing specific characteristics of their dosimetry practice. Judgement of the results is here facilitated by use of common irradiation facilities.

Furthermore co-operation in this way makes specialized and therefore often expensive facilities available for experiments which otherwise would be difficult to perform for an individual laboratory because of limitations in money and personnel.

Finally the benefit obtained in the exchange of practical experience in procedures and technical developments is very important for creation of progress within the area.

Experimental Results

To illustrate some of the points mentioned above with reference to an individual laboratory a few experimental results taken from our participation in the recent EC photon intercomparison programmes are presented. The personnel β/γ monitoring procedure at Risø was changed from film to TLD at the beginning of 1975 as a result of some years intense effort put in the development of an automatic TLD-system including a personnel TLD-badge (3). The photon intercomparison programmes thus offered an attractive opportunity for further investigation of this new system.

The results from the EC photon intercomparison programme/1975 shown in figure 1 and 2 were obtained with a dosimeter combination normally applied for β/γ dosimetry at Risø e.g. two 24 mg, 4.55 ϕ x 0.5 mm $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$: Mn Tablets (Risø) and one 24 mg, 3.2 x 3.2 x 0.8 mm LiF (TLD-700) chip (Harshaw). In addition a 28 mg, 3.2 x 3.2 x 0.9 mm CaF_2 : Dy (TLD-200) chip (Harshaw) was included for photon-energy evaluations. It appears from fig. 1 that only one estimate is beyond the $\pm 20\%$ limit. The diverging point represents a mixture of ^{60}Co - and low-energy photon exposures and the result can not be explained by inaccuracy in the measurements. In fig. 2 an estimate of the deviation from the true value as a function of photon energy has been made. The underestimations obtained for the ^{60}Co -exposures are probably due to the use of collimated and thus more or less electron-free beams, for the exposures, a fact which was also observed at the EC-Bologna workshop/1973. The over-response found at about 200 keV may be due to an extra dose contribution caused by scattered compton photons, similar to the observations made earlier for the energy region below 100 keV (4). Further energy-dependence studies at the EC-Fontenay-aux-Roses workshop/1975 (fig. 3 and 4) confirmed the presence of a 10-15% overresponse at 200 keV. For exposure to 9-MeV photons the badge underestimated the dose by about 100% which agreed well with the results reported by Troesch et al. (5) and caused by insufficient mass present in the badge for the establishment of electronic equilibrium. Fig. 5 shows an intercomparison of the energy dependence of LiF- and $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ Mn when exposed in 0.2 mm polyethylene bags and with electronic equilibrium conditions fully satisfied. The decrease in response observed at 9 MeV photon exposures seems here to be a few per cent higher than normally reported for high-energy photons and theoretically explained through cavity theory calculations (6,7). In fig. 6 the energy dependence curves shown in fig. 3 are compared with similar curves obtained earlier at Fontenay-aux-Roses for the Karlsruhe personnel TLD-badge (8). These curves clearly demonstrate how two badge constructions with quite similar amounts of mass built-in for shielding purposes may differ in response probably due to differences in

absorption- and scatter characteristics of the shielding material. Fig. 7 gives the energy-dependence of a thin-walled ionization chamber used at Risø as a standard chamber for calibration of X- and γ -ray fields. Data according to the producer (Dr. Püchlau) obtained for filtered X-rays are here compared with the corresponding values for monochromatic X-rays obtained at Fontenay-aux-Roses.

Conclusion

Summarizing the points stated above it is concluded that intercomparison programmes when carried out on a broad scale play an important role in the dissemination of a homogenous dosimetry practice and thus that a continuation of the progress now running in this field is of great value for further improvements of accuracy in dosimetry.

References

1. Ehrlich M., Dosimetry Performance Tests, IAEA-PL-479/8, Proceedings of a Panel on National and International Radiation Dose Intercomparisons, IAEA and WHO, Vienna (1971).
2. Proceedings of the Workshop on Thermoluminescence Dosimetry, Bologna, (1974) (under publication).
3. Bøtter-Jensen, L., Christensen, P. and Majborn B., A TLD Personnel Monitoring System with Automatic Processing, 3. Int. Congr. of IRPA, Washington, D.C. USA, (Sept. 1973).
4. Christensen P., Bøtter-Jensen and Majborn B., The Response of Thermoluminescence Dosimeters to Monoenergetic Photons of Energies between 16 keV and 100 keV, Risø-M-1787, (1975).
5. Troesch, Lasseur, Bermann and Gaulard, 9 MeV γ Reference Beam for Detectors Calibration, 3. European IRPA Congress, Amsterdam, Netherlands (1975).
6. Almond P.R., and McCray K., The Energy Response of LiF, CaF₂ and Li₂B₄O₇: Mn to High Energy Radiations, Phys. Med. Biol., 1970 Vol. 15, No. 2, 335/342.
7. Turner A.P. and Andersen D.W., Thermoluminescent Response of Lithium Fluoride to High Energy Photons, Phys. Med. Biol., 1973, Vol. 18, No. 1, 46-52.
8. Piesch E., CEC Doc. No 3637/74e (1974).

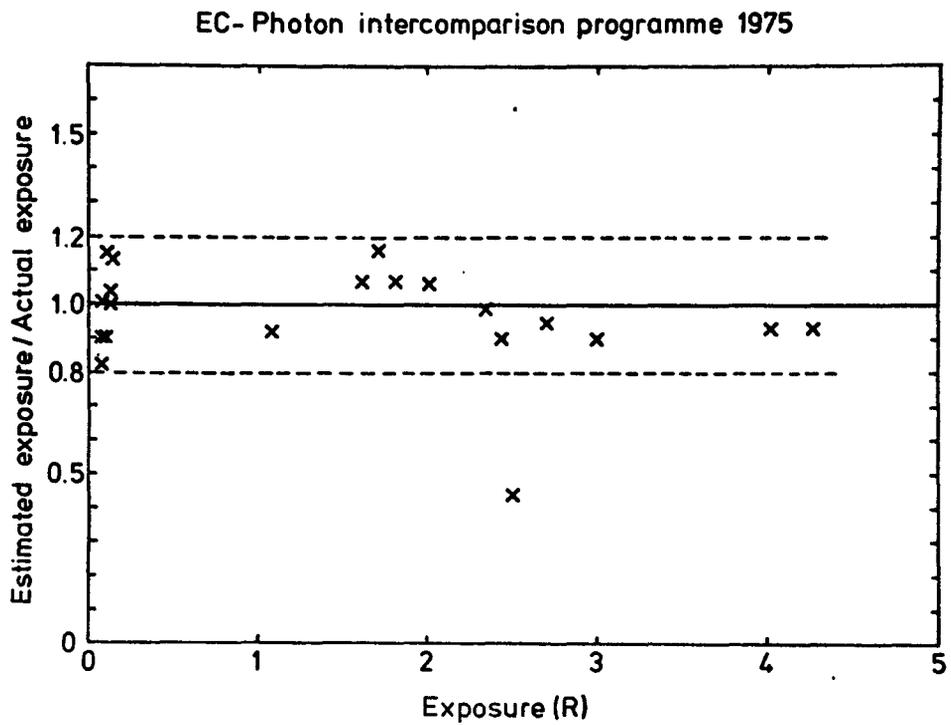


Fig. 1. Risø data from EC-photon intercomparison programme/1975 as a function of exposure.

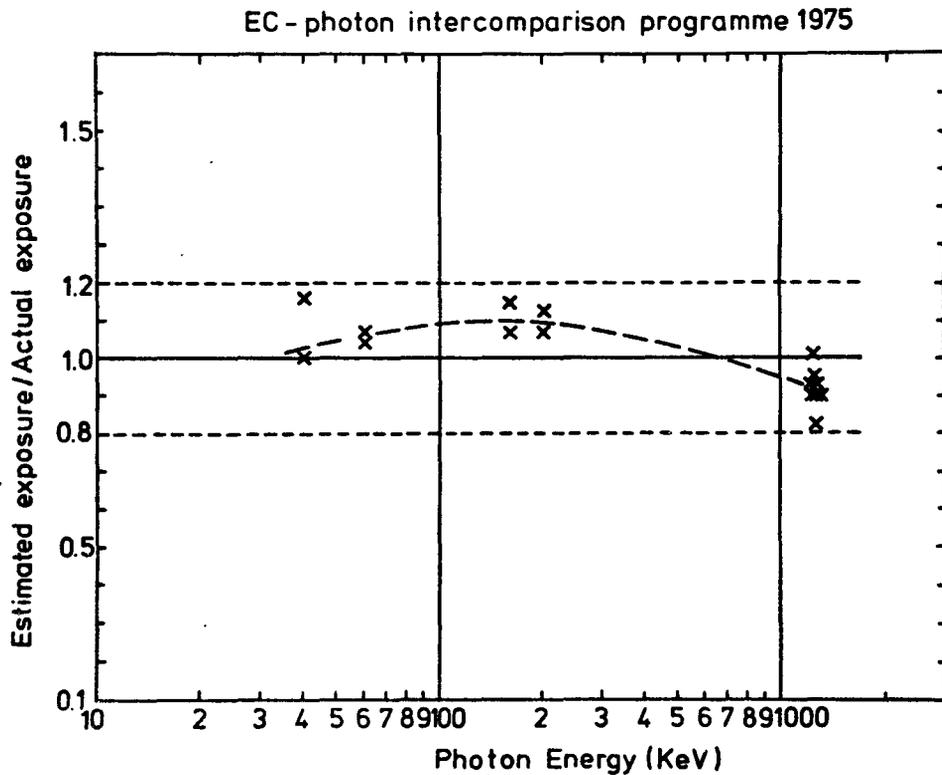


Fig. 2. Risø data from EC-photon intercomparison programme/1975 as a function of photon energy. Mixed ^{60}Co /X-ray data excluded.

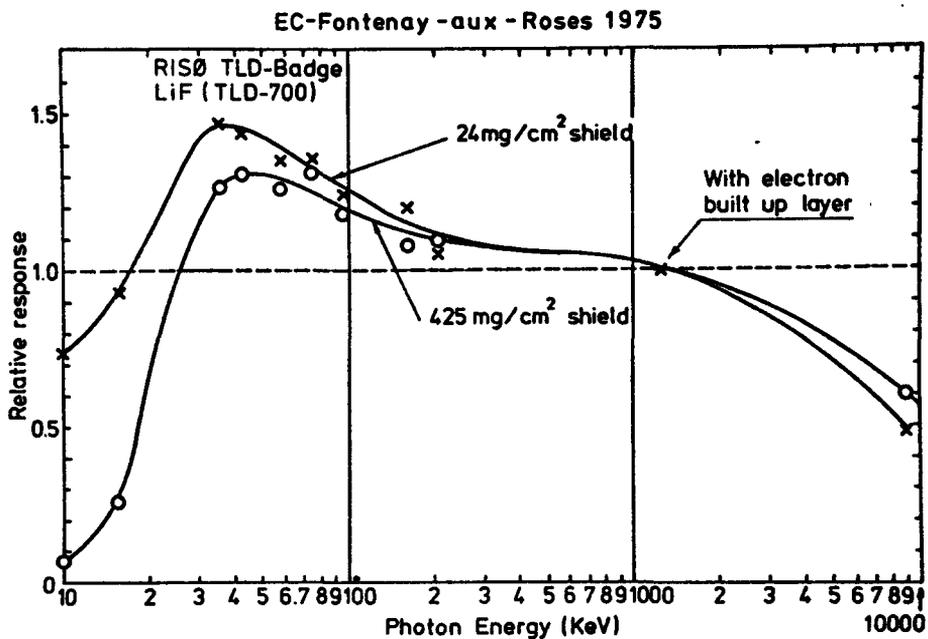


Fig. 3. Energy-dependence curves of Risø Personnel TLD-badge containing LiF (TLD-700).

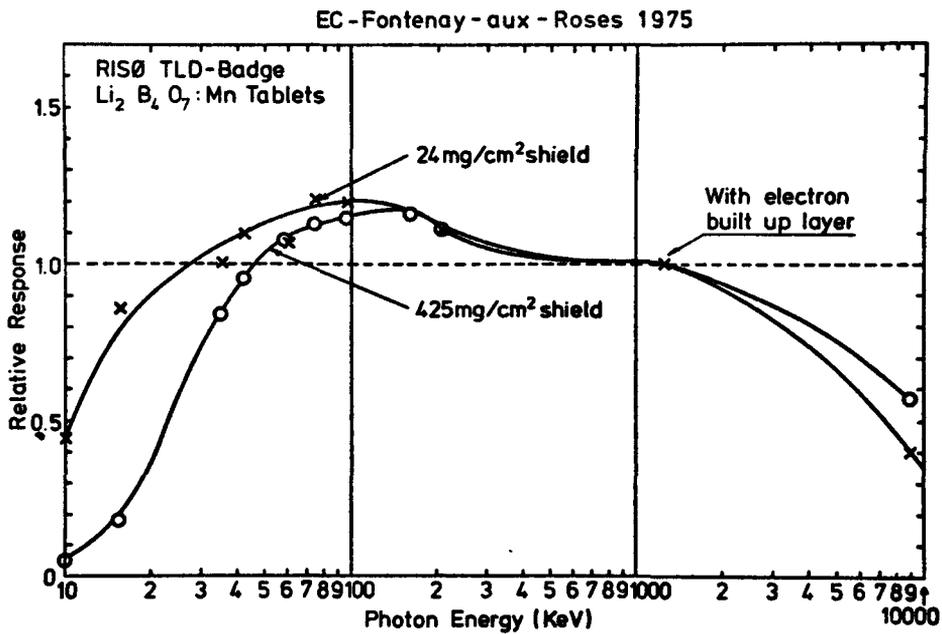


Fig. 4. Energy-dependence curves of Risø Personnel TLD-badge containing Li₂B₄O₇:Mn.

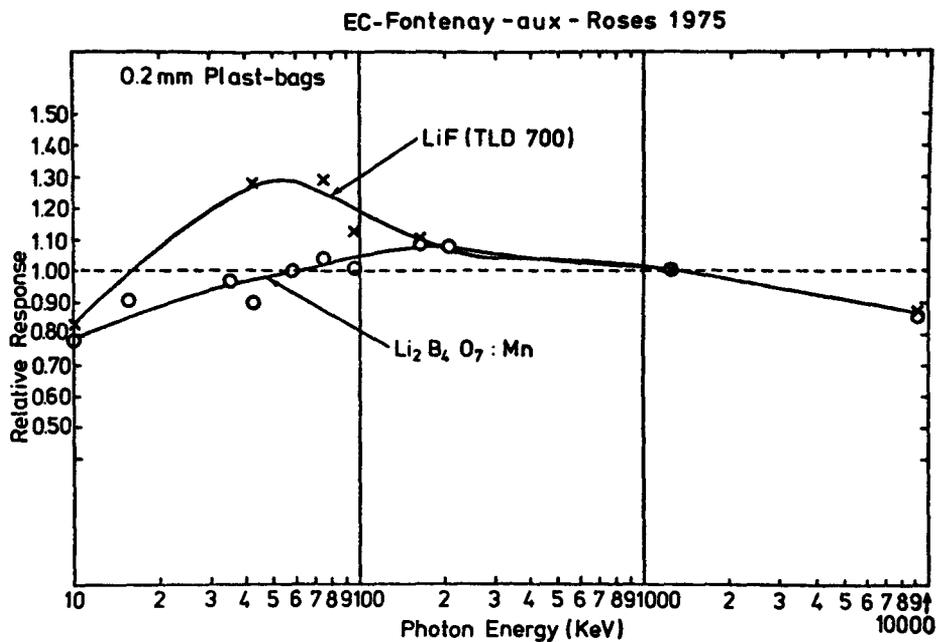


Fig. 5. Energy-dependence curves of LiF(TLD-700) and Li₂B₄O₇:Mn dosimeters exposed in 0.2 mm polyethylene bags.

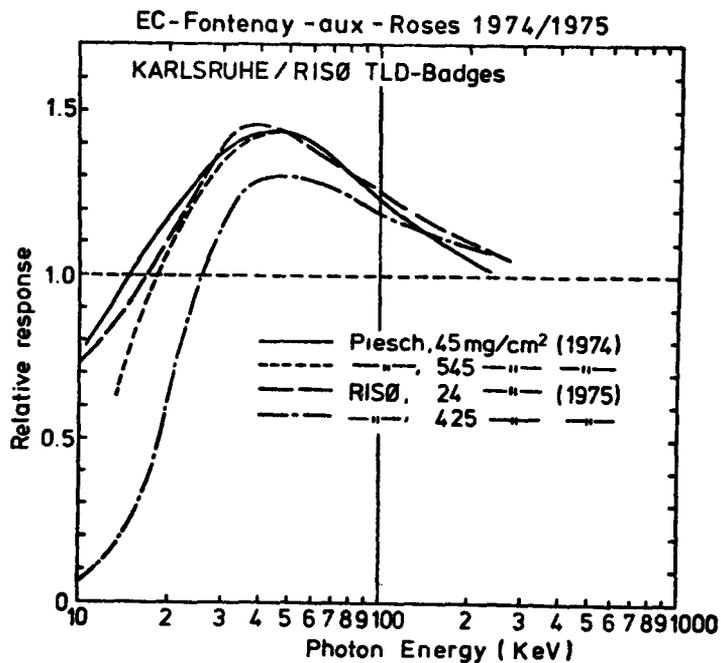


Fig. 6. Energy-dependence curves of Karlsruhe and Risø personnel TLD badges containing LiF (TLD-700).

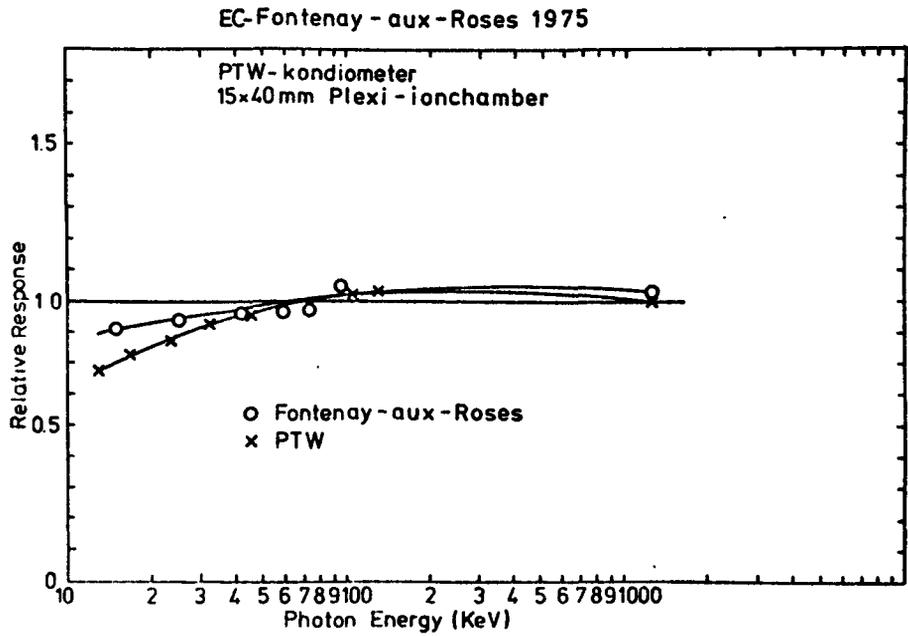


Fig. 7. Intercomparison of energy-dependence curves of PTW 15 x 40 mm Plexi-ionization chamber obtained at Fontenay-aux-Roses (monochromatic X-rays) and at PTW (filtered X-rays) respectively.

DISKUSSION

Die Unterschiede in der Energieabhängigkeit von LiF-Dosimetern verschiedener Fabrikate rühren von den unterschiedlichen Materialien, die zur Abdeckung benutzt werden, her.

Es wird vorgeschlagen, im Rahmen der Weiterführung des Vergleichsprogrammes die strittigen Messpunkte noch einmal nachzumessen.

DISCUSSION

The differences in energy dependence of various makes of LiF doseimeters were the result of the different casing materials used.

It was proposed that arrangements should be made, as part of the continuing comparison programme, for those measuring points which had yielded widely varying or dubious results to be re-measured.

ZWEITE SITZUNG - SECOND SESSION

DEUXIEME SEANCE

Président: G. PORTAL

PERSONENDOSIMETER-VERGLEICHSPROGRAMM

PROGRAMME D'INTERCOMPARAISON DE DOSIMETRES INDIVIDUELS

INTERCOMPARISON PROGRAMME FOR DOSIMETERS

1974/75

BERICHT UEBER DIE DURCHGEFUEHRTEN VERGLEICHE

H. Seguin

Einleitung

Die Direktion Gesundheit und Sicherheit der Kommission der Europäischen Gemeinschaften sieht eine ihrer Aufgaben darin, die innerhalb der Gemeinschaft vorhandenen Möglichkeiten auszuschöpfen, um allen Strahlenschutzverantwortlichen die Mittel an die Hand zu geben, die physikalischen Messmethoden zum Schutze vor ionisierenden Strahlen zu verbessern und auf eine gemeinsame Basis zu stellen.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse der letzten Vergleiche kann man ohne Uebertreibung sagen, dass der physikalische Strahlenschutz, die Dosimetrie innerhalb der Gemeinschaft einen guten Standard erreicht hat. Ziel dieser Vergleiche ist, diesen Standard zu halten und wenn nötig - in einigen wenigen Fällen - zu verbessern. Die entsprechenden Laboratorien, die Referenzstrahlen zur Verfügung stellen können sind innerhalb der Gemeinschaft vorhanden und die Kommission sieht ihre Aufgabe darin, eine vermittelnde Rolle zu übernehmen. Unter diesem Gesichtspunkt wurden die Programme durchgeführt. Dass sich ein gewisser Wettstreit innerhalb der Teilnehmer ausgebildet ist gut, wenn dieser Ehrgeiz sich auf die Routineauswertung überträgt. Ein gewisser Ehrgeiz ist nötig, wir sind aber gegen jede mögliche Ausbildung eines Konkurrenzkampfes. Deshalb ersehen wir es für unerlässlich an, dass die Ergebnisse der Auswertung unter Wahrung der Anonymität diskutiert werden. Gegen ein zweiseitiges Lüften der Anonymität bestehen grundsätzlich keine Bedenken und die Kommission wäre gegebenenfalls durchaus bereit, die Vermittlerrolle zu übernehmen.

Wir sind hier nach Berlin gekommen, um unsere Erfahrungen auszutauschen. Viele Gesichter sind bekannt, aber eine ganze Reihe Teilnehmer, die schon an unseren Vergleichen partizipiert hatten, sind zum erstem Mal bei einer unserer Sitzungen anwesend. So sind wohl fast alle, auf dem Gebiet der Personendosimetrie massgebenden und aktiven Personen aus den Ländern der Europäischen Gemeinschaften hier versammelt.

Vergleichsprogramme

In den Jahren 1974/75 hat die Kommission der Europäischen Gemeinschaften, und zwar die Direktion Gesundheit und Sicherheit, im Rahmen des Vergleichsprogramms für Dosimetrie und Strahlenschutz verschiedene Aktionen durchgeführt. Ich werde mich im wesentlichen auf die Ergebnisse des Personendosimetervergleichsprogramms beschränken.

Ausserdem wurden TLD und Messgeräte beim CNEN in Bologna verglichen. Ueber diesen Vergleich werden wir im Laufe der Sitzung noch mehr hören. 1975 wurden beim CEA in Fontenay-aux-Roses Dosimeter für den Strahlenschutz mit monochromatischen Strahlen zwischen 10 keV und 300 keV und mit einer quasi-monochromatischen Strahlung bei 9 MeV untersucht. Auch hierüber werden wir uns später noch unterhalten.

Personendosimeter-Vergleichsprogramm 1974/75

Nun zum Personendosimetervergleich. 30 Auswerte-Institute haben 43 Serien von Dosimetern eingesandt. Jeder von den zuständigen nationalen Stellen benannte Teilnehmer wurde aufgefordert, jeweils 6 Dosimeter an 4 Institute zur Bestrahlung zu schicken. Die Rahmenbedingungen waren vorher von der Gruppe der technischen Sachverständigen festgelegt worden. Von diesen 6 Dosimetern wurden jeweils 5 bestrahlt. Ein Dosimeter lief zur Kontrolle mit. Frühere Untersuchungen hatten vermuten lassen, dass beim Luftversand die Päckchen teilweise mit Röntgenstrahlen untersucht worden waren, sodass auf den Dosimetern ein höherer Untergrund angezeigt wurde. Bei diesem jetzigen Vergleich scheinen keine Dosimeter ungewollt bestrahlt worden zu sein. Jeder der 4 Institute bestrahlte 2 Dosimeter mit Röntgenstrahlen einer bestimmten Energie, 2 Dosimeter mit einer Strahlung der Gammastrahlung von ^{60}Co und 1 Dosimeter mit einer Mischung aus Röntgenstrahlung und Gammastrahlung von ^{60}Co , wobei etwa $\frac{2}{3}$ der Dosis von der Röntgenstrahlung herrührte und $\frac{1}{3}$ von der Gammastrahlung des ^{60}Co . Die bestrahlten Dosimeter wurden zurückgesandt und dann ausgewertet, nach Erhalt der Auswertung wurden die Sollwerte übermittelt. Das Verhältnis gemessene Dosis zu Sollwert wurde gebildet und in einer vorläufigen Tabelle zusammengestellt, die den technischen Sachverständigen für Personendosimetrie auf einer Sitzung vorgelegt wurde. Auf dieser Sitzung wurde beschlossen, um mehr Informationen aus den Daten ziehen zu können, noch folgende Angaben einzuholen:

- 1) sollte die Art des Dosimeters, ob Festkörperdosimeter oder Filmdosimeter, ermittelt werden,
- 2) war nach der Auswertemethode und
- 3) nach der Eichung gefragt.

Die letzte Frage nach der Eichung hatte besondere Gründe. Die Primärstandards beruhen auf der Ionendosis und die Vergleiche unter Primärstandardlaboratorien werden mit Hilfe der Ionendosis vorgenommen. Die Dosis für den Strahlenschutz soll aber in Äquivalentdosis ermittelt werden. Das bedeutet, dass eine Transformation vorzunehmen ist. Die Umfrage sollte einen Überblick ergeben, wie dieses geschieht. Es zeigte sich, dass in fast allen Fällen die Kalibrierung über die Ionendosis vorgenommen wird, und dass die abgelesene Dosis die Grösse für die Ionendosis in der Einheit der Röntgen ist. Einige Institute rechnen die Ionendosis in Energiedosis in Wasser und zwar mit Hilfe der Umrechnungsfaktoren aus ICRU 17 bzw ICRU 14 um. Weiter wird als Bezugsstrahlung im wesentlichen die Gammastrahlung von ^{60}Co herangezogen. Teilweise wird auch mit der Strahlung von ^{137}Cs und mit Röntgenstrahlung kalibriert. Bei fast allen Instituten wird die Kalibrierung frei in Luft vorgenommen.

Die Auswertung der Filme geschieht mit der Filtermethode, die auch teilweise bei der Thermolumineszenz angewendet wird. Obgleich die Angabe der Dosis in der Grösse Energiedosis in Wasser von uns verlangt worden war, gaben die 4 Institute, welche die Bestrahlung durchführten, die Werte der Ionendosis in der Einheit Röntgen an. Auch die Auswerte-Institute teilten sehr oft die Ionendosis mit. Teilweise wurde die Ionendosis gleich Energiedosis in Wasser gesetzt, oder es wurde auch mit Faktoren, die bei 0,96 lagen, von Ionendosis in Röntgen, auf Energiedosis in Wasser, mit der Einheit rad umgerechnet.

Hieraus ersehen wir, dass zumindest für Vergleiche, einige grundlegende Bedingungen vorab festzulegen sind. Diese Ueberlegungen werden Gegenstand der nächsten Sitzung sein.

Die eingegangenen Ergebnisse wurden von uns, wenn nötig, umgerechnet und es wurden die Verhältnisse abgelesener Wert zu Sollwert gebildet. Jedem Teilnehmer wurden diese Werte zur Bestätigung, bzw. zur Korrektur zugesandt. In dieser Zusammenfassung wurden die Dosiswerte angegeben, die bei den meisten Bestrahlungen zutrafen. Bei einigen Instituten sind aber Abweichungen aufgetreten, diese Abweichungen waren den Teilnehmern bei der Uebermittlung der Sollwerte mitgeteilt worden. Diese Tatsache wurde bei der Korrektur nicht von allen Teilnehmern berücksichtigt, sodass Korrekturen vorgenommen wurden, die nicht zutrafen. Diese Werte konnten natürlich nicht berücksichtigt werden.

Vergleich der Auswerte-Institute

Aus diesen korrigierten Werten wurden die Mittelwerte \bar{D} für jedes Institut bzw. jeder Dosimeterserie mit Angabe des Standardfehlers s gebildet. Diese Werte finden Sie in der Tabelle 1. In Figur 1 sind diese Werte graphisch aufgetragen und zwar die Mittelwerte auf der Senkrechten, die Standardfehler auf der Waagerechten. In der 2. Gruppe wurden jeweils 2 Ausreisser weggelassen. Die weiteren Angaben beziehen sich auf alle Werte. Figur 2 gibt die Verteilung wieder. Man sieht, dass alle Mittelwerte der Institute innerhalb eines Faktors 1,3 liegen.

Vergleich der Methoden

In Tabelle 2 wurden die Mittelwerte aller Einzelwerte, aufgeteilt auf die verschiedenen Dosimetertypen, angegeben. Die geringsten Standardfehler ergeben die Werte, die von den Glasdosimetern gewonnen wurden. Hier ist zu bemerken, dass es allerdings nur 39 Glas-Dosimeter von 2 Auswerte-Instituten waren. TLD kommen dem Idealwert am nächsten, der Standardfehler ist geringer als beim Film. Alle Werte zusammengefasst ergeben ein sehr gutes Bild des Standes der Personendosimetrie der Gemeinschaft.

Vergleich der Institute, die bestrahlt haben.

Um festzustellen, ob zwischen den Instituten, die bestrahlt haben, Unterschiede bestehen, wurden die Mittelwerte über die verschiedenen Strahlenarten und Dosen gebildet. In Tabelle 3 sind diese Werte aufgetragen; in der 2. Zeile finden Sie jeweils die Werte unter Nichtberücksichtigung der zwei Ausreisser.

In Tabelle 4 wurden die Werte der 4 Institute, aufgeteilt auf ^{60}Co -Strahlung, alle Werte zusammen und Röntgenstrahlung aufgetragen.

^{60}Co

Die Werte der ^{60}Co -Strahlung liegen dicht beieinander. Unter Eliminierung der Ausreisser weichen die Mittelwerte nur um 2% ab, auch liegt der Standardfehler bei 0,15. Zwischen den Instituten bestehen keine Unterschiede.

Alle Werte

Die Mittelwerte aller Werte der 4 Institute zeigen dagegen eine Abweichung von ca 8% vom niedrigsten zum höchsten Wert.

Röntgenstrahlen

In dieser Tabelle wurden die Werte der Röntgenstrahlung zusammengefasst. Hier bestehen grössere Unterschiede zwischen den Instituten. Bei Berücksichtigung aller Werte gibt es bis zu 18% Abweichung, bei Eliminierung der Ausreisser bis zu 12% zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Wert. Auch der Standardfehler zeigt grössere Unterschiede, die sich bei ^{60}Co -Strahlung nicht zeigten. Bei der Röntgenstrahlung aus einer Röhre mit 110 kV Spannung haben wir deutlich eine Ueberhöhung und auch den grössten Standardfehler. Dieses kann an der Empfindlichkeit der Dosimeter liegen. Eine Aufteilung in TLD und Filmdosimeter könnte eine mögliche Erklärung bringen.

Table 1

Mean Values of Participants

	51 F	52 F	53 F	54 F	55 F	56 TLD	57 TLD	58 F
\bar{D}	1,30	1,27	1,12	0,99	1,20	1,01	1,04	1,06
S	0,34	0,30	0,28	0,33	0,24	0,11	0,09	0,13
\bar{D}_2	1,20	1,19	1,04	0,91	1,15	1,01	1,03	1,03
S_2	0,17	0,16	0,15	0,17	0,19	0,09	0,08	0,07

59 F	60 G	61 F	62 TLD ¹	62 TLD ²	62 TLD ³	63 G	64 TLD	65 TLD	66 TLD	67 F	68 F	69 TLD	70 F
1,05	0,87	0,84	1,00	1,09	1,05	0,96	0,95	1,01	0,96	1,05	1,09	1,00	1,08
0,29	0,10	0,29	0,12	0,13	0,07	0,06	0,21	0,13	0,16	0,33	0,31	0,08	0,34
1,05	0,88	0,90	1,01	1,06	1,03	0,95	0,96	1,01	0,98	1,05	1,09	0,99	1,06
0,24	0,10	0,24	0,11	0,09	0,04	0,05	0,09	0,11	0,09	0,23	0,23	0,06	0,30

71 TLD	72 F	73 TLD	74 TLD	75 Film	76 F	77	78 F	79 TLD	80 TLD	81 TLD	82 F	83 ₁ TLD	83 ₂ F
1,11	1,33	1,21	1,05	1,17	1,19	0,91	1,64	0,98	0,76	1,08	1,01	0,82	1,04
0,22	0,54	0,39	0,17	0,37	0,37	0,1	0,84	0,35	0,06	0,08	0,11	0,15	0,41
1,06	1,21	1,13	1,02	1,08	1,09	0,93	1,44	0,96	0,77	1,06	1,01	0,81	0,94
0,16	0,42	0,17	0,14	0,23	0,19	0,08	0,52	0,30	0,06	0,07	0,09	0,13	0,28

84 F	85 TLD	86 F	87 TLD	88 F	89 F	90 TLD
1,1	1,25	1,09	0,99	1,00	0,94	0,98
0,29	0,18	0,25	0,18	0,14	0,15	0,06
1,06	1,20	1,03	0,94	0,96	0,95	0,98
0,18	0,13	0,17	0,12	0,09	0,12	0,05

TABLE 2

MEAN VALUES OF DIFFERENT DOSIMETER TYPES

	\bar{D}	s
TLD	1,03	0,22
Film	1,13	0,38
Glass	0,91	0,09
all values	1,07	0,31

TABLE 3

MEAN VALUES OF THE DIFFERENT RADIATIONS AND DOSES

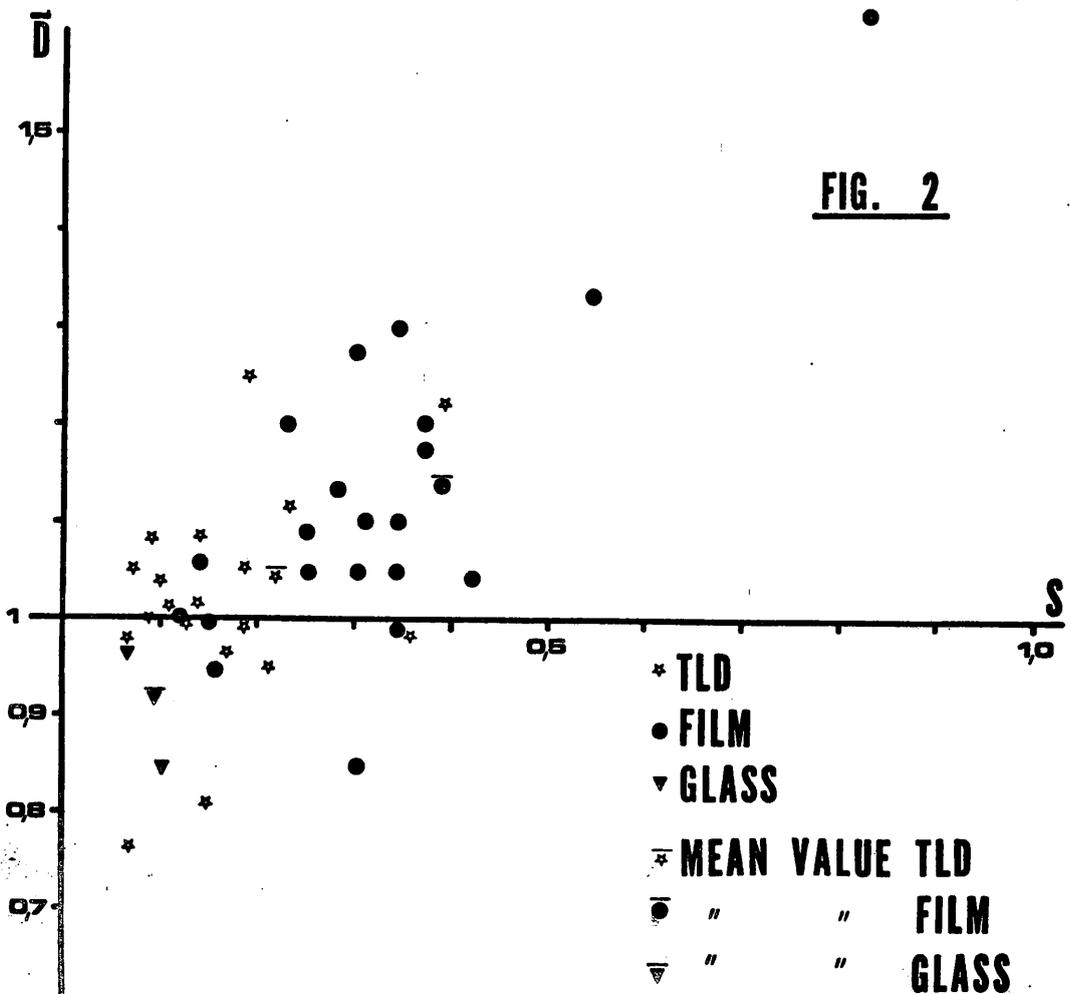
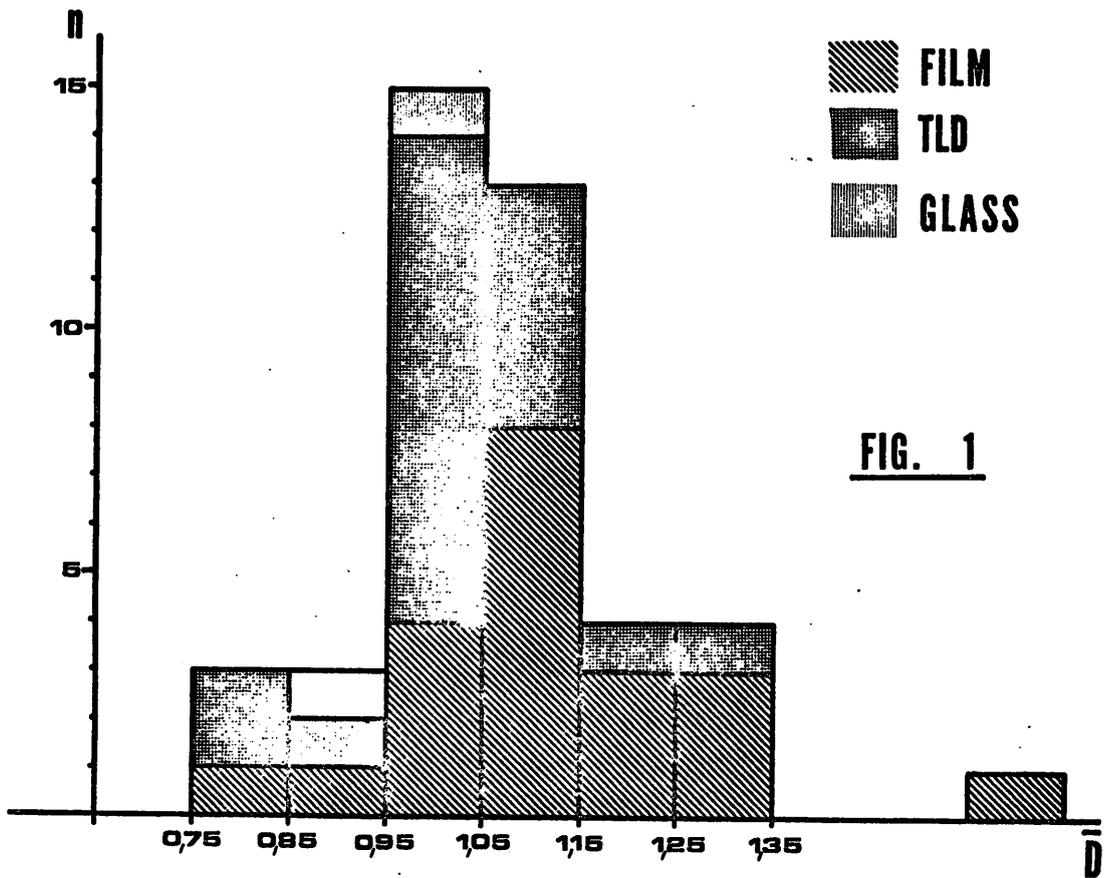
	Sources	Dose mR	\bar{D}	s
GSF München	^{60}Co	87	1,01 0,98	0,26 0,16
	^{60}Co	2 680	0,99 0,99	0,16 0,13
	60 kV	120	1,23 1,16	0,41 0,31
	60 kV	1 700	1,08 1,07	0,33 0,28
	^{60}Co + 60 kV	1 065	0,97 0,98	0,26 0,23
CEA Clamart	^{60}Co	75	0,99 0,98	0,29 0,18
	^{60}Co	3 000	0,93 0,93	0,12 0,10
	161 keV	100	1,21 1,17	0,26 0,21
	161 keV	2 000	1,13 1,13	0,18 0,16
	^{60}Co + 161 keV	2 500	0,98 0,99	0,14 0,11

	Sources	Dose mR	\bar{D}	s
RIV Bilthoven	^{60}Co	70	0,95 0,95	0,20 0,18
	^{60}Co	4 020	0,96 0,97	0,21 0,19
	110 kV	120	1,4 1,3	0,63 0,41
	110 kV	1 800	1,28 1,22	0,45 0,39
	^{60}Co + 110 kV	2 430	0,96 0,97	0,27 0,23
PTB Braunschweig	^{60}Co	87	1,03 0,99	0,24 0,19
	^{60}Co	4 260	0,97 0,98	0,12 0,09
	300 kV	125	1,09 1,10	0,23 0,22
	300 kV	1 600	1,06 1,06	0,17 0,15
	^{60}Co + 300 kV	2 340	0,98 0,98	0,12 0,11

TABLE 4

MEAN VALUES OF THE IRRADIATING INSTITUTES

Mean values of ^{60}Co irradiation		\bar{D}	S
GSF	^{60}Co	1,00	0,21
		0,98	0,15
RIV	^{60}Co	0,96	0,20
		0,96	0,19
CEA	^{60}Co	0,96	0,22
		0,96	0,15
PTB	^{60}Co	1,00	0,19
		0,98	0,14
Mean values of Institutes			
GSF	global	1,05	0,31
		1,04	0,24
RIV		1,11	0,43
		1,08	0,33
CEA		1,05	0,23
		1,04	0,18
PTB		1,03	0,19
		1,02	0,16
Mean values of X-rays			
GSF	60 kV (HVT)	1,09	0,35
		1,07	0,28
RIV	110 kV (HVT)	1,22	0,51
		1,16	0,40
CEA	161 keV	1,10	0,22
		1,10	0,18
PTB	300 kV (HVT)	1,04	0,18
		1,04	0,17



DISKUSSION

Die Ergebnisse zeigen, dass fast alle Auswerter die von der ICRP aufgestellten Anforderungen erfüllen. Es wird als Mangel betrachtet, dass es keine Normen über die Anforderungen an Personendosimeter gibt.

Es sollte versucht werden, bei späteren Vergleichen die innere Messunsicherheit jedes einzelnen Instituts anzugeben und die Untersuchung auf innere und äussere Messunsicherheiten auszudehnen. Die Aufteilung könnte das Bild der vorliegenden Auswertung ändern. Bei späteren Untersuchungen sollten zwei Auswertungen gemacht werden, und zwar einmal ohne Kenntnis der Energie und weiter mit Kenntnis der Energie. Die einzelnen Werte müssten mit Gewichtungsfaktoren bewertet werden; höhere Dosen sind sicher mit kleineren Unsicherheiten behaftet als niedrige Dosen. Es wird weiter vorgeschlagen, die Bestrahlungen derart aufzuteilen, dass alle Institute, die Bestrahlungen durchführen, die gleichen Energien benutzen. Dieses würde eine Angabe über die Bestrahlungsinstitute liefern. Hiergegen wird eingewendet, dass dieses nicht Aufgabe des Vergleichsprogrammes ist; das Vergleichsprogramm soll nur eine Hilfestellung für die Teilnehmer geben ohne Bewertung der Güte. Desweiteren wird vorgeschlagen, Versuche über Umwelteinflüsse mit aufzunehmen. Das Vergleichsprogramm hat gezeigt, dass im allgemeinen niedere Energien überbewertet werden.

DISCUSSION

The results showed that almost all the processing equipment fulfilled ICRP requirements. It was thought regrettable that there should be no set rules on the standards of personal dosimeters.

Later comparative studies should attempt to determine the internal reliability (or lack of it) of each institute's measurements and to extend the examination to internal and external reliability. This distribution could alter the picture obtained. Subsequent investigations should arrive at two evaluations: one with and one without a knowledge of the energy used. Weightings should be applied to the individual results; the inaccuracies involved with higher doses were certainly smaller than those involved with low doses. It was also proposed that the work should be distributed in such a way that all the institutes which performed irradiations used the same energies. This would provide information about the institutes performing irradiations. It was argued, however, that this was not the task of the programme, which was designed merely to help the participants and not to make quality judgments. There was a further proposal to include experiments on environmental influences. The programme had shown that lower energies were generally valued too high.

REPORT ON THE TLD WORKSHOP HELD IN BOLOGNA ON 1974

L. Lembo

Introduction

The Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare, Centro di Calcolo, Bologna, and the Health Protection Directorate of the Commission of the European Communities have organized at the CNEN Laboratory a workshop on TLD which was attended by several European institutes.

It has been the first time that the CEC engaged in such an undertaking in order that the work done at this meeting will help to ameliorate the protection of the population and workers against ionizing radiations. Personal dosimetry is one of the main means, to control the protection methods and to fulfil the task prescribed in the Basic Safety Standards of Euratom in order to assess and therefore to minimize the exposure of workers and of the population.

This workshop has been arranged in the framework of the programme of the Health Protection Directorate in the field of personal dosimetry.

Since about 10 years a group of national experts in personal dosimetry had met once or two times a year in order to discuss problems arising in personal dosimetry. One objective of this group is to carry on with intercomparison-programmes.

During one of these working parties it was proposed to organize a workshop on TLD which would be held in Bologna. In fact, at the Laboratorio di Fisica Sanitaria of CNEN all the material and irradiation facilities could be found to fulfil the task of the workshop.

The experimental program dealt with the problems arising from the practical use of different detectors from a same batch. This is in fact the main problem connected with the meaning to give to a calibration curve used to assess the doses recorded by detectors different from those used to obtain the curve itself.

On the basis of the experimental results obtained during the workshop it has been supposed to give a contribution to a better understanding of the problem. Furthermore it is likely that the data obtained during the meeting will be useful to determine the precision of different TL systems in assessing the doses under controlled laboratory conditions.

The radiation sources, the ionization chambers and the other facilities used during the party are normally employed in the laboratory for the research programmes in personal dosimetry and for the personal dosimetry service.

A description of the facilities has already been done in a previous paper.

The output constancy of the X-ray sources is normally controlled by means of an electronic stabilization of the a.c. supply and by a transmission monitor chamber placed in front of the tubes.

The gamma source used for the tests during the meeting was a collimated ^{60}Co source placed in a container.

The ionization chambers for the beam calibration and the TL dosimeters could be positioned at various distances from the source by means of optical benches.

Fig. 1 is a map of the geometrical arrangement of the irradiation sources, and it gives a better understanding of the general irradiation conditions.

In addition to the irradiation set up, for the annealing procedures of all the TL materials, ovens were prepared to work at different temperatures up to 1000°C .

Irradiations performed

As stated by the working program, the following irradiations have been performed to test the reproducibility of the whole system used (TL detector plus reader) and the reliability of the different dosimeters (still under study at the various European laboratories) to unknown energies and doses.

Exposures to unknown doses and energies

Owing to the limited time, the tests have been performed to only three energy values and to three doses.

The participants agreed in choosing two X-ray energies (from 40 to 200 keV) and the ^{60}Co gamma rays: the exposures were in the range from 100 to 2000 mR, which is the normal range in the routine of personal dosimetry.

The calibration of the X- and gamma ray beams were made by means of Victoreen ionization chambers (reading instrument Radocon II, mod. 555) calibrated against a secondary standard. The secondary standards were cavity chambers (Wyckoff type) calibrated against a free air chamber of an European standard laboratory.

The irradiation characteristics of the X-ray beams were the one presented in Table 1.

TABLE I

Equivalent Energy (keV)	kV	Filtration (mm)	HVL (mm)	Homogeneity factor
77	150	1.63 Cu 1.02 Al	0.97 Cu	0.90
180	350	15.0 Cu 0.90 Al	4.80 Cu	0.85

The ionization chamber and the TL dosimeter were placed on a optical bench at a distance from the focus of the X-ray tube of 180 cm. The exposure rate was of 133 mR/min and 570 mR/min for the 77 keV and 180 keV respectively; the irradiation field was circular with a diameter of 20 cm at the irradiation point.

The irradiation conditions of the ^{60}Co gamma beam were as follows:

- distance from the source to the ionization chamber or TL dosimeter: 220 cm;
- field dimension: $50 \times 50 \text{ cm}^2$;
- exposure rate: 690 mR/min.

In front of the collimator was placed a lucite absorber 1.5 mm thick in order to avoid beam contamination due to the secondary electrons produced in the collimator itself.

During the irradiations, a monitor chamber was placed on this apparatus too, to obtain more precise exposures.

Reproducibility tests

As said in the introduction, the main purpose of the workshop was to check the reproducibility of the TL detectors or dosimeters of the different participants.

The irradiations have been performed with the ^{60}Co gamma-ray source in consideration of the constancy of its emission. Two exposure values have been used; 100 mR and 2000 mR, obtained at two different distances from the source and, hence, under different geometrical conditions. At medium distances from the source (1.5 m to 2.0 m) the scattered radiation, measured as recommended by ISO, was not greater than 5%. This means that the 2000 mR exposure was affected by the scattered component within the recommended limits.

The lower exposure value, on the contrary, was measured at a distance from the source of approximately 3.5 m; at this position the irradiation field is very large and, probably, the scattered radiation gives an appreciable contribution to the exposure.

For the reproducibility tests, ten detectors have been exposed at each exposure value and the irradiations have been repeated 5 times during the week. The irradiations were performed in this case too by controlling the beam stability along the week with a monitor chamber.

Experimental results

Irradiations to unknown doses and energies

This test has been performed to get an information about the assessment of the dose with dosimeters of different design e.g. from the sample to more sophisticated devices.

The dosimeters have been irradiated with ^{60}Co gamma-rays and with X-rays of 77 keV and 180 keV equivalent energies. The results are summarized in Table 2.

TABLE 2

Equivalent energy	Delivered exposure (mR)	Corrected for energy dependence (mR)	Not corrected for energy dependence (mR)
77 KeV	266	280 + 38 - 30	339 + 33 - 14
180 keV	570	620 + 50 - 45	684 + 44 - 20
^{60}Co	690	—	677 + 18 - 37

Half of the participants corrected the response of the detectors for energy dependence. The values reported in Table 2 are the means of the particular doses assessed by each participant. Every particular value has been derived from 3 dosimeters exposed under the same conditions. No energy dependence correction has been applied for ^{60}Co . The positive and negative deviations are the difference of the highest or the lowest particular value from the mean. These deviations reach a maximum value of 14% in the case of 77 keV X-rays, which means a good distribution of all the data around the mean values. From the table it is also possible to see that the differences between the delivered and the mean evaluated exposures corrected for energy dependence are always within 9% and this can be considered a good result.

Reproducibility-tests

Reproducibility is one of the main parameters describing the properties of the detector. This test has been spread over the whole week and has been repeated five times with two different exposures of ^{60}Co gamma-Rays: 0.1 R and 2.0 R. These values have been chosen in order to meet the conditions normally encountered in radioprotection.

Some participants used sintered materials and others used powders. Participants using sintered material performed the test by irradiating and evaluating the same ten detectors five times.

For those who used powder, the powder has been irradiated also five times; the irradiated amount of powder has been divided into ten parts, every part has then been measured. These procedures have been followed for the two different exposures.

In fig. 2 and 3 are summarized the results for the two exposures, that is 100 mR and 2000 mR respectively. The reported deviations are derived from the variances of the five means of the ten detectors exposed five times; these variances, multiplied by the square root of the number of detectors, give the variance of a single dosimeter.

From the figures it is possible to show that the reproducibility of sintered TL detectors is generally better than the one of the TL powder. As expected, the deviations are lower at high dose values; in fact for the sintered TL detectors we have found a maximum deviation of 16% at 100 mR lowered to 8% at 2000 mR. A reversed situation is presented by 3 participants which have obtained lower deviations at 0.1 R than at 2.0 R.

As a conclusion we can say that the experimental results obtained during the workshop can be considered satisfactory. Anyway we think that it will be very useful and necessary to repeat in the next future a similar experimental meeting as a check of the progresses achieved, in the field of TL dosimetry. Furthermore the next workshop will help in pointing out the main parameters connected with this techniques.

DISKUSSION

Ergänzend wird von einigen Teilnehmern mitgeteilt, dass es Schwierigkeiten beim "annealing" gegeben hat. Dieses könnte daher rühren, dass der zeitliche Verlauf der Temperatur nicht der gleiche ist wie beim zuständigen Labor. Dass einige Werte, die aus pulverförmigem LiF gewonnen wurden, nicht so gut waren lag daran, dass diese Gruppe sich erst seit kurzer Zeit mit diesem Messverfahren befasst. Trotz der Schwierigkeiten, die der Aufbau der Messgeräte in einem fremden Labor mitbrachte, sind die Messergebnisse erstaunlich gut, 90% aller Werte liegen innerhalb $\pm 5\%$. Bei einer Wiederholung sollten die gewonnenen Erfahrungen berücksichtigt werden und es sollte versucht werden, die Herkunft der Fehler zu ermitteln.

DISCUSSION

A number of participants added that problems had been experienced with annealing. These could be caused by the factor that the temperature changes over the relevant period of time were not the same as in the laboratory. Some results obtained with powdered LiF were not so good, the reason being that the group had not been using this measuring method for very long. In spite of the difficulties of setting up the measuring equipment in a strange laboratory, the results were in fact surprisingly good; the deviation was only $\pm 5\%$ for 90% of the results. In repeating the experiments use would be made of the experiences gained and an attempt would be made to detect the source of the errors.

JOURNEES D'EXPERIMENTATION A FONTENAY-AUX-ROSES

DU 19 NOVEMBRE AU 5 DECEMBRE 1975

F. Bermann

Entre le 19 novembre et le 5 décembre 1975, 23 instituts européens ont délégué 46 expérimentateurs à Fontenay-aux-Roses, dans la banlieue parisienne, pour y exposer leurs moyens de dosimétrie individuelle à différents faisceaux de rayonnement de référence.

Le choix de ces rayonnements correspondait à des préoccupations différentes:

- 1/ L'intercalibration par un faisceau étalon de γ du ^{60}Co .
- 2/ L'étude de la sensibilité énergétique relative des instruments à l'aide de rayonnement d'énergie soit beaucoup plus faible, soit beaucoup plus forte que celle du ^{60}Co .

Etant donné le peu de temps dont disposaient les expérimentateurs et la grande variété tant des rayonnements proposés que des détecteurs à exposer, ces essais ne pouvaient avoir d'autre ambition que de mettre en lumière les problèmes de la réponse énergétique des dosimètres et l'intérêt de ce genre d'expérimentation collective pour les participants.

Je ne connais pas les conclusions qu'ont pu tirer de leurs résultats les différents expérimentateurs. Je me bornerai donc à décrire les moyens expérimentaux utilisés et à donner quelques impressions personnelles sur ces opérations.

I - Rayonnements utilisés

1/ Faisceau d'étalon γ (^{60}Co):

- Installation: 2 sources de ^{60}Co $\left\{ \begin{array}{l} 30 \text{ Ci} \\ 800 \text{ Ci} \end{array} \right.$

géométrie canalisée: collimateurs formés par une succession de diaphragmes en tungstène (W),

repérage du faisceau par un laser aligné sur l'axe du collimateur,

repérage des distances par mesure d'angle au théodolite.

- Etalonnages des faisceaux: chambre à cavité étalonnée par le laboratoire primaire du Bureau National de Mesures (LPMRI).

Incertitude sur la valeur absolue de l'exposition: 3 p.cent.

2/ Rayons X filtrés:

Les faisceaux suivants, répondant aux normes de l'AFNOR (1), ont été utilisés:

Energie moyenne	Résolution	HT	Filtration
161 keV	32 p.cent	200 kV	1 mm Pb + 3 mm Sn + 2 mm Cu
205 keV	30 p.cent	250 kV	3 mm Pb + 2 mm Sn

La filtration inhérente est ajustée à 4 mm d'aluminium.

- Etalonnage: mesure du débit d'exposition à l'aide d'une chambre d'ionisation absolue à plaques parallèles.

Incertitude sur la valeur absolue de l'exposition: 3 p.cent.

Raccordement aux étalonnages du BNM par le faisceau de 60 keV de ²⁴¹Am, du LPMRI.

3/ Rayonnements de fluorescence

Depuis quelques années on sait produire des faisceaux de rayonnements de fluorescence suffisamment intenses pour servir aux étalonnages de dosimètres (2).

Un certain nombre de ces faisceaux ont été normalisés par l'AFNOR (1) et le seront probablement bientôt par l'ISO.

Les faisceaux suivants ont été utilisés:

Energie	Cible
9,9 keV	Germanium
25 keV	Etain
43 keV	Gadolinium
59 keV	Tungstène
75 keV	Plomb
98 keV	Uranium

Etalonnage: à l'aide d'une chambre à électrodes minces perpendiculaires au faisceau (3) du type Mesh. Cette chambre est elle-même étalonnée par le faisceau du γ du ²⁴¹Am du L.P.M.R.I. La réponse de cette chambre est indépendante de l'énergie (à $\pm 2 \cdot 10^{-2}$ près) entre 10 keV et 100 keV.

Incertitude sur la valeur absolue de l'exposition: 3 p. cent

4/ γ de capture de 9 MeV

Une cible de nickel placée dans le flux de neutrons thermiques du réacteur Triton produit des γ de capture qui sortent par un canal percé dans la paroi du béton (4).

Les mesures d'atténuation du faisceau montrent une énergie moyenne de 8,5 MeV.

La fluence énergétique du faisceau ne peut plus être mesurée par l'intermédiaire d'un débit d'exposition: le parcours des électrons secondaires est tel que la divergence du faisceau n'est plus négligeable entre le point où un électron est libéré et celui où il est absorbé. En d'autres termes, le long du faisceau il n'y a plus de rapport constant entre la fluence des photons et celle des électrons, c'est-à-dire entre la fluence des photons et la dose absorbée dans la matière. Ce rapport dépend de la matière environnante: la seule grandeur qui puisse caractériser le faisceau c'est la dose absorbée dans un fantôme défini, à une profondeur telle que tous les électrons absorbés en ce point proviennent du fantôme.

La C.I.U.R. (5) et la H.P.A. (6) ont défini des fantômes d'eau et des profondeurs conventionnelles où les doses doivent être mesurées. Ces mesures peuvent se faire aussi bien à l'aide d'une chambre d'ionisation qu'à l'aide d'une solution de Fricke.

Les doses ainsi mesurées ne sont pas les doses maximales: or ce sont ces dernières qui intéressent la radioprotection. Nous avons donc été amenés à déterminer une série de doses à des profondeurs différentes:

à 3 g/cm² où elle est maximale,
à 5 g/cm² et à 7 g/cm² : profondeurs normalisées.

Le résultat de ces mesures est donné en annexe.

L'exposition des dosimètres de radioprotection dans le faisceau de 9 MeV pouvait être faite de différentes façons suivant le résultat recherché:

- un dosimètre individuel qui doit être porté sur le corps peut être placé sur la face du fantôme et sa réponse comparée à la dose maximale dans le fantôme.
- l'expérimentateur peut vouloir, au contraire, connaître la réponse du dosimètre à la dose absorbée dans le dosimètre et placer celui-ci dans le fantôme, en un point où la dose a été déterminée.

Ces différentes configurations ont été utilisées par les expérimentateurs de l'Euratom.

Quelques-uns des expérimentateurs disposaient de chambres d'ionisation étalonnées qui nous ont permis de contrôler notre dosimétrie de référence dans le fantôme. Les résultats de cette comparaison sont donnés ci-dessous:

Expérimentateur	Instrument de référence	Dose mesurée	Dose FAR
ACKERS J.G. (Hollande)	Baldwin Farmer	6,12 rad	6,08 rad
DELHOVE (Belgique)	Victoreen type 552	2,077 "	2,09 "
TABOT (Saclay)	Chambre Téflon-Carbone	130,5 rad/h	130,0 rad/h

Les doses de la dernière colonne sont les doses calculées d'après l'indication du moniteur.

II - Conclusions

Les quelques étalonnages que nous avons effectués pour les services de radioprotection du CEA et les mesures des expérimentateurs de l'Euratom auxquelles j'ai pris part, me laissent les impressions suivantes:

- Il n'y a pas de bons ou de mauvais dosimètres en ce qui concerne la réponse en fonction de l'énergie. Le meilleur dosimètre du monde ne peut qu'indiquer la dose qu'il a absorbée. Cette dose ne peut être confondue avec la dose maximale absorbée par un être humain que dans des circonstances bien délimitées.

Dans le domaine des énergies inférieures au MeV, le numéro atomique moyen du dosimètre doit être aussi proche que possible de celui des tissus. La dose absorbée dans le dosimètre est alors sensiblement égale à la dose maximale dans un homme irradié de face.

Dans le domaine des énergies supérieures au MeV, le numéro atomique a une importance beaucoup moins grande, car l'énergie absorbée dépend surtout de l'épaisseur de matière traversée. C'est pourquoi la C.I.U.R. a proposé une nouvelle grandeur pour représenter le risque radiologique, qui serait la dose absorbée maximale dans un fantôme sphérique: c'est l'"indice de dose".

Pour résumer: en dessous du MeV un dosimètre devrait être équivalent aux tissus, au dessus du VeV, il devrait être équivalent au corps.....

Manifestement aucun dosimètre ne peut répondre à de telles exigences. Nous nous trouvons là devant le problème central de la dosimétrie appliquée à la surveillance radiologique: doit-elle se contenter d'enregistrer des "doses" qui peuvent être très différentes de celles qui déterminent le risque biologique ou doit-elle mesurer le champ de rayonnement dans lequel se déplace l'individu? C'est ce dernier objectif qui paraît le plus réaliste. C'est, de toutes façons, le seul qu'il soit possible d'atteindre dans certains cas tels que la dosimétrie des neutrons par des détecteurs à activation. Pour les photons comme pour les neutrons, cette conception de la dosimétrie implique une certaine information sur l'énergie du rayonnement.

- Les expérimentateurs de l'Euratom ont pu constater que de "bons" dosimètres du point de vue de l'équivalence aux tissus peuvent indiquer une dose inférieure de moitié à la dose maximale absorbée par un individu placé au même endroit. Ils ont pu voir également des détecteurs à paroi métallique

parfaitement étalonnés aux γ du ^{60}Co diverger dans leur réponse d'un facteur 2 ou 3 à 9 MeV. Ils ont pu tout aussi bien vérifier le bon accord de leurs étalonnages avec ceux du CEA, en ce qui concerne les γ du ^{60}Co et les rayons X.

L'intérêt de ces mesures me semble avant tout d'avoir mis en lumière les vrais problèmes de la dosimétrie en radioprotection qui ne consistent pas tant à augmenter indéfiniment la précision des étalonnages qu'à savoir interpréter la réponse des détecteurs.

Bibliographie

- (1) Association Française de Normalisation : rayonnements X et γ de référence pour l'étalonnage et la détermination de la réponse en énergie des dosimètres et débitmètres. Norme M 60 512 - 1972.
- (2) CHARTIER J.L., PORTAL G., ROMAN D., DUGUAY D.: Production de rayonnements monochromatiques intenses, Nuclear Inst. and Meth. 100 107 - 119, 1972.
- (3) CHARTIER J.L., BAZOGE A., ITIE C.: Free air ionization chamber for the energy range 12 keV - 100 keV - Nucl. Inst. Meth., 128, p.251-259, 1975.
- (4) BERMAN F., TROESCH G.: Etalonnage de détecteurs de radioprotection avec des γ de haute énergie : utilisation d'un faisceau de γ de capture, VIIIème Congrès International de la SFRP, Saclay, 23/26 mars 1976 - à paraître.
- (5) International Commission on Radiation Units and Measurements: Radiation Dosimetry : X rays and γ rays with maximum photon energies between 0,6 and 50 MeV., Report 14, 1969.
- (6) The Hospital Physicists' Association : a code of practice for the dosimetry of 2 to 25 MV X-ray and Cesium 137 and Cobalt 60 gamma-ray beams, Phys. Med. Biol., 14, 1-8, 1969.
- (7) SHALEK R.J., SMITH Ch.E. Chemical Dosimetry for the measurement of high-energy photons and electrons, Annals N-Y Acad. Sci., 161, 44-62 1969.
- (8) LAW J., NAYLOR G.P., Comparison of ionization, ferrous sulphate and thermoluminescence dosimetry of megavoltage photons, Phys. Med. Biol., 16 67-75 1971.

Annexe

Doses de référence dans le faisceau de γ de capture

Elles ont été mesurées dans le fantôme, dans l'axe du faisceau, aux profondeurs de 3 cm, 5 cm et 7 cm.

Ionométrie

Les doses dans l'eau sont déterminées par la mesure de l'ionisation de l'air d'une chambre étalonnée au ^{60}Co , selon la procédure préconisée par plusieurs organisations: Hospital Physicists' Association (6) ou la C.I.U.R. (5). C'est cette dernière référence que nous avons utilisée.

La dose dans l'eau, D_{eau} , est obtenue à partir de l'exposition apparente X_{ap} , mesurée au même point:

$$D_{\text{eau}} = C_{\lambda} X_{\text{ap}}$$

$$\text{avec } C_{\lambda} = C(^{60}\text{Co}) \frac{(\bar{S}_{\text{eau/air}})_{9 \text{ MeV}}}{(\bar{S}_{\text{eau/air}})_{^{60}\text{Co}}}$$

$(\bar{S}_{\text{eau/air}})$ = pouvoir d'arrêt électronique relatif de l'eau par rapport à l'air. Avec les données de (7), en prenant 8,5 MeV pour énergie moyenne du faisceau, on trouve $C_{\lambda} = 0,90 \text{ rad/R}$.

Le tableau ci-dessous donne le résultat de ces mesures ainsi que le débit de dose moyen pour un fonctionnement du réacteur à 6,0 MW.

Sulfate ferreux (Dosimètre de Fricke)

Une série de mesures à la profondeur de 5 cm nous ont donné une dose de $4,67 \pm 0,19 \text{ rad}$ pour 1 volt du moniteur. Cette dose est déterminée en prenant pour G la valeur de 15,8 recommandée par SHALEK et SMITH (7). Elle est sensiblement plus élevée que celle qui est fournie par la chambre d'ionisation, ce qui rejoint les observations de LAW et TAYLOR (8). Cependant, compte tenu des limites d'erreur de ces mesures, cette différence entre les résultats de l'ionométrie et de la dosimétrie chimique n'est pas significative.

Ionométrie $C_9 \text{ MeV} = 0,90$	Profondeur dans le fantôme		
	3 g/cm ²	5 g/cm ²	7 g/cm ²
Dose absorbée dans l'eau pour 1 volt du moniteur $\pm t_{\sigma}$	4,76 \pm 0,12 rad/V	4,56 \pm 0,12 rad/V	4,37 \pm 0,06 rad/V
Valeurs extrêmes	4,52 < D < 4,99	4,30 < D < 4,81	4,18 < D < 4,56
Débit de dose moyen $(\Delta V \text{ monit} = 26,6 \text{ V/h})$	127 rad/h	121 rad/h	116 rad/h

Dosimétrie à l'aide de la chambre téflon-carbone

Les valeurs extrêmes sont déduites de l'évaluation des limites de l'incertitude totale considérée comme la combinaison linéaire de l'erreur statistique $t\sigma$ (t = facteur de Student pour une probabilité de 0,95) et de l'erreur systématique évaluée à 3 p.cent d'après (5).

DISKUSSION

Die Motivierung dieser Tagung wird nochmals hervorgehoben. In Frankreich befasst sich eine Gruppe mit der Standardisierung von Strahlenmessgeräten. Bei diesen Arbeiten wurde das Problem der Messung bei hohen Gammaenergien herausgearbeitet, Energien von 6 MeV treten beim Betrieb von Kernreaktoren durch die $^{16}\text{N}\gamma$ Strahlung auf. Um bei diesen Energien messen zu können, wurde eine Messeinrichtung an einem Schwimmbadreaktor entwickelt. Diese Einrichtung stand für diese Untersuchungen zur Verfügung.

Die Messergebnisse zeigten ganz deutlich die Heranbildung des Sekundär-Elektronengleichgewichtes. Wird die Ausbildung des Gleichgewichtes nicht berücksichtigt, so können Fehlmessungen bis zum Faktor 2 auftreten.

Der Einfluss des Phantoms wurde untersucht; bei 9 MeV Gammastrahlung ist dieser Einfluss sehr gering, er liegt bei $\pm 2\%$.

Die Eichung der Messeinrichtung wurde nach der C_{λ} Methode vorgenommen, wobei die Werte dem Heft 14 der ICRP entnommen wurden.

Es wurde ein Anwachsen der Empfindlichkeit bei Filmdosimetern für niedrige Dosen festgestellt. Eine Erklärung wurde noch nicht gefunden.

Mit kommerziellen Geiger-Müller Zählrohren wurden Fehler in der Größenordnung 1,5 bis 2 festgestellt. Die Werte lagen alle zu hoch, dagegen wiesen Ionisationskammern einen Fehler um den Faktor 2 zu niedrige Werte aus. Bei hohen Energien sind diese Geräte mit Vorsicht einzusetzen. Thermolumineszenzdosimeter zeigten um den Faktor 2,5 zu niedrige Werte an, wenn sie sehr dünn waren (0,1 mm).

Messungen mit Ionisationskammern zeigten im allgemeinen untereinander und mit dem CEA eine gute Uebereinstimmung.

Die Bestrahlungseinrichtungen wurden von den Teilnehmern als ideal betrachtet und es wurde vorgeschlagen, noch Messungen bei 6 MeV Gammastrahlungen zur Vervollständigung nachzuholen.

DISCUSSION

There was again favourable comment with regard to the purpose of the meeting. A group was working in France on the standardization of radiation measuring equipment. This work was concentrating hard on the problem of high γ -energy measurements. Energies of 6 MeV were generated during the operation of nuclear reactors by ^{16}N γ radiation. In order to be able to measure these energies, measuring facilities were developed in a pool reactor and these were made available for the research.

The results clearly showed the formation of secondary electron equilibrium. If the equilibrium formation was not taken into consideration, errors could occur (up to twice the correct values).

The influence of the phantom was investigated; it was negligible ($\pm 2\%$) in the case of 9 MeV γ -radiation.

The measuring equipment was calibrated according to the C_{λ} -method. The values recommended in ICRP Report No 14 were taken.

It was found that the sensitivity of film dosimeters increased when doses were low. This had not yet been explained.

Errors in the region of 1.5 up to 2 were detected in commercial Geiger-Müller counters. All the values were too high, whereas the readings for ionization chambers were half the correct values. These instruments should be used with care when the energy levels are high. Thermoluminescent dosimeters, when they were very thin (0.1 mm), gave readings which were 2.5 times too low.

Measurements using ionization chambers were generally consistent among themselves and with CEA measurements.

The participants felt that the facilities available were ideal. It was proposed that further measurements using 6 MeV γ -radiation should be conducted for the sake of completeness.

DOSIMETERKALIBRIERUNG MIT 9 MeV-GAMMASTRAHLUNG UND MIT
ROENTGEN-FLUORESCENZSTRAHLUNG IN FONTENAY-AUX-ROSES

B. Burgkhardt, A. Schmitt

1. Einleitung

Strahlenmessgeräte, die in der Kerntechnik eingesetzt werden, werden im allgemeinen im Energiebereich von ca. 0,01 bis 1,3 MeV kalibriert. Ueber das Verhalten der Geräte und Dosimeter bei höheren Gammaenergien ist gewöhnlich wenig bekannt. Von zunehmendem Interesse ist aber die Messung der 6 MeV-Gammastrahlung, die durch Aktivierung von ^{16}O im Kühlwasser von Siedewasser- und von Druckwasserreaktoren entsteht.

Daher führte die Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Direktion Gesundheitsschutz, in Zusammenarbeit mit dem Commissariat à l'Energie Atomique vom 19.11 bis 5.12.1975 in Fontenay-aux-Roses Experimentiertage durch, bei denen die Gelegenheit gegeben wurde, eigene Dosis- und Dosisleistungsmessgeräte mit Gammastrahlung von 9 MeV und mit Röntgenfluoreszenzstrahlung zu kalibrieren. Die Abteilung ASS/GM beteiligte sich mit verschiedenen Festkörperdosimetern und Dosisleistungsmessgeräten. Dabei waren die Bestrahlungen mit 9 MeV-Gammastrahlung von besonderem Interesse, da z.Zt. nur in Fontenay-aux-Roses geeignete Einrichtungen für Kalibrierzwecke zur Verfügung stehen.

Die Ergebnisse unserer Messungen sind in diesem Bericht zusammengefasst.

2. Bestrahlungseinrichtung

Eine ausführliche Beschreibung der 9 MeV-Bestrahlungseinrichtung, die an dem 6 MW-Schwimmbadreaktor TRITON in Fontenay-aux-Roses installiert ist, wurde von TROESCH-LASSEUR, BERMAN und GAULARD gegeben (1). Zum Verständnis unserer Kalibrierungen sei hier nur folgendes dazu bemerkt:

Die Hochenergie-Gammaquanten werden durch Einfang thermischer Neutronen in einem Nickel-Target erzeugt, das in einem tangential zum Core verlaufenden Strahlrohr angeordnet ist. Neutronen werden im Strahlrohr durch einen Poliyäthylen-Körper zwischen LiOH-Abschirmungen gestoppt, der Gammastrahl kann mit einem Bleischieber abgestellt werden. Zur weiteren Abschirmung kann ein Abschnitt des Strahlrohres mit Wasser gefüllt werden. Die Bestrahlungen werden in einem angebauten Betonbunker ca. 5 m vom Ni-Target entfernt vorgenommen. Der Strahl hat einen nutzbaren Durchmesser von 10 cm, über den der Fluss zum Rand zu maximal auf 90% abfällt. Das theoretische Gammapektrum der Einfang-Photonen besitzt eine Reihe von Peaks, wobei die Energie der meisten Photonen zwischen 7 und 9 MeV liegt. Durch die Absorption im Strahlrohr wird dieses Spektrum so aufgehärtet, dass man mit einer effektiven Gammaenergie von 8,5 MeV rechnen kann. Die Dosisleistung beträgt ca. 125 rad/h. Umfangreiche Messungen der Dosisleistung am Messort waren mit Ionisationskammern und chemischen Dosimetern durchgeführt worden. Bei den Vergleichsbestrahlungen wurde mit einer Referenzkammer am Ende des Strahlrohres gemessen und damit die "Energiedosis in 3 cm Wassertiefe" für den Messort angegeben.

Die Kalibrierungen bei Röntgenenergien konnten an einer Anlage durchgeführt werden, die ab dem Jahre 1970 in Fontenay-aux-Roses entwickelt worden war und von CHARTIER, PORTAL, ROMAN und DUGUAY beschrieben wurde (2).

Mit einem Satz von Targets aus Materialien unterschiedlicher Ordnungszahl können monoenergetische Photonen zwischen 5,4 keV und 94,6 keV angeregt werden. Eine hohe spektrale Reinheit wird dadurch erzielt, dass eine Anregung von Streustrahlung möglichst vermieden wird, und die Fluoreszenzstrahlung nach Durchgang durch geeignete Filter senkrecht zum Primärstrahl ausgeblendet wird. Im Nutzstrahl von 13 cm Durchmesser beträgt die Inhomogenität der Intensität nur $\pm 2\%$. Je nach Target wird mit Dosisleistungen von 5 bis ca. 18 R/h gearbeitet. Der als Referenzwert angegebene Wert der Standard-Ionendosisleistung wird mit einer grossen Luftkammer bestimmt.

Für Bestrahlungen mit ^{60}Co -Gammastrahlung war ein Hochdosis-Kalibrierstand verfügbar, der mit einer 2000 Ci-Quelle mit horizontalem Strahl in einem langen Betonbunker aufgebaut ist. Die Dosisleistung konnte dabei zwischen 1 bis 1000 R/h gewählt werden.

3. Tiefendosisverteilung bei 9 MeV-Gammastrahlung

Zur Bestimmung des Aufbaus und der Schwächung der Dosis mit zunehmender Gewebetiefe bei 9 MeV Gammastrahlung wurden zunächst LiF-Dosimeter in einem Polyäthylenphantom bestrahlt. Abb. 1 zeigt den Verlauf der Dosis in Abhängigkeit von der Schichtdicke in g/cm^2 .

Bei kleinen Schichtdicken wird der Anstieg hauptsächlich durch die Zunahme der Sekundärelektronen bestimmt, der Abfall bei grossen Tiefen durch Absorption, da die Intensität des bei grossem Targetabstand praktisch parallelen Strahlenbündels innerhalb des Phantoms als konstant angesehen werden kann. Die Kurve durchläuft ein Maximum bei einer Schichtdicke von ca. $3 \text{ g}/\text{cm}^2$, auf das die relative Anzeige bezogen wurde.

Die in (1) mit einer Ionisationskammer in einem Wasserphantom gemessenen Werte der Energiedosis sind zum Vergleich in diese Darstellung übernommen. Die Übereinstimmung der relativen Tiefendosisverteilung in Schichtdicken oberhalb $3 \text{ g}/\text{cm}^2$ ist sehr gut, die Abweichungen bei kleinen Schichtdicken könnten vor allem durch Unterschiede in der Detektorgeometrie erklärt werden.

Für die Nichtübereinstimmung der Absolutwerte der Energiedosis in $3 \text{ g}/\text{cm}^2$ Schichtdicke, welche 4,75 R (4,5 rad in Wasser) beim LiF-Dosimeter und 5,25 rad bei der Ionisationskammer betragen, wurde bis jetzt keine befriedigende Erklärung gefunden.

Bemerkenswert ist, dass sich der Messwert, der an der Rückseite des Phantoms bestimmt wurde, gut in den Kurvenverlauf einfügt, obwohl hier der ganze hintere Halbraum nur aus Luft besteht. Dies bestätigt die Tatsache, dass bei hohen Gammaenergien die Compton-Streuung wie auch die Ausbreitung der Sekundärelektronen überwiegend in der Strahlrichtung erfolgen.

Aus diesem Grund konnte auch für die Messungen zur Abb. 1 ein Phantom mit relativ geringem Durchmesser verwendet werden. Es bestand aus 15 Scheiben mit 15 cm Durchmesser und 1 cm Dicke, in welche jeweils zwei TLD-700-Presslinge von $3 \times 3 \times 1 \text{ mm}^3$ eingebettet waren. Auf diese Weise konnten alle Messwerte mit einer einzigen Bestrahlung in axialer Richtung gewonnen werden. Für die Auswertung wurden die arithmetischen Mittel der Messwerte von zusammengehörigen Dosimetern verwendet.

4. Berechnung der Ionendosis bei 9 MeV

An der 9 MeV-Bestrahlungseinrichtung wurde als Referenzwert zu jeder Bestrahlung diejenige Energiedosis angegeben, die man an einem festen Bezugspunkt auf der Strahlachse im Innern eines Wasserphantoms in 3 cm Tiefe messen würde. Die Dosimeter waren jedoch - wie allgemein üblich - in "Freiluft" mit ^{137}Cs für die Standard-Ionendosis kalibriert. Um die Empfindlichkeit der Dosimeter bei 9 MeV bestimmen zu können, muss also die angegebene Energiedosis in die entsprechende Ionendosis umgerechnet werden. Als Umrechnungsfaktor bei der Gamma-Energie von 9 MeV verwendeten wir den Wert 0,945 rad/R nach (3).

Da bei der Freiluft-Messung die Absorption durch die 3 cm dicke Wasserschicht fehlt, wurde die so berechnete Ionendosis noch um 5 % erhöht. Dieser Betrag ergab sich aus Abb. 1. Bei Bestrahlungen hinter 3 cm Plexiglas war diese Korrektur nicht erforderlich.

5. Messergebnisse

Alle untersuchten Geräte und Dosimeter waren mit ^{137}Cs für Standard-Ionendosis kalibriert. Die in den folgenden Tabellen angegebene relative Empfindlichkeit ist jeweils der Quotient aus der Anzeige und der am Bestrahlungsort angegebenen Bezugs-Ionendosis bzw. Ionen-Dosisleistung, bezogen auf den entsprechenden Quotienten bei ^{137}Cs -Gammastrahlung. Bei den 9 MeV-Bestrahlungen wurde die Ionendosis aus der angegebenen Energiedosis berechnet, wie in Abschnitt 3 geschildert, an der Röntgenfluoreszenz-Anlage wurde die Ionendosis direkt als Bezugsgrösse angegeben.

Die Energieabhängigkeit der von uns untersuchten, gebräuchlichen Festkörperdosimeter sind in Tab. 1 zusammengestellt. In dieser Darstellung bedeuten zwei hintereinander angegebene, durch Schrägstrich getrennte Werte, dass zwei Dosimeter gleichzeitig bestrahlt worden waren. Untereinander stehende Ergebnisse für einen Dosimetertyp bedeuten, dass zwei Bestrahlungen unter vergleichbaren Bedingungen durchgeführt wurden.

Von den Bestrahlungen bei 9 MeV hinter 3 cm Plexiglas können die Ergebnisse nicht vollständig angegeben werden, da durch ein technisches Versagen der Transportvorrichtung die ersten beiden Sätze von Dosimetern praktisch nicht bestrahlt worden waren und für eine Wiederholung dieser Versuche nicht genügend Arbeitszeit zur Verfügung stand. Die in der letzten Zeile angegebenen Werte geben die Ionendosis an, mit der jeweils bestrahlt wurde.

Von den Glasdosimetern Type FD 1 und Type FD 7 waren je ein Exemplar mit einer sehr dünnwandigen Kapselung so bestrahlt worden, dass der Verlauf der Dosis abhängig von der Tiefe im Glas ausgemessen werden kann.

Die Dosimeter wurden wenigstens mit 7 mg/cm^2 Polyäthylenfolie, mit 500 mg/cm^2 Plexiglas oder mit 1,2 mm Zinn abgedeckt bzw. in der von Studsvik für automatische Auswertung vorgesehenen Kapselung, sowie in der Kugelskapselung für Phosphatgläser der Firma Heist bestrahlt.

Die TLD-Dosimeter waren zur Bestimmung der individuellen Empfindlichkeit vorher mit ^{137}Cs bestrahlt und ausgewertet worden.

Bei der gleichzeitigen Bestrahlung von mehreren Dosimetern waren diese gleichmässig um die Strahlachse angeordnet. Der Abfall der Dosisleistung zum Rand des Strahlquerschnitts wurde bei der Auswertung jedes einzelnen Dosimeters entsprechend der jeweiligen Bestrahlungsposition berücksichtigt. Die Korrektur wurde der Fig. 2 aus (1) entnommen und betrug bis zu 10 %.

Bei 9 MeV-Gammastrahlung zeigen TLD-Dosimeter in ihren gewöhnlich dünnen Kapselungen eine Unterbewertung der Dosis, Phosphatgläser in Energiekompensationsfiltern eine Ueberbewertung. Bei den TLD-Dosimetern wurde, je nach Dicke, eine rel. Empfindlichkeit von 0,24 bis 0,63 festgestellt. Bei dickeren Abdeckungen erhöhen sich diese Werte auf 0,78 (bulb) bzw. 1,12 (CaF₂ in Kugel). Demgegenüber beträgt die rel. Empfindlichkeit der Phosphatgläser in der Kugelskapselung 1,29 bzw. 1,28. Eine zusätzliche Abdeckung mit 3 cm Plexiglas erhöht die rel. Empfindlichkeit der Phosphatgläser nur um ca. 10 %, die der TLD-Dosimeter aber um rd. 40 % fast bis zum Wert 1.

Bei den Ergebnissen der ⁶⁰Co-Bestrahlungen fällt auf, dass die rel. Empfindlichkeit der Phosphatgläser in Kugelskapselungen wie auch die des TLD-bulb-Dosimeters gut bei dem zu erwartenden Wert 1 liegen, die der übrigen Dosimeter dagegen alle merklich niedriger sind. Eine mögliche Erklärung dafür wäre, dass bei den Bestrahlungen nicht für jedes einzelne Dosimeter die Bedingungen für ausreichendes Sekundärelektronengleichgewicht in dem stark ausgeblendeten Strahl gegeben waren.

Bei niedrigen Gammaenergien unterscheiden sich die rel. Empfindlichkeiten der Dosimeter erheblich, je nach der Dicke und dem Material des Dosimeters und der Kapselung. Hervorgehoben sei, dass Glasdosimeter ohne Kapselung bei 9,9 keV immerhin noch eine rel. Empfindlichkeit von 0,28 bzw. 0,42 besitzen, verglichen mit dem Wert 0,65 für ein 1 mm dickes LiF-TLD-Dosimeter. Die Messungen bestätigen auch, dass Lithiumborat-Dosimeter bei 42,5 keV eine geringere Ueberempfindlichkeit besitzen als LiF-Dosimeter.

In Tab. 2 sind die gemessenen rel. Empfindlichkeiten für 9 MeV-Gammastrahlung von einigen Dosisleistungsmessgeräten und von selbstablesbaren Stabdosisimetern aufgeführt. Wegen der hohen Dosisleistung im 9 MeV-Strahl konnten nur Geräte mit entsprechend hohem Messbereich untersucht werden. Aus den Ergebnissen geht deutlich hervor, dass bei 9 MeV die Geräte mit Ionisationskammern wie auch die Stabdosisimeter eine zu niedrige Anzeige liefern, was wegen des fehlenden Elektronengleichgewichtes zu erwarten war. Die zu hohe Empfindlichkeit der GM-Zählrohre dagegen erklärt sich hauptsächlich durch die mit zunehmender Energie ansteigende Gammabsorption durch Paarbildung in der Zählrohrwand.

Die in Tab. 3 zusammengestellten rel. Empfindlichkeiten bei niedrigen Gammaenergien bestätigen die Eignung der beiden untersuchten Geräte für Strahlenschutzmessungen im Röntgenbereich.

Detektor	Hersteller	Kapselung	Rel. Empfindlichkeit					
			Triton 9 MeV Freiluft 3cm Plexi		⁶⁰ Co-Quelle 1,25 MeV Freiluft	Röntgenfluoreszenz 42,5 keV 25,1 keV 9,9 keV Freiluft Freiluft Freiluft		
THERMOLUMINESZENZDOSIMETER								
LiF nat	P Harshaw	Bulb	0,78		1,0	1,28		
⁷ LiF TLD 700 3x3x1 mm ³	P Harshaw	Studsvik	0,54/0,54 0,63/0,63*		0,82/0,83	1,20/1,19 1,15/1,15	0,77/0,76	0,053/0,053
		7 mg/cm ²		0,91		1,21	1,33/1,28	0,70 /0,65
		500 mg/cm ²		0,57	0,99	0,95	1,34	1,21/1,21
⁷ LiF batch 1 6 mm ∅ x 0,4 mm batch 2 6 mm ∅ x 0,4 mm 6 mm ∅ x 0,02 mm	T Teledyn Isotopes	7 mg/cm ²	0,27			1,44	1,41	0,93
	T	7 mg/cm ²	0,24			1,38	1,39	0,96
	T	7 mg/cm ²	0,37			1,20 1,23		
Li ₂ B ₄ O ₇	P Harshaw	Bulb	0,69					
Li ₂ B ₄ O ₇ 4,5mm ∅ x 0,8 mm	P Studsvik	Studsvik	0,56 0,62*		0,80	1,05 0,997	0,62	0,045
		7 mg/cm ²	0,40					
Li ₂ B ₄ O ₇ TLD 800 3x3x1 mm ³	P Harshaw	7 mg/cm ²	0,39					
CaF ₂ TLD 200 3x3x1 mm ³	P Harshaw	Kugel	1,12		0,91			
		7 mg/cm ²	0,37	0,87	0,80	12,1	11,1/11,3	1,57
RPL - PHOSPHATGLASDOSIMETER								
FD 1 8x8x4,7 mm ³	Yokota	Kugel	1,29	1,37	0,99			
		Zinn 7 mg/cm ²	1,42 0,73 0,71*1)	1,53		6,63		
FD 7 8x8x4,7 mm ³	Yokota	Kugel	1,28		1,0			
		Zinn 7 mg/cm ²	1,49 0,76 0,72*1)	1,55 1,14	1,02 1,04	3,73	2,28	0,28
Flachglas DOS 2 RPL 14x14x1,5 mm ³	Schott	Zinn	1,14	1,26	0,79/0,79			
		7 mg/cm ²	0,42	0,89	0,79	2,67/3,06	2,77	0,45
Zylinder 8mm ∅ x 9 mm (Charge 1966)	CEC	Tantal	1,11	1,27	0,86			
		Zinn 7 mg/cm ²	1,24 0,51	1,43 0,87	0,89			
D O S I S			5,5 R	5,3 R	5 R	1 R	3 R	5 R

1) Geeignet für differenz. Auswertung

*) 44,6 R

P= Pressling

T= Teflon

Tab. 1: Relative Empfindlichkeit von Festkörperdosimetern bezogen auf die Empfindlichkeit bei ¹³⁷Cs-Gammastrahlung

Gerät	Detektor	Rel. Empfindlichkeit
Dosisleistungsmeßgeräte		
BERTHOLD LB 1310 (TOL/E)	Ionisationskammer mit Gasverstärkung	0,38 0,60 (mit 4 mm Plexiglas)
JORDAN AGB-10 KG-SR	Hochdruck-Ionisa- tionskammer	0,62
TOTAL Teletektor	GM-Zählrohr	1,47
GRAETZ X-50	GM-Zählrohr	1,90
Stabdosisimeter		
FRIESEKE FH 39 E FH 39 U FH 39 R	Ionisationskammer	0,57 0,57 0,52
LA PHYSIOTECHNIE PHY-SEQ 6		0,58
BERTHOLD LB 14862		0,74

Tab. 2: Relative Empfindlichkeit von Dosisleistungsmeßgeräten und Stabdosisimetern gegenüber 9 MeV Gammastrahlung bezogen auf die Empfindlichkeit bei ^{137}Cs -Gammastrahlung

Gerät	Detektor	Rel. Empfindlichkeit		
		9,8 keV	25,1 keV	42,5 keV
NARDEUX Babyline mit Kappe	Ionisationskammer	0,85	0,96	1,05
		0,20	0,86	1,01
BERTHOLD LB 1310 (TOL/E)	Ionisationskammer mit Gasverstärkung	0,92	1,11	1,11

Tab. 3: Rel. Empfindlichkeit von Dosisleistungsmeßgeräten bei niedrigen Gamma-Energien bezogen auf die Empfindlichkeit bei ^{137}Cs -Gammastrahlung

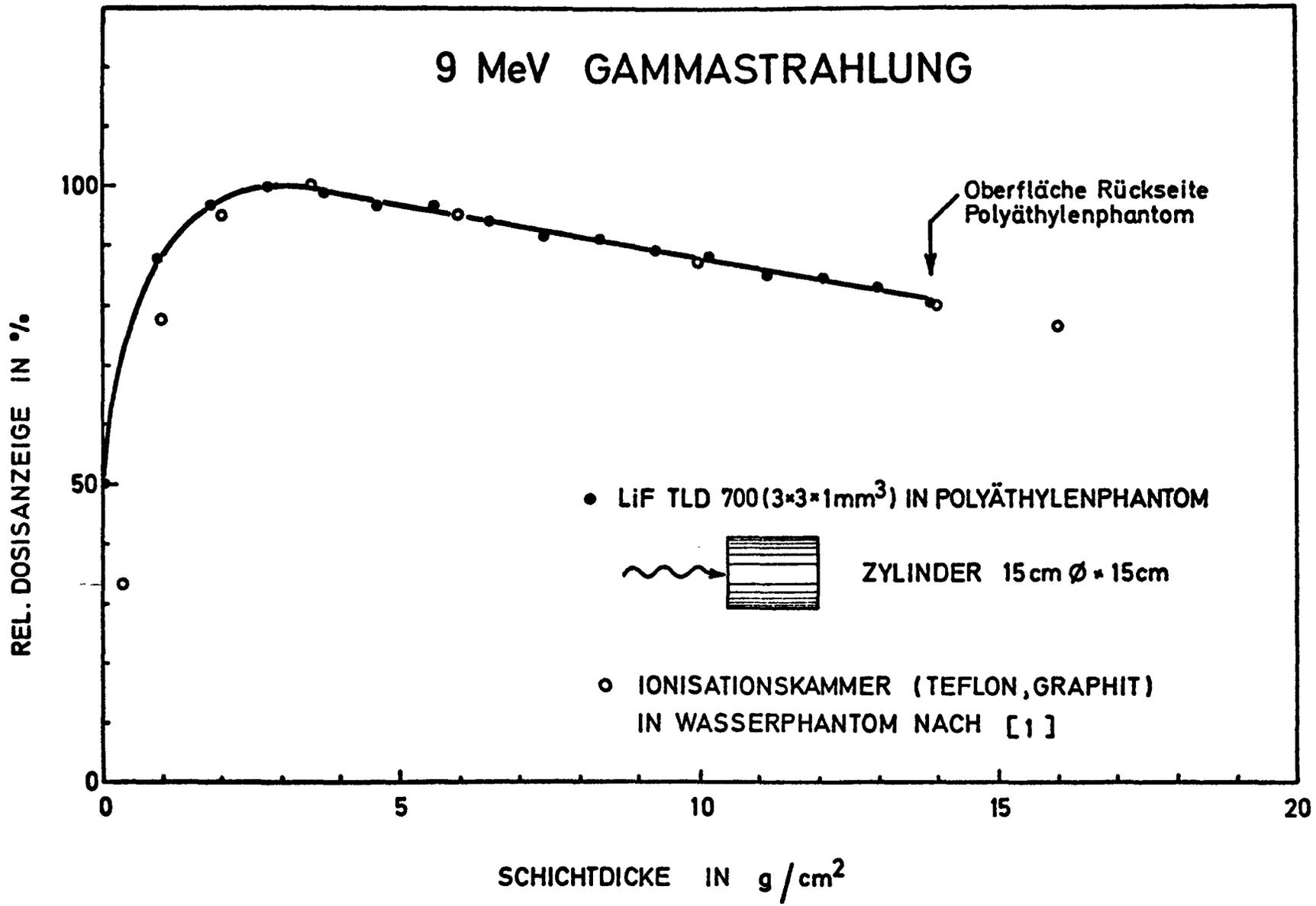


Abb. 1: Tiefendosisverteilung bei 9 MeV Gammastrahlung

Literatur

- (1) Troesch-Lasseur, Bermann, Gaulard:
9 MeV- γ -Reference Beam for Detectors Calibrations.
The Third European Congress of the International Radiation Protection
Association, Amsterdam, 13.-16. Mai 1975;
- (2) J.L. Chartier, G. Portal, D. Roman, D. Dugay:
Production de Rayonnements Monochromatiques Intenses.
Nuclear Instruments and Methods 100 (1972), 107-119;
- (3) Attix, Tochlin
Radiation Dosimetry III
New York, Academic Press 1969, p. 626;

IRRADIATIONS OF PERSONAL DOSEMETERS AT THE
RIJKSINSTITUUT VOOR DE VOLKSGEZONDHEID

C.H. Hofmeester

Since 1964 the primary standards for exposure of ionizing radiation are maintained at the National Laboratory, which is part of the National Institute of Public Health (RIV).

This laboratory is not in charge of protection dosimetry such as filmbadge services and the like which are, in our country, for the larger part entrusted to the TNO-laboratory, which is under the supervision of Drs. Julius.

What I propose to do now is to explain how we proceeded in the irradiation 1975 and with which accuracy.

In 1975 we were asked to irradiate personal dosimeters with cobalt-gamma rays and X rays of 110 kV and ≈ 2 mm copper filtration. The actual quality was 110 kV and 1.98 mm copper and 1 mm aluminium to absorb the 9 keV $K\alpha$ line of copper. The inherent filtration of the X ray tube was 1 mm beryllium. In the case of our special calibration-tube there is no insulating oil mantle; only the anode is cooled with oil. The first HVL was measured to be 0.97 mmCu and the second HVL 1.10 mmCu; this means a homogeneity of 0.88.

The air absorption coefficient was $\mu_{\text{air}} = 0.0144 \text{ m}^{-1}$ or 1.45% m^{-1} (standard air). The uniformity of the field was $\pm 0.5\%$ within a circle with diameter ϕ 14 cm. The tube current was 7 mA.

According to the Drexler catalog of X ray spectra, the spectre under discussion looks very much like number 47 (110 kV - 2.0 Cu - 2 Be) having an effective energy of 76 keV and a full width at half maximum of 48 keV.

To perform the X irradiation we use the substitution technique. The exposure-rate is first measured using the primary standard, a free air ionisation chamber. We then replace the entrance diaphragm at the place of definition with a thin mylar foil, stretched on a large aluminium ring and we position one to three personal dosimeters on it. The irradiation is ended according to the reading of the beam monitor which is also read during the standard chamber irradiation. Finally we measure once more the exposure with the free air chamber to be sure that the monitor worked properly and the quality didn't change.

The target-dosimeter distance was 3 meter and the exposure-rate 43 mR/min.

For the cobalt irradiations we used two sources, one is the standard source with an activity of 300 Ci and a small source of 30 mCi, both using the same collimators giving a vertical beam.

The large exposure was determined by the primary standard, which, in this case, is a carbon cavity chamber; the small exposure with a much larger secondary standard chamber.

Exposure rates were respectively:
1.102 R/min at 3 m
1.2 mR/min at 1,5 m

Evaluation of accuracy

We have to deal with the following sources of error:

primary measurement:	error A
in case of use of a secondary standard:	error B
calibration of secondary standard:	error B
determination of exposure with secondary standard:	error C
exposure of dosimeters:	error D

When we need a weak source for low exposure rate in a geometrically small laboratory instead of the standard reference source, we introduce a number of factors contributing to the total error.

- a. different photon spectra
- b. different exposure rate
- c. different secondary electron contribution
- d. different divergence of beam
- e. different environmental conditions

I will not discuss the systematic errors involved in our primary standards, I just give the results of the recent comparisons with BIPM.

Cobalt $\frac{\bar{X}_{BIPM}}{\bar{X}_{RIV}} = 1.0015$

linear sum of systematic errors in comparison : 0.92%
 quadratic sum of systematic errors in comparison : 0.46%

<u>X rays</u>	\bar{X}_{BIPM}	100 kV	= 0.9929
	\bar{X}_{RIV}	135 kV	= 0.9980
		185 kV	= 0.9987
		250 kV	= 1.0010

Linear sum of uncertainties in X ray calibration procedure inclusive of the standard and transfer instrument.

linear sum : 1.65%
 quadratic sum: 0.40%

General remarks concerning the irradiations

The irradiating Institutes didn't use standardised radiation qualities, whilst some of the participating institutes may have accepted special qualities for regular calibration.

I suppose that doses from spectra with a high degree of homogeneity are more difficult to measure in the low energy region than doses from broad spectra because of the fact that the sensitivity of personal dosimeters changes as a function of photon energy.

If you agree with me that the influence of the spectral distribution is fairly large than I would propose that the irradiating Institutes make a good agreement in this point of view for future radiation qualities.

I realise very well that in reality we hardly know anything about the radiation quality that hits the users of personal dosimeters; but on the other hand we have to realise that during these tests under laboratory conditions 12 dosimeters do not succeed in giving the results within a 30% standard deviation.

So, in my opinion we have to do a step backwards and choose radiation qualities which are compatible. I mean not only agreement about the qualities but also about the circumstances under which the future irradiations will be performed like the distance and beam diameter.

This time the irradiating Institutes stated their irradiations in units of exposure.

Since a number of reading institutes gave their dosis in units of absorbed dose, Mr. Seguin had to convert from one unit into another, giving rise to an extra source of errors.

The fact is that the irradiating Institutes have the best information concerning the spectral distribution and since one needs this information for a correct conversion into different units, I would propose that in future the irradiating Institutes use not only the units of exposure but also units of absorbed dose.

Finally I want to underline a proposal made by Dr. Julius yesterday. He proposed to send in the results in two rounds. The first without any knowledge about the radiation quality and the second round after the reading institutes have been informed about the quality.

It might turn out that with a little bit of extra work one could get a lot of extra information.

	A $^{60}\text{Co-prim.}$	A 110 kV	B $^{60}\text{Co-secund.}$	C $^{60}\text{Co-exp.}$	D ^{60}Co pers. dos.	D 110 kV pers. dos.
capacitor	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-4}		1×10^{-4} (m)
compensating voltage	0.5×10^{-4}	0.8×10^{-4}	(0.5×10^{-4})	1×10^{-4}		1×10^{-4} (m)
collector potential	0.2×10^{-4}	0.2×10^{-4}	-	-		
air pressure	2×10^{-4}	-	(1×10^{-4})	(1×10^{-4})		2×10^{-4} (m)
air temperature	3×10^{-4}	3×10^{-4}	(3×10^{-4})	(3×10^{-4})		3×10^{-4} (m)
μ_{air}	0.2×10^{-4}	3×10^{-4}	-	0.2×10^{-4}		2×10^{-4}
time	1.2×10^{-4}		(1.2×10^{-4})	1.5×10^{-4}	$1,5 \times 10^{-4}$	
recombination			-	5×10^{-4}		
stem influence			-	5×10^{-4}		
uniformity			-	10×10^{-4}	30×10^{-4}	40×10^{-4}
				axial		15×10^{-4}
radial						
leakage correction	0.3×10^{-4}	1×10^{-4}	2×10^{-4}	2×10^{-4}		
distance			5×10^{-4}	13×10^{-4}	30×10^{-4}	20×10^{-4}
scattered radiation					$< 50 \times 10^{-4}$	$< 30 \times 10^{-4}$
linear sum	3.4×10^{-4}	9×10^{-4}	8×10^{-4}	5.4×10^{-3}	11.1×10^{-3}	14.9×10^{-3}
square root quadratic sum	4×10^{-4}	5×10^{-4}	5×10^{-4}	2.3×10^{-3}	6.6×10^{-3}	7.4×10^{-3}

Uncertainty

		systematic		random	total
		quadratic	linear	99%	
X ray exposure	A + D	7×10^{-3}	15×10^{-3}	4×10^{-3}	1.1 %
100 mR ^{60}Co	A + B + C + D	7×10^{-3}	18×10^{-3}	2×10^{-3}	0.9 %
3000 mR ^{60}Co	A + D	6×10^{-3}	10×10^{-3}	1×10^{-3}	0.7 %

KRITISCHE BETRACHTUNG DER DURCHGEFUEHRTEN ARBEITEN

AUS DER SICHT DER AUSWERTER

M. Oberhofer

Nach dem Thema dieses Referats sollte ich stellvertretend für die Auswerter kritisch zu dem Vergleichsprogramm Stellung nehmen.

Das fällt mir nicht ganz leicht, nachdem ich einmal den Grossteil der Auswerter gar nicht persönlich kenne und damit auch nicht deren Meinung bezüglich des Vergleichsprogramms, zum anderen zur Zeit der Ausarbeitung dieses Referats auch nicht im Detail über das Gesamtergebnis des Programms informiert war.

So wird ein wesentlicher Teil des hier angesprochenen Themas in der anschließenden Diskussion behandelt werden müssen.

Ich werde mich hier auf einige wenige persönliche Meinungen zu dem mir gestellten Thema beschränken in der Hoffnung, dass sie dazu beitragen mögen, anregend auf die Diskussion einzuwirken.

Zunächst einmal ganz allgemein zu dem Programm:

Die grosse Anzahl der Teilnehmer legt Zeugnis davon ab, als wie sehr sinnvoll es erachtet wird, solche Vergleichsprogramme durchzuführen und wie sehr man es bestätigt haben möchte, dass man "richtig" liegt. Gerade darin sehe ich auch ein psychologisches Moment. In vielen Fällen genügt selbst eine perfektionierte Technik und deren Beherrschung nicht, um davon überzeugt zu sein, dass die Messergebnisse korrekt sind, sondern erst eine Bestätigung der Güte der Arbeit durch Aussenstehende, was im vorliegenden Falle gleichbedeutend ist mit der Mitteilung weitgehender Uebereinstimmung der erhaltenen Dosiswerte mit den vom Bestrahler als Sollwerte angegebenen. Dadurch wird das Vertrauen in die eigenen Leistungsfähigkeit ganz wesentlich gestärkt, was in der Regel zur Folge hat, dass weitere Anstrengungen unternommen werden, um die angewandten Messverfahren weiter zu perfektionieren - was sicher wünschenswert ist - oder zumindest um die erreichte Messgenauigkeit in Zukunft zu erreichen.

Aber auch weniger gute Uebereinstimmung der Messwerte mit den Sollwerten hat in den meisten Fällen eine positive Auswirkung insofern, als man auf Fehlerquellen aufmerksam wird und Anhaltspunkte zur Eliminierung derselben erhält. In letzterem Falle wäre es allerdings wünschenswert, wenn der Teilnehmer die Möglichkeit erhielte (unabhängig von einem neuen grösseren Vergleichsprogramm), weiterhin in kleinerem Rahmen solche Vergleichsmessungen durchführen zu können, um den Erfolg seiner Bemühungen zur Verbesserung seines Dosimetrierfahrens laufend verfolgen zu können. Hierzu eignen sich vorzüglich auch die nationalen oder regionalen Vergleichsprogramme.

Das Vergleichsprogramm des vergangenen Jahres war auf den Vergleich von Dosimetern ausgerichtet, die einerseits in reinen Roentgen- bzw. Gammastrahlungsfeldern exponiert worden sind, andererseits einer Röntgen-Gamma-Mischstrahlung ausgesetzt waren, wobei die Gleichgewichts-Ionendosen in jedem Falle

unter 5 Roentgen lagen.

Wenn auch meines Erachtens Gamma-Bestrahlungen mit Quantenenergien des Radionuklides Co-60 in ein Vergleichsprogramm für energiereiche elektromagnetische Wellenstrahlung gehören, um bestätigt zu bekommen, dass man hier nach wie vor gut dosimetriert, scheint mir die Aufnahme von Roentgenstrahlung unterschiedlicher effektiver Energie bzw. von Roentgen-Gamma-Mischstrahlung in ein solches Vergleichsprogramm von grösserer Bedeutsamkeit, weil sich gerade hier feststellen lässt, nicht nur ob korrekt entworfene Dosimetersysteme zur Verwendung gelangen, sondern auch inwieweit die verschiedenen filteranalytischen Verfahren in der Praxis beherrscht werden.

Ich denke hier natürlich vor allem an Dosimetersysteme, die auf dem Filmschwärzungsverfahren beruhen, da bei Verwendung von Thermolumineszenzdosimetersystemen mit weitgehend energieunabhängig die Dosis anzeigenden Thermoluminophoren, die Energieabhandlung als Voraussetzung zur Bestimmung der Gleichgewichts-Ionendosis praktisch wegfällt.

Nicht immer gelangen optimal entworfene Systeme zur Verwendung und die Ergebnisse des Vergleichs könnten wesentlich dazu beitragen, das bestentworffene System zu identifizieren und für seinen verbreiteteren zukünftigen Einsatz zu propagieren.

Das Vergleichsprogramm war bekanntlich so entworfen, dass sowohl film- als auch festkörperdosimetrische Messverfahren zur Anwendung kommen konnten und es war wohl auch der Wunsch des Organisators des Programms, getrennte Auswertungen zu erhalten, um Rückschlüsse auf die Leistungsfähigkeit der beiden Systeme ziehen zu können und nicht so sehr von Interesse, ob bessere Werte durch kombinierte Auswerteverfahren erhalten werden können, also bessere Gesamtergebnisse z.B. durch Verwendung von Thermolumineszenzdosimeterwerten zur Korrektur der Filmwerte.

Das Ergebnis des Dosimetervergleichsprogramms zeigt jedem, was er kann. Fragt sich nun, ob das teilweise äusserst zufriedenstellende Ergebnis des Vergleichs auf besondere Anstrengungen der Teilnehmer im Hinblick auf das Programm zurückzuführen ist oder ob es ohne zusätzlichen Aufwand erhalten wurde. Dieser Punkt scheint mir von äusserster Wichtigkeit, was die Routine betrifft, um die es ja hier geht.

Was leistet das jeweilige Verfahren in der Routine? Mit anderen Worten werden die Dosen auch im Routinebetrieb mit der Zuverlässigkeit und Genauigkeit erhalten, mit der sie im Dosimetervergleichsprogramm ermittelt worden sind?

Eine Antwort darauf würde man nur dann erhalten, wenn die in den Bestrahlungslaboratorien exponierten Dosimeter zusammen mit den im Routineeinsatz befindlichen Personendosimetern der üblichen Behandlungsprozedur und Auswertung unterworfen würden, also ohne die Anfertigung von Kalibrierkurven und Kontrollmessungen, die über das hinausgehen, was routinemässig durchgeführt wird.

In diesem Zusammenhang wäre es sicher von Interesse zu erfahren, ob die Teilnehmer Dosimetersysteme bzw. Auswerteverfahren zum Einsatz brachten, deren sie sich in unveränderter Form auch in ihrem Routine-Ueberwachungsprogramm bedienen oder andere.

Wurden die Dosimeter einer eigenen Auswertung unterworfen oder erfolgte der Auswertevorgang nicht zusammen mit anderweitig routinemässig eingesetzten Dosimetern, dürfte es nicht möglich sein, sich ein Bild von der tatsächlichen Leistung im Routinebetrieb zu machen.

Um in folgenden Dosimetervergleichsprogrammen auszuschliessen, dass das Endergebnis nicht den tatsächlichen Leistungen in der Praxis entspricht, sollten die Teilnehmer ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass die Dosiswerte auf die übliche Weise, also routinemässig erhalten werden sollen, ohne zusätzlichen Aufwand zur Erhöhung der Genauigkeit.

Ich nehme an, dass in jedem Falle die Bestrahlungen frei Luft vorgenommen worden sind und sehr wahrscheinlich auch die Kalibrierbestrahlungen in den Dosissmesslabors der Auswerter, obwohl das nicht ausdrücklich verlangt worden ist.

In zukünftigen Vergleichsprogrammen sollte man das jedoch ausdrücklich festlegen, und auch darauf hinwirken, dass in der Routine einheitlich kalibriert wird, wobei ich persönlich meine, dass man hierzu am Phantom bestrahlen sollte. Sicher wäre es auf diese Weise möglich, das Gesamtergebnis eines Dosimetervergleichsprogramms weiter zu verbessern.

Nun noch einige Worte zu den sicher allen Teilnehmern in guter Erinnerung gebliebenen Experimentiertagen in Fontenay-aux-Roses.

Ueber die Möglichkeit hinaus, die relative Empfindlichkeit verschiedener Dosimetersysteme für 9 MeV Photonenstrahlung bezogen auf Co-60 Strahlung zu ermitteln, hatten die Teilnehmer die Chance, für den einen oder den anderen Dosimetertyp die Energieabhängigkeit seiner Anzeige zu bestimmen, wozu Röntgenfluoreszenzstrahlung aus einem Röntgenmonochromator zur Verfügung stand. Aus Zeitgründen war es kaum möglich, pro Energie eine grössere Anzahl von Bestrahlungen durchzuführen, um statistisch gesicherte Werte zu erhalten. So wurden z.B. für die Thermolumineszenzdosimeter der Firmen Eberline und Teledyne-Isotopes derartig grosse Fehlergrenzen erhalten, dass es ratsam erscheint, die Messungen bei Gelegenheit mit einer grösseren Anzahl von Einzelbestrahlungen entweder ein- und desselben Dosimeters, sofortige Auswertung nach jeder einzelnen Exposition oder Bestrahlung mehrerer Einzeldosimeter pro Energie und Mittelwertbildung zu wiederholen. Diese in Fontenay-aux-Roses gesammelte Erfahrung mit TL-Dosimetersystemen wirft erneut die Frage auf, inwieweit mit Einzelmessungen zuverlässige Dosiswerte erhalten werden oder die Frage nach der Reproduzierbarkeit der Messungen. In vielen Fällen konnte eine Verdoppelung der Gleichgewichts-Ionendosis nicht einmal angenähert durch eine Verdoppelung der Dosimeteranzeige bestätigt werden, wobei grösste Aufmerksamkeit sowohl der Vorbehandlung des Detektormaterials als auch der korrekten Auswertung gewidmet worden war. Allerdings ist hier zu vermerken, dass in dem angesprochenen Fall die bestrahlten Dosimeter nicht an Ort und Stelle und auch nicht sofort ausgewertet worden sind, sondern nach längerer Wartezeit im Labor des Teilnehmers. Sofortige Auswertung in Fontenay-aux-Roses hätte vielleicht zu akzeptableren Ergebnissen geführt oder zumindest eine sofortige Eliminierung der "Ausreisser" durch Wiederholungsbestrahlungen und erneute Auswertung erlaubt.

Es scheint also ratsam zu sein, in Zukunft an Arbeitstagen der hier betrachteten Art die Auswertung an Ort und Stelle mit den eigenen Auswertegeräten durchzuführen. Die Mühe des Antransports der Geräte dürfte lohnen.

Was die Thermolumineszenz-Arbeitstagung in Bologna betrifft, kann ich mir als Nichtteilnehmer kaum eine kritische Bemerkung erlauben, bis auf die eine, anderswo zum Ausdruck gebrachte, dass dort anfänglich festgestellte Abweichungen von vorher schon erhaltenen Ergebnissen zur Feststellung führten, dass dafür Zeitmessfehler verantwortlich waren, ein Grund, darauf hinzuweisen, dass bei der Vorbereitung solcher Tagungen auch bis dahin als absolut beherrschte Techniken nochmals einer kritischen Ueberprüfung unterworfen werden sollten, um nicht wertvolle Arbeitszeit durch Wiederholungsmessungen zu verlieren. Das wirkt sich vor allem bei der Teilnahme einer grossen Anzahl von Instituten auf den Programmablauf sehr störend aus.

Damit aber genug der Kritik aus der Sicht eines einzelnen, teilweise an dem Programm Beteiligten, damit zusätzliche kritische Betrachtungen aus dem Kreise der hier Anwesenden weiter dazu beitragen mögen, zukünftige Vergleichs- und Messprogramme von Anfang an schon frei von eventuellen Schönheitsfehlern durchführen zu können.

DISKUSSION

Obwohl von einzelnen die Aufhebung der Anonymität verlangt wird, ist doch die generelle Meinung sie beizubehalten, wobei eine Aufhebung in einzelnen Fällen nicht ausgeschlossen werden soll. Es wurde bemängelt, dass die Dosimeter des Vergleichsprogramms sicher mit mehr Aufmerksamkeit ausgewertet würden, als die Dosimeter in der Routine. Von einigen Teilnehmern wurde dem widersprochen, wohingegen andere dieses bestätigen. Aus den Ergebnissen kann man ersehen wie gut die Dosimetrie sein kann. Eine Auswertung mit grösserer Aufmerksamkeit zeigt, dass die auswertenden Institute in bestimmten Fällen bessere Werte liefern können als bei der normalen Auswertung. Die Auswertung des Vergleichsprogrammes soll keine Wertung abgeben, es ist auch nicht die Aufgabe Dosimetersysteme zu bewerten, solange noch so viele Parameter hineinspielen und die Auswertung immer eine individuelle ist. Es wurde vorgeschlagen bei zukünftigen Vergleichen, die Ergebnisse unter Berücksichtigung der Energie zu korrigieren. Weiter wird verlangt, detailliertere Angaben über die Bestrahlungsbedingungen wie z.B. Typ der Röhre, der Filter, der Spannung, der Geometrie usw. anzugeben.

Die Kontroverse über die verschiedenen Dosimetersysteme zeigte, dass Thermolumineszenzdosimeter im allgemeinen bessere Messwerte des natürlichen Strahlenpegels liefern als Filmdosimeter d.h. aber nicht, dass sie auch bessere Werte in der Personendosimetrie liefern. Ein Dosimeter soll ebenfalls Angaben über die Gleichmässigkeit einer Bestrahlung liefern und es soll Aussagen über die Energie erlauben.

Weiter wurde über die Bedeutung des effektiven Zentrums gesprochen, man einigt sich darin, dass für Personendosimeter das effektive Zentrum gleich dem geometrischen, bei Ionisationskammern gleich der Eingangsapertur und bei Hohlsonden ebenfalls gleich dem geometrischen Zentrum ist.

DISCUSSION

Some participants said that anonymity should be done away with, but the general view was that it should not, though it might be reasonable in certain individual cases. There was some regret that the dosimeters used in the comparison programme were undoubtedly evaluated with greater care than dosimeters in normal use. There was some disagreement over this. The results showed how accurate dosimetry could be. More careful evaluation showed that in certain cases the institutes were able to supply better results than were normally demanded. Evaluation operations under the programme were not meant to give a quality assessment, and the idea was not to judge dosimeter systems either, since so many parameters were involved and evaluation was still such an individual operation. It was proposed that results of future comparative studies should be adjusted to take account of energy levels. It was also suggested that more detailed information about the exposure conditions should be given e.g. type of tube, filters, voltage, geometry, etc.

The controversy over the various dosimeter systems showed that thermoluminescent dosimeters generally measured natural background radiation better than film dosimeters, but this did not mean that they provided better results in personal dosimetry. A dosimeter should also give information about the uniformity of the exposure and allow the energy levels to be deduced.

The question of the effective centre was discussed, and it was agreed that for personal dosimeters the effective centre was the same as the geometric centre. This was also true in the case of hollow probes, whereas for ionization chambers the effective centre was the input aperture.

DRITTE SITZUNG - THIRD SESSION

TROISIEME SEANCE

Président: H. REICH

FORTFUEHRUNG DER VERGLEICHSPROGRAMME

PURSUANCE OF THE INTERCOMPARISON PROGRAMMES

POURSUITE DES PROGRAMMES D'INTERCOMPARAISON

COURSE TO BE FOLLOWED BY FUTURE INTERCOMPARISON PROGRAMMES
IN THE FIELD OF PERSONAL DOSIMETRY

J.A. Dennis

Introduction

I have been asked to attack the problem of prescribing a course for future intercomparison programmes. In less happy times, I, like many of you, was required to undertake military service. In the course of that service, I was taught that it was necessary to have a plan in order to attack an enemy. To make a successful plan one had to remember that most important aspect of all military service "On Friday Comes Pay". This reminds you that you had to consider your Objective, the Factors which might influence your plan and your Communications, when these were understood then you could make your Plan.

Objective

So what is our objective? It is surely to make certain that there is a uniform standard of radiological protection in the Communities in regard to routine personal monitoring. At this point, we might remember that the CEC technical recommendations on personal monitoring give us the objective of personal monitoring "to assess, and thus to limit the radiation doses to individual workers". The other parts of those recommendations state in summary:

- A personal dosimeter provides a relatively inaccurate sample of the radiation environment of the work place.
- For administrative purposes it is convenient to act as though the dosimeter accurately represents organ doses.
- In cases of indicated over exposure it is necessary to investigate to obtain estimates of actual doses to individuals.
- A simple basic dosimeter providing separate estimates of body and skin doses is adequate for control.

These are not strictly factors which should influence the plan, except that any other view of the role of personal monitoring might lead to a different set of factors than those listed below.

Factors

The first factor to be mentioned is that, although there are accurate and agreed standards for radiation field measurements for photons and neutrons, there does not as yet appear to be any internationally agreed standard for electron and beta radiation. Moreover existing standards for all radiations are not in general suitable for calibrations at the low dose rates required for radiological protection purposes.

The second factor to be taken into account is that there is a diversity of dose concepts used in personal monitoring. The most commonly used concept is that of dose at the surface of the body. Some laboratories give this in terms of exposure dose (ion dose)(roentgen), some in terms of absorbed dose

in air or water (rads) and others convert these to dose-equivalent(rem). As is natural with this concept, the doses due to photons and electrons are separated. More recently the concept of absorbed doses or dose-equivalents to the skin and whole body have been introduced with the use of thermoluminescent dosimeters. The adoption of this concept carries with it certain difficulties in the calibration of dosimeters that do not exist with the earlier concept of dose at the surface of the body.

The third factor is the great diversity of monitoring situations. These include construction sites, hospitals, nuclear reactors, research institutes, nuclear fuel processing plants and factories. This diversity leads to the fifth factor which is the diversity of dosimeter types and dosimetry services. There are many types of dosimeter design all of which are equally suitable in general for personal monitoring and there are some which may have been designed for particular monitoring problems. There is also a wide variety of dosimeter services. Some are small and some are large. Some operate postal services, some provide a limited service to one institution. There is no reason to deplore this diversity, providing adequate standards are maintained. The diversity provides flexibility to meet new situations, and attempts should not be made to submerge too much of our individuality and national characteristics in unnecessary uniformity.

Part of the reason for the diversity of dosimeter types is the fifth factor, this is the limited accuracy required for personal dose estimation. The requirement is based partly on the limited accuracy that is possible with a single dosimeter worn on the body and partly on the very low risks associated with exposures at protection levels. Limits on the accuracy of $\pm 50\%$ are proposed in the CEC technical recommendations and in ICRP publication 12. Nevertheless, it is apparent from past intercomparisons that there are situations where even some of the larger and more expert dosimetry services provide dose estimates that are outside these limits. This situation is in need of improvement, although it should be noted that errors are almost invariable on the side of safety. That is, doses are usually overestimated.

Lastly, there are a very large number of dosimetry services in the Communities. There are fifty in the United Kingdom alone. While it would be desirable to involve all these laboratories in the maintenance of standards by means of intercomparison, it is probably impossible to contain them all within one intercomparison programme. There must be a linking of national intercomparison programmes to that of the Communities.

Communications

Luckily the CEC Health Protection Directorate by means of Technical Experts Meetings, the Intercomparison Programme and seminars, is providing the means of communication. However, one suspects that there is much to be done within each national community so that there is a free and adequate flow of information from the Directorate and the Technical Experts Meetings to everyone concerned.

Plan

Before the plan is described it is necessary to state something that is not in the plan. There should be no attempt to impose a uniform system of dosimeters or methods of operating dosimetry services on the Communities. The

plan should be aimed at maintaining uniform general standards and the course of future intercomparisons should contain three key features. These are:

- The national standards institutes of the Communities should agree between them on the realization of primary and secondary standards for the measurement of all radiations of practical importance, i.e. photons, electrons and neutrons, at levels that are significant for radiological protection. That is, amounts of radiation that are equivalent to between 10 mrem and 10 rem and dose rates appropriate to these levels. This agreement should be followed by intercomparisons between these institutes to demonstrate agreement on these measurements which may be in terms of fluence, exposure (ion dose) or Kerma in air.
- Agreement should be reached between the ICRP, the national standards institutes and national organizations responsible for radiological protection on the conversion factors from the primary standards of external radiation to the radiation protection quantity of dose-equivalent. It should be noted that these conversion factors need not necessarily correspond to any measurable physical quantities. It is sufficient that the correspondance is approximately correct. Of more importance is that there should be universal agreement about the factors.
- There should be regular intercomparison programmes in which dosimeters are exposed in accurately measured radiation fields for which the conversion factors are agreed. The purpose of these intercomparisons will be to demonstrate uniformity of standards to the agreed limits of accuracy within the Communities. These intercomparisons should be linked by means of major laboratories to national intercomparisons.

It must be remembered that there is more to the operation of a dosimetry service than calibration and accuracy. A prompt and efficient service must be provided with accurate and complete dose recording. An intercomparison programme can only play a small part in achieving adequate standards, and should be organized to provide the maximum return for the minimum of effort. This effort should be concentrated on doses at the protection levels below 5 rem, and to a lesser extent up to about 25 rem. Doses above 25 rem correspond to accident levels and require special consideration.

There are some points of detail that might be considered for the operation of an intercomparison, they are put forward here for discussion:

- The intercomparison should be run by a co-ordinating committee of some five persons from the Technical Experts Meetings. One of the principal tasks of this committee would be to analyse and present the results.
- Exposures should be confined to perhaps five qualities of radiation: 1 gamma, 2 X ray and 2 beta radiations, all at two dose levels. One dose level in the range 0.25 to 0.75, and the other in the range 20 to 30 rem. No attempt should be made to test environmental influence factors. Participating laboratories may care to state the estimated precision of their service when reporting their results.
- The Commission to supply a standard dosimeter to each participating laboratory. The laboratory to expose this dosimeter to its calibration source for some standard dose.
- Doses to be reported either as doses at the surface of the body or as skin and body doses at agreed depths.

DISKUSSION

Die Uebertragung der Eichstandards von den Primärlaboratorien auf die Geräte des Strahlenschutzes birgt Schwierigkeiten. Die Dosisleistungen der Primärstandardlaboratorien liegen weit über dem Niveau, das im Strahlenschutz benötigt wird. Sicher gibt es Transferkammern, die aber nicht allgemein verwendet werden und die auch nicht ohne Schwierigkeiten zu handhaben sind. Bedingt durch die relativ grosse Ausdehnung dieser Kammern werden hohe Anforderungen an die Homogenität des Strahlenfeldes gestellt. Eine andere Methode zur Uebertragung der Standards bieten die Eichquellen. Die ISO hat für diese Quellen eine Standardisierung vorgenommen.

Das Problem der Grössen, die im Strahlenschutz verwendet werden, wird angesprochen und man ist sich nicht klar, welche Grössen benötigt werden. In den technischen Empfehlungen Nr. 1 von EURATOM werden die Anteile der Strahlung in einen durchdringenden und in einen nicht durchdringenden Teil zerlegt. Diese beiden Komponenten müssen messtechnisch erfasst werden, wobei die eine Komponente für die Körperdosis, die andere für die Hautdosis verantwortlich ist.

Für Strahlenschutzzwecke, d.h. solange die Dosen unter den maximal zulässigen Dosen liegen, brauchen keine hohen Anforderungen an die Genauigkeit der Dosimeter gestellt zu werden. Bei Ueberschreitungen muss das Dosimeter weitere Angaben liefern können. Die Zeit bis zur Auswertung muss kurz sein.

Eine Auswertestelle muss in diesen Fällen nicht nur Angaben über die Dosis machen können, sondern auch weitere Informationen aus dem Dosimeter herausholen. Im allgemeinen genügt die Personendosimetrie für Photonenstrahlung den Anforderungen. Eine Verbesserung sollte auf dem Gebiet der Ortsdosimetrie vorgenommen werden.

Es wird allgemein bedauert, dass es noch keine einheitlichen Konversionsfaktoren von der Ionendosis zur Energiedosis gibt. In nationalen und internationalen Gremien werden Standardisierungen behandelt. Durch einen besseren Informationsfluss soll verhindert werden, dass die Normungen in verschiedenen Richtungen laufen.

Es wurde weiter angeregt, das Vergleichsprogramm auch auf das Gebiet der Betadosimetrie auszudehnen. Dieses ist für 1978 vorgesehen, wobei die Vorbereitungen 1977 anlaufen sollen.

DISCUSSION

There were a number of difficulties in applying the calibration standards used by the primary laboratories to the equipment used in radiological protection. The dose rates of the primary standards laboratories were far above the level required in radiological protection. There were transfer chambers, certainly, but these were not generally used nor were they altogether easy to operate. Because these chambers were relatively large, the radiation field must satisfy strict requirements as to its homogeneity. The calibration sources offered another method of transferring the standards. The ISO had standardized these sources.

The problem of the quantities used in radiological protection was discussed, and it was not clear which quantities were needed. In Euratom's technical recommendations (No 1) radiation was divided into two parts: penetrating and non-penetrating. These two had to be accurately evaluated; one was responsible for the body dose and the other for the skin dose.

For the purposes of radiological protection (i.e. as long as the doses were below the maximum permissible doses) dosimeters need not be accurate to a very precise degree, but when permissible doses were exceeded, the dosimeter had to be capable of providing additional information and evaluation had to be prompt.

In such cases the processing laboratory had to be able not only to indicate the dose received but also to extract further information from the dosimeter. Personal dosimetry was normally adequate for exposure to photon radiation. Improvements should be made in the field of local dosimetry.

There was general regret that there were as yet no standard conversion factors to express exposure as absorbed dose. National and international bodies were discussing standardization. A better flow of information would ensure that this work of standardization did not proceed in different directions.

It was again suggested that the programme should be extended to cover β -dosimetry. This was scheduled for 1978, and preparations would begin in 1977.

FESTLEGUNG DER BESTRAHLUNGSBEDINGUNGEN UND
BEZUGSGRÖSSEN FÜR VERGLEICHE

E. Piesch

Zusammenfassung:

Ausgehend von den Aufgaben der Strahlenschutzdosimetrie werden die für Vergleichsmessungen erforderlichen Bestrahlungsbedingungen und Bezugsgrößen diskutiert. Bezugsgröße bei Kalibrierbestrahlungen frei in Luft sowie am Phantom ist die Standardionendosis am Ort des Dosimeters. Mit Hilfe von Umrechnungsfaktoren kann daraus die interessierende Körperdosis in 10 mg/cm^2 bzw. 500 mrg/cm^2 ermittelt werden. Bei Vergleichen interessieren vor allem die Auswahl der Einflussgröße, Regeln für eine Freiluft- und Phantombestrahlung, die Messunsicherheit sowie die Vergleichbarkeit der Messergebnisse. Die Vorgabe optimaler Bestrahlungsbedingungen bestimmt hierbei die Messgenauigkeit bei der Übertragung der Messgröße vom Nationallabor auf die Kalibrierbestrahlung.

1. Einleitung

Unter Vergleichsbestrahlung wird hier die Kalibrierbestrahlung verschiedener Dosimeter unter einheitlich festgelegten Bestrahlungsbedingungen verstanden. Das grosse Interesse an internationalen Vergleichen beruht auf den Wünschen und Erwartungen aller Beteiligten, Kalibrierungen mit höchster Messgenauigkeit zu erhalten und unter Vorgabe zweckmässiger Einflussgrößen sowie mit einem Minimum an eigenem Arbeitsaufwand die Leistungsfähigkeit u.a. auch anderer Dosimetersysteme zu überprüfen.

Vergleichsmessungen werden unter verschiedenen Gesichtspunkten durchgeführt (siehe Tab. 1). Ausgehend von der Anwendung der Dosimeter innerhalb der Personen-, Orts- und Umgebungsüberwachung werden spezielle Einflussgrößen vorgegeben, um bestimmte dosimetrische Eigenschaften des Dosimetersystems zu untersuchen. Man unterscheidet hierbei einfache Kalibrierbestrahlungen zur Ermittlung der Messgenauigkeit, Kalibrierbestrahlungen zur Bestimmung der Energieabhängigkeit bei Bestrahlung des Dosimeters frei in Luft (Ortsdosimetrie) bzw. am Phantom (Personendosimetrie), langzeitige Kalibrierbestrahlungen, beispielsweise im Freien zur Messung des natürlichen Strahlenpegels, sowie ausführliche Testkalibrierungen von Dosimetersystemen.

Nutzen und Erfolg einer Vergleichsbestrahlung werden hierbei schon durch die Vorgabe optimaler Bestrahlungsbedingungen und zweckmässiger Bezugsgrößen vorbestimmt. Die hierzu erforderlichen Kriterien ergeben sich unmittelbar aus den Aufgaben der Strahlenschutzdosimetrie und den Anforderungen an Vergleichsmessungen.

Es ist Aufgabe der Personendosimetrie innerhalb der Strahlenschutzüberwachung

- die interessierende Messgröße unter jeweils vorgegebenen Bestrahlungsbedingungen an der Person, vor Ort und in der Umgebung zu messen und

- diejenigen Einflussgrössen zu untersuchen, welche die Messgenauigkeit beeinträchtigen können, wie zum Beispiel Akkumulierungsdauer, Dosisbereich, Strahlenart, Energie, Richtung, Umwelteinflüsse.

Sinn und Zweck von Vergleichsmessungen ist

- die Ueberprüfung der Messgenauigkeit eines Dosimetersystems in Bezug auf die Anzeige der interessierenden Messgrösse unter Berücksichtigung vorgegebener Einflussgrössen,
- der Vergleich mit dem nationalen Primärstandard, mit anderen Messtellen, mit anderen Dosimetersystemen,
- die Ueberprüfung der Leistungsfähigkeit von Dosimetersystemen unter den Bedingungen einer routinemässigen Laborauswertung und des praktischen Einsatzes.

Hauptaufgabe der Vergleichsmessungen ist demnach die Kalibrierung bzw. Kalibrierbestrahlung von Dosimetern unter Bestrahlungsbedingungen, welche sich aus der Anwendung der Dosimeter ergeben. Dies bedeutet die Uebertragung der Messgrösse und der Messgenauigkeit vom Primärstandard über das Standarddosimeter auf das jeweilige Strahlungsfeld, in welchem die Dosimeter frei in Luft oder am Phantom definiert auf eine vorgegebene Dosis bestrahlt werden. Bezugsgrössen und Bestrahlungsbedingungen müssen daher von den Kalibrierbedingungen im Primärstandard-Labor abgeleitet werden.

Im folgenden werden ausschliesslich Vergleiche mit Dosimetern zum Nachweis von Photonen im Energiebereich 10 keV bis 3 MeV behandelt. Für die Kalibrierbestrahlungen werden hierbei allgemein gültige Bestrahlungsbedingungen abgeleitet, welche auch bei Bestrahlung am Phantom zunächst unabhängig von der interessierenden bzw. einer evtl. zu einem späteren Zeitpunkt festzulegenden Messgrösse sind und unter Zugrundelegung geeigneter Umrechnungsfaktoren die direkte Anzeige der Körperdosis oder- als Ersatz dafür - des Aequivalentdosisindex ermöglicht. Fragen im Zusammenhang mit der Kalibrierung von Orts- und Personendosimetern auf den Aequivalentdosisindex werden hierbei angesprochen, die zur Diskussion gestellten Bezugsgrössen und Bestrahlungsbedingungen sind jedoch ohne jegliche Aenderung auch für das derzeit gültige Konzept anwendbar, an einer repräsentativen Stelle der Körperoberfläche, nach welchen die Standardionendosis bestimmt werden soll.

2. Bezugsgrössen

2.1 Interessierende Messgrössen

In der Personendosimetrie ist die Energiedosis in Weichteilgewebe bzw. Wasser als interessierende Messgrösse anzusehen. In Uebereinstimmung zur Euratom-Empfehlung (1) sollen hierbei folgende Messgrössen ermittelt werden:

- die Hautdosis in Gewebetiefen von $5-10 \text{ mg/cm}^2$ bei nichtdurchdringender Strahlung (energiearme Röntgenstrahlung, energiearme Betastrahlung),
- die Tiefendosis in einer Gewebetiefe von $400-1000 \text{ mg/cm}^2$ unter der Körperoberfläche bei durchdringender Strahlung (Photonen, energiereiche Elektronen).

Zur Zeit werden vom Fachnormenausschuss Radiologie (FNR) die Begriffe Ortsdosis und Personendosis auf der Grundlage von ICRU 19 neu definiert (siehe auch (16)). Hierbei wird von einem älteren Konzept ausgegangen, für Ortsdosis- und Personendosismessungen die Körperdosis als einheitliche Messgrösse zugrunde zu legen (3,4). Die Ortsdosis und die Personendosis sind danach - anstelle der tatsächlich auftretenden Körperdosis - die maximale Aequivalentdosis (dose equivalent index) in einer Kugel von 15 cm Radius aus weichteilgewebeäquivalentem Material der Dichte 1 g/cm^3 mit dem Kugelmittelpunkt als Bezugsort (2).

Bei allen Arten von Kalibriervergleichen ist es jedoch zweckmässig, die Standardionendosis als Bezugsgrösse zugrunde zu legen, die mit dem Sekundärstandarddosimeter in einem Strahlungsfeld frei in Luft unter Sekundärelektronengleichgewicht angezeigt wird. Bei Sekundärstandarddosimetern ist der auf die Standardionendosis bezogene Kalibrierfaktor für verschiedene Strahlenenergien vorgegeben.

Entsprechende Umrechnungsfaktoren (rd/R , s. Tab. 2) zur Ermittlung der Energiedosis in Weichteilgewebe und Wasser, die sich bis zu 3,5% unterscheiden, beziehen sich bisher ausschliesslich auf Freiluftbestrahlungen. Entsprechende Umrechnungsfaktoren für die Bestimmung der Körperdosis bzw. des Aequivalentdosisindex stehen für Phantombestrahlungen bisher noch nicht zur Verfügung. Die in der Strahlentherapie benutzten Umrechnungsfaktoren können andererseits für den vorliegenden Zweck nicht herangezogen werden (10). Ältere experimentell ermittelte Faktoren von A.R. Jones (6) beziehen sich hingegen auf eine mittlere Organdosis und sind für die vorgesehene Kalibrierung zu ungenau. Daher ist eine Kalibrierbestrahlung von Ortsdosimetern und Personendosimetern in Bezug auf die interessierende Messgrösse - die Körperdosis bzw. den Aequivalentdosisindex - zur Zeit noch nicht realisierbar.

2.2 Kalibrier-Bedingungen

Die Bezugsgrössen für die hier zur Diskussion stehenden Vergleiche sind in Tab. 3 gegenübergestellt. Die Forderung, bei allen Vergleichen einheitliche Bestrahlungsverhältnisse zu verwirklichen, wird erfüllt bei der Uebertragung der Messgrösse vom Primärstandard auf das Sekundärstandarddosimeter sowie bei einer Routinekalibrierung, welche im Strahlungsfeld frei in Luft durchgeführt wird.

Für die Kalibrierung eines Personendosimeters müssen jedoch - bedingt durch die unterschiedliche Aufgabenstellung in der Personendosimetrie - notwendigerweise andere Bestrahlungsverhältnisse und Bezugsgrössen vorgegeben werden. Hier soll das Dosimeter, bedingt durch seine Konstruktion, in unterschiedlichen Abständen von der Phantomboberfläche bestrahlt werden. Anstelle der Standardionendosis wird eine getrennte Anzeige der Hautdosis und der Tiefendosis gewünscht. Der Kalibrierfaktor eines Personendosimeters und dessen Energieabhängigkeit muss demnach auf eine Phantombestrahlung sowie auf eine Energiedosis in einer definierten Gewebetiefe bezogen werden.

Eine in diesem Umfange erforderliche Kalibrierung des Personendosimeters am Phantom ist heute aus verschiedenen Gründen nur bedingt verwirklichbar. Für Vergleiche können jedoch Kalibrierbestrahlungen am Phantom unter Zugrundelegung entsprechender Bestrahlungsbedingungen ausreichend genau durchgeführt werden.

Prinzipielle Schwierigkeiten ergeben sich bei der Kalibrierung dadurch, dass im Primärstandard-Labor die Uebertragung der interessierenden Messgrößen nicht mit der erforderlichen Genauigkeit möglich ist. Im Einzelnen seien hier folgende Schwierigkeiten angeführt:

- das Primärstandard-Labor war bisher nicht in der Lage, ein Sekundärstandarddosimeter an der Oberfläche eines Phantoms im Bezug auf die interessierende Messgröße zu kalibrieren. Hierzu fehlen Kalibriervorschriften für die Korrektur von Wand- und Volumeneffekten bei Ionisationskammern und die Vorgabe eines Standardphantoms.
- Gebrauchsdosimeter und Sekundärstandarddosimeter unterscheiden sich untereinander hinsichtlich Gewebeäquivalenz, Grösse, Wanddicke der Kapselung, Energieschwelle, Abstand zum Körper. Es ist daher nicht möglich, die interessierende Messgröße durch einen Vergleich beider Dosimeteranzeigen frei in Luft bzw. an der Phantomoberfläche auf das Dosimeter zu übertragen.
- Konversionsfaktoren für die Umrechnung der Standardionendosis in eine Standardenergiedosis in verschiedenen Gewebetiefen an der Phantomoberfläche - z.B. in 10 mg/cm^2 bzw. 500 mg/cm^2 - existieren bisher nicht und werden wohl erst in einigen Jahren zur Verfügung stehen.
- Die maximale Messunsicherheit, die für die Bestimmung des Kalibrierfaktors von Sekundärstandarddosimetern mit $\pm 4 \%$ angegeben wird, ist für Routinekalibrierungen zu hoch. Die Angabe eines systematischen Fehlers $\pm 2 \%$ wäre wünschenswert und, wenn man die Ergebnisse von Vergleichbestrahlungen heranzieht, auch realisierbar.
- Strahlungsfelder, die im Primärstandard- bzw. Sekundärstandardlabor verwendet werden, unterscheiden sich unter Umständen in der Grösse des Nutzstrahlenkegeldurchmessers, im Abstand zur Quelle, im unvollständigen Sekundärelektronengleichgewicht am Messort, vor allem jedoch in der Strahlenqualität, da anstelle monoenergetischer Röntgenfluoreszenzstrahlung unterschiedlich hartgefilterte Röntgenbremsstrahlung verwendet wird. Dies erhöht die Messunsicherheit bei Vergleichen, insbesondere bei der Bestimmung der Energieabhängigkeit eines Dosimeters.

2.3 Phantomkalibrierungen

Regeln für die Kalibrierbestrahlung von Dosimetern zur Direktanzeige der Körperdosis wurden in den vergangenen Jahren ausführlich erörtert (3,7,8) und auch praktisch für Freiluft- bzw. Phantomkalibrierungen angewandt (4,9). Die erforderlichen Bezugsgrößen für eine Phantomkalibrierung sind in Tab. 4 im Vergleich zu einer Kalibrierung frei in Luft dargestellt. Ausgehend von der Messung der Standardionendosis am Ort des Dosimeters lässt sich in beiden Fällen für das Personendosimeter ein Kalibrierfaktor ermitteln, der aus der jeweiligen Anzeige des Dosimeters Freiluft α bzw. am Phantom α_p und der im Strahlungsfeld am Messort ohne Phantom vorhandenen Standardionendosis ermittelt wird. Damit lässt sich - unter Verzicht auf die interessierende Messgröße - die Energieabhängigkeit der Dosimeteranzeige Freiluft und an der Phantomoberfläche angeben. Die am Phantom ermittelte Energieabhängigkeit des "Kalibrierfaktors" - bezogen auf die Hilfsgröße Standardionendosis - kann zu einem späteren Zeitpunkt auf jede interessierende Messgröße umgerechnet werden.

Die hier vorgeschlagene Kalibrierbestrahlung hat den Vorzug, dass zur Uebertragung der interessierenden Messgrösse auf das Dosimeter weder ein Primärstandard noch ein Sekundärstandard erforderlich ist und damit zusätzliche, in diesem Fall vermeidbare Fehlereinflussgrössen erst gar nicht auftreten. Hinzu kommt, dass entsprechende Umrechnungsfaktoren für den Äquivalentdosisindex berechnet werden müssen und eine Direktmessung an der Oberfläche eines Kugelphantoms mit unterschiedlich gebauten Primär- und Sekundärstandarddosimetern äusserst schwierig zu verwirklichen ist.

3. Bestrahlungsbedingungen

Die Vorgabe von Bestrahlungsbedingungen reduziert die Zahl der vorhandenen Einflussgrössen und damit den Umfang der erforderlichen Vergleiche. Bei Kalibrierbestrahlungen frei in Luft und am Phantom wird daher von folgenden Bedingungen ausgegangen:

- Ausschliesslich Verwendung der Standardionendosis als direkt übertragbare Messgrösse auch bei Phantombestrahlungen,
- bei allen Vergleichen soll am Bestrahlungsort Sekundärelektronengleichgewicht vorhanden sein,
- Beschränkung auf eine frontale Strahleneinfallrichtung bei einer Routinekalibrierung, bei Phantombestrahlungen zusätzlich Bestrahlungen unter einem Einfallswinkel von 90° und 180° ,
- für die Umrechnung von Standardionendosis auf Energiedosis können bei Phantomkalibrierungen auch entsprechende Faktoren für Freiluftbestrahlungen aus Tab. 2 benutzt werden. Die Dosisanzeige wird damit lediglich auf Gewebeäquivalenz bezogen, wobei der Dosisanteil der Rückstreustrahlung an der Phantomboberfläche, der bis zu 50% betragen kann, unberücksichtigt bleibt,
- für Phantombestrahlungen wird als Standardphantom im allgemeinen ein zylindrisches Phantom oder ein Alderson Menschphantom mit Knochenskelett und gewebeäquivalentem Material benutzt.

Abb. 1 erläutert die Bedingungen für die Kalibrierbestrahlung von Dosimetern an der Phantomboberfläche, insbesondere zur Bestimmung der Energieabhängigkeit der Dosimeteranzeige bei frontaler, seitlicher und rückseitiger Bestrahlung des Dosimeters (7). Ausgehend von einem Freiluftvergleich des Standarddosimeters in Pos. 1 und des Referenzdosimeters in Quellennähe in Pos. 2 wird bei allen nachfolgenden Bestrahlungspositionen am Phantom auf die gleiche Standardionendosis bestrahlt, die ohne Phantom am Messort 1 vorhanden wäre.

Zur Verwirklichung reproduzierbarer Messverhältnisse werden hierbei folgende Voraussetzungen gemacht:

- der Nutzstrahlenkegel muss grösser sein als der Phantomquerschnitt,
- die jeweilige Standardionendosis in Pos. 3, 4 und 5 wird mit Hilfe der in Pos. 2 gemessenen Standardionendosis für Bestrahlungsverhältnisse frei in Luft ermittelt,
- das Strahlenfeld soll an den Messpositionen ausreichend homogen sein. Für einen Abstand > 2 m beträgt die örtliche Aenderung der Standardionendosis zwischen Pos. 1 und 3 beispielsweise weniger als 10%.

Abb. 2 zeigt am Beispiel von 2 verschiedenen Dosimetern die für beide Bestrahlungsverhältnisse ermittelte Energieabhängigkeit der Dosimeteranzeige bezogen auf eine Standardionendosis. Ein solcher Vergleich ist bei Typenkalibrierungen von Personendosimetersystemen erforderlich, da frei in Luft kalibrierte, annähernd energieunabhängige Dosimeter bei unvollständiger Luftäquivalenz bzw. Gewebeäquivalenz die energiearme Rückstreustrahlung am Phantom unterschiedlich bewerten. Das Verhältnis der Dosimeteranzeigen α_p/α lässt andererseits keine Aussage über die erzielte Energieabhängigkeit der Dosimeteranzeige α_p in Bezug auf die interessierende Messgröße zu. Andererseits soll bei Ortsdosimetern und bei Personendosimetern Energieunabhängigkeit der Dosisanzeige in Bezug auf die Körperdosis bzw. den Äquivalentdosisindex angestrebt werden.

4. Messunsicherheit bei Vergleichen

Die Messunsicherheit für die Darstellung der Standardionendosis erhöht sich bei der Übertragung der Messgröße vom Primärstandard auf das Sekundärstandarddosimeter bzw. auf das Gebrauchsdosimeter. Abb. 3 zeigt die maximale Messunsicherheit bei der Messung der Standardionendosis, die zunächst für den Primärstandard bei 1,5 % für Röntgenstrahlung und ± 3 % für Gammastrahlung liegen kann. National-Labors geben für die Messunsicherheit des Kalibrierfaktors von Sekundärstandarddosimetern entsprechend dem jeweiligen Dosimetertyp Werte von ± 4 % bis ± 7 % an. Diese Messunsicherheit wird bei Phantombestrahlungen nicht wesentlich erhöht, da auch hier ebenso wie bei Freiluftkalibrierungen auf die Standardionendosis im ungestörten Strahlungsfeld bezogen wird.

Die hier angegebene maximale Messunsicherheit muss daher auch bei Vergleichsbestrahlungen zugrundegelegt werden. Ein Vergleich unter den verschiedenen nationalen Primärstandards zeigt jedoch, dass die praktisch vorhandene Messunsicherheit 1-2 % beträgt. Die tatsächliche Messunsicherheit wird jedoch ähnlich wie bei Kalibrierungen im Primärstandardlabor auch bei Vergleichen in günstigen Fällen 2 % entsprechen.

Eine zusammenfassende Darstellung der wichtigsten Vergleiche mit Angabe der Bestrahlungsbedingungen für die jeweils entsprechende Einflussgröße und die Messunsicherheit der Bestrahlung ist in Tab. 5 wiedergegeben.

Bei der gleichzeitigen Kalibrierbestrahlung einer Vielzahl von Dosimetern kann eine Reproduzierbarkeit von $\leq 0,5$ % und eine Messgenauigkeit von 2 % erhalten werden. Bei der Bestimmung der Energieabhängigkeit ist hingegen mit einem Messfehler von 4 % bis 10 % zu rechnen. Abb. 4 zeigt als Beispiel die Ergebnisse des Euratom-Workshops in Bologna (12), bei welchem die Messgenauigkeit von 8 verschiedenen TLD-Systemen über einen Zeitraum von 5 Tagen untersucht wurde. Hierbei wurden täglich jeweils 10 Dosimeter mit 100 bzw. 2000 mR bestrahlt und ausgewertet. Abb. 5 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Messergebnisse von 40 Teilnehmern an einem internationalen Vergleich nach dreimonatiger Messung des natürlichen Strahlenpegels in Houston (13). Innerhalb eines Arbeitskreises (11) werden zur Zeit umfangreiche Vergleichstests von TLD- und RPL-Systemen durchgeführt. Bei diesem Vergleich werden zweckmäßigerweise jeweils 10 Dosimeter gleichzeitig bestrahlt und ausgewertet, um mit möglichst kleinem statistischem Messfehler die Messgröße auf das Auswertegerät d.h. das Dosimetersystem zu übertragen bzw. die entsprechende Reproduzierbarkeit, Messbereichslinearität oder Langzeitstabilität zu bestimmen.

5. Vergleichbarkeit der Messergebnisse

Bei Vorgabe eindeutiger Bestrahlungsbedingungen kann die Kalibriergenauigkeit des Primärstandard-Labors auf die zum Vergleich vorliegenden Dosimetersysteme übertragen werden. Auftretende Messfehler können dann dem betreffenden Dosimetersystem bzw. dem Messlabor angelastet werden. Dies ist für alle Teilnehmer im Hinblick auf eigene Messergebnisse sicherlich zutreffend, im Hinblick auf die Vergleichbarkeit der Ergebnisse verschiedener Dosimetersysteme jedoch nicht zwingend notwendig.

Die Vertrauenswürdigkeit und Qualität von Vergleichen basiert auf der lückenlosen Gleichbehandlung aller teilnehmenden Dosimetersysteme sowohl bei der repräsentativen Auswahl von Einflussgrößen und Bestrahlungsbedingungen als auch bei der Auswertung und Darstellung der Ergebnisse. Es soll an zwei Beispielen veranschaulicht werden, dass das Prinzip der Vergleichbarkeit unter Umständen in Frage gestellt werden kann.

Gravierende Unterschiede in der Leistungsfähigkeit verschiedener Dosimetertypen werden beispielsweise dann auftreten, wenn Einflussgrößen und Bestrahlungsbedingungen ausgewählt werden, welche für einen speziellen Dosimetertyp besonders günstig, für andere hingegen ungünstig sind. Erfreulicherweise sorgen u.a. auch die Teilnehmer an Vergleichen für eine repräsentative Auswahl der Bestrahlungsbedingungen, so dass dieser Fehler kaum auftritt.

Vergleichbare Bestrahlungsbedingungen sind andererseits dann unter Umständen nicht mehr gegeben, wenn eine Dosimeterkombination, bestehend aus verschiedenen Dosimetertypen, gemeinsam bestrahlt und ausgewertet wird. Bei der Wiedergabe der Messergebnisse werden die einzelnen Dosimetertypen getrennt aufgeführt und aus der Darstellung der Messergebnisse geht nicht hervor, dass diese Detektoren als Dosimeterkombination bestrahlt wurden.

Tab. 6 zeigt am praktischen Beispiel, welche unterschiedlichen Messfehler heute gebräuchlich Personendosimeter zeigen können, wenn mit Hilfe der Dosimeterkombination zusätzliche Aussagen über die Strahlenqualität zur Korrektur der Energieabhängigkeit des Einzeldosimeters herangezogen werden.

Als Teilnehmer an Vergleichen müssen wir alle aus praktischen Gründen des öfteren solche Dosimeterkombinationen benutzen. Es besteht daher kein Grund, die Richtigkeit der Ergebnisse gerade anderer Messtellen anzuzweifeln. Es soll hier nur auf das offensichtliche Fehlen einer eindeutig festgelegten Bestrahlungsbedingung hingewiesen werden. Hier müssen die Organisatoren von Vergleichen dafür Sorge tragen, dass Einzeldosimeter entsprechend getrennt bestrahlt bzw. zusätzliche Angaben über die entsprechende Dosimeterkombination gemacht werden, um das Prinzip der Vergleichbarkeit auch hier lückenlos zu erfüllen.

6. Zukünftige Vergleiche

Phantombestrahlungen von Personendosimetern werden schon seit mehr als 10 Jahren durchgeführt, ohne dass diese für die praktische Anwendung besonders wichtige Bestrahlungsbedingung bei grösseren internationalen Vergleichen Eingang gefunden hätte. Das Fehlen von Umrechnungsfaktoren zur Ermittlung der Körperdosis bzw. des Äquivalentdosisindex aus der Standardionendosis verdeutlicht den gegenwärtigen Entwicklungsrückstand auf dem Gebiet der Strahlenschutzdosimetrie. Die Einführung der Messgrösse Äquivalentdosisindex bedeutet andererseits eine totale Neuorientierung der Strahlenschutz-

dosimetrie, was wiederum eine Anpassung bzw. Verbesserung der vorhandenen Dosimetersysteme nach sich ziehen wird. Eine besondere Aufgabe fällt hierbei den Vergleichsmessungen zu, da diese von allen Dosimeterauswertestellen als Grundlage für eine Neukalibrierung ihrer Dosimetersysteme angesehen werden

Die Vergleiche sollen in Zukunft auch auf Dosimeter zum Nachweis von β -Strahlung und Neutronen ausgedehnt werden. Bei einer Messung von β -Strahlung erscheint es sinnvoll, als Messgrösse die Energiedosis in einer Gewebetiefe in 4 mg/cm^2 anzusehen und nach einem PTB-Vorschlag Kalibrierungen von β -Dosimetern mit einer Extrapolationskammer und einem halbunendlich ausgedehnten Phantom am Ort der Normalmesseinrichtung durchzuführen (14). Vergleiche sollten hier mit den Standardquellen und Kalibriereinrichtungen des Primärstandard-Labors stattfinden. In der Neutronendosimetrie sind Phantomkalibrierungen vor allem wegen der Anwendung von Albedoneutronendosimetern zwingend erforderlich. In Ermangelung anderer Standarddosimeter wird hier bei Vergleichen der Rem-counter zunehmend an Bedeutung gewinnen (15).

Literatur

- (1) Technical Recommendations, EUR 5287 e, 1975
- (2) Radiation Quantities and Units, ICRU Report 19, 1971
- (3) E. Piesch, Health Physics 13, p. 759, 1967
- (4) R. Maushart, E. Piesch, Proc. 1st IRPA Congress Rom 2, p. 803, 1966
- (5) J.H. Hubell, in Attix et al., Radiation Dosimetry III, Academic Press New York, p. 626, 1969
- (6) A.R. Jones, Health Physics 12, p. 663, 1966
- (7) E. Piesch, KFK-Report 1829, 1973
- (8) E. Piesch, Proc. 3rd Europ. IRPA Congress Amsterdam, 1975
- (9) E. Piesch, Health Physics 15, p. 145, 1968
- (10) Drexler, Proc. Jahrestagung Fachverband für Strahlenschutz Alpbach, 1975
- (11) Arbeitskreis "Dosismessung externer Strahlung" des Fachverbandes für Strahlenschutz
- (12) Report EUR, in Vorbereitung
- (13) K. Becker, G. Burke, Th. Gesell, ORNL-TM-4887, 1975
- (14) J. Böhm, H. Reich, M. Heinzelmann, E. Piesch, KFK 2185, 1975
- (15) E. Piesch, B. Burghardt, Proc. Conf. Lumin. Dosim. Krakau, p. 1123, 1974
- (16) S. Wagner, Euratom Proc., Informationstagung Berlin, 1976

TYPE OF INTERCOMPARISON	DOSIMETRIC PROPERTY OF INTEREST	DOSEMETER APPLICATION
CALIBRATION EXPOSURE FREE IN AIR ¹³⁷ Cs	REPRODUCIBILITY, ACCURACY	AREA/PERSONNEL MONITORING
CALIBRATION EXPOSURE FREE IN AIR 10 keV - 1,2 MeV	ENERGY DEPENDENCE FREE IN AIR, CALIBRATION FACTOR	AREA MONITORING
CALIBRATION EXPOSURE AT PHANTOM 10 keV - 1,2 MeV	ENERGY DEPENDENCE AT PHANTOM CALIBRATION FACTOR	PERSONNEL MONITORING
LONG-TERM EXPOSURE OF NATURAL BACKGROUND RADIATION	ACCURACY UNDER ENVIRONMENTAL CONDITIONS, FADING	ENVIRONMENTAL MONITORING
TYPE TEST OF DOSEMETER SYSTEMS	LONG-TERM REPRODUCIBILITY, OVER ALL ERRORS	AREA/PERSONNEL ENVIRONMENTAL MONITORING

Tab. 1 Vorrabe von Einflussgrößen bei Vergleichsmessungen

QUANTUMENERGY (MeV)	FACTOR f [*]	
	WATER	SOFT TISSUE
0,01	0,903	0,918
0,015	0,876	0,903
0,02	0,871	0,906
0,03	0,875	0,904
0,04	0,881	0,912
0,05	0,895	0,923
0,06	0,912	0,935
0,08	0,937	0,944
0,1	0,951	0,951
0,662	0,969	0,957
1,25	0,965	0,957

*) $f = 0,869 \cdot \frac{(\mu_{en}/\rho)_{Medium}}{(\mu_{en}/\rho)_{Air}}$ after J.N. Hubbell (1967)

Tab. 2 Energiedosis-Umrechnungsfaktor für Photonenstrahlung und Standardionendosis

	PRIMARY CALIBRATION AT NATIONAL LAB	ROUTINE CALIBRATION	PHANTOM CALIBRATION
LOCATION	DOSEMETER FREE IN AIR		DOSEMETER ON FRONT OF A PHANTOM UP TO 2 cm DISTANCE DEPENDENT ON DOSEMETER CONSTRUCTION
CONDITION	EQUILIBRIUM FOR SECONDARY ELECTRONS		
QUANTITY	EXPOSURE		ABSORBED DOSE IN SOFT TISSUE AT PHANTOM
PENETRATING/ NON PENETR. RADIATION	NO SEPARATION		SEPARATION IN SKIN DOSE DEPTH DOSE
CALIBRATION FACTOR	EXPOSURE/FREE IN AIR		ABSORBED JOSE IN SOFT TISSUE AT SURFACE/DEPTH OF PHANTOM

Tab. 3 Bezugsgrößen für Kalibrierungen

	<u>CALIBRATION FREE IN AIR</u>	<u>PHANTOM CALIBRATION</u>
DOSEMETER LOCATION	FREE IN AIR	AT SURFACE OF PHANTOM
FIELD QUANTITIES	EXPOSURE IN R FREE IN AIR AT DOSEMETER LOCATION, ENERGY E, DIRECTION β	
QUANTITY TO BE MEASURED	ABSORBED DOSE IN SOFT TISSUE D_t IN rd	ABSORBED DOSE AT PHANTOM DEPTH OF INTEREST D_{ti} IN rd
DOSEMETER READING	$a(E, \beta)$	$a_p(E, \beta)$
"CALIBRATION" FACTOR	$f(E, \beta)$ IN $\frac{R}{a}$	$f_p(E, \beta)$ IN $\frac{R}{a_p}$
CONVERSION FACTOR	$f_t(E)$ IN $\frac{rd}{R}$	$f_{ti}(E, \beta)$ IN $\frac{rd}{R}$
DOSE READING	$D_t = f \cdot f_t \cdot a$	$D_{ti} = f_p \cdot f_{ti} \cdot a_p$

Tab. 4 Bezugsgrößen für Phantomkalibrierungen

QUANTITY OF INTEREST	EXPOSURE CONDITIONS	UNCERTAINTY FOR THE EXPOSURE ¹⁾
ACCURACY α/D	FREE IN AIR QUANTITY EXPOSURE $100 \times D_{LDL}$ ²⁾	$\leq 2 \%$ (4 %)
REPRODUCIBILITY $\sigma \%$	FREE IN AIR EXPOSURE AND EVALUATION OF 10 DOSEMETERS	$\leq 0,5 \%$
ENERGY DEPENDENCE $\alpha/D = f(E)$	FREE IN AIR MONOENERGETIC PHOTONS STANDARD DOSEMETER CALIBRATION FACTOR	$\leq 4 \%$ (4 % - 7 %)
READER LINEARITY $\frac{\Delta_{max}}{D} \%$	FREE IN AIR 10 DOSEMETERS FOR EACH EXPOSURE AT CONSTANT POSITION AND TIME VARIATION $\leq 5 \times D_{LDL}$ UP TO 10 mR/5R	$\leq 0,5 \%$
CALIBRATION FACTOR AT PHANTOM $\alpha_p/D = f(E)$	AT PHANTOM QUANTITY EXPOSURE STANDARD/REFERENCE DOS.	$\leq 5 \%$ (5 % - 10 %)
ENVIRONMENTAL CONDITIONS, FADING $\alpha/\alpha_0 \%$	OUTSIDE BUILDINGS EXPOSURE PERIOD 3-6 MONTH NATUR. BACKGROUND REFERENCE DOSEMETER	(10 % - 20 %)
LONG-TERM STABILITY $\sigma \%$	FREE IN AIR EXPOSURE AND EVALUATION OF 10 DOSEMETERS OVER 10 DAYS, $100 \times D_{LDL}$	$\leq 2 \%$

1) UNCERTAINTY OBTAINABLE AND (OVERALL UNCERTAINTY)

2) D_{LDL} LOWER DOSE LIMIT

Tab. 5 Bestrahlungsbedingungen und Messunsicherheit bei Vergleichen

REL. ERROR OF DOSE INDICATION DUE TO ENERGY DEPENDENCE		
PHOTON ENERGY RANGE	SINGLE DOSEMETER	DOSEMETER COMBINATION
30 keV	+ 40% LiF	+ 5% LiF/CaF ₂
	- 40% GLASS	+ 5% GLASS/LiF
150 keV	+ 70% FILM	+ 10% FILM/LiF

Tab. 6 Rel. Messfehler bei der Dosisanzeige von Personendosimetern infolge Energieabhängigkeit

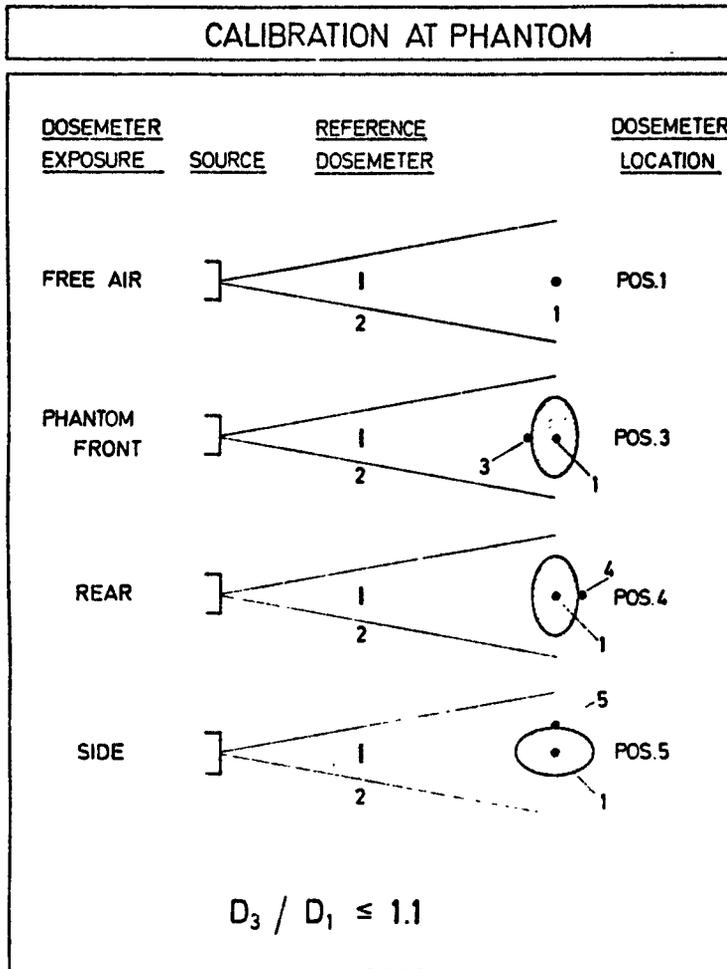


Fig. 1
Bestrahlungsbedingungen für Phantombestrahlungen

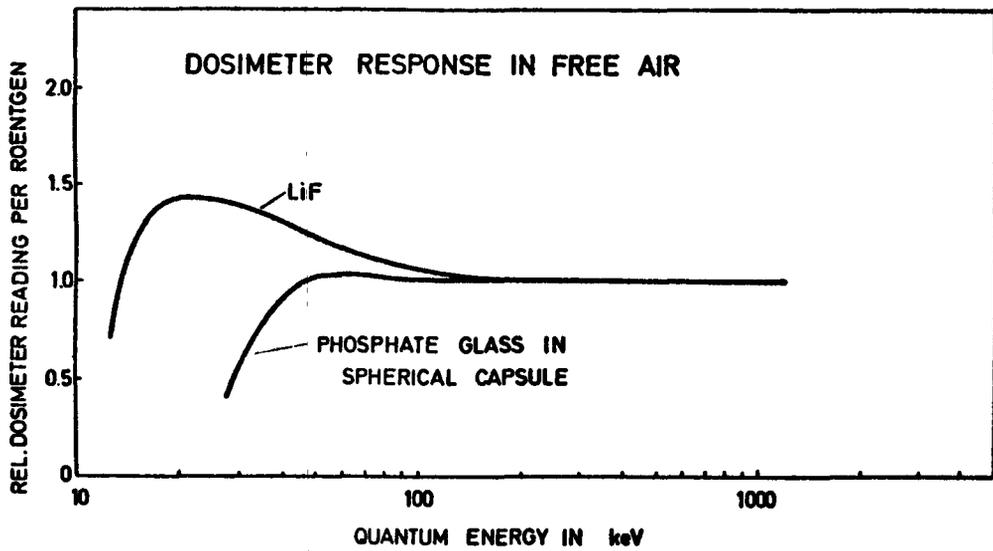
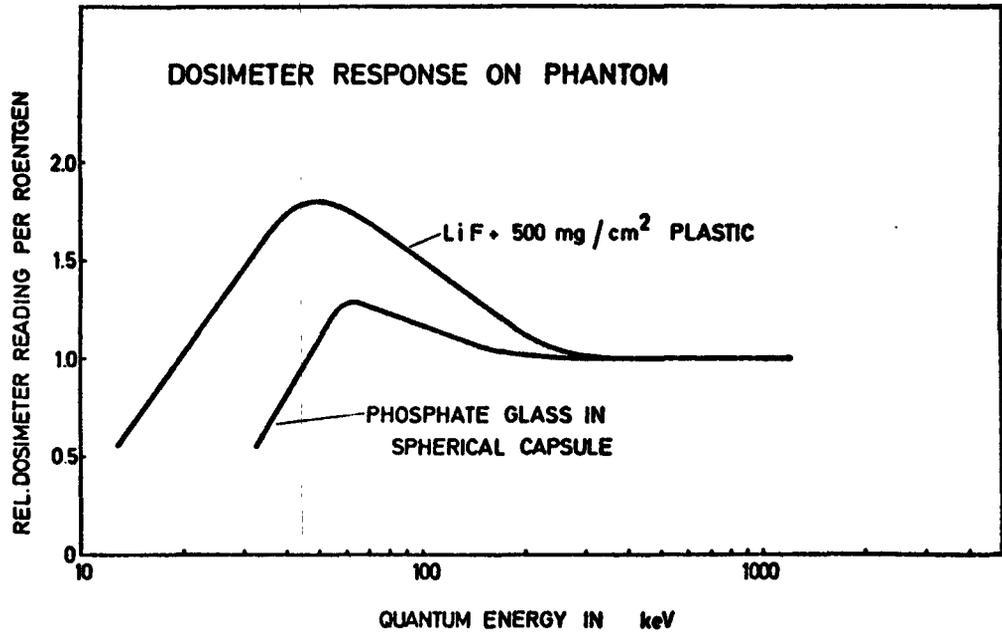
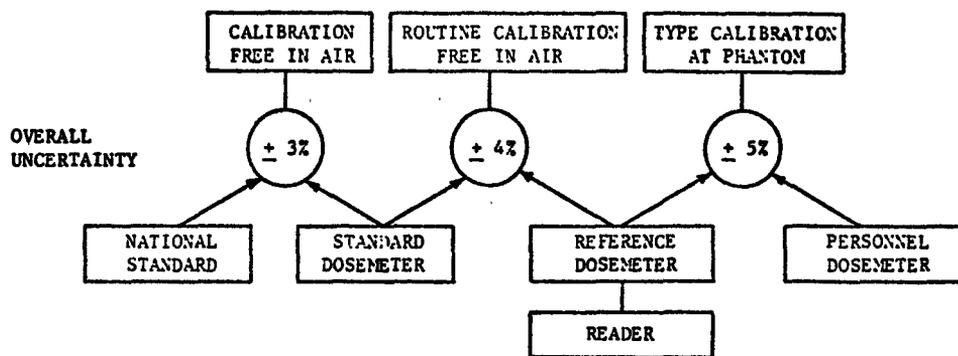


Fig. 2

Energieabhängigkeit von Festkörperdosimetern für eine Bestrahlung frei in Luft und am Phantom



TRANSFER OF THE QUANTITY EXPOSURE TO THE READING OF THE DOSEMETER

Fig. 3

Uebertragung der Messgrösse Standardionendosis auf die Dosimeteranzeige

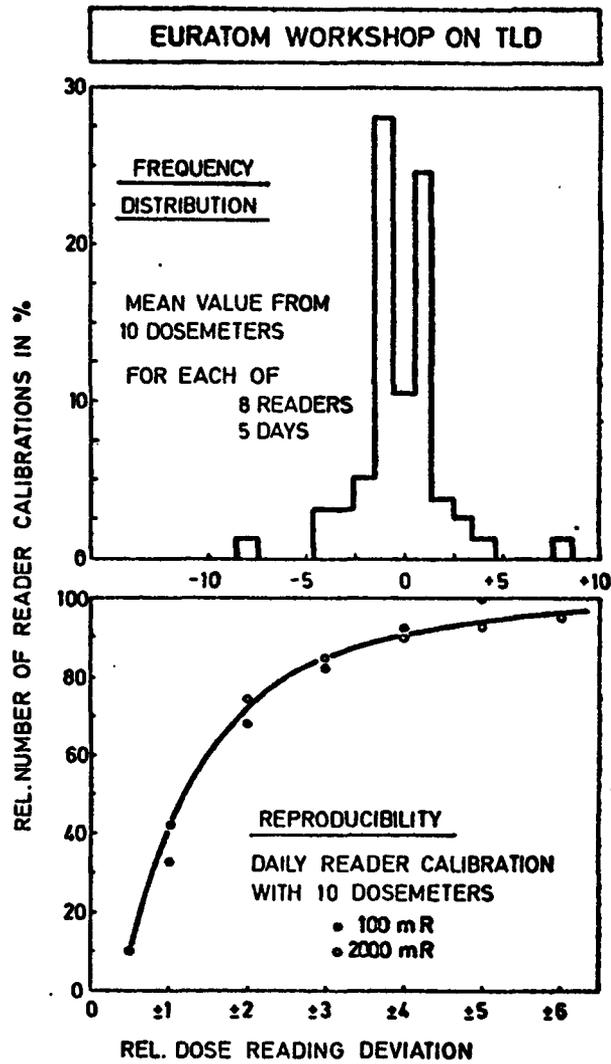


Fig. 4

Reproduzierbarkeit von LiF-Dosimetersystemen
Ergebnisse des Euratom Workshop on TLD, Bologna 1974

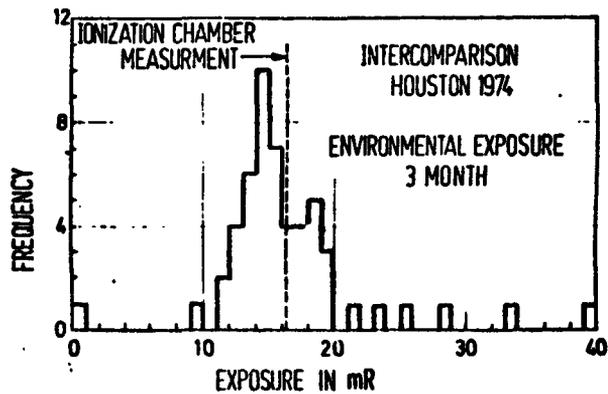


Fig. 5

Häufigkeitsverteilung der Messergebnisse einer internationalen
Vergleichsbestrahlung in Houston 1974, bei dreimonatiger Mes-
sung des natürlichen Strahlenpegels

DISKUSSION

Wir müssen zwischen drei verschiedenen Dosisbegriffen unterscheiden, und zwar zwischen Ortsdosis, Körperdosis und Personendosis. Körperdosis ist der Sammelbegriff für Ganz- und Teilkörperdosis, wobei Ganzkörperdosis der Mittelwert der Aequivalentdosis über den ganzen Körper, Teilkörperdosis der Mittelwert der Aequivalentdosis über Teilvolumen oder Organe ist, als Folge einer als homogen angesehenen Bestrahlung des ganzen Körpers.

Ortsdosis ist die Aequivalentdosis gemessen an einem bestimmten Ort, und Personendosis ist die Aequivalentdosis gemessen an einer für die Strahlenexposition repräsentativen Stelle der Körperoberfläche, normalerweise die Brust.

Die Primärstandardlaboratorien liefern die Ionendosis, wo hingegen der Benutzer die Körperdosis benötigt. Für die Umrechnungen fehlen die entsprechenden Umrechnungsfaktoren. Die Ermittlung und die Festlegung dieser Faktoren sollte Sache internationaler Gremien, wie zum Beispiel ICRU oder ICRP sein. Diese Meinung vertritt ein Teil der Anwesenden, wo hingegen eine andere Gruppe der Auffassung ist, dass die Bestimmung, beziehungsweise Festlegung dieser Umrechnungsfaktoren Gegenstand der Kalibrierung sein sollten, das heisst Aufgabe der Primärstandardlaboratorien sei. Deshalb sollten die nationalen Primärstandardlaboratorien ihre technischen Möglichkeiten zur Verfügung stellen, um zu einer internationalen Uebereinkunft bezüglich dieser Faktoren zu kommen. Bis heute existieren diese Faktoren nicht, es gibt einige Angaben in der Veröffentlichung der ICRP 21; diese Konversionsfaktoren entsprechen aber nicht den heutigen Anforderungen. Sie können messtechnisch nicht erfasst werden, sondern müssen rechnerisch ermittelt werden. Es fehlt ein einheitliches Konzept.

Das Problem der Einführung des Aequivalentdosisindex wird angesprochen, dieser Index entspräche dann der Personendosis.

DISCUSSION

There were three different types of dose: local dose, body dose and personal dose. Body dose was the collective term for whole body and partial body doses, the whole body dose being the average of the dose equivalent over the whole body and partial body dose the average of the dose equivalent over part of the body or one or more of the organs, as a result of exposure of the whole body to homogeneous radiation.

The local dose was the dose equivalent measured at a particular point. The personal dose was the dose equivalent measured at a part of the body surface (normally the chest) which was representative for the exposure.

The primary standards laboratories gave the exposure, whereas the user needed the body dose. The necessary conversion factors were lacking. It should be the task of international bodies like the ICRU or ICRP to calculate and prescribe these factors. This opinion was held by some of the participants, while others felt that this task should be linked to calibration, and therefore carried out by the primary standards laboratories. The national laboratories should therefore make their facilities available so that international agreement could be reached on these factors. These factors did not yet exist, and although there was some information in ICRP Publication No 21 these conversion factors did not meet current requirements. They could not be arrived at by measurement but had to be calculated by mathematical methods. There was no coherent concept.

The problem of introducing the doses equivalent index was discussed; this index would then be equivalent to the personal dose.

NORMALISATION DES ETALONNAGES DE DETECTEURS DE
MESURE DE L'IRRADIATION EXTERNE

Y. Herbaut

1 - Introduction

En radioprotection, les mesures sont faites dans des champs de rayonnements complexes (X , γ , β , neutrons) d'où la nécessité d'évaluer rigoureusement les performances des détecteurs et de bien connaître leur réponse pour des rayonnements:

- . de nature différente
- . d'énergie différente
- . d'intensité différente
- . de type continu ou pulsé.

Etalonner un détecteur, c'est relier son indication à la valeur réelle de la grandeur à mesurer au point où est placé l'appareil.

Pour réaliser un étalonnage valable, il faut définir et normaliser:

- . grandeur, milieu, profondeurs de référence
- . détecteur étalon secondaire
- . champs de rayonnement
- . procédure d'étalonnage.

En France, au C.E.A., un groupe de travail est chargé d'étudier ces problèmes d'étalonnage et d'établir une procédure normalisée utilisée par les Services de Radioprotection. Un rapport CEA /1/ publié en 1973 est déjà entré en application dans les Services de Radioprotection, en ce qui concerne les étalonnages en photons. Ceci a abouti à des intercomparaisons périodiques entre les différents laboratoires et a permis d'obtenir une meilleure homogénéité et une meilleure justesse des étalonnages.

La normalisation relative aux γ et aux neutrons est actuellement à l'étude et n'a pas encore été mise en pratique.

Cet exposé a pour but de vous donner la ligne de conduite adoptée par ce groupe de travail en matière d'étalonnage.

Les problèmes étant assez différents selon qu'il s'agit de rayonnements X , γ , de rayonnements β ou de neutrons, chaque cas sera étudié séparément.

2 - Rayonnements X , γ

2.1 - Grandeur, milieu, profondeurs de référence

Grandeur de référence

- choisir une grandeur de référence valable pour tous les types de rayonnement
- l'exposition ne peut convenir, donc il vaut mieux retenir le concept de dose absorbée dans un milieu donné.

Milieu de référence

- En radioprotection, le milieu intéressant est le tissu (composition normalisée par ICRU) /2/. Il faut donc réaliser un détecteur étalon en matériau équivalent tissu. Or, actuellement, aucun matériau de ce type n'est normalisé. On peut lui substituer un détecteur permettant de mesurer la dose absorbée dans l'air (chambre à cavité remplie d'air, à parois en matériau équivalent air). Les coefficients d'absorption massiques en énergie des tissus mous et de l'air pour les photons, sont peu différents et pourraient pratiquement être considérés comme constants en fonction de l'énergie dans le domaine qui intéresse principalement la radioprotection 10 keV - 10 MeV.
- A partir de la mesure de dose absorbée dans l'air, faite sous une profondeur assurant l'équilibre électronique, on peut calculer la dose absorbée dans les tissus.

Profondeur de référence

Les normes sont fixés pour l'organisme entier et pour différents organes situés à des profondeurs variables. On considère en France que la couche basale de l'épiderme est située à une profondeur moyenne de 7 mg/cm², le cristallin à 300 mg/cm² et les gonades à 1 g/cm². Il serait donc nécessaire d'effectuer, à l'aide d'appareils de radioprotection, des mesures sous ces diverses profondeurs, ce qui nécessiterait par exemple un jeu de capots d'épaisseurs différentes. De plus, la norme relative à l'organisme entier ne précise pas à quelle profondeur doit être déterminée la dose; on admet dans ce cas que la dose doit être mesurée à la profondeur où, compte tenu de l'énergie du rayonnement, elle est maximale.

Pratiquement nous distinguerons deux domaines d'énergie.

a) Energies faibles ou moyennes (quelques keV à 3 MeV).

Dans ce domaine, il y a prédominance des effets photoélectriques et Compton, les électrons secondaires ont des parcours relativement faibles et dans les tissus l'équilibre électronique, donc le maximum de la dose absorbée s'établit pour des épaisseurs comprises entre 1 et 500 mg/cm².

Dans ce domaine d'énergie, l'habitude a été prise en France de faire une mesure sous une épaisseur de tissus de 7 mg/cm² (dose à la peau) et sous une épaisseur de 300 mg/cm² (dose au cristallin et sensiblement dose maximale de 0,5 MeV à 3 MeV).

Il faut noter toutefois la proposition de WHITE concernant ces profondeurs de référence. Pour des rayonnements d'énergie compris entre 13 keV et 3 MeV, 2 valeurs seraient à considérer: la dose moyenne entre 5 et 10 mg. cm⁻² pour la composante peu pénétrante et sous 800 mg. cm⁻² pour la composante pénétrante.

b) Energies élevées: (>3 MeV)

La mesure sous 7 mg/cm² et 300 mg/cm² est alors insuffisante et en particulier il n'est plus possible de considérer que la mesure sous 300 mg/cm² donne une mesure de la dose "organisme entier" car cette épaisseur n'étant plus suffisante pour assurer l'équilibre électronique, la dose absorbée est maximale pour des épaisseurs de tissus plus grandes.

En toute rigueur, dans un tel cas le détecteur dont l'épaisseur de paroi est insuffisante doit être utilisé, soit en lui ajoutant des capots équivalents-air d'épaisseur suffisante pour atteindre l'équilibre électronique, soit en le plaçant au sein d'une masse suffisamment grande d'un matériau homogène c'est-à-dire d'un fantôme dosimétrique de forme et de dimensions définies par l'ICRU /2/ /3/. Bien entendu, l'étalonnage du détecteur devra être effectué suivant ces dispositions.

Il faut donc noter qu'une mesure faite avec un appareil dont les parois ont une épaisseur de 300 mg/cm², sans adjonction de capots supplémentaires, donnera certes la dose absorbée au niveau du cristallin mais ne pourra plus, sous peine d'un risque de sous estimation important, être assimilée à la dose organisme entier. Or, pratiquement il n'existe pas d'appareils commerciaux ayant une paroi épaisse ou ayant des capots additionnels suffisants pour effectuer une mesure dans des conditions correctes pour des énergies > 3 MeV. Une mesure faite avec un tel appareil peut donc être faussée. Il paraît donc nécessaire de déterminer par étalonnage, des facteurs de correction à appliquer à la lecture du dosimètre. Ces facteurs pourraient être déterminés en comparant la lecture du dosimètre à la mesure, faite avec un dosimètre de référence, de la dose absorbée exacte sous une profondeur de tissus assurant l'équilibre électronique. Il faut cependant signaler la valeur aléatoire de tels facteurs de corrections. En effet:

1. Il existe un facteur pour chaque énergie et lors d'une mesure, le choix du facteur correct ne peut être effectué que si l'on connaît l'énergie du rayonnement incident, ce qui est rarement le cas.

2. La mesure faite directement avec le détecteur d'épaisseur de paroi trop faible prend en compte les électrons secondaires créés par le rayonnement incident dans l'environnement du détecteur. Cette composante éminemment variable avec cet environnement, n'intervient pas dans la dose absorbée sous l'épaisseur assurant l'équilibre électronique (puisque tous les électrons secondaires sont arrêtés avant cette épaisseur) et l'application brutale d'un facteur de correction approprié à la lecture globale de l'appareil conduit alors à une surestimation de la dose maximale.

Ces inconvénients font qu'il ne faut accorder qu'une valeur toute relative à une mesure, effectuée dans un champ de rayonnement γ d'énergie > 3 MeV avec un appareil d'épaisseur de paroi insuffisante, même si cette mesure est corrigée d'un facteur déterminé par étalonnage.

2.2.- Détecteur de référence

La calorimétrie n'est pas utilisable dans la gamme des débits de dose usuels en radioprotection; on procèdera donc par ionométrie. Le détecteur de référence que nous avons choisi est une chambre d'ionisation à cavité remplie d'air, dont l'épaisseur de paroi constituée d'un matériau équivalent-air est égale à la profondeur de référence.

Au CEA, nous avons réalisé de telles chambres d'ionisation en téflon-carbone, matériau équivalent-air constitué de 56,5 % de téflon et de 43,5 % de graphite /4/.

Ce détecteur mesurant la dose absorbée dans l'air /D_a/ sous l'épaisseur de paroi considérée (à condition qu'elle assure l'équilibre électronique) est

étalonné à partir d'une mesure d'exposition dans des faisceaux de référence raccordés à ceux des laboratoires primaires et ceci sur toute la gamme d'énergie dans laquelle il sera utilisé. On passera par calcul de la dose absorbée dans l'air à la dose absorbée dans les tissus, D_t , en tenant compte:

- des différences des coefficients d'absorption massiques en énergie de l'air et du tissu
- de la différence de transmission dans ces deux matériaux.

On obtient ainsi la dose absorbée dans les tissus à l'épaisseur de référence. Le détecteur de référence que nous utilisons a une épaisseur de 300 mg/cm². Pour les rayonnements γ peu pénétrants, un détecteur de référence a paroi plus mince (7 mg.cm⁻² par exemple) devrait être utilisé. Chaque Service de Radioprotection possède un tel détecteur. Des campagnes d'étalonnage sont organisées tous les deux ans pour réaligner les détecteurs de référence des différents services.

Pour les énergies supérieures à 3 MeV, il n'existe pas de faisceaux de référence primaires. De plus, la paroi du détecteur est trop mince pour réaliser des conditions telles que la fluence des électrons soit maximale. On place donc la chambre dans un fantôme d'eau de dimensions conformes aux recommandations de l'ICRU, soit 30 x 30 x 20 cm /2/ à une profondeur telle que la fluence des électrons soit maximale. On néglige l'épaisseur de paroi de la chambre d'ionisation, faible relativement à la profondeur de matériau sous laquelle on place le détecteur.

2.3 - Rayonnements de référence

Théoriquement si un détecteur est parfaitement équivalent-tissu, il suffit de définir le seul rayonnement de référence d'énergie donnée, le facteur d'étalonnage déterminé avec celui-ci étant valable à toute énergie. En réalité il n'y a pas d'équivalence air parfaite et il est nécessaire d'étalonner ce détecteur sur toute la gamme d'énergie où il sera utilisé et il faut donc disposer de rayonnements de référence d'énergies diverses.

En pratique:

- on choisit pour l'étalonnage un rayonnement de référence dans la plage d'énergie où la réponse des détecteurs varie peu (⁶⁰Co - 1,25 MeV).
- pour étudier la réponse spectrale relative d'un type d'appareils, on devra disposer d'un certain nombre d'autres champs de rayonnements présentant des spectres d'énergie étroits qui peuvent être obtenus:
 - . soit par des sources radioactives (²⁴¹Am, ¹⁹⁸Au, ¹³⁷Cs, ²⁴Na)
 - . soit par des méthodes de fluorescence ou de filtration (normalisation ISO).

Il est également important de pouvoir disposer:

- de faisceaux de référence de hautes énergies, domaine dans lequel la réponse des détecteurs varie énormément puisque leurs parois ne réalisent pas, dans la plupart des cas, les conditions d'équilibre électronique (l'intercomparaison organisée par EURATOM sur le faisceau de γ de 8,5 MeV au CEN/FAR en a montré la nécessité).

- de faisceaux de très faibles énergies (~ 5 keV) où le problème des étalonnages rejoint celui que nous rencontrerons avec le rayonnement β .

Pour tous ces types de faisceaux, certains paramètres doivent être normalisés:

- pureté du rayonnement (proportion de diffusé)
- homogénéité des faisceaux
- stabilité des installations et raccordements entre elles (cas des générateurs X).

2.4 - Conduite des essais physiques

- Normaliser des conditions de mesures pour les détecteurs non étanches (Pression, température, hygrométrie).
- Fixer le point de référence du détecteur à étalonner (centre géométrique, face avant).

- Etalonnage

- . il est fait à l'énergie de référence (^{60}Co)
- . pour plusieurs distances source détecteur pour lesquelles la loi inverse carré est vérifiée.

- Réponse spectrale relative

- . étudiée dans la gamme la plus grande possible en énergie relativement aux mesures faites avec le détecteur de référence.

- Réponse angulaire

- . obtenue en faisant varier l'incidence du rayonnement suivant un axe du détecteur (de préférence, l'axe suivant lequel le détecteur présente le maximum de dissymétrie).
- . pour l'énergie de référence (^{60}Co) et pour une énergie plus faible (60 keV par exemple).

- Influence du débit de dose absorbée

- . étudiée pour l'énergie de référence

Remarque

Un problème particulier se pose pour l'étude de la réponse d'un détecteur à un rayonnement pulsé. Le détecteur de référence doit lui-même être insensible à de très forts débits de dose. On peut dans ce cas utiliser des dosimètres thermoluminescents comme étalon secondaire, après les avoir étalonnés relativement au détecteur de référence. L'expérience montre que la plupart des détecteurs habituels de Radioprotection ne donnent pas des résultats corrects pour un rayonnement pulsé et qu'il est difficile de déterminer un facteur de correction à appliquer aux lectures, ce facteur changeant avec les caractéristiques des impulsions de rayonnement.

3 - Rayonnements β

Le problème posé par l'étalonnage et les essais physiques des détecteurs en rayonnement β est beaucoup plus complexe que pour les photons.

On peut conserver la même grandeur de référence qu'en γ (dose absorbée dans les tissus) et la déterminer à partir de la mesure de dose absorbée dans l'air faite au moyen d'un détecteur étalon. Cependant, les rayonnements β de référence ne peuvent être obtenus qu'à partir de radionuclides ayant des spectres β continus. Il est donc nécessaire de connaître et de normaliser pour ces spectres β tous les paramètres de calculs permettant de déterminer la dose absorbée dans les tissus à partir d'une mesure de dose dans l'air:

- rapport des pouvoirs d'arrêt des 2 milieux
- différence de transmission et de retrodiffusion.

Les profondeurs de référence seront les mêmes qu'en γ , la profondeur relative à la composante peu pénétrante (7 mg/cm^2) étant dans ce cas la plus importante (faible parcours des β dans la matière).

3.1 - Détecteur de référence

Le seul détecteur étalon valable en dosimétrie β est une chambre à cavité variable permettant d'appliquer la théorie de Bragg-Gray.

Si l'électrode d'entrée et l'électrode de collection sont réalisées en matériau équivalent-air, et si l'épaisseur de la fenêtre d'entrée représente la profondeur de référence, on peut calculer la dose absorbée dans l'air à partir de la mesure du courant d'ionisation, donc de la dose absorbée dans l'air de la cavité. Toutefois, l'étape permettant de relier la mesure du courant d'ionisation à l'expression de la dose absorbée dans l'air de la cavité, est beaucoup plus complexe que dans le cas du détecteur de référence γ . Un grand nombre de termes correctifs interviennent (déformation de l'électrode d'entrée, du champ électrique, diffusion importante sur les structures environnantes).

Ensuite pour calculer la dose absorbée dans les tissus, D_t , on doit connaître les termes déjà cités:

- rapport de pouvoirs d'arrêt des 2 milieux
- différence de transmission et de retrodiffusion.

Pour connaître D_t , dans un milieu semi-infini de tissu, 2 solutions se présentent:

- soit utiliser un détecteur étalon ayant une électrode de collection épaisse et corriger sa mesure de la différence de retrodiffusion entre tissu et matériau équivalent-air.
- soit utiliser une électrode de collection mince et introduire un terme correctif (plus important) dû à la retrodiffusion sur un milieu semi-infini de tissus.

La première solution nous semble préférable, puisque plus proche de la réali-

D'autres systèmes de détection peuvent être envisagés tels que des dosimètres fluorure de lithium-téflon de très faible épaisseur en raison de leurs faibles dimensions ceux-ci semblent, en effet, être mieux adaptés à l'étude de champs de rayonnement en géométrie collimatée. Ils peuvent également être envisagés comme détecteurs de transfert.

3.2 - Rayonnements de référence - Conditions d'irradiation

La définition et la normalisation des sources de référence sont très importantes. Les paramètres suivants doivent être fixés:

- géométrie de la source (ponctuelle, étendue)
- constitution de la source (épaisseur de la fenêtre de protection et du support)
- spectre d'émission
- homogénéité du champ d'irradiation
- proportion de rayonnement diffusé ou retrodiffusé.

La géométrie d'irradiation (source en air libre ou collimatée), les structures environnant l'ensemble source-détecteur, la précision sur la distance source-détecteur influencent beaucoup les mesures dans un rayonnement β .

Un spectre de référence peut être choisi pour les étalonnages ($^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ par exemple), d'autres spectres répartis sur une gamme d'énergie assez large permettant d'étudier la réponse spectrale des détecteurs.

3.3 - Conduite des essais physiques

Les mêmes essais physiques qu'en γ peuvent être retenus:

- on doit normaliser les conditions de température, pression, hygrométrie
- la détermination du point de référence du détecteur à étalonner est encore plus importante qu'en γ , étant donné la variation rapide de la distribution de dose avec la distance source-détecteur.

Etalonnage

En raison de ce fort gradient de dose et des dimensions souvent importantes des détecteurs β/γ de radioprotection, on ne peut pas, comme en γ , déterminer un seul facteur d'étalonnage indépendant de la distance source-détecteur pour l'énergie de référence:
on doit:

- déterminer un réseau de courbes des facteurs d'étalonnage en fonction:
 - de la distance source-détecteur
 - des dimensions de la source

Pour l'ensemble des autres essais physiques, les mêmes paramètres que pour l'étalonnage entrent en jeu et doivent être normalisés.

4 - Neutrons

Etant données les difficultés rencontrées pour déterminer avec précision un équivalent de dose en neutrons, la position envisagée par ce groupe de

travail est non pas de normaliser un détecteur de référence, mais une source de référence. On peut en effet faire mesurer périodiquement et avec une bonne précision le taux d'émission neutronique d'une source dans un laboratoire primaire.

Cette source sera une source d'Am-Be préférée en raison de sa grande période à une source de ^{252}Cf .

A partir de la mesure de la fluence neutronique et de la connaissance du spectre (spectrométrie, compilation de résultats de la littérature) on peut calculer l'équivalent de dose.

Il sera nécessaire toutefois:

- de fixer la géométrie d'irradiation (source collimatée ou en air libre - proportion - et énergie du diffusé)
- de vérifier périodiquement la stabilité de la fluence (dosimètres à activation dans une géométrie donnée)

Les variations de spectres constatées sur de telles sources semblent suffisamment faibles pour ne pas influencer de façon importante la valeur de l'équivalent de dose, encore que ceci serait à confirmer.

L'étalonnage des détecteurs étant effectué pour ce spectre d'Am-Be, leur réponse spectrale pourrait être étudiée dans une gamme étendue d'énergie à partir de neutrons fournis:

- pour les neutrons thermiques - par des empilements graphite étalons
- pour les neutrons intermédiaires - par des associations de filtres de cadmium ou de bore 10 d'épaisseurs diverses - ou par une source de ^{252}Cf dans des sphères d'eau lourde de diamètres divers.
- pour les neutrons compris entre 10 keV et quelques MeV - par des réactions nucléaires produites par des accélérateurs.

L'équivalent de dose délivré par ces faisceaux serait calculé à partir de la mesure de fluence neutronique et de la spectrométrie.

5 - Conclusions

Toute procédure d'étalonnage met en jeu la connaissance d'un grand nombre de paramètres, contribuant chacun à augmenter l'incertitude finale obtenue.

L'ICRP recommande que les mesures de Radioprotection au niveau de la limite maximale admissible soient faites avec une précision meilleure que 30 %.

Si, dans un champs de rayonnement γ , l'incertitude sur l'ensemble des mesures nécessaires à la conduite de l'étalonnage d'un appareil de radioprotection peut être bien inférieure à 30 %, en β et en neutrons les procédures d'étalonnage sont plus complexes et il convient de bien définir et de normaliser les différents paramètres qui ont été mis en évidence dans les paragraphes précédents afin d'assurer des mesures valables au niveau de la radioprotection.

Bibliographie

- /1/ Groupe de travail n° 5 des Services de Radioprotection
Rapport CEA-R . 4009 /1/ - 1973.
Normalisation des essais physiques des détecteurs de mesure de
l'irradiation externe.
- /2/ ICRU - Report 19 July 1971
Radiation quantities and units
- /3/ ICRU - Report 14 - 1969
Radiation Dosimetry X Rays and Gamma Rays with maximum photon energies
between 0,6 and 50 MeV.
- /4/ SKLAVENITIS L., SIMOEN J.P., TROESCH G., PAGES L., TABOT L.
Rapport CEA R 4434 1973
Détermination ionométrique d'une dose absorbée de référence dans l'air
à l'aide d'une chambre à cavité.

DISKUSSION

Eine Standardisierung der Beta-Dosimetrie durch die ISO wurde vorgenommen. In diesem Zusammenhang wurde die Frage zur Bildung einer Arbeitsgruppe zur Ausarbeitung von Empfehlungen für die Kalibrierung von Strahlenschutzmessgeräten innerhalb der EG aufgeworfen. Dieser Vorschlag wurde von den Teilnehmern begrüsst, obwohl der Aufgabenkreis jetzt noch nicht fest umrissen werden konnte. Die Gruppe der technischen Sachverständigen für Personendosimetrie wird auf der nächsten Sitzung diesen Punkt zur Sprache bringen und die Aufgabe zur Bildung einer Arbeitsgruppe übernehmen.

DISCUSSION

The ISO was standardizing β -dosimetry. In connection with this the question was raised concerning the creation of a working party to draft recommendations for the calibration of measuring equipment for radiological protection within the Community. The participants welcomed the proposal, although the various tasks involved could not yet be defined in detail. The group of technical experts on personal dosimetry would discuss this point at their next meeting and would undertake to set up the working party.

VIERTE SITZUNG - FOURTH SESSION

QUATRIEME SESSION

DIE PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT

EINFUEHRUNG IN DIE AUFGABEN DER PTB

G. Sauerbrey

Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt in Braunschweig und Berlin ist als metrologisches Staatsinstitut gleichzeitig Forschungsinstitut, Zulassungsbehörde und hat Beratungsaufgaben in weitem Umfang. Im Braunschweiger Teil der PTB sind in 8 Abteilungen ca. 1150 und in Berlin 180 Mitarbeiter tätig. Die PTB gehört zum Bereich des Bundesministeriums für Wirtschaft. Sie ist Nachfolgerin der 1887 in Berlin gegründeten Physikalisch-Technischen Reichsanstalt (PTR). Die Gründung der PTB war den Ideen und der Weitsicht einer kleinen Zahl von Persönlichkeiten zu verdanken, insbesondere Werner von Siemens und seines Freundes Hermann von Helmholtz. Helmholtz wurde auch erster Präsident der PTR. In der dem Parlament 1887 vorgelegten Gründungsgedenkschrift ist "experimentelle Förderung der exakten Naturforschung und der Präzisionstechnik" als Zweck der neuartigen Institution ausgewiesen, wobei die PTR solche physikalischen Untersuchungen ausführen sollte, die grösseren Aufwand an Arbeitszeit und Hilfsmitteln erfordern, als den Laboratorien der Universitäten zur Verfügung standen. Damit war die Idee der Grossforschungseinrichtungen vorweggenommen.

Als zweite fast unverändert gültige Aufgabe war angegeben:

Auf dem Gebiet der Prüfung:

Prüfung und Sicherung der Eigenschaften der Materialien, aus welchen Apparate und Messungsmittel jeder Art für Zwecke des Staates, der Wissenschaft, der Präzisionstechnik und der Gewerbe hergestellt werden,

Prüfung und Sicherheit der Gleichförmigkeit und Normalität von konstruktiven Hilfsmitteln und Konstruktionsteilen, welche zur Herstellung der vorstehend erwähnten Gegenstände für die genannten Zwecke dienen,

Prüfung und Beglaubigung von physikalischen Messwerkzeugen und Teilen derselben, wie sie im weitesten Umfang für die vorerwähnten Zwecke dienen.

Es stand also zunächst nicht das amtliche Messwesen im Vordergrund, sondern Forschung, Technologie und industrielle Präzisionsmesstechnik. Dass im Sinne des Gründungsauftrages bald fruchtbare Arbeit geleistet wurde, zeigten beispielsweise das von W. Wien in der PTR aufgestellte Verschiebungsgesetz der Temperaturstrahlung und die von Lummer und Pringsheim ausgeführten Präzisionsmessungen der spektralen Energieverteilung der Hohlraumstrahlung, die zum Planck'schen Strahlungsgesetz führten. Auf dem Gebiet "neuer Technologien" war die 1901 von Gumlich veranlasste Einführung silizierter Eisenbleche in die Elektrotechnik, ein wirtschaftlich und industriell bedeutender Beitrag. H. Geiger erfand später in der PTR den Spitzenzähler, der in seiner Weiterentwicklung zum Geiger-Müller-Zählrohr führte. Einstein und de Haas beobachteten als Gastmitarbeiter den nach ihnen benannten gryomagnetischen Effekt, Meissner und Ochsenfeld die Verdrängung des Magnetfeldes aus Supraleitern. Bothe entwickelte in der Reichsanstalt die Koinzidenzmethode. Mit einer Koinzidenzapparatur aus zwei Spitzenzählern konnten er und Geiger nachweisen, dass beim Compton-Effekt Rückstosselektron und Streuquant gleichzeitig auftreten. Zusammen mit Kohlhörster wies Bothe nach, dass die Höhenstrahlung eine Korpuskularstrahlung ist, und entdeckte mit Becker die künstliche Kern- γ -Strahlung.

Die Zahl der gesetzlich vorgeschriebenen Aufgaben der PTR (und heute der PTB) wuchs sehr rasch, angefangen mit dem "Gesetz über die elektrischen Grössen und Einheiten" von 1898. Die heutige Aufgabenstruktur der PTB kann daher dreiteilig dargestellt werden. Wegen der immer stärker zunehmenden Bedeutung möchte ich an erster Stelle die gesetzlich vorgeschriebenen Aufgaben nennen. Besondere Bedeutung kommt hierbei dem Einheitengesetz von 1969 (Gesetz über die Einheiten im Messwesen) und dem Eichgesetz von 1969 zu. Das Einheitengesetz gibt der PTB Darstellung, Bewahrung und Weitergabe der physikalischen Einheiten wie auch Bekanntgabe der Verfahren zur Darstellung nicht verkörperter Einheiten auf. Die Forschungstätigkeit der PTB wird wesentlich durch diese Aufgabenstellung bestimmt. Das Eichgesetz schreibt vor, dass unter anderem Messgeräte, die im Warenverkehr, für amtliche Zwecke, zur Verrechnung von elektrischer Energie oder Wärmeenergie verwendet werden, in zunehmendem Masse aber auch medizinische Messgeräte, amtlich geeicht sein müssen. Die Eichung des einzelnen Gerätes ist Angelegenheit der zuständigen Behörden der Bundesländer. Die PTB als Einrichtung des Bundes hat jedoch - nach entsprechender messtechnischer Prüfung - Bauartzulassungen auszusprechen, aufgrund derer die Eichung des einzelnen Gerätes vorgenommen werden kann und sie hat allgemeine Rechtsvorschriften auf dem Gebiet des Eichwesens vorzubereiten. Ein erheblicher Teil der Arbeitskapazität der PTB wird daher durch Arbeiten im Rahmen des Eichgesetzes gebunden, wobei auch die Beratung von Regierungsstellen, vorbereitende Tätigkeit für den Erlass einschlägiger Rechtsvorschriften technischen Inhalts und die wissenschaftlich-technische Mithilfe bei der Harmonisierung derartiger Rechtsvorschriften in der Europäischen Gemeinschaft zu diesem Aufgabenkomplex gehört. Schliesslich gehören auch die auf dieser Tagung behandelten Probleme in diesen Zusammenhang. Der Katalog weiterer gesetzlicher Aufgaben ist sehr lang, er reicht von Bauartprüfungen auf dem Gebiet Ueberwachung des Strassenverkehrs bis zur Genehmigung der Beförderung und Aufbewahrung von Kernbrennstoffen. Dass umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auch zur Erfüllung von Aufgaben aus dem amtlichen Messwesen erforderlich sind, insbesondere wenn neue Bereiche erschlossen werden müssen (wie medizinische Messgeräte), bedarf keiner Erläuterungen.

Prüfung von Geräten und Werkstoffen ohne gesetzliche Verpflichtung, im Interesse von Wirtschaft und Industrie, ist in meiner Gliederung die dritte wesentliche Aufgabe der PTB. Die grosse wirtschaftliche Bedeutung dieser Aufgabe hat sich in den 9 Jahrzehnten des Bestehens der PTR/PTB kaum gewandelt

Die erste der beiden Gründungs-Aufgaben der PTB, nämlich Forschung ohne direkte Anbindung an praktische Ziele oder gesetzliche Aufgaben, kommt heute oft zu kurz und es bedarf aller Anstrengungen, um hier einen Rest des erforderlichen Freiraumes zu erhalten, in dem neue Ideen zum Durchbruch gelangen können.

Nach dieser allgemeinen Darstellung sollen die Abteilungen der PTB kurz vorgestellt werden.

Die Abteilung 1, Mechanik, ist die grösste Abteilung der PTB in Braunschweig. Ihr obliegen die Basiseinheiten der Länge, Masse und Zeit, deren Bedeutung in Präzisionsmesstechnik und amtlichem Messwesen evident ist. Eine der grossen gegenwärtigen Forschungsaufgaben dieser Abteilung zielt auf die unmittelbare Verknüpfung von Zeit- und Längeneinheit, die ja beide durch atomare Uebergänge definiert sind.

Der Abteilung 2, Elektrizität, obliegt die Realisierung der elektrischen Einheiten. Eine wesentliche Arbeit der vergangenen Jahre war in dieser Ab-

teilung die Ausnutzung des Josephson-Effektes mit dem Ziel der besseren Bewahrung der elektrischen Spannungseinheit.

Die Aufgaben der 3. Abteilung (Wärme) reichen von der Realisierung der gesetzlichen Temperaturskala über Bauartzulassungen, beispielsweise von Temperatur- oder Dichtemessgeräten, bis zur Bestimmung anderer thermodynamischer Grössen und Transportgrössen wie Wärmeleitfähigkeit, Viskosität, Brennwert von Gasen und sicherheitstechnischen Kennwerten und Gesetzmässigkeiten.

Die Realisierung photometrischer und radiometrischer Einheiten wie auch Probleme der Bildoptik sind Aufgaben der Abteilung Optik.

Die Aufgaben der Abteilung Akustik liegen sowohl auf dem Gebiet der Hörakustik (Audiometrie) als auch bei Geräuschmessungen und Spezialproblemen wie der Stimmen-Identifizierung.

Die Abteilung Atomphysik und die daraus vor einem Jahr hervorgegangene Abteilung Reaktorstrahlung haben ein breites Spektrum von Aufgaben auf dem Gebiet der Dosimetrie ionisierender Strahlung und damit zusammenhängender Forschungs- und Entwicklungsaufgaben. Erwähnen möchte ich, dass für Aufgaben auf dem Gebiet Neutronendosimetrie 1974 erst ein grösseres Bauvorhaben abgeschlossen wurde, dessen Kernstücke zwei Ionenbeschleuniger, ein Van-de-Graaff-Generator und ein Kompaktzyklotron sind.

Die 8. Abteilung in Braunschweig hat sowohl Dienstleistungsfunktionen (Datenverarbeitung, Werkstätten), als auch zentrale Aufgaben, beispielsweise hinsichtlich der Organisation des amtlichen Messwesens und der Vertretung in den einschlägigen internationalen und supranationalen Gremien.

Schliesslich möchte ich das Berliner Institut der PTB vorstellen, das sich in Berlin-Charlottenburg auf dem Gelände befindet, das bis 1945 die Physikalisch-Technische Reichsanstalt beherbergte.

Schwerpunkte der Forschung im Institut Berlin der PTB liegen auf den Gebieten Hochtemperaturphysik (Eigenschaften der Materie bei hohen Temperaturen, Plasmadiagnostik, Spektroskopie), elektrische Messtechnik (Anwendung der Supraleitung und tiefer Temperaturen, Materialprobleme), Festkörperphysik (Festkörperdosimetrie, Lumineszenz, Fehlordnung in Kristallen, Grenzflächenphänomene) und Spezialgebieten der physikalischen Messtechnik in der medizinischen Diagnostik. Die Darstellung der gesetzlichen Einheiten, Entwicklung und Bereithaltung von Normalen und Normalmesseinrichtungen und Bekanntgabe von Verfahren zur Darstellung nicht verkörperter Einheiten gehören zu den wesentlichen Aufgaben der PTB und bestimmen damit auch das Forschungsprogramm dieses Institutes. Aus diesem engeren Aufgabenbereich treten die Darstellung der Temperaturskala bei hohen Temperaturen mittels optischer und spektroskopischer Methoden und damit die Entwicklung von Strahlungsnormalen und Strahlungsmessmethoden, die Darstellung der Druckskala bei niedrigen Drücken (insbesondere Hoch- und Ultrahochvakuum) sowie die Entwicklung und Bereithaltung von Normalen und Normalmessgeräten auf dem Gebiet der elektrischen Einheiten (u.a. Normalspannungsquellen für die Weitergabe der Einheit Volt, Komparatoren zur Bestimmung von Stromstärke- und Spannungsverhältnissen) hervor. Aus den Arbeiten des Instituts auf dem Gebiet des gesetzlichen Messwesens seien an dieser Stelle nur die Bereiche medizinische Messtechnik und Wärmetechnik wegen ihrer Bedeutung und Aktualität genannt.

BERICHT UEBER DIE ARBEITEN DER PTB AUF DEM GEBIET DER
FESTKOEPPERPHYSIK, IM BESONDEREN FESTKOEPPERDOSIMETRIE

D. Hahn

Im vorhergehenden Vortrag haben Sie gehört, welche Aufgaben die PTB und damit auch der in Berlin ansässige Teil der PTB, das Institut Berlin, im allgemeinen wahrzunehmen hat. Gemäss dem Titel meines Vortrages stellt sich nun zunächst die Frage: Warum wird in einem metrologischen Staatsinstitut, wie es die PTB als technische Oberbehörde des BMWi ist, überhaupt Festkörperphysik betrieben?

Allgemein ist darauf zu antworten, dass die Festkörperphysik eines der grössten Arbeitsgebiete der modernen Physik überhaupt darstellt. Neben der Atom- und Kernphysik werden ihr zur Zeit die meisten wissenschaftlichen Aktivitäten in der Welt gewidmet, wie die etwa gleiche Zahl der Publikationen ausweist. Hierin sind sowohl grundlegende Arbeiten - wie sie etwa die Struktur der Festkörper, ihre physikalischen Eigenschaften (als Beispiel seien Leitfähigkeitsprobleme, Wechselwirkung mit Strahlung, Absorption und Emission elektromagnetischer Strahlung, Verhalten bei höchsten und tiefsten erreichbaren Temperaturen usw.) betreffen - als auch technische Anwendungen für die industrielle Nutzung und für Messzwecke enthalten. Diese breite Bedeutung und Behandlung gibt aber schon den Zugang zur speziellen Antwort für das Engagement der PTB in der Festkörperphysik: Bei der Darstellung und Bewahrung - und auch bei der Weitergabe - der Basiseinheiten der Physik stösst man überall auf Festkörpereigenschaften, die die Messgrenzen markieren. Als Beispiel sei an das Widerstandsrauschen erinnert, das die Genauigkeit und Unsicherheit der Stromstärke-Messung begrenzt. Der Einsatz supraleitender Bauelemente, wie des Josephson-Elementes, gestattet die Darstellung bzw. Bewahrung der Spannungseinheit mit grösster bisher erreichter Präzision. Auch der Mössbauer-Effekt und der Festkörperlaser, die Anwendung von Festkörpern in der nicht-linearen Optik sind hier als Beispiele für den Einsatz von Festkörpern in der Präzisions-Messtechnik zu erwähnen und leiten zugleich über in ein weiteres PTB-relevantes Anwendungsgebiet der Festkörperphysik: Der Messtechnik im allgemeinen. Sie benötigt auf sehr vielen Gebieten die genaue Kenntnis bzw. Erforschung festkörperphysikalischer Eigenschaften, seien es die der Metalle, Halbleiter oder Isolatoren. Hiermit gelangen wir direkt zu dem spezielleren Teil meines Berichts, nämlich der Festkörper-Dosimetrie, die ja ein Musterbeispiel dafür darstellt, wie ein Messprozess - nämlich der der Dosismessung - mit Hilfe geeigneter Festkörper-Dosimeter (seien es LiF-Kristalle oder andere Thermolumineszenz zeigende Luminophore oder Isolatoren, die Exoemission zeigen, wie etwa BeO oder Al₂O₃ u.v.a.) ausgeführt werden kann. Und abschliessend soll natürlich nicht vergessen werden, dass die allgemeinen technischen bzw. technologischen Anwendungen der Festkörper in der Industrie überaus zahlreich sind - auf dem Gebiet der Metallurgie, der Elektrotechnik und Elektronik (Halbleiterfertigung und -anwendung), in der EDV, in Raum- und Luftfahrt u.v.a. Auch dies ist Anlass genug für ein Staatsinstitut, das beim Wirtschaftsministerium ressortiert, die Grundlagen sowie Anwendungen der Festkörperphysik zu bearbeiten, um der Industrie Anregungen geben und bei der Entwicklung neuer Technologien aufgeschlossen sein zu können.

Entsprechend dem geschilderten Engagement der PTB in der Festkörperphysik ist es verständlich, dass bei fast allen wissenschaftlichen Abteilungen festkörperphysikalisch orientierte Arbeitszellen angesiedelt sind, so in der Abtei-

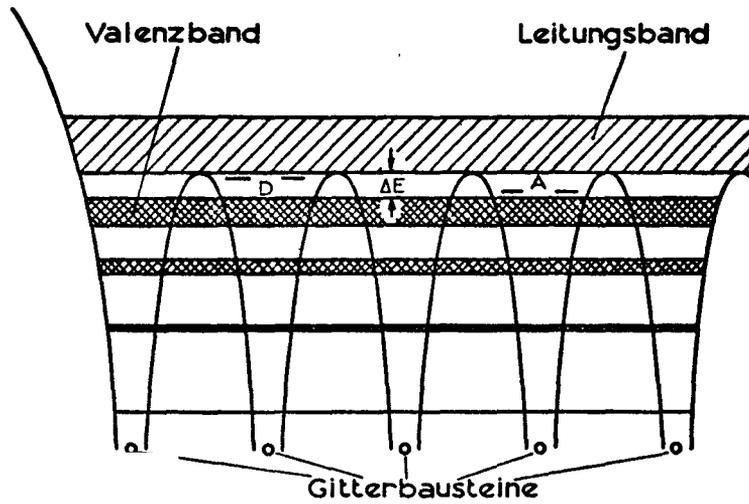


Fig. 1 Bändermodell des Festkörpers

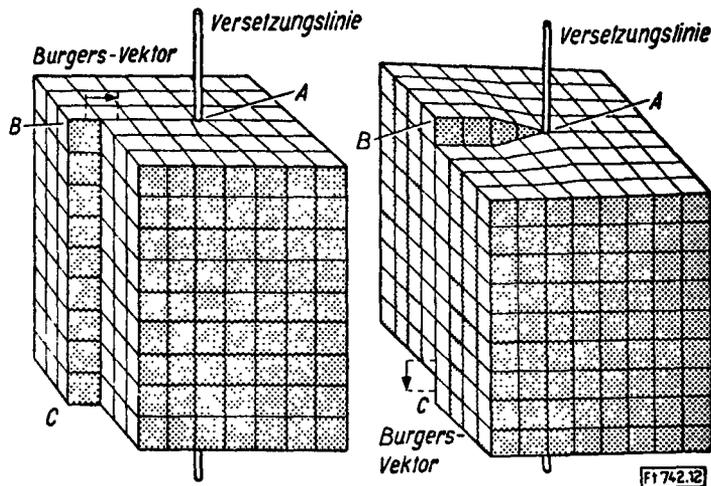


Abb. 12. Darstellung von Stufenversetzung und Schraubenversetzung [2]

Fig. 2 Zustandekommen von Versetzungen

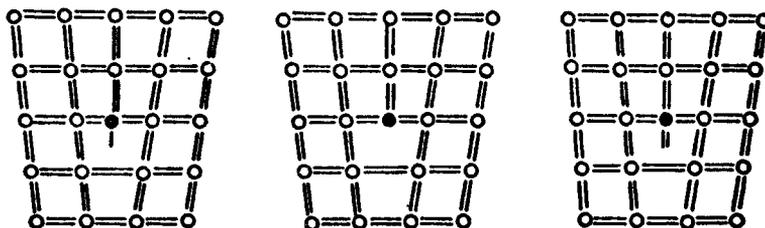


Fig. 3 Stufenversetzung mit 3 Möglichkeiten der Elektronenanlagerung

lung Elektrizität (Josephson, Rauschen, elektronische Werkstoffe, magnetische Materialien), der Wärme (Supraleitung), Optik (Spektroskopie am Festkörper), Atomphysik (Anwendung der Festkörper-Dosimetrie). Im Institut Berlin gibt es nun eine Arbeitsgruppe, die Festkörperphysik heisst und die vielleicht als Anlaufstelle für festkörperphysikalische Probleme gesehen werden kann und deren Leiter zugleich der Koordinator für Festkörperphysik ist. In ähnlicher Weise ist übrigens Herr Professor Wagner der Koordinator für Dosimetrie, die ja auch an verschiedenen Stellen der PTB - in der Abteilung Atomphysik und bei uns im IB - betrieben wird. Die von mir geleitete Arbeitsgruppe Festkörperphysik kann mit ihren ca. 30 Mitarbeitern natürlich ohnedies nicht annähernd auf allen einschlägigen Festkörpergebieten tätig sein und musste sich daher auf den Schwerpunkt der Festkörperdosimetrie beschränken, der allerdings - wie gleich ausgeführt werden wird - nicht ganz eng gesehen wird. Und ferner ist zu erwähnen, dass auch im IB in der Gruppe "Elektrische Messtechnik" festkörperphysikalische Probleme behandelt werden, so etwa die Probleme der Supraleitung in Verbindung mit schwach koppelnden Kontakten, Kryoelektronik, Metallphysik (speziell Entwicklung von Legierungen, die bei tiefen Temperaturen verwendet werden können), Durchschlagsverhalten von Isolatormaterialien usw. Auch dies ist ein Beweis für die an vielen Stellen der PTB und auch des IB notwendige Dezentralisierung der Festkörperphysik-Arbeiten. Einzelheiten über Aufgaben und Struktur der PTB und des IB können Sie dem "Outline über die PTB 75" entnehmen, das Sie von uns morgen früh vor der Besichtigung unserer Arbeitsgruppe im IB erhalten.

Nun komme ich zu den Arbeiten in unserer Arbeitsgruppe, die, wie schon erwähnt, 30 Mitarbeiter, davon 10 Wissenschaftler und 6 wissenschaftliche Gäste umfasst und in 4 Labors gegliedert ist. Sie ist erst vor etwa 10 Jahren langsam wachsend entstanden. Wir haben uns sehr weitgehend mit den Eigenschaften realer, also gestörter Festkörper im kristallinen Zustand beschäftigt, also Halbleiter und Isolatoren mit punktförmigen und linearen Defekten, die Leitfähigkeit, Photoleitfähigkeit, Absorption und Emission (hier speziell Lumineszenz) zeigen, und auch ihre Wechselwirkung mit Elektronen- und Röntgenstrahlen und die Exoelektronenemission untersucht. Daraus hat sich ganz zwangsläufig als unser Arbeitsschwerpunkt die Festkörperdosimetrie entwickelt, an der alle in dieser Gruppe tätigen Wissenschaftler mitarbeiten, da diese Aufgabe als PTB-relevant angesehen werden musste; hierbei gibt es mehr wissenschaftliche und mehr angewandte Arbeitsrichtungen. Da in unserer Arbeitsgruppe die wissenschaftliche Grundlagenforschung etwas stärker im Vordergrund steht, legen wir grossen Wert auf die Zusammenarbeit mit allen Kollegen, die messtechnische Anwendungen interessieren. Dies ist in unserem eigenen Hause in Braunschweig der Fall - wie wir an den hier anwesenden Kollegen ja sehen - aber wir haben auch eine sehr fruchtbare und enge Zusammenarbeit mit den französischen Kollegen des C.E.A., von denen ja gleichfalls heute zu unserer Freude einige an unserer Tagung teilnehmen.

Zu Beginn meiner Ausführungen über unsere festkörperphysikalischen Arbeiten möchte ich Ihnen im ersten Dia 1) das Bändermodell des Festkörpers zeigen, das die möglichen Energiezustände für ein Elektron im Potentialfeld der Gitterbausteine markiert, hier am Beispiel des Isolators bzw. Halbleiters dargestellt, der ein mit Elektronen voll gefülltes Valenzband und darüber ein leeres Leitfähigkeitsband enthält. Ferner sind Stör-Niveaus in der sog. verbotenen Zone eingezeichnet, die von Punktdefekten herrühren. Im Falle der Halbleiter sind dies insbesondere Donatoren und Akzeptoren, im Falle der Luminophore und Isolatoren Haftstellen und Aktivatoren; die Punktdefekte können durch Gitterfehlstellen oder Verunreinigungen gebildet werden, sie spielen bei unseren Arbeiten über TLD und Exoemission eine grosse Rolle. Ausser diesen

1) S. Fig. 1

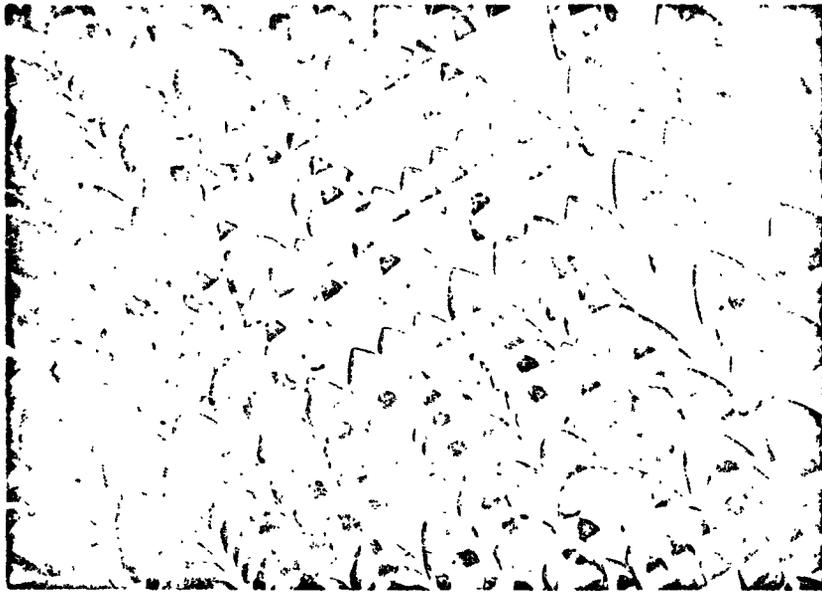


Fig. 4 Ätzgrubenbild einer 90° - Stufenversetzung

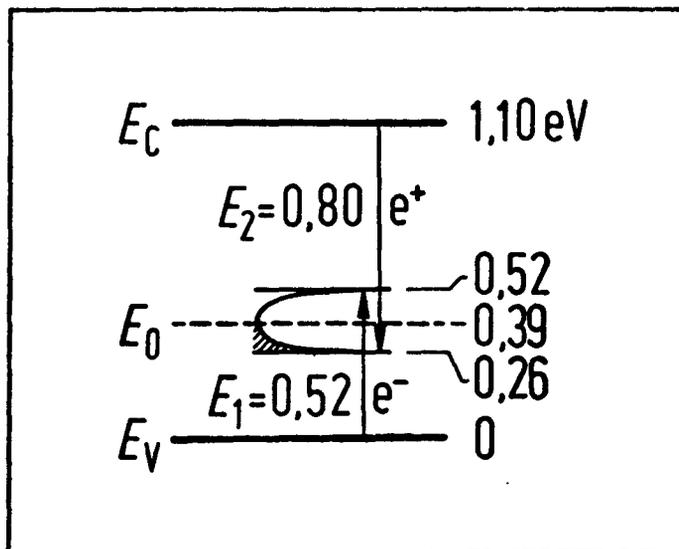


Fig. 5 Störband einer Versetzung in der verbotenen Zone des Bändermodells

punktförmigen Gitterstörungen kennt man auch lineare Gitterdefekte, die man Versetzungen nennt. Die Eigenschaften dieser Versetzungen, insbesondere am Material Silicium, untersuchen wir in unserem Labor für Halbleiter. Versetzungen haben grosse Bedeutung für viele Eigenschaften der Festkörper, sie können wechselwirken mit vorhandenen Punktdefekten, sie können Anlass geben zum Einbau von Fremdatomen - Dekorierung entlang von Versetzungslinien - und sie können für Ladungsträger im Festkörper als Rekombinationszentrum wirken. In Figur 2 sehen Sie, wie solche Versetzungen in einem Festkörper zustandekommen, etwa durch Abscheren eines Teils des Kristallgitters gegen den anderen (z.B. durch Druck oder Zug) oder beim Wachsen des Kristalls. Hierbei wird entweder eine Netzebene in das Kristallgitter eingeschoben (Stufenversetzung) oder die Kristalloberfläche wickelt sich zu einer Schraubenfläche auf (Schraubenversetzung). Figur 3 zeigt Ihnen noch einmal das Zustandekommen einer Stufenversetzung, wobei die eigentliche Versetzungslinie die Verbindung der Endpunkte der eingeschobenen Gitterebene bildet, an der ein, zwei oder gar kein Elektron angelagert werden kann - dangling bond model - die also neutral, negativ oder positiv geladen sein kann gegenüber dem Gitter. Sie kann demgemäss Donator- oder Akzeptorcharakter besitzen, und dies macht ihre Bedeutung als Rekombinationszentrum und Wechselwirkungspartner mit anderen Störstellen bzw. Ladungsträgern aus. Man kann die Durchstossungspunkte solcher Versetzungslinien auf der Oberfläche sichtbar machen, wie das Aetzgrubenbild (s. Fig. 4) zeigt. Mit dieser einfachen Methode kann man viel über die Struktur und Richtung der Versetzungen im Festkörper lernen. Figur 5 zeigt, dass eine Versetzung in der verbotenen Zone ein Störband mit einer gewissen Breite bildet, das im Neutralfall halbgefüllt ist. Wir untersuchen den Einfluss der Versetzungen auf die Leitfähigkeit, auch ihre Fähigkeit, n- oder p-Leitung hervorzurufen bzw. den Leitfähigkeitscharakter eines Halbleiters zu beeinflussen. Dies kann z.B. durch die Messung des Hall-Effekts an verschieden dotiertem und verschieden versetzungsreichem Material geschehen. Ferner verfolgen wir mit Hilfe von Photoleitfähigkeitsmessungen Elektronenübergänge aus den Bändern über das Versetzungsband und ebenfalls die Rekombination von Ladungsträgern über das Versetzungsband. Damit lässt sich die Lage des Versetzungsbandes in der verbotenen Zone finden. Da die Wechselwirkungen sehr schnell vor sich gehen können, verwenden wir zur Anregung der Photoleitung einen Laser mit geeigneter Wellenlänge. Diese Erkenntnisse am Material Silicium lassen sich auf andere Materialien, etwa wie sie bei der Festkörperdosimetrie verwendet werden, übertragen, ganz abgesehen davon, dass Si-Detektoren in der Kernstrahlungs-Messtechnik auch von grosser Bedeutung sind.

Damit komme ich zu unserem Arbeitsschwerpunkt, der Festkörperdosimetrie, der sich die Labors für Lumineszenz und Festkörperelektronik in unserer Arbeitsgruppe widmen. Während Halbleiter im allgemeinen dadurch ausgezeichnet sind, dass sie eine relativ schmale verbotene Zone besitzen - Si: 1,1 eV, Ge: 0,7 eV, einige III-V-Halbleiter auch noch darüber - benutzt man für die Festkörperdosimetrie Materialien mit sehr grossem Bandabstand, also LiF mit 11,6 eV, BeO: 10,5 eV, Al_2O_3 : 10 eV. Bei der Bestrahlung mit ionisierender Strahlung werden Elektron-Loch-Paare erzeugt, die an geeigneten Störstellen gehaftet werden. Dazu müssen in erster Linie also Elektronenhaftstellen in genügender Anzahl und genügender Tiefe vorhanden sein, aus denen die Elektronen später durch thermische oder optische Stimulierung befreit werden können, um ein Mass für die Energiedosis zu liefern. Dazu ist es aber nötig, diese befreiten Elektronen nachzuweisen, und das kann entweder dadurch geschehen, dass sie mit Löchern auf Aktivatoren rekombinieren - dann beobachtet man Thermolumineszenz - oder sie treten aus der Oberfläche aus und werden

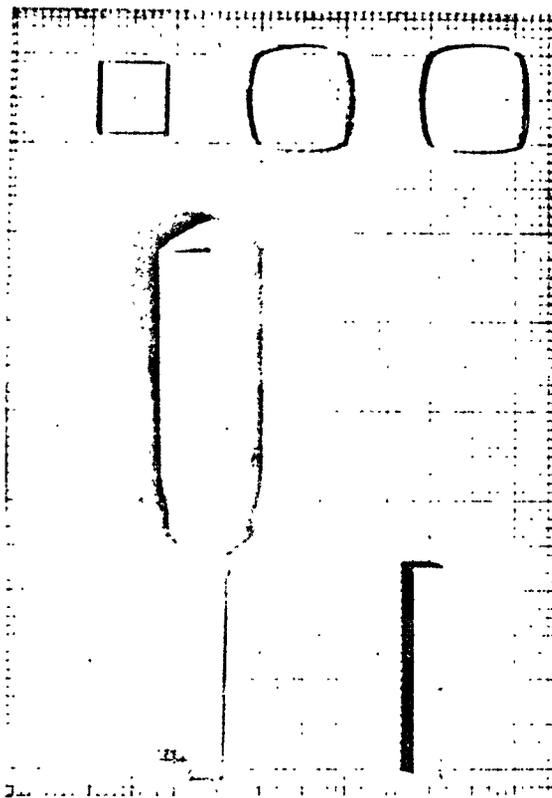


Fig. 6 Lithiumfluorid - Einkristall (gezogen und zerschnitten)

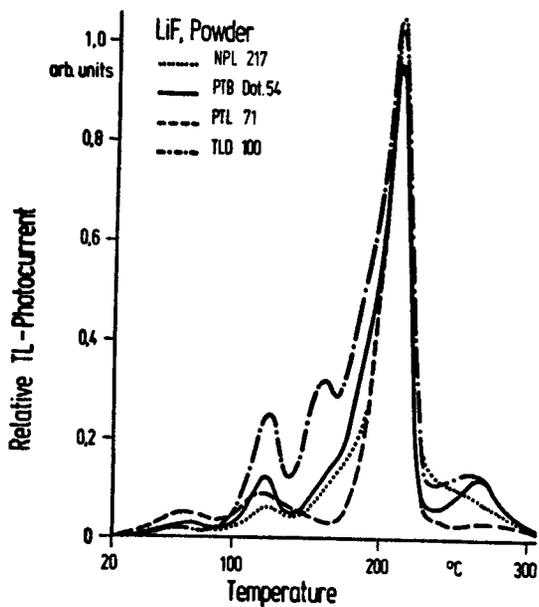


Fig. 7 LiF - Glow - Kurven verschiedener Materialien

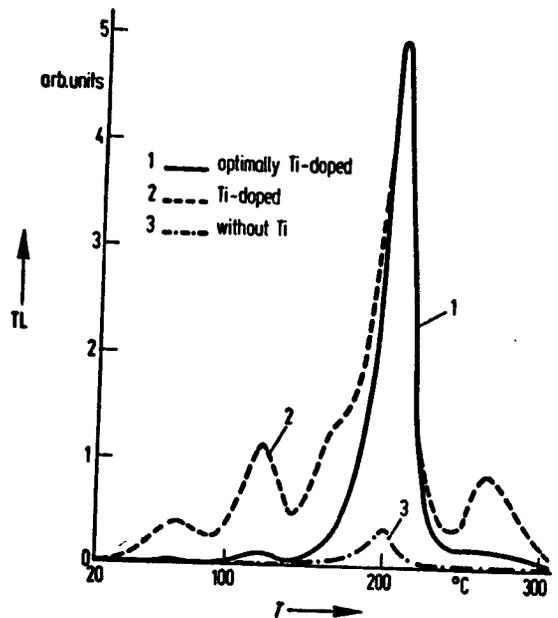


Fig. 8 Abhängigkeit der LiF- Glow - Kurven von der Titan - Dotierung

dort etwa mit einem Geiger-Müller-Zähler nachgewiesen (Exoelektronenemission). An die für die Festkörper-Dosimetrie, insbesondere für TLD, verwendbaren Materialien werden nun einige Forderungen gestellt: in erster Linie sollen sie kein "fading" zeigen, ferner eine möglichst lineare Dosisabhängigkeit und eine bekannte Abhängigkeit von der Energie der bestrahlenden Teilchen besitzen, die effektive Ordnungszahl soll möglichst gewebeäquivalent sein (7.4) und ihre Empfindlichkeit - insbesondere bei Verwendung für den Strahlenschutz - soll gross sein. Das alles hat dazu geführt, dem LiF in der TLD-Anwendung den Vorzug zu geben, obwohl natürlich auch andere Materialien (CaF_2 , $\text{CaSO}_4:\text{Tm}$, BeO , Lithiumborat) geeignet sind und verwendet werden. Wir haben uns daher auch zunächst mit diesem Material befasst, das zwar schon weit verbreitet ist und in guter Qualität hergestellt wird, von dem aber immer noch bezüglich des Ablaufs des TL-Mechanismus vieles unklar ist. So weiss man bis heute noch nicht sicher, welches die im LiF wirksamen Haftstellen (für Elektronen oder Löcher) sind, wie der Rekombinationsmechanismus verläuft, ob man bereits an der Empfindlichkeitsgrenze angelangt ist usw. Das konventionelle Material ist LiF MgTi (im wesentlichen), das in Pulver oder gesinterten Stäbchen verwendet wird; wir haben aus dieser Substanz Einkristalle hergestellt, um ausser der TL auch Absorption und ESR daraus zu untersuchen. Figur 6 zeigt Ihnen einen gezogenen und zerschnittenen Kristall dieses Materials (LiFMgTi), Figur 7 seine Glowkurve - erhalten durch Aufheizen nach der Bestrahlung - im Vergleich zu anderen Standard-Materialien. Sie können erkennen, dass fast die gleiche Empfindlichkeit aller Präparate zu beobachten ist, sofern man sich - wie üblich - auf das Hauptmaximum 5 bezieht. Das lässt erkennen, dass etwa die Empfindlichkeitsgrenze für dieses konventionelle Material von allen Herstellern erreicht zu sein scheint. Unterschiede allerdings treten bei Betrachtung der Vor-Maxima auf, die ja zur Dosisbestimmung nicht herangezogen werden und die man daher bemüht ist, möglichst klein zu halten. In Figur 8 sehen Sie, dass bei besserer Verteilung des Ti-Aktivators - als solchen sieht man dieses jetzt allgemein an - im gesamten Kristall diese Vor-Maxima stark reduziert werden können und dass ohne Ti praktische keine Thermolumineszenz zu beobachten ist. Vielleicht gelingt es doch noch, die Empfindlichkeit des Materials zu erhöhen, wobei uns ein Faktor von 5 im Augenblick durchaus erreichbar erscheint.

Neben der Thermolumineszenz untersuchen wir sehr intensiv die Absorption des LiF, in erster Linie, um Klarheit über die Natur der Haftstellen, die wir - nebst anderen Autoren - dem Mg zuschreiben, zu gewinnen. Figur 9 zeigt die Absorptionskurve von bestrahltem LiFMgTi, die wir mit Hilfe von berechneten Gauss-Kurven in einzelne Banden zerlegt haben. Von links beginnend beobachten wir zunächst eine Mg-Bande (mit noch unbekannter Zentrenstruktur), dann eine weitere durch Mg hervorgerufene Bande, die wir einem sogenannten Z_2 -Zentrum zuordnen, sodann die starke F-Bande, dann eine weitere Mg-Bande, mit Z_3 -Zentrum bezeichnet, und schliesslich die Ti-Bande. Ohne Gauss-Kurven-Analyse wäre es z.B. gar nicht möglich, in der integralen Absorptionskurve die Z_3 -Bande zu erkennen. Die einzelnen Absorptionsbanden lassen sich nun auch in Beziehung setzen zur TL, so z.B. die erste Mg-Bande (3,3 eV) scheint korreliert zu sein dem 2. Glow-Maximum. Von grösster Bedeutung aber scheinen uns die Z_3 - und Z_2 -Bande zu sein. Die ihnen zugeordneten Zentren zeigt Figur 10. Danach betrachten wir das Z_2 -Zentrum als ein $\text{Mg}^{2+}\text{-F}'$ -Paar, d.h. ein Konglomerat von Mg mit einer Fluoranionenlücke, die mit 2 Elektronen gefüllt ist, von denen eines leicht abgelöst werden kann. Dies ist unserer Meinung nach die gefüllte Elektronenhaftstelle für den Hauptpeak

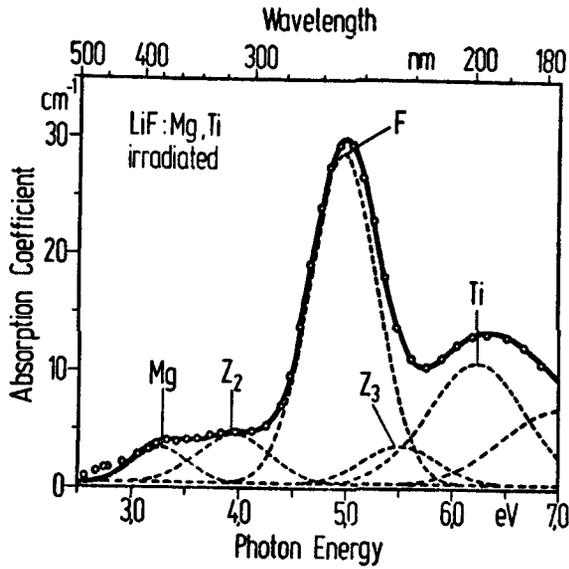


Fig. 9 Absorptionskurve von bestrahltem LiF:Mg:Ti

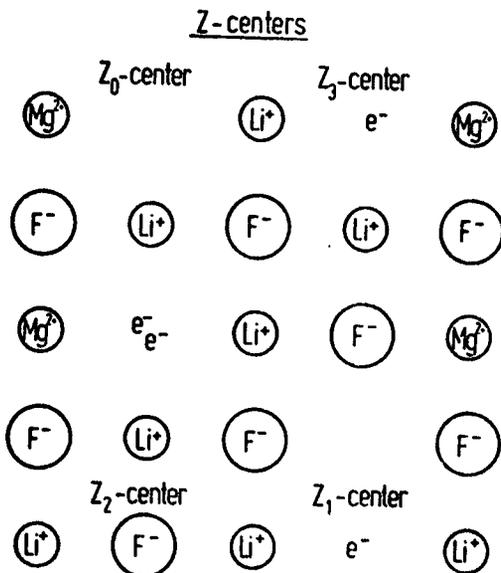


Fig. 10 Zur Erklärung der verschiedenen Z - Zentren

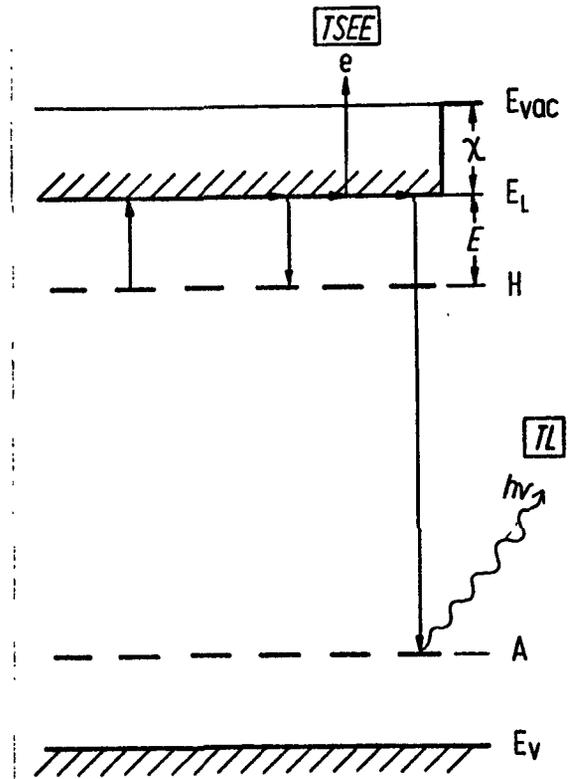


Fig. 11 Exoemission und Rekombination eines aus Haftstellen befreiten Elektrons

5, die nach Entleerung in das Z_3 -Zentrum, in ein Mg^{2+} -F-Paar übergeht. Bei Temperaturen oberhalb von 500°C kann ein weiteres Elektron aus dem F-Zentrum entfernt werden, wodurch das Z_0 -Zentrum (Mg^{2+} - α -Paar) entsteht. Dieser Mechanismus kann auch kinetisch behandelt werden und bietet ferner Erklärungsmöglichkeiten für das sog. pre-irradiation annealing - d.h. das Wiederbereitstellen der Kristalle zur erneuten Verwendung nach der Auswertung - und die Sensibilisierung.

Mit Hilfe der ESR versuchen wir, weitere Anhaltspunkte für unsere Zentrenmodelle zu gewinnen, insbesondere auch typische Signale für die verschiedenen Eigen- und Fremdstörstellen in LiF zu erhalten und mit den Absorptionsmessungen zu korrelieren. Besonders deutliche ESR-Signale erhält man z.B. für F- und $F_2(M)$ -Zentren, aber auch Ti^{3+} hat ein sehr interessantes ESR-Spektrum, das anzudeuten scheint, dass das eingebaute Ti^{4+} durch Bestrahlung erst in Ti^{3+} umgewandelt werden muss.

Zum Abschluss unserer optischen Untersuchungen zur TLD möchte ich noch erwähnen, dass wir auch genaue radiometrische Messungen an Luminophoren ausführen, was ja insofern wichtig ist, als LiF gleichfalls als Luminophor anzusehen ist. Bei kleinen Dosen ist seine Emission sogar sehr schwach, also sind wir bemüht, auch kleine Strahldichten und niedrige Quantenausbeuten messen zu können. In diesem Zusammenhang haben wir uns an einem Rundvergleich zur Festlegung von Luminophor-Standards beteiligt.

Ich komme nun zu unseren Untersuchungen, mit Hilfe der Exoelektronenemission eine dem Festkörper zugeführte Dosis zu messen. Zur Illustrierung möchte ich Ihnen beide zur Festkörperdosimetrie geeigneten Effekte-TL und TSEE- noch einmal im nächsten Dia 1) zeigen. Hier erkennen Sie, dass die Bestrahlung abgelöste und danach gehaftete Elektronen zwei Möglichkeiten hat, nach thermischer Stimulierung zu reagieren: Entweder es rekombiniert mit einem Aktivator (TL) oder entfernt sich aus dem Kristall (EE, speziell TSEE). Hier muss bemerkt werden, dass ausser durch Zufuhr thermischer Energie das Elektron aus der Haftstelle auch optisch stimuliert, d.h. entfernt werden kann; solche Untersuchungen, speziell in Zusammenhang mit der Exoelektronenemission, führen wir auch durch; zuweilen ist es ja günstiger, die Probe nicht zu erwärmen. Aus der Temperatur, bei der die Elektronen aus den Haftstellen getrieben werden, kann man - wie auch aus der Frequenz der stimulierenden Strahlung - die Haftstellentiefe ermitteln, eine Methode, die Haftstellenspektroskopie genannt wird, mit der wir uns sehr eingehend befassen und auf die ich sogleich zurückkommen werde. Der Mechanismus der EE ist noch nicht ganz geklärt, hier spielen Oberflächenverhältnisse, die Elektronenaffinität (Austrittsarbeit) und die Dicke der Exo-aktiven Schicht eine Rolle. Wir persönlich glauben, dass das Elektron, wenn es erst einmal im L-Band ist, die Austrittsarbeit durch die Energie überwinden kann, die es thermisch aus der Maxwell-Verteilung der Elektronengeschwindigkeit im Leitfähigkeitsband bekommt (d.h. es emittieren Elektronen aus dem sog. Maxwell-Schwanz, thermionisches Modell).

Die Verwandtschaft der Lumineszenz- und Exoemissionseffekte, insbesondere die analoge Haftstellenentleerung, legt es nahe, Simultanuntersuchungen an geeigneten Substanzen durchzuführen. Dies haben wir z.B. an LiF und Al_2O_3 getan, ferner an $SrSO_4$ und $BaSO_4$, die allerdings zum Zwecke der Lumineszenz mit Eu dotiert werden mussten. Diese Sulfate sind zudem mit die empfindlichsten Detektoren für TLD und TSEE, haben allerdings für die dosimetrische Anwendung den Nachteil, dass ihre effektive Ordnungszahl mit 29,3 ($SrSO_4$) und 44 ($BaSO_4$) sehr weit von 7,4 (Gewebe) entfernt liegt; dies spielt allerdings keine Rolle,

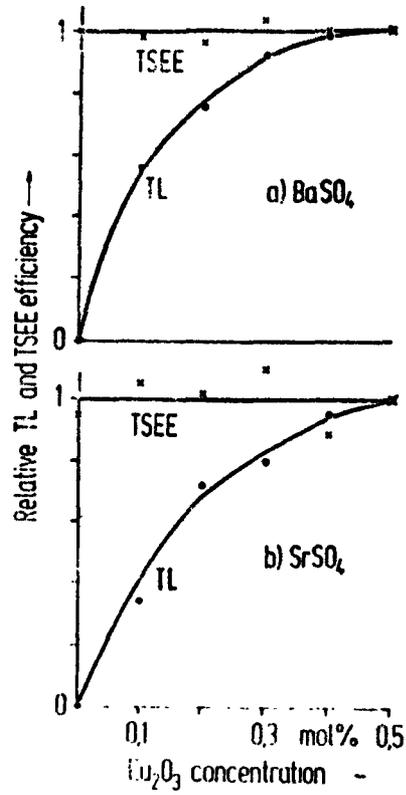


Fig. 12 Thermisch stimulierte Exoemission und Thermolumineszenz von BaSO₄ und SrSO₄ in Abhängigkeit vom Eu₂O₃ - Gehalt

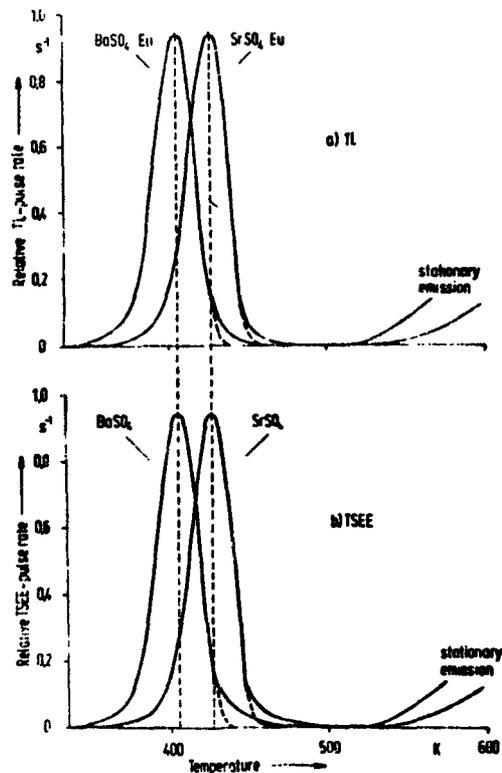


Fig. 13 Glowkurven von BaSO₄ und SrSO₄ (TL und TSEE)

sofern es sich um energetisch bekannte Strahlung handelt. Fig. 12 zeigt, dass beide Sulfate - unabhängig vom Eu^{2+} -Zusatz - konstante TSEE zeigen, dass aber die TL bis zu einer sich andeutenden Sättigung mit den Eu^{2+} -Gehalt anwächst, der die Exoemission überhaupt nicht beeinflusst. Daraus kann geschlossen werden, dass die Haftstellen unabhängig von der Aktivierung im Sulfat vorhanden sind und dass lediglich der Aktivator für die TL durch Eu geschaffen wird. Dies wird noch erhärtet durch das nächste Dia (1), das für beide Sulfate und beide Stimulierungseffekte (TL und TSEE) die Glowkurven zeigt. Sie liegen - bei sehr präziser Temperaturmessung - an genau den gleichen Stellen und zeigen damit, dass identische Haftstellen - etwa geometrische Kristallbaufehler - im Volumen (TL) und der exoaktiven Oberflächenschicht (ca. 10 \AA) vorhanden sind, und dass wirklich nur der kinetisch zu berechnende Haftstellenentleerungsprozess von Bedeutung ist (z.B. findet kein retrapping statt). Wir erhalten auch den Hinweis, dass unsere Annahme, der Elektronenaustritt folge dem thermionischen Modell, zutreffend sein kann. Diese Materialien sind also von grosser wissenschaftlicher Bedeutung, auch als Haftstellen-Standards brauchbar wegen ihrer sehr einfachen single-peak-Glowkurve und dazu noch ausserordentlich empfindlich für kleinste Dosis-Messungen.

Für die dosimetrische Anwendung allerdings werden heute noch BeO (7,1) und von uns auch Al_2O_3 (11,2) ins Auge gefasst, wobei beim Al_2O_3 nur die α -Modifikation exoaktiv ist. Figur 14 zeigt die TSEE-Spektren von Al_2O_3 , und zwar von Pulver, Keramik und einem Einkristall, die recht ähnlich sind und zwei Gruppen von Maxima besitzen bei 250°C und 500°C . Beide liegen so hoch, dass Fading hier nicht zu befürchten ist, insbesondere der bei Einkristallen und geeignetem Glühen an Luft herauspräparierbare Hochtemperatur-Peak bei 450°C - wie in Figur 15 dargestellt - eignet sich gut für die dosimetrische Anwendung in Hochtemperatur-Feldern (z.B. bei Hochfluss-Reaktoren). Wir sind deshalb in Zusammenarbeit mit unseren Kollegen vom C.E.A. dabei, hier weitere Untersuchungen anzustellen. Wir verfolgen auch das Verhalten von Al_2O_3 -Einkristallen im Hochvakuum, um Aussagen über die Natur des Exoelektronenaustritts und der Haftstellen im Al_2O_3 machen zu können. In diesem Zusammenhang laufen auch Untersuchungen der Absorption von Al_2O_3 -Einkristallen nach Beschuss mit 3 MeV-Elektronen an unserem Van de Graaff-Beschleuniger.

Abschliessend muss ich noch erwähnen, dass das 4. Labor unserer Arbeitsgruppe sich generell mit Fragen der Dosimetrie und des Strahlenschutzes befasst. Es stehen ihm zur Unterstützung aller in der Gruppe laufenden Arbeiten der soeben erwähnte Linear-Beschleuniger für Elektronen (3 MeV), eine Ionenimplantations-Anlage (400 keV) und Röntgeneinrichtungen von 5 - 300 keV zur Erzeugung definierter Strahlungsfelder zur Verfügung. Das Labor sammelt umfangreiche Erfahrung in der Dosimetrie dadurch, dass es im Bereich des Landes Berlin den Strahlenschutz wahrzunehmen hat, sowohl gemäss der Strahlenschutz-Verordnung (Dichtigkeitsprüfung radioaktiver Strahler) als auch der Röntgenverordnung (§ 4: Röntgenanlagen für den medizinischen Bereich und § 13 im klinischen Bereich für Messungen im Strahlenbündel sowie Kalibrierung von Dosimetern) und der Beschleuniger-Richtlinien. Darüber hinaus sind wir zur Zeit damit befasst, die Bauartzulassung für TLD's vorzubereiten, wie sie die 2. Verordnung über die Eichpflicht von Messgeräten für andere Dosimeter als Ionisationskammern, Zählrohre und Szintillationszähler vorschreibt, die danach ja in Zukunft der Eichung unterliegen (vom 1.1.1977 beim Strahlenschutz und vom 1.1.1980 für den klinischen Gebrauch). So werden unsere wissenschaftlichen Untersuchungen zur Festkörperdosimetrie in naher Zukunft also eine sehr praktische, ja sogar gesetzlich fundierte metrologische Anwendung

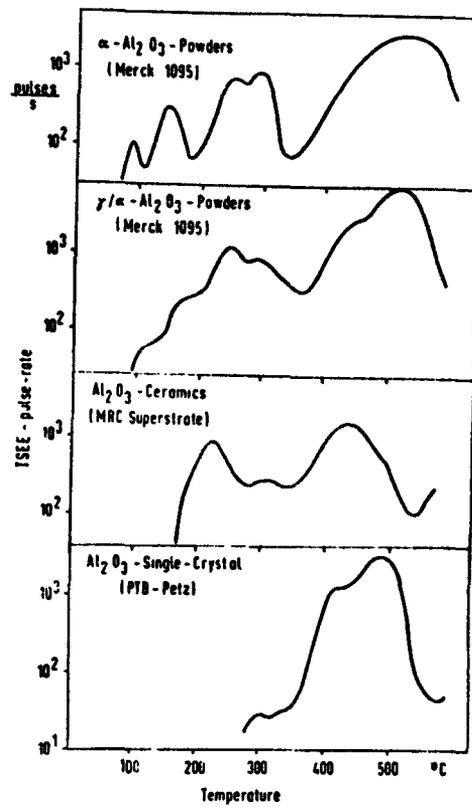


Fig. 14 TSEE - Kurven verschiedener Al_2O_3 - Präparate

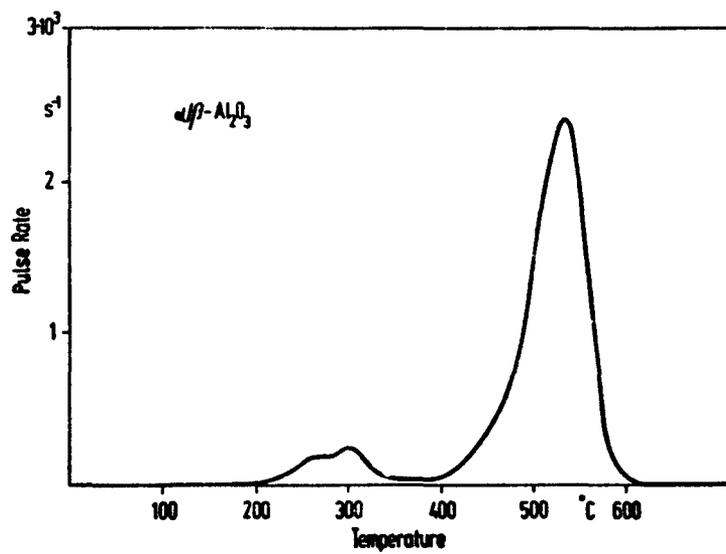


Fig. 15 TSEE - Kurve eines Al_2O_3 - Einkristalls

finden.

Ich hoffe, ich habe Sie mit meinen etwas mehr allgemein gehaltenen Ausführungen eingestimmt auf Ihren morgigen Besuch in unserer Arbeitsgruppe im Institut Berlin der PTB, wo Sie Gelegenheit haben werden, Einzelheiten kennenzulernen, bei Interesse spezielle Diskussionen zu führen und alle unsere Mitarbeiter kennenzulernen, durch deren Einsatz und Hilfe mein Vortrag heute überhaupt erst ermöglicht wurde.

LISTE DES PARTICIPANTS

=====

Belgique

J. DELHOVE
Controlatom
Av. André Drouart, 29
B-1160 BRUXELLES

L. GHOOS
Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire
Contrôle Radioprotection
Boeretang 200
B-2400 MOL-DONK

Dr. R. JACOBS
Dienst voor fysische Controle
Rijksuniversiteit Gent
Proeftuinstraat 86
B-9000 GENT

Ir. P. MANCHE
Techni-Test
Chaussée de Bruxelles 70
B-1800 VILVORDE

Prof. P. SCHONKEN
Katholieke Universiteit Leuven
Dienst Radioprotectie
de Croylaan 54
B-3030 HEVERLEE

Prof. Dr. O. SEGHAERT
Dienst voor fysische Controle
Rijksuniversiteit Gent
Proeftuinstraat 86
B-9000 GENT

P. VAN ELEGEM
Service de Contrôle Physique
Université Libre de Bruxelles
Av. F.D. Roosevelt 50
B-1050 BRUXELLES

Bundesrepublik

Deutschland

B. BURCKARDT
Gesellschaft für Kernforschung mbH.
Abteilung Strahlenschutz
und Sicherheit
Postfach 3640
D-7500 KARLSRUHE

T. BRONDER
Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Institut Berlin
Abbestrasse 2-12
D-1000 BERLIN 10

J. DAVID
Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH.
Institut für Strahlenschutz
Ingolstädter Landstrasse 1
D-8042 NEUFELDERBERG/MÜNCHEN

Dipl. Phys. V. GUMMI
Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Postfach 3345
D-3300 BRAUNSCHWEIG

Dr. M. HEINZELMANN
Zentralabteilung Strahlenschutz
der Kernforschungsanlage Jülich GmbH.
Postfach 365
D-5170 JUELICH 1

K. HOFFMANN
Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Institut Berlin
Abbestrasse 2-12
D-1000 BERLIN 10

J. JAKSCHIK
Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Institut Berlin
Abbestrasse 2-12
D-1000 BERLIN 10

Dr. K.E. KIRSCHFELD
Hahn-Weitner-Institut für Kernforschung
Abteilung Strahlenschutz
Postfach 390128
D-1000 BERLIN 39

Bundesrepublik

Deutschland

H.-J. KOS
Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Institut Berlin
Abbestrasse 2-12
D-1000 BERLIN 10

Dr. R. NINK
Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Institut Berlin
Abbestrasse 2-12
D-1000 BERLIN 10

Dipl. Phys. E. PIESCH
Gesellschaft für Kernforschung mbH.
Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit
Postfach 3640
D-7500 KARLSRUHE

Dipl. Phys. D. REGULLA
Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH.
Institut für Strahlenschutz
Ingolstädter Landstrasse, 1
D-8042 NEUHARBERG/MÜNCHEN

Prof. Dr. H. REICH
Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Postfach 3345
D-3300 BRAUNSCHWEIG

Herr RITZENHOFF
Staatliches Materialprüfungsamt
Nordrhein-Westfalen
Marsbruchstrasse 186
D-4600 DORTMUND-APLERBECK

Dr. E. ROSE
Kernforschungsanlage Jülich GmbH.
Zentralabteilung Strahlenschutz
Postfach 1913
D-5170 JÜLICH 1

Prof. Dr. G. SAUERBREY
Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Institut Berlin
Abbestrasse 2-12
D-1000 BERLIN 10

Bundesrepublik

Deutschland

Herr SCHELLKES
Landesanstalt für Umweltschutz
Institut für Immissions-, Arbeits- und
Strahlenschutz
Postfach 4060
D-7500 KARLSRUHE 21

Prof. Dr. S. WAGNER
Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Postfach 3345
D-3300 BRAUNSCHWEIG

Prof. Dr. D. HAHN
Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Institut Berlin
Abbestrasse 2-12
D-1000 BERLIN 10

Danmark

Hr. civilingeniør Poul CHRISTENSEN
Helsefysikafdelingen
Forsøgsanlaeg Risø
Dk-4000 ROSKILDE

Ingeniør Bent VIG
Statens Institut for Stralehygiejne
Frederikssundsvej 378
DK-2700 COPENHAGEN Brh.

Hr. civilingeniør L. BØTTER JENSEN
Helsefysikafdelingen
Forsøgsanlaeg Risø
DK-4000 ROSKILDE

France

F. BERMANN
CEA
Département de Protection
B.P. N° 6
F-92260 FONTENAY-AUX-ROSES

H. BOISSON
CEA
Service Protection contre les radiations
Centre d'Etudes de Bruyères-Le-Chatel
B.P. N° 61
F-92120 MONTROUGE

France

L. FITOUSSI
CEA
Département de Protection
B.P. N° 6
F-92260 FONTENAY-AUX-ROSES

J.P. GUIHO
Laboratoire de métrologie
des Rayonnements Ionisants
Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay
B.P. N° 2
F-91190 GIF-SUR-YVETTE

Mme Y. HERBAUT
CEA
Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble
Laboratoire de Mesures de Rayonnement-SPEE
B.P. N° 85
F-38041 GRENOBLE Cedex

Prof. J.P. MORONI
Ministère de la Santé Publique
Service Centrale de Protection contre
les Rayonnements Ionisants (SCPRI)
B.P. N° 35
F-78110 LE VESINET

G. PORTAL
CEA
Département de Protection
B.P. N° 6
F-92260 FONTENAY-AUX-ROSES

J. SCHEIDHAUER
CEA/COGEMA
Service de Prévention et de Radioprotection
Centre de la Hague
B.P. N° 270
F-50107 CHERBOURG

Mme A. SERBAT
Etablissement Central de l'Armement
16bis, Av. Prieur de la Côte d'Or
F-94110 ARCUEIL

G. TROESCH
CEA
Service de Protection contre les Rayonnements
B.P. N° 6
F-92260 FONTENAY-AUX-ROSES

Great Britain

J.A. DENNIS
National Radiological Protection Board
GB-HARWELL, DIDCOT, OXON, OX 11 0RQ

S.C. ELLIS
National Physical Laboratory
Department of Industry
GB-TEDDINGTON MIDDLESEX TW11 0LW

N.T. HARRISON
National Radiological Protection Board
Scottish Center
11, West. Graham Street
GB-GLASGOW G4 9LF

M.J. HILL
Central Electricity Generating Board
Berkeley Nuclear Laboratory
GB-BERKELEY GLOUCESTERSHIRE GL 13 9 PB

M.W.J. MERRY
British Nuclear Fuels Ltd.
Windscale and Calder Works
GB-SALLAFIELD SEASCALE CUMBERLAND CA 20 1PG

H.E. PRESTON
United Kingdom Atomic Energy Authority
A.E.E. WINFRITH
Radiological and Safety Division
Building A 40
GB-DORCHESTER, DORSET

Dr. B.L. REECE
Regional Radiation
Physics and Protection Service
Queen Elizabeth Medical Centre
GB-BIRMINGHAM, B 15 2TH

J.W. SMITH
Atomic Energy Research Establishment
Environmental and Medical
Sciences Division
GB-HARWELL, OXFORDSHIRE OX11 0RA

Ireland

D.J. MURNAGHAN
National Radiation Monitoring
Service "Oakland"
Highfield Road
Rathgar
DUBLIN 6

Italia

Dr. G. BUSUOLI
Laboratorio di Fisica Sanitaria
del C.N.E.N.
Via Mazzini 2
I-40138 BOLOGNA

Dr. L. LEMBO
Laboratorio di Fisica Sanitaria
del C.N.E.N.
Via Mazzini 2
I-40138 BOLOGNA

Nederland

Drs. J.G. ACKERS
Reactor Centrum Nederland
Health Protection Department
Westerduinweg 3
NL-PETTEN

Ir. G.H. HOFMEESTER
Rijksinstituut voor de Volksgezondheid
Postbus 1
NL-BILTHOVEN

Drs. H.W. JULIUS
TNO, Radiologische Dienst van de
Gezondheidsorganisatie
Utrechtseweg 310
NL-ARNHEM

Dr. H.P. LEENHOUTS
Inst. v. Toepassing v. Atoomenergie
in de Landbouw
Keijenbergseweg 6
Postbus 48
NL-WAGENINGEN

Ir. C.W. VERHOEF
TNO, Radiologische Dienst van de
Gezondheidsorganisatie
Utrechtseweg 310
NL-ARNHEM

Suisse

Dr. M. HOEFERT
CERN
CH-1211 GENEVE 23

Commission européenne

E.M.M. DE RAS
EURATOM
Bureau Central de Mesures Nucléaires
Steenweg op Retie
B-2440 GEEL

Mme E.V. EBERT
Direction Santé et Sécurité
Luxembourg
Av. Alcide de Gasperi
Bâtiment Jean Monnet A2
LUXEMBOURG

H. ERISKAT
Direction Santé et Sécurité
Luxembourg
Av. Alcide de Gasperi
Bâtiment Jean Monnet A2
LUXEMBOURG

Mme T. KAYSER
Direction Santé et Sécurité
Luxembourg
Av. Alcide de Gasperi
Bâtiment Jean Monnet A2
LUXEMBOURG

Dr. M. OBERHOFER
Centre Commun de Recherche
Groupe de Recherche de la
Dosimétrie appliquée
I-21020 ISPRA

H. SEGUIN
Direction Santé et Sécurité
Luxembourg
Av. Alcide de Gasperi
Bâtiment Jean Monnet A2
LUXEMBOURG

ORGANISATION DU SEMINAIRE

Institut Berlin der Physikalisch-Technischen
Bundesanstalt

Dr. R. NINK

Kommission der Europäischen Gemeinschaften
Direktion Gesundheit und Sicherheit

H. ERISKAT

H. SEGUIN

E.V. EBERT

