Fachbibliothek

FACHVERBAND FÜR STRAHLENSCHUTZ e. V.
Mitgliedsgesellschaft der International Radiation Protection Association (IRPA)

INDUSTRIELLE STÖRFÄLLE UND STRAHLENEXPOSITION

Gemeinsame Strahlenschutztagung

29. - 31. MAI 1980

21. JAHRESTAGUNG DER VEREINIGUNG
DEUTSCHER STRAHLENSCHUTZÄRZTE e. V.

14. JAHRESTAGUNG DES
FACHVERBANDES FÜR STRAHLENSCHUTZ e. V.

IN DER
KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH

REDAKTION: H. JACOBS

FS-80-25-T
JUNI 1980

Als Manuskript gedruckt

FS-Berichte aus der Schriftenreihe des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V.

Zu beziehen durch das Sekretariat:
H. Brunner, Abt. SU, EIR, CH-5303 Würenlingen

FACHVERBAND FÜR STRAHLENSCHUTZ e. V.
Mitgliedsgesellschaft der International Radiation Protection Association (IRPA)

INDUSTRIELLE STÖRFÄLLE UND STRAHLENEXPOSITION

Gemeinsame Strahlenschutztagung

29. - 31. MAI 1980

21. JAHRESTAGUNG DER VEREINIGUNG
DEUTSCHER STRAHLENSCHUTZÄRZTE e. V.

14. JAHRESTAGUNG DES
FACHVERBANDES FÜR STRAHLENSCHUTZ e. V.

IN DER
KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH

REDAKTION: H. JACOBS

FS-80-25-T
JUNI 1980

PROGRAMMAUSSCHUSS

Dr. B.Betz	München-Neuherberg
Prof.Dr. L.E.Feinendegen	Jülich
Dr. W.Hunzinger	Bern
Prof.Dr. O.Messerschmidt	München-Neuherberg

TAGUNGSPRÄSIDENT

Prof.Dr. L.E.Feinendegen	Jülich

TAGUNGSSEKRETÄR

J. Hurst	Jülich

SITZUNGSLEITER

Sitzung 1: Prof.Dr.Dr.E.Oberhausen/Dipl.Phys.Brunner
Sitzung 2: Dr.H.Jacobs/Prof.Dr.Schütz
Sitzung 3: Prof.Dr.A.Kaul/Dr.R.Zimmer
Sitzung 4: Prof.Dr.O.Messerschmidt/Dr.B.Betz

V O R W O R T

Im wesentlichen waren es zwei Gründe, die den Fachverband für Strahlenschutz veranlaßt haben, die Jahrestagung 1980 gemeinsam mit der Vereinigung Deutscher Strahlenschutzärzte durchzuführen. Zum einen darf sich der Strahlenschutz nicht isolieren. Jede spezialisierte Wissenschaft läuft Gefahr der Abkapselung. Erst recht als interdisziplinäre Wissenschaft bedarf der Strahlenschutz des häufigen Kontaktes mit Kollegen benachbarter wissenschaftlicher Zweige, um sich geistig befruchten zu lassen.

Zum zweiten sind wir uns bewußt, daß alle unsere Bemühungen, ungewollte Bestrahlungen von Menschen zu vermeiden und unumgängliche Bestrahlungen so gering wie vernünftigerweise erreichbar zu halten, nicht einen einhundertprozentigen Erfolg haben können. Es bleibt theoretisch immer ein kleines Risiko. Beim Umgang mit Strahlenquellen muß stets mit einer unbeabsichtigten Bestrahlung gerechnet werden, so daß der bestrahlte Mensch unversehens zum Patienten wird. - Ist es da nicht naheliegend, sich mit Strahlenschutzärzten zu treffen, um die Probleme zu erörtern und einer Lösung näher zu bringen, die bei erhöhten Bestrahlungen entstehen können?

Es ist typisch für die Kerntechnik - und unter diesem Sammelbegriff sollen auch alle Anwendungen radioaktiver Stoffe in Medizin, Forschung und Unterricht verstanden sein, nicht nur die Produktion von Kernenergie - daß sie die Analyse möglicher Betriebszwischenfälle mit gesundheitlichen Auswirkungen auf Menschen schon seit langer Zeit mit Ernsthaftigkeit und auf wissenschaftlicher Grundlage betreibt. Diese Arbeiten lassen erkennen, daß bei keiner Unfallstation, weder im medizinischen noch im übrigen kerntechnischen Anwendungsbereich, mit einem Massenanfall strahlenverletzter Personen zu rechnen ist.
Selbstverständlich ist die Wahrscheinlichkeit des Eintretens einer solchen Katastrophenlage, statistisch gesprochen, nicht gleich Null. Aber ist es sinnvoll, sich gegen jedes erkannte Risiko im Leben vorsorglich zu schützen zu suchen, unabhängig davon, wie groß das Risiko ist? Jedermann wagt sich ohne besondere Schutzmaßnahmen zu treffen bei Grünlicht über die Straße, obwohl er dort vom Blitz oder einem Meteoriten erschlagen werden könnte. Mit anderen Worten, man bricht die technische und auch die medizinische Vorsorge vor Unfallfolgen bei einem gewissen, niedrigen Seltenheitsgrad des Ereignisses ab. Der Fußgänger, der sich auf die Straße wagt, verzichtet für das geschilderte Unfallereignis auf Vorsorge - obendrein noch in Unkenntnis des numerischen Wertes des Restrisikos oder des Seltenheitsgrades.
Der Techniker wird sich fragen, ob er da nicht auch auf eine umfassende Vorsorge gegen eine Kernkraftwerkskatastrophe

verzichten, m.a.W. ein sehr kleines, numerisch erfaßbares Restrisiko hinnehmen kann?

Strahlenschutz bedeutet doch immer - und hier muß man wohl auch den medizinischen Strahlenschutz mit einbeziehen - das Bestreben, das Notwendige zum Schutz des Menschen vor Strahlung zu tun und das Übertriebene zu unterlassen.

Wenn an der diesjährigen Jahrestagung hie und da auch von der KKW-Katastrophe und der Vorsorge dagegen gesprochen worden ist, muß man sich klar darüber sein, daß es dafür andere als wissenschaftliche und vernunftmäßig erfaßbare Gründe gibt.

W. Hunzinger
Präsident des Fachverbandes
für Strahlenschutz e.V.

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

SITZUNG 1: STÖR- UND UNFÄLLE IN DER KERNINDUSTRIE

Bischof,W.	Die Begriffe "Störfall" und "Unfall" im Atomenergierecht (K)	3
Heuser,F.W.,et al	Übersicht über die Deutsche Reaktorsicherheitsstudie (K)	4
Belda,W.	Analyse des Störfalls von Harrisburg (K)	5

SITZUNG 2: TYPISCHE ZWISCHENFÄLLE

Neumann,W.,et al	Technische Möglichkeiten der Kerntechnischen Hilfsdienst GmbH beim Bergen von Strahlenquellen (vorgestellt an zwei Einsatzbeispielen)	9
Brunner,H.	Erfahrungen aus Zwischenfällen im EIR Würenlingen	10
Heinzelmann,M.	Ein Zwischenfall mit einer Teilkörperdosisüberschreitung -Probleme und Folgerungen-	22
Platthaus,D.	Möglichkeiten der Berechnung der Beta-Dosisleistung in Räumen kerntechnischer Anlagen nach Störfällen	28
Stieve,F.E.	Erfahrungen mit bisherigen Strahlenunfällen.Ursachen,Abläufe,Gegenmaßnahmen (K)	35

SITZUNG 3: INKORPORATION UND DEKORPORATION

Kaul,A.	Inkorporationsgrenzwerte nach ICRP-30 (K)	39
Oberhausen,E.	Möglichkeiten der Jodprophylaxe im Strahlenschutz (K)	41
Beyer,D.	Planung und Durchführung der Inkorporationsüberwachung bei möglicher und tatsächlicher Strahlenexposition	42
Frank,K.D.,et al	Inkorporationsüberwachung bei der Verwendung von radioaktiven Stoffen in der Medizin	68
Werner,E.,et al	Inkorporationsmessungen bei Beschäftigten der radiopharmazeutischen Industrie	74
Dilger,H.,et al	Inkorporationsüberwachung mittels Ausscheidungsanalyse in einer Entsorgungsanlage	80

		Seite
Görlich,W.	Inkorporationsmessungen im EIR - Überblick und Erfahrungen	89
Doerfel,H.	Die Direktmessung von Uran in der Lunge	93
Biehl,R.	Verfahren zur Inkorporationsüberwachung durch Ausscheidungsanalyse nach Störfällen	101
Volf,V.	Dekorporationstherapie: DTPA als Mittel der Wahl (K)	121

SITZUNG 4: MEDIZINISCHE VERSORGUNG VON STRAHLENUNFALL-PATIENTEN

Flach,H.D.	Erste Hilfe bei Strahlenunfällen und weitergehende Maßnahmen (K)	125
Kemmer,W.	Organisatorische Maßnahmen und medizinische Hilfsmöglichkeiten nach Unfällen mit erhöhter Strahlenexposition (K)	126
Fliedner,Th.M.	Pathogenese und Symptomatik des akuten Strahlensyndroms (K)	127
Messerschmidt,O.	Kombinierte Strahlenschäden (K)	128
Feinendegen,L.E.	Biologische Methoden zum Nachweis absorbierter Strahlung (K)	129
Ladner,H.A.	Zur Urinausscheidung von Aminosäuren während der Strahlenbehandlung (K)	130
Wendt,F.	Behandlung des Strahlensyndroms (K)	131

Anhang: - Teilnehmerliste 133

- Liste der bisherigen Publikationen des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V.

H I N W E I S:

Die mit (K) gekennzeichneten Vorträge sind im vorliegenden Tagungsbericht nur in der Kurzfassung veröffentlicht. Der ausführliche Text erscheint in der Publikationsreihe der Vereinigung Deutscher Strahlenschutzärzte e.V.:

STRAHLENSCHUTZ IN FORSCHUNG UND PRAXIS, BAND XXI

Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1980

SITZUNG 1

STÖR- UND UNFÄLLE IN DER KERNINDUSTRIE

Die Begriffe "Störfall" und "Unfall" im Atomenergierecht

WERNER BISCHOF
Institut für Völkerrecht, Abt. Atomenergierecht, der Universität Göttingen

Der Gesetzgeber des Atomgesetzes der Bundesrepublik Deutschland hat unter Konkretisierung der verfassungsrechtlichen Bindungen die Förderung der Erforschung, Entwicklung und Nutzung der Kernenergie zu friedlichen Zwecken nur unter gleichzeitiger Gewährung des Lebens-, Gesundheits- und Güterschutzes vor den Gefahren der Kernenergie und der von ionisierenden Strahlen ausgehenden schädlichen Wirkungen zugelassen. Zu den Schadensvorsorgeregelungen gehören nicht nur die Schutz- und Sicherheitsvorschriften, die unter Normalbedingungen bei dem Betrieb von Anlagen und bei Tätigkeiten mit radioaktiven Stoffen zu beachten sind, sondern vor allem auch Vorschriften, die für den Fall von Störungen des Anlagenbetriebes und solcher Tätigkeiten erhöhte Gefährdungen für die zu schützenden Rechtsgüter mitsich bringen können. Solche Störungen können verursacht werden durch menschliches Fehlverhalten, durch technische Mängel und Einwirkungen von außen. Da Abweichungen vom Normalbetrieb die Eintrittswahrscheinlichkeit und die Höhe von Schäden, also das Restrisiko vergrößern, muß durch die Schaffung rechtlicher Verpflichtungen gewährleistet werden, daß solche Störungen nicht eintreten, eingetretene Störungen beseitigt und Schäden verhindert oder eingedämmt werden.
Da das geltende Atomenergierecht zur Regelung dieser Sachverhalte anomaler Ereignisabläufe verschiedene Begriffe verwendet (Atomgesetz: Sicherheitstechnisch bedeutsame Abweichungen vom bestimmungsmäßigen Betrieb, insbesondere Unfälle und sonstige Schadensfälle; Strahlenschutzverordnung: Unfälle, Störfälle und sicherheitstechnisch bedeutsame Ereignisse; Röntgenverordnung: Unfälle und sonstige Schadensfälle) und daneben noch weitere Begriffe üblich sind (Notfall, Zwischenfall, Unglücksfall, Einsatzfall, Schadensfall, größter anzunehmender Unfall, Super-Gau, Katastrophenfall usw.), erscheint es geboten, diese Termini inhaltlich zu bestimmen und gegeneinander abzugrenzen. Bei dieser Analyse stehen im Vordergrund die Begriffe "Störfall" und "Unfall", für die allein bisher eine Legaldefinition (Anlage I StrlSchV) vorliegt. Der spezifische atomrechtliche Unfallbegriff wird dem Terminus "Unfall", wie er bisher in der deutschen Rechtsordnung verwendet wird (Beförderungsrecht, Sozialversicherungsrecht, Privatversicherungsrecht, öffentliches Dienstrecht, Arbeitsrecht), der Störfallbegriff dem entsprechenden Begriff im Immissionsschutzrecht gegenüber gestellt. Zum Zwecke der Rechtsvergleichung wird auf die Unfallregelungen im Staatengemeinschaftsrecht (IAEO, Euratom) sowie im Recht der DDR und ausländischer Staaten hingewiesen. Überlegungen zurVerbesserung und Konkretisierung der behandelten Begriffe im Hinblick auf eine Novellierung des geltenden Atomenergie- und Strahlenschutzrechts schließen den Bericht ab.

Siehe: HINWEIS, Seite IV

ÜBERSICHT ÜBER DIE DEUTSCHE REAKTORSICHERHEITSSTUDIE

A. Birkhofer, A. Bayer, F.W. Heuser

Gesellschaft für Reaktorsicherheit mbH
Köln

Der Beitrag behandelt die Grundzüge der wichtigsten Ergebnisse der deutschen Reaktorsicherheitsstudie. Ziel dieser Studie, die im Auftrag des Bundesministers für Forschung und Technologie durchgeführt wird, ist es, für deutsche Verhältnisse das Risiko zu bestimmen, das aus Störfällen in Kernkraftwerken verursacht wird.

Die Studie gliedert sich in zwei Untersuchungskomplexe. In einem ersten Teil, der anlagentechnischen Analyse, werden Ausmaß und Häufigkeit unfallbedingter Aktivitätsfreisetzungen in die Umgebung eines Kernkraftwerks bestimmt. Für diese Untersuchungen wurde als Referenzanlage das Kernkraftwerk Biblis B, eine Anlage mit einem Druckwasserreaktor deutscher Bauart, ausgewählt. Im zweiten Teil der Studie, den Unfallfolgerechnungen, ermittelt man die mit einer Aktivitätsfreisetzung verbundenen gesundheitlichen Schäden und unter Berücksichtigung zugehöriger Eintrittshäufigkeiten die entsprechenden Risikowerte. Für diese Rechnungen wurden 19 Standorte mit insgesamt 25 Reaktoren berücksichtigt.

Die Ergebnisse der Studie zeigen, daß das Risiko maßgeblich durch Unfallabläufe bestimmt wird, die zu einem Schmelzen des Reaktorkerns führen. Die Folgen eines Kernschmelzunfalls können jedoch wesentlich durch die Schutzfunktion des Sicherheitsbehälters begrenzt werden. Aktivitätsfreisetzungen in großem Ausmaß treten nur dann auf, wenn der Sicherheitsbehälter undicht ist oder in anderer Weise frühzeitig versagt.

Im Unfallfolgenmodell werden zu verschiedenen Ausbreitungssituationen Strahlenbelastungen über verschiedene Expositionspfade verfolgt. Berechnet werden Zahlen der durch akute und latente Strahlenschäden betroffenen Personen. Somatische Frühschäden (Tod durch akute Strahlenkrankheit) werden nur für Kernschmelzunfälle ermittelt, die mit einer frühzeitigen Aktivitätsfreisetzung verbunden sind. Sie treten nur in einem Nahbereich (bis ca. 20 km Entfernung) auf. Somatische Spätschäden (Tod durch Leukämie oder Krebs) werden überall dort ermittelt, wo es durch Aktivitätstransport zu einer Strahlenbelastung kommt. Sie erstrecken sich über weitreichende Gebiete und werden praktisch zu jedem Unfallablauf ermittelt.

Siehe: HINWEIS, Seite IV

Analyse des Störfalls von Harrisburg

Dr. Ing. W. BELDA

KWU Erlangen

Alle bisher in der Bundesrepublik veröffentlichten Stellungnahmen zu den Ereignissen vom 28./29. März 1979 im Kernreaktor von Three Mile Island II sehen die Ursachen für den Störfallablauf in der Verkettung menschlicher Fehlhandlungen mit einem nach deutscher Genehmigungspraxis ungenügenden Anlagenkonzept. Die Anhäufung kleinerer Fehler in Verbindung mit einem geringen Automatisierungsgrad der Anlage führte zu einer Stress-Situation für das Wartenpersonal, in der die grundsätzlichsten Gegenmaßnahmen wie die sichere Funktion der Notkühlung und der Einschluß der in den Sicherheitsbehälter freigesetzten Aktivität nicht wie vorgesehen realisiert wurden.

Trotz der damit gegebenen Gefahr eines Kernschmelzvorganges sind die sicherheitstechnisch relevanten Auswirkungen auf die Umgebung dank der in der Kerntechnik üblichen großen Auslegungssicherheiten verhältnismäßig gering geblieben. Für Personen außerhalb der Anlage wurden unter der Voraussetzung ungünstigster Aufenthaltsbedingungen Ganzkörperdosen bis 80 mrem abgeschätzt. Realistische Berechnungen ermitteln je Einzelperson eine Belastung von 1,5 mrem.

Im Gegensatz zur USA ist der Automatisierungsgrad der deutschen Kernkraftwerke erheblich höher. Deshalb kommt die deutsche Genehmigungsbehörde - der BMI - zu der Auffassung, daß sich in einem deutschen Kernkraftwerk ein Störfallablauf wie in Three Mile Island II nicht hätte ereignen können. Sofortmaßnahmen für im Betrieb oder im Bau befindliche Anlagen wurden somit nicht als erforderlich angesehen. Andererseits wurden die Ereignisse gerade in der stark politisierten Diskussion in der Bundesrepublik einer intensiven Analyse unterzogen, so daß im Rahmen einer verantwortungsbewußten Gefahrenvorsorge einzelne anlagentechnische Maßnahmen zur weiteren Risikominderung ergriffen werden.

Siehe: HINWEIS, Seite IV

SITZUNG 2

TYPISCHE ZWISCHENFÄLLE

Technische Möglichkeiten der Kerntechnischen Hilfsdienst GmbH beim Bergen von Strahlenquellen (vorgestellt an zwei Einsatzbeispielen)

W. JERKE, W. KRÜGER, R. MARTIN, V. NACHTIGAL, W. NEUMANN
Kerntechnische Hilfsdienst GmbH, 7514 Eggenstein-Leopoldshafen 2

Im September 1977 wurde die Kerntechnische Hilfsdienst GmbH (KHG) als Gemeinschaftseinrichtung verschiedener Betreiber kerntechnischer Anlagen zur Notfallvorsorge gemäß § 38 StrlSchV gegründet. 11 Mann Stammpersonal beschaffen und warten das Gerät und bilden daran weitere 120 Mann aus. Das gesamte Personal ist in eine Rufbereitschaft eingebunden.
Seit ihrem Bestehen wurde die KHG fünf mal zu Hilfeleistungen gerufen. In zwei Fällen mußten verunfallte Co 60-Quellen geborgen werden.
Für derartige Störfälle hält die KHG fernbediente Kettenfahrzeuge (Kabel und Funk) vor, die mit Manipulatorarmen und Fernsehkameras ausgerüstet sind. Zum Orten der Strahlenquellen sind Hochdosisleistungssonden mit einem Meßbereich bis 10 Millionen R/h vorhanden.
Störfall 1: In einer Bestrahlungseinrichtung für biologisches Material kann eine der 12 Co 60-Quellen (260 Ci pro Quelle) nicht mehr in die Abschirmposition zurückgefahren werden. Vermutlich ist der pneumatische Schleppkolben von der Quelle abgerissen. Der Raum kann wegen der hohen Dosisleistung (100 KR/h in 10 cm Abstand) nicht begangen werden.
Bergemaßnahmen: Nach dem Ausräumen des Bestrahlungsraumes mit dem Manipulatorfahrzeug wird mit der DL-Meßsonde die Position der verunfallten Strahlenquelle ermittelt. Die Strahlenquelle im Bestrahlungsrohr wird mit Hilfe des Manipulatorfahrzeuges und einer Schleifscheibe herausgeschnitten und in einen außen aufgestellten Abschirmbehälter gebracht. Die Arbeitszeit vor Ort beträgt 18 Stunden. Die empfangene Kollektivdosis der 5-köpfigen Bergemannschaft 52 mrem.
Störfall 2: Bei einem Austausch einer alten Co 60-Quelle (2600 Ci) gegen eine neue (4800 Ci) in einem Gammatron ist ein Beladefehler unterlaufen. Eine der Bestrahlungsquellen im Quellenträger liegt ungeschützt im Raum. Der Umladebehälter zur Aufnahme des Quellenträgers steht verschlossen im Raum, der wegen der hohen Dosisleistung (40 KR/h in 10 cm Abstand) nicht begangen werden kann.
Bergemaßnahmen: Der Bestrahlungsraum wird mit dem Manipulatorfahrzeug ausgeräumt. Nach umfangreichen Dosisleistungsmessungen wird die Quelle mit Hilfe des Manipulatorfahrzeuges mit Bleisteinen abgeschirmt. Nachdem die Dosisleistung auf 25 mr/h im Raum abgesenkt ist, wird der Umladebehälter von Hand für die Bergung vorbereitet und anschließend die Quelle mit dem Manipulatorfahrzeug in den Umladebehälter gebracht. Die Arbeitszeit vor Ort beträgt 42 Stunden. Die empfangene Kollektivdosis (5 Mann) 104 mrem.
Obwohl in beiden Fällen große Aktivitäten bewegt wurden, kann die Dosis des Personals durch den Einsatz von Manipulatorfahrzeugen als gering bezeichnet werden.

ERFAHRUNGEN MIT ZWISCHENFÄLLEN IM E I R WÜRENLINGEN

H. BRUNNER, dipl.Phys.

Abt. Strahlenüberwachung (SU)
EIR Eidg. Institut für Reaktorforschung
CH-5303 Würenlingen

1. VORKOMMNISSE UND ZWISCHENFALLSTYPEN

Das EIR Würenlingen ist ein mittelgrosses Forschungsinstitut mit rund 600 Mitarbeitern. Seit 23 Jahren läuft ein Schwimmbad-Forschungsreaktor, und während rund 18 Jahren war ein Schwerwasser-Testreaktor mit verschiedenen Versuchskreisläufen im Betrieb, der zwischenhinein umgebaut wurde und nun stillgelegt und eingemottet ist. Dazu kommt ein Nulleistungsreaktor, in dem zeitweilig Pu-haltiger Brennstoff untersucht wird. Im Hotlabor laufen Brennstoffentwicklungsprogramme, die sowohl Umgang mit Plutonium wie Nachbestrahlungsuntersuchungen an Brennelementen verschiedener Art umfassen. Die Isotopenproduktion hat ein sehr vielfältiges Herstellungs- und Verarbeitungsprogramm mit einem Schwergewicht auf Jodisotopen und der grössten europäischen Produktion von J-123. Dazu kommen zahlreiche Forschungsprojekte in Reaktorphysik und -technik, Entsorgung, Radiochemie, Metallurgie, Dekontamination u.a. Im Abfallkonditionierungslabor und in der Verbrennungsanlage wird der Grossteil der schwach- und mittelaktiven Abfälle der Schweiz verarbeitet und für Endlagerung oder Versenkung verpackt /1/. Es sind im EIR also alle Varianten vom hochschulähnlichen Experimentierbetrieb über Versuchs- und Produktionslabors bis zu grosstechnischen Experimentier- und Betriebsanlagen vorhanden, mit oft wechselnden und sehr unterschiedlichen Arbeitsbedingungen und Problemen. Es dürfte sich daher lohnen, aus den bisher 23 Betriebsjahren die Erfahrungen mit Zwischenfällen auszuwerten.

Vorausgeschickt sei, dass diese Erfahrungen im wesentlichen günstig waren. Es wird wenig Spektakuläres zu berichten sein, und es gab nur einen einzigen echten Strahlenunfall mit manifesten Schäden. Bei den übrigen Zwischenfällen wurde nur selten ein Dosis- oder Inkorporations-Grenzwert erreicht oder überschritten. In den meisten Fällen waren die Dosen oder Inkorporationen bei Zwischenfällen in der gleichen Grössenordnung oder geringer als die routinemässigen Quartalsdosen von Mitarbeitern in einigen stärker belasteten Gruppen wie Isotopenproduktion oder radioaktive Abfälle.

Als Zwischenfall bezeichnen wir hier alle jene Vorkommnisse, in denen eine Situation beim Umgang mit Strahlenquellen vorübergehend ausser Kontrolle geriet oder eine Operation nicht wie vorgesehen ablief. Ein Teil dieser Ereignisse wurde von den Beteiligten sofort erkannt oder innert Stunden bis Tagen dank Arbeitsplatzüberwachung festgestellt, andere liessen sich erst mit einiger Verzögerung aus den Ergebnissen der Personenüberwachung ermitteln oder vermuten. Hier sollen vor allem jene Fälle diskutiert werden, durch welche Personen betroffen wurden, sei es durch äussere Kontamination, Inkorporation, Ganz- oder Teilkörperexposition. Auf detaillierte Statistiken soll verzichtet werden, die Diskussion wird mehr qualitative als quantitative Aspekte berühren. Es ist auch schwierig, eigentliche Zwischenfälle, also einmalige Vorkommnisse, von jenen Fällen abzugrenzen, in denen

teilweise über längere Zeit infolge technischer Mängel oder menschlicher Fehler unnötig erhöhte externe oder interne Strahlenexpositionen "routinemässig" vorkamen. Auch solche Situationen müssen beachtet werden, da sie oft Anzeichen für eine zunehmende Wahrscheinlichkeit von Zwischenfällen sind. Sie lösen daher nach ihrer Erkennung gleiche Untersuchungen und Massnahmen aus wie Zwischenfälle. Soweit dies machbar ist, sollten auch die "gerade noch mal gut gelaufenen" Beinahe-Zwischenfälle erfasst und ausgewertet werden, denn allen diesen Vorkommnissen liegen ähnliche oder gleiche Ursachen zugrunde.

Weitaus am häufigsten waren im EIR Zwischenfälle mit äusseren Kontaminationen, von denen primär Material und Arbeitsflächen, sehr oft aber auch beteiligte oder unbeteiligte Personen betroffen wurden. Systematisch erfasst werden nur diejenigen Fälle in denen die Strahlenüberwachungs-Betriebsüberwachung eingreift oder die bei Arbeitsplatzkontrollen festgestellt werden. Wenn Personen bei der Kontrolle an Handmonitoren eine Kontamination feststellen, die sie selber beseitigen können, so besteht keine Verpflichtung zur Registrierung. Erst die hartnäckigen Fälle, bei denen die Betriebsüberwachung oder die für Spezialdekontamination zuständige Sanitäts- und Personendekontaminationsequipe beigezogen werden, oder wo auch eine Kontamination des Arbeitsplatzes vorliegt, werden in den Rapporten festgehalten und näher untersucht. An den meisten Arbeitsplätzen, wo mit offenen Quellen gearbeitet wird, besteht ein zweistufiges System von Personenkontaminationsmonitoren. Einfache Hand- und Fussmonitoren erlauben schon am Arbeitsplatz nach Ende einer Arbeit eine sofortige Kontrolle auf äussere Kontamination. Dazu kommt die übliche und auf tiefere Richtwerte eingestellte Kontrolle an den Zonenausgängen. Insgesamt traten in den 23 Betriebsjahren rund 150 hartnäckigere oder umfangreichere äussere Personenkontaminationen auf, die sich mit geeigneten Methoden praktisch immer beseitigen oder auf den zulässigen Richtwert reduzieren liessen. Jodverbindungen, die an der Hornhaut haften, lieferten einen Grossteil dieser hartnäckigen Fälle, daneben fanden sich Tritium und eine Reihe von Spalt- und Aktivierungsprodukten, vereinzelt auch Transurane.

Kontaminierte Wunden waren selten, die meisten kontrollierten Fingerverletzungen erwiesen sich als nicht kontaminiert. Einzig in zwei Fällen mussten Stichwunden an Fingern vom Notfallarzt ausgeschnitten werden, mit Erfolg und ohne nachweisbare Inkorporationen. Der in der Sanitätsausbildung immer wieder geübte Fall der schweren offenen und kontaminierten Verletzung trat in der Praxis nie ein.

Inkorporationen aus Zwischenfällen oder infolge mangelhafter Arbeitsverhältnisse erreichten zusammen eine ähnliche Häufigkeit wie äussere Kontaminationen, deren Folge sie teilweise auch waren. Leichtflüchtige Formen von Radiojodisotopen sowie Tritium überwogen hier. Diese Nuklide sind relativ einfach und emfindlich nachzuweisen, sodass durch gezielte Inkorporationsüberwachung (siehe Beitrag von W.Görlich an dieser Tagung) schon sehr kleine Zwischenfälle oder mangelhafte Arbeitsmethoden rasch und frühzeitig erkannt und saniert werden können, bevor es zu signifikanten Strahlenbelastungen kommt. Die inkorporierten Aktivitäten lagen praktisch immer unterhalb weniger Prozent der Jahreszufuhrgrenzwerte.Gelegentlich waren aber umfangreiche Untersuchungen nötig, um die Quellen chronischer oder wiederholter Inkorporationen zu ermitteln, wie unzulängliche oder "übersehene"Abfallkübel, oder ein Kühlschrank zur Aufbewahrung von Jodproben, der jedesmal beim Oeffnen einen Schwall kontaminierte Luft in den Raum

pumpte. Transurane bieten Probleme anderer Art, sie sind meist wenig flüchtig, aber auch routinemässig bei Inkorporationsüberwachung schwierig nachweisbar, sodass durch gezielte Arbeitsplatzüberwachung mit Kontaminationskontrollen an jedem Arbeitsplatz, persönlichen Luftsammlern, Laborluftmonitoren mit Pu-/Am-Alarm etc. wenigstens sichergestellt werden muss, dass Zwischenfälle und erhöhte Freisetzungen in der Grössenordnung von etwa einem Zehntel der Jahreszufuhr rasch erkannt werden. Probleme gibt es hier bei Boxenhandschuhen, Ausschleusen von Proben, Abfallverarbeitung und Zerlegung von Boxen. Trotz vollem Atemschutz kam es bei einer solchen Zerlegung mit Schweissarbeiten zu einer Americium-Inkorporation. Bei Transuranboxen sollten sich die Konstrukteure einiges einfallen lassen, was eine spätere fernbediente Zerlegung ermöglicht, da alle diese Objekte einmal als Abfall anfallen werden.

Zwischenfälle mit Ganz- oder Teilkörperexpositionen waren selten, insgesamt je rund ein Dutzend. Die Teilkörperexpositionen betrafen vorwiegend die Hände. Kontakdosen und -dosisleistungen werden oft massiv unterschätzt, und es kann nicht genug vor direkter Berührung geschlossener Strahlenquellen, selbst geringer Aktivität, gewarnt werden. Neben diesem häufigsten Fehler wurde in mehreren Fällen unerwartet hohe Aktivierung bestrahler Objekte festgestellt, weil entweder die Materialzusammensetzung oder Verunreinigung anders war als erwartet, weil man Proben nicht bis zum Verschwinden kurzlebiger Nuklide abklingen liess, oder weil zu grosse Materialmengen bestrahlt wurden. Geeignete Werkzeuge, wie Zangen, müssen immer bereitliegen, damit gerade bei unerwartetem Verlauf einer Operation die Kurzschlusshandlung des direkten Anfassens vermieden werden kann, und akustische Strahlenwarngeräte sollen beim Entladen bestrahlter Objekte prinzipiell vorhanden und auch eingeschaltet sein. Die Teilkörperdosen aus solchen Zwischenfällen lagen aber mit einer Ausnahme unter den Jahresgrenzwerten und waren meist tiefer als die höchsten routinemässig, etwa in der Isotopenproduktion, erhaltenen Jahres-Handdosen. Einzige Ausnahme war der nachstehend beschriebene Strahlenunfall. Als Kuriosität sei noch ein unfreiwilliges Bad im Becken des Schwimmbadreaktors erwähnt, wo in den Anfängen beim Einsetzen von Proben auf einem schwankenden Brett herumgeturnt wurde, bis dann ein Mitarbeiter ausglitt und bis zum Nabel eintauchte. Dank der Abschirmung durch rund 7 Meter Wasser erhielt er keine signifikante Dosis, dafür wurde das Brett endlich durch eine Brücke mit Geländer ersetzt. Erhöhte Ganzkörperdosen waren teilweise Begleiterscheinungen von Teilkörperexpositionen, sie lagen in allen ausser zwei Fällen unterhalb des Jahresgrenzwertes von 5 rem und erreichten meist nur einige hundert mrem. Das Verhältnis zwischen Fingerdosen und Dosis am Oberkörper kann bei vorwiegend β-emittierenden Nukliden Werte von 10^3 bis 10^5 erreichen, bei Gammastrahlern von 10 bis 100.

Zur zeitlichen Verteilung der Zwischenfälle sei lediglich bemerkt, dass es ruhige Jahre ohne oder mit praktisch keinen Zwischenfällen gab, wenn etwa grössere Objekte in kontrollierten Zonen umgebaut wurden oder flaue Programmphasen auftraten. Oft war es aber "Ruhe vor dem Sturm", und solche harmlosen Perioden wurden von einem plötzlichen Wiederanstieg der Zwischenfallshäufigkeit gefolgt. Die Gründe dafür waren unterschiedlich, teils nachlassende Aufmerksamkeit von Betriebs- und Strahlenschutzpersonal, weil lange nichts mehr passiert war, teils Abgewöhnung des Umgangs mit heissen Objekten nach langen Stillstands- oder Umbauphasen verbunden mit Nichterkennung oder Unterschätzung der nach Wiederinbetriebnahme erneut erhöhten

Zwischenfallsmöglichkeiten, aber auch verstärkter Zeit- und Produktionsdruck, mangelnde Aufsicht und Einhaltung von Vorschriften. So ketzerisch das tönen mag: es ist weder für Betriebspersonal, Management noch Strahlenschutz gut, wenn längere Zeit kein Zwischenfall passiert. Man tendiert dann dazu, die eigene "Vollkommenheit" überzubewerten und die Notwendigkeit von Strahlenschutzmassnahmen und -Vorschriften zu unterschätzen oder zu verkennen. Gelegentliche kleine Zwischenfälle haben eine nützliche erzieherische Wirkung, man soll aber alles vorkehren, damit sie in Grenzen gehalten werden können ! Charakteristisch für die zeitliche Verteilung sind auch die Häufungen von Zwischenfällen kurz vor Arbeitsschluss und vor Wochenenden.

Spitaleinweisungen aus radiologischen Gründen gab es keine. In einem Fall, wo ein Dosimeter 13 rem aufwies, das auf der anderen Brustseite getragene Dosimeter aber eine viel kleinere Dosis zeigte, der Mitarbeiter jede Möglichkeit eines Zwischenfalls verneinte,und trotz vorhandenen Mängeln an der Arbeitsbox kein eindeutiger Nachweis einer erfolgten Bestrahlung möglich war, wurde eine Chromosomenanalyse vorgenommen. Das Ergebnis fiel nicht schlüssig aus, da man, besonders bei einer Teilkörperexposition, an der Nachweisgrenze dieser Methode lag. In Zweifelsfällen, wo nicht sicher ist, ob der Mann oder nur das Dosimeter die angezeigte Ueberexposition erhalten haben, sollte aber diese biologische Methode beigezogen werden.

2. EINIGE BEISPIELE VON ZWISCHENFÄLLEN

Der Variationsreichtum an Zwischenfällen ist zu grosse, als dass auf dem hier verfügbaren Platz auch nur ein wesentlicher Teil der Fälle näher beschrieben werden könnte. Es sollen nur wenige, besonders interessante oder typische Ereignisse kurz erwähnt werden. Die nachfolgende Diskussion der Ursachen gibt aber weitere Hinweise darauf, was alles passieren kann.

A) Eine Ir-192-Quelle wurde vom Hersteller in einer anderen als der bisher üblichen Transportabschirmung geliefert und war wider Erwarten am Deckel befestigt. Da der übliche Manipulator nicht passte, erhielt ein Laborant beim Oeffnen von Hand eine Unterarmdosis von ca. 15 rem und eine Rumpfdosis von ca. 0.5 rem.

B) Auf Filterpapier eingetrocknete Eu- und Gd-Verbindungen wurden in Bestrahlungsbüchsen im Rohrpostsystem des Reaktors aktiviert. Beim Oeffnen im Labor zeigte sich, dass die Proben zu Staub zerfallen waren. Aber erst nach Verarbeitung und Messung wurde eine Kontaminationskontrolle vorgenommen und festgestellt, dass Aktivität freigesetzt worden war. Trotz sofortiger Sperrung der Räume und anschliessender Untersuchung war inzwischen die Kontamination in weite Teile des Gebäudes verschleppt worden. Die äussere Kontamination der Personen war gering, ausser an den Schuhen, es gab keine Inkorporationen, aber der Aufwand für die Kontrollen und die Dekontamination von Personen und Räumen betrug rund 100 Mannstunden !

C) An einem Hochschulinstitut holte ein Chauffeur des EIR eine zur Abfallbeseitigung vorgesehene 300 mCi Ra-Be-Neutronenquelle ab, die zwar für Neutronen genügend abgeschirmt war, nicht aber für Gammastrahlung. Erkannt wurde der Fall, weil nach Rückkehr das Durchsichtsdosimeter entladen war. Das persönliche TL-Dosimeter befand sich während der Fahrt an der Rückseite des Fahrersitzes, gegen die Quelle gerichtet, und zeigte eine Dosis von

5.7 rem, der ebenfalls darin enthaltene Film nur von 2 rem, was durch die spätere Rekonstruktion nicht völlig erklärt werden konnte. Inhomogene Filmschwärzung wies auf eine Kontaktdosis beim Quellenverlad hin. Die aus der Rekonstruktion geschätzte Handdosis ergab 8 rem, für das Dosimeter dagegen nur etwa 2 rem, die höhere TL-Dosis wurde als Kontaktdosis bei kurzem Abstützen der Quelle auf das am Gürtel getragene Dosimeter interpretiert.

D) Infolge Ueberdrucks platzte in einer Kapelle eine bestrahlte Quarzampulle mit pulverförmigem $^{233}UO_2$ mit 9 Tage alten Spaltprodukten. Der Experimentator wurde kontaminiert und nahm zwar eine α-Kontrolle vor, vergass aber die Spaltprodukte und verschleppte die Kontamination, bevor er schliesslich die Strahlenüberwachung benachrichtigte. Dies führte zu ausgedehnter Raum- und Personenkontamination. Die Inkorporationsüberwachung ergab α in Stuhl und Urin, J-131 in Urin und Schilddrüse. Alle inkorporierten Aktivitäten lagen unter 1% der Jahreszufuhrgrenzwerte.

E) Beim Versuch, den verklemmten Drehverschluss eines Bestrahlungskanals am Schwimmbadreaktor bei laufendem Reaktor und trotz offensichtlich ungeeigneten Werkzeugen zu reparieren, erkannten die Operateure dank bereitgestelltem Alarmgeräte das plötzliche Oeffnen des Verschlusses sofort und verliessen den Raum fluchtartig. Wie sich aus Rekonstruktion und Phantombestrahlung abschätzen liess, dürfte einer der Beteiligten bei einer die Dosimeteranzeige bestätigenden Oberkörperdosis von ca. 40 mrem (n+γ) eine Unterarmdosis von höchstens 48 rem und eine Dosis an der Schläfe von höchstens 5.8 rem erhalten haben.

F) Strahlenunfall beim Entladen aktivierter Proben

Ein Experimentator einer Hochschule führte an der Rohrpostbestrahlungsanlage des Schwimmbadreaktors Aktivierungen durch, darunter einer Silberprobe. Da er schon oft solche Arbeiten ausgeführt hatte, liess ihn der Schichtleiter an einem Freitagabend nach Arbeitschluss nach nochmaliger Vordemonstration einer Versuchsbestrahlung die Arbeit allein fortsetzen. Infolge des bevorstehenden Wochenendes entnahm der Physiker die Proben nach Bestrahlung sofort aus der Entladebox und verpackte sie in Transportbehälter, während er sonst die Proben bis zum folgenden Morgen hatte abklingen lassen. Das Umpacken erfolgte von Hand und ohne Werkzeuge, sowie ohne Einschalten des bereitstehenden Strahlenmessgerätes. Der Experimentator hatte aber nicht nur eine zehnmal grössere Silbermenge als beabsichtigt aktiviert, sondern er übersah auch, dass die beiden kurzlebigen Silberisotope Ag-108 und Ag-110 bis zur Sättigung aktiviert worden waren und bei Halbwertszeiten von 25 s und 2.4 min Aktivitäten von 44 resp. 19 Ci aufwiesen. 11 Tage später stellte er an den Fingern schwere Verbrennungssymptome 2. Grades fest, die er ärztlich behandeln liess, aber erst weitere 8 Tage später mit der Bestrahlung in Zusammenhang brachte. So erfuhren wir erst in diesem Zeitpunkt vom Zwischenfall. Das auf Gürtelhöhe getragene TL-Dosimeter erhielt 0.7 rem, was bei der Rekonstruktion bestätigt wurde. Die Schätzung der Kontaktdosis durch den Betroffenen ergab ca. 7500 rad, was zwar für die vorgesehene, nicht aber die tatsächliche,Probemenge etwa zutreffend gewesen wäre. Nach langwierigen Rekonstruktionen resultierten für die verschiedenen Finger wahrscheinlichste Dosen zwischen 100'000 rad und 2'000 rad, praktisch ausschliesslich verursacht durch die β-Strahlung der beiden kurzlebigen Silberisotope. Soweit uns bekannt ist, hat die Behandlung an einer dermatologischen Universitätsklinik zu einer Heilung geführt.

3. URSACHEN VON ZWISCHENFÄLLEN

Obschon manche Zwischenfälle gewisse Gemeinsamkeiten aufweisen, sind kaum zwei von ihnen ähnlich verlaufen. Betrachtet man auch die Beinahe-Zwischenfälle, sowie jene, von denen keine Personen betroffen wurden, so ergibt sich insgesamt ein sehr breites und komplexes Spektrum von Ursachen und ihren Verknüpfungen. Trotz dieser fast unabsehbaren Vielfalt von Ereignissen und Ursachen und der zusätzlichen Einflüsse lokaler Gegebenheiten lassen sich aber doch einige weitgehend allgemein gültige und auf andere Arbeitsverhältnisse übertragbare Aussagen über die Ursachen von Zwischenfällen machen.

Bei den Ursachen können drei Hauptgruppen unterschieden werden:

- material- bzw. quellenbedingte Ursachen als Folge der Eigenschaften bestrahlter oder verwendeter Stoffe oder Strahlenquellen,
- technische Ursachen in Zusammenhang mit Einrichtungen, Hilfsmitteln, Messgeräten und Arbeitsmethoden,
- menschliche Ursachen aller Art.

Das auslösende Ereignis eines Zwischenfalls kann aus irgendeiner dieser drei Ursachengruppen stammen. Die Abklärung der Zwischenfälle zeigt aber, dass fast immer eine Ereigniskette ablaufen musste, die mehrere Glieder mit Ursachen aus mehr als einer dieser Gruppen umfasste, damit es wirklich zu einem eigentlichen Zwischenfall kam. Ein Einzelereignis, wie ein Defekt oder eine Fehlhandlung, auch wenn es völlig unerwartet auftrat, ist durch vorhandene Einrichtungen, Schutzmethoden und/oder richtiges Verhalten fast immer beherrschbar oder ohne grosse Auswirkungen auf Personen wieder unter Kontrolle zu bringen. Praktisch in allen Fällen, wo Ereignisketten sich bis zu einem Zwischenfall entwickeln konnten, waren eine oder mehrere menschliche Fehlleistungen mehr oder weniger ausschlaggebend beteiligt. Umgekehrt ist es meist dem richtigen menschlichen Verhalten oder Eingreifen zu verdanken gewesen, dass viele Ereignisse isoliert oder Ereignisketten rechtzeitig unterbrochen werden konnten, bevor sie sich zu Zwischenfällen entwickelten, und dass die meisten Zwischenfälle in ihren Auswirkungen in einem tragbaren oder gar harmlosen Rahmen gehalten werden konnten. Solche Erkenntnisse sind in der Strahlenschutzpraxis schon lange vor Harrisburg gewonnen und in entsprechende Massnahmen umgesetzt worden. Eine umfassende Abklärung von Zwischenfällen und Beinah-Zwischenfällen unter Einbezug der menschlichen Fehler ist daher von grösster Wichtigkeit, nützt aber nur dann etwas, wenn auch die Lehren gezogen und durch Massnahmen unterstützt werden, die neben den technischen auch die menschlichen Aspekte berücksichtigen.

Es soll versucht werden, eine - sicher unvollständige - Aufzählung von Ursachen zu geben, die sich auch nicht immer eindeutig oder ausschliesslich in eine der drei Gruppen einordnen lassen und oft schon selber komplexer Natur sind. Eine systematische Untersuchung der Ursachen und ihrer Zusammenhänge sollte unbedingt gefördert werden /2/,/3/, aber nicht mit dem Ziel, bei Aufsichtsbehörden Aktenordner zu füllen und vermodern zu lassen, sondern die Ergebnisse möglichst direkt in die Praxis zu den Konstrukteuren, Berufstätigen und Strahlenschutzpraktikern zurückfliessen und in Verbesserungen umsetzten zu lassen. Daher scheint mir die Untersuchung und Auswertung an Ort durch die Beteiligten und direkt Verantwortlichen am wirkungsvollsten zu sein, gefolgt von einer grosszügigen Informationsver-

breitung über Zwischenfälle und daraus gezogene Lehren. Nur mit dieser Zielsetzung und Optik hat die Meldung an Behörden wirklich einen Sinn ! Begnügt sich die Behörde nur mit Registrierung ohne Rückkoppelung, oder besteht letztere nur in Sanktionen wie Bussen, so hat sie ihre Aufgabe nicht begriffen ! Allerdings braucht es dazu auch behördenseitig Leute mit Praxiserfahrung, die ihre Hauptaufgabe immer noch in der Förderung des Strahlenschutzes sehen, denn dieses Erfolgserlebnis sollte wertvoller sein als Bussgeldsummen und Dicke der Aktenbündel, wenn es auch quantitativ weniger leicht nachweisbar ist.

- material- bzw. quellenbedingte Ursachen
  - starke Aktivierung kurzlebiger Nuklide (Verunreinigungen)
  - unbekannte oder falsche Materialzusammensetzung aktivierter Objekte (z.B. Schrauben)
  - hohe Kontaktdosisleistung von β-Strahlern
  - Flüchtigkeit gewisser Elemente und Verbindungen (Jod, Ruthen, Tritium)
  - Ausbreitungseigenschaften feiner Pulver und Stäube
  - statische Aufladung von Belägen etc.
  - Gasentwicklung und Ueberdruck durch Spaltgase, Radiolyse oder chemische Reaktionen in wässrigen Systemen
  - Volumenkontamination von Metallen durch Tritium, das auch nach Oberflächendekontamination wieder ausgeschwitzt wird

  u.a.

- technische Ursachen
  - Defekte, Störungen, Materialversagen u.ä. an Komponenten, Geräten etc.
  - nicht funktionierende, fehlende, ungenügende Sicherheitseinrichtungen
  - lose Kontamination im Innern (Hohlräume, Gewinde) von äusserlich dekontaminierten und als sauber befundenen Objekten aus kontrollierten Zonen,
  - an Boxen: Handschuhdefekte, fehlende oder ungenügende Filter, Ueberdruck, Fehler bei Ausschleusoperationen
  - schlecht durchdachte, ungeeignete oder mangelhafte Konstruktion oder Funktion von Einrichtungen, Nichteignung für leichte oder fernbediente Zerlegung,
  - ungeeignete oder fehlende Werkzeuge, Hilfsmittel, Messgeräte
  - Weiterverwendung störanfälliger Komponenten u.ä.
  - Brennelementdefekte (EIR-Erfahrung: zwar umfangereiche Kreislaufkontaminationen, aber keine Zwischenfälle mit betroffenen Personen)
  - D_2O-Leckagen, konventionelle Wasserleckagen mit Wasserschäden
  - Brände, Explosionen
  - Ueberlastung von Hebezeugen
  - "importierte" Ursachen, wie kontaminierte Zulieferfahrzeuge oder Behälter, Abfall-Lieferungen mit undeklariertem heissem Inhalt
  - Benützung ungenügender Containments, d.h. offene Labortische statt Kapellen, Kapellen statt Boxen usw.

  u.a.

- menschliche Ursachen

Fehlhandlungen können nie völlig ausgeschlossen werden, wohl kann man aber anstreben und erreichen, dass die Fehler erkannt werden, Reaktionen auf Fehler richtig erfolgen, und so die Vollendung von Zwischenfällen bzw. Ereignisketten verhindert oder deren Ausmass und Folgen begrenzt werden.

Disziplin, Zuverlässigkeit, gute Auswahl und Ausbildung der Mitarbeiter, Verantwortungsgefühl und vor allem gesunder Menschenverstand sind hier ausschlaggebend. Für Vorgesetzte und Strahlenschutzverantwortliche gilt das militärische Prinzip der drei K: kommandieren > kontrollieren > korrigieren.

Ohne Anspruch auf Vollständigkeit gehören zu den menschlichen Ursachen bzw. Fehlleistungen:

- Nichteinhalten von Vorschriften
- mangelnde Disziplin und Zuverlässigkeit
- ungenügende Ausbildung in Arbeitstechnik und Strahlenschutz
- Gewöhnung, Betriebsblindheit
- Denkfaulheit
- mangelndes Beobachtungsvermögen
- Ueberlegungs-, Rechenfehler
- mangelnde Praxiserfahrung
- ungenügende oder fehlende Kontrollen
- administrative Ueberlastung zuungunsten der praktischen Arbeit
- Nichtauswertung früherer Zwischenfälle
- Fehlmanipulationen (oft unvermeidlich)
  gefolgt von :
  - falschen, unüberlegten, überhasteten oder fehlenden Reaktionen bzw. Gegenmassnahmen
  - unterlassener oder verzögerter Meldung von Zwischenfällen oder Verdacht auf solche,
- "Akademikereffekt" (siehe unten)
- Unterschätzung von Kontaktdosisleistungen
- falsche Konstruktionen, Methoden etc.
- Nichtverwendung vorhandener Hilfsmittel
- falsche Scham vor Kollegen, wenn Vorschriften befolgt werden sollten
- Berühren von Strahlenquellen mit den Händen
- Zeitdruck (Feierabend, letzter Arbeitstag der Woche als häufigste Zeitpunkte von Zwischenfällen)
- Angst, Unsicherheit, Zerstreutheit, Ablenkung, Müdigkeit
- Nichteignung für Arbeit
- mangelnde Rücksicht auf Kollegen
- Vortäuschung oder absichtliche Verursachung von Zwischenfällen

usw.

Zu den schwierigsten Kunden gehören leider manche Akademiker, besonders Physiker, nicht nur, weil manche nur am Erfolg ihrer Versuche interessiert sind, unbesehen von Nebenwirkungen, sondern weil sie oft auch glauben, schon genügend zu wissen, obwohl sie tatsächlich von Strahlenschutz keine Ahnung haben, sich aber dem nicht akademisch gebildeten Strahlenschutzkontrolleur gegenüber als wissend ausgeben oder ihn zu überspielen suchen. Gerade bei den menschlichen Ursachen sind denn auch Akademiker besonders "gut" vertreten.

4. INTERVENTION UND ABKLÄRUNG BEI ZWISCHENFÄLLEN

Im EIR haben Betriebsangehörige, die einen Zwischenfall feststellen oder vermuten, sofort die Gruppe Betriebsüberwachung der Abt. Strahlenüberwachung (SU/BU) zu benachrichtigen. Diese hält rund um die Uhr einen Chefkontrolleur oder einen erfahrenen Kontrolleur mit Zusatzausbildung als

Pikettmann (Rufbereitschaft) bereit. Im Betrieb ist dieser mit dem Personensucher, ausserhalb der Arbeitszeit mit tragbarem, auch im Auto betreibsbereiten Funktelefon ausgerüstet und somit jederzeit erreichbar. Während der Arbeitszeit müssen mindestens zwei Chefkontrolleure und drei Kontrolleure der BU im Institut anwesend sein. Gewöhnlich wird der für die betroffene Zone zuständige Chefkontrolleur die Leitung einer Intervention übernehmen. Die ersten Massnahmen, die auch allen Mitarbeitern in kontrollierten Zonen instruiert worden sind, gelten der Sicherung des Zwischenfallsortes,der Verhinderung einer weiteren Ausbreitung, und der ersten Hilfe an betroffene Personen, und geschehen in Zusammenarbeit von SU-Betriebsüberwachung mit den Verantwortlichen der betroffenen Abteilung.

Bei Brand oder Explosion muss auf jeden Fall die Notfallorganisation (NFO) alarmiert werden /4/, welche neben der Betriebsfeuerwehr die Equipen Strahlenüberwachung, Sanität und Ordnungsdienst umfasst. In anderen Fällen erfolgt die Alarmierung der NFO nur, wenn die Situation unübersehbar oder für die ersten Massnahmen mehr Einsatzpersonal erforderlich sein sollte, als sofort greifbar ist, sowie falls weitläufige Gebäude-, Gelände- oder Luftkontamination eine sofortige Unterbindung jeder Zirkulation im Institut, verbunden mit Schliessen von Fenstern und Abschalten von Belüftungen, erfordern sollten. Durch eine zweite Alarmstufe kann die Belegschaft durch unterirdische Kabelgänge an vorbereitete Sammelplätze dirigiert und von dort geordnet evakuiert werden. Die Notfallorganisation wurde bisher nur zweimal wegen Strahlenzwischenfällen alarmiert, beide Male deshalb, weil kurz vor der Mittagspause bzw. vor Arbeitsschluss eine ausgedehnte Gebäudekontamination festgestellt worden war und die Mitarbeiter so lange in ihren Arbeitsräumen blockiert werden mussten, bis das kontaminierte Gebiet ermittelt, abgesperrt und eine "Verkehrsumleitung" und Personenkontrolle organisiert war. Alle anderen Zwischenfälle konnten ohne die NFO durch die SU-Betriebsüberwachung und die betroffene Abteilung allein bewältigt werden.

Sind Personen betroffen, wird die ebenfalls von der Abt. SU geleitete, aber mit Sanitätern aus verschiedenen Abteilungen bemannte Sanitätsequipe eingeschaltet, die je nach Schwere des Falles am Zwischenfallsort erste Hilfe leistet oder aber gehfähige Patienten oder lediglich kontaminierte, nicht verletzte Personen am Zonenausgang übernimmt, nachdem sie in der Zone schon grobdekontaminiert worden sind. Die Feindekontamination und sonstige Behandlung erfolgt in den speziellen Sanitäts- und Personendekontaminationsräumen. Die Sanität ist auch für die Anforderung des Notfallarztes zuständig. Das EIR hat keinen eigenen Arzt. Im Bezirk, d.h. im Umkreis von etwa 10 km,stehen aber 10 Aerzte zur Verfügung, von denen immer einer als Notfallarzt auf Pikett steht. Der nächste Arzt wohnt kanpp einen Kilometer vom Institut entfernt. Für den Notfallarzt steht das erforderliche Instrumentarium (Notarztkoffer) an der Portierloge bereit, zusätzliche Geräte und Medikamente finden sich im Sanitätsgebäude, sodass der Arzt nicht seine privaten Instrumente in einer kontrollierten Zone oder an kontaminierten Patienten verwenden und dann anschliessend auf Kontaminationskontrolle und Reinigung warten muss, sondern sofort wieder für einen Notfalleinsatz frei ist. Die Notfallärzte sind über unsere besonderen Verhältnisse informiert worden und nehmen auch an Uebungen der Sanitätsequipe teil. Für konventionelle Unfälle und leichte Strahlenunfälle steht das ca. 10 km entfernte Kantonsspital Baden zur Verfügung. Bei Verbrennungen oder schweren Strahlenunfällen würde eine Einlieferung

in das Universitätsspital Zürich erfolgen. Dieses ist von der Schweiz. Unfallversicherungsanstalt SUVA in Zusammenarbeit mit den Kernkraftwerken und dem EIR als Kontraktspital verpflichtet worden und hält in einer dazu geeigneten Spezialklinik Betten und Spezialisten für solche Fälle mit entsprechender, durch Mitfinanzierung erkaufter, Priorität zur Verfügung. Glücklicherweise musste noch nie eine Spitaleinweisung aus dem EIR infolge Ueberexposition oder anderen radiologischen Gründen erfolgen.

Institutsintern wird nach einem Zwischenfall auch sofort die Beurteilungsstelle der Personenüberwachung SU, d.h. im Normalfall der Leiter der Personenüberwachung, zugezogen, die sowohl für Routineüberwachung wie Zwischenfälle die geeigneten Personenüberwachungsmassnahmen anzuordnen und die Resultate zu beurteilen hat. Dadurch soll sichergestellt werden, dass die Auswertung von Dosimetern rasch erfolgt und die für Inkorporationsüberwachung benötigten Probenahmen und Direktmessungen ohne Zeitverlust angeordnet und durchgeführt werden können. Sehr wichtig ist die Spurensicherung am Zwischenfallsort, inklusive Aktivitätsproben, Befragung von Zeugen, Fotoaufnahmen zur Erleichterung von Rekonstruktionen usw. Besonders bei α-Kontaminationen benötigt man Aktivitätsproben vom Zwischenfallsort, die eine rasche und genauere Spektrometrie und Nuklididentifizierung ermöglichen als die erst verzögert erhältlichen und meist sehr geringen Aktivitäten in Ausscheidungsproben. Damit könnten bei Transuranen auch Dekorporierungsmassnahmen rechtzeitig eingeleitet werden.

Möglichst bald nach einem Zwischenfall setzen sich die Verantwortlichen von Personenüberwachung, Betriebsüberwachung und betroffener Abteilung zusammen und planen das weitere Vorgehen, sowohl zur Abklärung von Ursachen, Ausmass und Folgen des Zwischenfalls, wie zur Behebung von Schäden und Wiederherstellung des Normalzustandes. Falls das Ereignis meldepflichtig ist, informiert die betroffene Abteilung die Direktion und diese die zuständige Kontrollinstanz.

Aehnlich, wenn auch mit zeitlicher Verzögerung, ist der Ablauf, wenn ein Zwischenfall erst später aufgrund einer Routineauswertung von Dosimetern oder Inkorporationsproben festgestellt wird. Die Abklärung wird dann oft sehr erschwert, weil die genauen Umstände und Abläufe nicht mehr immer sicher ermittelt werden können. Noch schwieriger und unangenehmer wird es, wenn ein Zwischenfall von den Beteiligten bewusst verschwiegen wurde und erst später aufgedeckt wird. So oder so kann die Rekonstruktion zu einer eigentlichen Detektivarbeit werden, unter Umständen aufwendige Rekonstruktionen von Zeit- und Handlungsabläufen sowie Bestrahlungsverhältnissen erfordern, und gelegentlich muss geradezu ein "Indizienprozess" durchgespielt werden, der nicht immer völlig schlüssige Resultate bringt. Zu den Schwierigkeiten gehört, dass Aussagen von Beteiligten über Zeitverhältnisse oft nur durch Rekonstruktion des Ereignisablaufs auf einigermassen realistische Grössenordnungen gebracht werden können, oder dass bei Wiederholungen der Bestrahlung an Phantomen die Messungen aus verschiedenen Gründen bei anderen als den beim Zwischenfall herrschenden Bedingungen oder Strahlenpegeln durchgeführt und dann extrapoliert werden müssen. Hat man Pech, so ergeben sich aus solchen Untersuchungen mehr neue Fragen als gestellte Fragen beantwortet werden konnten. Wir machten die Erfahrung, dass es immer wertvoll war, wenn möglichst viele und verschiedenartige Dosimeter verwendet worden waren und man dazu über genügend Daten aus der übrigen Arbeitspaltzüberwachung verfügte. So haben wir mehrmals wertvolle Zusatzinformationen aus den Dosimeterfilmen erhalten, die wir zwar rou-

tinemässig nicht mehr auswerten, die aber in unseren Interims-Dosimeterhaltern als Träger für die nachträglich eingebauten TLD-Chips weiterhin verwendet werden müssen.

Die Ergebnisse der Zwischenfallsabklärungen werden zusammen mit den daraus gezogenen Lehren und getroffenen Massnahmen in einem ausführlichen Zwischenfallsbericht festgehalten und mit den Beteiligten auch eingehend besprochen.

5. LEHREN AUS ZWISCHENFÄLLEN UND MASSNAHMEN ZUR VERBESSERUNG

Es wurde bereits gesagt, dass die ganze Untersuchung eines Zwischenfalls wenig Sinn hat, wenn nicht auch konsequent Folgerungen daraus gezogen werden. Diese sollen nicht auf die "Bestrafung" der Beteiligten an bereits geschehenen Zwischenfällen ausgerichtet sein, sondern darauf abzielen, ähnliche Vorkommnisse in Zukunft zu verhindern oder zumindest deren Wahrscheinlichkeit und Ausmass zu reduzieren. Es ist prinzipiell unmöglich, jedes Primärereignis auszuschalten, das zu einem Zwischenfall führen könnte. Es soll aber durch geeignete Massnahmen technischer Natur und richtige Ausbildung und Verhalten der beteiligten Personen angestrebt werden, die Ereigniskette frühzeitig, wenn möglich noch in der Phase der Beinahe-Zwischenfälle zu unterbrechen oder, wenn der Zwischenfall erst nach Vollendung erkannt wird, seine Auswirkungen möglichst zu begrenzen. Es gilt also u.a.:

- die Möglichkeiten für Zwischenfälle zu reduzieren durch:
  - Sicherheitsstudien schon bei der Planung
  - gute Zusammenarbeit von Konstrukteuren und Strahlenschutz
  - Versuche- und Arbeitsplanung unter Einbezug des Strahlenschutzes
  - "Trockenübungen" für heisse Arbeitsphasen
  - bessere Ausbildung im Strahlenschutz
  - Rotation des Ueberwachungspersonals zur Ausschaltung der Betriebsblindheit
- die frühzeitige Erkennung zwischenfallsträchtiger Situationen oder der Anfangsphasen von Zwischenfällen sicherzustellen durch:
  - vielseitige, angepasste, flexible Arbeitsplatzüberwachung mit optimierten Stichprobenmustern
  - gezielter Einsatz von Monitoren für Atemluft, Raumluft, Oberflächenkontamination, externe Strahlenpegel etc.,die speziell auf rasche Anzeige abnormaler Veränderungen und Unterdrückung von Fehlerquellen ausgelegt sind,
  - Selbstverantwortung und Selbstschutz der Berufstätigen in kontrollierten Zonen, mit entsprechender Ausbildung
  - Einsatz und optimierte Auswertung von persönlichen Dosisleistungs- und Dosisalarmgeräten, persönlichen Luftsammlern, direktablesbaren Dosimetern, Fingerdosimetern u.ä. je nach Arbeitsbedingungen.
- die Vorbereitungen für rasche, zweckmässige und ereignisgerechte Interventionen zu treffen und immer wieder einzuüben. Bei Verdacht lieber einmal zu viel als zu wenig eingreifen, auch wenn der Verdacht sich nicht bestätigt, ergeben sich meist trotzdem einige sinnvolle Verbesserungen.
- Zwischenfälle systematisch zu untersuchen, auszuwerten, die Lehren in die Praxis und Ausbildung zurückzuführen.

Generell ist dabei wichtig, dass zwischen Strahlenschutz und Übrigen Betriebsangehörigen eine enge, gute und vertrauensvolle Zusammenarbeit aufgebaut werden kann. Der Strahlenschutz soll nicht eine bussgeldverteilende Polizei sein, sondern ein geschätzter Helfer und Berater, der aber eingreift, wenn Selbstüberwachung und Eigenverantwortung versagen sollten. Im EIR hat es sich bewährt, dass die Funktion der "Strahlenschutzbeauftragten" in kontrollierten Zonen geschaffen wurden. Dies sind Mitarbeiter der dort tätigen Abteilungen, meist Gruppen- oder Vorhabensleiter, die in einem bestimmten Bereich einer kontrollierten Zone verantwortlich sind für die Einhaltung der Strahlenschutzweisungen, für das Meldewesen und für die Information der zuständigen Strahlenschutz-Chefkontrolleure, von denen sie umgekehrt über Ueberwachungsergebnisse usw. orientiert werden. Natürlich erfordert dies eine erweiterte Strahlenschutzausbildung mit periodischer Weiterausbildung und Repetition, es bringt aber auch für uns wertvolle Anregungen, Kritiken und Einsichten.

Der heutige Strahlenschutz besitzt im Prinzip die Mittel und Möglichkeiten, Zwischenfälle wirksam zu verhindern oder zu begrenzen, vorausgesetzt allerdings, dass ihm der gesetzliche Rahmen den nötigen Spielraum und die Eigenverantwortung läset, und dass die Strahlenschutzverantwortlichen nicht durch überbordenden administrativen Papierkrieg gehindert werden, ihre eigentlichen Aufgaben im Betrieb wahrzunehmen.

Literatur:

/1/ H. Brunner et al.Erfahrungen bei der Abfallkonditionierung im EIR WÜrenligen. "Radioaktive Abfälle", 13. Jahrestagung des FS, Köln 1979, in FS-79-20-T (im Druck)

/2/ R.J.Nertney, Advance preparation for accident investigation, 1977 IAEA-SM-215/24, p.535 in"Handling of Radiation Accidents" IAEA Wien

/3/ A.Carnino et al. Composantes humaines dans les phénomènes initiateurs d'accidents nucléaires, 1977, IAEA-Sm-215/35, p. 543 in "Handling of Radiation Accidents" IAEA Wien.

/4/ H. Brunner, T.HÜrlimann, The emergency organization of the Federal Institute for Reactor Research, 1977, IAEA-SM-215/5, p. 301 in "Handling of Radiation Accidents", IAEA Wien.

Ein Zwischenfall mit einer Teilkörperdosisüberschreitung

- Probleme und Folgerungen -

M. HEINZELMANN
Kernforschungsanlage Jülich
Abteilung Sicherheit und Strahlenschutz

Einleitung

Beim Umgang mit radioaktiven Stoffen lassen sich trotz der prophylaktischen Strahlenschutzmaßnahmen und trotz der Strahlenschutzüberwachung gelegentliche Überexpositionen nicht mit letzter Sicherheit ausschließen. Ein Überschreiten der Grenzwerte weist auf Mängel beim Umgang hin. Deswegen sollte bei jeder Dosisüberschreitung untersucht werden, wie weit Erkenntnisse aus diesem Einzelfall auch allgemeine Bedeutung haben. Das gilt auch für einen relativ kleinen Unfall, der sich in der Kernforschungsanlage Jülich ereignet hat.

Kurzbeschreibung des Unfalls

Bei der monatlichen Routineauswertung von Thermolumineszenzdosimetern, die zur Teilkörperdosisüberwachung verwendet worden waren, wurde auf einem an der rechten Hand getragenen Dosimeter eine Anzeige von 160 rad festgestellt. Das gleichzeitig an der linken Hand getragene Dosimeter zeigte einen Wert von 10 rad an. Bei der sofort angeordneten Überprüfung wurde festgestellt, daß die hohe Dosisbelastung bei Experimenten an einem Zyklotron aufgetreten war. Zur Produktion von Tl-201 wurden an Targets aus verschiedenen Thalliumlegierungen Belastungstests ausgeführt. Die Proben wurden im internen Strahl des Zyklotrons mit 30 MeV Protonen bestrahlt, und der Strahlstrom wurde stufenweise von 5 µA bis 45 µA erhöht. Nach der Bestrahlung wurde nach einer kurzen Wartezeit von 8-10 Minuten das Target vom Operateur ausgeschleust, kurz besichtigt und wieder eingeschleust.

Nach Erreichen der Stromstärke, bei der das Targetmaterial schmolz, wurde die Bestrahlung abgebrochen. Das Target wurde nach einer Wartezeit von etwa 30 Minuten vom Operateur mit einer Spezialzange abgekoppelt und auf einen Bleitisch gestellt. Zum Wechsel des Targetkopfes hielt der Operateur das Target mit einer langen Zange, und der Experimentator, der die hohe Dosis erhalten hatte, löste mit einem Inbusschlüssel 10 Schrauben, nahm die Schrauben mit einer 20 cm langen Pinzette heraus, wechselte das Target und schraubte die 10 Schrauben wieder fest.

Kopf, Rumpf und Beine des Experimentators waren bei dieser Arbeit durch eine Bleiwand mit Fenster geschützt. Das Filmdosimeter zeigte dementsprechend nur eine Personendosis von 340 mrem an.

Der beschriebene Wechsel bestrahlter Targets wurde insgesamt zweimal durchgeführt.

Einige Maßnahmen nach Bekanntwerden des Unfalls

Der Experimentator wurde umgehend einem ermächtigten Arzt vorgestellt. Dabei wurden weder im Blutbild noch lokal an den Händen Veränderungen festgestellt.

Die Aufsichtsbehörde ordnete Dosis- und Dosisleistungsmessungen durch einen unabhängigen Gutachter bei einer Rekonstruktion des Arbeitsablaufes an.

Bei der Rekonstruktion des Arbeitsablaufs wurde eine sehr hohe Dosisleistung in Targetnähe verursacht durch eine sehr weiche Strahlung festgestellt. D.h. die Dosisbelastung des Experimentators war hauptsächlich durch Betastrahlung hervorgerufen worden. Die Dosisleistung beim Unfall in 2,5 cm Abstand vom Target - diese Entfernung entspricht dem geringsten Abstand der Fingerspitzen des Experimentators vom Target - wurde für eine Gewebetiefe von 70 µm abgeschätzt zu 28 rd/s. Hinter 3 mm Plexiglas wurde nur noch etwa 4 % der mit einer Weichstrahlkammer gemessenen Dosisleistung angezeigt. Die Strahlenexposition wurde vom

unabhängigen Gutachter bestimmt für eine Gewebetiefe von 70 µm entsprechend der Definition der Teilkörperdosis im Fall der Haut nach Anlage 1 der StrlSchV (1).

Ergänzend zu den Messungen und zur Bestimmung der Strahlenexposition durch den unabhängigen Gutachter wurde von der Aufsichtsbehörde noch ein amtsärztliches Gutachten eingeholt. In diesem Gutachten wird die Dosis in 70 µm Tiefe umgerechnet auf eine Strahlenbelastung von etwa 120 rem in 2-3 mm Hauttiefe. In dieser Tiefe läuft die biologische Reaktion für eine Rötung der Haut ab. Aufgrund des amtsärztlichen Gutachtens wurde als "maximale strahlenbiologische Dosis" für die Teilkörperdosisüberschreitung von der Aufsichtsbehörde 120 rem festgelegt.

Maßnahmen und Vorschläge zur Vermeidung ähnlicher Unfälle

Die Ursachen für den Unfall sind scheinbar klar. Die Arbeitsrichtlinien des Instituts wurden mißachtet. Nach diesen Richtlinien beträgt die Wartezeit bis zum Hantieren an intern bestrahlten Proben mindestens 2 Stunden. Weiter wurden Dosisleistungsmessungen am bestrahlten Target nicht wie vorgeschrieben durchgeführt. Für das Lösen der Inbusschrauben sind Schraubenzieher von ca. 60 cm Länge vorgeschrieben und vorhanden. Diese Schraubenzieher wurden ebenfalls nicht benutzt. Wären die Richtlinien befolgt worden, wäre es nicht zur Teilkörperdosisüberschreitung gekommen.

Zur Vermeidung ähnlicher Unfälle wurde ein Sicherheitsausschuß für den Experimentierbetrieb am Zyklotron gegründet, der alle Experimente oberhalb einer festgelegten Gefährdungsschwelle hinsichtlich der geplanten Strahlenschutzvorkehrungen und der Arbeitssicherheitsaspekte überprüft.

Diese Verbesserung der Sicherheitsvorkehrungen ist eine notwendige, organisatorische Maßnahme. Das allein sollte aber noch nicht genügen. Für ein sicheres Arbeiten ist es erforderlich, daß jeder klar erkennen kann, welcher Gefahr er bei seiner Arbeit ausgesetzt ist. Das heißt beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, daß ein Experimentator weiß, wie hoch die Dosislei-

stung am Arbeitsplatz ist. Die zu erwartende Dosis läßt sich dann leicht mit Hilfe der Arbeitszeit abschätzen. Bei der Teilkörperdosisüberschreitung, über die hier berichtet wird, war der Experimentator ein Akademiker mit 13-jähriger Erfahrung im Umgang mit radioaktiven Stoffen. Er hatte die Dosisleistung offenbar völlig unterschätzt. Wie sollte er aber auch die Dosisleistung richtig abschätzen, wenn kein für die praktische Strahlenschutzüberwachung geeignetes Dosimeter auf dem Markt vorhanden ist, mit dem eine energieunabhängige Dosisleistungsmessung direkt an der Oberfläche bestrahlter Proben möglich ist. Zählrohrgeräte haben zwar eine kleine Sonde, mit der direkt an der Oberfläche gemessen werden kann. Wird die Dosisleistung aber hauptsächlich durch Betastrahlung erzeugt, so sagt die Anzeige des Zählrohrgerätes absolut nichts über den wahren Wert der Dosisleistung aus. Da Zählrohrgeräte für Betastrahlung sehr stark unterempfindlich sind, sind diese Geräte bei vorherrschen von Betastrahlung nicht nur nutzlos sondern sogar gefährlich.

Übliche Ionisationskammern sind andererseits zu groß, um damit direkt an der Oberfläche bestrahlter Proben zu messen. Die Ionisationskammeranzeige gibt den Mittelwert der Dosisleistung in der Kammer an. Im vorliegenden Fall wurde in 6 cm Abstand vom Target bei der Rekonstruktion des Arbeitsablaufes nur noch 1,3 % der Dosisleistung gemessen wie in 2,5 cm Abstand vom Target. Die mittlere Dosisleistung, die ein Gerät mit Ionisationskammer anzeigen würde, sagt wiederum wenig über die wahre Dosisleistung aus. Für die Strahlenschutzüberwachung fehlt einfach ein geeignetes, kleines Dosimeter, mit dem energieunabhängig die Dosisleistung von β- und γ-Strahlung an der Oberfläche aktivierter Proben bestimmt werden kann. Hätte der Experimentator ein solches Dosimeter zur Verfügung gehabt, wäre es höchstwahrscheinlich nicht zu dieser Teilkörperdosisüberschreitung gekommen. Ein geeignetes Meßgerät ist überzeugender als ein Verbot, wenn dessen Notwendigkeit nicht eingesehen wird. Es ist deswegen dringend erforderlich, ein Dosimeter zu entwickeln, mit dem die Dosisleistung direkt an der Oberfläche radioaktiver Präparate gemessen werden kann. Eine Möglichkeit hierzu bieten Halbleiterdetektoren. Es konnte gezeigt werden, daß mit Oberflächen-

grenzschicht-Detektoren (2) (3) die Betadosisleistung energieunabhängig bestimmt werden kann. Bei den bisherigen Versuchen wurden diese Detektoren leicht defekt. Ursache hierfür war wahrscheinlich eine falsche Kapselung der Detektoren. Mit geeigneter Kapselung sollte es möglich sein, ein Dosimeter mit Halbleiterdetektor zu entwickeln, mit dem eine noch vorhandene Lükke in der Strahlenschutzüberwachung geschlossen werden könnte.

Zur Frage geeigneter Dosimeter zur Bestimmung der Teilkörperdosis

Auch das Problem der Dosisbestimmung ist für die Routineüberwachung bei Betastrahlung noch nicht hinreichend gelöst. Die üblichen Dosimeter sind für Betastrahlung niedriger Maximalenergie stark unterempfindlich. Diese Aussage gilt aber nur, wenn - wie allgemein üblich - zur Bestimmung der Teilkörperdosis im Falle der Haut die Äquivalentdosis in 70 µm Tiefe bestimmt werden soll. Dies entspricht nach unserer Interpretation der Definition der Teilkörperdosis der Strahlenschutzverordnung.

Bei Dosimetern, die am Finger oder an der Hand getragen werden, könnte gegen eine Bestimmung der Dosis in 70 µm Tiefe eingewendet werden, daß die Epidermis an der Innenseite der Hand erheblich dicker als 70 µm ist. An der Rückseite der Hand und auch schon an den Seiten der Finger ist die Epidermis nur noch 60 bis 100 µm dick (Mittelwert 80 µm) (4). Dosimeter, die getrennt für die Innenseite der Finger und die 3 anderen Seiten die Dosis in verschiedenen Gewebetiefen ermitteln müßten, sind aber aus praktischen Gründen abzulehnen, so daß aufgrund der Dicke der Epidermis an der Hand nichts gegen eine Bestimmung der Dosis in 70 µm Tiefe einzuwenden ist.

Dieser Unfall hat aber gezeigt, daß eventuell eine Bestimmung der Dosis in 2-3 mm Gewebetiefe erforderlich ist. Für welche Gewebetiefe soll jetzt die Dosis bestimmt werden? Soll weiter die Entwicklung von Dosimetern angestrebt werden, die in der Lage sind, die Dosis in 70 µm Tiefe zu bestimmen, oder darf die Aussage des hier vorliegenden amtsärztlichen Gutachtens verallgemeinert werden, so daß künftig das Dosimeter an der Hand die

Dosis in Gewebetiefen von 2-3 mm angibt? Hier macht sich das Fehlen einer Richtlinie zur Bestimmung der Teilkörperdosis nachteilig bemerkbar. Solange eine solche Richtlinie nicht existiert, besteht für den Strahlenschutzbeauftragten völlige Unsicherheit darüber, wie die Teilkörperdosis bestimmt werden muß.

Aus dieser Teilkörperdosisüberschreitung folgt, daß dringend Dosimeter benötigt werden, mit denen die Dosisleistung sehr nahe an Oberflächen energieunabhängig bestimmt werden kann und daß eine Richtlinie zur Teilkörperdosisbestimmung baldmöglichst erlassen werden sollte.

Zahlreiche Kollegen haben mir bereitwillig Informationen über diesen Unfall zur Verfügung gestellt. Ihnen allen bin ich zu Dank verpflichtet.

Literatur

(1) Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlung,
Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. 125 (1976) 2905

(2) Heinzelmann, M.; Schüren, H.,
Betadosimetry with Surface Barrier Detectors,
in: Advances in Radiation Protection Monitoring,
Wien 1979, p. 77.

(3) Heinzelmann, M.; Schüren, H.; Dreesen, K.,
Betadosimetry with Surface Barrier Detectors,
in: 5th International Congress of the International Radiation Protection Association,
Jerusalem 1980, Vol. III, p. 97.

(4) Whitton, J.T.
Health Phys. 24 (1973) 1.

Möglichkeiten der Berechnung der Betadosis in kerntechnischem Anlagen nach Störfällen

D. PLATTHAUS

Rheinisch-Westfälischer Technischer Überwachungs-

Verein, 4300 Essen 1

Zusammenfassung

Im Fall von Aktivitätsfreisetzungen in Räumen kerntechnischer Anlagen kann es zu Kontamination der Raumluft und der raumbegrenzenden Flächen und Einbauten kommen. Im allgemeinen wird man versuchen, die Ortsdosisleistungen bei solchen Kontaminationslagen mittels Messungen zu bestimmen. Unter Umständen ist es jedoch wünschenswert, Berechnungsmethoden zur Hand zu haben, mit der Ortsdosisleistungen in den betroffenen Räumen ermittelten werden können.
In diesem Vortrag wird über Berechnungsmethoden berichtet, mit der die Beta-Dosisleistung durch die sich in der Raumluft befindenden radioaktiven Stoffe und die Beta-Dosisleistung über glatten gleichmäßig kontaminierten Flächen ermittelt werden kann.
Beide Methoden gehen von den im MIRD-Pamphlet Nr. 7 angegebenen Beta-Dosisleistungsverteilungen um Punktquellen verschiedener Nuklide aus. Die Maße der Räume und Flächen sowie die Nuklide (bzw. Maximalenergien) und Lage des Aufpunkts zu den Flächen werden berücksichtigt. Die Methoden sind dahingehend beschränkt, daß nur Daten für 65 Nuklide zur Verfügung stehen und bei der Berechnung der Beta-Dosisleistung über Flächen nur glatte Flächen berücksichtigt werden können.

1. Einleitung

Bei störfallbedingten Aktivitätsfreisetzungen in Räume kerntechnischer Anlagen besteht die Möglichkeit, daß Personal einem Strahlenfeld ausgesetzt ist, daß von der Raumluftkontamination und der Flächenkontamination im Raum herrührt. Im allgemeinen wird man versuchen über Messungen die Strahlenexpositionen des Personals direkt zu messen oder Daten über die Kontaminationslage zu erhalten, die eine Ermittlung der Strahlenexposition des Personals ermöglichen.
Eine Möglichkeit der Ermittlung der Beta-Dosisleistung an einem Aufpunkt in dem betroffenen Raum besteht in der nachträglichen Berechnung dieser Dosisleistung aus der Nuklidzusammensetzung in der Raumatmosphäre und auf den Flächen.
Zur Berechnung der Dosisleistungen wurden Methoden entwickelt, die einfache geschlossene Ausdrücke unter Berücksichtigung der Nuklidzusammensetzung und Raumgeometrie benutzen.
Die Berechnungsmethode wird in diesem Vortrag beschrieben.

2. Beschreibung der Rechenmethode

Aufbauend auf den Arbeiten von Spencer über Energieverlust von Elektronen beim Durchgang durch Materie (Spencer 1955,1959) veröffentlichte Berger die Dosisleistungsverteilung von punktförmigen Elektronen- und Betastrahlern in verschiedenen Medien im MIRD-Pamphlet Nr. 7 (Berger 1971). Valley at al. approximierten diese Dosisleistungsverteilungen durch eine Potenzreihe folgenden Typs (Valley et al. 1974):

$$\dot{D}_i(b) = \frac{\sum_{\nu=0}^{10} a_{i\nu} \left(\frac{b}{z_{i,90}}\right)^{\nu}}{4\pi b^2 z_{i,90} \cdot \rho} \cdot A_i \cdot n_i \cdot k \cdot \bar{E}_i \qquad (1)$$

mit

i	=	Nuklidindex
b	=	Entfernung des Aufpunkts von der Quelle /cm/
$\dot{D}_i(b)$	=	Dosisleistung /rad/s/
$a_{i\nu}$	=	Koeffizient
$z_{i,90}$	=	Entfernung von der Quelle, bei der 90% der Beta-Energie oder Elektronenenergie absorbiert sind /cm/
ρ	=	Dichte des die Quelle umgebenden Materials / g/cm³ /
A_i	=	Quellstärke /Zerfälle/s/
$\bar{E}_i$	=	mittlere Beta-Energie oder Elektronenenergie /MeV/
k	=	$1{,}602 \cdot 10^{-9}$ g.rad/MeV
n_i	=	Anzahl der Betas pro Zerfall

Ausgehend von (1) kann durch Point-Kernel-Integration die Dosisleistung im Abstand über einer gleichmäßig mit den Nuklid i kontaminierten glatten Kreisfläche mit Radius R_F angegeben werden mit

$$\dot{D}_{iF}(z) = \frac{a_{i0} \cdot \ln\left(\frac{R_i}{z}\right) + \sum_{\nu=1}^{10} \frac{a_{i\nu}}{\nu \cdot z_{i,90}^{\nu}} \left(R_i^{\nu} - z^{\nu}\right)}{2\rho\, z_{i,90}} \cdot A_{iF} \cdot n_i \cdot \bar{E}_i \cdot k \qquad (2)$$

wobei

$\dot{D}_{iF}(z)$	=	Dosisleistung /rad/s/,
z	=	Abstand des Aufpunkts über Fläche /cm/,
R_i	=	$\min \begin{cases} (z^2 + R_F^2)^{1/2} \\ \text{maximale Reichweite der Betas oder Elektronen /cm/ und} \end{cases}$
A_{iF}	=	Quelldichte auf der Kreisfläche (Zerfälle pro cm und s/

bedeuten.

Ähnlich erhält man aus (1) die Dosisleistung in der Mitte eines kugelförmigen Raumes mit Radius R_K, wenn die Raumatmosphäre homogen mit Aktivität gefüllt ist, mit

$$\dot{D}_{ik}(R_i) = \frac{A_{ik} \cdot \bar{E}_i \cdot n_i \cdot k}{\varrho} \cdot \sum \frac{a_{iv}}{v+1} \left(\frac{R_i}{z_{i,90}}\right)^{v+1} \qquad (3)$$

wobei $\dot{D}_{ik}$ = Dosisleistung /rad/s/,

R_i = min { R_K /cm/ ; maximale Reichweite der Betas oder Elektronen /cm/ }

und

A_{ik} = Quelldichte in Raumatmosphäre /Zerfälle $cm^{-3}s^{-1}$/

bedeuten.

Werte von mit (2) und (3) für einzelne Nuklide berechneten Dosiskonstanten über gleichmäßig kontaminierten glatten Flächen und in gleichmäßig kontaminierter Atmosphäre sind in den Tabellen 1 und 2 aufgeführt.
Die Ausdehnung der Kontamination wird dabei so groß angenommen, daß ihr Abstand vom Aufpunkt größer oder gleich der maximalen Reichweite der Beta-Teilchen oder Elektronen ist.

Tabelle 1 Dosisfaktoren für Beta-Strahlung von glatten Flächen

Nuklid	Dosisfaktoren /rad·m².s⁻¹·Ci⁻¹/ für eine Aufpunkthöhe von 5 cm	15 cm	100 cm	170 cm
Co 58	0,032	0,014	0	0
Co 60	0,122	0,030	0	0
K 40	0,203	0,139	0,0375	0,0150
Ce 144	0,101	0,023	0	0
Sr 90	0,184	0,091	0,00143	0
Xe 133	0,123	0,033	0	0
Kr 85	0,155	0,085	0,00384	0
J 131	0,173	0,0812	0,00177	0
Na 22	0,190	0,0931	0	0
Na 24	0,231	0,158	0,0398	0,0149
La 24	0,227	0,150	0,0373	0,0149
Ag 111	0,213	0,128	0,0172	0,00375

Die Werte wurden berechnet ohne Berücksichtigung der Abschirmung durch
a) Bodenrauhigkeit
b) Kleidung
c) äußere Hautschichten.

Tabelle 2 Dosisfaktoren für Beta-Submersion

Nuklid	Dosisfaktor /rem·m³.s⁻¹· Ci⁻¹/ nach MIRD 7	Abluftpapier (BMI 1979)
Co 58	0,00361	0,0042
Co 60	0,00877	0,01
Ce 144	0,00567	0,0082
Sr 90	0,0298	0,033
Xe 133	0,00876	0,012
Kr 85	0,0290	0,043
J 131	0,0272	0,034
Na 22	0,0267	0,032
Na 24	0,111	0,13
La 140	0,104	0,14

Die Dosisfaktoren gelten jweils für 0,07 mm Hauttiefe.

Die Dimensionen rad und rem wurden gewählt, um Vergleiche mit Literaturdaten zu erleichtern.

3. Grenzen der Methoden

Die Koeffizienten aiv sind in der Literatur für 65 beta-strahlende Nuklide und 9 diskrete Elektronenenergien angegeben /Valley 1974), so daß die Berechnungsmethode auf diese Nuklide und Energien beschränkt ist. Es besteht jedoch die Möglichkeit, über die Zusammenhänge

Dosisleistungen = f (Beta-Energie)

aus bekannten Nukliden Dosisleistungen für nicht in der o.g. Literatur genannte Nuklide zu ermitteln.
Eine weitere Einschränkung der Methoden liegt in der idealisierten Darstellung der Quellgeometrien. Die Berechnung der Dosisleistung über ebenen Flächen setzt glatte Flächen voraus. Bei rauhen Flächen, die normalerweise große Teile der Kontamination etwas bedecken, ist die Methode wegen der geringen Reichweite von Beta-Teilchen und Elektronen in fester Materie nicht anwendbar.

Nach dieser Darstellung der Grenzen der Methoden soll ein Blick auf die Literatur geworfen werden.

4. Vergleich mit Berechnungsmethoden aus der Literatur

Die in der Literatur angegebenen Methoden zur Berechnung der Beta-Dosisleistung über gleichmäßig kontaminierten Flächen oder in einer gleichmäßig kontaminierten Wolke beruhen im allgemeinen auf einer Formel von Loevinger. So findet man Ausdrücke für Dosisleistungen über Flächen (Healy und Baker,1968; Skirvaikar und Abrol, 1978) und für Beta-Submersion (BMI,1979).

Für den Vergleich der Loevingerschen Methode mit der hier vorgestellten sind die Werte in Tabelle 3 für Dosisleistungen über Flächen zusammengestellt worden.

Entsprechende Werte für die Beta-Submersion sind in Tabelle 2 gegenübergestellt.

Zur Loevingerschen Formel ist zu sagen, daß sie vom Ansatz her eine unstetige Funktion der Dosisleistung uber der maximalen Beta-Energie ist, die, ähnlich wie beim Submersionsproblem nicht nuklidspezifisch arbeitet. Die Dosisfaktoren in der Literatur setzen Ausmaße der Kontaminationen voraus, die die maximale Reichweite der Beta-Teilchen überschreiten.

Der Vergleich der nach in dieser Arbeit vorgestellten Methode ermittelten Dosisleistungen mit den angeführten Literaturwerten zeigt, daß die Loevingersche Methode für Beta-Submersion etwas größere Werte liefert während ihre Dosisleistungen über glatten Flächen z.T. unter den Werten dieser Arbeit liegen. Die Unterschiede sind bei der Beta-Submersion in der fehlenden Nuklidspezifizierung bei Loevinger und der wohl damit zusammenhängenden pessimistischen Betrachtungsweise und bei der Beta-Strahlung über ebenen Flächen bei den verschiedennen Rechenmethoden zu suchen.

Tabelle 3 Dosisfaktoren für Beta-Strahlung über ebenen Flächen

max. Beta-Energie /MeV/	Dosisfaktor /rad/s/Ci/m³/ bei Abstand von ebener Fläche von					
	15 cm		50 cm		75 cm	
	nach Loevinger	diese Arbeit	nach Loevinger	diese Arbeit	nach Loevinger	diese Arbeit
0,2	1,1(-4)	1,0 (-2)	-	-	-	-
0,5	5,2(-2)	9,0 (-2)	4,4 (-4)	1,2 (-2)	1,4(-5)	1,2(-3)
1,0	0,25	0,14	2,5 (-2)	5,5 (-2)	7,0(-3)	3,0(-2)
2,0	0,24	0,17	0,10	0,1	6,3(-2)	6,5(-2)

5. Literatur

L.V. SPENCER, Theory of Electron Penetration,
Phys.Rev. 98,65 (1955) 1597

L.V. SPENCER, Energy Dissipation by Fast Electrons,
NBS Monograph 1, Washington 1959.

M.J.BERGER, Distribution of Absorbed Dose Around Point Sources of Electrons and Beta-Particles in Water and other Media, NM/MIRD Pamphlet No. 7
J.Nucl. Med. 12, Suppl. 5 (1971)

I.F. VALLEY et al., A Method for the Calculation of Beta-Ray Dose,
Health Physics 26,4 (1974) 295.

J.W. HEALY, R.E. BAKER, Radioactive Cloud-dose Calculations, in: Meteorology and Atomic Energy (Slade Editor), USAEC 1968.

V.V. SHIRVAIKAR, V. ABROL, Manual of Dose Evaluation from Atmospheric Releases, BARC/I-503, Bombay 1978.

BMI, Allgemeine Berechnungsgrundlage für die Strahlenexposition bei radioaktiven Ableitungen mit der Abluft oder in Oberflächengewässer (Richtlinie zu § 45 StrlSchV).
GMBl Nr. 21 vom 15.08.1979.

Erfahrungen mit bisherigen Strahlenunfällen - Ursachen, Abläufe, Gegenmaßnahmen

F.-E. Stieve

Institut für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes, Neuherberg bei München

Ein Strahlenunfall ist nach der Definition der Strahlenschutzverordnung ein Ereignisablauf, der für eine oder mehrere Personen eine die Grenzwerte übersteigende Strahlenexposition oder Inkorporation radioaktiver Stoffe zur Folge haben kann, soweit er nicht zu den Störfällen zählt. In diese Definition sind Strahlenunfälle bei medizinischen Maßnahmen nicht eingeschlossen. Sie werden jedoch wegen der dabei auftretenden Reaktionen mit behandelt.

Strahlenunfälle sind sehr seltene Ereignisse. Seit 1972 wurden in der Bundesrepublik Deutschland 64 Vorkommnisse mit Stör- und/oder Unfällen gemeldet. Dabei waren in 28 Fällen insgesamt etwa 55 Personen betroffen. In etwa der Hälfte der Fälle kam es zu Strahleneinwirkungen von außen, bei 26 Personen zu Kontaminationen oder geringfügigen Inkorporationen. Akute Schäden wurden in 6 Fällen beobachtet. Schwerere Schäden wurden im Berichtsabschnitt nicht festgestellt. Die eingeleiteten Maßnahmen bestanden zunächst in der Ermittlung des Schadensumfanges und der wahrscheinlich von den Personen aufgenommenen Dosis. Klinische Behandlungen waren nur in seltenen Fällen erforderlich. Soweit es sich um technische Fehler handelte, wurden diese abgestellt.
Aufgrund dieser Vorkommnisse sowie sonstiger auch schon früher bekanntgewordener Schadensfälle wurden Behandlungsschemata erstellt, die bei Bestrahlung von außen bei einer Ganzkörperexposition zwischen 25 und 100 rd umfangreichere diagnostische Maßnahmen vorsehen, ab 100 rd wird eine klinische Beobachtung und evtl. Behandlung für erforderlich gehalten. Bei Teilkörperexpositionen werden ab etwa 300 rd klinische Maßnahmen notwendig. Bei Kontamination oder Inkorporation sind schon bei Überschreiten des Grenzwertes Maßnahmen notwedig. Besondere Vorkehrungen sind bei Kombinationsschäden (z.B. Verletzung und Strahlenexposition) erforderlich.

Die Erfahrungen auch in der Behandlung des Strahlensyndroms, die z.B. bei der Therapie der kindlichen Leukämie gewonnen wurden, lassen erkennen, daß eine gezielte Behandlung in der Lage ist, die zu erwartenden klinischen Erscheinungen zu mildern oder zu verhindern. Das umfangreiche Schrifttum kann auch den weniger Erfahrenen über die Behandlungsmöglichkeit unterrichten, denn die erforderlichen Maßnahmen sollten möglichst schon am Unfallort eingeleitet werden.

Siehe: HINWEIS, Seite IV

S I T Z U N G 3

INKORPORATION UND DEKORPORATION

Inkorporationswerte nach ICRP-30

A. Kaul

Klinik Steglitz der Freien Universität Berlin,
Physik und Strahlenschutz (Biophysik)

Während der vergangenen 20 Jahre stützten sich die Strahlenschutzgesetzgebung und praktischen Strahlenschutzmaßnahmen beim beruflichen Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen auf Grenzwerte der Aktivitätskonzentration in Luft und Wasser und Werte der höchstzzlässigen Körperbelastung, die 1959 als Empfehlungen in der Veröffentlichung 2 der Internationalen Strahlenschutzkommission erschienen waren und 1964 in der Veröffentlichung 6 geringfügig ergänzt wurden. Neue Erkenntnisse über die biologische Strahlenwirkung, die Aufnahme, Verteilung und Ablagerung von radioaktiven Stoffen im Körper und über die physikalischen Zerfallseigenschaften der Radionuklide sowie die geänderten grundlegenden Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission in der Veröffentlichung 26 machten es erforderlich, einen neuen Bericht mit Grenzwerten für die beruflich bedingte Aufnahme von radioaktiven Stoffen herauszugeben. Es handelt sich hierbei um sog. sekundäre Grenzwerte, durch die die Zufuhr von Radionukliden für Beschäftigte nach dem Grundsatz beschränkt wird, daß die Äquivalentdosis von Einzelpersonen die von der Internationalen Strahlenkommission für die jeweiligen Bedingungen in ihrer Veröffentlichung 26 empfohlenen Dosisgrenzwerte nicht überschreiten darf.

Das den Berechnungen der Grenzwerte zugrundeliegende neue Stoffwechselmodell ist im wesentlichen dadurch gekennzeichnet, daß nicht mehr nur zwischen "löslichen" und "unlöslichen" Verbindungen von Elementen unterschieden wird, sondern daß die Resorption der Element-Verbindungen aus dem Darm nach Ingestion und deren Retention im pulmonalen Abschnitt des Respirationstraktes nach Inhalation zeitabhängig und individuell berücksichtigt werden.

Das dosimetrische Modell für den Gastrointestinal-Trakt besteht wie früher aus den Abschnitten Magen, Dünndarm, oberer und unterer Dickdarm mit geringfügigen Änderungen hinsichtlich der Masse des jweiligen Inhalts und dessen mittlerer Aufenthaltsdauer. Die Resorption von radioaktiven Stoffen erfolgt aus dem Dünndarm in die Körperflüssigkeiten, die das sog. Transferkompartiment darstellen und aus denen der radioaktive Stoff wie bereits früher nach einer Kinetik 1. Grades in Organe oder Gewebe ausgeschieden wird.

Im Gegensatz zum früheren Modell in der Veröffentlichung 2 von 1959 besteht das doimetrische Modell für den Respirationstrakt in der ICRP-Veröffentlichung 30 aus den drei deutlich abgegrenzten Bereichen Nasen-Rachenraum, Tracheo-Bronchialraum und Lungenparenchym, die ihrerseits in zwei oder mehr Kompartimente

unterteilt sind und aus denen das größenabhängig abgelagerte radioaktive Aerosol nach einer Kinetik 1. Grades in die Körperflüssigkeiten (Transferkompartiment) direkt oder über die Lymphknoten indirekt bzw. in den Gastrointestinal-Trakt ausgeschieden wird.

Das dosimetrische Modell für den Knochen betrachtet als risikorelevantes Gewebe die blutbildenden Stammzellen des Knochenmarks sowie eine 10 µm dicke Zellschicht auf den Knochenoberflächen insbesondere des Endost und unterscheidet zwischen radioaktiven Stoffen, die oberflächlich auf dem Knochen oder gleichmäßig über das Knochenvolumen verteilt vorliegen. Es ist damit wesentlich von dem alten Modell verschieden, in dem sich die Grenzwerte für die Zufuhr eines Radionuklids aus dem Vergleich der Dosen mit der durch 0,1 µg ^{226}Ra entsprechend 0,3 Sv (30 rem) - ggf. mit einem relativen Schädigungsfaktor gewichtet - errechneten.

In Erweiterung der Empfehlung von 1959 wird in der ICRP-Veröffentlichung 30 ein Modell zur Ableitung der Aktivitätskonzentration für Submersion einer Einzelperson in einem radioaktiven Edelgas oder in elementarem Tritium beschrieben, das die ursprüngliche Annahme der gleichmäßigen Bestrahlung des Körpers durch alle korpuskulären Strahlungsarten mit Reichweiten größer als die von 0,1 MeV Betateilchen aufgibt und der Absorption in den Hautschichten Rechnung trägt.

Für jede angegebene chemische Form und für jedes Radionuklid - in der ICRP-Veröffentlichung 30, Teil 1 zunächst für 187 Radioisotope von 21 Elementen - sind der sekundäre Grenzwert "Grenzwert der Jahresaktivitätszufuhr ALI" durch Ingestion oder Inhalation sowie der Wert der "Abgeleiteten Aktivitätskonzentration in Luft DAC" angegeben, der durch Division des Grenzwertes der Jahresaktivitätszufuhr durch das Volumen Luft erhalten wird, das von dem Referenzmenschen in einem Beschäftigungsjahr eingeatmet wird. Die Veröffentlichung 30 enthält außerdem abgeleitete Werte der Aktivitätskonzentration in Luft für Submersion des Referenzmenschen in einer Wolke radioaktiven Edelgases und elementaren Tritiums.

Vergleicht man die bisherigen aus den maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationen in ICRP-2 berechneten Grenzwerte für die Zufuhr von Radionukliden durch Ingestion und Inhalation mit den in ICRP-30, Teil 1 vorliegenden Grenzwerten der Jahresaktivitätszufuhr, dann zeigt sich, daß 51 % der Werte innerhalb eines durch den Faktor 3 gegebenen Bereichs übereinstimmen, 25 % der neuen Werte größer und 24 % kleiner sind als die alten. Darüber hinaus liegt das geometrische Mittel aller Verhältnisse neue/alte Werte nahe bei 1 (1,02.).

Siehe: HINWEIS, Seite IV

MÖGLICHKEITEN DER JODPROPHYLAXE IM STRAHLENSCHUTZ

E. Oberhausen

Abteilung für Nuklearmedizin der Radiologischen Universitätsklinik, Homburg/Saar

Die verschiedenen radioaktiven Isotope des Jod gehören mit zu den wesentlichen Spaltprodukten, die beim Betrieb von Kernreaktoren entstehen. Daher muß bei Störfällen und Unfällen unter ungünstigen Umständen mit der Abgabe von radioaktivem Jod in die Luft der Umgebung gerechnet werden. Dieses Jod wird mit der Atemluft aufgenommen und in den Lungen vollständig resorbiert. Es kommt zu einer vorübergehenden Anreicherung in den Speicheldrüsen und in der Magenschleimhaut und insbesondere zu einer langanhaltenden Speicherung in der Schilddrüse. Eine angestrebte Jodprophylaxe hat zum Ziel, die Speicherung des radioaktiven Jod in der Schilddrüse und damit die Strahlenbelastung dieses Organs weitgehend zu vermeiden. Dies läßt sich dadurch erreichen, daß vor der Aufnahme des radioaktiven Jod dem Organismus eine größere Menge von stabilem Jod verabreicht wird, durch dessen Aufnahme die Schilddrüse für die weitere Speicherung von Jod blockiert wird. Da es wichtig ist, daß die Blockade möglichst vollständig ist, muß anfänglich eine hohe Plasmakonzentration von stabilem Jod angestrebt werden, was sich durch eine Anfangsdosis von 200 mg Kaliumjodid erreichen läßt. Da sich die Freisetzung von radioaktivem Jod über mehrere Stunden oder sogar Tage erstrecken kann, ist es notwendig, in Abständen von etwa 8 Stunden jeweils weiter 100 mg Kaliumjodid zuzuführen.

Die Risiken einer derartigen Jodprophylaxe sind relativ gering, jedoch muß mit der Provokation latenter Hyperthyreosen gerechnet werden, deren Inzidenz bei maximal 0,2 % der betroffenen Bevölkerung liegen dürfte.

Siehe: HINWEIS, Seite IV

Planung und Durchführung der Inkorporationsüberwachung bei möglicher und tatsächlicher Strahlenbelastung

D. Beyer
Kernforschungsanlage Jülich
Abteilung Sicherheit und Strahlenschutz

1. Aufgaben der Inkorporationsüberwachung

Nach Ziffer (9) der ICRP-Empfehlung 26/1/ besteht das Ziel des Strahlenschutzes darin "schädliche nicht-stochastische Effekte beim Umgang mit radioaktiven Stoffen zu verhindern und die Wahrscheinlichkeit stochastischer Effekte auf ein akzeptables Maß zu senken". Zur Festlegung von Dosisgrenzwerten, die diesem Grundsatz entsprechen, sind einerseits Betrachtungen zur Beziehung zwischen der Dosis und der durch sie verursachten Schädigung erforderlich, andererseits sind Verfahren zu entwickeln, die die Bestimmung der Dosis bei äußerer und innerer Strahlenbelastung gestatten.
Spezielle Aufgabe der Inkorporationsüberwachung ist die Ermittlung der Zusammenhänge zwischen Dosis und Aktivitätszufuhr und zwischen Aktivitätszufuhr und den Ergebnissen der Inkorporationsüberwachung. Bei der Ableitung dieser Zusammenhänge geht man im allgemeinen von Modellvorstellungen aus, mit denen die oft komplexen Abläufe mehr oder weniger stark vereinfacht werden.

2. Grundlagen der Dosisermittlung

2.1 Zur Beziehung Dosis-Aktivitätszufuhr

Die Dosisermittlung bei interner Kontamination besteht aus zwei Aufgaben, und zwar

- Bestimmung der Anzahl der Zerfälle in den verschiedenen Körperorganen
- Berechnung der Dosis infolge der in den Organen stattfindenden Zerfälle

Zur Bestimmung der Anzahl der Zerfälle in den Körperorganen muß das Stoffwechselverhalten der Radionuklide nach Eintritt in den Körper quantitativ erfaßbar sein. Grundlage vieler Stoffwechselmodelle, auch der in der ICRP-Empfehlung 30/2/ angewendeten, ist die Annahme, daß der Körper aus einer Anzahl getrennter Kompartimente besteht /Abb. 1/, die ihrerseits wieder in Unterkompartimente unterteilt sein können.
Zur Beschreibung der Depositions- (Ablagerung) und Clearence- (Ausscheidung) vorgänge nach Inhalation wurde 1966 das "Lungenmodell"entwickelt /3/, das, abgesehen von einigen Detailänderungen, in ICRP 30 übernommen wurde.

In diesem Modell ist der Atemtrakt in 3 Kompartimente (Regionen) und insgesamt 8 Unterkompartimente aufgeteilt. Beschrieben wird 1. die Abhängigkeit der Deposition in den Kompartimenten von der Partikelgröße und 2. die Abhängigkeit der Ausscheidung aus den Kompartimenten von der Transportabilität der abgelagerten Nuklidverbindung. Dazu können die Verbindungen drei Transportabilitätsklassen zugeordnet werden, und zwar entweder zu den transportablen - (Klasse D), zu den mäßig transportablen - (Klasse W) oder zu den schwer transportablen Verbindungen (Klasse Y) /Abb. 2/.

Die Kinetik von Radionukliden nach Ingestion wird in ICRP 30 durch ein Modell beschrieben, in dem der Magen-Darm-Trakt in vier Kompartimente gegliedert ist und die Ausscheidung aus jedem Kompartiment, ähnlich wie beim Atemtrakt, durch spezifische Konstanten charakterisiert wird /Abb. 3/.

Die Verteilung und Retention der Nuklide nach systemischer Zufuhr, d.h. nach Aufnahme durch die extracellularen Flüssigkeiten in das Transferkompartment, wird für einzelne Nuklide oder Nuklidgruppen durch Spezialmodelle beschrieben, die in ICRP 30 an entsprechender Stelle im Abschnitt "Metabolische Daten" zu finden sind.

Mathematische Grundlage zur Berechnung der in einzelnen Kompartimenten stattfindenden Zerfälle ist für die meisten der in ICRP 30 angegebenen Nuklide die folgende Differentialgleichung:

$$\frac{dq_i}{dt}(t) = \dot{I}_i(t) + \lambda_{(i-1,i)}\, q_{(i-1)}(t) - \lambda_i q_i(t)$$

$q_i(t)$: Gesamte Aktivität im Kompartiment i zur Zeit t

$\dot{I}_i(t)$: Aktivitätsaufnahmerate von außen in das Kompartiment i

$\lambda(i-1,i)$: Transferkonstante vom Kompartiment (i-1) zum Kompartiment i

$\lambda(i)$: Transferkonstante aus dem Kompartiment i

Diese Gleichung wurde nicht angewendet, wenn in einem Modell "Feedback"-Effekte zu berücksichtigen waren und wenn der Transfer aus den Kompartimenten nicht durch eine Transferkonstante beschrieben wird.

Integriert man die Gleichung mit den Nebenbedingungen, daß $\dot{I}_{(i)}(t)$ für alle Kompartimente i gleich null ist, eine kurzzeitig dem System zugeführte Aktivität gleich $q_{(1)}(t=0)$ ist und alle weiteren $q_{(i)}(t=0)$ gleich null sind, erhält man mit $q_{(i)}(t)$ die Aktivität im Kompartiment i zum Zeitpunkt t. Die weitere Integration in dem interessierenden Zeitraum 0 bis τ liefert schließlich die Anzahl der Zerfälle U_τ im Kompartiment i.

Zur Berechnung der Äquivalentdosis $H_\tau(T \leftarrow S)$ in einem beliebigen Targetorgan T, die auf der Anzahl der Zerfälle U_τ eines Radionuklids in einem Quellorgan S zurückzuführen ist, gilt die folgende Gleichung:

$$H_\tau(T \leftarrow S)_i = U_{\tau,S} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-10} \cdot SEE(T \leftarrow S)_i \qquad Sv$$

$U_{\tau,S}$: Anzahl der Zerfälle in der Zeit τ im Quellorgan S

$1{,}6 \cdot 10^{-10}$: Proportionalitätsfaktor ($J \cdot g \cdot MeV^{-1} \cdot kg^{-1}$)

$SEE(T \leftarrow\!\!- S)_i$: spezifische effektive Energie für den Strahlentyp i, die im Targetorgan T bei jedem Zerfall im Quellorgan S absorbiert wird ($MeV \cdot g^{-1}$)

Integriert man bei der Berechnung von U über 50 Jahre erhält man das "Committed"-Dosis-Äquivalent $H_{50}(T \leftarrow\!\!- S)_i$.

Werden bei einem Zerfall mehrere Strahlenarten emittiert, so sind zur Berechnung der Gesamtdosis die für jede Strahlenart i berechneten Dosen zu addieren. Es ergibt sich:

$$H_{50}(T \leftarrow\!\!- S) = U_{50,S} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-10} \sum_i SEE(T \leftarrow\!\!- S)_i \quad Sv$$

Die Werte für $\sum_i SEE(T \leftarrow\!\!- S)$ sind für einzelne Radionuklide und verschiedene Target- und Quellorgane in den Ergänzungen zu ICRP 30 angegeben.

Zur Berechnung der Gesamtdosis im Targetorgan T ist die Bestrahlung aus ggf. mehreren Quellorganen zu berücksichtigen. Es sei abschließend bemerkt, daß bei gering durchdringender Strahlung (z.B. α, β) mit wenigen Ausnahmen das Quellorgan auch das einzige Targetorgan ist.

2.2 Zur Beziehung Aktivitätszufuhr-Meßergebnis

Mit der im vorhergehenden Kapitel "a priori"-Ableitung des Zusammenhangs zwischen Dosis und Aktivitätszufuhr kann in den Fällen, in denen Anatomie und Stoffwechsel des Überwachten und des Standardmenschen übereinstimmen, die Aufgabe der Überwachung auf die Ermittlung der Aktivitätszufuhr zurückgeführt werden. Meßmethoden der Inkorporationsüberwachung sind die Ganzkörpermessung (vorwiegend bei γ-Strahlern) und die Messung der Aktivität der Ausscheidungen (vorwiegend bei β- und α-Strahlern). Meßergebnis ist bei der Ganzkörpermessung die zum Zeitpunkt der Messung im Körper enthaltene Aktivität und bei der Ausscheidungsmessung der Gehalt einer in einem begrenzten Zeitraum abgegebenen Probe. Zur Ermittlung einer zum Zeitpunkt t=0 zugeführten Aktivität muß der funktionelle Zusammenhang zwischen der Retention bzw. der Ausscheidung und der Zeit bekannt sein. Ideal wäre ein Zustand, in dem dieser Zusammenhang für jede

Nuklidverbindung, jeden Zufuhrpfad etc. und in Abhängigkeit von speziellen anatomischen und physiologischen Variationen als empirisch gewonnenes Ergebnis vorläge. Diesem Idealzustand kann man z. B. bei der Tritiumüberwachung nahe kommen.
Für die meisten Nuklide fehlen diese Erfahrungswerte, so daß auf die Anwendung von Modellen, wie die im vorhergehenden Kapitel vorgestellten und ggf. zutreffendere, nicht verzichtet werden kann. Stimmen Modell und Wirklichkeit nicht überein, ergeben sich besonders in der Ausscheidungsüberwachung große Fehler, da von einem kleinen Anteil der in den Ausscheidungen enthaltenen Aktivität auf die Gesamtzufuhr geschlossen wird. (Dies mag der Grund sein, daß in ICRP 30 keine Ausscheidungsfunktionen zu finden sind.)
Das Ergebnis der Anwendung einer Modellrechnung für die Urinüberwachung ist in den Abb. 4 und 5 dargestellt /aus 4/. Angenommen wurde die Inhalation eines Aerosols (1 µm AMAD), das eine mäßig transportable Uranverbindung enthält. Zugrunde gelegt wurden das ICRP-Lungenmodell und eine exponentielle Ausscheidung des systemisch aufgenommenen Urans. Feedback-Effekte wurden außer acht gelassen.

3. Überwachungsarten, Erfordernis zur Überwachung

Bei der praktischen Durchführung der Inkorporationsüberwachung wird im allgemeinen zwischen einer regelmäßigen-und einer Überwachung aus besonderem Anlaß unterschieden. Während die Überwachung aus besonderem Anlaß nur im Bedarfsfall erfolgt und das Ergebnis meistens auf einen bestimmten Zeitpunkt bezogen werden kann, wird die regelmäßige Überwachung in vorsorglicher Absicht durchgeführt, um die in einem festgelegten Zeitraum, dem Überwachungsintervall, unerkannt gebliebenen Inkorporationen zu erfassen.
Unmittelbares Ziel der Überwachung aus bes. Anlaß ist die Ermittlung der bei dem gegebenen Anlaß zugeführten Aktivität; mit der regelmäßigen Überwachung soll sichergestellt werden, daß vorher festgelegte maximal zulässige Aktivitätszufuhren in einem Überwachungsintervall nicht überschritten wurden.

Das Erfordernis zur Überwachung aus bes. Anlaß ist bei erhöhtem Inkorporationsrisiko (z.B. bei der Erprobung neuer Verfahren) und bei einem Verdacht auf Inkorporationen (z.B. aufgrund von Kontaminationsmessungen) gegeben. Eine vorherige Festlegung des für diese Überwachungsart in Frage kommenden Personenkreises ist nicht möglich. Erfahrungsgemäß sind in erster Linie beruflich exponierte Mitarbeiter betroffen, obwohl bei Aktivitätsfreisetzungen in die Umgebung auch bei Personen der Bevölkerung eine direkte Dosisermittlung erforderlich ist.
Regelmäßig überwacht werden nahezu ausschließlich die Personen, die beruflich mit offenen radioaktiven Stoffen umgehen. Dies sind zur Zeit in der Kernforschungsanlage Jülich (KFA) etwa 1000 Personen. Um die personell und materiell recht aufwendigen Überwachungen auf die Tätigkeiten mit tatsächlichem bzw. erhöhtem Risiko zu beschränken, muß eine Auswahl getroffen werden, deren Methoden in der Bundesrepublik in einer Richtlinie /5/ vorgeschrieben werden.
Danach ist bei häufiger Handhabung offener radioaktiver Stoffe eine regelmäßige Inkorporationsüberwachung erforderlich, wenn die über die Woche gemittelte arbeitstäglich gehandhabte Aktivität das Zehnfache des Grenzwerts der Jahresaktivitätszufuhr über Luft für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A übersteigt. Dies ist lt. Richtlinie die Aktivitätsschwelle für die Inkorporationsüberwachung . Sollte in einem speziellen Fall dieses Kriterium erfüllt sein, kann trotzdem auf eine regelmäßige Überwachung verzichtet werden, wenn die Behörde davon zu überzeugen ist, daß "aus der Art der Handhabung eine Gefährdung des Anwenders ausgeschlossen werden kann".

Zur Beurteilung des Sachverhalts sollte dann der Behörde eine Übersicht über die Inkorporationsmöglichkeiten mit mindestens folgenden Angaben vorgelegt werden.

- Beschreibung der Arbeitsvorgänge bei der Handhabung von radioaktiven Stoffen
- im Wochenmittel arbeitstäglich gehandhabte Aktivität
- Art, spez. Aktivität, phys.-chem. Beschaffenheit der verwendeten Radionuklide

- Schutzmaßnahmen
- Vorschlag für Überwachungsmaßnahmen

Als Entscheidungshilfe zur Abschätzung des Inkorporationsrisikos wird eine Formel angegeben, in die die oben geforderten Angaben, die einen Verzicht auf die regelmäßige Überwachung begründen sollen, zum Teil eingehen.

4. Durchführung der Inkorporationsüberwachung

4.1 Voraussetzungen organisatorischer Art

Vorausbedingung für den reibungslosen Ablauf einer Überwachung und Gewähr für eine hohe Aussagekraft der Überwachungsergebnisse ist der funktionierende Informationsfluß zwischen überwachter Stelle und der Meßstelle. Die überwachte Stelle sollte dazu durch einen personen-, sach- und ortskundigen Strahlenschutzbeauftragten vertreten werden. Seine Aufgabe gegenüber der Meßstelle besteht darin, diese über den zu überwachenden Personenkreis, über das Nuklid, dessen phys.-chem. Eigenschaften, über den wahrscheinlichen Zufuhrpfad und, bei der besonderen Überwachung, über noch vorhandene Kontaminationen und den Zeitpunkt der Inkorporation zu unterrichten sowie die Durchführung des von der Meßstelle ausgearbeiteten Überwachungsprogramms zu veranlassen.
Andererseits hat die Meßstelle die erforderlichen Messungen durchzuführen und die Meßergebnisse den Strahlenschutzbeauftragten und anderen interessierten Stellen interpretiert darzustellen.
Abb. 6 zeigt das seit kurzem in der KFA zur Feststellung des Erfordernisses zur regelmäßigen Inkorporationsüberwachung verwendete Formular. Die Daten zur Person und zum Umgang werden mit diesem Formular der Inkorporationsmeßstelle mitgeteilt. Erfordernis, Art und Häufigkeit der Überwachungen werden auf der Basis dieser Angaben unter Anwendung der Richtlinienkriterien von der Meßstelle festgelegt.
Ist eine Überwachung aus besonderem Anlaß erforderlich, so wird die Meßstelle durch den in Abb. 7 gezeigten Überweisungsschein informiert.

Zur Berichterstattung werden die Ergebnisse der regelmäßigen Überwachung per EDV und die Berichte der besonderen Überwachung von Hand zu Berichten zusammengestellt.

4.2 Voraussetzungen fachlicher Art

4.2.1 Meßmethoden

Da eine regelmäßige Inkorporationsüberwachung nicht in einem zeitlichen Zusammenhang mit einem bestimmten Vorkommnis steht, besteht kein unmittelbarer Zwang zu einer beschleunigten Durchführung der Messungen. Bei dieser Überwachung, die langfristige Aussagen erfordert, wird man deshalb auf nachweisstarke aber leider meistens aufwendige Meßmethoden zurückgreifen. So wird man z.B. bei der Ganzkörpermessung die Meßzeiten verlängern und bei der Ausscheidungsanalytik Anreicherungsmethoden anwenden.
Bei der Überwachung aus besonderem Anlaß hängen oft wichtige und deshalb schnell zu treffende Entscheidungen, wie weiterer Einsatz des betroffenen Mitarbeiters, die Notwendigkeit einer Dekorporationstherapie oder die Weiterführung einer Versuchsreihe, vom Ergebnis der Überwachung ab. Es sind in diesem Fall schnelle, aber nicht unbedingt sehr empfindliche Verfahren einzusetzen, zumal auch unmittelbar nach einer Zufuhr die Retention und die Ausscheidungsraten noch recht hoch sind. Wenn nicht einmal bekannt ist, welche Nuklide inkorporiert wurden, sind die angewandten Verfahren auch unter dem Aspekt der Selektivität auszuwählen.
Diese Fragen spielen naturgemäß bei der Ausscheidungsüberwachung eine größere Rolle als bei der Ganzkörperüberwachung, da bei der letztgenannten alle γ-Strahler in einem Meßvorgang erfaßt werden, zum Nachweis von α- und β-Strahlern aber Einzelnuklidanalysen oder bestenfalls Gruppenfällungen den Zweck erfüllen. Detaillierter wird über diesen Sachverhalt an anderer Stelle während dieser Tagung berichtet.

4.2.2 Interpretation von Überwachungsergebnissen

Überblick über Stoffwechselvorgänge

Zufuhr:

Radioaktive Stoffe können durch Inhalation, Ingestion und Absorption durch die intakte oder verletzte Haut zugeführt werden. Inhalation ist die Zufuhr fester oder flüssiger Aerosole in die Atemwege. Ihr weiteres Schicksal hängt von ihren phys.-chem. Eigenschaften ab. Ein Teil wird im Atemtrakt abgelagert, ein anderer Teil wieder exhaliert. Von den in den verschiedenen Kompartimenten des Atemtrakts gebildeten Depots werden Teile mehr oder weniger schnell systemisch absorbiert, andere gelangen durch Ciliaraktionen in den Verdauungstrakt. Ablagerung und Ausscheidung werden quantitativ beispielsweise durch das ICRP-Lungenmodell beschrieben. Bei Ingestion gelangt das radioaktive Material über den Magen in die übrigen Verdauungsorgane. Soweit es dort nicht systemisch aufgenommen wird, erscheint es innerhalb von 2-3 Tagen in den Faeces. Als Beispiel für eine quantitative Beschreibung dieser Vorgänge kann das ICRP-Modell aus Abb. 3 aufgefaßt werden. Die Zufuhr durch die intakte Haut spielt nur bei wenigen Radionukliden, so beim Tritium und beim Jod, eine Rolle. Im Fall von kontaminierten Wunden können radioaktive Substanzen das subkutane Gewebe durchdringen und schnell absorbiert werden, oder sie werden an der Eintrittsstelle langfristig abgelagert.

Verteilung und Ablagerung in den Organen:

Transportmittel für die Verteilung radioaktiver Stoffe im Körper sind die extracellulären Flüssigkeiten. Nach der systemischen Aufnahme wird ein Teil der Stoffe direkt über Nieren, Leber-Darm, Haut oder Lunge ausgeschieden und der Rest je nach Affinität in den Organen abgelagert. Nach der Ablagerung erfolgt aber auch eine Ausscheidung aus den Organen in die extracellulären Flüssigkeiten und erneute Ablagerung in dasselbe oder andere Organe. Die abgelagerte Menge wird als Depot bezeichnet und erreicht zu einem bestimmten Zeitpunkt ein Maximum.

Die nach einer anfänglichen Verteilung in den Organen stattfindenden Umlagerungen werden in einfachen Stoffwechselmodellen nicht berücksichtigt.

Ausscheidung:
Mit dem Urin werden nur Anteile der systemisch aufgenommenen Aktivität ausgeschieden. Daher erlauben Untersuchungen des Urins zunächst nur einen Rückschluß auf die Anteile einer Zufuhr, die von den extracellularen Flüssigkeiten aufgenommen wurden. Werden daher schwer transportable Verbindungen zugeführt, so werden nach einer Inhalation die Lunge und nach einer Ingestion der Magen-Darm-Trakt mit einer hohen Strahlendosis belastet, ohne eine nennenswerte Ausscheidung des Nuklids im Urin feststellen zu können. Wenn ein Nuklid eine sehr hohe Affinität zu einem Ablagerungsorgan hat und aus diesem nur mit sehr hohen biologischen Halbwertszeiten ausgeschieden wird, verstärkt sich dieser Effekt noch.

Nach Ingestion und Inhalation schwer transportabler Verbindungen wird man deshalb bevorzugt auf eine Faecesüberwachung zurückgreifen. Es ist einleuchtend, daß nach einer Ingestion dieser Verbindungen die Faecessammlung unmittelbar nach der Zufuhr erfolgen sollte. Im Falle einer Inhalation erfolgt durch Ciliaraktionen im Atemtrakt eine schnelle und eine langsame Überführung eines Teils der Stoffe in den Magen-Darm-Trakt, so daß neben der aussagekräftigeren sofortigen Faecesüberwachung auch noch eine spätere Überwachung sinnvoll ist. Sollte nach Zufuhr transportabler oder mäßig transportabler Verbindungen eine Faecesüberwachung durchgeführt werden, so ist zu beachten, daß auch von der systemisch aufgenommenen Nuklidmenge ein Teil über die Leber mit den Faeces ausgeschieden werden kann.

Die Überwachung der Ausatemluft kann dann angewendet werden, wenn beim Zerfall in einem Lungendepot gasförmige Tochternuklide entstehen (z.B. beim Thorium) oder wenn beim Stoffwechsel gasförmige Produkte gebildet werden, mit denen das Nuklid ausgeatmet wird (z.B. beim C 14 als CO_2).

Die Analyse von Nasenschleim ist weniger zur quantitativen Abschätzung einer Aktivitätszufuhr geeignet, obwohl Versuche dazu in der Literatur beschrieben werden.

Ableitung der Beziehung Aktivitätszufuhr-Meßergebnis

Dieses Kapitel schließt an Kapitel 2.2 an. Dort wurde festgestellt, daß für die meisten Nuklide die Beziehung zwischen dem Meßergebnis der Inkorporationsüberwachung und der Aktivitätszufuhr anhand von Modellvorstellungen, durch die die tatsächlichen Verhältnisse näherungsweise dargestellt werden, abzuleiten ist. Dies wurde am Beispiel der Inhalation mäßig transportabler Uranverbindungen und der daraus zu erwartenden Urinausscheidung demonstriert.
Leider sind in der Literatur nur selten Interpretationsmodelle dieser Art zu finden, so daß diese Aufgabe in der Regel dem Fachverstand der jeweiligen Meßstelle überlassen wird. Wie ein Blick in die ICRP-Empfehlungen 10/6/, 10A/7/, 20/8/ und 30/2/ lehrt, setzt dies neben der Kenntnis der Stoffwechselvorgänge, wozu der vorstehende Überblick einen Eindruck geben sollte, fundierte mathematische Kenntnisse voraus. Der Aufwand bei dieser anspruchsvollen Aufgabe kann aber durch Einführung vertretbarer Vereinfachungen gelegentlich verkleinert werden.
So werden bei Inhalation transportabler Verbindungen nach dem ICRP-Lungenmodell 48 % der zugeführten Aktivität mit einer Halbwertszeit von max. 0,5 Tagen systemisch aufgenommen (Abb. 8). Auch diese Belastung kann vereinfachend als einmalige Belastung aufgefaßt werden, deren Höhe durch die Urinüberwachung (unter Anwendung einer Ausscheidungsfunktion, die für diesen Pfad die Gesamtausscheidung der systemischen Aktivität beschreibt), ermittelt werden kann. Ist die systemische Aufnahme der aus dem Atemtrakt in den Verdauungstrakt gelangten Aktivität zu berücksichtigen, kann die zeitliche Verzögerung gegenüber der Aufnahme aus der Lunge vernachlässigt werden.
Bei Zufuhr mäßig transportabler Verbindungen führen diese Vereinfachungen nur bei Überwachungen in einem begrenzten Zeitraum nach der Zufuhr zu zufriedenstellenden Ergebnissen, da zu späteren Zeitpunkten die systemische Aufnahme aus dem Lungendepot dominierend wird.

Bei Zufuhr schwer transportabler Verbindungen sind diese Vereinfachungen nicht zulässig.
Glücklicherweise kann die überwiegende Anzahl der im Strahlenschutz bedeutungsvollen anorganischen Verbindungen den Klassen der transportablen- bzw. mäßig transportablen Verbindungen zugeordnet werden.

4.3 Planung von Überwachungsprogrammen

4.3.1 Überwachung aus besonderem Anlaß

Bei der Überwachung aus besonderem Anlaß können Art und Häufigkeit der Messungen nicht generell vorgeplant werden. Das Überwachungsprogramm ist immer dem speziellen Einzelfall anzupassen. Da eine Überwachung aus besonderem Anlaß mit dem konkreten Verdacht einer Inkorporation begründet wird, muß die Meßstelle, auch im Hinblick auf ev. erforderl. Dekorporationen ,in kürzester Zeit das Meßprogramm festlegen und ist daher sofort über den betroffenen Personenkreis, die in Frage kommenden Nuklide, die Nuklidverbindungen, deren physikalische Eigenschaften, den Zufuhrpfad und den Zeitpunkt der Zufuhr zu unterrichten.
In vielen Fällen sind Zeitpunkt, Zufuhrpfad und Nuklid bekannt, während über die Nuklidverbindungen häufig Unklarheit besteht. Man kann drei Überwachungsphasen unterscheiden. In der Sofortphase werden, möglichst noch am Arbeitsplatz, Nasenschleim- und Sputumproben genommen und bei Verletzungen Tupf- und Wischmaterial gesammelt. Diese Proben geben eine erste Information über die Höhe einer Zufuhr und ermöglichen, falls das inkorporierte Nuklid nicht bekannt ist, einen sofortigen Beginn der Untersuchungen zu seiner Identifizierung. In der dieser Sofortphase folgenden Frühphase der Überwachung werden in ggf. kurzen Zeitabständen Urin- und Ganzkörpermessungen vorgenommen und lückenlose über 3 Tage dauernde Faecessammlungen veranlaßt. Sind sehr hohe Zufuhren anzunehmen, sollte die Entnahme von Blut- und Gewebeproben erwogen werden. Der weitere Verlauf der Überwachung in der Spätphase hängt von den bis dahin erhaltenen Ergebnissen ab. Liegen ausreichende Informationen über Art und Stoffwechseleigenschaften der zugeführten Nuklide vor und bestätigen die Überwachungsergebnisse diese Angaben, kann die

Überwachung bei niedrigen Zufuhren abgeschlossen und die Aktivitätszufuhr anhand des zutreffenden Modells ermittelt werden. Bei hohen Zufuhren wird die Überwachung fortgesetzt, um individuelle Abweichungen von den Stoffwechselmodellen in die Berechnung der Dosis einbeziehen zu können. Das gleiche trifft zu, wenn erst mit den Ergebnissen einer Langzeitüberwachung die zugeführten Verbindungen identifiziert werden können. Überwachungsmethoden der Spätphase sind Ganz- und Teilkörpermessungen und die Messung von 24-h-Urin- und Faecesproben.

4.3.2 Regelmäßige Überwachung

Regelmäßige Inkorporationsüberwachungen erfolgen zur Feststellung unerkannter Inkorporationen, die ihrerseits Folge unerkannter Aktivitätsfreisetzungen sind. Bei der Planung der Überwachungsprogramme kann man von zwei Situationen ausgehen:

1. die Kontrolle der Aktivitätsfreisetzung erfolgt durch Kontrolle des Arbeitsplatzes, z.B. durch Raumluft-, Atemluft- oder Kontaminationsmessungen
2. die Kontrolle der Aktivitätsfreisetzung erfolgt erst mit der Inkorporationsüberwachung

Im ersten Fall ist die Inkorporationsüberwachung nur als Kontrolle der Arbeitsplatzüberwachung zu sehen und Art und Häufigkeit der Personenüberwachungen werden von den Ergebnissen der Arbeitsplatzüberwachung abhängen. Wenn der Arbeitsplatz und seine Umgebung weitgehend frei von Kontaminationen sind, wird zur Inkorporationsüberwachung nur ein Mindestprogramm erforderlich sein, das lediglich Stichprobencharakter hat oder zur Feststellung langfristiger Aktivitätsakkumulationen im Körper dient. Das Programm der Inkorporationsüberwachung wird erweitert werden, wenn Fehlfunktion oder Ausfall der Arbeitsplatzüberwachung dies erfordern.

Fehlt die Arbeitsplatzüberwachung, so soll die regelmäßige Inkorporationsüberwachung der gefährdeten Person die Aussage ermöglichen, ob und in welcher Höhe in dem Überwachungsintervall infolge einer nicht erkannten Aktivitätsfreisetzung eine Aktivitätszufuhr erfolgte.

Überwachungsintervall und Überwachungsart werden von dem Stoffwechselverhalten der Nuklidverbindung, der Empfindlichkeit der Meßmethode und dem vorgegebenen Grenzwert der Aktivitätszufuhr bestimmt.
Durchgeführt wird die regelmäßige Inkorporationsüberwachung meistens als Urin- oder Ganzkörperüberwachung. Lediglich bei einigen schwer transportablen Actinidenverbindungen ist eine Faecesüberwachung erforderlich, da die Ausscheidungsraten im Urin zu niedrig sind.
Das Überwachungsintervall wird häufig so gewählt, daß eine Zufuhr in Höhe vorgegebener Grenzwerte zu Beginn des Überwachungsintervalls (also unmittelbar nach der vorhergehenden Überwachung) mit der folgenden Überwachung gerade noch erkannt wird. Diese Forderung liegt auch der entsprechenden gesetzlichen Vorschrift in der Bundesrepublik zu Grunde /5/.

Für einige Zeit der zur Zeit in der KFA durch Urinanalyse überwachten Nuklide ist der Zusammenhang zwischen Grenzwert der Aktivitätszufuhr, Nachweisgrenze des Analysenverfahrens und Überwachungsintervall in Abb. 9 dargestellt. Es wurde die Inhalation transportabler bzw. mäßig transportabler Verbindungen unterstellt und von den in Kap. 4.2.2 beschriebenen vereinfachten Stoffwechselmodellen Gebrauch gemacht. Wie man sieht, sind für einige Nuklide sehr kurze in der Praxis kaum einzuhaltende Überwachungsintervalle festzusetzen.

Wird bei der regelmäßigen Überwachung ein signifikant positives Ergebnis festgestellt, werden Folgeüberwachungen erforderlich, die im Konzept mit denen der Überwachung aus besonderem Anlaß in der Früh- und Spätphase übereinstimmen.

5. Inkorporationsüberwachung und therapeutische Maßnahmen

Ziel der therapeutischen Behandlung nach Inkorporation radioaktiver Stoffe ist deren beschleunigte Dekorporation. Man unterscheidet sofortige-, frühzeitige und späte Behandlungen. Der größte Effekt wird erreicht, wenn die Therapie unmittelbar nach

der Zufuhr einsetzt. Therapien werden nur durchgeführt, wenn auf Grund der Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung eine unzumutbar hohe Dosisbelastung zu befürchten ist. Art und Umfang der Therapie werden von dem Vergleich der Risiken der Dosisbelastung und der therapeutischen Maßnahmen bestimmt. Ist in einem speziellen Fall eine hohe Aktivitätszufuhr zu befürchten, müssen zu einer ungefähren Abschätzung der Zufuhr sehr schnelle Überwachungsmethoden angewendet werden. Dies ist bei Inkorporation von γ-Strahlern problemlos, da eine Ganzkörpermessung nur wenige Minuten dauert. Bei α- und β-Strahlern ist man zunächst auf Übersichtsmessungen an Schleim-, Gewebe- und Blutproben angewiesen.
Die letztlich im Körper absorbierte Dosis wird durch den Erfolg der Therapie bestimmt. Zur Dosisermittlung können nicht die für den unbeeinflußten Stoffwechsel geltenden Retentions- und Ausscheidungsfunktionen angewendet werden. Sie müssen zur Abschätzung der in den Organen stattfindenden Zerfälle durch die neben den therapeutischen Maßnahmen laufende Überwachung empirisch ermittelt werden und haben nur für das spezielle Behandlungsschema Gültigkeit.

6. Zusammenfassung

Aufgabe der Inkorporationsüberwachung im Strahlenschutz ist die Bestimmung der durch Zufuhr radioaktiver Stoffe verursachten Teil- oder Ganzkörperdosis. Dazu muß der Zusammenhang zwischen der Dosis und den Ergebnissen der Inkorporationsüberwachung, und zwar der Ganzkörpermessung und der Messung der Aktivität der Ausscheidungen, bekannt sein. Dieser Zusammenhang wird unter Berücksichtigung der in den ICRP-Empfehlungen vorgeschlagenen Modelle einleitend erläutert.

Bei der praktischen Durchführung der Inkorporationsüberwachung wird im allgemeinen zwischen der regelmäßigen Überwachung und der Überwachung aus besonderem Anlaß unterschieden. Während die Überwachung aus besonderem Anlaß von einem aktuellen nicht unmittelbar vorhersehbarem Ereignis ausgelöst wird, erfolgt die

regelmäßige Überwachung in vorsorglicher Absicht, um unerkannt gebliebene Inkorporationen zu erfassen.

Für die Konzeption beider Überwachungsarten ergeben sich daraus charakteristische Unterschiede. Diese betreffen 1. die organisatorischen Voraussetzungen, den zu überwachenden Personenkreis und die anzuwendenden Meßmethoden und 2. die Durchführung der Überwachung (Überwachungsart, -häufigkeit, Interpretation der Ergebnisse). Basis dieser Betrachtungen sind die quantitativen Beziehungen, die zwischen der Aktivitätszufuhr (in Abhängigkeit vom Zufuhrpfad und der Nuklidverbindung) und dem Retentions- bzw. dem Ausscheidungsverhalten bestehen.

Die allgemeine Darstellung wird durch Beispiele der in der Kernforschungsanlage Jülich durchgeführten Überwachung ergänzt.

In einer abschließenden Bemerkung wird auf die Schwierigkeiten bei der Ermittlung der Aktivitätszufuhr hingewiesen, wenn neben der Inkorporationsüberwachung eine Dekorporationstherapie erfolgt.

7. Literatur

/1/ Recommendations of the International Commission on Radiological Protection
ICRP-Publ. 26 (1977) Pergamon Press

/2/ Limits for Intakes of Radionuclides by Workers
ICRP-Publ. 30 (1978) Pergamon Press

/3/ ICRP Task Group on Lung Dynamics "Deposition and Retention Models for Internal Dosimetry on the Human Respiratory Tract"
Health Physics, Vol. 12, No. 2 (1966)

/4/ R.E. Alexander
"Applications of Bioassay for Uranium"
WASH 1251 UC 41 (1974)

/5/ Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle (§ 62 und 63 StrlSchV) aus:
Gem. Ministerialblatt (Ausgabe B) BMI, 17.07.1978, GMBL. Nr. 22, 29. Jhrg.

/6/ Evaluation of Radiation Dosis to Body Tissues from Internal Contamination due to Occupational Exposure
ICRP-Publ. 10 (1968) Pergamon Press

/7/ The Assessment of Internal Kontamination Resulting from Recurrent or Prolonged Uptakes
ICRP-Publ. 10A (1969) Pergamon Press

/8/ Report on Alkaline Earth Metabolism in Adult Man
ICRP-Publ. 20 (1973) Pergamon Press

/9/ T.M. Beasley et al
"Distribution and Excretion of Tc in Humans"
TID 22318 (1965)

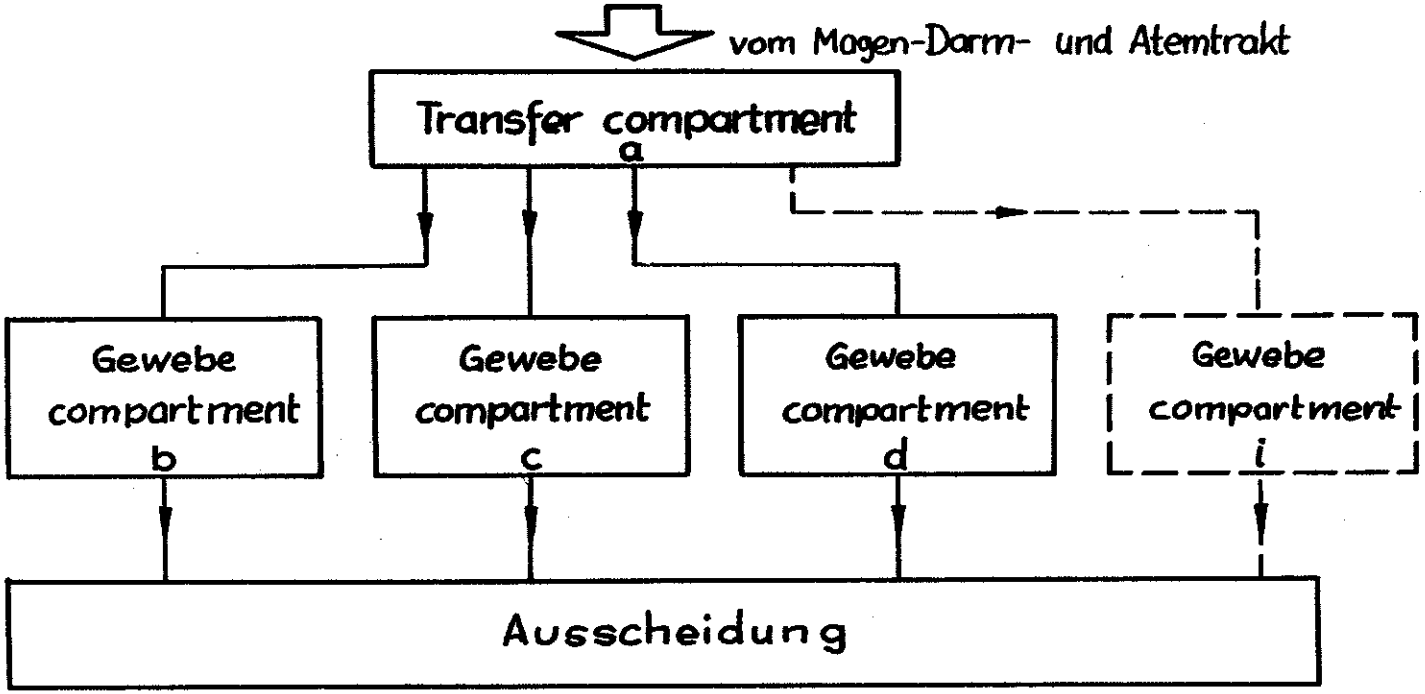
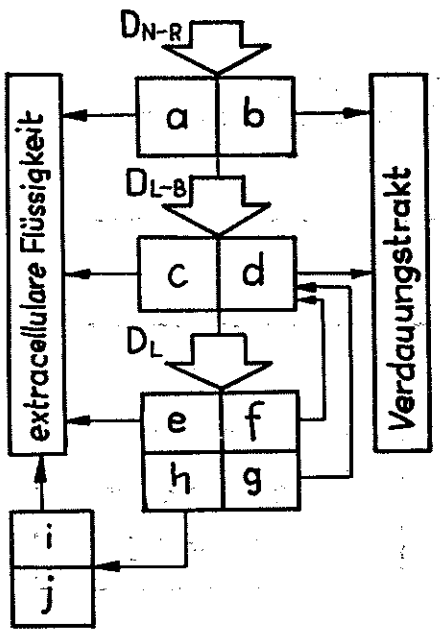


Abb. 1: Mathematisches Modell zur Beschreibung der Kinetik von Radionukliden im Körper (aus ICRP 30)



Transportabilitätsklasse							
		D		W		Y	
Region	Compartment	T [d]	F	T [d]	F	T [d]	F
Nasen-, Rachenhöhle (D_{N-R} = 0,30)	a	0,01	0,5	0,01	0,1	0,01	0,01
	b	0,01	0,5	0,40	0,9	0,40	0,99
Luftröhre, Bronchien (D_{L-B} = 0,08)	c	0,01	0,95	0,01	0,5	0,01	0,01
	d	0,2	0,05	0,2	0,5	0,2	0,99
Lunge (D_L = 0,25)	e	0,5	0,8	50	0,15	500	0,05
	f	n.z.	n.z.	1,0	0,4	1,0	0,4
	g	n.z.	n.z.	50	0,4	500	0,4
	h	0,5	0,2	50	0,05	500	0,15
Lymphknoten	i	0,5	1,0	50	1,0	1000	0,9
	j	n.z.	n.z.	n.z.	n.z.	∞	0,1

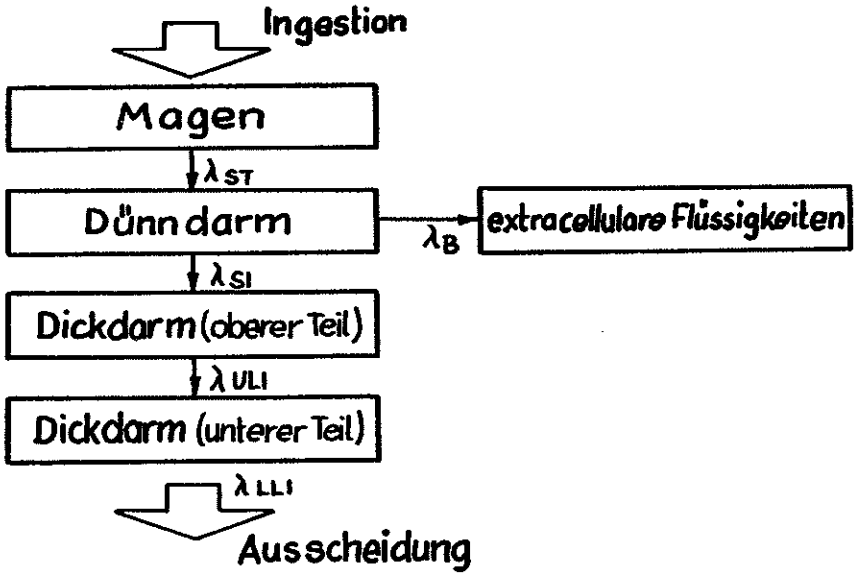
n.z - *nicht zutreffend.*

D_{Index} - *Ablagerung in der jeweiligen Region bei Inhalation von 1µm (AMAD) Aerosolen.*

F - *Anteil der regionalen Ablagerung.*

T - *Biologische Halbwertszeit*

Abb. 2: Mathematisches Modell zur Beschreibung der Kinetik von Aerosolen im Atemtrakt (aus ICRP 30)



Abschnitt des Verdauungstraktes		Gewicht des Organs [g]	Inhalt [g]	Mittlere Verweilzeit [d]	λ [d^{-1}]
Magen	ST	150	250	1/24	24
Dünndarm	SI	640	400	4/24	6
Dickdarm (ob.T.)	ULI	210	220	13/24	1,8
Dickdarm (unt.T.)	LLI	160	135	24/24	1

Abb. 3: Mathematisches Modell zur Beschreibung der Kinetik von Radionukliden im Magen-Darm-Trakt (aus ICRP 30)

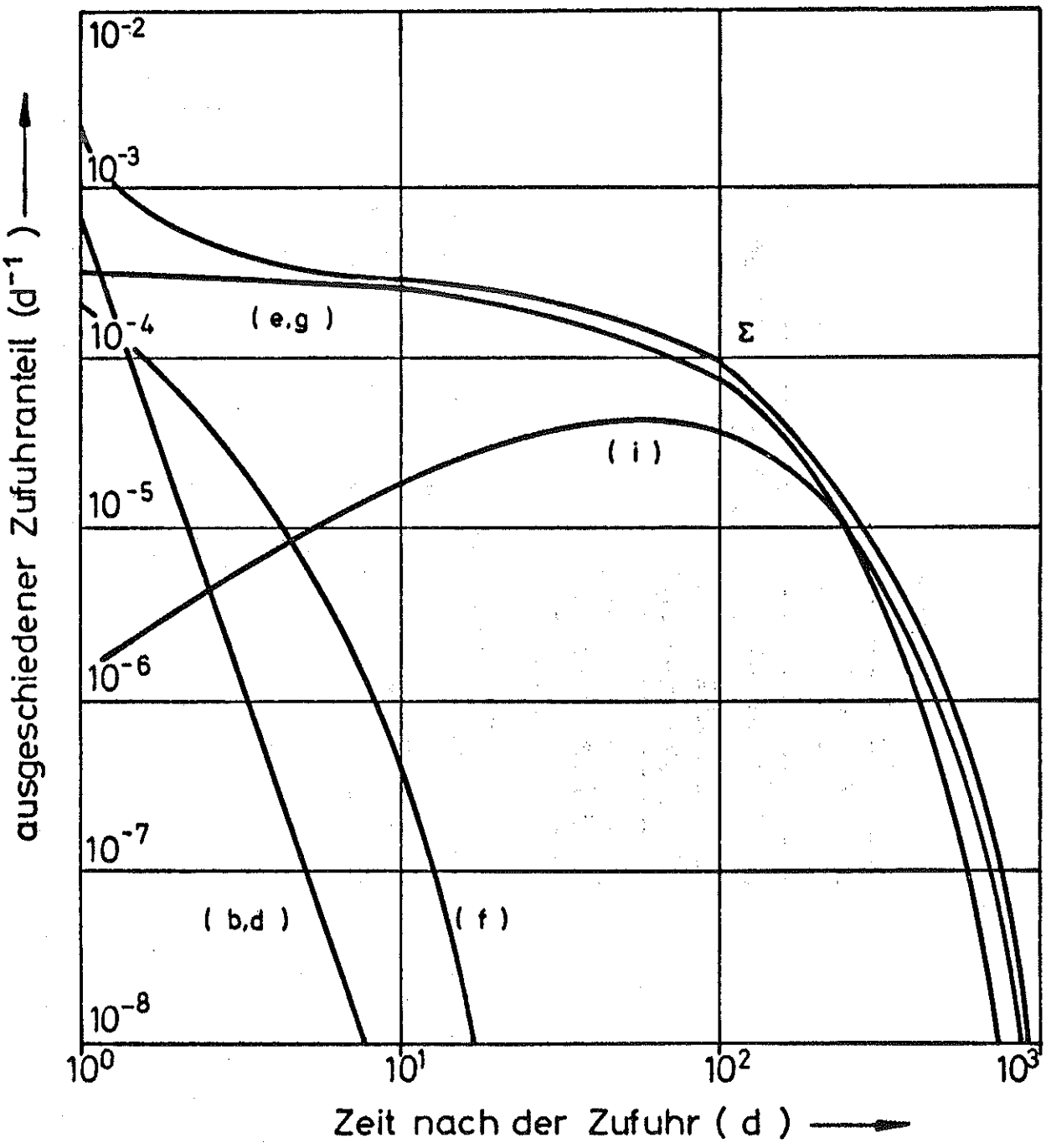


Abb. 4: Direkte Uranausscheidung im Urin aus den Compartments des Atemtrakts nach Inhalation mäßig transportabler Verbindungen (aus /4/)

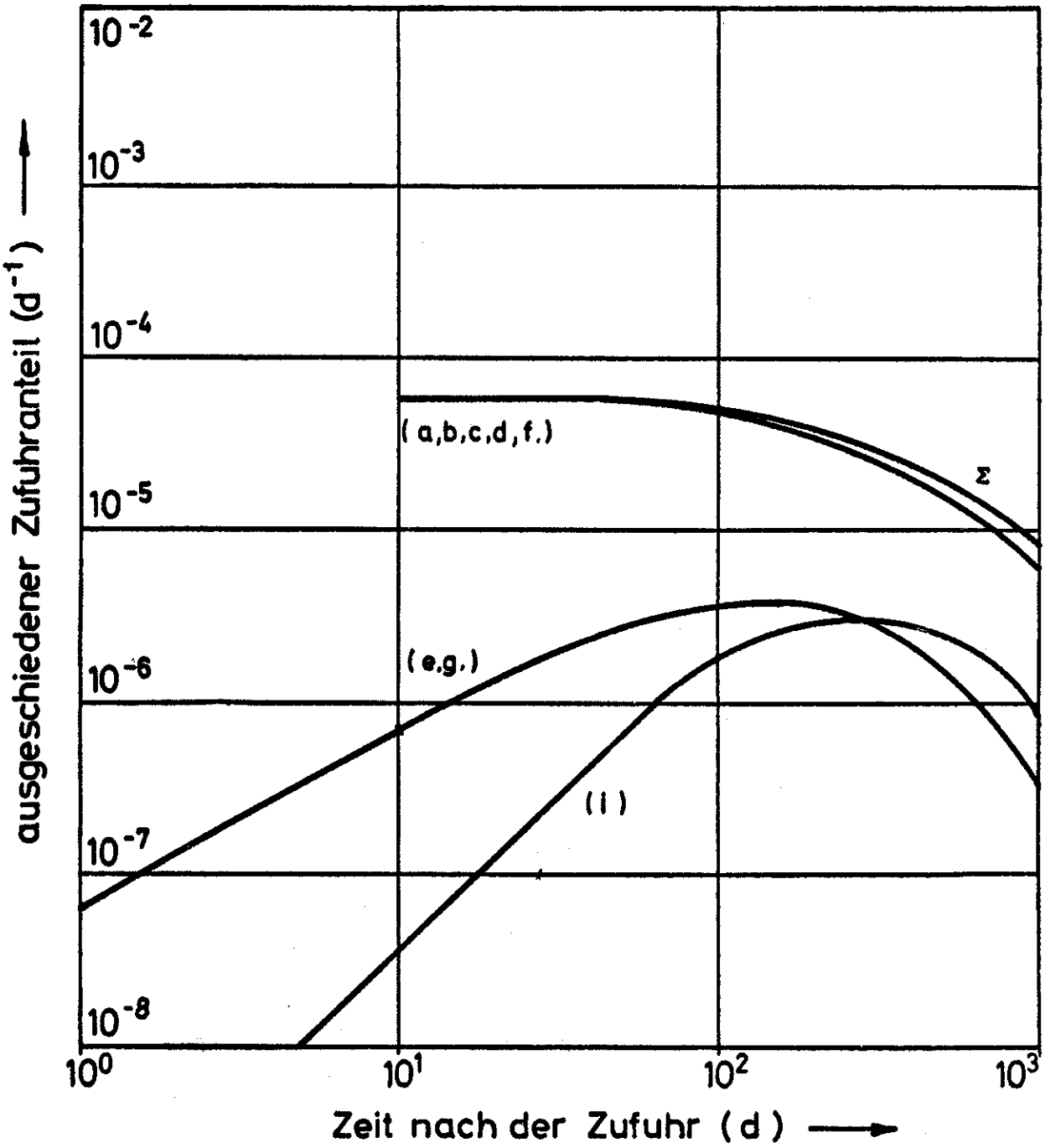


Abb. 5: Uranausscheidung im Urin aus den Compartments des Atemtrakts nach Inhalation mäßig transportabler Verbindungen und Zwischenlagerung des Uran in den Knochen (aus /4/)

Kernforschungsanlage Jülich GmbH

ERHEBUNGSBOGEN FÜR DIE REGELMÄSSIGE INKORPORATIONSÜBERWACHUNG
BEIM UMGANG MIT OFFENEN RADIOAKTIVEN STOFFEN
(Bitte Erläuterungen beachten)

Organisationseinheit: ..... B-SSB: .....

A. ANGABEN ZUR PERSON (vom SSB auszufüllen)

Name, Vorname:..... Geb.Dat.: .....

B. ANGABEN ZUM UMGANG (vom SSB auszufüllen)

Umg. Genehmigungen: ..... Beginn: .....

Nuklide	Aktivität A (µCi)	Masse M (g)	Risiko-faktor F	Umgangshäufigkeit häufig	selten	gelegtl.

Bemerkungen: .....
.....

.....
(Datum und Unterschrift des SSB)

C. ERFORDERNIS UND DURCHFÜHRUNG DER ÜBERWACHUNG (von ZST auszufüllen)

Nuklide	Kriterien* Akt.Schw. (µCi)	Form.Schw. (µCi)	Erfordernis gemäß Kriterien AS	FS	SSB-Wille	Überwachungsart GZ	AA (Anzahl/a)

*gemäß "Richtl. für die phys. StrlSch.kontr. (§ 62, 63 StrlSchV)" v. 05.06.1978

Bemerkungen: .....
.....

.....
(Datum und Unterschrift der ZST)

Verteiler:
1. B-SSB
2. ZST-B
3. Inkorporationsmeßstelle
4. Akten ZST-P

Abb. 6: Erhebungsbogen zur Feststellung des Erfordernisses für die regelmäßige Inkorporationsüberwachung

KFA Jülich GmbH Jülich,
Institution:.....

ÜBERWEISUNGSSCHEIN BEI INKORPORATIONSVERDACHT
an die
Inkorporationsmeßstelle in der Zentralabteilung Strahlenschutz

Wir bitten, Herrn/Frau/Fräulein

....
(Name) (Vorname) (Geb.Dat.)
auf Inkorporation radioaktiver Stoffe zu untersuchen

Vermutlich inkorporierte Nuklide:.....
Chemische Verbindung:.....
Phys. Beschaffenheit:.....

Zeitpunkt der vermuteten Inkorporation:.....
Umgangsort:.....
Vorkommnis:.....

Belastung durch: ☐ Einatmen ☐ Verschlucken ☐ .....

Kontaminationsmessungen an der o.a.Person
wurden durchgeführt ☐ nein / ☐ ja

Kontaminationen
wurden festgestellt ☐ nein / ☐ ja, an:.....
.....
sind noch vorhanden ☐ nein / ☐ ja, an:.....

Schneuzproben wurden entnommen ☐ nein / ☐ ja, ...
(Datum, Uhrzeit)

Bemerkungen:.....

Der Strahlenschutzbeauftragte

Wichtiger Hinweis!
Bei jedem Inkorporationsverdacht soll die Überwachung sofort veranlaßt werden. Im Interesse einer aussagekräftigen Überwachung ist der Überweisungsschein möglichst vollständig auszufüllen und der Meßstelle zuzuschicken. Eine telefonische Vorabinformation ist wünschenswert.

Abb. 7: Überweisungsschein für die Inkorporationsüberwachung aus besonderem Anlaß

Aktivitätszufuhr:	1,00
Sofort wieder exhalierter Anteil:	0,37
Regionale Dposition	
Nasen-Rachenraum (N-R)	0,30
Luftröhre, Bronchien (L-B)	0,08
Lunge (L)	0,25

Compartment	Clearenceprozeß	Biologische Halbwertszeit	Anteil der regionalen Dep. im Compartment		Anteil der Gesamtzufuhr i.Compartment
(a)	N-R ins Blut	0,01 d	0,50	x 0,3 =	0,15
(b)	N-R in den Verd.Trakt	0,01 d	0,50	x 0,3 =	0,15
(c)	L-B ins Blut	0,01 d	0,95	x 0,08 =	0,076
(d)	L-B in den Verd.Trakt	0,2 d	0,05	x 0,08 =	0,004
(e)	L ins Blut	0,5 d	0,80	x 0,25 =	0,20
(f)	L in den Verd.Trakt (schnell)	-	-		
(g)	L in den Verd.Trakt (verzögert)	-	-		
(h)	L in die Lymphknoten	0,5 d	0,2	x 0,25 =	0,05
(i)	Lymphknoten ins Blut	0,5 d	1,0		
					0,63
			davon sofort ins Blut		0,476
			über den Verd.Trakt ins Blut		0,002

Abb. 8: Deposition und Clearence in den Compartments des Atemtrakts nach Inhalation transportabler Uranverbindungen (Aerosoldurchmesser 1 µm AMAD)

Nuklid	Grenzzufuhrwert*	Ausscheidungs- bzw. Retentionsfunktion	Nachweisgrenze des angew. Verfahrens	Überwachungs-zeitraum
U-nat	2,5 mg/d	aus ICRP 10 /6/	1 µg/l Urin	10 d
Th-nat	400 mg/Quartal	aus ICRP 30 /2/ (abgel.aus Ret.Funkt.)	0,7 µg/l Urin	> 180 d
H-3	6 mCi/Quartal	aus ICRP 10	0,01 nCi/ml Urin	140 d
Sr-90	1,4 µCi/Quartal	aus ICRP 10	7 pCi/l Urin	> 180 d
Pu-239	2,2 nCi/Quartal	aus ICRP 10	0,14 pCi/l Urin	5 d
Tc-99	75 µCi/Quartal	aus TID 22318 /9/	20 pCi/l Urin	120 d

*Grenzwert der Aktivitätszufuhr bei Inhalation (StrlSchV: § 52 und Anlage IV; Pers.Kat.A)

Abb. 9: Berechnung von Überwachungszeiträumen zur regelmäßigen Überwachung unter Bezug auf die angegebenen Grenzzufuhrwerte, Ausscheidungsfunktionen und Nachweisgrenzen und unter der Annahme einer Inhalation transportabler bzw. mäßig transportabler Verbindungen (Teilchendurchmesser: 1 µm AMAD)

Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung bei der Verwendung von radioaktiven Stoffen in der Medizin.

K.D.Frank, B.Gloebel, R.Kunkel, H.Muth

Institut für Biophysik
der Universität des Saarlandes
-Boris Rajewski-Institut-
D-6650 Homburg (Saar)

In den Universitätskliniken Homburg Saar werden in 14 Abteilungen offene radioaktive Stoffe für Forschung, Diagnose und Therapie verwandt. Jährlich werden folgende Radionuklide erworben:

Radionuklid	Erwerb pro Jahr MBq
^{3}H	17
^{14}C	3
^{24}Na	16
^{51}Cr	485
^{59}Fe	23
^{89}Sr	8
^{90}Y	600
^{99}Mo	52000
^{111}In	200
^{113}Sn	43
^{123}J	3720
^{125}J	144
^{131}J	32000
^{198}Au	42
	90301

Tab.1 : Jährlicher Erwerb an Radionukliden

Die Jodisotope ^{131}J und ^{123}J sowie die Technetiumgeneratoren mit ^{99m}Mo machen den Hauptbestandteil aus. Außer den 14 Radionukliden der Tabelle 1, die regelmäßig mit etwa gleichbleibender Aktivität bezogen werden, können noch etwa 40 andere vorkommen, die jedoch relativ selten und nur mit geringen Aktivitäten benutzt werden.

Die 400 Personen, die mit diesen Radionukliden umgehen werden von uns regelmäßig auf Inkorporation überwacht. Dies geschieht für die gammastrahlenden Radionuklide mit Hilfe eines Ganzkörperzählers. Mögliche Inkorporation von ^{3}H und ^{14}C werden über Urinausscheidung nachgewiesen.
Da in den einzelnen Abteilungen gleichzeitig mit mehreren Nukliden umgegangen wird, ist damit zu rechnen, daß auch Inkorporationen mehrerer Nuklide vorkommen können. Bei der Ganzkörpermessung erhalten wir so unter Umständen komplizierte Gammaspektren, insbesondere wenn die Nuklide annähernd gleiche Gammaquantenenergie haben. Ein Beispiel zeigt Abbildung 1.

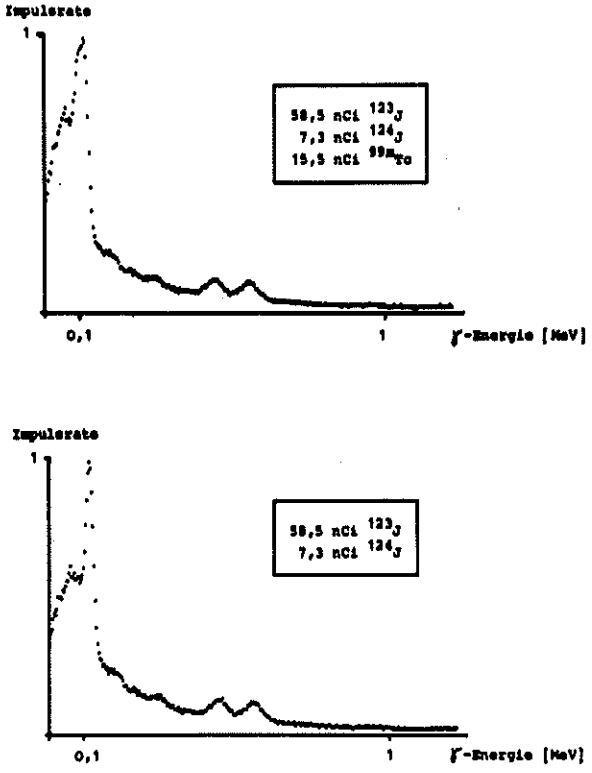


Abb.1 : Spektrum einer Ganzkörpermessung bei Inkorporation von a) 58.5 nCi ^{123}J, 7.3 nCi ^{124}J, 15.5 nCi ^{99m}Tc
b) 58.5 nCi ^{123}J, 7.3 nCi ^{124}J

Im oberen Spektrum ist das zusätzlich inkorporierte ^{99m}Tc nur an einer leichten Verbreiterung des Peaks bei 120 keV zu erkennen. Bei herkömmlichen manuellen Auswerteverfahren, besteht die Möglichkeit, daß der Technetiumanteil der ^{123}J-Aktivität zugeschlagen wird und so zu einer Überschätzung der ^{123}J-Inkorporation führen kann. Um solche Fehlinterpretationen zu vermeiden führen wir die Auswertung mit einem Online-Rechner nach folgendem Prinzip durch:
Das gemessene Gammaspektrum wird in 40 Kanalbereiche aufgeteilt. Für den i-ten Kanalbereich ergibt sich dann:

$$Z_i = ZO_i + \sum_{j=1}^{N} k_{ij} * A_j$$

$1 \leq i \leq 40$
$1 \leq j \leq N$
$N \leq 40$

mit Z_i = im Kanalbereich i gemessene Impulszahl
ZO_i = Impulszahl im Bereich i vom Nulleffekt
$k_{ij} * A_j$ = Impulszahl im Bereich i vom j-ten Nuklid
N = Anzahl der Nuklide
k_{ij} = Kalibrierfaktor für das j-te Nuklid im i-ten Bereich. (Imp/nCi*Messzeit)

Man erhält für die in der Praxis vorkommenden Fälle $1 \leq N \leq 10$ ein überbestimmtes Gleichungssystem mit den zu bestimmenden Aktivitäten A_j als Unbekannte. Aus dem Gleichungssystem lassen sich optimale Werte füe die A_j berechnen, wenn die Kalibrierfaktoren k_{ij} bekannt sind. Diese werden aus vorher gemessenen und im Rechner gespeicherten Kalibrierspektren berechnet und auf Größe und Gewicht der Meßperson sowie auf die Nuklidverteilung korrigiert.

Bei der praktischen Durchführung müssen die vermutlich inkorporierten Nuklide von Hand eingegeben werden. Der Rechner bestimmt dann die bestmöglichen Aktivitäten dieser Nuklide. Ergibt sich für ein Nuklid eine Aktivität unterhalb 1 nCi (= Nachweisgrenze des Zählers), so wird dieses Nuklid eliminiert und mit der neuen Nuklidkombination erneut gerechnet. Aus den Aktivitätswerten wird ein Kontrollspektrum errechnet, das mit dem gemessenen Spektrum verglichen wird. Dieser Vergleich läßt eine Entscheidung zu, ob zusätzlich zu den angegebenen Nukliden ein weiteres Nuklid inkorporiert ist.

Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse der Inkorporationsmessungen:

Anzahl überwachte Personen	% mit Inkorporation	inkorporierte Nuklide	Aktivität [nCi] Bereich	MW	arbeitstägl. gehandhabte Aktivität [mCi/d]
360	15	^{131}J	1 - 5000	80	88
	1	^{123}J	1 - 4000	40	10
	4	^{99m}Tc	1 - 4000	500	300
	2	^{59}Fe, ^{58}Co, ^{22}Na	1 - 400	30	0,01
40	95	^{125}J	1 - 500	80	0,4
447	70	^{3}H	1 - 500	180	0,05

Tab.2 : Ergebnisse der Inkorporationsmessungen

Die Messungen wurden durchgeführt, ohne daß die betreffende Personen lange vorher Bescheid wußten. Sie wurden praktisch kurz vor der Messung von ihrem Arbeitsplatz abgerufen. So erklären sich die zum Teil recht hohen Werte für die Jodisotope und das ^{99m}Technetium.
Bei den Personen mit Inkorporationen von ^{131}J handelt es sich in der Hauptsache um Personen, die im Bereich der Schilddrüsentherapie tätig waren. Bei Personen, die ^{131}J zur Nierendiagnostik anwendeten, konnte keine Inkorporation über 1 nCi nachgewiesen werden.

^{125}J-Inkorporation wurden bei fast allen Personen nachgewiesen, die mit Markierungsarbeiten beschäftigt waren.
Um einen groben Anhalt für das Inkorporationsrisiko zu erhalten kann man einmal die Spalten 2 und 5 vergleichen. Man erkennt z.B. daß trotz der großen, täglich gehandhabten Aktivität von Technetium bzw. ^{131}J und ^{123}J nur relativ wenige Personen eine meßbare Inkorporation aufweisen. Umgekehrt ist es bei ^{125}J und ^{3}H. Hier wurden bei fast allen Personen Inkorporationen festgestellt, obwohl die gehandhabten Aktivitäten nicht allzu hoch waren.
Dieses hohe Inkorporationsrisiko für die beiden letzten Nuklide ist durch die Art der Arbeit -Markieren von Substanzen- bedingt, bei der ja nennenswerte Mengen inhaliert werden können.
Bei der Entscheidung ob eine Inkorporation von ^{3}H vorliegt oder nicht, ist zu beachten, daß dieses Nuklid ubiquitär in der Hydrosphäre vorhanden ist, d.h. daß auch Personen, die nicht beruflich mit ^{3}H umgehen, einen Tritiumgehalt aufweisen, der zu messbaren Tritiumausscheidungen im Urin führt. Die Tritiumkonzentrationen im Urin von Beschäftigten müssen daher mit denen von Kontrollgruppen verglichen werden. (Abb.2)
Zunächst waren als Referenzgruppe Angehörige der Bundeswehr vorgesehen. Diese Gruppe konnte die Erwartungen jedoch nicht erfüllen, da einige der Angehörigen der Bundeswehr erhöhte Konzentrationen von ^{3}H im Urin aufwiesen, was wahrscheinlich auf die vermehrte Verwendung von Leuchtfarben bei der Bundeswehr zurückzuführen ist. Als derzeit verläßlichste Bezugsgruppe ermittelten wir Schüler aus der Umgebung der Klinik im Alter von 12 - 16 Jahren. Die mittlere gemessene Konzentration von ^{3}H liegt unter 1000 pCi/l.

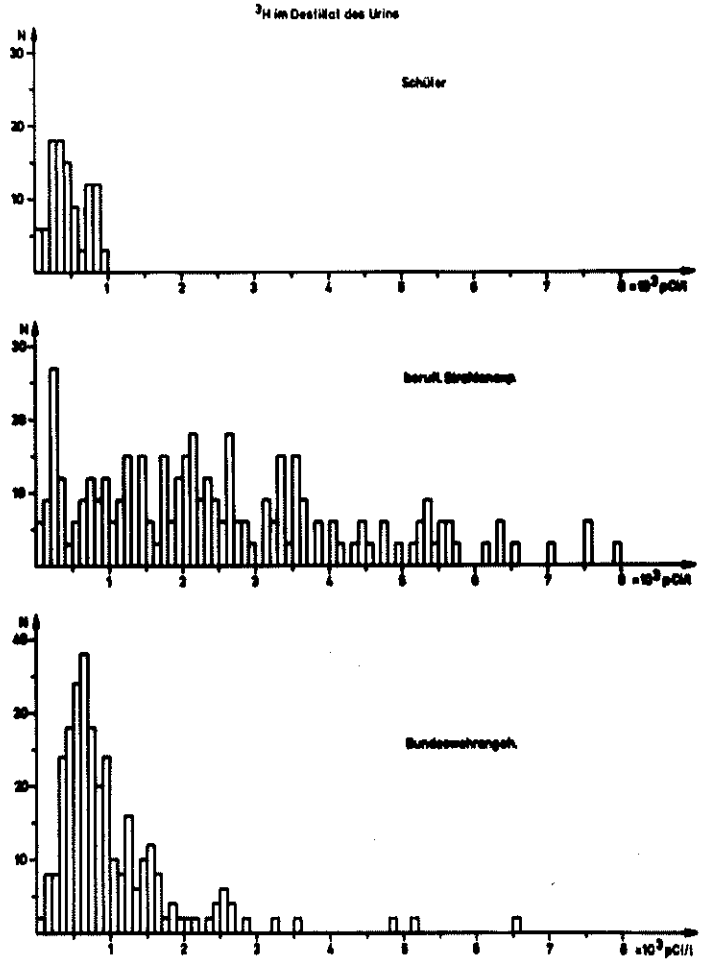


Abb.2 : Tritiumkonzentrationen im Urin bei Beschäftigten und 2 Kontrollgruppen.

Die gezeigten Ergebnisse lassen sicher keinen Schluß auf die über längere Zeit inkorporierten Nuklide und die daraus resultierende Strahlenbelastung zu, da die Ergebnisse praktisch nur eine Momentaufnahme darstellen.
Um einen Vergleich mit den Grenzwerten der StrSchVO für die Jahresaktivitätszufuhr durchführen zu können sind im medizinischen Bereich außer regelmäßigen Inkorporationsmessungen weitere Kontrollverfahren notwendig.

Wir danken Frl. Andres und Herrn Marx für die Durchführung und Auswertung der Messungen.

INKORPORATIONSMESSUNGEN BEI BESCHÄFTIGTEN DER RADIOPHARMAZEUTISCHEN INDUSTRIE

E. Werner und P. Roth

Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung
Abt. für Biophysikalische Strahlenforschung
6000 Frankfurt am Main

In § 63 der Strahlenschutzverordnung bzw. den Ausführungsbestimmungen (Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle des BMI) sind regelmäßige Inkorporationsmessungen bei Personen vorgesehen, die mit offenen radioaktiven Isotopen oberhalb einer Aktivitätsschwelle umgehen. Inkorporationen können entweder durch direkte Messung der Körperaktivität mit einem Ganzkörperzähler zum Nachweis von Radionukliden, bei deren Zerfall Gammastrahlung oder harte Betastrahlung emittiert wird, oder indirekt über Ausscheidungsanalysen nachgewiesen werden. In dieser Arbeit soll über Messungen der Körperaktivität bei Beschäftigten der radiopharmazeutischen Industrie berichtet werden. Bei diesem Personenkreis unterscheidet sich das Spektrum der gehandhabten Radionuklide von dem in der Kernforschung bzw. Kernkraftwerksindustrie gegebenen. Insbesondere können auch die Verbindungen, in denen die Nuklide vorliegen, effektive Halbwertszeiten im menschlichen Körper aufweisen, die um Größenordnungen von denen der Isotope abweichen.

Die hier dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf etwa 1500 Inkorporationsmessungen mit dem Ganzkörperzähler, die in den zurückliegenden 10 Jahren für verschiedene Betriebe der radiopharmazeutischen Industrie vorgenommen wurden. Die Messungen wurden in einfacher Stuhl-Geometrie ("tilted chair") mit einem 8" x 4" NaJ(Tl)-Detektor bei 10 Minuten Meßzeit durchgeführt. Die untere Nachweisgrenze beträgt etwa 1 nCi für Nuklide mit einer Gammastrahlen-Emissionswahrscheinlichkeit von 1 pro Zerfall. Die Körperaktivität kann für die meisten Nuklide mit einem Gesamtfehler von etwa $\pm$ 30 % bestimmt werden, bei Inkorporationen von Jodisotopen wurden z. T. zusätzliche Messungen der Schilddrüsenaktivität mit einem abgeschirmten 3" x 3" NaJ(Tl)-Detektor vorgenommen.

In Abbildung 1 sind auf der linken Seite die infragekommenden Radionuklide aufgeführt. Als Anhalt für die verarbeiteten Radioaktivitätsmengen sind die Umgangsaktivitäten pro Jahr angegeben. Sie liegen zwischen 0,1 und 7000 Ci pro Jahr. Zum Teil werden in einer Charge bis zu 100 Ci verarbeitet. Die verarbeiteten Aktivitätsmengen haben sich in den vergangenen 10 Jahren wesentlich geändert. Einige der angeführten Isotope wie Sr-85, Au-198, Hg-197 und Hg-203 werden heute überhaupt nicht mehr oder nur noch in sehr geringem

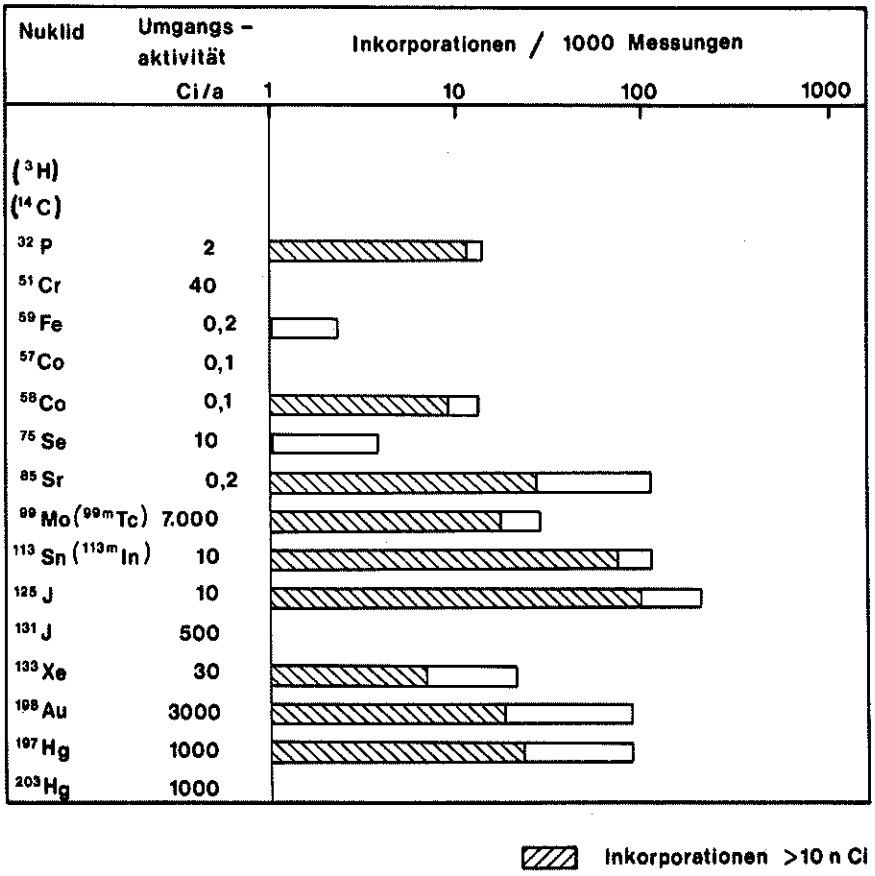


Abb. 1: Übersicht über die in der radiopharmazeutischen Industrie vorkommenden Radionuklide und deren jährliche Umgangsaktivitäten sowie der Häufigkeit der nachgewiesenen Inkorporationen.

Umfang produziert. Bei anderen wie Mo-99 oder J-125 hat die Umgangsaktivität dagegen zugenommen. Die Nuklide H-3 und C-14 sind hier nur zur Vervollständigung aufgeführt; als reine Betastrahler sind Inkorporationen nur über Ausscheidungsanalysen nachweisbar.

Die hier betroffenen radiopharmazeutischen Firmen beziehen die Radionuklide von Reaktoren und Beschleunigern als Rohprodukte. Aus diesen werden nach radiochemischer Abtrennung von Verunreinigungen die Radiopharmaka synthetisiert. Ein Teil der Radiopharmaka werden bereits als Fertigprodukte bezogen und nur abgefüllt. Außerdem führen die Firmen Qualitätskontrollen und Entwicklungen neuer Radiopharmaka durch und nehmen den Versand der Fertigprodukte vor. Diese werden dann in der nuklearmedizinischen Diagnostik und Therapie sowie in der klinischen Chemie (hauptsächlich bei Radioimmunoassays) angewendet.

Trotz der hohen Umgangsaktivität wurden bisher bei der regelmäßigen Inkorporationskontrolle nur geringe Körperaktivitäten, die am Untersuchungstag deutlich unter den Grenz-

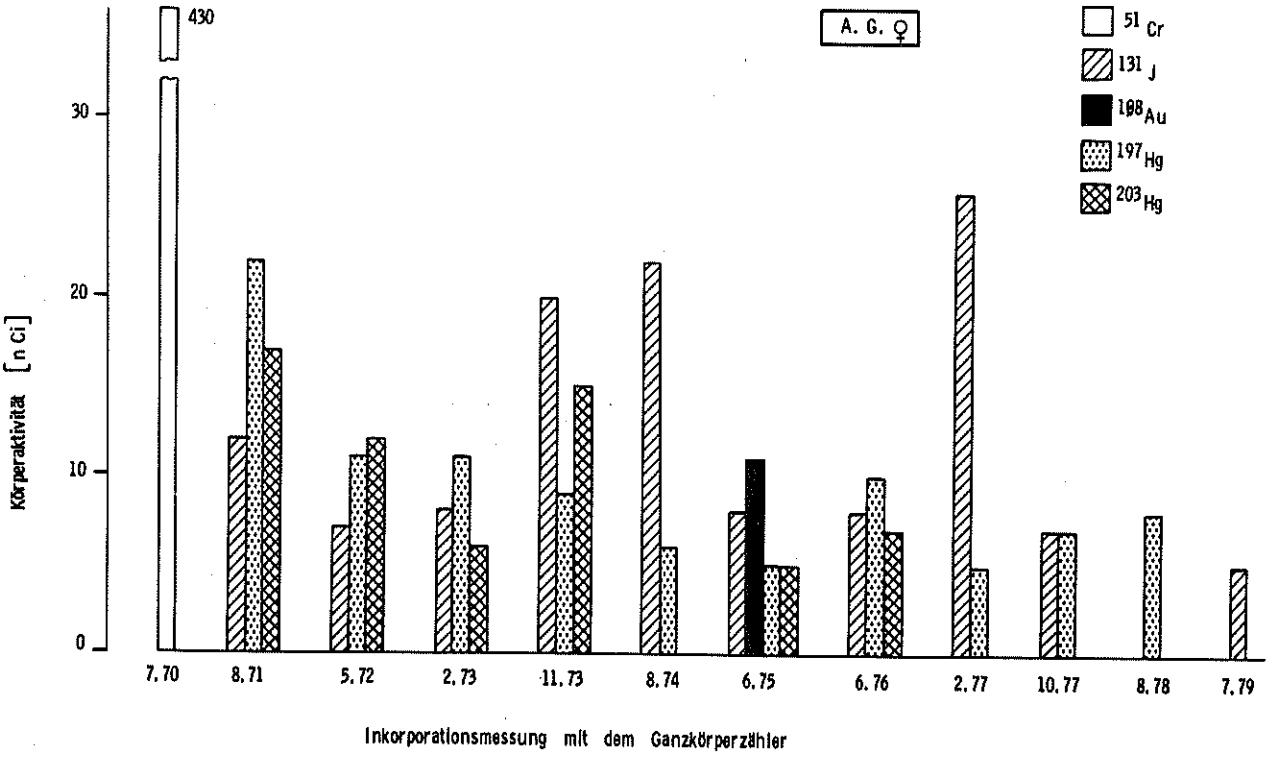


Abb. 2: Beispiel für die Inkorporationsüberwachung bei einer Beschäftigten aus einem Produktionslabor.

werten der Jahresaktivitätszufuhr gemäß § 52 der Strahlenschutzverordnung lagen, festgestellt. In Abbildung 2 sind als Beispiel die Ergebnisse bei einer Beschäftigten in einem Produktionslabor dargestellt. In diesem Fall waren bei jeder Untersuchung zum Teil mehrere Radionuklide inkorporiert, allerdings fast ausnahmslos unter 30 nCi. Über die gesamte Zeitspanne zeigt sich bei insgesamt zunehmender Produktion eine deutlich abnehmende Tendenz der inkorporierten Aktivitäten. Dies soll in Abbildung 3 an einem Beispiel demonstriert werden. Die inkorporierten Aktivitäten lagen in den letzten 5 Jahren um mehr als den Faktor 10 niedriger als in den vorhergehenden 5 Jahren. Dieser Rückgang läßt sich auf Verbesserung der Arbeitsbedingungen (z. T. neue Produktionslabors) und Einhaltung der Schutzvorschriften zurückführen.

Das Inkorporationsrisiko ist für die einzelnen Radionuklide sehr unterschiedlich. Für einige der gehandhabten Nuklide konnte niemals eine Inkorporation nachgewiesen werden. Da es schwierig ist, für das Inkorporationsrisiko eine geeignete Bezugsgröße zu finden - sicher ist es von der Um-

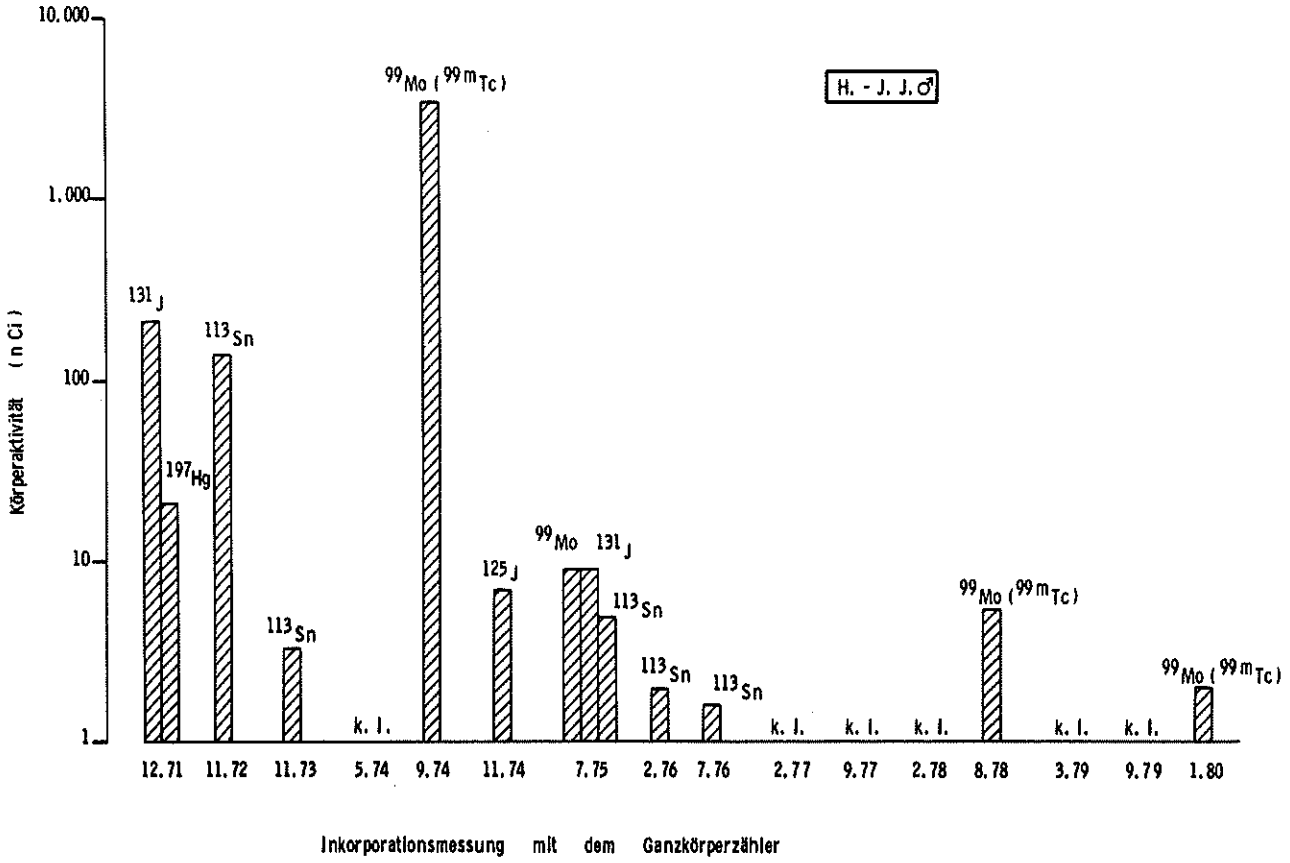


Abb. 3: Beispiel für die Inkorporationsüberwachung; nach einem Zwischenfall wurde 1974 eine Körperaktivität von 3,5 µCi Mo-99 festgestellt.

gangsaktivität sowie der Art und Häufigkeit des Umgangs abhängig -, sind in Abbildung 1 die festgestellten Inkorporationen pro 1000 Messungen aufgetragen. Waren bei einer Untersuchung mehrere Nuklide inkorporiert, sind sie getrennt aufgenommen. Da alle nachweisbaren Inkorporationen in dieser Abbildung aufgenommen wurden, ergeben sich für einzelne Nuklide relativ hohe Inkorporationshäufigkeiten. Andererseits sind bei dem größten Teil der Beschäftigten überhaupt keine Inkorporationen nachweisbar. Die Angabe eines Bruchteils von allen Untersuchten erübrigt sich, da die Abgrenzung zwischen Personengruppen mit bzw. ohne Inkorporationsrisiko fließend ist. Zu den am häufigsten im Körper nachgewiesenen Radionukliden zählen die Isotope des Jods sowie Mo-99, in früheren Jahren auch die Quecksilberisotope Hg-197 und Hg-203 entsprechend den hohen Umgangsaktivitäten. Da auch andere, nicht flüchtige Isotope im Körper nachweisbar sind, muß davon ausgegangen werden, daß ein großer Teil der Inkorporationen Folge von Ingestionen bzw. Aufnahme über die Haut ist. Es ist noch anzufügen, daß neben den in Abbildung 1 aufgeführten Radionukli-

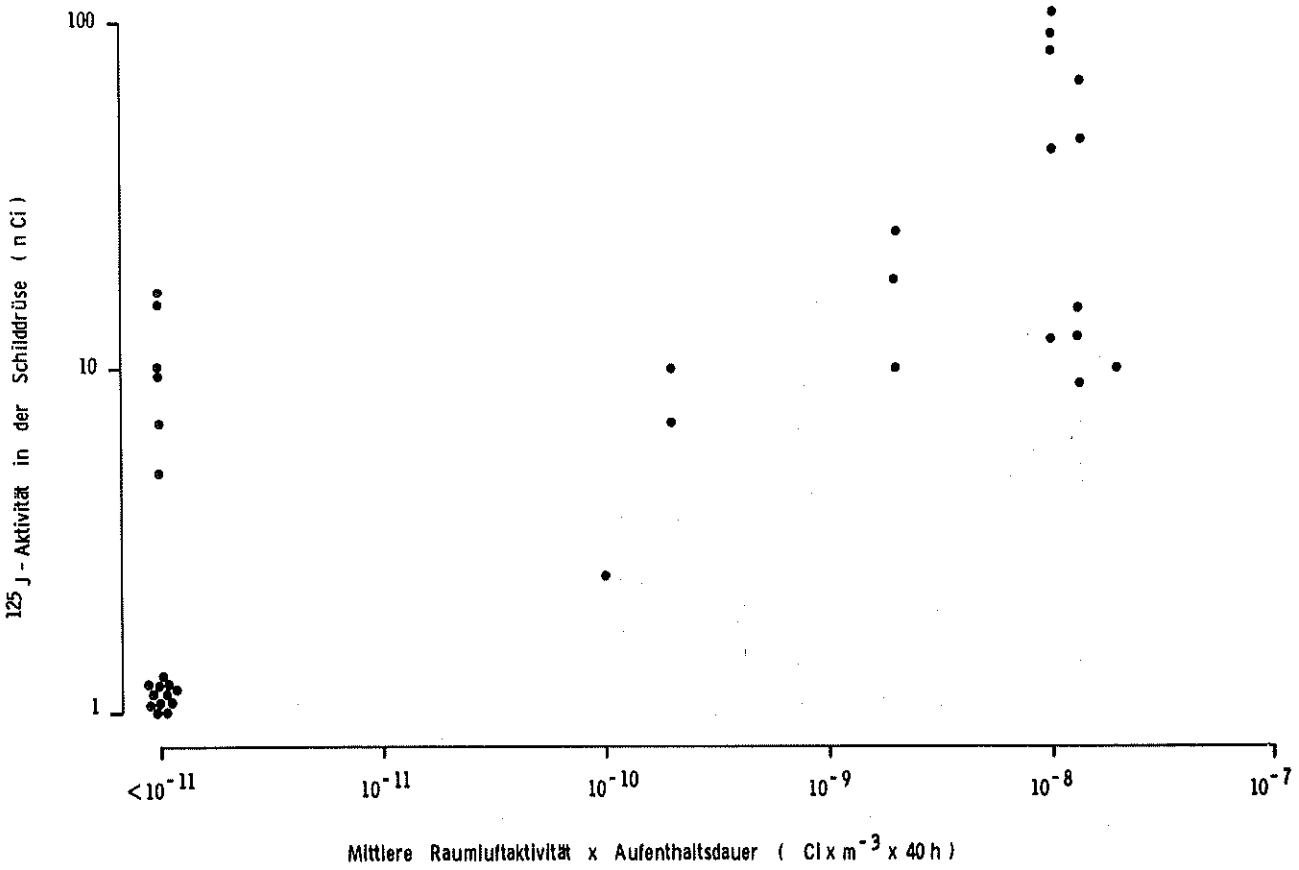


Abb. 4: Korrelation zwischen J-125-Aktivität der Raumluft bezogen auf eine Aufenthaltsdauer von 40 Stunden und J-125-Aktivität in der Schilddrüse.

den Inkorporationen von anderen Nukliden (z. B. Nb-92), die als Verunreinigungen in den Rohprodukten enthalten sind, nur in ganz wenigen Fällen festgestellt wurden. Insgesamt kann man davon ausgehen, daß bei normalem Arbeitsablauf in der radiopharmazeutischen Industrie heute allenfalls geringe Mengen der gehandhabten hohen Aktivitäten inkorporiert werden.

Nach Zwischenfällen konnten in Einzelfällen über das durchschnittliche Maß hinausgehende Körperaktivitäten nachgewiesen werden; z. B. waren bei dem in Abbildung 3 dargestellten Fall bei der Untersuchung im Jahre 1974 3,5 uCi Mo-99 inkorporiert. Für die Strahlenschutzüberwachung interessant im Hinblick auf die Inkorporationshäufigkeit der Jodisotope ist der Zusammenhang zwischen der Raumluftaktivität und den entsprechenden Aktivitäten in der Schilddrüse. In Abbildung 4 ist die Korrelation zwischen der J-125-Aktivität der Raumluft bezogen auf eine Aufenthaltsdauer von 40 Stunden und der Aktivität in der Schilddrüse dargestellt. Zwar ergibt sich erwartungsgemäß eine deutliche Abhängigkeit, anderer-

seits streuen die Inkorporationswerte bei gegebener Raumluftaktivität um mehr als den Faktor 10. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die Raumluftaktivität innerhalb eines Raumes sehr unterschiedliche Werte aufweisen kann. Damit kann zwar aus dem Nachweis von Jodisotopen in der Raumluft auf eine Inkorporation geschlossen werden, jedoch kann es auch bei fehlender Raumluftaktivität durch Ingestion bzw. Aufnahme durch die Haut zu Jodinkorporationen kommen.

Die Autoren danken Frau H. Hahn und Frau U. Tacke für hervorragende technische Mitarbeit.

INKORPORATIONSÜBERWACHUNG MITTELS AUSSCHEIDUNGSANALYSE IN EINER ENTSORGUNGSANLAGE

DILGER, H. U. H. SCHIEFERDECKER, KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE GMBH

1. EINLEITUNG

Die Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH betreibt auf ihrem Gelände eine Anlage zur Dekontamination und Abfallbehandlung (HDB) aller Stoffe aus den Forschungseinrichtungen und Betriebsanlagen. Zu den Großanlagen deren radioaktiven Abfälle endlagerungsfähig konditioniert werden müssen, gehören ein Forschungsreaktor (D_2O, 44 MW_{th}), zwei Prototyp-Kernkraftwerke (D_2O, 50 MW_{el}; Na, 20 MW_{th}) und eine Wiederaufbereitungsanlage (40t/a). Außerdem ist diese Anlage die behördlich zugelassene Einrichtung zur Beseitigung der radioaktiven Abfälle der Landessammelstelle von Baden-Württemberg.

Um die routinemäßige Methode der Raumluftüberwachung auf ihre Brauchbarkeit zur Inkorporationskontrolle zu prüfen, wurde von Mitte 1978 bis Mitte 1979 ein Versuchsprogramm durchgeführt, bei dem alle Mitarbeiter der Anlage im Laufe eines Jahres jeweils eine Stuhl- und Urinprobe zur Untersuchung auf Pu abgaben. Die Abgabetermine waren dabei so über das Jahr verteilt, daß monatlich in Teilanlagen ein bis drei Mitarbeiter als Kontrollpersonen überwacht wurden. Durch die zeitliche Staffelung sollte erreicht werden, daß obwohl jeder Mitarbeiter nur jährlich kontrolliert wird, monatliche Informationen über eventuell bisher unerkannte Inkorporationen vorliegen.

2. THEORETISCHE ÜBERLEGUNGEN

2.1 ABLEITUNGEN AUS DER STRAHLENSCHUTZVERORDNUNG [1]

Zur Inkorporationsüberwachung auf Plutonium wird üblicherweise die Urinanalyse herangezogen. Wegen der geringen Ausscheidungsrate von weniger als 0,1% am Tag ist die täglich ausgeschiedene Aktivität im Urin so gering daß die gleichmäßige tägliche Zufuhr durch Inhalation in Höhe des Grenzwertes der Jahres-Aktivitätszufuhr (JAZ) [1] nicht nachgewiesen werden kann.

Unter der Annahme
- eines JAZ-Werts von 4 300 pCi für Pu - 239
- einer über das Jahr gleichmäßig verteilten Zufuhr
- einer Arbeitszeit von 250 Tagen pro Jahr
- einer Atemrate von 1,25 m^3/h

leitet sich der Grenzwert der täglichen Aktivitätszufuhr (TAZ) zu 17 pCi/d ab.

Nimmt man weiterhin an, daß die inhalierte Aktivität vollständig resorbiert wird und mit der oben angegebenen Rate im Urin ausgeschieden wird, beträgt diese Aktivität nur ca 0,02 pCi/d.

Diese kleinen Aktivitäten können im Urin meist nicht erkannt werden, so daß die Urinanalyse als Inkorporationsnachweis nur für größere Einzelinkorporationen oder bei genaueren Kenntnis des Inkorporationszeitraums erfolgversprechend ist.

Aus diesem Grund sind zusätzlich Stuhlanalysen erforderlich,um aus den im Stuhl ausgeschiedenen Aktivitäten auf die Höhe einer Inhalation zu schließen.

2.2 BETRIEBLICHE ARBEITSWEISE

Die Betriebsräume der HDB werden bis zu α-Aktivitätskonzentrationen in der Raumluft von $1 \cdot 10^{-12}$ Ci/m^3 ohne Atemschutz betreten. Dieser betriebsinterne Wert ist aus dem Grenzwert der Jahres-Aktivitätszufuhr über Luft eines beliebigen Gemischs ohne Cm - 248 für strahlenexponierte Personen der Kategorie A bei einem jährlichen Inhalationsvolumen von 2 500 m^3 aus der Tab. IV, 2 der StrlSchV [1] abgeleitet. Wenn höhere Aktivitätskonzentrationen in der Raumluft gemessen werden, muß Atemschutz getragen werden. Mit der Festlegung dieses laufend kontrollierten betriebsinternen Konzentrationswerts soll erreicht werden, daß bei dauernder Beschäftigung die JAZ nicht überschritten wird. Der Konzentrationswert liegt so tief, daß selbst bei nicht sofort erkannten Störfällen eine Stunde lang Atemluft mit einer ca 170 x höheren Konzentration eingeatmet werden könnte, ohne daß dadurch mehr als 1/20 der JAZ aufgenommen wird.

In der Praxis beträgt die Aufenthaltsdauer in den Betriebsanlagen nach Abzug von An- und Auskleidevorgängen ca 6h täglich; d.h. pro Tag kann nach diesen Überlegungen bei einer mittleren Atemrate von 1,25 m^3/h maximal 7,5 pCi inhaliert werden.

2.3 AUSSCHEIDUNGSRATEN

Unter Verwendung des in ICRP 30 [2] angegebenen Lungenmodells und von Korngrößenuntersuchungen in der Raumluft in den Betriebsteilen der HDB [3] läßt sich die tägliche Ausscheidungsrate im Stuhl abschätzen.

Bei einer Versuchsreihe von 1/4 Jahr wurden Zentralwerte d_z der Äquivalentdurchmesser (AMAD) zwischen 3,7 µm und 9 µm mit einem Kaskadenimpaktor gemessen. Aus den Diagrammen in [2] wurden für zwei Äquivalentdurchmesser die Ablagerung in den einzelnen Kompartimenten abgelesen.

In Tab 1 sind diese Ablagerungen und Ausscheidungen im Stuhl für die pulmonale Retentionsklasse W (Löslichkeitsklasse W) am 1., am 30. Tag und insgesamt aufgeführt.

Zentralwert	Ablagerung im			Ausscheidung (Kl.W) im Stuhl		
d_z in µm	NP in %	TB in %	P in %	1.Tag %	30.Tag %	Σ in %
6,5	77	8	8	64	0,029	80
3,7	68	8	13	59	0,048	76

Tab.1: Ablagerung und Ausscheidung für zwei Äquivalentdurchmesser

NP = Naso-Pharyngial-Raum
TB = Tracheo-Bronchial-Raum
P = Pulmonal-Raum

Bei der Anwendung dieser Tabelle auf die Inhalation von Pu ergibt sich, daß bei einer einmaligen Inkorporation von 4 300 pCi Pu - 239 (JAZ) der Löslichkeitsklasse W mit einem d_z von 3,7 µm nach diesem Modell am 30. Tag noch 2,1 pCi im Stuhl ausgeschieden werden.

Nach Tab. 1 wird am 1. Tag nach einer einmaligen Inkorporation bei einem d_z von 3,7µm 59% der inhalierten Menge mit dem Stuhl ausgeschieden. Bei Dauerinkorporation addieren sich dazu die Anteile von weiter zurückliegenden Tagen, so daß sich eine konstante Ausscheidungsrate von 76% der täglich inhalierten Menge ergeben würde.

Bei Dauerinkorporation von 7,5 pCi/d (s. Kap. 2.2) würden bei demselben d_z und Löslichkeitsklasse W laufend 5,7 pCi/d ausgeschieden werden.

3. ERGEBNISSE

In dem Versuchszeitraum wurden insgesamt 110 Stuhl- und Urinproben untersucht. In keiner der Tagesurinproben ergaben sich Meßwerte oberhalb der Nachweisgrenze von 0,05 pCi/24h-Urin Pu. In Abb. 1 ist die prozentuale Häufigkeitsverteilung der im Tagesstuhl enthaltenen Pu-Mengen aufgezeichnet. Die Klassenbreite der Aktivität beträgt dabei 0,2 logarithmische Einheiten; die Klassen enthalten den links von der Säule aufgeführten Wert.

Unterhalb der Nachweisgrenze von 0,10 pCi lagen 17,3% aller untersuchten Proben; genausoviel wie zwischen 0,40 und 0,62 pCi. Ab 1,6 pCi liegen in der logarithmischen Darstellung immer weniger als 3% je Klasse; insgesamt noch etwa 10% der untersuchten Proben. Der Maximalwert war 16,4 pCi Pu im Tagesstuhl.

4. DISKUSSION

Das Maximum der Meßwerte oberhalb der Nachweisgrenze liegt zwischen 0,4 und 0,6 pCi/d. Das entspricht nach Tab. 1 mit d_z = 3,7 µm einer inhalierten Menge von etwa 0,5 bis 0,8 pCi/d. Mit der Annahme von 7,5 m^3 Atemluft / d kann damit auf eine Luftkonzentration von $7 \cdot 10^{-14}$ bis $1 \cdot 10^{-13}$ Ci/m^3 geschlossen werden. Diese Konzentrationen liegen um den Faktor 10 bis 14 unterhalb des betriebsinternen Aktivitätsgrenzwerts der Raumluft. Nimmt man konservativerweise an, daß die gesamte Aktivität aus Pu-239 bestehen würde, so würde dies bei laufenden Inhalationen einer Zufuhr von 3 bis 5% der JAZ entsprechen.

Vergleicht man die berechneten Konzentrationswerte mit den routinemäßig in den Betriebsräumen der HDB gemessenen [3], so liegen die berechneten Werte um den Faktor 2 bis 5 niedriger. Damit ist eine ausreichende Sicherheit der Inkorporationsüberwachung mittels Raumluftmessungen bestätigt.

Die Proben wurden ohne Beachtung des Wochentags gesammelt. Nach dem Ausscheidungsmodell müßten nach arbeitsfreien Tagen die Ausscheidungsraten deutlich erniedrigt sein, um dann ziemlich rasch wieder auf den Dauerausscheidungswert anzusteigen, wobei angenommen wird, daß dieser Wert am Freitag erreicht ist.

Diese nach dem Modell errechneten Werte sind in Tab. 2 Zeile 4 unter Berücksichtigung des arbeitsfreien Wochenendes in % der theoretischen Dauerausscheidungsrate aufgeführt. Die Meßwerte sind nach Sammeltagen zusammengefaßt und in Zeile 3 aufgeführt, wobei konservativerweise angenommen wurde, daß die gesamte α-Aktivität aus Pu besteht. Dabei wurden Meßwerte über 5,7 pCi/d nicht berücksichtigt, weil nach Überlegungen in Kap. 2.3 dies der maximal zu erwartende Dauerausscheidungswert ist. Werte oberhalb dieser Grenze werden als zwischenfallsbedingt angesehen und gesondert untersucht.

1	Sammeltag	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa
2	Zahl der Analysen	5	33	35	13	15	3	(1)
3	Tagesmittelwert	0,26	0,54	0,71	0,66	0,89	0,95	(3,6)
4	Tagesmittelwert/ Dauerausscheidungswert in % (berechnet)	22	10	85	97	99	100	100
5	Tagesmittelwert/ Dauerausscheidungswert in % (gemessen)	27	57	75	69	94	100	

Tab. 2 Vergleich von Messungen mit Modellrechnungen der Tagesmittelwerte der Pu-Ausscheidung im Stuhl.

In Zeile 5 sind die gemessenen Tagesmittelwerte bezogen auf den Dauerausscheidungswert am Freitag in % angegeben. Ein Vergleich der Zeilen 3 und 5 zeigt, daß die Übereinstimmung am Sonntag recht gut ist. Der relativ hohe gemessene Mittelwert am Montag deutet darauf hin, daß in den Proben am Montag auch schon Ausscheidungsanteile der im Laufe dieses Tages inkorporierten Pu-Mengen enthalten sind. Die Mittelwerte am Dienstag und Mittwoch steigen gegenüber dem Wert vom Montag an,erreichen aber nicht ganz die theoretisch zu erwartenden Werte.

Die Überlegungen nach Kap. 2.3 ergeben, daß nach einer einmaligen Inkorporation der gesamten Jahresaktivitätszufuhr von 4 300pCi Pu - 239 am 30. Tag noch 2,1pCi im Stuhl ausgeschieden wird, während bei dauernder gleichförmiger Inkorporation unter den vorhandenen Arbeitsbedingungen 5,7 pCi/d ausgeschieden werden. Beide Inkorporationsmöglichkeiten sind bei der Überwachung zu berücksichtigen.

Aus diesem Grund ist es bei einer einzigen Stuhlprobe mit mehr als 2,0 pCi/d nicht möglich zu entscheiden, ob es sich um eine Ausscheidung als Folge einer Dauerinkorporation oder um eine bis zu 30 Tage zurückliegende einmalige,bisher unerkannte Inkorporation der JAZ,handelt. Deshalb wurden 2 pCi/d als Überprüfungsschwelle gewählt. Bei Meßwerten oberhalb dieser Grenze wurden die Arbeitsabläufe des entsprechenden Mitarbeiters in den vergangenen Tagen auf außerordentliche Vorkommnisse kontrolliert und bei Verdacht weitere Stuhluntersuchungen vorgenommen. Aufgrund der weiteren gemessenen Ausscheidungsraten konnte bei diesen Mitarbeitern sichergestellt werden, daß es sich nur um Inkorporationen < 5% JAZ handelte.

5. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Methode der Aktivitätsüberwachung der Raumluft zur Inkorporationsüberwachung ist für diese Anlage geeignet, da

- die gemessenen Ausscheidungsraten noch geringer sind, als aufgrund theoretischer Überlegungen zu erwarten wären,
- keine Inkorporationen oberhalb 5% JAZ gefunden wurden.

Zur Fortsetzung des Versuchsprogramms sollen künftig Proben nur noch an einem bestimmten Wochentag gesammelt werden, um die festgestellten täglichen Schwankungen auszuschließen.

Es wurde der Sonntag ausgewählt, weil dadurch eine auch längere Zeit zurückliegende höhere Einzelinkorporation am wenigsten von der täglichen Ausscheidung aufgrund von Dauerinkorporationen überdeckt wird.

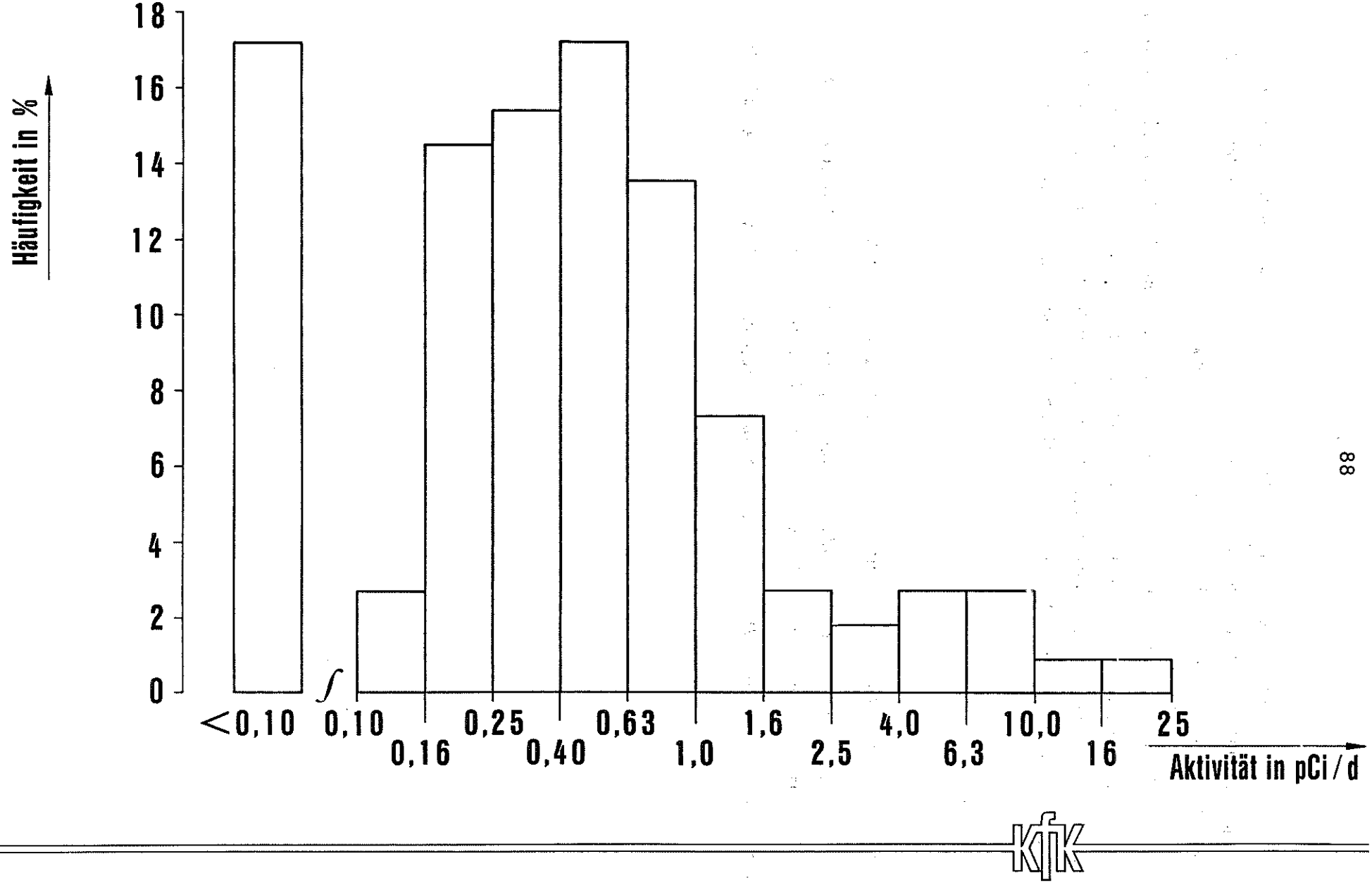
Nach den Modellberechnungen dürften am Sonntag aufgrund der Dauerinkorporation maximal 1,7 pCi ausgeschieden werden. Damit ist es möglich, die Interventionsschwelle auf diesen Wert herabzusetzen, und so auch einmalige, bis zu 30 Tage zurückliegende Inkorporationen unterhalb der vollen JAZ, zu erkennen.

LITERATUR

[1] Strahlenschutzverordnung, BGBL, Teil I, 1976 S. 2905

[2] Limits for Intakes of Radionuclides by Workers, ICRP Publication Nr. 30, Annals of the ICRP Bd 2, Nr. 3/4 1979 Pergamon Press

[3] Jahresbericht 1979 der Hauptabteilung Sicherheit, KfK 2939, April 1980



Häufigkeitsverteilung der mit dem Tagesstuhl ausgeschiedenen Pu-Mengen

INKORPORATIONSÜBERWACHUNG IM EIR

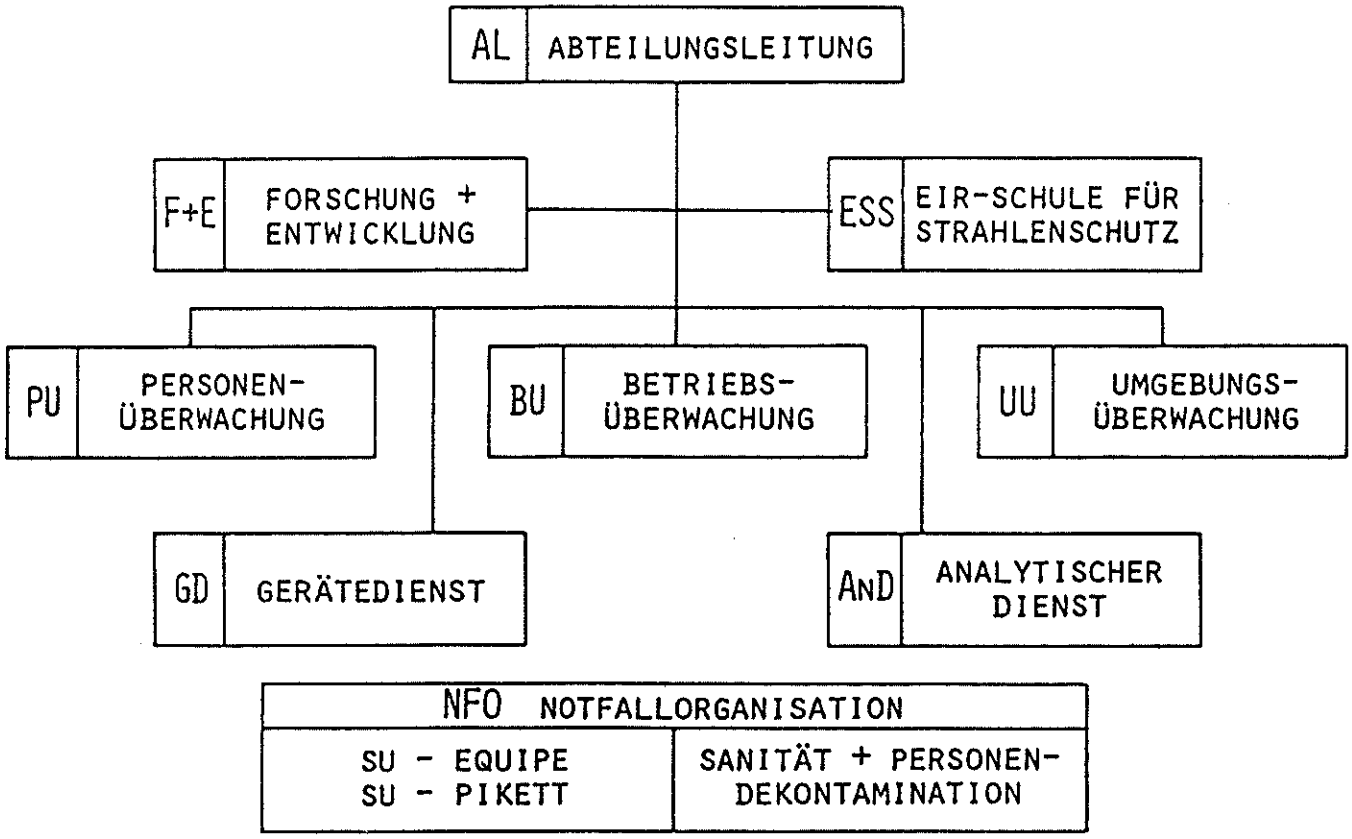
Überblick und Erfahrungen

Dr. Werner Görlich

Eidgenössisches Institut für Reaktorforschung, 5303 Würenlingen
Schweiz

Das 25-jährige Bestehen des Eidgenössischen Institutes für Reaktorforschung (EIR) ist ein Anlass, eine Bilanz in der Inkorporationsüberwachung zu ziehen.

Im EIR ist die Gruppe "Personenüberwachung" der Abteilung Strahlenüberwachung für die Organisation und Beurteilung der Inkorporationsmessungen verantwortlich, die Gruppe"Analytischer Dienst" für deren Durchführung.



Organigramm der Abteilung Strahlenüberwachung des Eidgenössischen Institutes für Reaktorforschung (EIR), Würenlingen, Schweiz

Die Personenüberwachung schickt regelmässig Fragebögen an die Strahlenschutzbeauftragten der einzelnen Abteilungen des EIR, auf denen sie für jeden Mitarbeiter die Radioisotope eintragen, welche inkorporiert werden können. Je nach Nuklid, dem Grad der Inkorporationsgefährdung, der Umgangsaktivität und der effektiven Halbwertszeit werden die Ueberwachungsintervalle und die Art der Inkorporationsmessungen festgelegt.

Derzeit wird für folgende Nuklide eine Inkorporationsgefährdung angenommen (Tabelle 1).

Tabelle 1 : Gehandhabte und inkorporierbare Radionuklide im EIR und bei externen Auftraggebern

γ-Messung :	Na-22	Br-82	J-131
	Na-24	Mo-99	Sb-125
	Cr-51	Tc-99m	Te-Isotope
	Mn-54	Ru-103	Cs-134
	Co-57	Rh-106	Cs-137
	Co-58	Ag-110m	Ce-144
	Co-60	In-111	Tl-201
	Zn-65	J-123	Spaltprodukte
	Fe-59	J-125	
β-Messung :	H-3	Ca-45	
	Sr-90	C-14	
	P-32	Tc-99	
	S-35	Cl-36	
α-Messung :	Pu-239	Th-232/228	
	U-238/234	Am-241	
	U-232	U-233	
	Cm-242/244	Ra-226	

Um diese Vielzahl von Radioisotopen nachweisen zu können, braucht es eine umfangreiche und aufwendige apparative Ausrüstung. Die Tabelle 2 gibt darüber einen Ueberblick.

Tabelle 2 : Ausrüstung des Analytischen Dienstes für die Inkorporationsüberwachung

Labors :	2 Inaktivlabors	
	2 Messräume	
	3 Laboranten	
Messplätze:	1 Ganzkörperzähler mit Lungenmonitor	} angeschlossen an 3 Vielkanalanalysatorsysteme
	2 Schilddrüsenmessplätze	
	2 Ge(Li)-Detektoren	
	2 Si(Li)-Detektoren	
	1 Jod-125-Messplatz	
	1 GM-Messplatz	
	3 Proportionalzähler	
	1 Flüssigszintillationsmessgerät	
	1 Plutonium-Wundmonitor	

Dieser enorme Aufwand ist notwendig, um die routinemässig erhobenen und auch die nicht geplanten Proben in annehmbarer Frist analysieren zu können.

Da viele Radionuklidverwender sich diesen personellen und apparativen Aufwand nicht leisten können, ist die Nachfrage nach Dienstleistungen in den letzten Jahren stark angestiegen. Von den rund 4000 Inkorporationsanalysen im Jahre 1979 führten wir bereits 50 % im Auftrag von Spitälern, Universitäten, Firmen und Behörden durch.

Mit den 4000 Analysen wurden 850 Personen (EIR und externe) überwacht. Es wiesen etwa 20 % der Analysen einen positiven Befund auf.

Tabelle 3 : Durch Inkorporationsmessungen nachgewiesene Radionuklide

regelmässig inkorporierte Radionuklide			
J-131	J-125	J-123	H-3
vereinzelt und wiederholt inkorporierte Radionuklide			
C-14	Cr-51	Sr-90	Tl-201
Na-22	Mn-54	Mo-99	U-238/234
P-32	Co-57	Tc-99m	Pu-239
S-35	Co-58	Ru-103	Am-241
Ca-45	Co-60	Rh-106	

Die grosse Zahl positiver Befunde bezieht sich fast ganz auf eine Gruppe von ca. 50 Personen. Diese arbeitet mit Tritium und Jodisotopen und wird zum Teil wöchentlich kontrolliert. Da bei diesen Arbeiten die Aktivitäten im Urin und in der Schilddrüse nahezu konstant sind, gibt es viele positive Messungen.

Betrachten wir die Aktivitäten,die von 1974 bis 1980 unbemerkt oder regelmässig inkorporiert wurden,so liegen sie für das EIR und die externen Auftraggeber bei folgenden Werten :

Tabelle 4 : Mittlere, durch routinemässige Inkorporationsüberwachung entdeckte, unbemerkt aufgenommene Aktivitäten

Nuklid	gefundene Aktivitäten	Messung	Ursachen
H-3	0,05-20µCi/l	Urin	veraltete Arbeitsplätze(Heimarbeit) in der Uhrenindustrie
J-123	5 - 50 nCi/SD	Schilddrüse	Produktion
J-125	5 -100 nCi/SD	Schilddrüse	Markierungen
J-131	5 - 50 nCi/SD	Schilddrüse	Produktion

In den letzten beiden Jahren war eine deutliche Abnahme der unbemerkt inkorporierten Jod- und Tritiumaktivitäten festzustellen. Dies, obwohl die gehandhabten Aktivitäten zugenommen haben, häufiger Personalwechsel stattfindet und Hilfskräfte eingesetzt werden.

Die Erfahrungen des Strahlenschutzes und eine wirkungsvolle Arbeitsplatzüberwachung haben das Risiko einer folgenschweren unbemerkten Inkorporation dieser Isotope auf ein Minimum gesenkt.

Neben dem Tritium und den Jodisotopen geht nur von den Aktiniden eine echte Inkorporationsgefährdung aus. In den vergangenen Jahren konnten 6 Fälle von α-Inkorporationen sicher nachgewiesen werden.

Zusammenfassend lässt sich aus den Erfahrungen des EIR in der Inkorporationsüberwachung der letzten 25 Jahre folgendes feststellen :

Inkorporationsgefährdete Personengruppen sind :

- Personen, die mit Tritium arbeiten
- Laboranten und Mediziner, die mit offenen Jodquellen arbeiten, speziell diejenigen, die Markierungen organischer Substanzen durchführen
- Personen, die Reparatur-, Dekontaminations- oder Abfallkonditionierungsarbeiten in Kernanlagen oder an Beschleunigern durchführen.

Unbemerkte Inkorporationen, die zu Folgedosen über 50 mrem führen, sind nur bei Tritium-, Jod- und bei α-Strahlern denkbar, treten aber in der Praxis äusserst selten auf.

Daraus kann geschlossen werden :

- die Gefährdung durch unbemerkte Inkorporationen beim Umgang mit offenen Quellen wurde und wird überschätzt
- bei gut ausgebauter Arbeitsplatzüberwachung sollte der Aufwand für Inkorporationsüberwachung nicht übertrieben, sondern eher reduziert werden
- ein weiteres Hochzüchten der Messtechnik der Inkorporationsmessungen in Richtung auf noch niedrigere Nachweisgrenzen ist unsinnig. Es täuscht eine nicht vorhandene Inkorporationsgefährdung vor.

Es ist meiner Meinung nach dringend notwendig, der Forderung der ICRP 26 nach Beachtung des Kosten-/Nutzenverhältnisses im Strahlenschutz Rechnung zu tragen und liebgewordene Gewohnheiten abzulegen.

Die Direktmessung von Uran in der Lunge

H. DOERFEL

Hauptabteilung Sicherheit
Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Das im Kernforschungszentrum Karlsruhe entwickelte Verfahren zur Direktmessung von Uran in der Lunge beruht auf einer gleichzeitigen Bestimmung der Aktivität von ^{235}U über die γ-Linien bei 144 keV und 186 keV und der Aktivität von ^{234}Th über die γ-Linien bei 63 keV und 93 keV. Im allgemeinen kann man davon ausgehen, daß der Zeitpunkt der chemischen Abtrennung des inkorporierten Urans entweder mehr als drei Monate zurückliegt oder aber so eingegrenzt werden kann, daß eine hinreichend genaue Berechnung der Aktivität von ^{238}U aus der Aktivität von ^{234}Th möglich ist. Bei Kenntnis der Aktivitäten von ^{238}U und ^{235}U kann dann zunächst der Anreicherungsgrad des inkorporierten Urans und danach auch die Aktivität der beiden übrigen Isotope ^{234}U und ^{236}U bestimmt werden (siehe hierzu Abb. 1).

Die Aktivitätsbestimmung über jeweils zwei γ-Strahlenqualitäten mit unterschiedlichem Absorptionsverhalten hat den Vorteil, daß durch einen Vergleich der Ergebnisse die effektive Wegstrecke der Strahlung im Körpergewebe abgeschätzt und auf diese Weise zwischen Inkorporationen und äußeren Kontaminationen unterschieden werden kann.

Für die Messungen wird ein speziell für die Strahlenqualitäten von ^{234}Th und ^{235}U ausgelegter 8"-Phoswichdetektor (Quartz & Silice Type 203 YBE 10/1828) benutzt. Der Detektor besteht aus einem 1 cm starken NaJ(Tl)-Kristall und einem 5 cm starken CsJ(Tl)-Kristall sowie einem 5 cm starken Lichtleiter aus unaktiviertem NaJ. Mit Hilfe einer zweistufigen Impulsformdiskriminierungs - Elektronik kann außer dem eigentlich interessierenden Spektrum des NaJ(Tl)-Kristalls (10 keV bis 250 keV) auch das Spektrum des CsJ(Tl)-Kristalls (100 keV bis 2500 keV) registriert werden. Auf diese Weise kann außer der Strahlung von ^{234}Th und ^{235}U auch die Strahlung der höherenergetischen Störstrahler spektroskopisch erfaßt werden. Dadurch wird eine einfache und recht genaue Separierung der von den höherenergetischen Störstrahlern erzeugten Compton-Kontinua im Spektrum des NaJ(Tl)-Kristalls ermöglicht. Dies kann gerade bei störfallbedingten Inkorporationsmessungen von besonderer Bedeutung sein.

Der Phoswichdetektor wird halbrechts über der Brust des Probanden angeordnet, wobei die Detektorneigung der jeweiligen Wölbung des Brustkorbs angepaßt wird (siehe Abb. 2). Die in der Abbildung angegebenen Maße beziehen sich auf die Meßposition bei einem normal proportionierten 70 kg schweren und 175 cm großen Mann. Die asymmetrische Meßposition hat unter anderem den Vorteil, daß bei einem positiven Meßbefund durch ergänzende Messungen in der spiegelsymmetrischen halblinken Position untersucht werden kann, ob und inwieweit die inkorporierte

Aktivität homogen verteilt ist.

Der Wirkungsgrad wurde für diese Meßposition mit Hilfe des in Abb. 3 dargestellten Brustphantoms bestimmt. Bei dem Phantom wurden die Lungenflügel durch 2 1-Kautexflaschen simuliert. Diese Simulierung gibt die tatsächlichen geometrischen Verhältnisse recht gut wieder, da das Gesamtvolumen beider Lungenflügel beim Referenz-Menschen gerade 3,92 l beträgt. Die Kautexflaschen wurden von einem Aluminiumkorb umgeben, der sowohl in seiner Flächenbelegung als auch in seinem Absorptionsverhalten repräsentativ für den menschlichen Brustkorb ist. Über dem Aluminiumkorb liegt zur Simulierung des Fett- und Muskelgewebes ein etwa 2 cm starker Paraffinmantel. Mit diesem Brustphantom wurden homogene Lungendepots von natürlichem und angereichertem Uran simuliert, wobei der Anreicherungsgrad zwischen 2,5 % und 90 % ^{235}U variiert wurde. Die Abb. 4 zeigt als Beispiel das Nettospektrum von 10 nCi bzw. 0,24 mg hochangereichertem Uran (90 % ^{235}U) bei einer Meßzeit von 1000 min.

Zur Entwicklung eines geeigneten Auswerteverfahrens wurden die Nulleffektspektren von mehreren Referenzpersonen mit sehr unterschiedlichen Körperproportionen und stark variierendem ^{40}K-Gehalt aufgenommen. Auf der Basis dieser Spektren wurden zunächst die zur Bestimmung der vier Einzelpeakflächen am besten geeigneten Spektralbereiche (in Abb. 4 schraffiert) ermittelt. Danach wurde ein Rechenalgorithmus erstellt, mit dessen Hilfe die Impulsraten in den einzelnen Spektralbereichen jeweils in einen Photopeakanteil und in die Compton-Kontinua der höherenergetischen Strahler zerlegt werden können. Auf diese Weise können bis zu einem gewissen Grad auch die Compton-Kontinua der Strahlung von ^{234}Th und ^{235}U zur Aktivitätsbestimmung herangezogen werden. Bei Berücksichtigung der unterschiedlichen Absorption der einzelnen Strahlenqualitäten in den Eichlösungen bzw. im Lungengewebe ergibt sich bei einem normal proportionierten Menschen mit durchschnittlichem ^{40}K-Gehalt eine untere Nachweisgrenze von 0,10 nCi ^{235}U bzw. von 0,46 nCi ^{238}U bei einer Meßzeit von 50 min.

Bei bekanntem Anreicherungsgrad hat man die Wahl, ob man die Gesamtaktivität aus der ^{235}U-Aktivität oder aus der ^{238}U-Aktivität oder aber aus beiden Aktivitäten zusammen bestimmt. Wie aus der Abb. 5 hervorgeht, ist bis zu einem Anreicherungsgrad von etwa 2 % ^{235}U die Bestimmung aus der ^{238}U-Aktivität am günstigsten. Bei Anreicherungsgraden zwischen 2 % und 5,5 % empfiehlt sich eine Gesamtaktivitätsbestimmung aus den Aktivitäten beider Isotope, während bei Anreicherungen über 5,5 % die ^{235}U-Aktivität die besten Ergebnisse liefert. Bei allen Anreicherungsgraden liegt die Nachweisgrenze unterhalb von 2,2 nCi Uran. Voraussetzung ist dabei allerdings, daß es sich um ein großes homogen verteiltes Lungendepot handelt.

Bei inhomogenen Nukliddepositionen kann die Nachweisgrenze um bis zu einen Faktor 2 kleiner sein. Allerdings muß in diesen Fällen mit einem größeren Gesamtfehler gerechnet werden. Liegt eine äußere Urankontamination vor, so erhöht sich sowohl die Nachweisgrenze als auch der Gesamtfehler in massiver Form. Dagegen wirken sich Kontaminationen oder Inkorporationen höherenergetischer Störstrahler bei der hier angewandten

Meßmethode weniger schwerwiegend aus, da die Compton-Kontinua im NaJ(Tl)-Spektrum stets mit Hilfe der entsprechenden Photopeaks im CsJ(Tl)-Spektrum separiert werden können. So können beispielsweise in Gegenwart von 1000 nCi ^{137}Cs noch etwa 20 nCi Uran in der Lunge nachgewiesen werden. Bei Kontaminationen oder Inkorporationen anderer Spalt- und Aktivierungsprodukte verhält es sich ähnlich. Die Direktmessung ist daher auch in solch extremen Fällen für einen schnellen und sicheren Inkorporationsnachweis von Uran gut geeignet.

Mäßig und schwer transportable Uranverbindungen können auch längere Zeit nach der Inkorporation festgestellt werden. Geht man davon aus, daß 12 % der inhalierten Aktivität längerfristig abgelagert und mit einer biologischen Halbwertszeit von 50 Tagen (Transportabilitätsklasse W) bzw. von 500 Tagen (Transportabilitätsklasse Y) abgebaut wird, dann kann eine einmalige Zufuhr von 50 % des zulässigen Grenzwertes je nach Anreicherungsgrad nach 150 bis 200 Tagen (Klasse W) bzw. nach 1500 bis 2000 Tagen (Klasse Y) noch sicher nachgewiesen werden. Demnach ist die Direktmessung bei einer Überwachungsfrequenz von drei Messungen pro Jahr für die routinemäßige Inkorporationsüberwachung auf alle Uranverbindungen der Klassen W und Y sehr gut geeignet.

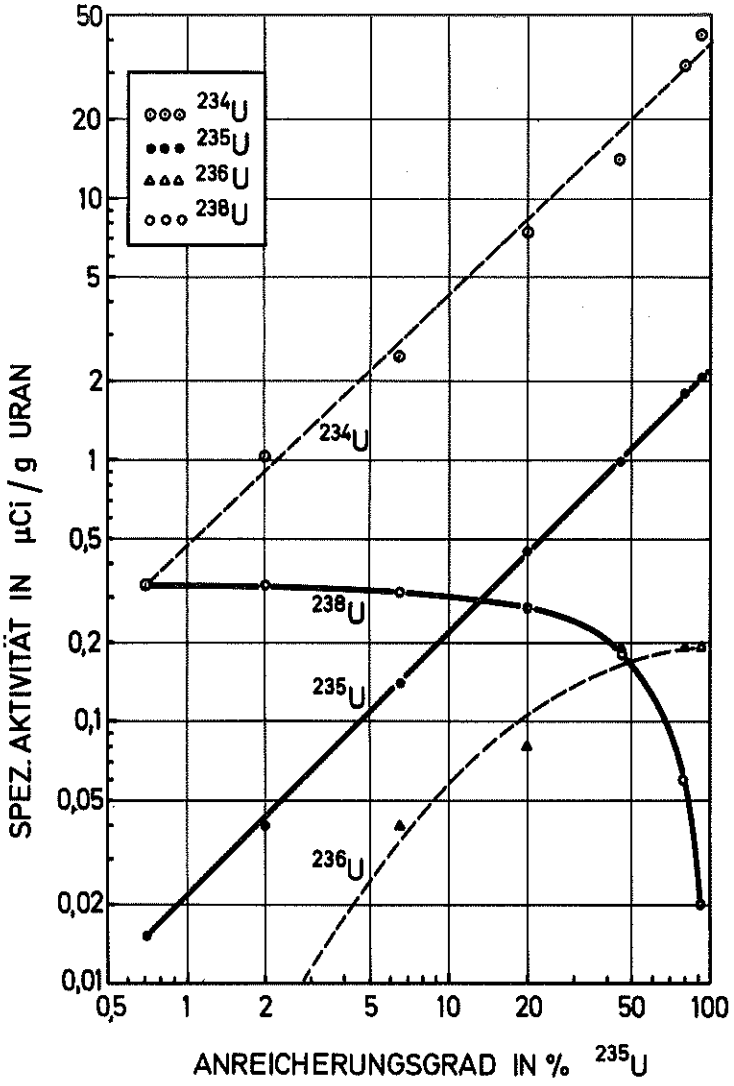


Abb. 1: Spezifische Aktivität der Uranisotope ^{234}U, ^{235}U, ^{236}U und ^{238}U in Abhängigkeit vom ^{235}U-Anreicherungsgrad

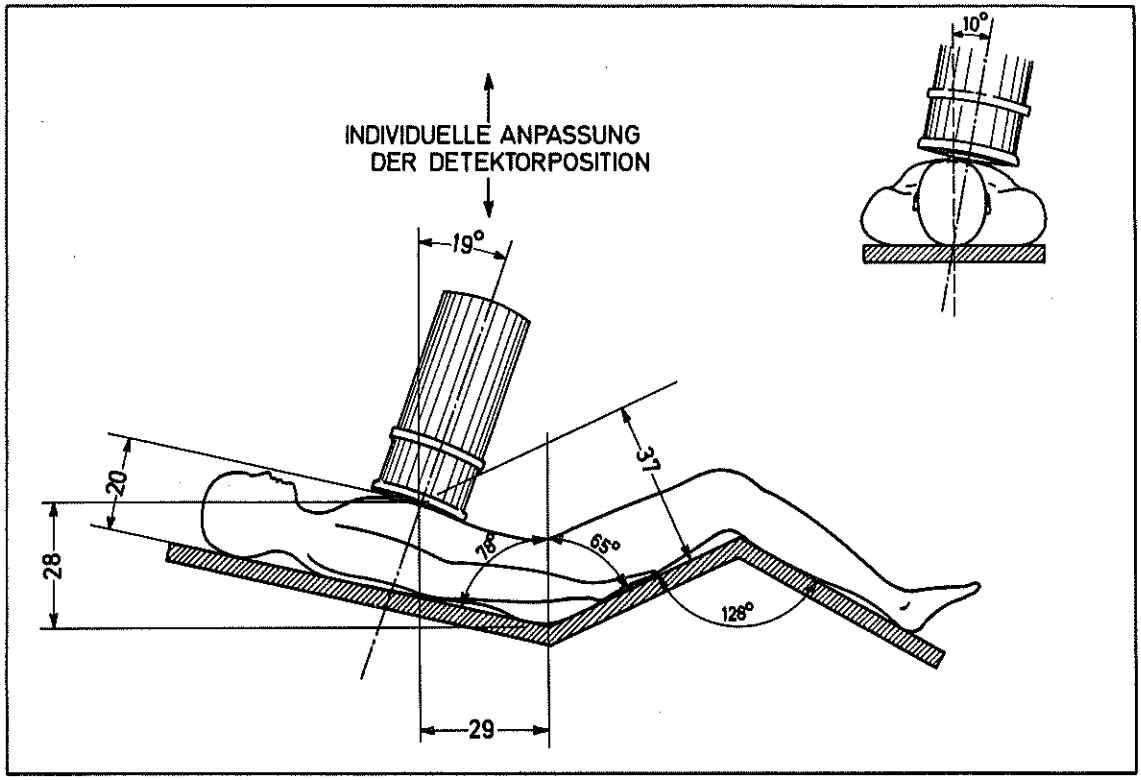


Abb. 2: Meßposition für die Direktmessung von Uran in der Lunge

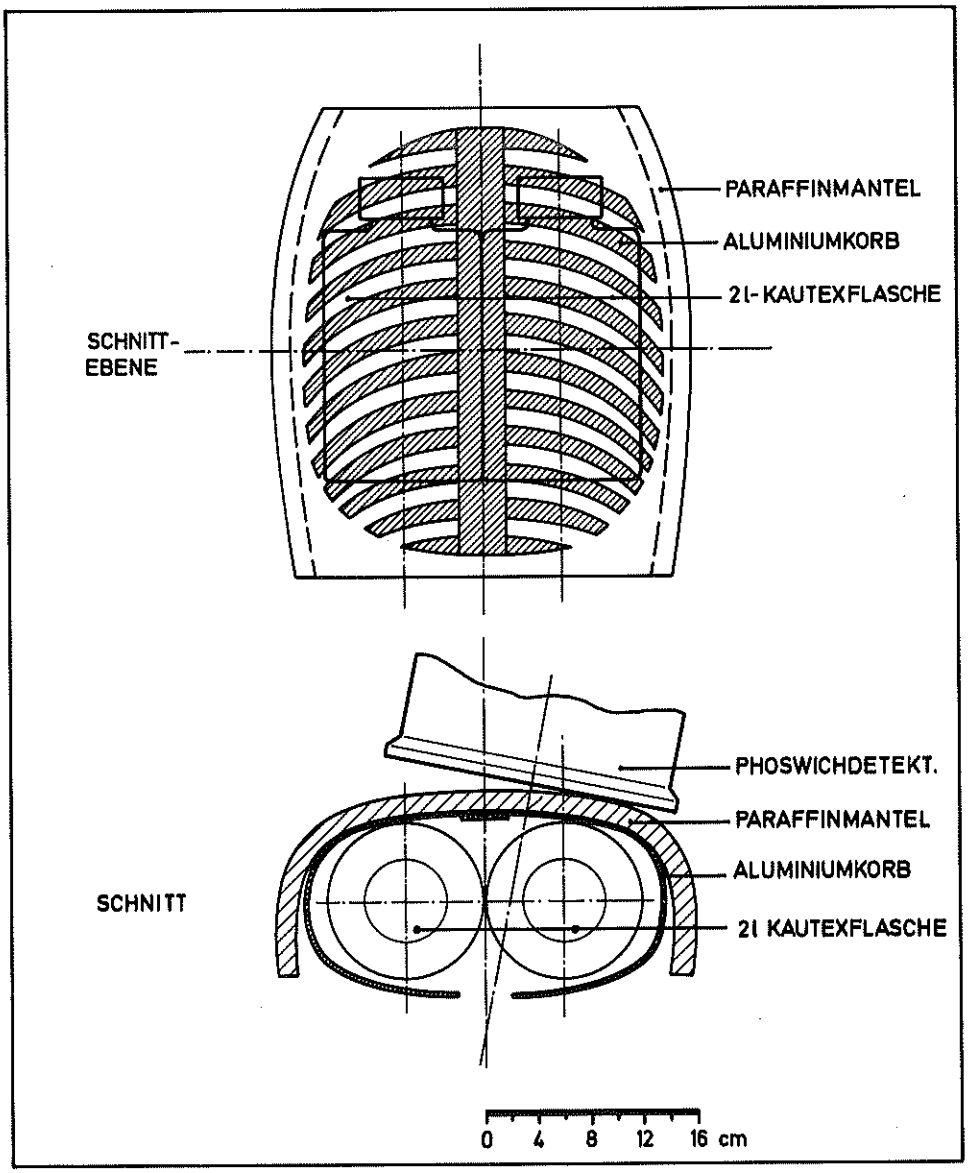


Abb. 3: Brustphantom zur Kalibrierung der Meßanordnung

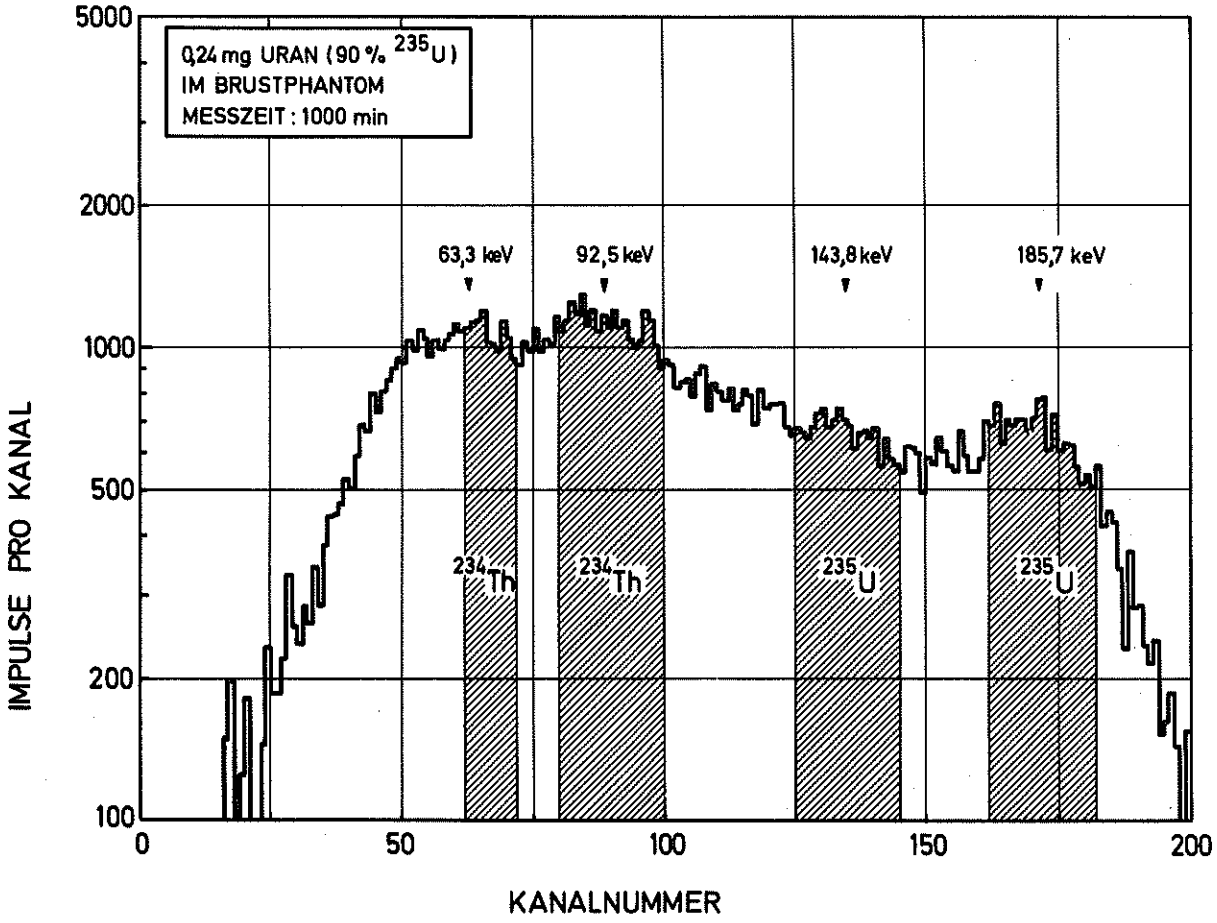


Abb. 4: Phoswich-Spektrum für 10 nCi bzw. 0,24 mg hochangereichertes Uran im Brustphantom bei einer Meßzeit von 1000 min (Nettospektrum)

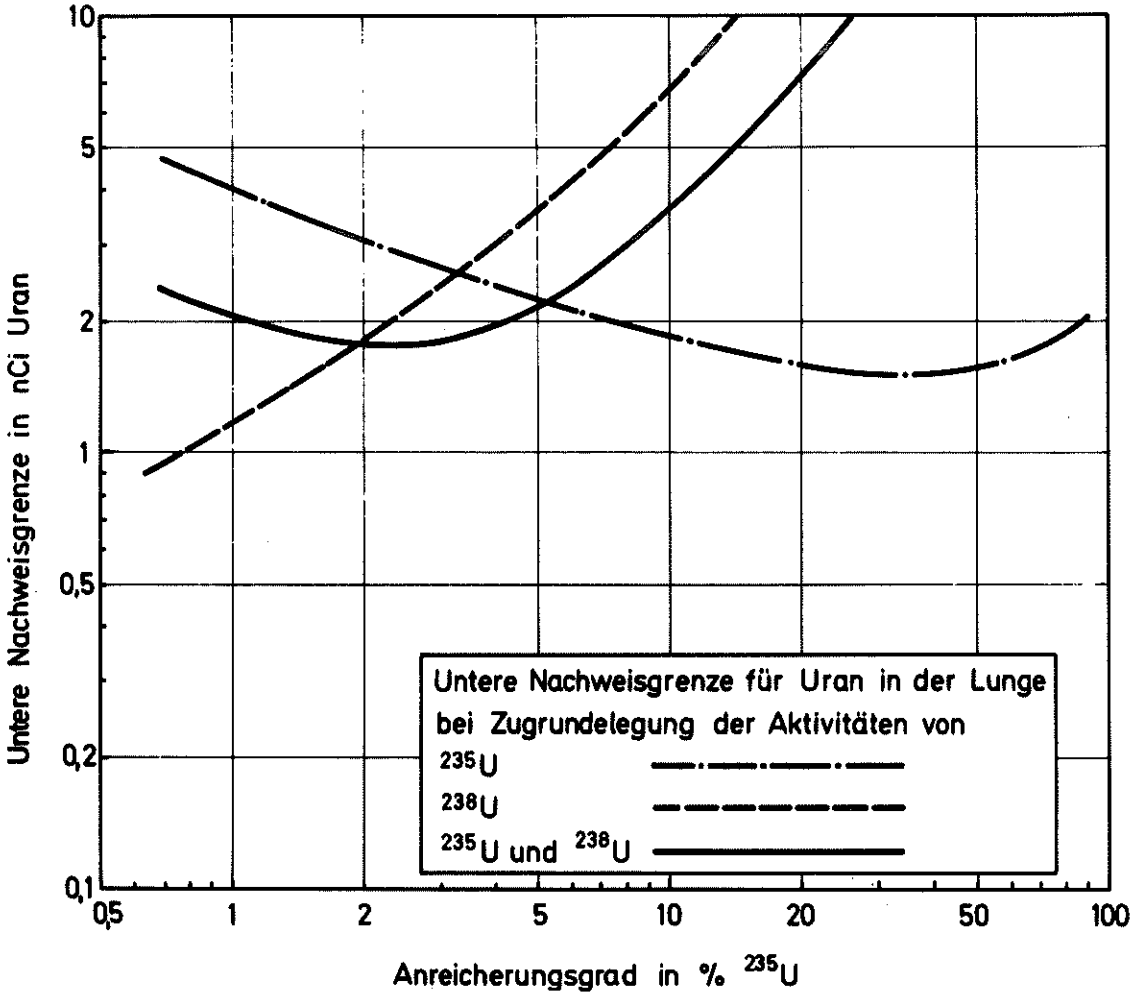


Abb. 5: Untere Nachweisgrenze für Uran in der Lunge bei Bestimmung der Gesamtaktivität aus der ^{238}U-Aktivität, der ^{235}U-Aktivität bzw. aus beiden Aktivitäten

Verfahren zur Inkorporationsüberwachung durch Ausscheidungsanalyse nach Störfällen

R. Biehl
Kernforschungsanlage Jülich
Abteilung Sicherheit und Strahlenschutz

1. Einleitung

Zur Inkorporationsüberwachung durch Ausscheidungsanalyse zählt die Objektbestimmung, das Analysenverfahren und die Interpretation der Meßergebnisse.
Unter Objektbestimmung soll hier die Festlegung der zu überwachenden Person, des zu untersuchenden Ausscheidungsproduktes (in der Regel Urin, aber auch Faeces und Nasensekret) sowie der zu bestimmenden Nuklide verstanden werden (α- und/oder β-Strahler). γ-spektrometrische Untersuchungen von Ausscheidungsprodukten zu Überwachungszwecken werden nur selten durchgeführt (z.B. zur Absicherung von Body-Countermessungen bei nicht zu entfernender äußerer Kontamination). Die Objektbestimmung erfolgt anhand der Vorgeschichte des jeweiligen Störfalles bzw. aus dem Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen bei regelmäßiger Überwachung.
Das Analysenverfahren beinhaltet die Probennahme, die Anreicherungs- und Trennverfahren, die Präparation zur Messung und das Meßverfahren mit der Berechnung der Ausscheidungsrate.
Die Interpretation der Meßergebnisse geht aus von der Ausscheidungsrate hin zur Berechnung der Aktivitätszufuhr sowie von Ganzkörper- bzw. Teilkörperdosen und somit Entscheidungshilfen für den Strahlenschutzbeauftragten und ggf. für den Arzt.

2. Zu den Analysenverfahren

Im Anhang sind die Analysenverfahren für die Schwerpunkte der Überwachung in der KFA Jülich (U_{nat}, Th_{nat}, H-3, β-Strahler speziell Sr-90, α-Strahler speziell Pu-239) stichwortartig dargestellt. Die beschriebenen Verfahren werden für die Urinanalytik eingesetzt. Für die Bestimmung in Nasensekret- und Stuhl-

proben sind einige Modifikationen anzuwenden.
Ein besonderes Problem stellt die Probennahme dar. Da in der Ausscheidungsanalytik der Probenehmer mit der zu überwachenden Person identisch ist, stehen die zu Überwachenden für diesen Teil der Verfahren selbst in der Verantwortung. Bereits geringste Kontaminationen der Probensammelgefäße täuschen eine Inkorparation vor und die Nichteinhaltung der Sammelzeit würde die Werte verfälschen.

2.1 Anforderungen an die Analysenverfahren

Es müssen Verfahren zur Verfügung stehen, die

1. schnelle Informationen liefern
2. nuklidspezifisch sind und damit Fehlinterpretationen ausschließen
3. leicht zu modifizieren sind, um bei einem erhöhten Probenanfall Nachfolgemessungen des gleichen Störfalles zu ermöglichen und
4. durch extrem niedrige Nachweisgrenzen* Langzeitbeobachtungen des Ausscheidungsverhaltens und für die regelmäßige Überwachung große Überwachungsintervalle gewährleisten.

Die Analysenverfahren müssen sich durch eine hohe Zuverlässigkeit auszeichnen. Diese wird bestimmt durch die Wiederholbarkeit, die Vergleichbarkeit und die Richtigkeit.

2.2 Ausrüstung der Laboratorien

Als Grundausrüstung reichte die eines herkömmlichen Chemielabors für analytische Arbeiten aus. Da jedoch in der Inkorporationsüberwachung die Anforderungen an die Analysenverfahren (Zuverlässigkeit, Nachweisempfindlichkeit, Selektivität) steigen, treten immer mehr low-level- und spurenanalytische Aspekte in den Vordergrund. Hierzu zählen z.B. bauliche Maßnahmen (low-level-Baumaterial, Filterung der Zuluft), Eingangskontrolle

---

* Die Nachweisgrenze wird derzeit noch durch ein bestimmtes Vielfaches (abhängig von der geforderten statistischen Sicherheit) der Standardabweichung der Blindwerte multipliziert mit der empirischen Eichfunktion des Analysenverfahrens.

(Vermeidung von Kontaminationen auch mit nicht zu bestimmenden Materialien, die aber einen Meßeffekt hervorrufen), analytische Maßnahmen (Reinigung der Chemikalien, Analytik in "geschlossenen Systemen", Vermeidung von Adsorptionsverlusten), usw. Zur Ausrüstung kommen spezielle Chemiekalien, wie z.B. Flüssigionenaustauscher, Flüssigszintillatoren usw.
An Meßgeräten stehen der Inkorporationsmeßstelle in der KFA zur Ausscheidungsanalyse zur Verfügung:
β-low-level-Antikoinzidenzmeßplatz, Methandurchfluß-Proportionalzähler, Flüssigszintillationszähler, Silicium-Oberflächen-Sperrschichtzähler, Vielkanal-Impulshöhenanalysator, Filterfluorimeter, Spektralphotometer, Atomabsorptionsspektrometer.

3. Ablauf von Überwachungen

Bei der Störfallüberwachung werden unter Ausnutzung aller Informationen im Einzelfalle ergänzend zu Urinproben auch Nasensekret- und Stuhlproben untersucht. Ausgehend von halbquantitativen Messungen für erste Informationen zur Art (α- oder β-Strahlung) und Höhe der Inkorporation, über Verfahren zur Nuklid- bzw. Elementidentifizierung und vereinfachte Verfahren zur Bewältigung eines erhöhten Probenaufkommens geht der analytische Verlauf einer Überwachung bis zu nachweisstarken Verfahren zur weiteren Beobachtung des Ausscheidungsverhaltens (diese Verfahren sind auch zur regelmäßigen Überwachung geeignet).
In Tabelle 1 ist der Ablauf von Inkorporationsüberwachungen durch Ausscheidungsanalyse nebst Anforderungen an die Verfahren dargestellt. Nachfolgend wird der Ablauf im Detail mit einer Zuordnung zu den jeweiligen Verfahren (laufende Nr. der Verfahren im Anhang) beschrieben.

Tabelle 1 Ablauf von Inkorporationsüberwachungen durch Ausscheidungsanalyse und Anforderungen an die Verfahren

Nr.	Art des Verfahrens	Nachweis-grenze	Zuverlässigkeit
1	Halbquantitative Übersichtsmessungen, strahlungsspezifisch	-	o
2	Nuklid- bzw. elementspezifische Verfahren	**	**
3	Nachfolgeuntersuchungsverfahren		
	1.Phase: Vereinfachte Verfahren durch Messung von Nuklid- bzw. Elementgruppen zur Bearbeitung eines hohen Probenaufkommens	*	**
	2.Phase: Nachweisstarke Verfahren zur weiteren Beobachtung des Ausscheidungsverhaltens und zur regelmäßigen Überwachung	**	**

** sehr hohe Anforderungen
* hohe Anforderungen
o mittlere Anforderungen
- geringe Anforderungen

3.1 Übersichtsmesssungen

Die ersten Übersichtsmessungen nach Störfällen sind zunächst halbquantitativer Art. Hierzu werden die Aschen der Untersuchungsobjekte (Urin-Stichprobe oder 1. 24-h-Urin, Nasensekret nach Inhalation, Stuhlsammlung nach Inkorporation schwer transportabler Verbindungen) im α- und im α+β-Plateau eines Proportionalzählers gemessen (Verfahren 1) oder eines der nachweisstärkeren Verfahren beschleunigt durchgeführt. Letzteres wird praktiziert, wenn genaue Informationen über die evtl. inkorporierten Nuklide vorliegen. Dies ist vorwiegend bei Tritium der Fall, wobei mit der Flüssig-Szintillationsmessung ein zuverlässiges und nachweisstarkes Verfahren zur Verfügung steht,

welches innerhalb weniger Minuten einen ersten Überblick zur Höhe der Ausscheidungsrate liefert (Verfahren 5). Schwieriger ist die Situation bei Verdacht auf Inkorporation von α-Strahlern. Hier hat ausschließlich die Messung der Asche einer Nasensekretprobe (mit möglichst aschefreiem Papier entnommen) im Proportionalzähler eine halbquantitative Aussagekraft, da die Flächenbelegung des Meßpräparates zur Messung der α-Strahlung gering genug ist. Nach der Inkorporation von α-Strahlern ist in jedem Fall ein nachweisempfindlicheres Verfahren anzuwenden. Hier bietet sich die α-Summen-Messung im Flüssig-Szintillationszähler an (Verfahren 2). Für die Bestimmung von Th-nat steht z.Z. nur ein Verfahren zur Verfügung, das in 2-4 h quantitative Ergebnisse liefert (Verfahren 9).

3.2 Nuklid- bzw. elementspezifische Verfahren

Ist nach einem Störfall das inkorporierte Nuklid oder Element nicht bekannt, muß eine Identifizierung vorgenommen werden. Als Meßobjekt kommen die Schneuzprobe, ein Stichprobenurin oder der erste 24-h-Urin und ggf. die erste Stuhlprobe zum Einsatz. Für α-Strahler ist eine α-Spektroskopie durchzuführen (Verfahren 12). Ist bei den Übersichtsmessungen β-Strahlung nachgewiesen, so beschränkt sich die Bestimmung auf die reinen β-Strahler, wie z.B. der Sr-90-Bestimmung (Verfahren 11). Für weitere reine β-Strahler (Tc-99, S-35, P-32) stehen spezielle Verfahren zur Verfügung, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll. Tritium und C-14 werden aufgrund ihrer unterschiedlichen Energie im Flüssigszintillationszzähler getrennt gemessen. Für die Bestimmung von U-nat kommt das Verfahren mit mittlerer Nachweisgrenze (Verfahren 7) zum Einsatz.

3.3 Nachfolgeuntersuchungsverfahren

Bei den Nachfolgeuntersuchungen zu einem Störfall sind im Ablauf der Überwachung zwei Phasen zu unterscheiden:

1. Nach einem Störfall kommt es, neben häufigen Nachmessungen zur Absicherung der Ergebnisse, oft zu einer Ausdehnung des

zu überwachenden Personenkreises und somit zu einem erhöhten Probenaufkommen. Es ist nicht notwendig, jede Nachfolgemessung zum gleichen Störfall mit gleich hohem analytischen Aufwand durchzuführen. Hierzu reichen vereinfachte Verfahren (geringerer Einsatz zur Analyse, Abtrennung und Anreicherung von Nuklid- und Elementgruppen, verkürzte Meßzeiten), nach Absicherung durch nuklid- bzw. elementspezifische Verfahren, zur Ermittlung der Ausscheidungsraten aus (Verfahren α: 2; Sr-90: 4 und 10; U-nat: 6 und 7; Th-nat: 9; H-3: 5).

2. Nach der Eingrenzung des zu überwachenden Peronenkreises kommen zur weiteren Beobachtung des Ausscheideverhaltens Verfahren mit möglichst niedriger Nachweisgrenze zum Einsatz. Diese Verfahren sind auch für die regelmäßige Überwachung geeignet (Verfahren Pu-239: 12; Sr-90: 10 und 11; U-nat: 7 und 8; Th-nat: 9; H-3: 5).

3.4 Ablauf einer Überwachung durch Ausscheidungsanalyse nach der Inkorporation von Sr-90

Bei der betroffenen Person konnte nach Entfernen äußerer Kontamination in der Inkorporationsmeßstelle eine Belastung der Nasengänge (Monitormessung) und somit eine Inkorporation durch Inhalation nachgewiesen werden. Aus der Erfahrung früherer Überwachungen aus ähnlichem Anlaß war eine Belastung mit β-Strahlern zu erwarten. Somit lag auch bei dieser Überwachung der Schwerpunkt auf der Bestimmung der β-Aktivität und speziell von Sr-90. Der weitere Verlauf der Überwachung ist in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2:

Proben-Sammel-beginn Tag	Ausscheidungs-produkt	Ausscheidungs-raten	Analysen-verfahren
1	Nasensekret	β:+ , α:-	1
		Ges. β-Akt.:	
		≈46,2 nCi/Probe	1
		Sr-90: 40 nCi/Probe	11
		Sr-89: < NG	11
		Th-nat: 5 µg/Probe	9
		U-nat : 36 µg/Probe	8
1	24-h-Urin	β-Akt.: 87 nCi/24 h	3
		Sr-90 :128 nCi/24 h	10
		Th-nat:< 2,4 µg/24 h	9
		U-nat :< 3,4 µg/24 h	8
		H-3 : 5,75 nCi/ml	5
1-3	3-Tage-Faeces-Sammlung	β-Akt.:313 nCi/Probe	3
		Sr-90 :186 nCi/Probe	10
2	24-h-Urin	β-Akt.: 58,6 nCi/24 h	3
		Sr-90: 53,3 nCi/24 h	10
		H-3 : 5,25 nCi/24 h	5
3	24-h-Urin	β-Akt.: 46,0 nCi/24 h	3
		H-3 : 4,79 nCi/ml	5
5	24-h-Urin	β-Akt.: 20,0 nCi/24 h	4
		H-3 : 4,48 nCi/ml	5
10	24-h-Urin	β-Akt.: 10,5 nCi/24 h	4
		Sr-90 : 16,7 nCi/24 h	10
15	24-h-Urin	β-Akt.: 4,99 nCi/24 h	4
		Sr-90 : 2,10 nCi/24 h	10
30	24-h-Urin	β-Akt.: 1,37 nCi/24 h	4
		Sr-90 : 0,96 nCi/24 h	10

NG = Nachweisgrenze

4. Neue Techniken zur Verbesserung der analytischen Kenndaten

Zu den analytischen Kenndaten zählen nicht nur die Fehlergrenzen, Nachweisgrenzen und Analysierzeiten, sondern auch der personelle und apparative Aufwand. Soll unter dem Aspekt - "Niedrige Nachweisgrenze ≙ langer Überwachungszeitraum" - die Nachweisempfindlichkeit eines Analysenverfahrens gesteigert werden, so ist unter Einbeziehung aller analytischer Kenndaten abzuwägen, ob ein kürzeres Überwachungsintervall und damit eine häufigere Überwachung der weniger aufwendige Weg ist. Dies ist bei der Überwachung auf Tritium der Fall, da hier ein Stichprobenurin zur Bestimmung der Ausscheidungsrate ausreicht und mit der Flüssigszintillationsmessung ein wenig aufwendiges, aber nachweisstarkes und zuverlässiges Verfahren zur Verfügung steht. Bei der sehr schnell durchzuführenden Bestimmung von U-nat in Urin (Nachweisgrenze 1 µg U/1) wäre bereits der organisatiorische Aufwand, wolle man die Forderung der StrlSchV, den Überwachungszeitraum völlig abzudecken, erfüllen, sehr hoch. Es müßte alle 10 Tage eine 24-h-Urinsammlung erfolgen. Bei der Überwachung auf Pu-239 mit einer Nachweisgrenze von 0,14 pCi/1 Urin wäre die Maximaldauer des Überwachungszeitraumes 5 Tage. Beide Angaben des Überwachungszeitraumes beziehen sich auf die Inhalation transportabler bzw. mäßig transportabler Verbindungen. Daraus ist ersichtlich, daß die Nachweisgrenzen für die Bestimmung von α-Strahlern und U-nat verbessert werden müssen, soll der Charakter von Stichproben bei der regelmäßigen Überwachung vermieden werden. Zusätzlich müssen bei allen Verfahren Verbesserungen der Anreicherungs-, Trenn- und Meßverfahren angestrebt werden, da oftmals die Eichfunktionen vom jeweiligen Bearbeiter abhängig sind (z.B. bei der Bestimmung von Th-nat mit Arsen-azo-III). Hierbei sind physikalische Methoden den chemischen vorzuziehen.

4.1 Physikalische Methoden

Zur fluorimetrischen Bestimmung von Uran erbrachten gemeinsame Versuche mit einem Hersteller von Spektral-Fluorimetern auch in der höchsten Preisklasse keine Verbesserung des Meßverfahrens.

Hier sind eigene Entwicklungen notwendig:

1. Anschluß eines empfindlicheren Amperemeters an das vorhandene Filter-Fluorimeter.
2. Auswahl eines extrem rauscharmen Photomultipliers oder Kühlung des Photomultipliers zur Rauschminderung.

Bei der Bestimmung von Thorium mit Arsen-azo-III könnte der Einsatz der Derivativ-Spektroskopie erfolgreich sein.
(1. Ableitung: $\frac{d\,E}{d\,\lambda}$; 2. Ableitung: $\frac{d\,E^2}{d\,\lambda}$; E = Extinktion, λ = Wellenlänge).
Hier laufen z.Z. Versuche, die aber noch nicht zur erforderlichen Reproduzierbarkeit führten (Abb.1). Zur α-Spektrometrie sind Verbesserungen der Meßgeräte und Meßmethoden,die einen deutlich positiven Einfluß auf die Nachweisempfindlichkeit hätten, z.Z. nicht ersichtlich. Eine Meßmethode, die eine bedeutende Vereinfachung der vorangehenden chemischen Analysenschritte bewirken würde, ist die Impulsformanalyse bei der Flüssigszintillationsmessung. Die Impulsformanalyse ermöglicht die Abtrennung der α-Strahlung (Abb.2) und die Erstellung eines Energiespektrums wie bei der Messung mit Halbleitern oder Gitterionisationskammern (das Auflösungsvermögen ist allerdings deutlich schlechter). Leider sind die Entwicklungen hierzu durch Schwierigkeiten in der Zusammenarbeit mit einem Hersteller unterbrochen.

4.2 Chemische Methoden

Ziel der Anreicherungs- und Trennschritte ist es, den zu bestimmenden Anteil aus einem möglichst großen Aliquot bzw. der gesamten zur Verfügung stehenden Probe zu isolieren und in einer der Meßmethode angepaßten Reinheit zur Messung zu bringen. In der Urinanalytik bestehen die ersten Anreicherungs- und Trennschritte im Einkochen des Urins oder einer Mitfällung und anschliessender Veraschung. Diese Methoden bergen die aus der Spurenanalytik bekannten Nachteile (Adsorptionsverluste sowie Verunreinigungen durch Geräte, Chemikalien, Umwelt, usw.). Durch ein chemo-physikalisches Verfahren - der Anreicherung durch Ultrafiltration nach Anlagerung der Actiniden an Proteinen - kann hier

ein Fortschritt erzielt werden. Erste Versuche erbrachten bei der Uranbestimmung bereits Ausbeuten von 60-90 %. Da die bisher benutzten Flächenfilter nur geringe Filtrationsgeschwindigkeiten (kleine Membranfläche) zuließen und die Handhabung z.T. schwierig ist, sollen Versuche mit Hohlfasermembranen folgen. Ist dieser erste Anreicherungsschritt mit einer Verminderung des Volumens von 200 - ca. 2000 ml Urin auf < 5 ml gelungen, dann stehen genügend Verfahren für die weitere Aufbereitung bis zu einem Meßpräparat zur Verfügung. Dies gilt für die Bestimmung von U-nat, Th-nat und auch für die α-Spektrometrie.

Welche Schwierigkeiten bei der Verbesserung von Nachweisgrenzen durch chemische Anreicherungsverfahren auftreten, soll am Beispiel der Bestimmung von Uran in Urin erläutert werden:
Grundlage des Verfahrens ist die Extraktion des Uran mit Äthylacetat unter Zugabe einer gesättigten Aluminiumnitratlösung. Blindwerte und auch die Streuung der Blindwerte waren immer sehr hoch. Es lag der Verdacht nahe, daß der Blindwert durch im Aluminiumnitrat enthaltenes Uran verursacht wird. Eine Uranbestimmung in der zehnfachen Menge Aluminiumnitratlösung ergab den zehnfachen Uran-Meßwert gegenüber dem mittleren Blindwert. Der schlüssige Beweis, daß es sich bei diesem Meßeffekt um Uran handelt, gelang mit der Anreicherung aus ca. 1500 g Aluminiumnitrat mit anschließender Elektrodeposition und der Aufnahme eines α-Spektrums (Abb.3). Durch Reinigung der Aluminiumnitratlösung und Einsatz eines höheren Aliquots eines 24-h-Urins gelang es, die Nachweisgrenze von 0,3 auf 0,04 µg U/l Urin zu senken. Die bisherigen Messungen mit diesem nachweisstarken Verfahren lassen vermuten, daß in diesem Bereich bereits der natürliche Uranuntergrund gemessen wird. Hierzu sind noch genauere Untersuchungen notwendig. Sollte sich dies bestätigen, würde nicht mehr durch die Nachweisgrenze, sondern durch die Streuung des Uranuntergrundes die maximale Dauer des Überwachungsintervalls bestimmt.
Das Beispiel der Uranbestimmung zeigt, daß bei diesen extrem nachweisstarken Verfahren unbedingt spurenanalytische Techniken anzuwenden sind. Dies gilt ebenfalls für die α-Spektrome-

trie, wenn auch hier keine Störungen durch Anwesenheit eines α-Untergrundes zu erwarten sind, so aber Störungen durch Co-Anreicherung und Einschleppen von Metallen, die eine Zählausbeuteverringerung und eine Erhöhung der Halbwertsbreiten bewirken würden.

5. Zusammenfassung

In einer Übersicht werden die Verfahren zur Inkorporationsüberwachung durch Ausscheidungsanalyse der Inkorporationsmeßstelle in der KFA Jülich dargestellt. Die Schilderung umfaßt die Ausrüstung der Laboratorien (Einrichtung, Meßgeräte) sowie die Anreicherungs- und Meßtechniken.

Es wird der Ablauf von Überwachungen nach Störfällen, beginnend mit ersten, schnellen Übersichtsmessungen, bis zu selektiven, nuklidspezifischen Analysenverfahren beschrieben. Auf Vereinfachungen der Verfahren für Nachfolgemessungen des gleichen Störfälles (erhöhter Probenanfall/Zeiteinheit) wird hingewiesen.
In der Kurzbeschreibung sind auch die nachweisstarken Analysenverfahren, die ein möglichst großes Überwachungsintervall abdecken (zur weiteren Beobachtung des Ausscheidungsverhaltens und zur regelmäßigen Überwachung geeignet), aufgenommen. So stehen z.B. für die fluorimetrische Bestimmung von Uran in Urin Analysenverfahren zur Verfügung mit:

1. einer Analysierzeit von < 1,5 Stunden und einer Nachweisgrenze von 1 µg U/l Urin
2. einer Analysierzeit von etwa 5 Stunden und einer Nachweisgrenze von 0,3 µg U/l Urin und
3. einer Analysierzeit von ca. 9 Stunden und einer Nachweisgrenze von 0,04 µg U/l Urin.

Nach einem Einblick in analytische Techniken, die eine Verbesserung der Analysierzeiten und/oder Selektivität und/oder Anreicherungsfaktoren ermöglichen, folgt abschließend eine kurze Diskussion über die bei der Herabsetzung von Nachweisgrenzen auftretenden Probleme und über die Begrenzung der Überwachungs-

intervalle durch die Nachweisgrenze des jeweiligen Analysenverfahrens oder die Streuung des natürlichen Untergrundes.

Abb. 1: Spektralphotometrische Thoriumbestimmung mit Arsen-azo-III
Normalspektrum und 2. Ableitung

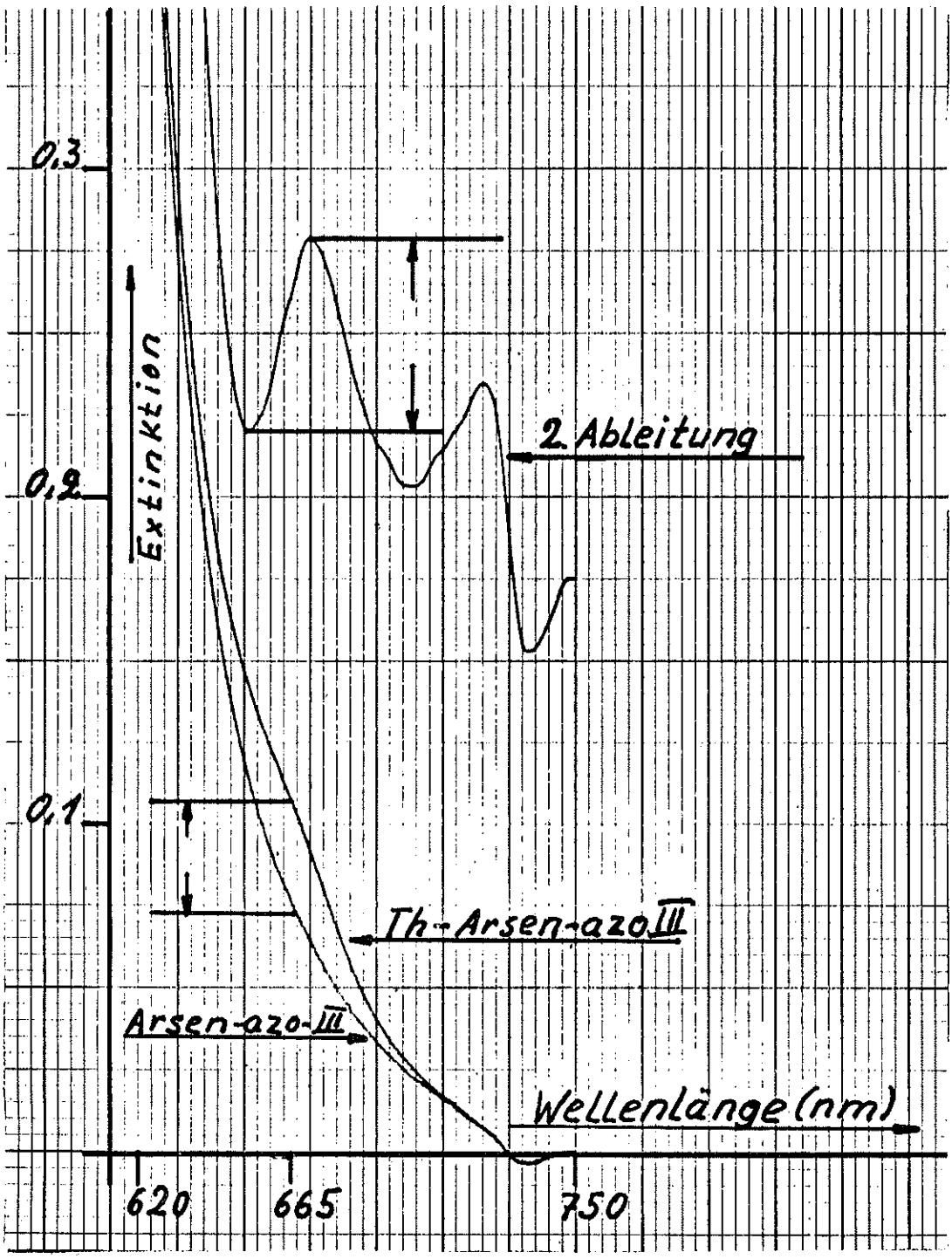


Abb.2: Impulsformanalyse zur Bestimmung von α-Strahlern mit Flüssigszintillatoren

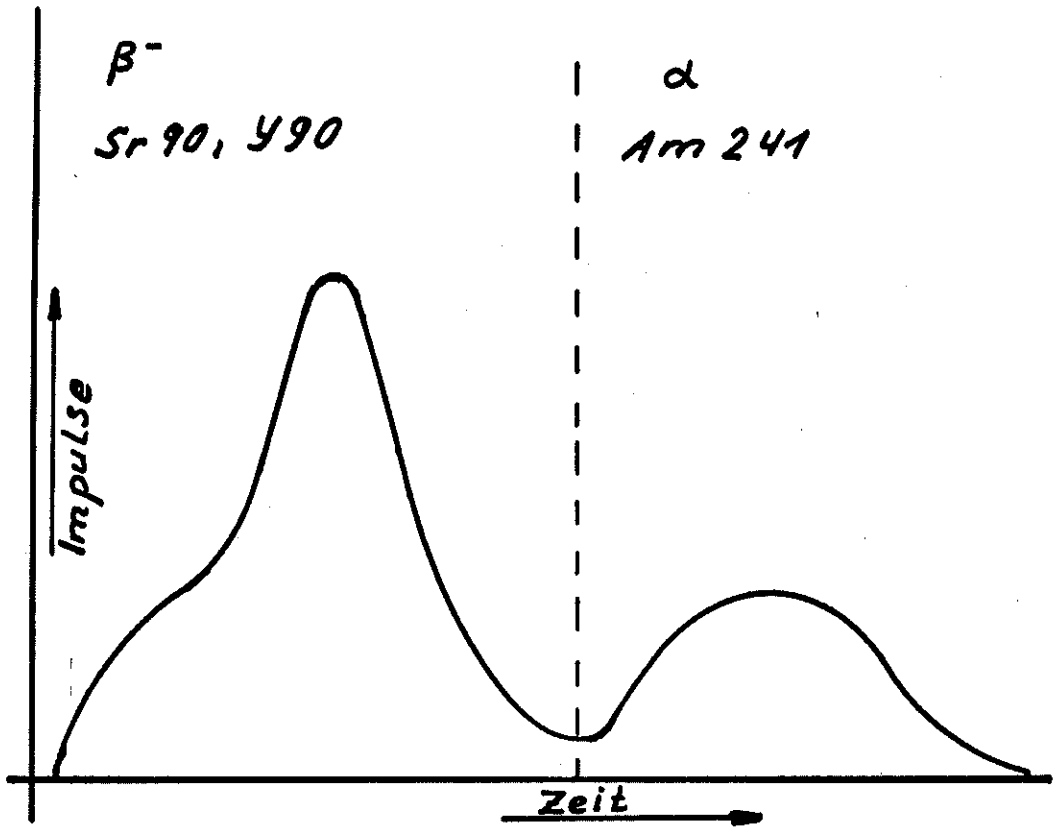
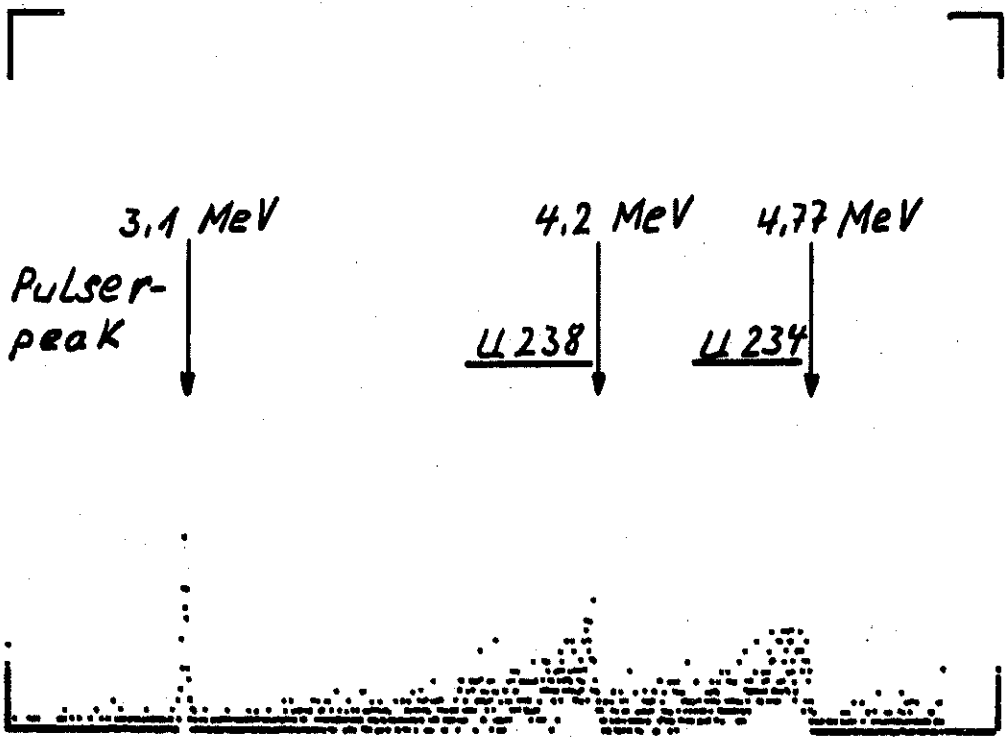


Abb. 3: Nachweis von U-nat in Aluminumnitrat



Anhang

Kurzbeschreibung der in der Ausscheidungsüberwachung eingesetzten Analysenverfahren

1. Halbquantitative Messung der α-, α+β-Strahlung

Probenentnahme und Einsatz zur Analyse:		Schneuzprobe, Stichprobenurin, 1.24-h-Urinsammlung, Stuhlprobe
Anreicherungs- und Trennverfahren	:	Naß- und Trockenveraschung
Präparation	:	Überführen der Asche in ein Meßschälchen
Meßverfahren	:	Messung im α- und α+β-Plateau eines Proportionalzählers
Analysierzeit	:	30-60 min
Nachweisgrenze	:	---

2. Verfahren zur Bestimmung der α-Aktivität (Schnellverfahren)

Probenentnahme und Einsatz zur Analyse:		Stichprobenurin, 24-h-Urin, gesamte Probe
Anreicherungs- und Trennverfahren	:	1. Fällung als Hydrogenphosphat zumen mit im Urin enthaltenen Ca^{2+}, Mg^{2+}, PO_4^{3-}
		2. Extraktion der 3- und höherwertigen Kationen aus salpetersauerer Lösung mit DDCP (Flüssig-Kationenaustauscher)
Präparation	:	Mischung der organischen Extrakte mit Flüssigszintillator
Meßverfahren	:	Flüssigszintillationsmessung, Berücksichtigung eines parallel analysierten Blindwertes, Eichung mit Pu-239, Meßzeit 100 min.
		(Es ist bei der Anwendung dieses Verfahrens zu berücksichtigen, daß 3- und höherwertige β-Strahler mitgemessen werden).
Analysierzeit	:	2,5 - 8 h
Nachweisgrenze	:	5 pCi / Probe

3. Verfahren zur Bestimmung der β-Aktivität

Probenentnahme und Einsatz zur Analyse:		Stichprobenurin (gesamte Probe), 24-h-Urin (500 ml)
Anreicherungs- und Trennverfahren	:	Naßveraschung
Präparation	:	2 g Asche in Meßschälchen einwägen
Meßverfahren	:	Messung im Low-Level-Antiko.-Meßplatz, Eichung mit K-40, Abzug der K-40-Aktivität nach flammphotometrischer K-Bestimmung
Analysierzeit	:	4 - 8 h
Nachweisgrenze	:	200 pCi / l Urin (bezogen auf K-40)

4. Bestimmung der β-Aktivität (vereinfachtes Verfahren)

Probenentnahme und Einsatz zur Analyse:		Stichprobenurin (gesamte Probe), 24-h-Urin (600 ml)
Anreicherungs- und Trennverfahren	:	Füllung als Hydrogenphosphat zusammen mit im Urin enthaltenen Ca^{2+}, Mg^{2+}, PO_4^{3-}, Umfüllung zur Vervollständigung der Abtrennung von K-40, Rückstand trocknen und veraschen bei 500 C.
Präparation	:	500 mg Asche in Meßschälchen einwägen
Meßverfahren	:	Messung im Low-Level-Antiko.-Meßplatz, Eichung mit K-40, Meßzeit 100 min.
Analysierzeit	:	4 - 5 h
Nachweisgrenze	:	10 pCi / l Urin (bezogen auf K-40)

5. Bestimmung von Tritium

Probenentnahme und Einsatz zur Analyse:		Stichprobenurin (20-50 ml)
Anreicherungs- und Trennverfahren	:	Urin destillieren
Präparation	:	5 ml Destillat mit Flüssigszintillator mischen
Meßverfahren	:	Messung im Flüssigszintillationszähler, Eichung durch Intern-Standard-Methode
Analysierzeit	:	20 - 60 min
Nachweisgrenze	:	1 nCi / l Urin

6. Bestimmung von U-nat (Schnellverfahren)

Probenentnahme und Einsatz zur Analyse:		Stichprobenurin, 24-h-Urin je 0,1 ml
Anreicherungs- und Trennverfahren	:	Keine
Präparation	:	3 x 0,1 ml auf NaF-LiF-Gemisch tropfen, trocknen, schmelzen
Meßverfahren	:	Fluorimetrie, Eichung mit Uranyl-acetat
Analysierzeit	:	40 - 90 min
Nachweisgrenze	:	1 g / l Urin

7. Bestimmung U-nat (Verfahren mit mittlerer Nachweisgrenze)

Probenentnahme und Einsatz zur Analyse:		24-h-Urin, 100 ml
Anreicherungs- und Trennverfahren	:	Naßveraschung, Extraktion mit Athyl-acetat, Äthylacetat verdampfen- mit Wasser zu 10 ml lösen
Präparation	:	3 x 0,1 ml der wäßrigen Lösung auf NaF-LiF-Gemisch tropfen, trocknen, schmelzen
Meßverfahren	:	Fluorimetrie, Eichung mit Uranyl-acetat
Analysierzeit	:	3 - 6 h
Nachweisgrenze	:	0,3 µg U / l Urin

8. Bestimmung von U-nat (nachweisempfindlichstes Verfahren)

Probenentnahme und Einsatz zur Analyse:		24-h-Urin, 400 ml
Anreicherungs- und Trennverfahren	:	Wie bei 7., Unterschied: gesamtes Verfahren unter Verwendung frisch urangereinigter Chemikalien.
Präparation	:	Wie bei 7.
Meßverfahren	:	Wie bei 7.
Nachweisgrenze	:	0,04 µg U / l Urin

9. Bestimmung von Th-nat

Probenentnahme und Einsatz zur Analyse:		24-h-Urin, 100 ml
Anreicherungs- und Trennverfahren	:	Mitfällung an Calciumoxalat, Trennung von Ca^{2+} durch Mitfällung an Aluminiumhydroxid, in Salzsäure lösen
Präparation		Zugabe von Arsen-azo-III, zu 10 ml auffüllen, Lösung muß 4 - 7 molar salzsauer sein
Meßverfahren	:	Spektralphotometrische Messung des Th-Arsen-azo-III-Komplexes bei 665 nm Eichung mit Th-gespikten Urinen
Analysierzeit	:	2 - 4 h
Nachweisgrenze	:	0,6 µg Th / 1 Urin

10. Bestimmung von Sr-90 (vereinfachtes Verfahren)

Probenentnahme und Einsatz zur Analyse:		24-h-Urin, 150 ml
Anreicherungs- und Trennverfahren	:	Fällung der Hydrogen-Phosphate, Abtrennung von Ca^{2+} durch Nitratfällung mit rauchender Salpetersäure, Abtrennung von Y^{3+} durch Hydroxidfällung. Fällung von Strontiumcarbonat
Präparation	:	Niederschlag auf Filter saugen
Meßverfahren	:	Messung im Low-Level-Antiko.-Meßplatz, Mischung mit Sr-90, Bestimmung der chem. Ausbeute durch inaktive Trägerung, Meßzeit 200 min,bei Anwesenheit von Sr-89 wird der Sr-90-Wert überschätzt
Nachweisgrenze	:	8 pCi Sr-90 / 1 Urin

11. Bestimmung von Sr-90 und Sr-89 (nachweisstarkes Verfahren)

Probenentnahme und Einsatz zur Analyse:		24-h-Urin, 600 ml
Anreicherungs- und Trennverfahren	:	Fällung der Hydrogen-Phosphate, Abtrennung von Ca^{2+}durch Fällung mit rauchender Salpetersäure, Konzentrierung der Erdalkalien und Alkalien durch Abtrennung von Hydroxiden, Abtrennung von Ba^{2+} und Sr^{2+} durch Carbonatfällung, Abtrennung von Ba^{2+} durch Chromatfällung, Fällung von Strontiumcarbonat, stehen lassen zum Anwachsen von Y-90

Präparation	:	Nach Anwachsen von Y-90 Hydroxidfällung, Yttriumoxalatfällung, Niederschlag auf Filter saugen, im Filtrat der Hydroxidfällung Strontiumcarbonat fällen, auf Filter saugen
Messung	:	Messung im Low-Level-Antiko.-Meßplatz, Eichung mit Y-90, Sr-90, Sr-89, Bestimmung der chemischen Ausbeute durch inaktive Trägerung, Berechnung von Sr-90 über Y-90, Berechnung von Sr-89 über Differenzbildung
Analysierzeit	:	Abhängig von der Aktivität (Anwachsen von Y-90) max. 15 Tage
Nachweisgrenze	:	1 pCi Sr-90 / l Urin

12. α-spektrometrische Bestimmung von Pu-239

Probenentnahme und Einsatz zur Analyse:		24-h-Urin, 250 ml
Anreicherungs- und Trennverfahren	:	Naßveraschung, Extraktion der 4 - 6-wertigen Actiniden (Ausnahme: Th) mit TIOA (Flüssiganionenaustauscher), Rückextraktion von Pu^{3+} mit 8n-HCl, Zerstörung organischer Reste mit H_2SO_4 und H_2O_2. (Diese Anreicherungs- und Trennverfahren sind auch Grundlage für die Bestimmung von Np-, Pa- und U-Isotopen)
Präparation	:	Elektrodeposition auf Edelstahl
Meßverfahren	:	Messung mit Silizium-Oberflächen-Sperrschichtzähler und Vielkanal-Impulshöhenanalysator, Eichung durch Aktiv-Träger, Meßzeit 1000 min
Analysierzeit	:	22 - 25 h
Nachweisgrenze	:	0,14 pCi Pu-239 / l Urin.

Dekorporationstherapie: DTPA als Mittel der Wahl

V. VOLF

Kernforschungszentrum Karlsruhe, Institut für Genetik und für Toxikologie von Spaltstoffen, Postfach 3640, D-7500 Karlsruhe 1, Bundesrepublik Deutschland

Die Intensivierung der Ausscheidung von Radionukliden durch Chelatbildner, eine Art von komplexbildenden Substanzen, ist theoretisch interessant und praktisch wichtig. Unter den Chelatbildnern nimmt die Diäthylentriaminpentaessigsäure (DTPA) eine besondere Stellung ein: Ihr Calciumchelat (Ca-DTPA) ist wenig toxisch und dabei in der Lage, viele Radionuklide, besonders die der seltenen Erden und die Actinide, aus dem Körper zu entfernen.

In der vorliegenden Übersicht wird kurz auf die Pharmakologie und Toxikologie von DTPA eingegangen,und es werden die wichtigsten Faktoren charakterisiert, welche die Dekorporationswirksamkeit des Ca-DTPA beeinflussen können, wie Zeit nach der Radionuklidinkorporation sowie Dosis und Art der Anwendung von Ca-DTPA.

In der klinischen Praxis ist Ca-DTPA gut verträglich und es wurde bisher nie über ernsthafte Nebenwirkungen berichtet. Die im Tierversuch beobachteten Nebenwirkungen nach Fraktionierung der Tagesdosis oder nach Verabreichung von Ca-DTPA an schwangere Tiere führten jedoch zur Empfehlung einer noch weniger toxischen Alternative, des Zinkchelats (Zn-DTPA). Dessen Dekorporationswirksamkeit im Vergleich zu Ca-DTPA sowie die Vorteile seiner Anwendung zur Dauerchelattherapie werden erläutert.

Die Möglichkeiten einer Verbesserung der Wirksamkeit von DTPA durch lokale Anwendung, Synthese von Derivaten und Kombination mit anderen Substanzen werden vom Gesichtspunkt ihrer praktischen Bedeutung vorgestellt. Nicht zuletzt soll auf die Notwendigkeit einer Risiko/Nutzen-Analyse der Dekorporationstherapie im Hinblick auf das erwünschte Ziel, Herabsetzung der Toxizität von Radionukliden, aufmerksam gemacht werden.

Siehe: HINWEIS, Seite IV

SITZUNG 4

MEDIZINISCHE VERSORGUNG VON STRAHLENUNFALLPATIENTEN

Erste Hilfe bei Strahlenunfällen und weitergehende Maßnahmen

Dr. med. Hans-Dieter Flach
Werksarzt der BASF AG
67oo Ludwigshafen/Rhein

Die Berufsgenossenschaften haben den gesetzlichen Auftrag, die Folgen von Arbeitsunfällen so gering wie möglich zu halten. Sie haben deshalb für die Versorgung von konventionell Verletzten eine dreistufige Rettungskette aufgebaut.
Analog diesem Verfahren ist auch für Strahlenüberexponierte ein derartiges dreistufiges Rettungssystem vorgesehen.
Das berufsgenossenschaftliche Merkblatt "Erste Hilfe bei erhöhter Einwirkung ionisierender Strahlen" enthält die wesentlichen Hinweise.
In der ersten Stufe ist "Erste Hilfe" im Betrieb durch Laienhelfer, Sanitätspersonal, Arzt und Strahlenschutzarzt vorgesehen.
Nach der Bergung eines Verunglückten ist die Hauptaufgabe die Beseitigung einer Störung von Vitalfunktionen. Erst danach folgen eingehende Anamnese- und Befunderhebung mit entsprechender Dokumentation. Es folgt gegebenenfalls die Dekontamination, die Spurensicherung zur Beurteilung der Strahlenbelastung und erste Blutentnahme zur Diagnostik, falls die vermutete Strahlenbelastung über 3 rem (cJ/kg) beträgt.
Als zweite Stufe sind "Regionale Strahlenschutzzentren" vorgesehen, deren Aufgabe es ist, die Lücke zwischen der Ersten Hilfe am Unfallort und einer klinischen Abteilung zur stationären Behandlung schwerer Arbeitsunfälle infolge erhöhter Einwirkung ionisierender Strahlen zu schließen.
Diese Strahlenschutzzentren sollen mit fachlichem Rat rund um die Uhr für die Ärzte am Unfallort zur Verfügung stehen. Versorgung der Strahlenüberexponierten und ambulante Überwachung sollen von ihnen koordiniert werden. Gegebenenfalls sollen sie selbst die ambulant zu überwachenden leichteren bis mittleren Strahlenüberexpositionen betreuen.
Als dritte Stufe ist zur stationären Behandlung bei schwerer Strahleneinwirkung die Berufsgenossenschaftliche Unfallklinik in Ludwigshafen-Oggersheim und zwar die Spezialabteilung für Schwere Verbrennungen vorgesehen. Diese Abteilung verfügt über alle Einrichtungen zur Intensivpflege und zur weitgehend keimfreien Unterbringung von Kranken mit schweren akuten Strahlenschäden.
Die Einweisungen derthin können nur von den regionalen Zentren vermittelt werden.

Siehe: HINWEIS, Seite IV

Organisatorische Maßnahmen und medizinische Hilfsmöglichkeiten nach Unfällen mit erhöhter Strahlenexposition

Wolfgang Kemmer

Bundesministerium des Innern, Bonn

Der Betrieb von kerntechnischen Einrichtungen ist trotz aller sicherheitstechnischen Maßnahmen mit einem Restrisiko für Beschäftigte und die Bevölkerung verbunden.
Um Schäden durch dieses Restrisiko vorzubeugen, wird in der Bundesrepublik Deutschland Vorsorge für Unfälle und Katastrophen getroffen. Hierzu sind auf Länderebene übergreifende organisatorische Maßnahmen zur Beherrschung eines nuklearen Unfalls vorbereitet. Ein Unfall mit Strahlenexposition ist nur eine besondere Form einer Katastrophe und wird durch den Katastrophenschutz abgedeckt, der auch bei anderen Katastrophen für deren Beherrschung und Abwehr sorgt.
Darüber hinaus sind besondere meßtechnische und medizinische Maßnahmen erforderlich, die beim speziellen Problem der Strahlenexposition Anwendung finden müssen.

Das Referat behandelt allgemeine organisatorische Maßnahmen des Katastrophenschutzes ebenso wie medizinische Hilfsmöglichkeiten nach erhöhter Strahlenexposition. Die Ausführungen erfolgen unter der Berücksichtigung der Ergebnisse einer kürzlich stattgefundenen Katastrophenschutzübung in der Umgebung des Kernkraftwerkes Biblis.

Siehe: HINWEIS, Seite IV

Pathogenese und Symptomatik des akuten Strahlensyndroms

Prof. Dr. Theodor M. Fliedner

Abteilung für Klinische Physiologie und Arbeitsmedizin
Universität Ulm
7900 Ulm/Donau

Unter dem "akuten Strahlensyndrom" versteht man die somatischen Konsequenzen, die sich als Folge einer einmaligen und kurzdauernden Ganzkörperexposition mit penetrierenden ionisierenden Strahlen in Abhängigkeit von der Strahlendosis innerhalb von Minuten, Stunden, Tagen oder Wochen einstellen. Das Wissen über das akute Strahlensyndrom beim Menschen stammt aus Strahlenunfällen, bei denen sich der gesamte Organismus im Strahlenfeld befand, aus Beobachtungen im Zusammenhang mit Atombombenexplosionen sowie aus Erfahrungen, die bei Anwendung von Ganzkörperbestrahlungen bei der Strahlentherapie maligner Systemerkrankungen gesammelt wurden. Dieses Wissen steht im prinzipiellen Einklang mit den Ergebnissen tierexperimenteller Untersuchungen obwohl der zeitliche Ablauf sowie die Konstellation von Befunden an den betroffenen Organsystemen speziespezifisch sind. Auch die mittlere Letaldosis (LD 50/30 Tage) variiert von Spezies zu Spezies erheblich (zwischen ca. 200 und 900 rd). Die Lebenserwartung nimmt - ohne therapeutisches Eingreifen - mit steigender Strahlendosis ab. Man unterscheidet eine dosisabhängige Phase bis etwa 1000 rd, die geprägt wird vom Versagen der Blutzellbildung (beim Menschen vor allem Granulozytopenie mit Infektionen und Thrombopenie mit Blutungen), eine dosisunabhängige Phase zwischen etwa 1000 und 5000 rd mit einer ca. 7-tägigen Überlebenszeit als Folge eines Versagens des intestinalen Epithels mit massiven Elektrolytstörungen und Durchfall sowie Infektionen als Folge der Granulozytopenie, und eine dosisabhängige Phase jenseits von 5 - 10000 rd mit Störungen der zentralnervösen Regulation. Die Folgen einer Ganzkörperbestrahlung ergeben sich aus der Strahlensensibilität der verschiedenen Zellkompartimente der dauernd tätigen, der latent ruhenden oder der zur Ruhe gekommenen Zellsysteme. Die "hämatologische" und "gastrointestinale Form" des akuten Strahlensyndroms sind zu deuten als Konsequenz der unterschiedlichen Strahlensensibilität der Zellkompartimente der entsprechenden Zellsysteme. Die Symptomatik des akuten Strahlensyndroms ergibt sich aus den Folgen der Störung einzelner Zell- oder Organsysteme, die je nach Dosishöhe in den Vordergrund rücken. Bei allen Dosen über 100 rd ist eine Initialsymptomatik mit Übelkeit und Erbrechen zu beobachten, die innerhalb von 1 - 3 Tagen wieder abklingt. Je nach der Höhe der Strahleneinwirkung kommt es dann zu Symptomen, die gastrointestinale, hämatologische, epidermale, kardio-vaskuläre oder zentralnervöse Störungen signalisieren. Mit Hilfe der Symptomanalyse ist ein exakter Therapieplan festzulegen und kann eine prognostische Aussage gemacht werden. Pathogenese und Regeneration der tätigen Zellerneuerungssysteme hängen von der Zahl der bei einer Strahleneinwirkung zerstörten bzw. noch zu unbegrenzter Replikation befähigten "Stammzellen" ab. Die Restitution der Blutzellbildung des Menschen auch bei Strahleneinwirkung mit ca. 1000 rd ist dann möglich, wenn die zerstörte Stammzellpopulation durch Übertragung ungeschädigter Stammzellen ersetzt wird.

Siehe: HINWEIS, Seite IV

Kombinierte Strahlenschäden

Otfried Messerschmidt

Laboratorium für experimentelle Radiologie

Neuherberg bei München

Pathologie und Klinik des Strahlensyndroms des Menschen sind heute als relativ gut bekannt anzusehen. Grundlagen für diese Kenntnis sind die Erfahrungen, die gewonnen wurden anhand der Krankheitsverläufe der Betroffenen in Hiroshima und Nagasaki, der Opfer von Unfällen bei der friedlichen Strahlenanwendung und der Patienten, die aus therapeutischen Gründen ganzkörperbestrahlt wurden. Weniger bekannt ist, inwieweit sich das Ausmaß der Schädigung bei Bestrahlten in Abhängigkeit von der empfangenen Dosis ändert, wenn modifizierende Faktoren hinzukommen, wie andere Strahlenarten (z.B. Neutronenstrahlung), veränderte Bestrahlungsdauer, unterschiedliche Verteilung der Dosis im Organismus (durch Teilkörperbestrahlungen von außen oder Inkorporation verschiedener Radionuklide). Wirken Traumen (wie Verbrennungen, Verwundungen, Blutverluste, Frakturen), Infektionen, Intoxikationen usw. zusätzlich zur Strahlung auf den Organismus ein, so kommt es zu sog. Kombinationsschäden, deren Krankheitsbild u.U. erheblich von dem der Einzelschäden wie des Strahlensyndroms einerseits und der Verbrennungskrankheit, Infektionskrankheit oder Vergiftung andererseits, abweicht. Daraus ergibt sich dann auch die Notwendigkeit einer veränderten Therapie für die Kombinationsschäden.

Eindrucksvolle Beispiele für Kombinationsschäden boten die Atombombenopfer in Japan, deren Wunden und Verbrennungen als Folge der Einwirkung von Druckstoß und Hitzestrahlung zunächst einen relativ normalen Heilungsverlauf zeigten, eine bis zwei Wochen später jedoch als Auswirkung der zusätzlichen Strahlenbelastung erhebliche Komplikationen der Wundheilung in Form von neu auftretenden Infektionen und erneuter Blutung aus dem Wundbett aufwiesen.

Siehe: HINWEIS, Seite IV

Biologische Methoden zum Nachweis absorbierter Strahlung

L.E. Feinendegen

Institut für Medizin, Kernforschungsanlage Jülich GmbH,
5170 Jülich

Im Falle einer Überexposition versprechen verschiedene biologische Assayverfahren eine Aussage über die Höhe der absorbierten Dosis. Die Weiterentwicklung dieser Assay-Systeme ist umso notwendiger, da häufig die physikalischen Dosimeter unzureichende Auskunft geben.

Die biologische Dosimetrie umfaßt im wesentlichen 3 Kategorien von Untersuchungen:
1. zelluläre Elemente des Körpers
2. Stoffwechselparameter
3. speziell Chromosomenaberrationen der Lymphozyten.

Eine Analyse der gegenwärtig zur Verfügung stehenden Erkenntnisse ergibt, daß klinisch nützliche und reproduzierbare Daten, allerdings mit unterschiedlichem Aufwand, sowohl für Strukturelemente, vor allem veränderte Reticulozytenzahlen, sowie für Stoffwechsel, vor allem Katabolitenexkretion im Urin sowie Einbaurate spezieller DNA-Vorläufer in DNA-synthetisierende Zellen, und schließlich für die Chromosomenanalyse wertvolle Hinweise geben.

Es muß zukünftiger Arbeit vorbehalten bleiben, neben der Beurteilung klinischer Nützlichkeit, der Qualitätskontrolle, auch den Zeitaufwand und die Kosten zu berücksichtigen, um ein für den Katastrophenfall nützliches Verfahren zur Hand zu haben. Auch im Katastrophenfall wird die Auswahl repräsentativer Untersuchung für ein großes Kollektiv erforderlich sein.

Siehe: HINWEIS, Seite IV

Zur Urinausscheidung von Aminosäuren während der Strahlenbehandlung.

(zum Thema: "Biologische Indikatoren zur Erkennung einer Strahlenexposition")

LADNER, H.-A.

Strahlenabteilung der Univ.-Frauenklinik
7800 Freiburg i.Br., Hugstetter Straße 55

Konzentrationsveränderungen von Aminosäuren und ihre Metabolite nach Ganzkörperbestrahlungen im Urin von Mäusen und Ratten haben zahlreiche Arbeitsgruppen beschrieben. Hierzu liegen auch entsprechende Mitteilungen bei Reaktorunfällen vor. Meist handelt es sich um den Konzentrationsanstieg, z.B. von Tryptophanmetaboliten oder von einzelnen Aminosäuren, im 24-Stunden-Urin oder im Blutplasma strahlenexponierter Personen. Bei Verlaufsstudien am Patienten während der Strahlentherapie (Radium, externe Hochvoltbestrahlung) konnten wir zeigen, daß derartige Ausscheidungsänderungen auch nach Teilkörperexposition auftreten. Da gleichzeitig Konzentrationen anderer Aminosäuren im 24-Stunden-Urin abfallen, ist es möglich, auf diese Weise durch bestimmte Indikator-Kombinationen 24 bis 36 Stunden später Hinweise auf eine erfolgte Strahlenexposition zu erhalten. Da dies auch im Dosisbereich zwischen 5 - 10 rd erfolgen kann, ist zu diskutieren, ob und inwieweit es sinnvoll ist, eine derartige Indikator-Kombination zur Erkennung einer Strahlenexposition in der Praxis einzusetzen.

Siehe: HINWEIS, Seite IV

Behandlung des Strahlensyndroms

F.WENDT

Abteilung Hämatologie-Onkologie, Fachbereich Innere Medizin
Evangelisches Krankenhaus Essen-Werden, 4300 Essen 16 (Werden)

Das Strahlensyndrom entwickelt sich in Abhängigkeit vom Ausmaß der Strahlenexposition in unterschiedlichen Schweregraden. Es lassen sich 4 Kategorien bilden:

I Personen, bei denen sich keine oder nur geringfügige Initialsymptome und keine oder nur geringfügige Lymphopenie innerhalb der ersten 24 - 48 Stunden entwickeln, sind nicht lebensgefährlich betroffen, werden sich mit Sicherheit erholen, bedürfen der ambulanten Überwachung.

II Personen, die innerhalb der ersten 24 - 48 Stunden stärkere subjektive Symptome (Übelkeit und Erbrechen) und eine mäßiggradige Lymphopenie (um 1 000/Mikroliter) im Blutbild aufweisen, werden eine gefährlichere Form des Strahlensyndroms jenseits der 2. Woche entwickeln und haben unter Einsatz konventioneller Substitutions- und evtl. hämatologischer Intensivtherapie eine gesicherte Chance.

III Personen, die in den ersten 24 - 48 Stunden starke subjektive Symptome und eine starke Lymphopenie (um 500/Mikroliter) im Blutbild aufweisen, werden frühzeitiger, stärker und länger durch hämopoetische Insuffizienz lebensbedrohlich gefährdet sein und bedürfen sofortiger hämatologischer Intensivbetreuung und Intensivtherapie. Womöglich ist frühzeitige Knochenmarkstransplantation erforderlich. Der Dosisbereich dieser früher als verloren eingestuften Kategorie liegt bei etwa 400 - 500 rd als untere, 1 000 - 1 500 rd als obere Grenze. - Magen-Darm-Symptomatik ist in den ersten Tagen dominant und behandlungsbedürftig.

IV Personen, die in den ersten Stunden schwere subjektive Symptomatik bis zum Schock, initial Hautveränderungen und innerhalb der ersten 24 - 48 Stunden eine Lymphopenie nahe 0 entwickeln, gelten heute als wahrscheinlich chancelos und bedürfen umso intensiverer palliativer Maßnahmen.

Die Prävention von Verlaufskomplikationen durch geeignete ärztliche Maßnahmen und die Therapie solcher Komplikationen, wie sie in hämatologisch-onkologisch arbeitenden Einrichtungen für Patienten mit schwerer hämopoetischer Insuffizienz aus Krankheitsgründen praktiziert werden, sind zur Behandlung von Personen mit schweren Formen des Strahlensyndroms als lebensrettende medizinische Maßnahme wirksam.

Siehe: HINWEIS, Seite IV

T e i l n e h m e r l i s t e

21. Jahrestagung der Vereinigung Deutscher Strahlenschutzärzte e.V.

14. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz

Dr. Atakan, Yüksel	Abtlg. TKS Brown Boveri Co Colini-Center 68 Mannheim
Wilfried Ahlfänger	Vereinigte Elektrizitätswerke Westfalen AG Postfach 941 4600 Dortmund
Dr. med E.C. Albertus	Arbeitsmedizin/Leit. Ärztin Betriebsarztzentrum von Bodelschwingh'sche Anstalten Maraweg 9 48 Bielefeld 13
Dr. Klaus Albrecht	Bundesbahnarzt Hohenstaufenstr. 51 8480 Weiden i.d. OPF
J. Alderhout	Luxemburglaan 5 B-2440 Geel/Belgien
Dr. Kurt W. Althaus	Leitender Medizinaldirektor Mondstr. 177 44 Münster
Hans-Peter Amann	Strahlenschutzassistent Kerntechnische Hilfsdienst GmbH Albert-Einstein-Str. 14 7514 Eggenstein-Leopoldshafen 2
Dr. Fritz Ammentorp-Schmidt	Firma Amersham Buchler GmbH Gieselweg 1 33 Braunschweig
Cornelia Andres	Institut für Biophysik 6650 Homburg/Saar
Dr. Marina Barbe	F B E S Mechelse steenweg, 271 B-2000 Antwerpen/Belgien
Ingo Bareth	Universität Bremen NW 1 Achterstr. 2800 Bremen
Dipl.-Ing. Gunfried Barthauer	Buchler GmbH & Co. Harxbütteler Str. 3 3300 Braunschweig
Dr. Ingrid Barthelmai	Universität Marburg Alte Medizinische Pol. Klinik Marburg/Polen
Dr. med. Hans R. Beck	Facharzt für Radiologie Händelstr. 5 75 Karlsruhe 21
Dr. Dietrich Becker	Eichstätter Str. 5 8000 München 21
KLaus Begemann	Universität Bremen Gebäude NW 1 Bibliothekstr. 28 Bremen 33
Dr. Winfried Belda	Kraftwerk Union AG VRS 18 Hammerbacherstr. 12+14 8520 Erlangen
Dipl.Ing. Fritz Bendler	FRM - Reaktorstation Garching der Universität München Lichtenbergstr. 4 8046 Garching
Diethart Berg	RWE-Hauptverwaltung Kruppstr. 5 43 Essen
Hartmut Berg	Krankenhaus Itzehoe Robert-Koch-Str. 2 2210 Itzehoe
Prof. Hans-Dietrich Bergeder	Institut für Strahlenbiologie Sigmund-Freud-Str. 15 53 Bonn-Venusberg
Dieter Beyer	Kernforschungsanlage GmbH Zentralabteilung Strahlenschutz Postfach 1913 5170 Jülich
Dr. med. Harald Bickel	Chefarzt der Inneren Abteilung des Diakoniekrankenhauses Postfach 1266 3550 Marburg-Wehrda

Hermann Birzle	Silgestr. 8 6700 Ludwigshafen/Rhein
Werner Bischof	Institut für Völkerrecht der Universität Göttingen Nikolausberger Weg 90 3400 Göttingen
Dr. Willi Blaser	Kernkraftwerk Leibstadt CH-4353 Leibstadt/Schweiz
Dr. Hildegard Blattmann	Zentrum Radiologie Abt. Klin. Nuklearmedizin Universitätsklinik 78 Freiburg
Christoph Blickheuser	Kernforschungszentrum Karlsruhe KfK Abt. HS 7514 Eggenstein-Leopoldshafen
Hans Bodenbender	Hessisches Wirtschaftsministerium Postfach 3129 62 Wiesbaden
Dr. J. Böhm	Physikalisch-Techn. Bundesanstalt 33 Braunschweig
Prof. Wilhelm Börner	Abteilung für Nuklearmedizin der Universität Joseph-Schneider-Str. 2 87 Würzburg
Dr. Hans Bonka	Lehrstuhl für Reaktortechnik Rhein. Westf. Technische Hochschule Eilfschornsteinstr. 18 51 Aachen
Albert Boos	Schubertstr. 2 7450 Hechingen 5
Dr. Jochen Booz	Institut für Medizin Kernforschungsanlage Jülich Postfach 1913 5170 Jülich
Dieter Borchardt	Hahn-Meitner-Institut Glienicker Str. 100 1000 Berlin
Susanne Bork	Geschäftsstelle der Strahlenschutzkommission in der Gesellschaft f. Reaktorsicherheit Postfach 101650 5 Köln 1
Paul R. Bramenkamp	Zentralstelle für Sicherheitstechnik Strahlenschutz und Kerntechnik der Gewerbeaufsicht des Landes NW Gurlitzstr. 53a 4000 Düsseldorf
Dipl.-Ing. Lutz-Peter Brandes	Kernkraftwerk Krümmel GmbH Elbuferstr. 82 2054 Geesthacht
Diethart Brandt	Preußische ElektrizitätsAG Kernkraftwerk Würgassen Postfach 1220 3472 Beverungen 1
Helmut W.M. Braun	C.C.R. Euratom 21020 Ispra(Va), C.P.5 Italien
Dr.-Ing. H.D. Brenk	Forschung u. Systemplanung im Strahlen- u. Umweltschutz Heinrichsallee 38 51 Aachen
Dipl.-Phys. H. Brunner	Abt. Strahlenüberwachung (SU/81) E I R Eidg. Inst. f. Reaktorforschung CH-5303 Würenlingen/Schweiz
Herr Buijs	Europäisches Institut für Transurane Postfach 2266 75 Karlsruhe
Dr. med. Arthur Busch	Johannes-Müller-Str. 13 5 Köln 60 (Riehl)
Rudolf Cipara	Gulpener Str. 23 51 Aachen
Dr. H.-Uwe Cohrs	Niedersächsisches Landes- verwaltungsamt Institut für Arbeitsmedizin, Immissions- und Strahlenschutz Postfach 107 3000 Hannover 1

Prof.Dr. Hans Creutzig	Med. Hochschule Hannover Department Radiologie Karl-Wiechert-Allee 9 3 Hannover 6
Dr. E. Cullmann	Bohnenstr. 3 2054 Geesthacht
Dr. Czeike	Gesundheitsamt Burgstr. 14 7320 Göppingen
Dr. Hans Czempiel	Denninger Str. 100 8000 München 81
Dipl.-Ing. Michael Daichendt	Bayer AG 5090 Leverkusen Bayerwerk
Dipl.-Phys. A. Dalheimer	Ilsenburgerstr. 34 1000 Berlin 10
Wunibald Deller	Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG Postfach 103165 43 Essen
Dr. Demleitner-Köllisch	Allg. Krankenhaus Altona Abt. für Strahlentherapie und Nuklearmed. Paul-Ehrlich-Str. 1 2 Hamburg 50
Dr. Jacques Desloovere	E B E S Mechelse steenweg 271 B-2000 Antwerpen/Belgien
Günter Dietzel	Laboratorium Prof.Dr. Berthold Calmbacher Str. 22 7547 Wildbad 1
Dr. Horst Dilger	Kernforschungszentrum Karlsruhe Postfach 3640 7500 Karlsruhe 1
Dr. Hans Doerfel	Kernforschungszentrum Hauptabtlg. Sicherheit Postfach 3640 7500 Karlsruhe
Dr.rer.nat. Hans Dresel Paula Dresel	Uhlenhuthstr. 1 78 Freiburg i.Br.
Prof. Düx	405 Mönchengladbach
Dr. med. H. Dyllick	Betriebsarzt Thyssen Henschel Postfach 102969 35 Kassel
Dr. Volker Eckhardt	Sleming-Str. 7 53 Bonn 1
H. Edelhäuser	Bundesministerium des Innern Graurheindorfer Str. 198 53 Bonn
Dr. Kurt Eder	Josef-Braun-Ufer 14 6800 Mannheim
Dr. Dietrich Egner	LVH Hamburg Jungstr. 10 2000 Hamburg 26
H. Ehret	Bundesministerium des Innern Graurheindorfer Str. 198 53 Bonn
Dr. Hans-Georg Ehrlich	Kernforschungsanlage GmbH Zentralabteilung Strahlenschutz Postfach 1913 5170 Jülich
Dr. Hermann Eipper	Röntgen-Insitut und Strahlenklinik des Städtischen Krankenhauses Physikalische Abteilung 5 Köln (Merheim) 91
Hans vom Endt	Zentralstelle für Sicherheitstechnik des Landes NW Gürlittstr. 53a 4 Düsseldorf
Dr. Alfred Engels	Hangstr. 43 51 Aachen
Prof. W. Entzian	Universitätsklinik Venusberg Sigmund-Freud-Str. 25 53 Bonn 1

Dr.rer.nat. Heinz Erlenbach	Zentralstelle für Sicherheitstechnik des Landes Nordrhein-Westfalen Gürlittstr. 53a 4 Düsseldorf
Johannes Georg Festag	Gesellschaft für Schwerionen- forschung mbH Planckstr. 1 61 Darmstadt
Dr. Jörg Fidorra	Institut für Medizin Kernforschungsanlage Jülich Postfach 1913 517 Jülich
Dr. Heino Fill	Klinik für Nuklearmedizin Amichstr. 36 6020 Innsbruck
Dr. med. Eberhard Fischer	Ltd. Werksarzt d. Thyssen-Edelstahlwerke Oberschlesienstr. 16 415 Krefeld
Dr.med. Manfred Fischer	Medizinische Univ.-Klinik Nuklearmed.-Abtlg. Westring 3 4400 Münster
Dr.med. Hans-Dieter Flach	Arbeitsmedizin und Gesundheitsschutz Arbeitsmedizinische Koordination Inland BASF Aktiengesellschaft 67 Ludwigshafen am Rhein
Dr. Kurt Flemming	Institut für Biophysik und Strahlenbiologie der Universität Albertstr. 23 7800 Freiburg i.Br.
Prof. Theodor Fliedner	Abteilung für Klinische Physiologie und Arbeitsmedizin der Univ. Ulm Oberer Eselsberg M 24, 309 79 Ulm
Prof. Helmut Frank	Institut für Kernphysik Technische Hochschule Schloßgartenstr. 9 61 Darmstadt
Klaus-Dieter Frank	Am Steinhübel 12 6650 Homburg/Saar
Erika Frenzel	Münsterstr. 53 4430 Steinfurt-Borghorst
Eva Maria Friedland	Hahn-Meitner-Institut Abt. Strahlenschutz Glienicker Str. 100 1000 Berlin 39
Prof. Raimund Fridrich	Leiter Abt. Nuklearmedizin Kantonspital Basel 4031 Basel 31
Prof. Wolfgang Frik	Goethestr. 27/29 51 Aachen
Dr. Wolfgang Fritz	Daimler-Benz AG Abt. Fort- u. Weiterbildung Postfach 202 7 Stuttgart 60
Dr. Enrico Fröhlich	Strahlenbiologisches Institut der Universität Zürich August Forel-Str. 7 CH 8029 Zürich/Schweiz
Dr. Erna Fuhrmann	Internistin/Badeärztin Am Buchengrund 18 3280 Bad Pyrmont-Hagen
A. von Gadow	Bundesministerium des Innern Ref. GRF II 2 53 Bonn
Lothar Gärtner	Nuclear GmbH Florastr. 16 4000 Düsseldorf 1
Dr. Heinold Gamm	Abt. Hämatologie Uni. Klinik Mainz Langenbeckstr. 1 65 Mainz
Reinhold Gammel	Badenwerk AG Postfach 1680 75 Karlsruhe 1

Dr. med. Ulla Gatzert Dr. med. Peter Gatzert	Paracelsusstr. 4 289 Nordenham
Dr. Doris Gefeller	Med. Hochschule Hannover Abt. für Strahlentherapie und spez. Onkologie 3 Hannover
Dr.med. Wulf E. Gehrke	Referatsleiter des über- betriebl. Dienstes im TOVBLN. Parallelstr. 3 1 Berlin 45
Gottfried Gehrmann	Kraftwerk Union AG Abt. TW Postfach 011420 4330 Mülheim/Ruhr 1
Dr. Wolfgang Gerhard	Facharzt für Radiologie Eberhard-Faber-Str. 10 8430 Neumarkt-Opf.
Horst Gericke	Kernkraftwerk Lingen GmbH Schüttorfer Str. 100 4450 Lingen 1
Dr.med. Walter J. Gerstle	Pommernstr. 73 68 Mannheim 31
Dr.med. F. Gierse	Geibelstr. 20 5000 Köln 41 (Lindenthal)
Dr. Beowulf Glöbel	Inst. f. Biophysik 6650 Homburg/Saar
Klaus Goebel	Leiter der CERN-Strahlenschutzgr. CERN Div. HS CH 1211 Geneve 23
Herrn Görgen	Bayer AG Friedr.-Ebert-Str. 218 56 Wuppertal
Werner Görlich	E I R Abt. SV-Analyt. Dienst
Dr. Theodor Götz	Akademie des Sanitäts- und Gesundheitswesens der Bw Neuherbergstr. 11 8000 München 45
Dr. Rudolf Grabiger	Langenhorsterstr. 135 562 Valbert
Dr. Gerhard Grahl	Roggensteiner Allee 46a 8031 Eichenau vor München
Dr. Hans-Hubert Gross	Motoren- und Turbinen-Union Dachauerstr. 665 8 München 50
Dr. Heinz Grothe	Thaerstr. 15 63 Giessen
Dipl.-Phys. Peter Guglhör	TOV Bayern Eichstädter Str. 5 8000 München 21
Dr. Detlef Gumprecht	Geschäftsführer der Strahlenschutz- kommission Gesellschaft f. Reaktorsicherheit (GRS) Glockengasse 2 5 Köln 1
Dr.-Ing. Paul Haack	Ltd. Regierungsgewerbedirektor Zentralstelle für Sicherheitstechnik Gurlittstr. 53a 4 Düsseldorf
Dipl.-Ing. Friedrich Haas	Staatl. Techn. Oberwachung Hessen Rüdesheimer Str. 119 61 Darmstadt
Prof. Jürgen Hacke	Hahn-Meitner-Institut für Kernforschung Berlin GmbH Abt. Strahlenschutz Glienickerstr. 100 1000 Berlin 39
Dr. Jürgen Hagemann	Betriebsärztl. Dienst der Freien und Hansestadt Hamburg Alter Steinweg 4 2000 Hamburg 11
Dr. Wolfang Hagenberg	Hauptabtlgs.-Leiter Strahlenschutz Alkem GmbH Postfach 110069 645 Hanau 11 (Wolfgang)
Prof. Joachim Halama	Chefarzt der Strahlenklinik und Nuklearmedizinische Abteilung Offenbacher Stadtkrankenhaus 6050 Offenbach/Main

Willi Hanstein	EG&G Instruments GmbH Hohenlindener Str. 12 8 München 80
Rainer Haufler	Ministerium für Arbeit Gesundheit und Sozialordnung Baden Württemberg Postfach 1250 7000 Stuttgart 1
Johann Hastreiter	Partalozzistr. 43 71 Heilbronn
Dipl.-Phys. Gerhard Hecht	Kraftwerk Union AG Hammerbacher Str. 12/14 8520 Erlangen
Wilfried Hedemann	Deutsche Gesellschaft für Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen mbH Postfach 1407 3000 Hannover 1
D. Heinen	Staatliches Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen Postfach 410307 46 Dortmund 41
Max Heinzelmann	Kernforschungsanlage GmbH Zentralabteilung Strahlenschutz Postfach 1913 517 Jülich
Herbert Hemmerling	Techn. Büro d. Münchener Apparatebau Kimmel GmbH & Co KG Sabinenweg 14 4330 Mülheim 1
Dr. Hans Gerhard Henftling	Max-Kolmspergerstr. 17/VI 8000 München 83
Dipl.-Ing. Heinz Hennecken	Bayer AG 5090 Bayer Leverkusen Bayerwerk
Dipl.-Phys. Klaus Henning	GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH 2054 Geesthacht-Tesperhude
Dipl.-Phys. H. Hermsdorf	Stadtkrankenhaus Offenbach am Main Strahlenklinik u. Nuklearm. Abtlg. Starkenburgring 66 6050 Offenbach am Main
Dr. Georg Herrmann	Gesellschaft zur Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen mbH Leopoldshafen 2 7514 Eggenstein
Dr. Benne Herzberg	Klinikum Steglitz Freie Universität Berlin Abt. Nuklearmedizin 1000 Berlin
Dr. Axel Heß	Segeberger Ch. 168 2000 Norderstedt
Dr. Friedrich Heuser	Gesellschaft für Reaktorsicherheit Glockengasse 2 5000 Köln
Dr. Max Hillerbrand	Kraftwerk-Union AG Abt. VRS 18 Hammerbacherstr. 12/14 8520 Erlangen
Dr. Gerhard Hinz	Bundesgesundheitsamt Tannenstr. 7 8011 Putzbrunn
Dr. Hans Peter Hofmann	Birkenweg 10 6460 Gelnhausen
Dr. Franz Holeczke	Facharzt f. Radiologie Embelgasse 52 1050 Wien/Österreich
Dr. Christian Holtschmidt	Kuhstr. 18 5307 Wachtberg-Pech
Dr. Gerhard Huckert	Oberfeldarzt der Bundeswehr Mortonstr. 6 8 München 45
Dr. Manfred Hüls	Max-Planck-Institut für Plasmaphysik Breslauer Str. 27 8046 Garching b. München

Dr. Werner Hunzinger	Chef Sektion Strahlenschutz Bundesamt für Gesundheitswesen Postfach 2644 Ch-3001 Bern/Schweiz
Dr.-Ing. Volker Ilmstädter	Fachbereich 8, Kernchemie Techn. Hochschule DA Hochschulstr. 1 61 Darmstadt
Dr. med. Wilhelm Jacob	Chefarzt d. Inn. Abteilung und Leit. Arzt des St. Johannisstiftes Reumonstr. 29 79 Paderborn
Gerhard Jacobs	Isotopen-Technik Dr. Sauerwein GmbH Bergische Str. 16 5657 Haan/Rheinl. 1
Dr. Herbert Jacobs	Zentralabteilung Strahlenschutz Kernforschungsanlage GmbH Postfach 1913 517 Jülich
Dr. Josef Jacquemin	Ministerialrat Der Minister für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen Landeshaus 4 Düsseldorf
Dr. Alfred Jäger	Internist City-Galerie, 11. Etage 8750 Aschaffenburg
Dr. Herbert Jahn	Zentralabteilung Forschungsreaktoren Kernforschungsanlage Jülich Postfach 1913 517 Jülich
Heino Jans	Harshaw Chemie GmbH Viktoriastr. 5 5632 Wermelskirchen
Dr. Detlev Jenczewski	Betriebsärztlicher Dienst der Freien und Hansestadt Hamburg Alter Steinweg 4 2000 Hamburg 11
Wolfgang Jerke	Kerntechnischer Hilfsdienst GmbH 7514 Eggenstein-Leopoldshafen
Dr. med. H. Jung	Betriebsarzt der Universität Köln Classen-Kappelmann-Str. 1a 5 Köln 41
Dr. Dieter Junker	Uhlenkamp 66 3004 Isernhagen 1
Dieter Kaspar	Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Sozialordnung Baden Württemberg Postfach 1250 7000 Stuttgart 1
Prof.Dr. med. H. Kaufmann	Direktor der Klinik für Strahlentherapie u. Nuklearmedizin Städt. Krankenanstalten Ludwigshafen Bremserstr. 79 67 Ludwigshafen am Rhein
Prof. Alexander Kaul	Hindenburgdamm 30 1000 Berlin 45
Siegfried Kausch	Kraftanlagen AG, Abt. RSS Im Breitspiel 7 6900 Heidelberg 1
Dr. Wolfgang Kemmer	BMI RS IIm 5 Postfach 53 Bonn 1
Manfred Kern	Fa. Röntgenmüller 2000 Hamburg
Prof.Dr. Hans Kiefer	Leiter der Hauptabteilung Sicherheit des Kern- forschungszentrums Karlsruhe GmbH Postfach 3640 7500 Karlsruhe
Dr. K. Kirchhoff	Saarstr. 16 3000 Hannover
Heinz Kirsch	RWE-Hauptverwaltung Kruppstr. 5 43 Essen

Dr. Georg Kistner	B G A Institut f. Strahlenhygiene Postfach 1000 Berlin 33
Hans Kleimann	Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung m.b.H. München Institut für Tieflagerung Technische Abteilung Schachtanlage Asse 3346 Remlingenü. Wolfenbüttel
Norbert Kleinebreil	Chefarzt d. Radiologischen Abteil. u. Nuklearmedizin Marien-Hospital 5350 Euskirchen
Dr.med. Herbert Knieb	Werksarzt der Stahlwerke Bochum AG Castroperstr. 228 4630 Bochum
Armin Koehler	Zentralkrankenhaus Strahlentherapie St. Jürgen Str. 28 Bremen
Jürgen Köhler	Gewerbeaufsichtsamt Franzstr. 49 51 Aachen
Dr. Dorothea Kosin	Grethenweg 88 6000 Frankfurt 70
Dr.med. E. Kotzamanis	Werksarzt Hoechst AG Werksärztl. Abteilung D 810 623 Frankfurt/M. 80
Helmut Kowalewsky	Bundesanstalt für Materialprüfung Unter den Eichen 87 1 Berlin 45 (Dahlem)
Dr. Bernhard Krause	Krankenhaus der Barmh. Brüder Prüfeninger Str. 86 84 Regensburg
Otto Krauss	Deutsches Krebsforschungszentrum Strahlenschutz und Dosimetrie Im Neuenheimer Feld 280 69 Heidelberg 1
Dr. Krebs	Minsterialrat Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung 5300 Bonn
Dr. Hans-Jürg Kreiner	Lt. d. Abt. Entwicklung Münchener Apparatebau Kimmel GmbH & Co. Otto-Hahn-Str. 36 8012 Ottobrunn
Dr. Fritz Krieger	6951 Obrigheim
Dipl.-Ing. Hans Kronholz	Radiologische Klinik Jungeblodtplatz 1 44 Münster/Westf.
Dr.rer.nat. Fritz Kropf	Evgl. Krankenhaus Munckelstr. 27 465 Gelsenkirchen 27
Dr. Ursula Krotz	Richelstr. 5 8000 München 19
Franzi Krupp	Große Bleiche 3 65 Mainz 1
Dr. Hans Kühn	Leiter d. Abt. f. Nuklearmedizin Kreiskrankenhaus 5353 Mechernich
Hermann Kühnke	Simens AG, UB Med - PAE 24 Henkestr. 127 8520 Erlangen
Dr. Winfried Kuhrt	Niedersächsisches Sozialministerium Postfach 141 3000 Hannover 1
Dr. R. Kunkel	Institut f. Biophysik der Universität des Saarlandes 665 Homburg (Saar)
Dr. H.-Adolf Ladner	Schlierbergstr. 108 7800 Freiburg
Dr. Marg. Langendorff	Kirnerstr. 20
Gabriele Langendorff	78 Freiburg

Dr.Gerhard Langmüller	Wienerstr. 54 6 Frankfurt
Dr. Thierry Lauffenburger	SUVA Sekt. Physik CH-6002 Luzern/Schweiz
Karl-Josef Laumen	Zentralabteilung Forschungsreaktoren Kernforschungsanlage Jülich GmbH Postfach 1913
Dr. Siegfried Lenkeit	Kernforschungszentrum Postfach 3640 7500 Karlsruhe
Prof. Hans Lenz	St. Antonius-Hospital 5180 Eschweiler
Dr.Wolfram Leonhardt	Krankenhaus "Maria Trost" Gallwitzallee 123/148 1 Berlin 46 (Lankwitz)
Dr. Walter Leppin	Albertinen Krankenhaus Süntelstr. 11a 2000 Hamburg 61
Dr. Gustav Lobenhofer	Facharzt für innere Krankheiten Sandstr. 38 85 Nürnberg
Dr. L. Ludewig-Moosdorf	Werksärztlicher Dienst der Daimler-Benz AG Postfach 226 7032 Sindelfingen/Württ.
Dr. Friedrich Ludwieg	Zentralstelle für Sicherheitstechnik des Landes Nordrhein-Westfalen Gurlittstr. 53a 4000 Düsseldorf
Dr. Eberhard Maintz	Hamburgische Electricitäts-Werke AG Oberseering 12 2 Hamburg 60
Gernot Maisch	c/o Daimler Benz AG Abt. ZWT/WTP Postfach 202 7 Stuttgart 60
Dr. Klaus-H. Maull	V E W Dortmund 4600 Dortmund
Dr. Rupprecht Maushart	Calmbacher Str. 22 7547 Wildbad 1
Dr. Crispin J. Mbawala	Gartenstr. 8a 6520 Worms
Dr. Gregor Meier	VEW Dortmund 4600 Dortmund
Prof. Otfried Messerschmidt	Neuherbergstr. 54 8 München 45
Dr. Roland Metzner	Wehrwissenschaftliche Dienststelle der Bw für ABC-Schutz 44 Münster
Dr. Rolf Michel	Saarstr. 6 5000 Köln 40
Dr.med. Günther Möhrle	Betriebsarzt der Badenwerk AG Kriegsstr. 27 75 Karlsruhe 1
Werner Mohr	Atzelsberger Str. 29 8521 Marloffstein
Dr. Th. Mohr	Friedrich-Ebert-Anlage 39 6000 Frankfurt/Main
Dr. Müller	Am Burgfeld 16 5180 Eschweiler
Dr. Rudolf Müller	CIBA-GEIGY Ag Zentralstelle f. Strahlenschutz CH 4000 Basel/Schweiz
Ulrike Müller	Evgl. Krankenhaus Pattbergstr. 1-3 4300 Essen 16
Dr.med. E. Müller-Dethard	Medizinische Hochschule Hannover Karl-Wiechert-Allee 9 3 Hannover 61

Manfred Münster	GUW Gesellschaft für Umweltüberwachung Industriestr. 5173 Aldenhoven
Prof.Dr. Heinrich Mußmann	Brockmüllerstr. 4 517 Jülich
Alfred Naseband	c/o Interatom Postfach 5060 Bergisch Gladbach 1
Dipl.-Phys. Gerhart Necker	Berufsgenossenschaft für Gesundheits- dienst und Wohlfahrtspflege Bezirksstelle des Techn. Aufsichtsdienstes Kronenstr. 1 7500 Karlsruhe 1
Dr. Otto Nehrkorn	Ludwigstr. 22 5630 Remscheid 1
Dr.med. H.J. Nennstiel	Jägerwiesenweg 7 7530 Pforzheim-Hohenwart
Alfred Neu	Ulmenweg 4 7552 Durmersheim
Wolfgang Neumann	Am Schröcker Tor 1 7514 Eggenstein-Leopoldshafen 2
Dr. W. Niermann	Medizinaldirektor a.D. (Bw) 5473 Kruft
Dr. Karl Niklas	Franz Fihlstr. 4 8000 München 58
Herr Nolte	Physikalisch Techn. Bundesanstalt 33 Braunschweig
Dr. Manfred Nüvemann	Berufsgen. Unfallklinik Friedberger Landstr. 430 6000 Frankfurt 60
Prof. Erich Oberhausen	Direktor der Abt. f. Nuklearmedizin der Radiologischen Universitäts- kliniken Homburg/Saar 6650 Homburg/Saar
Gummar Ohmann	Generalsekretär Zivilschutzverband Vuorikatu 3A 00100 Helsinki 10/Finnland
Friedrich Olbert	Leiter der Röntgenstation an der 1. chirug. Abt. S.KH Wien-Lainz Wolkersbergenstr. 1 1130 Wien/Österreich
Dr. Harald Oster	Betriebsarzt der Nuklearfirmen Postfach 110060 6450 Hanau 11
Georg Overwien	Picker Roentgen GmbH Breslauer Str. 5 4992 Espelkamp
Edgar Palmowski	Rhein.-Westf. Elektr. werk AG Postfach 103165 43 Essen 1
Jürgen Palmowski	Kraftanlagen AG Abt. RS Im Breitspiel 7 6900 Heidelberg 1
Dr. med. D. Peche	Lt. Werksarzt des RWE Essen Dreilindenstr. 69 4300 Essen 1
Carlo Perotto	Kernkraftwerk Ch-3302-Mühleberg/Schweiz
Dr. Franz Perzl	Gesellschaft f. Strahlen- und Umweltforschung mbH Ingolstädter Landstr. 1 8042 Neuherberg
Fritz Peter	Landesanstalt für Umweltschutz Postfach 210752 75 Karlsruhe 21
Dipl.-Phys. Rüdiger Peuker	Berufsgenossenschaft der Feinmechanik u. Elektrotechnik Postfach 510580 5 Köln 51

Prof. Hans Pfeiff	FB Technisches Gesundheitswesen FH GiessenFriedberg Wiesenstr. 14 6300 Giessen
Irene Pfeuti	Schallopp Berlin Ringstr. 71 1000 Berlin 45
Dr. Helmut Pfob	Bahnhofstr. 21 8875 Offingen
Dipl.-Chem. Kurt Philipp	Bayer. Landesinstitut für Arbeitsmedizin Pfarrstr. 3 8 München 22
Dietrich Platthaus	c/o RWTOV Postfach 103261 43 Essen 1
Dr. Lieselotte Pötz	Virchowstr. 24 3380 Goslar
Dr. Helga Pohl	Betriebsärztl. Dienst der Freien und Hansestadt Hamburg Alter Steinweg 4 2000 Hamburg 11
Dr. Walter Porschen	Institut für Medizin Kernforschungsanlage Jülich GmbH Postfach 1913 5170 Jülich
Joachim Preiss	Abt. Hämatologie Universitätskliniken Langenbeckstr. 1 65 Mainz
Rolf Prignitz	Strahlenklinik der Universität Robert-Koch-Str. 8a 355 Marburg/L.
Martin Prütting	Knappschaftskrankenhaus Hamm Knappenstr. 19 47 Hamm 1
Dr. Ulrich Quast	Universitätsklinikum der GHS Essen Abtlg. für Klin. Strahlenphysik Hufelandstr. 55 43 Essen 1
Dr. Helmut Radvan	345 Holzminden/Weser
Dr. Georg Rahm	Weseler Weg 10 4005 Meerbusch
Götz Rassow	Falken Str. 21 8520 Erlangen
Prof. Jürgen Rassow	Universitätsklinikum Essen Institut für Med. Strahlenphysik und Strahlenbiologie Abt. Med. Strahlenphysik Hufelandstr. 55 43 Essen 1
Ludwig Rausch	Im Seefeld 3 6478 Nidda
Dr. Hans-Jürgen Reinecke	Isotopenlabor der Universität Tübingen Auf der Morgenstelle 24 74 Tübingen
Dr. Hansrudolf Renfer	Röntgeninstitut Käfiggässchen 10 Ch-3011 Bern/Schweiz
Prof. Harald Reschke	Salvatorstr. 5 8071 Stammham
Henning Reuter	Schumannweg 14 5160 Düren
Dr. Bruno Ribbat	Brown Boveri u. Cie GK/CN 32 Postfach 351 6800 Mannheim
Dr. Maria-Teresa Riccato	Byk-Mallinckrodt Chemische Produkte GmbH von HavesyStr. 1-3 6057 Dietzenbach 2
Werner Riedel	Eitel-Fritz-Str. 4 1000 Berlin 38
Dr. Otto Riepen	Koogstr. 41a 2212 Brunsbüttel
Dr. Hilmar Ritz	Leiter der Abt. Physik Betriebsgesellschaft mbH 7514 Eggenstein-Leopoldshafen 2 MZFR

Dr. Karl-Heinz Ritzenhoff	Staatl. Materialprüfungsamt Marsbruchstr. 186 46 Dortmund 41
Dr. Esther Rodewald	Internistin am Ges. Amt Dammannkoppel 20 2210 Itzehoe
Dr. Holger Rösler	Techn. Oberwachungs-Verein Postfach 540220 2000 Hamburg 54
Diethard Rosenbaum	Harshaw Chemie GmbH Viktoriastr. 5 5632 Wermelskirchen 1
Dr. Eckart Rose	Leiter der Personendosisüber- wachung der KFA Jülich Zentralabteilung Strahlenschutz Kernforschungsanlage GmbH Postfach 1913 517 Jülich
Dr. Otto Rosenbaum	Ministerialrat Der Minister für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen Landeshaus 4 Düsseldorf
Wilfried Roth	c/o Kraftwerk Union AG Abt. BST Hammerbacherstr. 12 u. 14 8520 Erlangen
Dr. Werner Rudolph	Nukem GmbH Postfach 110080 6450 Hanau 11
Luis Rüdt	TOV Stuttgart e.V. Postfach 1380 7024 Filderstadt 1
Ilse Ruhfass	Ludwig-Marum-Str. 36 75 Karlsruhe
Eckart von Ruschkowski	Gewerbeoberrat im Niedersächsischen Sozialministerium Postfach 141 3 Hannover
Dr. Sauer	Nuklearmed. Abteilung des Zentralkrankenhauses St. Jürgen Str. 28 Bremen
Dr. Kurt Sauerwein	Isotopen-Technik Dr. Sauerwein GmbH Bergische Str. 16 5657 Haan/Rhein
Dipl.-Phys. Heinz Seguin	22 Dom d. Bremeschhof Kehlen/Lux.
Dr. Jürgen Seifert	Ev. Krankenhaus 4300 Essen 16
Dr. Horst-Adolf Semiller	Kommission der Europ. Gemeinschaften rue de la Loi B-1049 Brüssel/Belgien
Dr. Karl-Erich Seyb	Universität Mainz Postfach 3980 65 Mainz
Dr.Ing. Michael Skafi	KWU-R 315 Berliner Str. 295-299 6050 Offenbach
Dr. Siegl	Fa. Siemens 8520 Erlangen
Dr. Arnold Spang	Kraftwerk Union AG Postfach 3220 8520 Erlangen
Roman Spiess	Eidg. Institut für Reaktorforschung Ch-5303 Würenlingen/Schweiz
Klaus D. Schäfer	Präsident der Univ. Frankfurt Senckenberg-Anlage 31 6 Frankfurt
Bernhard Schallopp	Schallopp Belin Ringstr. 71 1000 Berlin 45
Dr. Hanns Schellhas	Arzt für Innere Medizin und Arbeitsmediz Vordersteig 13 7505 Ettlingen
Manfred Schenken	Oberamtsrat Der Minister für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes NW Landeshaus 4 Düsseldorf

Prof. E. Scherer	Direktor der Strahlenklinik Radiologisches Zentrum Universitäts-Klinikum der GH Hufelandstr. 55 43 Essen 1
Dr. Horst Schieferdecker	Kernforschungszentrum Karlsruhe Postfach 3640 7500 Karlsruhe
Dr. Th. Schilling	Chefarzt der Rönten Abteilung des israelitischen Krankenhauses Orchideenstieg 14 2 Hamburg 60
Harald Schlicker	Krankenhaus Moabit Turmstr. 21 1000 Berlin 21
Schimmel, Rainer	Gewerbeoberinspektor Zentralstelle für Sicherheitstechnik Gurlittstr. 53a 4 Düsseldorf
Dr. Ulrich Schlonski	Leiter der betriebsärztl. Unter- suchungsstelle bei der Bundesbahn in Kass Fennelstr. 37 35 Kassel-Harleshausen
Dr. Mette-Luise Schmidt	Betriebsärztin des St. Elisabeth-Hospital Domhof 1 4830 Gütersloh
Dr. K. Schmidt-Bleibtreu	Berufsgen. Arbeitsmed. Zentrum Terminal 1 4 Düsseldorf 30
Dr. Kurt Schmitt	Hoechst AG Werksärztl. Abtlg. D810 6230 Frankfurt/M. 80
Dr. Karl Schnabel	Stadtkrankenhaus Offenbach a.M. Strahlenklinik u. Nuklearmed. Abtlg. 69 Offenbach
Dr. Schneider	Oberer Stefansberg 3 8600 Bamberg
Dr. Rudolf Schneider	Landesgewerbeaufsichtsamt für Rheinland-Pfalz Rheinallee 97-101 65 Mainz
Norbert Schommer	GUW Gesellschaft für Umweltüberwachung mbH Industriestr. 5173 Aldenhoven
Dr. O.W. Schröder	Facharzt f. Radiologie Katharinenstr. 12 4270 Dorsten
Dr. Hans Schroer	Bundesbahndirektion Bismarckplatz 1 4300 Essen 1
Prof.Dr. Jürgen Schütz	Radiol. Univ.-Klinik Jungeklodtplatz 1 44 Münster
K. Schütz	Firma Herfurth 8 München
Dr. Ernst Schumann	Anton-Hops-Str. 2 773 VS-Villingen/Schwarzwald
Herwig Schwarz	Regierungsdirektor Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung Konrad-Adenauer-Ufer 2-6 5400 Koblenz
Dr. Peter Schwarz	Wilhelm-Kern-Platz 4 4992 Espelkamp
Volker Schwiertz	Bonnenberg + Drescher Ingenieurgesellschaft mbh Industriestr. 5173 Aldenhoven
Gottfried Stäblein	Kernforschungszentrum Postfach 3640 7500 Karlsruhe
Dr. Erich Stauber	Kraftwerk Union AG Berliner Str. 295-299 605 Offenbach/Main

Dr. Ferdinand Steger	Österreichische Studien- gesellschaft f. Atomenergie Institut f. Strahlenschutz Forschungszentrum Seibersdorf Lenaugasse 10 A-1082 Wien/Österreich
Birgit Stehl	Evgl. Krankenhaus 4300 Essen-Werden
Dr. Horst Stein	Oberregierungsrat Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung u. Umweltfragen Postfach 810140 Rosenkavalierplatz 2 8 München 81
Prof. F.-E. Stieve	Institut für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes 695 Neuherberg
Dr. Rolf Stippler	GSF Institut für Tieflagerung Theodor-Heuß´-Str. 4 33 Braunschweig
Dr. Erwin Stoll	Abteilung für die Sicherheit der Kernanlagen 5303 Würenlingen/Schweiz
Dr. Elisabeth Strauch	Maria Montessori Weg 1 3400 Göttingen
Prof. M.W. Strötges	Tiergarten 19 4300 Essen 16
Wolfgang Stumpf	Rhein. Westf. TOV e.V. Postfach 103261 43 Essen 1
Dr. Wilfried Temme	Wehrwissenschaftl. Dienststelle der Bw für ABC-Schutz 4400 Münster
Dr.med. Klaus Tessin	Ltd. Kreis-Med. Direktor Gesundheitsamt Barlachplatz 4 2418 Ratzeburg
Dr. Rainer Thaemmig	Vrasselt 18 4174 Issum
Kurt J. Traub	CIBA-GEIGY AG Zentralstelle f. Strahlenschutz 4002 Basel
Uwe Trettin	Hess. Wirtschaftsministeriumn Postfach 3129 62 Wiesbaden
Dr. Florian Tschech	Geschäftsführer Duisburgerstr. 111 4000 Düsseldorf 30
Dr. Dieter Türck	Institut f. Kernphysik TH Schloßgartenstr. 9 61 Darmstadt
Dr.med. Heinrich Vielberg	Langestr. 206 47 Hamm 1
Prof.Dr. Vladimir Volf	Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH Institut für Genetik und für Toxikologie von Spaltstoffen Postfach 3640 75 Karlsruhe 1
Dr. Maria Vollborn-Baur	Medizinaldirektorin Hagenau 46 2000 Hamburg 76
Dr. Brunhilde Waldvogel	Oberregierungsmedizinalrätin Der Sozialminister des Landes Schleswig-Holstein Brunswiker-Str. 16-22 23 Kiel
Dr. Norbert Walter	Walburgerstr. 2 4770 Soest
Dr. Winfried Wanner	FA Radiologie O.Reg.Med.Rat Riedstr. 3 7632 Friesenheim 3
Herr Wasweiler	HRB Mannheim Gottlieb-Daimler-Str. 8 68 Mannheim
Dr. Elmar Waterloh	Leitender Hochschularzt der RWTH Aachen Roermonder Str. 7 51 Aachen

Dr. Armin Weinig	DWK, Abt. SU Hildesheimer Str. 47 33 Hannover
Dr.med. Peter Weinstock	Facharzt f. Chirugie + Unfallchir. Chefarzt am KH St. Elisabeth Immenweg 11 7980 Ravensburg
Dr. Gerhard Weiss	Medizinaldirektor Landesinstitut für Arbeitsmedizin Soorstr. 83 1 Berlin 19
Dr. Manfred Wendler	Leiter der Abt. Physik Kernkraftwerk-Betriebsgesellschaft mbH Insterburgstr. 11 75 Karlsruhe
Reg. Dir. Dieter Wendorff	Der Sozialminister des Landes Schleswig-Holstein Brunswiker Str. 16-22 2300 K i e l
Prof. Friedr. Wendt	Evang. Krankenhaus 4300 Essen 16
Dr. Eckhard Werner	Paul-Ehrlich-Str. 20 6000 Frankfurt a.M. 20
Prof. Roland Werner	Der Senator für Gesundheit und Umweltschutz Bahnhofsplatz 28 28 Bremen 1
Prof. Rolf Wetzel	Oberer Rebberg 14 7880 Bad Söckingen
Dr. R. Wideröe	CH-5415 Nussbaumen/Schweiz
Rudolf Wiederkehr	Abteilung für die Sicherheit der Kernanlagen CH-5303 Würenlingen/Schweiz
Dr. Hans Wieland Frau Magda Wieland	An der Münze 7 4040 Neuss
Dr. Jo. Wiesemes	Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) Glockengasse 2 5000 Köln 1
Dr. Rainer Wirth	Regierungsdirektor Sozialministerium des Landes Schleswig-Holstein Brunswikerstr. 16-22 2300 Kiel
Dipl.-Phys. B. Witew	4000 Düsseldorf 30
Herr Zabel	HRB Mannheim Gottlieb-Daimler-Str. 8 68 Mannheim
Dr. Rolf Zimmer	Leiter der Bayer. Landesinstitut für Arbeitsmedizin München Allescher Str. 3 8 München 71 (Solin)
Dr. Gerhard Zuber	Karolinenplatz 5 6100 Darmstadt

Liste der P U B L I K A T I O N E N des
Fachverbandes für Strahlenschutz e.V.

Siegel *)	Titel	Bezugsadresse **)
FS-1	"Nicht-ionisierende Strahlung" Informationstagung des FS, 30.3.1973, Bern	vergriffen
FS-2	"Raum- und Abluftüberwachung auf Radioaktivität" Kolloquium des Arbeitskreises Arbeitsplatzüberwachung, 15./16.11.1973, Karlsruhe (= KFK-1899)	1)
FS-3	"Betadosimetrie - Probleme und Tendenzen" Arbeitskreis Dosismessung externer Strahlung,1975 (= KFK-2185)	6)
FS-4	1. Jahrestagung, 1.-3.6.1966, Jülich "Erfahrungen bei der Anwendung von Strahlenschutzregelungen in Kerntechnik und Industrie	vergriffen
FS-5	2. Jahrestagung, 11.-13.5.1967, Neuherberg "Halbleiterdetektoren in Strahlenschutz und Strahlenmeßtechnik"	vergriffen
FS-6	3. Jahrestagung, 26.5.-1.6.1968, Interlaken "Strahlenschutz der Bevölkerung bei einer Nuklearkatastrophe", (CONF-680507)	1)
FS-7	4. Jahrestagung, 28.-30.5.1969, Berlin "Strahlenschutzprobleme bei der Freisetzung und Inkorporation radioaktiver Stoffe"	3)
FS-8	5. Jahrestagung, 26.-30.4.1971, CERN, Genf "International Congress on Protection Against Accelerator and Space Radiation", 2 Volumes (Report CERN 71-16)	4)
FS-9	6. Jahrestagung, 17.-19.5.1972, Karlsruhe "Strahlenschutz am Arbeitsplatz" (= KFK-1638)	1)
FS-10	7. Jahrestagung, 21./22.3.1973, Bern, "Die Strahlenbelastung der Bevölkerung durch medizinisch-diagnostische Verwendung ionisierender Strahlen"	vergriffen
FS-11	8. Jahrestagung, 23.-28.9.1974, Helgoland "Strahlenschutz und Umweltschutz", 2 Bände	5)
FS-75-12-T	9. Jahrestagung, 6.-8.10.1975, Alpbach/Tirol "Die Überwachung der Strahlenexposition der Arbeitskräfte"	vergriffen
FS-76-13-T	10. Jahrestagung, 9.-12.6.1976, Gießen "Betrieblicher Strahlenschutz - Erfahrungen und Konsequenzen aus technischer Sicht"	3)
--	"10 Jahre Fachverband für Strahlenschutz" Jubiläums- und Informationsschrift Juni 1976	2)
FS-77-14-AKI	"Inkorporationsüberwachung auf Tritium" Loseblattsammlung Arbeitskreis Inkorporationsüberwachung (AKI), Okt.1977 (wird fortgesetzt)	7)
FS-78-15-AKU	Loseblattsammlung Arbeitskreis Umweltüberwachung (AKU), Beginn Dez. 1979 (erhältlich ab Jan. 1980 (wird fortgesetzt)	8)
FS-77-16-T	11. Jahrestagung, 3./4.11.1977, Karlsruhe "Anforderungen an die Fachkunde von Strahlenschutzverantwortlichen oder -beauftragten im nichtmedizinischen Bereich"	vergriffen
FS-78-17-AKD	"Thermolumineszenz- und Phosphatglas-Dosimetersysteme im Bereich kleiner Dosen - Vorstellung eines Testprogrammes und Ergebnisse an 43 Systemen" Arbeitskreis Dosismessung externer Strahlung (AKD), März 1978 (= KFK-2626)	6)

Siegel *)	Titel	Bezugsadresse **)
FS-78-18-T	12. Jahrestagung, 2.-6.10.1978, Norderney "Radioaktivität und Umwelt", 2 Bände (Sept.1979)	5)
FS-79-19-ADD	"Tendenzen in der Personen- und Umgebungsdosimetrie" Seminar Arbeitskreis Dosismessung externer Strahlung und GSF, 30.11./1.12.1978 (März 1979)	6)
FS-79-20-T	13. Jahrestagung, 7th Regional Congress of IRPA 16.-19.10.1979, Köln (mit NVS und DeVS) "Radioaktive Abfälle" (Mai 1980	9)
FS-80-21-24 -AKI	Loseblattsammlung des Arbeitskreises Inkorporationsüberwachung. (In Vorbereitung)	7)
FS-80-25-T	14. Jahrestagung, 29.-31.Mai 1980, Jülich, "Industrielle Störfälle und Strahlenexposition" (Jan.1980)	2)

*) Offizielle Siegel werden erst seit 1975 benützt.

**) Bezugsadressen und Bezugsbedingungen

Die Publikationen werden in den Publikationsjahren den FS-Mitgliedern gratis abgegeben. Soweit noch verfügbar, können die Publikationen bei den nachstehend genannten Bezugadressen gegen einen dort zu erfragenden Unkostenbeitrag bezogen werden.

1) Sekretariat Fachverband für Strahlenschutz, c/o H. Brunner, SU, EIR, CH-5303 Würenlingen
2) Dr.H.Jacobs, ASS, KFA Jülich, Postfach 1913, D-5170 Jülich
3) Prof.Dr.J.Hacke, Abt.Strahlenschutz, HMI, Glienicker Str.100, D-1000 Berlin 39
4) Dr.J.Baarli, CERN, CH-1211 Genève 23
5) Prof.W.Feldt, Isotopenlabor, BFA f.Fischerei, Wüstland 2, D-2000 Hamburg 55
6) Dipl.Phys.E.Piesch, HS, Kernforschungszentrum, Postfach 3640, D-7500 Karlsruhe 1
7) Dr.H.Schieferdecker, Med-Tox., Kernforschungszentrum, Postfach 3640 D-7500 Karlsruhe 1
8) Dipl.Phys.M.Winter, HS, Kernforschungszentrum, Postfach 3640, D-7500 Karlsruhe 1
9) Dipl.Phys.L.F.Franzen, GRS, Postfach 10 16 50, D-5000 Köln 1