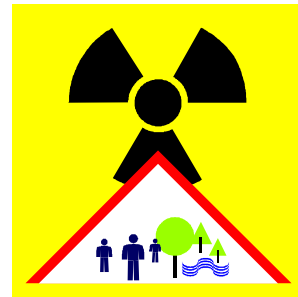


## **Strahlenschutz 97**



### **Strahlenschutz nach Jod-131- Therapie**

**(Exposition durch ambulante  
oder entlassene stationäre  
Patienten)**



**Europäische Kommission**

Europäische Kommission

# **Strahlenschutz' 97**

**STRAHLENSCHUTZ NACH JOD-131-Therapie**

**(Exposition durch ambulante oder entlassene stationäre Patienten)**

1998

Generaldirektion  
Umwelt, Nukleare Sicherheit und  
Katastrophenschutz

# INHALT

	Seite
<i>VORWORT</i> .....	<i>IV</i>
1. EINLEITUNG .....	5
2. WIRKUNGEN DER RADIOJODTHERAPIE .....	8
2.1. Mechanismus der Radiojodtherapie .....	8
2.2. Strahlenexposition anderer Menschen.....	9
3. DOSISBESCHRÄNKUNGEN .....	9
3.1. Dosisbeschränkungswerte bei Jod-131-Therapie .....	10
4. BEHANDLUNG AMBULANTER PATIENTEN UND ENTLASSUNG STATIONÄRER PATIENTEN .....	13
4.1. Schwangerschaft.....	13
4.2. Dosismessungen .....	13
4.3. Anweisungen .....	13
4.4. Zustand des Patienten .....	14
4.5. Häusliches Umfeld .....	14
4.6. Besondere Umstände.....	14
4.7. Tod des Patienten .....	14
5. AUFKLÄRUNG ENTLASSENER STATIONÄRER ODER AMBULANTER PATIENTEN DURCH DEN ARZT .....	15
I. BEISPIELE FÜR SCHRIFTLICHE ANWEISUNGEN AN PATIENTEN ODER IHREN GESETZLICHEN VERTRETER VOR DEM VERLASSEN DES KRANKENHAUSES ODER DER KLINIK NACH BEHANDLUNG MIT JOD-131/19	
II. HINTERGRUNDINFORMATIONEN ZUR RADIOJODTHERAPIE.....	22
III. DOSIMETRISCHE ASPEKTE DER RADIOJODTHERAPIE .....	29
IV. ERRECHNETE UND GEMESSENE PERSONENDOSEN IN DER NÄHE VON HYPERTHYREOSEPATIENTEN .....	31

## Vorwort

Maßgebend für die Tätigkeit der Europäischen Kommission im Strahlenschutzwesen sind der Euratom-Vertrag und die entsprechenden Richtlinien des Rates.

Am wichtigsten ist dabei die Grundnormenrichtlinie über den Schutz strahlenexponierter Arbeitskräfte und der Bevölkerung (80/836/Euratom), die 1996 überarbeitet wurde (96/29/Euratom).

Zur Ergänzung der Grundnormenrichtlinie hat der Ministerrat 1984 eine Richtlinie für den Strahlenschutz bei ärztlichen Untersuchungen und Behandlungen erlassen (84/466/Euratom). Diese 1997 überarbeitete sog. MED-Richtlinie (97/43/Euratom) muß spätestens bis 13. Mai 2000 in nationales Recht umgesetzt sein.

Nach Artikel 6 Absatz 4 der Grundnormenrichtlinie gelten die Dosisgrenzwerte nicht für die Exposition von Personen, die sich ärztlich untersuchen oder behandeln lassen oder die wesentlich und willentlich (jedoch nicht im Rahmen ihrer Beschäftigung) bei der Unterstützung und Pflege von Patienten helfen, die sich einer medizinischen Untersuchung oder Behandlung unterziehen.

Bei den letzteren Expositionen ist das Rechtfertigungs- und Optimierungsgebot daher noch wichtiger als bei anderen Expositionen.

Im Rahmen der Optimierung sollten für diese Gruppe Dosisbeschränkungen herangezogen werden (Artikel 7 Absatz 2).

Diese Broschüre soll helfen bei der Bewertung von Dosisbeschränkungen im Falle einer Behandlung mit radioaktivem Jod (I-131) und bei der Erstellung von Anweisungen, die der Arzt Patienten oder ihrem gesetzlichen Vertreter zur Begrenzung der Strahlenbelastung von Personen aus dem Familien- und Bekanntenkreis erteilen kann.

Die Broschüre wurde mit Unterstützung der nach Artikel 31 des Euratom-Vertrags eingesetzten Gruppe von Gesundheitssachverständigen erarbeitet. Sie ist für die Mitgliedstaaten nicht verbindlich und hat definitionsgemäß nur einen begrenzten Anwendungsbereich. Sie will in keiner Weise ein umfassender wissenschaftlicher Bericht über alle denkbaren Erkrankungen und Behandlungsmethoden sein, bei denen Iod-131 eingesetzt wird, sondern gehört zu einer Reihe technischer Anleitungen zur Umsetzung der MED-Richtlinie.

Sie ist wie folgt aufgebaut:

Auf eine allgemeine Einführung mit Hintergrundinformationen folgt ein Kapitel über die Auswirkungen der Radiojodtherapie. Kapitel 3 enthält eine Darstellung der Dosisbeschränkungen und Kapitel 4 einschlägige Überlegungen für die Behandlung ambulanter Patienten mit I-131 bzw. die Entlassung stationärer Patienten nach einer solchen Behandlung. Kapitel 5 schließlich gibt Hinweise für Ärzte über die Aufklärung der mit Radiojod behandelten Patienten. Vier Anhänge enthalten praktische Sachinformationen. Im Haupttext wird auf diese Anhänge verwiesen.

Ich hoffe, daß dieser Leitfaden den zuständigen Behörden in den Mitgliedstaaten, den Ärzten, medizinischen Physikern und allen anderen, die direkt oder indirekt mit der Radiojodtherapie zu tun haben, von Nutzen sein kann.

**Suzanne Frigren**  
Direktorin Nukleare Sicherheit und  
Katastrophenschutz

## 1. EINLEITUNG

In der Grundnormenrichtlinie (96/29/EURATOM) heißt es, daß die Dosisgrenzwerte für Einzelpersonen der Bevölkerung nicht gelten für die *“Exposition von Personen, die wissentlich und willentlich (jedoch nicht als Teil ihrer Beschäftigung) bei der Unterstützung und Pflege von Patienten helfen, die sich einer medizinischen oder biomedizinischen Behandlung unterziehen”* (Artikel 6 Absatz 4 b). Andere Grundsätze, etwa die Rechtfertigung von Tätigkeiten und die Optimierung des Strahlenschutzes finden dagegen hier Anwendung.

Eine der häufigsten medizinischen Anwendungen, bei denen es zur Exposition von Menschen aus dem Familien- oder Bekanntenkreis o.ä. kommen kann (in den Rechtsvorschriften als *“Dritte”* bezeichnet) ist die Behandlung von Schilddrüsenerkrankungen mit radioaktivem Iod.

Dabei sollte unterschieden werden zwischen der I-131-Therapie der Schilddrüse wegen einer Krebserkrankung und der Behandlung wegen anderer Krankheiten, etwa der Hyperthyreose.

Im ersteren Fall ist die Entlassung der Patienten unmittelbar nach der Verabreichung des Radionuklids vielfach nicht gerechtfertigt. Sowohl die Ausscheidungen als auch die externe Strahlung (der Patient ist ein Strahler) ist für andere, die mit dem Patienten einige Tage in Kontakt stehen mit einer hohen Strahlenexposition verbunden. Zudem benötigt der Patient in dieser Anfangsphase normalerweise auch eine entsprechende medizinische Betreuung. Nach zwei oder drei Tagen wird dagegen die Restaktivität des Patienten so weit abgeklungen sein, daß die Entlassung aus der Klinik zu rechtfertigen ist.

Im zweiten Fall muß die Exposition von Familienangehörigen und anderen Personen, die aus der Belastung keinen direkten gesundheitlichen Nutzen ziehen, anhand sozialer, wirtschaftlicher und psychologischer Kriterien gerechtfertigt werden, wobei diese Aspekte gegen das für diese Personen aus der Exposition resultierende Risiko abzuwägen sind.

Hierzu einige Beispiele:

Eine Reihe von Patienten erträgt die Isolation in einem besonders geschützten Raum in der Klinik nur schwer, andere betrachten diese Beeinträchtigung des Familienlebens als inakzeptabel. Steht in der Klinik kein besonders geschützter Raum zur Verfügung, kann der Aufenthalt des behandelten Patienten eine Exposition anderer Patienten verursachen. Daher werden Hyperthyreosepatienten in manchen Mitgliedstaaten ambulant behandelt. Natürlich spielt auch der wirtschaftliche Aspekt - der Klinikaufenthalt ist kostspielig - bei dieser Entscheidung eine wichtige Rolle. Schließlich sei auch darauf hingewiesen, daß nur sehr wenige Personen mehr als einmal im Leben durch einen behandelten Patienten exponiert werden dürften.

Unabhängig vom Rechtfertigungsgebot ist es naturgemäß auch notwendig, den Strahlenschutz anderer Personen so zu optimieren, daß die Dosis so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar gehalten wird. Hierzu verlangt Artikel 7 der Grundnormenrichtlinie, daß *“Dosisbeschränkungen gegebenenfalls im Rahmen der Optimierung des Strahlenschutzes herangezogen werden sollten”* und daß *“die von jedem Mitgliedstaat festgelegten Anleitungen für die angemessenen Verfahren für strahlenexponierte Einzelpersonen im Sinne von Artikel 6 Absatz 4 Buchstaben b) und c) Dosisbeschränkungen einschließen können”*.

In den meisten Mitgliedstaaten ist eine bestimmte Dosisbeschränkung - vielfach eine abgeleitete Restaktivitätsbeschränkung - zur Begrenzung der Strahlenexposition anderer Personen durch den behandelten Patienten üblich. Diese Aktivitätswerte werden als Kriterium dafür herangezogen, ob

ein Patient als ambulanter Patient gelten kann oder nicht, und ob die Entlassung eines stationären Patienten aus der Klinik unbedenklich ist.

In der Europäischen Union reichen diese Werte von 95 MBq bis 800 BBq, J-131, liegen aber in den meisten Mitgliedstaaten zwischen 400 und 600 MBq.

Es sei auch darauf hingewiesen, daß die Verfahren zur Behandlung von Schilddrüsenerkrankungen in den einzelnen Mitgliedstaaten erheblich voneinander abweichen.

Dieser Leitfaden strebt keine Vereinheitlichung der Aktivitätswerte an, sondern will möglichst eingehend die einzelnen Einsatzbereiche prüfen und einen gemeinsamen Ansatz bei der Anwendung der Aktivitätswerte vorschlagen.

Nach Artikel 4 der MED-Richtlinie *haben die Mitgliedstaaten dafür zu sorgen, daß geeignete Leitlinien für die Exposition von Personen festgelegt werden, die außerhalb ihrer beruflichen Tätigkeit wissentlich und willentlich bei der Unterstützung und Betreuung von Personen helfen, die sich einer medizinischen Untersuchung oder Behandlung unterziehen.* Diese Vorschrift gilt für die diagnostische Radiologie, die Radiotherapie und die diagnostische und therapeutische Nuklearmedizin.

Die in Artikel 4 angesprochene Personengruppe wird in dieser Broschüre als *Familienangehörige und nahestehende Bekannte* bezeichnet. Hierzu gehören all diejenigen, die unter dem gleichen Dach wie der Patient wohnen sowie Personen, die dem Patienten in der Klinik oder zu Hause besuchen. Andere Personen, die mit dem Patienten in Kontakt kommen können, werden künftig als *"Dritte"* bezeichnet und gelten als Einzelpersonen der Bevölkerung.

Darüber hinaus haben nach Artikel 4 der MED-Richtlinie *die Mitgliedstaaten dafür zu sorgen, daß die anwendende Fachkraft bei der Behandlung oder Untersuchung eines Patienten mit Radionukliden dem Patienten oder dem gesetzlichen Vertreter ggf. schriftliche Anweisungen erteilt, um die Strahlendosis von Kontaktpersonen des Patienten soweit möglich und vertretbar zu begrenzen, und ihn über die Risiken ionisierender Strahlung informiert.*

Viele Mitgliedstaaten haben solche Anweisungen für den Umgang mit Patienten, die eine Radiojodtherapie erhalten haben, bereits festgelegt. In dieser Broschüre wird unter Berücksichtigung dieser verschiedenen Anweisungen ein europäischer Ansatz vorgeschlagen.

Die Anweisungen sollen von ambulanten und stationären Patienten bzw. ihrem gesetzlichen Vertreter nach der Entlassung befolgt werden. Sie richten sich an die den Patienten behandelnden Fachärzte, an Allgemeinärzte und die zuständigen Behörden auf nationaler und lokaler Ebene. Die Broschüre enthält auch Hinweise für diese ärztlichen Fachkräfte, die Ärzte und Patienten über Möglichkeiten der Risikominderung in Verbindung mit ionisierender Strahlung beraten müssen und entsprechende Empfehlungen abzugeben haben.

Nach der MED-Richtlinie legen die zuständigen Behörden im nationalen Recht die Pflicht zur ordnungsgemäßen Aufklärung der Patienten fest. Dabei muß der verantwortliche Facharzt sicherstellen, daß die Patienten bzw. ihre gesetzlichen Vertreter solche Anweisungen mündlich und schriftlich erhalten. Ob der Patient diese Anweisungen auch tatsächlich ordnungsgemäß befolgt, kann der Arzt naturgemäß nicht überprüfen. Er ist daher auch nicht für eine entsprechende spätere Nachprüfung verantwortlich, so lange der Patient ordnungsgemäß aufgeklärt worden ist.

Dabei sollte der Arzt die Patienten auch auf ihre Verantwortung gegenüber Familienangehörigen, Bekannten und Dritten hinweisen.

Sind die Familienangehörigen eines Patienten nicht bereit, den Patienten zu Hause "zu unterstützen und zu betreuen", sollten sie als Dritte gelten und damit automatisch den Dosisgrenzwerten für die Bevölkerung unterliegen<sup>1</sup>. In der Folge wird in diesem Leitfaden vorgeschlagen, daß in diesem Fall ein Bruchteil des Dosisgrenzwerts von 0,3 mSv eingehalten wird.

---

<sup>1</sup> 1 mSv pro Jahr. Unter besonderen Umständen kann jedoch eine höhere effektive Dosis pro Jahr genehmigt werden, sofern der Mittelwert in über fünf aufeinanderfolgende Jahre 1 mSv pro Jahr nicht überschreitet.

## 2. WIRKUNGEN DER RADIOJODTHERAPIE

In diesem Kapitel werden Hintergrundinformationen zur Radiojodtherapie und Hinweise zu den Dosisbeschränkungen gegeben. Näheres hierzu siehe Anhang II.

### 2.1. Mechanismus der Radiojodtherapie

Zwei Arten biologischer Wirkungen ionisierender Strahlung sind bekannt - deterministische und stochastische Wirkungen. Deterministische Wirkungen sind solche, die durch Minderung bzw. Verlust einer Organfunktion infolge von Zellschädigung oder Zelltod verursacht werden. Bei diesen Wirkungen gibt es Schwellendosen, d. h. die Funktion vieler Organe und Gewebe wird durch kleinere Verringerungen der Zahl vorhandener gesunder Zellen nicht beeinträchtigt. Nur bei erheblicher Reduzierung wird eine klinisch feststellbare pathologische Funktionsstörung auftreten.

Bei der Behandlung von Schilddrüsenkrebs und seiner Metastasen, Hyperthyreose und euthyreoter Struma wird die zelltötende Wirkung angestrebt, ohne daß andere Organe so stark beeinträchtigt werden, daß deterministische Wirkungen eintreten.

Aufgrund der Fähigkeit der Schilddrüsenzellen, Jod aufzunehmen, lassen sich Schilddrüsenerkrankungen mit radioaktivem Jod behandeln.

Das Radionuklid der Wahl für diese Behandlung ist vielfach das betastrahlende I-131, wenn auch die damit verbundene Gamma-Emission andere Gewebe oder auch Personen belastet.

Die Wahrscheinlichkeit einer strahleninduzierten tödlichen Krebserkrankung für die Durchschnittsbevölkerung wurde auf etwa 5 % pro Sievert<sup>2</sup> bei niedrigen Dosen und niedrigen Dosisleistungen, die ernsthafter genetischer Effekte auf 10 % geschätzt (ICRP-60). Bei Menschen über etwa 60 Jahren ist die Wahrscheinlichkeit offenbar um das Drei- bis Zehnfache geringer, dies deshalb, weil die noch verbleibende Lebenserwartung älterer Menschen möglicherweise nicht so lange ist, daß sich der Krebs manifestieren kann, und es auch unwahrscheinlich ist, daß der genetische Schaden an die Nachkommen weitergegeben wird. Bei Kindern bis zu 10 Jahren dürfte die Wahrscheinlichkeit der Induzierung eines tödlichen Krebses um das Zwei- bis Dreifache höher sein.

Für schwangere Frauen besteht das gleiche Risiko wie für die Durchschnittsbevölkerung; bei dem ungeborenen Kind wird dagegen das gleiche Risiko einer tödlichen Krebserkrankung wie bei Kleinkindern angenommen. Deterministische Effekte wurden nach massiver Bestrahlung *in utero* beobachtet, doch liegt die Strahlenexposition von Familienangehörigen oder nahestehenden Bekannten durch einen behandelten Patienten weit unter dem Schwellenwert für solche Wirkungen.

Da die Empfindlichkeit gegenüber ionisierender Strahlung je nach Alterskategorie verschieden ist, sind auch die Anweisungen zur Risikominderung für diese Gruppen verschieden.

---

<sup>2</sup> Dies bedeutet, daß bei einer Exposition von 100 000 Personen mit 1 mSv davon ausgegangen wird, daß 5 Personen eine strahleninduzierte tödliche Krebserkrankung erleiden. Ebenso wird bei der Exposition von diesen 100 000 Personen mit 5 mSv angenommen, daß 25 Personen erkranken.



## **2.2. Strahlenexposition anderer Menschen**

Generell stellen die direkte externe Strahlung durch den Patienten und die Exhalation von I-131 mögliche Quellen einer signifikanten Belastung anderer Personen dar. Die Exposition durch diese Quellen ist im Rahmen des möglichen zu verhindern bzw. einzuschränken.

In dieser Broschüre unterteilen wir die Personen, die mit einem therapierten Patienten in Kontakt kommen können, in zwei Gruppen, nämlich Familienangehörige und nahestehende Bekannte auf der einen und dritte Personen auf der anderen Seite. Die erste Gruppe einschließlich der Besucher läßt sich weiter in sechs Kategorien unterteilen: Schwangere, Kinder bis 2 Jahre, Kinder von 3 bis 10 Jahren, Partner, Partner über 60 Jahren und sonstige Personen.

Wie bereits erläutert, werden diese Kategorien deswegen gewählt, weil (i) ungeborene Kinder und Kinder bis 10 Jahren strahlenempfindlicher im Hinblick auf eine Krebsinduzierung sind, (ii) Kleinkinder bis etwa 2 Jahre vielfach engeren Körperkontakt mit ihren Eltern haben und (iii) beim Menschen über etwa 60 Jahren die Manifestation einer Krebserkrankung durch ionisierende Strahlung unwahrscheinlicher ist. Diese Unterschiede sind bei der Aufklärung der Patienten besonders wichtig.

### 3. DOSISBESCHRÄNKUNGEN

Bei medizinischen Expositionen werden zur Optimierung zwei Systeme benutzt, die beide die Reduzierung unnötig hoher Dosen anstreben. Bei dem ersten handelt es sich um ein System von Referenzwerten, das nur für diagnostische Untersuchungen gilt und daher für diese Broschüre nicht relevant ist. Das zweite System ist das Konzept der Dosisbeschränkungen.

Dosisbeschränkungen (siehe auch Leitdokument "Überlegungen zum Konzept der Dosisbeschränkungen, gemeinsamer Bericht der Sachverständigengruppe NEA/EG") sind Höchstwerte für Optimierungszwecke. Es handelt sich um Richtwerte, die nicht überschritten werden sollten, nicht aber um rechtverbindliche Dosisgrenzwerte. Da mit Radionukliden behandelte Patienten Quellen potentieller Kontamination und Exposition gegenüber anderen Personen sind, werden entsprechende Verhaltensanweisungen benötigt, um die Strahlenexposition ihrer Familienangehörigen, nahestehender Bekannter und dritter Personen in Grenzen zu halten. Die in diesem Fall benutzten Höchstwerte werden als Dosisbeschränkungen bezeichnet. Da für die Familienangehörigen und nahestehenden Bekannten die Anwesenheit des behandelten Patienten im Familienkreis auch positiv sein kann, kann die festgelegte Dosisbeschränkung hier höher sein als die öffentlichen Dosisgrenzwerte. Dritte Personen dagegen, die keinerlei Beziehung zu dem Patienten haben und im allgemeinen "Gelegenheitsopfer" des eine Quelle darstellenden Patienten sind, ziehen aus der Exposition keinen Nutzen und gelten daher als Einzelpersonen der Bevölkerung.

Werden Patienten mit radioaktiven Stoffen behandelt, hängt die Strahlenexposition der Familie und nahestehender Bekannter vom Verhalten des Patienten und ihrem eigenen Verhalten ab. Werden bestimmte Regeln eingehalten, können festgelegte Dosisbeschränkungen erfüllt werden. Die Strahlenexposition dritter Personen dagegen, denen normalerweise das Vorhandensein einer Quelle in der Nachbarschaft nicht einmal bewußt ist, hängt voll und ganz vom Verhalten des Patienten ab.

Wie bereits erwähnt, haben Kleinkinder einen zwei- bis dreifach höheren Risikofaktor als die Durchschnittsbevölkerung. Somit sollte als Voraussetzung für ein gleiches Risiko stochastischer Wirkungen die Dosisbeschränkung für Kinder und ungeborene Kinder um das Zwei- bis Dreifache niedriger sein als für Erwachsene.

Der Risikofaktor für ältere Menschen (Altersgruppe 60 bis 80 Jahre) ist um das Drei- bis Zehnfache niedriger als für die Durchschnittsbevölkerung. Dies eröffnet die Möglichkeit höherer Dosisbeschränkungen für diese Altersgruppe.

Wie aus Tabelle IV.2, Spalte C und D (Anhang IV) ersichtlich, eignen sich die meisten Leitlinien zur Verhaltenssteuerung von Patienten bei Erwachsenen und Kindern über 10 Jahren, nicht jedoch für kleine oder ungeborene Kinder. Für diese Gruppe sollten besondere Anweisungen gelten.

#### 3.1. Dosisbeschränkungswerte bei Jod-131-Therapie

Tabelle 1 enthält Dosisbeschränkungen für Familienangehörige und nahe Bekannte von ambulanten oder entlassenen stationären Patienten nach Therapie mit Radionukliden.

Die angegebenen Werte tragen folgenden Überlegungen Rechnung:

- 1) Dosisgrenzwerte gelten nicht für medizinische Strahlenexpositionen, können aber als Referenzwert für die Vertretbarkeit einer bestimmten Exposition herangezogen werden.
- 2) Eine Exposition durch eine Patientenquelle wird nur ein- oder zweimal in der Lebenszeit einer typischen Einzelperson vorkommen.

- 3) Das Alter der exponierten Einzelperson zum Zeitpunkt der Exposition spielt bei der Risikobewertung eine wichtige Rolle.

Daher gilt folgendes:

- 1 mSv ist eine akzeptierte Obergrenze für die restliche Schwangerschaftsdauer bei der Exposition eines ungeborenen Kindes, dessen Mutter bei der Arbeit strahlenexponiert wird (Grundnormenrichtlinie), die Heranziehung des gleichen Wertes bei der Exposition *in utero* durch eine Patientenquelle erscheint daher vernünftig.
- Bei Kindern bis 10 Jahren wird das gleiche Risiko wie bei ungeborenen Kindern unterstellt, so daß 1 mSv auch für sie als vertretbarer Wert erscheint.
- Kinder über 10 Jahren und Erwachsene haben ein zwei- bis dreifach geringeres Risiko als jüngere Kinder. Dosisbeschränkungen für diese Gruppen könnten anhand der Grundnormenrichtlinie festgelegt werden. Danach kann unter besonderen Umständen der Dosisgrenzwert für eine Einzelperson der Bevölkerung in einem einzigen Jahr höher als 1 mSv sein, sofern der Mittelwert über einen Fünfjahreszeitraum 1 mSv/Jahr nicht übersteigt. Da Einzelpersonen im Durchschnitt nur einmal in ihrer Lebenszeit mit einer Patientenquelle in Kontakt kommen werden, kann dies als "besonderer Umstand" gelten. Unter Berücksichtigung auch der potentiellen Expositionen durch andere künstliche Quellen als der Patientenquelle in dieser Zeitspanne erscheint eine Dosisbeschränkung von 3 mSv daher vernünftig.
- 60 Jahre alte Erwachsene haben ein drei- bis zehnfach niedrigeres Risiko als die Durchschnittsbevölkerung, Einzelpersonen über 65 Jahre ein um das fünf- bis zehnfache niedrigeres Risiko. Eine Dosisbeschränkung für ältere Menschen von 15 mSv erscheint daher vernünftig.

**Tabelle 1** Vorgeschlagene Dosisbeschränkungen [mSv] für Familienangehörige und nahestehende Bekannte bei Radiojodtherapie

Personengruppe	Dosisbeschränkung
Kinder (einschließlich ungeborene Kinder*)	1 mSv
Erwachsene bis etwa 60 Jahre	3 mSv**
Erwachsene über 60 Jahre	15 mSv

\* Ungeborene Kinder umfaßt Embryonen und Feten

\*\* Diese Werte sollen nicht für Familienangehörige und nahestehende Bekannte gelten, die sehr kranke stationäre Patienten betreuen, etwa für Mütter stationär aufgenommener Kinder

Da die Exposition von Dritten als Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung gilt, gelten hierfür Dosisgrenzwerte. Der Dosisgrenzwert für die Bevölkerung nach der Grundnormenrichtlinie ist ein kumulativer Dosisgrenzwert, der für die Summe aller Expositionen einer Einzelperson der Bevölkerung gilt. Berücksichtigt werden sollte, daß andere künstliche Quellen ebenfalls eine Belastung einer bestimmten Einzelperson verursachen können und daß die Summe all dieser Expositionen 1 mSv pro Jahr nicht übersteigen darf.

Als Obergrenze für diese Expositionsart wird daher 0,3 mSv als Bruchteil des Dosisgrenzwerts empfohlen.



#### **4. BEHANDLUNG AMBULANTER UND ENTLASSUNG STATIONÄRER PATIENTEN**

Bei der Behandlung ambulanter bzw. der Entlassung stationärer Patienten sollten bestimmte Voraussetzungen erfüllt werden. So hat der verantwortliche Arzt dafür zu sorgen, daß entsprechende Dosismessungen vorgenommen werden, daß die Patienten – mündliche und schriftliche – Anweisungen erhalten und daß die häuslichen Gegebenheiten überprüft werden.

Bei der Behandlung der Hyperthyreose gilt die fraktionierte Verabreichung des Radionuklids über einen kurzen Zeitraum wegen der höheren kumulativen Dosen betreuender oder besuchender Einzelpersonen sowie für den Patienten selbst nicht als gute Praxis. Aus diesem Grund kann die in einigen Ländern zur Vermeidung des Klinikaufenthalts übliche fraktionierte Behandlung nicht gerechtfertigt werden. Eine wiederholte Verabreichung kann in Einzelfällen, in denen eine Behandlung zur Bekämpfung der Erkrankung nicht ausreicht, notwendig sein, was sich jedoch frühestens vier Monate nach der Anfangsbehandlung herausstellen dürfte (siehe auch Anhang II).

##### **4.1. Schwangerschaft**

Bei Schwangerschaft ist eine Behandlung mit Jod-131 kontraindiziert. Im allgemeinen sollte die Behandlung bis nach der Entbindung zurückgestellt oder es sollten andere, etwa chirurgische, Verfahren in Erwägung gezogen werden. Liegt allerdings eine ernsthafte Bedrohung der Mutter vor und sind andere Therapien nicht indiziert, etwa bei Metastasen, ist die behandlungsbedingte Schädigung des Kindes gegen die Folgen einer Nichtbehandlung der Mutter abzuwägen.

##### **4.2. Dosismessungen**

Die Behandlung auf ambulanter Basis bzw. die Entlassung eines stationären Patienten ist nur dann zulässig, wenn die Strahlenexposition der Familie und nahestehender Bekannter und von Dritten (der Allgemeinbevölkerung) durch die (Rest-) Aktivität des Patienten die von den zuständigen Behörden genehmigten Dosisbeschränkungen voraussichtlich nicht übersteigt.

Generell wird die Behandlung von Schilddrüsenkrebs mit radioaktivem Jod nur in Verbindung mit einem Klinikaufenthalt des Patienten erfolgen. Für die Entlassung eines stationären Patienten sollten die in diesem Kapitel erwähnten Voraussetzungen gelten.

Vor der Entlassung eines stationären Patienten aus dem Krankenhaus hat die anwendende Fachkraft zu dokumentieren, daß die Restaktivität bestimmte vorgegebene Werte nicht überschreitet. Dies kann durch Dosismessungen im Abstand von 1 m vom stehenden Patienten festgestellt werden. Zu diesem Zweck sind Standard-Meßprotokolle festzuschreiben. Die Entscheidung zur Entlassung des Patienten ist aufgrund der Messung mit der höchsten Expositionsleistung zu treffen, bei Hyperthyreose im allgemeinen im Schilddrüsenbereich, im Falle eines ausgedehnten Schilddrüsenkarzinoms mit Metastasen möglicherweise aber auch in einem anderen Körperbereich.

Das Meßergebnis ist aufzuzeichnen.

Bei der Behandlung eines ambulanten Patienten ist sinngemäß entsprechend vorzugehen.

Anhang II enthält eine Reihe von Koeffizienten zur Umrechnung von Aktivität in effektive Dosis (Tabelle II.1) und von Dosisleistung in effektive Dosis (Tabelle II.2).

##### **4.3. Anweisungen**

Der für die Behandlung verantwortliche Arzt hat dafür zu sorgen, daß der Patient bzw. sein gesetzlicher Vertreter entsprechende mündliche und schriftliche Anweisungen erhalten, bevor der

Patient behandelt wird. Dabei weist der Arzt auf die Wichtigkeit hin, diese Anweisungen zu befolgen, und bespricht sie im einzelnen mit dem Patienten. Dieses Vorgehen ist auch im Krankenblatt des Patienten zusammen mit dem Inhalt der Unterweisung festzuhalten.

#### **4.4. Zustand des Patienten**

Der für die Behandlung und Entlassung des Patienten verantwortliche Arzt muß sicherstellen, daß die Anweisungen vom Patienten und seiner Familie oder nahestehenden Bekannten verstanden und durchgeführt werden. Der Patient sollte selbständig und in der Lage sein, mitzuarbeiten und die Anweisungen zu befolgen. Im Sonderfall eines unselbständigen, nicht kooperativen oder inkontinenten oder eines zum Erbrechen tendierenden Patienten ist die ambulante Behandlung keine wünschenswerte (sichere) Option. Es müssen in diesem Fall zusätzliche ganz konkrete Anweisungen für das Verhalten der Familie und Bekannten erteilt werden, möglicherweise nach Konsultation eines Strahlenschutzfachmanns, so daß sichergestellt ist, daß durch die Restaktivität keine über den Dosisbeschränkungen der Tabelle 1 liegenden Dosen verursacht werden.

#### **4.5. Häusliches Umfeld**

Einer der bei der Behandlung von ambulanten bzw. der Entlassung stationärer Patienten zu bewertenden Faktoren ist das häusliche Umfeld in einem sozioökonomischen Sinn, wobei dieses so gestaltet sein soll, daß Patient und Familie bzw. nahestehende Bekannte die erhaltenen Instruktionen befolgen können. Zu berücksichtigen sind hierbei die Zahl der verfügbaren Zimmer, die Qualität der sanitären Einrichtungen, der Anschluß an die Kanalisation usw.

Der für die Behandlung und Entlassung des Patienten verantwortliche Arzt muß gewährleisten können, daß der Patient über diese Gegebenheiten befragt worden ist und darauf hingewiesen wurde, daß die Gefährdung jeder anderen Einzelperson unmittelbar vom Abstand zwischen Patienten und dieser Person, der zusammen verbrachten Kontaktzeit usw. abhängt. Der Arzt sollte seine Entscheidung aufgrund dieser Informationen treffen, kann jedoch naturgemäß nicht für Fehler haften, wenn vom Patienten unrichtige Angaben gemacht worden waren.

#### **4.6. Besondere Umstände**

Müssen bei einem mit I-131 behandelten Patienten notfallchirurgische Maßnahmen durchgeführt werden oder hat ein solcher Patient z. B. einen Herzanfall erlitten, ist dieser in der gleichen Art und Weise wie jeder andere Patient zu behandeln, auch wenn die (Rest-)Aktivität über dem Wert liegt, bei dem eine Entlassung aus der Klinik möglich wäre. Falls ein Medizinphysiker erreichbar ist, sollte dieser hinzugezogen werden. Bei einem nach der Behandlung nach Hause zurückgekehrten Patienten, bei dem dann ein Notfall eintritt, ist ebenso zu verfahren. In diesem Fall ist es Pflicht des Patienten oder seiner Familie, den Notfallhelfer unverzüglich über den Status des Patienten nach der I-131-Behandlung zu informieren.

#### **4.7. Tod des Patienten**

Stirbt ein Patient kurz nach der Verabreichung von I-131, so sollte bei einer Autopsie oder um Familie, Bekannte und Dritte bei der Aufbahrung des Patienten, bei der Totenwache und während der Bestattung zu schützen, ein qualifizierter Strahlenschutzexperte konsultiert werden, damit die Dosen so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar gehalten werden können.

Für die Bestattung oder Einäscherung können Einschränkungen gelten, die in der nationalen Gesetzgebung festgeschrieben sind.

## 5. AUFKLÄRUNG ENTLASSENER STATIONÄRER ODER AMBULANTER PATIENTEN DURCH DEN ARZT

Die nachstehenden Hinweise richten sich an die Fachärzte im Krankenhaus und an die Allgemeinärzte. Beispiele schriftlicher Anweisungen für Patienten, Begleitpersonen oder gesetzliche Vertreter kann der Arzt Anhang I entnehmen. Begleitpersonen oder gesetzliche Vertreter kann der Arzt Anhang I entnehmen. Diese Anweisungen sollten vor der Behandlung ausgehändigt werden, damit ausreichend Zeit für die notwendigen Vorkehrungen zu Hause zur Verfügung steht. Eine mündliche Erläuterung der Anweisungen ist wünschenswert; der Patient sollte zum Nachfragen ermutigt werden.

Diese Anweisungen sind hinreichend lange je nach der Höchstdosis im Abstand von 1 m vom stehenden Patienten zu befolgen (entsprechende Dosisumrechnungskoeffizienten enthält Anhang II).

In Sonderfällen sind u.U. zusätzliche oder andere Anweisungen notwendig. Dabei sollte ein Medizinphysiker hinzugezogen werden, falls ein solcher erreichbar ist.

### HINWEISE FÜR DEN ARZT

In Tabelle 2 sind Zeiträume aufgeführt, in denen die Patienten (und Familienangehörigen bzw. Bekannten) die erteilten Anweisungen befolgen sollten.

Die Zeitdauer richtet sich nach der effektiven Dosisleistung in 1 m Abstand von jedem Punkt am Körper des Patienten. Es können aber auch andere Methoden mit anderen Zeitspannen herangezogen werden (siehe z. B. LAZ95 und ETA 95)

**Tabelle 2** Effektive Dosisleistungen in 1 m Abstand, geschätzte entsprechende (Rest-) Aktivitäten und Zeiträume für die Einhaltung der Anweisungen.

<b>Effektive Dosisleistung in 1 m Abstand vom Patienten [<math>\mu\text{Svh}^{-1}</math>]</b>	<b>Entsprechend einer geschätzten (Rest-) Aktivität von*</b>	<b>Empfohlene Zeiträume für die Einhaltung der Anweisungen</b>
< 40	<800 MBq	3 Wochen
< 20	<400 MBq	2 Wochen
< 10	<200 MBq	1 Woche
< 5	<100 MBq	4 Tage
< 3	<60 MBq	24 Stunden nach Verabreichung

\* Diese Werte beruhen auf den physikalischen Daten in Anhang III

Die vorgeschlagenen Zeiträume beruhen auf Restaktivitäten bei stationären Patienten. Die Phase der raschen Ausscheidung dieser Patienten ist vor der Entlassung nahezu abgeschlossen (die Aktivität im Körper geht am ersten Tag schneller zurück als an den darauffolgenden Tagen). Bei einem ambulanten Patienten entspricht die Restaktivität der verabreichten Aktivität, doch erfolgt die Phase der raschen Ausscheidung beim Patienten zu Hause, was bedeutet, daß bei vergleichbaren

Restaktivitäten zum Zeitpunkt der Entlassung die Strahlenexposition von Familie und nahestehenden Bekannten bei entlassenen stationären Patienten höher ist als bei Patienten, die ambulant behandelt wurden. Die oben genannte empfohlene Einschränkungszeit ist daher bei ambulanten Patienten ein konservativer Ansatz.

### Anweisungen:

#### Allgemeines:

Der Patient sollte möglichst großen Abstand zu allen im häuslichen Umfeld anwesenden Personen halten, d. h. stets mehr als 1 m, bei längeren Zeiträumen mehr als 2 m.

#### Toilette:

Die Patienten (auch männliche) sollten sich zum Wasserlassen niedersetzen. Die Genitalien sind stets mit Toilettenpapier trockenzutupfen, die Wasserspülung ist nach jeder Toilettenbenutzung zu betätigen. Die Hände sind möglichst im Toilettenraum zu waschen, um eine Kontamination der Türgriffe u. ä zu vermeiden.

#### Kleinere Kinder (0-10 Jahre)

Kinder bis zu 10 Jahren sind stärker gefährdet als die Durchschnittsbevölkerung. Zudem stehen Kleinkinder häufig mehrere Stunden täglich in direktem Körperkontakt mit ihren Eltern (oder anderen Erwachsenen).

Sind kleinere Kinder vorhanden, sind die Patienten über das besondere Risiko der Kinder aufzuklären.

Direkter Körperkontakt ist soweit wie möglich zu vermeiden; auch hier gilt, je größer der Abstand, desto größer die Sicherheit.

Aus diesem Grund sollten auch sehr kleine Kinder bis 2 Jahren möglichst in einer anderen Wohnung durch andere Personen als den Patienten betreut werden. Ist dies nicht möglich oder aus psychologischen Gründen nicht erwünscht, sollte der Kontakt so kurz wie möglich sein.

**Nach Ablauf der empfohlenen Beschränkungszeit wird bei Kleinkindern nachdrücklich empfohlen, nicht unbedingt notwendigen Körperkontakt mit dem Patienten während einer weiteren Woche zu vermeiden, speziell bei Hyperthyreosepatienten, die stationär therapiert wurden.**

#### Partner und andere Menschen zu Hause

Es besteht keine Kontraindikation gegen direkten Körperkontakt (Umarmung oder Geschlechtsverkehr), doch sollte dieser Kontakt auf etwa eine halbe Stunde pro Tag beschränkt werden. Nachdrücklich empfohlen wird jedoch, daß der Patient alleine schläft. Der Abstand zwischen zwei Nachbarbetten sollte mindestens 2 m betragen. Zu achten ist darauf, daß das Bett des Patienten nicht gegen die gleiche Wand wie das Bett in einem Nachbarzimmer gestellt wird, da die Wand keinen wirksamen Schutz gegen diese Art der Strahlung gewährleistet.

#### Ältere Partner:

Bei Personen über 60 Jahren ist das Risiko einer Strahlenschädigung gering, so daß hier nur leicht zu ergreifende Maßnahmen empfohlen werden.

#### Schwangere:

Ist die Partnerin eines behandelten Patienten schwanger, gelten ähnliche Anweisungen wie für "Partner und andere Menschen zu Hause". Darüber hinaus sollte im Interesse einer möglichst



niedrigen Belastung des ungeborenen Kindes ein enger Körperkontakt (am Tag) auf ein Mindestmaß reduziert werden.

#### Stillen:

Benötigt eine stillende Frau eine Radiojodtherapie, sollte vor Behandlungsbeginn abgestillt und nach der Behandlung nicht erneut mit dem Stillen begonnen werden.

#### Schwangerschaft:

Bei Empfängnis innerhalb von vier Monaten nach Beginn einer Radiojodtherapie könnte eine Schädigung des ungeborenen Kindes eintreten. Eine Schwangerschaft ist in diesen vier Monaten daher zu vermeiden. Da auch eine Spermaschädigung möglich ist, sollte männlichen Patienten geraten werden, während vier Monaten nach Beginn einer solchen Therapie keine Kinder zu zeugen.

#### Besucher:

Bei einem Kurzbesuch von einige Stunden sind keine anderen Sondervorkehrungen notwendig als das Einhalten eines Sicherheitsabstands und die Vermeidung von direktem Körperkontakt (siehe unter "Allgemeines").

Von Besuchen durch Kleinkinder und Schwangere ist abzuraten.

#### Besteck und Geschirr:

Da Speichel und andere Körpersekrete der Patienten relativ stark mit Jod kontaminiert sein können, sollten von diesen benutztes Besteck und Geschirr, Handtücher, Bettwäsche usw. nicht von anderen benutzt werden. Nach Spülen bzw. Waschen sind sie wieder völlig sicher, getrenntes Waschen ist nicht nötig.

#### Verkehrsmittel:

Nur in der ersten Woche sollte die Benutzung öffentlicher Verkehrsmittel auf etwa zwei Stunden je Fahrt beschränkt werden. Wird ein Taxi benutzt, sollte der Patient in möglichst großem Abstand vom Fahrer Platz nehmen. Fahrten mit dem gleichen Taxifahrer sind auf insgesamt etwa zwei Stunden zu beschränken. Bei unvermeidbaren längeren Fahrten im öffentlichen Verkehr sind besondere Hinweise zur Reduzierung der Belastung anderer Fahrgäste zu erteilen. So könnte dem Patienten geraten werden, den Platz zu wechseln, um nicht längere Zeit neben der gleichen Person zu sitzen.

#### Veranstaltungen:

Kinobesuche und Veranstaltungen, bei denen der Patient mehrere Stunden mit anderen Personen in engen Kontakt kommt, sind zu vermeiden.

#### Arbeitsplatz:

Hier ist folgendes zu unterscheiden:

- 1) Die Beschäftigung des Patienten erfordert engen Kontakt mit Kollegen oder Kunden oder anderen Personen. Arbeitet der Patient an einer Schule oder in einem anderen Umfeld, in dem er mit Kindern unter 10 Jahren Kontakt hat, sollte der Patient ausnahmslos der Arbeit fernbleiben. In anderen Fällen ist ein Mindestabstand von 2 m zu anderen Personen während der meisten Zeit einschließlich der Essenszeit einzuhalten. Ist dies nicht möglich, sollte der Patient der Arbeit fernbleiben.

- 2) Der Beruf des Patienten erfordert keinen engen Kontakt mit anderen Menschen. In diesem Fall kann der Patient seiner Berufstätigkeit nachgehen (wobei enger Kontakt möglichst zu vermeiden ist), außer bei ambulanten Patienten während der beiden ersten Tage nach der Verabreichung des Jods (Phase der raschen Ausscheidung).
- 3) Die Tätigkeit des Patienten könnte durch ionisierende Strahlung beeinträchtigt werden (Entwicklung photographischer Platten, Radioimmunoassay, usw.). In diesem Fall geht es beim Fernbleiben von der Arbeit nicht um die Einschränkung der Belastung Dritter, und es sollte ein Strahlenschutzexperte befragt werden.

**In Zweifelsfällen sollte der verantwortliche Arzt einen Medizinphysik-Experten hinzuziehen. Die Betriebsleitung ist stets zu informieren.**

Tabelle 3 gibt Beispiele für die erforderliche Zahl von Tagen für das Fernbleiben des Patienten von der Arbeit, um die Belastung eines Kollegen auf 0,3 mSv zu beschränken. Nach Ansicht der Autoren empfiehlt sich die Verwendung von Tagen als Zeiteinheit.

**Tabelle 3** Rechenbeispiel für die Zahl der Tage\*, die ein mit I-131 behandelter Patient der Arbeit fernbleiben muß, um die Strahlenexposition eines Arbeitskollegen auf **0,3 mSv** zu reduzieren - für drei verschiedene Abstände und Tagesstunden und 4 Stufen verabreichter Aktivitäten\*\* (MBq) (*Tho95*)

Stunden pro Tag	200 MBq	400 MBq	600 MBq	800 MBq
8 h in 1 m Abstand	4	10	13	15
4 h in 1 m Abstand	-	4	8	10
8 h in 2 m Abstand	-	-	3	4

\* Es wird eine fünftägige Arbeitswoche unterstellt. Die Werte in der Tabelle beziehen sich auf die Gesamtzahl der Tage (einschließlich Wochenende) vor Rückkehr an den Arbeitsplatz.

\*\* Die Zahl der Tage beruht auf den verabreichten Aktivitäten bei ambulanten Patienten. Wie in Kapitel 5 erläutert sollten die Zeiten nach der Entlassung bei stationären Patienten etwas länger dauern.

Krankenhaus:

Muß während des Zeitraums, für den die Einschränkungen gelten, der Patient unerwartet stationär aufgenommen werden, sind unverzüglich der verantwortliche Arzt und der verantwortliche Medizinphysiker hiervon zu unterrichten.

## Anhang

### I. BEISPIELE FÜR SCHRIFTLICHE ANWEISUNGEN AN PATIENTEN ODER IHREN GESETZLICHEN VERTRETER VOR DEM VERLASSEN DES KRANKENHAUSES ODER DER KLINIK NACH BEHANDLUNG MIT JOD-131

Die folgenden Anweisungen können den Patienten, ihrem gesetzlichen Vertreter oder ihrer Familie erteilt werden

#### ANWEISUNGEN ZUM VERHALTEN VON PATIENTEN NACH THERAPIE MIT RADIOAKTIVEM JOD

Zur Therapie einer Schilddrüsenerkrankung sind Sie mit radioaktivem Jod behandelt worden. Das Jod wird zum größten Teil aus Ihrem Körper über den Urin ausgeschieden. Ein kleiner Teil des Jods wird jedoch noch mehrere Wochen in Ihrem Körper verbleiben, so daß Sie ihrerseits andere Personen in Ihrer Nähe belasten können.

Es ist Ihre Pflicht, Angehörige, Freunde, Kollegen und andere Personen hiervor zu schützen. Die folgenden Fragen und Antworten sollen Sie über einfache Verhaltensmaßnahmen informieren.

Wie lange Sie diese Anweisungen befolgen müssen, sagt Ihnen Ihr Arzt.

#### 1 Welches ist die wichtigste Maßnahme?

Halten Sie sich weder zu Hause noch bei der Arbeit in der Nähe anderer Personen auf. Halten Sie einen Mindestabstand von 1 m ein. Bei längeren Aufenthalten (mehr als 1 Stunde) halten Sie einen Abstand von 2 m ein.

#### 2 Was gilt für Kontakte mit Schwangeren?

Kontakte mit Schwangeren sollten auf ein Mindestmaß reduziert werden. Sie sollten mindestens 2 m Abstand zu einer Schwangeren einhalten.



#### 3 Ist es gefährlich, schwanger zu werden/Kinder zu zeugen?

Ein Teil des Jods kann längere Zeit in Ihrem Körper verbleiben. Sie sollten deshalb während der nächsten 4 Monate nicht schwanger werden/Kinder zeugen.

#### 4 Darf ich meine Kinder sehen und sie betreuen?

Bei Kindern unter zehn Jahren vermeiden Sie bitte soweit wie möglich engeren Kontakt (z. B. Umarmen oder auf dem Schoß halten).

Da das Risiko bei kleineren Kindern größer ist als bei Erwachsenen, gehen Sie auf Nummer sicher und vermeiden Sie unnötigen Kontakt noch eine weitere Woche über den empfohlenen Zeitraum hinaus.



## 5 Was ist bei Kleinkindern zu beachten?

Kinder unter zwei Jahren sollten von jemandem anders betreut werden, etwa von Verwandten oder Freunden.

## 6 Darf ich weiter stillen?

Radioaktives Jod geht relativ lange in die Muttermilch über. **Das Stillen muß daher vollständig unterbleiben!**

## 7 Darf ich engeren Kontakt zu meinem Partner oder anderen Menschen zu Hause haben?

Jeder enge Kontakt wie Umarmen oder Geschlechtsverkehr sollte auf eine halbe Stunde täglich begrenzt werden. Sie sollten in getrennten Betten schlafen. Zwischen den Betten sollten 2 m Abstand sein, auch wenn eine Wand dazwischen liegt. Wohnungswände gewährleisten keinen wirksamen Schutz gegen diese Art der Strahlung.



## 8 Was ist, wenn meine Partnerin schwanger ist?

Ist Ihre Partnerin schwanger, muß jeder enge Kontakt zu ihr unterbleiben.

## 9 Gelten die Vorkehrungen auch für Menschen über 60?

Bei Menschen über 60 ist das Risiko sehr viel geringer. Besondere Vorsichtsmaßnahmen sind daher auch weniger wichtig.

## 10 Darf ich Besuch empfangen?

Kurzbesuche - weniger als zwei Stunden - sind unproblematisch. Halten Sie einen Abstand von etwa 2 m ein und vermeiden Sie möglichst engeren Kontakt. Besuche durch Kleinkinder und Schwangere sollten unterbleiben.

## 11 Darf ich wieder zur Arbeit gehen?

Die meisten Menschen dürfen wieder arbeiten. Halten Sie sich arbeitsbedingt länger als zwei Stunden pro Tag in einem kürzeren Abstand als 2 m zu der oder den gleichen Personen auf, sollten Sie Ihren Arzt um Rat fragen.

Auf jeden Fall sollten Sie die Betriebsleitung informieren.

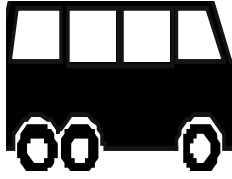
## 12 Was ist, wenn ich in einem Kindergarten arbeite?

Kindergartenpersonal oder andere Personen, die während der Arbeit in engem Kontakt mit kleineren Kindern stehen, sollten mit der Arbeit aussetzen. Für wie lange, sagt Ihnen Ihr Arzt.

## 13 Darf ich ins Kino oder zu sonstigen Veranstaltungen gehen?

Besser nicht. Vermeiden Sie Kinobesuche und Veranstaltungen, wo Sie sich länger als eine Stunde in der Nähe anderer Menschen aufhalten.

#### 14 **Darf ich öffentliche Verkehrsmittel benutzen?**



Eine Woche lang sollten Sie sich dabei auf Fahrten von maximal zwei Stunden beschränken. Längere Fahrten sollten nur im Notfall vorgenommen werden. Achten Sie dann darauf, daß Sie möglichst alleine sitzen. Bei längeren Fahrten fragen Sie bitte Ihren Arzt.

#### 15 **Was ist mit Taxifahrten?**

Nehmen Sie dann hinten an der dem Fahrer entgegengesetzten Seite Platz. Fahren Sie mit demselben Taxifahrer nicht länger als zwei Stunden.

#### 16 **Darf ich die gleiche Toilette benutzen wie andere Menschen?**

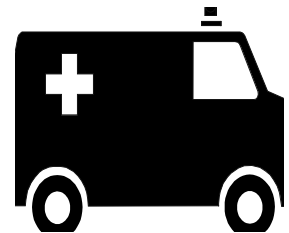
Ja, achten Sie aber darauf, daß kein Urin verspritzt wird. Nehmen Sie beim Wasserlassen eine sitzende Stellung ein (auch Männer). Trocknen Sie die Genitalien stets mit Toilettenpapier ab und betätigen Sie die Wasserspülung. Wichtig ist es, auch nach dem Wasserlassen stets die Hände zu waschen.

#### 17 **Was ist mit Besteck, Geschirr, Bettwäsche, Handtüchern usw.**

Radioaktives Jod wird vom Körper auch mit dem Speichel und Schweiß der Patienten ausgeschieden. Benutzen Sie daher Besteck, Geschirr, Handtücher, Bettwäsche usw. nicht gemeinsam mit anderen. Nach dem Spülen bzw. Waschen sind diese aber vollkommen ungefährlich. Separates Waschen ist nicht nötig.

#### 18 **Was ist, wenn ich ins Krankenhaus muß?**

Wenn Sie unerwartet ins Krankenhaus müssen, informieren Sie bitte den Arzt, daß Sie vor kurzem mit radioaktivem Jod behandelt worden sind, und zwar auch dann, wenn es das gleiche Krankenhaus ist.



**WENN IHNEN ETWAS UNKLAR IST, FRAGEN SIE STETS DEN BEHANDELNDEN ARZT.**

## II. HINTERGRUNDINFORMATIONEN ZUR RADIOJODTHERAPIE

### II.1 Biologische Wirkungen ionisierender Strahlung

Es gibt zwei verschiedenartige biologische Wirkungen ionisierender Strahlung - deterministische und stochastische Wirkungen. Deterministische Wirkungen werden durch die Schwächung bzw. den Verlust von Organfunktionen infolge von Zellschädigung oder Zelltod verursacht. Für diese Wirkungen gibt es Dosis-Schwellenwerte. Durch einen kleineren Rückgang der Zahl vorhandener gesunder Zellen wird die Funktion vieler Organe und Gewebe nicht beeinträchtigt, nur bei hinreichend großem Rückgang tritt eine klinisch feststellbare pathologische Funktionsstörung auf.

Bei der Behandlung von Schilddrüsenkrebs oder seiner Metastasen, Hyperthyreose und Struma ist die Zellabtötung bei einigen oder allen Zellen der Schilddrüse oder in den Metastasen die erwünschte Wirkung. Andere Organe sollten nicht so beeinflusst werden, daß deterministische Wirkungen auftreten. Für diese Behandlungen wird daher vielfach der  $\beta$ -Strahler I-131 gewählt, wenngleich die damit verbundene  $\gamma$ -Emission auch andere Organe des Patienten und anderer Personen belastet.

Stochastische Effekte sind die Folge strahleninduzierter Änderungen in den Zellen, die ihr Teilungsvermögen beibehalten. Diese modifizierten Zellen lösen mitunter eine bösartige Umwandlung einer Zelle aus bis hin zur Entwicklung eines bösartigen Klangs und schließlich zu einem klinisch feststellbaren Krebs. Die Zeit zwischen Auslösung und Erkrankung kann von einigen Jahren (z. B. Leukämie, Schilddrüsenkrebs) bis zu mehreren Jahrzehnten betragen (z. B. Dickdarm- und Leberkrebs). Auch genetische Wirkungen infolge Bestrahlung von Keimzellen können ausgelöst werden.

Bei den stochastischen Wirkungen wird keine Schwellendosis angenommen, man geht davon aus, daß die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens proportional zur Dosis ist (lineare Dosis-Wirkungs-Beziehung im unteren Dosis-/Dosisleistungsbereich). Die Wahrscheinlichkeit ihrer Induzierung sollte daher möglichst reduziert werden, indem die Dosis so niedrig wie möglich gehalten wird. Die Dosis, mit der die in der Nähe des therapierten Patienten lebenden Personen belastet werden, ist verhältnismäßig niedrig. Es treten daher keine deterministischen Wirkungen auf und das Risiko einer stochastischen Wirkung ist relativ gering.

Die natürliche Krebsinzidenz in Europa beträgt etwa 25 %. Die Wahrscheinlichkeit einer strahleninduzierten tödlichen Krebserkrankung wurde im niedrigen Dosis-/Dosisleistungsbereich auf etwa 5 Prozent pro Sievert<sup>3</sup> bzw. auf 1 Prozent pro Sievert für ernsthafte genetische Erkrankungen geschätzt (ICRP-60). Je nach beteiligtem Organ können auch heilbare Krebserkrankungen induziert werden. Bei Menschen über etwa 60 Jahren liegt die Wahrscheinlichkeit solcher Wirkungen offenbar um das Dreifache, bei Menschen über 65 sogar um das Fünf- bis Zehnfache niedriger. Dies deshalb, weil die restliche Lebenserwartung der älteren Menschen zur Manifestation des Krebses nicht ausreicht. Auch ist es hier unwahrscheinlich, daß eine genetische Schädigung auf die Nachkommen übergeht. Bei Kindern bis zu 10 Jahren liegt die Wahrscheinlichkeit tödlicher Krebsinduzierung offenbar um das Zwei- bis Dreifache höher. Bei Schwangeren besteht das gleiche Risiko wie bei der Durchschnittsbevölkerung, doch nimmt man für das ungeborene Kind das gleiche Risiko eines tödlichen Krebses wie für Kleinkinder an. Die erteilten Anweisungen für alle diese Gruppen sind entsprechend unterschiedlich.

---

3

Dies bedeutet, daß bei der Exposition von 100 000 Personen mit 1 mSv davon ausgegangen wird, daß 5 Personen einen strahleninduzierten tödlichen Krebs erleiden. Werden diese 100 000 Menschen mit 5 mSv exponiert, wird unterstellt, daß 25 Personen erkranken.

Deterministische Wirkungen wurden auch nach Bestrahlung in utero beobachtet, doch liegen die Dosiswerte, mit denen Familienangehörige oder nahestehende Bekannte eventuell belastet werden, weit unter den Schwellenwerten für solche Wirkungen.

## II.2 Metabolismus des I-131

### *Stabiles Jod*

Jod ist ein wesentlicher Bestandteil der Schilddrüsenhormone und wird von der Schilddrüse sehr leicht aufgenommen. Normalerweise wird Jod dem Körper mit der Nahrung und dem Trinkwasser zugeführt, wobei in der Regel eine Normalkost kaum zu übermäßiger Jodaufnahme führen wird. Nach der Aufnahme wird Jod im Schilddrüsengewebe angereichert und zur Hormonsynthese verwendet. Bei zusätzlichem Jodangebot wird im Mittel etwa 25 % davon direkt durch die Schilddrüse aufgenommen. Die Menge ist stark von der normalen Tagesaufnahme über die Nahrung abhängig. Bei niedriger Tageszufuhr kann die Aufnahme ohne weiteres 50 % erreichen, bei hoher Tageszufuhr nur etwa 5 bis 10 %. Der Rest wird rasch innerhalb einiger Tage vorwiegend im Urin, aber auch in anderen Exkretionen wie Stuhl, Schweiß, Speichel und Atem ausgeschieden. Das von der Schilddrüse genutzte Jod wird langsam von den Hormonen in die Körperflüssigkeiten freigesetzt und kann wieder in Umlauf gehen. Es wird schließlich innerhalb einiger Monate aus dem Körper ausgeschieden.

### *Radioaktives Jod*

Da der Körper nicht zwischen stabilem und radioaktivem Jod unterscheidet, verhält sich I-131 in der gleichen Art und Weise wie stabiles Jod, d. h. ein großer Teil der zugeführten Menge wird innerhalb 24 bis 48 Stunden in der Schilddrüse angereichert. In der anfänglichen Retentions- und Rezirkulationsphase des radioaktiven Jods im Körper bestrahlt es das Schilddrüsengewebe und führt zum Absterben von Tumorzellen bei Schilddrüsenkrebs bzw. eines großen Teils normaler Schilddrüsenzellen bei gutartigen Schilddrüsenerkrankungen.

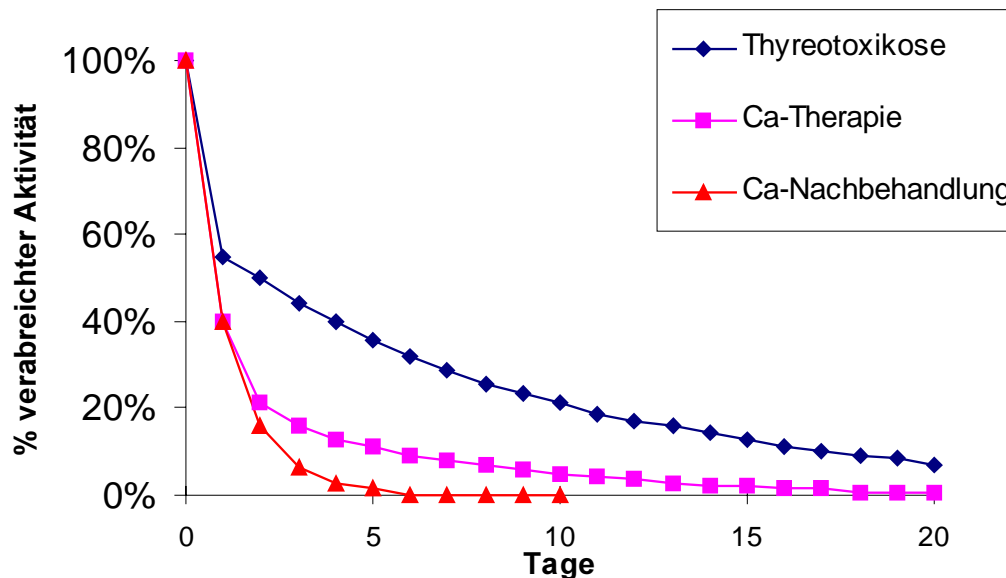
Die physikalische Halbwertszeit des radioaktiven Jods beträgt etwa 8 Tage. Dies bedeutet, daß die Hälfte der radioaktiven Jodmenge innerhalb von 8 Tagen zerfällt. Das Hauptzerfallsprodukt ist Xenon-131, das rasch aus dem Körper ausgeschieden wird. Außerdem verlieren geschädigte Schilddrüsenzellen ihre Fähigkeit, Jod zu verwenden, so daß dieses Jod wieder ins Blut freigesetzt und schließlich ausgeschieden wird. Radioaktives Jod wird somit aus dem Körper verhältnismäßig rasch entweder durch radioaktiven Zerfall oder über den Stoffwechsel ausgeschieden. Wie rasch die Gesamtmenge radioaktiven Jods auf die Hälfte ihres Ausgangswerts zurückgeht<sup>4</sup>, richtet sich nach der jeweiligen Erkrankung und beträgt zwischen 1 Tag bei Schilddrüsenkrebs und totaler Ablation des Schilddrüsengewebes und 7 Tagen bei Patienten mit euthyreoter Struma. Bei Hyperthyreose liegt die effektive Halbwertszeit bei 4-5 Tagen.

Abb. II.1 zeigt I-131-Ausscheidungskurven bei Thyreotoxikose, Krebstherapie und Krebsnachbehandlung. Die Graphik zeigt die unterschiedliche Exkretionsrate und die entsprechende Retention im Körper in den 20 Tagen nach der Verabreichung.

---

4. Sog. effektive Halbwertszeit. Diese beruht auf der physikalischen Halbwertszeit und der vom Metabolismus abhängigen biologischen Halbwertszeit.

## I-131-Ausscheidungskurven



**Abb. II.1** I-131-Ausscheidungskurven in Prozent verabreichter Aktivität bei Thyreotoxikose, Krebstherapie und Krebsnachbehandlung (Metastasen oder Wiederauftreten) [Hil91] und [Bar96]

### II.2.1 Mechanismus der Radiojodtherapie

Wegen der Fähigkeit der Schilddrüsenzellen, Jod aufzunehmen, können verschiedene Schilddrüsenerkrankungen mit radioaktivem Jod therapiert werden, insbesondere Hyperthyreose und Schilddrüsenkrebs und in einigen Fällen auch die euthyreote Struma.

#### II.2.1.1 Hyperthyreose

Die Radiojodtherapie der Hyperthyreose beruht auf der Jod-131-Aufnahme hyperaktiver Schilddrüsenzellen und der Schädigung bzw. Zerstörung dieser Zellen durch  $\beta$ -Strahlung. Dies führt zum Absterben funktionierender Schilddrüsenzellen und damit zur Normalisierung der Schilddrüsenfunktion, u. U. sogar zur Schilddrüsenunterfunktion. Bei dieser Therapie liegt die verabreichte Aktivität in der Regel unter 1000 MBqI-131.

Die Aufnahme von Jod durch die hyperaktive Schilddrüse beträgt je nach dem Grad der Hyperfunktion und der normalen täglichen Jodzufuhr mit der Nahrung 50 - 70 %. Die zur Behandlung benötigte Strahlendosis der Schilddrüse richtet sich nach dem Grad der Hyperthyreose und kann um Größenordnungen schwanken.

Wiederholte Verabreichungen kleinerer Aktivitäten (100 MBq) wirken sich für den Patienten nicht positiv aus und können zur unzureichenden Behandlung der Hyperthyreose führen. Zudem muß bei der fraktionierten Therapie die gesamte verabreichte Aktivität zur Erzielung des gewünschten Effekts erhöht werden, was zu höheren kumulativen Dosen für Patient und Familien- und Bekanntenkreis führt. Die fraktionierte Therapie, die gelegentlich zur Umgehung des Klinikaufenthalts praktiziert wird, ist daher nicht zu rechtfertigen.



### II.2.1.2 Euthyreote Struma

Gelegentlich ist die Struma (Kropfbildung) euthyreot, d. h. die Schilddrüse ist bei nach klinischen und biologischen Parametern normaler Funktion vergrößert. Solche Kropfbildungen können aber andere Organe oder Gewebe verdrängen. Eine mögliche Therapie ist die Volumenreduzierung des Schilddrüsengewebes mit radioaktivem Jod. Allerdings können dabei wegen des hohen Schilddrüsenvolumens hohe Aktivitätswerte bis 3000 MBq I-131 notwendig sein. Bei erfolgreicher Therapie kann eine Operation vermieden werden.

### II.2.1.3 Schilddrüsenkarzinom

Beim Schilddrüsenkarzinom ist zunächst die Operation die Therapie der Wahl. Allerdings ist die vollständige Entfernung sämtlichen Krebsgewebes vielfach nicht möglich und es können sich Metastasen entwickeln. Deshalb schließt sich an die Operation in der Regel eine Radiojodtherapie an, um die restlichen Krebszellen abzutöten.

Schilddrüsenkrebszellen verlieren zum Teil ihre Fähigkeit zur Jodaufnahme und auch der Verwertungsprozeß ist beeinträchtigt. Dies hat zur Folge, daß die Jodaufnahme in Schilddrüsenkrebszellen niedriger ist als in normalem Schilddrüsengewebe. In einigen Mitgliedstaaten wird nach chirurgischer Entfernung des bösartigen Schilddrüsengewebes eine Anfangsaktivität von etwa 3000 MBq zur Beseitigung des Schilddrüsenrestgewebes verabreicht. Eine sehr viel höhere Dosis – bis 8000 MBq I-131 – wird dann zur Behandlung etwaiger Metastasen benötigt. Bleibt nach der Operation kein normales Restgewebe mehr übrig, sind aber Metastasen vorhanden, werden unverzüglich hohe Aktivitäten verabreicht. In beiden Fällen kann eine wiederholte Therapie erforderlich sein.

Da nur eine geringe Menge Schilddrüsengewebe nach der Operation zurückbleibt und die Speicherfähigkeit entsprechend beeinträchtigt ist, wird nur ein geringer Teil der verabreichten Dosis aufgenommen. In Fällen, in denen das Schilddrüsen- bzw. Tumorgewebe das Jod nicht anreichert, wird normalerweise etwa 80 % der verabreichten Dosis innerhalb von 48 Stunden ausgeschieden (siehe Abb. II.1). Werden zur Behandlung des Schilddrüsenkarzinoms 5000 MBq verabreicht, beträgt die Restaktivität im Patienten nach 48 Stunden weniger als 1000 MBq und nach 72 Stunden 750 MBq. Bei Krebspatienten mit großer Tumormasse dauert die Ausscheidung allerdings sehr viel länger.

## II.3 Strahlenexposition von Angehörigen, Bekannten und Dritten

Beträgt die (Rest-) Aktivität bei einem in den häuslichen Bereich entlassenen Patienten 400 MBq I-131 oder weniger, dürfte die Belastung von Familie und Bekannten bei sorgfältiger Beachtung der ihnen erteilten Anweisungen fast durchweg unter 1 mSv liegen (siehe Kapitel 5).

Es lassen sich hier sieben wichtige Belastungspfade für die Exposition von Familienangehörigen und Bekannten (medizinische Expositionen) bzw. Dritten, etwa Taxifahrer, Arbeitskollegen, Passanten usw. (Exposition der Bevölkerung) unterscheiden:

- 1 externe Bestrahlung von Personen in der Nähe des Patienten
- 2 interne Kontamination von Personen in der Nähe des Patienten durch Inhalation des vom Patienten ausgeatmeten Jod-131
- 3 interne Kontamination von Personen in der Nähe des Patienten durch ausgeschiedenes Jod-131 über direkten Kontakt, Inhalation oder Ingestion
- 4 interne Kontamination Dritter durch radioaktives Jod aus Abwasser oder direkten Ableitungen ins Oberflächenwasser

- 5 externe Bestrahlung Dritter in Notfällen bei dringenden Operationen oder Therapien des Patienten
- 6 interne Kontamination Dritter durch Asche des eingeäscherten Verstorbenen
- 7 externe Bestrahlung Dritter bei Autopsie bzw. Aufbahrung, Bestattung oder Einäscherung des Verstorbenen.

Über die Belastungspfade 1 und 7 können relativ hohe Dosen verursacht werden. Der Belastungspfad 2 wird nicht immer beachtet, kann aber eine nicht unerhebliche Dosis verursachen, nicht nur für Personen in unmittelbarer Nähe des Patienten, sondern für alle im gleichen Raum anwesenden Personen. Eine gute Belüftung kann hier nützlich sein. Unter normalen Umständen bei nicht inkontinentem Patienten, der beim Wasserlassen keinen Urin verspritzt, verursacht der Pfad 3 Dosen von etwa zwei Größenordnungen unterhalb der Belastung aus Pfad 1 oder 7; ansonsten ist auch dieser Belastungspfad bedenklich. Da Jod-131 eine physikalische Halbwertszeit von 8 Tagen hat, ist der Pfad 4 vernachlässigbar. Da durch Pfad 5 eine relativ hohe Dosis verursacht werden könnte, ist bei Eintreten dieser Situation der verantwortliche Strahlenschutzexperte hinzuzuziehen. Pfad 6 verursacht keine nennenswerte Dosis, da fast das gesamte Jod in der Luft verteilt wird. Die Einäscherung ist daher in der Regel nicht bedenklich.

Die direkte externe Strahlung durch den Patienten und die Ausatmung von I-131 schließlich dürften in den meisten Fällen mögliche Quellen einer signifikanten Strahlenexposition anderer Personen darstellen. Diese Expositionspfade sollten verhindert, reduziert bzw. soweit wie möglich kontrolliert werden.

Zur Dosisberechnung nach Jodaufnahme können die Dosisumrechnungskoeffizienten in Tabelle II.1 dienen.

**Tabelle II.1** Dosisumrechnungskoeffizienten in Sv/Bq für Inhalation und Ingestion, nach ICRP-Veröffentlichung 72 [ICR96]

Altersgruppe	Inhalation [Sv/Bq]	Ingestion [Sv/Bq]
< 1 Jahr	$7,2 \times 10^{-8}$	$1,8 \times 10^{-7}$
1 - 2 Jahre	$7,2 \times 10^{-8}$	$1,8 \times 10^{-7}$
2 - 7 Jahre	$3,7 \times 10^{-8}$	$1,0 \times 10^{-7}$
7 - 12 Jahre	$1,9 \times 10^{-8}$	$5,2 \times 10^{-8}$
12 - 17 Jahre	$1,1 \times 10^{-8}$	$3,4 \times 10^{-8}$
Erwachsene	$7,4 \times 10^{-9}$	$2,2 \times 10^{-8}$

Tabelle II.2 enthält einige ungefähre Umrechnungen für die maximale kumulative externe Effektivdosis bei durch radiojodtherapierte Patienten belasteten Personen; dabei wird der Höchstwert zeitlich von der Entlassung des Patienten aus dem Krankenhaus bis zum unendlichen Zerfall des Radiojods akkumuliert. Der Höchstwert unterstellt, daß sich die durch den Patienten belastete Person jederzeit Tag und Nacht in 1 m Abstand zum Patienten – und zwar diesem direkt gegenüber – aufhält. Im wirklichen Leben ist das normalerweise nicht der Fall.

**Tabelle II.2** Maximale kumulative externe Effektivdosis [mSv] für andere Personen\* in 1 m Abstand von Jodtherapiepatienten in Abhängigkeit von der effektiven Halbwertszeit des Jods im Körper des Patienten. Beim Höchstwert wird unterstellt, daß sich die durch den Patienten belastete Person Tag und Nacht in 1 m Abstand zum Patienten – und zwar diesem direkt gegenüber - aufhält.

Effektive Dosisleistung Im Abstand von 1 m*** [ $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ ]	Geschätzt (Rest-) Aktivität im Körper ** [MBq]	Maximale kumulative externe Effektivdosis für andere Personen in Abhängigkeit von der effektiven Halbwertszeit des im Körper des Patienten verbleibenden I-131		
		50 h	100 h	150 h
		mSv	mSv	mSv
10	200	0,7	1,5	2,3
20	400	1,5	3,0	4,5
40	800	3,0	6,1	9,0

\* Die entsprechenden AP-Werte für Kinder liegen um einen Faktor von etwa 1,1 höher (ICRP-74) [ICR96]

\*\* Entweder verabreichte Aktivität bei einem ambulanten Patienten oder Restaktivität bei Entlassung eines stationären Patienten. Im ersteren Fall gibt es zwei Exkretionsphasen mit unterschiedlicher effektiver Halbwertszeit

\*\*\* Einige Dosimeter registrieren die Luft-Kermarate in Gy/h. Hier kann die Luft-Kermarate gleichgesetzt werden mit der effektiven Dosisleistung.

Grob gesprochen lassen sich Personen, die mit einem Patienten in Kontakt kommen können, in zwei Gruppen unterteilen, nämlich Familienangehörige/ nahestehende Bekannte und dritte Personen. Die Gruppe "Familienangehörige und nahestehende Bekannte" einschließlich Besucher läßt sich in 6 weitere Kategorien unterteilen: Schwangere, Kinder bis zu 2 Jahren, Kinder von 3 bis 10 Jahren, Partner, Partner über 60 Jahren und sonstige Personen.

Diese Kategorien werden deswegen gewählt, weil (i) ungeborene Kinder und Kinder bis 10 Jahren strahlenempfindlicher gegenüber einer Krebsinduzierung sind, (ii) Kleinkinder bis etwa 2 Jahre öfter engen Körperkontakt mit ihren Eltern haben und (iii) bei Menschen über etwa 60 Jahren die Manifestation einer Krebserkrankung durch ionisierende Strahlung unwahrscheinlicher ist. Diese Unterschiede sind bei der Erteilung entsprechender Verhaltensmaßnahmen besonders wichtig.

### II.3.1 Dosisschätzungen für Familienangehörige und nahestehende Bekannte

#### II.3.1.1 Hyperthyreosebehandlung

Geschätzte Mindest-, Höchst- und Durchschnittsdosen werden in der Literatur anhand von Messungen oder Berechnungen der Strahlenexposition von Personen in der Nähe therapierter Hyperthyreosepatienten angegeben (Bertil Arvidsson [Arv96], Thomson und Harding [Tho95]) und O'Doherty [ODO94].

Die Tabelle IV.1 in Anhang IV zeigt, daß die Dosen durch Restaktivitäten (Spalte D) generell um etwa einen Faktor zwei höher sind als die, die durch die gleiche Menge kürzlich verabreichter Aktivität verursacht wird (Spalte B). Tabelle IV.2 in Anhang IV enthält weitere Daten aus der gleichen Quelle. Für die Zwecke dieser Broschüre wurden die Dosen in dieser Tabelle auf

Restaktivitäten im Körper von 400 MBq zum Entlassungszeitpunkt bzw. – bei ambulanten Patienten – auf 400 MBq Restaktivität anhand eines Faktors 2 aus Tabelle IV.1 normiert.

Anhand der obgengenannten Werte läßt sich folgendes feststellen:

- Wurden keine Beschränkungen vorgegeben (etwa Abstand halten), schwankten die Dosen von 20 bis weit unter 1 mSv.
- Bei Befolgung der vorgeschlagenen Anweisungen übersteigen die Dosen in der gesamten Zeit nach der Entlassung nur selten 1 mSv.

### *II.3.1.2 Schilddrüsenkarzinomtherapie*

Die Entlassungsrichtwerte in den Mitgliedstaaten beruhen auf Restaktivitäten, die anhand der Luft-Keramaraten geschätzt werden. Nach der Schilddrüsenkarzinomtherapie schwanken diese Werte in 1 m Abstand von jeder Körperstelle von 5 - 40  $\mu\text{Sv/h}$  (siehe Kapitel 5). Für diese Therapien sind keine Literaturangaben zu den gemessenen Strahlenexpositionen von Personen im häuslichen Bereich nach der Entlassung des Patienten aus dem Krankenhaus verfügbar. Die errechneten Dosen für Familienangehörige und nahestehende Bekannte hängen von der benutzten Methode und von Annahmen zum Verhalten ab. Beekhuis et al [Bee92] haben errechnet, daß bei einer Restaktivität von 400 MBq im Körper zum Entlassungszeitpunkt eine Person, die sich ständig im Abstand von 1 m zum Patienten aufhält, eine Gesamtdosis von rund 5 mSv erhalten könnte. Diese Dosis geht um einen Faktor von mindestens 5 bis 10 bei Kindern bzw. dritten Personen zurück, wenn realistischeres Verhalten zugrundegelegt wird.

Die Expositionen anderer Personen infolge einer bestimmten Restaktivität bei einem wegen eines Schilddrüsenkarzinoms therapierten entlassenen stationären Patienten decken sich nicht unbedingt mit den Dosen, die einer gleichen verabreichten Aktivität bei einem wegen Hyperthyreose therapierten ambulanten Patienten entsprechen. Dies läßt sich damit erklären, daß die Phase der raschen Exkretion im ersteren Fall vorüber ist, bevor der Patient die Klinik verläßt, sowie dadurch, daß die Ausscheidungsraten in der langsamen Phase differieren (siehe Abb. II.1).

### **III. DOSIMETRISCHE ASPEKTE DER RADIOJODTHERAPIE**

#### **III.1 Exposition anderer Personen durch harte Strahlung von I-131 im Körper von Patienten**

Die von dem I-131 im Körper des Patienten stammenden harten Gammastrahlen können bei den sich in der Nähe des Patienten aufhaltenden Personen externe Expositionen verursachen. Die externe Dosisleistung läßt sich mit einer Ionisationskammer messen und der Meßwert in eine Äquivalent-Dosisleistung zu dem jeweiligen Zeitpunkt umrechnen. Als gemessene Dosisleistung wird in der Regel der höchste Anzeigewert im Bereich der größten Aufnahme beim Patienten zugrunde gelegt. Bei einem Thyreotoxikosepatienten wird dies normalerweise die Schilddrüse sein, kann aber bei einem wegen Schilddrüsenmetastasen behandelten Patienten auch an einer anderen Stelle im Körper sein.

Ist eine Messung nicht möglich, kann eine Obergrenze der externen Dosisleistung geschätzt werden, und zwar anhand der erwarteten Restaktivität im Patienten zu einem bestimmten Zeitpunkt, wobei  $66 \text{ m}^2 \mu\text{Sv h}^{-1} \text{GBq}^{-1}$  als Dosisleistungskonstante einer Punktquelle für I-131 herangezogen wird. Diese Konstante liefert die Umgebungsäquivalentdosis in 1 m Abstand von einer I-131-Punktquelle mit einer Aktivität von 1 GBq. In der Praxis ist der aus der Punktquelle errechnete Wert höher als der tatsächliche Wert, da die Quelle diffuser ist und im Patienten eine gewisse Abschwächung eintritt. Mit der Umgebungsäquivalentdosis soll die effektive Dosis für eine Vielzahl von Einzelfällen abgeschätzt werden.

#### **III.2 Patientenenergiedosen**

Die Patientenenergiedosis richtet sich nach der Aktivität des verabreichten Radionuklids, seinen physikalischen (Art und Energie der Emissionen und physikalische Halbwertszeit) und chemischen Eigenschaften sowie der Pathologie des Patienten (die für die Verteilung und Retention des radioaktiven Materials im Körper ausschlaggebend ist).

#### **III.3 Organenergiedosis**

Jod-131 emittiert bei jedem Zerfallsakt sowohl Betateilchen als auch Gammastrahlung. Die Betateilchen sind sogenannte nichtdurchdringende Partikel, die ihre Energie in einer relativ kurzen Wegstrecke im menschlichen Gewebe ablagern. Gammastrahlung ist indirekt ionisierend und stärker durchdringend, doch lagern die erzeugten Sekundärelektronen ihre Energie ebenfalls in einer kurzen Wegstrecke ab. Diese Energieablagerungen verursachen in den Organen, in denen das Radionuklid lokalisiert ist, und in den benachbarten Organen im Körper des Patienten entsprechende Energiedosen.

Obwohl sich Größenordnung und Verteilung der von offenen Quellen abgegebenen internen Dosis nicht genau bestimmen lassen, haben Vergleiche experimenteller und errechneter Energiedosen eine Parallelität im Bereich 20 % bis 60 % gezeigt, was zumindest für Strahlenschutz Zwecke ausreicht. (ICRP-53) [ICR87].

Beispiele für die Energiedosis in verschiedenen Organen eines Patienten bei  $^{131}\text{I}$ -Verabreichung als Natriumjodid (NaI) enthält Tabelle III.1. Dabei wird ein vergleichsweise einfaches Modell für zwei verschiedene Prozentsätze der Anfangsaufnahme in der Schilddrüse unterstellt [ICRP 53]. Die Energiedosis je Aktivitätseinheit für die Schilddrüse ist fett gedruckt. Nach Tabelle II.2 läge die Schilddrüsendosis bei einem erwachsenen Thyreotoxikosepatienten bei etwa 300 Gy, wenn eine 55 %ige Aufnahme einer verabreichten Aktivität von 400 MBq bei einer 20-g-Schilddrüse angenommen wird. Berücksichtigt man die geringfügig reduzierte effektive Halbwertszeit bei Hyperthyreosepatienten, liegt diese Dosis sogar noch etwas darunter.

**Tabelle III.1** Beispiele für die Energiedosis in mGy/MBq in verschiedenen Organen je Aktivitätseinheit  $\text{Na}^{131}\text{I}$  bei Verabreichung an normale Erwachsene mit einer 20-g-Schilddrüse [ICRP 53] (ICR87) in Abhängigkeit von der Aufnahme

<b>Organ</b>	<b>15 % Aufnahme</b>	<b>55 % Aufnahme</b>
Blasenwand	5.2E-01	2.9E-01
Brust	4.3E-02	9.1E-02
Magenwand	4.6E-01	4.6E-01
Dünndarm	2.8E-01	2.8E-01
Lunge	5.3E-02	1.3E-01
Ovarien	4.3E-02	4.1E-02
Rotes Knochenmark	5.4E-02	1.2E-01
Hoden	2.8E-02	2.6E-02
<b>Schilddrüse</b>	<b>2.1E+02</b>	<b>7.9E+02</b>

#### IV. ERRECHNETE UND GEMESSENE PERSONENDOSEN IN DER NÄHE VON HYPERTHYREOSEPATIENTEN

Geschätzte Mindest-, Höchst- und Durchschnittsdosen werden in der Literatur anhand von Messungen oder Berechnungen der Strahlenexposition von Personen in der Nähe therapierter Hyperthyreosepatienten angegeben (Bertil Arvidsson [*Arv96*], Thomson und Harding [*Tho95*]) und O'Doherty [*ODo94*]).

Wie die Tabelle IV.1 zeigt, sind die Dosen durch Restaktivitäten (Spalte D) generell um etwa einen Faktor zwei höher als die Dosen durch die gleiche Menge kürzlich verabreichter Aktivität (Spalte B). Tabelle IV.2 enthält weitere Daten aus der gleichen Quelle. In dieser Broschüre wurden die Dosisangaben in der Tabelle auf Restaktivitäten im Körper von 400 MBq zum Entlassungszeitpunkt bzw. - bei ambulanten Patienten - auf 400 MBq Restaktivität anhand eines Faktors 2 normiert. Da die Dosen aufnahme- und retentionsabhängig sind, handelt es sich hier nur um Näherungswerte.

Tabelle IV.2 zeigt, daß die Mittelwerte in Spalte A bei geringen Beschränkungen im Verhalten der Patienten etwa den Mittelwerten in Spalte D mit größeren Beschränkungen entsprechen. Die Höchstwerte (bei geringen Beschränkungen) in Spalte B kommen ebenfalls den errechneten Höchstwerten ohne Beschränkungen in Spalte E nahe.

Die gemessenen Mittelwerte bei geringen Beschränkungen sind wahrscheinlich das Ergebnis der „normalen“ Verhaltensweise von Menschen. Wie allerdings die Spalte B zeigt, kann besonderes Verhalten sehr viel höhere Dosen verursachen.

Aus diesem Grund sollten bei den Anweisungen die Höchstwerte in Spalte B und E zugrunde gelegt werden.

**Tabelle IV.1** Gesamtdosen durch verabreichte (Spalten A und B) bzw. Restaktivitäten (Spalten C und D) von 400 MBq I-131, hochgerechnet von Messungen für 1 Woche. Die Patienten wurden über die wichtigsten zu treffenden Vorkehrungen aufgeklärt. Alle Werte sind gerundet und auf eine verabreichte bzw. Restaktivität zum Zeitpunkt der Entlassung von 400 MBq normiert (Bertil Arvidsson [Arv96])

Aus Messungen für 1 Woche hochgerechnete Dosen [mSv]

Bei größeren Beschränkungen für eine Woche [Arv96]

		Verabreichte Aktivität von 400 MBq		Restaktivität von 400 MBq	
		Bereich	Mittel	Bereich	Mittel
Exponierte Personen		A	B	C	D
Kleinkinder	0-2 J	0,6 - 0,9	0,7	0,8 - 1,6	1,3
Kinder	3-10 J	0,1 - 1,5	0,3	0,2 - 4,9	0,6
Partner	< 60 J	0,3 - 3,1	0,7	0,7 - 5,6	1,4
	> 60 J	1,4 - 1,5	1,4	2,0 - 3,1	2,5
Andere Erwachsene		0,2 - 0,5	0,3	0,4 - 1,0	0,6



**Tabelle IV.2** Gemessene und errechnete Gesamtdosen aus Verabreichung von I-131, normiert auf 400 MBq Restaktivitäten (Spalten D, E und F), hochgerechnet aus Messungen über 2 Monate, 1 Woche oder ins Unendliche berechnet. Alle Werte sind gerundet und auf eine verabreichte bzw. Restaktivität zum Zeitpunkt der Entlassung von 400 MBq normiert (Thomson und Harding [Tho95], O'Doherty [ODo94] und Bertil Arvidsson [Arv96])

	Mittel-/Höchst Dosen <b>hochgerechnet</b> aus Messungen bis 2 Monate [Tho95]		Dosen <b>hochgerechnet</b> aus Messungen für 1 Woche <sup>b</sup> [Arv96]		Dosen ins Unendliche <b>berechnet</b> [ODo94]
	<b>Mit geringen Beschränkungen<sup>d</sup></b>		<b>Mit größeren Beschränkungen</b> für eine Woche		<b>Ohne Beschränkungen</b>
	Ausgehend von 400 MBq Restaktivität [bei Annahme 50 % iger Retention]		Restaktivität 400 MBq		Ausgehend von 400 MBq Restaktivität <sup>a</sup>
	[mSv]		[mSv]		[mSv]
	Mittel	Max <sup>c</sup>	Bereich	Mittel	
Exponierte Personen	A	B	C	D	E
Kleinkinder 0-2 J	2	20	0,8 - 1,6	1,3	20 <sup>c</sup>
Kinder 3-10 J	1,0	8	0,2 - 4,9	0,6	6-11,5
Partner < 60 J	8	24	0,7 - 5,6	1,4	18,5
>60 J			2,0 - 3,1	2,5	
Andere Erwachsene	2	6	0,4 - 1,0	0,6	2,2

Fußnoten siehe nächste Seite

## Fußnoten zu Tabelle IV.2

- a Verabreichte Gesamtdosis 600 MBq bei 66 %iger Retention, hier gleichgesetzt mit 400 MBq Restaktivität
- b Bei Ausdehnung der Beschränkungen bis zum Verschwinden der gesamten Aktivität im Körper ändern sich die Zahlen außer bei Kleinkindern nicht wesentlich (Mittel 0,4 mSv)
- c Die geschätzte Dosis für ein während der „Behandlungszeit“ aus der Flasche ernährtes Kleinkind beträgt 5 bis 7 mSv bei einer verabreichten Aktivität von etwa 800 MBq unter der Annahme eines fünfstündigen engen Kontakts alle 24 Stunden.
- d Allgemeine Anweisungen wurden erteilt; das Ergebnis war normales Verhalten bei gelegentlicher Betreuung.
- e Max bedeutet, daß der angeführte Wert ein Ausreißer sein könnte

## ***Literaturnachweis***

- Arv96 Arvidsson Bertil; *Measurements of individual doses to persons living with patients treated with radioactive iodine, Sahlgrenska Hospital, Gothenburg*, Preliminary report EN/11/95/-505 10000.P00 (SV)
- Bar96 Barrington SF, Kettle AC, O'Doherty MJ, Wells OP, Domer EJR, Coakley AJ. *Radiation dose rates from patients receiving iodine-131 therapy for carcinoma of the thyroid*. Eur. J. Nucl. Med. 1996; **23**: 123-130
- Bee92 Beekhuis H, Broerse J, Claessens R, Delhez H, Noteboom J, V Rotterdam R, Zoetelief J. *Stralingsbelasting van leden van de bevolking als gevolg van medische toepassing van radiofarmaca: consequenties voor ontslagcriteria*. Publicatiereeks stralenbescherming Ministerie VROM, nr 1992/55, 1992
- ETA95 ETACRT (European Thyroid Association's Committee on radioiodine therapy in Thyrotoxicosis) 1995  
*Number of days for which thyrotoxicosis out-patients should take special precautions, according to the activity of radioiodine administration*
- Hil91 Hilditch TE, Connell JMC, Davies DL, Watson WS, Alexander WD. *Radiological Protection guidance for radioactive patients - new data for therapeutical I-131*, Nucl. Med Comm. 1991; **12**: 485-495
- ICR87 International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 53, *Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals*, Annals of the ICRP, 18, 1-4 (1987)
- ICR91 ....., ICRP Publication 60, *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, Annals of the ICRP, 21, 1-3 (1991)
- ICR96 ....., Publication 72, *Age-dependent Doses to members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients*; Annals of the ICRP, 26 1 (1996)
- ICR96 ....., ICRP Publication 74, *Conversion Coefficients for use in radiological protection against external radiation*, Annals of the ICRP, (in press) (1997)
- MIR75 MIRD-10, *Radionuclide decay schemes and nuclear parameters for use in radiation dose estimation*, MIRD Pamphlet No 10, (1975), Society of Nuclear Medicine, New York.
- Laz95 *Guidelines for the use of radioiodine in the management of hyperthyroidism*. Radioiodine Audit Subcommittee and the Research Unit of the Royal College of Physicians, summary by John H Lazarus. J Royal Coll Phys 1995; **29**: 464-469
- ODo93 O'Doherty MJ, Kettle AG, Eustance CNP, Mountford PJ, Coakley AJ; *Radiation Dose rates from adult patients receiving I-131 therapy for thyrotoxicosis*. Nucl Med Commun 1993; **14**: 160-168
- Tho95 Thomson WH and Harding LK; *Radiation protection issues associated with nuclear medicine out-patients*, Nucl Med Commun 1995, **16**: 879-892

## **KURZFASSUNG**

Sowohl die Grundnormenrichtlinie (96/29/EURATOM) als auch die Richtlinie über medizinische Expositionen (97/43/EURATOM) enthalten Erfordernisse für den Schutz von Personen, die außerhalb ihrer beruflichen Tätigkeit bei der Unterstützung und Betreuung von Patienten durch medizinische Expositionen belastet werden. In der vorliegenden Broschüre wird die Radiojodtherapie erörtert. Sie enthält physikalische Daten über das Radionuklid, seine Auswirkungen auf den Menschen und schlägt Verfahren zur Aufstellung von Dosisbeschränkungen für Angehörige und nahestehende Bekannte der therapierten Person und für Dritte vor. Außerdem liefert sie Ärzten Anhaltspunkte für die Therapie von Patienten mit I-131 und zeigt praktische Beispiele für die Erteilung entsprechender Verhaltensmaßnahmen für Patienten, Angehörige und Bekannte. Vier Anhänge enthalten detailliertere Informationen zu konkreten, im Haupttext erörterten Sachthemen.