

Abschlußbericht über das vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit geförderte Forschungsvorhaben St.Sch. 1126

**Inkorporationsüberwachung von beruflich strahlenexponiertem
Personal in der Nuklearmedizin**

Förderungsdauer: 01.01.1990 - 31.06.1994

Autoren: Dipl.- Phys. Monika Olthoff,
Prof. Dr. med. Chr.Reiners

Anschrift: Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin
der Universität -Gesamthochschule- Essen,
Hufelandstr. 55, D-45122 Essen

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. <u>Zielsetzung</u>	1
2. <u>Planung und zeitlicher Ablauf der Vorarbeiten für die Inkorporationsüberwachung des beruflich strahlenexponierten Personals</u>	2
2.1 Implementierung und Qualitätskontrolle der Hard- und Softwarekomponenten	2
2.2 Kalibration des Ganzkörperzählers	6
2.3 Maßnahmen zur Verbesserung der Kalibrierung des Ganzkörperzählers	8
3. <u>Inkorporationsüberwachung des beruflich strahlenexponierten Personals einer nuklearmedizinischen Klinik</u>	11
3.1 Zusammenfassung der Ergebnisse der Aktivitätsberechnungen	13
3.1.1 Ergebnisse für den Therapiebereich	15
3.1.2 Ergebnisse für den Diagnostikbereich	22
3.1.3 Zusammenfassung der Ergebnisse für die Bereiche Labor und Radiochemie, für die Raumpflegerinnen und für das technische Personal	28
4. <u>Dosisberechnungen</u>	31
4.1 Ergebnisse für den Therapiebereich	33
4.1.1 Ganzkörperdosis	33
4.1.2 Schilddrüsendosis	37
4.2 Ergebnisse für den Diagnostikbereich	40
4.2.1 Ganzkörperdosis	40
4.2.2 Schilddrüsendosis	42
4.3 Ganzkörper- und Schilddrüsen-Dosiswerte für das technische Personal, für die Raumpflegerinnen, sowie für die Bereiche Labor und Radiochemie	43
5. <u>Interne und externe Exposition für den Diagnostik- und Therapiebereich</u>	45
5.1 Therapiebereich	45
5.2 Diagnostikbereich	48
6. <u>Kritische Diskussion zur Inkorporationsüberwachung des beruflich strahlenexponierten Personals in der Nuklearmedizin</u>	50
6.1 Strahlenexposition im Therapiebereich	50
6.2 Strahlenexposition im Diagnostikbereich	55
6.3 Schlußfolgerungen zur Erfordernis einer regelmäßigen Inkorporationsüberwachung	58

***Abschlußbericht über das Forschungsvorhaben St.Sch. 1126
“Inkorporationsüberwachung von beruflich strahlenexponiertem Personal
in der Nuklearmedizin“
Förderungsdauer vom 01. Januar 1990 bis 31. Juni 1994***

1. Zielsetzung

Die Zielsetzung des Forschungsvorhabens war eine möglichst präzise Einschätzung der internen Strahlenexposition nach Inkorporation kurzlebiger Radionuklide und damit eine realistische Abschätzung der aus den Inkorporationsmessungen ermittelten Körper- und Schilddrüsendosiswerte. Als Zielgruppe dieser Untersuchung fungierte das strahlenexponierte Personal in der nuklearmedizinischen Diagnostik und Therapie sowie das der Nuklearmedizin angegliederte Personal der Radiochemie.

Zu dem Personenkreis gehörten Ärzte, MTRA's, Schwestern, das technische Personal, Raumpflegerinnen, Stationshilfen sowie Chemiker der Radiochemie; also ein Personenkreis, bei dem die Wahrscheinlichkeit einer Inkorporation radioaktiver Substanzen aufgrund des Umgangs mit offenen Radionukliden groß, aber unterschiedlich ist.

Die Aufgabenstellung des Forschungsvorhabens umfaßte die spektroskopische Erfassung von Inkorporationen radioaktiver Stoffe mit dem Ganzkörperzähler, die Berechnung der Körper- und Schilddrüsenaktivitätswerte aus den Inkorporationsspektren, sowie die Ermittlung der Dosiswerte nach Inkorporation radioaktiver Stoffe unter Annahme von Dosismodellen.

Bei der Bestimmung der Dosiswerte ist die Angabe des wahrscheinlichsten Zufuhrzeitpunktes notwendig, der jedoch aufgrund des Arbeitsablaufs nicht immer genau angegeben werden kann. Der unbekannte Zufuhrzeitpunkt kann bei der Berechnung der Dosis nach einer Inkorporation kurzlebiger Radionuklide zu einer Überschätzung der tatsächlichen inneren Strahlenexposition führen.

Um die Auswirkung von Inkorporationen kurzlebiger Radionuklide auf die Gesamtdosis beruflich strahlenexponierter Personen präziser zu bewerten, wurde in diesem Forschungsprojekt die Inkorporationsüberwachung des nuklearmedizinischen Personals in kurzen zeitlichen Abständen durchgeführt. In den Jahren 1990 und 1991 erfolgten die Kontrollen in wöchentlichen, in den Jahren 1992 bis 1994 in monatlichen Intervallen; eine Beobachtung von Inkorporationsverläufen radioaktiver Stoffe und demzufolge eine Abschätzung des wahrscheinlichsten Zufuhrzeitpunktes war somit möglich.

Die Kontrolle von Ganzkörper- und Schilddrüsen-Inkorporationen trägt ferner zur Klärung der Frage nach einer sinnvollen Inkorporationsüberwachung für das Personal in den Bereichen nuklearmedizinischer Diagnostik und Therapie bei.

2. Planung und zeitlicher Ablauf der Vorarbeiten für die Inkorporationsüberwachung des beruflich strahlenexponierten Personals

2.1 Implementierung und Qualitätskontrolle der Hard- und Softwarekomponenten

Mit dem Zuwendungsbescheid vom 08.12.1989 wurde das Forschungsvorhaben zunächst für den Zeitraum vom 01.11.1989 bis zum 31.12.1991 bewilligt. Anschlußförderungen erfolgten in den Jahren 1992 (Januar bis Dezember) und für den Zeitraum Januar 1993 bis 30. Juni 1994.

Nach Bewilligung des Projekts erfolgte eine gründliche Einarbeitung der für das Forschungsvorhaben eingestellten Physikerin Frau Olthoff in die Meßtechnik und in physikalische und medizinische Fragestellungen des Forschungsprojektes.

Durch regelmäßige Teilnahme an Sitzungen des Arbeitskreises Inkorporationsüberwachung des Fachverbandes für Strahlenschutz konnten physikalische Probleme und Fragestellungen - insbesondere auch solche der physikalischen Strahlenschutzkontrolle - diskutiert und gelöst und Anregungen zur Beurteilung der Ergebnisse der Inkorporationsmessungen gegeben werden.

Hardware

Für die Durchführung der Inkorporationsmessungen waren Umbau- und Modernisierungsmaßnahmen des Ganzkörperzählers der Essener Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin erforderlich. Hierzu wurden die vier vorhandenen, veralteten 4“*5“ NaI-Detektoren durch Detektoren gleicher Größenordnung ersetzt. Der Kristall und die Photomultipliertube (PMT) sind integral in einem chromplattierten Aluminiumgehäuse montiert. Die PMT`s sind zudem mit Mu-Metall gegen äußere Magnetfelder abgeschirmt. Ersetzt wurde außerdem die veraltete Auswertelektronik durch modernere Komponenten. Zusätzlich wurde der Essener Ganzkörperzähler mit einem n-type-Germanium-Detektor (Energiebereich von 5 keV bis 10 MeV, Efficiency 30%) und einem für die Messung der Schilddrüsen-Uptakes geeigneten Natriumjodid-Detektor mit den Kristallmaßen 1,5“*1“ ausgestattet.

Die Auswerte- und Analysekomponenten der Meßanlage bestehen aus dem Vielkanal-Impulshöhenanalysator S-95 der Firma Canberra mit angeschlossenen Monitor zur Beobachtung der Gammaspektren und einem COMPAQ-DESKPRO 386 Rechnersystem. An das Rechnersystem kann wahlweise ein NEC-P7 Matrixdrucker oder ein HP-Graphik-Plotter angeschlossen werden. Die nachfolgende Schemazeichnung (Siehe Abb.1) zeigt den Aufbau des Ganzkörperzählers mit den Elektronik- und Hardwarekomponenten

Der Austausch der veralteten Detektoren und elektronischen Bauelemente verzögerte sich aufgrund von Lieferproblemen bei der mit der Modernisierung beauftragten Firma Canberra, so daß mit der Neuinstallation des Essener Ganzkörperzählers erst im März 1990 begonnen werden konnte.

Bei der an die Aufbauphase anschließenden Erprobungsphase wurden erhebliche Mängel bei den gelieferten Komponenten festgestellt. So resultierten auftretende Systeminstabilitäten, welche Peaklagenverschiebungen eines Referenzpeaks im Spektrum zur Folge hatten, aus der nicht funktionsfähigen Kombination von Spektrum-Stabilisatoren und Impulsgenerator. Auch eine Modifizierung des Impulsgenerators brachte nicht die für eine effektive Spektroskopie erforderliche Systemstabilität. Der Impulsgenerator und die Stabilisatoren wurden aus der Meßkette entfernt, der Ganzkörperzähler also ohne Stabilisator-kette betrieben. Weitere technischen Probleme bereitete eine nicht ausreichende Kühlung der elektronischen Bauelemente, welche thermische Drifts zur Folge hatten. Ein nachträglicher Einbau einer zusätzlichen Lüftereinheit behob dieses Problem, führte jedoch zu unerwünschten Verzögerungen für den Beginn der Inkorporationsmessungen.

Trotz der obigen Maßnahmen zeigte sich bei weiteren Versuchsreihen zur Stabilität des Systems ein anormales Driftverhalten für jeden Detektor. Anstelle des Pulses als Referenz- und Beobachtungssignal wurde eine Cs-137-Quelle als Referenz genutzt und in aufwendigen Versuchsreihen das Signal und somit die Peaklage beobachtet. Demzufolge konnten Aussagen über das zeitliche Driftverhalten für jeden Detektor gemacht werden. Für relativ kurze Beobachtungszeiträume (2-7 Stunden) zeigte sich eine relativ stabile Kanallage (Peakverschiebungen 1-3 Kanäle), für längere Zeiträume jedoch wurden Kanalverschiebungen von 30 Kanälen registriert. Mögliche Fehlerquellen für eine Instabilität des Meßsystems, wie mechanische Einwirkungen auf die Detektoren, Schwankungen in der Hochspannung, störende Magnetfelder in der Umgebung der Detektoren oder Temperaturschwankungen in der Meßkammer konnten durch zeitaufwendige Versuchsreihen ausgeschlossen werden. Aufgrund der unzureichenden Meßgenauigkeit war ein Austausch der nicht funktionsfähigen Detektoren von der Firma Canberra vorgesehen. Nach Rücksprache mit Technikern der Firma Canberra waren minderwertige Photomultiplier für das Driftverhalten verantwortlich.

Trotz dieser erheblichen meßtechnischen Schwierigkeiten wurde mit der Kalibration des Ganzkörperzählers begonnen. Im Anschluß wurden ab August 1990 stichprobenartig Inkorporationsspektren des nuklearmedizinischen Personals aufgenommen. Hierzu war jedoch eine fortlaufende Kontrolle der Peaklagen erforderlich. Eine Driftkorrektur erfolgte bis zur endgültigen Installation über Regelung der Hochspannung, bzw. Verstärkereinstellung für jeden Detektor, wobei als Referenzsignal der Cs-137-Photopeak diente.

Der Austausch der nicht einwandfrei arbeitenden Detektorkomponenten erfolgte im Oktober 1990. In Zusammenarbeit mit Technikern der Firma Canberra wurden in umfangreichen Versuchsreihen die Komponenten auf ihre Funktionsfähigkeit getestet und die Stabilität des Meßsystems überprüft. Ergebnis dieser Testphase war ein stabil arbeitendes Meßsystem, bestehend aus den vier NaI-Detektoren und dem Germanium-Detektor. Ein anormales Driftverhalten zeigte bei diesen Versuchsreihen jedoch die ebenfalls ausgetauschte Schilddrüsensonde (Kanalverschiebungen bis max. 30 Kanäle); ein erneuter Austausch der Sonde war somit erforderlich. Versuchsreihen der Firma Canberra in Frankfurt bestätigten das Driftverhalten. Rücksprachen und Diskussionen mit dem Detektor-Zulieferer BICRON ergaben, daß wiederum minderwertige Photomultiplier für die Driftprobleme verantwortlich waren.

Bei den im November 1990 wieder aufgenommenen Inkorporationsmessungen tauchten erneut Probleme mit den gelieferten Systemkomponenten auf. Die Analysen der Inkorporationsspektren des Personals ergaben einen erhöhten K-40 Anteil. Bei den vorangegangenen Ganzkörperzählermessungen des Personals mit dem im März 1990 installierten Meßsystem wurde ein K-40-Aktivitätsanteil von ca. 3 kBq bis 6 kBq ermittelt; der im November beobachtete K-40-Anteil war um ca. 8 kBq höher. Nachfolgende Aufnahmen von Untergrundspektren mit abgeschirmten und nicht abgeschirmten Detektoren bestätigten einen K-40-Untergrundanteil von ca. 8 kBq, welcher eindeutig von den gelieferten Detektoren herrührte. Dieser nicht tolerierbare K-40-Anteil in den Inkorporationsspektren erschwerte den Nachweis geringer Mengen inkorporierter Aktivitätsanteile, so daß ein erneuter Austausch der vier NaI-Detektoren unvermeidlich war. Die Inkorporationskontrolle des nuklearmedizinischen Personals wurde trotz dieser meßtechnischen Schwierigkeiten fortgeführt. Probleme der Zuliefererfirma BICRON, geeignete und fehlerfrei arbeitende Natriumjodid-Detektoren zu liefern, führte dazu, daß der Austausch der Detektoren erst im September/Okttober 1991 erfolgte. Bei dieser Installation wurden außerdem Kabelverbindungen erneuert, da defekte Steckerverbindungen gestückelter Verbindungskabel im Kabelstrang der Meßelektronik zu einem erhöhten Rauschanteil, bzw. geringen Kanalverschiebungen des Referenzsignals führten. In Zusammenarbeit mit Technikern der Firma Canberra wurden in umfangreichen Testreihen die Kurzzeit- bzw. Langzeitstabilität des Meßsystems untersucht. Die Versuchsreihen ergaben ein stabil arbeitendes System. Aufgenommene Untergrundspektren zeigten einen geringen, tolerierbaren K-40 Eigenaktivitätsanteil für jeden NaI-Detektor (1,7 kBq für den Summenpeak). Die Endabnahme des modernisierten Ganzkörperzählers der Essener Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin erfolgte im November 1991.

Software

Zur Auswertung der bei der Inkorporationsüberwachung des nuklearmedizinischen Personals aufgenommenen Inkorporationsspektren und für die Bestimmung der Dosiswerte standen kommerzielle Programmpakete zur Verfügung.

Die Auswertung der Inkorporationsspektren für jede überwachte Person - speziell die Berechnung der Ganzkörper- und Schilddrüsen-Aktivitätswerte - erfolgte mit Hilfe des Analyseprogramms "ABACOS" der Firma Canberra.

Das von Herrn Dr. K.Henrichs entwickelte Programm "RETEX" wurde zur Ermittlung der Dosiswerte nach Inkorporation radioaktiver Stoffe verwendet. Es basiert auf den Dosismodellen und Retentionsdaten der ICRP 30.

Das Programm ABACOS zur Auswertung der Inkorporationsspektren wurde von der Firma Canberra auf den Auswerterechner installiert und zusammen mit den Hardwarekomponenten geliefert. Eine kurze Einweisung in das Analyseprogramm erfolgte im April 1990. Bei den Auswertungen der Inkorporationsspektren der im August 1990 aufgenommenen Inkorporationsüberwachung wurden strukturelle Fehler im Programm ABACOS nachgewiesen. Der Algorithmus zur Untergrundbestimmung für Spektren des Germaniumdetektors mußte der Meßkonfiguration angepaßt werden, da sich wiederholende Programmdurchläufe bei der Bestimmung des Untergrundes zu einem Programmabbruch führten. Zusätzliche Probleme zeigten sich beim Datentransfer der aufgenommenen Spektren vom Vielkanalanalysator in den Auswerterechner. Aufgrund nicht identifizierter Adressen wurden die Spektren nicht korrekt in die abgesetzten Speichereinheiten übertragen. Eine Überprüfung des automatischen Datentransfers in eine relationale Datenbank ergab außerdem, daß nur Teile der Analysedaten korrekt in die Datenbank transferiert wurden. Die o.g. Programmfehler wurden von der Firma Canberra behoben, wobei jedoch die häufigen Programmänderungen vor Ort zu nicht eingeplanten Verzögerungen des Ablaufs der Inkorporationsüberwachung führten. Modifizierte Versionen des Programms ABACOS wurden im Jahr 1991 implementiert und auf Anwendung getestet.

Bei einem von der Firma Canberra in Frankfurt organisierten BODY-COUNTER-SEMINAR wurde die verbesserte, amerikanische Version des Programms ABACOS vorgestellt, die den Anwendern zur Verfügung gestellt wurde. Diese Version wurde zusammen mit einem Auswerterechner als Austausch der nicht mehr eingesetzten Stabilisatoren von der Firma Canberra geliefert. Die amerikanische Version des Analyseprogramms konnte noch nicht als Ersatz für die angewendete deutsche ABACOS-Version eingesetzt, da sie noch nicht voll ausgetestet war.

2.2 Kalibration des Ganzkörperzählers

Für eine korrekte Interpretation der Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung strahlenexponierten Personals ist eine präzise und optimale Kalibration des Ganzkörperzählers erforderlich. Voraussetzung für eine optimale Kalibration ist jedoch ein stabil arbeitendes Meßsystem. Die zu Beginn des Forschungsvorhabens auftretenden erheblichen Systeminstabilitäten (siehe Kapitel Hardware) und der erhöhte K-40 Eigenaktivitätsanteil der Detektoren erschwerten die Durchführung der Inkorporations- bzw. Kalibrationsmessungen und führten zu unsicheren Meßergebnissen zu Beginn der Personalüberwachung. Aufgrund des anormalen Driftverhaltens der Detektorsysteme war eine Nachkorrektur der Kanallagen erforderlich; hierbei wurde der Cs-137-Photopeak als Referenzlinie verwendet und vor Beginn jeder Messreihe eine Überprüfung der Kanallagen mit der Caesium-Quelle vorgenommen. Um Fehlinterpretationen aufgrund der Detektor-Eigenaktivitätsanteile zu vermeiden, wurde täglich ein Kammeruntergrundspektrum aufgenommen; die Analyseergebnisse dieser Spektren wurden bei den Inkorporations- und Kalibrationsmessungen berücksichtigt.

Nach Beendigung der Neuinstallation und nach jedem Detektoraustausch (also insgesamt dreimal) war eine Neukalibration des Ganzkörperzählers erforderlich.

Da die Geometrie der Detektorsysteme sich entscheidend auf die Kalibration des Ganzkörperzählers auswirkt, wurden zur Realisierung einer optimalen Detektorstellung vor Beginn der Kalibrationsmessungen Iso-Count-Linien für unterschiedliche Detektorstellungen aufgenommen. Als Radionuklid wurde eine I-131-Punktquelle verwendet, welche in Abständen von 10 cm auf der Patientenliege verschoben und die Zählrate für jeden Detektor längs der Patientenliege aufgenommen wurde.

Voraussetzung für eine korrekte Interpretation der Inkorporationsmessungen, insbesondere für die Erkennung geringster Mengen inkorporierter Radionuklide und für die Berechnung der Ganzkörper- und Schilddrüsen-Aktivitätsdaten, sind korrekte Energie-Halbwertsbreiten- und Efficiency-Kalibrationen. Bei dem bisherigen Verfahren zur Kalibration des Ganzkörperzählers wurden 1- und 2- Liter-Polyäthylen-Flaschen verwendet, die in körperähnlicher Anordnung auf der Patientenliege des Ganzkörperzählers angeordnet wurden. Die Polyäthylenflaschen wurden in aufwendiger Pipettierarbeit mit einer Radionuklid-Mischlösung bekannter Aktivität und Konzentration (Nuklide: Co-57, Co-60, Cd-109 und Cs-137) gefüllt und somit eine homogene Aktivitätsverteilung vorausgesetzt. Zur Berücksichtigung unterschiedlicher Körpergewichte und -größen wurden Kalibrationsspektren für verschiedene Gewichtsklassen - von 30 kg bis 100 kg - in Intervallen von 10 kg aufgenommen.

Die Analyse der Spektren und die Bestimmung der Energie- Halbwertsbreiten- und Efficiency- Parameter erfolgte mit dem Programm ABACOS. Im Anschluß an die Parameterbestimmung wurden für einzelne Gewichtsklassen Testspektren aufgenommen und mit den zuvor berechneten Kalibrationsparametern analysiert. Ein Vergleich der aus den Testspektren errechneten Aktivitätswerte mit den theoretischen Aktivitätsdaten erlaubte Aussagen über die Güte der Kalibrationsparameter. Bei allen durchgeführten Kalibrationen stimmten die experimentell ermittelten Aktivitäten im Rahmen der Meßungenauigkeit mit den theoretischen Aktivitätswerten der Nuklide der Standardmischlösung überein. Bei der letzten Kalibration im Mai 1994 betrug die höchste Abweichung vom Referenzwert 5%, ansonsten lagen die Abweichungen zwischen $< 1\%$ und 2% von den Referenzwerten.

Für die Kalibration der Schilddrüsensonde wurden Kalibrationsspektren in Abhängigkeit von der Schilddrüsentiefe aufgenommen. Hierzu wurde ein speziell angefertigtes Plexiglas-Schilddrüsenphantom verwendet, welches die Simulation unterschiedlicher Schilddrüsentiefen (18 mm, 26 mm und 32 mm) ermöglicht.

Das Phantom wurde mit jeweils zwei Geometrie-Referenzstrahlern bestückt. Als Referenzstrahler wurden die Radionuklide I-125, I-131 und Ba-133 verwendet. Mit dem Programm ABACOS wurden, wie für die Natriumjodid- und Germaniumdetektorsysteme, die Energie- Halbwertsbreiten- und Efficiency-Parameter für die Schilddrüsensonde bestimmt. Als Referenz-Gewebetiefe wurde bei der Kalibration eine Schilddrüsentiefe von 18 mm angenommen. Aktivitätswerte, welche für verschiedene, von der Referenztiefe 18 mm abweichende Schilddrüsentiefen berechnet wurden, wurden bei der Auswertung der Inkorporationsspektren mit Korrekturfaktoren korrigiert. Diese Korrekturfaktoren wurden aus einem exponentiellen Fit der bei den Kalibrationsmessungen für ein Nuklid ermittelten Nettopeakflächen bei verschiedenen Phantomtiefen bestimmt.

Die Teilnahme an den von der GSF organisierten Schilddrüsen-Ringversuchen ermöglichte eine Überprüfung der Kalibrationsgüte und somit eine Qualitätskontrolle der Schilddrüsensonde. Die Ringuntersuchungen, bei denen in den Jahren 1990 bis 1992 unterschiedliche Radionuklide (I-125, I-131) als Testnuklide Verwendung fanden, wurden ebenfalls in Abhängigkeit von Schilddrüsentiefe und -volumen mit einem ähnlich konstruierten Schilddrüsenphantom durchgeführt. Die im Essener Ganzkörperzähler ermittelten Schilddrüsen-Aktivitätswerte zeigten eine gute Übereinstimmung mit denen von der GSF vorbestimmten Aktivitätsdaten (Abweichungen 1990: zwischen $< 1\%$ und 6%).

Die im Jahr 1992 durchgeführte in-vivo-Ringvergleichsmessung einer I-125 Inkorporation ergab eine innerhalb der Fehlergrenzen liegende Übereinstimmung mit dem von der GSF ermittelten Referenzwert.

2.3 Maßnahmen zur Verbesserung der Kalibrierung des Ganzkörperzählers

Das in diesem Forschungsprojekt verwendete Verfahren zur Kalibration eines Ganzkörperzählers, welches in Kapitel 2 und den vorhergehenden Zwischenberichten ausführlich beschrieben wurde, setzt eine homogene Aktivitätsverteilung voraus. Eine Berücksichtigung von verschiedenen Parametern, welche Einfluß auf die Güte der Kalibration und damit auf die Genauigkeit der Aktivitätsberechnung haben, ist bei der herkömmlichen Kalibrieremethode nicht möglich. Als Parameter sind hier beispielsweise individuelle Gewebedicken und Organtiefen sowie inhomogene Radionuklidverteilungen zu nennen.

Zur Optimierung der Kalibration wurde im Jahr 1993 die Firma Jochen Barry mit der Konstruktion eines Grundphantoms beauftragt, welches eine Überprüfung der Kalibration für drei Gewichtsklassen (60 kg, 70 kg, 80 kg) erlaubt. Das Phantom bietet außerdem die Möglichkeit einer Simulation inhomogener Aktivitätsverteilungen; eine Messung von Radionukliden, die im Körper inhomogen deponiert werden, ist damit realisierbar.

Die für die Gewichtsklassen 60 kg, 70 kg und 80 kg entsprechenden Körpergrößen, Körperlängen und Organmassen wurden der ICRP Publikation 23 entnommen.

Zur Realisierung des Phantoms wurde als gewebeäquivalentes Material Plexiglas verwendet. Der Rumpf wird durch eine Plexiglaswanne simuliert; er beinhaltet den Nacken, die Brust, die Arme und den Darmbereich. Die Wanne ist mit Wasser, bzw. Aktivitätslösung füllbar; das Volumen entspricht den den Rumpf bildenden Organmassen. Durch Variation des Füllstandes lassen sich die drei unterschiedlichen Körpergewichte realisieren.

Kopf, Ober- und Unterschenkel wurden aus Plexiglasrohren hergestellt; diese Plexiglasrohre sind ebenfalls mit Wasser, bzw. Aktivitätslösungen füllbar. Die strahlenbiologisch wichtigen Organe, wie Magen, Schilddrüse, Darm, Leber, Lunge und Nieren wurden als modifizierte Quader dargestellt, welche auf einer Plexiglasplatte, die in die Wanne eingebracht wird, befestigt werden. Die Volumina dieser Quader entsprechen den Organmassen. Die Platte ist in ihrer Höhe verstellbar, so daß für verschiedene Körpergewichte auch die unterschiedlichen Organtiefen bzw. Gewebedicken realisiert werden können. Durch Füllen der nachgebildeten Organe mit Wasser oder mit Lösungen bekannter Aktivität ist eine Simulation inhomogener Aktivitätsverteilungen möglich (siehe beigefügtes Photo des Phantoms).

Die Fertigstellung des Phantoms, die für Januar 1993 geplant war, verzögerte sich um etwa zwei Monate. Nach der Lieferung wurden die Phantomkomponenten auf ihre Dichtigkeit überprüft; hierzu wurden die Einzelteile mit Wasser gefüllt und über drei Wochen beobachtet. Die mittig gebogene Patientenliege des Ganzkörperzählers wurde zur sicheren Lagerung der Phantomkomponenten durch eine planare ersetzt.

Zunächst war eine erneute Kalibration des Ganzkörperzählers mit der bisher angewendeten Kalibrationsmethode vorgesehen. Hierzu wurden in aufwendiger Pipettierarbeit 1- bzw. 2-Liter Polyäthylenflaschen mit einer PTB - Mischlösung (Referenznuklide: Co-57, Co-60, Cd-109 und Cs-137) gefüllt und Kalibrationsmessungen für verschiedene Gewichtsklasse (30 kg bis 100 kg) durchgeführt. Anschließend wurden mit dem Programm ABACOS die zugehörigen Energie- Halbertsbreiten- und Efficiency-Parameter bestimmt.

Mit dem neu konzipierten Phantom war die Durchführung von Kalibrationsmessungen für die drei Gewichtsklassen mit homogener und inhomogener Aktivitätsverteilung unter gleichen experimentellen Voraussetzungen geplant. Diese zeitaufwendigen Kalibrationsmessungen konnten jedoch in den verbleibenden Monaten nicht mehr durchgeführt werden.

Durchgeführt wurden Phantommessungen in Abhängigkeit von der Organtiefe bzw. Gewebedicke mit Nukliden, die inhomogen im Körper deponiert werden. Hierzu wurden die Leber und der Magen volumenspezifisch mit der Gesamtaktivität von 14 kBq und der Restkörper mit Wasser gefüllt. Um den Einfluß der individuellen Parametern auf die Aktivitätsberechnung zu bestimmen, wurden die Organtiefe bzw. Gewebedicke, sowie die Körperlänge und das Körpergewicht variiert und für die Gewichtsklassen 60 kg und 80 kg Spektren aufgenommen. Die Spektren wurden mit den Kalibrationsparametern analysiert, welche mit dem herkömmlichen Verfahren ermittelt worden waren. Präzisere Angaben über die Genauigkeit der Aktivitätsberechnungen sind erst nach Kalibration des Ganzkörperzählers bei homogener, bzw. inhomogener Verteilung im neu konzipierten Phantom möglich. Über die Güte des konventionellen Kalibrationsverfahrens sind somit nur bedingt Aussagen möglich. Bei den beschriebenen Phantommessungen konnte jedoch ein Einfluß von verschiedenen Organtiefen bzw. Gewebedicken auf die Geometrie des Ganzkörperzählers und somit auf die Höhe der Aktivitätswerte beobachtet werden.

Die unterschiedlichen Organtiefen wurden durch zwei Positionen der Plexiglasplatte, auf der die Organe befestigt waren, simuliert. Als Positionen wurden die maximal tiefste Stellung - 2 cm Abstand von der untersten Kante der Platte zum Wannenboden - und die maximal höchste Position - 6 cm Abstand zum Wannenboden - der Platte in der Phantomwanne gewählt und für jeweils zwei Positionen Spektren für das 60 kg bzw. 80 kg Phantom aufgenommen.

Die Ergebnisse der Spektrenauswertung ergaben für beide Plattenpositionen unterschiedlich hohe Aktivitätswerte. In der obersten Plattenposition, also für eine geringere Organtiefe bzw. Gewebedicke bezogen auf den obersten, der Patientenliege am nächsten liegende Detektor, wurde ein Technetium-Aktivitätswert von 13,5 kBq für das 60 kg Phantom ermittelt. Die Auswertung des Spektrums, welches mit der untersten Stellung der Platte, also für eine größere Organtiefe bzw. Gewebedicke, aufgenommen wurde, ergab eine wesentlich niedrigere Aktivität von 4 kBq. Auch die anschließenden Messungen mit dem 80 kg Phantom zeigten unterschiedlich hohe Aktivitätswert für beide

Plattenpositionen, wobei die Aktivitätswerte jedoch einen geringeren Unterschied aufwiesen. Für die oberste Organposition wurde ein Aktivitätswert von 13 kBq, für die unterste ein Wert von 9 kBq errechnet. Diese geringeren Aktivitätsunterschiede sind auf die größere Wannenfüllhöhe beim 80 kg Phantom zurückzuführen. Bei einer Wasserfüllhöhe von 14 cm sind die Abstände der aktiven Organe zu den Detektoren, die sich unterhalb bzw. oberhalb der Patientenliege befinden und auf die der größte Bruchteil der emittierten Strahlung trifft, in beiden Plattenpositionen annähernd gleich. Dies bedeutet jedoch auch, daß die Wasserschichten (Gewebedicken), die die Strahlung durchdringen muß, und damit auch die Halbwertsschichtdicken (HWS) annähernd gleich sind, so daß Unterschiede in der Strahlungsabschwächung für beide Positionen sehr gering sind. Die HWS für Technetium beträgt in Wasser ca. 4 cm. Bei dem 60 kg Phantom zeigen sich bei der untersten Stellung der Platte aufgrund des geringeren Füllstandes von 9 cm verstärkt Strahlungsabsorptionen. Die Strahlung wird bei den Messungen in der obersten Position wesentlich weniger abgeschwächt; der Detektor oberhalb der Patientenliege absorbiert den größten Teil der emittierten Strahlung.

Aus den Phantommessungen läßt sich ein Einfluß der unterschiedlichen Organtiefen, bzw. der verschiedenen Gewebedicken auf die Geometrie und damit auch auf die Kalibrationsgüte des Ganzkörperzählers feststellen. Für konkretere Aussagen über die Genauigkeit der ermittelten Aktivitätswerte sind jedoch Kalibrationsmessungen mit dem neuen Phantom erforderlich.

3. Inkorporationsüberwachung des beruflich strahlenexponierten Personals einer nuklearmedizinischen Klinik

Die Inkorporationskontrolle des beruflich strahlenexponierten Personals der Essener Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin wurde im August 1990 aufgenommen.

Für das Forschungsvorhaben geplant war eine Inkorporationskontrolle des Personals in kurzen zeitlichen Abständen. In den Jahren 1990 und 1991 wurden die Inkorporationsmessungen in wöchentlichen, in den Jahren 1992 bis 1994 in monatlichen Abständen durchgeführt. Vor Beginn der Überwachung wurde das Personal über den Ablauf des Projektes informiert und ein an die Arbeitsbedingungen angepaßter Messplan aufgestellt. Für eine sinnvolle Interpretation der Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung war die Einhaltung der regelmäßigen Messtermine ohne längere Unterbrechungen erforderlich. Verschiebungen der Meßtermine aufgrund des klinischen Ablaufs oder längere Unterbrechungen aufgrund urlaubs- oder krankheitsbedingter Ausfälle ließen eine regelmäßige, in festen Zeitabschnitten geplante Inkorporationskontrolle nicht immer zu. Zudem führte der häufige Austausch der Hardwarekomponenten und die hier vor Ort durchgeführten Programmmodifizierungen zu nicht eingeplanten und unerwünschten Unterbrechungen der Inkorporationsmessungen.

In den Jahren 1990 und 1991 wurde ausschließlich das in der nuklearmedizinischen Diagnostik und Therapie tätige Personal in die Überwachung einbezogen. Im Jahr 1992 wurde die Inkorporationsüberwachung auf beruflich strahlenexponierte Personen in der Radiochemie ausgedehnt, da aufgrund des Umgangs mit höheren Aktivitäten offener radioaktiver Stoffe besonders hier eine Überwachung in kurzen zeitlichen Abständen sinnvoll erschien.

Die Zahl der an der Inkorporationskontrolle teilnehmenden Personen variierte in den Überwachungsjahren. In den Jahren 1990 und 1991 wurden durchschnittlich 28 Personen wöchentlich überwacht. Im Jahr 1992, in dem z.B. die Radiochemie in die Überwachung einbezogen wurden, erhöhte sich die Zahl der Personen von 28 auf 37. Ab dem Überwachungsjahr 1993 wurden die Inkorporationsmessungen ausschließlich beim Therapiepersonal in monatlichen Abständen weitergeführt, so daß sich die Personenzahl auf 11 Mitarbeiter verringerte.

Der an den Inkorporationsmessungen teilnehmende Personenkreis setzte sich wie folgt zusammen:

- 8 Ärztinnen /Ärzte
- 3 Radiochemiker
- 4 Ingenieure
- 2 Physikerinnen
- 11 MTRA
- 5 Stationsschwestern
- 3 Stationshilfen
- 1 Raumpflegerin

Bis Juni 1994 wurden ca. 2000 Inkorporationsspektren bei beruflich strahlenexponierten Personen aufgenommen. Die Meßzeit betrug jeweils 1200 Sekunden. Vor Beginn der Messungen wurde eine sorgfältige Kontaminationskontrolle bei jeder Person vorgenommen. Außer der üblichen Hand-Fuß-Monitorkontrolle wurde die Kleidung auf mögliche Kontaminationen hin überprüft. Trotz besonderer Sorgfalt bei der Kontaminationskontrolle sind Kontaminationen bei den Personenmessungen nicht immer auszuschließen. Dies kann zu Fehlinterpretation der Inkorporationsspektren führen, insbesondere bei der Beurteilung, ob die gemessenen Aktivitäten reine Inkorporationen oder Kontaminationen, speziell bei dem Nuklid Technetium, darstellen.

Die im Kapitel "Hardware" beschriebenen meßtechnischen Probleme nach der Implementierung der Systemkomponenten erforderten bei den Inkorporationsmessungen eine sorgfältige Kontrolle des gesamten Meßsystems. Insbesondere war eine tägliche Überprüfung der Kanallagen mit einer Referenzquelle (Cs-137) erforderlich; nicht tolerierbare Peakverschiebungen aufgrund elektronischer bzw. mechanischer Instabilitäten, Temperaturschwankungen oder störende Magnetfelder in der Umgebung der Detektorsysteme konnten somit schnell erkannt und behoben werden. Auftretende Peakverschiebungen wurden durch Nachregelung der Verstärkereinstellungen korrigiert.

Da der bei den Qualitätskontrollen ermittelte hohe K-40-Eigenaktivitätsanteil der Natriumjodid-Detektoren die Detektion inkorporierter Radionuklide und die Berechnung geringster Aktivitätsanteile erschwerte, wurde täglich ein Untergrundspektrum der Meßkammer aufgenommen. Die Analyseergebnisse der Untergrundspektren wurden von den Analysedaten der Inkorporationsspektren subtrahiert, so daß nur der reine inkorporierte Aktivitätsanteil für die Berechnung der Nettopeakflächen vom Analyseprogramm ABACOS berücksichtigt wurde.

Nach Aufnahme der Inkorporationsüberwachung des strahlenexponierten Personal erfolgte eine umfassende Analyse der für jede überwachte Person erzielten experimentellen Ergebnisse. Die Analyse beinhaltete die Auswertung der Inkorporationsspektren, und somit die Berechnung der inkorporierten Aktivitäten und die Ermittlung der Körper- und Schilddrüsendosiswerte nach Inkorporation radioaktiver Stoffe.

Nach Abschluß der Auswertungen der experimentellen Ergebnisse erfolgte eine statistische Analyse für jede überwachte Person. Die in den Überwachungsjahren 1990 bis 1994 ermittelten Aktivitätsverläufe und Dosisberechnungen wurden in einer tabellarischen und graphischen Darstellung zusammengefaßt und eine statistische Analyse der in den Überwachungsjahren erhaltenen Daten vorgenommen. Für jeden überwachten Mitarbeiter wurde ein Dosisermittlungsbogen erstellt, welcher für jedes Überwachungsjahr aktualisiert wurde. Die folgenden Kapitel geben in einer Gegenüberstellung einen Überblick über die Ergebnisse der Aktivitäts- und Dosisberechnungen für die in den Bereichen Diagnostik, Therapie, Labor und Radiochemie tätigen Personen.

3.1 Zusammenfassung der Ergebnisse der Aktivitätsberechnungen

Für eine realistische Einschätzung der inneren Strahlenbelastung des Personals der nuklearmedizinischen Klinik wurden die Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung für alle Personengruppen in den unterschiedlichen Tätigkeitsbereichen gegenübergestellt und diskutiert. Bei der Diskussion wurden insbesondere die Bereiche Diagnostik und Therapie eingehender betrachtet, da erste Resultate zeigten, daß die innere Strahlenexposition in diesen Tätigkeitsbereichen doch unterschiedlich zu bewerten ist.

Um die in den Überwachungsjahren 1990 bis 1994 erzielten Resultate der Inkorporationsmessungen vergleichsweise beurteilen zu können, wurden die mittleren Ganzkörper- und Schilddrüsenaktivitätswerte für alle Personengruppen ermittelt. Die Bestimmung erfolgte aus der Summe aller in einem Überwachungsjahr ermittelten Analyseergebnisse und aus der Gesamtanzahl der Inkorporationsmessungen. Die durchschnittlichen Inkorporationswerte wurden für die Personen des Therapiebereichs, wie Ärzte, Schwestern und Stationshilfen, sowie für Personen in den Bereichen Diagnostik (MTRA's, Ärzte), Labor und Radiochemie graphisch und tabellarisch gegenübergestellt.

Eine detaillierte Diskussion der Ergebnisse der Inkorporationsmessungen für die Bereiche Diagnostik und Therapie ist sinnvoll, da die Inkorporationswahrscheinlichkeit in diesen nuklearmedizinischen Tätigkeitsbereichen aufgrund des Umgangs mit verschiedenen Radiopharmaka unterschiedlicher Aktivitätskonzentration different sein kann.

Dies verdeutlicht die folgende Tabelle 1, in der für die Bereiche Therapie und Diagnostik die in einem Überwachungsjahr (1991) gehandhabten Aktivitäten aufgeführt sind. Der gesamte Diagnostikbereich wird unterteilt in die Schilddrüsendiagnostik und den übrigen Diagnostikbereich, der die Lungen- und Nierenzintigraphie, die Skelettszintigraphie und die Single-Photon-Emissions-Computertomographie einschließt.

	Überwachungsjahr 1991		
	<i>Schilddrüsendiagnostik</i>	<i>Übriger Diagnostikbereich</i>	<i>Therapiebereich</i>
	<i>Gehandhabte Aktivität in MBq</i>	<i>Gehandhabte Aktivität in MBq</i>	<i>Gehandhabte Aktivität in MBq</i>
<i>Nuklide</i>			
Jod-131	4002		1987276
Technetium-99m	39660	1843229	
Indium-111		240	
Thallium-201		13424	
Jod-123		23550	
Gallium-67		4810	
Chrom-51		94	
Eisen-59		1,2	

Tab. 1: Zusammenstellung der gehandhabten Aktivitäten in den verschiedenen Bereichen

Aus der Tabelle 1 ist ersichtlich, daß in den verschiedenen Diagnostikbereichen mit einem breiten Spektrum von Radionukliden umgegangen wird. Für das Nuklid Technetium ist die Höhe der gehandhabten Aktivität in beiden Diagnostikbereichen und damit die Inkorporationswahrscheinlichkeit jedoch unterschiedlich. Für den Therapiebereich besteht eine Inkorporationswahrscheinlichkeit überwiegend für das Radionuklid I-131.

Die unterschiedliche Inkorporationswahrscheinlichkeit in den Bereichen Therapie und Diagnostik spiegelt sich auch in den Häufigkeitsverteilungen von Nuklidinkorporationen wieder, die beispielhaft für die Überwachungsjahre 1991 und 1992 in der Tabelle 2 und in den Abbildungen 2 und 3 in Abhängigkeit von der Höhe der inkorporierten Aktivität dargestellt sind. Im Jahr 1991 mit wöchentlicher Überwachung wurden bei 32 Personen insgesamt 468, im Jahr 1992 mit monatlicher Kontrolle bei 33 Personen 213 Messungen vorgenommen. Für das Nuklid Technetium liegt der am häufigsten beobachtete Inkorporationswert bei 1 kBq in den Jahren 1991 und 1992. Für das Nuklid I-131 ist die Verteilung sehr unterschiedlich. Im Jahr 1991 wurde ein Aktivitätswert in der Höhe von 1 kBq am häufigsten nachgewiesen; vermehrte Inkorporationen im Bereich 100 Bq bis 500 Bq wurden im Jahr 1992 beobachtet. Inkorporationen über 5 kBq für beide Nuklide waren sehr selten. Inkorporationen anderer bei den diagnostischen Untersuchungsverfahren eingesetzter Radionuklide wurden bei den Inkorporationsmessungen der zu überwachenden Personen trotz regelmäßigen Umgangs nur vereinzelt nachgewiesen.

Aktivität (Bq)	Jahr 1991				Jahr 1992				
	I-131	Tc-99m	I-123	Tl-201	I-131	Tc-99m	I-123	In-111	Zn-65
100-199	5	5			7	10		1	
200-299	22	21			11	4	1		1
300-399	8	22	4		11	6	1		
400-499	14	10			8	4			2
500-599	8	13			4	5			
600-699	15	7			2	2	1		1
700-799	11	5	1		5	1			1
800-899	5	9			3	2			
900-999	3	6			4				
1000-1999	32	25			7	12			
2000-2999	11	16		1		3			
3000-3999	8	6			1	3			
4000-4999	4	9			1	1			
5000-5999	2	1							
6000-6999		3							
7000-7999	1								
8000-8999									
9000-9999						1			
10000-10999		1							
13000-13999		2							
15000-15999		1							
16000-16999		1							
17000-17999					1				

Tab. 2: Häufigkeit der Nuklidinkorporationen

3.1.1 Ergebnisse für den Therapiebereich

Für den Therapiebereich ist die innere Strahlenbelastung hauptsächlich auf die Inkorporation des Radionuklids I-131 zurückzuführen. Die Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung in den Jahren 1990 bis 1993 ließen außerdem vermuten, daß die innere Strahlenexposition für den Therapiebereich den Hauptanteil zur Körperdosis beiträgt.

Aus diesem Grunde wurde der Inkorporationsverlauf für die Personen auf der Therapiestation in den Jahren 1993 und 1994 in monatlichen Abständen weiterbeobachtet. Ausführlichere Diskussionen der Ergebnisse der Inkorporationsmessungen sind in den für die Überwachungsjahre 1990 bis 1993 regelmäßig verfaßten Zwischenberichten zu finden. Die folgende Darstellung zeigt eine Zusammenfassung der wesentlichsten Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung für den Therapiebereich für die Jahre 1990 bis 1994, strukturiert nach Ergebnissen der I-131-Ganzkörper- bzw. Schilddrüsen-Aktivitätsberechnungen.

Ganzkörperaktivität

Die Tabelle 3 und die Abbildungen 4,5 und 6 zeigen Ganzkörperaktivitäten von Ärzten, Schwestern und Stationshilfen der Therapiestation.

Ein direkter Vergleich der Resultate der Inkorporationsmessungen ist nur für die Jahre 1990 und 1991, in denen die Überwachung in wöchentlichen Intervallen durchgeführt wurde, und für die Jahre 1992 bis 1994 mit monatlicher Kontrolle möglich. Ferner ist die Anzahl der an der Überwachung teilnehmenden Personen in den Jahren mit wöchentlicher und monatlicher Überwachung annähernd gleich.

Eine Schwierigkeit bei der Beurteilung der Ergebnisse stellt die Fluktuation des Therapiepersonals innerhalb eines Überwachungsjahres, bzw. über mehrere Jahre dar, so daß eine regelmäßige Überwachung einer Person über einen längeren Zeitraum nicht immer möglich war. In den Jahren 1990 und 1991 wurden beispielsweise 5 Stationshilfen auf Inkorporationen radioaktiver Stoffe hin untersucht; ab dem Jahr 1992 nahmen nur noch 3 Stationshilfen an der Überwachung teil. Bei den Schwestern stieg die Zahl der überwachten Personen von 4 (1990/1991) auf 6 (1992-1994), bei den Ärzten verringerte sich aufgrund organisatorischer Änderungen die Personenanzahl von 6 in den Jahren 1990/1991 auf 5 (1992) bzw. 3 im Jahr 1993.

In den nachfolgenden Tabellen wird mit 'n' die Anzahl der in den Jahren 1990 bis 1994 an der Überwachung teilnehmenden Personen angegeben.

Mittlere Inkorporationswerte (in kBq)	1990	1991	1992	1993	1994
der Stationshilfen	1,35 (n=5)	1,18 (n=5)	0,67 (n=3)	0,79 (n=3)	0,74 (n=3)
der Schwestern	1,29 (n=4)	1,16 (n=4)	0,81 (n=6)	0,88 (n=6)	0,94 (n=7)
der Ärzte	0,24 (n=6)	0,12 (n=6)	0,20 (n=5)	0,80 (n=3)	0,66 (n=2)

Tabelle 3: Aufstellung der Ganzkörper-Inkorporationswerte auf der Therapiestation

Die ermittelten durchschnittlichen Ganzkörperaktivitätswerte der Stationshilfen sowie der Schwestern untereinander sind in den Jahren 1990 und 1991 annähernd konstant.

Auch der Vergleich der mittleren Aktivitätswerte der Stationshilfen mit den mittleren Aktivitäten der Schwestern läßt ähnliche Werte erkennen. Die Aktivitätsberechnungen für I-131 ergaben für die Stationshilfen durchschnittliche Inkorporationswerte von 1,2 kBq bis 1,35 kBq; für die Stationsschwester wurden Werte von 1,2 kBq bis 1,3 kBq erreicht.

Auch in den Überwachungsjahren 1992 bis 1994 beobachtet man annähernd übereinstimmende mittlere I-131-Inkorporationswerte für die Stationshilfen und Schwestern.

Der Schluß liegt nahe, daß aufgrund der vergleichbaren Inkorporationswerte in allen Überwachungsjahren ein nahezu konstanter Aktivitätswert auf der Therapiestation aufgenommen wird. Dies bestätigen auch die Einzelergebnisse der Inkorporationsmessungen der im Therapiebereich tätigen Personengruppen, die in den Zwischenberichten für die Jahre 1990, 1991 und 1992 ausführlich diskutiert wurden. Für die Personengruppen wurden intraindividuell annähernd konstante I-131-Inkorporationen im Verlauf eines Überwachungsjahres beobachtet. Die interindividuellen I-131-Inkorporationen sind jedoch, beim Vergleich der I-131-Inkorporationswerte der Personengruppen untereinander, in allen Überwachungsjahren sehr verschieden.

Unterschiede in der Höhe der inkorporierten Aktivitäten für die einzelnen Personen des Therapiebereichs sind mit dem differenten Verhalten im Umgang mit den Therapiepatienten zu erklären. Angst vor radioaktiven Substanzen führt beispielsweise zu einer distanzierteren Verhaltensweise im Umgang mit therapierten Patienten, so daß die Wahrscheinlichkeit einer Kontamination und damit einer Inkorporation hierdurch wesentlich geringer wird. Die umgangsbedingten I-131-Inkorporationen hängen im Wesentlichen auch davon ab, ob die zu überwachende Person ständig oder nur einen begrenzten Zeitraum im Therapiebereich tätig war. Ein krankheitsbedingter mehrwöchiger Ausfall oder ein mehrwöchiger Urlaub, aber auch ein Wechsel in einen anderen Tätigkeitsbereich führen zu niedrigeren Durchschnittswerten inkorporierter Aktivitäten.

Ein weiterer Faktor zur Beurteilung der inneren Strahlenbelastung auf der Therapiestation ist auch die Länge des Stationsaufenthalts der Therapiepatienten je nach Höhe der applizierten Aktivität; die I-131-Inkorporationen sind also von den Patientenzahlen und der Gesamtmenge an verabreichter Aktivität abhängig. Dies bestätigen auch Vergleiche von Aktivitätsverläufen eines Arztes bzw. der Krankenschwestern mit den Belegungsplänen der Station, aus denen eine Korrelation zu erkennen ist (siehe Zwischenberichte für die Jahre 1990 und 1991). Unterschiedlich hohe I-131 Inkorporationswerte sind auch durch den wöchentlichen Wechsel von Früh Spät- und Nachtdienst, bzw. durch den abwechselnden Wochenenddienst zu erklären. Die Verabreichung der I-131-Therapiekapseln erfolgt in der Regel nachmittags. Aufgrund der Verteilung und Retention des Jods - ein Teil von etwa 0,6 gelangt in die Schilddrüse, der restliche wird unmittelbar ausgeschieden - ist die Wahrscheinlichkeit einer erhöhten Inkorporation durch Atemluft oder Kontakt mit Schweiß, für die im Spätdienst tätigen Schwestern größer.

Aus der Tabelle 3 ist ersichtlich, daß die mittleren Inkorporationen für die Stationshilfen und Schwwestern in den Jahren 1992, 1993 und 1994 annähernd um einen Faktor 2 kleiner sind als die Ergebnisse in den Jahren 1990 und 1991. Dies bestätigt die Vermutung, daß während der vierwöchigen Meßunterbrechung bei der monatlichen Kontrolle ab dem Jahr 1992 mögliche Inkorporationen nicht registriert werden können.

In den nachfolgenden Abbildungen sind die durchschnittlichen Aktivitätswerte der Stationshilfen und Schwestern graphisch dargestellt.

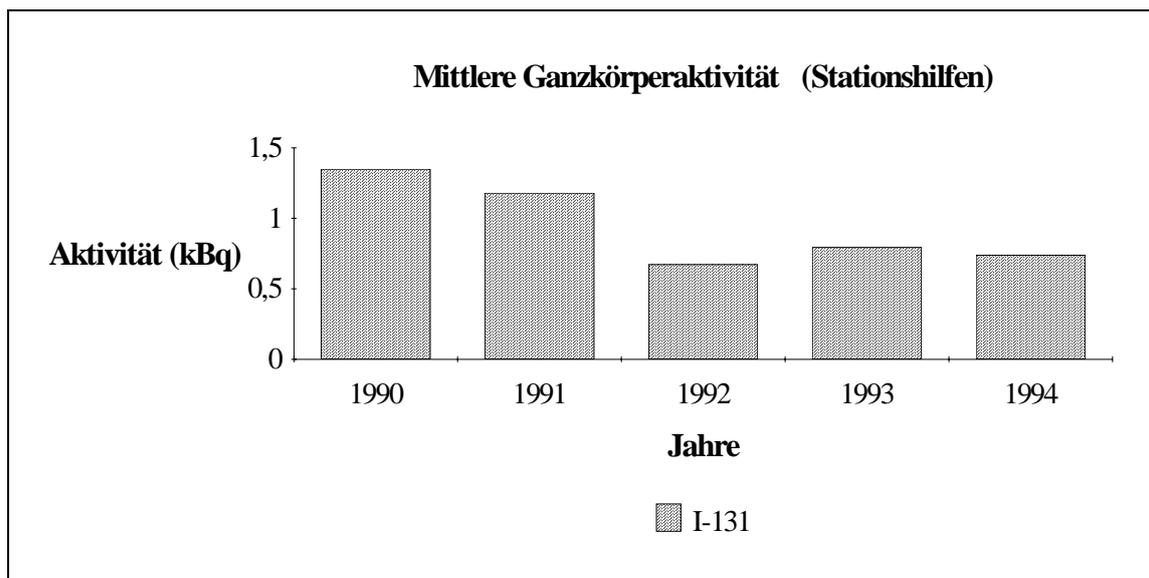


Abb. 4: Mittlere Inkorporationswerte der Stationshilfen im Therapiebereich

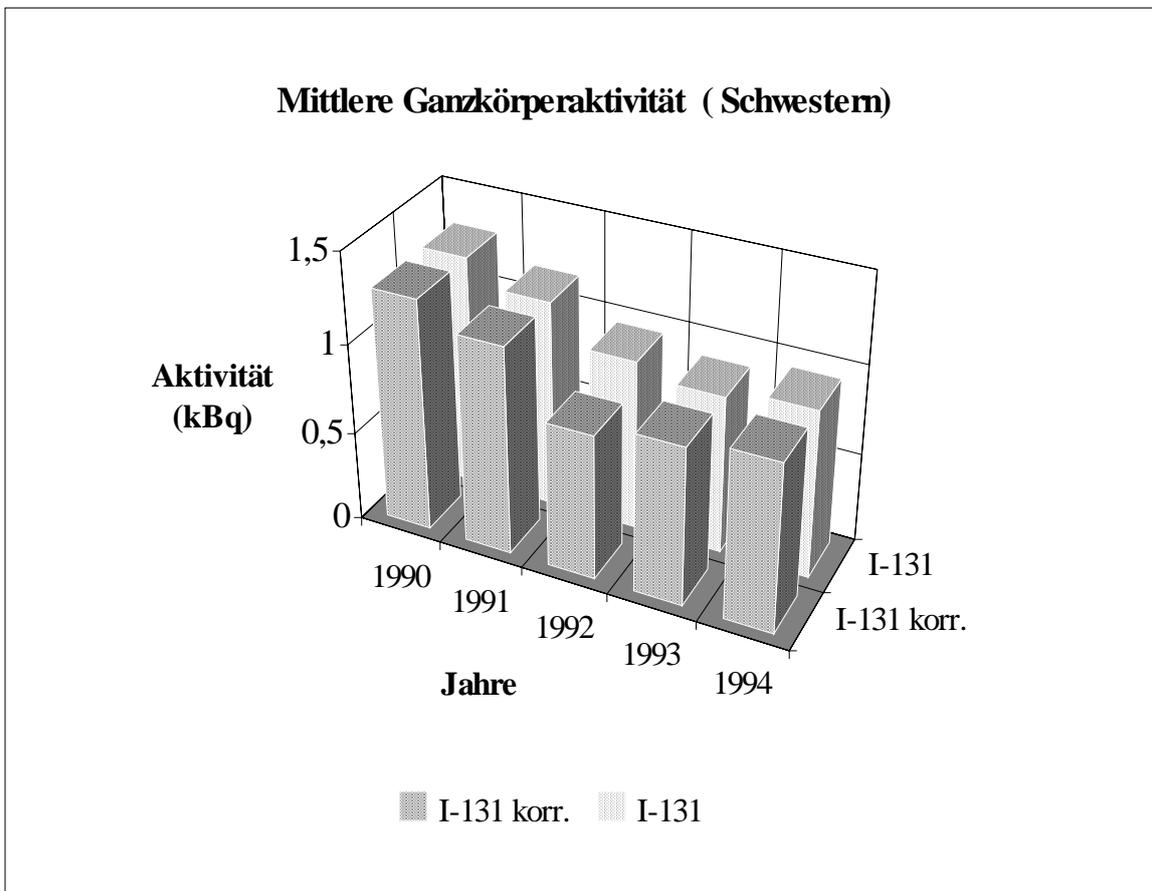


Abb. 5: Mittlere Inkorporationswerte der Schwestern im Therapiebereich (hoher Wert in 1992 nicht berücksichtigt)

Die Abbildung 5 zeigt die Ergebnisse der Inkorporationsmessungen der Krankenschwestern für die Jahre 1990 bis 1994, und zwar korrigierte und nicht korrigierte mittlere Aktivitätswerte. Die durchschnittlichen Inkorporationswerte für das Jahr 1992 wurden für eine Gegenüberstellung ohne die relativ hohen Aktivitätswerte von 18 kBq (Ganzkörper) und 11 kBq (Teilkörper) berechnet, welche auf eine einmaligen Kontamination einer Stationsschwester bei der Betreuung eines sehr pflegebedürftigen Patienten herrühren.

Dies zeigt auch, daß schon eine einmalige, nicht sofort erkannte Kontamination einen großen Anteil zur inneren Strahlenbelastung beitragen kann. Nachforschungen für die Ursache dieser Kontamination ergaben, daß die Krankenschwester unbeabsichtigt ihr Gesicht und die Haare mit den kontaminierten Händen berührt hatte.

Aufdeckung von Kontaminationen bzw. Inkorporationen und die Diskussion über mögliche Kontaminationsursachen haben beim Therapiepersonal einen durchaus erzieherischen Effekt, welcher sich durch ein umsichtigeres Verhalten im Umgang mit den Patienten und bei der Reinigung der Patientenzimmer sowie durch die konsequente Verwendung von Hand- und Überschuhen zeigt zu einer Abnahme von I-131-Inkorporationen führen kann.

Die Ergebnisse der Inkorporationsmessungen für die auf der Station tätigen Ärzte zeigt die nachfolgende Abbildung.

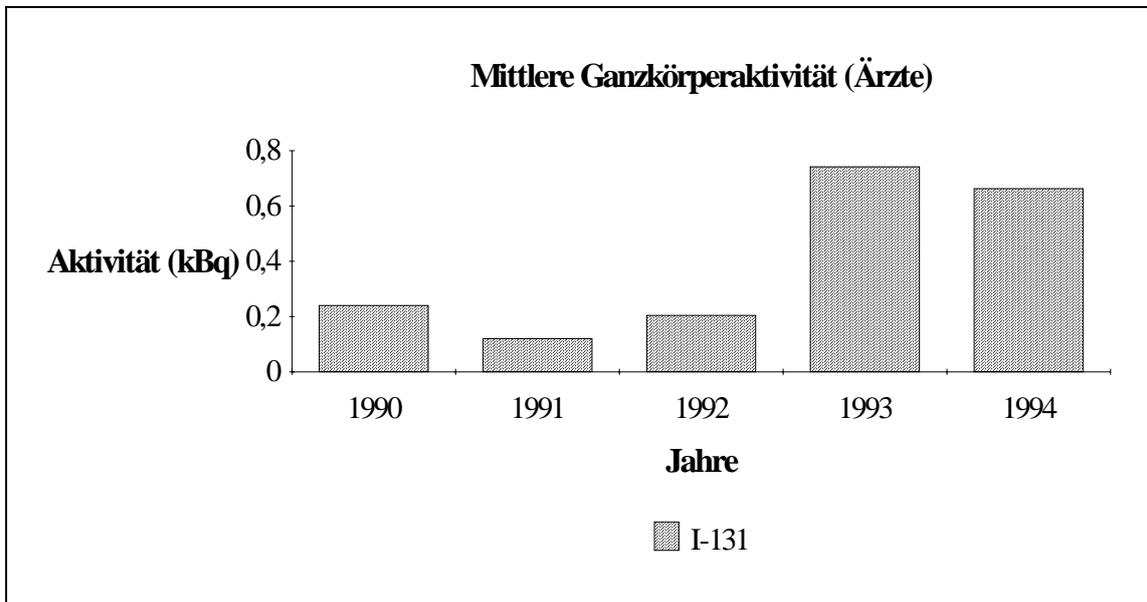


Abb. 6 : Mittlere Ganzkörperaktivitätswerte der Ärzte im Therapiebereich

Aus obiger Abbildung ist zu erkennen, daß die mittleren Inkorporationswerte in den Jahren 1993 und 1994 etwa um Faktoren 5 bzw. 3 höher liegen als die mittleren Aktivitätswerte in den Überwachungsjahren 1990 bis 1992.

Diese abweichend hohen Werte sind darauf zurückzuführen, daß mit Beginn des Jahres 1993 mit dem Projekt des Gemeinschaftsausschusses Strahlenforschung (GAST) "Wissenschaftler helfen Tschernobyl Kindern" begonnen wurde, in dem an Schilddrüsenkrebs erkrankte Kinder aus Weißrußland in der Essener nuklearmedizinischen Klinik mit Radiojod therapiert werden. Für das Hilfsprojekt wurde ein russisch sprechender Arzt eingestellt, welcher die Kinder von dem Tag der Ankunft bis zum Abflugtag - also mindestens eine Therapiewoche - betreut. Ein ständiger Kontakt zu den therapierten Kindern ist demzufolge unvermeidbar. Außerdem sind die Kinder - teilweise im Alter ab 5 Jahren - auf eine besondere Betreuung angewiesen, so daß der aus Sicht des Strahlenschutzes notwendige Abstand zu den therapierten Kindern aufgrund der erforderlichen intensiveren Pflege nicht immer eingehalten werden kann. Für den in dem Projekt tätigen Arzt ist die Wahrscheinlichkeit einer vermehrten I-131-Inkorporation höher, was auch die Ergebnisse der Inkorporationsmessungen bei dem das Projekt betreuenden Arzt zeigen (siehe Zwischenbericht für das Jahr 1993).

Schilddrüsenaktivität

Die mittleren Schilddrüsenaktivitäten für die Stationshilfen, Schwestern und Ärzte des Therapiebereiches sind in der Tabelle 4 und in den Abbildungen 7, 8 und 9 dargestellt. Ein direkter Vergleich der Resultate in den Jahren 1990 und 1991, bzw. 1992 bis 1994 ist auch hier möglich.

Mittlere Inkorporationswerte (in kBq)	1990	1991	1992	1993	1994
der Stationshilfen:	0,059 (n=5)	0,052 (n=5)	0,058 (n=3)	0,059 (n=3)	0,054 (n=3)
der Schwestern:	0,065 (n=4)	0,063 (n=4)	0,088 (n=6)	0,045 (n=6)	0,024 (n=6)
der Ärzte	0,035 (n=6)	0,013 (n=6)	0,018 (n=5)	0,078 (n=3)	0,042 (n=3)

Tabelle 4: Ergebnisse der Schilddrüsen-Messungen

Im folgenden sind die Ergebnisse der Teilkörpermessungen in einer graphischen Darstellung gegenübergestellt.

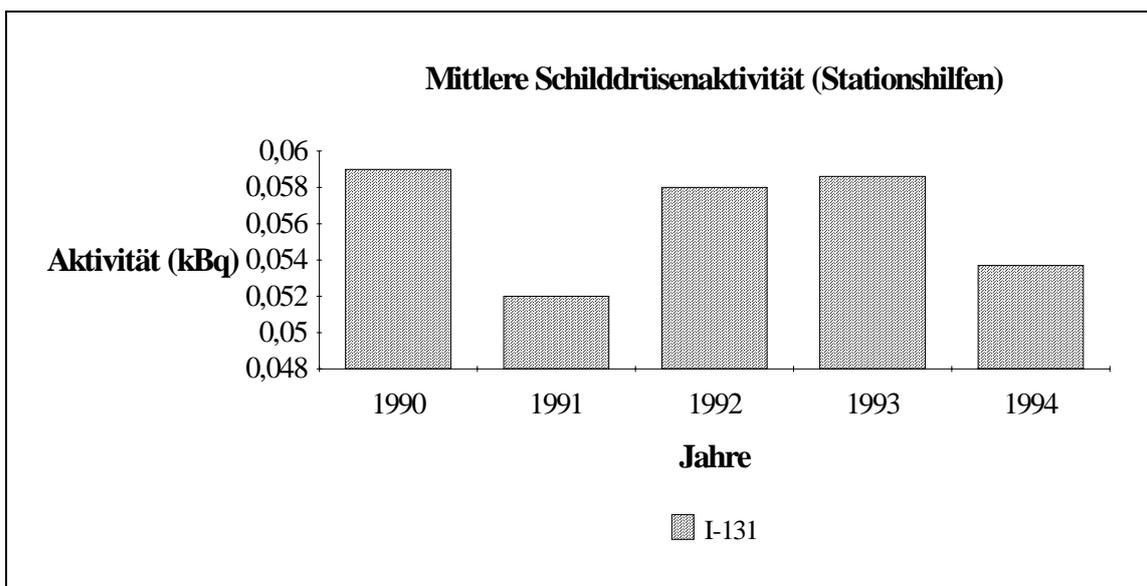


Abb. 7 : Mittlere Schilddrüsenaktivitätswerte der Stationshilfen im Therapiebereich

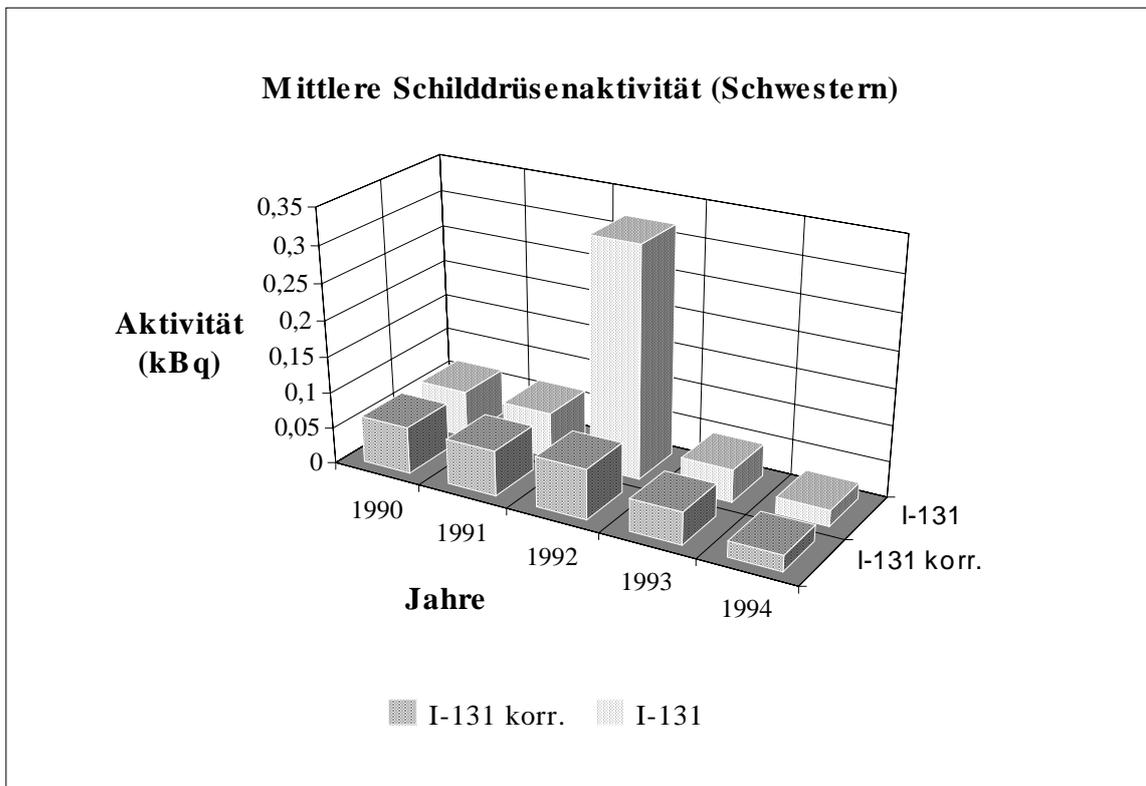


Abb. 8 : Mittlere Schilddrüsenaktivitätswerte der Schwestern im Therapiebereich

Der bei einer Stationsschwester im Jahr 1992 ermittelte hohe I-131- Inkorporationswert von 11 kBq trägt den Hauptanteil zur mittleren Organaktivität der Schwestern in diesem Jahr bei. Die obige Abbildung zeigt die Ergebnisse der Jod-Inkorporationen mit und ohne Berücksichtigung des relativ hohen, den mittleren Wert verfälschenden Jodwertes.

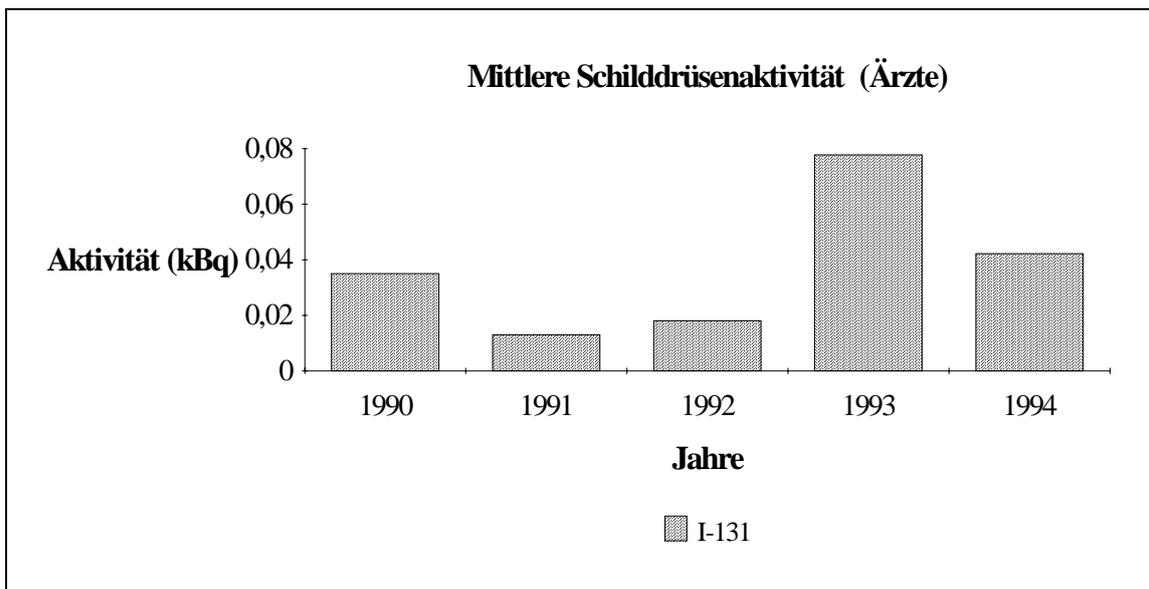


Abb. 9 : Mittlere Schilddrüsenaktivitätswerte der Ärzte im Therapiebereich

Aus der zuvor dargestellten Tabelle und den Abbildungen ist für die Stationshilfen ein nahezu konstanter Inkorporationswert in den Überwachungsjahren 1990 bis 1994 zu erkennen. Für die Krankenschwestern werden - ohne Berücksichtigung des durch eine einmalige Kontamination verursachten hohen Aktivitätswert von 11 kBq - ebenfalls annähernd gleiche I-131-Inkorporationswerte in allen Überwachungsjahren beobachtet.

Die Ergebnisse der Schilddrüsenmessungen zeigen demzufolge eine Diskrepanz zu den Ergebnissen der Ganzkörpermessungen des Therapiepersonals, welche in den Jahren 1992, 1993 und 1994 mit monatlicher Kontrolle niedrigere I-131-Inkorporationswerte ergaben als in den Jahren 1990 und 1991 mit wöchentlicher Überwachung. Als denkbare Ursache für diese abweichenden Werte wurde die vierwöchige Meßunterbrechung bei der monatlichen Überwachung vermutet, bei der mögliche Inkorporationen nicht registriert werden können und dementsprechend niedrigere Aktivitätswerte zu erwarten sind.

Ein wesentlicher Gesichtspunkt ist aber die individuell unterschiedliche Speicherung des Jods in der Schilddrüse aufgrund verschiedener Schilddrüsenvolumina und des unterschiedlichen Jodstoffwechsels der Schilddrüse; inkorporiertes Jod kann u.U. über einen längeren Zeitraum nachgewiesen werden. Dies zeigen auch die Ergebnisse der Schilddrüsenmessungen der Stationshilfen, Schwestern und Ärzte, die in den Zwischenberichten für die Jahre 1990 bis 1993 ausführlich diskutiert wurden.

Ein interindividueller Vergleich der I-131- Inkorporationen in der Schilddrüse für die Ärzte wird durch den häufigen Wechsel des Stationsdienstes und Einsatz im Diagnostikbereich wesentlich erschwert. Eine Tendenz zu einer höheren Schilddrüsenbelastung in den Jahren 1993 und 1994 ist auch hier zu erkennen. Als Ursache dieser erhöhten mittleren Inkorporationswerte - der Aktivitätswert im Jahr 1993 ist um Faktoren 2 bis 6, der Wert im Jahr 1994 um Faktoren 1 bis 3 höher als die Inkorporationswerte in den Jahren 1990 bis 1992 - ist erneut die Betreuung der weißrussischen Kinder aufzuführen (siehe auch Diskussion der Ganzkörperbelastung).

3.1.2 Ergebnisse für den Diagnostikbereich

Die innere Strahlenexposition für die in der Diagnostik tätigen Personen wird durch verschiedene Parameter beeinflusst. Ein wesentlicher Faktor ist der Umgang mit einem breiten Spektrum von Radionukliden, die bei den verschiedenen Untersuchungsverfahren in unterschiedlicher Aktivitätskonzentration eingesetzt werden. Ein weiterer Gesichtspunkt ist die Häufigkeit eines Arbeitsplatzwechsels und die Dauer der Tätigkeit in diesem Arbeitsfeld. Desweiteren spielt das Verhalten im Umgang mit den Patienten und bei der Präparation und Applikation des Radiopharmakons eine wichtige Rolle bei der Beurteilung der Strahlenbelastung. Letztere Faktoren müssen besonders bei der Diskussion der Analyseergebnisse für die im gesamten Diagnostikbereich tätigen MTRA's berücksichtigt werden.

Ganzkörperaktivität

In der Tabelle 5 und in den Abbildungen 10,11 und 12 sind die ermittelten durchschnittlichen Inkorporationswerte aller in der Diagnostik tätigen Personen zu sehen. Trotz regelmäßigen Umgangs wurden nur selten Inkorporationen anderer in der Diagnostik verwendeter Radionuklide in den Überwachungsjahren nachgewiesen.

	Überwachungsjahr 1990 Aktivität in kBq			Überwachungsjahr 1991 Aktivität in kBq			Überwachungsjahr 1992 Aktivität in kBq		
	Ärzte	MTRA SD- Bereich	MTRA übriger Bereich	Ärzte	MTRA SD- Bereich	MTRA übriger Bereich	Ärzte	MTRA SD- Bereich	MTRA übriger Bereich
I-131	0,24	0,07	0,135	0,12	0,143	0	0,204	0	0
Tc-99m	0,919	0,817	1,35	1,1	0,665	1,1	0,516	0,688	0,52
I-123	0,15	0	0,065	0,035	0	0,02	0	0	0,157
In-111	0	0	0	0	0	0	0	0	0,021
T-201	0	0	0	0,138	0	0	0	0	0

Tabelle 5: Aufstellung der mittleren Ganzkörperaktivitätswerte aller in der Diagnostik tätigen Personen

Die Tabelle 5 zeigt die ermittelten durchschnittlichen Inkorporationswerte der im gesamten Diagnostikbereich tätigen Ärzte und MTRA's. Für die folgende Diskussion wird der gesamte Diagnostikbereich unterteilt in die Schilddrüsendiagnostik und in den übrigen Diagnostikbereich; hier werden die Single - Photon - Emissionscomputertomographie (SPECT) von Herz und Hirn, die Lungen- und Nierenzintigraphie und die Skelettszintigraphie berücksichtigt.

Wie in der Tabelle 5 zu sehen, wurden in den Überwachungsjahren trotz regelmäßigen Umgangs nur vereinzelt Inkorporationen anderer in der Diagnostik verwendeter Radionuklide nachgewiesen. Die Ergebnisse zeigen, daß die umgangsbedingten Technetium-Inkorporationen den Hauptanteil zur inneren Strahlenexposition im gesamten Diagnostikbereich beitragen. Dies verdeutlichen nochmals die folgenden graphischen Darstellungen der Ergebnisse der Ganzkörperzählermessungen.

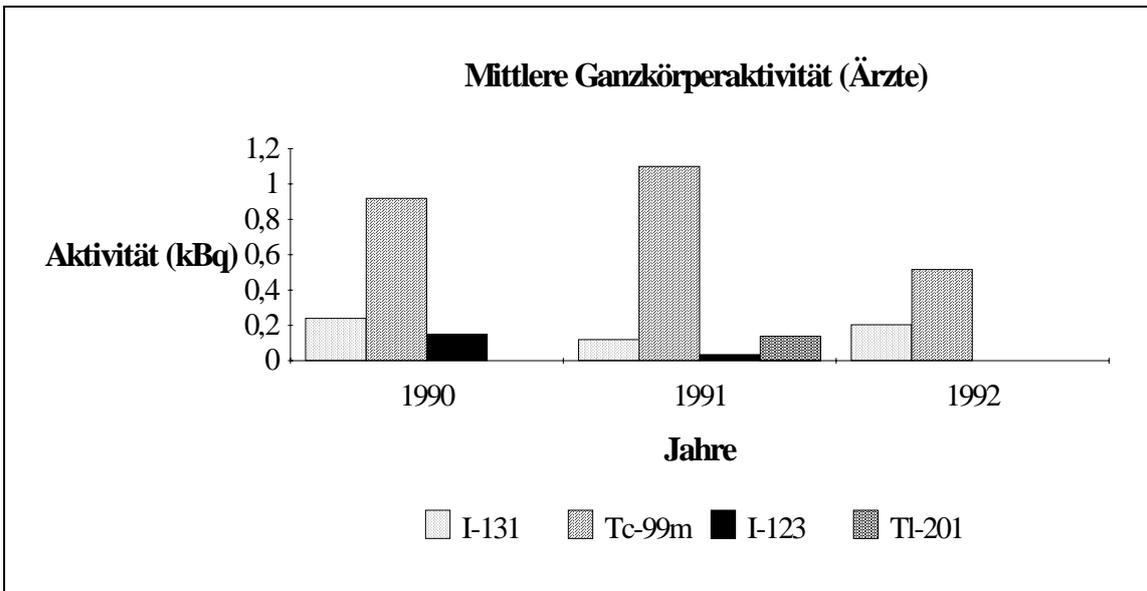


Abb. 10: Mittlere Inkorporationswerte der Ärzte in der Diagnostik

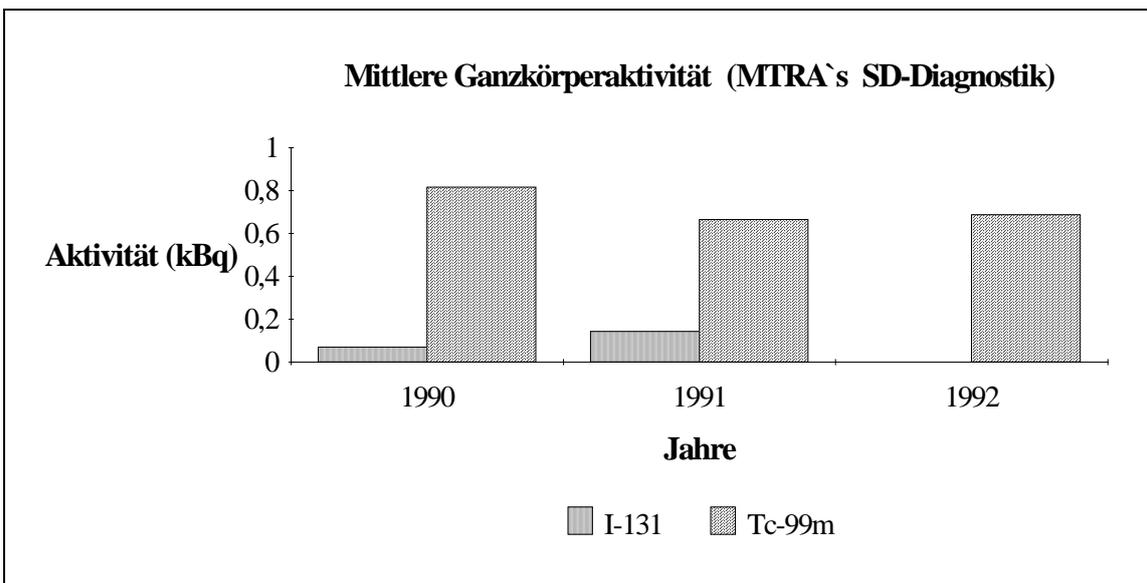


Abb. 11: Mittlere Inkorporationswerte der MTRA`s in der Schilddrüsen-Diagnostik

Aus der Abbildung 11 wird deutlich, daß die durchschnittlichen Technetium-Ganzkörper-Aktivitätswerte für jedes Überwachungsjahr annähernd gleich sind. Für die MTRA`s in der Schilddrüsendiagnostik wurden selten Inkorporationen über 1 kBq ermittelt (siehe Zwischenberichte für die Jahre 1991/1992). Inkorporationen anderer in der Schilddrüsen-diagnostik verwendeter Radionuklide - hier das Nuklid I-131 - wurden auch für diesen Personenkreis bei den Ganzkörperzählermessungen nachgewiesen; die Inkorporationswerte liegen jedoch deutlich unterhalb denen der Technetium-Aktivitätswerte (Faktoren 4 bzw. 8). Die Messungen im Jahr 1992 haben keinen Nachweis von inkorporiertem Jod ergeben. Überwacht wurden drei MTRA`s der Schilddrüsendiagnostik.

Die Resultate zeigen, daß die umgangsbedingten Technetium-Inkorporationen bei der Beurteilung der inneren Strahlenexposition für die in der Schilddrüsendiagnostik tätigen MTRA`s - wie auch bei den Ärzten - im Vordergrund stehen.

Die Abbildung 12 zeigt die mittleren Inkorporationswerte der in der übrigen Diagnostik tätigen MTRA`s.

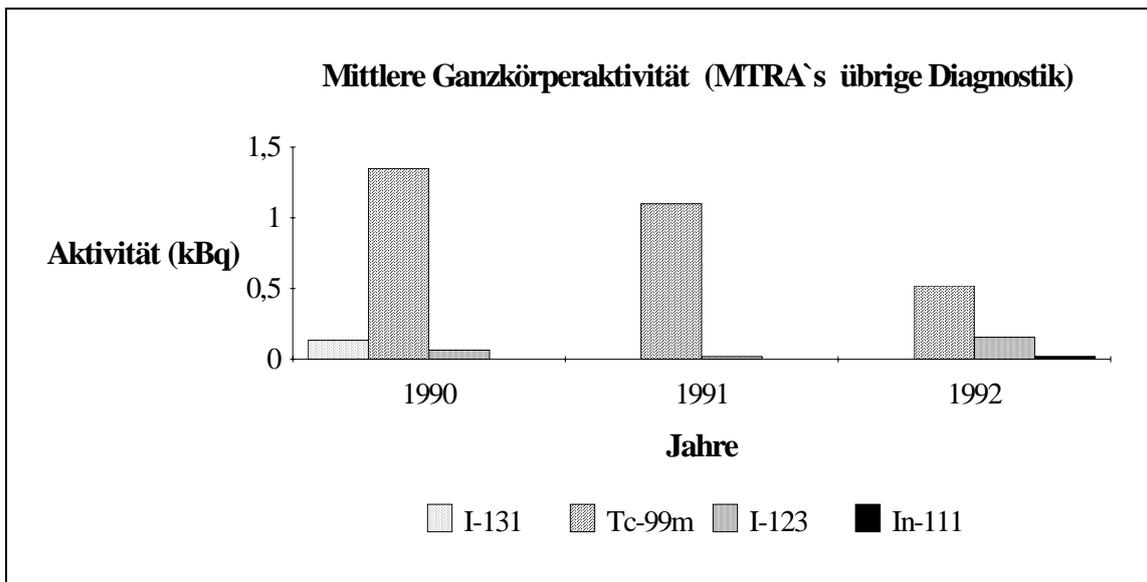


Abb. 12: Mittlere Inkorporationswerte der MTRA`s in der übrigen Diagnostik

Trotz regelmäßigen Umgangs wurden in den Jahren 1990, 1991 und 1992 nur selten Inkorporationen anderer in der Diagnostik verwendeter Nuklide bei den Inkorporationsmessungen festgestellt. Die mittleren Ganzkörperaktivitäten wurden aus den Messergebnissen von fünf MTRA`s ermittelt. Die Technetium-Inkorporationswerte liegen deutlich oberhalb der Aktivitätswerte für die Nuklide I-131, I-123 und In-111.

Im übrigen Diagnostikbereich wurden in den Jahren 1990 und 1991 um Faktoren 1,5 bzw. 2 höhere Technetium-Inkorporationswerte erzielt als im Bereich der Schilddrüsendiagnostik. Diese erhöhten Inkorporationswerte sind mit dem überwiegenden Umgang Technetium-markierter Substanzen höherer Aktivität zu erklären. Auch für den übrigen Diagnostikbereich ist demzufolge festzustellen, daß die innere Strahlenexposition vorwiegend auf die Inkorporation von Technetium zurückzuführen ist.

Schilddrüsenaktivität

Die nachfolgende Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse der Schilddrüsen-Aktivitätsberechnungen für die in der gesamten Diagnostik tätigen Personen

	Überwachungsjahr 1990 Aktivität in kBq			Überwachungsjahr 1991 Aktivität in kBq			Überwachungsjahr 1992 Aktivität in kBq		
	Ärzte	MTRA SD- Bereich	MTRA übriger Bereich	Ärzte	MTRA SD- Bereich	MTRA übriger Bereich	Ärzte	MTRA SD- Bereich	MTRA übriger Bereich
I-131	0,035	0,002	0,001	0,013	0,003	0	0,018	0	0
Tc-99m	0,002	0,002	0,002	0,006	0,004	0,017	0,003	0,001	0,002
I-123	0	0	0,001	0	0	0	0	0	0
In-111	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T-201	0	0	0	0,003	0	0	0	0	0

Tabelle 6: Aufstellung der mittleren Schilddrüsen-Aktivitätswerte aller in der Diagnostik tätigen Personen

Die mittleren Schilddrüsen-Aktivitätswerte der Ärzte spiegeln den wechselnden Einsatz auf der Therapiestation bzw. im Diagnostikbereich wieder. Aufgrund der Retention von I-131 sind Jod-Inkorporationen in der Schilddrüse länger zu beobachten, was die wesentlich höheren Jodwerte im Vergleich zu den Technetiumwerten zeigen. Im Jahr 1991 wurde außerdem das Nuklid In-111 in der Schilddrüse nachgewiesen.

Die nachfolgende Abbildung 13 zeigt diesen Sachverhalt.

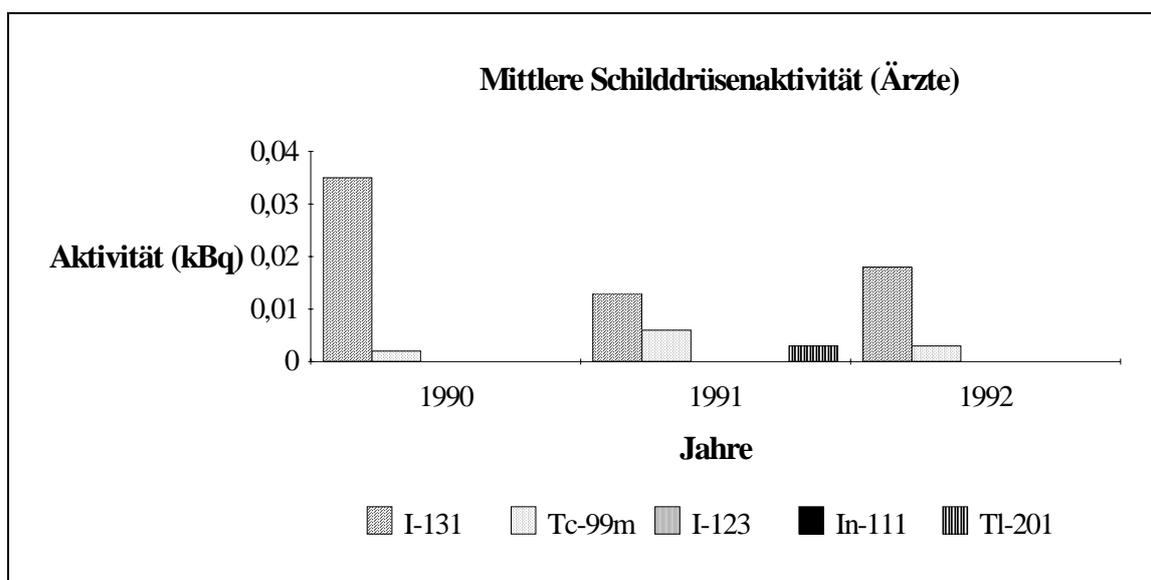


Abb. 13: Mittlere Inkorporationswerte der Ärzte in der Diagnostik

Auch bei den in der Schilddrüsendiagnostik tätigen MTRA`s wurden in den Überwachungsjahren 1990 und 1991 Inkorporationen des Radionuklids I-131 nachgewiesen, wie in der Abbildung 14 zu sehen ist. Der mittlere Jod-Aktivitätswert im Jahr 1990 ist vergleichbar mit dem Technetiumwert; im Überwachungsjahr 1991 hingegen ist der I-131-Inkorporationswert etwa um einen Faktor 1,5 niedriger als der mittlere Technetium-Aktivitätswert. Im Jahr 1992 schließlich wurden keine Inkorporationen des Nuklids I-131 nachgewiesen. Nur die in allen Überwachungsjahren erhaltenen Technetium-Inkorporation sind relevant bei der Diskussion über eine sinnvolle Inkorporationsüberwachung des Diagnostikpersonals.

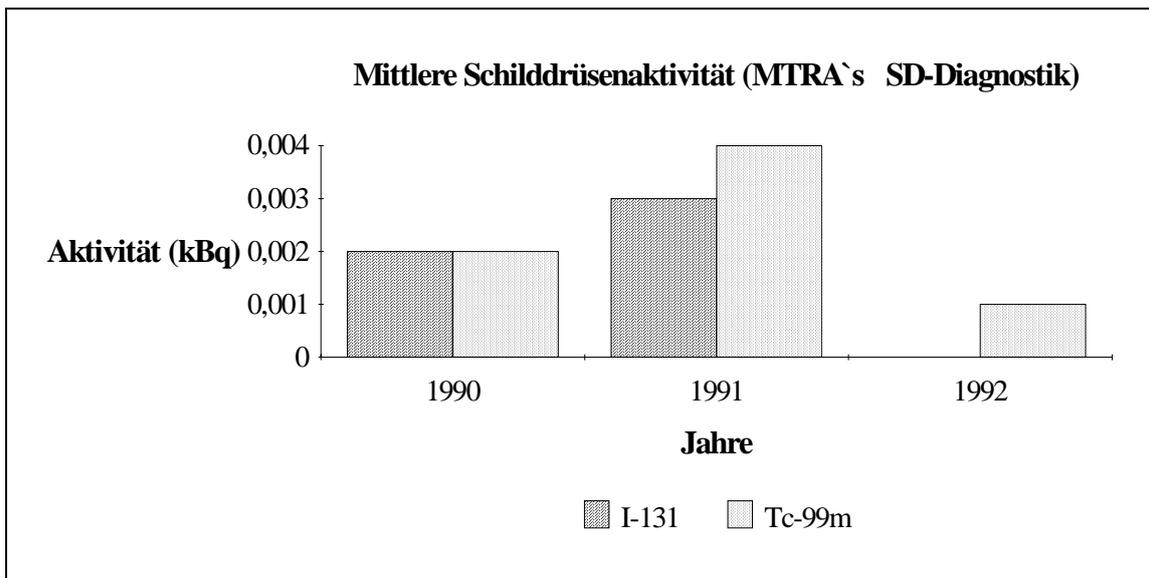


Abb. 14: Mittlere Inkorporationswerte der MTRA`s in der Schilddrüsen-Diagnostik

In der Abbildung 15 sind die für den übrigen Diagnostikbereich ermittelten Ergebnisse der Schilddrüsenmessungen zu sehen.

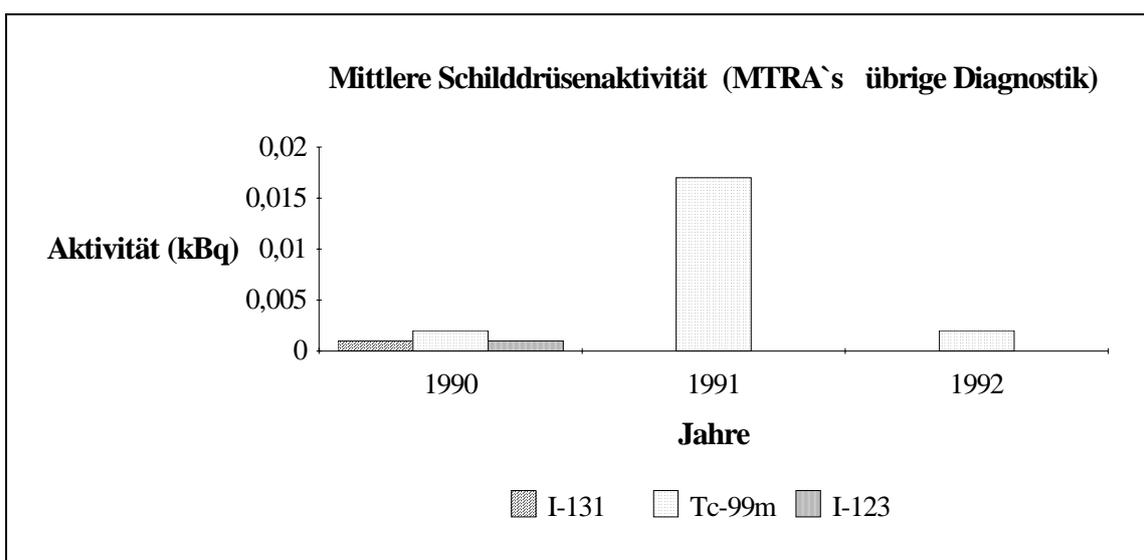


Abb. 15: Mittlere Inkorporationswerte der MTRA`s in der übrigen Diagnostik

Nur im Überwachungsjahr 1990 wurden Inkorporationen anderer diagnostisch eingesetzter Nuklide, wie I-131 und I-123, bei den MTRA's in der übrigen Diagnostik registriert; für andere Nuklide, die sich aufgrund ihrer Biokinetik ebenfalls in der Schilddrüse anreichern, lagen die gemessenen Aktivitäten in den Jahren 1991 und 1992 unterhalb der Nachweisgrenze des Meßsystems. Für die Jahre 1990 und 1992 ergaben die Auswertungen der Teilkörperspektren für das Nuklid Technetium annähernd gleiche mittlere Aktivitäten; im Jahr 1991 liegt der Inkorporationswert jedoch um einen Faktor 7 höher.

3.1.3 Zusammenfassung der Ergebnisse für die Bereiche Labor und Radiochemie, für Raumpflegerinnen und für das technische Personal

Laborpersonal

Bei einer vorwiegend im Labor tätigen MTRA wurden hauptsächlich Inkorporation des Radionuklids Technetium nachgewiesen. Für das Nuklid I-125 haben die Ganz- bzw. Schilddrüsenmessungen keinen Nachweis einer Inkorporationen erbracht, obgleich bei den labordiagnostischen in-vitro-Verfahren als Markierungsnuklid hauptsächlich I-125 verwendet wird. Eine Inkorporationswahrscheinlichkeit durch Inhalation von I-125 besteht, wenn im Labor Iod-Markierungen mit dem flüchtigen Nuklid vorgenommen werden. Da im nuklearmedizinischen Labor jedoch kommerzielle Kits mit I-125-Markierungen verwendet werden, ist keine nennenswerte Strahlenexposition beim Laborpersonal durch I-125 zu beobachten. Die innere Strahlenexposition ist hier auf die von Technetium zurückzuführen.

Physikalisch-Technischer-Bereich

	Überwachungsjahr 1990		Überwachungsjahr 1991		Überwachungsjahr 1992	
	Aktivität in kBq		Aktivität in kBq		Aktivität in kBq	
	GK	SD	GK	SD	GK	SD
I-131	0,230	0,01	0,054	0,001	0,041	0,007
Tc-99m	0,526	0,001	0,807	0,005	0,065	0

Tab. 7: Mittlere Ganzkörper- und Schilddrüsenaktivitätswerte

In der Tabelle 7 sind als Beispiel für den physikalisch-technischen Bereich die mittleren Ganzkörper- und Schilddrüsen-Inkorporationswerte aufgeführt, die aus den Analyseergebnissen der Ganz- und Teilkörperspektren eines Ingenieurs und einer Physikerin berechnet wurden. Die ermittelten Inkorporationswerte liegen erwartungsgemäß niedriger als die Werte der überwachten Ärzte, Schwestern und MTRA's in den Bereichen Therapie und Diagnostik. Eine Strahleneinwirkung wird vorwiegend durch die Nuklide I-131 (routinemäßige Kontaminationskontrolle des Therapiebereiches) und Technetium (Tätigkeiten im Diagnostikbereich) verursacht. Inkorporationen anderer Radionuklide wurden trotz regelmäßigen Umgangs nicht beobachtet. Beim technischen Personal besteht eine Inkorporationswahrscheinlichkeit für andere Nuklide (Se-75, Co-57, Cr-51, Fe-59) bei der Durchführung von Patientenmessungen und bei der Qualitätskontrolle der Untersuchungsgeräte.

Raumpflegerinnen

Der Tätigkeitsbereich der drei in die Überwachung einbezogenen Raumpflegerinnen umfaßt den Diagnostik- und Therapiebereich. Es wurden jedoch nur vereinzelt Inkorporationen des Radionuklids I-131 in den Überwachungsjahren nachgewiesen (siehe nachfolgende Tabelle 8).

	Überwachungsjahr 1990 Aktivität in kBq		Überwachungsjahr 1991 Aktivität in kBq		Überwachungsjahr 1992 Aktivität in kBq	
	GK	SD	GK	SD	GK	SD
I-131	0,157	0	0,232	0,008	0,280	0

Tabelle 8: Mittlere Ganzkörper- und Schilddrüsenaktivitätswerte

Personal der Radiochemie

Das Personal der Radiochemie wurde ab dem Jahr 1992 in die Inkorporationskontrolle integriert. Im diesem Tätigkeitsbereich wurden außer I-131-Inkorporationen auch vereinzelt Zink-65 Ganzkörper-Inkorporationen bei den dort tätigen Ingenieuren und Chemikern nachgewiesen (siehe Tabelle 9). Eine Wahrscheinlichkeit einer Inkorporation von Zn-65 besteht bei der Erprobung, Wartung und Instandsetzung des Zyklotrons. Die Ergebnisse der Schilddrüsenmessungen zeigen Inkorporationen anderer bei der Herstellung von Radiopharmaka verwendeter Jodisotope.

	Überwachungsjahr 1992 Aktivität in kBq	
	GK	SD
Zn-65	0,115	
I-123		0,001
I-125		0,004
I-131	0,217	0,005

Tabelle 9: Mittlere Ganzkörper- und Schilddrüsenaktivitätswerte

4. Dosisberechnungen

Die Berechnung der Körperdosis nach Inkorporation radioaktiver Stoffe erfolgte mit dem von K. Henrichs erstellten Programm RETEX. Zur Bestimmung der Ganzkörper- und Schilddrüsendosen wurden zunächst aus den Analyseergebnissen der Inkorporationsspektren die für die Dosisberechnung erforderlichen Zufuhren ermittelt.

Für die Zufuhrberechnung mittels Retentionsdaten wurden die gemessenen Aktivitätswerte auf den Zeitpunkt der wahrscheinlichsten Zufuhr, also der Aktivitätsinkorporation, rückextrapoliert. Biokinetische Parameter, die zur Beschreibung des zeitlichen Verlaufs der Aktivitäten in den erfaßten Körperbereichen erforderlich sind, und die von dem Programm RETEX verwendeten dosimetrischen Modelle wurden den ICRP - Publikationen Nr. 30, Nr. 53 und Nr. 60 entnommen. In der nachfolgenden Aufstellung finden sich die für den Programmablauf erforderlichen biokinetischen Parameter:

1. Stoffklasse
2. Aerodynamischer Durchmesser
3. Physikalische Halbwertszeit
4. Aktivitätsanteil f_i , der aus dem Darm ins Blut aufgenommen wird
5. Dosisfaktoren für Inhalation und Ingestion
6. Zahl der Kompartimente
7. Biologische Halbwertszeit der Kompartimente
8. Anteile der Kompartimente

Für die Steuerung des Programmablaufs sind außerdem die Angabe des Zufuhrweges (Inhalation, Ingestion) und die Angabe, ob es sich um eine einmalige oder wiederholte Zufuhr handelt, notwendig. Das Programm RETEX bietet die Möglichkeit einer Wahl zwischen Berechnung von Retentionsverläufen oder der Ermittlung von Zufuhren; letztere ist für die Bestimmung der Dosiswerte wichtig. Bei der Ermittlung der Zufuhren sind zwei Möglichkeiten gegeben:

1. Auswertung voneinander unabhängiger Messungen ; für jeden Meßwert i wird ein eigener Zufuhrwert ermittelt. Für eine einmalige Inkorporation folgt:

$$Z_i = \frac{M_i(t_i)}{R(t_i)}$$

Für wiederholte Zufuhren gilt:

$$Z_i = \frac{M_i(t_i)}{\sum_{j < i} R(t_j)}$$

2. Auswertung voneinander abhängiger Messungen; hierbei werden bei der Zufuhrberechnung für einen gemessenen Aktivitätswert die zu früheren Zeitpunkten ermittelten Aktivitätswerte berücksichtigt.

$$Z_i = \frac{M_i(t_i) - \sum_{j < i} M_j(t_j) * R(t_i - t_j)}{R(t_i - t_j)}$$

In den Überwachungsjahren 1990 und 1991 wurden die Inkorporationsmessungen in wöchentlichen Intervallen durchgeführt; die Berechnung der Zufuhren erfolgte somit unter Berücksichtigung aller gemessenen Aktivitäten (siehe Punkt 2). Bei längeren Messunterbrechungen aufgrund des wiederholten Austauschs der Detektoren, oder aufgrund krankheits- oder urlaubsbedingter Ausfälle wurde für jeden gemessenen Inkorporationswert ein eigener Zufuhrwert ermittelt (siehe Punkt 1).

Bei der Zufuhrbestimmung wurde in den Jahren 1990 bis 1993 angenommen, daß die Aktivitätszufuhr für das Radionuklid Technetium durch eine einmalige Inkorporation einen Tag, für das Nuklid I-131 acht Tage vor der auszuwertenden Messung erfolgte. Die effektiven Äquivalentdosiswerte wurden aus den Aktivitätszufuhren mittels Dosisfaktoren errechnet.

Nach der Neufassung der Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung von Körperdosen und nach der Berechnungsgrundlage ist nach Überschreitung der Interpretationsschwelle die Körperdosis nach dem Referenzverfahren zu berechnen. Dies geht von den Annahmen aus, daß die Zufuhr durch eine einmalige Inhalation in der Mitte des Zeitintervalls zwischen der vorangegangenen und der aktuellen Inkorporationsmessung erfolgte. Zur Überprüfung der richtigen Wahl des Zufuhrzeitpunktes für das Nuklid I-131 wurden die Dosiswerte für das Therapiepersonal im Jahr 1993 mit der Annahme eines achttägigen Intervalls und einer einmaligen bzw. wiederholten Inkorporation und zusätzlich mit den nach dem Referenzverfahren vorgegebenen Annahmen - mittleres Intervall, einmalige bzw. wiederholte Zufuhr - berechnet und gegenübergestellt (siehe Zwischenbericht für das Jahr 1993).

Die Annahme einer einmaligen Inkorporation und eines mittleren Zeitintervalls, wie es das Referenzverfahren vorsieht, führt bei der Berechnung der Dosen zu Werten, die wesentlich höher liegen als die Dosiswerte, die mit dem herkömmlichen Berechnungsverfahren ermittelt wurden. Auf der Therapiestation ist jedoch die Wahrscheinlichkeit einer wiederholten Zufuhr von Jod durch Inhalation gegeben. Ein Vergleich der Dosiswerte, die mit dem herkömmlichen Berechnungsverfahren (einmalige Inkorporation, achttägiges Intervall) berechnet wurden, mit den Dosiswerten, die unter der Annahme eines mittleren

Zufuhrzeitpunktes und - anstelle der einmaligen - mit einer wiederholten Zufuhr bestimmt wurden, zeigen irrelevante Unterschiede in der Höhe der Dosiswerte. Für die Diskussion der Dosiswerte im Therapiebereich wurden demzufolge die Körperdosen berücksichtigt, die unter der Voraussetzung eines mittleren Zufuhrzeitpunktes und einer wiederholten Inkorporation bestimmt wurden.

Für die in den Bereichen Therapie, Diagnostik und Radiochemie tätigen Personen wurden die Organ- und Körperdosen nach obigen Verfahren ermittelt. Die Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung wurden tabellarisch bzw. graphisch gegenübergestellt und eine statistische Analyse aller überwachten Personen abgeschlossen. Die für jeden Mitarbeiter erstellten Dosisermittlungsbögen wurden in allen Überwachungsjahren aktualisiert.

Im folgenden werden die ermittelten Ganzkörper- und Teilkörper-Dosiswerte für das Personal auf der Therapiestation und für die Personen in den Bereichen Diagnostik, Labor und Radiochemie gegenübergestellt und diskutiert.

4.1 Ergebnisse für den Therapiebereich

4.1.1 Ganzkörperdosis

Die Tabellen 10, 11 und 12 zeigen eine Zusammenstellung der errechneten Ganzkörperdosiswerte der Stationshilfen, Schwestern und der Ärzte im Therapiebereich, absolut und in Prozenten des Grenzwertes der Körperdosis von 15 mSv für Personen der Kategorie B im Kalenderjahr.

	Jahr 1990		Jahr 1991		Jahr 1992		Jahr 1993		Jahr 1994	
	H _{eff.} (mSv)	% des Jahres- Grenzwerts (15 mSv)								
Stationshilfe 1	0,42	2,8	0,2	1,3	0,6	4	0,3	2	0,34	2
Stationshilfe 2	0,7	4,6	1,4	9,3	0,4	2,6				
Stationshilfe 3	0,7	4,6	0,4	2,6						
Stationshilfe 4	0,5	3,3	2,2	14,7						
Stationshilfe 5	0,5	3,3								
Stationshilfe 6			0,8	5,3	0,6	4	1,1	7,6	0,37	2
Stationshilfe 7							0,9	6	0,53	3,5
Stationshilfe 8									0,08	< 1

Tab. 10: Aufstellung der Ergebnisse der Ganzkörpermessungen für die Stationshilfen

Inter- und intraindividuelle Unterschiede in der Höhe der Dosiswerte sind in allen Überwachungsjahren zu sehen. In den Jahren 1990 und 1992 wurden bei den Stationshilfen Ganzkörperdosen erreicht, die zwischen 3% und 5% des Grenzwertes der Körperdosis für Personen der Kategorie B von 15 mSv liegen. Im Jahr 1991 mit ebenfalls wöchentlicher Überwachung lagen die Körperdosiswerte in dem Bereich zwischen 1% und 15% des Jahresgrenzwertes, wobei die Ganzkörperbelastungen von 1,4 mSv (9% des JGW) und 2,2 mSv (15% des JGW) der Stationshilfen 2 und 4 auf einmalige Jod-Kontaminationen zurückzuführen sind.

Die berechneten Dosiswerte im Jahr 1993, in dem allein das Therapiepersonal monatlich überwacht wurde, erreichen Werte zwischen 2% und 7% des Grenzwertes der Körperdosis. Ein Vergleich mit den im ersten Halbjahr 1994 erzielten Körperdosen zeigt, daß die Dosiswerte für die Stationshilfen 6 und 7 um Faktoren 4 bzw. 2 niedriger liegen; für die Stationshilfe 1 wurde - wie im Vorjahr - ein Wert von 2 mSv errechnet.

Im Jahr 1994 erfolgte ein Personalwechsel. Die Stationshilfe 6 war 1994 nur 3 Monate auf der Therapiestation tätig, so daß ein direkter Vergleich mit dem im Jahr 1993 errechneten Wert nicht möglich ist. Für die Hilfe 7 ist der Ganzkörperdosiswerte um einen Faktor 2 niedriger; es ist demnach anzunehmen, daß bei einer weitergeführten Inkorporationsüberwachung im Jahr 1994 ein annähernd gleicher Dosiswert wie in 1993 erreicht werden könnte. Für die Hilfe 8 sind keine eindeutigen Aussagen über eine Ganzkörperbelastung zu machen, da sie nur 2 Monate überwacht wurde; der errechnete Dosiswert liegt bei 0,8 mSv (<1 des JGW).

Der Ganzkörperdosiswert von 2 mSv für die Stationshilfe 1 ist identisch mit dem Wert im Jahr 1993 und wurde innerhalb von nur 6 Monaten erreicht. Es zeigt sich demzufolge auch für die im Nachmittagsdienst tätige Hilfe eine Tendenz zu höheren Dosiswerten, welche bei den Stationshilfen im Frühdienst schon im Jahr 1993 zu beobachten war. Eine Ursache ist sicherlich das im Jahr 1994 fortgesetzte GAST-Projekts. So ist die Zahl der weißrussischen Kinder, die in der Essener Nuklearmedizin behandelt wurden, im Jahr 1994 erheblich gestiegen; diese Kinder erfordern eine sehr intensive Betreuung, so daß ein engerer Kontakt zu den Kindern auch bei den Stationshilfen unvermeidlich ist. Wie aus der Tabelle 10 ersichtlich, lag der Dosiswert der Stationshilfe 1 im Jahr 1993 um einen Faktor 3 niedriger liegt als die Dosiswerte der Hilfen 6 und 7, was damit begründet wurde, daß sich die Aufgaben der im Nachmittagsdienst tätigen Hilfe zu denen im Frühdienst unterschieden; so entfällt z.B. die morgendliche Reinigung der Patientenzimmer, bei der ein erhöhtes Risiko einer internen Strahlenexposition besteht.

Die folgende Tabelle 11 zeigt eine Aufstellung der Ergebnisse der Ganzkörper - Dosisberechnungen aller im Therapiebereich tätigen Schwestern.

Die Dosiswerte wurden mit der Annahme einer wiederholten Inkorporation und eines mittleren Intervalls zwischen vorherigen und der aktuellen Messung berechnet.

	Jahr 1990		Jahr 1991		Jahr 1992		Jahr 1993		Jahr 1994	
	H _{eff.} (mSv)	% des Jahres- Grenzwerts (15 mSv)								
Schwester 1	0,35	2,3	0,65	4,3	0,29	2	0,4	2,9		
Schwester 2	0,91	6,2	1,03	6,9	2,56	17	0,3	1,8		
Schwester 3	0,95	6,3	2,61	17,4	0,33	2,2	0,7	4,4	0,25	1,6
Schwester 4	1,26	8,4	2,10	14	0,4	2,6				
Schwester 5					0,1	1	1,7	11	0,93	6
Schwester 6					0	0	0,4	2,4	0,22	1,5
Schwester 7							0,4	2,4	0,35	2,3
Schwester 8									0,52	3,5
Schwester 9									0,12	1
Schwester 10									0,53	3,

Tab.11: Ergebnisse der Ganzkörperdosisberechnung für die Schwestern im Therapiebereich

Auch im Überwachungsjahr 1994 fand - wie in den Jahren 1992 und 1993 - ein Wechsel des Therapiepersonals statt, was an der unterschiedlichen Anzahl der zu überwachenden Schwestern zu erkennen ist. Die Zahl der durchgeführten Inkorporationsmessungen sind jedoch in den Jahren 1993 und 1994 annähernd gleich, so daß der Personalwechsel bei der Berechnung der mittleren Inkorporationswerte keine wesentliche Rolle spielt. Ein Vergleich der Dosiswerte in den Jahren 1993 und 1994 mit monatlicher Inkorporationskontrolle ist somit möglich.

Individuelle Unterschiede in der Höhe der Dosiswerte der Schwestern untereinander ist von Faktoren, wie Aufenthaltszeit im Therapiebereich, Pflegebedürftigkeit der Patienten und Umgangsverhalten mit Patienten, abhängig. Zudem spielt bei der Berechnung der Körperdosis unter der Voraussetzung eines mittleren Zufuhrzeitpunktes die Länge des Zeitintervalls zwischen vorangegangener und der aktuellen Inkorporationsmessung und die Höhe der inkorporierten Aktivität eine wesentliche Rolle, was zu höheren Zufuhren und damit zu höheren Dosiswerten führt.

Die Körperdosiswerte im Jahr 1994 für die Schwestern 3,5,6 und 7 sind ungefähr um einen Faktor 2 niedriger als die im gesamten Jahr 1993 berechneten Ganzkörperdosen. Bei einer Überwachung bis Ende 1994 würden also annähernd gleiche Körperdosen erreicht wie im Vorjahr 1993. Ein Vergleich der Dosiswerte für Jahre mit wöchentlicher und monatlicher Überwachung ist bei der Stationsschwester 3 möglich, welche am längsten regelmäßig

überwacht wurde. Zu erkennen ist, daß die Körperdosiswerte in den Jahren mit monatlicher Überwachung um Faktoren 2 bis 4 niedriger liegen als die in den Jahren 1990 bzw. 1991 ermittelten Werte. Auch für die übrigen Schwestern sind im Jahr 1993 mit monatlicher Überwachung niedrigere Körperdosen als in den Jahren mit wöchentlicher Kontrolle zu beobachten. Dies bestätigt, daß mögliche Inkorporationen in der vierwöchigen Messunterbrechung (1990 bis 1992) nicht nachweisbar sind; dies führt zu einem niedrigeren Inkorporationswert und damit auch zu niedrigeren Dosiswerten bei der monatlichen Überwachung. Die ermittelten Dosiswerte im Jahr 1993 liegen zwischen 2% und 11%, im Jahr 1994 zwischen 1% und 6 % des Jahresgrenzwertes der Körperdosis von 15 mSv für Personen der Kategorie B. In den Jahren 1993 und 1994 wurden für die Schwester 7 Körperdosen von 1,7 mSv (11% des JGW) bzw. 1 mSv (6% des JGW) ermittelt; bei dieser Schwester wurden häufiger Inkorporationen über 1 kBq nachgewiesen.

Eine Tendenz zu einer erhöhten inneren Strahlenbelastung in den Jahren 1993 und 1994 zeigen auch die Ergebnisse der Körperdosisberechnungen der im Therapiebereich tätigen Ärzte, welche in der nachfolgenden Tabelle 12 zusammengefaßt sind.

	Jahr 1990		Jahr 1991		Jahr 1992		Jahr 1993		Jahr 1994	
	H _{eff.} (mSv)	% des Jahres- Grenzwerts (15 mSv)								
Arzt 1	0,14	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Arzt 2			0,12	1	0,26	2				
Arzt 3	0,04	< 1	0,05	< 1						
Arzt 4	0,04	< 1	0,05	< 1	0	0				
Arzt 5	0,06	< 1	0	0	0	0				
Arzt 6	0,2	1,3								
Arzt 7					0,04	< 1	0,13	1		
Arzt 8	0,5	< 1	0,2	< 1						
Arzt 9							0,7	5	0,4	2,5

Tabelle 12: Ergebnisse der Ganzkörperdosisberechnung für die Ärzte im Therapiebereich

In den Jahren 1990 bis 1992, in denen das Therapiepersonal wöchentlich überwacht wurde, wurden bei den überwachten Ärzten Ganzkörperdosen erzielt, die zwischen < 1% und 2% des Jahresgrenzwertes der Körperdosis von 15 mSv der Kategorie B liegen.

Im Überwachungsjahr 1993 wurde bei dem in dem Hilfsprojekt tätigen Arzt eine Körperdosis von 1 mSv erreicht, welche 5% des Grenzwertes entspricht. Im Jahr 1994 wurde innerhalb eines Beobachtungszeitraumes von nur 6 Monaten eine Dosis von 0,4 mSv - dies entspricht 2,5% des Grenzwertes - für den Arzt errechnet.

Die Ursache der im Gegensatz zu den vorhergehenden Überwachungsjahren erhöhten internen Strahlenexposition ist auf die bei der Diskussion der Aktivitätswerte angeführten Faktoren, wie längere und intensivere Betreuung der therapierten Kinder oder auch Gewöhnung an den Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen, zurückzuführen.

4.1.2 Schilddrüsendosis

Die nachfolgenden Tabellen zeigen eine Aufstellung der auf der Therapiestation erhaltenen Teilkörperdosen für die Stationshilfen, Schwestern und Ärzte.

	Jahr 1990		Jahr 1991		Jahr 1992		Jahr 1993		Jahr 1994	
	H (mSv)	% des Jahres- Grenzwerts (90 mSv)								
Stationshilfe 1	1,21	1,3	1,79	2	1,5	1,7	1	1,3	1,2	1,3
Stationshilfe 2	0,95	1	1,8	2	0,64	< 1				
Stationshilfe 3	0,5	< 1	0,8	< 1						
Stationshilfe 4	0,7	< 1	2	2,2						
Stationshilfe 5	1	1								
Stationshilfe 6			0,8	< 1	0,6	< 1	2,9	3	2,5	3
Stationshilfe 7							1,7	2	1	1
Stationshilfe 8									0,7	< 1

Tabelle 13: Ergebnisse der Teilkörperdosisberechnung der Stationshilfen in der Therapie

	Jahr 1990		Jahr 1991		Jahr 1992		Jahr 1993		1994	
	H (mSv)	% des Jahres- Grenzwerts (90 mSv)	H (mSv)	% des Jahres- Grenzwerts (90 mSv)	H (mSv)	% des Jahres- Grenzwerts (90 mSv)	H mSv)	% des Jahres- Grenzwerts (90 mSv)	H (mSv)	% des Jahres- Grenzwerts (15 mSv)
Schwester 1	0,4	< 1	0,98	1	0,3	< 1	0,6	< 1		
Schwester 2	2,3	2,6	2,97	3,3	43	48	0,8	1		
Schwester 3	1,3	1,4	3,6	4	0,7	< 1	1,5	1,6	0,1	< 1
Schwester 4	1,8	2	2,3	2,6	1,1	1,2				
Schwester 5					0,1	< 1	1,4	1,6	0,8	1
Schwester 6					0	0	1,5	1,7	1,2	1,3
Schwester 7							1,4	1,6	0,9	1
Schwester 8									0,1	< 1
Schwester 9									0,4	< 1
Schwester 10									0,4	< 1

Tabelle 14: Ergebnisse der Teilkörperdosisberechnung der Schwestern in der Therapie

	Jahr 1990		Jahr 1991		Jahr 1992		Jahr 1993		Jahr 1994	
	H (mSv)	% des Jahres- Grenzwerts (90 mSv)	H (mSv)	% des Jahres- Grenzwerts (15 mSv)						
Arzt 1	0,2	< 1	0	0	0	0			0	0
Arzt 2			0,43	< 1	0,8	< 1				
Arzt 3	0	0	0,23	< 1						
Arzt 4	0	0	0	0	0	0				
Arzt 5	0,2	< 1	0	0	0	0				
Arzt 6	0,1	< 1								
Arzt 7					0	0	0,5	< 1		
Arzt 8	1,7	2	0,3	< 1	0	0				
Arzt 9							1,7	2	0,7	1

Tabelle 15: Ergebnisse der Teilkörperdosisberechnung der Ärzte in der Therapie

Die in den Überwachungsjahren 1993 und 1994 ermittelten Teilkörper-Dosiswerte für die Stationshilfen liegen zwischen <1% und 3% des Jahresgrenzwertes der Schilddrüsendosis von 90 mSv für Personen der Kategorie B. Für die im Nachmittagsdienst tätige Stationshilfe 1 beobachtet man eine in allen Überwachungsjahren annähernd konstante Schilddrüsenbelastung.

Eine Tendenz zu höheren Dosiswerten in den Jahren 1993 und 1994 ist bei der Stationshilfe 6 zu beobachten. Im Vergleich zu den Vorjahren liegen die errechneten Teilkörperdosen von 3 mSv (1993) bzw. 2,5 mSv (1994) um die Faktor 5 bzw. 4 höher als in den Jahren 1990 bis 1992. Der Dosiswert der Stationshilfe 7 liegt für das erste Halbjahr 1994 bei 1 mSv; dieser Wert entspricht der Hälfte der im Jahr 1993 ermittelten Teilkörperdosis. Die Stationshilfen 6 und 7 sind vorwiegend im Frühdienst tätig. Die erreichten Dosiswerte sind um einen Faktor 2 höher als der für die im Nachmittagsdienst tätige Hilfe 1.

Für die Stationshilfe 8, die ihren Dienst 1994 auf der Therapiestation aufgenommen hat, wurde in den ersten 6 Monaten eine Dosis errechnet, die < 1% des Jahresgrenzwertes entspricht; für diese Hilfe sind noch keine signifikanten Aussagen über eine Schilddrüsenbelastung zu machen, da sie erst 3 Monate an der Überwachung teilnahm.

Die für das Überwachungsjahr 1993 errechneten Teilkörper-Dosiswerte der Schwestern liegen im Bereich zwischen <1% und 2%, die Schilddrüsendosen für das Jahr 1994 zwischen < 1% und 1% des Grenzwertes der Schilddrüsendosis für strahlenexponierte Personen der Kategorie B von 90 mSv; würde die Inkorporationsüberwachung bis Ende 1994 fortgeführt, so würden die Teilkörperdosen in beiden Jahren annähernd gleiche Werte erreichen. Für die Schwestern 5, 6 und 7, die über einen konstanten Zeitraum überwacht wurden, wurden in 1993 und 1994 annähernd gleiche Dosiswerte erreicht; hierbei ist jedoch festzustellen, daß im Vergleich zum Jahr 1992 die Teilkörperdosen um Faktoren 2 bzw. 10 höher liegen.

Für die Ärzte im Therapiebereich wurden in den Jahren 1990 bis 1992 Teilkörperdosen < 1% des Jahresgrenzwertes beobachtet. In den Jahren 1993 und 1994 liegen die errechneten Schilddrüsendosiswerte für den die weißrussischen Kinder betreuenden Arzt bei 2% bzw. 1% des Grenzwertes der Körperdosis. Eine Tendenz zu einer höheren inneren Strahlenexposition ist hier ebenfalls erkennbar.

4.2 Ergebnisse für den Diagnostikbereich

Die Inkorporationsmessungen beim strahlenexponierten Personal des gesamten Diagnostikbereichs wurden in den Jahren 1990 bis 1992 in wöchentlichen Intervallen durchgeführt.

Für eine kritische Beurteilung der internen Strahlenexposition in den Bereichen nuklearmedizinische Diagnostik und Therapie wurden die Ganzkörper- und Schilddrüsen-Dosiswerte für die MTRA's und Ärzte in der Schilddrüsendiagnostik, bzw. für den übrigen Diagnostikbereich ermittelt und diskutiert.

Bei der Zufuhrberechnung aus den gemessenen Aktivitätswerten mittels Retentionsdaten wurde angenommen, daß die Aktivitätszufuhr für das Nuklid Technetium, welches routinemäßig am häufigsten in der Diagnostik eingesetzt wird, durch eine einmalige Inkorporation einen Tag vor der auszuwertenden Inkorporationsmessung erfolgte. Aus den so bestimmten Zufuhren wurden mittels Dosisfaktoren die effektiven Äquivalentdosen berechnet.

4.2.1 Ganzkörperdosis

Die nachfolgenden Tabellen zeigen die berechneten Ganzkörper-Dosiswerte der im gesamten Diagnostikbereich tätigen Personen (MTRA's, Ärzte). Unterteilt wird der Diagnostikbereich in den Bereich Schilddrüsendiagnostik und in die übrige Diagnostik mit den Tätigkeitsbereichen SPECT, Lungen- und Nierenzintigraphie sowie Skelettszintigraphie.

MTRA's in der Schilddrüsendiagnostik

	Jahr 1990		Jahr 1991		Jahr 1992	
	H _{eff.} (uSv)	% des Jahres- Grenzwertes (15 mSv)	H _{eff.} (uSv)	% des Jahres- Grenzwertes (15 mSv)	H _{eff.} (uSv)	% des Jahres- Grenzwertes (15 mSv)
MTRA 1	1,53	< 1	5,9	< 1	0,8	< 1
MTRA 2	4,6	< 1	1,7	< 1	/	/
MTRA 3	0,6	< 1	4,4	< 1	3,6	< 1

Tab. 16: Ganzkörperdosiswerte der MTRA's in der Schilddrüsendiagnostik

Die Tabelle 17 zeigt die Ergebnisse für die MTRA`s im übrigen Diagnostikbereich.

	Jahr 1990		Jahr 1991		Jahr 1992	
	H _{eff.} (uSv)	% des Jahres- Grenzwertes (15 mSv)	H _{eff.} (uSv)	% des Jahres- Grenzwertes (15 mSv)	H _{eff.} (uSv)	% des Jahres- Grenzwertes (15 mSv)
MTRA 1	1,2	< 1	7,5	< 1	0,2	< 1
MTRA 2	5,7	< 1	17,5	< 1	2,4	< 1
MTRA 3	2,4	< 1	5,1	< 1	0,9	< 1
MTRA 4	17	< 1	3,2	< 1	0	0
MTRA 5	/	/	/	/	1,3	< 1

Tab. 17: Ganzkörperdosiswerte der MTRA`s in der Schilddrüsendiagnostik

Die Ganzkörperdosiswerte der in der Schilddrüsen- und übrigen Diagnostik tätigen Ärzte zeigt die Tabelle 18.

	Jahr 1990		Jahr 1991		Jahr 1992	
	H _{eff.} (uSv)	% des Jahres- Grenzwertes (15 mSv)	H _{eff.} (uSv)	% des Jahres- Grenzwertes (15 mSv)	H _{eff.} (uSv)	% des Jahres- Grenzwertes (15 mSv)
Arzt 1	1	< 1	60	< 1	0	0
Arzt 2	/	/	3,3	< 1	6	< 1
Arzt 3	5	< 1	9	< 1	/	/
Arzt 4	49	< 1	2	< 1	1	< 1
Arzt 5	6	< 1	0,1	< 1	0	0
Arzt 6	5	< 1	/	/	/	/
Arzt 7	/	/	/	/	0,2	< 1
Arzt 8	/	/	5	< 1	0,4	< 1

Tab. 18: Ganzkörperdosiswerte der Ärzte im gesamten Diagnostikbereich

Die obige Zusammenstellung der Ganzkörperdosiswerte zeigt, daß für den gesamten Diagnostikbereich die für jede MTRA und für jeden Arzt ermittelten Körperdosiswerte unterhalb 1% des Grenzwertes der Körperdosis für Personen der Kategorie B liegen. Aufgrund des Umgangs mit Technetium-markierten Radiopharmaka höherer Aktivitätskonzentration liegen jedoch die Dosiswerte für die MTRA`s, die in den Bereichen SPECT, Skelettszintigraphie und Lungen- bzw. Nierenszintigraphie tätig sind, im Schnitt höher, als die Körperdosen der MTRA`s in der Schilddrüsendiagnostik.

4.2.2 Schilddrüsendosis

In den nachfolgenden Tabellen sind die ermittelten Teilkörperdosiswerte für alle in der Diagnostik tätigen Personen aufgeführt.

MTRA`s in der Schilddrüsendiagnostik

	Jahr 1990		Jahr 1991		Jahr 1992	
	H (uSv)	% des Jahres- Grenzwertes (90 mSv)	H (uSv)	% des Jahres- Grenzwertes (90 mSv)	H (uSv)	% des Jahres- Grenzwertes (90 mSv)
MTRA 1	1	< 1	15	< 1	1	< 1
MTRA 2	5	< 1	0	0	/	/
MTRA 3	0	0	9	< 1	0	0

Tab. 19: Teilkörperdosiswerte der MTRA`s in der Schilddrüsendiagnostik

MTRA`s im übrigen Diagnostikbereich

	Jahr 1990		Jahr 1991		Jahr 1992	
	H (uSv)	% des Jahres- Grenzwertes (90 mSv)	H (uSv)	% des Jahres- Grenzwertes (90 mSv)	H (uSv)	% des Jahres- Grenzwertes (90 mSv)
MTRA 1	4,3	< 1	103	< 1	1	< 1
MTRA 2	1	< 1	26	< 1	3	< 1
MTRA 3	0	0	19	< 1	1	< 1
MTRA 4	1	< 1	59	< 1	0	0
MTRA 5	/	/	/	/	1	< 1

Tab. 20: Teilkörperdosiswerte der MTRA`s in der übrigen Diagnostik

Ärzte in der Schilddrüsen- und übrigen Diagnostik

	Jahr 1990		Jahr 1991		Jahr 1992	
	H (uSv)	% des Jahres- Grenzwertes (90 mSv)	H (uSv)	% des Jahres- Grenzwertes (90 mSv)	H (uSv)	% des Jahres- Grenzwertes (90 mSv)
Arzt 1	0	0	0	0	0	0
Arzt 2	/	/	7	< 1	11	< 1
Arzt 3	2	< 1	8	< 1	/	/
Arzt 4	0	0	1	< 1	0	0
Arzt 5	0	0	0	0	0	0
Arzt 6	4	< 1	/	/	/	/
Arzt 7	/	/	/	/	0	0
Arzt 8	/	/	4	< 1	0,3	< 1

Tab. 21: Teilkörperdosiswerte der Ärzte im gesamten Diagnostikbereich

Auch die Ergebnisse der Teilkörper-Dosisberechnungen zeigen, daß für jede MTRA und für jeden Arzt die Teilkörperdosen im gesamten Diagnostikbereich unterhalb 1% des Grenzwertes der Körperdosis von 90 mSv liegen.

4.3 Ganzkörper- und Schilddrüsen-Dosiswerte für das technische Personal und für die Raumpflegerinnen, sowie für die Bereiche Labor und Radiochemie

Die Ergebnisse der Ganzkörper- und Teilkörperdosis-Berechnungen für die im nuklearmedizinischen Labor tätigen MTRA, für die Raumpflegerinnen, das technische Personal und für den Bereich Radiochemie sind in der folgenden Tabelle 22 zusammengefaßt.

Die Körper- und Schilddrüsendosen des Personals in den o.g. Tätigkeitsbereichen liegen unterhalb von maximal 1% des Grenzwertes der Jahreskörperdosis für Personen der Kategorie B von 15 mSv bzw. 90 mSv. Es zeigt sich also auch für diesen Personenkreis, daß trotz Umgangs mit einem breiten Spektrum von Radionukliden mit unterschiedlich

langen Halbwertszeiten und unterschiedlich hoher Aktivitätskonzentration die innere Strahlenexposition vernachlässigbar gering ist.

	Jahr 1990				Jahr 1991				Jahr 1992			
	H _{eff.} (uSv)		% des Jahres- Grenzwertes (15 mSv,GK) (90 mSv,SD)		H _{eff.} (uSv)		% des Jahres- Grenzwertes (15 mSv,GK) (90 mSv,SD)		H _{eff.} (uSv)		% des Jahres- Grenzwertes (15 mSv,GK) (90 mSv,SD)	
	GK	SD	GK	SD	GK	SD	GK	SD	GK	SD	GK	SD
Labor	7,3	5,7	< 1	< 1	12	17	< 1	< 1	23	2	< 1	< 1
Raumpflegerinnen												
1	200	0	1	< 1	70	0	< 1	0	0	0	0	0
2	/	/	/	/	320	58	1	< 1	27	0	< 1	0
3	100	0	< 1	0	200	100	1	< 1	/	/	/	/
Techn. Personal												
Ingenieur	164	210	< 1	< 1	70	70	< 1	< 1	29	160	< 1	< 1
Physikerin	1	0	< 1	0	1	0	< 1	0	0	0	0	0
Radiochemie												
Ingenieur	/	/	/	/	/	/	/	/	10	0	< 1	0
Chemiker	/	/	/	/	/	/	/	/	160	111	1	< 1
Chemiker	/	/	/	/	/	/	/	/	102	88	< 1	< 1

Tab. 22: Ganzkörper- und Organdosen der übrigen Personen der Nuklearmedizin

5. Interne und externe Strahlenexposition für den Diagnostik- und Therapiebereich

Für eine Bewertung der bisher erzielten Ergebnisse der Inkorporationsmessungen und damit eine Beurteilung der inneren Strahlenbelastung in der nuklearmedizinischen Diagnostik und Therapie ist ein Vergleich von interner und externer Strahlenexposition sinnvoll. Zu diesem Zweck wurden die Ergebnisse der Ganzkörper-Dosisberechnungen und die Ergebnisse der Personendosimetrie für die Personen in den Bereichen Therapie und Diagnostik gegenübergestellt.

In den nachfolgenden Tabellen sind für die Personendosis - gemessen mit Filmdosimetern - die 12 Monatsdosis, für die Teilkörperexposition - gemessen mit einem Fingerring-Dosimeter - die Summe der im Überwachungsjahr ermittelten Teilkörperdosen aufgeführt. In den Jahren 1993 und 1994 wurden nur vereinzelt bei Personen des Diagnostikbereichs, bei denen der Verdacht einer Inkorporation bestand, Ganzkörperzählermessungen durchgeführt; es liegen somit nur wenige Meßergebnisse vor.

Für den gesamten Diagnostikbereich werden bei der Gegenüberstellung der internen und externen Strahlenexposition folglich nur die Ergebnisse der Überwachungsjahre 1990 bis 1992 berücksichtigt.

5.1 Therapiebereich

Die Ergebnisse der Körper- und Personendosis für die im Therapiebereich tätigen Personen sind in den folgenden Tabellen zusammengefaßt.

Die Tabelle 23 zeigt in einer Gegenüberstellung die interne und externen Expositionen der Stationshilfen.

	Jahr 1990		Jahr 1991		Jahr 1992		Jahr 1993		Jahr 1994	
	Intern	Extern								
	(mSv)	(mSv)								
Stationshilfe 1	0,42	0	0,2	0	0,6	0,2	0,3	2,8	0,3	2,2
Stationshilfe 2	0,7	0,4	1,4	0,2	0,4	0				
Stationshilfe 3	0,7	0	0,4	0						
Stationshilfe 4	0,5	0,2	2,2	0						
Stationshilfe 5	0,5	0								
Stationshilfe 6			0,8	0,2	0,6	0	1,1	0,8	0,37	0,8
Stationshilfe 7							0,9	0	0,53	2,2
Stationshilfe 8									0,1	2,2

Tab. 23 : Interne und externe Exposition für die Stationshilfen im Therapiebereich

Beim Vergleich der durch Inkorporation radioaktiver Substanzen verursachten Strahlenexposition mit den Ergebnissen der Personendosimetrie ist erkennbar, daß für die Stationshilfen auf der Therapiestation Ganzkörperdosen erreicht werden, die vergleichbar bzw. geringfügig niedriger sind als die Personendosiswerte. Mit Aufnahme des GAST-Projekts "Wissenschaftler helfen Tschernobyl Kindern" ist in den Jahren 1993 und 1994 eine vermehrte interne und externe Strahlenexposition zu beobachten, welche zu höheren Körper- bzw. Personendosen führt; dies zeigt sich besonders in den Ergebnissen für die Stationshilfe 1. Die Personendosen im Jahr 1993 erreichen Werte zwischen 0 mSv und 3 mSv, die Ganzkörperdosen zwischen 0,3 mSv und 1 mSv. Im Jahr 1994 liegen die Personendosiswerte im Bereich zwischen 0,8 mSv und 2 mSv, die Ganzkörperdosen zwischen 0,1 mSv und 0,5 mSv, wobei beachtet werden muß, daß die Dosiswerte aus der Summe der Monatsdosiswerte für einen Zeitraum von 6 Monaten gebildet wurden. Für das gesamte Jahr 1994 ist demnach mit höheren Dosen zu rechnen.

Die Tabelle 24 zeigt die Ergebnisse der Körper- und Personendosisberechnungen aller im Therapiebereich tätigen Schwestern.

	Jahr 1990		Jahr 1991		Jahr 1992		Jahr 1993		Jahr 1994	
	Intern (mSv)	Extern (mSv)								
Schwester 1	0,35	0	0,65	1	0,29	0,4	0,6	1,8		
Schwester 2	0,91	0,6	1,03	3	2,5	0,8	0,4	1,2		
Schwester 3	0,95	0,4	2,61	2,6	0,33	0,2	0,8	2,2	0,25	1,6
Schwester 4	1,26	0,8	2,1	0,6	0,4	0,2				
Schwester 5					0,1		1,8	1,8	0,93	1,6
Schwester 6					0		0,41	2	0,22	1
Schwester 7							0,39	0,8	0,35	1
Schwester 8									0,52	1,2
Schwester 9									0,12	0,8
Schwester 10									0,53	0,2

Tab. 24: Interne und externe Exposition für die Schwestern im Therapiebereich

Aus der Tabelle 24 ist ersichtlich, daß auch für die Schwestern die Personendosiswerte in den Überwachungsjahren 1990 bis 1994 niedriger, vereinzelt auch höher als die Ganzkörperdosiswerte, aber auch vergleichbar mit den ermittelten Körperdosen sind. Eine Tendenz zu einer höheren internen, aber auch externen Strahlenbelastung ist bei den überwachten Schwestern in den Jahren 1993 und 1994 festzustellen.

Bei den vorwiegend im Therapiebereich tätigen Ärzten ist ein Vergleich aufgrund des wechselnden Einsatzes im Diagnostik- und Therapiebereichs nur bedingt möglich. Die Körper- bzw. Personendosen sind in der folgenden Tabelle 25 zusammengefaßt.

	Jahr 1990		Jahr 1991		Jahr 1992		Jahr 1993		Jahr 1994	
	Intern (mSv)	Extern (mSv)								
Arzt 1	0,14	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0
Arzt 2			0,12	2,2	0,26	1,6				
Arzt 3	0,04	0	0,05	0,4						
Arzt 4	0,04	0,2	0,05	0,8	0	0				
Arzt 5	0,06	0	0	0	0	0				
Arzt 6	0,2	0,4								
Arzt 7					0,04	0,8	0,13	1,6		
Arzt 8	0,5	1	0,2	0,8						
Arzt 9							0,7	3,2	0,7	0,6

Tab. 25 : Interne und externe Exposition für die Ärzte im Therapiebereich

Festzustellen ist, daß die mit Filmdosimetern gemessene externe Strahlenexposition bei allen überwachten Ärzten zu Personendosiswerten führt, die höher liegen als die aufgrund innerer Exposition ermittelten Ganzkörperdosiswerte.

Die Ergebnisse der Dosisberechnungen für das Personal der Therapiestation zeigen, daß sowohl die interne, als auch die externe Strahlenexposition bei der Beurteilung der Strahlenbelastung in der Nuklearmedizin berücksichtigt werden müssen.

5.2 Diagnostikbereich

Für eine Beurteilung der Strahlenbelastung für das Personal der nuklearmedizinischen Diagnostik ist allein die mit Filmdosimetern gemessenen Personendosis, bzw. die mit Fingerringdosimeter gemessene Teilkörperdosis maßgeblich, was in den Zusammenstellungen der Auswertungen der Film- bzw. Fingerringdosimeter und der Ergebnisse der Inkorporationsmessungen zu erkennen ist.

Die Dosiswerte für die MTRA`s in der Schilddrüsendiagnostik zeigt folgende Tabelle.

	Jahr 1990			Jahr 1991			Jahr 1992		
	Intern (mSv)	Extern (mSv)		Intern (mSv)	Extern (mSv)		Intern (mSv)	Extern (mSv)	
		Film	Ring		Film	Ring		Film	Ring
MTRA 1	0,002	0	0	0,006	0,2	1,5	0,001	0,4	1,5
MTRA 2	0,005	0	0	0,002	0	0			
MTRA 3	0,001	0,2		0,004	0,6	0	0,004	0	0

Tab. 26 : Interne und externe Exposition für die MTRA`s in der Schilddrüsendiagnostik

Die Ganzkörperdosen und die Personendosen für die MTRA`s in der Schilddrüsendiagnostik liegen noch unterhalb 1% des Grenzwertes der Körperdosis von 15 mSv. Für die Handdosis beträgt der Grenzwert der Körperdosis 150 mSv im Kalenderjahr für Personen der Kategorie B. Für die MTRA`s in der Schilddrüsendiagnostik werden für diesen Körperbereich Dosen erreicht, die 1% dieses Grenzwertes nicht überschreiten.

Die Tabelle 27 zeigt eine Aufstellung der internen und externen Exposition der MTRA`s im übrigen Diagnostikbereich.

	Jahr 1990			Jahr 1991			Jahr 1992		
	Intern (mSv)	Extern (mSv)		Intern (mSv)	Extern (mSv)		Intern (mSv)	Extern (mSv)	
		Film	Ring		Film	Ring		Film	Ring
MTRA 1	0,001	0,4	6	0,008	1,6	20,5	0,0002	1,2	13
MTRA 2	0,006	0,6	10	0,018	2,4	7,5	0,002	1,8	11,5
MTRA 3	0,002	0,2	14,5	0,005	1,8	24	0,001	2,8	20,5
MTRA 4	0,017	0,8	11	0,003	1	6,5	0	1	9
MTRA 5							0,001	0,4	15

Tab. 27 : Interne und externe Exposition für die MTRA`s in der übrigen Diagnostik

Die Körperdosiswerte der MTRA's im übrigen Diagnostikbereich, errechnet aus den Ergebnissen der Inkorporationsmessungen, liegen in allen Überwachungsjahren unterhalb 1% des Grenzwertes der Körperdosis von 15 mSv. Bei Zugrundelegung desselben Grenzwertes im Kalenderjahr werden bei der externen Strahlenexposition Dosiswerte erzielt, die im Bereich zwischen 0,2 mSv und 2,8 mSv, bzw. zwischen 1% und 19% des Grenzwertes der Körperdosis liegen. Auch die Teilkörperdosiswerte (Hand) liegen deutlich höher als die im Kalenderjahr erzielten Ganzkörperdosiswerte aufgrund interner Exposition. Sie liegen im Bereich zwischen 6 mSv und 20 mSv, also Teilkörperdosen, die 4% bzw. 16% des Grenzwertes der Teilkörperdosis von 150 mSv ausmachen.

Die nachfolgende Tabelle zeigt in einer Zusammenfassung die Ergebnisse der Inkorporationsmessungen und der Personendosimetrie für die in der Diagnostik tätigen Ärzte.

	Jahr 1990		Jahr 1991		Jahr 1992	
	Intern (mSv)	Extern (mSv)	Intern (mSv)	Extern (mSv)	Intern (mSv)	Extern (mSv)
Arzt 1	0,001	0,2	0,060	0	0	0
Arzt 2			0,003	2,2	6	1,6
Arzt 3	0,005	0	0,009	0,4		
Arzt 4	0,05	0,2	0,002	0,8	0,001	0
Arzt 5	0,006	0	0,0001	0	0	0
Arzt 6	0,005	0,4				
Arzt 7					0,0002	0,8
Arzt 8			0,005	1,2	0,0004	0,8

Tab. 28 : Interne und externe Exposition für die Ärzte im gesamten Diagnostikbereich

In allen Überwachungsjahren liegen die Ganzkörperdosiswerte aufgrund interner Exposition unterhalb 1% des Grenzwertes der Jahresdosis. Im Gegensatz hierzu erreicht die mit Filmdosimeter gemessene Personendosis Werte im Bereich von 0,2 mSv bis 2,2 mSv; dies entspricht 1% bzw. 15% des Grenzwertes der Körperdosis von 15 mSv.

Beim Vergleich der durch Inkorporation radioaktiver Substanzen verursachte Strahlenexposition mit den Ergebnissen der Personendosimetrie ist erkennbar, daß für das Personal des Diagnostikbereichs die externe Strahlenexposition eine größere Rolle spielt als die interne Exposition.

6. Kritische Diskussion zur Inkorporationsüberwachung des beruflich strahlenexponierten Personals in der Nuklearmedizin

Die Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung des beruflich strahlenexponierten Personals einer nuklearmedizinischen Klinik für die Jahre 1990 bis 1994 zeigen, daß die innere Strahlenbelastung für das Personal in den Bereichen Therapie und Diagnostik unterschiedlich bewertet werden muß. Dieser Sachverhalt wurde bei der Diskussion der Aktivitätsverläufe und der Dosisberechnungen deutlich.

Eine Schwierigkeit bei der Beurteilung der Ergebnisse der Aktivitäts- bzw. Dosisberechnungen stellt die Fluktuation des Personals in der Diagnostik und Therapie innerhalb eines Überwachungsjahres bzw. über mehrere Jahre dar, so daß eine regelmäßige Überwachung einer Person über einen längeren Zeitraum nicht immer möglich war. Eine Einhaltung der regelmäßigen Meßtermine war außerdem aufgrund des klinischen Ablaufs oder aufgrund urlaubs- oder krankheitsbedingter Ausfälle häufig nicht realisierbar.

Trotzdem erlauben die hier vorgelegten Daten eine zuverlässige Beurteilung der beruflichen Strahlenexposition in den verschiedenen Tätigkeitsbereichen einer nuklearmedizinischen Klinik.

6.1 Strahlenexposition im Therapiebereich

Intra- und interindividuelle Unterschiede in der Höhe der ermittelten Inkorporations- bzw. Dosiswerte wurden in allen Überwachungsjahren beim Personal beobachtet.

In den Jahren 1990 bis 1994 wurden für die auf der Therapiestation tätigen Schwestern und Stationshilfen annähernd gleiche durchschnittliche *Ganzkörper- und Schilddrüsen-Inkorporationswerte* ermittelt; sie liegen im Bereich zwischen 0,7 kBq und 1,35 kBq für den Ganzkörper und 0,03 kBq bis 0,07 kBq für die Schilddrüse. Festzustellen ist, daß die mittleren Ganzkörper-Aktivitätswerte für die Schwestern und Stationshilfen in den Jahren mit monatlicher Überwachung - also von 1992 bis 1994 - annähernd um einen Faktor 2 kleiner sind als bei wöchentlicher Messung. Mögliche Inkorporationen innerhalb der vierwöchigen Messunterbrechung bei der monatlichen Kontrolle werden nicht registriert; ein niedrigerer Jod-Aktivitätswert ist dementsprechend zu erwarten.

Im Gegensatz zu den Ergebnissen der Ganzkörperspektren sind bei den Analysen der Schilddrüsenpektren keine Unterschiede in der Höhe der mittleren Aktivitätswerte für die Jahre mit wöchentlicher bzw. monatlicher Inkorporationskontrolle festzustellen. Die konstanten I-131-Schilddrüsenbelastungen in allen Jahren sind unter Berücksichtigung der

Stoffwechseldaten für Jod-131 zu begründen; die Anreicherung des Jods in der Schilddrüse ist aufgrund der biologischen Halbwertszeit von 120 d ($T_{1/2\text{eff.}}=7,5$ d) über einen längeren Zeitraum nachzuweisen als die Retention des Jods im Ganzkörper. Für eine individuelle Beurteilung der Schilddrüsenbelastung sind unter Umständen von der Norm abweichende Daten der Jodkinetik zu berücksichtigen.

Da für jeden Personenkreis die mittleren Inkorporationswerte in allen Überwachungsjahren nahezu identisch sind, liegt der Schluß nahe, daß auf der Station ein in etwa konstanter Aktivitätswert erreicht wird. Der Hauptteil der I-131-Inkorporation dürfte durch Inhalation erfolgen. Die Inkorporationswerte würden wesentlich höher liegen, wenn nicht in den Patientenzimmern ein 8,6 facher Luftwechsel pro Stunde gewährleistet wäre.

Die mittleren Aktivitätswerte der Ärzte lagen in den Jahren 1990 bis 1992 im Vergleich zu den Inkorporationswerten der übrigen Personen des Therapiebereichs wesentlich niedriger; die Ganzkörper-Aktivitätswerte sind um Faktoren 3 bis 10, die Schilddrüsenaktivitätswerte um Faktoren 2 bis 5 geringer. Die *Ganzkörperaktivitäten* erreichen Werte zwischen 0,1 kBq und 0,2 kBq, die *Schilddrüsenaktivitäten* zwischen 0,013 kBq und 0,035 kBq. In den Jahren 1993 und 1994 dagegen beobachtet man mit Beginn des Projekts "Wissenschaftler helfen Tschernobyl Kindern" bei den Stationsärzten eine Tendenz zu einer höheren Ganzkörper- bzw. Schilddrüsenbelastung, die in der gestiegenen Anzahl durchgeführter Therapien und in der intensiven Betreuung der zum Teil sehr pflegebedürftigen Kinder begründet ist.

Es werden mit den Inkorporationswerten der Schwestern und Stationshilfen vergleichbare mittlere Aktivitätswerte von 0,8 kBq (GK) und 0,08 kBq (SD) ermittelt. Dies zeigt, daß ein ständiger Kontakt zu pflegebedürftigen Patienten und die Anzahl therapierter Patienten einen wesentlichen Einfluß auf die Höhe der Ganzkörper- bzw. Schilddrüsenbelastung haben. Ein Vergleich der berechneten mittleren Ganzkörper- und Schilddrüsen-Inkorporationswerte der Ärzte mit den Aktivitäten der übrigen Personen im Therapiebereich wird durch den häufigen Wechsel von Stationsdienst und Einsatz im Diagnostikbereich erschwert. Die Dauer des Aufenthalts im Therapiebereich spiegelt sich auch in den intra- bzw. interindividuellen Unterschieden in der Höhe der Inkorporationswerte der überwachten Ärzte wieder.

Ein kritischer Punkt bei der Berechnung der Dosiswerte war die Annahme des wahrscheinlichsten Inkorporationszeitpunktes, auf den die gemessenen Aktivitätswerte bei der Zufuhrberechnung rückextrapoliert wurden. Der Zufuhrzeitpunkt, der auch entscheidend für die Klärung der Frage nach einer sinnvollen Inkorporationsüberwachung für den Therapiebereich ist, kann aufgrund einer retrospektiven Analyse der Arbeitsabläufe

selten genau angegeben werden, so daß die Unsicherheiten bei der Dosisberechnung - besonders für Radionuklide mit einer kurzen Verweildauer - sehr groß sein kann. In Anlehnung an die Richtlinie Physikalische Strahlenschutzkontrolle wurde bei der Berechnung der Dosiswerte für das Nuklid I-131 angenommen, daß die Aktivitätszufuhr durch eine wiederholte Inhalation in der Mitte des Zeitintervalls zwischen der vorangegangenen und der auszuwertenden Inkorporationsmessung erfolgte, wobei die Länge des mittleren Zeitintervalls und die Höhe der inkorporierten Aktivität entscheidend für die Höhe der effektiven Äquivalentdosen sind.

Die *Ganzkörperdosen* für die Stationshilfen lagen im Jahr 1990 mit wöchentlicher Überwachung zwischen 0,4 mSv und 0,7 mSv; diese Dosen entsprechen 3% bzw. 5% des Grenzwertes der Körperdosis von 15 mSv für Personen der Kategorie B im Kalenderjahr. Einmalige Kontaminationen, welche Inkorporationen zur Folge haben, können u.U. den Hauptanteil zur Körperdosis beitragen. Dies war im Überwachungsjahr 1991 zu sehen, in dem für zwei Stationshilfen höhere Dosiswerte von 2,2 mSv und 1,4 mSv ermittelt wurden, welche 14% bzw. 9% des Jahresgrenzwertes entsprechen. Im Jahr 1992 wurde für die in der Überwachung verbleibenden Stationshilfen eine annähernd konstante Ganzkörperdosis von 0,5 mSv (4% des JGW) errechnet. Die *Schilddrüsendosiswerte* der Stationshilfen lagen in den Überwachungsjahren 1990 bis 1992 im Bereich zwischen < 1% und maximal 2% des Grenzwertes der Teilkörperdosis von 90 mSv für Personen der Kategorie B.

Eine Tendenz zu einer höheren Ganzkörper- und Schilddrüsenbelastung war in den Jahren 1993 und für die erste Hälfte des Jahres 1994 zu beobachten. Hier lagen die Ganzkörperdosiswerte teilweise um Faktoren 2 bzw. 4 höher; sie erreichen Werte zwischen 0,3 mSv - dies entspricht 2 % des Grenzwertes - und 1 mSv, was einer Dosis von ca. 8% des Grenzwertes der Körperdosis gleichkommt. Die Schilddrüsendosen erreichten Werte von 1 mSv bis 3 mSv, also Dosen zwischen 1% und 3% des Jahresgrenzwertes von 90 mSv. Der Grund für diese höhere Strahlenbelastung lag in der intensiveren Betreuung und der gestiegenen Anzahl der therapierten weißrussischen Kinder.

Die *Ganzkörper- und Schilddrüsen-Dosiswerte* der Schwestern im Therapiebereich lagen in den Überwachungsjahren nur geringfügig höher als die Werte der Stationshilfen. Die Höhe der Dosen hängt entscheidend davon ab, wie lange sich die überwachte Person im Therapiebereich aufhält und wie intensiv der Umgang mit den Patienten ist. Auch spielt in diesem Zusammenhang die Angst vor Radioaktivität eine große Rolle, die zu einem vorsichtigeren Verhalten im Umgang mit den Patienten führen kann. So lagen die Dosiswerte einer Schwester in den Überwachungsjahren 1990 bis 1993 im Schnitt um den Faktor 2-4 niedriger als die Ganzkörperdosen der übrigen Schwestern; sie erreichten Werte zwischen 0,3 mSv (2% des JGW) und 0,65 mSv (4% des JGW). Die

Ganzkörperdosen der übrigen Schwestern waren im Jahr 1990 relativ konstant; sie lagen zwischen 1 mSv und 1,3 mSv, was 6% bzw. 8% des Grenzwertes entspricht. Im Jahr 1991 erreichten die Körperdosen Werte zwischen 7% und 17% des Grenzwertes, also Dosiswerte von 1 mSv bzw. 3 mSv. Diese höheren Körperdosen waren auf einmalige Inkorporationen bei der Betreuung besonders pflegebedürftiger Patienten zurückzuführen. Sie tragen den Hauptteil zur Ganzkörperdosis bei. Auch im Jahr 1992 wurde bei einer Schwester aufgrund einer einmaligen Kontamination ein Dosiswert von 3 mSv beobachtet. Die Dosen der übrigen Schwestern lagen bei 0,3 mSv (2% des JGW).

Ohne Berücksichtigung der relativ hohen Teilkörperdosis von 43 mSv im Jahr 1992 bei einer einzelnen Schwester, der aufgrund einer einmaligen Kontamination erreicht wurde, lagen die *Schilddrüsendosiswerte* der Schwestern in den Jahren 1990 bis 1992 zwischen <1% und maximal 4% des Jahresgrenzwertes; dies entspricht einer Dosis von 0,3 mSv bzw. 4 mSv. In den Jahren 1993 und 1994 war bei allen überwachten Schwestern eine Tendenz zu einer vermehrten Inkorporation zu beobachten. Die errechneten Ganzkörperdosen lagen im Bereich zwischen 0,1 mSv und 1,7 mSv, also 1% bzw. 11% des Jahresgrenzwertes von 15 mSv; die Teilkörperdosen erreichten Werte von 1% (0,1 mSv) bis 2% (1,5 mSv) des Grenzwertes der Schilddrüsendosis von 90 mSv.

Die *Ganzkörper- und Teilkörperdosen* der Ärzte im Therapiebereich lagen deutlich niedriger als die Dosiswerte der Schwestern und Stationshilfen; sie erreichten in den Jahren 1990 bis 1992 Werte zwischen < 1% und 2% (0,04 mSv, 0,3 mSv) des Grenzwertes der Körperdosis von 15 mSv für die Ganzkörperbelastung und für die Schilddrüsendosis ebenfalls Werte zwischen < 1% und 2% (0,1 mSv bzw. 1,7 mSv) des Jahresgrenzwertes der Dosis von 90 mSv.

In den Jahren 1993 und 1994 ist - wie bei dem übrigen Therapiepersonal - eine Tendenz zu einer erhöhten Ganzkörperbelastung aufgrund des GAST-Projekts festzustellen. Die errechneten Ganzkörperdosen lagen zwischen 1% und 5% des Jahresgrenzwertes, die Schilddrüsendosen erneut zwischen 0,1 mSv bzw. 1,7 mSv.

Zusammenfassend ist festzuhalten, daß für eine Beurteilung der inneren Strahlenbelastung des Therapiepersonals folgende Faktoren zu berücksichtigen sind:

- Anzahl der zu betreuenden Patienten
- Höhe an verabreichter I-131-Aktivität
- Pflegebedürftigkeit der Patienten
- Häufigkeit von Früh- Spät- oder Wochenenddienst des Therapiepersonals
- Dauer des Aufenthalts im Therapiebereich
- Verhalten im Umgang mit den Patienten, bzw. mit radioaktiven Stoffen

Die innere Strahlenexposition ist vorwiegend auf die Inhalation des Radionuklids I-131 aus der Raumluft zurückzuführen. Die ermittelten Ganzkörper- und Schilddrüsen-Inkorporationswerte des Personals der Therapiestation sowie die daraus ermittelten Ganzkörper- und Teilkörperdosen spiegeln den Einfluß der oben aufgeführten Parameter auf die innere Strahlenexposition wieder. Die im Jahr 1991 und 1992 bei einigen Stationshilfen und Schwestern ermittelten hohen Strahlenexpositionen zeigen, daß ein unvorsichtiges Verhalten bei der Patientenpflege - also beispielsweise kein Tragen von Schutzhandschuhen - hohe einmalige Inkorporationen zur Folge haben kann, die folglich einen großen Anteil zur inneren Strahlenbelastung beitragen. Das Aufdecken von Kontaminationen bzw. Inkorporationen und die Diskussion über mögliche Kontaminationsursachen haben beim Therapiepersonal einen erzieherischen Effekt bewirkt, der sich durch ein umsichtigeres Verhalten im Umgang mit den Patienten und bei der täglichen Routinearbeit, speziell durch konsequentes Tragen von Hand- und Überschuhen, zeigt.

Für Personen, die ihren Dienst neu auf der Therapiestation aufnehmen, war dieser typische Inkorporationsverlauf - höhere Inkorporationen zu Beginn der Tätigkeit, abnehmende Inkorporationen im weiteren Verlauf - besonders zu beobachten. Voraussetzung für ein korrektes Verhalten des Therapiepersonals aus der Sicht des Strahlenschutzes ist eine konsequente und sorgfältige Aufklärung über mögliche Strahlenschutzmaßnahmen für die Vermeidung von Kontaminationen und damit Inkorporationen. Es zeigt sich, daß hierzu die vorgeschriebenen halbjährlichen Strahlenschutzbelehrungen u.U. nicht ausreichen.

Eine Gegenüberstellung von interner- und externer Exposition ergibt, daß die Personendosiswerte aller auf der Therapiestation tätigen Personen vergleichbar mit den ermittelten Körperdosiswerten aufgrund der Inhalation des Nuklid I-131 sind. Für das Therapiepersonal sind demzufolge sowohl die innere als auch die externe Strahlenexposition für die Bewertung der Strahlenbelastung relevant.

6.2 Strahlenexposition im Diagnostikbereich

Die Inkorporationsüberwachung des Diagnostikpersonals wurden in den Jahren 1990 bis 1992 zunächst in wöchentlichen Intervallen (1990/1991) und ab dem Jahr 1992 in monatlichen Abständen durchgeführt. Für den Diagnostikbereich ist die innere Strahlenexposition vorwiegend auf die Inkorporation des Radionuklids Technetium-99m zurückzuführen.

Bei den Ganzkörperzählermessungen wurden nur vereinzelt Inkorporationen anderer in der Diagnostik verwendeter Radionuklide - wie I-131, I-123, In-111, Tl-201 und Ga-67 - nachgewiesen. Die Diskussion der Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung erfolgte getrennt nach zwei Tätigkeitsbereichen. Es wurde unterschieden zwischen der Schilddrüsendiagnostik und dem Diagnostikbereich, der die Gebiete SPECT von Herz und Hirn sowie die Lungen und Nierenzintigraphie und die Skelettszintigraphie einschließt. Inter- und intraindividuelle Unterschiede in der Höhe der Ganzkörper- und Schilddrüsen-Inkorporationswerte von Technetium bei den in den verschiedenen Diagnostikbereichen tätigen Personen wurden in allen Überwachungsjahren festgestellt.

Für den Schilddrüsendiagnostikbereich lagen die ermittelten durchschnittlichen *Ganzkörper- Aktivitätswerte* in den Überwachungsjahren 1990 bis 1992 unterhalb 1 kBq und waren annähernd gleich (0,800 kBq).

Die mittleren *Schilddrüsenaktivitätswerte* erreichten Werte zwischen 2 Bq und 4 Bq. Inkorporationen anderer in der Schilddrüsendiagnostik verwendeter Nuklide, wie I-131, wurden nur selten nachgewiesen.

Für den übrigen Diagnostikbereich lagen die mittleren *Ganzkörper-Inkorporationswerte* für das Radionuklid Tc-99m annähernd um einen Faktor 2 höher als die in der Schilddrüsendiagnostik ermittelten Durchschnittswerte, was mit dem Umgang Tc-99m-markierter Substanzen höherer Aktivität zu erklären ist. Die Ganzkörper-Inkorporationswerte liegen im Bereich zwischen 0,520 kBq und 1,4 kBq. Trotz regelmäßigen Umgangs mit einem breiten Spektrum von Radionukliden wurden bei den MTRA`s nur vereinzelt Inkorporationen anderer Nuklide beobachtet. Die Inkorporationswerte für die Nuklide I-123 und T-201 liegen um Faktoren 20 bzw. 7 niedriger als die beobachteten Inkorporationen für das Nuklid Tc-99m.

Auch die Auswertungen der *Teilkörperspektren* der MTRA`s im übrigen Diagnostikbereich ergaben im Vergleich zu den Inkorporationswerten in der Schilddrüsendiagnostik um Faktoren 2 bis 4 höhere Aktivitätswerte; die Technetiumwerte liegen im Bereich von 2 Bq bis 17 Bq.

Bei den im gesamten Diagnostikbereich tätigen Ärzte wurden nur selten Inkorporationen anderer Nuklide nachgewiesen. Auch hier spielten die umgangsbedingten Technetium-Inkorporationen für die innere Strahlenexposition die wesentlichere Rolle. Die mittleren Technetium-*Ganzkörper-Inkorporationswerte* der Ärzte liegen im Bereich zwischen 0,5 kBq und 1 kBq, die mittleren *Teilkörperaktivitäten* zwischen 2 Bq und 6 Bq.

Die Ergebnisse der *Ganzkörper- und Schilddrüsen-Dosisberechnungen* im gesamten Diagnostikbereich zeigen, daß für jede MTRA und für jeden in der Diagnostik tätigen Arzt die Körper- und Organdosiswerte unterhalb 1% der Grenzwerte der Körperdosis von 15 mSv (GK) und 90 mSv (SD) für Personen der Kategorie B liegen.

Für die Bereiche Labor und Radiochemie, für die Raumpflegerinnen und für das technische Personal lagen die ermittelten *Ganzkörper- und Schilddrüsendosen* im Bereich zwischen < 1% und maximal 1% des Grenzwertes der Körperdosis von 15 mSv (GK) und 90 mSv (SD).

Ein Vergleich der durch die regelmäßige Inkorporationsüberwachung ermittelten Körperdosiswerte mit den mittels Film- bzw. Fingerringdosimeter gemessenen *Personendosiswerten* des Personals im gesamten Diagnostikbereich und für die Bereich Labor, Technik und Radiochemie zeigt, daß die externe Strahlenexposition für die Beurteilung der Strahlenbelastung des Diagnostikpersonals relevanter ist als die interne Exposition.

Für den Bereich der Schilddrüsendiagnostik lagen die *Personendosen* unterhalb 1% des Grenzwertes von 15 mSv; für die Handdosis werden Dosen erreicht, die 1% des Grenzwertes von 150 mSv nicht überschreiten.

Die *Personendosiswerte* der MTRA`s im übrigen Diagnostikbereich liegen zwischen 0,2 mSv und 2,8 mSv, also 1% bzw. 19% des Grenzwertes der Körperdosis von 15 mSv. Auch die Teilkörperdosiswerte sind deutlich höher als die im Schilddrüsendiagnostikbereich; sie liegen innerhalb des Bereichs von 6 mSv und 20 mSv, was Dosiswerten von 4% bzw. 16% des Grenzwertes der Teilkörperdosis von 150 mSv gleichkommt.

Auch für die Ärzte ist die externe Exposition wesentlich höher als die interne. Die Personendosen erreichen Werte von 0,2 mSv bis 2,2 mSv; dies entspricht 1% bzw 15% des Grenzwertes der Körperdosis von 15 mSv.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die umgangsbedingten Technetium-Inkorporationen den Hauptteil zur inneren Strahlenexposition im Diagnostikbereich beitragen. Die Strahlenbelastung hängt von folgenden Faktoren ab:

- Art der verwendeten Radiopharmaka
- Höhe der verwendeten Aktivitäten
- Verhalten beim Umgang mit den Radiopharmaka
- Art der Untersuchungsverfahren
- Verhalten beim Umgang mit Patienten
- Dauer der Tätigkeit im "Heißlabor" und in den unterschiedlichen Diagnostikbereichen

Die aus der Sicht des Strahlenschutzes erforderliche Einhaltung von persönlichen Strahlenschutzmaßnahmen, wie das konsequente Tragen von Handschuhen und häufige Kontaminationskontrollen verringern die Wahrscheinlichkeit einer Inkorporation radioaktiver Stoffe. Eine regelmäßige und sorgfältige Strahlenschutzbelehrung ist selbstverständlich auch beim Diagnostikpersonal Voraussetzung für ein kritisches und überlegtes Verhalten im Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen.

6.3 Schlußfolgerungen zur Erfordernis einer regelmäßigen Inkorporationsüberwachung

Aus der vorliegenden Untersuchung zur Inkorporationsüberwachung des beruflich strahlenexponierten Personals ist folgendes Fazit zu ziehen:

- * Die ermittelten Ganzkörper- und Organdosiswerte sind aufgrund des unbekanntem Inkorporationszeitpunktes als Dosisabschätzung zu sehen.
Besonders für Nuklide mit einer kurzen Halbwertszeit ist die Unsicherheit bei der Berechnung der Zufuhr und damit der Dosiswerte infolge des unbekanntem Inkorporationszeitpunktes groß.

- * Der Therapiebereich trägt aufgrund der Inhalation von I-131 den Hauptteil zur inneren Strahlenexposition in der Nuklearmedizin bei.
Die hier ermittelten Dosiswerte liegen um einen Faktor 1000 höher als die in der Diagnostik ermittelten Ganzkörper- bzw. Schilddrüsendosiswerte. Sie erreichen im Mittel 6% (1-2 mSv) des Grenzwertes der Körperdosis von 15 mSv, bzw. 3% (3 mSv) des Grenzwertes der Teilkörperdosis von 90 mSv für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie B
Die Gegenüberstellung von interner und externer Exposition des Therapiepersonals zeigt, daß beide Überwachungsmethoden - die Inkorporationskontrolle und die Filmdosimetrie - für die Bewertung der Strahlenbelastung relevant sind.

- * In der nuklearmedizinischen Diagnostik ist die innere Strahlenexposition vorwiegend auf die Inkorporation des Radionuklids Technetium-99m zurückzuführen.
Die ermittelten Teil- und Ganzkörperdosiswerte liegen hier unterhalb 1% der Grenzwerte der Körperdosis von 15 mSv bzw. 90 mSv für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie B.
Für das Diagnostikpersonal ist die mit Film- bzw. Fingerringdosimeter gemessene externe Strahlenexposition zur Beurteilung der Strahlenbelastung wesentlich.
Die Inkorporationskontrolle ist aufgrund der hier vorgelegten Ergebnisse der Ganzkörper- und Schilddrüsenmessungen verzichtbar.

Nach der Neufassung der Richtlinie Physikalische Strahlenschutzkontrolle vom März 1994 ist die Erfordernis einer regelmäßigen Überwachung bei innerer Exposition dann gegeben, wenn im Kalenderjahr mehr als 10% des Grenzwertes der Jahresaktivitätszufuhr (nach Anlage IV, Tabelle IV1, Spalte 5 der StrlSchV) inkorporiert wird. Für das Radionuklid I-131 z.B. wird als Überwachungsintervall ein Zeitraum von 14 Tagen vorgeschlagen.

Bei Umgang mit nur einem Radionuklid gilt folgende Beziehung:

$$\frac{A_u}{GJAZ} > 0,1$$

wobei A_u die maximal im Kalenderjahr unbemerkt inkorporierte Aktivität und GJAZ den Grenzwert der Jahresaktivitätszufuhr bedeuten.

Die maximal im Kalenderjahr inkorporierte Aktivität A_u setzt sich wie folgt zusammen

$$A_u = a * N * A$$

a = relativer Anteil der Arbeitsplatzaktivität, der maximal unbemerkt inkorporiert werden kann

N = Zahl der Expositionstage im Kalenderjahr

A = Jahresmittel der Arbeitsplatzaktivität

Die nachfolgende Tabelle 28 gibt einen Überblick darüber, für welche in der Essener Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin gehandhabten Radionuklide eine regelmäßige Überwachung nach den Vorschriften der Richtlinie für die physikalischen Strahlenschutzkontrolle erforderlich ist.

Als Grundlage für die Berechnung der maximal im Kalenderjahr inkorporierten Aktivität A_u kam für den relativen Anteil der Aktivität, der unbemerkt inkorporiert werden kann, der in der Richtlinie empfohlene Wert von $a = 5 * E-05$ zur Anwendung; für das Jahresmittel der Arbeitsplatzaktivität wurden für die in der Essener Nuklearmedizin verwendeten Nuklide die in der Jahresstatistik aufgeführten Werte verwendet. Für die Zahl der Expositionstage wurde der Wert $N=200$ angenommen.

Nuklid	GJAZ (Bq)	A = Jahresmittel der Arbeitsplatzaktivität (Bq)	$A_u = a * N * A$ (Bq) ($a = 5 * E-05$; $N = 200$)	$A_u / GJAZ$
Cr-51	3,00E+08	4,26E+06	4,26E+04	0,0001
Fe-59	1,00E+07	1,88E+05	1,88E+03	0,0002
Co-57	9,00E+06	3,89E+04	3,89E+02	0,0000
Ga-67	3,00E+08	2,67E+07	2,67E+05	0,0009
Se-75	2,00E+07	5,60E+03	5,60E+01	0,0000
Tc-99m	5,00E+09	9,30E+09	9,30E+07	0,0186
In-111	2,00E+08	3,10E+07	3,10E+05	0,0016
I-123	1,00E+08	1,70E+08	1,70E+06	0,0170
I-125	2,00E+06	3,90E+05	3,90E+03	0,0020
I-131	1,00E+06	8,80E+09	8,80E+07	88,0000
Tl-201	8,00E+08	1,50E+08	1,50E+06	0,0019

Tab. 29: Erfordernis einer regelmäßigen Inkorporationsüberwachung: $A_u > 0,1 * GJAZ$

Aus der Tabelle ist ersichtlich, daß der Grenzwert für die Erfordernis einer regelmäßigen Überwachung für alle in Essen gehandhabten Radionuklide - mit Ausnahme von I-131 - bei weitem nicht erreicht wird. Nur für das Nuklid I-131 ist eine regelmäßige Überwachung der Inkorporation gemäß der Richtlinie Physikalische Strahlenschutzkontrolle erforderlich. Diese Ergebnisse wären konform zu den Ergebnissen der in der Essener Nuklearmedizin durchgeführten Inkorporationsüberwachung; hier trägt I-131 im Therapiebereich den Hauptteil zur inneren Strahlenexposition in der Nuklearmedizin bei. Da die Inkorporationskontrollen des Personals in sehr kurzen zeitlichen Intervallen durchgeführt wurden, konnten Aussagen über die möglichen unbemerkten Inkorporationen gemacht werden. Anhand der in einem Kalenderjahr in der Essener Nuklearmedizin experimentell ermittelten tatsächlichen Inkorporationen wurde demzufolge die Notwendigkeit einer regelmäßigen Inkorporationskontrolle gemäß der Richtlinie physikalische Strahlenschutzkontrolle überprüft. Die folgenden Tabellen zeigen für einige Radionuklide eine Gegenüberstellung der Grenzwerte für die Erfordernis einer regelmäßigen Kontrolle zu den experimentell ermittelten durchschnittlichen Inkorporationswerten (Jahr 1991) bzw. zu den maximal detektierten Inkorporationswerten für das Therapie- bzw. Diagnostikpersonal; der hohe I-131-Inkorporationswert einer Schwester von 18 kBq resultiert aus einer nicht sofort erkannten einmaligen Kontamination (siehe Diskussion der Aktivitätswerte).

Nuklid	Erfordernis regelmäßiger Überwachung GJAZ*0,1 (Bq)	Inkorporationswerte im Kalenderjahr (Bq)			
		Therapie			
		Mittlere Inkorporationswerte			Maximal detektiertes Inkorporationswert
		Ärzte	Schwester	Stationshilfen	Therapiepersonal
I-131	1 E + 05	1,2 E + 02	1,4 E + 03	1,2 E + 03	18 E + 03
Tc-99m	5 E + 08				
I-123	1 E + 07				
Tl-201	8 E + 07				

Tab. 30: Gegenüberstellung Inkorporationserfordernis und tatsächliche Inkorporationswerte

Nuklid	Erfordernis regelmäßiger Überwachung GJAZ*0,1 (Bq)	Inkorporationswerte im Kalenderjahr (Bq)		
		Diagnostik		
		Mittlere Inkorporationswerte		Maximal detektiertes Inkorporationswert
		Ärzte	MTRA's	Diagnostikpersonal
I-131	1 E + 05			
Tc-99m	5 E + 08	1,1 E + 03	1,1 E + 03	1,6 E + 04
I-123	1 E + 07	3,5 E + 01	1,6 E + 02	7,5 E + 02
Tl-201	8 E + 07	1,4 E + 02	/	2,3 E + 03

Tab. 31: Gegenüberstellung Inkorporationserfordernis und tatsächliche Inkorporationswerte

Für den Bereich Diagnostik werden - wie erwartet - die Richtwerte für die Erfordernis einer regelmäßigen Inkorporationsüberwachung bei weitem nicht erreicht.

Die mittleren Technetiumwerte liegen um 5 Größenordnungen unterhalb des Richtwertes von 500 MBq. Für diese Radionuklide mit einer kurzen effektiven Halbwertszeit können - den Empfehlungen der Richtlinie entsprechen - anstatt der Inkorporationsmessungen zweckmäßigere und effektivere Überwachungskontrollen, wie häufige Kontaminationskontrollen mit Hilfe von Monitoren, die z.B. für Technetium kalibriert sind, durchgeführt werden.

Die im Jahr 1991 gemessenen durchschnittlichen Inkorporationswerte für das Therapiepersonal von ca. 1,3 kBq für die Schwestern bzw. Stationshilfen sowie 120 Bq für die Ärzte liegen um 2 bis 3 Größenordnungen unter dem Richtwert für eine regelmäßige Kontrolle. Auch bei Zugrundelegung des höchsten detektierten Inkorporationswertes von 17 kBq ist die Notwendigkeit einer regelmäßigen Inkorporationskontrolle nicht gegeben. Demzufolge könnte man den Schluß ziehen, daß Inkorporationsmessungen für das Therapiepersonal nur selten durchgeführt werden müssen, wenn man nachweisbar unter 10% des Grenzwertes der Jahresaktivitätszufuhr von 1 MBq bleibt. Für das Therapiepersonal könnten alternativ zu den Inkorporationskontrollen zur Überprüfung der internen Exposition Messungen der Schilddrüsenaktivität oder Ausscheidungsmessungen durchgeführt werden.