

KFK 2245

Aufgrund der am 1.4.1977
in Kraft getretenen Ver-
ordnung ueber den Schutz
vor Schaeden durch ionis-
sierende Strahlen ueber-
arbeitete 2.erweiterte
Auflage

Band 58

Strahlenschutzärztliche Aufgaben bei der Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen

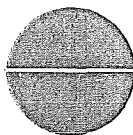
Von L. Ohlenschläger

Gesellschaft für Kernforschung, Karlsruhe
Medizinische Abteilung

Schriftenreihe

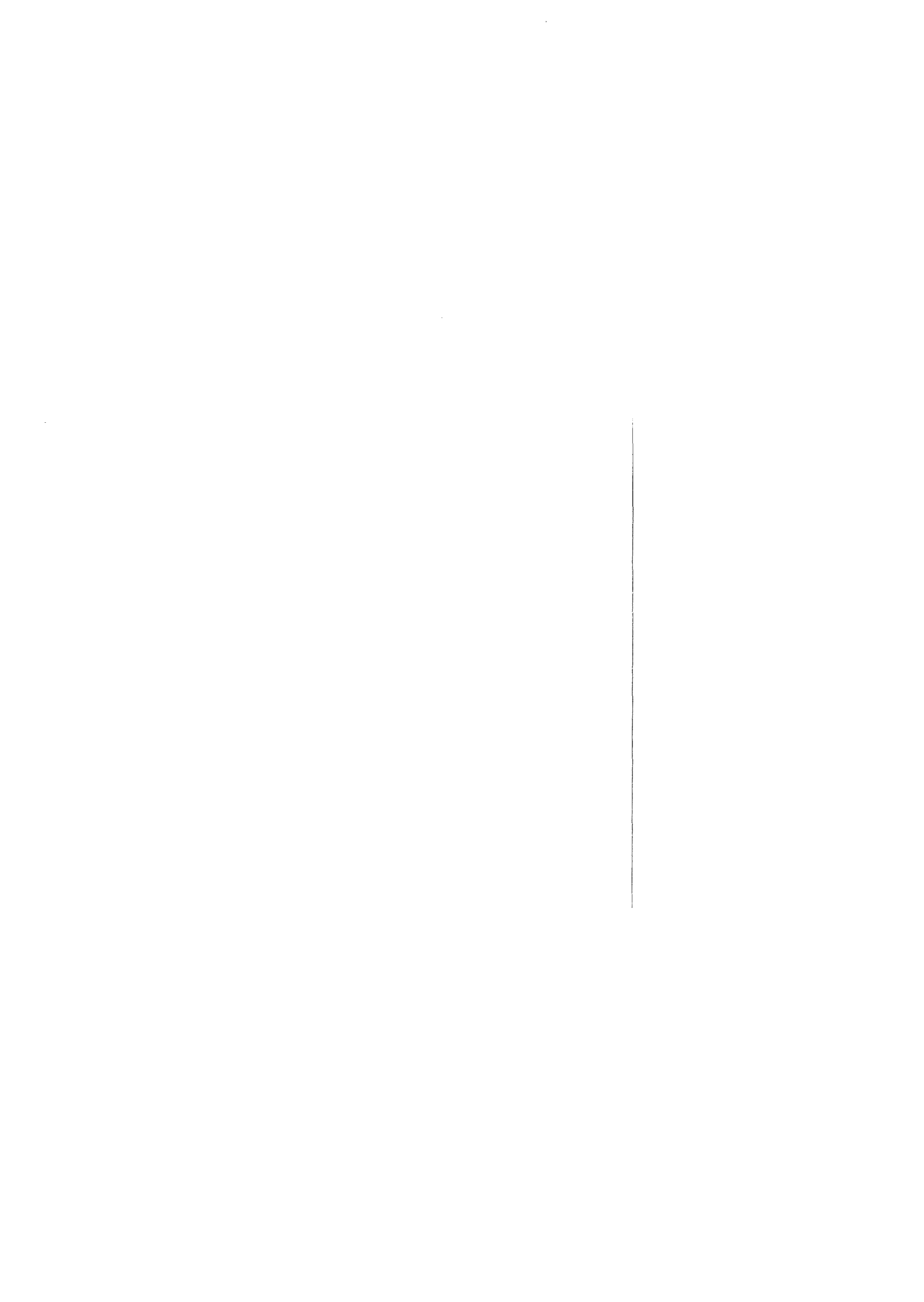
Arbeitsmedizin
Sozialmedizin
Präventivmedizin

A.W. Gentner Verlag
Stuttgart



L. Ohlenschläger

**Strahlenschutzärztliche Aufgaben
bei der Überwachung beruflich strahlen-
exponierter Personen**



Strahlenschutzärztliche Aufgaben
bei der Überwachung
beruflich strahlenexponierter
Personen

L. Ohlenschläger
Gesellschaft für Kernforschung, Karlsruhe
Medizinische Abteilung

Zweite, erweiterte Auflage



A. W. GENTNER VERLAG STUTTGART

Band 58
in der Reihe Arbeitsmedizin, Sozialmedizin, Präventivmedizin

Schriftleitung: Dr. med. Rolf-Detlev Berensmann, 7000 Stuttgart 80 (Degerloch),
Hans-Neuffer-Weg 2 (Ärztehaus).

Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wieder-
gabe und der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten.

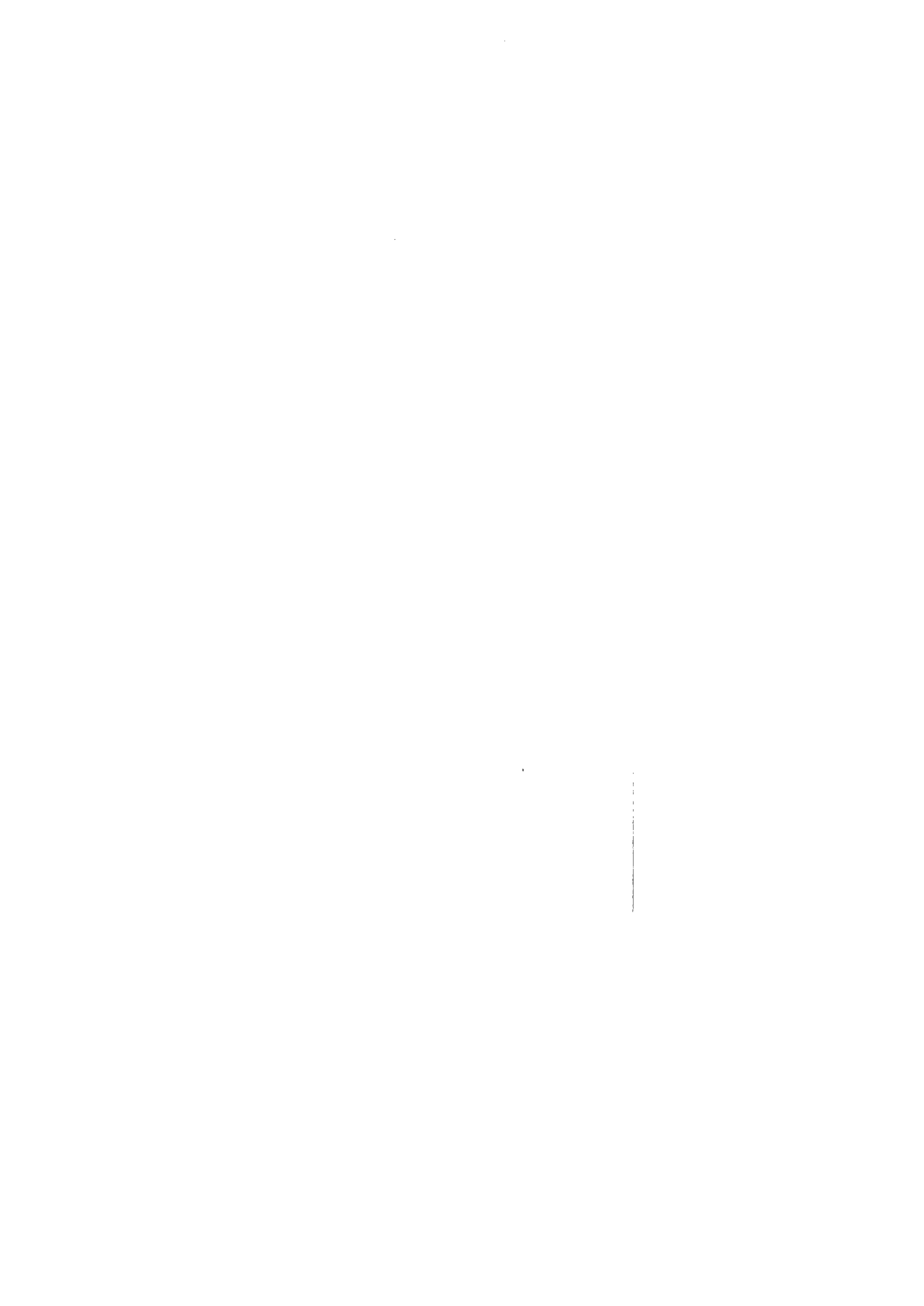
Copyright 1975 by A. W. Gentner Verlag Stuttgart. Zweite, erweiterte Auflage 1977.
Printed in Germany.

Satz: Aschenbroich, Composersatz, Stuttgart. Druck: Vereinigte Buchdruckereien
A. Sandmaier & Sohn, Bad Buchau.

ISBN 3-87247-198-8

Inhalt:

Zusammenfassung	7
1. Einleitung	9
2. Allgemeine Aufgaben	11
2.1. Eignungsuntersuchung	11
2.2. Überwachungsuntersuchung	12
2.3. Zwischenuntersuchung	12
2.4. Zwischenfalluntersuchung	16
2.5. Abschlußuntersuchung	17
3. Spezielle Aufgaben	19
3.1. Äußere Kontaminationen	19
3.2. Inkorporationen	22
3.3. Wundkontaminationen	31
3.4. Überlegungen zur Abschätzung der Körperbelastung nach Inkorporationen	36
3.5. Äußere lokale und generalisierte Strahlenüberexpositionen	41
4. Medizinische Infrastruktur bei der Unterbringung und Behandlung Strahlenunfallverletzter	43
5. Ausblick	45
Literatur	47



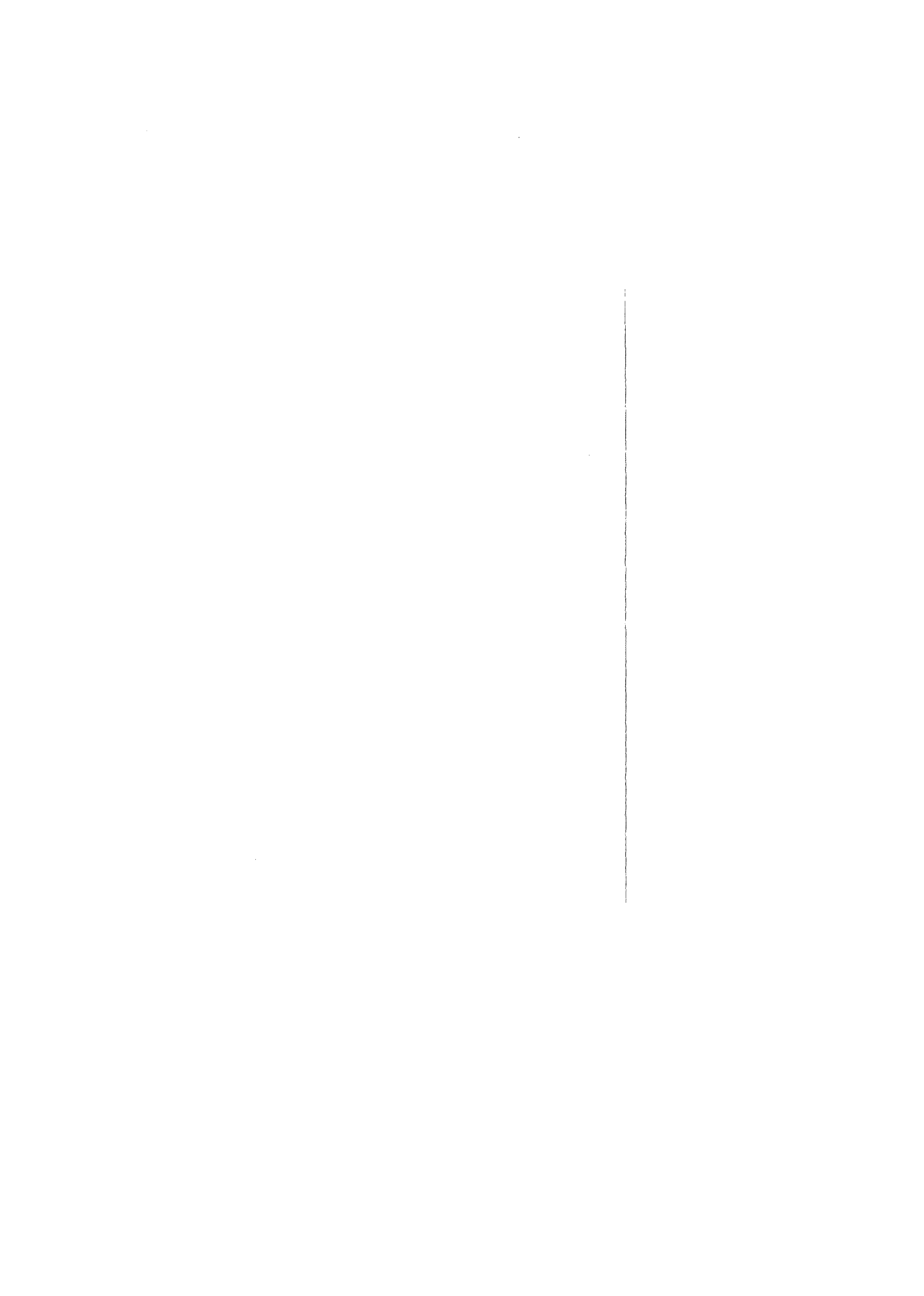
Zusammenfassung

Dem ermächtigten Arzt für Strahlenschutz obliegt gemäß § 67 Absatz 1–6 der Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen und § 42 Absatz 1–3 der Röntgenverordnung die strahlenschutzmedizinische Überwachung des beruflich strahlenexponierten Personenkreises.

Als Grundlage der Strahlenschutzmedizin dienen die in der Radiobiologie und Radiopathologie gewonnenen Erkenntnisse.

Die Tätigkeit umfaßt präventivmedizinische Untersuchungen, die dem Gesundheitsschutz der Arbeitskräfte gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen dienen. Ihnen kommt die Aufgabe zu, Befunde aufzudecken, die einer Tätigkeit in Kontrollbereichen oder einem Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen entgegenstehen.

Der spezielle Aufgabenbereich besteht in Erste-Hilfe-Maßnahmen bei Kontaminationen, Inkorporationen, kontaminierten Verletzungen sowie äußerer oder innerer Strahlenüberbelastung.



1. Einleitung

Die zunehmende Verwendung von ionisierender Strahlung und Radionukliden in Industrie, Technik, Wissenschaft und Medizin, sowie die fortschreitende Einbeziehung der Kernenergie in den Energiebereitstellungsprozeß der kommenden Jahrzehnte, hat die Zahl der beruflich strahlenexponierten Personen erheblich ansteigen lassen. Zum Schutz der in diesen Bereichen Tätigen wurde in der Bundesrepublik Deutschland am 24.6.1960 die 1. Strahlenschutzverordnung [1] und am 15.10.1965 die Neufassung der 1. Strahlenschutzverordnung [2] erlassen. Im September 1973 trat die Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung – RöV) [3] in Kraft. Eine Überarbeitung der Neufassung der 1. Strahlenschutzverordnung wurde am 13. Oktober 1976 von der Bundesregierung als „Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV)“ [4] verkündet. Sie ersetzt die bisher gültige Neufassung der 1. Strahlenschutzverordnung vom 15.10.1965. Eine der wesentlichen Grundsätze der neuen Strahlenschutzverordnung beruht auf der besonderen Betonung des Schutzgedankens gegenüber ionisierender Strahlung. Das bisher geübte Prinzip, die Strahlenexposition so gering wie praktikabel zu halten, wird nunmehr durch die weitergehende Auflage ersetzt, jede Strahlenexposition so gering wie möglich, auch unterhalb der in dieser neuen Verordnung festgesetzten Grenzwerte, zu halten. Die Verordnung geht zurück auf Empfehlungen der Internationalen Kommission für Strahlenschutz (Publikationen 9, 15 und 16) [5] und ist dem Atomgesetz der Bundesrepublik Deutschland vom 31. Oktober 1976 [6] sowie den überarbeiteten Grundnormen für den Gesundheitsschutz der Bevölkerung und der Arbeitskräfte gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen der Europäischen Gemeinschaften vom 1. Juni 1976 [7] angeglichen.

Im 6. Kapitel der Strahlenschutzverordnung und in dem Abschnitt 4 der Röntgenverordnung sowie im Titel 6 der überarbeiteten Grundnormen der Europäischen Gemeinschaften sind die Richtlinien für die ärztliche Überwachung des beruflich strahlenexponierten Personenkreises festgelegt. Die Strahlenschutzverordnung unterscheidet zwischen strahlenexponierten Arbeitskräften der Kategorie A und solchen der Kategorie B. Arbeitnehmer, bei denen davon auszugehen ist, daß sie mehr als $3/10$ der Grenzwerte (Anlage X, Spalte 2 der StrlSchV) erhalten können, d. h. mehr als 1,5 rem Ganzkörperbestrahlung, werden der Kategorie A zugeordnet. Beruflich

strahlenexponierte Personen, die mehr als 1/10 bis höchstens 3/10 der Grenzwerte erhalten können (0,5 rem bis 1,5 rem Ganzkörperbestrahlung), gehören der Kategorie B an. Diese Regelung entspricht den Leitziffern 111 und 112 der ICRP Publikation 9. Generell als strahlenexponiert gelten Personen, die bei ihrer Berufsausübung oder bei ihrer Berufsausbildung mehr als 1/10 der Grenzwerte ($> 0,5$ rem Ganzkörperbestrahlung) erhalten können. Ihre ärztliche Überwachung umfasst präventivmedizinische Aufgaben, die dem Gesundheitsschutz gegen die Gefahren ionisierender Strahlung dienen, und Erste Hilfe Maßnahmen bei Strahlenunfällen.

Dabei finden die in der Radiobiologie und Radiopathologie gewonnenen Erkenntnisse in der Strahlenschutzmedizin im Rahmen der Erkennung und Vermeidung äußerer und innerer Strahlenüberbelastungen sowie der Erstmaßnahmen bei Strahlenunfällen ihre praktische Anwendung.

2. Allgemeine Aufgaben

Die allgemeinen Aufgaben des Strahlenschutzarztes beinhalten die Gesamtheit der ärztlichen Untersuchungen und Maßnahmen zur Gesundheitsüberwachung des strahlenexponierten Personenkreises im Hinblick auf seinen Schutz vor ionisierenden Strahlungen. Hierzu gehören gemäß § 67 der StrlSchV und § 42 der RöV Eignungs- und Überwachungsuntersuchungen. Die Untersuchung umfaßt neben der Erhebung der Familien-, Berufs- und Eigenanamnese auch die genaue Menstruationsanamnese bei Frauen, da selbst bei Verdacht auf Gravidität Bedenken gegen eine Tätigkeit in Kontrollbereichen oder Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen bis zur endgültigen fachärztlichen Abklärung des Befundes zu erheben sind. Darüber hinaus müssen Aufzeichnungen über die Röntgen- und nuklearmedizinischen Untersuchungen oder Behandlungen vorgenommen werden. Auch frühere Tätigkeiten mit Strahlenquellen oder Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen werden vermerkt. Bei Nachweis einer solchen Tätigkeit sind Ort, Art und Zeitraum der Beschäftigung in der Berufsanamnese zu fixieren.

2.1. Eignungsuntersuchung

Die strahlenschutzärztliche *Eignungsuntersuchung* erstreckt sich gemäß § 67 Absatz 1 der StrlSchV auf beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A, die eine Tätigkeit im Kontrollbereich ausüben, und auf beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie B, die Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen haben. Sie besteht aus einem gesamten klinischen Status, einschließlich Gehörsiebttest sowie Visus- und Farbttest. Augenfachärztlicher Linsenbefund und Abdruck eines Fingerbeerenreliefs bei makroskopischen Veränderungen stehen zur Diskussion. Bei den Personen, die Arbeiten in Atemschutz ausführen (Atemvollschutzanzug mit Preßluftatmer oder Fremdbelüftung, Pedianzug mit Atemschutzvollmaske oder Atemschutzhalbmaske) ist zusätzlich ein cardio-pulmonaler Leistungstest vorzunehmen. Dieser besteht aus einer Kreislaufregulationsprüfung nach Schellong, einem quantitativen cardio-pulmonalen Leistungstest mittels Ergospirometrie und einer Kontrolle der elektrischen Herzaktion in Ruhe und nach Belastung.

An Laboruntersuchungen werden für die Eignungsuntersuchung eine Blutsenkung, ein gesamtes Blutbild, Thrombocyten (Reticulocyten) sowie ein Urinbefund gefordert.

2.2. Überwachungsuntersuchung

Die jährlich durchzuführenden *Überwachungsuntersuchungen* erstrecken sich auf die beruflich strahlenexponierten Personen der Kategorie A. Dabei wird es in das Ermessen des ermächtigten Arztes gestellt, ob statt der Untersuchung lediglich eine Beurteilung, z. B. anhand der Vorbefunde und der physikalischen Meßergebnisse, als ausreichend für die Erstellung der ärztlichen Bescheinigung angesehen wird. Der verantwortliche Arzt ist jedoch gut beraten, wenn er sowohl eine klinische als auch eine laborchemische Überwachungsuntersuchung für die Beurteilung und Ausstellung der ärztlichen Bescheinigung durchführt, da nur auf diese Weise eine echte Kontrolle des Gesundheitszustandes des Arbeitnehmers gewährleistet wird. Darüber hinaus sind Zwischenanamnese sowie zwischenzeitlich durchgeführte Röntgen- oder nuklearmedizinische Untersuchungen oder Behandlungen und die beruflich empfangenen Körper- oder Personendosen aufzuzeichnen und auch Angaben über die Arbeitsbedingungen einzutragen.

Für die beruflich strahlenexponierten Personen der Kategorie B entfällt die Überwachungsuntersuchung. Die zuständige Behörde kann jedoch nach § 67 Absatz 4 der StrlSchV bestimmen, daß eine Tätigkeit im Kontrollbereich nur dann fortgesetzt werden darf, wenn zuvor durch einen ermächtigten Arzt festgestellt und bescheinigt wird, daß gegen die Weiterbeschäftigung im Kontrollbereich keine gesundheitlichen Bedenken bestehen. Damit wird auf eine automatisch wiederholte Beurteilung oder Untersuchung dieser Personen verzichtet. Diese Regelung wird durch die Leitziffer 112 der ICRP 9 gestützt, wonach Personen, die nicht mehr als $3/10$ (= 1,5 rem Ganzkörperbestrahlung) der zugelassenen Jahresgrenzwertdosis erhalten, nicht ärztlich überwacht werden müssen.

2.3. Zwischenuntersuchung

In der Strahlenschutzverordnung nicht vorgesehen, jedoch für den Gesundheitsschutz der Arbeitskräfte von Bedeutung, sind *Zwischenuntersuchungen* nach längeren Erkrankungen, wobei sich unter Umständen ein vorübergehender oder ständiger Ausschließungsgrund für Arbeiten in Kontrollbereichen ergeben kann.

Die Bedeutung der strahlenschutzärztlichen Eignungs- und Überwachungsuntersuchung liegt in ihrer arbeitsmedizinischen Aussage. Ohne eine genaue Kenntnis des Arbeitsplatzes ist eine praxisnahe Interpretation des Untersuchungsergebnisses nicht möglich. Regelmäßige Arbeitsplatzbegehungen, zusammen mit dem Strahlenschutz- und Sicherheitsingenieur, sind ein wichtiger Bestandteil allgemeiner strahlenschutzärztlicher Aufgaben.

Tätigkeitsverbote und Tätigkeitsbeschränkungen für Arbeiten in Kontrollbereichen oder Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen gelten gemäß § 56 der StrlSchV für Personen unter 18 Jahren und die Gravidität. Gravide und stillende Frauen dürfen nicht mit offenen radioaktiven Stoffen umgehen. Hinzu kommen persistente Leukopenien unter 3 000 und dauernde Leukocytosen über 13 000.

Die zuständige Behörde kann jedoch 16- bis 18-Jährigen zur Erreichung ihres Ausbildungszieles die Tätigkeit in Kontrollbereichen unter bestimmten Auflagen gestatten. Hierzu zählt, daß beispielsweise $0,5 \text{ rem/Jahr} = 1/10$ des Jahresdosisgrenzwertes nicht überschritten wird.

Darüber hinaus sind zahlreiche weitere Kriterien zu beachten, die hinsichtlich ihrer strahlenschutzmedizinischen Beurteilung zu einem teils generellen, teils nur temporären Tätigkeitsverbot für Arbeiten in Kontrollbereichen oder Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen führen können. Der Eignungsuntersuchung kommt daher die Aufgabe zu, Befunde zu eruieren, die einer Tätigkeit in Kontrollbereichen oder einem Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen entgegenstehen. Dabei ist zwischen abweichenden Befunden von der Norm und manifesten Erkrankungen zu unterscheiden. Psychische und konstitutionelle Auffälligkeiten wie etwa bei neurovegetativer Dystonie, Psychasthenie, echter oder neurotisch bedingter Tetanieanfälligkeit können zu einem Ausschluß für Arbeiten mit Sicherheitsrisiko führen. Hierunter fallen in erster Linie Tätigkeiten, die in Atemvollschutzanzug mit Fremd- oder Eigenbelüftung oder mit Pedianzug und Gesichtsvoll- oder -halb-schutzmaske durchgeführt werden müssen. Ebenso sind hier Aufgabenbereiche anzuführen, die mit hoher Sicherheitsrelevanz ausgestattet sind, wie beispielsweise in der plutoniumverarbeitenden Industrie oder im Rahmen der radioaktiven Abfallbeseitigung.

Im Falle manifester Erkrankungen und bei Rehabilitanten, z.B. nach Herz-Kreislaufkrankungen, soll durch die Eignungsuntersuchung festgestellt werden, ob und inwieweit durch mögliche Strahleneinwirkung oder Inkorporation radioaktiver Stoffe eine Verschlechterung eines bereits bestehenden Leidens zu besorgen ist.

Gesundheitsstörungen, die durch den Umgang mit ionisierenden Strahlen entstehen oder verschlimmert werden können, stellen daher einen Grund für die fehlende Eignung bei Tätigkeiten in Kontrollbereichen dar. Hierunter fallen in erster Linie Erkrankungen der blutbildenden Organe, welche als Zellerneuerungssysteme gegenüber ionisierender Strahlung besonders empfindlich sind. Dabei muß zwischen primären Bluterkrankungen, die einen Umgang mit ionisierender Strahlung ausschließen, und sekundären Blutbild-

Veränderungen, wie sie nach Infektionskrankheiten oder nach toxischen Noxen auftreten können, unterschieden werden. Lediglich eine bleibende Schädigung des hämatopoetischen Systems führt zu einem unbefristeten Ausschluß von Beschäftigten in Kontrollbereichen. Hierzu zählen auch Erkrankungen des Blutgerinnungssystems wie Thrombocytopenien und sämtliche Arten von malignen Bluterkrankungen wie Leukämien, Lymphogranulomatosen sowie angeborene und erworbene Bluterfallskrankheiten, die zu Anämien führen.

Der Inspektion der Haut sollte bei der Eignungsuntersuchung besondere Sorgfalt gewidmet werden. Die intakte Haut gilt als ausreichende Barriere gegen das Eindringen staubförmiger und wässriger radioaktiver Substanzen. Akute und chronische Erkrankungen der Haut, wie Ekzeme, Dermatomykosen, Dermatobazillose, Pyodermien, Psoriasis, Ichthyosis sowie physikalische, chemische und mechanische Schädigungen der Haut erleichtern eine Inkorporation radioaktiver Substanzen. Eine Dekontamination mit entsprechender mechanischer Beanspruchung der Haut würde in solchen Fällen eine zusätzliche und nicht zumutbare Belastung im Sinne einer erhöhten Inkorporationsgefahr darstellen.

Aus diesen Überlegungen leitet sich strahlenschutzärztlicherseits für dermatologische Erkrankungen ein Tätigkeitsverbot für den Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen ab. Dagegen bestehen keine Bedenken gegen eine Tätigkeit in Kontrollbereichen, in denen nicht mit offenen radioaktiven Stoffen umgegangen wird.

Bei der Beurteilung der Atemwege und Atmungsorgane gelten entzündliche und degenerative Erkrankungen in diesen Bereichen als Kontraindikation für Arbeiten mit offenen radioaktiven Substanzen sowie Tätigkeiten in Atemschutz. Hierzu zählen die akute und chronische Sinusitis maxillaris et frontalis, Bronchitis, Lungentuberkulose, Asthma bronchiale, Kyphoskoliose, Pleuritis, Emphysem und Bronchiektasen. Die im Gefolge solcher Prozesse auftretende mangelhafte Ventilation beeinträchtigt die biologische Lungen-Clearance und fördert indirekt die Ablagerung staubförmigen radioaktiven Materials in Atemwegen und Lungen. Durch ergospirometrische Untersuchungen kann das Ausmaß der obstruktiven oder restriktiven Lungenveränderungen festgestellt und damit ein objektives Maß für eine Belastung im arbeitsmedizinischen Sinne gewonnen werden.

In den Katalog der Tätigkeitsverbote für Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen müssen auch die Nephropathien einbezogen werden. Inkorporierte

Radionuklide werden teilweise durch die Nieren und den Magen-Darmtrakt wieder ausgeschieden. Dieser physiologische Reinigungsprozeß des Organismus kann bei Nierenerkrankungen mit gestörter Ausscheidungsfunktion in erheblichem Maß behindert sein. Daraus resultiert eine vermehrte und schnellere Ablagerung radioaktiv inkorporierter Substanzen im Körper mit nachfolgender erhöhter innerer Strahlenbelastung, was prognostisch besonders ungünstig bei langlebigen knochensuchenden Isotopen ist. Aus therapeutischer Sicht ist die Applikation von Chelatbildnern zum Zwecke einer Ausscheidungsintensivierung nur bei intakten Nieren erlaubt.

Otologische Erkrankungen, insbesondere Trommelfellperforationen und Otitiden, stellen aus präventiv- und kurativmedizinischen Gründen ebenfalls Ausschließungsgründe für den Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen und Arbeiten in Atemschutz dar.

Wunden gelten als besonderes Risiko bei Arbeiten mit offenen radioaktiven Stoffen. Durch eröffnete Lymphspalten und Blutgefäße kann das radioaktive Material je nach Löslichkeit verhältnismäßig schnell in die Blutbahn ascendieren und zur Ablagerung in den Körper gelangen. Jede Wunde im Bereich exponierter Körperstellen wie Hände, Arme, Gesicht oder Kopf stellt einen Ausschließungsgrund für den Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen dar.

Während die strahlenschutzärztliche Eignungsuntersuchung die Tauglichkeit der Arbeitnehmer für eine Tätigkeit in Kontrollbereichen festzustellen hat, wird durch die regelmäßige jährliche Überwachungsuntersuchung die Kontrolle des Gesundheitszustandes der Strahlenexponierten der Kategorie A, insbesondere im Hinblick auf strahleninduzierte Schäden oder zwischenzeitlich aufgetretene gesundheitliche Veränderungen, vorgenommen. Ergänzend hierzu erfolgt gemäß § 63 der Strahlenschutzverordnung in 1/4- bis 1/2-jährlichen Abständen bei dem mit α - und energiearmen β -Strahlern umgehende Personenkreis eine Inkorporationsüberwachung durch Ausscheidungsanalysen in Urinproben. Der mit energiereichen β - und γ -Strahlern umgehende Personenkreis wird durch routinemäßige Direktmessung unter dem Körperstrahlungsmessgerät überwacht.

Durch die ärztliche Überwachungsuntersuchung soll eine erneute Überprüfung der Tauglichkeit für eine weitere Beschäftigung in Kontrollbereichen oder einen weiteren Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen gewährleistet sein. Im Falle eines pathologischen Befundes wird der Strahlenschutzarzt anhand der äußeren Dosis- und Inkorporationswerte sowie einer Inspektion des Arbeitsplatzes zu prüfen haben, ob es sich um eine arbeitsplatzbedingte Ver-

änderung des Befundes handelt. Von dem Ergebnis dieser Untersuchungen wird die Weiterbeschäftigung in Kontrollbereichen und der Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen abhängig gemacht. Überwachungsuntersuchungen, Inkorporationsüberwachungen und die Kenntnis der äußeren Dosiswerte ermöglichen es, aufgetretene Veränderungen im Befund leichter von strahlenverursachten Befundänderungen abzugrenzen. Wenn Überwachungsuntersuchungsbefunde, Inkorporationsüberwachungs- und äußere Dosiswerte unauffällig sind und bleiben, kann strahlenschutzärztlicherseits davon ausgegangen werden, daß auch der Arbeitsplatz den allgemeinen Sicherheitsbestimmungen entspricht. Diese Untersuchungen dienen als Ergänzung zu den bereits am Arbeitsplatz bestehenden Überwachungsmaßnahmen, wie die kontinuierliche Raumluftüberwachung, das Tragen von persönlichen Luftprobensammlern und Dosimetern, sowie die Durchführung von Wischtests am Arbeitsplatz, und können diese nicht ersetzen.

2.4. Zwischenfalluntersuchung

Eine weitere zeitunabhängige strahlenschutzärztliche Untersuchung ist im Rahmen der besonderen ärztlichen Überwachung nach § 70 Absatz 1 der StrlSchV dann angezeigt, wenn ein Arbeitnehmer mehr als das Zweifache der Jahresgrenzwertdosen erhalten hat. Dies ist der Fall bei einer Einzel-Äquivalentdosis von mehr als 10 rem und bei Teilkörperäquivalentdosen von $>30 \rightarrow 120$ rem. Ist zu besorgen, daß eine Person mehr als $\frac{1000}{3}$ der in der Strahlenschutzverordnung angegebenen Grenzwerte der Aktivitätszufuhr erhalten hat, so ist ebenfalls dafür zu sorgen, daß sie unverzüglich einem ermächtigten Arzt vorgestellt wird.

Die *Zwischenfalluntersuchung* erstreckt sich auf die genaue Erhebung der Unfallanamnese sowie die Durchführung eines gesamten klinischen und laborchemischen Status. Bei äußerer lokaler Strahlenüberexposition im Bereich des Kopfes oder bei äußerer generalisierter Strahlenüberbelastung ist zusätzlich eine augenfachärztliche Untersuchung zum Ausschluß einer strahleninduzierten Linsentrübung zu veranlassen. Bei Inkorporationszwischenfällen werden die klinischen und laborchemischen Untersuchungen durch zusätzliche Ausscheidungsanalysen von Stuhl- und Urinproben und/oder Ausmessungen unter dem Körper- oder Lungenstrahlungsmeßgerät ergänzt. Die Überwachung des Zwischenfalls erfolgt, sofern es sich nicht um ein stationär zu behandelndes Strahlensyndrom handelt, durch den Strahlenschutzarzt. Zur Beurteilung des klinischen Verlaufs werden die ermittelten Strahlendosen und bei Inkorporationszwischenfällen die Ergebnisse der

Ausscheidungsanalysen herangezogen. Häufige Untersuchungen, insbesondere Kontrollen des roten und weißen Blutbildes, sind erforderlich. Läßt sich aus der fortlaufenden Kontrolle der Untersuchungsbefunde eine Gefährdung der Gesundheit der beruflich strahlenexponierten Person ableiten, dann kann die zuständige Behörde anordnen, daß der Arbeitnehmer diese Tätigkeit nicht, nicht mehr oder nur unter Beschränkungen ausüben darf. Eine weitergehende ärztliche Überwachung kann solange fortgesetzt werden, wie es der ermächtigte Arzt zum Schutze der Gesundheit der zu überwachenden Person für erforderlich erachtet. Die vorzunehmenden ärztlichen Untersuchungen sind gemäß § 70 Absatz 4 der StrlSchV duldungspflichtig.

2.5. Abschlußuntersuchung

Schließlich sei noch die *Abschlußuntersuchung* erwähnt. Sie ist ebenfalls nicht in der StrlSchV vorgesehen. Es handelt sich hierbei um eine Untersuchung, die nach Beendigung der Tätigkeit im Kontrollbereich erfolgt. Sie besteht aus einem gesamten klinischen und laborchemischen Status. Hinzu kommt eine Messung mit dem Körperstrahlungsmeßgerät und bei Umgang mit α - oder energiearmen β -Strahlern eine Inkorporationsabschlußuntersuchung. Diese Abschlußuntersuchung gewinnt besondere Bedeutung bei dem nicht ortsgebundenen Personenkreis, der im Rahmen von Interventionsphasen an Kernkraftwerken und Wiederaufarbeitungsanlagen sowie im Rahmen der Beseitigung radioaktiver Abfälle an verschiedenen Arbeitsplätzen nacheinander tätig wird. Sie übermittelt dem nachfolgenden Strahlenschutzarzt einen besseren Überblick über evtl. stattgehabte kleinere Inkorporationen oder Dosisüberschreitungen. Die Kenntnis der gemessenen äußeren Strahlendosen und der ermittelten Aktivitätswerte im Urin ist für die abschließende medizinische Gesamtbeurteilung des beruflich strahlenexponierten Arbeitnehmers von besonderer Bedeutung. Diesem Sachverhalt entspricht § 68 Absatz 2 der StrlSchV, der die schriftliche Mitteilung der Aufzeichnungen über die Ergebnisse der physikalischen Strahlenschutzkontrolle an den ermächtigten Arzt vorsieht.

Eignungs-, Überwachungs-, Zwischen- und Zwischenfall- sowie Abschlußuntersuchungen stellen auf lange Sicht eine wertvolle strahlenschutzmedizinische Dokumentation dar. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf die zur Zeit wieder in Gang gekommene Diskussion über die Möglichkeit von Strahlenspätchäden nach Strahlenüberexposition und dem Risiko lokaler strahleninduzierter neoplastischer Veränderungen der Lunge nach Inhalation hochradiotoxischer und langlebiger Isotope [8].

3. Spezielle Aufgaben

Im speziellen Aufgabenbereich sind die strahlenschutzärztlichen Erstmaßnahmen bei Zwischenfällen zusammengefaßt.

Im Artikel 33 der überarbeiteten Grundnormen der Europäischen Gemeinschaften für den Gesundheitsschutz der Bevölkerung und der Arbeitskräfte gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen wird darauf hingewiesen, daß die üblichen Untersuchungen des Strahlenschutzarztes durch weitere Untersuchungen, Dekontaminationsmaßnahmen und dringliche Behandlungsmaßnahmen, die der Arzt für notwendig hält, zu ergänzen sind. Der § 71 Absatz 2 der StrlSchV schreibt vor, daß der ermächtigte Arzt die besonderen ärztlichen Überwachungen durchzuführen hat sowie die Maßnahmen vorschlägt, die bei erhöhter Strahlenexposition erforderlich sind.

Die Definition eines Strahlenunfalls ist in der Strahlenschutzverordnung festgelegt: „Ein Strahlenunfall ist 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.“

Bei Arbeiten in Kontrollbereichen und Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen lassen sich die möglichen Strahlenbelastungen in vier Gruppen einordnen, wobei in der Praxis häufig Kombinationen dieser vier Grundnormen auftreten können. Es sind dies äußere Kontaminationen, Inkorporationen, kontaminierte Wunden und äußere lokale und generalisierte Strahlenüberexpositionen.

3.1. Äußere Kontaminationen

Das radioaktive Material kann staubförmig, flüssig oder in Dampfform auf die Körperoberfläche gelangen. Die Gefahren einer äußeren Kontamination bestehen in der Verschleppung der Substanz sowohl am eigenen Körper als auch in die Umgebung und somit in einer Gefährdung unbeteiligter Personen. Bei Kontaminationen im Gesichtsbereich und bei nicht intakter Haut besteht zusätzlich die Gefahr einer Inkorporation. Durch Ausmessung der Körperoberfläche wird zunächst die Art und Ausdehnung der Kontamination festgestellt (α -, β -Strahlung). Die ermittelten Meßwerte werden in ein

Dekontaminationsprotokoll eingetragen (Abb. 1). Daran anschließend erfolgt die Dekontamination der Haut.

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE / MEDIZINISCHE ABTEILUNG - DEKONTAMINATIONS-PROTOKOLL

Name: _____ Datum: _____ Zeit: _____ Kontaminationshergang: _____
 geb.: _____ Institut/Abt.: _____ Inkorporation: ja / nein _____
 Meßgerät: _____ Strahlenart: _____
 Wirkungsgrad, Qs0: a: _____ Nuklid: _____ Bisherige Deko-Versuche: _____
 Nulleffekt, Qs0: a: _____ flüchtig, staub-, gasförmig _____

Messungen: lep./min.	1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung	5. Messung
Kopfhaare	Qs0	a	Qs0	a	Qs0
	vorne / hinten /				
	rechts / links				
Gesichtshälfte, re/li					
Hals, re/li					
Nacken					
Innenhand, re					
Außenhand, re					
Innenhand, li					
Außenhand, li					
Unterarm, re/li					
Oberarm, re/li					
Schulter, re/li					
Brustkorb/Bauch/Rücken etc.,re/li					
Oberschenkel, ro/li					
Unterschenkel, ro/li					
Fuß, ro/li					
Angewandte Dekontaminations-Mittel:					
Naßabstrich/Papiertaschentuch:					
Rechenabstrich:					

Body-Counter - Untersuchung erforderlich: ja/nein Unterschrift: _____
 Ausscheidungsanalyse erforderlich: ja/nein

Abb. 1: Dekontaminationsprotokoll für unverletzte Personen

Ist ein Transport des Kontaminierten zu einer Dekontaminationspassage erforderlich, so ist auf eine sorgfältige Abdeckung der kontaminierten Körperpartie zu achten. Kontaminierte Kleidungsstücke müssen bereits am Unfallort abgelegt werden. Zur Abdeckung kontaminierter Körperoberflächen empfiehlt sich die Verwendung von Plastikhandschuhen, Plastiküberschuhen oder bei Ganzkörperkontaminationen Plastiküberwurfmäntel mit Kopfbedeckung.

Die Dekontamination hat eine völlige Säuberung der Haut zum Ziel. Das Prinzip beruht auf dem Vorgang der Desorption-Adsorption des radioaktiven Materials. Da die Desorption durch Abrieb erfolgt, ist jede Dekontamination mit einer mechanischen Beanspruchung der Haut verbunden, was die Gefahr einer Hautläsion mit nachfolgender Inkorporation bei zu starkem Abrieb beinhaltet. Die obersten Schichten einer radioaktiven Verunreinigung lassen sich im allgemeinen leicht mit Wasser und Seife beseitigen. Dabei sollte die Haut reichlich mit Seifenschaum bedeckt sein und mit einer weichen Bürste abgerieben werden. Anschließend erfolgt Abspülung mit reichlich

lauwarmem Wasser. Der Waschvorgang muß unter Umständen mehrmals wiederholt werden und dauert im einzelnen etwa 3 bis 4 Minuten. Nach jeder Waschung ist eine Kontrollmessung durchzuführen, um den Erfolg der Maßnahmen zu kontrollieren. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß geringfügige Restkontaminationen der Haut weniger gefährlich sein können als drastische Dekontaminationsmaßnahmen mit nachfolgender Verletzung des Integuments.

Handelt es sich um fest anhaftende Kontaminationen, die chemisch an die Hautoberfläche gebunden sind, reicht die Dekontamination mit Wasser und Seife im allgemeinen nicht aus. In solchen Fällen finden Dekontaminationsmittel Anwendung, die als starke Oxidationsmittel die chemisch gebundene radioaktive Verunreinigung adhäsiv an das Folgeprodukt binden. In Frage kommen 4%ige Kaliumpermanganatlösung oder 5%ige Natronbleichlauge. Im Falle der Anwendung von Kaliumpermanganatlösung erfolgt die Nachbehandlung mit 5%iger Natriumbisulfidlösung zur Ablösung des Braunsteins.

Eine Variante dieser Adhäsivdekontamination ist die Behandlung umschriebener Hautkontaminationen mit stark anhaftendem Klebestreifen, wobei nach Abziehen des Streifens die Kontamination mit den obersten Zellen des Stratum corneum entfernt werden.

Handelt es sich um eine vorwiegend kationische Kontamination, z.B. Metallstaub, so ist die lokale Anwendung von Komplexbildnern, z.B. Na-EDTA= Natrium-Äthylendiamintetraessigsäure, indiziert. Die Wirkung des Komplexbildners beruht auf der Fähigkeit, mit den Kationen der Kontamination stabile wasserlösliche Verbindungen einzugehen. Dabei werden die auf der Haut befindlichen Kationen irreversibel an den Komplexbildner angelagert und anschließend mit Wasser abgespült.

Eine weitere Methode zur Dekontamination besteht in der Anwendung der Isotopenverdünnung, die beispielsweise bei einer Kontamination mit radioaktivem Jod in Form einer stabilen Jod-Kali-Lösung zur Anwendung gelangt.

Durch Zusatz einer Holzmehlpaste zu den einzelnen Dekontaminationsmitteln kann der Abriebeffekt auf der Haut gesteigert werden. Kontraindiziert für Dekontaminationen der Haut sind organische Lösungen, die infolge eines Entfettungseffektes der Haut die Aszension des Radiounklids in tiefere Hautschichten fördern.

Isolierte Kontaminationen des Kopfhaares oder des Gesichtes werden zweckmäßigerweise zur Vermeidung einer Verbreitung der Kontamination an Spe-

zialkopf- und -gesichtswaschbecken dekontaminiert.

Den Abschluß einer Hautdekontamination bildet die Hautpflege mit einer Fettcreme.

3.2. Inkorporationen

Inkorporationszwischenfälle können durch Inhalation oder Ingestion radioaktiver Substanzen entstehen, sowie durch Aszension dieser Stoffe in die erkrankte oder verletzte Haut. Ein Teil des inkorporierten radioaktiven Materials gelangt über die Nieren und den Magen-Darmtrakt wieder zur Ausscheidung, ein anderer Teil dagegen wird in Körperorgane eingelagert. Die sich hieraus ergebende innere Strahlenbelastung des Körpers ist unter anderem abhängig von der Art des Radionuklids und seiner Radiotoxizität sowie von der Verteilung in den Organen. Besonders strahlenempfindlich sind die Zellenerneuerungssysteme, wie beispielsweise das Dünndarmepithel, das rote Knochenmark und die peri- und endostalen Oberflächen des trabeculären Knochensystems (Abb. 2).

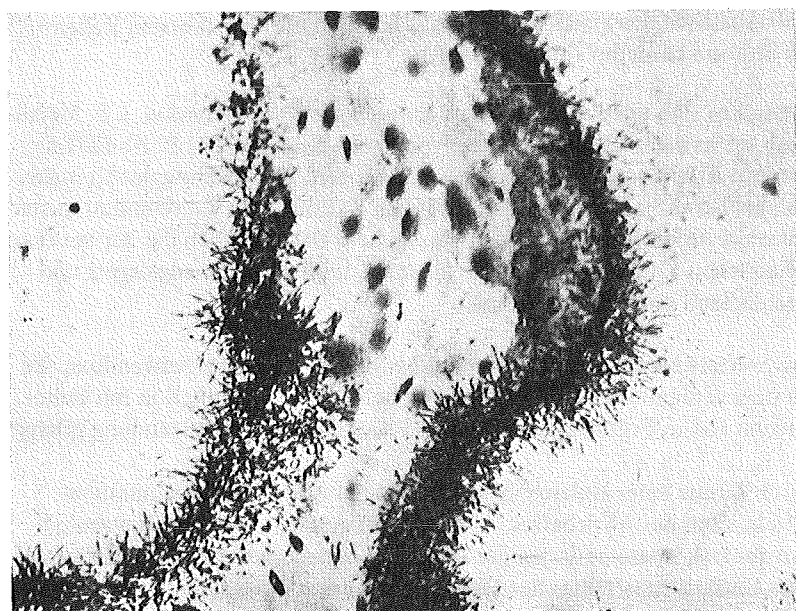


Abb. 2: α -Teilchen-Ablagerung an den peri- und endostalen Oberflächen eines trabeculären Hundeknochens [9].

Den langlebigen und knochensuchenden Radioisotopen kommt in diesem Zusammenhang besondere Bedeutung bei Inkorporationszwischenfällen zu. Hierzu zählen in erster Linie die Erdalkalien Calcium-47, Strontium-90 und Radium-226, von den Seltenen Erden Yttrium-90 und die Transurane Plutonium-239 und Americium-241 [10].

Eine Inkorporation durch Verschlucken von radioaktivem Material ist in der Praxis relativ selten. Häufiger dagegen sind Zwischenfälle, die mit Inkorporation per Inhalation oder mit kontaminierter Wunde einhergehen.

Die strahlenschutzärztlichen Erstmaßnahmen sind bei der Inhalation langlebiger Radioisotope von einer Vielzahl inkorporationsdiagnostischer Überlegungen abhängig. Für die Beurteilung des Zwischenfalls ist die Kenntnis des Radioisotops, seine chemisch-physikalische Beschaffenheit und die Korngröße des Aerosols für die Größenhäufigkeitsverteilung im Atemweg-Lungenbereich von Bedeutung. Zur Abklärung der nach dem Aerosolabscheidungsprozeß eintretenden komplexen oralwärts gerichteten broncho-pulmonalen Clearance-Vorgänge, die mit Verschlucken und nachfolgender Ausscheidung des radioaktiven Materials über den gastrointestinalen Trakt einhergehen, müssen Stuhlproben zur Durchführung von Ausscheidungsanalysen herangezogen werden. Bei einem Transfer von löslichem Material in die Blutbahn erfolgt eine teilweise Ausscheidung der Isotope über die Nieren, wobei Aktivitätsanalysen in Urinproben erforderlich werden.

Neben dieser indirekten Nachweismethode von Körperaktivität über die Ausscheidungsanalytik, die bei α -Strahlern und energiearmen β -Strahlern Anwendung findet, können Radionuklide mit energiereicher β -Strahlung und γ -Strahlung mit Hilfe eines Körperstrahlungsmeßgerätes direkt gemessen werden. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, auch bei größeren Inhalationen von Uran und Transuranen die energiearme Röntgen- oder γ -Strahlung dieser Isotope mittels eines geeigneten Lungenstrahlungsmeßgerätes zu erfassen. Bei Inkorporationszwischenfällen mit diesen Isotopen ist sowohl die direkte Messung der Lungenaktivität über die energiearme Röntgen- oder γ -Strahlung, als auch die Ausscheidungsanalytik aus inkorporationsdiagnostischen Erwägungen indiziert.

Die Direktausmessung eines Nasen-Rachenabstriches und einer Nasenschneuzprobe als Erstmaßnahme nach Inhalationszwischenfällen ermöglicht eine erste Grobeinschätzung der Schwere des Vorfalls. Wird β -Aktivität nachgewiesen, so ist nach gründlicher Dekontamination der Hautoberfläche eine Messung unter dem Körperstrahlungsmeßgerät zur Ermittlung von Art und

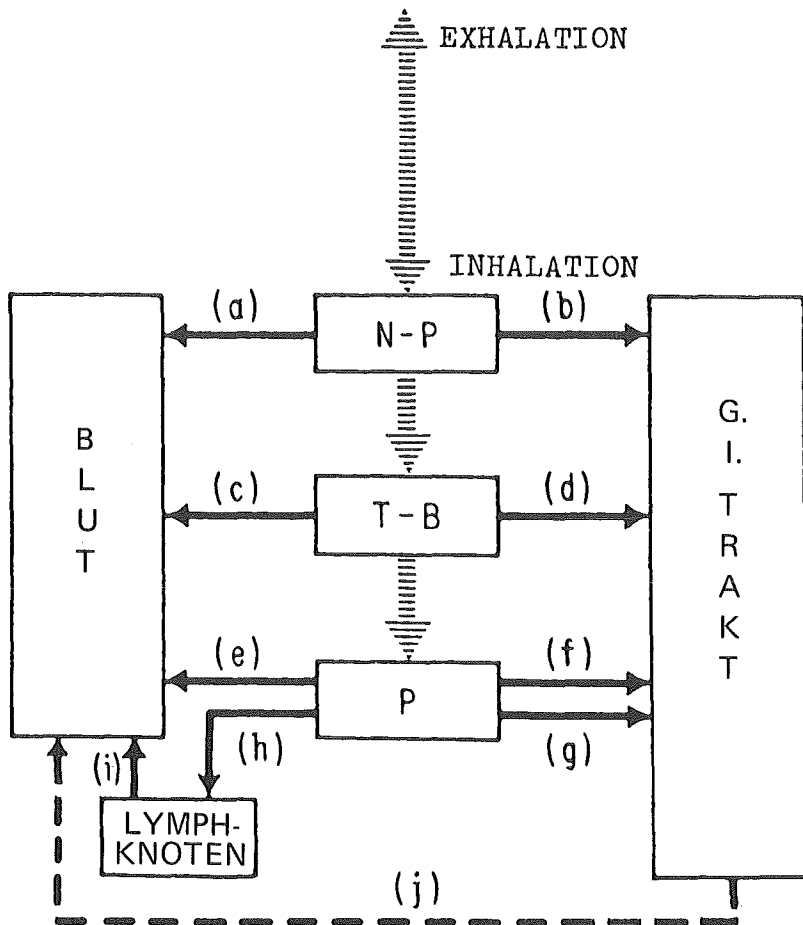


Abb. 3: Blockdiagramm der anatomischen Abscheidungsregionen im Bereich der Atemwege und Lungen mit Transfermöglichkeiten [12].

N-P: Nasopharyngealer Abschnitt; T-B: Tracheobronchialer Abschnitt;
P: Pulmonaler Abschnitt.

(a), (c), (e), (i), (j) = Transfer in die Blutbahn; (b), (d), (f), (g) = Transfer in den Magen-Darmtrakt durch mucociliaren Transport und Verschlucken;
(h) = Transfer in die pulmonalen Lymphknoten.

Höhe der Aktivität angezeigt. Handelt es sich dagegen um α -Aktivität im Nasen- und Rachenabstrich oder in der Nasenschneuzprobe, so ist die radiochemische nuklidspezifische Aufarbeitung zur Ermittlung des Radioisotops und der Höhe der Aktivität erforderlich. Dem Nasen-Rachenabstrich und der Schneuzprobe kommt bei Inhalationszwischenfällen mit α -Aktivität lediglich grobinformative Bedeutung zu. Ein negatives Ergebnis der Direktausmessung des Abstrichs schließt einen Inhalationszwischenfall noch nicht aus, da das Meßergebnis durch Absorption der korpuskulären α -Strahlung im Nasen- oder Rachenschleim verfälscht sein kann. Darüber hinaus gelangen Aerosolteilchen von kleiner als 1μ Durchmesser vorwiegend direkt in den tieferen Atemwegen und im Lungenkompartiment zur Abscheidung und können daher nicht mit genügender Sicherheit im Nasen-Rachenabstrich oder in der Nasenschneuzprobe nachgewiesen werden.

War der Arbeitnehmer am Arbeitsplatz unbewußt und ohne Atemschutz stark erhöhten Raumluft- oder Bodenaktivitäten ausgesetzt, sind auch bei negativem Nasen-Rachenabstrich und negativer Schneuzprobe zur Absicherung der Diagnose mindestens zwei Aktivitätsanalysen in Stuhl- und Urinproben sowie eine Kontrollmessung der Lunge mit dem Lungenstrahlungsmeßgerät angezeigt.

Über die äußerst komplexen Abscheidungsvorgänge radioaktiver Aerosole in den Atemwegen und den Lungen hat die Arbeitsgruppe für Lungendynamik für das Komitee 2 der Internationalen Kommission für Strahlenschutz Ablagerungs- und Retentionsmodelle für die interne Dosimetrie des Atemtraktes beim Menschen erstellt [11]. Für die strahlenschutzärztliche Einschätzung eines Inhalationszwischenfalles und die sich daraus ergebenden therapeutischen Maßnahmen ist die Kenntnis der Grunddaten dieses Lungenmodells erforderlich.

Abbildung 3 zeigt ein Blockdiagramm der anatomischen Abscheidungsregionen im Bereich der Atemwege und Lungen mit den durch Pfeile gekennzeichneten Transfermöglichkeiten des radioaktiven Materials. Ein Großteil des eingeatmeten radioaktiven Staubs wird, wenn es sich um un- oder schwerlösliches Material handelt, durch mucociliaren Transport oralwärts befördert, verschluckt und mit den Faeces ausgeschieden. Die löslichen Fraktionen gelangen über die Atemwege und Alveolen in die Blutbahn, wo ein Teil über die Nieren ausgeschieden wird, ein anderer Teil dagegen gelangt in Körperorgane zur Ablagerung.

Abbildung 4 zeigt die Beziehung zwischen Korngröße des Aerosols und der Abscheidung in den einzelnen Kompartimenten des Lungenmodells.

Tabelle 1 beinhaltet die Konstanten zur Benutzung des Lungen-Clearance-Modells. Danach werden die Radionuklide in die Klassen

- „D“ = leicht löslich (Abtransport des radioaktiven Materials aus Atemwegen und Lunge innerhalb von Tagen = days)
- „W“ = mäßig löslich (Abtransport des radioaktiven Materials aus Atemwegen und Lunge innerhalb von Wochen = weeks)
- „Y“ = schwer oder unlöslich (Abtransport des radioaktiven Materials aus Atemwegen und Lunge innerhalb von Jahren = years)

eingeteilt. In den vertikalen Spalten unter den einzelnen Klassen bedeutet der erste Wert die biologische Halbwertszeit des Radionuklids, der zweite

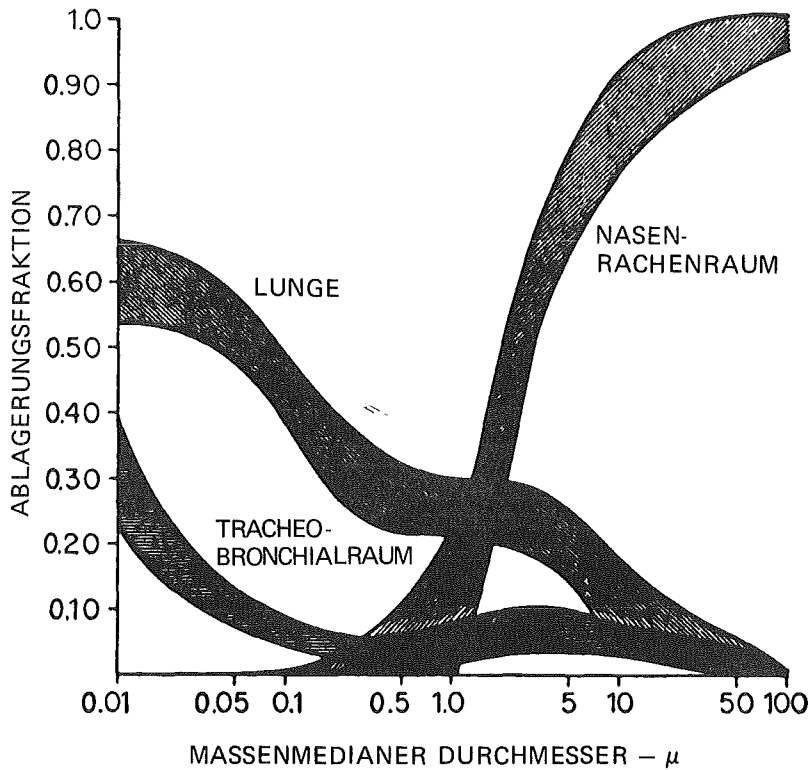


Abb. 4: Korngrößenhäufigkeitsverteilung eines Aerosols in den einzelnen Kompartimenten des Lungenmodells [12].

Wert stellt den regionalen Bruchteil der physiologischen Clearance dar. Die Buchstaben (a) bis (j) geben den Transfer des radioaktiven Materials in die Blutbahn, den gastro-intestinalen Trakt, die Lymphknoten und Lymphbahnen an [12].

In der Praxis wird unmittelbar nach einem Inhalationszwischenfall mit α -Strahlern die Entscheidung getroffen werden müssen, ob und wann eine Therapie zum Zwecke einer Ausscheidungsintensivierung vorgenommen werden muß. Da endgültige Ergebnisse über den Verlauf des Inhalationsvorganges, die Art des Transfers und die Deposition im Körper erst nach Tagen bis Wochen vorliegen, ist der zuständige Strahlenschutzarzt auf die Interpretation der Erstwerte angewiesen. Diese Erstinformationen stehen im allgemeinen nach 24 bis 48 Stunden zur Verfügung. Sie enthalten das Meßergebnis des Nasen-Rachenabstrichs und der Schnetzprobe durch Direktausmessung, die Ausmessung der Lunge mit dem Lungenstrahlungsmeßgerät und schließlich die ersten Blut-, Urin- und Stuhlanalysen.

Table 1: Einteilung der Aerosolabscheidungen in den Atemwegen und der Lunge in die Klassen D, W und Y, mit Konstanten zur Benutzung des Lungen-Clearance-Modells [12].

(N-P: Nasopharyngeale Clearance; T-B: Tracheobronchiale Clearance; P: Pulmonale Clearance; L: Lymphatische Clearance)

Konstanten zur Benutzung des Clearance-Modells

		Klasse (D)	Klasse (W)	Klasse (Y)
N-P	(a)	0.01 d/0.5	0.01 d/0.10	0.01 d/0.01
	(b)	0.01 d/0.5	0.01 d/0.90	0.01 d/0.99
T-B	(c)	0.01 d/0.95	0.01 d/0.50	0.01 d/0.01
	(d)	0.20 d/0.05	0.20 d/0.50	0.20 d/0.99
P	(e)	0.5 d/0.80	50 d/0.15	500 d/0.05
	(f)	n.a.	1 d/0.40	1 d/0.40
	(g)	n.a.	50 d/0.40	500 d/0.40
	(h)	0.5 d/0.20	50 d/0.05	500 d/0.15
Lymphhe	(i)	0.5 d/1.00	100 d/1.00	1000 d/0.10

(a) bis (i) = Transferwege; siehe Text. d. = dies, n.a. = entfällt.

Anmerkung: Der erste Wert stellt die biologische Halbwertszeit dar, der zweite die regionale Fraktion. Aus der lymphatischen Clearance der Verbindungen von Klasse Y ist zu schließen, daß ein regionaler Bruchteil von 10% einer biologischen Halbwertszeit von 1000 Tagen unterliegt. Von den verbleibenden 90% wird angenommen, daß sie ständig in den Lymphknoten zurückgehalten werden und nur dem radioaktiven Zerfall unterliegen.

Anhand von drei Standardbeispielen wird die Interpretation dieser Erstwerte im Sinne von Faustregeln für die Praxis erörtert.

1. Beispiel:

Der Nasen- und Rachenabstrich samt Schnepzprobe ergibt bei der Direktmessung eine stark positive α -Aktivität. Die Ausmessung unter dem Lungenstrahlungsmeßgerät erbringt den Nachweis eines Lungendepots. Die Aktivitätsanalysen in Blut und Urin sind negativ, im Stuhl dagegen stark positiv.

Auswertung: Aufgrund der fehlenden Aktivität im Blut und Urin kann davon ausgegangen werden, daß es sich um ein unlösliches Lungendepot der Gruppe „Y“ handelt. Es ist zu erwarten, daß in diesem Fall durch die biologische Reinigung der Atemwege und Lungen über den mucociliaren Transport ein Großteil der Aktivität oralwärts befördert und verschluckt wird und über den Magen-Darmtrakt zur Ausscheidung gelangt. Das naso-pharyngeale Kompartiment würde gemäß Tabelle 1 bereits nach 14 Minuten zu 99% geräumt sein. Der Tracheo-Bronchialtrakt wäre in rund 5 Stunden zu 99% von seiner Aktivität auf diese Weise befreit. Dieser Reinigungsprozeß im naso-pharyngealen und tracheo-bronchialen Abschnitt entspricht der schnellen

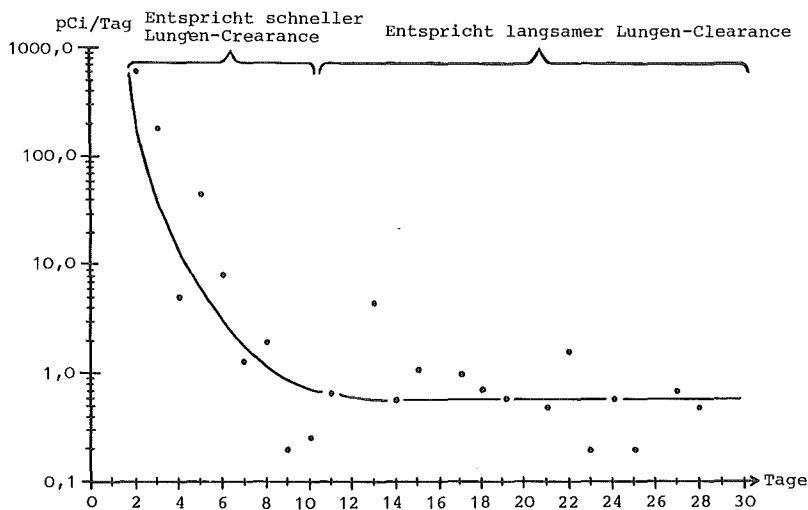


Abb. 5: Stuhlausscheidungskurve nach einer unlöslichen Plutoniumoxidinhalation.

Lungen-Clearance. Kommt es nach Abklingen dieser schnellen biologischen Lungenreinigung, die sich durch hohe Stuhlaktivität dokumentiert, zu einer fortdauernden Stuhlausscheidung von kleineren Aktivitäten, so kann daraus geschlossen werden, daß es sich jetzt um die Räumung des tiefer gelegenen Lungenabschnittes handelt, die durch Endocytose (Aufnahme von radioaktiven Staubteilchen durch Epithelzellen der Alveolen) mit anschließendem mucociliaren Transport oralwärts und Ausscheidung über den Magen-Darmtrakt erfolgt (Abb. 5).

Die Dauer dieses Prozesses nimmt etwa 500 Tage in Anspruch, wobei ca. 40% des radioaktiven Materials aus dem pulmonalen Kompartiment entfernt und im Stuhl ausgeschieden werden. 15% gelangen in 500 Tagen in die pulmonalen Lymphknoten, von wo aus 10% in 1000 Tagen einem Transfer über den Ductus thoracicus und Truncus lymphaceus dexter in die Blutbahn unterliegen.

Die ärztlichen Erstmaßnahmen bestehen in Mund- und Nasenspülungen sowie Gurgeln mit physiologischer Kochsalzlösung oder Wasser. Unterstützung des biologischen Reinigungsprozesses der Atemwege und Lungen durch Verabfolgung von Secretomotorica, Inhalationen mit Emser Salz und bei sehr hoher Lungenbelastung Einweisung in eine Fachklinik zur Durchführung einer tracheo-broncho-pulmonalen Spülbehandlung.

2. Beispiel

Die Erstbefunde eines Inhalationszwischenfalles mit α -Aktivität ergeben einen positiven Nasen-Rachenabstrich bei der Direktmessung. Die Messung unter dem Lungenzähler ergibt den Hinweis auf ein Lungendepot. Die Aktivitätsanalysen in Blut und Urin sind positiv, im Stuhl negativ bis schwach positiv.

Diese Befunde lassen die Deutung zu, daß es sich um eine leicht lösliche radioaktive Substanz handelt, die etwa die Klasse „D“ des Lungenmodells zuzuordnen ist, wobei bereits nach 14 Minuten 95% aus dem tracheo-bronchialen Bereich in die Blutbahn gelangen. Aus dem pulmonalen Kompartiment würden ca. 80% in 12 Stunden in den Kreislauf transferiert.

Im Beispiel 2 muß eine zunehmende Ablagerung des im Blut befindlichen Radionuklids in Organe in Betracht gezogen werden.

Die ärztlichen Erstmaßnahmen sind dieselben wie unter Beispiel 1 beschrieben. Zusätzlich ist eine Therapie zur Ausscheidungsintensivierung indiziert.

Sie besteht bei Inkorporation mit Transuranen aus einer Infusion mit 1 bis maximal 2 g Natrium-Calcium-DTPA ($\text{Na}_3[\text{Ca-DTPA}]$ Ditripentat Heyl®) in 250 ml physiologischer Kochsalzlösung, Tropfzahl 65–70 Tropfen pro Minute, 2 mal wöchentlich. Als Langzeitbehandlung, beginnend 1 bis 2 Wochen nach dem Zwischenfall, ist eine Infusion wöchentlich mit 1 g Ditripentat ausreichend. Darüber hinaus besteht anstelle der Infusionen auch die Möglichkeit, im Rahmen einer Aerosoltherapie 1 g Ditripentat 1 bis 2 mal wöchentlich zu verabfolgen. Die Applikation von $\text{Na}_3[\text{Ca-DTPA}]$ erfordert eine intakte Nierenfunktion.

3. Beispiel:

Das Beispiel 3 ist wohl das häufigste in der Praxis. Die Erstbefunde ergeben wiederum einen positiven Nasen-Rachenabstrich, ebenso bei der Ausmessung der Lunge ein Lungendepot. Die Aktivitätsanalyse des Blutes ist positiv. Aktivitätsanalysen im Urin und Stuhl ergeben deutlich erhöhte Werte.

Beurteilung: In diesem Falle handelt es sich um ein Radionuklid, welches mäßig löslich ist und der Gruppe „W“ des Lungenmodells zuzuordnen ist. Durch das Lungendepot erfolgt ein ständiger Transfer mäßig löslichen Materials in die Blutbahn und wird teilweise über die Nieren zur Ausscheidung gebracht. Ein anderer Teil des Lungendepots obliegt dem physiologischen Reinigungsprozeß durch mucociliaren Transport und Endozytose mit nachfolgender Ausscheidung über den gastro-intestinalen Trakt. Das Verhältnis der beiden Komponenten läßt sich, wenn überhaupt, nur schwer und dann erst zu einem späteren Zeitpunkt nach Aufzeichnung einer Stuhl- und Urinausscheidungskurve bestimmen.

Die ärztlichen Erstmaßnahmen entsprechen den unter Beispiel 1 und 2 angeführten Maßnahmen. Zur Vermeidung einer Deposition radioaktiven Materials in Organe ist die intravenöse Applikation von Chelatbildnern, wie unter Beispiel 2 bereits angegeben, indiziert. Eine Aerosoltherapie mit Natrium-Calcium-DTPA zur Mobilisation des Lungendepots mit nachfolgender Ausscheidung über die Nieren ist ebenfalls möglich.

Die hier angegebenen Empfehlungen verstehen sich als Faustregeln für Erstmaßnahmen nach Inhalationszwischenfällen mit Transuranen. Die Frage nach dem Zeitpunkt zur Einleitung einer medikamentösen Therapie zwecks Ausscheidungsintensivierung wird abhängig gemacht von dem Ergebnis der Lungenmessung und den Ergebnissen der Aktivitätsanalysen in Blut und

Urin. Ergibt die Lungenmessung unter dem Lungenzähler einen Wert, der der Hälfte der maximal zulässigen Lungenbelastung entspricht und ist im Blut und Urin Aktivität nachgewiesen worden, so wird unter Zugrundelegung der möglichen Meßfehler die Einleitung einer medikamentösen Ausscheidungsintensivierung für notwendig erachtet. Eine Lungenspülung zur Verringerung des Lungendepots kann bei eindeutiger Überschreitung der maximal zulässigen Lungenbelastung erwogen werden.

Darüber hinaus besteht unter bestimmten Voraussetzungen die Indikation zur prophylaktischen Anwendung der DTPA. Dies wird dann der Fall sein, wenn aufgrund der Zwischenfallanamnese und des positiven Nasen-Rachenabstriches eine größere Inkorporation mit hochradiotoxischen Knochensuchern nicht auszuschließen ist und weitere inkorporationsdiagnostische Befunde noch nicht vorliegen. Da die Verweilzeit der radioaktiven Substanz in der Blutbahn häufig nur sehr kurz ist, sollte der Zeitpunkt einer Dekorporierungstherapie zur Ausnutzung eines optimalen therapeutischen Effektes so früh wie möglich gewählt werden. Diese Empfehlung gilt insbesondere für den Personenkreis, bei dem wiederholte kleinere Inkorporationsereignisse, z. B. durch Inhalation, zu einer kumulativen und irreversiblen Abscheidung der Transuraneisotope in das Skelettsystem führen. In diesen Fällen und unter den geschilderten Umständen ist die intravenöse Initialinjektion von 0,5 g bis 1,0 g Natrium-Calcium-DTPA (Ditripentat Heyl®) in 20 ml physiologischer Kochsalzlösung als prophylaktische Maßnahme und zum Zwecke einer diagnostischen Ausscheidungsintensivierung vertretbar.

Die zum Abschluß einer Behandlung vorzunehmende Abschätzung der Körperbelastung kann mit Hilfe von Urinausscheidungsfunktionen, wie sie in den Publikationen 10 und 10a der Empfehlungen der Internationalen Kommission für Strahlenschutz [13] niedergelegt sind, vorgenommen werden. Da die Benutzung solcher Gleichungen häufig nur unter bestimmten Annahmen möglich ist, gestaltet sich die Abschätzung der Körperbelastung mitunter außerordentlich schwer und kann nur in Zusammenarbeit mit Experten der Ausscheidungsanalytik und des physikalischen Strahlenschutzes vorgenommen werden.

3.3. Wundkontaminationen

Die verletzte Haut stellt bei Kontaminationen ein erhöhtes Risiko bezüglich der Einlagerung radioaktiver Substanzen in den Organismus dar. Durch eröffnete Lymphspalten und Blutgefäße kann es zu einer schnellen Aszension

des radioaktiven Materials in die Blutbahn und zur Ablagerung in den Körper kommen. Die Schnelligkeit der Aszension hängt von der chemisch-physikalischen Beschaffenheit des Materials ab. Bei löslichen und festlöslichen Substanzen wird dieser Vorgang sehr rasch innerhalb von Minuten erfolgen können, wohingegen unlösliches Material vorwiegend im Wundbereich deponiert bleibt und hier je nach Radiotoxizität des Isotops zu einer mehr oder weniger hohen lokalen Strahlenbelastung des Gewebes führen kann. Ähnlich wie bei einem Lungendepot sind auch bei einem Wunddepot die hochradiotoxischen, langlebigen und knochensuchenden Radioisotope von besonderer Bedeutung. Die Abbildung 6 zeigt ein Blockdiagramm der pathophysiologischen Aktivitätstranslokation bei einem Plutonium-239 Wunddepot. Neben der schnellen Form der Aszension in die Blutbahn findet sich eine langsame Phase der Ablagerung in regionale Lymphknoten mit konsekutiver hoher Strahlenbelastung in diesem Bereich. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit einer Phagozytose der Substanz, wobei die eingeschlossenen radioaktiven Partikel über die Blutbahn in das retikulo-endotheliale System ein-

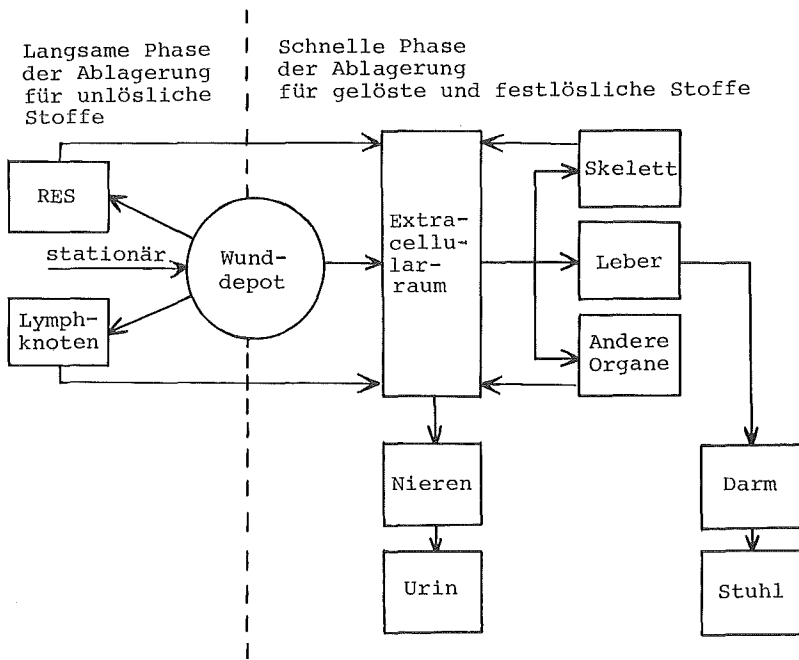


Abb. 6: Blockdiagramm einer pathophysiologischen Aktivitätstranslokation bei einem Plutonium-239-Nitrat Wunddepot [14].

gelagert werden und durch langsames in-Lösung-gehen wiederum ein minimaler Teil in die Blutbahn abgegeben werden kann.

Das radioaktive Wunddepot einer α -Aktivität ist im Vergleich zu einem Lungendepot diagnostisch quantitativ und qualitativ besser erfassbar. Therapeutisch besteht die Möglichkeit des direkten Zugriffs und damit der vollständigen Elimination des Depots. Für den Strahlenschutzarzt sollte die Regel gelten, jede Wunde, die in einem Kontrollbereich entstanden ist, solange als kontaminiert anzusehen, bis durch Wundausmessung das Gegenteil erwiesen ist. Die ermittelten Meßwerte werden in ein hierfür vorgesehenes Protokoll (Abb. 7) eingetragen.

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE - MEDIZINISCHE ABTEILUNG

Kontaminationshergang:

Deko-Protokoll bei kontaminierten Verletzungen

Name : Datum :
 geb. : Zeit :
 Institut: Nuklid :
 Meßgerät-Wirkungsgrad: % Strahlenart :
 % staub, flüssig, gasförmig

Aktivitätsanalyse bei:
 Gewebeexzidat: Blut: Urin: Stuhl:

Handung	$R_{\alpha}^{60} \mu\text{Ci} =$	$R_{\alpha} \mu =$	$R_{\alpha} 17 \text{ keV} =$	$R_{\alpha} 60 \text{ keV} =$	Therapie
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					

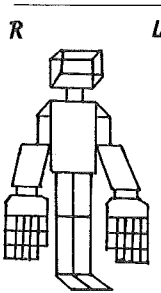


Abb. 7: Dekontaminationsprotokoll für verletzte Personen

Im Rahmen der Erstmaßnahmen bei kontaminierten Wunden empfiehlt sich bei einer Lokalisation der Verletzung im Fingerbereich die Anlage einer wundnahen Stauung mit anschließender Spülung der Wunde unter fließendem Wasser. In Bereichen, in denen eine Staubinde nicht anlegbar ist, bleibt als Erstmaßnahme die Spülung der Wunde unter fließendem Wasser.

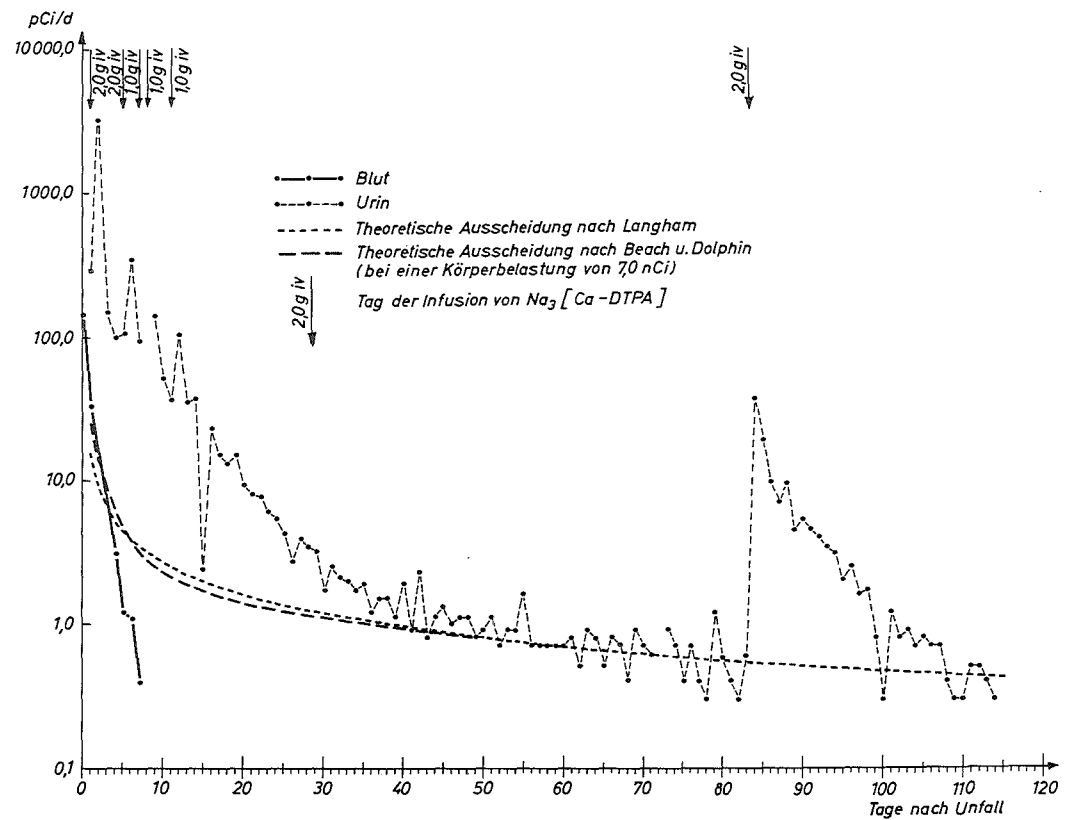


Abb. 8. Urinausscheidungskurve bei einer mit Plutoniumnitrat kontaminierten Wunde nach Verabfolgung von $\text{Na}_3[\text{Ca-DTPA}]$ -Infusionen [15]

Tabelle 2:
Übersicht über die Dekorporation einiger praktisch wichtiger Radionuklide [17]

Isotope	Situation	Antidote	Therapeutische Wirksamkeit
Transurane, Lanthanide und Yttrium	Wunddepot Lunge nach Inhalation	DTPA DTPA	>90%*
	Hemmung enteraler Resorption Mobilisation aus Organen und Geweben	Austauscherharze DTPA	ca. 20% >90% ca. 50–90%
Polonium	Mobilisation aus Organen und Geweben	D-Penicillamin	ca. 20%
Strontium Radium	Hemmung enteraler Resorption	BaSO ₄ , Alginat	>90%
	Mobilisation aus Organen und Geweben	Ca-Gluconat und Ammoniumchlorid	ca. 20%
Caesium	Hemmung enteraler Resorption	Ferrihexacyano- ferrat (II)	>90%
	Mobilisation aus Organen und Geweben		
Cobalt	Mobilisation aus Organen und Geweben	D-Penicillamin	>90%
Jod	Mobilisation aus Organen und Geweben	Kaliumjodid	ca. 50–90%
Tritium	Mobilisation aus Organen und Geweben	Flüssigkeit	ca. 50–90%

*Nur wenn Exzision des Depots möglich; sonst ca. 20%

Die strahlenschutzärztliche Erstmaßnahme besteht nach Ausmessung der kontaminierten Wunde und Feststellung der Art und Höhe der Aktivität in einer Wundrandexcision in Lokal- oder Leitungsanästhesie mit dem Ziel der Elimination der gesamten Wundaktivität. Gelingt die chirurgische Entfernung des radioaktiven Wunddepots nicht und ist es zu einer Inkorporation gekommen, dann besteht die Indikation für eine medikamentöse Therapie zur Ausscheidungsintensivierung des inkorporierten Isotops, die in Abbildung 8 dargestellt ist.

Volf [16] hat in Tierversuchen nachgewiesen, daß bei plutoniumkontaminierten Wunden als Erstmaßnahme auch eine Unterspritzung des Wunddepots mit Natrium-Calcium-DTPA zu einer beachtlichen Senkung der prozentualen Ablagerung der Aktivität in Organe gegenüber nicht behandelten Tieren führt.

Die Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die Dekorporation einiger praktisch wichtiger Radionuklide.

3.4. Überlegungen zur Abschätzung der Körperbelastung nach Inkorporationen

Wenngleich die Abschätzung der Körperbelastung nicht mehr als Erstmaßnahme zum Aufgabenbereich des Strahlenschutzarztes allein gehört, sondern nur in Zusammenarbeit mit dem Experten für Ausscheidungsanalytik und dem erfahrenen Strahlenschutzphysiker vorgenommen werden kann, sollen doch einige speziell medizinische Aspekte in diesem Zusammenhang nicht unerwähnt bleiben.

Nach § 70 Absatz 2 der StrlSchV entscheidet die Behörde nach Bestrahlung mit einer erhöhten Einzeldosis oder sinngemäß auch nach einer erhöhten Inkorporation aufgrund des Ergebnisses der besonderen ärztlichen Untersuchung, inwieweit die zu überwachende Person ihre Tätigkeit nicht, nicht mehr oder nur unter Beschränkungen ausüben darf. Für die Beurteilung solcher Fragen ist nach Inkorporationszwischenfällen die Kenntnis der Höhe der inkorporierten Aktivität erforderlich.

Bei Inkorporation energiereicher β - oder γ -Strahler ist der Nachweis der Körperaktivität durch Direktmessung unter dem Ganzkörperzähler relativ einfach. Bei Inkorporationen vorwiegend mit α -Strahlern ist die Abschätzung der Körperaktivität hingegen nur indirekt über Ausscheidungsanalysen im Urin möglich. Hierzu bedarf es der Anwendung der in der Publikation 10

und 10a der ICRP [13] niedergelegten Ausscheidungsgleichungen und der Aufzeichnung einer über Wochen bis Monate geführten Ausscheidungskurve der Aktivitätswerte im Urin und Stuhl.

Lafuma [18] hat darauf hingewiesen, daß die Urinwerte der ersten Wochen nach dem Inkorporationsereignis keineswegs die generelle Belastung des Organsystems widerspiegeln, sondern vielmehr Bezugswerte zur Depot-/Blutaktivität darstellen (Abb. 9). Die Verwendung dieser frühen Urinwerte in den Ausscheidungsgleichungen würde daher zu einer viel zu hohen Abschätzung der Körperbelastung führen. Erst mit zunehmendem Abstand vom Zeitpunkt der Inkorporation wird das Verhältnis Depot – Blutaktivität zu Organaktivität zugunsten einer vermehrten Einlagerung in die Organe verändert. Erst in dieser Phase spiegelt die Urinaktivität einen bestimmten Prozentsatz der in die Organe eingelagerten Aktivität tatsächlich wider.

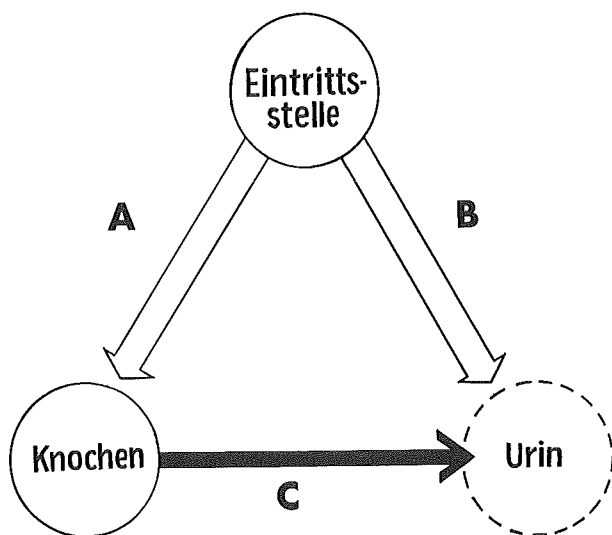


Abb. 9: Vereinfachtes metabolisches Plutonium-Modell nach Lafuma [18]

Eine weitere Erschwernis der Abschätzung der Körperbelastung liegt dann vor, wenn durch frühzeitig indizierte therapeutische Maßnahmen im Sinne der Ausscheidungsintensivierung eine erhöhte Ausscheidung des Radionuklids erfolgt. In solchen Fällen läßt sich bei Unkenntnis des durch das Medikament

bewirkten zusätzlichen Ausscheidungsfaktors die Abschätzung der Körperbelastung erst nach dem Absetzen der Therapie und mit Eintritt der natürlichen Ausscheidungsrate des Isotops im Urin ermitteln.

Für die Abschätzung der Körperbelastung nach Inkorporationen mit Transuranen, die wegen ihrer hohen Radiotoxizität und langen Halbwertszeit eine Sonderstellung einnehmen, finden die Ausscheidungsgleichungen von Langham, Beach und Dolphin [13] sowie Healy [19] Anwendung. Ihre Benutzung in der Praxis kann allerdings nur mit Vorbehalt geschehen, da allen Ausscheidungsfunktionen nur ein bestimmter Inkorporationsmodus zugrunde gelegt worden ist, über den die mathematische Ableitung der Gleichungen erfolgte. Erschwerend kommt hinzu, daß die Ausscheidungsfunktionen lediglich für Plutoniuminkorporationen berechnet worden sind und daher das komplexe Geschehen bei Inkorporationszwischenfällen mit anderen Transuranen nicht vollständig abdecken, zumal auch deren Metabolismus nur unvollständig bekannt ist.

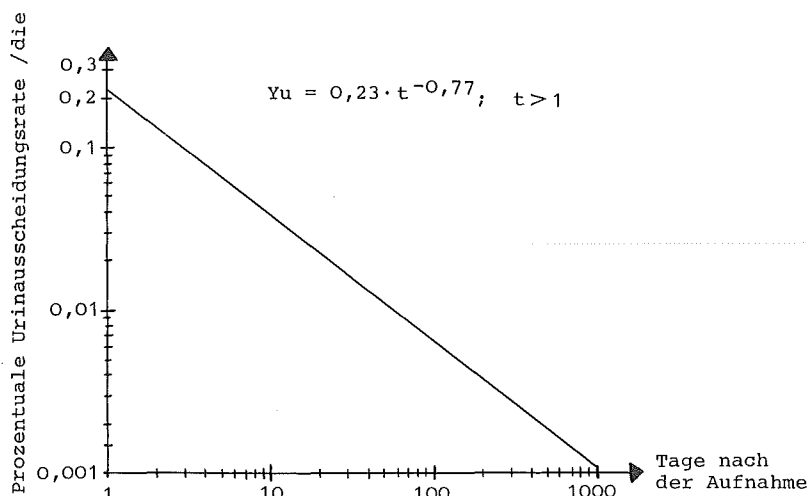


Abb. 10: Plutonium-Urinausscheidungskurve, ermittelt nach Langham, nach einer intravenösen Injektion von Plutoniumcitrat [13]

Abbildung 10 zeigt eine Urinausscheidungskurve, ermittelt nach Langham, nach einer intravenösen Injektion von Plutoniumcitrat. Diese Ausscheidungsfunktion gilt jedoch nur für Plutonium, welches schnell in die Blutbahn aszendiert. „Yu“ stellt die prozentuale tägliche Urinausscheidungsrate zur

Zeit t dar, mit der die Ganzkörperbelastung nach Eintritt der Ausscheidung aus dem Organsystem errechnet werden kann.

Die Langham'sche Gleichung kann ebenso wie die von Beach und Dolphin für die Abschätzung von Körperbelastungen nach Wundkontaminationen mit löslichem Plutonium benutzt werden.

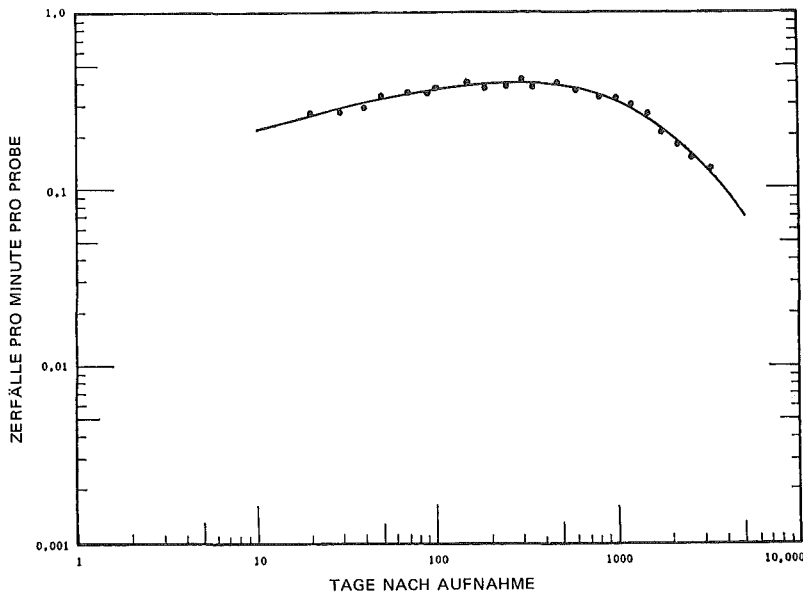


Abb. 11: Urinausscheidungskurve, die sich aus dem Transfer eines relativ unlöslichen Plutoniumlungendepots in die Blutbahn ergibt [9]

Abbildung 11 zeigt eine Urinausscheidungskurve bei einem schwer löslichen Plutoniumlungendepot [9]. Healy geht davon aus, daß eine relativ unlösliche Plutoniummenge in der Lunge als Materialpool angesehen werden kann, die vom normalen Metabolismus des Körpers weitgehend ausgeschlossen ist, aber dennoch kontinuierlich Plutonium in die Blutbahn in einer Rate abgibt, welche vom Charakter des abgelagerten Materials und den entsprechenden physiologischen Prozessen abhängt. Der Umfang des Lungenpools verringert sich einerseits durch den Transfer einer Plutoniumrate in die Blutbahn, wodurch langsam eine Körperaktivität aufgebaut wird, andererseits durch die physiologische Lungen-Clearance mittels mucociliaren Transports oralwärts

mit Verschlucken und nachfolgender Ausscheidung von Aktivität im Stuhl. Entsprechend der in die Blutbahn abgegebenen Plutoniumrate steigt die Urinausscheidungsrate zunächst an, um mit der Verringerung des Plutoniumlungendepots wieder abzufallen. Healy hat dieses Verhalten eines schwer löslichen Plutoniumlungendepots einer mathematischen Abhandlung zur Berechnung der Körperaktivität zugrunde gelegt.

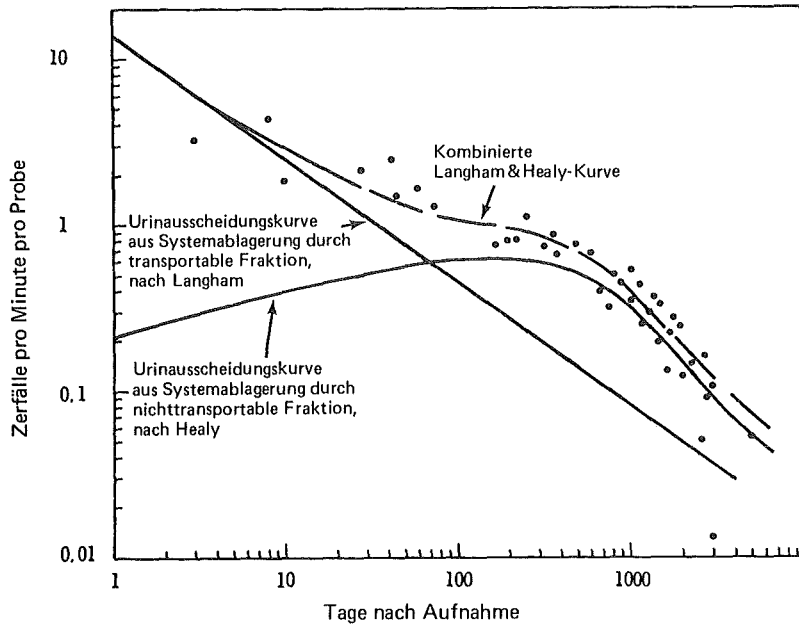


Abb. 12: Urinausscheidung nach Inhalation von Plutoniumoxid, resultierend aus transportabler (leicht löslicher) und nichttransportabler (schwer löslicher) Fraktion des Inhalats [20]

In Abbildung 12 sind die angepaßten Urinausscheidungskurven nach Langham und Healy nach einer Inhalation von Plutoniumoxid dargestellt [20]. Der schnellere initiale Transfer des Plutoniums in die Blutbahn wird in dem kombinierten Langham-Healy-Modell durch die Ausscheidungskurve nach Langham erfaßt. Die langsame Übergangsrate des Plutoniums in den Blutkreislauf dokumentiert sich in der Urinausscheidungskurve nach Healy. Die Überlagerung beider Kurvenverläufe ergibt die kombinierte Langham-Healy-Kurve.

Nelson beschreibt eine vereinfachte Methode zur Auswertung der Healy-

Gleichung für Plutoniumausscheidung [21]. Das Prinzip stellt unter anderem die mathematische Behandlung eines Vergleiches zwischen einer Anzahl von Bezugspunkten einer vorhandenen Urinausscheidungskurve mit einer theoretisch errechneten Plutoniumausscheidungskurve im Urin dar, wobei bei annähernder Deckungsgleichheit beider Kurven die Körperbelastung ermittelt werden kann. Für die Berechnung der theoretischen Urinausscheidungskurve ist die Kenntnis der Ratenkonstante, die den Abgang des Plutoniums aus dem Lungendepot beschreibt, erforderlich. Sie läßt sich in der Praxis durch Ermittlung der biologischen Halbwertszeit des inhalierten Radionuklids annähernd bestimmen.

J.W. Stather et al. geben in einem tierexperimentell gewonnenen Verfahren zur Untersuchung des Metabolismus der transportablen Plutoniumaerosolfraktion an, daß die kumulative Urinausscheidung der ersten Woche nach der Inhalation für Plutoniumoxid, Plutoniumnitrat und Plutoniumcitrat etwa 4,5% der Körperbelastung beträgt und glauben, daß dieser Wert auch bei der Abschätzung der Körperbelastung des Menschen angewendet werden kann [22].

3.5. *Äußere lokale und generalisierte Strahlenüberexpositionen*

Zwischenfälle dieser Art zählen bei beruflich strahlenexponierten Personen, sofern es sich um behandlungsbedürftige Ereignisse handelt, zu den seltenen Vorkommnissen. In der Mehrzahl der Fälle handelt es sich um geringfügige Dosisüberschreitungen, wie sie im Rahmen von Interventionen bei Kernkraftwerken auftreten können. Der § 70 Absatz 1 der StrlSchV sieht die unverzügliche strahlenschutzärztliche Untersuchung im Falle einer Bestrahlung mit erhöhter Einzeldosis oder einer erhöhten Inkorporation (> 10 rem Ganzkörperbestrahlung bzw. $> 30 \rightarrow 120$ rem Teilkörperbestrahlung oder $> \frac{1000}{3}$ der in Anlage IV der StrlSchV genannten Grenzwerte) vor. Die ärztliche Überwachung kann solange fortgesetzt werden, wie es der ermächtigte Arzt zum Schutze der Gesundheit der zu überwachenden Person für erforderlich erachtet (§ 70 Absatz 3 der StrlSchV).

Strahlenschutzärztliche Erstmaßnahmen bei äußeren lokalen Strahlenüberbelastungen richten sich nach dem klinischen Bild, der Höhe und Zeitdauer der eingestrahelten Dosis sowie dem bestrahlten Areal. Als Faustregel können drei Stadien des lokalen Strahleninsultes abgegrenzt werden.

Bei der Combustio erythematosa kann eine Strahlendosis unter 1000 rad angenommen werden. Zwei Verlaufsformen sind möglich. Das Erythem heilt ab oder aber es bildet sich eine Combustio bullosa aus. Im Falle der reinen Erythemform ist die lokale Applikation von milden Hautpudern wie beispielsweise Talkum plus Zinkoxid oder Fissan Puder indiziert. Eine ambulante strahlenschutzärztliche Überwachung des Verlaufs ist ausreichend.

Bei der Combustio bullosa liegt die eingestrahelte Hautdosis im allgemeinen über 1000 rad. Als ärztliche Erstmaßnahme empfiehlt sich die Anwendung eines lokalen sterilen Puderverbandes mit Eispackung. Eine fachdermatologische Behandlung ist erforderlich.

Liegt die eingestrahelte Dosis über 5000 rad, so muß mit einer Combustio echarotica gerechnet werden. Bereits einige Stunden nach dem Strahlensinsult kommt es zu erheblichen lokalen Veränderungen mit Erythem-, Oedem- und Blasenbildung. Erstmaßnahmen: Gesamter klinischer und laborchemischer Befund. Steriler Puderverband mit Eispackung. Stationäre Einweisung in eine fachdermatologische Klinik.

Bei äußeren Ganzkörperüberbestrahlungen in einem Dosisbereich über 25 rad empfiehlt sich eine stationäre Abklärung des Befundes (Chromosomenanalysen, Blutbildkontrollen). Im Rahmen der Erstmaßnahmen sollte der Strahlenschutzarzt darauf achten, daß eventuell kontaminierte Kleidungsstücke zuvor entfernt werden. Im Falle einer zusätzlichen äußeren Kontamination ist eine schonende Ganzkörperduschung im Liegen mit lauwarmem Wasser zwecks Minderung der durch die äußere Kontamination bedingten zusätzlichen Strahlung durchzuführen. Bei Einwirkung von Neutronenstrahlung ist eine Blutentnahme von ca. 20 bis 40 ml zur Bestimmung von Natrium-24 und das Einhalten von Haaren zur Aktivitätsanalyse von Phosphor-32 angezeigt.

Handelt es sich um ein akutes Strahlensyndrom mit den Zeichen eines Strahlenschocks, so ist wegen der strahleninduzierten transmembranen myocardialen Ionenaustauschstörung gegenüber einer zusätzlichen hämodynamischen Belastung des Herzens durch Infusionen Zurückhaltung geboten [23].

Alle Erstdaten wie Unfallhergang, Zeitpunkt des Unfalls, geschätzte Strahlendosis etc. und alle Erstmaßnahmen müssen sorgfältig notiert und in einem Begleitbrief für die nachbehandelnde Institution niedergelegt werden.

4. Medizinische Infrastruktur bei der Unterbringung und Behandlung Strahlenunfallverletzter

Für die Betreuung potentieller Unfälle beim Umgang mit ionisierender Strahlung haben die Berufsgenossenschaften einen Dreistufenplan übernommen. Er dient dazu, den gezielten Einsatz von medizinischen Notfallmaßnahmen auf drei Ebenen wirksam werden zu lassen.

Die erste Stufe beinhaltet die erste ärztliche Hilfe durch den Strahlenschutzarzt am Unfallort. Die zu treffenden Erstmaßnahmen hängen von der Höhe der empfangenen Strahlendosis ab.

Im Falle erhöhter innerer oder äußerer Strahlenüberbelastung und kontaminierter Wunden sowie bei allen unklaren Fällen hat der ermächtigte Arzt vor Ort die Möglichkeit, regionale Strahlenschutzzentren (Erste Hilfe Zentren bei Strahlenunfällen) für die Beratung hinzuzuziehen oder bei leichten bis mittelschweren Strahlenunfällen die Einweisung in ein regionales Strahlenschutzzentrum vorzunehmen.

Der Erste Hilfe Ausschuß des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften hat nachfolgende regionale Strahlenschutzzentren benannt:

Für den Bereich Berlin, Bremen, Hamburg, Niedersachsen und Schleswig-Holstein:

Allgemeines Krankenhaus St. Georg, Hamburg
Institut für Strahlentherapie und Nuklearmedizin
2000 Hamburg 1
Telefon: 040/248 292 371

Für den Bereich Nordrhein-Westfalen und Nordhessen:

Institut für Medizin,
Kernforschungsanlage Jülich G.m.b.H.
5170 Jülich
Telefon: 02461/615 763

Für den Bereich Rheinland-Pfalz und Saarland:

Abteilung für Nuklearmedizin der Radiologischen Klinik
der Universitätskliniken Homburg/Saar,
6650 Homburg/Saar
Telefon: 06841/162 201

Für den Bereich Baden-Württemberg und Südhessen:

Kernforschungszentrum Karlsruhe
7500 Karlsruhe 1
Telefon: 07247/82/3333

Für den Bereich Bayern:

Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung m.b.H. München
8042 Neuherberg
Telefon: 089/3874/333

Die regionalen Strahlenschutzzentren bieten die Möglichkeit, aufgrund ihrer personellen Zusammensetzung (Strahlenschutzmediziner, Strahlenschutzphysiker, Strahlenbiologen und Ausscheidungsanalytiker) und ihrer räumlichen sowie apparativen Infrastruktur die weitere diagnostische Abklärung solcher Fälle und deren Behandlung durchzuführen.

Die dritte Stufe sieht die stationäre Aufnahme schwerer Strahlenunfälle in der

Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Ludwigshafen,
Spezialabteilung für schwere Verbrennungen,
Pfennigsweg 13, 6700 Ludwigshafen/Rhein-Oggersheim
Telefon: 0621/68 101

vor.

Diagnostik und Behandlung schwerer Strahlenunfälle werden von einem ad-hoc einzuberufenden Experten-Team, bestehend aus Strahlenhämatologen, Strahlenbiologen, Dermatologen, Chirurgen, Strahlenschutzphysikern, und Ausscheidungsanalytikern, durchgeführt.

Die Berufsgenossenschaften kommen mit diesen Maßnahmen, die mit dem zuständigen Länderausschuß beim Bundesinnenministerium abgesprochen worden sind, ihrem gesetzlichen Auftrag nach, für eine wirksame Erste Hilfe in den Betrieben zu sorgen und auf diese Weise die Folgeschäden so gering wie möglich zu halten.

5. Ausblick

Durch strahlenschutzmedizinische und strahlenschutzphysikalische Maßnahmen unterliegt der beruflich strahlenexponierte Personenkreis wie kaum eine andere Berufsgruppe einer konsequenten und umfassenden gesundheitlichen Überwachung. Der Schutzgedanke gegen ionisierende Strahlung wurde in der Strahlenschutzverordnung vom 13. Oktober 1976 besonders berücksichtigt. Ihm liegt das Prinzip zugrunde, die Strahlenbelastung so gering wie möglich und noch unter den Grenzwerten zu halten. Zweifelsohne stellt dieser Grundsatz erhebliche Anforderungen an die im praktischen Strahlenschutz tätigen Berufsgruppen wie Strahlenschutzphysiker und Strahlenschutzmediziner. Dies gilt insbesondere für die Inkorporationsüberwachung, bei der bisher die maximal zulässige Körperbelastung als Orientierungswert von der Internationalen Kommission für Strahlenschutz in der Publikation 2 [24] angegeben wurde. Anstelle der maximal zulässigen Körperbelastung ist die maximal zulässige jährliche Aktivitätszufuhr eingeführt worden, wobei die zulässige Aktivitätszufuhr in einem Vierteljahr auf die Hälfte des Jahreswertes begrenzt wurde. Die mit der maximal zulässigen jährlichen Aktivitätszufuhr verknüpfte Erwartungsdosis im kritischen Organ ist auch gleich maximal zulässige Jahresdosis für dieses Organ. Nach Berechnungen von Thorne und Vennart [25] führt diese Regelung, bezogen auf Plutonium-239, zu einer erheblichen Reduzierung des potentiellen Erkrankungsrisikos.

Eine weitere Verbesserung wurde durch die Annullierung sowohl der höchstzulässigen Lebensaltersdosis wie auch der Vierteljahresdosen erreicht. Die Strahlenschutzverordnung sieht statt dessen jährliche Grenzwerte vor, die in der Anlage X, Spalte 2 und 3 enthalten sind, wobei in einem Kalendervierteljahr die Körperdosis höchstens die Hälfte der Jahresdosis betragen darf. Dadurch wird die nach der alten Strahlenschutzverordnung mögliche Ausnutzung der höchstzulässigen jährlichen Äquivalentdosis von maximal 12 rem bis zur Erreichung der höchstzulässigen Lebensaltersdosis unterbunden. Nach Berechnungen von Jacobi und Mays [26] könnte bei permanenter Ausschöpfung dieser Jahresgrenzdosen in einem 40-jährigen Berufsleben das Risiko einer strahleninduzierten Carcinogenesis 1 % erreichen und damit verhältnismäßig hoch liegen. Aus strahlenbiologischen Gründen ist daher bei Interventionen eine geringere Äquivalentstrahlendosis als Grenzwert für die beruflich strahlenexponierten Personen aus ge-

sundheitlichen Gründen anzustreben, was in der StrlSchV durch die Begrenzung der Vierteljahresdosis auf die Hälfte der Jahresdosis seinen Niederschlag findet.

Die jetzt gültige Strahlenschutzverordnung bietet die Voraussetzung, strahlenschutzmedizinisch ein Höchstmaß an Gesundheitsschutz für den beruflich strahlenexponierten Personenkreis zu gewährleisten.

Literatur:

1. *Erste Strahlenschutzverordnung* (1. SSVVO) vom 24.6.1960. Bundesgesetzblatt, 1960, Teil I, Nr. 31, Seite 430
2. *Neufassung der 1. Strahlenschutzverordnung* vom 15.10.1965. Bundesgesetzblatt, 1965, Teil I, Nr. 61, Seite 1653
3. *Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen* (RöV) vom 1.3.1973. Bundesgesetzblatt, 1973, Teil I, Nr. 18, Seite 173
4. *Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen* vom 13. Oktober 1976. Bundesgesetzblatt, 1976, Teil I, Nr. 127
5. *ICRP Publication 9*, 15 und 16. Pergamon Press, Oxford usw.
6. *Neufassung des Gesetzes über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz)* vom 31. Oktober 1976. Bundesgesetzblatt, 1976, Teil I, Nr. 131
7. Richtlinien des Rates vom 1. Juni 1976 zur Festlegung der überarbeiteten Grundnormen für den Gesundheitsschutz der Bevölkerung und der Arbeitskräfte gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, Rechtsvorschriften, 19. Jahrgang, Nr. L 187, 12. Juli 1976
8. *Tamplin, A.R.; Cochran, T.B.*: Radiation Standards for Hot Particles. A Report on the Inadequacy of Existing Radiation Protection Standards Related to Internal Exposure of Man to Insoluble Particles of Plutonium and Other Alpha-Emitting Hot Particles. Natural Resources Defence Council, 1710 N Street, N.W. Washington D.C., February 14, 1974
9. aus: *Hodge, H.C.; Stannard, J.N.; Hursh, J.B.*: Uranium, Plutonium, Transplutonic Elements. Handbuch der experimentellen Pharmakologie, S. 402 und S. 654. Springer-Verlag, Berlin usw. (1973)
10. *ICRP Publication 11*. Pergamon Press, Oxford usw.
11. *Deposition and Retention Models for Internal Dosimetry of the Human Respiratory Tract*. Task Group on Lung Dynamics. Health Physics 12 (1966) S. 173-207.
12. *Inhalation Risks from Radioactive Contaminants*. Technical Reports Series No. 142, S. 70, 73 und 74. International Atomic Energy Agency, Vienna, 1973
13. *ICRP Publication 10 und 10A*. Pergamon Press, Oxford usw.
14. *Ohlenschläger, L.*: Diagnostik und Therapie der kontaminierten Wunde. KFK Nachrichten, Kernforschungszentrum Karlsruhe, 6. Jahrgang, Heft 1 (1974) S. 26-32

15. *Ohlenschläger, L.; Schieferdecker, H.:* Bericht über eine mit Plutonium-239 kontaminierte Riß-Schnittverletzung. *Strahlentherapie* 146 6 (1973) S. 675-684
16. *Volf, V.:* Experimental Background for Prompt Treatment with DTPA of ²³⁹Pu-contaminated Wounds. *Health Physics* 27 (1974) S. 273-277
17. *Catsch, A.:* aus: Erste Hilfe bei Strahlenunfällen. Schriftenreihe Arbeitsmedizin, Sozialmedizin, Arbeitshygiene, Band 47, S. 125-139. A. W. Gentner Verlag, Stuttgart (1972)
18. *Lafuma, J.; Nenot, J.C.; Morin, M.:* Die aus der Verwendung der Urinausscheidungswerte resultierenden Probleme bei der Bestimmung der Körperbelastung. Symposium über die Bestimmung der radioaktiven Belastung der Organe und des Organismus, Stockholm 22.-26.11.1971. International Atomic Energy Agency, Vienna, IAEA/SM-150/55
19. *Healy, J.W.:* Estimation of Plutonium Lung Burden by Urine Analysis. *American Industrial Hygiene Association Quarterly* 18 (1957) S. 261-266.
20. *Jech, J.J.; Andersen, B.V.; Heid, K.R.:* Interpretation of Human Urinary Excretion of Plutonium for Cases Treated with DTPA. *Health Physics* 22 (1972) S. 787-792
21. *Nelson, I.C.:* A Simplified Method for Evaluating the Healy Plutonium Excretion Equation. *Health Physics* 22 (1972) S. 191-193
22. *Stather, J.W.; Howden, S.; Carter, R.F.:* A Method for Investigating the Metabolism of the Transportable Fraction of Plutonium Aerosols. *Physics in Medicine & Biology* 20 (1975) S. 106-124
23. *Hochrein, H.; Braun, H.; Viering, J.:* Zur Problematik der Therapie des Strahlenschocks. *Strahlentherapie* 137 (1969) S. 196-203
24. *ICRP Publication 2.* Pergamon Press, Oxford usw.
25. *Thorne, M.C.; Vennart, J.:* The Toxicity of ⁹⁰Sr, ²²⁶Ra and ²³⁹Pu. *Nature* 263 (1976) S. 555-558
26. *Jacobi, W.:* Beziehungen zwischen der Strahlendosis und dem somatischen Strahlenrisiko. *Atomwirtschaft*, Juni 1974, S. 278-283.

Schriftenreihe „Arbeitsmedizin – Sozialmedizin – Präventivmedizin“

Band 24

Ohlenschläger

Beitrag zur chirurgischen Versorgung radioaktiv kontaminierter Wunden

32 Seiten, Format 12 x 18,5 cm, kartoniert, broschiert, ISBN 3 87247 065 5,
Preis 6,80 DM.

Anhand eines Organisationsplanes werden Erstmaßnahmen bei kontaminierten Verletzungen besprochen. Als Konzeption liegt dem Plan eine Gliederung zugrunde, die Hilfsmaßnahmen in drei Phasen vorsieht.

1. Erste Hilfe am Unfallort durch den geschulten oder nichtgeschulten Laien.
2. Erste ärztliche Betreuung in einer hierfür speziell eingerichteten Strahlenunfallambulanz auf dem Gelände des Kernforschungszentrums Karlsruhe.
3. Weiterbehandlung der schweren Fälle in einer Spezialklinik. Von 101 kontaminierten Personen in den Jahren 1964 bis 1966 wurden 19 als wundkontaminiert gemeldet (18,9%). Davon lagen fünf (5%) über der Nachweisgrenze des Meßgerätes. Durch Wundrandexzision in Oberst'scher Leitungsanästhesie konnte die Aktivität in allen Fällen aus der Wunde beseitigt werden. Bei der löslichen und festlöslichen Wundkontamination wurden neben der routinemäßigen Ausmessung des exzidierten Gewebstückes noch eine Aktivitätsanalyse des Wund- und Venenblutes und des 24-h-Urins vorgenommen.



**A. W. Gentner Verlag · 7 Stuttgart 1
Postfach 688 · Telefon 638356**

Schriftenreihe „Arbeitsmedizin – Sozialmedizin – Präventivmedizin“

Band 47

Möhrle

Erste Hilfe bei Strahlenunfällen

140 Seiten, zahlreiche Abbildungen, Format DIN A 5, kartoniert, broschiert, ISBN 3 87247 148 1, Preis 32,80 DM.

Die im letzten Jahrzehnt ständig zunehmende Bedeutung ionisierender Strahlen auf fast allen Gebieten der Forschung, Medizin und Technik sowie die Nutzung der Kernenergie machen es erforderlich, daß sich auch die Ärzteschaft mit den arbeits- und unfallmedizinischen Problemen und Risiken befaßt, die sich hieraus ergeben. Die Sicherheitsvorschriften und Schutzmaßnahmen beim Umgang mit ionisierenden Strahlen sind ein Musterbeispiel für eine gezielte normative Regelung eines Teilbereichs der Umweltgefahren auf nationaler und internationaler Ebene, doch kann nie die potentielle Unfallgefährdung für die auf diesem Sektor beruflich Tätigen ausgeschlossen werden. Dies gilt praktisch für alle Bereiche der friedlichen Anwendung der Kernenergie, für Herstellung, Bearbeitung, Handhabung, Verwendung, Besitz, Lagerung, Beförderung und Beseitigung natürlicher und künstlicher radioaktiver Stoffe sowie für jede andere Tätigkeit im Zusammenhang mit ionisierender Strahlung.

In diesem Band haben die Autoren, ausgehend von den physikalischen und biologischen Grundlagen der Strahlenwirkung auf den Menschen, den Versuch unternommen, die meßtechnischen und diagnostischen Möglichkeiten zur Abschätzung einer Strahlenbelastung sowie die einzuleitende Erste Hilfe und ersten ärztlichen Maßnahmen bei verschiedenen Formen von Strahlenunfällen darzustellen.



A. W. Gentner Verlag · 7 Stuttgart 1
Postfach 688 · Telefon 638356