

KfK 3110
März 1981

**Ärztliche Versorgung von
Strahlengeschädigten und
medizinische
Notfallschutzplanung bei
Kernkraftwerkstörfällen
und -unfällen**

L. Ohlenschläger
Medizinische Abteilung

Kernforschungszentrum Karlsruhe

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Medizinische Abteilung

KfK 3110

Ärztliche Versorgung von Strahlengeschädigten
und medizinische Notfallschutzplanung bei
Kernkraftwerkstörfällen und -unfällen

L. Ohlenschläger

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Als Manuskript vervielfältigt
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
ISSN 0303-4003

Kurzfassung

Ärztliche Maßnahmen bei Strahlenschädigungen werden anhand von fünf potentiellen Kategorien von Strahlenzwischenfällen bzw. Strahlenunfällen erläutert. Dabei handelt es sich um Kontaminationen, Inkorporationen, äußere lokale und generalisierte Strahlenüberbelastungen, kontaminierte Wunden und Kombinationen von Strahlenschäden und konventionellen Verletzungen.

Berücksichtigung finden diagnostische und therapeutische Erstmaßnahmen, insbesondere bei leichten und mittelschweren Strahlenunfällen.

Die medizinische Notfallschutzplanung wird anhand der in der Praxis benutzten Störfall- bzw. Unfalldefinitionen erörtert. Als Parameter dienen das Ausmaß des Störfalls bzw. Unfalls, die Anzahl der betroffenen Personen und die Schwere der Strahlenschädigung. Anhand von Leitsymptomen werden Sichtungskriterien für die Einteilung in leichte, mittelschwere und schwere Strahlenunfälle besprochen.

Auf die in der Bundesrepublik Deutschland bestehenden Strahlenschutzzentren und die Möglichkeit der Inanspruchnahme einer Beratung bei Strahlenzwischenfällen und -unfällen wird hingewiesen.

Abstract

Medical treatment of radiation damages and medical emergency planning in case of nuclear power plant incidents and accidents

Medical measures in case of radiation damages are discussed on the basis of five potential categories of radiation incidents and accidents, respectively, viz. contaminations, incorporations, external local and general radiation over-exposures, contaminated wounds, and combinations of radiation damages and conventional injuries.

Considerations are made for diagnostic and therapeutic initial measures especially in case of minor and moderate radiation accidents.

The medical emergency planning is reviewed by means of definitions used in the practical handling of incidents or accidents. The parameters are: extent of the incident or accident, number of persons involved, severity of the radiation damage. Based on guiding symptoms the criteria for the classification into minor, moderate or severe radiation accidents are discussed.

Reference is made to the Medical Radiation Protection Centers existing in the Federal Republic of Germany and the possibility of getting advices in case of radiation incidents and accidents.

<u>Inhalt</u>	Seite
Einleitung	1
Diagnostische und therapeutische Möglichkeiten bei Strahlenschädigungen	2
Medizinische Notfallschutzplanung bei Kernkraftwerkstörfällen und -unfällen	15
Ausblick	30
Literatur	32

Ärztliche Versorgung von Strahlengeschädigten
und medizinische Notfallschutzplanung bei
Kernkraftwerkstörfällen und -unfällen

L. Ohlenschläger

Einleitung

Diagnostische und therapeutische Maßnahmen bei Strahlenschädigungen im Rahmen von Kernkraftwerkstörfällen und -unfällen bedingen, sofern es sich um größere Ereignisse handelt, eine an die Erfordernisse angepaßte medizinische Infrastruktur, wie sie übrigens auch von der konventionellen Katastrophenschutzmedizin immer wieder verlangt wird.

Die gesetzliche Regelung obliegt den Ländern. Lediglich im Verteidigungsfall wird der Katastrophenschutz durch ein Bundesgesetz geregelt, wobei auch in diesem Fall keine besonderen Bestimmungen für die Durchführung der gesundheitlichen Versorgung der Bevölkerung vorliegen [1].

Speziell für die Reaktorsicherheit und die Sicherheit sonstiger kerntechnischer Anlagen hat der Bundesminister des Innern aufgrund eines Beschlusses des Länderausschusses für Atomkernenergie gemeinsam mit den Innenbehörden der Länder vom 10./11. März 1975 am 12.10.1977 Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen erlassen [2]. Die Rahmenempfehlungen weisen darauf hin, daß die Katastrophenschutzplanung von den nach Landesrecht zuständigen Behörden wahrgenommen wird. Katastrophenschutzbehörden sind in diesem Sinne die Landratsämter und die Innenministerien der Länder.

Die Katastrophenschutz-Einsatzleitung übernimmt bei begrenzter Auswirkung des Ereignisses auf den Landkreis der Landrat. Bei großflächiger Auswirkung der Katastrophe über mehrere Landkreise ist der Regierungspräsident Katastrophenschutz-Einsatzleiter.

Obwohl die Bundesrepublik über ein dichtes Netz von Krankenhäusern und Kliniken sowie über ein beachtliches Reservoir von ca. 158 000 Ärzten verfügt, gibt es in den Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen keinen Hinweis über eine gesetzliche Regelung hinsichtlich der Einbeziehung des vorhandenen personellen und räumlichen Potentials in den Katastrophenschutz. Insbesondere werden Richtlinien über die Aus- und Weiterbildung von Ärzten und Hilfspersonal auf dem Gebiet des medizinischen Katastrophenschutzes sowie die Sicherstellung des Bettenbedarfs im Katastrophenfall vermißt.

Diagnostische und therapeutische Möglichkeiten bei Strahlenschädigungen

Eine durch ionisierende Strahlung verursachte Erkrankung oder aber ein Strahlenunfall mit nachweisbarer Strahlenschädigung sind außerordentlich selten. 1977 und 1978 waren es jeweils zwei entschädigungspflichtige Fälle in der Bundesrepublik. Dies mag auch die teilweise bestehende Unsicherheit im Hinblick auf die Diagnostik und Therapie eines Strahlenunfalls in Teilbereichen der Ärzteschaft erklären. Zum besseren Verständnis der folgenden Ausführungen soll daher die Definition eines Strahlenunfalls und eines Strahlenzwischenfalls dienen.

Ein Strahlenunfall ist ein Ereignisablauf, der für eine oder mehrere Personen eine die Grenzwerte übersteigende Strahlenexposition oder Inkorporation radioaktiver Stoffe zur Folge hat [3].

Der Strahlenzwischenfall unterscheidet sich vom Strahlenunfall dadurch, daß keine grenzwertübersteigende innere oder äußere Strahlenexposition mit dem Geschehen verbunden ist.

Aus didaktischen Gründen ist es zweckmäßig, die potentiellen Strahlenunfälle in 5 Kategorien einzuteilen:

1. Kontaminationen (durch radioaktive Stoffe verursachte Verunreinigung der Körperoberfläche);
2. Inkorporationen (Aufnahme radioaktiver Stoffe in den menschlichen Organismus durch Inhalation oder Ingestion oder durch Wunden);
3. Äußere lokale und generalisierte Strahlenüberbelastungen;
4. Kontaminierte Wunden;
5. Kombinationen von Strahlenschäden und konventionellen Verletzungen.

Kontaminationen

Kontaminationen stellen zahlenmäßig den größten Anteil der Strahlenzwischenfälle dar. Die radioaktive Verunreinigung kann staubförmig, wässrig, in Dampfform oder lipoidlöslich auf die Hautoberfläche gelangen. In der Mehrzahl der Fälle handelt es sich um staubförmige oder wässrige Kontaminationen. Die intakte Haut ist eine gute Schutzschicht gegen das Eindringen radioaktiver Verunreinigungen in das Körperinnere. Lediglich lipoidlösliche Kontaminationen vermögen diese Barriere zu durchdringen.

Die radioaktiven Kontaminationen bilden auf der Haut je nach Art und Zusammensetzung einen dreischichtigen Belag. Die oberste Schicht liegt der Hautoberfläche locker an, die mittlere Schicht der Verschmutzung zeichnet sich durch eine stärkere Adhäsion an der Hautoberfläche aus. Die unterste Schicht kann chemisch an die Hautoberfläche gebunden sein und damit fest anhaften.

Die Gefahren einer äußeren Kontamination bestehen in der Verschleppung des Materials sowohl am eigenen Körper als auch in die Umgebung und somit in der Gefährdung anderer Personen. Bei Kontaminationen im Kopfbereich und bei Verunreinigungen einer nicht intakten Haut, z.B. bei Hauterkrankungen oder Hautverletzungen, ist eine zusätzliche Gefährdung durch Inkorporation möglich.

Die durch eine Kontamination verursachte Strahlenschädigung der Haut ist abhängig von der Höhe und der Strahlungsart der radioaktiven Verunreinigung (α -, β -, γ -Strahlung).

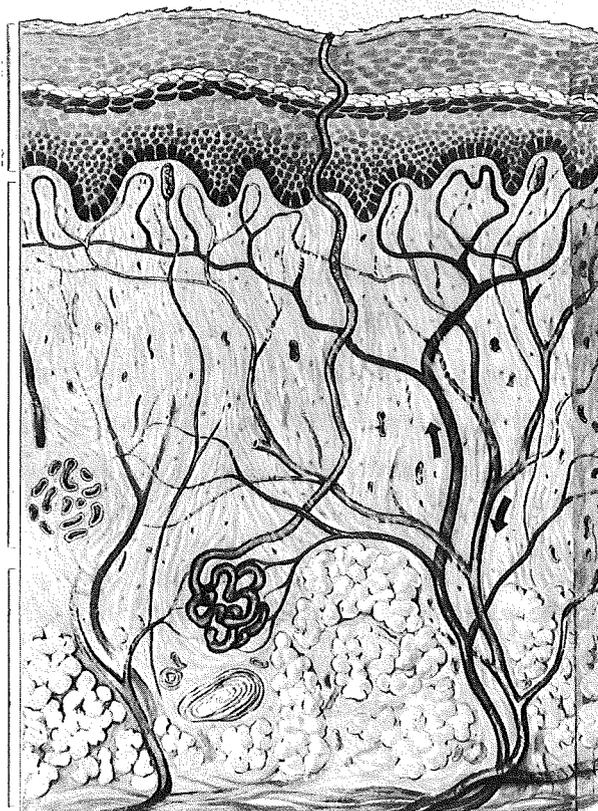
Zum besseren Verständnis der Strahleneinwirkung auf das Integument dient der histologische Aufbau der Haut in Epidermis, Corium und Subcutis (Abb. 1). Die Epidermis besteht aus Stratum corneum, Stratum lucidum, Stratum granulosum, Stratum spinosum und Stratum germinativum. Ihre durchschnittliche Dicke liegt bei 70 - 170 μm . Die proliferationsaktive und gleichzeitig strahlensensibelste Schicht ist das Stratum germinativum.

a - Epidermis:

Stratum corneum
Stratum lucidum
Stratum granulosum
Stratum spinosum
Stratum germinativum

b - Corium

c - Subcutis



A
Haut des Fingerhorns

Abb. 1 - Hautquerschnitt

Die Reichweite einer α -Strahlung in die intakte Haut beträgt maximal 60 μm . Sofern keine Diffusion in die Haut stattgefunden hat, wird das Stratum germinativum von der korpuskularen α -Strahlung nicht erreicht.

Bei Hautkontaminationen mit energiearmen β -Strahlern, wie z.B. Schwefel-35 oder Kohlenstoff-14, wird die Keimzellschicht ebenfalls nicht tangiert.

Handelt es sich dagegen um Hautverunreinigungen mit mittel- oder hoch-energetischen β -Strahlern wie beispielsweise Caesium-137, Strontium-90, Phosphor-32 oder Yttrium-90, ist eine direkte Einwirkung der korpuskularen β -Strahlung auf das Stratum germinativum anzunehmen.

Nahezu alle γ -Strahler emittieren auch β -Strahlung, so daß ihre Strahlen- einwirkung auf die Keimzellschicht, verglichen mit der Wirksamkeit der β -Strahlung, vernachlässigt werden kann.

Für die Beurteilung der Strahlenwirkung ist zudem zu berücksichtigen, daß es sich bei der Epidermis um ein Zellerneuerungsgewebe handelt, welches einem vierwöchigen Regenerationszyklus unterliegt.

In der derzeit gültigen Strahlenschutzverordnung sind keine Kontamina- tionsgrenzwerte für die Haut angegeben. Jedoch wird auf die Grenzwerte für Schutzmaßnahmen bei Oberflächenkontamination von Arbeitsplätzen und Gegenständen verwiesen.

Wegen der Vielzahl der benutzten Meßgeräte und der damit verbundenen unterschiedlichen Wirkungsgrade solcher Geräte ist es schwierig, einen für die Praxis einheitlichen Meßgrenzwert in Impulsen pro Minute anzu- geben. Die von uns für die Kontaminationsmessung verwendeten Großflächen- proportionaldurchflußzähler mit einer Meßfläche von ca. 100 cm^2 haben einen Wirkungsgrad von ca. 20 % für α -Strahlung und ca. 30 % für β -Strah- lung. Die mit Hilfe dieser Geräte ermittelten Kontaminationsgrenzwerte liegen für α -Kontamination bei 130 Imp./min./100 cm^2 ($3 \cdot 10^{-4} \mu\text{Ci}/100 \text{cm}^2$) Oberfläche und für β -Kontamination bei 20000 Imp./min./100 cm^2 ($3 \cdot 10^{-2} \mu\text{Ci}/100 \text{cm}^2$) Oberfläche. Diese Werte nehmen Bezug auf die maximal zulässige Dosisleistung auf der Haut von 3,5 mrem/h für eine kontinuierliche maximale Kontaminierung. Es handelt sich dabei um in- offizielle Grenzwerte, die hausintern verwendet werden.

Bei der Messung der Kontamination ist darauf zu achten, daß das α -/ β - Proportionalzählrohr so dicht wie möglich an die kontaminierten Ober-

flächen herangeführt wird, um auf diese Weise auch die weniger weitreichende korpuskulare α -Strahlung meßtechnisch zu erfassen. Zur Vermeidung einer Kontamination des Zählfensters der Sonde sollte das Gerät allerdings die kontaminierte Oberfläche nicht berühren. Kontaminierte Zählrohre führen zu erhöhten Nullratenmessungen. Sie können mit einem mit Aceton befeuchteten Tuch dekontaminiert werden.

Die Meßzeit beträgt 1 Minute, die gemessenen Impulszählraten werden in ein Protokoll eingetragen. Bei der Ausmessung hoher Oberflächenkontaminationen kann das Tragen von Handschuhen und Schutzkleidung für die die Messung durchzuführende Person erforderlich werden. Eine Gefährdung der Umgebung durch Direktstrahlung von einem Kontaminierten besteht infolge der geringen Reichweite der Strahler nicht. Die Betreuung kontaminierter Verletzter sollte stets unter Verwendung von Schutzkleidung und Handschuhen zur Vermeidung einer Eigenkontamination durchgeführt werden.

Radioaktiv verunreinigte Kleidungsstücke werden abgelegt und in Plastikbeutel verschweißt. Nach Feststellung der Höhe und Ausdehnung einer Kontamination beginnt die Dekontamination.

Therapie bei Kontaminationen

Die Behandlung einer Kontamination hat die vollständige Entfernung der radioaktiven Verunreinigung von der Körperoberfläche 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 muß die Haut reichlich mit Seifenschaum bedeckt sein und mit einer weichen Bürste abgerieben werden. Anschließend erfolgt eine Abspülung mit reichlich lauwarmem Wasser. Der Waschvorgang muß unter Umständen mehrmals wiederholt werden und dauert im einzelnen etwa 2 bis 3 Minuten. Nach jeder

Waschung ist eine Kontrollmessung durchzuführen, um den Erfolg der Maßnahmen zu kontrollieren. In der Mehrzahl der Fälle gelingt es auf diese Weise, bereits nach dem ersten Waschvorgang über 50 % einer staubförmigen radioaktiven Verunreinigung von der Hautoberfläche zu beseitigen. In diesem Zusammenhang sei auch darauf hingewiesen, daß geringfügige Restkontaminationen der Haut weniger gefährlich sein können als drastische Dekontaminationsmaßnahmen mit nachfolgender Verletzung des Integuments und potentieller Inkorporation. Die Dekontamination der Hautoberfläche wird dann beendet, wenn die Gefahr einer Weiterverbreitung der Verunreinigung nicht mehr gegeben ist.

Handelt es sich um festanhaftende Kontaminationen, die chemisch an die Hautoberfläche gebunden sind, reicht die Dekontamination mit Wasser und Seife 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 Natriumbisulfitlösung zur Ablösung des Braunsteins.

Handelt es sich um eine vorwiegend kationische Kontamination, z.B. Metallstaub, so ist die lokale Anwendung von Komplexbildnern, z.B. Na-EDTA = Natriumäthylendiamintetraessigsäure, 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 Jodkalilösung 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 Radionuklids in die tieferen Hautschichten fördern.

Isolierte Kontaminationen des Kopfhaares oder des Gesichtes werden zweckmäßigerweise zur Vermeidung einer Verbreitung der Kontamination an Spezialkopf- und -gesichtswaschbecken dekontaminiert.

Kontaminationen im Bereich der Augen und Conjunctiven werden nach Verabfolgung einer Schleimhautanästhesie ausgiebig mit Wasser gespült. Sehr bewährt hat sich die Anwendung eines Water-Pik-Augenspülgerätes, mit dessen Hilfe man den Wasserstrahl dosiert in den Conjunctivalsack einleiten kann. Aber auch die Verwendung einer Plastikflasche mit Steigrohr, welches am Ende gebogen und mit einer Olive versehen ist, kann wirkungsvoll zur Spülung des Conjunctivalsackes eingesetzt werden.

Den Abschluß einer Hautdekontamination bildet die Hautpflege mit einer Fettcreme.

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 Magendarmtrakt wieder zur Ausscheidung, ein anderer dagegen wird in Körperorgane eingelagert. Die sich hieraus ergebende innere Strahlenbelastung des Körpers ist u.a. abhängig von der Art des Radionuklids und seiner Radiotoxizität sowie von der Verteilung in den Organen. Besonders strahlenempfindlich sind die proliferationsaktiven Zellsysteme, wie beispielsweise das Dünndarmepithel, das rote Knochenmark und die peri- und endostalen Oberflächen des trabekulären Knochens. Eine Inkorporation durch Ingestion ist in der Praxis relativ selten. Häufiger dagegen sind Zwischenfälle, die mit Inkorporation per Inhalation oder mit kontaminierter Wunde einhergehen. Bezüglich der Strahlenunfallhäufigkeit für den Bereich Inkorporationen gilt das gleiche wie bei Kontaminationen. Unter Nichtkatastrophenbedingungen handelt es sich in der Mehrzahl der Fälle um Inkorporationszwischenfälle, bei denen die Unfallgrenzwerte der Aktivitätszufuhren nicht überschritten werden.

Für die Diagnostik eines Inkorporationszwischenfalls stehen zwei Verfahren zur Verfügung. Es ist dies der direkte Nachweis der Strahlung des inkorporierten Radionuklids mit Hilfe eines Ganzkörperstrahlungsmeßgerätes. Diese Methode wird angewendet bei Inkorporationen mit energiereichen β -Strahlern. Im Falle einer Inkorporation mit α -Strahlern oder energiearmen β -Strahlern findet die indirekte Methode des Nachweises durch ausscheidungsanalytische Untersuchungen in Faeces, Urin und Gewebsexcidaten Anwendung. Bei einer Inkorporation von Transuraneisotopen per Inhalation kann der Nachweis eines Lungendepots mit Hilfe eines Lungenstrahlungsmeßgerätes über die energiearme Röntgen- oder Gammabegleitstrahlung dieser Isotope direkt am Thorax vorgenommen werden.

In der Praxis wird unmittelbar nach einem Inhalationszwischenfall zunächst ein Nasenrachenabstrich vorgenommen, der dann mit Hilfe eines α -/ β -Proportionalzählers direkt ausgemessen wird. Das Ergebnis dieser Ausmessung, wie auch die Direktausmessung einer Schnepzprobe, stellen wichtige Erstinformationen für den weiteren inkorporationsdiagnostischen Ablauf dar. Bei positivem Nasenrachenabstrich muß mit einer Abscheidung radioaktiver Aerosole im tracheobronchialen Kompartiment gerechnet werden. Infolge biologischer Clearancevorgänge im Bereich der Atemwege und Lungen gelangt das radioaktive Material oralwärts, wird verschluckt und über den gastrointestinalen Trakt zur Ausscheidung gebracht. Ist das im Atemweg-Lungenbereich abgelagerte radioaktive Material löslich, so wird es sehr rasch einem Transfer in die Blutbahn unterliegen und über die Nieren ausgeschieden. Die Kenntnis dieser Vorgänge ist für das Verständnis der inkorporationsdiagnostischen Maßnahmen bei Inkorporationszwischenfällen mit α -Strahlern und energiearmen β -Strahlern von besonderer Bedeutung.

Therapie der Inkorporationen

Als Erstmaßnahmen kommen Mund-Nasen-Rachenspülungen in Frage. Auch Zähneputzen unter Verwendung von reichlich Zahnpasta unterstützen den Reinigungsprozeß im Mund-Rachenbereich.

Medikamentöse Therapie

Die medikamentöse Therapie verfolgt zwei Ziele:

Erstens die Hemmung der Resorption eines Radionuklids bzw. die Blockierung der Aufnahme des Isotops in ein bestimmtes Organ. Dieses Prinzip findet seine Anwendung bei der Verabfolgung von Kaliumjodidtabletten, die bei frühzeitiger Applikation eine 100 %ige Blockierung der Schilddrüse gegenüber radioaktivem Jod bewirken können. Ähnlich wirkt die Radiogardase CS, ein Ferrihexacyanoferrat, bekannt unter dem Namen Preußisch Blau, was bei Caesiuminkorporationen den enteroenteralen Kreislauf dieses Radioisotops hemmt und damit eine Rückresorption aus dem Darmtrakt verhindert.

Zweitens die Ausscheidungsintensivierung durch komplexe Bindung des Radioisotops an einen Chelatbildner. Diese Therapie findet Anwendung bei Inkorporationen mit Lanthaniden, Transuranen, Cadmium, Chrom, Mangan, Eisen, Zink und Blei. Als Chelatbildner werden verwendet: Das Calciumsalz der Diäthylentriaminpentaessigsäure, im Handel erhältlich als Ditridentat-Heyl. Darüber hinaus stehen weitere Antidote zur Behandlung bei Strontium-, Barium- oder Radiuminkorporationen zur Verfügung in Form von Liquibarin, Phosphalugel und Manucol. Das D-Penicillamin wird in Form der Metal-captase erfolgreich bei Kupfer-, Polonium-, Blei-, Quecksilber- und Goldinkorporationen verwendet. Die Gruppe der Ionenaustauscherharze findet Anwendung bei Inkorporationen von Lanthaniden und Transuranen als Dowex 50 W x 12 oder Dow Chelating.

Ein neueres Präparat zur Behandlung von Eisen- und Plutoniuminkorporationen ist das Desferrioxamin (DFOA), im Handel als Desferal-Ciba erhältlich [4, 5].

Äußere lokale und generalisierte Strahlenüberbelastungen

Diese Form der Strahlenbelastung kann durch eine auf der Haut befindlichen Strahlenquelle (Kontamination) oder durch eine körperferne Strahlenquelle (γ -Strahlung, Röntgenstrahlung, Neutronenstrahlung) verursacht werden.

Das Integument wird als erstes Organ von der ionisierenden Strahlung durchdrungen, wobei die biologische Wirkung der Strahlung sich an dieser Stelle für den Untersucher sichtbar manifestieren kann.

Klinisch wird unterschieden zwischen einer Combustio erythematosa (300 - 800 Röntgen), einer Combustio bullosa (800 - 1800 Röntgen) und einer Combustio escharotica (1200 - 4000 Röntgen) [6]. Als Faustregel gilt der Hinweis, daß bei Blasenbildung die eingestrahlte Dosis > 1000 rem geschätzt wird, bei Geschwürbildung die Dosis > 3000 rem anzunehmen ist.

Während die äußeren lokalen Strahlenüberbelastungen zu den seltenen Ereignissen zählen, ist die äußere generalisierte Strahlenüberexposition dank der extremen Sicherheitsbestimmungen in der Bundesrepublik bisher noch nicht aufgetreten.

Das akute Strahlensyndrom beinhaltet ein komplexes Geschehen, in das gastrointestinale und cardiovasculär cerebrale Symptome einbezogen sind. Dosen bis zu 100 rem Ganzkörperbestrahlung führen im allgemeinen zu keiner klinischen Symptomatik, jedoch sind Chromosomenanomalien über lange Zeit nachweisbar. Die Restitutio ad integrum ist gesichert.

Bei Ganzkörperbestrahlungen von 100 - 200 rem wird eine leichte Form des akuten Strahlensyndroms ausgelöst. Klinisch kommt es zu einer prodromalen Nausea. Im Vordergrund steht eine Störung des haemato- und lymphopoetischen Systems mit Lymphocytopenie. Die Granulocyten sind normal oder leicht erhöht, die Thrombocyten unverändert. Die Störung der Blutzellbildung ist reversibel. Prognose: Restitutio ad integrum wahrscheinlich.

Ganzkörperbestrahlungen von 200 - 500 rem bewirken eine schwere Form des akuten Strahlensyndroms. Klinisch bestehen Nausea, Emesis und Diarrhoe. Pathologisch-anatomisch steht das gastrointestinale und cardiovasculäre System in Vordergrund. Eine ausgeprägte Störung der Haemato- und Lymphocytopoese sowie Thrombocytopenien ab 4. Woche sprechen für diese Verlaufsform. Prognose: Restitutio ad integrum möglich.

Die schwerste Form des akuten Strahlensyndroms tritt bei Ganzkörperbestrahlung zwischen 500 und 3000 rem auf. Klinisch handelt es sich um ein gastrointestinales cardiovasculär cerebrales Syndrom mit Strahlenschock. Gastrointestinale Insuffizienz, Herzkreislaufversagen und Schäden am

Zentralnervensystem werden beobachtet. Der Zusammenbruch des blutbildenden und lymphatischen Systems ist die Folge. Nach neuestem Kenntnisstand ist eine Überlebenschance bei Dosen über 1000 rem unter Ausschöpfung aller diagnostischer und therapeutischer Maßnahmen möglich [7] (Anlage 1). In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage nach einer Kryopräservation von Knochenmarkstammzelldepots von und für das Personal von Kernkraftwerken.

Therapie der äußeren lokalen Strahlenschäden

Die lokale Behandlung einer Combustio erythematosa besteht in der Applikation indifferenter Puder, z.B. Talkum + Zinkoxid, die einen leicht entzündungshemmenden Effekt besitzen. Von der gelegentlich auch empfohlenen Anwendung entzündungshemmender Salben wird wegen der Verstärkung der Strahlenreaktion abgeraten.

Bei Verdacht auf eine lokale Dosis von > 1000 rem wird als Erstmaßnahme eine lokale Kälteapplikation, z.B. in Form einer Eisblase oder kaltem Wasser, empfohlen. Bei Blasenbildung sterile Entleerung durch Punktion sowie Anwendung indifferenter steriler Puderverbände. Parenteral und oral werden gefäßabdichtende und antiphlogistische Medikamente empfohlen.

Bei der Combustio escharotica entspricht die Erstbehandlung der der Combustio bullosa. Peroral und parenteral werden Mittel mit membranabdichtendem und antiphlogistischem Effekt empfohlen. Bei später auftretenden Durchblutungsstörungen infolge strahleninduzierter Gefäßschäden sind lokale und parenteral gefäßerweiternde Mittel indiziert. Eine optimale Therapie der äußeren lokalen Strahlenfrühreaktionen wirkt sich günstig, wenn auch begrenzt, auf das Ausmaß und die Folgen der Spätreaktionen aus. Strahlenspätchäden wie beispielsweise das Strahlenulcus der Haut sollten einer frühest möglichen aktiv chirurgischen Therapie zugeführt werden [6].

Therapie des akuten Strahlensyndroms

Bei Auftreten eines Strahlenschocks bei Ganzkörperbestrahlung ab 500 rem ist als Erste Hilfe Maßnahme die absolute Ruhigstellung bei Erhalt einer

Vita minima anzustreben. Als weitere Maßnahmen kommen die Stationierung in weitgehend keimfreier Umgebung in Frage sowie die gezielte und dosierte Elektrolytsubstitution zum Ausgleich der gastrointestinal bedingten Flüssigkeitsverluste.

Knochenmarkstammzell-, Granulocyten- und Thrombocyteninfusionen sowie Verabfolgung von Erythrocytenkonzentraten werden ab 1000 rem Ganzkörperbestrahlung zusammen mit medikamentöser immunosuppressiver Begleittherapie empfohlen [7].

Laufende Blutbildüberwachung und Bestimmung aller Blutzelltypen einschließlich Thrombocyten sowie qualifizierter Knochenmarkausstrichdiagnostik ist für die erfolgreiche Behandlung des akuten Strahlensyndroms unerlässlich. Bakteriologisch ist eine ständige Überwachung aller Ausscheidungen zu fordern.

Das komplexe Geschehen eines akuten Strahlensyndroms verlangt neben einem erfahrenen Strahlenhämatologen ein Team von Ärzten aus den Fachdisziplinen Interne Medizin, Dermatologie, Toxikologie und Chirurgie.

Kontaminierte Wunden

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.

Wir unterscheiden Wundkontaminationen mit kurz- und mittellebigen Isotopen von denen mit langlebigen hochradiotoxischen α -Strahlern, wie beispielsweise Plutonium und Transplutone.

Aus dieser Überlegung leiten sich auch die therapeutischen Maßnahmen ab, bei denen wir zwischen Erste Hilfe Leistungen am Unfallort und erster ärztlicher Behandlung unterscheiden.

Im Rahmen der Erstmaßnahmen am Unfallort ist die Anlage einer wundnahen Stauung mit anschließender Spülung der Wunde unter fließendem Wasser indiziert. In Bereichen, in denen eine Staubbinde nicht anlegbar ist, bleibt als Erstmaßnahme die Spülung der Wunde unter fließendem Wasser.

Die ärztliche Behandlung richtet sich nach der Höhe der Wundaktivität und der Radiotoxizität des Isotops.

Bei Wundkontaminationen mit kurz- oder mittellebigen Isotopen niedriger Aktivität reichen konservativ chirurgische Maßnahmen im allgemeinen aus (Wundtoilette durch Auswaschen der Wunde mit physiologischer Kochsalzlösung oder Zephirolwasser, Mercurochromanstrich, antibiotischer Puderverband und Tetanusprophylaxe).

Bei allen Wundkontaminationen mit hochradiotoxischen α -Strahlern und kurz- oder mittellebigen Isotopen hoher Radioaktivität ist aktiv chirurgisches Vorgehen indiziert. Dieses besteht in einer Wundrandexcision in Leitungsanästhesie mit nachfolgender Kontrollmessung an oder wenn möglich in der Wunde. Bei Elimination des Wunddepots Wundverschluß, Puderverband und Tetanusprophylaxe. Bei Verdacht auf Aszension eines hochradiotoxischen Radionuklids über eröffnete Lymph- und Blutgefäße ist eine nachfolgende medikamentöse Zusatztherapie zum Zwecke einer Ausscheidungsintensivierung erforderlich. Diese Maßnahme kann bei Wundkontaminationen mit kurz- oder mittellebigen Isotopen, wie sie beispielsweise in der Nuklearmedizin verwendet werden, unterbleiben.

Kombination von Strahlenschäden und konventionellen Verletzungen

Die kombinierten Schäden können sowohl bei Reaktorstörfällen oder -unfällen, wie auch durch Einsatz von nuklearen Waffen bei kriegerischen Auseinandersetzungen auftreten. Dabei kann es beispielsweise zu Kombinationen aus lokaler oder generalisierter Überbestrahlung plus Brandverletzung oder aber Schußbruch plus Kontamination und Inkorporation kommen. Bei konventionellen Verletzungen mit Strahlenschäden ist die chirurgische Sofortbehandlung innerhalb des ersten Tages anzustreben. Während die reparative

Chirurgie noch bis zum 4. Tag nach dem Strahleninsult möglich ist, muß ab dem 5. Tag nach der Strahlenexposition mit Komplikationen des blutbildenden und gastrointestinalen Systems gerechnet werden (Störung der Haemato- und Lymphocytopoese, Thrombocytopenie mit erhöhter Blutungsneigung) [8]. Als Faustregel gilt, daß bei Kombinationsschäden die schwere konventionelle Verletzung, z.B. spritzende Blutung oder Eröffnung einer der großen Körperhöhlen, aus vitaler Indikation vorrangig behandelt wird.

Die Kombination aus Verbrennung und Kontamination bedarf als Erste Hilfe-Maßnahme einer intensiven Spülung unter fließendem Wasser. Im Rahmen der ersten ärztlichen Maßnahmen kann die Dekontamination der Brandverletzung gegebenenfalls in Narkose durch Waschungen mit physiologischer Kochsalzlösung fortgesetzt werden. Das Ausmaß und der Schweregrad der Verbrennung bestimmen die Intensität der Dekontaminationsmaßnahmen.

Medizinische Notfallschutzplanung bei Kernkraftwerkstörfällen und -unfällen

Die Bereitstellung von personellen und räumlichen Kapazitäten bei Kernkraftwerkstörfällen und -unfällen muß sich an dem potentiellen Ereignisablauf orientieren. Dabei ist zwischen den Notfallschutzmaßnahmen durch den Betreiber eines Kernkraftwerkes (Alarmplan für Betriebsangehörige) und den Katastrophenschutzplänen der Behörden (Bund und Länder) zu unterscheiden. Diese Abstufung ist auf das Ausmaß eines Vorkommnisses ausgerichtet. Für die medizinische Notfallschutzplanung sei daher zunächst eine Definition einzelner Ereignisse vorangestellt.

Kernkraftwerkstörfälle

Unter Störfällen versteht man Ereignisabläufe, bei deren Eintreten der Betrieb der Anlage oder die Tätigkeit aus sicherheitstechnischen Gründen nicht fortgeführt werden kann und für die die Anlage ausgelegt ist oder für die bei der Tätigkeit vorsorglich Schutzvorkehrungen vorgesehen sind.

Das schwerste Ereignis in dieser Kategorie ist der doppelendige Bruch der Hauptkühlmittelleitung, ein kompletter Rundabrisßbruch mit Verschiebung der beiden Bruchenden gegeneinander und Austritt des Kühlmittels.

Das Kernkraftwerk ist so ausgelegt, daß bei Eintritt auch dieses Ereignisses die Folgen auf das Areal der Anlage begrenzt bleiben. Die Notfall-schutzmaßnahmen des Betreibers der Anlage sind für diesen Fall ausreichend. Strahlenschädigungen innerhalb der Belegschaft sind möglich. Ihre Anzahl ist überschaubar. Der Grad der Schädigung kann zwischen leicht und schwer variieren.

Für die Bevölkerung der Umgebung einer Anlage darf die Erwartungsdosis (dose commitment) bei Reaktorstörfällen maximal 5 rem in 50 Jahren, bezogen auf den Ganzkörper, betragen. Für die Schilddrüse wird die Erwartungsdosis auf 15 rem in 50 Jahren begrenzt.

Für Reaktorstörfälle besteht ein Dreistufenplan, dessen erste Stufe die Erste Hilfe am Unfallort durch den geschulten Laien bzw. den Vertragsarzt des Kernkraftwerks vorsieht. Dahinter geschaltet sind in der zweiten Stufe sogenannte Regionale Strahlenschutzzentren, die über eine gute personelle und apparative Ausstattung verfügen. Sie können bei mittelschweren und schweren Strahlenunfällen von dem Vertragsarzt des Kernkraftwerks konsiliarisch hinzugezogen werden oder aber die Weiterbetreuung der Strahlengeschädigten übernehmen.

Nachfolgende Institutionen wurden von den Berufsgenossenschaften als Regionale Strahlenschutzzentren benannt [9]:

Regionales Strahlenschutzzentrum
Abt. Strahlentherapie und Abt. Nuklearmedizin
im Allgemeinen Krankenhaus St. Georg
Lohmühlenstraße 5
2000 Hamburg 1
Telefon 040/24829 - 2371
24829 - 2362

Regionales Strahlenschutzzentrum
Medizinische Hochschule Hannover
Abt. IV: Nuklearmedizin und spezielle Biophysik
Karl-Wichert-Allee 9
3000 Hannover 61
Telefon: 0511/532 - 3197

Regionales Strahlenschutzzentrum
Institut für Medizin der Kernforschungsanlage Jülich GmbH
5170 Jülich 1
Telefon: 02461/61 - 5763
 61 - 5852
 61 - 5222

Regionales Strahlenschutzzentrum
Abteilung für Nuklearmedizin der Radiologischen Klinik
- Universitätskliniken im Landeskrankenhaus -
6650 Homburg/Saar
Telefon: 06841/16 - 2201
 16 - 3305

Regionales Strahlenschutzzentrum
Kernforschungszentrum Karlsruhe
7500 Karlsruhe 1
Telefon: 07247/82 - 3333

Regionales Strahlenschutzzentrum
Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung
Post Schleißheim, Ingolstädter Landstraße 1
8042 Neuherberg
Telefon: 089/3874 - 333

Für die Behandlung der schweren Strahlenunfälle, einschließlich des akuten Strahlensyndroms, sieht der Plan die Einweisung in die folgende zentrale Behandlungsstätte vor:

Spezialabteilung zur stationären Behandlung
bei schweren Strahleneinwirkungen,
Berufsgenossenschaftliche Unfallklinik Ludwigshafen
- Spezialabteilung für schwere Verbrennungen -
Pfennigsweg 13
6700 Ludwigshafen/Rh.-Oggersheim
Telefon: 0621/68101

Kernkraftwerkunfall

Hierbei handelt es sich um einen angenommenen Ereignisablauf, der über das Ausmaß der Auslegungsstörfälle hinaus geht und die Bevölkerung in die Folgen des Geschehnisses einbeziehen würde. Dieses Vorkommnis beinhaltet eine Überschreitung der für Störfälle festgelegten Grenzwerte der Erwartungsdosen für die Bevölkerung. Ein Reaktorunfall ist zwar denkbar, aber nach den Erkenntnissen der Deutschen Risikostudie nur mit äußerst kleiner Wahrscheinlichkeit möglich. Dieses minimale Restrisiko ist nicht kalkulierbar [10].

Die Ausrichtung der medizinischen Maßnahmen muß sich an diesen Fakten orientieren. Dazu bedarf es der Einbeziehung eines großen Teils des bereits vorhandenen personellen, räumlichen und apparativen Potentials in der Bundesrepublik Deutschland.

Es wird die Einteilung der Umgebung kerntechnischer Anlagen in drei Zonen zur Abgrenzung vorbereitender Maßnahmen in leicht veränderter Form zugrunde gelegt [10, 11]:

Zentralzone: Umkreis mit einem Radius von 2 km von der Unfallstelle und einem 30° Sektor, der sich von der Zentralzone in Windrichtung 8 km in die Mittelzone erstreckt.

Mittelzone: Umschließt die Zentralzone; Umkreis mit einem Radius bis zu 10 km von der Unfallstelle.

Außenzone: Umschließt die Mittelzone; Umkreis mit einem Radius bis zu 25 km von der Unfallstelle.

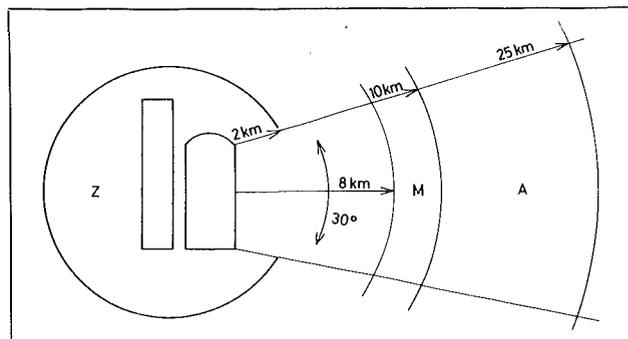


Abb. 2: Zentralzone (Z) mit 30° -Sektor von 8 km Länge in Windrichtung, Mittel- (M) und Außenzone (A).

Die medizinischen Notfallschutzmaßnahmen bei einem Reaktorunfall gehen von der hier zu unterstellenden Annahme aus, daß größere Bevölkerungsteile in die Folgen des Ereignisablaufs einbezogen werden. Das Spektrum der zu erwartenden Strahlenschäden kann alle Schweregrade umfassen. Zahlenmäßig ist mit hunderten bis zu mehreren tausenden von Beteiligten zu rechnen. Die Katastrophenschutzpläne der Länder sehen Maßnahmen für diesen Fall vor. Sie bestehen in erster Linie in der Aufforderung, Häuser und Keller aufzusuchen, was zu einer erheblichen Reduzierung der Strahlung führt. Eine Evakuierung der Zentralzone und des 30° Sektors erfolgt 8 Stunden nach dem Aufsuchen der Häuser. Bis zu einer Entfernung von 25 km vom Unfallort und in Windrichtung kann das Verbleiben in Häusern bis mindestens 14 Stunden mit anschließender schneller Umsiedlung innerhalb eines Tages erforderlich werden. Dem für diese Maßnahmen definierten Sektor von 30° , der von der Zentral- über die Mittel- bis zur Außenzone reichen kann, liegt eine Knochenmarkdosis von ≥ 100 rad in 7 Tagen zugrunde. Die Verweildauer in den Häusern wird abgeleitet von der Abtrift der radioaktiven Wolke. Für die Evakuierung existieren vorbereitete Pläne, die Umsiedlung dagegen ist eine Bevölkerungsbewegung ohne vorbereitete Pläne.

Für die reibungslose und kontinuierliche Durchführung der medizinischen Maßnahmen sind drei Ebenen vorgesehen [12]:

- a) Erste Hilfe Stationen,
- b) Basiskliniken,
- c) Spezialkliniken.

Erste Hilfe Stationen

Erste Hilfe Stationen sind Auffangstationen an den wichtigsten Ausfallstraßen am äußeren Bereich der Mittelzone, mindestens 10 km in entgegengesetzter Windrichtung vom Unfallort entfernt. Als Vorbedingung gelten gute Zufahrtswege, fester Untergrund und Wasser in ausreichender Menge. Als Räumlichkeiten kommen vorwiegend solche Gebäude in Frage, die bereits mit Duschanlagen ausgestattet sind. Geeignet sind öffentliche Gebäude,

Schulen, Turnhallen, die Sanitäreanlagen größerer Fußballvereine, die Einrichtungen von Schwimmbädern sowie mobile Erste Hilfe Einheiten der Bundeswehr (ABC-Einheiten) mit transportablen Duschanlagen.

Die Aufgaben der Ersten Hilfe Stationen richten sich nach den zu erwartenden Strahlenunfällen. Bei der Emission radioaktiver Substanzen sind vier Belastungspfade anzunehmen:

1. Bestrahlung durch die radioaktive Wolke;
2. durch die am Boden befindliche Radioaktivität infolge der Direktstrahlung auf den Körper;
3. durch Inhalation radioaktiven Materials;
4. durch Ingestion radioaktiven Materials (Verzehr von radioaktiv verunreinigten Lebensmitteln).

Die Einwirkungen 1 und 2 stellen eine äußere Strahlenbelastung dar, während die Belastungspfade 3 und 4 zur inneren Strahlenexposition führen.

Den Erste Hilfe Stationen obliegt es, die Differenzierung der eintreffenden Personen nach physikalischen Meßdaten, anamnestischen Angaben und klinischen Symptomen vorzunehmen.

Als physikalische Differenzierungskriterien kommen Orts- und Personendosimetrie sowie Meßwerte der radioaktiven Beaufschlagung der Umgebung in Frage.

Die medizinischen Differenzierungskriterien ergeben sich aus der Erhebung einer Anamnese mit gezielter Befragung nach Aufenthaltsort und Aufenthaltsdauer im Krisengebiet sowie der Feststellung der klinischen Leitsymptomatik bei Strahlenunfällen wie Combustio erythematosa, Combustio bullosa, Combustio escharotica, Nausea, Emesis, Diarrhoen und Strahlenschock.

Zur schnelleren Abwicklung der Befragung wird ein standardisiertes Begleitformular benutzt (s. Anlage 2). Die reibungslose Durchführung dieser Erstmaßnahmen bedingt eine gute Kommunikation mit der Katastrophenschutzleitungsleitung, die die entsprechenden physikalischen Meßwerte (Orts- und Personendosimetriewerte sowie Kontaminationswerte der Umgebung) den Erste Hilfe Stationen mitteilt.

Eine weitere Funktion der Ersten Hilfe Stationen ist die Weiterleitung der Strahlenunfälle in Sammel-¹ bzw. Evakuierungsstellen², in die übergeordneten Basiskliniken oder in sogenannte Spezialkliniken. Zur Sichtung dienen die Kategorien:

- a) Leichte Strahlenunfälle,
- b) mittelschwere Strahlenunfälle,
- c) schwere Strahlenunfälle.

Eine weitergehende Differenzierung, insbesondere der mittelschweren und schweren Strahlenunfälle, bleibt den Basiskliniken bzw. den Spezialkliniken vorbehalten.

Für den Transport der betroffenen Personen können je nach Schweregrad des Strahlenunfalls eigene Pkw's oder großräumige Transportmittel wie Busse und Lastwagen (Armeefahrzeuge) eingesetzt werden.

Für die Einordnung der Personen in die Kategorien "leichte", "mittelschwere" und "schwere Strahlenunfälle" werden Kriterien verwendet, die sich an den

¹ Sammelstelle:
Von der Katastrophenschutzleitung der Ersten Hilfe Station zu benennender Sammelplatz (im Sommer z.B. Sportplätze etc.) oder öffentliche Gebäude (Turnhallen, Schulen) zum Sammeln der leichten Strahlenunfälle.

² Evakuierungsstellen:
Von der Katastrophenschutzleitung zu benennende Hotels, Pensionen und ähnliche Einrichtungen zur vorübergehenden Unterbringung von leichten Strahlenunfällen.
Auch Aufenthaltsorte bei Verwandten und Bekannten außerhalb der Außenzone.

eingangs dargestellten fünf potentiellen Formen einer Strahlenbelastung orientieren. Dabei wird zu berücksichtigen sein, daß in dem hier zu besprechenden Ereignisablauf lediglich ein Grobraster für die Differenzierung und die sich daraus ergebenden Maßnahmen im Bereich der Erste Hilfe Stationen verwendet werden kann.

Die Siebtestkriterien sollen im folgenden kurz besprochen werden.

Sichtungskriterien für Kontaminationen und die zu treffenden Dekontaminationsmaßnahmen:

1. Kleidung, Kopf und Hände nicht meßbar kontaminiert.

Einstufung: "Leichter Strahlenunfall" (Strahlenszwischenfall).

Therapie: Nicht erforderlich.

Erstmaßnahmen: Weiterleitung zur Sammel- bzw. Evakuierungsstelle.

2. Kleidungsstücke kontaminiert.

Erstmaßnahmen: Ausmessung und Ablegen der kontaminierten Kleidungsstücke in hierfür vorgesehene Behältnisse.

Ausmessung der Körperoberfläche mit Großflächenproportionalzähler.

Bei β -Aktivität mit einer Impulszählrate bis zu 66 000 Imp./min./cm²
(= 0,1 μ Ci/cm²)

(bei α -Aktivität \approx 1 000 Imp./min./cm²)

Einstufung: "Leichter Strahlenunfall" (Strahlenszwischenfall).

Therapie: Einmal gründlich ca. 3 Minuten lang duschen lassen.

Verabfolgung frischer Kleidung.

Weitere Maßnahmen: Weiterleitung zur Sammel- bzw. Evakuierungsstelle.

3. Kleidungsstücke und Körperoberfläche kontaminiert.

Erstmaßnahmen: Ausmessung und Ablegen der kontaminierten Kleidungsstücke und Ausmessung der Körperoberfläche mit Großflächenproportionalzähler.

Bei β -Aktivität $> 66\ 000$ Imp./min./cm² ($= > 0,1$ μ Ci/cm²),
(bei α -Aktivität $> 1\ 000$ Imp./min./cm²)

Einstufung: "Leichter Strahlenunfall".

Therapie: Ganzkörperduschung, 3 bis 4 Minuten lang. Anschließend Nachmessung. Abschluß der Dekontaminationsmaßnahmen, wenn die Gefahr einer Weiterverbreitung von Kontamination nicht mehr besteht.
Ausgabe frischer Kleidung.

Weitere Maßnahmen: Weiterleitung zur Sammel- bzw. Evakuierungsstelle.

Inkorporationen

Bei unkontrolliertem Austritt von Aktivität im Unfallgeschehen werden in der Frühphase der Emissionen überwiegend Edelgase und Jodisotope emittiert, wobei Jod-131 als Leitisotop für die prognostische Einschätzung der Schwere einer Inkorporation und die zu treffenden medizinischen Erstmaßnahmen dienen kann.

Inkorporationsdiagnostische Erstmaßnahmen:

Messung an der Thyreoidea mit einem γ -Dosisleistungsmeßgerät (geeignet sind Geräte der Firmen Automess und Graetz).

Einstufung:

Da davon auszugehen ist, daß es sich vorwiegend um Jod- und Edelgasinkorporationen handelt, kann das Meßergebnis an der Thyreoidea als Kriterium dafür, ob überhaupt eine nennenswerte Inkorporation vorliegt, herangezogen werden, da die langlebigen Radioisotope wie Strontium, Caesium und Transurane erst zu einem späteren Zeitpunkt und prozentual geringer emittiert werden.

Wird eine Dosis von > 20 mRöntgen/h an der Schilddrüse gemessen, so entspricht dies einer Jodinkorporation von ca. 130 μ Ci, was zu einer Strah-

lendosis von ca. 260 rem für Jod-131 in der Schilddrüse führt. Dieser Meßgrenzwert läßt sich mit hinreichender Sicherheit mit den verwendeten Dosisleistungsmeßgeräten erfassen. Zur weiteren Abklärung des Befundes ist die Überweisung in eine Basisklinik angezeigt.

Therapeutische Erstmaßnahmen bei Inkorporationen

Allgemein:

Mund-Nasen-Rachenspülungen. (Zähneputzen unter Verwendung von reichlich Zahnpasta mit anschließender Nachspülung der Mundhöhle.)

Speziell:

Therapieschema für die Blockierung der Schilddrüse im Hinblick auf die Verhinderung der Einlagerung von radioaktivem Jod in die Schilddrüse:

Jodtabletten¹ per os für [13]

Erwachsene (auch Schwangere)	Kinder	Kleinkinder und Säuglinge
Anfangsdosis 200 mg;	Anfangsdosis 100 mg;	täglich 50 mg
danach zur Erhaltung eines weitgehend konstanten Plasmaspiegels alle 8 Stunden 100 mg	50 mg	bis zu einer Gesamtdosis von 200 mg
bis zu einer Gesamtdosis von 1000 mg	bis zu einer Gesamtdosis von 500 mg	
innerhalb von 3 - 4 Tagen	innerhalb von 3 - 4 Tagen	

Dauer der Anwendung kann gegebenenfalls verlängert werden.

¹ Compretten Kalium jodatum, Tablette zu 0,1 g Kaliumjodid (Cascan)

Echte Kontraindikationen für die Jodmedikation bestehen dann, wenn durch Jodeinnahme eine unmittelbare medikamentös ausgelöste schwere Krise nicht auszuschließen ist. Hierzu zählen:

1. Dermatitis herpetiformis Duhring;
2. echte Jodallergie (Allergien gegen Röntgen-Kontrastmittel sind häufig keine Jodallergien, sondern solche gegenüber dem Kontrastmittel als solchem);
3. große Strumen mit beträchtlicher Einengung der Trachea;
4. unbehandelte autonome Adenome der Schilddrüse.

Möglichkeiten der Schilddrüsenblockade durch andere Medikation bei Kontraindikation gegen die Einnahme von Jod:

Natriumperchlorat, im Handel erhältlich als
Irenat Tropfen (Tropon)

oder

Kaliumperchlorat 200 mg Tabletten (Baer)

Dosierung:

Anfangsdosis 500 mg per os,

im Abstand von 8 Stunden jeweils 300 mg per os.

Die Dauer der Medikation richtet sich nach der jeweiligen Unfallsituation. Die Dosierung wird nur für Erwachsene angegeben, da Kontraindikationen für Jodapplikation bei Kindern nicht bestehen.

Bei Inkorporation per Ingestion mit Strontium Hemmung der Resorption aus dem Darm durch perorale Applikation eines Gemisches von Barium-, Natrium- und Magnesiumsulfat (Einzeldosis).

Dosierung:

100 g Bariumsulfat (Präparatename: Liquibarin¹) per os,

bis 20 g Natriumsulfat (Glaubersalz) per os,

bis 20 g Magnesiumsulfat (Bittersalz) per os.

¹ Liquibarin, Hersteller: Norgine GmbH, 3550 Marburg/Lahn
Vertrieb: Knoll AG, 6700 Ludwigshafen

Bei Inhalation von Strontiumisotopen perorale Applikation von

Manucol SS/LD/2¹,

2mal täglich 10 g in 200 ml Aqua dest. gelöst, mit
Geschmackskorrigenzien als Zusatz.

Bei Inkorporation mit Caesium Einleitung der Ausscheidungsintensi-
vierung durch perorale Verabfolgung von

Radiogardase-CS² bis 3 g/die

zur Hemmung des enteroenteralen Kreislaufs von Caesium.

Die Behandlung einer Inkorporation mit Transuranen spielt für die Erste
Hilfe Stationen eine untergeordnete Rolle, da in der Frühphase des Reak-
torunfalls noch keine Transuraneisotope wie beispielsweise Plutonium,
Americium etc. freigesetzt werden. Dennoch sei der Vollständigkeit halber
in Bezug auf weitere Antidote auf das Kapitel "Therapie der Inkorpora-
tionen" im ersten Teil dieser Ausführungen verwiesen.

Äußere lokale Strahlenüberexpositionen

Combustio erythematosa, eingestrahelte Dosis < 1000 rem.

Einstufung: "Leichter Strahlenunfall"

Erstmaßnahmen: Steriler Puderverband;

Weiterleitung zur Sammel- bzw. Evakuierungsstelle.

Combustio bullosa, eingestrahelte Dosis > 1000 rem.

Einstufung: "Mittelschwerer Strahlenunfall"

Erstmaßnahmen: Kälteapplikation lokal (z.B. Eisblase, kaltes Wasser);
Einweisung in Basisklinik zur fachärztlichen Weiterbe-
handlung.

¹ Manucol SS/LD/2, Hersteller: Alginate Industries Ltd., London.

² Radiogardase-CS, Hersteller: Heyl & Co., 1000 Berlin 37.

Vertrieb: Knoll AG, 6700 Ludwigshafen.

Combustio escharotica, eingestrahlte Dosis > 3000 rem.

Einstufung: "Schwerer Strahlenunfall"

Erstmaßnahmen: Eisblase an die bestrahlten Stellen;
Einweisung in Basis- oder Spezialklinik zur fachärztlich
stationären Weiterbehandlung.

Äußere generalisierte Strahlenüberexposition

Als Sichtungskriterien gelten im einzelnen:

Nausea, Emesis, Diarrhoe, Schockzustand.

Bei Verdacht des Bestehens eines oder mehrerer der genannten Symptome ist eine Ganzkörperbestrahlung von > 100 rem nicht auszuschließen.

Einstufung: "Mittelschwerer bis schwerer Strahlenunfall"

Erstmaßnahmen: Flachlagerung, schonender und schneller Transport zur
Basis- oder Spezialklinik zwecks weiterer Abklärung des
Befundes und Durchführung einer Behandlung.

Flankierende Maßnahmen

Zur schnelleren und reibungsloseren Abwicklung der in den Erste Hilfe Stationen anfallenden Tätigkeiten ist die Verwendung eines standardisierten Begleitformulars zur Erfassung der Personalien, der Anamnese und der Erstbefunde angezeigt (s. Anlage 2). Darüber hinaus werden die Erstmaßnahmen vermerkt. Das Begleitformular wurde so einfach wie möglich konzipiert, um Irrtümer und Verwechslungen zu vermeiden. Eine Durchschrift auf andersfarbigem Papier soll angefertigt werden, wobei das Original der betreffenden Person als Laufzettel ausgehändigt wird und der Durchschlag in der Erste Hilfe Station verbleibt.

Ferner wird empfohlen, den aus dem Krisengebiet in den Erste Hilfe Stationen eintreffenden Personen ein kurzgefaßtes Informationsblatt mit den wichtigsten Empfehlungen und Richtlinien über ihr weiteres Verhalten und den Ablauf der bei ihnen zu treffenden Maßnahmen auszuhändigen.

Die Erste Hilfe Stationen müssen personell, räumlich und apparativ so eingerichtet sein, daß etwa 10 Personen gleichzeitig versorgt werden können. Nach unseren Erfahrungen erfordert dies einen Personaleinsatz von 28 ausgebildeten Hilfskräften und 2 Strahlenschutzärzten pro Erste Hilfe Station. In Katastrophensituationen, wenn rund um die Uhr gearbeitet werden muß, wäre zusätzlich ein Schichtdienst einzuplanen, wobei rundgerechnet 1000 Personen in 24 Stunden durch eine Erste Hilfe Station geschleust werden könnten.

Die Anzahl der zu planenden und einzurichtenden Erste Hilfe Stationen richtet sich nach der Bevölkerungsdichte der Zentral- und Mittelzone. Die Stationen müssen ad hoc bei einem Unfallgeschehen nach Angabe der Katastrophenschutzleitung in den dazu bereits vorausbestimmten Gebäuden zu besetzen sein. Windrichtung und zu erwartende Beaufschlagungsgebiete bestimmen die Lokalisation der einzuberufenden Erste Hilfe Stationen. Eine gute Kommunikation zwischen Katastrophenschutz-Einsatzleitung und Erste Hilfe Stationen sowie Basis- und Spezialkliniken erfordert den Einsatz sowohl von Telefonverbindungen als auch von Sprechfunk. Spezielle Ausbildung und routinemäßige praktische Übungen für die in den Erste Hilfe Stationen vorgesehenen qualifizierten Hilfskräfte und Strahlenschutzärzte sind die Voraussetzung für eine zügige und reibungslose Abwicklung der Maßnahmen im Krisenfall.

Da Kernkraftwerkunfälle Katastrophen nationalen oder gar internationalen Ausmaßes sein können, wird die bereits gesetzlich bestehende gegenseitige grenzüberschreitende Hilfeleistung beispielsweise zwischen der Bundesrepublik Deutschland und Frankreich einerseits und der Schweiz andererseits wirksam werden, was unter anderem auch zu einer Verbesserung der personellen, räumlichen und apparativen medizinischen Infrastruktur beiträgt [14].

Basiskliniken

Während die Erste Hilfe Stationen personell, räumlich und apparativ erst geplant und einberufen werden müssen, können Basiskliniken aus dem Reser-

voir der vorhandenen Krankenhäuser und Kliniken samt ihrer personellen und technischen Infrastruktur für die Notaufnahme mittelschwerer Strahlenunfälle vorgesehen werden.

Die Basiskliniken werden definiert als Kliniken oder Krankenhäuser außerhalb der Außenzone mit entsprechender räumlicher, apparativer und personeller Infrastruktur zur Aufnahme von mittelschweren Strahlenunfällen. Hierzu geeignet sind besonders Strahlenkliniken mit Isotopenabteilungen. Im Bedarfsfall müssen darüber hinaus auch Betten von anderen medizinischen Disziplinen bereitgestellt werden.

Die Aufgaben der Basiskliniken bestehen darin, mit Hilfe ihrer guten technischen Laborausrüstung weitergehende Zusatzdiagnostik und Therapie durchzuführen. Hierzu zählen u.a. stationäre Aufnahme mit Beobachtung und Durchführung von diagnostischen und therapeutischen Maßnahmen bei mittelschweren Strahlenunfällen wie klinische Diagnostik, hämatologische Diagnostik, Ausscheidungsanalytik in Zusammenarbeit mit den entsprechenden Ausscheidungslabors von Landesinstituten und Kernforschungszentren.

Therapeutisch steht die Erstbehandlung von mittelschweren Strahlenunfällen an (ausscheidungsintensivierende Therapie bei mittelschweren Inkorporationen, Infusionstherapie, Erstversorgung von kontaminierten Wunden).

Der personelle Aufwand setzt sich zusammen aus den in den Basiskliniken bereits tätigen Ärzten (Nuklearmediziner, Röntgenologen, Internisten, Chirurgen, Laborärzte etc.). Konsiliarisch besteht die Möglichkeit, erfahrene Strahlenschutzärzte, beispielsweise aus den Regionalen Strahlenschutzzentren, heranzuziehen.

Spezialkliniken für schwere Strahlenunfälle

Hierunter sind Kliniken zu verstehen, die außerhalb der Außenzone, also mehr als 25 km von der Unfallstelle entfernt, liegen und die räumlichen und apparativen Voraussetzungen für die Aufnahme schwerer Strahlenunfälle, z.B. des akuten Strahlensyndroms, bieten. In Frage kommen in erster Linie

Kliniken für schwer Brandverletzte, Strahlen- und nuklearmedizinische Kliniken mit Isotopenabteilungen von Universitätseinrichtungen. Darüber hinaus könnten auch modern eingerichtete Intensivstationen von Großkliniken für die Aufnahme schwerer Strahlenunfälle herangezogen werden.

Die ärztliche Betreuung der schweren Strahlenunfälle ist Teamarbeit. Sie besteht in der ad hoc Einberufung von bereits bestehenden Expertenteams, die zusammen mit den an den Spezialkliniken tätigen Kollegen die zu treffenden diagnostischen und therapeutischen Maßnahmen beraten und durchführen (z.B. Knochenmarksausstrichdiagnostik, Chromosomenanalytik, Leukocyteninfusionen, Knochenmarkzelltransfusionen etc.).

Funktionsablauf zwischen den drei Ebenen der medizinischen Notfallschutzplanung

Der Schwerpunkt der Beanspruchung liegt bei den Erste Hilfe Stationen. Das Gros der eintreffenden Personen wird bereits von hier aus nach Beendigung der selektiven Diagnostik und Durchführung von Erstmaßnahmen mit einem standardisierten Begleitformular den Sammel- und Evakuierungsstellen zugewiesen werden können. Die Erste Hilfe Stationen üben daher eine Art Filterfunktion aus, so daß der Zustrom der betroffenen Personen aus dem Krisengebiet von unten nach oben, d.h. von den Erste Hilfe Stationen über die Basiskliniken zu den Spezialkliniken abnimmt.

Ausblick

Bei einem Soll-Ist-Vergleich im Hinblick auf die medizinische Notfallschutzplanung für potentielle konventionelle Katastrophen und nicht nur für den Kernkraftwerkunfall klafft noch eine beachtliche Lücke zwischen dem Istzustand und dem angestrebten Sollzustand. Die Ursache hierfür wird in einer unzureichenden Gesetzgebung gesehen. Die Bundesrepublik verfügt über ein ausreichendes Potential an Ärzten (1980: 158387 Ärzte) [15] und medizinischen Hilfskräften. Die Ausstattung mit Krankenhäusern

und Kliniken ist, abgesehen von Spezialkliniken für schwerst Brandverletzte, im Vergleich zu anderen europäischen Ländern als gut zu bezeichnen.

Es fällt auf, daß sowohl in den Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen des Bundesministers des Innern vom 12.10.1977, wie auch in den Katastrophenschutzplänen der Länder die medizinische Notfallschutzplanung nur partiell oder überhaupt nicht angesprochen wird. Die derzeitige unbefriedigende Situation der Katastrophenschutzmedizin resultiert in erster Linie aus einer Diskrepanz zwischen den in unserem Lande bereits vorhandenen personellen, räumlichen und apparativen Möglichkeiten und deren Nutzung im Katastrophenfall.

Hierzu wäre die Verabschiedung eines länderübergreifenden bundeseinheitlichen Gesundheitssicherstellungsgesetzes zwingend geboten. In ihm müssen u.a. eine praxisnahe Fachausbildung und Fortbildung von Medizinstudenten, Ärzten und medizinischem Hilfspersonal geregelt werden. In die Ablaufplanung müssen auch die Hilfsorganisationen wie z.B. Deutsches Rotes Kreuz, Arbeitersamariterbund, Johanniter-Unfallhilfe und Malteser Hilfsdienst gesetzlich und mit Weisungsgebundenheit einbezogen werden. Die Krankenhäuser müssen verpflichtet werden, auf Anforderung zusätzlich Betten und Einrichtungen sowie personelle und apparative Kapazitäten zur Verfügung zu stellen. Da es sich bei Katastrophen um Ereignisse von nationaler Bedeutung handeln kann, ist es zwingend geboten, die hierfür notwendige Gesetzgebung bundeseinheitlich und ohne Verzug in Angriff zu nehmen.

Literatur:

- [1] Bundesgesetz über die Erweiterung des Katastrophenschutzes vom 9.7.1968 und Bundesgesetz über den Zivilschutz vom 9.8.1976. (Zitat aus: R. Hess: Regelungslücken im Katastrophenschutz. Deutsches Ärzteblatt, Heft 8, Februar 1980, S. 473).
- [2] Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen. Bek. d. BMI v. 17.10.1977 - RS II 2 - 515930 - 1/2 -. GMBI 1977 Nr. 31.
- [3] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen vom 13. Oktober 1976. Bundesgesetzblatt, 1976, Teil I, Nr. 125.
- [4] Catsch, A.: Dekorporierung radioaktiver und stabiler Metallionen. Therapeutische Grundlagen. Verlag Karl Thieme KG., München, 1968.
- [5] Volf, V.: Praktische Möglichkeiten der Dekorporationsbehandlung. In: Betriebsärztlicher Strahlenschutz aus ärztlicher Sicht. Grundlagen und Praxis des Strahlenschutzes in der Medizin. Strahlenschutz in Forschung und Praxis, Band XVII, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1977, S. 35-46.
- [6] Rajewsky, B.: Strahlendosis und Strahlenwirkung. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1956.
- [7] Fliedner, T.M.; Haen, M.; Carbonell, F.: Pathogenese und Symptomatik des akuten Strahlensyndroms. In: Industrielle Störfälle und Strahlenexposition, I. Stör- und Unfälle in der Kernindustrie, II. Inkorporation und Dekorporation von Radionukliden, III. Medizinische Versorgung von Strahlenunfallpatienten. Strahlenschutz in Forschung und Praxis, Band XXI, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1980, S. 180-192.
- [8] Messerschmidt, O.: Kombinationsschäden als Folge nuklearer Explosionen. Zivilschutz-Forschung, Band 5, Schriftenreihe der Schutzkommission beim Bundesminister des Innern, herausgegeben vom Bundesamt für Zivilschutz, 1977.
- [9] Merkblatt Erste Hilfe bei erhöhter Einwirkung ionisierender Strahlen. Herausgegeben vom Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V., Bonn. Ausgabe Oktober 1979. Heymanns Verlag, Köln.
- [10] Deutsche Risikostudie, Kernkraftwerke. Eine Untersuchung zu dem durch Störfälle in Kernkraftwerken verursachten Risiko. Hrsg. vom Bundesminister für Forschung und Technologie. Verlag TÜV Rheinland GmbH., Köln, 1979.
- [11] Katastrophenschutzplanung in der Umgebung kerntechnischer Anlagen. Energiediskussion Heft 4 (1978), S. 24-26.

- [12] Ohlenschläger, L.: Medizinische Notfallschutz-Planung bei großen Kernkraftwerk-Störfällen. Fortschritte der Medizin 98. Jg. (1980), Nr. 30-31, S. 1159-1165.
- [13] Merkblatt für Ärzte zur Verwendung von Jodtabletten bei einem kerntechnischen Unfall. Jodmerkblatt C des Bundesinnenministeriums, Stand 1.7.1980.
- [14] Gesetz zu dem Abkommen vom 3. Februar 1977 zwischen der Bundesrepublik Deutschland und der Französischen Republik über die gegenseitige Hilfeleistung bei Katastrophen oder schweren Unglücksfällen, vom 14. Januar 1980. Bundesgesetzblatt, Teil II, Nr. 3, Z 1998 AX, 18. Januar 1980.
- [15] Deneke, J.F.V.; Thust, W.: Die ärztliche Versorgung in der Bundesrepublik Deutschland. Ergebnisse der Ärztestatistik zum 31. Dezember 1979. Deutsches Ärzteblatt 77, 22 (1980), S. 1467.

Einteilung der Ganzkörperbestrahlten nach klinischen und laborchemischen Befunden in 4 Gruppen unter Berücksichtigung der geschätzten Dosen und der Prognosen (modifiziert nach Fliedner)

Prognosen	Klinische Symptome u. laborchem. Befunde	Geschätzte Dosen
1 Restitutio ad integrum sicher	∅	1 - 100 rad
2 Restitutio ad integrum wahrscheinlich	<u>Leichte Form des akuten Strahlensyndroms</u> Prodromale Nausea (klingt nach einigen Tagen wieder ab). Vereinzelt Erbrechen. Leichte Form einer Störung der Hämato- u. Lymphocytopoese: Lymphocytopenie. Normale oder erhöhte Granulocyten. Normale Thrombocyten.	100 - 200 rad Im Vordergrund: Blutbildendes System
3 Restitutio ad integrum möglich	<u>Schwere Form des akuten Strahlensyndroms</u> 1. Ausgeprägte Störung der Hämato- u. Lymphocytopoese; Thrombocytopenie ab 4. Woche. 2. Schäden des gastrointestinalen Epithels mit Erbrechen und Durchfällen innerhalb der ersten Stunden.	200 - 500 rad Im Vordergrund: Blutbildendes System und gastro-intestinales System
4 Restitutio ad integrum bei Dosen bis 1000 rad möglich, darüber unwahrscheinlich	<u>Schwerste Form des akuten Strahlensyndroms</u> 1. Gastrointestinale Insuffizienz: Erbrechen, Durchfälle (blutig). 2. Herzkreislaufversagen. 3. ZNS-Schäden. 4. Zusammenbruch des blutbildenden und lymphatischen Systems. 5. Strahlenschock.	500 - 3000 rad Im Vordergrund: Gastrointestinales und cardio-vasculärcerebrales System

Begleitformular

1. Name:..... Vorname:.....
 Geburtsdatum:.....

2. Wohnort:.....
 Aufenthaltsort:.....
 Dauer des Aufenthaltes, a) im Freien:..... b) im Gebäude:.....

3. Anamnestisch-klinische Leitsymptomatik:

- Übelkeit
- Erbrechen
- Durchfall
- Hautrötungen
- Strahlenschock

4. Befunde:

- Kontamination
- Inkorporation
- kontaminierte Verletzung
- äußere lokale Strahlenüberexposition
- äußere generalisierte Strahlenüberexposition
- Kombinationsschäden

5. Maßnahmen:

- Dekontamination
- Jod-Prophylaxe
- therapeutische Erstmaßnahmen bei Inkorporation von Strontium (Ingestion)
- Strontium (Inhalation)
- Caesium (Inhalation/Ingestion)
- konservativ chirurgische Wunderstbehandlung

6. Weiterleitung zur:

- Sammelstelle
- Evakuierungsstelle
- Basisklinik
- Spezialklinik

Datum:

.....
 Unterschrift des Arztes