



Strahlenschutzkommission

Geschäftsstelle der
Strahlenschutzkommission
Postfach 12 06 29
D-53048 Bonn

<http://www.ssk.de>

Strahlenexposition von Personen durch nuklearmedizinisch untersuchte Patienten

Empfehlung der Strahlenschutzkommission

Verabschiedet in der 152. Sitzung am 23./24. April 1998

Veröffentlicht in: – Bundesanzeiger Nr. 208 vom 05. November 1998
– Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 44

Inhaltsverzeichnis

1	Problemstellung	3
2	Radiopharmaka	4
3	Szenarien	5
3.1	Beruflich bedingte Kontakte	6
3.1.1	Pflegepersonal auf der Station	6
3.1.2	Ärztliches Personal außerhalb der nuklearmedizinischen Einrichtung .	7
3.1.3	Technisches Personal	7
3.1.4	Krankentransport	7
3.1.5	Kanalisationsarbeiter und Wäschereipersonal	8
3.2	Kontakte zu Begleitpersonen und Angehörigen	8
3.2.1	Begleitung innerhalb des Krankenhauses	8
3.2.2	Angehörige zu Hause	8
3.2.3	Kinderbetreuung	8
3.3	Sonstige Kontakte	9
3.3.1	Mitpatient	9
3.3.2	Bevölkerung	9
3.4	Expositionsquellen	9
4	Dosisabschätzungen	10
4.1	Methodik der Dosisabschätzungen	10
4.2	Ergebnisse der Dosisabschätzungen	13
5	Schlußfolgerungen und Empfehlungen	15
6	Literatur	16

1 Problemstellung

Bezüglich der Strahlenexposition, die von Patienten ausgeht, die eine nuklearmedizinische Untersuchung erhalten haben, bestehen häufig Unsicherheiten, die - infolge von Unkenntnis - zu irrationalem Verhalten führen können. Ziel dieser Empfehlung ist es, die unter realistischen Annahmen ermittelten Strahlenexpositionen für Personen aus der Umgebung der oben erwähnten Patienten unter dem Gesichtspunkt des Strahlenschutzes zu bewerten. Auf dieser Basis werden anschließend Empfehlungen für das Verhalten der Patienten nach nuklearmedizinischer Diagnostik bzw. für die zu fordernden Vorkehrungen auf der Seite des Anwenders und des Strahlenschutzverantwortlichen ausgesprochen. Unter Anwender ist dabei der nuklearmedizinisch tätige Arzt und gegebenenfalls die Klinik zu verstehen, in der er tätig ist.

Für diese Betrachtung wurden die wichtigsten nuklearmedizinischen Untersuchungen mit den entsprechenden Radiopharmaka ausgewählt. Da Positronenstrahler zunehmend eine Rolle in der nuklearmedizinischen Diagnostik spielen werden, wurde Fluor-18-Deoxyglukose (F-18-FDG) in die Betrachtung eingeschlossen.

Die Strahlenexpositionen von Kontaktpersonen wurden unter Zugrundelegung typischer Verhaltensweisen bestimmt. Zusätzlich wurde - soweit sinnvoll - eine realistische Maximalexposition errechnet, um zu berücksichtigen, daß sich die Strahlenexposition nicht immer statistisch auf viele Mitmenschen, sondern eventuell auch einmal vorhersehbar nur auf wenige verteilen kann.

Aus der Vielzahl der möglichen Kontakte wurden beispielhaft typische Szenarien für die Berechnungen der Strahlenexpositionen der Personengruppen, die mit dem Patienten länger in Berührung kommen können, ausgewählt. Diese betreffen:

1. Berufsbedingte Kontakte
(außer Personal der nuklearmedizinischen Einrichtung),
2. Kontakte zu Begleitpersonen und Angehörigen,
3. Sonstige Kontakte.

Unter beruflich bedingten Kontakten außerhalb der nuklearmedizinischen Einrichtung, jedoch in ihrer unmittelbaren (organisatorischen) Nähe, sind in erster Linie Kontakte auf Krankenstationen und in Funktionsabteilungen zu verstehen, die einen nuklearmedizinisch untersuchten Patienten unmittelbar nach der Aktivitätsanwendung bzw. der zugehörigen Untersuchung übernehmen. Zu den betroffenen Personen gehören:

- Pflegepersonal,
- ärztliches Personal (z.B. in der Sonographie),
- Radiologiepersonal in der Röntgenabteilung und
- Personal beim Krankentransport,

die primär alle außerhalb der nuklearmedizinischen Einrichtung tätig sind.

Andere beruflich bedingte Kontakte betreffen:

- Kanalisationsarbeiter,
- Wäschereipersonal.

Bezüglich der Kontakte zu Begleitpersonen und Angehörigen wurden beispielhaft Berechnungen für die Betreuung des mobilen Patienten während der Wartezeit zwischen Applikation eines Radiopharmakons und nuklearmedizinischer Untersuchung, für den Besuch eines stationären Patienten nach der Untersuchung im Krankenhaus und für den Aufenthalt ambulanter Patienten mit ihren Angehörigen zu Hause durchgeführt. Dabei wurde die Möglichkeit des vergleichsweise sehr engen Kontaktes bei der Kinderbetreuung gesondert betrachtet.

Im Hinblick auf sonstige Kontakte wurde bei stationären Patienten der Kontakt zu Mitpatienten während des Aufenthaltes im Krankenzimmer berücksichtigt.

Zusätzlich wurde die Möglichkeit einer Kontamination der Umwelt durch das langlebige Folgeprodukt Tc-99 des in der Diagnostik eingesetzten Tc-99m berücksichtigt und, nach Vergleich mit der natürlichen Radioaktivität, die resultierende zusätzliche Strahlenexposition der Bevölkerung berechnet.

2 Radiopharmaka

Für die Betrachtung der Radiopharmaka und der zu ihrer Markierung verwendeten Radionuklide wurden diejenigen ausgesucht, die aufgrund des besonders häufigen Einsatzes und/oder der im Vergleich zu den anderen Präparaten hohen Strahlenexposition besonders relevant sind:

Technetium-99m

In der Nuklearmedizin werden heute überwiegend mit Tc-99m (physikalische Halbwertszeit 6,0 Stunden) markierte Radiopharmaka benutzt. Für die verschiedenen Untersuchungen werden Aktivitäten eingesetzt, die sich um mehr als eine Größenordnung unterscheiden können. Für die Abschätzung wurde als Repräsentant der Tc-99m-markierten Radiopharmaka ein Phosphonat ausgewählt, das für die Skelettszintigraphie eingesetzt wird. Die Skelettszintigraphie ist nach der Schilddrüsenszintigraphie die zweithäufigste Untersuchung. Es wird dabei die etwa zehnfache Aktivität der Schilddrüsenszintigraphie eingesetzt. Die Schilddrüsenszintigraphie spielt wegen der geringen Aktivität bei der Betrachtung keine wesentliche Rolle.

Als zweite Tc-99m-markierte Radiopharmakagruppe wurden die myokardaffinen Radiopharmaka, wie z. B. Sestamibi, betrachtet. Für die Myokardszintigraphie erfolgen bei diesen Präparaten üblicherweise zwei Injektionen mit einer Gesamtaktivität, die der der Skelettszintigraphie entspricht oder diese bis zu 50% übersteigt. Die Myokardszintigraphie mit Technetium-markierten Präparaten spielt bereits jetzt zahlenmäßig eine gewisse Rolle, die in Zukunft noch zunehmen kann.

Andere Tc-99m-markierte Radiopharmaka wurden bei der vorliegenden Betrachtung wegen ihres im Vergleich seltenen Einsatzes vernachlässigt. Sollten lokale Gegebenheiten eine Rolle spielen, so lassen sich die Ergebnisse der Skelettszintigraphie auf andere Untersuchungsarten übertragen.

Thallium-201

Tl-201-Chlorid wird für die Myokardszintigraphie verwandt. Tl-201 ist im Vergleich zum Tc-99m längerlebig (physikalische Halbwertszeit 73 Stunden). Es wird nur relativ langsam aus dem Körper ausgeschieden.

Indium-111

In-111 (physikalische Halbwertszeit 67 Stunden) wird zur Markierung von rezeptoraffinen Tracern (Octreotid), von Antikörpern, für die Immunszintigraphie und die Liquorszintigraphie (DTPA) verwandt. Für erstere könnte sich in der Zukunft eine häufigere Indikationsstellung ergeben.

Iod-123

Neu entwickelte Radiopharmaka werden oft mit Iod markiert, vorzugsweise mit I-123 (physikalische Halbwertszeit 13,2 Stunden). Daher erscheint es angebracht, auch dieses Radionuklid zu betrachten. Stellvertretend wurde das I-123-Meta-Iod-Benzylguanidin (I-123-MIBG) ausgewählt, da es derzeit das am häufigsten eingesetzte I-123-markierte Radiopharmakon ist. Darüber hinaus ist die biologische Halbwertszeit des I-123-MIBG vergleichsweise lang, so daß die Übertragung der Dosisabschätzung von I-123-MIBG auf andere I-123-markierte Radiopharmaka als konservativ anzusehen ist.

Iod-131

Der Radioiod-Test mit I-131 (physikalische Halbwertszeit 8,0 Tage) wird hauptsächlich an solchen Einrichtungen eingesetzt, die auch die Radioiodtherapie durchführen. Die in der Diagnostik eingesetzten Aktivitäten unterschreiten deutlich die Entlassungsaktivitäten eines mit Radioiod therapierten Patienten. Bei der Abschätzung der Strahlenexposition durch einen Patienten nach einem Radioiod-Test wurde auch die Exposition durch Inhalation des vom Patienten exhalieren Radioiods berücksichtigt. Diesbezüglich wird auch auf die kürzlich veröffentlichte Empfehlung der Strahlenschutzkommission zur Radioiod-Therapie verwiesen [1].

Positronenstrahler

Für die Betrachtung einer möglichen Strahlenexposition durch Untersuchungen mit Positronenstrahlern ist es ausreichend, Fluor-18-markierte Deoxyglukose (F-18-FDG) als Radiopharmakon zu betrachten (physikalische Halbwertszeit 110 Minuten). Zum einen haben andere Positronenstrahler eine zu kurze physikalische Halbwertszeit (C-11: 20 Minuten, N-13: 10 Minuten, O-15: 2 Minuten), um bei den betrachteten Szenarien eine relevante Exposition hervorzurufen, zum anderen ist F-18-FDG das derzeit einzige routinemäßig häufiger eingesetzte Radiopharmakon. Die Anwendungshäufigkeit wird sich vermutlich in Zukunft steigern.

Mit der Auswahl dieser sechs Radiopharmaka sind nuklearmedizinische Untersuchungen erfaßt, die einen nennenswerten Beitrag zur Strahlenexposition von Personen außerhalb der nuklearmedizinischen Einrichtung liefern können. Die Anwendung der nicht aufgeführten, in der Nuklearmedizin verwendeten Radionuklide führt nach Auffassung der Strahlenschutzkommission zu keiner über die hier aufgeführten Abschätzungen hinausgehenden Strahlenexposition.

3 Szenarien

Im folgenden werden die möglichen Szenarien erläutert, mit Hilfe derer die Berechnung der Strahlenexposition von Pflegepersonal, Ärzten, technischem Personal und Mitpatienten sowie bei der Patientenbegleitung und während des Krankentransports durchgeführt wurde. Eine wei-

tere Differenzierung erfolgt in Abhängigkeit von den eingesetzten Radiopharmaka. Darüber hinaus werden Kanalisationsarbeiter und Wäschereipersonal betrachtet.

3.1 Beruflich bedingte Kontakte

3.1.1 Pflegepersonal auf der Station

Bei den Berechnungen wurde im Sinne einer "worst case"-Betrachtung davon ausgegangen, daß eine Krankenschwester, die nicht auf einer nuklearmedizinischen Station arbeitet, im Durchschnitt pro Woche entweder mit zwei mit Tc-99m-Phosphonat oder mit einem mit anderen Radiopharmaka nuklearmedizinisch untersuchten Patienten näheren Umgang hat. Die Patienten wurden nach dem Gesundheitsstrukturgesetz [2], in dem Dauer und Intensität der Pflege definiert sind, als bettlägerig in die Kategorie A2/S2 eingestuft. Die ermittelten Zeiten entsprechen den Tätigkeitsprofilen für die allgemeine Pflege (A) und spezielle Pflege (S) mit Stand vom 16.04.1992 (ebenfalls [2]) entsprechend dem Pflegeaufwand bei einem schwerkrank bettlägerigen Patienten, der nicht intensivpflichtig ist.

Ausgehend von der Annahme, daß ein Teil der allgemeinen und speziellen Leistungen vor der Applikation des Radiopharmakons erfolgt, z.B. morgendliche Körperpflege und Versorgung, werden im folgenden Tätigkeiten aufgeführt, die nach Applikation des Radiopharmakons erforderlich werden und in unterschiedlichen Abständen zum Patienten auszuführen sind:

a) Abstand von 0,5 m zum Patienten

Hilfen beim Essen und Trinken	10 Minuten
Begleiten zur Toilette	5 Minuten
Mobilisationshilfe im Bett u. außerhalb des Bettes	5 Minuten
in der Summe	20 Minuten

b) Abstand von 1 m zum Patienten

Arzneimittelgabe	8 Minuten
------------------	-----------

c) Abstand von 2 m zum Patienten

Kommunikation mit dem Patienten, Teilnahme an ärztlichen Visiten	
in der Summe	12 Minuten

Weiterhin wurde zugrunde gelegt, daß der Patient im Falle der Skelettszintigraphie ca. 4 Stunden nach Applikation zur Station zurückkehrt und die Blase entleert hat. Für Patienten, die mit anderen Radiopharmaka untersucht wurden, wurde angenommen, daß sie 2 Stunden nach Applikation zur Station zurückkehren. Vom 2. Tag an wurde eine Expositionszeit von 50 Minuten in 0,5 m Abstand aufgrund der zusätzlichen Berücksichtigung von morgendlicher Körperpflege und Versorgung betrachtet.

In Ausnahmefällen, beispielsweise bei Raummangel in der nuklearmedizinischen Einrichtung, muß ein bettlägeriger Patient die Wartezeit bis zur Skelettszintigraphie auch auf der Station verbringen. Die zusätzliche Exposition des Pflegepersonals wurde ebenfalls abgeschätzt.

Als Sonderfall wurde die Exposition des Personal einer Intensivstation mit täglich 3 Stunden Pflege im Abstand von 0,5 m zum nuklearmedizinisch untersuchten Patienten betrachtet.

3.1.2 Ärztliches Personal außerhalb der nuklearmedizinischen Einrichtung

Es ist hierbei zwischen einer stationsärztlichen Tätigkeit und einer Funktionstätigkeit zu differenzieren.

1. Für den Stationsarzt wurde eine 5-minütige Tätigkeit in 0,5 m Abstand zum Patienten nach einem Zeitraum von 4 Stunden nach Applikation des Radiopharmakons bei der Skelettszintigraphie bzw. 2 Stunden nach Applikation des Radiopharmakons bei anderen Untersuchungen angesetzt. Dabei erscheint das Zusammentreffen mit durchschnittlich mehr als einem nuklearmedizinisch untersuchten Patienten pro Tag bei der Anwendung von Tc-99m-Phosphonat bzw. einem Patienten pro Woche bei der Anwendung anderer Radiopharmaka als unwahrscheinlich.
2. Für Funktionsbereiche kann davon ausgegangen werden, daß im Falle einer Ultraschalluntersuchung der engste und längste Arzt-Patienten-Kontakt besteht. Unter der ungünstigsten Annahme wird ein Patient kurz nach der Applikation des Radiopharmakons von einem Arzt 20 Minuten lang in einer Entfernung von 0,5 m sonographisch untersucht. Auch kann hier zugrunde gelegt werden, daß nicht mehr als zwei Patienten pro Tag nach Anwendung von Tc-99m-Phosphonat bzw. zwei Patienten pro Woche nach Anwendung anderer Radiopharmaka untersucht werden.

3.1.3 Technisches Personal

In Ergänzung zur ärztlichen Tätigkeit soll auch die mögliche Expositionszeit für medizinisch-technisches Röntgenpersonal betrachtet werden. Hierbei wurde zugrunde gelegt, daß maximal zwei Patienten pro Tag (Anwendung von Tc-99m-Phosphonat) bzw. zwei Patienten pro Woche (Anwendung anderer Radiopharmaka) 4 Stunden bzw. 2 Stunden nach Applikation des Radiopharmakons radiologisch untersucht werden. Der engste Kontakt im Sinne von 0,5 m Abstand wird beim Positionieren zu der Röntgenaufnahme erreicht, dessen Dauer in der Summe zu 5 Minuten angesetzt wird.

3.1.4 Krankentransport

Die minimale Entfernung zu einem Patienten, dem kurz vorher ein Radiopharmakon appliziert wurde, besteht beim Schieben des Patienten im Rollstuhl. Dies geschieht in 0,5 m Abstand vom Patienten. Selbst in großen Kliniken kann davon ausgegangen werden, daß die Transportzeit von der nuklearmedizinischen Einrichtung zur Station 15 Minuten in diesem Abstand nicht überschreitet. Auch wurde angenommen, daß ein Angehöriger des Krankentransportdienstes durchschnittlich einen Patienten pro Tag (Tc-99m-Phosphonat) bzw. einen Patienten pro Woche (andere Radiopharmaka) transportiert. Dies ist aber nur dann gewährleistet, wenn nicht nur eine einzige Person alle Transporte für eine nuklearmedizinische Einrichtung durchführt.

3.1.5 Kanalisationsarbeiter und Wäschereipersonal

Unter Zugrundelegung von 10 Skelettszintigraphien pro Tag wurde davon ausgegangen, daß die von den Patienten in den ersten 4 Stunden nach Applikation in die Toilette abgegebene gesamte Aktivität von ca. 3 GBq Tc-99m während insgesamt 15 min in 2 m Abstand am Kanalisationsarbeiter vorbei fließen könnte.

Für das Wäschereipersonal wurde konservativ von einem täglichen Kontakt mit der Bettwäsche eines inkontinenten Patienten ausgegangen, der 10 % der applizierten Aktivität mit dem Urin in die Bettwäsche ausgeschieden hat.

3.2 Kontakte zu Begleitpersonen und Angehörigen

3.2.1 Begleitung innerhalb des Krankenhauses

Hierbei wurden zwei Szenarien berücksichtigt:

1. Der Patient ist mobil und wird z.B. von Angehörigen in die Nuklearmedizin begleitet und verbringt die Wartezeit zwischen Applikation und Aufnahmen (bei der Skelettszintigraphie 3 Stunden, bei anderen Untersuchungen 1 Stunde) in Anwesenheit der Begleitung außerhalb der nuklearmedizinischen Einrichtung, z.B. in einer Cafeteria, wobei eine Distanz von ca. 1 m zugrunde gelegt werden kann.
2. Der bettlägerige Patient wird am Nachmittag des Untersuchungstages von seinen Angehörigen besucht. Dies erfolgt bei Skelettszintigraphie-Patienten nach mehr als 4 Stunden nach der Applikation des Radiopharmakons und bei Patienten mit anderen Untersuchungen 2 Stunden nach der Applikation des Radiopharmakons für eine Dauer von jeweils 2 Stunden in einem Abstand von 1 m zum Besucher. Bei längeren Besuchsverläufen erhöht sich die Strahlenexposition wegen des radioaktiven Zerfalls weniger als proportional; so ist sie bei doppelter Zeit weniger als doppelt so hoch.

3.2.2 Angehörige zu Hause

Da nuklearmedizinische Untersuchungen oft ambulant durchgeführt werden, ist die Exposition von Familienmitgliedern durch den nuklearmedizinisch untersuchten Patienten zu betrachten. Hierbei ist davon auszugehen, daß selten ein mittlerer Abstand von 2 m unterschritten wird und konservativ angenommen werden kann, daß während des Nachtschlafs von 8 Stunden, beginnend 6 Stunden nach Applikation des Radiopharmakons (bzw. 8 Stunden nach Applikation bei der Verwendung von Phosphonat), ein Abstand von 0,5 m besteht.

3.2.3 Kinderbetreuung

Auch hier wurden zwei Szenarien berücksichtigt:

1. Die nuklearmedizinisch untersuchte Mutter bzw. eine Bezugsperson betreut ein Kind nach der Untersuchung.
2. Ein nuklearmedizinisch untersuchtes Kind wird durch seine Mutter oder eine Bezugsperson betreut.

Im ersten Fall kann der Beginn der Exposition auf 4 Stunden nach Applikation des Radiopharmakons bei der Skelettszintigraphie bzw. 2 Stunden bei anderen Untersuchungen angesetzt werden. Die weitere Expositionszeit beinhaltet in 24 Stunden: a) ca. 1 Stunde in Hautkontakt, b) ca. 3 Stunden in 0,5 m Abstand und c) 2 m Abstand in der restlichen Zeit.

Im zweiten Fall beginnt die Exposition frühestens unmittelbar nach der Applikation des Radiopharmakons. Als Expositionszeiten werden in 24 Stunden a) 1 Stunde in Hautkontakt, b) 11 Stunden in 0,5 m Abstand und c) 12 Stunden in 2 m Abstand angenommen. Hierbei ist berücksichtigt, daß ein krankes Kind oft einer besonderen Fürsorge bedarf.

3.3 Sonstige Kontakte

3.3.1 Mitpatient

Bei den möglichen Szenarien soll auch eine Exposition der Mitpatienten berücksichtigt werden. Hierbei kann davon ausgegangen werden, daß der Abstand zwischen nuklearmedizinisch untersuchtem Patient und Mitpatient 2 m beträgt. Unter der Annahme ungünstigster Voraussetzungen befindet sich ein Patient 4 bzw. 2 Stunden nach der Applikation des Radiopharmakons die gesamte darauffolgende Zeit über in diesem Abstand zum Mitpatienten. Zusätzlich wurde angenommen, daß eine solche Exposition maximal zweimal pro Krankenhausaufenthalt erfolgt.

3.3.2 Bevölkerung

Die Exposition von Personen durch die aus der nuklearmedizinischen Diagnostik-Einrichtung in die Umwelt gelangenden längerlebigen Radionuklide wurde für Tc-99 abgeschätzt. Dabei wurde die Annahme zugrunde gelegt, daß sich die aus dem Zerfall resultierende Aktivität gleichmäßig auf die Bevölkerung Deutschlands verteilt und durch Inhalation oder Ingestion aufgenommen wird.

3.4 Expositionsquellen

Entsprechend der Häufigkeit der nuklearmedizinischen Untersuchungen ist bei den hier betrachteten Untersuchungsverfahren an erster Stelle die Skelettszintigraphie mit einer Aktivität von ca. 600 MBq Tc-99m-markierter Phosphonate zu nennen. Deutlich seltener wird die Myokardszintigraphie mit Tc-99m-markierten myokardaffinen Radiopharmaka durchgeführt, deren applizierte Aktivität durchschnittlich 500 MBq pro Untersuchung (Belastungs- oder Ruheuntersuchung) beträgt. Analog hierzu besteht die Möglichkeit der Myokardszintigraphie mit Tl-201, wobei dem Patienten 80 MBq für die gesamte Untersuchungssequenz appliziert werden.

In Ergänzung werden auch Methoden der Tumorszintigraphie mit I-123-MIBG (200 MBq), z.B. bei Neuroblastom, Phäochromozytom, und In-111-Octreotid (150 MBq), z.B. bei gastrointestinalen Tumoren, eingeschlossen. Diese Untersuchungen sind relativ selten, beinhalten aber die Verwendung eines Radiopharmakons mit einer längeren effektiven Halbwertszeit. Außerdem wurde die intrathekale Applikation von In-111-DTPA (50 MBq) zur Liquorszintigraphie betrachtet.

Beim Einsatz von In-111 sowie Tl-201 kommen auch die Expositionen vom 2. Tag an in größerem Umfang zum Tragen und sind entsprechend zu berücksichtigen.

Untersuchungen mit F-18-FDG betreffen das zentrale Nervensystem, das Herz und onkologische Fragestellungen. Für eine Untersuchung wird durchschnittlich eine Aktivität von 400 MBq verabreicht.

Beim Radioiod-Test mit I-131, der beispielsweise vor der Durchführung einer Radioiod-Therapie zur Bestimmung von Uptake und effektiver thyreoidaler Halbwertszeit durchgeführt wird, wurde von einer applizierten Aktivität von 2 MBq ausgegangen.

In Deutschland werden jährlich $2 \cdot 10^{15}$ Bq Molybdän-99 (Mo-99) ausgeliefert. Mo-99 hat eine Halbwertszeit von 67 Stunden und zerfällt direkt oder über Tc-99m in das sehr langlebige Tc-99. Dessen Halbwertszeit beträgt 210 000 Jahre. Dabei entstehen letztlich aus 1 GBq Mo-99 36 Bq Tc-99. Aus allem in Deutschland geliefertem Mo-99 entstehen jährlich insgesamt 72 MBq Tc-99. Selbst unter der unrealistischen Annahme, daß diese Aktivität vollständig und gleichmäßig auf alle Bürger verteilt würde und daß es lebenslang zu keinerlei Ausscheidung käme, läge die lebenslange akkumulierte Tc-99-Aktivität immer noch unter 100 Bq pro Person und bliebe damit unterhalb eines Promilles der inkorporierten Aktivität durch natürliche Quellen.

4 Dosisabschätzungen

4.1 Methodik der Dosisabschätzungen

Für die Dosisabschätzungen wurde die Biokinetik nach ICRP-Publikation 53 [3] (Tc-99m-Phosphonat, I-123-MIBG, I-131-Iodid, Tl-201, F-18-FDG, In-111-DTPA), nach dem in der ICRP-Publikation 62 veröffentlichten Addendum zu ICRP-Publikation 53 [4] (Tc-99m-Sestamibi) bzw. dem Entwurf (Stand 1996) eines weiteren Addendums zu ICRP-Publikation 53 [5] (In-111-Octreotid) zugrunde gelegt. Danach gelten die in Tab. 1 aufgeführten Werte für die biologische Halbwertszeit.

Dabei sind für Tc-99m-Sestamibi die Anteile zuerst für den Ruhezustand und anschließend bei körperlicher Tätigkeit angegeben. Die Ganzkörperretentionen unterscheiden sich für beide Fälle nur geringfügig. Bei den hier vorgenommenen Dosisabschätzungen wurde vom Ruhezustand ausgegangen. Für Tc-99m-Phosphonat wurde eine normale Skelettaufnahme und Ausscheidung angenommen. Mit diesen Annahmen ergibt sich für einen Patienten, dem Tc-99m-Phosphonat appliziert wurde, daß nach einer Blasenentleerung 4 Stunden nach Applikation noch 29% der applizierten Aktivität im Körper vorhanden sind.

Entsprechend der ICRP-Publikation 67 [6] wurde ein Blasenentleerungsintervall von 4 Stunden zugrunde gelegt. Für den über Stuhl ausgeschiedenen Anteil der Aktivität wurde für Tc-99m-Sestamibi wegen der im Vergleich zur Transferzeit durch den Darm kurzen Halbwertszeit von Tc-99m angenommen, daß dieser Anteil bis zum radioaktiven Zerfall im Körper verbleibt. Für Tl-201 wurde der Aktivitätsverlust durch Stuhlgang entsprechend des in der ICRP-Publikation 53 [3] verwendeten biokinetischen Modells für den Magen-Darm-Trakt berücksichtigt.

Im Szenario "Pflegepersonal auf der Station" (s. Kap. 3.1.1) wurde für Tc-99m-Phosphonat vereinfachend konservativ angenommen, daß alle Tätigkeiten (20 Minuten in 0,5 m Abstand, 8 Minuten in 1 m Abstand und 12 Minuten in 2 m Abstand) genau 4 Stunden nach Applikation durchgeführt wurden. Weiterhin wurde davon ausgegangen, daß kurz vorher die Blase entleert wurde. Für die anderen Radiopharmaka wurde angenommen, daß diese Tätigkeiten 2 Stunden

Tabelle 1: Biologische Halbwertszeiten und ihre Komponenten für den Ausscheidungsweg Niere für die in der radiologischen Diagnostik am häufigsten verwendeten Radiopharmaka (nach [3,4,5])

Radiopharmakon	Physikalische Halbwertszeiten	Biologische Halbwertszeiten (Niere)
Tc-99m-Phosphonat	6,0 Stunden	0,5 Stunden (30%) 2 Stunden (30%) 3 Tage (40%)
Tc-99m-Sestamibi (Ruhe/körperl. Belastung)	6,0 Stunden	2 Stunden (0,075%/0,05%)* 4 Stunden (0,375%/0,5%) 7 Stunden (14%/10%) 1 Tag (16,55%/19,45%)
Tl-201-Chlorid	73 Stunden	7 Tage (12,6%)* 28 Tage (7,4%)
In-111-Octreotid	67 Stunden	2 Stunden (2,4%) 3 Stunden (74,6%) 2,5 Tage (21,2%) 70 Tage (1,8%)
In-111-DTPA	67 Stunden	26,6 Stunden (100%)**
I-123-MIBG	13,2 Stunden	3 Stunden (36%) 1,4 Tage (63%) ∞ (1%)
I-131-Iodid	8,0 Tage	8 Stunden (55%) 80 Tage (45%)
F-18-FDG	110 Minuten	12 Minuten (7,5%) 1,5 Stunden (22,5%) ∞ (70%)

* Bei Tc-99m-Sestamibi und Tl-201-Chlorid wird der verbleibende Anteil (Differenz zu 100%) über den Stuhl ausgeschieden.

** Dabei wurde zusätzlich die bei intrathekalen Injektionen verzögerte Aufnahme ins Blut betrachtet.

nach Applikation durchgeführt wurden. Eine Blasenentleerung wurde hierbei nicht berücksichtigt. Es wird die effektive Jahresdosis für das Pflegepersonal angegeben mit der Annahme, daß die Pflegekraft im Jahr mit 100 Patienten, die mit Phosphonat untersucht wurden, bzw. 50 Patienten, die mit anderen Radiopharmaka untersucht wurden, Kontakt hatte. Zusätzlich wurden Berechnungen für das Verbringen der Wartezeit eines Patienten vor der Szintigraphie auf der Station und für die Pflege auf der Intensivstation mit täglich 3 Stunden Aufenthalt in weniger als 0,5 m Abstand, 2 bzw. 4 Stunden nach Applikation beginnend, durchgeführt.

Für das Szenario "Ärztliches Personal außerhalb der nuklearmedizinischen Einrichtung" (s. Kap. 3.1.2) wurde angenommen, daß täglich ein Patient mit Tc-99m-Phosphonat zu untersuchen ist; für alle anderen Nuklide wurde von einem Patienten pro Woche ausgegangen. Der Stationsarzt hat folglich mit 220 bzw. 50 Patienten im Jahr 4 bzw. 2 Stunden nach Applikation für jeweils

5 Minuten Kontakt in 0,5 m Abstand, und der Arzt im Funktionsbereich hat jährlich mit 440 bzw. 100 Patienten ungünstigenfalls unmittelbar nach Applikation jeweils 20 Minuten Kontakt in 0,5 m Abstand. Für das Szenario des Kapitels 3.1.3 wurde - den anderen Szenarien entsprechend - angenommen, daß das technische Personal zwei Phosphonat-Patienten pro Tag betreut, bzw. für die anderen Radiopharmaka wurde von zwei Patienten pro Woche ausgegangen.

Bei dem Szenario "Krankentransport" (s. Kap. 3.1.4) wurden die Jahresdosiswerte angegeben unter der Annahme, daß der Angehörige des Krankentransportdienstes im Jahr 220 bzw. 50 Patienten transportiert, denen das jeweils betrachtete Radiopharmakon appliziert wurde. Sollte das tatsächliche Transportregime in einer Klinik von dem angenommenen stark abweichen, so kann dies auf der Basis der vorgelegten Zahlen berücksichtigt werden.

Bei dem Szenario "Angehörige zu Hause" (s. Kap. 3.2.2) wurde angenommen, daß die Nachtruhe im ersten Fall 12 bzw. 10 Stunden nach Applikation beginnt, d.h. 8 Stunden nach der Untersuchung, da die Untersuchung 4 bzw. 2 Stunden nach Applikation stattfindet, im zweiten Fall wurde die Exposition für eine 4 Stunden später beginnende Nachtruhe berechnet. Dabei wurde vorausgesetzt, daß in 4-stündigem Intervall die Blase entleert wurde, nicht jedoch während der 8 Stunden in 0,5 m Abstand (Nachtschlaf).

Bei den Szenarien "Kinderbetreuung" (s. Kap. 3.2.3) wurde für Tc-99m-Phosphonat konservativ angenommen, daß eine nuklearmedizinisch untersuchte Person ein Kind betreut, wobei 4 Stunden nach Applikation für eine Stunde Hautkontakt, 3 Stunden Kontakt in 0,5 m Abstand und während der restlichen Zeit Kontakt in 2 m Abstand bestand. Für andere Radiopharmaka wurden die Kontaktzeiten jeweils 2 Stunden früher angenommen.

Für den Fall eines nuklearmedizinisch untersuchten Kindes beginnt die Exposition frühestens unmittelbar nach der Applikation des Radiopharmakons mit einer Stunde in Hautkontakt, 11 Stunden in 0,5 m Abstand und 12 Stunden in 2 m Abstand. Bei Betrachtung des Kindes als Patient wurde weiterhin angenommen, daß die applizierte Aktivität 1/4 der für den Erwachsenen angenommenen applizierten Aktivität betrug.

Bei Tc-99m-Sestamibi wurde eine frühe Urinausscheidung nicht berücksichtigt, da bei diesen Verbindungen nur sehr kleine Aktivitätsanteile rasch über den Urin ausgeschieden werden. Bei den Szenarien der Kapitel 3.2.1, 3.2.2 und 3.2.3 wurde deshalb angenommen, daß ab 6 Stunden nach Applikation alle 4 Stunden die Blase entleert wurde.

Bezüglich der Dosisleistung in der Umgebung von Tc-99m-Phosphonat-Patienten wurden Messungen von Preitfellner et al. [8] durchgeführt. Normiert auf eine Applikation von 1 MBq betrug diese, je nach Position zum Patienten, zwischen 22 und 33 nGy/h in 0,5 m Abstand, zwischen 6,2 und 9,4 nGy/h in 1 m Abstand und zwischen 2,3 und 3,1 nGy/h in 2 m Abstand. Bei den hier vorliegenden Dosisabschätzungen wurden Dosisleistungen von 30 bzw. 9 bzw. 3 nGy/h in 0,5 bzw. 1 bzw. 2 m Abstand festgelegt. Für Tc-99m-Sestamibi wurden entsprechend [10] 34 bzw. 8,8 bzw. 2,6 nGy/h in 0,5 bzw. 1 bzw. 2 m Abstand gemessen und zur Berechnung benutzt.

Meßergebnisse für die Dosisleistung in der Umgebung von Tl-201-Patienten wurden von Kurtaran et al. [9] publiziert. Normiert auf eine applizierte Aktivität von 1 MBq betrug diese 38,2 bzw. 11,8 bzw. 3,0 nGy/h in 0,5 bzw. 1 bzw. 2 m Abstand. Bei den hier vorliegenden Dosisabschätzungen wurden Dosisleistungen von 38 bzw. 12 bzw. 3 nGy/h in 0,5 bzw. 1 bzw. 2 m Abstand angenommen.

Die γ -Strahlenkonstante für I-123 ist der für Tl-201 vergleichbar, die für In-111 ist etwa 1,8 mal so groß. Deshalb wurde für I-123 von den gleichen Dosisleistungswerten wie für Tl-201 ausgegangen; für In-111 wurden die doppelten Werte angenommen. Für F-18-FDG wurde aufgrund der Mitteilung von Kirsch [12] Werte von 150, 60 bzw. 16 nGy/h in 0,5, 1 bzw. 2 m Abstand zugrunde gelegt. Bei Körperkontakt wird generell der 8fache Wert des Wertes für 0,5 m Abstand angenommen (hergeleitet aus Messungen von Kirsch [12]).

Die γ -Strahlenkonstante für I-131 ist ungefähr um ein Viertel größer als die für Tl-201, deshalb wurden für die Werte der Dosisleistung in der Umgebung der Patienten das 1,25fache der für Tl-201 ermittelten Werte angenommen.

Für die Berechnungen wurden die in Kapitel 3.4 angegebenen Aktivitäten und die in Kapitel 3.1 bis 3.3 angenommenen Kontaktzeiträume zugrunde gelegt. In den Fällen, wo eine Inkorporation auftreten kann, wurde für die daraus resultierende Dosis eine Zeitintegration bis Unendlich durchgeführt. Weiterhin wurden bei den exponierten Personen keine Absorptionseffekte berücksichtigt.

4.2 Ergebnisse der Dosisabschätzungen

Für die in Kapitel 4.1 aufgeführten Annahmen ergeben sich die in den Tab. 2a und 2b zusammengestellten Dosisabschätzungen.

Diese Werte wurden unter konservativen Annahmen berechnet und basieren auf angenommenen Fallzahlen, die selten und nur an großen Kliniken erreicht werden können.

Weiterhin beziehen sich die angegebenen Dosiswerte auf die in Kapitel 3 beschriebenen Szenarien und sind auf mögliche Kontakte in einem Jahr hochgerechnet. Eine Summation der Dosen über die Radionuklide ist nicht anzunehmen, da die einzelnen Untersuchungsverfahren bei unterschiedlichem Patientengut angewandt werden; so werden z.B. onkologische Patienten und Herzpatienten auf verschiedenen Krankenstationen betreut.

Bei der Abschätzung der möglichen Inkorporation der von Patienten nach dem Radioiod-Test mit I-131 exhalierter Aktivität wurde ein Vergleich mit Angehörigen von Radioiod-Therapie-Patienten herangezogen. So wurde bei diesen bezüglich der Inhalation von I-131 für das Kleinkind eine effektive Dosis von 49 μ Sv abgeschätzt. Dabei wurde davon ausgegangen, daß der Patient mindestens 48 Stunden nach Applikation mit einer Aktivität von 250 MBq entlassen wird, und daß davon mindestens das 10^{-4} fache exhalier wird. Bei dem hier betrachteten Radioiod-Test werden lediglich 2 MBq appliziert, wobei allerdings der Patient unmittelbar danach mit seinen Angehörigen Kontakt haben kann. Da die Exhalationsrate kurz nach Applikation deutlich höher sein kann, wurde mit der gleichen Annahme wie bei der Dosisabschätzung bei Radioiod-Therapie-Patienten, aber unter der zusätzlichen konservativen Annahme, daß 1 % der applizierten Aktivität exhalier wird, eine Dosis für das Kleinkind von 40 μ Sv errechnet. Inwieweit diese Annahme realistisch ist, wird derzeit untersucht.

Für weitere spezielle Fälle wurden folgende ergänzende Berechnungen durchgeführt:

Wird ein immobilier Patient, bei dem eine Skelettszintigraphie durchgeführt wird, nach der Applikation des Radiopharmakons auf die Station zurückgebracht, so ergibt sich für die Wartezeit dort für das Pflegepersonal eine zusätzliche Dosis von höchstens 5 μ Sv und für den Krankentransport (Hin- und Rücktransport) von weniger als 5,7 μ Sv.

Tabelle 2a: „worst case“-Dosisabschätzungen für Personal außerhalb der nuklearmedizinischen Einrichtung (effektive Dosis in μSv pro Jahr)

Szenario	Dosisabschätzung für das jeweilige Radiopharmakon in μSv pro Jahr							
	Tc-99m-Phosphonat	Tc-99m-Sestamibi	Tl-201-Chlorid	In-111-Octreotid	In-111-DTPA	I-123-MIBG Erw.	I-131-Iodid	F-18-FDG
<i>Pflegepersonal</i> (3.1.1) ¹⁾	230	580	480	410	190	180	44	540
<i>Personal der Intensivstation</i>	14	73	37	46	19	22	1,7	51
<i>Ärztliches Personal</i> (3.1.2)	95	110	13	48	16	28	0,4	120
Stationsarzt (3.1.2.1)	2600	1100	100	380	130	250	3,2	- ³⁾
Im Funktionsbereich (3.1.2.2) Behandlung 4h/2h später:								
- ohne Blasenentleerung	- ²⁾	880	99	370	120	230	3,2	- ³⁾
- mit Blasenentleerung	750	880	99	260	120	190	3	700
<i>Technisches Personal</i> (3.1.3)	190	220	25	95	32	57	0,8	230
<i>Transportpersonal</i> (3.1.4)	280	170	38	140	47	85	5,2	340

¹⁾ Die Zahlen in den Klammern verweisen auf das Kapitel, in dem das entsprechende Szenario beschrieben wird.

²⁾ Bei dieser Untersuchung ist eine Blasenentleerung zwingend erforderlich.

³⁾ Die Untersuchungsabfolge gestattet eine Funktionsuntersuchung frühestens 2 Stunden nach Applikation und nach Blasenentleerung.

Die Strahlenexposition des Kanalisationsarbeiters kann unter der Annahme, daß täglich die von 10 Skelettszintigraphie-Patienten abgegebene Aktivität langsam an ihm vorbei fließt, maximal einen Wert von 0,5 mSv pro Jahr erreichen.

Für die Strahlenexposition des Wäschereipersonals ist bei täglichem Kontakt mit der durch ein Zehntel der Aktivität aus der Blase des Patienten kontaminierten Bettwäsche der Wert von 10 μSv als obere Abschätzung anzusehen.

Geht man bei der Abschätzung der Strahlenexposition von Personen durch langlebige Folgeprodukte der in der Diagnostik eingesetzten Radiopharmaka von der extremen Annahme aus, daß die gesamte, durch den Einsatz von Tc-99m in den nuklearmedizinischen Einrichtungen Deutschlands jährlich entstehende Aktivität an Tc-99 von der Bevölkerung durch Inhalation oder Inge-

Tabelle 2b: „worst case“-Dosisabschätzungen für Begleitung und Angehörige sowie Kontakte zu Mitpatienten (effektive Dosis in μSv pro Fall)

Szenario	Dosisabschätzung für das jeweilige Radiopharmakon in μSv							
	Tc-99m-Phosphonat	Tc-99m-Sestamibi	Tl-201-Chlorid	In-111-Octreotid	In-111-DTPA	I-123-MIBG Erw.	I-131-Iodid	F-18-FDG
<i>Begleitung und Angehörige im Krankenhaus (3.2.1)¹⁾</i>								
Mobiler Patient (3.2.1.1)	14	8,3	0,96	3,6	1,2	2,3	0,3	20
Bettlägeriger Patient (3.2.1.2)	2,8	12	1,9	7,1	2,4	4,1	0,02	16
<i>Angehörige zu Hause (3.2.2)</i>								
anderes Schlafverhalten ²⁾	12	64	110	58	45	24	4,2	9,6
<i>Kinderbetreuung (3.2.3)</i>								
Untersuchte Person(3.2.3.1)	57	300	150	180	78	85	7	220
Untersuchtes Kind (3.2.3.2)	47	93	60	73	42	32	3,4	120
<i>Mitpatienten (3.3.1)</i>								
	7,4	33	42	28	18	13	2	15

¹⁾ Die Zahlen in den Klammern verweisen auf das Kapitel, in dem das entsprechende Szenario beschrieben wird.

²⁾ Der Nachtschlaf wird 4 Stunden früher begonnen, die Schlafdauer beträgt ebenfalls 8 Stunden.

stion aufgenommen wird, so würde jedes Mitglied der Bevölkerung eine Dosis von durchschnittlich 10^{-5} mSv erhalten [7].

5 Schlußfolgerungen und Empfehlungen

Die nachfolgenden Schlußfolgerungen und Empfehlungen beziehen sich auf Personen, die Kontakt zu einem nuklearmedizinisch untersuchten Patienten haben können mit Ausnahme des medizinischen Personals, das in einer nuklearmedizinischen Einrichtung tätig ist und dessen berufliche Strahlenexposition dort überwacht wird.

Hinsichtlich der Strahlenexposition durch nuklearmedizinisch untersuchte Patienten stellt die Strahlenschutzkommission fest, daß bei beruflich bedingten Kontakten des Pflegepersonals während der Betreuung bettlägeriger Patienten unter realistischen Annahmen eine jährliche effektive Dosis von 1 mSv, wie von der EU [11] empfohlen, nicht überschritten wird. Weiterhin

wird festgestellt, daß sowohl der Stationsarzt bei der Untersuchung des Patienten als auch das einen stark pflegebedürftigen Patienten transportierende Personal und das eine Röntgenaufnahme durchführende technische Personal nur geringfügig strahlenexponiert werden, so daß keine besonderen Strahlenschutzmaßnahmen erforderlich werden. Die Strahlenschutzkommission hält es deshalb nicht für erforderlich, beim Umgang mit nuklearmedizinisch untersuchten Patienten besondere Schutzmaßnahmen zu ergreifen. Lediglich für Ärzte oder Angehörige des technischen Assistenzpersonals, die häufig mit Patienten kurze Zeit nach der Applikation des Radiopharmakons und bei der Durchführung von Funktionsuntersuchungen (z.B. Ultraschall) in engen Kontakt kommen, ist z.B. durch organisatorische Maßnahmen dafür zu sorgen, daß die jährliche effektive Dosis den Wert von 1 mSv nicht überschreitet.

Angehörige und andere Personen, die einen Patienten während der nuklearmedizinischen Untersuchung begleiten und sich nach der Untersuchung gemeinsam mit ihm in einer Wohnung aufhalten, werden ebenfalls nur geringfügig exponiert. Dabei wurde auch der engere Kontakt zwischen einer Mutter bzw. einer Bezugsperson und einem Kind berücksichtigt. Gleiches trifft auch für Personen zu, die einen Patienten im Krankenhaus besuchen, und für Mitpatienten. Die Strahlenschutzkommission hält auch hier keine speziellen Strahlenschutzmaßnahmen für erforderlich.

Die mögliche Strahlenexposition eines Kanalarbeiters durch kontaminierte Abwässer und des Wäschereipersonals durch Kontakt mit kontaminierter Bettwäsche sowie weiterer Personen durch Abgabe von Radionukliden in die Umwelt wurde ebenfalls berücksichtigt. Nennenswerte Expositionen ergeben sich dabei nicht.

Die Strahlenschutzkommission stellt fest, daß medizinisches Personal, das nicht unmittelbar in der nuklearmedizinischen Einrichtung beschäftigt ist, wegen der Betreuung bzw. Behandlung von Patienten nach nuklearmedizinischen Untersuchungen auch unter Berücksichtigung der Grenzwerte der grundlegenden Sicherheitsnormen der EU [11] nicht als beruflich strahlenexponiert einzustufen ist. Organisatorische Maßnahmen sind nur in besonderen Situationen zu ergreifen, um den Dosisgrenzwert von 1 mSv einzuhalten. Dies kann in besonderen Funktionsbereichen erforderlich sein, in denen Personen häufig kurz nach Applikation des Radiopharmakons Kontakt mit dem betreffenden Patienten haben können, z.B. an Sonographiearbeitsplätzen in der Onkologie.

Die Strahlenschutzkommission hält es nicht für erforderlich, aus Strahlenschutzgründen gesonderte Warteräume und sanitäre Einrichtungen für Patienten, denen Radionuklide zu diagnostischen Zwecken verabreicht wurden, zu fordern oder Abklinganlagen für diagnostisch eingesetzte Radiopharmaka einzurichten.

6 Literatur

- [1] Strahlenschutzkommission:
Strahlenschutzgrundsätze für die Radioiod-Therapie. Empfehlung der
Strahlenschutzkommission. Bundesanzeiger Nr. 68 vom 11. April 1997, Seite 4769
- [2] Gesetz zur Sicherung und Strukturverbesserung der gesetzlichen Krankenversicherung
(Gesundheitsstrukturgesetz) vom 21.12.1992,
Art. 13: Regelung über Maßstäbe und Grundsätze für den Personalbedarf in der stationären
Krankenpflege (Pflege-Personalregelung)

- [3] International Commission on Radiological Protection:
Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals. ICRP Publication 53.
Oxford: Pergamon Press, 1991
- [4] International Commission on Radiological Protection:
Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals. Addendum 1 to ICRP Publication 53.
Oxford: Pergamon Press, 1993
- [5] International Commission on Radiological Protection:
Addendum 2 to ICRP Publication 53. In Press
- [6] International Commission on Radiological Protection:
Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 2, Ingestion
Dose Coefficients. ICRP Publication 67. Oxford: Pergamon Press, 1993
- [7] International Commission on Radiological Protection:
Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 5,
Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients.
ICRP Publication 72. Oxford: Pergamon Press, 1996
- [8] Preitfellner et al.:
Strahlenexposition in der Umgebung von Patienten nach Gabe von ^{99m}Tc -DPD.
Nucl.-Med. 34 (1995) 151-155
- [9] Kurtaran, A. et al.:
Strahlenexposition in der Umgebung von Patienten nach ^{201}Tl -Myocardszintigraphie.
Nucl.-Med. 36 (1997) 29-31
- [10] Kurtaran, A. et al.:
Wie hoch ist die Strahlenexposition in der Umgebung der Patienten nach Applikation von
 Tc-^{99m} -Sestamibi? Nucl.-Med. 36 (1997) 202-204
- [11] Richtlinie 96/29/Euratom des Rates vom 13. Mai 1996 zur Festlegung der grundlegenden
Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen
die Gefahren ionisierender Strahlungen. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft Nr. L159
- [12] Kirsch, C. M.:
Messungen der Dosisleistung bei Untersuchungen mit F-18-FDG, persönliche Mitteilung