

Abteilung Strahlenschutz
KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH
des Landes Nordrhein-Westfalen

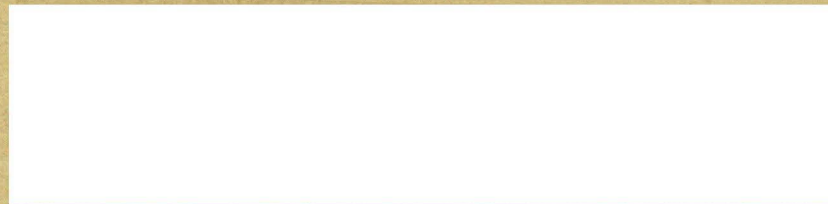
Strahlenschutzverordnung und Strahlungs-
meßtechnik – ein Überblick über den
heutigen Stand der Meßverfahren

von

R. Tzschaschel

Jül - 59 - ST

September 1962



Berichte der Kernforschungsanlage Jülich – Nr. 59

Abteilung Strahlenschutz Jül – 59 – ST

Dok.: RADIOACTIVITY MEASURING METHOD - RADIATION PROTECTION

DK: 539.16.08:614.89

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich,
Jülich, Bundesrepublik Deutschland

Strahlenschutzverordnung und Strahlungsmeßtechnik — ein Überblick über den heutigen Stand der Meßverfahren

Von R. Tzschaschel, Jülich*)

1. EINLEITUNG

Die im September 1960 in Kraft getretene „Erste Verordnung über den Schutz durch Strahlen radioaktiver Stoffe“ (SSVO) enthält folgende 7 Hauptabschnitte mit insgesamt 58 Paragraphen [1]:

1. Allgemeine Vorschriften (§§ 1, 2).
2. Genehmigungsvorschriften (§§ 3...19).
3. **Schutzvorrichtungen für den Umgang mit radioaktiven Stoffen (§§ 20...43).**
4. **Prüfung umschlossener radioaktiver Stoffe und Anzeige des Verlustes von radioaktiven Stoffen (§§ 44, 45).**
5. Ärztliche Überwachung (§§ 46...53).
6. Übergangsvorschriften (§§ 54, 55).
7. Ordnungswidrigkeiten und Schlußvorschriften (§§ 56...58).

Die vorliegende Abhandlung bezieht sich ausschließlich auf die Abschnitte 3 und 4, denn sie fordern alle diejenigen Schutzmaßnahmen, die mit physikalischen und technischen Mitteln nach dem jeweils neuesten Stand durch-

zuführen sind. In Bild 1 werden in tabellarischer Form die Vorschriften dieser Abschnitte den aus diesen Vorschriften erwachsenden Maßnahmen gegenübergestellt. In Anlehnung an die Organisation einer Strahlenschutzabteilung von Kernforschungsanlagen (z. B. Jülich) wird in der Rubrik „Maßnahmen“ zwischen den physikalischen Meßaufgaben (Personendosis-Anlagen- und Umgebungsüberwachung) und dem Technischen Strahlenschutz (Ausrüstung mit Schutzanzügen, Schutzgeräten, Abschirmmaterialien usw.) unterschieden.

Der § 21 der SSVO, der in Bild 1 zum Teil wörtlich zitiert ist, enthält eine Zusammenfassung aller physikalischen Strahlenschutzaufgaben und weist bereits auf die weiteren Paragraphen hin, welche die speziellen Aufgaben beinhalten. Dabei werden die Meßaufgaben in einigen Paragraphen explizite gefordert, was durch schwarze Rechtecke gekennzeichnet ist, in anderen Paragraphen sind sie implizite enthalten (gestrichelte Schraffur), d. h. es werden keine direkten Meßaufgaben verlangt, die Einhaltung der Vorschriften bedingt aber von Fall zu Fall die Durchführung spezieller Messungen.

In den folgenden Abschnitten wird ausschließlich die strahlungsmeßtechnische Seite der geforderten Schutzmaßnahmen besprochen, während über die Fragen des technischen Strahlenschutzes zu späterer Zeit berichtet werden soll. Es können natürlich nicht alle Meßverfahren erschöpfend behandelt werden; für jede von der SSVO

*) Abteilung Strahlenschutz der Kernforschungsanlage Jülich.
Vortrag gehalten auf der Vollversammlung des ständigen Seminars für Kerntechnik im Hause der Technik, Essen, am 23. 1. 1962.

Vorschriften	Maßnahmen			
	Meßaufgaben			Technischer Strahlenschutz
	Persone- nendo- sisüber- wa- chung	Anla- gen- über- wa- chung	Umge- bungs- über- wa- chung	
Dritter Abschnitt: Schutzvorschriften für den Umgang mit radioaktiven Stoffen (§§ 20 bis 43)				
§ 21 Allgemeine Schutzmaßnahmen Die für den Strahlenschutz Verantwortlichen haben unter Beachtung der Regeln von Wissenschaft und Technik zum Schutz einzelner und der Allgemeinheit vor Strahlenschäden an Leben, Gesundheit und Sachgütern durch geeignete Schutzmaßnahmen, insbesondere durch Bereitstellung geeigneter Räume, Schutz Einrichtungen, Geräte und Schutzausrüstungen für Personen, sowie durch geeignete Regelung des Betriebsablaufes dafür zu sorgen, daß beim Umgang mit radioaktiven Stoffen				
1. Die Schutzvorschriften der §§ 22, 25 bis 29, 31, 34, 35 Abs. 1 bis 3, Abs. 4 Satz 1, des § 36 Abs. 1, 2 und 4, des § 37 Satz 2, der §§ 39 bis 42 eingehalten werden,				
§ 22 Kontrollbereiche und Überwachungsbereiche				
§ 25 Höchstzulässige Dosen für beruflich strahlenexponierte Personen				
§ 26 Dauereinrichtungen				
§ 27 Höchstzulässige Dosis bei Teilbestrahlung				
§ 28 Berücksichtigung einer anderweitigen Strahlenbelastung				
§ 29 Höchstzulässige Dosis für andere Personen				
§ 31 Höchstzulässige Konzentrationen radioaktiver Stoffe in der Luft von Kontrollbereichen				
§ 34 Schutz von Luft, Wasser und Boden				
§ 35 Messung der Dosisleistungen oder Ortsdosen und Feststellung radioaktiver Verunreinigung				
§ 36 Messung der Personendosis				
§ 37 Feststellung der Aufnahme radioaktiver Stoffe in den menschlichen Körper				
§ 39 Kennzeichnung von Geräten und Behältern				
§ 40 Verhalten bei dem Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen				
§ 41 Belehrung				
§ 42 Beseitigung radioaktiver Abfälle				
Vierter Abschnitt: Prüfung umschlossener radioaktiver Stoffe und Anzeige des Verlustes von radioaktiven Stoffen (§§ 44 und 45)				
§ 44 Prüfung umschlossener radioaktiver Stoffe				

Bild 1: Übersicht über die von der Strahlenschutzverordnung geforderten physikalischen Maßnahmen

geforderte Meßaufgabe sind aber einige typische Beispiele herausgegriffen worden, die sowohl einen Einblick in den heutigen Stand der Meßverfahren geben als auch andeuten sollen, wo Forschung und Entwicklung ansetzen müssen, um noch vorhandene Lücken in der Strahlungsmeßtechnik zu schließen.

2. ORTSDOSISMESSUNGEN UND KONTAMINATIONSKONTROLLEN (§§ 22, 35)

Die Dosimetrie von γ - und Röntgenstrahlung ist meßtechnisch am weitesten durchentwickelt. Wegen der großen Durchdringungsfähigkeit und Gefährlichkeit dieser Strahlung hat man sich sehr zeitig mit dosimetrischen Problemen beschäftigt. Dazu kommt, daß der Umgang mit γ - und Röntgenstrahlung das in Technik, Naturwissenschaft und Medizin am weitesten verbreitete Anwendungsgebiet ionisierender Strahlung ist. Als Detektoren von Gamma-Dosisleistungsmeßgeräten werden Ionisationskammern, Geiger-Müller-Zählrohre und Szintillationszähler verwendet. Der Schwerpunkt gammadodosimetrischer Probleme liegt auf der Seite der Kalibrierung von Dosisleistungsmessern, denn infolge der unterschiedlichen Energieabhängigkeiten der drei genannten Sonden sind sie ohne genaue Kenntnis dieser Zusammenhänge im meßtechnischen Einsatz nicht einfach gegeneinander austauschbar.

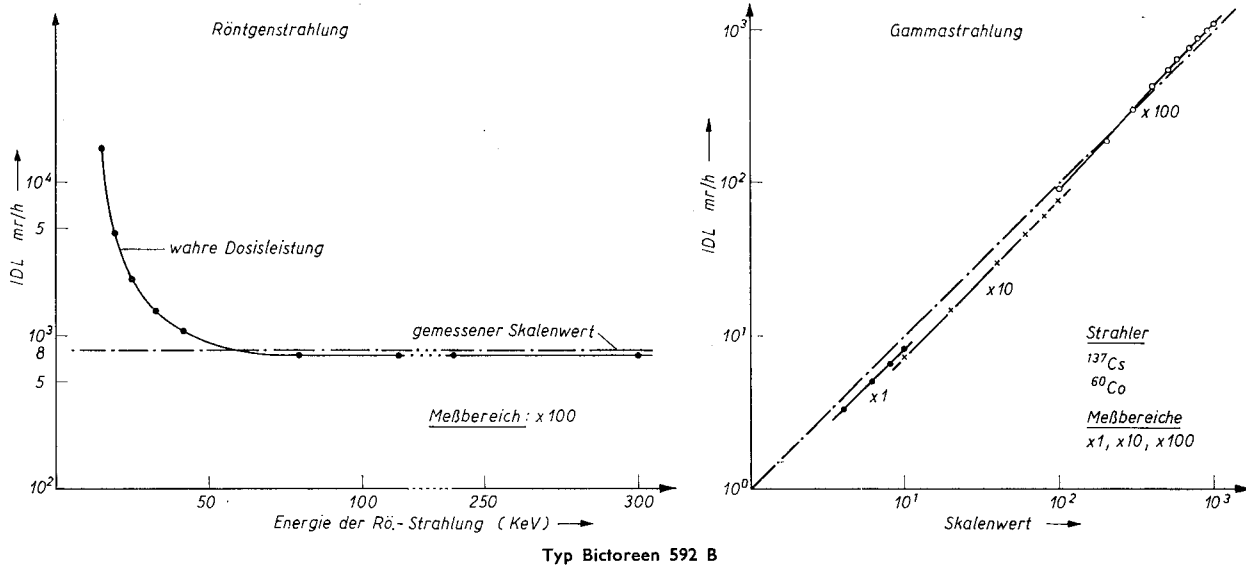
In Bild 2 wurden einige Eichkurven zusammengestellt, die an drei verschiedenen Ionisationskammergeräten aufgenommen wurden. Das Gerät Victoreen 592 B, das uns als Standard für die Kalibrierung weiterer Dosisleistungsmeßgeräte geeignet erschien, wurde von der PTB im Röntgen- und Gammabereich kalibriert. Zur Messung der Abhängigkeit der Ionendosisleistung von der effektiven Energie gefilterter Röntgenstrahlung wurde so vorgegangen, daß das Gerät bei jeder Eichenergie den gleichen Skalenwert anzeigte (strichpunktierte Gerade). Die ausgezogene Kurve bedeutet dann die mit einer Faßkammer gemessene wahre Dosisleistung. Die mit den γ -Strahlern ^{137}Cs (0,66 MeV) und ^{60}Co (1,3 MeV) in drei Meßbereichen durchgeführte Kalibrierung des Gerätes zeigt eine nur schwache Abweichung von der Sollgeraden und deutet auf eine geringe Energieabhängigkeit, denn die Meßpunkte für beide Strahler decken sich innerhalb der Zeichengenauigkeit.

Der untere Teil dieser Abbildung zeigt das Ergebnis einer Kalibrierung von zwei verschiedenen Geräten mit ^{60}Co unter gleichen geometrischen Bedingungen. Die wahre Dosisleistung (mr/h) wurde hier bei bekannter Aktivität und Dosiskonstanten des ^{60}Co nach dem quadratischen Abstandsgesetz berechnet. Beide Geräte, in je 2 Meßbereichen geprüft, zeigen ein unterschiedliches Verhalten im Abweichen von der unter 45° verlaufenden Sollgeraden. Ein derartiges Verhalten weist eindeutig auf die Wichtigkeit solcher Kalibrierungen hin.

Im Gegensatz zu Ionisationskammern besitzen Auslösezählrohre eine erhebliche Energieabhängigkeit, was mit den verschiedenen Effekten der Ionenerzeugung durch Gammastrahlung, verbunden mit Geometrie und Entladungsmechanismus des Zählrohres zusammenhängt. Man vertrat lange Zeit die Ansicht, daß Zählrohrgeräte mehr als Indikatoren und weniger als Dosisleistungsmesser für Gammastrahlung in Frage kämen. In letzter Zeit bringt die Industrie aber Geräte auf den Markt, bei welchen die Energieabhängigkeit der Zählrohrsonde exakt bestimmt wurde und den Geräten in Form einer Eichkurve beiliegt. Als Beispiel zeigt Bild 3 eine Korrekturkurve für das Gerät Graetz X 50, aus der sich die wahren Dosisleistungen durch Multiplikation der abgelesenen Skalenwerte mit den Korrekturfaktoren bestimmen lassen.

Die β -Dosimetrie hat vielleicht nicht die umfassende Bedeutung wie die Dosimetrie von γ -Strahlung. Die leichte Abschirmbarkeit dieser Strahlung vermindert die allge-

a mit Standard-Ionisationskammer (internat. Röntgen)



b. mit ⁶⁰Co bekannter Aktivität nach Abstandsgesetz

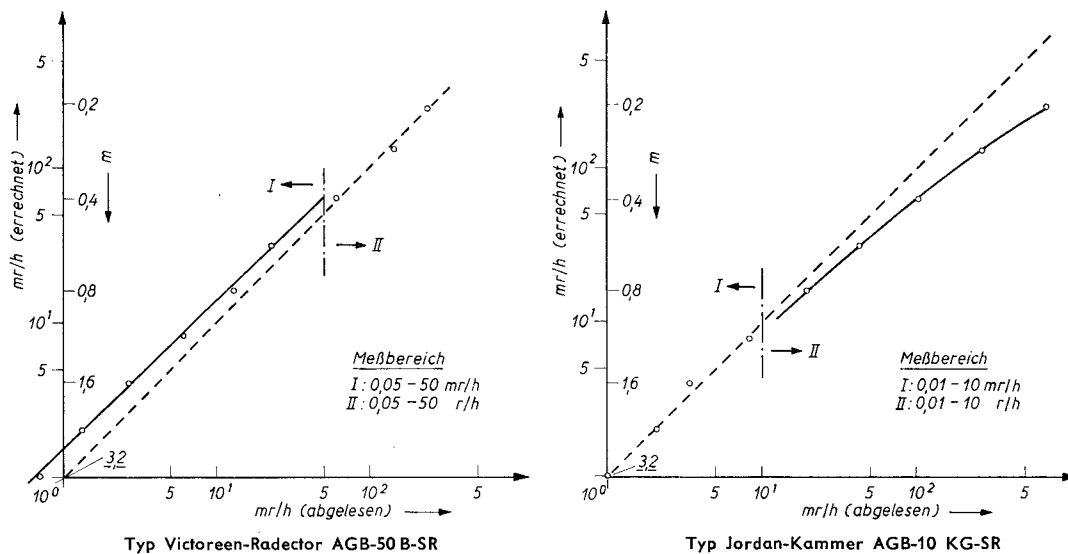


Bild 2: Kalibrierung von Ionisationskammer-Dosisleistungsmessern

meine Strahlengefährdung von außen, außerdem war bisher der Benutzerkreis von β -Strahlern begrenzt. An der grundsätzlichen Notwendigkeit, β -Dosimetrie zu betreiben, ändern diese Feststellungen aber nichts, zumal in immer zunehmendem Maße biologische, biochemische und andere Isotopenlaboratorien entstehen, in denen nahezu ausschließlich mit β -Strahlern umgegangen wird, wobei eine Gefahr für Finger und Augenlinsen evident ist. Meißner [2] hat in einer kritischen Betrachtung über die Auswirkungen der SSVO auf den Betrieb von Isotopenlaboratorien auch zu den Fragen der β -Dosimetrie Stellung genommen und festgestellt, daß eine formale Anwendung des § 36 (Messung der Personendosis mit Film- und Stabdosisimetern) für reine β -Strahler wenig sinnvoll ist, da Stabdosisimeter überhaupt nicht und Filmdosisimeter nur mit starken Einschränkungen für eine β -Dosimetrie verwendbar sind. Der Schwerpunkt einer β -Dosimetrie sollte vielmehr auf einer möglichst genauen Ermittlung der Ortsdosisverhältnisse liegen, woraus dann einfache und weitgehend standardisierte Monitorverfahren entwickelt werden müßten. Die Geräte, mit denen heute im Labor β -Strahlung gemessen wird, sind meist γ -Dosisleistungsmesser, die an ihren Sonden (Zählrohre oder I-Kammern) dünnwandige β -Fenster besitzen. Eine Dosimetrie im

eigentlichen Sinne läßt sich damit nicht betreiben, die Geräte arbeiten vielmehr qualitativ als Monitore mit optischer und akustischer Anzeige.

Bei einer β -Dosimetrie mit I-Kammern ist zu beachten, daß mit nahezu „wandlosen“ Kammern gearbeitet wer-

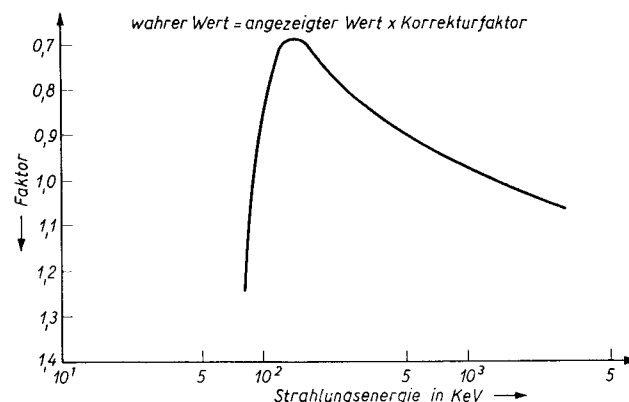


Bild 3: Energieabhängigkeit des Zählrohr-Gammadosisleistungsmessgerätes Graetz X 50

den muß, damit die Strahlung keine Schwächung erleidet und daß außerdem die Kammerabmessungen sehr klein gehalten werden müssen, da die Dosisleistung örtlich stark variiert. Es gibt zwar Kammern, die diese Forderungen erfüllen, allerdings erfordert das Arbeiten damit einen größeren meßtechnischen Aufwand; sie kommen daher für einen routinemäßigen Strahlenschutz weniger in Frage, eignen sich aber zur Kalibrierung einfacherer Geräte. Eine Berechnung von β -Dosen (siehe u. a. Burkhardt und Herrmann [3]) unter Verwendung der Punktquellen-Dosisfunktion – einer formalen Analogie zur Dosiskonstanten der γ -Strahlung – ist in der Praxis nur bedingt möglich, da die Rechnung oft stark vereinfachende Annahmen erfordert.

Die Kalibrierung eines Zählrohrgerätes (Radiometer F & H) mit einer Ionisations-Flachkammer wurde von Sommermeyer und Opitz [4] beschrieben. Bild 4 oben zeigt den Korrekturfaktor in Abhängigkeit von der mittleren β -Energie der Eichstrahler und die Richtungsabhängigkeit der Dosisanzeige, die für dicke bzw. dünne Strahlenquellen verschieden verläuft.

Im unteren Teil von Bild 4 ist das Ergebnis einer Untersuchung von Bickel [5] dargestellt, der die Bestimmung von β -Dosisleistungen über eine Flußdichtemessung mit Endfensterzählrohren mit den entsprechenden Ionisations-

kammermessungen (Jordan-Kammer) vergleicht. Bei einem Endfensterzählrohr läßt sich nämlich aus Impulsrate und Fensterfläche der β -Fluß Φ bestimmen und daraus die Dosisleistung mit Hilfe der energieabhängigen differentiellen Energieverluste dE/dx berechnen. Bei dieser Untersuchung handelte es sich um eine Prüfung, ob Geräte mit Leuchtfarben verschiedener β -Energien nach § 3 der SSVO genehmigungspflichtig sind oder nicht. An den Unterschieden in den Dosisleistungswerten, die bei dem energiearmen β -Strahler 2 Größenordnungen betragen, wird deutlichgemacht, daß nichtgeeignete Dosisleistungsmesser leicht die Ursache von Fehlentscheidungen sein können.

Die Dosimetrie von Neutronen ist wegen der hohen biologischen Wirksamkeit dieser Strahlung – die RBW-Faktoren liegen je nach Energie zwischen 3 und 10 – ein sehr wichtiges dosimetrisches Problem, das heute bei weitem noch nicht in dem Maße gelöst ist, wie es z. B. bei der γ -Dosimetrie der Fall ist. Grund hierfür ist die prinzipielle Schwierigkeit, mit einfachen Mitteln die Energieverteilung in einem Neutronenfeld zu messen, die aber bekannt sein muß, um aus den Impulsraten die Flußdichten und Energiedosen und damit über den RBW-Faktor die wahre Dosis in rem berechnen zu können. Bild 5 (schraffierte Flächen) zeigt in vereinfachter Form den derzeitigen Stand der Neutronendosimetrie über das gesamte Energie-

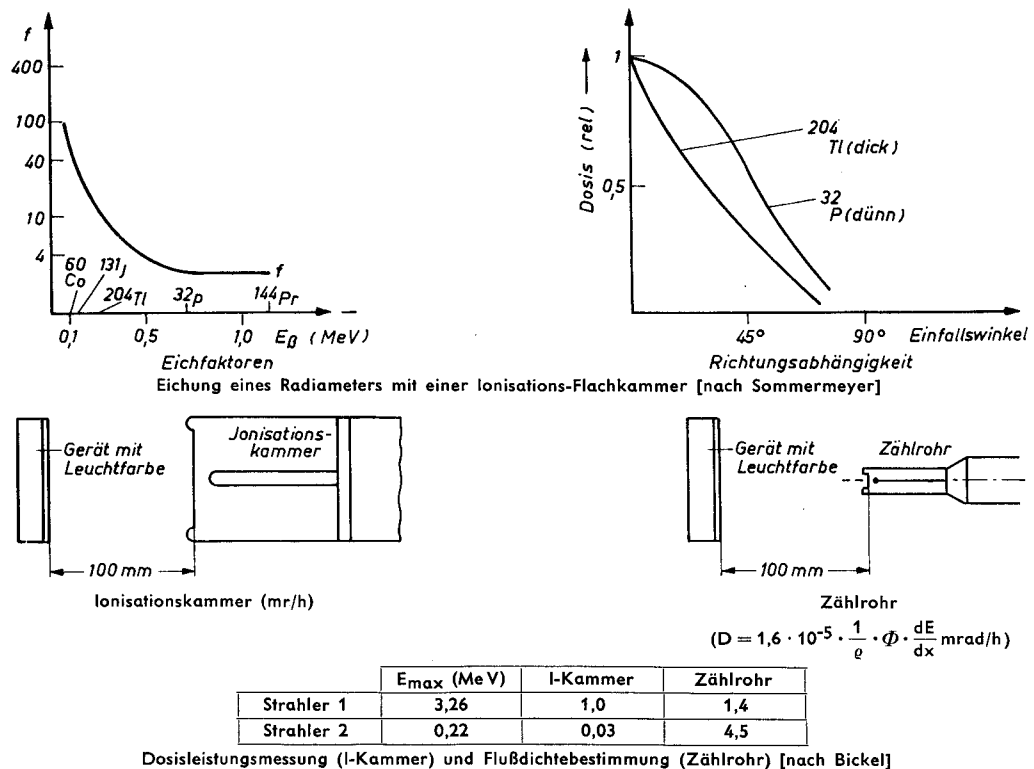


Bild 4: Dosimetrie der Betastrahlung

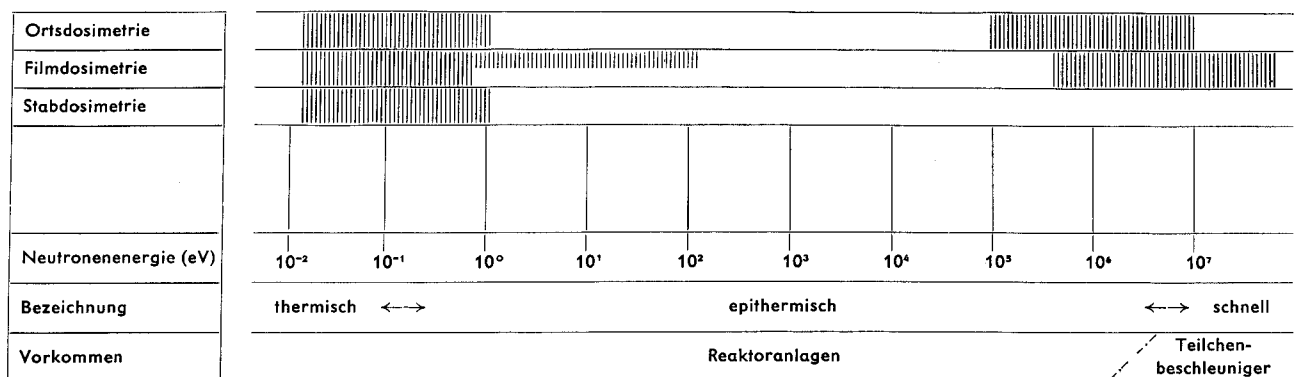


Bild 5: Derzeitiger Stand der Neutronendosimetrie (schematisch)

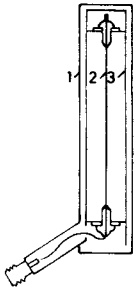
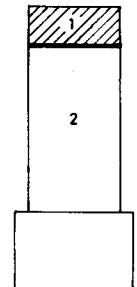
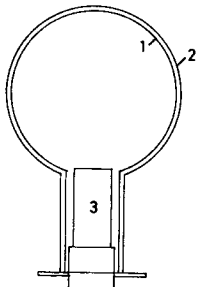
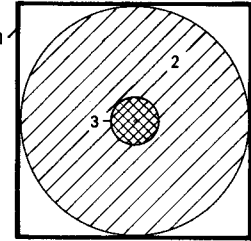
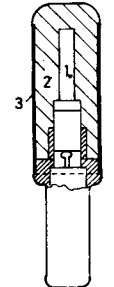
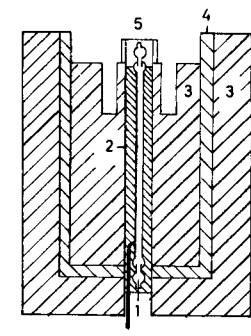
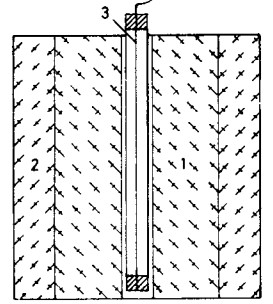
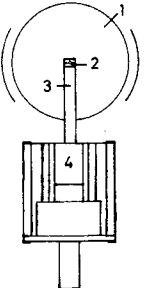
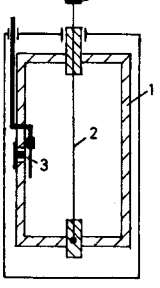
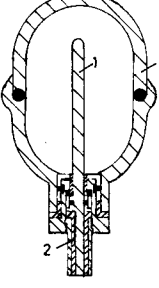
A. Zählraten (Flußdichte) — Messungen durch Rückstoßprotonen			B. Zählraten (Flußdichte) — Messungen nach Moderierung		
Methanzählrohr	Szintillationszähler (Hornyak)	Szintillationszähler (Egghead)	Folienmethode	BF ₃ -Sonde	Long Counter
					
1 Cd-Hülle 2 Zähldraht 3 Messingzylinder	1 Kristall 2 SEV	1 ZnS (Ag)-Belag 2 Polyäthylenschale 3 SEV	1 Kadmiumschirm 2 Paraffinkugel 3 Indiumfolie	1 BF ₃ -Zählrohr 2 Paraffin 3 Kadmium	1 BF ₃ -Zählrohr 2 Ceresin · 3 Paraffin 4 B ₂ O ₃ · 5 Kadmium
A 1	A 2	A 3	B 1	B 2	B 3
C. Einfache Spektrometer			D. Geräte zur Ermittlung der Neutronendosis		
Doppelmoderator-Verfahren	Szintillationszähler	Hurst-Zähler	Gewerbeäquivalente Ionisationskammer		
					
1 Paraffinzylinder 6 cm 2 Paraffinzylinder 5,3 cm 3 Zählrohr	1 Polyäthylen-Kugeln (auswechselbar) 2 Li ⁶ J (Eu)-Kristall 3 Lichtleiter · 4 SEV	1 Polyäthylen-Kammerwand 2 Zähldraht 3 α-Eichvorrichtung	1 Plastik-Konduktoren 2 Isolatoren		
C 1	C 2	D 1	D 2		

Bild 6: Dosimetrie schneller Neutronen

gebiet, d. h. im epithermischen Bereich klappt in der Meßtechnik noch eine Lücke von nahezu 5 Zehnerpotenzen. Durch spezielle Meßverfahren lassen sich selbstverständlich auch epithermische Neutronen nachweisen, jedoch sind diese Verfahren für eine praktische Dosimetrie wegen ihrer Aufwendigkeit nicht anwendbar.

Die Zählrohre oder I-Kammern in den Dosimetern für thermische Neutronen benutzen zum Nachweis die B^{10} (n, α) Li^7 -Reaktion und enthalten daher als Füllgas Bortrifluorid (BF_3). Die Dosimetrie schneller Neutronen läßt sich mit einigen teils mehr, teils weniger geeigneten Verfahren durchführen. Eine detaillierte Beschreibung aller Verfahren würde allerdings über den Rahmen der vorliegenden Abhandlung hinausgehen, daher soll in Bild 6 nur ein allgemeiner Überblick über die verschiedenen Typen von Neutronensonden gegeben werden. Das Bild zeigt eine grobe Einteilung der Detektoren in vier Hauptgruppen mit je drei bzw. zwei typischen Vertretern.

In Gruppe A erfolgt der Neutronennachweis über die Messung von Rückstoßprotonen. Im einfachen Fall ist der Detektor ein Methanzählrohr (A1), andere Methoden verwenden Szintillationskristalle aus Polyäthylen mit ZnS-Zusatz (A2, A3). Methoden, bei denen die schnellen Neutronen zunächst in Paraffin moderiert und anschließend als langsame Neutronen nachgewiesen werden, sind in Gruppe B zusammengefaßt. Ein aus der Reaktormesstechnik in die Dosimetrie übernommenes Verfahren ist die Folienmethode (B1), bei welcher bestimmte Metallfolien, z. B. Indium, durch Neutronen aktiviert werden und eine anschließende Bestimmung der β -Aktivität erfolgt. Eine in der Praxis des Strahlenschutzes viel verwendete Sonde ist der BF_3 -Zähler mit Paraffin- und Cadmiumabschirmung (B2). Der in seiner Abschirmung differenzierter aufgebaute „Long Counter“ (B3) besitzt ab 100 keV eine sehr geringe Energieabhängigkeit, eignet sich daher gut für Flußdichtebestimmungen, ist allerdings wegen seiner Größe und seines Gewichtes mehr für

Kalibrierzwecke als für den praktischen Strahlenschutz geeignet. Alle in den Gruppen A und B gezeigten Verfahren (mit Ausnahme des Long Counter) messen zunächst nur Zählraten, woraus sich Flußdichten und Neutronendosen nur bei bekannter Neutronenenergie und Energieabhängigkeit der Zähler berechnen lassen.

In Gruppe C sind zwei Detektortypen gezeigt, die man gewissermaßen als „einfache Spektrometer“ bezeichnen könnte. Grob gesagt beruht ihre Wirkung darauf, daß sich unter gewissen Bedingungen aus den Zählratenverhältnissen hinter verschieden dicken Absorberschichten Aussagen über die mittlere Energie des Neutronenspektrums machen lassen und daraus die Dosis berechnet werden kann. Das Doppelmoderatorverfahren (C1) wird in der Praxis bereits viel angewendet; ein spezieller Szintillationszähler (C2) wurde in der amerikanischen Fachliteratur [6] beschrieben und eröffnet Möglichkeiten, den Meßbereich auch auf epithermische Neutronen auszuweiten.

Mit den Detektoren der 4. Gruppe kann die Dosis schneller Neutronen direkt gemessen werden. Der Hurst-Zähler (D1) ist ein Proportionalzählrohr mit gewebeäquivalentem Wandmaterial und Füllgas, mit dem sich in einem Energiebereich von 0,2–10 MeV die Dosis in rad bzw. bei neueren Geräten direkt in rem angeben läßt. Die gewebeäquivalente I-Kammer (D2) ist für den praktischen Strahlenschutz wegen ihrer großen γ -Empfindlichkeit weniger geeignet, da in den meisten Fällen gemischte γ -Neutronen-Strahlungsfelder vorliegen.

Die verschiedenen Methoden zur Feststellung radioaktiver Kontaminationen sind von Oberhofer [7] eingehend beschrieben worden. Die wesentlichsten Ergebnisse dieser Arbeit wurden hier in tabellarischer Form zusammengefaßt (Bild 7). Anlässlich des Risö-Symposiums 1959 wurden die im oberen Teil der Abbildung gezeigten Werte (A) als maximal zulässige Kontaminationen empfohlen. Bei den Meßverfahren (B) ist zwischen Wischtest

A. Maximal zulässige Kontaminationen ($\mu\text{C}/\text{cm}^2$)

	Laborflächen	Hände	Haut
α	$1 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-5}$
β/γ	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-4}$

B. Meßverfahren

Direktmessung
Wischtest

C. Kalibrierung

1	α -Strahler
	Ra, U, Pu-Präparat
2	β -Strahler
	$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ -Präparat

		Sonden	Meßgröße
Getrennt vorliegende Kontaminationen	α	Endfensterzählrohre Proportionalzählrohre Impuls-I-Kammern	Impulsrate
	β	Dünnwandige Zählrohre Endfenster-Zählrohre	
	γ	Szintillationszähler Zählrohre	
Mischkontaminationen	β/γ	Zählrohre mit und ohne β -Abschirmung	optische und akustische Warnsignale
	α/β	α -Absorber vor Sonde Abstandsvariation Spezialsonden mit α - und β -Szintillator (elektron. Diskrim.)	

Für Mischkontaminationen	Kalibrierung mit 1 und 2 bei kombinierten Detektoren
	Kalibrierung mit 1 bei α -Detektoren (auch zum β -Nachweis)

Bild 7: Kontaminationskontrollen

und Direktmessung zu unterscheiden. Direkte Meßverfahren umfassen Geräte der verschiedensten Typen, wie einfache Labormonitore mit Endfensterzählrohren, Spezialgeräte zur Feststellung von Fußbodenkontaminationen, Hand-Fußmonitore und Meßanordnungen zur Kontrolle radioaktiv verunreinigter Wäsche, wie sie kürzlich von Kiefer und Mitarbeiter [8] beschrieben wurden.

Die mit Filterpapier genommenen Wischtestproben dienen der Kontrolle verunreinigter Arbeitsplätze und Fußböden im Labor. Ihr Einsatz erfolgt vorzugsweise bei Anwesenheit anderer starker Strahler in der Nähe der zu prüfenden Fläche oder wenn Kontaminationen durch solche Nuklide verursacht wurden, deren Strahlung nicht mehr von einem Fensterzählrohr direkt aufgenommen werden kann. Die Auswahl der Detektoren (Bild 7, links unten) für beide Meßverfahren richtet sich danach, ob man getrennt vorliegende Kontaminationen annehmen kann oder ob mit Mischkontaminationen zu rechnen ist.

Eine quantitative Kontaminationskontrolle (Meßwertangabe in $\mu\text{C}/\text{cm}^2$) ist nicht einfach, da mehrere und zum Teil unkontrollierbare Parameter sowohl von seiten des Detektors, mehr aber noch von seiten der kontaminierten Oberfläche selbst bzw. bei Wischtests durch die individuellen Verfahren der Probennahme, in die Auswertung der Messung eingehen können. Aus Sicherheitsgründen wird daher empfohlen, zur Kalibrierung (C) Standard-Flächenpräparate solcher Nuklide zu verwenden, die die kleinsten maximal zulässigen Kontaminationen besitzen. Für α -Standards sind dies Ra-, U- oder Pu-Präparate, für β -Standards $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ -Strahler.

Eine Abschätzung von Oberhofer [7] über die untere Nachweisgrenze der Kontaminationsmeßverfahren zeigt, daß man bereits mit gewöhnlichen Endfensterzählrohren zu einer Nachweisempfindlichkeit in der Größenordnung der maximal zulässigen Kontaminationen kommt, die sich durch Abschirmung und Verwendung großflächiger Zählrohrfenster noch wesentlich steigern läßt. Entscheidende Parameter in der Festlegung einer unteren Nachweisgrenze sind allerdings die Geschwindigkeit, mit der der Detektor über die kontaminierte Oberfläche geführt wird, die Ausdehnung dieser Fläche selbst und die Zeitkonstante des Registriergerätes.

3 PERSONENDOSISMESSUNG (§§ 36, 37)

In § 36, Abs. 2 der SSVVO werden für die Messungen am Körper zwei voneinander unabhängige Verfahren vorgeschrieben. Ein Verfahren muß eine sofortige Feststellung der Dosis ermöglichen, die Anzeigen dieser Geräte dürfen löschar sein. Bei dem anderen Verfahren, mit welchem Dosismessungen über längere Zeiträume (z. B. 4 Wochen) vorgenommen werden, dürfen die Dosiswerte weder löschar sein noch vom Träger des Dosimeters selbst ermittelt werden können. Zur Zeit werden in Deutschland das erste Verfahren mit Stabdosimetern, das zweite mit Dosismessfilmen durchgeführt.

Stabdosimeter sind Ionisationskammern spezieller Bauart in verschiedenen Ausführungsformen. So gibt es z. B. Geräte, die nur ein Ladezusatzgerät erfordern, während die Ablesung der Dosiswerte am Stabdosimeter selbst erfolgt, d. h. die I-Kammer ist gleichzeitig als Elektrometer mit Ableseoptik ausgebildet. Andere Dosimeter wieder besitzen ein Zusatzgerät, welches sowohl zur Ladung des Dosimeters als auch zur Ablesung der Dosiswerte erforderlich ist. In der Kernforschungsanlage Jülich wird die Stabdosimetrie mit Bendix-Dosimetern durchgeführt, die sich in der Praxis gut bewährt haben. Ein Typ dieser Geräte mißt Röntgen- und γ -Strahlung in einem Bereich von 0...200 mr. Ein anderer Typ mit Bortrifluorid als Füllgas ermittelt in einem Meßbereich von 0...120 mrem die Dosis thermischer Neutronen bei einer praktisch vernachlässigbaren γ -Empfindlichkeit.

Zur Filmdosimetrie von Röntgen- und γ -Strahlung werden konventionelle Röntgenfilme verwendet, die durch Strahleneinwirkung geschwärzt werden. Diese Schwärzung ist unter Berücksichtigung weiterer Parameter, insbesondere der Energie der zu dosimetrierenden Strahlung, ein Maß für die empfangene Dosis.

Grundsätzlich kann man zwischen den Verfahren einer energieabhängigen und einer energieunabhängigen Dosisermittlung unterscheiden. Die Energiebestimmung bei den energieabhängigen Verfahren erfolgt entweder durch Kombination verschiedener Metallfilter (dieses Verfahren wird heute in Deutschland ausschließlich verwendet) oder nach der Methode einer zusätzlichen Energieermittlung durch Elektronenrückstreuung. Die wesentlichsten Methoden einer energieunabhängigen Filmdosimetrie sind die Fluoreszenzkomensation und die Reduktion der Energieabhängigkeit durch spezielle Film-Filter-Kombinationen [9]. Die drei letztgenannten Verfahren werden heute im Ausland zum Teil schon angewendet.

Die „Arbeitsgemeinschaft für Strahlenschutz“ hat zwei Typen von Filmplaketten eingeführt, deren Aufbau in Bild 8 schematisch dargestellt ist. Bei den Plaketten des Typs 1 tragen Vorder- und Rückseite des Filmgehäuses innen 3 Cu-Filter verschiedener Dicke (Ziff. 1–3) zur Energie- und Dosisbestimmung von Röntgen- und γ -Strahlung, ein Leerfeld (Ziff. 4) dient zum Nachweis von β -Strahlung, das Zahlenfeld (Ziff. 5) ist für eine Zuordnung des Filmes zu seinem Träger erforderlich.

Die Plaketten des Typs 2, auch kurz Neutronenplaketten genannt, enthalten 2 Hauptfelder. Das linke Feld ist ähnlich aufgebaut wie die Plakette des Typs 1. Zwei zusätzliche Filter aus Cadmium (Ziff. 5) und Zinn (Ziff. 6) dienen zum Nachweis thermischer Neutronen. Dabei ist der physikalische Vorgang wie folgt zu verstehen: Geht z. B. γ -Strahlung durch diese Filterkombination, so ist der Film hinter beiden Filtern nahezu unabhängig von der Quantenenergie gleichmäßig geschwärzt, da die Ordnungszahlen von Cd und Sn sehr nahe beieinander liegen. Thermische Neutronen durchdringen das Sn-Filter ungehindert und schwärzen den Film nicht, die durch Neutroneneinfang im Cadmium freiwerdende β/γ -Strahlung verursacht dagegen eine Schwärzung des Filmes, aus der sich die Dosis bestimmen läßt. Bei zusätzlicher Verwendung von Plastik-Moderatoren läßt sich dieses Verfahren

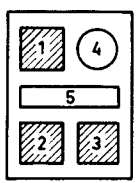
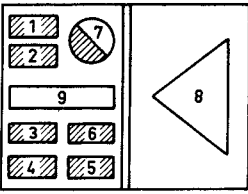
Aufbau schematisch	Bedeutung der Felder	Zur Dosimetrie von:
 Typ 1	1. 1,2 mm Cu 2. 0,5 mm Cu 3. 0,05 mm Cu	Röntgen- und Gammastrahlung
	4. Leerfeld	Betastrahlung
	5. Zahlenfeld	
 Typ 2	1. 0,5 mm Pb 2. 0,05 mm Cu 3. 0,5 mm Cu 4. 0,6 mm Sn	Röntgen- und Gammastrahlung
	5. 1,0 mm Sn 6. 1,2 mm Cd	thermischen Neutronen
	7. Leerfeld + 0,5 mm Rückstreuungblei	Betastrahlung
	8. Kernspurfilm	schnellen Neutronen
	9. Zahlenfeld	

Bild 8: Filmplaketten der deutschen Arbeitsgemeinschaft für Strahlenschutz

Bild 9: Ganzkörper-Untersuchungen mit dem Body-Counter

auch noch auf einen Teil des epithermischen Bereiches ausdehnen. Der rechte Teil dieser Plaketten (Ziff. 8) enthält einen Kernspurfilm zur Dosimetrie schneller Neutronen, die als Rückstoßprotonen nachgewiesen werden. Allerdings sind hier recht zeitraubende mikroskopische Auswerteverfahren erforderlich, denn die Dosis läßt sich nur über die Zahl der Kernspuren je Flächeneinheit ermitteln.

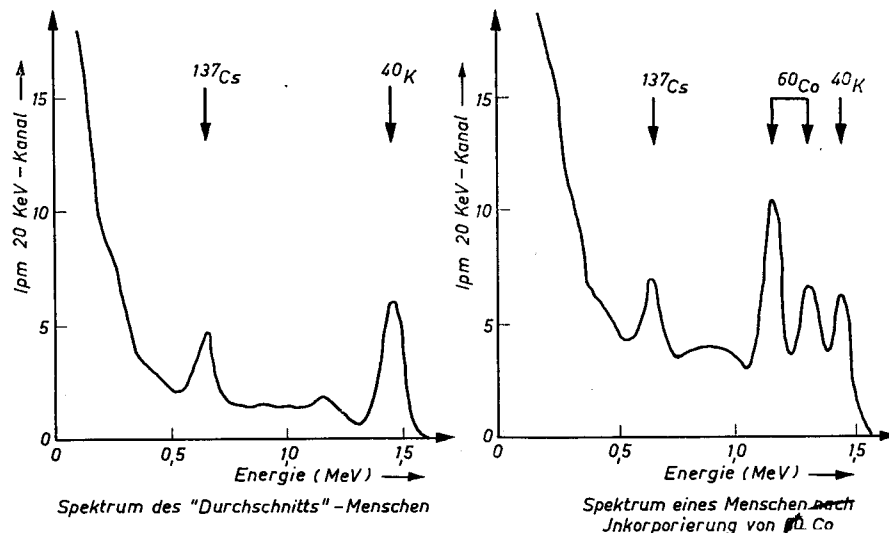
Im allgemeinen wird für die Dosismessung mit Filmen eine Unsicherheit von 20 bis 30% angenommen. Zur Erreichung dieser Genauigkeit ist allerdings schon eine sehr exakte Dunkelkammer- und Auswertearbeit erforderlich. Zur Frage einer Dosimetrie von β -Strahlen mit diesen Filmen wird nochmals auf die bereits zitierten Bemerkungen von Meißner [2] verwiesen.

Der § 37 der SSVO fordert Maßnahmen zur Feststellung der Aufnahme radioaktiver Stoffe in den menschlichen Körper. Die beiden wesentlichsten Verfahren sind Ausscheidungsanalysen und Ganzkörpermessungen.

Bei den Ausscheidungsanalysen werden vorwiegend Atemluft und Urin auf das Vorhandensein solcher Nuklide geprüft, die über eine γ -Impulshöhenanalyse im Ganzkörperzähler nicht feststellbar sind. Als Meßmethoden kommen alle die Verfahren in Frage, die in der Strahlungsmeßpraxis zum Nachweis geringster Aktivitäten üblich sind. Die wesentliche Problematik der Ausscheidungsmessungen liegt vorwiegend in der Notwendigkeit, gewisse biochemische Zusammenhänge und Stoffwechselvorgänge im Körper zu kennen, ohne die sich quantitative Aussagen über den Inkorporierungsgrad nicht machen lassen.

In der routinemäßigen Überwachung strahlenexponierter Personen auf Inkorporation von Radionukliden spielen die Ganzkörperzähler eine dominierende Rolle. In der Kernforschungsanlage Karlsruhe ist ein derartiges Gerät bereits in Betrieb, auch in Jülich ist die Aufstellung eines Ganzkörperzählers geplant. Über Einzelheiten der Karlsruher Anlage wurde von Kiefer und Maushart [10] berichtet. Das Grundprinzip dieser Methode ist wie folgt kurz umrissen: In einer stahlgepanzten Kammer befindet sich die Liege für die zu untersuchende Person. Über und unter der Liege sind je zwei Meßköpfe mit großen NaI-Kristallen angebracht. Zur weiteren Verringerung des Nulleffektes erhält die Kammer eine besondere Belüftung mit radonfreier Luft, und die zu untersuchende Person wird vorher auf äußere Kontamination geprüft und darf die Kammer nur mit einer einmal zu verwendenden Papierkleidung betreten. Die Impulse der vier Szintillationsdetektoren werden einer recht aufwendigen elektronischen Apparatur mit Impulshöhenanalysatoren zugeführt, so daß eine Messung zum Abschluß in 8 verschiedenen Einzeldaten ausgedruckt werden kann.

Die Spektren in Bild 9 wurden dem japanischen Fachschrifttum [11] entnommen. Das linke Spektrum eines Menschen, der nicht mit radioaktiven Stoffen umgeht, zeigt einmal die γ -Linie des von Natur aus im menschlichen Körper vorhandenen ^{40}K . Die γ -Linie des ^{137}Cs weist darauf hin, daß heute als Folge der ständigen Kernwaffenversuche der Atomkräfte bereits in den Durchschnittsspektren der Gesamtbevölkerung ein gewisser Anteil an Spaltprodukten nachweisbar ist. Das rechte Spektrum eines Menschen, welcher ^{60}Co aufgenommen



hat, besitzt zusätzlich die beiden charakteristischen γ -Linien dieses Nuklids.

4. SCHUTZ VON LUFT, WASSER UND BODEN (§§ 31, 34)

Nach § 31 der SSVO sind für Luft in Kontrollbereichen Konzentrationen radioaktiver Stoffe von der 3- bis 10-fachen Höhe der in Anlage II festgelegten MZK-Werte zugelassen, während für den Fall, daß Luft und Wasser aus Kontrollbereichen herausgelangen können, der § 34 nur $1/10$ der MZK-Werte zuläßt bzw. beim Einleiten von Wasser in Abwässersysteme im Tagesdurchschnitt Konzentrationen in Höhe der vollen MZK-Werte gestattet. Nach § 34, Abs. 3 können außerdem durch landesrechtliche Verordnungen niedrigere Konzentrationen vorgeschrieben werden. Dies bedeutet, daß man es mit der Messung geringster Aktivitäten zu tun hat, d. h. also, daß empfindlichste Meßverfahren mit ausreichender Genauigkeit einzusetzen sind. Dies ist oft nicht einfach und erfordert auch in Zukunft noch einigen Aufwand an Entwicklungsarbeit, denn die Konzentrationen natürlich radioaktiver Stoffe in Luft und die Konzentrationen der Fallout-Nuklide liegen bereits höher als die MZK-Werte für unbekannte Gemische in Luft und Wasser.

Die wichtigsten Meßmethoden zur Überwachung von Luft, Wasser und Boden sind im folgenden nur kurz skizziert. Die meisten der aufgeführten Verfahren sind sowohl für Messungen in Kontrollbereichen wie auch für eine Überwachung der Umgebung kerntechnischer Anlagen anwendbar. Genaue Angaben über Methodik, Leistungsfähigkeit und Fehlergrenzen der hier angeführten Verfahren sind in einem von der Kernforschungsanlage Jülich herausgegebenen Report [12] zusammengestellt.

Bei der Überwachung der Luft muß man drei grundsätzlich verschiedene Meßverfahren unterscheiden, und zwar die Strahlungsmessung im Luftraum, die Messung der Niederschlagsaktivität und Aerosolmessungen.

Für Strahlungsmessungen im Luftraum werden Ionisationskammern oder Zählrohrgeräte eingesetzt. Die I-Kammern messen direkt die Dosisleistung der Umgebungsstrahlung in $\mu\text{r/h}$, Zählrohrgeräte liefern dagegen nur Impulsraten, die aber für Überwachungssysteme im allgemeinen ausreichen, wenn man je nach Situation vorschreibt, daß bei einer Erhöhung des Nulleffektes um soundsoviel Prozent gewisse Maßnahmen zu ergreifen bzw. weitere Meßverfahren einzusetzen sind.

Zur Messung der Niederschlagsaktivität werden Regenwasserproben eingedampft, im Rückstand die dem Boden zugeführte β -Aktivität ermittelt bzw. durch γ -Analysen im Vielkanalspektrometer auf das Vorhandensein

	Methoden	Präparat undicht wenn:
Nicht emanierende Präparate	Wischtest	Aktivität in der Watte > 10 nc
	Umgebungswischtest (für Präparate mit Fenster)	
	Immersionstest	Aktivität in der Immersionsflüssigkeit > 10 nc
	Spezialverfahren für eingebaute Strahler	z. B. ein Warnzeichen ertönt
Emanierende Präparate (auch für Ra-Be-Quellen)	Sammlung durch Aktivkohle	Abgabe von > 10 nc Rn in 12 h
	Sammlung elektrostatisch	

Bild 10: Methoden zur Dichtigkeitsprüfung umschlossener Präparate

bestimmter Nuklide geprüft. Weiterhin dienen autoradiographische Methoden dem Nachweis der sogenannten „heißen Teilchen“.

Die Messung der Aerosolaktivität ist ein wichtiges Glied der Luftüberwachung, denn wir erfassen damit einen Teil der inneren Strahlenbelastung des Menschen. Grundsätzlich laufen alle Meßverfahren darauf hinaus, daß die Aerosolbestandteile auf Filter niedergeschlagen und diese unmittelbar nach der Bestäubung und einer Zeit von 2 bis 4 Tagen danach ausgemessen werden, womit zwischen kurz- und langlebigen Nuklidanteilen unterschieden werden kann. Teils arbeiten solche Geräte mit stetig oder schrittweise laufenden Filterbändern, teils erfolgt diskontinuierlich zu bestimmten Zeiten Probenahme auf einzelne Filterplättchen.

Die Überwachung des Wassers erfolgt mit kontinuierlichen und diskontinuierlichen Probenahme- und Meßverfahren. Kontinuierliche Verfahren werden vorwiegend bei der Überwachung von Kläranlagen, Abwassersystemen und Flußläufen eingesetzt; dies bedeutet eine Direktmessung in stehendem oder strömendem Wasser. Die Meßverfahren müssen daher sehr empfindlich sein. Diskontinuierliche Verfahren, die in erster Linie für Stichprobenkontrollen aus Oberflächen-, Grund-, Trink- und Betriebswässern in Frage kommen, gestatten eine Anreicherung der vorhandenen Nuklide, die sich entweder durch Eindampfen der Probe oder durch chemische Fällungsverfahren (z. B. Mitfällungsverfahren) erreichen läßt.

Zur Überwachung von Boden, Bewuchs, Futter- und Nahrungsmitteln – auch Schlamm und biologische Objekte im Oberflächenwasser gehören hierher – durchlaufen die Proben zunächst einen je nach Aufgabenstellung mehr oder weniger aufwendigen mechanischen und chemischen Aufbereitungsgang. Anschließend erfolgen Gesamtaktivitätsmessungen und Bestimmung von Einzelnukliden (z. B. ^{90}Sr u. a.) in Apparaturen hoher Meßempfindlichkeit.

Das Auftreten spezieller Meßprobleme, die sich mit den bisherigen Routineverfahren nicht lösen lassen, erfordert die Entwicklung von Spezialapparaturen. Zwei Beispiele sollen dies kurz erläutern.

Der Nachweis von Tritium ist wegen seiner extrem kleinen β -Energie ein besonderes Problem. Liegt Tritium z. B. in Form von Wasserdampf vor, dann läßt es sich mit einem Gerät messen, in welchem die wasserdampfhaltige Luft einer Meßkammer direkt, einer anderen Meßkammer

nach Ausfilterung des Wasserdampfes zugeführt wird. Die Meßwertdifferenz ist dann ein Maß für die Tritiumkonzentration. Die Firma Landis & Gyr, die einen derartigen Monitor fertigt, gibt an, daß bei Vorhandensein einer MZK Tritium in Luft das Gerät im empfindlichen Meßbereich $1/3$ Vollausschlag zeigt.

In den letzten Jahren wurden von Kiefer und Maushart [13] großflächige Methandurchflußzähler entwickelt, die u. a. für eine direkte α - und β -Überwachung in fließendem Wasser eingesetzt werden. Diese Apparaturen sind den bisherigen Meßverfahren mit Eintauchzählrohren wesentlich überlegen, d. h. ihre Nachweisempfindlichkeit ist größer als die in Anlage II zur SSVO festgelegte MZK für nahezu alle α - und β -Strahler, die in der Praxis in Abwässern auftreten können.

5. DICHTIGKEITSPRÜFUNGEN UMSCHLOSSENER STRAHLER (§ 44)

Die Dichtigkeitsprüfungen umschlossener Strahler sind gemäß § 44 der SSVO nicht von dem Betreiber kerntechnischer Anlagen selbst, sondern von unabhängigen Stellen durchzuführen. Als wichtige Aufgaben der Strahlenschutz-Meßtechnik sind sie aber hier kurz zu behandeln.

Bild 10 gibt einen Überblick über die hauptsächlichsten Untersuchungsmethoden für nicht emanierende und emanierende Präparate. Als emanierende Strahler gelten dabei alle reinen Ra- und Th-Präparate und auch die zur Neutronenerzeugung verwendeten Ra-Be-Quellen. Nicht emanierende Präparate prüft man vorwiegend mit dem Wischtest. Bei dem Immersionstest wird der umschlossene Strahler eine gewisse Zeit in eine nicht korrodierend wirkende Flüssigkeit gehängt – meist Alkohol/Wassergemisch – und anschließend die Aktivität der Flüssigkeit gemessen. Für eingebaute Strahler mit Fenster gibt es verschiedene Spezialverfahren, die eine Prüfung ohne Ausbau des Strahlers gestatten.

Zur Prüfung emanierender Präparate läßt man die Emanation entweder durch Aktivkohle adsorbieren oder ihre Folgeprodukte werden elektrostatisch gesammelt. In beiden Fällen befindet sich das Präparat in einem verschlossenen Sammelgefäß. Die Kriterien für eine Undichtigkeit umschlossener Strahler wurden von der PTB aufgestellt. Es ist u. a. auch beabsichtigt, zur Standardisierung des Aktivkohleverfahrens Tabletten aus Kohle und aus einer radioaktiven Eichsubstanz in gleicher Größe herzustellen.

SCHRIFTTUM

- [1] Erste Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Strahlen radioaktiver Stoffe. Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. 31, 1960.
- [2] J. Meißner: Auswirkungen der ersten Strahlenschutzverordnung auf den Betrieb von Isotopenlaboratorien. Atomkernenergie 6 (1961), 114.
- [3] W. Burkhardt, D. Herrmann: Zur Eichung von Beta-Dosismeßgeräten. Atomkernenergie 5 (1960), 324.
- [4] K. Sommermeyer, H. Opitz: Die Dosimetrie der β -Strahlen im Strahlenschutz. Atomkernenergie 4 (1959), 404.
- [5] W. Bickel: Probleme der Beta-Dosimetrie. Kerntechnik 3 (1961), 452.
- [6] R. L. Bramblett, R. J. Ewing, T. W. Bonner: A new type of neutron spectrometer. Nucl. Instr. and Methods 9 (1960), 1.
- [7] M. Oberhofer: Kontaminationsmessungen. Kerntechnik 2 (1960), 360.
- [8] H. Kiefer, R. Maushart, G. Stäblein: Empfindliche Meßanlage zur Kontrolle verunreinigter Wäsche. Kerntechnik 3 (1961), 316.
- [9] K. Becker: Filmdosimetrie. Springer 1962.
- [10] H. Kiefer, R. Maushart: Die Karlsruher Anlage zur Messung von Radioaktivität im Menschen. Kerntechnik 3 (1961), 228.
- [11] S. Suguri, M. Oshino, S. Ohtani: Measurements with a whole Body Counter. Wien 1961. JAEA, Symposium on Whole Body Counting, Wien 1961.
- [12] K. J. Vogt, H. W. Jensen, A. Maas, R. Tzschaschel: Grundlagen und Methoden der Umgebungsüberwachung, Umweltradioaktivität der Kernforschungsanlage Jülich. – Jahresbericht 1960, Abteilung Strahlenschutz Jül - 21 - St.
- [13] H. Kiefer, R. Maushart: Der heutige Stand der Radioaktivitätsüberwachung im Wasser. Neue Technik 2, Nr. 3 und 4 (1960).