Kernforschungszentrum Karlsruhe
Medizinische Abteilung
Dr. med. L. Ohlenschläger

XV Medizinische Notfallschutzplanung bei Kernkraftwerkstörfällen und -unfällen

von L. Ohlenschläger

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 Rundabrißbruch 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 Notfallschutzmaßnahmen 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. Dahintergeschaltet 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 [1]:

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 [2].

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 [2, 3]:

Zentralzone: Umkreis mit einem Radius von 2 km von der Unfallstelle und einem 30^0 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.

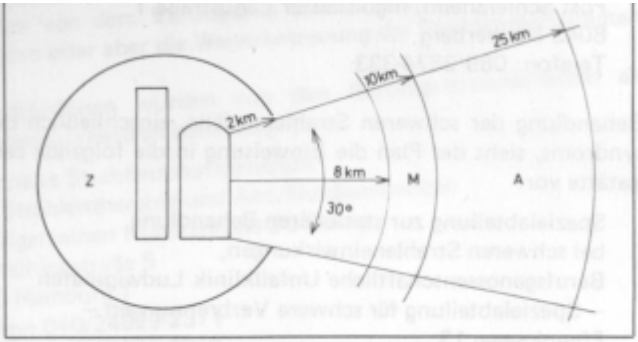

Abb. 1: Zentralzone (Z) mit 30°-Sektor von 8 km Länge in Windrichtung, Mittel- (M) und Außenzone (A).

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 30^0 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 30^0, 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 [4]:

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

Die Aufgaben der Erste 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 1). Die reibungslose Durchführung dieser Erstmaßnahmen bedingt eine gute Kommunikation mit der Katastrophenschutzeinsatzleitung, die die entsprechenden physikalischen Meßwerte (Orts- und Personendosimetriewerte sowie Kontaminationswerte der Umgebung) den Erste Hilfe Stationen mitteilt.

Eine weitere Funktion der Erste Hilfe Stationen ist die Weiterleitung der Strahlenunfälle in Sammel-[1] bzw. Evakuierungsstellen[2], 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 folgenden fünf potentiellen Formen einer Strahlenbelastung orientieren:

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.

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" (Strahlenzwischenfall).
   Therapie: Nicht erforderlich.
   Erstmaßnahmen: Weiterleitung zur Sammel- bzw. Evakuierungsstelle.

[1] Sammelstelle:
Von der Katastrophenschutzleitung der Erste 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.

2. Kleidungsstücke kontaminiert.
   Erstmaßnahmen: Ausmessung und Ablegen der kontaminierten Kleidungsstücke in hierfür vorgesehene Behältnisse.
   Ausmessung der Körperoberfläche mit Großflächenproportionalzähler.
   Bei ß-Aktivität mit einer Impulszählrate bis zu 66.000 Imp./min./cm^2 (= 0,1 μCi/cm^2)
   (bei α-Aktivität ≅ 1.000 Imp./min./cm^2)
   Einstufung: „Leichter Strahlenunfall" (Strahlenzwischenfall).
   Therapie: Einmal gründlich ca. 3 Minuten lang duschen lassen.
   Verabfolgung frischer Kleidung.
   Weitere Maßnahmen: Weiterleitung zur Sammel- bzw. Evakuierungsstelle.

3. Kleidungsstücke und Körperoberfläche kontaminiert.
   Erstmaßnehmen: Ausmessung und Ablegen der kontaminierten Kleidungsstücke und Ausmessung der Körperoberfläche mit Großflächenproportionalzähler.
   Bei ß-Aktivität > 66.000 Imp./min./cm^2 (=> 0,1 μCi/cm^2),
   (bei α-Aktivität > 1.000 Imp./min./cm^2)
   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 μCi, was zu einer Strahlendosis 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.)

Medikamentös:

Die medikamentöse Therapie verfolgt zwei Ziele:

Erstens die Hemmung der Resorption eines Radionuklids bzw. die Blokkierung 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 Ditripentat-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 Metalcaptase 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 [5, 6].
Die Behandlung einer Inkorporation mit Transuranen spielt jedoch für die Erste Hilfe Stationen eine untergeordnete Rolle, da in der Frühphase des Reaktorunfalls noch keine Transuranisotope wie beispielsweise Plutonium, Americium etc. freigesetzt werden.

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

Jodtabletten[1] per os für [7]

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

[1] Kalium jodatum Compretten, Compr. 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 Kontraindikationen 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: Liquibarin[1]) per os,
bis 20 g Natriumsulfat (Glaubersalz) per os,
bis 20 g Magnesiumsulfat (Bittersalz) per os.

Bei Inhalation von Strontiumisotopen perorale Applikation von
Manucol SS/LD/2[2],
2mal täglich 10 g in 200 ml Aqua dest. gelöst, mit Geschmackskorrigenzien als Zusatz.

Bei Inkorporation mit Caesium Einleitung der Ausscheidungsintensivierung durch perorale Verabfolgung von
Radiogardase-CS[3] bis 3 g/die
zur Hemmung des enteroenteralen Kreislaufs von Caesium.

Äußere lokale Strahlenüberexpositionen

Combustio erythematosa, eingestrahlte Dosis < 1000 rem.
Einstufung: „Leichter Strahlenunfall"
Erstmaßnahmen: Steriler Puderverband;
Weiterleitung zur Sammel- bzw. Evakuierungsstelle.

Combustio bullosa, eingestrahlte Dosis > 1000 rem.
Einstufung: „Mittelschwerer Strahlenunfall"
Erstmaßnahmen: Kälteapplikation lokal (z.B. Eisblase, kaltes Wasser);
Einweisung in Basisklinik zur fachärztlichen Weiterbehandlung.

Combustio escharotica, eingestrahlte Dosis > 3000 rem.
Einstufung: „Schwerer Strahlenunfall"
Erstmaßnahmen: Eisblase an die bestrahlten Stellen;
Einweisung in Basis- oder Spezialklinik zur fachärztlich stationären Weiterbehandlung.

[1] Liquibarin, Hersteller: Norgine GmbH, 3550 Marburg/Lahn
[2] Manucol SS/LD/2, Hersteller: Alginate Industries Ltd., London
[3] Radiogardase-CS, Hersteller: Heyl & Co., 1000 Berlin 37.

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 1). 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 Katastrophenschutzeinsatzleitung 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 [8].

Basiskliniken
Während die Erste Hilfe Stationen personell, räumlich und apparativ erst geplant und einberufen werden müssen, können Basiskliniken aus dem Reservoir 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 besondere 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. Knochenmarkausstrichdiagnostik, Chromosomenanalytik, Leukozyteninfusionen, 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 Filterfunktionen 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 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) [9] 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 teilweise angesprochen wird. Neuerdings ist in einem Rundschreiben des Bundesministers des Inneren vom 9. März 1981 eine Ergänzung über die Maßnahmen zur medizinischen Betreuung der Bevölkerung bei Kernkraftwerkunfällen veröffentlicht worden [10].

Die Verabschiedung eines länderübergreifenden bundeseinheitlichen Gesundheitssicherstellungsgesetzes wäre angebracht. In ihm müßte u.a. eine praxisnahe Fachausbildung und Fortbildung von Medizinstudenten, Ärzten und medizinischem Hilfspersonal geregelt werden. In die Ablaufplanung sollten
auch die Hilfsorganisationen wie z.B. Deutsches Rotes Kreuz, Arbeitersamariterbund, Johanniter-Unfallhilfe und Malteser Hilfsdienst gesetzlich und mit Weisungsgebundenheit einbezogen werden. Die Krankenhäuser sollten 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, sollte die hierfür notwendige Gesetzgebung bundeseinheitlich und ohne Verzug in Angriff genommen werden.

Literatur

[1] Merkblatt Erste Hilfe bei erhöhter Einwirkung ionisierender Strahlen. Herausgegeben vom Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V., Bonn. Ausgabe Oktober 1979. Heymanns Verlag, Köln.

[2] 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.

[3] Katastrophenschutzplanung in der Umgebung kerntechnischer Anlagen. Energiediskussion Heft 4 (1978), S. 24 - 26.

[4] Ohlenschläger, L.: Medizinische Notfallschutz-Planung bei großen Kernkraftwerk-Störfällen. Fortschritte der Medizin 98. Jg. (1980), Nr. 30 - 31, S. 1159 - 1165.

[5] Catsch, A.: Dekorporierung radioaktiver und stabiler Metallionen. Therapeutische Grundlagen. Verlag Karl Thiemig KG., München, 1968.

[6] 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. Thieme, Stuttgart, 1977, S. 35 - 46.

[7] Merkblatt für Ärzte zur Verwendung von Jodtabletten bei einem kerntechnischen Unfall. Jodmerkblatt C des Bundesinnenministeriums, Stand 1.7.1980.

[8] 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.

[9] 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.

[10] RdSchr. v. 9.3.81, Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen; Ergänzung: Maßnahmen zur medizinischen Betreuung im Rahmen des Katastrophenschutzes in der Umgebung kerntechnischer Anlagen. Gemeinsames Ministerialblatt, Hrsg.: Bundesminister des Innern, Bonn, 32. Jg., Nr. 13, Ausgabe A, vom 29. April 1981, S. 188 - 191.

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

Fachbereich Innere Medizin,
Abteilung Hämatologie-Onkologie
Evang. Krankenhaus Essen-Werden
Professor Dr.med. F. Wendt

XVI Die stationäre Behandlung Strahlengeschädigter

von F. Wendt

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

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

II. Personen, die innerhalb der ersten 24 bis 48 Stunden stärkere subjektive Symptome (Übelkeit und Erbrechen) und eine mäßig-gradige Lymphopenie (um 1000/Mikroliter) im Blutbild aufweisen, werden eine gefährlichere Form des Strahlensyndroms jenseits der 2. Woche entwickeln und haben unter Einsatz konventioneller Substitutions- und evtl. hämatologischer Intensivtherapie eine gesicherte Chance.

III. Personen, die in den ersten 24 bis 48 Stunden starke subjektive Symptome und eine starke Lymphopenie (um 500/Mikroliter) im Blutbild aufweisen, werden frühzeitiger, stärker und länger durch hämopoetische Insuffizienz lebensgefährlich bedroht sein und bedürfen sofortiger hämatologischer Intensivbetreuung und Intensivtherapie. Womöglich ist frühzeitige Knochenmarktransplantation erforderlich. Der Dosisbereich dieser früher als verloren eingestuften Kategorie liegt bei einer Strahlendosis von etwa 400 bis 500 rd als untere, 1000 bis 1500 rd als obere Grenze. – Magen-Darm-Symptomatik ist in den ersten Tagen dominant und behandlungsbedürftig.

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

Es entwickelt sich also in Abhängigkeit von der absorbierten Strahlendosis, auch der Dosisrate, sowie des Anteils des Körpers, welcher Exposition erfahren hat, im Verlauf von Stunden, Tagen und Wochen ein Krankheitsbild, welches als das akute Strahlensyndrom bezeichnet wird. Nach Eintritt einer Strahlenexposition ergibt sich für den Arzt, in dessen Hände der Exponierte oder die Gruppe von Exponierten kommt, die Frage nach dem Ausmaß des Strahlenschadens. Physikalische Meßwerte liegen zu diesem Zeitpunkt in der Regel nicht vor, so daß der Arzt allein auf seine medizinischen und diagnostischen Möglichkeiten angewiesen ist, wenn er in dieser Phase der „Triage" die Prognose bezüglich einer behandlungsbedürftigen Situation, damit also nach dem Schweregrad der Strahlenschädigung, erarbeiten will. – Diese „Staging-Procedure" besteht aus Ermittlung von Vorgeschichte, subjektiven Symptomen, körperlichem Untersuchungsbefund und Befunden der Laboratoriumsdiagnostik.

Der Verlauf der subjektiven und objektiven Symptomatik innerhalb der ersten 24 bis 48 Stunden ist überwachungsbedürftig. Insbesondere ist die Veränderung der Blutlymphozytenzahl auch bei jenen Personen zu ermitteln, die initial keine oder nur flüchtige subjektive Symptome haben. Das Erkennen der Zugehörigkeit zur Gruppe II (Abb.1), wo Behandlungsbedürftigkeit zu erwarten ist und die Abgrenzung dieser Fälle von Gruppe I, die keine Therapie benötigen wird, ist auf diese Weise zu erarbeiten. Gruppe III ist unmittelbar intensiver Therapie zuzuführen. – Der Verlauf der Blutlymphozytenzahl ist beim reinen Strahlensyndrom ein zuverlässiger Parameter. Bei Kombinationsschäden, aber auch bei Vorliegen anderer Krankheiten und bei intensivem psychischen Streß, kann der Verlauf der Blutlymphozytenzahl erheblich von dem aufgezeigten Modus abweichen, so daß eine spezifische diagnostische Konzeption für jeden einzelnen Exponierten ärztlicherseits zu entwickeln ist.

Die klinischen und hämatologischen Kriterien bestimmen nicht nur die diagnostische Beurteilung, sondern auch die Anpassung an die jeweiligen Erfordernisse des Behandlungskonzepts. Das Behandlungskonzept entspricht einem Stufenplan der Entscheidungsbildung, in Abhängigkeit von den Ergebnissen der Beobachtungen über die ersten 24 bis 48 Stunden, aus dem dann je nach Zugehörigkeit zu einer der 3 Gruppen die Planung lediglich von Überwachungsmaßnahmen (Gruppe I), die Planung von Überwachung und Therapie mit Berücksichtigung der kritischen Phase in den Wochen 3 bis 5 (Gruppe II) oder die sofortige Entscheidung intensiver Behandlungsmaßnahmen (Gruppe III) getroffen werden muß (Abb. 2).

Die Behandlungskonzeption als Stufenplan sieht also für die Gruppe I lediglich ambulante Überwachung bzw. allgemein-medizinische Betreuung vor, wobei jenseits der 8. Woche nach Exposition keine erhöhte Gefährdung

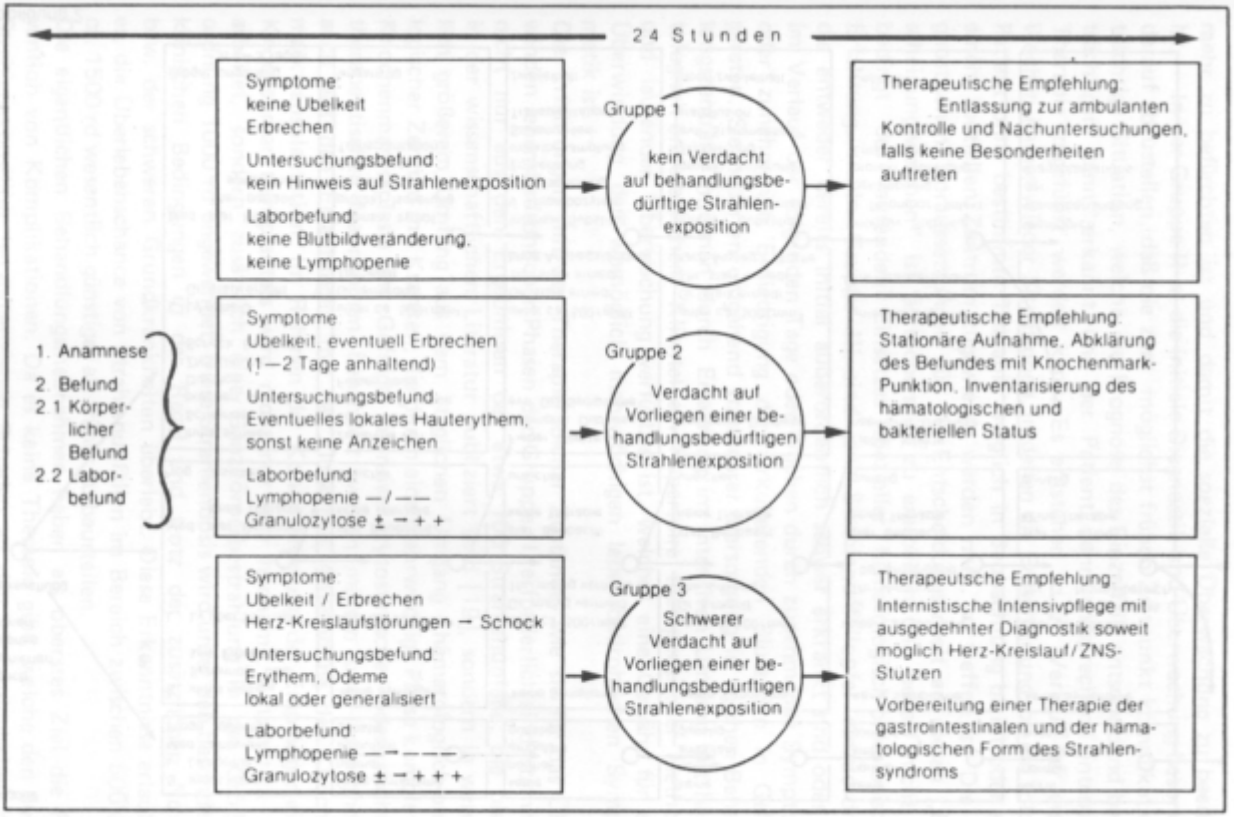

Abbildung 1

Aus: Fliedner 1979

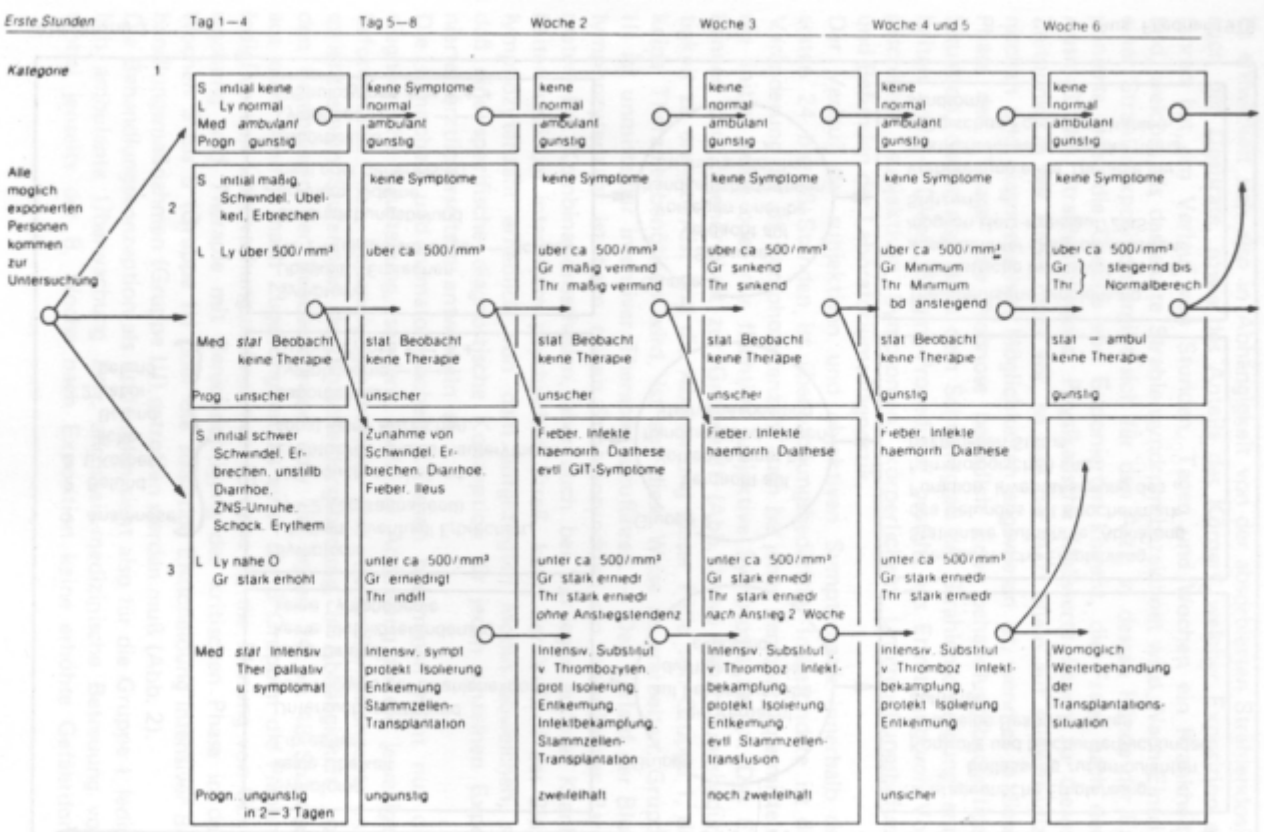
Erste Stunden
Tag 1—4
Tag 5—8
Woche 2
Woche 3
Woche 4 und 5
Woche 6
Kategorie
Alle möglich exponierten Personen kommen zur Untersuchung
1
S initial keine
L Ly normal
Med ambulant
Progn gunstig
keine Symptome
normal
ambulant
gunstig
2
S initial maßig Schwindel, Übelkeit, Erbrechen
L Ly über 500/mm³
Med stat Beobacht keine Therapie
Prog unsicher
keine Symptome
über ca 500/mm³
stat Beobacht keine Therapie
unsicher
über ca 500/mm³ Gr maßig vermind Thr maßig vermind
stat Beobacht keine Therapie
unsicher
über ca 500/mm³ Gr sinkend Thr sinkend
stat Beobacht keine Therapie
unsicher
über ca 500/mm³ Gr Minimum Thr Minimum bd ansteigend
stat Beobacht keine Therapie
gunstig
über ca 500/mm³ Gr } steigernd bis Thr } Normalbereich
stat = ambul keine Therapie
gunstig
3
S initial schwer Schwindel, Erbrechen, unstillb Diarrhoe, ZNS-Unruhe, Schock, Erythem
L Ly nahe 0 Gr stark erhoht
Med stat Intensiv Ther palliativ u symptomat
Progn ungunstig in 2—3 Tagen
Zunahme von Schwindel, Erbrechen, Diarrhoe, Fieber, Ileus
unter ca 500/mm³ Gr erniedrigt Thr indifl
Intensiv, sympt protekt Isolierung, Entkeimung, Stammzellen-Transplantation
ungunstig
Fieber, Infekte haemorrh Diathese evtl GIT-Symptome
unter ca 500/mm³ Gr stark erniedr Thr stark erniedr ohne Anstiegstendenz
Intensiv, Substitut v Thrombozysten, prot Isolierung, Entkeimung, Infektbekampfung, Stammzellen-Transplantation
zweifelhaft
Fieber, Infekte haemorrh Diathese
unter ca 500/mm³ Gr stark erniedr Thr stark erniedr nach Anstieg 2 Woche
Intensiv, Substitut v Thromboz, Infektbekampfung, protekt Isolierung, Entkeimung, evtl Stammzellentransfusion
noch zweifelhaft
Fieber, Infekte haemorrh Diathese
unter ca 500/mm³ Gr stark erniedr Thr stark erniedr
Intensiv, Substitut v Thromboz, Infektbekampfung, protekt Isolierung, Entkeimung
unsicher
Womoglich Weiterbehandlung der Transplantationssituation

Abbildung 2

mehr zu befürchten ist und damit die spezielle Überwachung zu beenden ist. – In der Gruppe II ist die initiale Diagnostik und Überwachung besonders darauf abzustellen, daß die zum möglichst frühen Zeitpunkt komplikationsträchtige Situation, welche die Prognose des Einzelfalls entscheidend beeinträchtigen kann, erkannt und der Patient dann entsprechend intensiver Therapie zugeführt werden kann. Es entstehen so im Verlauf der ersten Wochen immer wieder Situationen, in denen die Entscheidung, ob ein solcher Patient ohne bestimmte Therapie lediglich in Beobachtung bleibt oder aber einem speziellen Zentrum zugewiesen werden muß, zu treffen ist. Die diagnostischen Voraussetzungen für die Entscheidungsarbeit an diesen „Entscheidungsweichen" ist ärztlicherseits zu erarbeiten und bedarf nicht unbedingt des laufenden Einsatzes spezieller hämatologisch-onkologischer Erfahrung. – In Gruppe III sind jene Strahlenunfallopfer einzuordnen, die entweder bereits initial außerordentlich schwer erkrankt sind oder die im Verlauf der folgenden Tage oder Wochen durch zunehmende Symptome oder zunehmende Erniedrigung der zirkulierenden Blutzellen in Gefahr geraten. Sie bedürfen umgehend stationärer Versorgung in solchen Behandlungszentren, in denen durch Erfahrung im intensiven Umgang mit hämatologisch-onkologischem Klientel ein Repertoire therapeutischer Methodik und laufender Überwachung verfügbar ist, welches eine Gewähr für eine Überwindung der womöglich mehrwöchigen lebensbedrohlichen Symptomatik ist.

Die Erfahrungen mit der Therapie solcher Zustände, wie sie für das Überwinden lebensbedrohlicher Phasen der Gruppe III erforderlich sind, stammen nicht nur aus den Ergebnissen der etwa 100 Strahlenunfälle, die bisher in der wissenschaftlichen Literatur publiziert sind [19], sondern in wesentlich größerem Umfang aus dem täglichen Umgang hämatologisch-onkologischer Zentren mit Kranken, die durch eine mehrwöchige Phase kompletter Knochenmarksaplasie im Gefolge intensiver zytostatischer oder strahlentherapeutischer Maßnahmen behandelt werden müssen und insbesondere auch aus den Erfahrungen mit der klinischen Anwendung der Knochenmarktransplantation. Im Rahmen der Konditionierung der Empfänger eines Knochenmarktransplantats wird nicht nur sehr hoch mit Zytostatika gearbeitet, sondern zusätzlich eine Ganzkörperbestrahlung in der Größenordnung 1000 rd angewendet. Diese Strahlendosis wird unter den besonderen klinischen Bedingungen in der Regel und trotz der zusätzlichen Noxen bzw. der schweren Grundkrankheiten überlebt. Diese Erkenntnisse erlauben es, die Überlebenschance von Strahlenunfällen im Bereich zwischen 500 und ca. 1500 rd wesentlich günstiger als früher zu beurteilen.

Die eigentlichen Behandlungsmaßnahmen haben als oberstes Ziel die Prävention von Komplikationen. Da es keine Therapie gibt, welche den durch Strahlenexposition hervorgerufenen Schaden an den hämatologischen und

Darmepithel-Stammzellen rückgängig machen oder auch nur abschwächen könnte, ist bei der Behandlungskonzeption davon auszugehen, daß durch geeignete Maßnahmen die Zeit bis zur Wiederherstellung ausreichend funktioneller Verhältnisse im Magen-Darm-Kanal bzw. der Hämopoese überbrückt werden muß. Das Verhindern von Komplikationen während dieser Zeit ist das Behandlungsziel.

Die intensivste Gefährdung der Strahlenunfallopfer wird durch die Granulozytopenie hervorgerufen, wobei die Gefährdung vom Ausmaß der Granulozytopenie abhängig ist. Bei Absinken unter 1000/cbmm ist sie mäßiggradig, bei Absinken unter 100/cbmm sehr hoch. Die Gefahr liegt in gehäuftem Auftreten mikrobiell bedingter Komplikationen. Potentielle Pathogene (Tab.) können in dieser Phase verminderter zellulärer Abwehr, verminderter Infektresistenz von den inneren Körperoberflächen (Oropharynx, Darm, Harnwege) die Grenzflächen lädieren und eine Infektion hervorrufen. Als Erreger kommen dabei sowohl jene potentiellen Pathogene in Frage, die physiologischerweise unsere inneren Körperoberflächen bewohnen, als auch solche Keime, die wir insbesondere bei der Ernährung in uns aufnehmen. Sie werden physiologischerweise durch das Phänomen der Kolonisationsresistenz an einem „Angehen" in unserem gastrointestinalen System gehindert, wobei die physiologische Flora des Gastrointestinalsystems eine wesentliche protektive Rolle spielt.

Die Prävention mikrobiell bedingter Komplikationen während der Phase schwerer Granulozytopenie ist für die Überlebenswahrscheinlichkeit eines Strahlenunfallopfers von ausschlaggebender Bedeutung. Der prophylaktische Einsatz von Breitbandantibiotika ist nicht geeignet, regelmäßig zu einem protektiven Effekt für den Patienten zu führen, weil eine Selektion von resistenten Keimen hervorgerufen wird, sowie durch die Beeinträchtigung der physiologischen gastrointestinalen Flora eine Verminderung der Kolonisationsresistenz hervorgerufen wird. Dadurch wird opportunistisches Wachstum potentiell pathogener Mikroorganismen begünstigt. – Protektive Isolierung entweder in Plastikisolatoren oder sogenannten „Laminar-air-flow-rooms" ist hochwirksam, besonders unter gleichzeitiger Entkeimung des Patienten im Sinne einer kompletten antimikrobiellen Dekontamination. – Der Einsatz dieser Methodik ist aber an das Vorhandensein und den ständigen aktiven Umgang mit dieser Technik in Krankenhausabteilungen gebunden, und deshalb gehören derartige schwere Verlaufsformen des akuten Strahlensyndroms zur Behandlung in jene hämatologisch-onkologische Zentren, welche über das notwendige Know-how verfügen. – Als neues Verfahren, welches auch auf breiter Basis und an großen Patientenzahlen anwendbar wäre, bietet sich die Methode der selektiven Dekontamination an. Darunter versteht man den prophylaktischen Einsatz solcher Antibiotika und Chemotherapeutika, welche gezielt potentielle pathogene Mikro-

organismen hemmen, aber die Kolonisationsresistenz weitgehend unbeeinflußt und intakt lassen. Nach den bisherigen Untersuchungsergebnissen ist hierzu in erster Linie Cotrimoxazol in einer Dosierung von 2 bis 3 g täglich geeignet, aber wahrscheinlich sind weitere antibakterielle Substanzen bzw. Substanz-Kombinationen ähnlich wirksam. Zusätzlich wird man grundsätzlich eine pilzhemmende Behandlung des gastrointestinalen Systems durch die langfristige Verabfolgung von Amphotericin-B-Suspension, 30 mg/kg Körpergewicht täglich, einsetzen, um opportunistisches Wachstum von Sproßpilzen in Oropharynx, Oesophagus und Darm zu verhindern.

Die Substitutionstherapie zellulärer Elemente des Blutes ist die zweite wichtige Komponente des Behandlungsplanes. Nur die Substitution von Thrombozyten ist geeignet, den durch Thrombozytopenie hervorgerufenen Hämostasedefekt mit hämorrhagischer Diathese zu kompensieren. Plättchenreiches Plasma oder Thrombozytenkonzentrate sollten jeweils mehr als 10^{11} Plättchen enthalten, um einen Thrombozytenanstieg um durchschnittlich mindestens 10 000 bis 15 000/cbmm bewirken zu können. Die Entwicklung der Zellseparationstechnik sowie der Cryokonservierung von Thrombozytenspenden in der Gasphase von flüssigem Stickstoff wird in der Zukunft die Verfügbarkeit von Thrombozytentransfusionen verbessern helfen. – Thrombozytentransfusionen auf präventiver Basis sind notwendig bei Absinken der Thrombozytenzahl unter 20 000/cbmm. – Erythrozytentransfusionen haben ihren gewohnten Platz in der Substitutionstherapie, sollten aber nur sparsam zum Einsatz gebracht werden. – Granulozytentransfusionen auf präventiver Basis zur Substitutionstherapie sind kaum verfügbar und in ihrer Beurteilung noch experimentell. Granulozytentransfusionen sind jedoch ein wertvolles Adjuvans bei der Überwindung von Infektionen bei schwerer Granulozytopenie, wenn die Antibiotikatherapie allein nicht wirksam wird.

Bei der Therapie der Komplikationen steht die Bekämpfung eingetretener Infektionen an erster Stelle. Zunächst ist hier bei Auftreten von plötzlichem Fieber bei einem solchen Patienten eine intensive mikrobiologische Diagnostik (Blutkulturen auf Flüssignährböden, Kulturen aus Oropharynx, Urin und Stuhl) erforderlich, unmittelbar gefolgt vom Einsatz maximal dosierter Antibiotika. In dieser empirischen Phase der antimikrobiellen Therapie ist nur der Einsatz maximal dosierter Antibiotika in einer Kombination von Betalactam-Antibiotika und Aminoglykosid-Antibiotika wirksam. Als Betalactam-Antibiotika kommen derzeit in Frage: Ticarcillin, Azlocillin oder Cefotaxim. Als Aminoglykosid-Antibiotikum steht Amikacin an erster Stelle. – Ist nach wenigen Tagen der Erreger einer Infektion identifiziert, so wird man nach der empirischen Therapiephase in eine gezielte Therapiephase mit Antibiotika übergehen können. Wesentlich ist, daß während dieser Phase der Antibiotikatherapie die obengenannte präventive Anwendung von pilzhemmenden und selektiv-bakterienhemmenden Substanzen konsequent fortgesetzt wird.

Während der gastrointestinalen Phase des Strahlensyndroms, die mit einem Ruhr-ähnlichen Krankheitsbild einhergeht, ist die bilanzierte Zufuhr von Wasser und Elektrolyten sowie von Plasmaproteinen erforderlich. Wahrscheinlich ist in dieser Phase eine komplette antimikrobielle Dekontamination des Gastrointestinaltrakts therapeutisch wirksam, erfordert aber protektive Isolierung einschließlich keimfreier Ernährung.
Palliative Maßnahmen sind insbesondere bei den schwersten Verlaufsformen des Strahlensyndroms innerhalb der ersten Tage nach dem Strahleninsult erforderlich und richten sich nach der Symptomatik.
Das Monitoring eines Patienten in der therapeutischen Phase hat zum Ziel, komplikationsträchtige Situationen frühzeitig zu diagnostizieren, die zu erwartenden Komplikationen bereits vorab als Ziel geeigneter präventiver Maßnahmen ins Auge zu fassen und damit Schaden vom Patienten abzuhalten. Insbesondere die mikrobiologische Überwachung der Flora des Oropharynx, des Harnwegsystems und des Stuhls bezüglich des Vorkommens potentieller pathogener Mikroorganismen und Pilze, sind wesentliche Bestandteile der überwachenden Diagnostik. Die klinische Überwachung mit Inspektion des Oropharynx und Überwachung der oberen Luftwege sowie Überwachung wegen anderer Formen von Komplikationen, ferner die angemessene Dokumentation der erhobenen Befunde sind erforderlich.
Die Knochenmarktransplantation, bzw. die Transplantation von angereicherten hämopoetischen Stammzellen aus zirkulierendem Blut, sind abhängig von immunologischer Kompatibilität zwischen Stammzellenspender und Stammzellenempfänger. Bei der Kompliziertheit dieses Systems kommen in erster Linie kompatible Geschwister eines Strahlenunfallopfers als Spender von Knochenmark bzw. Stammzellen in Frage. Der mit Knochenmarktransplantation verbundene Aufwand an Betreuungsmaßnahmen ist außergewöhnlich umfangreich und nur an jenen Zentren funktionell, die bereits eine längere Erfahrung in der Knochenmarktransplantation als Therapie des aplastischen Knochenmarksyndroms oder der akuten Leukämie des Erwachsenenalters haben. Die Zahl der Zentren in der Bundesrepublik Deutschland ist begrenzt, und auch im benachbarten Ausland arbeiten nur wenige Zentren. Die zunehmende Erfahrung und Entwicklung auf diesem Gebiet, gerade bei dem Indikationsgebiet akuter Leukämie des Erwachsenenalters, ist aber ermutigend, und es wird wahrscheinlich zu einem intensiveren Einsatz dieser Behandlungsmethode in naher Zukunft kommen.
In der Organisation, die bei einem großen Strahlenunfall in einer kerntechnischen Anlage einsetzen wird, spielt die Katastrophenschutzleitung als kommunale Behörde mit ihrem Beraterstab für die Entwicklung auch der ärztlichen Versorgung in einem solchen Falle eine führende und entscheidende Rolle. Sie stützt sich dabei einerseits auf die im Rahmen der kerntechnischen Anlage eingesetzten ermächtigten Ärzte, andererseits auf die sechs regionalen

Strahlenschutzzentren in Hamburg, Hannover, Homburg/Saar, Jülich, Karlsruhe und Neuherberg. Darüber hinaus verfügen alle Länder über weitere klinische Einrichtungen für strahlenschutzmedizinische Hilfe in denen diagnostische und therapeutische Betreuung von Strahlenunfallopfern möglich ist. Über diesen Kreis hinaus haben sich etwa 40 Krankenhäuser in der Bundesrepublik Deutschland und in West-Berlin, mit einem Bettenpotential von bis zu 180 Betten, innerhalb von sechs Stunden nach Anforderung des Bedarfs, mit der Übernahme von Strahlenunfallpatienten, die spezialistischer stationärer Behandlung bedürftig sind, bereit erklärt, in Kenntnis der speziellen Bedürfnisse, die für die Behandlung solcher Patienten erforderlich sind (Abb. 3).

Das zunehmende Bewußtsein des Risikos hat in den letzten Monaten zu Initiativen geführt, die zu der Erwartung berechtigen, daß Unfälle in kerntechnischen Anlagen in Bezug auf die medizinische Versorgung zu bewältigen sind und daß sich Entwicklungen erkennen lassen, daß auch im Falle einer größeren Anzahl von Strahlenunfallopfern Wege für eine adäquate medizinische Versorgung aufzeigbar werden, wenn die im Strahlenschutz ausgebildeten Ärzte und die Ärzteschaft insgesamt diese Risikosituationen als eine legitime Aufgabenstellung annimmt. Es bleibt am Ende festzuhalten, daß die Prävention von Verlaufskomplikationen durch geeignete ärztliche Maßnahmen und die Therapie solcher Komplikationen,wie sie in hämatologisch-onkologisch arbeitenden Einrichtungen für Patienten mit schwerer hämopoetischer Insuffizienz aus Krankheitsgründen praktiziert werden, zur Behandlung von Personen mit schweren Formen des Strahlensyndroms als lebensrettende medizinische Maßnahmen wirksam sind. Die frühzeitige medizinische Differenzierung aufgrund prognostischer Kriterien erlaubt es, in der diagnostischen Phase mit hinreichender Sicherheit eine Gruppierung von Strahlenunfallopfern je nach den zu erwartenden Behandlungsbedürfnissen zu entwickeln, wobei im Vordergrund solche medizinische Methoden stehen, wie sie jedem Arzt als diagnostische Verfahren jederzeit zur Verfügung stehen.

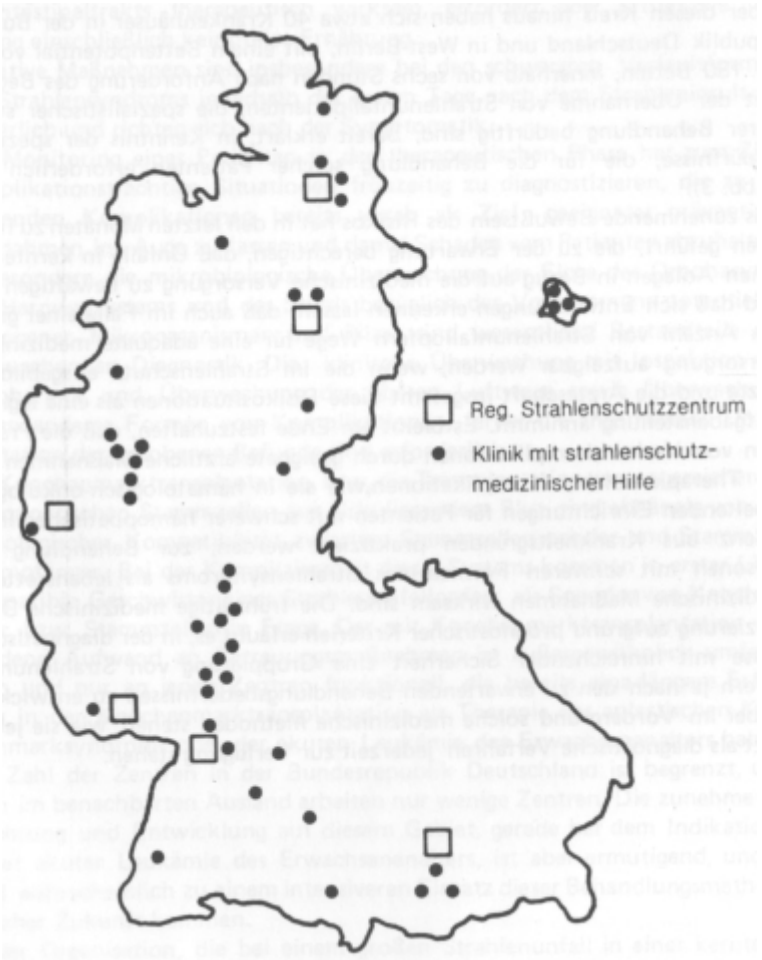
Reg. Strahlenschutzzentrum
Klinik mit strahlenschutz-
medizinischer Hilfe

Abbildung 3

Tabelle

Potentiell pathogene Mikroorganismen, die häufigste Infektionserreger sind

A. Pseudomonas aeruginosa

B. Enterobacteriaceae (Kauffmann-Schema)
   1. Escherichiae
      a. Escherichia coli
      b. Escherichia alcalescens
      c. Escherichia dispar
   2. Citrobacter (bekannt als Escherichia freundii und Ballerup-Bethesda)
   3. Klebsiellae
      a. Klebsiella
      b. Enterobacter
      c. Hafnia
      d. Serratia
   4. Proteae
      a. Proteus vulgaris
      b. Proteus mirabilis
      c. Retgerella
      d. Morganella
      e. Providencia

C. Streptococci
   1. Streptococcus aureus
   2. Streptococcus viridans

D. Staphylococci
   1. Staphylococcus aureus
   2. Staphylococcus epidermidis

E. Candida species

F. Aspergillus species

G. Bacilli
   1. Bacillus subtilus
   2. Bacillus cereus

H. Bacteriodes species

Literaturverzeichnis

[1] Aisner, J.: Platelet Transfusion Therapy. Med. Clinics North Am. 61 (1977) 1133-1145

[2] Bodey, G.P., M. Valdevieso, B.S. Yap: The role of schedule in antibiotic therapy of the neutropenic patient. Infection 8 (1980) Suppl. 1, 75-81

[3] EORTC-International Antimicrobial Therapy Project Group: Three antibiotic regimes in the treatment of infection in febrile granulocytopenic patients with cancer. J. Infect. Dis. 137 (1978) 14-29

[4] Ezdinil, E.Z., D.D. O'Sullivan, L.P. Wasser, U. Kim, L. Stutzman: Oral amphotericin for Candidiasis in patients with hematologic neoplasms. J. Am.Med.Ass. 242 (1979) 258-26o

[5] Fliedner, T.M.: Akute allgemeine Veränderungen bei Ganz- und Teilkörperbestrahlung und deren Behandlung. In: F.E. Stieve und G. Möhrle (Hersg): Strahlenschutz für ermächtigte Ärzte, Spezialkurs s.S. 264-277. H. Hoffmann, Berlin 1979

[6] Gurwith, M.,J.L. Brunton, B. Lank, A.R. Ronald, G.K.M. Harding, D.W. Mc Cullough: Granulozytopenie in hospitalized patients. I.prognostic factors and etiology of fever. II. a protective comparison of two antibiotic regiments in the eugenic therapy of febrile patients. Am. J. Med. 64 (1978), 212-226; 127-132

[7] Hahn, D.M., S.C. Schimpff; C.L. Fortner, A. Collier Smyth, V. Mae Young; P.H. Wiernik: Infection in acute leukemia patients receiving oral nonabsorbable antbiotics. Antimicrob. Agents a. Chemother. 13 (1978) 958-964

[8] Handling of Radiation Accidents 1977 IAEA-Sm-215/3. International Atomic Energy Agency, Vienna 1979

[9] Kerntechnik und Sicherheit in Nordrhein-Westfalen. Broschüre 23, 1978; Der Innenminister des Landes Nordrhein-Westfalen

[10] Kirchhoff, R., H.J. Linde (Hersg): Reaktorunfälle und nukleare Katastrophen: Ärztliche Versorgung Strahlengeschädigter. Perimed, Erlangen 1979

[11] Love, L.J., S.C. Schimpff; C.A. Schiffer, P.H. Wiernik: Improved prognosis for granulocytopenic patients with gramnegative bacteremia. Am. J.Med. 68 (1980) 643-648

[12] Manual on Radiation Haematology. Technical Reports Series Nr.123. International Atomic Energy Agency. Vienna 1971

[13] Paulisch, R., K.-M. Koeppen: Besonderheiten der Infektionen bei Hämoblastosen unter zytostatischer Therapie. Münch.med.Wschr. 118 (1976) 661-664

[14] Rodriguez, V.; G.P. Bodey, E.J. Freireich, K.B. Mc Credie; J.U. Gutterman; M.J. Keating; T.L. Smith; E.A. Gehan; Randomized trial of protected environment-prophylactic antibiotics in 145 adults with acute leukemia. Medicine (Baltimore) 57 (1978) 253-266

[15] Schiffer, C.A.: Principles of granulocyte transfusion therapy. Med. Clinics North Am. (1977) 1119-1131

[16] Schimpff, S.C.: Therapy of infection in patients with granulocytopenia. Med. Clinics North Am. 61 (1977) 1101-1118

[17] Schimpff, S.C.: Infection prevention during granulocytopenia; S. 85-106. Current Clinical Topics in Infections Diseases 1980

[18] Seeliger,H.P.R.; M.Dietrich; W.K.Raff (Hersg): Bekämpfung des infektiösen Hospitalismus durch antimikrobielle Dekontamination, Symposium Ulm 1976
[19] The medical basis for radiation accident preparedness. Proceedings of a conference, Oak Ridge 1980
[20] Waldvogel, F.A.: Infections diseases 1979 – another look at studies by the EORTC. J.Infection Dis.140 (1979) 428-430
[21] Wendt, F.: Die Behandlung des Strahlensyndroms, in: Zur Frage der ärztlichen Versorgung der Bevölkerung bei Kernkraftunfällen, (Hersg): Wiss. Beirat der Bundesärztekammer, Deutscher Ärzteverlag, Köln 1981

Aus dem Medizin. Zentrum für Radiobiologie
(Direktoren: Prof.E.H.Graul und Prof.F.Hess)
der Philippsuniversität Marburg/Lahn und dem
MEDICEF-Institut (International Center for Medical
Environmental Sciences and Future Research,
Direktor: Prof. Dr. Dr. E.H. Graul) Marburg/Lahn

XVII Zur Frage der Inkorporierung und Dekorporierung radioaktiver Spaltprodukte

von E.H. Graul
unter Mitarbeit von W. Rüther

I. Allgemeine Einführung

Nach den Erfahrungen in Japan und bei früheren und späteren Nuklearexplosionsversuchen schien zunächst die „parenterale" Strahlenschädigung durch Radioisotope prozentual gesehen eine relativ geringe Rolle zu spielen.

Es handelt sich dabei um das Problem der Schädigung des Organismus infolge radioaktiver Verseuchung der Körperoberfläche und vor allem durch Einverleibung (Inkorporierung) von radioaktivem Material, das sich in bestimmten Organen z.T. bevorzugt ablagert und dadurch totale und allgemeine Schädigungen hervorruft. Solche radioaktiven Substanzen (Radioisotope, Radionuklide, radioaktive Spaltprodukte) können selbst in kleinsten Konzentrationen noch erhebliche, in größerer Konzentration u.U. lebensbedrohende pathologische Störungen in den Organen hervorrufen, da sie mit den (Organ-) Zellen direkt in Berührung kommen, so daß die von ihnen ausgesandten Strahlen unmittelbar einwirken (Abb.3).

Die Inkorporierung radioaktiven Materials muß man deshalb in Bezug auf Spätschäden besonders ernst nehmen. Eine Strahlenexposition von außen ist in der Regel ein zeitlich begrenztes Ereignis, da im Falle der Einwirkung von γ-Strahlen und Neutronen bei einer Atombombenexplosion diese nur Sekunden andauert oder der Mensch sich nach Erkennung der Gefahr (Strahlennachweisgerät) aus dem schädigenden Strahlenbereich entfernen kann (z.B. bei radioaktiver Geländeverseuchung). Im Gegensatz dazu besteht bei der Inkorporierung radioaktiver Substanzen bei vielen Radionukliden z.Z. keine Möglichkeit, der „inneren" Strahleneinwirkung wirksam entgegenzutreten. Gerade unter den bei der radioaktiven Vergiftung im Falle eines Kernwaffenkrieges auftretenden Radionukliden findet man eine ganze Reihe, die sich bei Inkorporierung selektiv in bestimmten Organen ablagern und z.T. fest dort eingebaut werden. D.h., daß sie dort u.U. jahrzehntelang fixiert bleiben. Zu-

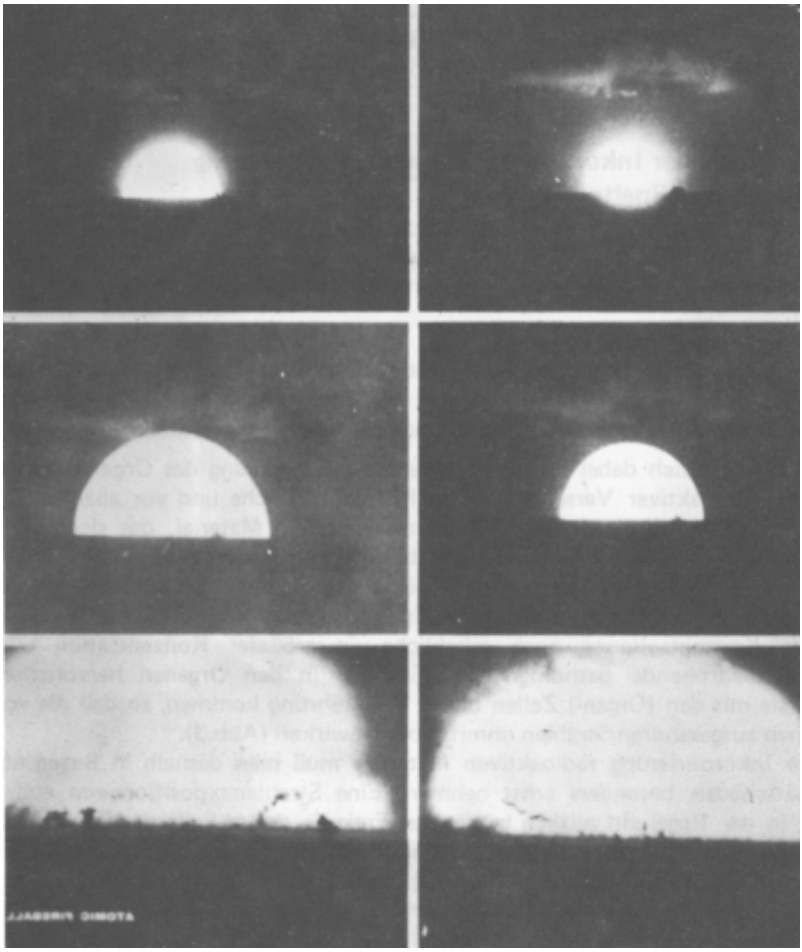

Abb. 1: H-Bombenversuchsexplosion auf dem Eniwetok-Atoll (Marshall-Inseln, Mikronesien; 50er Jahre), Bildfolge in den ersten Sekunden. Von Hitzeblitz getroffen fallen die Vögel vom Himmel.

dem sind es meist noch relativ dicht ionisierende Strahler mit langer Halbwertzeit (HWZ) wie Plutonium oder Strontium. Gerade bei der zuletzt genannten Substanz (radioaktives Spaltprodukt ^{90}Sr) dauert es Jahre, bis 50 % der inkorporierten und im Knochen fixierten Menge wieder aus dem Körper ausgeschieden werden (sogenannte biologische HWZ). Bei solchen Radionukliden wirken also die folgenden Faktoren im ungünstigen Sinne zusammen:

1. Lange biologische HWZ.
2. Lange physikalische HWZ.
3. Dicht ionisierende Strahler (ß-, insbesondere α-Strahlung).

Einfach formuliert heißt dies also, daß kleinere Mengen solcher Radionuklide, deren Strahleneinwirkung von außen praktisch bedeutungslos ist, zu schweren, u.U. tödlich ausgehenden Strahlenschäden manchmal nach Jahren bis Jahrzehnten (Latenzzeit) führen, wenn sie vom Körper direkt aufgenommen werden und sich in gewissen Organen bzw. Organsystemen ablagern (Abb.2 und 3).

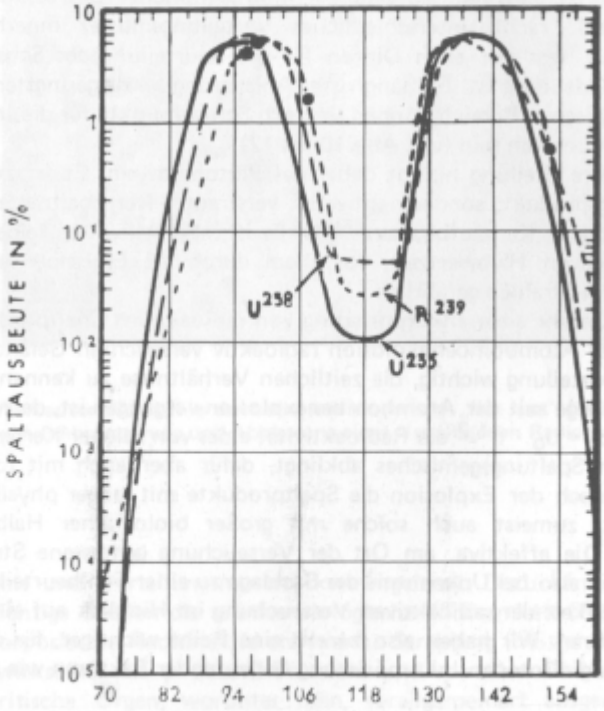

Abb. 2: Prozentuale Verteilung der Massenausbeute bei Kernspaltung von ^{235}U, ^{238}U und ^{239}Pu. ○ geben die Spaltausbeuten für ^{239}Pu und schnelle Neutronen wieder (vgl. Text).

Bei nuklearen und thermonuklearen (mit Kernspaltstoffzünder) Explosionen entstehen durch Kernspaltung von ^{235}U, ^{238}U und ^{239}Pu ungefähr 200 verschiedene, größtenteils radioaktive Nuklide von etwa 35 Elementen mit Massenzahlen zwischen 72 und 160 (vgl. Abb.2). Davon interessieren aber im Zusammenhang mit der Inkorporierung von Radionukliden, bzw. der Verseuchung mit radioaktiven Spaltprodukten nur ein Teil, da stabile Isotope, solche mit sehr kurzen Halbwertzeiten oder diejenigen, welche nur einen sehr kleinen prozentualen Anteil an der gesamten Spaltproduktmenge ausmachen, kaum eine Rolle spielen. Weiterhin ist analysiert worden, daß auf Grund radiobiologischer Gesichtspunkte als besonders gefährliche radioaktive Spaltprodukte lediglich die von Jod, Strontium, von den seltenen Erden, den Erdalkalien und vor allem von Plutonium[1)] in Frage kommen. Das sind also vor allen Dingen solche, die sich durch eine große effektive Halbwertzeit auszeichnen, d.h. die sich sehr fest in bestimmten Geweben fixieren, wobei die sogenannten knochenaffinen Spaltprodukte (bone seeker) eine besondere Rolle spielen. Trotz ihrer gemeinsamen Eigenschaft einer ausgeprägten Knochenaffinität zeichnen sie sich bei mikroskopischer Betrachtung doch durch ein z.T. recht unterschiedliches Verteilungsmuster innerhalb des Knochens aus, was vor allen Dingen für die Beurteilung der Schädigungsgefahr von Bedeutung ist. Bei langfrister Ablagerung selbst geringster Mengen im mikroskopischen Bereich können sie noch Schwerpunkte für die Induktion von Knochentumoren sein (vgl. Abb.10 bis 12).

Eine besondere Stellung nimmt dabei das Plutonium ein. Es ist zwar kein Kernspaltungsprodukt, sondern entweder verstreutes Kernspaltmaterial oder es entsteht durch Kernaufbau aus ^{238}U. Es ist, abgesehen von seiner langen großen effektiven Halbwertzeit, vor allem durch die Emission sehr dicht ionisierender α-Strahlen gefährlich.

Besteht die Gefahr einer Inkorporierung von radioaktiven Spaltprodukten in einem bei der Atombombenexplosion radioaktiv verseuchten Gelände, so ist für deren Beurteilung wichtig, die zeitlichen Verhältnisse zu kennen, d.h. zu wissen, wie lange seit der Atombombenexplosion vergangen ist, da zwar nach der Formel $J_t = J_0 \cdot t^{-1,2}$ die Radioaktivität eines von solcher Kernexplosion herrührenden Spaltungsgemisches abklingt, dafür aber auch mit fortschreitender Zeit nach der Explosion die Spaltprodukte mit langer physikalischer Halbwertzeit, zumeist auch solche mit großer biologischer Halbwertzeit überwiegen. Die effektive, am Ort der Verseuchung gemessene Strahlungsaktivität kann also bei Unkenntnis der Sachlage zu einer Fehlbeurteilung über die Gefährlichkeit der radioaktiven Verseuchung im Hinblick auf eine Inkorporierung führen. Wir haben also bereits eine Reihe wichtiger, für die Beurteilung der Radioisotopen-Inkorporierung bedeutender Faktoren wie effektive

[1)] Pu ist kein Spaltprodukt, entsteht aber durch Neutroneneinwirkung auf Uran-238.

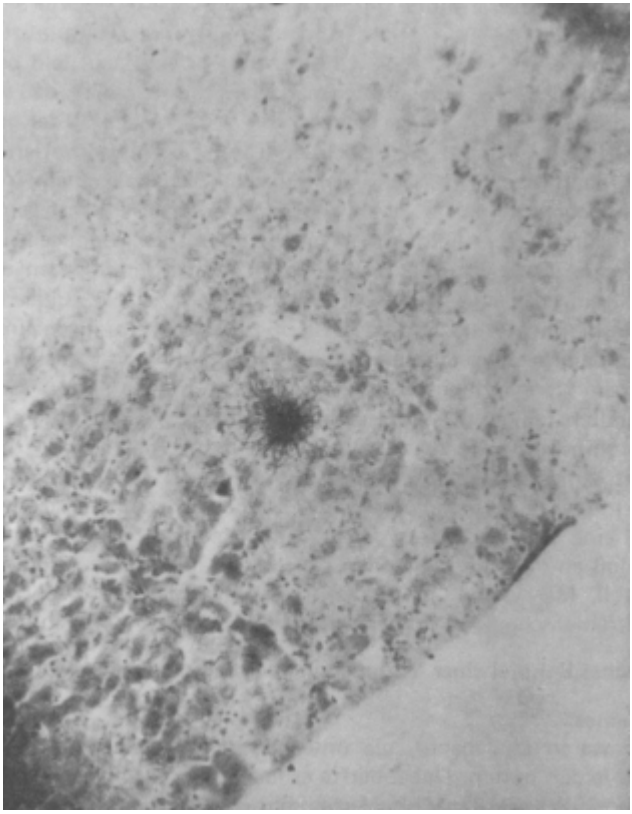

Abb. 3: Mikroautoradiographie der Leber mit einem sog. „hot spot" (heißes Teilchen) nach Inkorporierung und Ablagerung eines α-strahlenden Radionuklids.

Halbwertzeit und Verteilungsmuster, kennengelernt. Dazu kämen noch als weitere wichtige Größen die relative biologische Wirksamkeit (RBW) der von einem inkorporierten Radionuklid emittierten Strahlung (α-Strahlen sind etwa zehnmal wirksamer als γ- oder ß-Strahlen) und vor allen Dingen das sogenannte kritische Organ, worunter man, verallgemeinert ausgedrückt, das Organ versteht, das einerseits die höchste spezifische Aktivität aufweist, zum andern aber auch durch eine besondere Strahlensensibilität gekennzeichnet ist. Wir haben an anderer Stelle (Graul: „Zur Beurteilung der biologischen

Gefahren bei der Verseuchung durch radioaktive Spaltprodukte")[1] den Begriff des kritischen Organs näher besprochen und sind dabei u.a. zu dem Ergebnis gekommen, daß es manchmal Schwierigkeiten macht, ein bestimmtes Organ als kritisch anzusehen. Wenn man weiterhin bedenkt, daß wegen der kurzen physikalischen Halbwertzeit von ^{90}Y (~2 1/2 Tage) der größte Teil der schädigenden Strahlung in den ersten Tagen nach Inkorporierung freigesetzt wird, dann kann nicht, wie in der Literatur bisher allgemein, Yttrium als eine nur knochenaffine Substanz angesehen werden. Damit ist gemeint, daß bei der Yttrium-Inkorporierung der Knochen nicht das alleinige kritische Organ sein kann. Diese wenigen Bemerkungen mögen im Rahmen dieses Beitrages genügen, um zu zeigen, daß ein Arzt im Zeitalter der nuklearen Kriegsführung, insbesondere ein Sanitätsoffizier, neben seinem allgemeinärztlichen Wissen auch einige physikalisch-chemische und radiobiologische Grundkenntnisse auf dem Kernwaffengebiet haben muß, um Fragen der nuklearen Schädigungen durch radioaktive Verseuchung mit den daraus resultierenden Konsequenzen sinnvoll beurteilen zu können.
Wie bereits eingangs dieses Kapitels betont, spielten bislang solche Überlegungen in der Diskussion möglicher Strahlenschäden bei Kernwaffenexplosionen eine untergeordnete Rolle. Sie wurden vielmehr erst aktuell, als im Anschluß an die amerikanischen Wasserstoffbombenexplosionsversuche[2] (Bikini-Atoll, März 1954) in der Weltpresse alarmierende Nachrichten über schwere Strahlenschädigungen bei japanischen Fischern auftauchten.

II. Praktisches Beispiel einer Verseuchung durch radioaktive Asche

a) Allgemeines

Wiederum waren es Japaner, die unter den Folgen einer Atombombenexplosion zu leiden hatten. Dabei dürfte es für die Opfer uninteressant sein, daß es sich bei der erwähnten H-Bombenexplosion um einen „friedlichen" Test handelte. Da sich solche Tests bereits global auszuwirken beginnen, beanspruchen sie auch internationales Interesse(Abb.4).
Während einige wenige Kernwissenschaftler an den verschiedensten Punkten der Erde auf Grund ihrer Messungen sich schon kurze Zeit nach der Explosion darüber klar waren, daß es sich bei der Explosion vom 1. März 1954 im Bikini-Atoll um eine thermonukleare Reaktion von bisher noch nicht registriertem Ausmaß (vgl. Abb.1) gehandelt haben mußte, erfuhr die Öffentlichkeit von den Auswirkungen des Geschehens, als am Morgen des 14. März

[1] In Band I von „Fortschritte der angewandten Radioisotopie und Grenzgebiete", Hrsg. von E.H. Graul, Verlag Hüthig, Heidelberg 1957

[2] Es handelte sich um keine „reine" thermonukleare Explosion, sondern um eine vom sog. Fission-Fusion-Fission (Dreistufen)-Typ, wobei die Neutronen aus dem Fusions-Prozeß im ^{238}U-Mantel Spaltungen induzieren. Quantitativ, in bezug auf das Ausmaß der radioaktiven Verseuchung, dürften diese Spaltreaktionen bei weitem im Vordergrund gestanden haben.

Abb. 4

1954 das japanische Fischerboot (Fukuryu Maru 5) mit seiner 23köpfigen Besatzung im Heimathafen von Yaizu-ko (Shizuokaprovinz; 100 Meilen westlich von Tokio) einlief (Abb.6).
Vor Sonnenaufgang gegen 3 Uhr sah die Besatzung des Bootes einen roten Lichtschein am west-südwestlichen Horizont aufleuchten, als sie mit Thunfischfang im Bereich des Marshall-Archipels beschäftigt war (vgl. Abb.6a und b). Etwa sechs Minuten danach hörten sie aus der Ferne ein donnerähnliches Grollen,das allmählich wieder abebbte. Sie maßen diesen Beobachtungen keine besondere Bedeutung zu, da ihnen die geplanten Versuche im Bikini-Atoll prinzipiell bekannt waren. Drei Stunden nach der Explosion rieselte ein leichter etwa fünf Stunden andauernder Aschenregen nieder, der Boot und umgebendes Wasser mit einer weißlichen Asche-„Kruste" bedeckte. Da das Boot erst 14 Tage danach den Heimathafen anlief, lebten die Fischer während dieser Zeit auf dem durch die Asche radioaktiv verseuchten Schiff. Sie wechselten praktisch nicht die verschmutzten Kleider und aßen ahnungslos von den ebenfalls mit der radioaktiven Asche verseuchten Thunfischen (Abb.5 bis 6).

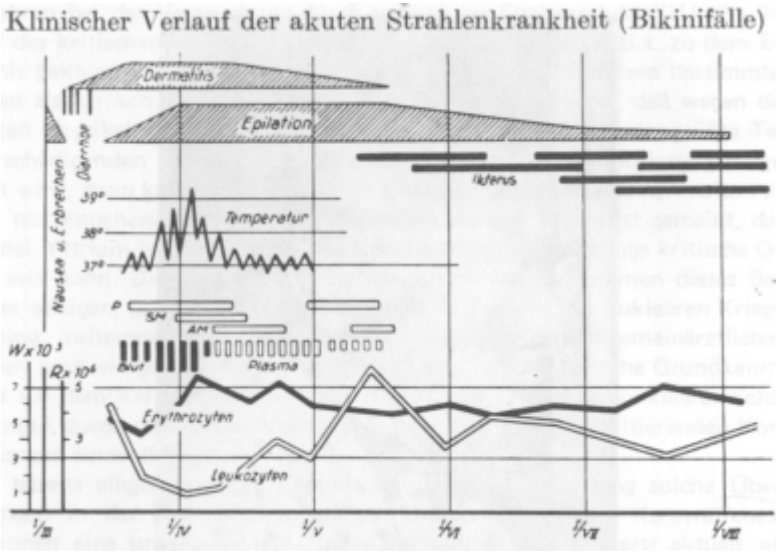

Abb. 5: Übersicht über das akute Strahlensyndrom; klinischer Verlauf unter der Therapie. Zuordnung charakteristischer Symptome (wie z.B. Erbrechen) zu den einzelnen Zeitintervallen („Fukuryu Maru 5").

Noch am Tage der Explosion klagten insbesondere die an Deck arbeitenden Fischer über Übelkeit und Abgeschlagenheit. Drei Fischer erbrachen mehrmals. Diese Beschwerden waren aber am nächsten Tage wieder abgeklungen und das Allgemeinbefinden bei gutem Appetit wieder normal geworden. Trotz dieses subjektiven Wohlbefindens stellten sich an der Haut einiger Fischer Reizerscheinungen ein, wobei sich zunehmende Rötung und Schwellung besonders an den unbedeckten Körperpartien wie Gesicht, Hals und Händen entwickelten. Es handelte sich dabei vor allem um solche Körperstellen, die mit der Asche direkt in Berührung gekommen waren. Zu diesen Erscheinungen gesellten sich im Laufe der Zeit noch Bläschen und Erosionen. Später ging die anfängliche Rötung in ein mehr dunkelbraunes Hautkolorit über.

Nach Konsultation eines ortsansässigen Arztes wurden zwei der besonders heftig erkrankten Fischer in die Chirurgische Universitätsklinik Tokio überwiesen. Dort führte die erste klinische Inspektion zur Diagnose „akute Dermatitis" (Gesicht, Hals und Hände), wobei der Verdacht ausgesprochen wurde, daß es sich hierbei um eine strahleninduzierte Hautentzündung handeln könnte. Darüberhinaus deutete der schlechte Allgemeineindruck in Richtung einer Strahlenschädigung des gesamten Organismus, was auch die späteren

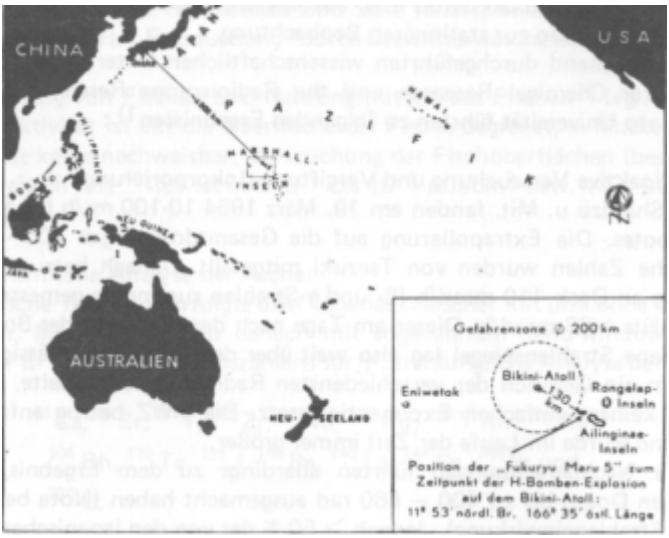

Abb. 6a: Übersichtskizze über die Position der „Fukuryu Maru 5" zum Zeitpunkt des radioaktiven Niederschlags sowie den Weg, den die radioaktiven Wolken vom Bikini-Atoll nach Osaka genommen haben, wobei vor allem die große Entfernung verdeutlicht werden soll.

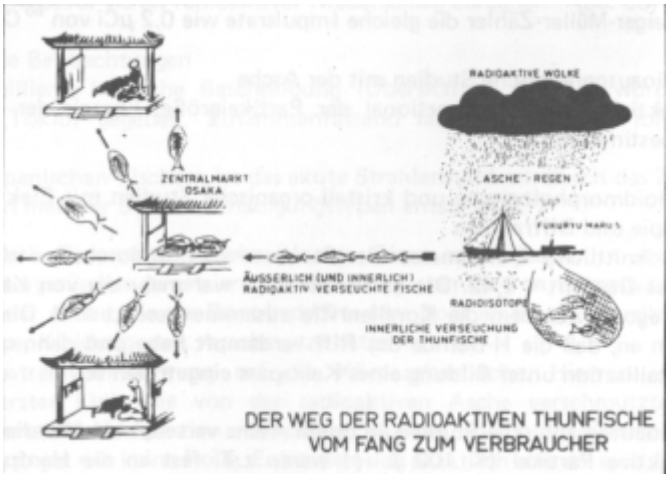

Abb. 6b: Trivialskizze zur Veranschaulichung der möglichen Inkorporierung radioaktiver Substanzen an Hand des Beispiels der radioaktiven Fischvergiftung („Fukuryu Maru 5").

Messungen auf Radioaktivität usw. bestätigten. Auch die anderen 21 Fischer kamen nach Tokio zur stationären Beobachtung.
Die anschließend durchgeführten wissenschaftlichen Untersuchungen des Institute for Chemical Research und the Radioisotope Research Committee der Kyoto Universität führten zu folgenden Ergebnissen[1]:

b) Radioaktive Verseuchung und Vergiftung (Inkorporierung)
Sakae Shimizu u. Mit. fanden am 19. März 1954 10-100 mr/h bei Messungen des Bootes. Die Extrapolierung auf die Gesamtdosis ergab 200 - 300 rad. Ähnliche Zahlen wurden von Tsezuki mitgeteilt. Danach betrug die Dosisleistung an Deck 110 mrad/h (ß- und γ-Strahlen zusammen gemessen) und in der Kajüte ~80 mrad/h. Dieser am Tage nach der Rückkehr des Bootes noch gemessene Strahlenspiegel lag also weit über dem maximal zulässigen. Da es sich um ein Gemisch der verschiedensten Radionuklide handelte, folgte der Abfall keinem einfachen Exponentialgesetz. Die HWZ betrug anfangs ~7,5 Tage und wurde im Laufe der Zeit immer größer.
Spätere Nachberechnungen führten allerdings zu dem Ergebnis, daß die höchsten Dosen bis zu 400 – 660 rad ausgemacht haben (Nota bene protrahierte Strahleneinwirkung). Jedoch > 50 % der von den japanischen Fischern empfangenen Strahlendosis entfielen auf den ersten Tag.

c) Eigenschaften und Größe der radioaktiven Ascheteilchen
Die Asche war weiß, hart und spröde. Teilchendurchmesser lagen zwischen 100 und 400 μ (mittlerer Durchmesser = 257 μ). Die Radioaktivität zeigte aber keine Korrelation zur Größe. 1 mg Asche ergab in 3,5 cm Entfernung vom Geiger-Müller-Zähler die gleiche Impulsrate wie 0,2 μCi von ^{60}Co.

d) Radioautographische Studien mit der Asche
Radioaktivität nicht proportional der Partikelgröße. Energie der α-Partikel nicht bestimmbar.

e) Kolloidmorphologische und kristall-organische Studien mit Elektronenmikroskopie und Diffraktion
Durchschnittlicher Durchmesser des Staubes = 321 μ; durchschnittliches spezifisches Gewicht = 2,42. Die Kristallstruktur war mehr die von Kalkspat als von Aragonit, aus dem die Korallenriffe zusammengesetzt sind. Die Autoren nahmen an, daß die H-Bombe das Riff verdampft habe und dann später eine Rekristallisation unter Bildung eines Kalkspats eingetreten sei.

f) Radioautographische Studien an durch Asche verseuchten Materialien
Radioaktive Partikel (< 100 μ ϕ) waren z.T. fest an die Hanfpalmfasern

[1] Bull. Inst. Chem. Research Kyoto University, Supplementary Issue November 1954.

der daraus hergestellten Handschuhe und Seile fixiert; in die innere Kleidung war nichts penetriert: „Entseuchung" durch Seewasserwäsche ist unvollständig.

g) Verseuchung von Fischen und Nahrungsmitteln aus Fischen[1] (vgl. Abb.6)
Die Radioaktivität ist auf die Oberfläche der Fische begrenzt, in Muskeln und Knochen ist keine nachweisbar; Verseuchung der Fischoberflächen (bestimmt durch Vergleich mit ^{60}Co) ist mit 10^{-2} bis 10^{-3} $\mu Ci/cm^2$ bzw. 10^{-1} $\mu Ci/g$ zu veranschlagen.

h) Radiochemische Analyse der Asche:
Die chemische Trennung erfolgte über Ionenaustauscher mit und ohne Trägersubstanzen. Messung geschah danach mit sogenannten „end-window" GM Zählern für ß- und Szintillationszählern für γ-Strahlung. Die Analyse der Asche ergab:

^{45}Ca, ^{89}Sr, ^{91}Y, ^{95}Zr, ^{95}Nb, ^{103}Ru, ^{103m}Rh, ^{106}Ru, ^{106}Rh, ^{129}Te, ^{131}J, ^{140}Ba, ^{140}La, ^{144}Ce, ^{144}Pr und ^{237}U.

Außerdem wurden noch Spuren von Plutonium nachgewiesen.
Das Regenwasser in Kyoto, analysiert am 16. Mai 1954 durch Ionenaustauschprozesse, enthielt ^{89}Sr, ^{95}Zr, ^{95}Nb und ^{140}Ba. Außerdem wurden seltene Erden gefunden, die aber nicht identifiziert werden konnten.
Diese Untersuchungen zeigen das „globale" Ausmaß der radioaktiven Verseuchung an. Solche radioaktiven Wolken können also Tausende von km zurücklegen, bevor sie als radioaktiver Niederschlag abregnen (Abb. 6b).

i) Klinische Beobachtungen
Eine detaillierte klinische Beschreibung (Übersicht s. Abb.10) wurde von Tsuzuki (Tokio) gegeben. Zusammenfassend läßt sich hierüber folgendes sagen:
Bei den japanischen Fischern ist das akute Strahlensyndrom durch das Zusammenwirken meherer Strahlenschädigungstypen entstanden.

a) Äußere Gammastrahleneinwirkung. Diese schädigende, in den Gesamtorganismus penetrierende Strahlung stammt von Gammastrahlern aus der Asche, die das Boot bedeckte (das Boot als Strahlenquelle!) und Haare, Kleidung usw. verschmutzt hatte.
b) Betastrahleneinwirkung auf die Körperoberfläche. Hiervon wurden in erster Linie die von der radioaktiven Asche verschmutzten unbedeckten Hautpartien betroffen. Hierbei spielt die Gammastrahlung so gut wie keine Rolle. Es handelt sich praktisch also um eine (ß-) Kontaktbestrahlung.

[1] Es handelt sich offenbar um zum Zeitpunkt des Aschenregens bereits gefangene Thunfische.

c) Schädigung durch Inkorporierung der in der Asche enthaltenden Spaltprodukte, die sich mehr oder weniger selektiv in den einzelnen Organen entsprechend ihrer Organaffinität abgelagert hatten. Hierbei kommen ß- (z.T. auch γ-) und α-Strahlen zur Wirkung, wobei aber vor allem wiederum der ß-Anteil als schädigender Faktor ins Gewicht fällt.

Die Inkorporierung radioaktiv verseuchten Materials kann prinzipiell auf drei Wegen erfolgen:

1. Aufnahme über den Magen-Darm-Trakt,
2. Aufnahme über den Atemweg,
3. Aufnahme über die Haut durch Permeation.

Bei den japanischen Fischern dürfte die Inkorporation der Radionuklide über den Magen-Darm-Kanal, da sie sich von den ebenfalls verseuchten Thunfischen auf See ernährt haben, eine große Rolle gespielt haben. Sowohl qualitativ als auch quantitativ hatten dabei die Radioisotope von Jod, Calcium, Strontium sowie der seltenen Erden eine besondere Bedeutung. Der Funker des Schiffes starb ~6 1/2 Monate (207 Tage) nach dem Aschenregen. Die bei der Sektion entnommenen Organproben wiesen entsprechende Aktivitätsgehalte auf.
Durch Organanalysen beim Funker fand man, daß die Radionuklide der seltenen Erden und das Radiostrontium sich besonders, und zwar selektiv, anreichern. Es fiel vor allem die hohe Radioaktivität (faktor $>$ 40) der Radionuklide der seltenen Erden im Knochen auf.
Es würde den Rahmen dieser vorwiegend klinisch orientierten Arbeit sprengen, wenn hier auf die Problematik der Schädigung durch diese Inkorporierung noch näher eingegeangen würde. Es dürfte aber in erster Annäherung zutreffen, daß der auf die Radionuklid-Inkorporierung entfallende Anteil an der (akuten) Gesamtschädigung bei den vorliegenden Fällen von nicht so großer Bedeutung ist wie ursprünglich angenommen wurde. Vielmehr dürfte hier das klinische Bild des akuten Strahlensyndroms in erster Linie durch die äußere Gammastrahleneinwirkung sowie die äußere Verseuchung der Körperoberfläche bedingt gewesen sein.
Jedenfalls bieten die oben zitierten Organanalysenzahlen keinen Anhalt dafür, daß die „innere" Radioaktivität (infolge Inkorporierung) sich entscheidend auf die Ausprägung des akuten Strahlensyndroms ausgewirkt hätte. Zu diesem Ergebnis kommt man, wenn überschlagsweise die während des in Frage kommenden Expositionszeitraumes von etwa vier Monaten erhaltene „innere" Strahlendosis abgeschätzt wird.

Darüber hinaus muß festgestellt werden, daß die von Kimura u. Mit. mitgeteilten Zahlen, wenn sie auch für die erste Orientierung sehr wertvoll sind, mit einiger Zurückhaltung aufgenommen werden müssen. So müßte beim Strontium z.B. der für Leber mitgeteilte Wert kritisch betrachtet werden, da sich hinter dieser Zahl sicher nicht Strontium, sondern wahrscheinlich im Falle des Vorliegens von ^{90}Sr das Zerfallsprodukt ^{90}Y verbirgt. Selbst wenn primär kein ^{90}Y inkorporiert worden wäre, sondern z.B. nur ^{90}Sr im Knochen, dann würde im Laufe der Zeit das beim ^{90}Sr-Zerfall entstehende ^{90}Y in hohen Maße in das RES und damit auch in die Leber abwandern (eigene Versuche).
Mit dieser Kritik soll gezeigt werden, wie schwierig es ist, beim derzeitigen wissenschaftlichen Stand des Inkorporierungsproblems irgend etwas Verläßliches über das Ausmaß der „inneren" Strahlenwirkung im Falle der Einverleibung eines aus so vielen Einzelelementen bestehenden Spaltgemisches auszusagen. Diese Feststellung ist auf eigene experimentelle Erfahrungen gestützt. Das Inkorporierungsproblem ist zu einem aktuellen Thema geworden, seitdem sich zu den bereits bestehenden Gefahren der nuklearen Kriegsführung nun noch die der radioaktiven Vergiftung hinzugesellt hat. Auch hier hinkt die medizinische und radiobiologische Forschung noch sehr nach. Wohl weiß man z.B. über die Organaffinität einer Reihe von Radionukliden (Schwefel – Knorpel: Jod – Schilddrüse: Strontium – Knochen: Plutonium – Leber) recht gut Bescheid. Demgegenüber ist die Art der Feinverteilung im Gewebe noch weitgehend unbekannt. Davon hängt aber wiederum wesentlich ab, ob u.U. geringe Organkonzentrationen auch noch schädigen können. So weiß man z.B. erst seit jüngster Zeit durch radioautographische Untersuchungen, daß im Falle des Radiums sich in einem Organbezirk von nur 80 μ die Elementkonzentration von „Null" bis auf einen Maximalwert, der bereits Zellnekrobiose bedingt, ändern kann.

k) Tierexperimentelle Untersuchungen mit der radioaktiven Asche
Zum besseren Verständnis des pathologischen Geschehens bei den strahlengeschädigten Fischern führten Kikuchi u. Mit. Stoffwechselstudien mit den Spaltprodukten an Mäusen, denen die Asche peroral appliziert wurde, durch und kamen dabei zu folgenden Resultaten:

1. Die Radionuklide der alkalischen Erden wurden wie erwartet vornehmlich im Skelettsystem abgelagert.
2. Hauptsächliche Ablagerungsorte der Schwermetalle waren Nieren, Leber, Lunge und Milz. Ihre Exkretion erfolgte hauptsächlich über die Niere.
3. Bei subkutanter Injektion der Asche lagern sich die seltenen Erden vor allem im Knochen ab. Ausscheidung erfolgt über Niere und Verdauungstrakt.

4. Die s.c.-Injektion eines HCl-Extraktes der Asche führt zu höheren Aktivitäten in Knochen, Nieren, Leber, Lungen und Milz. Ausscheidungsmechanismus derselbe wie unter 3. angegeben.
5. Detaillierte Stoffwechseluntersuchungen mit ^{91}Y, ^{141}Ce, ^{144}Ce, ^{144}Pr, ^{45}Ca, ^{89}Sr, ^{90}Sr, ^{103}Ru, ^{106}Rh, ^{95}Zr, ^{95}Nb und ^{131}J an Mäusen führten zu Ergebnissen, die sich mit im einschlägigen Schrifttum bereits niedergelegten Resultaten weitgehend decken. So wurde u.a. festgestellt, daß sich Sr, Ca und Y (!!; s.o.) hauptsächlich im Knochen ablagern. Dabei ruft Sr die stärksten Schädigungen hervor.

Sr und Ca werden schnell nach oraler Applikation vom Verdauungstrakt resorbiert, Y hingegen relativ wenig.
Auch autoradiographische Studien über die Verteilung von ^{89}Sr, ^{90}Sr und ^{45}Ca bei Mäusen und Meerschweinchen zeigten die bevorzugte Ablagerung dieser Radioisotope im Knochen.
Bemerkenswerterweise traten bei intrakardialer Applikation von 15 μCi ^{45}Ca nach fünf Tagen noch keine wesentlichen Blutbildveränderungen auf.
Behandlungsversuche mit Natrium-EDTA hatten keinen Einfluß auf die Ausscheidung von Sr. Hingegen nahm dabei der Gehalt der Knochen an seltenen Erden deutlich ab.
Größere Dosen von ^{89}Sr und ^{90}Sr (500 μCi) führten während einer Beobachtungsdauer von 40 Tagen zu mäßiger Leukopenie im peripheren Blut von Kaninchen und zu deutlichen Depressionen im Knochenmark.

I) Weitere klinische Beobachtungen und deren Interpretation
Die bereits erwähnten klinischen Beobachtungen an den strahlenerkrankten japanischen Fischern haben zwar zu einer Fülle wertvoller Einzelergebnisse geführt, aber trotzdem konnte – wie die nachfolgenden Ausführungen zeigen werden – das Problem der Pathogenese des Strahlensyndroms noch nicht in wünschenswertem Ausmaß geklärt werden.
Neben den strahleninduzierten subakuten Dermatitiden standen klinisch die Schädigungen des hämatopoetischen Systems im Vordergrund.
Etwa drei bis vier Wochen nach dem Niedergehen des radioaktiven Aschenregens wurde während der stationären Beobachtung ein schnelles Absinken der Leukozytenzahl festgestellt. Nach fünf bis sechs Wochen ließ sich eine Leukopenie bei fast allen Fischern nachweisen. Die Leukozytenwerte schwankten um 2000. Weitere hämatologische Charakteristika zeigten sich in einem Absinken der Knochenmarkszellen unter 50 000 und in einer Thrombopenie ($<$ 10 000). Diese hämatologischen Veränderungen wurden als Panmyelophthisen angesprochen.
Weitere bemerkenswerte Symptome waren Fieber, Hämorrhagien, „partielle" Epilation und Appetitlosigkeit. Auf Grund dieser Symptome wurde keine günstige Prognose gestellt.

Die Schädigungen des spermatogenetischen Apparates dokumentierten sich als Hypospermie und Aspermie.
Vergleicht man diese pathologischen Veränderungen mit denen, wie sie eingangs bei der ausführlichen Schilderung des an einem akuten Strahlensyndroms erkrankten amerikanischen Wissenschaftlers diskutiert worden sind, so muß man feststellen, daß es sich praktisch um das gleiche Krankheitsgeschehen, nur in etwas protrahierter Form handelte. Werden die derzeitigen Kenntnisse auf dem Gebiete der Radiobiologie und der Klinik von Strahlenerkrankungen berücksichtigt, so dürfte man in der Annahme nicht fehlgehen, daß die dem Krankheitsgeschehen zugrunde liegenden pathogenetischen Faktoren prinzipiell die gleichen sind. Das steht auch mit unserer eingangs zu diesem Kapitel getroffenen Feststellung im Einklang, da ja die japanischen Fischer in der Hauptsache durch die äußeren Gammastrahlen (von der auf dem Boot niedergeschlagenen Asche ausgehend) und durch eine Beta-Kontaktbestrahlung (ausgehend von der auf Kleidung und Körperoberfläche fixierten Asche) strahlengeschädigt worden sind. Das soll natürlich nicht heißen, daß durch die Inkorporierung größerer Mengen von Radionukliden nicht etwa ähnliche klinische Bilder entstehen könnten. Doch liegen darüber zur Zeit – abgesehen von Erfahrungen über chronische Radiumvergiftungen und Plutoniuminkorporierung – keine ausreichenden humanmedizinischen Beobachtungen vor, so daß auf diese Frage nicht näher eingegangen werden soll. Da natürlich sofort nach der stationären Aufnahme eine Behandlung eingeleitet wurde, sind auch diese Beobachtungen bei den japanischen Fischern nicht repräsentativ für das „reine" Strahlensyndrom.
Die Therapie bei den in Rede stehenden Fällen beschränkte sich in erster Linie auf allgemeine Behandlungsmethoden und bestand vor allem in Maßnahmen, die roborierend wirken und auf die Unterstützung des hämatopoetischen Systems abgestimmt sind (gute Ernährung, absolute Ruhe, Applikationen von Antibiotika sowie Transfusion von Blut, Blutersatzstoffen usw.). Zuvor wurde natürlich als Sofortmaßnahme versucht, die durch die Asche radioaktiv kontaminierte Hautoberfläche zu reinigen, um dadurch eine wichtige weiterhin schädigende Strahlenquelle auszuschließen; also wurde eine kräftige mechanische Säuberung der Hautoberfläche des ganzen Körpers durchgeführt, und die Haare wurden abgeschnitten. Durch diese wiederholt durchgeführten Reinigungsprozeduren konnte schließlich erreicht werden, daß nach etwa einem Monat die Haut-Radioaktivität fast quantitativ beseitigt worden war. Nach dieser Zeit waren auch die oben beschriebenen Hautaffektionen praktisch abgeheilt. Unter diesen Behandlungsmaßnahmen trat etwa nach der sechsten Woche eine allmähliche Besserung der klinischen – insbesondere der hämatologischen – Symptome ein. So stieg die Leukozytenzahl wieder auf Normalwerte an. Parallel dazu erholte sich auch das Knochenmark. Nach den Mitteilungen von Tsuzuki zeigten jedoch einige Fälle weiterhin Leukopenie mit

Zellzahlen zwischen 2000 und 3000. Er führte in diesem Zusammenhang aus: „Wir hatten damals im allgemeinen den Eindruck, das die Rekonvaleszens der Fischer viel langsamer als die der Hiroshima- und Nagasakifälle fortschreitet."

Wir haben zwar mehrmals betont, daß die Strahlenerkrankungen der japanischen Fischer in erster Linie auf äußere Gammastrahleneinwirkung beruhte. Aber vielleicht ergibt sich aus dem eben zitierten Satz doch zumindest ein klinischer Anhaltspunkt dafür, daß die verzögerte Rekonvaleszenz durch zusätzliche „innere" Strahlenschädigung durch die inkorporierten radioaktiven Aschenbestandteile bedingt war. Mehr läßt sich allerdings aus dem zur Verfügung stehenden klinischen Material nicht herauslesen.
Ähnliche Überlegungen gelten für ein gerade bei den japanischen Fischern sehr eindrucksvolles Symptom, nämlich den Ikterus. Im sechsten Monat zeigten 17 von 23 Fischern mehr oder weniger ausgeprägte Störungen der Leberfunktion, die sich in den meisten Fällen auch als deutlicher Ikterus dokumentierte. Diese ikterischen Erscheinungen waren bei der Mehrzahl der Fälle passagerer Natur, aber bei einigen Fällen traten sogar ein- und mehrmalige Rückfälle auf. Im September, d.h. sechseinhalb Monate nach der Strahlenschädigung , starb, wie bereits erwähnt, einer der Erkrankten an einem hepatischen Koma. Bei der Sektion dieses Falles wurden hochgradige Veränderungen in der Leber nachgewiesen, wobei allerdings die Frage offenbleibt, wodurch diese letzten Endes zustande gekommen sind. Tsuzuki ist der Ansicht, daß sich für die Erklärung drei Möglichkeiten anbieten:

1. Serumhepatitis, durch Blut- oder Plasmatransfusion verursacht.
2. Sekundäre Leberschädigung, durch Zerfallsprodukte der radiosensiblen Zellen und Gewebe verursacht.
3. Primäre, direkte Leberschädigung, durch äußere und innere Strahlenwirkung der radioaktiven Aschenelemente verursacht.

Wir möchten uns der Vermutung anschließen, daß die oben genannten Komponenten pathogenetisch zusammengewirkt haben. Wie die oben mitgeteilten Zahlenangaben über den radioaktiven Gehalt der Organe bei diesem Falle gezeigt haben, ist infolge der Speicherung in der Leber insbesondere von Radionukliden der seltenen Erden durchaus mit einer direkten Strahlenschädigung dieses Organs zu rechnen, zumal sein Stoffwechsel sowieso infolge der allgemeinen Erkrankung überbeansprucht war. Jedenfalls ist Tsuzuki der Ansicht, daß eine sehr innige Beziehung zwischen radioaktiver Asche und Leberschädigung gegeben war. Nach unseren eigenen tierexperimentellen Untersuchungsergebnissen können wir diese Ansicht nur unterstreichen.
Ein Jahr nach dem Unglücksfall lebten bis auf einen alle der seinerzeit erkrankten japanischen Fischer. Die Kontrolle ergab praktisch bei allen Fällen

normale Blutbilder und normale Leberfunktion. Eine Erholung der Spermatogenese begann sich abzuzeichnen. Auch diese Tatsache stimmt mit entsprechenden Beobachtungen bei Nachkontrollen männlicher Strahlenopfer von Hiroshima und Nagasaki gut überein. Hierbei zeigte sich, daß zehn Jahre nach dem Bombenabwurf auch solche Japaner normale morphologische und funktionelle Verhältnisse im Spermatogramm aufwiesen, die bei den damaligen ersten Untersuchungen zum Teil schwere Störungen (Oligospermie dritten Grades bis zu Azoospermie) gezeigt hatten.

Es ist aber nach den bisher vorliegenden Erfahrungen durchaus damit zu rechnen, daß bei einigen der Fälle chronische Strahlenschäden zurückbleiben bzw. sich erst im Laufe von Jahren, wenn nicht Jahrzehnten, herausstellen werden.

Solche möglicherweise zu erwartenden Spätschäden sind Katarakte, Leukämien oder auch Panmyelophthisen sowie Knochentumoren. Vor allem mit den letzteren muß bei den japanischen Fischern gerechnet werden, weil sie ja nachgewiesenermaßen auch gerade solche Radionuklide aus den in der Asche enthaltenen Spaltprodukten inkorporiert haben, denen eine ausgesprochene Affinität zum Knochensystem eigen ist (vergl. Abb.10).

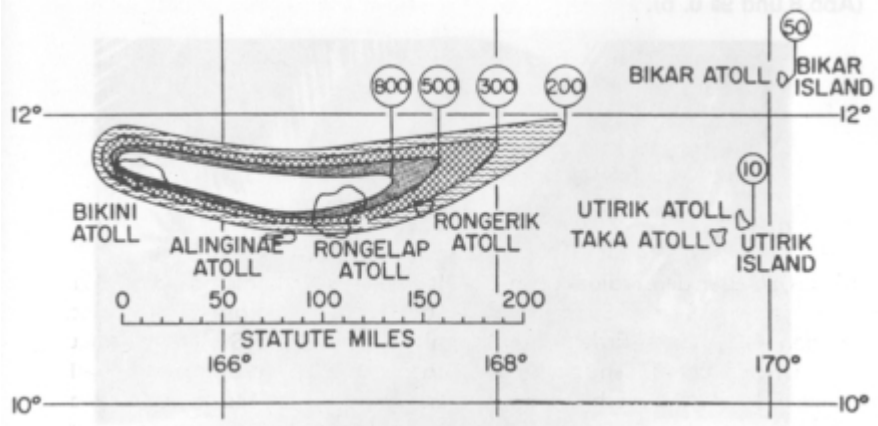

Abb. 7: Ausbreitung des radioaktiven Fallouts (Niederschläge) auf die benachbarten Atoll-Inseln (Marshall-Inseln) nach der Wasserstoffbombenexplosion auf dem Bikini-Atoll am 1. 3. 54. Die umkreisten Zahlen markieren die Isodosenlinien des geschätzten Fallouts (veröffentlicht 1956). Sie geben in sehr grober Abschätzung die Expositionsdosen innerhalb 48 Stunden bei Aufenthalt im Freien an (also ohne Schutz und ohne Evakuierungsmaßnahmen).

Die Ausbreitung der radioaktiven Wolken und die von ihnen hervorgerufenen biologischen Effekte bei den H-Bombenversuchsexplosionen im Pazifik wurden unterschätzt. So wurden nicht nur die japanischen Fischer auf offener See, sondern vor allem auch Marshallesen und Amerikaner, die auf bis zu ~ 400 km vom Explosionsort entfernten Inseln lebten, durch radioaktiven Fallout strahlengeschädigt. Bereits 1956 lag darüber eine ausführliche Studie der amerikanischen Atomenergiebehörde (AEC) vor (vgl. Abb.7,8), danach traten wie zu erwarten, prinzipiell die gleichen Schädigungsmuster, – wie bei den japanischen Fischern beschrieben, – auf. Eine zu früh durchgeführte Wiederbesiedlung der Inseln mußte wieder abgebrochen werden, weil sich zeigte, daß Reste des radioaktiven Falloutmaterials immer noch vorhanden waren, wobei gerade die biologisch gefährlichen Radionuklide mit langen Halbwertzeiten via biozyklischer Anreicherung eine permanente Inkorporierungsgefahr darstellten. Auch in USA selbst wurde das radioaktive Falloutrisiko unterschätzt. Offenbar sind bei den Versuchsexplosionen von A-Bomben (Spaltbomben) insbesondere in Nevada, – verbunden mit militärischen Einsatzübungen, – viel mehr Soldaten durch radioaktiven Fallout mit konsekutiver Inkorporierung des Spaltproduktes Spätgeschädigte (Leukämien, Tumoren), als zunächst angenommen. Wieviele Menschen der Bevölkerung in dieser an sich dünnbesiedelten Gegend Inkorporierungsspätschäden davon getragen haben, ist unbekannt. Man kann darüber nur Vermutungen anstellen (Abb.8 und 9a u. b).