
Maßnahmen bei radioaktiver Kontamination der Haut

Empfehlung der Strahlenschutzkommission,
verabschiedet in der 92. Sitzung am 22. September 1989,
veröffentlicht im Bundesanzeiger Nr. 45 vom 6. März 1990

1 Einführung

Die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) in der Bekanntmachung der Neufassung vom 30. Juni 1989 fordert im § 64 Abs. 3 Maßnahmen bei Personen, die mit radioaktiven Stoffen kontaminiert sind. Anlage IX enthält Grenzwerte für Schutzmaßnahmen bei Oberflächenkontaminationen von Arbeitsplätzen und Gegenständen; Grenzwerte für Dekontaminationsmaßnahmen an der Haut sind nicht enthalten. Für die Praxis des Strahlenschutzes sind jedoch zumindest Richtwerte erforderlich, um unzumutbare oder nachteilige Dekontaminationsmaßnahmen, die die Haut schädigen oder eine Inkorporation begünstigen, zu vermeiden. Aufgrund neuer Berechnungen von Äquivalentdosisleistungsfaktoren für die Haut sind nunmehr Empfehlungen von Richtwerten möglich. Darüber hinaus werden neuere Erkenntnisse über die Aufnahme radioaktiver Stoffe in die Haut berücksichtigt.

Diese Empfehlung betrifft die technischen, medizinischen und wissenschaftlichen Einrichtungen, in denen entsprechend dem Atomgesetz und der Strahlenschutzverordnung mit offenen radioaktiven Stoffen umgegangen wird.

Zu diesen Arbeitsbereichen gehören u.a.:

- Kernkraftwerke,
- Anlagen des Brennstoffkreislaufs,
- Laboratorien in Wissenschaft und Industrie,
- Arztpraxen, Krankenhäuser und medizinische Laboratorien.

Die Durchführung gezielter Maßnahmen erfordert von den Mitarbeitern des Strahlenschutzes und den ermächtigten Ärzten (Betriebsärzten) besondere Kenntnisse über die Personendekontamination.

Entsprechend den §§ 28 Abs.1 und 53 Abs.1 StrlSchV sind folgende wichtige Grundsätze beim Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen zu beachten:

Jede unnötige Kontamination von Personen ist zu vermeiden.

Bei einer Kontamination ist die daraus folgende Strahlenexposition unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalles auch unterhalb der Dosisgrenzwerte der Strahlenschutzverordnung so gering wie möglich zu halten.

Die Einhaltung dieses Grundsatzes erfordert in Arbeitsbereichen, in denen man mit Kontaminationen rechnen muß, sinnvolle Maßnahmen, um die Hautdosis gering zu halten.

Diese Empfehlung bezieht sich nicht auf Notfall- oder Katastrophenschutzmaßnahmen und befaßt sich nicht mit der medizinischen Versorgung von kontaminierten Wunden.

2 Ableitung eines Richtwertes für Maßnahmen bei einer Kontamination der Haut

2.1 Ermittlung der Hautdosis

Für die Ermittlung der durch eine Hautkontamination bedingten Hautdosis (nach der Berechnung in Anhang 1) stehen entsprechende Äquivalentdosisleistungsfaktoren für zahlreiche Radionuklide zur Verfügung, die alle Beiträge der emittierten Strahlenarten (α -, β -, γ - und Auger-Strahlung) berücksichtigen. Diese Äquivalentdosisleistungsfaktoren sind für 611 Radionuklide im Anhang 2 zusammengestellt. Mit ihrer Hilfe läßt sich die lokale Hautdosis durch Multiplikation mit der flächenbezogenen Aktivität auf der Haut in Bq/cm^2 und mit der Dauer der Kontamination in Sekunden unter Berücksichtigung der physikalischen Halbwertszeit berechnen. Für die Berechnung der Äquivalentdosisleistungsfaktoren wird angenommen, daß sich die als strahlenempfindlich geltende Schicht überwiegend in einer Hauttiefe von 50 - 100 μm befindet; gegenüber der Verwendung einer Hauttiefe von 70 μm führt diese Annahme zu etwas höheren Äquivalentdosisleistungsfaktoren.

Radioaktive Stoffe können in die Hornschicht eindringen, die Aktivitätskonzentration nimmt jedoch sehr steil (exponentiell mit einer Halbwertsdicke von etwa 2 μm) mit der Hornschichttiefe ab. Dies hat zur Folge, daß dieses Eindringen die Dosis in der als strahlenempfindlich geltenden Hautschicht nur unwesentlich beeinflusst. Bei der Berechnung der Äquivalentdosisleistungsfaktoren wird daher die räumliche Aktivitätsverteilung in der Hornschicht nicht berücksichtigt.

Bei der Festlegung eines Richtwertes, der zur Entscheidung über weitere Dekontaminationsmaßnahmen dient, ist davon auszugehen, daß die Aktivitätskonzentration exponentiell mit der Tiefe in der Hornschicht abnimmt. Die vollständige Abschilferung dieser Schicht innerhalb von zwei Wochen führt zu einer zeitlich sehr raschen exponentiellen Abnahme der auf der Haut verbleibenden Aktivität. Die den Dosisberechnungen zugrunde gelegte Verweildauer von einer Woche hat daher eine erhebliche Überschätzung der tatsächlichen Dosis zur Folge.

2.2 Ableitung eines Richtwertes

Grundlage für die Ableitung eines Richtwertes ist der primäre Grenzwert für Haut im Kalenderjahr von 300 mSv nach Anlage X, Tabelle X1 Nummer 3 Spalte 2, der

Strahlenschutzverordnung. Der höhere Grenzwert der Teilkörperdosis nach Nummer 4 für Hände, Unterarme, Füße, Unterschenkel, Knöchel, einschließlich der dazugehörigen Haut, von 500 mSv im Kalenderjahr wird hierbei nicht herangezogen.

Für eine nach einigen Dekontaminationsschritten verbleibende Hautkontamination wird ein einheitlicher Richtwert der flächenbezogenen Aktivität von 10 Bq/cm^2 festgelegt, bei dessen Unterschreitung weitere Dekontaminationsmaßnahmen unterbleiben können. Diese Festlegung führt dazu, daß für mehr als 90 % der genannten Nuklide, zu denen die für den Strahlenschutz relevanten gehören, bei einer Verweildauer von einer Woche weniger als 1 % des o.g. Jahresdosisgrenzwertes erreicht wird, und daß mit einer Ausnahme (Cf 254) alle Dosiswerte unter 5 % dieses Grenzwertes liegen. Für schnell und vollständig beseitigte Kontaminationen sind die Dosiswerte noch erheblich niedriger.

Bei dieser Festlegung ist berücksichtigt, daß selbst bei mehrmaligen, nicht entfernbaren Kontaminationen im Kalenderjahr ein hinreichender Abstand zu den Grenzwerten der Strahlenschutzverordnung (auch für Personen der Kategorie B) sichergestellt ist. Damit sind die Beiträge von radioaktiven Tochternukliden, die bei der Kontaminationsmessung nicht erfaßt werden, ebenso abgedeckt wie eventuelle Unsicherheiten bei der Dosisermittlung.

In der nachstehenden Tabelle sind Werte der flächenbezogenen Aktivität beispielhaft zusammengestellt, die unter Berücksichtigung der physikalischen Halbwertszeiten bei der genannten Verweildauer von einer Woche zu einer Hautdosis in Höhe von 1 % dieses Jahresdosisgrenzwertes von 300 mSv führen.

Nuklid	Flächenbezogene Aktivität (Bq/cm^2)
C 14	100
Co 60	20
Sr 90	10
Y 90	25
I 131	20
Cs 137	10
Ce 141	10

Der einheitliche Richtwert von 10 Bq/cm^2 ist auch auf die Radionuklide anzuwenden, die aufgrund der kurzen Reichweite ihrer Strahlung keinen Beitrag zur Dosis der als strahlenempfindlich geltenden Hautschicht liefern. Hierdurch wird eine ausreichende Vorsorge gegen eine Gefährdung durch Verschleppung von radioak-

tiven Stoffen aus dem Kontrollbereich gewährleistet, wobei davon ausgegangen wird, daß es sich bei verbleibenden Restkontaminationen um sehr seltene Ereignisse handelt und die verbliebene Aktivität fest auf der Haut haftet. Bei Kontaminationen, deren Ausdehnung über die Fläche von Kopf und Händen hinausgeht, sind besondere Überlegungen anzustellen.

Neben der Bestrahlung der Haut können in der Hornschicht liegende Radionuklide auch zur Exposition anderer Körperbereiche führen:

- Die von der Aktivität in der Hornschicht ausgehende Strahlung kann andere Körperbereiche exponieren,
- die radioaktiven Stoffe können durch Permeation Körperflüssigkeiten erreichen und im Körper verteilt werden.

Für die Festlegung eines Richtwertes zur Dekontamination sind diese Expositionen ohne Bedeutung:

- Wie die Berechnung entsprechender Dosen gezeigt hat, ist die Bestrahlung anderer Körperbereiche durch die von der Hornschicht ausgehende Photonenstrahlung gegenüber der Exposition der Haut vernachlässigbar.
- Die Permeation ist durch spätere Dekontamination kaum beeinflussbar. Für eine Beurteilung dieser Permeation im Hinblick auf eine Inkorporation wird auf das folgende Kapitel verwiesen.

3 Transport radioaktiver Stoffe in und durch die Haut

3.1 Transportvorgang

Die Haut stellt eine wirksame, aber nicht vollkommen dichte Barriere gegenüber radioaktiven Stoffen dar. Während feste Teilchen, durch Reiben begünstigt, mechanisch in die Haut eindringen können, unterliegen Flüssigkeiten Kapillarkräften und Diffusionsprozessen. Solange eine Flüssigkeit die Hautoberfläche benetzt, findet ein Stofftransport von der Oberfläche in die Haut und durch die Haut statt. Dieser führt sowohl zu einer (vorübergehenden) Ablagerung von Aktivität in der Hornschicht als auch zu einem Transport in tiefere Hautschichten und eventuell zu einer Aufnahme in das Blut.

Das Aufnahmevermögen der Hornschicht für die kontaminierende Flüssigkeit ist innerhalb weniger Minuten erschöpft. Diese Schicht nimmt pro Quadratzentimeter benetzter Oberfläche ungefähr einen Mikroliter Flüssigkeit auf und damit die darin enthaltene Aktivität. Die durch diesen Vorgang in die Hornschicht aufgenommene

Aktivität ist daher proportional zur Aktivitätskonzentration der Flüssigkeit und zur Größe der betroffenen Hautfläche. Für einige Stoffe jedoch besitzt die Hornschicht eine besondere Affinität. Dies kann bei andauernder Kontamination zu einer Anreicherung der Radioaktivität in der Hornschicht führen.

Der von einer Flüssigkeit auf der Hautoberfläche aufrechterhaltene Transport durch die Haut (Permeation) ist ebenfalls proportional zur Aktivitätskonzentration in der Flüssigkeit und der Größe der betroffenen Hautfläche, außerdem zur Länge des Zeitintervalls, währenddessen die kontaminierende Flüssigkeit sich auf der Haut befindet. Bei in Wasser gelösten anorganischen Stoffen, organischen Säuren, Salzen und lipophilen Verbindungen wird pro Quadratzentimeter und pro Stunde soviel Substanz durch die Haut transportiert, wie in 0,001 bis 0,1 µl Lösung enthalten ist. Bei in Wasser gelösten Gasen oder leicht flüchtigen Substanzen ist die Permeationsrate wesentlich höher.

3.2 Konsequenzen

Bei beiden beschriebenen Prozessen spielt, wenn auch in unterschiedlichem Maße, die Zeitdauer eine Rolle, während der eine radioaktive Lösung sich auf der Hautoberfläche befindet. Dies bedeutet, daß eine möglichst schnelle Entfernung der kontaminierenden Flüssigkeiten die weitere Einlagerung von Aktivität in die Haut beendet und die Permeation durch die Haut reduziert.

Nur die äußersten Zellzwischenräume der Hornschicht, die mit Ausnahme der Handflächen und Fußsohlen nur etwa 15 µm dick ist, lassen sich mit einfachen Maßnahmen dekontaminieren. Einmal tiefer in die Hornschicht eingedrungene Substanzen können ohne eingreifende und damit hautschädigende Maßnahmen nicht mehr vollständig entfernt werden; im ungünstigsten Fall verbleiben bis zu 50 % der ursprünglich vorhandenen Aktivität. Allerdings regeneriert sich die Hornschicht in 14 Tagen vollständig und stößt die Hornzellen zusammen mit den darin eingebetteten Substanzen ab.

Die Möglichkeit der Permeation von Radioaktivität durch die Haut bedeutet, daß bei sehr großer betroffener Körperfläche, langer Kontaminationsdauer und hoher Aktivitätskonzentration die Inkorporation eine Rolle spielen kann. Hierbei ist zu beachten, daß die Rate des Übertritts in das Blut so gering sein kann, daß die inkorporierte Aktivität meßtechnisch nicht oder nur sehr schwer zu erfassen ist.

4 Vorbeugende Maßnahmen

4.1 Allgemeine Maßnahmen

Vorbeugende Maßnahmen zur Vermeidung oder zur Einschränkung einer Kontamination stellen den wirkungsvollsten Schutz dar.

Grundsätzlich bietet die gesunde Haut den besten Schutz vor perkutaner Inkorporation radioaktiver Stoffe. Besondere Aufmerksamkeit ist dafür zu verwenden, daß bei allen Personen, die mit offenen radioaktiven Stoffen umgehen, die Haut, besonders an den Händen, in einem gepflegten und intakten Zustand ist, da rissige Hautoberflächen Eintrittsöffnungen für Inkorporationen darstellen.

Zu den vorbeugenden Maßnahmen gehört daher eine regelmäßige Kontrolle des Zustandes der Haut sowie eine ständige Hautpflege.

Die Kontrolle des Hautzustandes wird durchgeführt:

- Bei der jährlichen ärztlichen Überwachung der beruflich strahlenexponierten Personen durch den anlagekundigen ermächtigten Arzt (Betriebsarzt), bei der die Eignung für den Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen besonders aufgrund des aktuellen und chronischen Zustandes der Haut beurteilt wird.
- Durch die Selbstbeobachtung der beruflich strahlenexponierten Person, die über die Wichtigkeit der intakten Haut für den Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen belehrt wurde; im Zweifelsfall sollte eine Vorstellung beim anlagekundigen ermächtigten Arzt erfolgen.
- Durch die Überwachung durch den Strahlenschutzbeauftragten, der bei erkennbaren Hautdefekten oder -krankheiten bei dem Betroffenen eine Untersuchung durch den anlagekundigen ermächtigten Arzt veranlaßt.

Bei den regelmäßigen Belehrungen über das Verhalten im Kontrollbereich soll vor allem auf folgende Punkte (entsprechend § 53 Abs. 2 StrlSchV) hingewiesen werden:

- Nicht rauchen,
- nicht essen oder trinken,
- Kontaminationsverschleppung unbedingt vermeiden, deshalb
 - nichts unbedacht anfassen,
 - nicht unnötig umhergehen,

- keinen Staub aufwirbeln und
- keine Flüssigkeiten verschleppen.

Es wird empfohlen, diese Gesichtspunkte bei der regelmäßig durchzuführenden Strahlenschutzbelehrung mit Bezug auf die speziellen Betriebsbedingungen überzeugend darzustellen, um damit zum vorbeugenden Gesundheitsschutz zu motivieren. Insbesondere nicht ständig im Betrieb tätigen Personen ist verständlich zu machen, warum die Haut intakt sein muß.

4.2 Spezielle Maßnahmen

Die vorbeugenden Maßnahmen zum Personenschutz sind verschieden je nach dem, ob Kontaminationen mit staubförmigen, öligen oder wasserlöslichen Stoffen möglich sind. Die Gefährdung ist u.a. abhängig von

- der Art des Nuklids und seiner chemischen Form,
- der Aktivitätskonzentration bzw. spezifischen Aktivität,
- der Löslichkeit,
- der Lage und Ausdehnung der möglicherweise betroffenen Hautstelle.

Im Einzelfall müssen arbeitsplatzspezifisch besondere Schutzmaßnahmen zur Anwendung kommen, die auf das zu erwartende Risiko abgestimmt sind.

4.2.1 Persönliche Schutzausrüstung

Schutzkleidung (wie Handschuhe und Schutzanzug, in speziellen Fällen auch Vollschutzanzug) kann erforderlich sein. Es ist sicherzustellen, daß die Schutzkleidung dem Schutzziel entspricht. Dabei ist besonders darauf zu achten, daß die mechanische Beanspruchbarkeit dem zu erwartenden Risiko und den Erfordernissen der durchzuführenden Arbeit entspricht.

Die Übertragung von radioaktiven Stoffen von der Schutzkleidung auf ungeschützte Hautstellen gehört zu den häufigsten Kontaminationsursachen. Zum Beispiel werden oft ungeschützte Körperbereiche wie das Gesicht mit kontaminierten Handschuhen berührt. Solchen Fehlerquellen ist insbesondere bei der regelmäßigen Belehrung entgegenzuwirken.

Hierzu gehört auch das unsachgemäße Ablegen kontaminierter Schutzkleidung. Das Ablegen der Schutzkleidung muß – gegebenenfalls unter Mitwirkung einer Hilfsperson – geübt werden.

4.2.2 Hautschutzmaßnahmen

Sowohl für den Umgang mit radionuklidhaltigen Fetten und Ölen als auch wässrigen Lösungen sind für die Hände spezielle Hautschutzpasten zu empfehlen, die eine schonende Reinigung und Dekontamination erleichtern.

5 Maßnahmen zur Dekontamination

5.1 Organisatorische Regelungen

Beim Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen ist immer mit einer Kontamination zu rechnen. Daher sind organisatorische Maßnahmen und praktische Verfahren zur Dekontamination von Personen vorzusehen.

Es ist notwendig, eine spezifische Dekontaminationsanweisung für den jeweiligen Betrieb, gegebenenfalls auch für den einzelnen Arbeitsplatz, zu erstellen.

5.2 Maßnahmen vor der Durchführung der Dekontamination

Vor der Dekontamination sind kontaminierte Kleidungsstücke - gegebenenfalls mit Unterstützung eines Helfers - abzulegen.

Es ist besonders darauf zu achten, daß dabei keine weiteren Hautpartien kontaminiert werden und auch keine staubförmige Kontamination in die Luft gelangt. Dabei hat der Helfer entsprechende Schutzkleidung (z.B. Handschuhe, Schutzanzug) zu tragen.

Für kontaminierte Kleidung sowie feste und flüssige radioaktive Abfälle sind geeignete Behältnisse bereitzuhalten.

5.3 Durchführung der Dekontamination

Für die Dekontamination müssen einfache und überall durchführbare Dekontaminationsmöglichkeiten zur Verfügung stehen, die unverzüglich einsetzbar sind. Rasche Dekontaminationsmaßnahmen haben gegebenenfalls Vorrang gegenüber der Feststellung der Höhe der Hautkontamination durch Aktivitätsmessung.

Die umgehende Anwendung von lauwarmem Wasser, speziellen Seifen bzw. Waschlotionen, gegebenenfalls unter Benutzung von weichen Handbürsten, führt normalerweise zu einer raschen Beseitigung der Kontamination.

Geringe Kontaminationen lassen sich meist im ersten Waschgang mit Wasser entfernen.

Die Haut ist möglichst nur an den kontaminierten Stellen mit lauwarmem Wasser zu reinigen (zum Beispiel an der Hand die Handinnenfläche).

Der Waschvorgang ist nach etwa zwei Minuten zu beenden, danach ist die Haut mit saugfähigem Material vorsichtig zu trocknen. Bei einer verbleibenden Kontamination ist entsprechend Abschnitt 5.5 zu verfahren.

Ausgehend von der Erkenntnis, daß sowohl die Aktivitätskonzentration einer kontaminierenden Flüssigkeit als auch die Einwirkdauer die entscheidenden Parameter für die Hautpermeation darstellen, ist mit der Dekontamination möglichst rasch zu beginnen.

Es muß bedacht werden, daß die geringe, auf Permeation beruhende Inkorporation durch Waschmaßnahmen begünstigt werden kann. Bei sofortiger Entfernung der Kontamination durch Waschen spielt diese Inkorporation nur eine untergeordnete Rolle. Auch die häufig befürchtete Sekundärkontamination angrenzender Hautpartien durch Waschvorgänge ist in der Praxis weitgehend vernachlässigbar, da bei Verwendung von genügend Wasser die Konzentration der Radionuklide erheblich vermindert wird und die Einwirkzeit kurz ist.

Bei Radionukliden in speziellen chemischen Verbindungen bzw. Zubereitungen kann es erforderlich sein, spezifische Dekontaminationsverfahren vorzusehen, wenn damit ein besserer Dekontaminationseffekt und eine Verringerung der Hautpermeation erreicht werden können. Organische Lösungsmittel dürfen nicht zur Anwendung kommen. Auch Dekontaminationsschaum für Materialoberflächen ist wegen der damit verbundenen Hautreizung nicht geeignet.

5.4 Dekontamination bestimmter Körperteile

5.4.1 Haare

Bei kontaminierten Haaren sind diese an einem geeigneten Haarwaschbecken bei nach hinten geneigtem Kopf von einem Helfer, der Handschuhe trägt, mit einem Waschpräparat zu waschen. Anschließend ist mit reichlich Wasser nachzuspülen. Beim Haarewaschen ist sorgfältig darauf zu achten, daß kein kontaminiertes Wasser in das Gesicht, die Augen oder die Ohren gelangt.

Vor dem Trocknen ist eine Kontrollmessung mit einem Kontaminationsmonitor durchzuführen.

Wenn das Kürzen der Haare gegenüber dem Waschen klare Vorteile bietet, sollte diese Maßnahme mit dem Betroffenen vereinbart werden.

5.4.2 Augen

Bei Kontamination der Augen ist fachgerecht mit reichlich Wasser zu spülen. Weitergehende Maßnahmen sind der ärztlichen Entscheidung vorbehalten.

5.4.3 Mund, Nase, Ohren

Bei Kontaminationen des Mundes, des Nasen-Rachenraumes und des Gehörgangs ist ein ermächtigter Arzt und, sofern notwendig, zusätzlich ein Hals-Nasen-Ohren-Arzt hinzuzuziehen.

Der Mund ist zur Dekontamination mit reichlich Wasser auszuspülen.

Eine Kontamination der Nasenhöhlen kann durch Schneuzen verringert werden.

Grundsätzlich ist bei Kontaminationen von Mund, Nase und Ohren an die Möglichkeit einer Inkorporation zu denken. Spülflüssigkeit und Sekret sind zur Messung aufzubewahren.

5.4.4 Hautfalten, Nagelfalz und Fingernägel

Wenn in Hautfalten, im Nagelfalz oder unter den Fingernägeln Kontamination nachgewiesen wird, ist diese gezielt zu entfernen. Hierfür sind einfache Instrumente wie Nagelreiniger, weiche Bürste oder Klebestreifen geeignet.

5.5 Vorgehen bei verbleibender Kontamination

Falls der erste Dekontaminationsvorgang (Abschnitt 5.3) nicht zum Erfolg führt, ist die Dekontamination bis zu zweimal zu wiederholen und der jeweilige Dekontaminationseffekt zu messen.

Ist der Dekontaminationseffekt kleiner als 10 % und die verbleibende flächenbezogene Aktivität geringer als 10 Bq/cm^2 (gemittelt über 100 cm^2 bei einer überwiegend über die gesamte Fläche verteilten Kontamination), kann auf eine weitere Dekontamination verzichtet werden.

Solange der Dekontaminationseffekt größer als 10 % ist und der Zustand der Haut es erlaubt, sind weitere Waschvorgänge angezeigt.

Falls eine vorzeitige Beendigung der Dekontamination nach den oben genannten Kriterien erforderlich ist und dennoch eine flächenbezogene Aktivität von mehr als 10 Bq/cm^2 verbleibt, ist wie folgt vorzugehen:

- Hinzuziehen des Strahlenschutzbeauftragten und des ermächtigten Arztes,
- Abschätzung der Hautdosis,
- Entscheidung über weitere Dekontaminationsmaßnahmen,
- Anfertigung einer Aufzeichnung mit folgenden Angaben:
 - Name/Abt.,
 - Zeitpunkt der Kontamination und der Dekontaminationsmaßnahme,
 - kontaminierter Körperteil,
 - Fläche der Kontamination in cm^2 ;
 - Anfangs- und Restwert der flächenbezogenen Aktivität in Bq/cm^2 ,
 - Nuklidzusammensetzung,
 - verwendete Dekontaminationsmittel,
 - resultierende Hautdosis,
 - angeordnete Auflagen zur Freigabe.

An eine mögliche Inkorporation über die Haut muß gedacht werden (siehe Abschnitt 3), ebenso an die Möglichkeit einer Verschleppung von radioaktiven Stoffen bei großflächigen Kontaminationen.

6 Mögliche Strahlenexposition des medizinischen Personals bei der Behandlung kontaminierter Patienten

6.1 Problemstellung

In der Vergangenheit waren vereinzelt verletzte oder erkrankte Personen medizinisch zu versorgen, bei denen eine Kontamination vorlag. Über die daraus entstehende Strahlenexposition und mögliche Kontamination von Ärzten und medizinischem Assistenz- und Pflegepersonal bei der Behandlung dieser Personen bestanden gelegentlich unklare Vorstellungen, die auf der Unkenntnis über die Höhe einer möglichen Strahlenexposition beruhten.

6.2 Mögliche Strahlenexposition

Eine Analyse angenommener Unfallereignisse ergab, daß Kontaminationen in der Regel nur eine solche Höhe erreichen, daß die daraus resultierende äußere Exposition von Ärzten und medizinischem Assistenz- und Pflegepersonal bei der Be-

handlung von kontaminierten Patienten im Bereich von wenigen Millisievert in einer Stunde liegt, in den meisten Fällen ist sie wesentlich geringer.

6.3 Vorsorgemaßnahmen des medizinischen Personals

Im Regelfall ist davon auszugehen, daß Patienten bei Einlieferung in ein Krankenhaus bereits dekontaminiert sind, so daß nur mit geringfügigen Kontaminationen an diesen Personen zu rechnen ist. Spezielle Vorsorgemaßnahmen sind daher nicht erforderlich.

Nur in Einzelfällen – wenn beispielsweise bei einer vitalen Indikation eine Dekontamination nicht möglich ist – können Vorsorgemaßnahmen beim medizinischen Personal angezeigt sein. Die normale Operationskleidung stellt einen ausreichenden Schutz dar. Einer Inkorporation wird durch das Tragen eines üblichen Mundschutzes begegnet.

Das Entfernen der kontaminierten Kleidung des Patienten ist eine sehr wirksame Dekontaminationsmaßnahme. Kontaminierte Kleidung und möglicherweise kontaminierte Gegenstände müssen in geeigneten Behältnissen gesammelt werden.

Anhang 1

Berechnung der Äquivalentdosis der kontaminierten Haut

Die Äquivalentdosis der kontaminierten Haut läßt sich mit der nachstehenden Formel ermitteln:

$$H_s = A_F \cdot T_{1/2} \cdot \frac{1}{\ln 2} \cdot 86\,400 \cdot \left(1 - e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot t} \right) \cdot \dot{h}_s$$

mit

H_s Äquivalentdosis der kontaminierten Haut in Sv,

A_F flächenbezogene Aktivität in Bq/cm²,

$T_{1/2}$ physikalische Halbwertszeit in Tagen (d),

t Dauer der Kontamination in Tagen (d),

\dot{h}_s Äquivalentdosisleistungsfaktor in Sv/s geteilt durch Bq/cm² (s. Anhang 2).

Der Faktor 86 400 ergibt sich aus der Umrechnung von Sekunden in Tage (s/d).

Abgeleitet aus der o.g. Formel ergibt sich:

$$H_s = 1,25 \cdot 10^5 \cdot A_F \cdot T_{1/2} \cdot \left(1 - e^{-0,693 \frac{t}{T_{1/2}}} \right) \cdot \dot{h}_s$$

Wird für die Kontamination eine Verweildauer von einer Woche zugrunde gelegt, vereinfacht sich die o.g. Formel für langlebige Nuklide (d.h. Nuklide, deren physikalische Halbwertszeit wesentlich größer als 7 Tage ist) zu:

$$H_s = A_F \cdot 86400 \cdot 7 \cdot \dot{h}_s = 604800 \cdot A_F \cdot \dot{h}_s$$

Anhang 2

11
Empfehlung der Strahlenschutzkommission - Maßnahmen ... Kontamination der Haut C 4 - 11

**Äquivalentdosisleistungsfaktoren
bei Hautkontamination**

Der Äquivalentdosisleistungsfaktor \dot{h}_s bei einer oberflächlichen Hautkontamination ist wie folgt definiert:

Der Zahlenwert von \dot{h}_s entspricht der Äquivalentdosisleistung in Sv/s der kontaminierten Haut bei einer flächenbezogenen Aktivität von 1 Bq/cm^2 .

Bei der Ermittlung dieser Werte wurde durch Integration über eine Hauttiefe zwischen 50 und 100 μm gemittelt. Hierbei wurden die Beiträge von γ -, β - und Elektronenstrahlung berücksichtigt.

Bei der Berechnung des Beitrages der γ -Strahlung zur Hautdosis wurde von einer Kontamination der gesamten Hautfläche ausgegangen.

1.E-14 entspricht $1 \cdot 10^{-14}$

Nuklid	\dot{h}_s	Nuklid	\dot{h}_s
H 3	<1.E-14	Sc 46	3.E-10
Be 7	<1.E-14	Sc 47	4.E-10
Be 10	5.E-10	Sc 48	5.E-10
C 14	5.E-11	Ti 44	2.E-11
F 18	5.E-10	Ti 45	5.E-10
Na 22	5.E-10	V 48	3.E-10
Na 24	4.E-10	V 49	1.E-12
Mg 28	5.E-10	Cr 48	1.E-11
Al 26	5.E-10	Cr 51	1.E-12
Si 31	6.E-10	Mn 52	2.E-10
Si 32	2.E-10	Mn 53	<1.E-14
P 32	6.E-10	Mn 54	2.E-11
P 33	2.E-10	Mn 56	4.E-10
S 35	3.E-11	Fe 52	3.E-10
Cl 36	5.E-11	Fe 55	1.E-12
Ar 37	5.E-13	Fe 59	3.E-10
Ar 39	5.E-10	Fe 60	4.E-11
Ar 41	6.E-10	Co 55	6.E-10
K 40	5.E-10	Co 56	1.E-10
K 42	7.E-10	Co 57	1.E-11
K 43	5.E-10	Co 58	9.E-11
Ca 41	1.E-12	Co 58 m	2.E-12
Ca 45	2.E-10	Co 60	3.E-10
Ca 47	5.E-10	Co 61	6.E-10
Sc 43	4.E-10	Ni 56	5.E-12
Sc 44	6.E-10	Ni 57	2.E-10
Sc 44 m	5.E-12	Ni 59	2.E-12

Nuklid	\dot{h}_s	Nuklid	\dot{h}_s
Ni 63	<1.E-14	Kr 85	5.E-10
Ni 65	4.E-10	Kr 85 m	5.E-10
Ni 66	2.E-10	Kr 87	7.E-10
Cu 61	4.E-10	Kr 88	5.E-10
Cu 64	3.E-10	Rb 81	3.E-10
Cu 67	4.E-10	Rb 82 m	1.E-10
Zn 62	4.E-11	Rb 83	3.E-11
Zn 65	2.E-11	Rb 84	2.E-10
Zn 69 m	3.E-11	Rb 86	4.E-10
Zn 71 m	6.E-10	Rb 87	3.E-10
Zn 72	3.E-10	Sr 80	3.E-12
Ga 66	6.E-10	Sr 82	<1.E-14
Ga 67	9.E-11	Sr 83	1.E-10
Ga 68	5.E-10	Sr 85	4.E-12
Ga 72	2.E-10	Sr 85 m	8.E-12
Ga 73	6.E-10	Sr 87 m	1.E-10
Ge 66	1.E-10	Sr 89	4.E-10
Ge 68	2.E-12	Sr 90	5.E-10
Ge 69	2.E-10	Sr 91	4.E-10
Ge 71	2.E-12	Sr 92	4.E-10
Ge 75	6.E-10	Y 86	5.E-10
Ge 77	6.E-10	Y 87	2.E-12
Ge 78	5.E-10	Y 88	1.E-12
As 71	2.E-10	Y 90	4.E-10
As 72	5.E-10	Y 90 m	7.E-11
As 73	5.E-12	Y 91	4.E-10
As 74	4.E-10	Y 92	4.E-10
As 76	6.E-10	Y 93	4.E-10
As 77	5.E-10	Zr 86	3.E-11
As 78	7.E-10	Zr 88	2.E-11
Se 73	5.E-10	Zr 89	4.E-10
Se 75	4.E-11	Zr 93	<1.E-14
Se 79	9.E-11	Zr 95	3.E-10
Br 75	6.E-10	Zr 97	4.E-10
Br 76	6.E-10	Nb 89	5.E-10 HWZ.: 1.1 h
Br 77	2.E-11	Nb 89	6.E-10 HWZ.: 2.0 h
Br 80 m	5.E-12	Nb 90	5.E-10
Br 82	4.E-10	Nb 93 m	4.E-12
Br 83	5.E-10	Nb 94	4.E-10
Kr 76	3.E-12	Nb 95	6.E-11
Kr 77	6.E-10	Nb 95 m	4.E-10
Kr 79	4.E-11	Nb 96	5.E-10
Kr 81	3.E-12	Nb 97	6.E-10
Kr 83 m	1.E-12	Mo 90	3.E-10

Nuklid	\dot{h}_s	Nuklid	\dot{h}_s
Mo 93	3.E-12	Cd 115 m	6.E-10
Mo 93 m	2.E-10	Cd 117	6.E-10
Mo 99	4.E-10	Cd 117 m	5.E-10
Tc 93	4.E-13	In 109	8.E-11
Tc 94	7.E-11	In 110	3.E-12 HWZ.: 4.9 h
Tc 95	1.E-12	In 110	4.E-10 HWZ.: 1.2 h
Tc 95 m	2.E-11	In 111	7.E-11
Tc 96	2.E-12	In 113 m	2.E-10
Tc 97	3.E-12	In 114 m	4.E-10
Tc 97 m	1.E-10	In 115	4.E-10
Tc 98	4.E-10	In 115 m	3.E-10
Tc 99	3.E-10	In 117 m	5.E-10
Tc 99 m	5.E-11	Sn 110	2.E-11
Ru 97	2.E-11	Sn 113	4.E-13
Ru 103	2.E-10	Sn 117 m	4.E-10
Ru 105	4.E-10	Sn 119 m	1.E-10
Ru 106	<1.E-14	Sn 121	3.E-10
Rh 99	1.E-10	Sn 121 m	8.E-11
Rh 99 m	4.E-11	Sn 123	6.E-10
Rh 100	4.E-11	Sn 125	6.E-10
Rh 101	7.E-11	Sn 126	4.E-10
Rh 101 m	3.E-11	Sn 127	6.E-10
Rh 102	3.E-12	Sb 116 m	3.E-10
Rh 102 m	8.E-11	Sb 117	6.E-11
Rh 105	3.E-10	Sb 118 m	3.E-11
Rh 106 m	4.E-10	Sb 119	2.E-12
Pd 100	6.E-11	Sb 120	8.E-11
Pd 101	6.E-11	Sb 122	6.E-10
Pd 103	2.E-12	Sb 124	4.E-10
Pd 107	<1.E-14	Sb 125	2.E-10
Pd 109	1.E-09	Sb 126	4.E-10
Ag 103	2.E-10	Sb 127	4.E-10
Ag 104	1.E-10	Sb 128	7.E-10
Ag 105	1.E-11	Sb 129	4.E-10
Ag 106 m	1.E-11	Te 116	1.E-10
Ag 108 m	4.E-11	Te 121	2.E-12
Ag 110 m	1.E-10	Te 121 m	2.E-10
Ag 111	4.E-10	Te 123	2.E-13
Ag 112	7.E-10	Te 123 m	2.E-10
Cd 107	2.E-10	Te 125 m	3.E-10
Cd 109	2.E-10	Te 127	4.E-10
Cd 113	3.E-10	Te 127 m	2.E-10
Cd 113 m	5.E-10	Te 129	4.E-10
Cd 115	5.E-10	Te 129 m	3.E-10

13
Empfehlung der Strahlenschutzkommission - Maßnahmen ... Kontamination der Haut C 4 - 13

Nuklid	\bar{h}_s	Nuklid	\bar{h}_s
Te 131 m	4.E-10	La 137	1.E-12
Te 132	1.E-10	La 138	1.E-10
I 120	7.E-10	La 140	5.E-10
I 121	3.E-10	La 141	4.E-10
I 123	1.E-10	La 142	4.E-10
I 124	5.E-10	Ce 134	2.E-12
I 125	4.E-12	Ce 135	5.E-10
I 126	4.E-10	Ce 137	2.E-12
I 129	6.E-11	Ce 137 m	4.E-10
I 130	5.E-10	Ce 139	8.E-11
I 131	4.E-10	Ce 141	4.E-10
I 132	4.E-10	Ce 143	5.E-10
I 132 m	1.E-10	Ce 144	2.E-10
I 133	4.E-10	Pr 137	2.E-10
I 135	4.E-10	Pr 138 m	1.E-10
Xe 122	7.E-12	Pr 139	4.E-11
Xe 123	3.E-10	Pr 142	6.E-10
Xe 125	6.E-11	Pr 143	4.E-10
Xe 127	5.E-11	Pr 145	4.E-10
Xe 129 m	4.E-10	Nd 138	1.E-12
Xe 131 m	4.E-10	Nd 139 m	2.E-10
Xe 133	4.E-10	Nd 141	1.E-11
Xe 133 m	5.E-10	Nd 147	4.E-10
Xe 135	5.E-10	Nd 149	6.E-10
Cs 127	5.E-11	Pm 143	8.E-13
Cs 129	5.E-12	Pm 144	1.E-11
Cs 131	2.E-12	Pm 145	2.E-11
Cs 132	4.E-12	Pm 146	2.E-10
Cs 134	3.E-10	Pm 147	1.E-10
Cs 134 m	4.E-10	Pm 148	4.E-10
Cs 135	2.E-10	Pm 148 m	4.E-10
Cs 136	4.E-10	Pm 149	4.E-10
Cs 137	4.E-10	Pm 150	6.E-10
Ba 126	1.E-11	Pm 151	4.E-10
Ba 128	5.E-12	Sm 142	3.E-11
Ba 131	1.E-10	Sm 145	<1.E-14
Ba 133	6.E-11	Sm 146	<1.E-14
Ba 133 m	5.E-10	Sm 147	<1.E-14
Ba 135 m	4.E-10	Sm 151	<1.E-14
Ba 137 m	5.E-11	Sm 153	7.E-10
Ba 139	4.E-10	Sm 156	5.E-10
Ba 140	4.E-10	Eu 145	1.E-11
La 132	2.E-10	Eu 146	2.E-11
La 135	1.E-13	Eu 147	4.E-11

Nuklid	\bar{h}_s	Nuklid	\bar{h}_s
Eu 148	1.E-11	Er 169	3.E-10
Eu 149	4.E-12	Er 171	8.E-10
Eu 150	4.E-11 HWZ: 34 a	Er 172	3.E-10
Eu 150	5.E-10 HWZ: 13 h	Tm 166	2.E-10
Eu 152	2.E-10	Tm 167	3.E-10
Eu 152 m	3.E-10	Tm 170	5.E-10
Eu 154	5.E-10	Tm 171	7.E-13
Eu 155	9.E-11	Tm 172	7.E-10
Eu 156	4.E-10	Tm 173	5.E-10
Eu 157	6.E-10	Yb 166	3.E-11
Gd 146	3.E-10	Yb 169	2.E-10
Gd 147	8.E-11	Yb 175	3.E-10
Gd 148	<1.E-14	Yb 177	6.E-10
Gd 149	1.E-10	Yb 178	4.E-10
Gd 151	3.E-11	Lu 169	7.E-11
Gd 152	<1.E-14	Lu 170	2.E-10
Gd 153	2.E-11	Lu 171	2.E-11
Gd 159	5.E-10	Lu 172	3.E-10
Tb 147	2.E-10	Lu 173	3.E-11
Tb 149	5.E-12	Lu 174	8.E-11
Tb 150	2.E-10	Lu 174 m	6.E-11
Tb 151	2.E-10	Lu 176	7.E-10
Tb 153	4.E-11	Lu 176 m	6.E-10
Tb 154	2.E-10	Lu 177	4.E-10
Tb 155	3.E-11	Lu 177 m	3.E-10
Tb 156	2.E-10	Lu 179	6.E-10
Tb 156 m	2.E-10 HWZ: 5 h	Hf 170	8.E-11
Tb 156 m	4.E-13 HWZ: 24 h	Hf 172	8.E-11
Tb 157	9.E-13	Hf 173	1.E-10
Tb 158	3.E-10	Hf 175	6.E-11
Tb 160	6.E-10	Hf 178 m	8.E-10
Tb 161	4.E-10	Hf 179 m	4.E-10
Dy 155	2.E-11	Hf 180 m	4.E-10
Dy 157	1.E-11	Hf 181	5.E-10
Dy 159	2.E-12	Hf 182	2.E-10
Dy 165	6.E-10	Hf 182 m	6.E-10
Dy 166	4.E-10	Hf 183	6.E-10
Ho 161	6.E-12	Hf 184	7.E-10
Ho 162 m	1.E-10	Ta 173	5.E-10
Ho 166	8.E-10	Ta 174	6.E-10
Ho 166 m	3.E-10	Ta 175	1.E-10
Ho 167	5.E-10	Ta 176	2.E-10
Er 161	8.E-11	Ta 177	4.E-11
Er 165	8.E-13	Ta 178	6.E-11

Nuklid	\dot{h}_s	Nuklid	\dot{h}_s
Ta 179	2.E-12	Ir 194 m	4.E-10
Ta 180	3.E-10	Ir 195	5.E-10
Ta 180 m	1.E-10	Ir 195 m	3.E-10
Ta 182	5.E-10	Pt 186	2.E-12
Ta 183	7.E-10	Pt 188	2.E-10
Ta 184	7.E-10	Pt 189	4.E-11
W 176	7.E-11	Pt 191	8.E-11
W 177	1.E-10	Pt 193	1.E-12
W 178	1.E-12	Pt 193 m	3.E-10
W 181	5.E-13	Pt 195 m	4.E-10
W 185	4.E-10	Pt 197	6.E-10
W 187	5.E-10	Pt 197 m	3.E-10
W 188	3.E-10	Pt 200	6.E-10
Re 181	2.E-10	Au 193	1.E-10
Re 182	2.E-10	Au 194	4.E-11
Re 182	4.E-10	Au 195	4.E-11
Re 184	1.E-10	Au 198	5.E-10
Re 184 m	3.E-10	Au 198 m	1.E-09
Re 186	6.E-10	Au 199	4.E-10
Re 186 m	5.E-11	Au 200 m	6.E-10
Re 187	<1.E-14	Hg 185 m	3.E-10
Re 188	6.E-10	Hg 193	2.E-10
Re 189	5.E-10	Hg 193 m	2.E-10
Os 181	2.E-10	Hg 194	2.E-12
Os 182	5.E-11	Hg 195	5.E-11
Os 185	2.E-11	Hg 197	1.E-10
Os 189 m	1.E-12	Hg 197 m	6.E-10
Os 191	1.E-10	Hg 203	3.E-10
Os 191 m	1.E-10	Tl 195	5.E-11
Os 193	6.E-10	Tl 197	9.E-11
Os 194	4.E-13	Tl 198	4.E-11
Ir 184	4.E-10	Tl 198 m	3.E-10
Ir 185	2.E-10	Tl 199	1.E-10
Ir 186	2.E-10	Tl 200	4.E-11
Ir 186	2.E-10	Tl 201	8.E-11
Ir 187	5.E-11	Tl 202	2.E-11
Ir 188	1.E-10	Tl 204	5.E-10
Ir 189	6.E-11	Pb 198	1.E-10
Ir 190	3.E-10	Pb 199	5.E-11
Ir 190 m	2.E-10	Pb 200	2.E-10
Ir 190 m	1.E-12	Pb 201	7.E-11
Ir 192	5.E-10	Pb 202	1.E-12
Ir 192 m	3.E-12	Pb 202 m	2.E-10
Ir 194	6.E-10	Pb 203	9.E-11

HWZ.: 13 h

HWZ.: 64 h

HWZ.: 1.8 h

HWZ.: 16 h

HWZ.: 3.1 h

HWZ.: 1.2 h

Nuklid	\dot{h}_s	Nuklid	\dot{h}_s
Pb 205	1.E-12	U 232	2.E-12
Pb 209	5.E-10	U 233	2.E-12
Pb 210	1.E-12	U 234	6.E-13
Pb 212	5.E-10	U 235	6.E-11
Bi 201	3.E-10	U 236	5.E-13
Bi 202	1.E-10	U 237	4.E-10
Bi 203	1.E-10	U 238	5.E-13
Bi 205	2.E-11	U 240	3.E-10
Bi 206	2.E-10	Np 234	2.E-11
Bi 207	7.E-11	Np 235	3.E-13
Bi 210	6.E-10	Np 236	2.E-10
Bi 210 m	9.E-11	Np 236	5.E-10
Bi 212	5.E-10	Np 237	2.E-11
Po 205	9.E-11	Np 238	3.E-10
Po 207	6.E-11	Np 239	6.E-10
Po 210	<1.E-14	Np 240	1.E-09
At 207	1.E-10	Pu 234	4.E-12
At 211	5.E-12	Pu 236	1.E-12
Rn 222	1.E-14	Pu 237	5.E-12
Ra 223	2.E-10	Pu 238	1.E-12
Ra 224	8.E-12	Pu 239	4.E-13
Ra 225	3.E-10	Pu 240	1.E-12
Ra 226	1.E-11	Pu 241	<1.E-14
Ra 228	<1.E-14	Pu 242	1.E-12
Ac 224	6.E-11	Pu 243	4.E-10
Ac 225	4.E-11	Pu 244	6.E-12
Ac 226	4.E-10	Pu 245	5.E-10
Ac 227	3.E-13	Pu 246	2.E-10
Ac 228	5.E-10	Am 237	1.E-10
Th 227	6.E-11	Am 238	2.E-11
Th 228	5.E-11	Am 239	4.E-10
Th 229	2.E-10	Am 240	8.E-11
Th 230	2.E-11	Am 241	5.E-12
Th 231	3.E-10	Am 242	3.E-10
Th 232	7.E-12	Am 242 m	1.E-12
Th 234	7.E-11	Am 243	2.E-11
Pa 228	2.E-10	Am 244	8.E-10
Pa 230	8.E-11	Am 245	6.E-10
Pa 231	2.E-11	Cm 238	4.E-12
Pa 232	4.E-10	Cm 240	4.E-13
Pa 233	5.E-10	Cm 241	2.E-10
Pa 234	1.E-09	Cm 242	5.E-13
U 230	4.E-11	Cm 243	3.E-10
U 231	6.E-11	Cm 244	4.E-13

HWZ.: 23 h

HWZ.: 1150 a

Nuklid	\dot{h}_s	Nuklid	\dot{h}_s
Cm 245	1.E-10	Cf 251	5.E-10
Cm 246	1.E-12	Cf 252	1.E-10
Cm 247	4.E-11	Cf 253	2.E-10
Cm 248	4.E-10	Cf 254	5.E-09
Cm 249	5.E-10	Es 250	1.E-11
Cm 250	2.E-09	Es 251	3.E-11
Bk 245	3.E-10	Es 253	8.E-13
Bk 246	3.E-11	Es 254	5.E-12
Bk 247	2.E-10	Es 254 m	5.E-10
Bk 249	<1.E-14	Fm 252	2.E-12
Bk 250	5.E-10	Fm 253	3.E-11
Cf 246	7.E-13	Fm 254	2.E-12
Cf 248	1.E-13	Fm 255	1.E-10
Cf 249	7.E-11	Fm 257	2.E-10
Cf 250	3.E-12	Md 257	1.E-11