

KfK 4871
April 1991

Inkorporationsdiagnostische Maßnahmen und therapeutische Möglichkeiten bei Inkorporationen mit radioaktiven Stoffen

L. Ohlenschläger
Medizinische Abteilung

Kernforschungszentrum Karlsruhe

**Kernforschungszentrum Karlsruhe
Medizinische Abteilung**

KfK 4871

**Inkorporationsdiagnostische Maßnahmen und
therapeutische Möglichkeiten
bei Inkorporationen mit radioaktiven Stoffen**

L. Ohlenschläger

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

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

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
Postfach 3640, 7500 Karlsruhe 1

ISSN 0303-4003

Kurzfassung

Inkorporationen zählen zu den seltenen Ereignissen, obwohl der Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen in den Bereichen Medizin, Biologie, Technik und Industrie erheblich zugenommen hat. Daraus ergibt sich für den zu einem Inkorporationszwischenfall hinzugezogenen Arzt eine gewisse Unsicherheit in bezug auf die Vorgehensweise.

Zum besseren Verständnis für die zu ergreifenden inkorporationsdiagnostischen Maßnahmen werden die einzelnen Belastungspfade einer Inkorporation aufgeführt und ihre physikalisch-chemischen Mechanismen beschrieben. Dabei wird auf die Notwendigkeit einer fachübergreifenden, interdisziplinären Zusammenarbeit mit dem physikalischen Strahlenschutz hingewiesen.

Therapeutische Möglichkeiten werden sowohl für Erste-Hilfe-Maßnahmen als auch für weitergehende Behandlungen durch den ermächtigten Arzt aufgezeigt. Das Ziel dieser Bemühungen besteht in der Verringerung der Absorption des Radioisotops aus dem Magendarmtrakt, der Verhinderung der Aszension der Aktivität aus einem Wunddepot in das Transferkompartiment und der Erschwerung der Deposition der radioaktiven Substanz in die Organe.

Eigene Erfahrungen bei der Behandlung von Inkorporationszwischenfällen mit Transurane-Isotopen werden anhand einer Kasuistik besprochen.

Abstract

Diagnostic Measures and Therapeutic Possibilities in Incorporations of Radioactive Substances

Incorporations are among the rare events, despite the considerably increased use of unsealed radioactive substances in medicine, biology, engineering, and industry. For the physician attending on an incorporation accident this implies some uncertainty about the proper procedure to adopt.

In the interest of better understanding the diagnostic measures to be taken in cases of incorporation, the exposure pathways of an incorporation are outlined and their physical and chemical mechanisms described. Attention is drawn to the need for interdisciplinary cooperation with health physics.

Therapeutic possibilities are indicated for both first aid measures and further treatment by the authorized physician. These efforts are intended to reduce the absorption of the radionuclide from the gastro-intestinal tract, prevent the ascension of activity from a wound deposit to the transfer compartment, and impede depositions of the radioactive substance in some organs.

In-house experience accumulated in the treatment of incorporation accidents associated with transuranium isotopes is described on the basis of some case reports.

Inhaltsverzeichnis:	Seite
1. Einleitung	1
2. Inkorporationsmodus	2
2.1 Inkorporation per Inhalation	2
2.2 Inkorporation per Ingestion	5
2.3 Inkorporation per Vulneration	6
3. Inkorporationsdiagnostische Maßnahmen	7
4. Therapeutische Möglichkeiten	11
4.1 Erste-Hilfe-Maßnahmen	13
4.2 Verringerung der Absorption des Radioisotops aus dem Magendarmtrakt	13
4.3 Verhinderung der Aszension des Wunddepots in das Transferkompartiment	15
4.4 Verhinderung der Ablagerung der bereits im Transferkompartiment befindlichen Radionuklide	18
4.5 Verwendung nicht radioaktiver Isotope als Schutzmittel	20
5. Kasuistik	21

	Seite
Literatur	24
Anhang	
1. Sammelvorschriften für die Inkorporations- überwachung aus besonderem Anlaß	26
2. Verzeichnis der Meßstellen für Inkorporations- überwachung	27
Abbildungen	

1. Einleitung [ICRP10]

Im Gegensatz zur Kontamination ist die Inkorporation, die teils primär, teils sekundär bei Kontaminationen insbesondere im Gesichts-, Hals-, Haarbereich auftritt, der direkten Diagnostik schwerer zugänglich.

Für das Verständnis der bei einer Inkorporation auftretenden vielseitigen Vorgänge sind folgende Begriffe von Bedeutung

- Zufuhr (intake)
- Aufnahme (uptake) und
- Ablagerung (deposition)

Unter der **Zufuhr** einer radioaktiven Substanz versteht man die von außen in den Körper gelangte Aktivität.

Die **Aufnahme** einer radioaktiven Substanz ist definiert als die Menge, die von den Schleimhäuten der Atemwege, des Magen-darmtrakts oder aus einer Wunde in den extrazellulären Raum (Transferkompartiment) aufgenommen wird.

Ablagerung bedeutet die Abscheidung des Radionuklids in die Organe.

Über die äußerst komplexen Sedimentationsvorgänge radioaktiver Aerosole in den Atemwegen und Lungen hat die Arbeitsgruppe für Lungendynamik im Auftrag der Internationalen Kommission für Strahlenschutz Depositions- und Retentionsmodelle für die interne Dosimetrie beim Menschen erstellt.

Für die strahlenschutzärztliche Einschätzung eines Inkorporationszwischenfalls und die sich daraus ergebenden medizinischen Maßnahmen ist die Kenntnis der Grunddaten dieses Lungenmodells erforderlich.

2. *Inkorporationsmodus [TRS73]*

Man unterscheidet 3 Pfade einer Zufuhr von radioaktiven Stoffen, die mit einer Inkorporation verbunden sind:

- Inhalation
- Ingestion
- Vulneration

Die Inkorporation durch Inhalation liegt aus der Sicht der Praxis zahlenmäßig an erster Stelle, gefolgt von der Inkorporation durch Ingestion und durch Vulneration.

Eine Inkorporation bei Kontamination einer intakten Haut ist strahlenschutzmedizinisch unbedeutend und bleibt daher in diesem Zusammenhang unberücksichtigt.

2.1 *Inkorporation per Inhalation*

Die wichtigsten physikalisch-chemischen Mechanismen bei einer Inkorporation per Inhalation sind die

- Sedimentation
- Translokation und
- Deposition

Zum besseren Verständnis der komplexen Vorgänge werden die Atemwege und Lungen in drei anatomische Abschnitte (Kompartimente) eingeteilt:

- Nasopharyngealkompartiment (N-P-Kompartiment)
 - tracheobronchiales Kompartiment (T-B-Kompartiment)
 - pulmonales Kompartiment (P-Kompartiment)
- (Abb. 1)

Für den prozentualen Anteil der **Sedimentation** nach Inhalation radioaktiver Stäube in den einzelnen Kompartimenten ist die Korngröße des inhalierten Aerosols von Bedeutung. Bei der Korngrößenhäufigkeitsverteilung der Aerosole werden die großen Teilchen (ca. 10 μm) zu etwa 90 % in dem nasopharyngealen Kompartiment abgeschieden. Korngrößen von $< 1 \mu\text{m}$ werden bis zu 65 % im tiefer liegenden Lungenkompartiment sedimentiert. Der prozentuale Anteil der Abscheidung für das tracheobronchiale Kompartiment liegt gemittelt über alle Korngrößen bei etwa 8 % (Abb. 2).

Die **Translokation** beschreibt unter anderem den Vorgang einer biologischen Clearance, die durch einen mundwärts gerichteten mukozilliaren Transport der Aerosole die Räumung der einzelnen beaufschlagten Kompartimente bewirkt. Dabei wird das radioaktive Material verschluckt und über den Magendarmtrakt ausgeschieden (Abb. 3). Dieser Vorgang wird zu inkorporationsdiagnostischen Maßnahmen genutzt, indem bei Inkorporationen mit α -Strahlern Stuhlanalysen vorgenommen werden, mit deren Hilfe und unter Verwendung von mathematisch erstellten Ausscheidungsfunktionen eine Aussage über die Höhe der Aktivitätszufuhr gemacht werden kann.

Bei leicht löslichen Fraktionen eines inhalierten radioaktiven Aerosols findet eine Translokation über eine transmuköse Permeation in den Blutkreislauf statt. Ein Teil dieser Aktivität wird über die Nieren im Urin ausgeschieden. Durch Urinalysen werden ebenfalls wichtige Erkenntnisse für die Aktivitätszufuhr und die Körperbelastung, insbesondere bei Inkorporationen mit α -Strahlern, gewonnen.

Zur **Deposition** in die Körperorgane gelangt diejenige radioaktive Fraktion, die nicht über den Magendarmtrakt oder die Nieren ausgeschieden wird. Dieser Anteil ist ausschlaggebend für die zu erwartende innere Strahlenbelastung nach einer Inkorporation.

Für den Strahlenschutzarzt wird die von dem alten Lungenmodell der ICRP-Task Group abgeleitete Faustregel als nützlich angesehen. Sie beschreibt die physikalisch-chemischen Mechanismen bei einer Inkorporation durch Inhalation wie folgt:

- 25 % Exhalation
- 50 % schnelle Clearance aus dem nasopharyngealen Kompartiment mit Verschlucken und Ausscheidung über den Magendarmtrakt;
- 12,5 % langsame Clearance aus dem pulmonalen Kompartiment durch mukozilliaren Transport oralwärts mit anschließendem Verschlucken und Ausscheidung über den Magendarmtrakt;
- 12,5 % Ablagerung in pulmonale Lymphknoten und Übertritt in die Blutbahn mit einer Halbwertszeit von ca. 500 Tagen und anschließender Ausscheidung über die Nieren.

2.2 *Inkorporation per Ingestion [NCRP79]*

Die reine Inkorporation per Ingestion ist verglichen mit der Inkorporation per Inhalation in der Praxis ein seltenes Ereignis. Allerdings geht jede Inkorporation per Inhalation mit einer sekundären Ingestion einher, die durch die biologische Clearance der Atemwege hervorgerufen wird. Dabei gelangt ein Teil der auf den Schleimhäuten der Atemwege sedimentierten Aktivität durch mukozilliaren Transport mundwärts und wird anschließend verschluckt. Auch Abscheidungen im nasopharyngealen Kompartiment werden sehr rasch verschluckt und über den Magendarmtrakt ausgeschieden.

Die Clearancezeiten im menschlichen Gastrointestinaltrakt, d.h. die Verweildauer des radioaktiven Materials im Darm bis zur Ausscheidung, sind abhängig von den Ernährungsgewohnheiten und der Verdauung aber auch von der Löslichkeit der ingestierten Substanz. Die mittlere totale Transitzeit liegt zwischen 24 und 36 Stunden. Sie kann beschleunigt werden durch die Einnahme von Purganzien.

Die Absorption des verschluckten Materials aus dem Darmtrakt in das Transferkompartiment ist außerordentlich unterschiedlich bezüglich der einzelnen Radionuklide. Zum Beispiel wird radioaktives Jod sehr schnell und nahezu vollständig aus dem Darm resorbiert, wo hingegen Plutonium nur außerordentlich schwer die Darmwand passieren kann.

Eine Darmbelastung ergibt sich durch den entero-enteralen Kreislauf. Dieser Vorgang beruht darauf, daß z.B. im Transferkompartiment befindliches Cäsium-137 in stärkerem Maße in den Magendarmtrakt sezerniert wird und anschließend in tieferen Darmabschnitten einer Rückresorption aus dem Darm unterliegt. In diesem Falle werden die Darmabschnitte passager einer erhöhten Strahlung durch Cäsium-137 ausgesetzt, wobei durch die Rückresorption des Cäsiums mit nachfolgender Einla-

gerung vorwiegend in das Muskelgewebe, eine erhöhte innere Strahlenbelastung resultiert.

Der gastrointestinale Trakt muß für viele unlösliche Radionuklide als kritisches Organ angesehen werden. Dabei unterliegt das Colon descendens der höchsten Exposition, da die Verweildauer des Inhalts ca. 75 % der gesamten Transitzeit durch den übrigen Darm beträgt. Die höchsten Ausscheidungsraten für unlösliche Radionuklide sind 24 bis 48 Stunden nach der Inkorporation per Ingestion zu erwarten.

2.3 Inkorporation per Vulneration [OH79]

Eine weitere Möglichkeit der Inkorporation stellt die kontaminierte Wunde dar. Das radioaktive Material kann in gelöster, fest-löslicher oder fest-unlöslicher Form an oder in die Wunde gelangen. In der gelösten und fest-löslichen Form erfolgt relativ schnell nach der Wundkontamination eine Aszension über eröffnete Blutgefäße in die Blutbahn mit nachfolgender Organablagerung. Die Verweildauer des Isotops im Blut ist in der Regel kurz. Liegt eine Wundkontamination in löslicher Form vor, so gelangt das Radioisotop innerhalb von Minuten in die Blutbahn, von wo einerseits eine Ausscheidung über die Nieren, andererseits eine Ablagerung in Organe erfolgt. Wird das Wunddepot nicht beseitigt, so stellt sich in der Folgezeit eine irreversible Verschiebung des Verhältnisses Blutradoaktivität zur Organradioaktivität, zugunsten der Organablagerung mit entsprechender innerer Strahlenbelastung ein.

Handelt es sich um eine Wundkontamination mit fest-unlöslichen Isotopen, so erfolgt eine langsame Phase des Transports vom Wunddepot in den Organismus. Dabei sind drei miteinander

konkurrierende Möglichkeiten der Inkorporation gegeben.

Das Radioisotop kann einen längeren Zeitraum über Tage, Wochen und Monate stationär im Wundgebiet verbleiben z.B. bei metallischen Einlagerungen, was mit einer hohen lokalen Strahlenbelastung verbunden sein kann.

Die fest-unlösliche Substanz wird über eröffnete Lymphbahnen in die regionalen Lymphknoten abtransportiert und verbleibt hier größtenteils über Jahre stationär, was ebenfalls zu einer hohen lokalen Strahlenbelastung führt.

Ein Teil des Materials wird durch Phagozytose aus dem Wundbereich über die Blutbahn in das retikuloendotheliale System eingelagert. Durch langsames in Lösunggehen gelangt dann wiederum ein minimaler Teil des deponierten Radionuklids in die Blutbahn und wird über die Nieren ausgeschieden.

Aus dem Extrazellularraum wird zudem die Aktivität in Skelett, Leber und andere Organe abgelagert. Bei Einlagerung in die Leber erfolgt die Ausscheidung eines Teils des Isotops mittels Cholerese über den choledocho-enteralen Trakt und kann daher auch im Stuhl nachgewiesen werden (Abb. 4).

3. *Inkorporationsdiagnostische Maßnahmen*

Die Inkorporationsdiagnostik beginnt immer mit der Erhebung einer ausführlichen Zwischenfall- bzw. Unfallanamnese des Patienten. Wichtig sind dabei die bereits vor Ort von dem zuständigen physikalischen Strahlenschutz ermittelten Erstdaten einer Hautoberflächenkontamination, der Luftaktivität oder der mit Hilfe eines Wischtestes gewonnene Aktivitätswert am Arbeitsplatz. Diese Daten werden zur Information des Arztes auf einem Begleitschein vermerkt (Abb. 5).

Bei Gesichtskontaminationen, besonders im Nase-Mund-Kinn-dreieck, wird ein Nasen- und Rachenabstrich abgenommen und zunächst direkt über einem Alpha-Beta-Großflächenproportionalzählrohr ausgemessen. Erhärtet sich der Verdacht auf eine Inkorporation durch ein positives Meßergebnis, so folgen nach Beseitigung einer evtl. vorhandenen Hautoberflächenkontamination folgende weiterreichende inkorporationsdiagnostische Maßnahmen:

- Direkte Messung unter dem Ganzkörperstrahlungsmeßgerät und/oder Lungenstrahlungsmeßgerät (Body- bzw. Lung-Counter).
- Indirekte Meßmethode zur Bestimmung der α -Aktivität und der energiearmen β -Aktivität in biologischem Material (Urin, Fäzes, Blut oder Gewebsexzidate sowie zusätzlich Mulltupfer von Nasen-Rachenabstrichen).

Bei energiereichen Beta- und Gammastrahlern ist die Messung des Patienten unter einem Ganzkörperstrahlungsmeßgerät das Mittel der Wahl. Hierbei lassen sich relativ sicher und einfach Aussagen im Rahmen gammaspektrometrischer Analysen über die Art des Nuklids und die Höhe der Aktivität machen. Ein weiterer Vorteil der direkten Messung der Aktivität ist die relativ kurze Zeitdauer von fünf bis zehn Minuten bis zur Fertigstellung des Meßergebnisses. Entsprechende Messungen unter dem Lungenstrahlungsmeßgerät über die bei α -Strahlern zusätzlich vorhandene Quantenstrahlung bedürfen in der Regel einer Meßzeit von ca. 50 Minuten.

Die indirekte Meßmethode über die Ausscheidungsanalytik ist ein wesentlich aufwendigeres Verfahren. Die hierfür in Betracht kommenden Nuklide, vorwiegend α -Strahler und energiearme β -Strahler, lassen sich infolge ihrer geringen Reichweite nur ungenügend mit dem Ganzkörper- oder Lungenstrahlungsmeßgerät nachweisen. Mit Hilfe der Ausscheidungsanalysen gelingt es jedoch, wenn auch unter beachtlichem Aufwand, durch Eindampfen und Veraschung des biologischen Materials mit nachfolgender radiochemischer Aufarbeitung den α -Strahler mittels elektrolytischer Abscheidung auf einem Platinplättchen zu fixieren und anschließend die Aktivität auszumessen.

Sammelvorschriften für die Durchführung von Ausscheidungsanalysen s. Anhang 1, Verzeichnis der Meßstellen s. Anhang 2.

Abb. 6 zeigt in vereinfachter Form ein Organigramm, welches den Ablauf der inkorporationsdiagnostischen Maßnahmen bei Inkorporationszwischenfällen darstellt.

Die inkorporationsdiagnostischen Maßnahmen im Falle einer Inkorporation per Ingestion entsprechen dem Vorgehen wie bei einer Inkorporation per Inhalation.

Die medizinischen Maßnahmen bei einer kontaminierten Wunde bestehen aus einer exakten Messung an und in der Wunde. Dabei sind vier Einzelmessungen vorzunehmen:

- Ausmessung der Wundumgebung mit einem Großflächenproportionalzählrohr;
- Messung der korpuskularen Strahlung an der Wunde mit dem Großflächenproportionalzähler;
- Messung mit einem Szintillationsdetektor an der Wundoberfläche;
- wenn möglich Messung in der Wunde mit einem speziellen Wundsondendetektor.

In den meisten Fällen besteht eine Oberflächenkontamination der die Wunde umgebenden Hautabschnitte, die durch die erste Messung mit dem Kontaminationsmonitor erfaßt wird. Zur weiteren Einkreisung der Aktivität wird mittels geeigneter Plexiglasauflagen, die mit verschiedenen Einsparungen oder einer zentralen Perforation versehen sind, wiederum unter Verwendung des Großflächenproportionalzählers, die Messung der korpuskularen Strahlung an der Wunde vorgenommen.

Zum Ausschluß eines in der Tiefe des Gewebes befindlichen Alphadepots schließt sich eine Messung mit dem Szintillationszähler an der Wundoberfläche an. Läßt diese Messung auf die Präsenz eines niederenergetischen Röntgen- oder Gammastrahlers schliessen, dann erfolgt der Einsatz eines sterilen Wundsondendetektors in der Wunde zur Feinlokalisierung kleinster Wunddepots.

Die Messungen werden am sitzenden oder liegenden Verletzten bei angelegter wundnaher Stauung durchgeführt. Kontrollmessungen vor und nach jeder ärztlichen Intervention sind erforderlich, um den Erfolg oder Mißerfolg der eingeleiteten Maßnahmen zu überprüfen. Den Abschluß des meßtechnischen Vorgangs bildet die Ausmessung des primären Wundverbandes sowie der evtl. Gewebsexzidate samt allen Instrumenten, die mit der kontaminierten Verletzung Kontakt hatten. Günstig ist die Verwendung von sterilem Einmalinstrumentarium und Abdeckmaterialien, die nach Beendigung des Eingriffs in Plastikbeutel verschweißt und dem radioaktiven Abfall beigegeben werden.

4. *Therapeutische Möglichkeiten [CA64, VO76, VO78, OH79]*

Die therapeutischen Möglichkeiten bei Inkorporationen sind, gemessen an der Anzahl der Radionuklide und den zur Verfügung stehenden und im Handel erhältlichen Antidote, begrenzt.

Es stehen den ca. 100 Radionukliden und 1 500 Radioisotopen ca. 20 Pharmaka gegenüber. Hinzu kommt, daß es bei der Anwendung im humanmedizinischen Bereich wegen der Seltenheit der Ereignisse an umfassender Erfahrung fehlt. Eine Ausnahme stellen die Chelatbildner dar, die mit Erfolg bei Inkorporationen mit langlebigen und radiotoxischen Transuranen, bei guter Verträglichkeit, Anwendung finden. Die klinischen Erfahrungen mit dem Antidot sind gut.

Abb. 7 vermittelt einen Überblick über die derzeit verfügbaren Antidote.

Vorab jedoch sollen einige allgemeine Überlegungen zur Therapie bei Inkorporationen Berücksichtigung finden. Anschließend werden im Rahmen einer Kasuistik Therapieergebnisse mit Chelatbildnern besprochen.

Nach Abschluß der inkorporationsdiagnostischen Maßnahmen, vor Beginn der Therapie und nach Beendigung der Behandlung, wird eine Abschätzung der Aktivitätszufuhr und der Dosis durch den physikalischen Strahlenschutz vorgenommen (Abb. 8). Dabei stellt sich für den Strahlenschutzarzt die Frage zur Durchführung einer ausscheidungsintensivierenden Therapie. Die Indikationsstellung erweist sich immer dann als schwierig, wenn aufgrund der metabolistischen Vorgänge im Körper eine schnelle, unmittelbar nach dem Zwischenfall einsetzende Therapie erforderlich wird, aber die hierfür notwendigen inkorporationsdiagnostischen Befunde durch zum Teil zeitaufwendige Untersuchungstechniken nicht frühzeitig genug zur Verfügung stehen. Diese Situation ist vorwiegend bei Inkorporationen mit α -Strahlern gegeben, deren Nachweis im Körper

nicht oder nicht immer mit genügender Sicherheit durch Anwendung direkter Meßverfahren (Ganzkörperstrahlungs- oder Lungenstrahlungsmeßgerät) möglich ist. Hier müssen indirekte Meßmethoden über radiochemische Aufarbeitung von Stuhl- und Urinproben und anschließender Ausmessung der Proben herangezogen werden, wobei der Arbeitsaufwand die Zeit bis zum Eingang der ersten Analyseergebnisse erklärt.

Für die Indikation zu einer ausscheidungsintensivierenden Therapie ist die Kenntnis des inkorporierten Radionuklids und die Höhe der Inkorporation von Bedeutung. Im Falle einer Inkorporation mit kurzlebigen Isotopen kann man den jeweiligen Grenzwert der Jahresaktivitätszufuhr für die Einleitung einer Behandlung zugrunde legen. Diese wird dann zu erwägen sein, wenn das Doppelte dieses Wertes überschritten wird. Bei einer Inkorporation mit langlebigen radiotoxischen α -Strahlern sehen wir bereits die Überschreitung des Vierteljahresgrenzwertes als Indikation für die Einleitung einer Therapie an. In diesen Fällen gilt nach unseren Erfahrungen auch schon der Verdacht auf eine erhöhte Inkorporation als Anlaß für die Verabfolgung einer Einzeldosis als Bolus zum Zwecke der diagnostischen Ausscheidungsintensivierung. Kommt es nach dieser initialen Behandlung zu einer verstärkten Ausscheidung von α -Aktivität im Urin, dann ist ein optimaler therapeutischer Früheffekt erzielt worden, an den sich weitere Infusionsbehandlungen anschließen können. Dadurch wird eine erhebliche Verringerung der Ablagerung des im Blut befindlichen Radioisotops in die Organe erreicht, was wiederum zu einer Senkung der inneren Strahlenbelastung führt. Kommt es nach dieser Erstbehandlung im Sinne einer diagnostischen Ausscheidungsintensivierung zu keiner vermehrten Ausscheidung im Urin, dann kann davon ausgegangen werden, daß auch keine nennenswerte Inkorporation zu besorgen ist. Die durch dieses Verfahren bedingte erschwerte Abschätzung der Aktivitätszu-

fuhr ist gegenüber der erzielten therapeutischen Effizienz in Kauf zu nehmen.

Die speziellen therapeutischen Maßnahmen nach Inkorporationen mit Radioisotopen beruhen im wesentlichen auf folgenden Überlegungen:

4.1 Erste-Hilfe-Maßnahmen

Für die Erste-Hilfe-Maßnahmen ist es nützlich, nach einer Inkorporation durch Verschlucken unmittelbar nach dem Ereignis eine Mund- und Nasenvorhofspülung vorzunehmen. Dabei kann das Putzen der Zähne mit reichlich Zahnpasta und anschließendem Spülen des Mundes zur Entfernung der in der Mundhöhle und im Nasenrachenraum abgeschiedenen radioaktiven Inhalate dienen.

4.2 Verringerung der Absorption des Radioisotops aus dem Magendarmtrakt

Als ärztliche Maßnahme kann bei Inkorporation durch Ingestion eine Magenausheberung mit anschließender Spülung des Magens vorgenommen werden, wobei dem Spülmittel, im allgemeinen Wasser oder physiologische Kochsalzlösung, medizinische Kohle beigegeben werden kann, wodurch die Bindung eventuell noch im Magen verbliebener Restaktivitäten an das Adsorbens verbessert wird.

Eine weitere, wenn auch drastische Methode besteht darin, auf mechanischem oder medikamentösem Wege den Patienten zum Erbrechen zu bringen, um auf diese Weise eine künstliche Entleerung des Mageninhaltes herbeizuführen.

Schließlich kann auch bei schon im Darm befindlichen radioaktiven Substanzen eine beschleunigte Entleerung des Darminhaltes medikamentös oder durch Einlauf versucht werden.

Bei der Wahl eines Abführmittels ist darauf zu achten, daß dieses mit dem Radioisotop keine lösliche Verbindung eingeht und damit einer Resorption aus dem Darm ungewollt Vorschub geleistet wird.

Die Verhinderung der Absorption des Radionuklids im Magendarmtrakt nach Inkorporation per Ingestion kann erreicht werden durch Verabfolgung von Substanzen, die selbst nicht aus dem Magendarmtrakt in das Transferkompartiment (Blutbahn) übergehen, Substanzen, die schwer löslich sind und den Darm auf natürliche Weise nahezu vollständig wieder verlassen.

Nach Verschlucken von radioaktiven Erdalkalimetallen, wie z.B. Calcium, Strontium, Barium oder Radium, wird eine Resorption dieser Substanzen aus dem Magendarmtrakt durch rechtzeitige Verabfolgung von Bariumsulfat (Röntgenkontrastmittel) weitgehend verhindert. Das Mittel besteht aus 100 g Bariumsulfuricum purissimum, welches in 250 ml Wasser suspendiert ist.

Die Wirkung kann durch eine beschleunigte Darmpassage erhöht werden. Hierzu ist die zusätzliche Verabfolgung von Abführmitteln (z.B. Glaubersalz) erforderlich.

Weitere Pharmaka, die einer Absorption des Radionuklids im Magendarmtrakt entgegenwirken, sind säurebindende Mittel.

In Form der Radiogardase-CS oder des Antidotum Thallii stehen Medikamente zur Verfügung, die den entero-enteralen Kreislauf bestimmter Radionuklide wie Rubidium, Caesium oder Thallium blockieren.

Sie verhindern den Wiedereintritt der Radionuklide aus dem Darmtrakt in die Blutbahn.

4.3 Verhinderung der Aszension des Wunddepots in das Transferkompartiment

Ziel der therapeutischen Maßnahmen bei einer kontaminierten Wunde ist es, möglichst die gesamte Wundaktivität zu eliminieren, um einer potentiellen Inkorporation vorzubeugen. Um eine optimale Versorgung zu gewährleisten, muß die Erste Hilfe bereits am Unfallort einsetzen. Die überwiegende Anzahl der kontaminierten Wunden befindet sich im Finger-Handbereich. Als Erstmaßnahme noch am Unfallort wird die Anlage einer wundnahen Stauung durch den in Erster Hilfe geschulten Laien empfohlen. Auf diese einfache Weise wird die Aszension des radioaktiven Nuklids über eröffnete Blut- und Lymphgefäße weitgehend verhindert und damit einer Inkorporation mit nachfolgender Organablagerung vorgebeugt. Die so gestaute Wunde wird unter Fließwasser gespült, wobei die häufig infolge der Stauung einsetzende venöse Blutung zusätzlich zu einer Ausschwemmung der bereits in der Wunde befindlichen Aktivität beiträgt. Die Anlage eines sterilen Wundverbandes, sowie die Einleitung und Durchführung des Transports zum behandelnden Arzt, beenden die Erste Hilfe am Unfallort. Sie stellt ein wichtiges Glied in der Behandlung der kontaminierten Verletzung dar.

Das anschließende ärztliche Vorgehen richtet sich nach Art und Schwere der Verletzung sowie nach der Radiotoxizität des radioaktiven Wunddepots. Daraus ergeben sich drei Möglichkeiten der Behandlung:

- Konservativ chirurgische Maßnahmen

Diese finden Anwendung bei allen kleineren und oberflächlichen Verletzungen die mit kurz- und mittellebigen Radionukliden von geringer Radiotoxizität kontaminiert sind. Im einfachsten Falle reicht die wundnahe Stauung mit anschließender Spülung unter fließendem Wasser aus. Darüber hinaus kann zusätzlich eine aktive Auswaschung bei liegender Stauung mit physiologischer Kochsalzlösung oder Zephirolwasser, oder aber eine Spülung mit 3%iger Wasserstoffsuperoxidlösung vorgenommen werden. Eine anschließende Kontrollmessung der Wunde ist angezeigt. Bei einer Wundkontamination mit α -Strahlern ist zum Ausschluß einer Inkorporation die Analyse zweier 24-Stunden-Urinproben auf α -Aktivität vorzunehmen.

- Aktiv chirurgische Maßnahmen

Bei allen Wundkontaminationen mit hochradiotoxischen Substanzen einschließlich der langlebigen knochensuchenden Radioisotope, wird dem aktiv chirurgischen Vorgehen der Vorzug gegeben. Die Mehrzahl solcher Verletzungen lokalisiert sich entsprechend der Tätigkeit in Handschuhboxen in den Bereich der Finger und Hände. Sofern es sich um gelöste radioaktive Substanzen handelt und versäumt worden ist, eine wundnahe Stauung anzulegen, muß mit einer Inkorporation gerechnet werden. Die Erstmaßnahme besteht in jedem Falle in der Anlage der Stauung mit nachfolgender Wundausmessung. Daran anschließend erfolgt in Leitungs- oder Lokalanästhesie die Wundrandexzision. Messungen vor und nach einer Wundrandexzision sind vorzunehmen.

Gelingt es trotz aller Maßnahmen nicht, die Wundaktivität vollständig zu beseitigen, so kann man sich mit einer Restaktivität die dem Grenzwert der Jahresaktivitätszufuhr entspricht, zufrieden geben.

Bei einer α -Wundkontamination im Finger-Handbereich mit sehr hoher Restkontamination, die durch Wundrandexzisionen nicht weiter zu senken ist, muß auch eine Amputation in Betracht gezogen werden. Exzidierte Gewebstücke, Wund- und Venenblut sowie Spülflüssigkeiten und Erstverband müssen zur Kontrolle einer Aktivitätsanalyse in einem entsprechenden Ausscheidungslabor unterzogen werden.

Bei Verdacht auf Inkorporation per Vulneration durch α -Strahler, sind zusätzliche Aktivitätsanalysen im Blut, 24-Stunden-Urin und Fäzes indiziert, nötigenfalls auch über einen längeren Zeitraum.

- Medikamentöse Zusatztherapie

Eine medikamentöse Zusatztherapie bei Inkorporationen über eine Wunde mit einem Alphadepot ist dann indiziert, wenn es nicht gelingt, durch aktiv chirurgische Maßnahmen das Wunddepot zu eliminieren. Mit Hilfe von Ausscheidungsanalysen im Blut, Urin und Fäzes erfolgt eine vorläufige Erstab-schätzung der Körperbelastung, an der sich die einzuleitende medikamentöse Zusatztherapie zwecks Ausscheidungsintensi-vierung orientiert. Für Inkorporationen mit Transuranen, Lanthaniden und Yttrium wird mit Erfolg das Calciumtrinatri-umsalz der Diäthylentriaminpentaessigsäure verwendet (Ditri-pentat Heyl).

Kontaminierte Wunden sind, gemessen an der Zahl der kon-ventionellen Verletzungen, relativ selten. Bei einer kon-taminierten Wunde handelt es sich aber immer um ein akutes und, im Gegensatz zur Inkorporation per Inhalation oder Ingestion, um ein subjektiv schmerzhaftes und psychologisch traumatisierendes Ereignis. Der ermächtigte Arzt bzw. der mit den Strahlenschutzmaßnahmen befaßte Arzt sollte daher, sofern er nicht über eine angemessene räumliche und appa-rative Infrastruktur zur Behandlung kontaminierter

Wunden verfügt, mit einem niedergelassenen Chirurgen oder einer chirurgischen Abteilung eines Krankenhauses eine vertragliche Vereinbarung treffen, die es ihm ermöglicht, evtl. erforderliche aktiv chirurgische Maßnahmen unverzüglich veranlassen zu können.

4.4 Verhinderung der Ablagerung der bereits im Transferkompartiment (Blutbahn) befindlichen Radionuklide

In der Mehrzahl der Fälle finden Inkorporationen durch Einatmen von radioaktiven Stäuben statt.

In diesen Fällen lagert sich der radioaktive Staub auf den Schleimhäuten der Atemwege ab. Hier besteht die Möglichkeit, durch Inhalation mit geeigneten Mitteln (Emser Sole, Emser Salz) die Sekretion der Schleimhäute der Atemwege anzuregen und damit indirekt eine schnellere biologische Reinigung dieser Kompartimente zu erreichen.

Bei Inkorporationen per Inhalation, die zu einem großen aktiven Lungendepot geführt haben, kann auch eine Lungenspülung in Betracht gezogen werden. Dabei wird in Vollnarkose ein Doppelkatheter in die beiden Hauptbronchien eingeführt, wobei einer der Bronchien mittels eines aufblasbaren Gummizylinders randständig blockiert wird, so daß eine Lunge mit 0,9%iger (physiologischer) Kochsalzlösung gespült werden kann. Dieses Verfahren wird schon seit Jahren in Fachkliniken bei bestimmten Lungenerkrankungen mit Erfolg durchgeführt.

Befindet sich ein Radionuklid oder Radionuklidgemisch bereits in der Blutbahn und unterliegt es nicht einem enteroenteralen Kreislauf, dann findet eine Behandlung zwecks Ausscheidungsintensivierung statt.

Sie besteht darin, daß die Ablagerung bestimmter Radionuklide aus der Blutbahn in die Organe des Körpers durch Verabfolgung von Komplexbildnern (Calcium- und Zink-DTPA) mit Erfolg verhindert werden kann.

Folgende Radionuklide sind einer solchen Behandlung zugänglich:

- Aktinide: Thorium, Plutonium, Americium, Curium, Berke-
lium, Californium und Einsteinium.

- Lanthanide: Lanthan, Cer, Promethium und Thulium.

Bei weiteren Radionukliden wird ebenfalls durch Komplexbildung mit der Calcium- oder Zink-DTPA einer Ablagerung in Organe entgegengewirkt.

Es sind dies:

Scandium, Vanadium, Chrom, Mangan, Eisen, Kobalt,
Zink, Yttrium, Indium, Cadmium und Blei.

Der Erfolg der Behandlung ist in erster Linie von dem Zeitfaktor abhängig. Das bedeutet, daß die Ausscheidungsintensivierung dieser Substanzen umso größer ist, je eher das Medikament verabfolgt wird, da die Verweildauer des Radionuklids im Transferkompartiment kurz ist. Um eine genaue Dosierung und eine rasche Wirkung der Komplexbildner zu erzielen, werden die Medikamente intravenös verabfolgt. Es besteht auch die Möglichkeit, die Behandlung mit Hilfe eines Dosieraerosols oder aber in Form einer flüssigen Einnahme des Medikamentes vorzunehmen. Diese Verabreichungsformen lassen jedoch keine genaue Dosierung zu.

4.5 Verwendung nicht radioaktiver Isotope als Schutzmittel

Eine Möglichkeit der Behandlung bei Gefahr einer Inkorporation mit radioaktivem Jod besteht in der frühzeitigen Ab-sättigung der Schilddrüse mit nichtradioaktivem Jod, wodurch die Thyreoidea gegenüber den radioaktiven Jodisotopen blockiert wird, da die Schilddrüse zwischen beiden Isotopen nicht unterscheiden kann.

Die Retention des Tritiums in Form von Tritiumwasser kann durch reichliche Flüssigkeitszufuhr und dadurch bedingter vermehrter Urinausscheidung wesentlich herabgesetzt werden. Bei hoher Tritiuminkorporation vermag eine Schwitzkur (z.B. Sauna oder Schwitzpackungen) eine verstärkte Ausscheidung des Nuklids über die Haut zu bewirken.

Die fünf beschriebenen Möglichkeiten der Behandlung einer Inkorporation beziehen sich vorwiegend auf Radioisotope, die im Bereich der Kernenergie, der kernbrennstoffverarbeitenden Industrie und bei Wiederaufarbeitungsanlagen auftreten.

Was die Behandlung der Inkorporationen im nichtkerntechnischen Bereich betrifft, wie beispielsweise in Kliniken, wo in aller Regel lediglich mit kurz- und mittellebigen Radioisotopen im Rahmen der Nuklearmedizin umgegangen wird, ist eher eine abwartende Haltung angezeigt.

5. *Kasuistik*

Für die Behandlung der Inkorporation mit Transuranen ist die Diäthylentriaminpentaessigsäure das Mittel der Wahl (Abbildung 9). Sie ist in Form des Calciumtrinatrium- und Zinktrinatriumsalzes der Diäthylentriaminpentaessigsäure im Handel erhältlich (Ca- oder Zn-DTPA Heyl).

Die Ca-DTPA hat einen stärker ausscheidungsintensivierenden Effekt und findet daher vorwiegend bei der initialen Therapie Anwendung.

Bei der Zn-DTPA sind die unerwünschten Nebenwirkungen (Niere und Hämsynthese) gegenüber der Ca-DTPA geringer. Sie wird daher vorwiegend auch als Langzeittherapeutikum verwendet. Abb. 10 zeigt die geringere therapeutische Wirksamkeit der Zn-DTPA.

In Abb. 11 ist der Verlauf einer mit Ca-DTPA initial behandelnden Plutoniuminkorporation mit hohen PU-Ausscheidungsraten im Urin und einem entsprechend steilen Abfall des Plutoniums im Blut dargestellt. Eine nach 80 Tagen erneut applizierte Ca-DTPA-Infusion läßt anhand des Ausscheidungspeaks erkennen, daß auch noch nach diesem Zeitraum mit Hilfe des Chelatbildners Plutonium mobilisierbar und ausscheidungsfähig ist.

Abb. 12 zeigt, daß der Grad der Ausscheidungsintensivierung von der Dosis des applizierten Chelatbildners abhängt. Es besteht jedoch keine lineare Dosiswirkungsbeziehung. Für die initiale Therapie reicht in jedem Falle die intravenöse Applikation von 1 g des Chelatbildners aus.

Bei verschiedenen Applikationsarten, in diesem Falle 100 mg Ca-DTPA als Inhalat und vergleichsweise 100 mg Ca-DTPA als intravenöse Infusion, ist die ausscheidungsintensivierende Wirkung bei einer Plutoniuminkorporation für beide Verabfolgungsarten gleich groß. Allerdings benötigt man für die therapeutisch wirksame Dosis von 100 mg Ca-DTPA als Inhalat eine Ausgangsdosis von 1 g des Chelatbildners, aufgelöst in 10 ml physiologischer Kochsalzlösung (Abb. 13).

Für die Applikation einer genau dosierten, therapeutisch wirksamen Dosis, ist daher der intravenösen Verabfolgung des Medikaments der Vorzug zu geben.

Aus den bei uns durchgeführten Behandlungen von Inkorporationen mit Transuranen lassen sich nachfolgende Empfehlungen ableiten:

- Bei Inkorporationen im Niedrigdosisbereich mit Aktivitätszufuhren von 50 - 100 % Jahresaktivitätszufuhr, Verabfolgung von 500 mg Zink-DTPA, verdünnt in 20 ml physiologischer Kochsalzlösung, als Bolus langsam i.v.
- Bei Inkorporationen mit Aktivitätszufuhren von > 100 % Jahresaktivitätszufuhr, Applikationen von 1 g Calcium-DTPA, aufgelöst in 250 ml physiologischer Kochsalzlösung als intravenöse Tropfinfusion mit einer Infusionszeit von ca. 20 - 30 Minuten.
- Bei kritischer Würdigung der verschiedenen Applikationsarten des Chelatbildners wie Inhalation, peroral oder intramuskulär, ist der intravenösen Verabfolgung der DTPA wegen der genauen Dosierung der Vorzug zu geben.

Bei erschwerter Indikationsstellung infolge fehlender Erstinformationen über die abgeschätzte Aktivitätszufuhr gilt die Regel: " In dubio pro indicatione."

Literatur

- [CA64] Catsch, A. (1964)
Dekorporierung radioaktiver und stabiler Metallionen
Therapeutische Grundlagen
Verlag Karl Thiemig KG, München
- [FS80] Fachverband für Strahlenschutz e.V. (1980)
Loseblattsammlung Arbeitskreis Inkorporationsüberwachung (AKI), Inkorporationsüberwachung auf Tritium, FS-77-14-AKI, Oktober 1977, Neufassung November 1980
- [FS87] Fachverband für Strahlenschutz e.V. (1987)
Loseblattsammlung Arbeitskreis Inkorporationsüberwachung (AKI), Inkorporationsüberwachung auf Plutonium, FS-87-45-AKI, November 1987
- [ICRP10] International Commission on Radiological Protection
(1989)
Evaluation of Radiation Doses to Body Tissues from
Internal Contamination due to Occupational Exposure
Report of Committee IV
- [NCRP79] National Council on Radiation Protection and
Measurement (1979), Management of Persons Accidentally
Contaminated with Radionuclides
- [OH78] Efficacy of Zn-DTPA and Ca-DTPA in Removing Plutonium
from Human Body, Health Physics 35, 694-699

- [OH79] Ohlenschläger, L. (1979)
4.7 Diagnostik und Therapie der kontaminierten Wunde.
in: Stieve, F.-E., Möhrle, G. (1979), Strahlenschutz-
kurs für ermächtigte Ärzte, Spezialkurs, Verlag Hilde-
gard Hoffmann Berlin
- Verzeichnis der Meßstellen für Inkorporationsüber-
wachung (persönliche Mitteilung, 1989)
- [TRS73] Technical Reports Series No. 142 (1973)
Inhalation Risks from Radioaktive Contaminants
International Atomic Energy Agency, Wien, 1973
- [VO76] Volf, V. (1976)
Betrieblicher Strahlenschutz aus ärztlicher Sicht
Band XXVII, Strahlenschutz in Forschung und Praxis
1976
Georg Thieme Verlag Stuttgart
- [VO78] Volf, V. (1978)
Treatment of Incorporated Transuranium Elements
Technical Reports Series No. 184
International Atomic Energy Agency, Wien, 1978

Anhang 1

1. Sammelvorschriften für die Inkorporationsüberwachung aus besonderem Anlaß (bei Inkorporationen mit Alpha- und energiearmen Betastrahlen) [FS80,FS87]
 - 1.1 Bei Inkorporationsverdacht mit Alphastrahlern wie Thorium, Neptunium, Plutonium, Americium, Curium, Californium:
Veranlassung zum Sammeln von 3 mal 24-Stunden-Urinproben an drei aufeinanderfolgenden Tagen, in jeweils 2-Liter-Plastikflaschen.
Sammelzeitraum auf dem Flaschenetikett notieren.
Zusätzlich Veranlassung zum Sammeln von 3 mal 24-Stunden-Stuhlproben in den mitgegebenen Stuhlbehältern.
 - 1.2 Uran:
Veranlassung zum Sammeln von 3 mal 24-Stunden-Urinproben in den entsprechenden Gefäßen.
Das Sammeln von Stuhlproben entfällt im Falle einer Uraninkorporation.
 - 1.3 Energiearme Betastrahler wie Tritium (als Tritiumwasser):
Sofort nach dem Zwischenfall Aufforderung zum Entleeren der Blase.
Von der abgegebenen Urinmenge sind 20 ml in eine 100 ml Plastikflasche umzufüllen.
Datum und Uhrzeit der Urinabgabe auf der Plastikflasche notieren.
Frühestens 2 Stunden nach der ersten Probenahme eine weitere Teilurinmenge von 20 ml in gleicher Weise sammeln lassen und beschriften.
Das gleiche nach 24 Stunden zum drittenmal wiederholen lassen.

Anhang 2

Verzeichnis der Meßstellen für Inkorporationsüberwachung *

A: Ausscheidungsmessungen; B: Messungen unter dem Ganzkörperstrahlungsmeßgerät

Uni Bremen NW1 B
D-2800 Bremen, Achterstraße

GSF B
Abt. Nuklearbiologie
D-8042 Neuherberg, Ingolstädter Landstraße 1

Krankenhaus Schwabing B
Strahlentherapie
D-8000 München 40, Kölner Platz 1

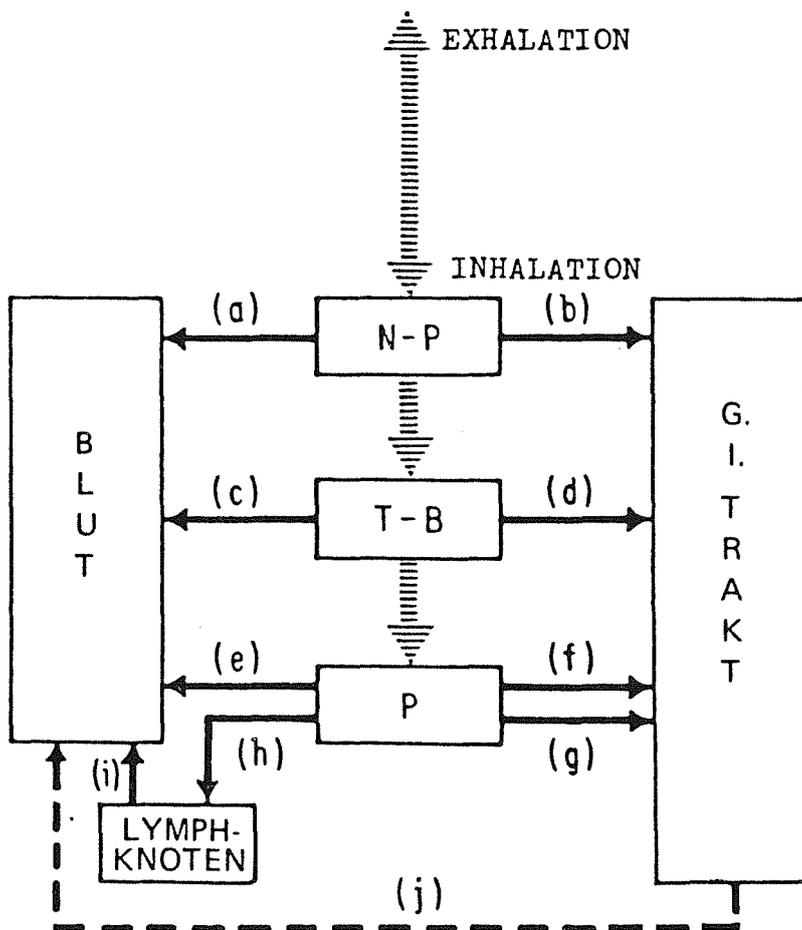
Joh.Gutenberg Universität Mainz B
Nuklearmedizin, Bau 210,
Ganzkörperzähler
D-6500 Mainz

GSF A
Institut für Strahlenschutz
D-8042 Neuherberg, Ingolstädter Landstr. 1

*/persönliche Mitteilung

Kernforschungszentrum Karlsruhe Hauptabteilung Sicherheit/Dosimetrie D-7500 Karlsruhe 1, Postfach 3640	B
Zentralstelle für Sicherheitstechnik der Gewerbeaufsicht des Landes NW D-4000 Düsseldorf, Ulenbergstr. 127-131	B
KFA / ASS/BS D-5170 Jülich, Postfach 1913	A
EIR Abt. Strahlenüberwachung (SU) CH-5303 Würenlingen	A + B
Med. Hochschule Hannover Nuklearmedizin D-3000 Hannover 61, Konstanty Gutschowstr. 8	B
FU Berlin / Ganzkörperzähler Klinikum Steglitz D-1000 Berlin 45, Hindenburgdamm 30	B
Institut für Biophysik Landeskrankenhaus D-6650 Homburg/Saar	B
Landesinstitut für Arbeitsschutz D-8000 München 2, Pfarrstraße 3	A
Stadtkrankenhaus D-6050 Offenbach/M., Starckenburgring 66	B
ZST D-4000 Düsseldorf 1, Ulenbergstr. 127-131	A
Landesanstalt für Umweltschutz D-7500 Karlsruhe, Hertzstr. 173	B
FU Berlin - Klinikum Steglitz Nuklearmedizinische Abteilung D-1000 Berlin 45, Hindenburgdamm 30	A

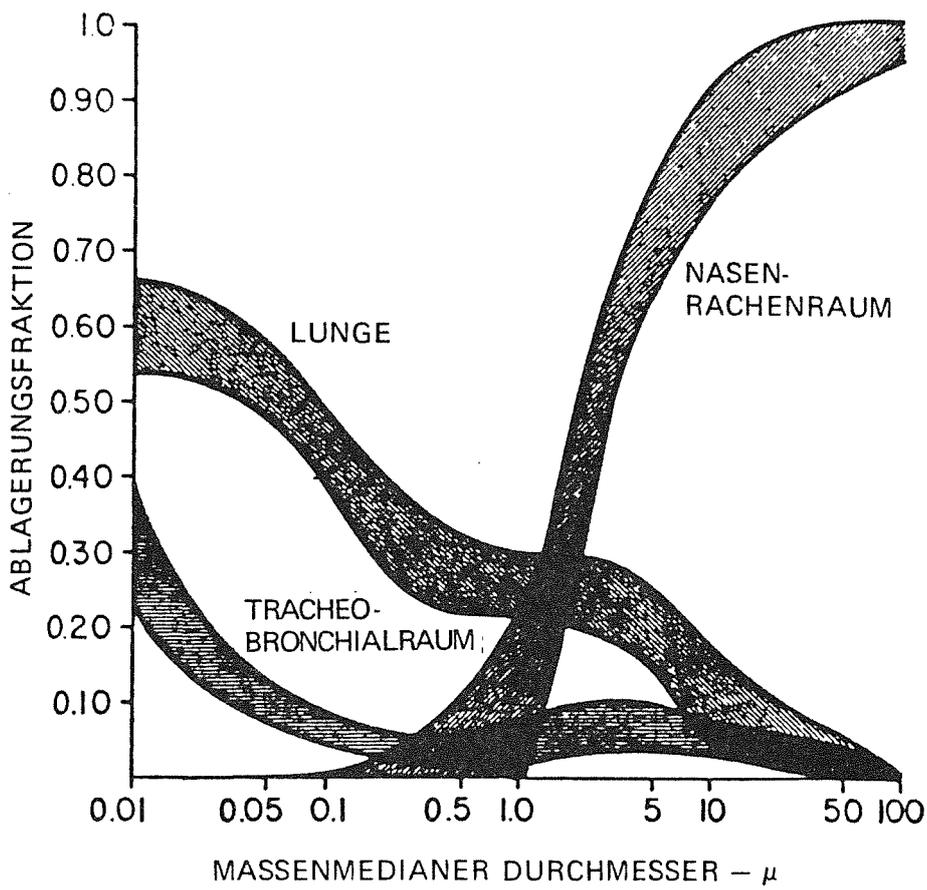
KFA Jülich GmbH Abt. Sicherheit und Strahlenschutz D-5170 Jülich 1, Postfach 1913	B
Strahlencentrum Gießen D-6300 Gießen, Leihgesteiner Weg 217	B
Kernforschungszentrum Karlsruhe Toxikologisches Labor der Medizinischen Abteilung D-7500 Karlsruhe 1, Postfach 3640	A
BfS Institut für Strahlenhygiene D-8042 Neuherberg, Ingolstädter Landstr. 1	B
Herr Prof. Dr. U. Wellner D-5000 Köln 41, Wittgensteinstraße 12	B
GSF Biophys. Strahlenforschung D-6000 Frankfurt/M., Paul-Ehrlich-Str. 20	B
Herrn Drs. R.A. Wolschrijn ECN NL-Petten, Niederlande	A

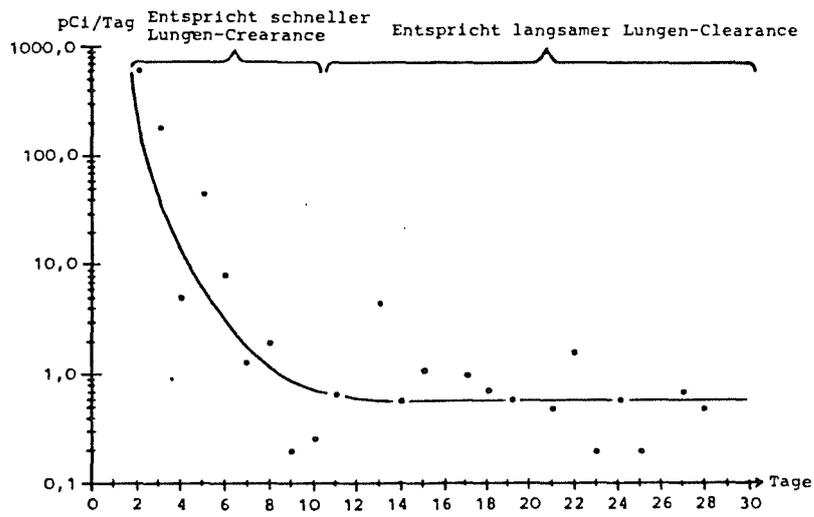


Blockdiagramm der anatomischen Abscheidungsregionen im Bereich der Atemwege und Lungen mit Transfermöglichkeiten

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

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

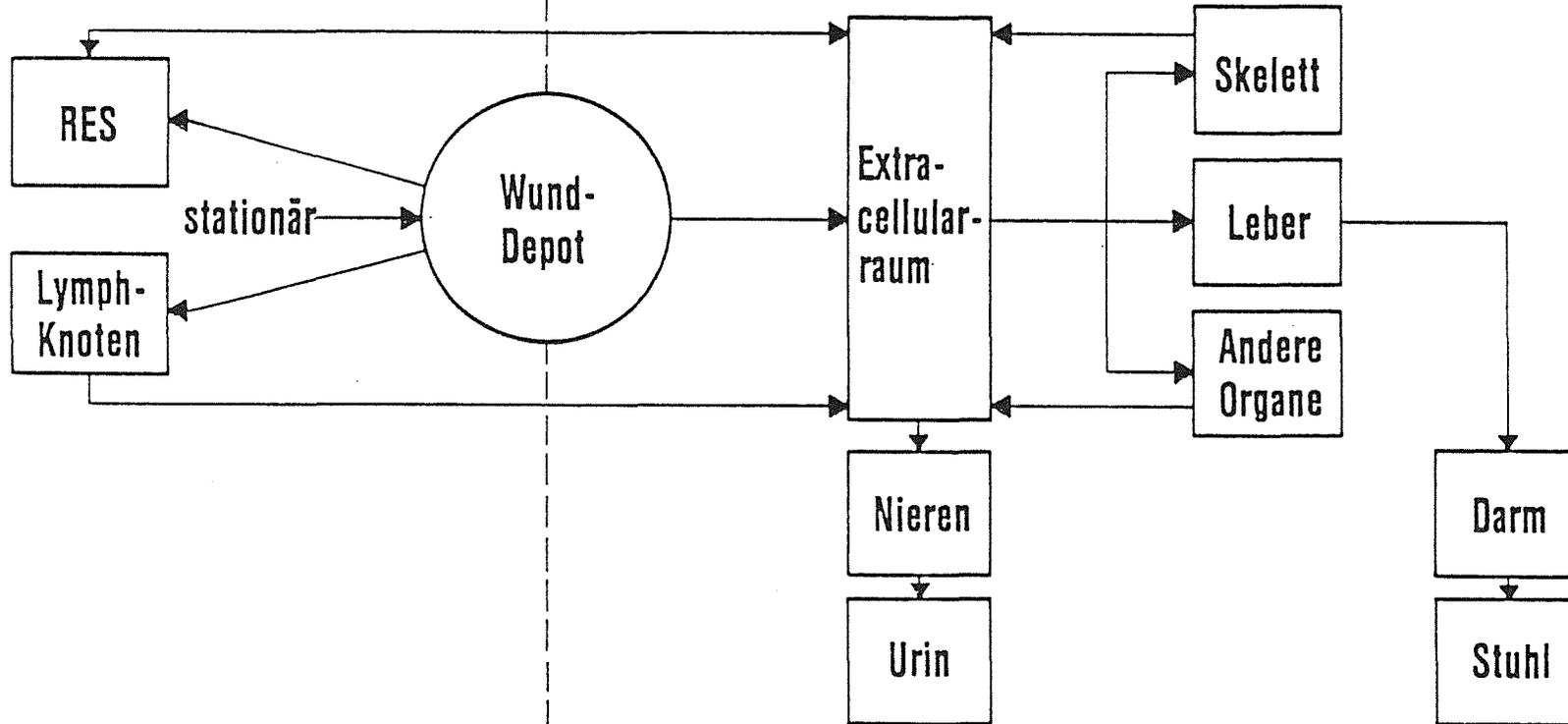




Sthlausscheidungskurve nach einer unlöslichen Plutoniumoxidinhalation.

Langsame Phase
der Ablagerung
für unlösliche Stoffe

Schnelle Phase
der Ablagerung
für gelöste u. festlösliche Stoffe



Blockdiagramm einer pathophysiologischen Aktivitätstranslokation bei einem Wunddepot

Begleitschein

zur Personendekontamination und Inkorporationsüberwachung und zur Erfassung gemäß §§ 64, 66 StrlSchV

Lfd. Nr.

Name Vorname Geb.-Datum Pers.-Nr.

Inst./Abt./Fremdfirma

Überwachungskategorie: A B nicht überwacht
 (Zutreffendes ankreuzen)

Ort des Zwischenfalls (Inst./Abt.) Geb.-Nr. Raum-Nr. Datum des Zwischenfalls Uhrzeit

Zwischenfallursache:

Personenkontamination ja nein **Verletzung** ja nein **Inhalationsverdacht** ja nein

Betroffener Körperteil:

	α		β
Kopf	..... Bq/cm ² (Maximaler Meßwert)	..... Bq/cm ²	..... Bq/cm ²
Hand ^{re *)} li *)	..... Bq/cm ² (Maximaler Meßwert)	..... Bq/cm ²	..... Bq/cm ²
Verletzung	..... Bq/cm ² (Maximaler Meßwert)	..... Bq/cm ²	..... Bq/cm ²

war Atemschutz vorgeschrieben? ja nein
 geeigneter Atemschutz getragen? ja nein
 Meßwerte werden nachgereicht ja

Raumluftinterventionsschwelle I überschritten
 (in Bqh/m³):
 ($\alpha = 4 \cdot 10^{-1}$, $\beta = 4 \cdot 10^2$, I = $4 \cdot 10^3$, HTO = $1 \cdot 10^2$)
 α β I HTO α β I HTO
 ja nein

Raumluftinterventionsschwelle II überschritten
 (in Bqh/m³):
 ($\alpha = 8$, $\beta = 8 \cdot 10^3$, I = $8 \cdot 10^4$)
 α β I α β I
 ja nein

**Kleiderkontamination
 beim Verlassen des Kontrollbereichs**

Betroffener Teil: ja nein

	α		β
.....	..... Bq/cm ² (Maximaler Meßwert)	..... Bq/cm ²	..... Bq/cm ²
.....	..... Bq/cm ² (Maximaler Meßwert)	..... Bq/cm ²	..... Bq/cm ²

Nuklid: Form:
 Wischtest an HS/D abgeschickt? ja nein

Datum Uhrzeit Bearbeiter HS/U Telefon

Nach Personendekontamination:

Nuklid:

Restaktivität: α β

Kopf	..... Bq/cm ²	..... Bq/cm ²
Hand ^{re *)} li *)	..... Bq/cm ²	..... Bq/cm ²
Verletzung	..... Bq/cm ²	..... Bq/cm ²

Nasenabstrich: α Bq β Bq

Maßnahmen: Überweisung an HS/D
 Meldepflichtiges Ereignis: ja nein Stufe
 Urin Tage Stuhl Tage

Datum Uhrzeit Med. Ambulanz

Body-Counter-Messung: Datum Uhrzeit

Lung-Counter-Messung: Datum Uhrzeit

Meldepflichtiges Ereignis: ja nein Stufe

Ergebnisse Inkorporationsüberwachung

nicht abgeschätzt
 Dosisabschätzung aus besonderem Anlaß
 siehe Beiblatt
 Datum HS/D

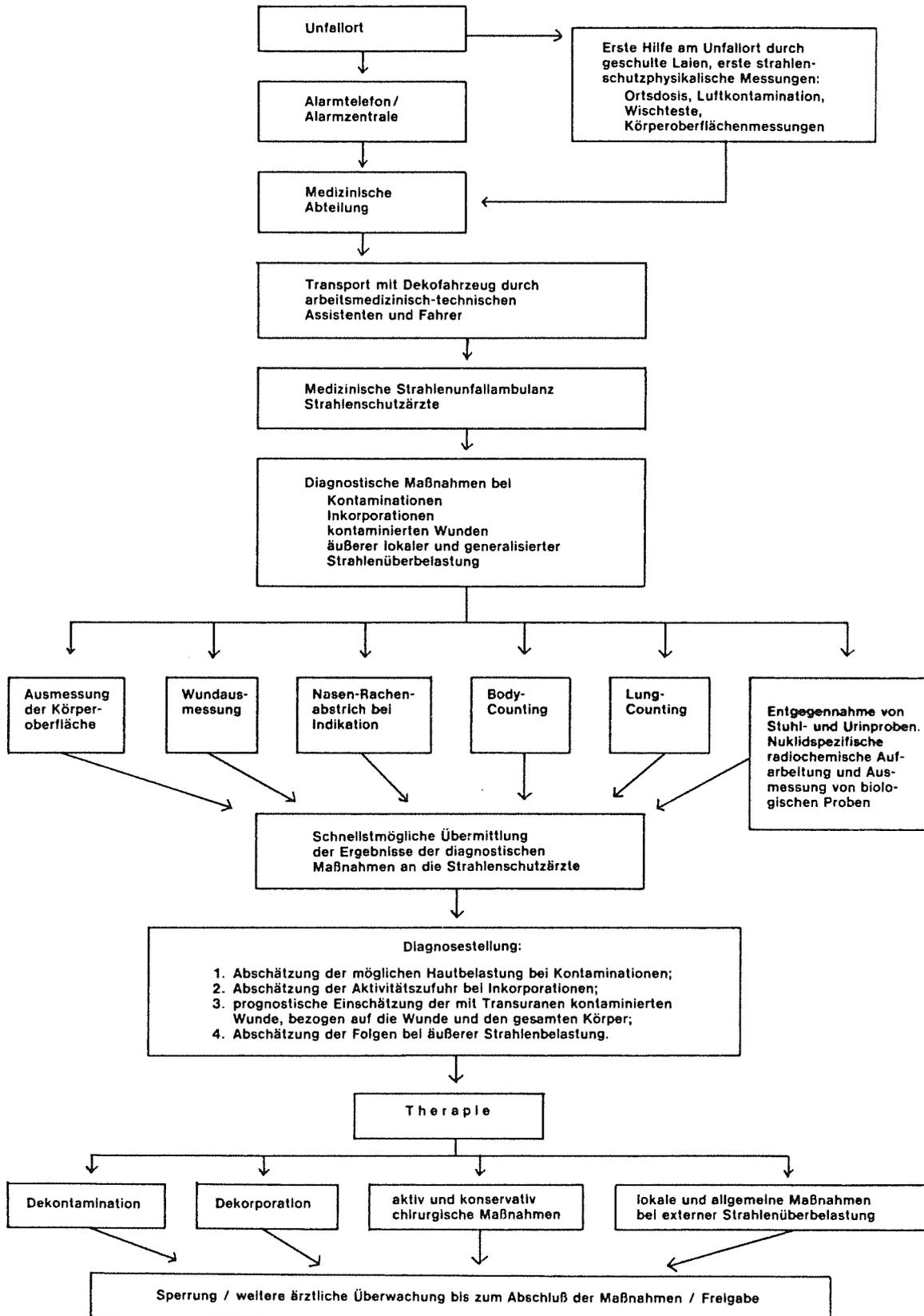
Ausscheidungsproben vollständig abgegeben: ja am
 nein

Ergebnisse Inkorporationsüberwachung

nicht abgeschätzt
 Dosisabschätzung aus besonderem Anlaß
 siehe Beiblatt
 Datum Med/Tox

*) Nichtzutreffendes streichen

Ablaufdiagramm bei Strahlenzwischenfällen und -unfällen



ANTIDOTE ZUR DEKORPORATION VON RADIONUKLIDEN (nach V. Volf)

Präparatname	Hersteller	Wirkstoff	Wirkungsbereich *			Dosierung	Empfohlener Vorrat
			Radionuklid	Aufnahme	Ausscheidung		
Aludrox Susp.	Wyeth	Aluminium-Hydroxid	F	-		100 ml p.o.	500 ml
Bariumsulfat reinst pro RTG	Merck	Bariumsulfat	Ba,Sr,Ra	-		100 g p.o.	1000 g
Calcium-Sandoz Ampullen 20%	Sandoz	Calciumgluconat	Ca,Sr		+	1 u.mehr Amp. (i.v. Infusion)	10 Amp. 20%
Desferal	CIBA	Desferrioxamin	Fe,(Np,Pu)		+	bis 1g/d,i.m.	10 Inj.Fl.
Dimaval	Heyl	Dimerkaptopropansulfonat	Pb,Hg,Po		+	0,3g p.o. alle 3-5 Stunden	5x20 Kaps.
Ditripentat	Heyl	CaNa ₃ DTPA	Sc,Y,La,Ce,Pm, Eu,Th,Pu,Am,Cm, Cf,(Pb,Co,Cr,Mn)		+	bis 1g/d,i.v.	10x5 Amp.
Irenat	Tropon	Perchlorat	J	-	+	30 gtt.,dann alle 5 Std.15gtt.	2x40 ml
Kaliumperchlorat	Baer	Perchlorat	J	-	+	3 Tbl.,dann alle 5 Std. 1 Tbl.	100 Tbl.
Kalium jodatum Compretten	Cascan	Kaliumjodid	J	-	+	bis 4 Tbl.1.Tag, dann 2 Tbl./d	200 Compr.
KCl-liquid	Stada	Kaliumchlorid	K		+	15 ml, verdünnt	200 ml
Metalcaptase	Heyl/Knoll	D-Penicillamin	Cu,Po,Pb,Hg,Au		+	1g/d, i.v. oder 0,9g alle 3-5 Std. p.o.	5 Inj.Fl.
Phosphalugel	Biotherax	Aluminiumphosphat	Sr,Ba,Ra,P	-		Mehrere Beutel	125 Btl.
Radiogardase	Heyl	Berliner Blau	Cs,Rb,Tl	-	+	bis 3g/d, p.o.	5x30 Kaps.
Sulfactin	Homburg	Dimerkaptopropanol (BAL)	As,Au,Bi,Hg,Sb		+	bis 800mg/d,i.m.	50 Amp.
Zinknatrium-ditripentat	Heyl	ZnNa ₃ DTPA	Zn,Sc,La,Ce,Pm, Eu,Th,Pu,Am,Cm,Cf		+	bis 2g/d,i.v.	10x5 Amp.
Bittersalz und Glaubersalz		Natriumsulfat Magnesiumsulfat	Sr,Ba,Ra u.a.	-		10-20g p.o.	200 g
Dowex 50 WX12	Serva	Kationaustauscher	La,Ce,Pm,Eu,Th, Pu,Am,Cm,Cf	-		30g, p.o.	500 g
Dow Chelating Resin A 1	Dow	Kationaustauscher	Hg	-	+		
Manucol SS/LD/2	Alginate Industries	Alginat	Sr,Ba,Ra	-		10-20g, p.o.	500 g
Strontiumchlorid Hexahydrat p.o.	Merck	Strontium	Sr		+	0,3g bis 5x/d p.o.	100 g

*Angezeigt ist die überwiegende Wirkung: Hemmung der Radionuklidaufnahme (-) und/oder Ausscheidungsstimulierung (+)

KfK, den

An den SSB

Lfd. Nr.

Betr.: **Dosis- und Zufuhrabschätzung aus besonderem Anlaß** am

Name Vorname Geb.-Datum ID-Nr.

Grund der Abschätzung: Personenkontamination Verletzung Inhalationsverdacht erhöhter Routinewert

1. Zufuhr- und Dosiswerte aus Urin- und Stuhlausscheidungsmessungen

Nuklid / Ret.-Klasse					Summe
Zufuhr aus Stuhl (Bq)					
Urin (Bq)					
Effektive Dosis (mSv)					
Knochenobl.-Dosis (mSv)					
..... (mSv)					

2. Zufuhr- und Dosiswerte aus Ganz- und/oder Teilkörpermessungen

Nuklid / Ret.-Klasse					Summe
Zufuhr Direktmessung (Bq)					
Leitnuklid (Bq)					
Effektive Dosis (mSv)					
Knochenobl.-Dosis (mSv)					
..... (mSv)					

3. Zufuhr- und Dosiswerte aus Raumluftmessungen

Nuklid / Ret.-Klasse					Summe
Zufuhr (Bq)					
Effektive Dosis (mSv)					
Knochenobl.-Dosis (mSv)					
..... (mSv)					

4. Auf Grund der unter 1. bis 3. ermittelten Werte wird festgelegt: Zufuhrdatum:

Nuklid / Ret.-Klasse					Summe
Zufuhr (Bq)					
Effektive Dosis (mSv)					
Knochenobl.-Dosis (mSv)					
..... (mSv)					

Meldepflichtiges Ereignis: ja nein Stufe

Verteiler (nach Unterschrift von HS/Ü):

Med/Tox
HS/D
HS/Ü
Med
HS/AS

..... Med/Tox HS/D HS/Ü

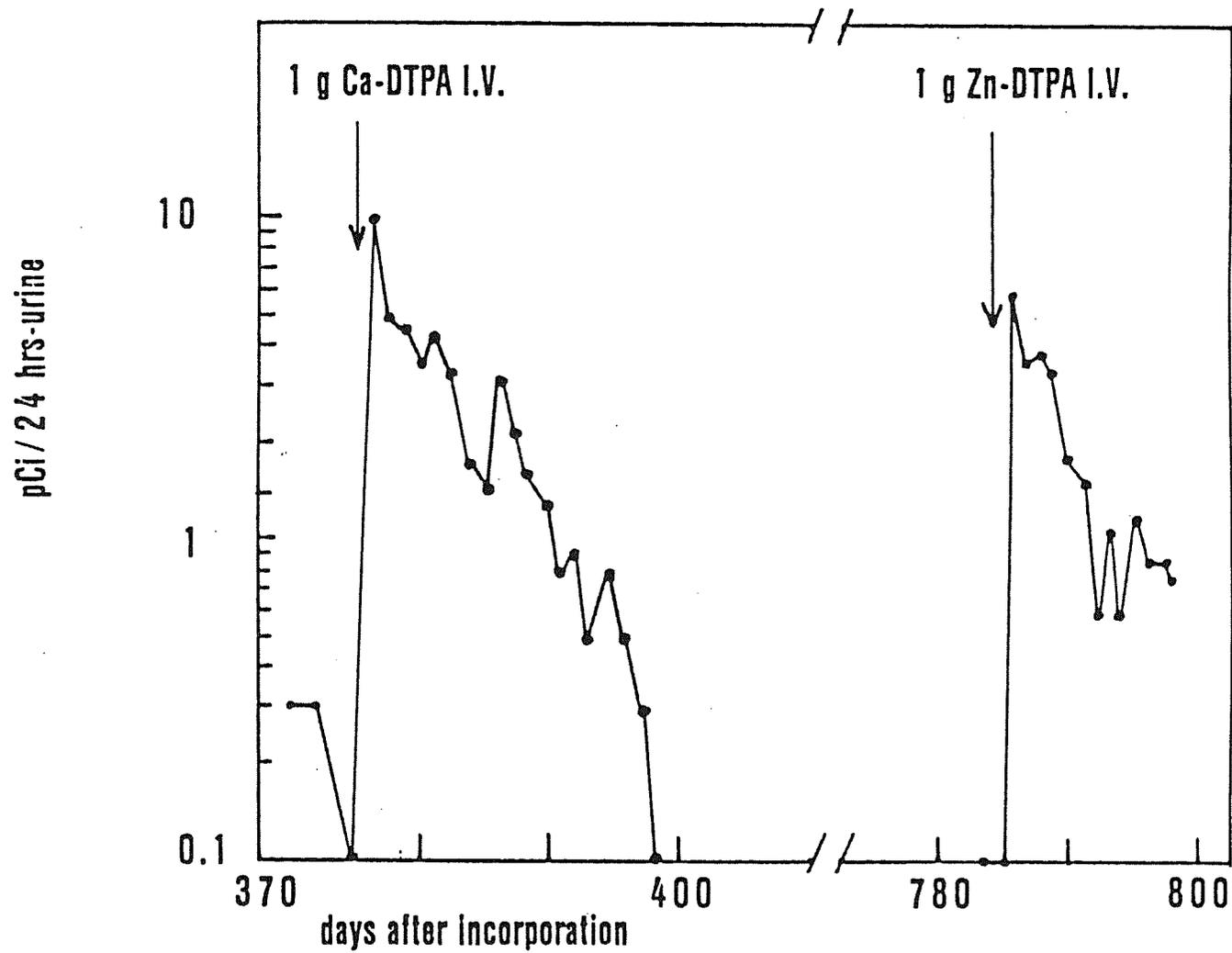


Abb. 10



Ausscheidung von ^{239}Pu im Urin nach Verabfolgung von 1 g Ca-DTPA und vergleichsweise von 1 g Zn-DTPA I.V.

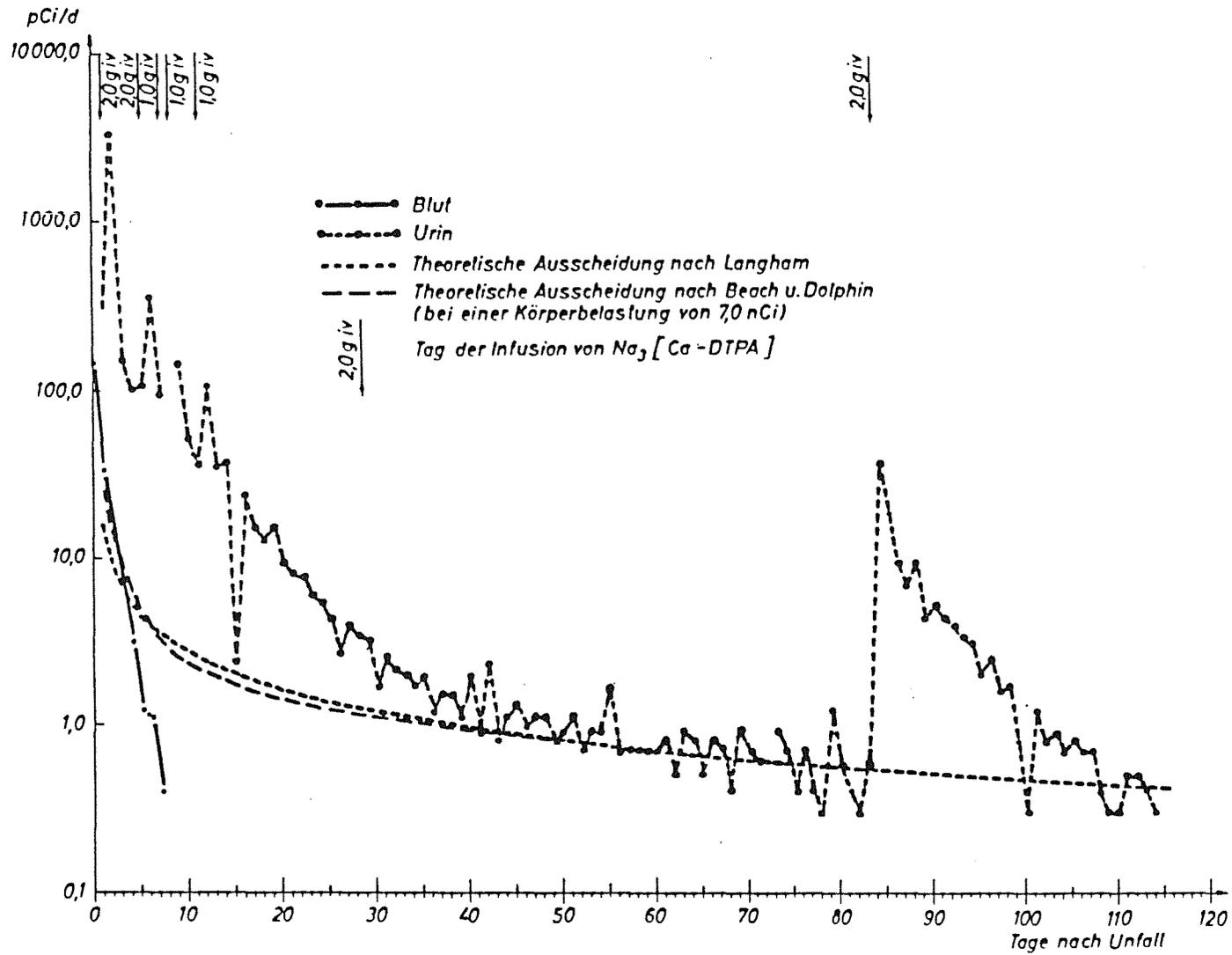


Abb. 11



^{239}Pu -Ausscheidung im Urin nach intravenöser Infusionsbehandlung mit Ca-DTPA

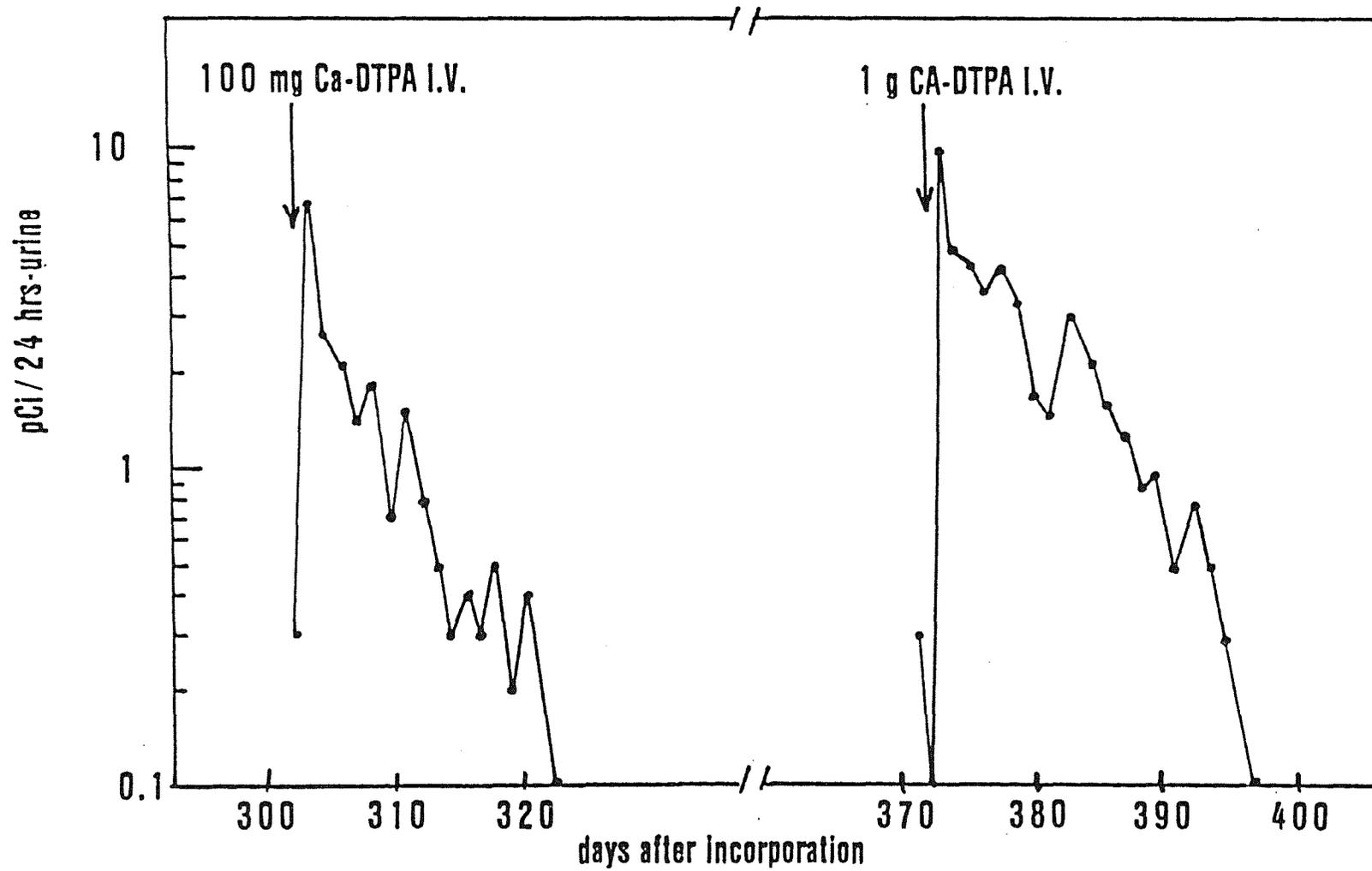
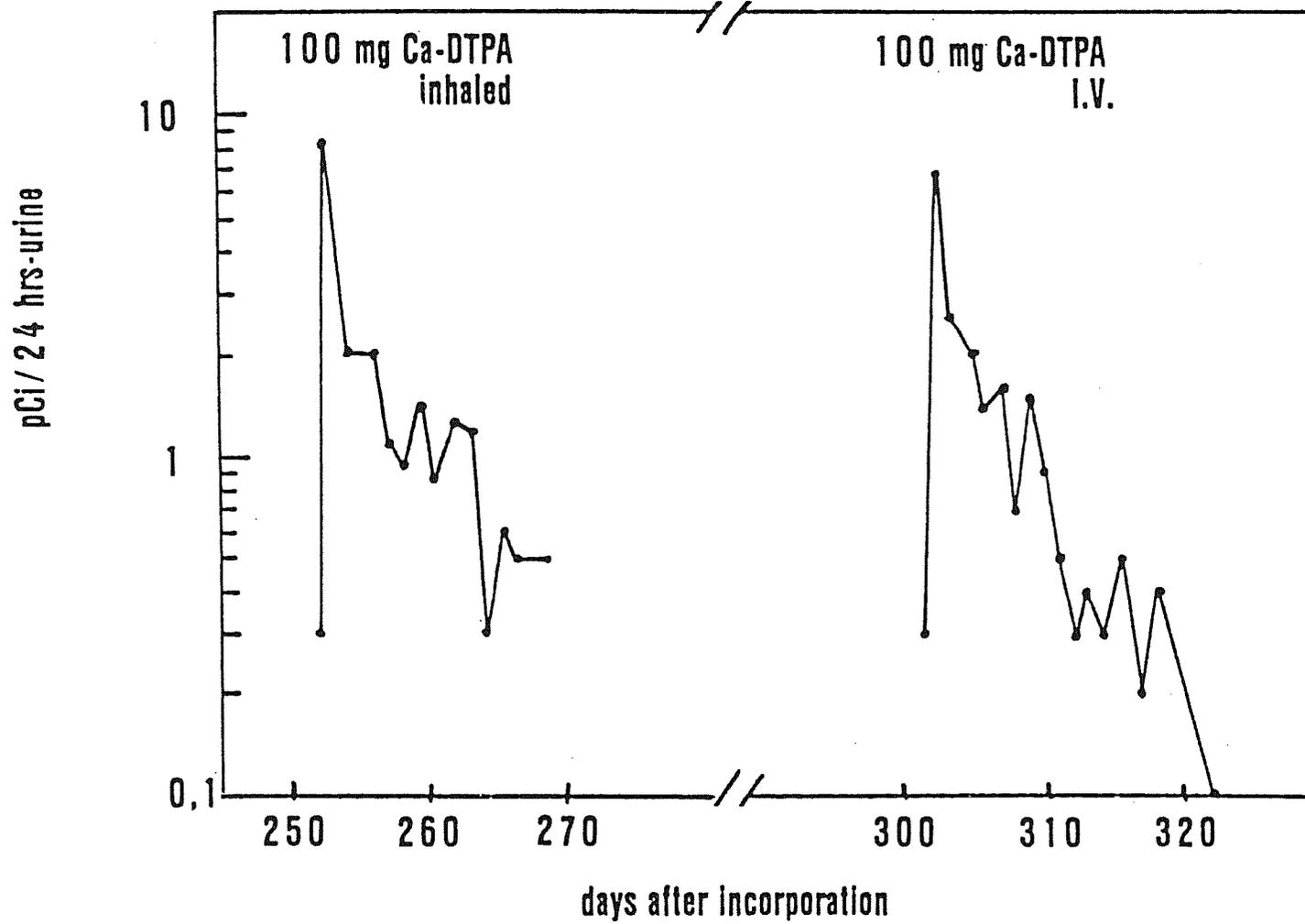


Abb. 12



²³⁹PU-Ausscheidung im Urin nach Verabfolgung von 100 mg Ca-DTPA I.V. und vergleichsweise 1 g Ca-DTPA I.V.



²³⁹PU-Ausscheidung im Urin nach Verabfolgung von 100 mg Ca-DTPA als therapeutisch wirksames Aerosol und vergleichsweise 100 mg Ca-DTPA I.V.