

1. Diagnostische Strahlenanwendungen *(Diagnostic applications of radiation)*

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit, Oberschleißheim

1.1 Röntgendiagnostik *(X-ray diagnostics)*

Sowohl hinsichtlich der Indikationsstellung von Röntgenuntersuchungen als auch der Qualität der Durchführung werden hohe Anforderungen gestellt. Nach den Regelungen der Röntgenverordnung (RöV) muss jede Anwendung im Einzelfall gerechtfertigt sein. Darüber hinaus ist die durch ärztliche Untersuchungen bedingte medizinische Strahlenexposition soweit einzuschränken, wie dies mit den Erfordernissen der medizinischen Wissenschaft zu vereinbaren ist. Es ist weiterhin in jedem Fall zu prüfen, ob durch diagnostische Maßnahmen ohne Anwendung von Röntgenstrahlung die medizinische Fragestellung nicht ebenso beantwortet werden kann.

Im Bewusstsein des Strahlenrisikos und aus Sorge um die Sicherheit der Patientinnen und Patienten hat es die Richtlinie des EU-Ministerrats über den Gesundheitsschutz von Personen gegen die Gefahren ionisierender Strahlen durch medizinische Exposition 97/43/EURATOM den Mitgliedsstaaten zur Pflicht gemacht, die Strahlenexposition der Bevölkerung und einzelner Bevölkerungsgruppen durch medizinische Expositionen zu erfassen. Die Röntgenverordnung, die zur Umsetzung des Europarechts in deutsches Recht novelliert wurde, überträgt diese Aufgabe dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS). Dadurch wird eine wichtige Möglichkeit geschaffen, um sowohl den Status quo als auch zeitliche Veränderungen bei der medizinischen Anwendung ionisierender Strahlung zu erfassen.

Untersuchungsarten und Strahlenexposition

Die Mehrzahl der Untersuchungsverfahren in der Röntgendiagnostik ist mit einer relativ niedrigen Strahlenexposition verbunden. Das sind im Wesentlichen die Untersuchungen, bei denen nur Röntgenaufnahmen angefertigt werden. Dabei wird ein kurzer "Röntgenblitz" von einigen Millisekunden Dauer auf den zu untersuchenden Körperteil gerichtet und die den Körper durchdringende Strahlung mit einem Film-Folien-System oder einem digitalen Speichermedium sichtbar gemacht.

Bereiche mittlerer Werte der effektiven Dosis für die Gruppe der einfachen Röntgenaufnahmen sowie für die weiter unten besprochenen komplexeren Verfahren sind in Tabelle 1.1-1 zusammengestellt. Sie basieren sowohl auf stichprobenartigen Messungen des BfS in Krankenhäusern und Arztpraxen als auch auf Dosiserhebungen im Rahmen von Forschungsvorhaben, die vom Bundesumweltministerium gefördert wurden, sowie auf Literaturangaben. Es handelt sich dabei um Dosisangaben, die aus Messwerten von an Patientinnen und Patienten durchgeführten Untersuchungen errechnet wurden, und nicht um theoretisch erreichbare Werte bei optimalen Untersuchungsbedingungen an einem idealisierten "Normalpatienten".

Zur Untersuchung von Bewegungsvorgängen oder zur genaueren Beurteilung von sich überlagernden Strukturen ist bei einigen Untersuchungen zusätzlich eine Röntgendurchleuchtung notwendig. Dabei durchdringt eine schwache Röntgenstrahlung den Körper und erzeugt auf einem Leuchtschirm ein Bild, das mittels elektronischer Bildverstärkung auf einen Fernsehmonitor übertragen und dort betrachtet wird. Zu diesen Untersuchungsverfahren gehört auch die Arteriographie und die interventionelle Radiologie. Letzteres ist ein Verfahren, bei dem unter Durchleuchtungskontrolle Heilmaßnahmen, hauptsächlich die Aufdehnung verengter oder verschlossener Blutgefäße, durchgeführt werden. Der große Vorteil dieser Methode ist, dass oftmals risikoreiche Operationen – insbesondere bei älteren Patientinnen und Patienten – vermieden werden können.

Die Computertomographie (CT), bei der der Röntgenstrahler und ein gegenüberliegender Strahlendetektor kreis- oder spiralförmig um den Körper der Patientin bzw. des Patienten fährt, liefert überlagerungsfreie Querschnittsbilder. Die neueste Generation von Computertomographen, sogenannte Mehrschicht-Computertomographen (MS-CT) erfasst gleichzeitig mehrere Schichten in einem Untersuchungsvorgang, wodurch die Untersuchungszeit weiter verkürzt wird. Dies ist für die Patientin bzw. den Patienten weniger belastend und erlaubt es zusätzlich, nicht nur morphologische, sondern auch funktionelle Fragestellungen zu beantworten. Die mit einer relativ hohen Strahlenexposition verbundene CT hat eine sehr große diagnostische Aussagekraft, die außer mit der Magnetresonanztomographie mit keinem anderen Diagnoseverfahren erreicht wird. Bei der Bewertung der Strahlenexposition ist zu berücksichtigen, dass bei einer klinisch indizierten CT-Untersuchung ein daraus resultierendes Risiko gegenüber dem Nutzen für die Patientin bzw. den Patienten in den Hintergrund tritt.

Tabelle 1.1-1 Bereiche mittlerer Dosiswerte für häufige Untersuchungsverfahren in der Röntgendiagnostik an Standardpatientinnen und Standardpatienten (70 ± 5 kg Körpergewicht).
(Ranges of mean values for the dose from frequently applied x-ray diagnostic procedures in relation to standard patients: body weight of 70 kg ± 5 kg)

Untersuchungsart	effektive Dosis [mSv]
Untersuchungen mit Röntgenaufnahmen	
Zahnaufnahme	≤ 0,01
Extremitäten (Gliedermaßen)	0,01 - 0,1
Schädelaufnahme	0,03 - 0,1
Halswirbelsäule in 2 Ebenen	0,1 - 0,2
Brustkorb (Thorax), 1 Aufnahme	0,02 - 0,08
Mammographie beidseits in je 2 Ebenen	0,2 - 0,6
Brustwirbelsäule in 2 Ebenen	0,5 - 0,8
Lendenwirbelsäule in 2 Ebenen	0,8 - 1,8
Beckenübersicht	0,5 - 1,0
Bauchraum (Abdomenübersicht)	0,6 - 1,1
Röntgenuntersuchungen mit Aufnahmen und Durchleuchtung	
Magen	6 - 12
Darm (Dünndarm bzw. Kolonkontrasteinlauf)	10 - 18
Galle	1 - 8
Harntrakt	2 - 5
Bein-Becken-Phlebographie	0,5 - 2
Arteriographie und Interventionen	10 - 30
CT*-Untersuchungen	
Kopf	2 - 4
Wirbelsäule / Skelett	2 - 11
Brustkorb (Thorax)	6 - 10
Bauchraum (Abdomen)	10 - 25

* typische CT (Computertomographie)-Untersuchung, ggf. nativ und nach Kontrastmittelgabe

Methodische Aspekte zur Datenerhebung

Das BfS erhebt bereits seit Anfang der 90er Jahre Daten zur medizinischen Strahlenexposition in Deutschland und wertet diese aus – zuletzt für die Jahre 1994 und 1997. Mit Inkrafttreten der novellierten RöV im Jahr 2002 wurde dem BfS die regelmäßige Ermittlung der medizinischen Strahlenexposition der Bevölkerung als Amtsaufgabe übertragen. Die aktuelle Auswertung der Daten zur Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen in Deutschland bezieht sich auf die Jahre 1996 bis 2001. Die wichtigsten Datenquellen sind dabei die Kostenträger, hauptsächlich die gesetzlichen Krankenkassen (GKV) und privaten Krankenversicherungen (PKV), da bei ihnen die ärztlichen Leistungen über sogenannte Leistungspositionen abgerechnet werden, in denen die ärztlichen Maßnahmen und damit auch die hier interessierenden radiologischen Maßnahmen beschrieben werden. Um eine Standardisierung zu erzielen, wurden die Verfahren der Röntgendiagnostik nach Untersuchungsart und -region geordnet und in insgesamt 19 Kategorien – wie z. B. Untersuchung des Thorax, der Extremitäten, der Wirbelsäule, etc. – zusammengefasst. Mittlerweile hat sich ein regelmäßiger und strukturierter Datentransfer eingestellt.

Für die Datenerfassung ergeben sich dabei die folgenden Probleme:

- Bei *stationären* Leistungen der allgemeinen Pflegekasse werden keine Einzelleistungen mit den Kostenträgern abgerechnet, so dass die stationären Röntgen-Leistungen aus den Daten für die ambulanten Leistungen abgeschätzt werden müssen.
Bei vorangegangenen BfS-Auswertungen wurden für diese Abschätzung relativ unsichere Daten einer früheren Stichprobenerhebung an Krankenhäusern sowie einer Trendanalyse im kassenambulanten und privatärztlichen Bereich Anfang der 90er Jahre verwendet. In die aktuelle Analyse fließen dagegen erste Resultate eines derzeit noch laufenden Forschungsvorhabens ein, dessen endgültige Ergebnisse bis Ende 2004 / Anfang 2005 erwartet werden. Hochgerechnet entfallen auf den stationären Bereich der GKV etwa 16% der insgesamt im Jahre 2001 in Deutschland erbrachten Röntgenleistungen.
- Die PKV-Daten umfassen nur eine Stichprobe in der Größenordnung von etwa einem Promille aller in

einem Jahr abgerechneten Röntgenleistungen (sowohl für den ambulanten als auch für den stationären Bereich). Hochgerechnet entfallen für das Jahr 2001 etwa 14% der insgesamt in Deutschland erbrachten Röntgenleistungen auf die PKV.

- Eine eindeutige Zuordnung der Leistungspositionen zu den in der Röntgendiagnostik üblicherweise verwendeten Verfahren bzw. den untersuchten Körperregionen oder Organsystemen ist nicht in jedem Fall möglich, da es sich bei einigen Leistungspositionen um "Sammelpositionen" handelt, die Röntgenleistungen sehr verschiedener Körperregionen zusammenfassen. Beispielsweise bezieht sich eine einzige Leistungsziffer auf Röntgenleistungen der Extremitäten, des Schultergürtels und des Beckengürtels. Bislang werden solche Sammelpositionen nach Erfahrungswerten den Körperregionen zugeordnet. Ein zurzeit laufendes, vom BMU gefördertes, Forschungsvorhaben soll eine genauere Zuordnung der Regionen bei diesen Sammelpositionen für den stationären Bereich ermitteln. Ein weiteres Forschungsvorhaben für den ambulanten Bereich ist geplant.
- Röntgenuntersuchungen, die durch Unfallversicherungsträger abgerechnet oder im Rahmen der Bundeswehr durchgeführt werden, konnten noch nicht quantifiziert werden. Verlässliche Daten werden ebenfalls bis Ende 2004 / Anfang 2005 erwartet. Nach den bisherigen Erfahrungen machen diese Untersuchungen ca. 5% der Gesamt-Häufigkeit und ca. 2-3% der kollektiven Dosis aus. Bei den aktuell präsentierten Zahlen zur Häufigkeit und effektiven Dosis wurden daher vorläufig 5% bzw. 2,5% aufgeschlagen.

Bei der aktuellen Auswertung für die Jahre 1996 bis 2001 wurde ein neues Konzept für die Ermittlung der medizinischen Strahlenexposition umgesetzt. Angestrebt wurden dabei die folgenden Ziele:

1. Entwicklung eines standardisierten Verfahrens, mit dem eine einheitliche Auswertung von Zeitreihen und damit eine Trendanalyse möglich wird. Auf Basis des nun entwickelten Konzepts soll die Evaluierung der medizinischen Strahlenexposition auch in Zukunft erfolgen. Wie bei jeder komplexen Datenerhebung ist dabei die Gefahr von systematischen Fehlern gegeben. Diese Gefahr ist durch kein noch so umfangreiches – und dann auch zeit- und kostenaufwendiges – Erhebungsverfahren sicher zu beseitigen. Das Erhebungsverfahren des BfS strebt daher an, den systematischen Fehler durch die Standardisierung zumindest möglichst konstant zu halten, um dadurch insbesondere Trends möglichst frühzeitig und sicher erfassen zu können.
2. Anpassung des Verfahrens an internationale Standards, die sich insbesondere durch die Erhebungen in der Schweiz und dem Vereinigten Königreich – beide aus dem Jahr 2000 – herausgebildet haben. Dies betrifft u. a. die Definition des Begriffs "Untersuchung". Er beinhaltet jetzt alle Röntgen-Leistungen, die – bezogen auf ein Organ – zur Beantwortung einer klinischen Fragestellung mittels einer Röntgenmodalität notwendig sind. So wird z. B. bei einer Angiographie am Herzen jetzt nicht mehr jeder Teilschritt (Kontrastmitteleinbringung, 1. Serie, 2. Serie, etc.) als getrennte Untersuchung gezählt, sondern alle Teilschritte zusammen als eine Untersuchung. Andererseits werden in der vorliegenden Auswertung alle Zahnaufnahmen (Projektionen) als gesonderte Untersuchungen gerechnet, wenn sie unterschiedliche Zähne bzw. Zahngruppen betreffen.
3. Berücksichtigung von aktuellen Erhebungen zur CT-Untersuchungspraxis im Berichtszeitraum sowie von Ergebnissen neuerer vom BMU geförderter Forschungsvorhaben (bundesweite Erhebung zur Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen im stationären Bereich, Erhebungen zur Dosisermittlung im konventionellen Bereich) sowie der aktuellen Literatur.

Auswertung der Jahre 1996 bis 2001 – Untersuchungshäufigkeit

Für das Jahr 2001 wurde für Deutschland eine Gesamtzahl von etwa 147 Millionen Röntgenuntersuchungen abgeschätzt. Die Anzahl der Röntgenuntersuchungen pro Kopf der Bevölkerung in Deutschland zeigt während des betrachteten Zeitraums 1996 bis 2001 weder einen eindeutigen Hinweis für eine Zunahme noch für eine Abnahme. Die Werte schwanken vielmehr auf hohem Niveau zwischen 1,78 und 1,85 Untersuchungen pro Einwohner (siehe Abbildung 1.1-1). Auch die relative Häufigkeit der verschiedenen Untersuchungsverfahren variiert nur wenig, wobei die zahnmedizinische Röntgendiagnostik (Zähne und Kiefer) konstant etwa ein Drittel der Gesamtanzahl der Röntgenuntersuchungen ausmacht. Neben den Röntgenuntersuchungen im zahnmedizinischen Bereich sind Röntgenuntersuchungen des Skeletts (ebenfalls etwa ein Drittel) und des Thorax (Brustkorb) am häufigsten (siehe Abbildung 1.1-4).

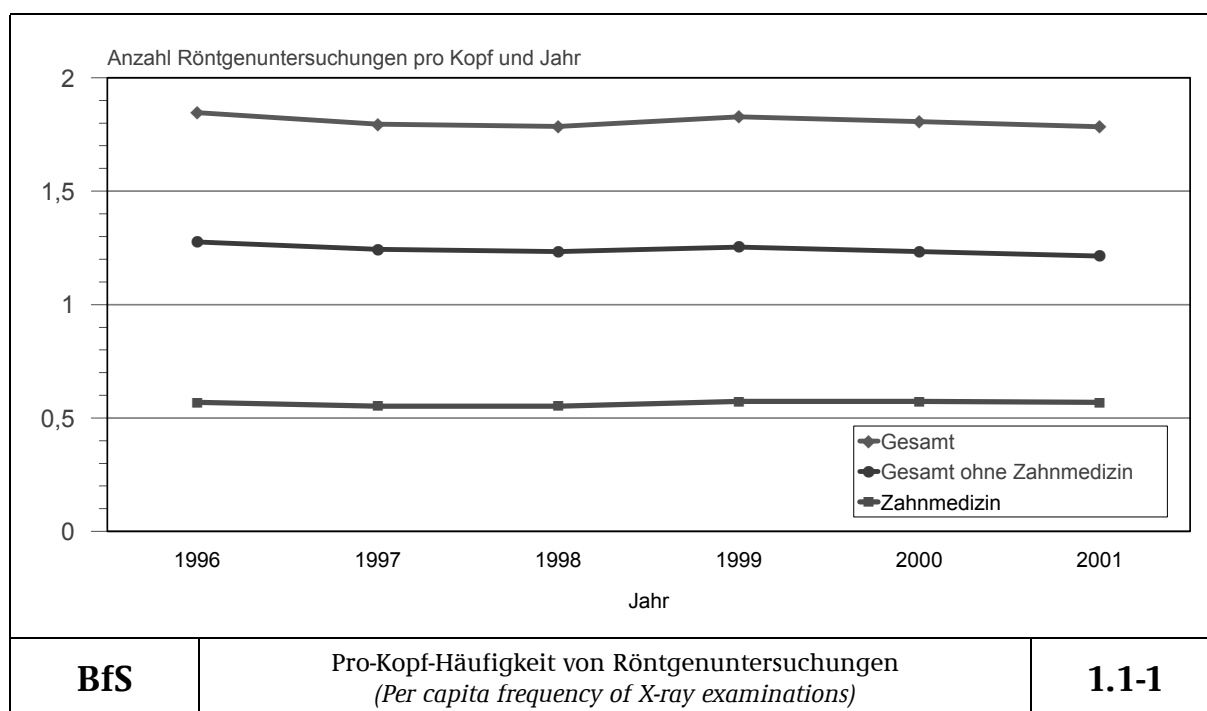
In der Trendanalyse am auffälligsten ist die stetige Zunahme der CT-Untersuchungen von ca. 7% pro Jahr über den gesamten beobachteten Zeitraum (siehe Abbildung 1.1-2). Dieser Trend spiegelt – zumindest zum Teil – den zunehmenden Einsatz neuer Techniken – wie der Spiral-CT – im klinischen Bereich wieder. Dennoch ist der Anteil dieses dosisintensiven Verfahrens an der Gesamt-Anzahl der Röntgenuntersuchungen noch vergleichsweise gering und erreichte 2001 einen Wert von nur ca. 6%. Im Gegensatz zur CT zeigen die konventionellen Untersuchungen im Bauchraum einschließlich des Magen-Darm-Trakts, des Gallensystems und des Harntrakts eine Abnahme der Häufigkeiten. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass der bereits früher beschriebene Trend zu Untersuchungsarten ohne die Anwendung ionisierender Strahlen wie Ultraschall, Endoskopie oder Magnetresonanztomographie hier weiter anhält.

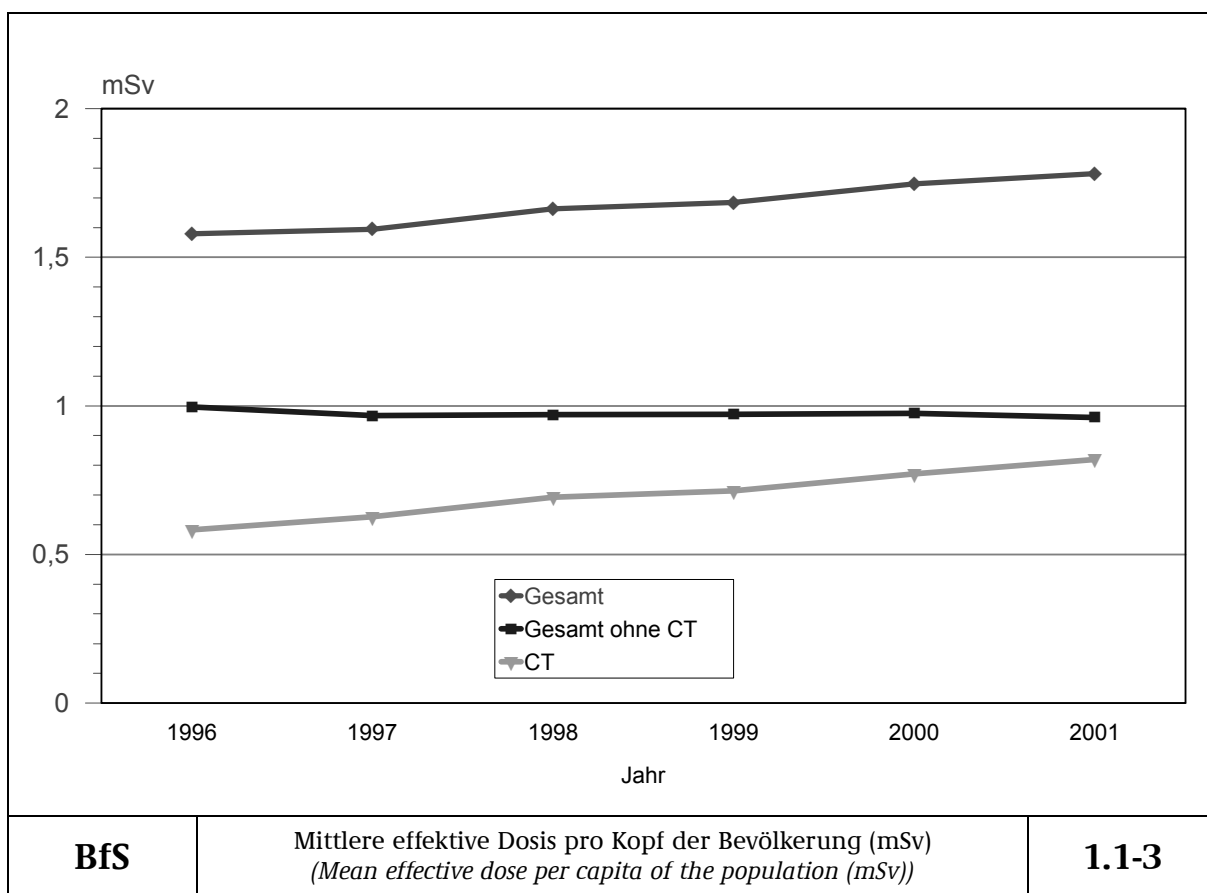
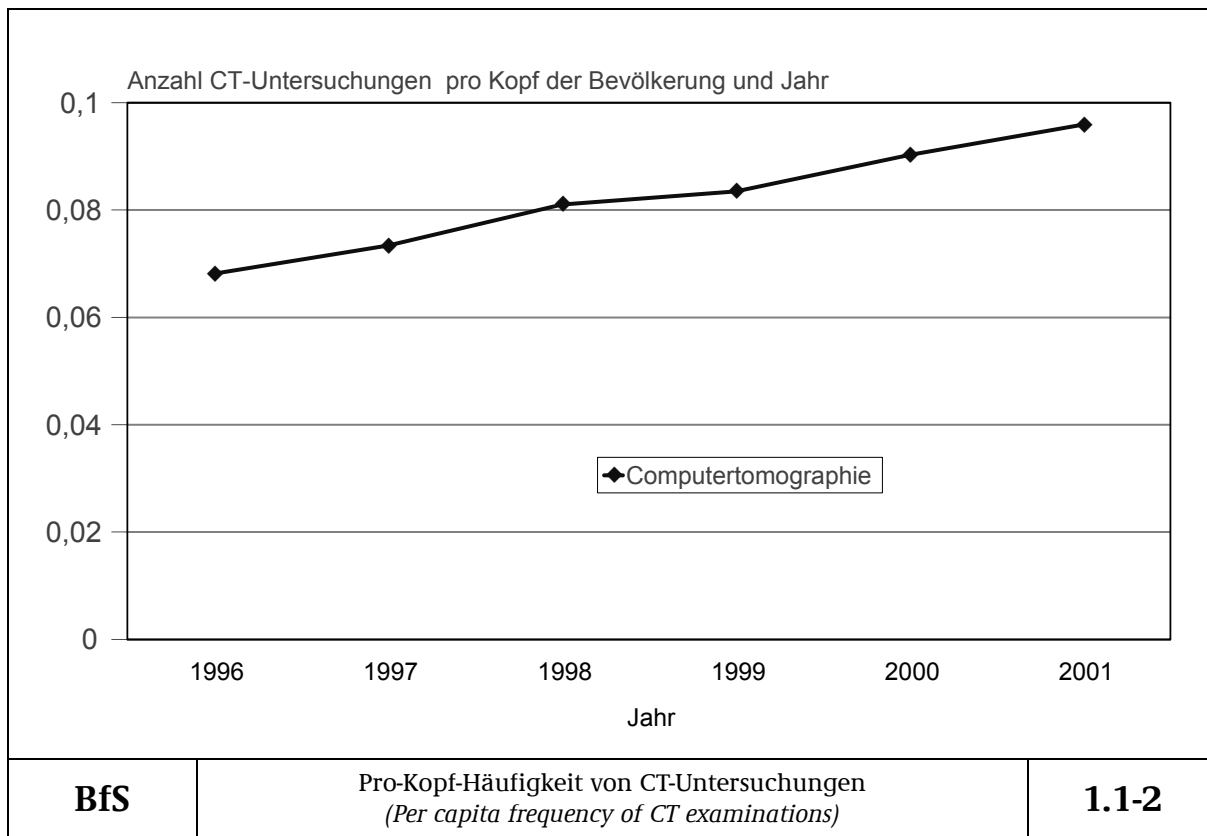
Auswertung der Jahre 1996 bis 2001 – Kollektive effektive Dosis

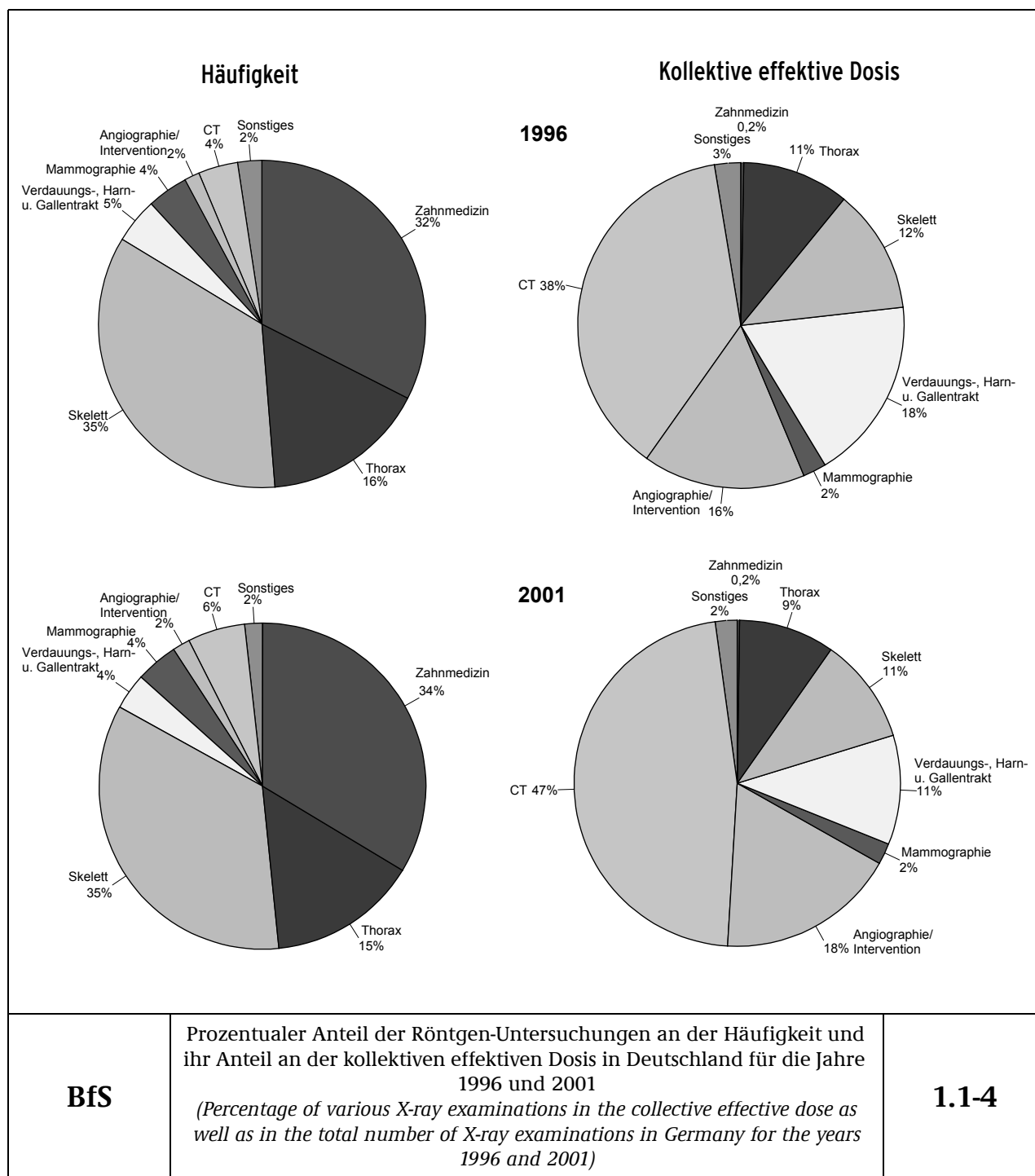
Für die Abschätzung der kollektiven effektiven Dosis wurde das Produkt von Untersuchungshäufigkeit und Untersuchungsdosis für die verschiedenen Untersuchungsarten bzw. Körperregionen ermittelt. Die – rein rechnerische – effektive Dosis pro Kopf der Bevölkerung in Deutschland steigt über den beobachteten Zeitraum kontinuierlich von ca. 1,6 mSv im Jahr 1996 auf ca. 1,8 mSv im Jahr 2001 – also um ca. 2% pro Jahr – an. Der für das Jahr 1997 im Rahmen einer früheren Auswertung vom BfS abgeschätzte Wert von 2 mSv stimmt innerhalb der angegebenen Unsicherheit von $\pm 0,5$ mSv mit diesen Werten überein.

Der im Rahmen der aktuellen Auswertung festgestellte Dosisanstieg ist im Wesentlichen durch den signifikanten Anstieg der CT-Untersuchungshäufigkeit bedingt. Eine strenge klinische Indikationsstellung vorausgesetzt, bietet aber gerade diese Technik – wie oben bereits dargelegt – einen großen diagnostischen und therapeutischen Nutzen für die Patienten.

Demgegenüber zeigt die effektive Dosis pro Kopf der Bevölkerung bei den restlichen Untersuchungsverfahren einen nahezu konstanten Verlauf (siehe Abbildung 1.1-3).







1.2 Nuklearmedizinische Diagnostik (Nuclear medicine diagnostics)

In der nuklearmedizinischen Diagnostik werden den Patienten offene radioaktive Arzneimittel verabreicht, die sich je nach ihren chemischen Eigenschaften im Stoffwechsel des Menschen unterschiedlich verhalten und sich in unterschiedlicher Konzentration in den Organen oder Geweben des Menschen anreichern. Sie sind auf Grund ihrer Radioaktivität mit geeigneten Messgeräten, z. B. einer Gammakamera, von außen in ihrer zeitlichen und räumlichen Verteilung im Patienten nachweisbar und bildlich darstellbar. Die diagnostische Anwendung von Radiopharmaka ermöglicht die Untersuchung nahezu sämtlicher Organsysteme des Menschen. Sie liefert Aussagen zur Funktion interessierender Organsysteme sowohl hinsichtlich allgemeiner Stoffwechselstörungen als

auch örtlich umschriebener Krankheitsherde in einzelnen Organen und ist daher eine wichtige Ergänzung zur morphologisch ausgerichteten bildgebenden Diagnostik. Auf Grund seiner günstigen physikalischen Eigenschaften und der guten Verfügbarkeit hat sich das Isotop Technetium-99m in der konventionellen In-vivo-Diagnostik als optimal herausgestellt und durchgesetzt.

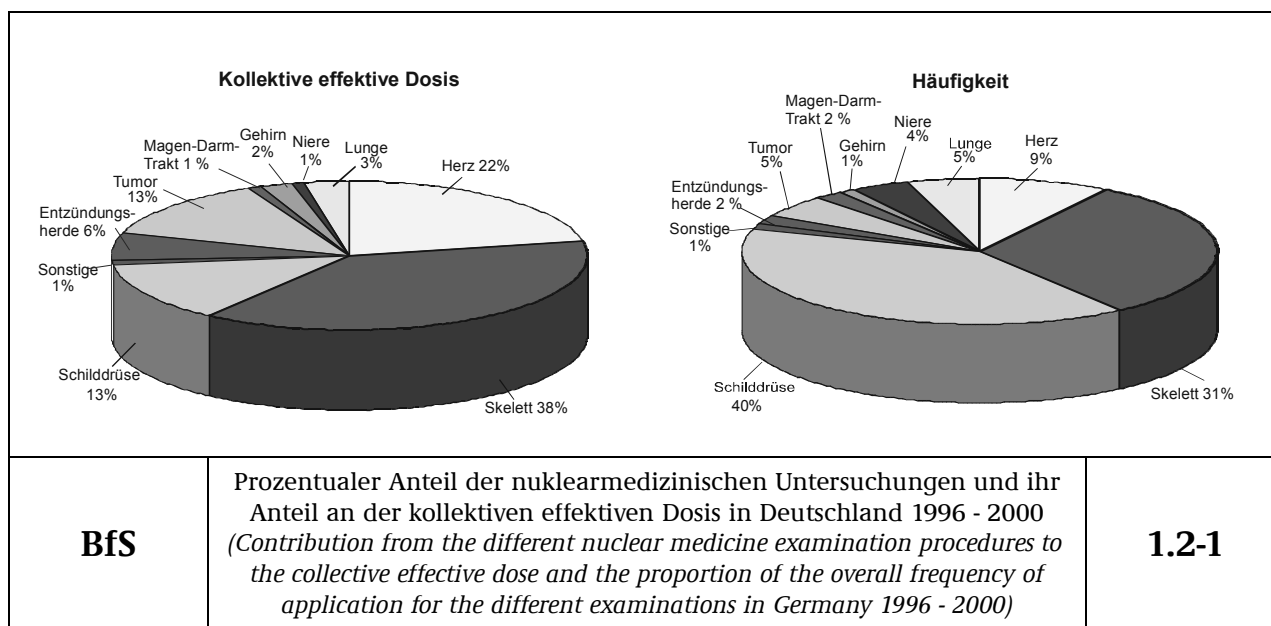
Insbesondere mit Einführung der Positronenemissionstomographie (PET) ist es in Verbindung mit neu entwickelten radioaktiven Arzneimitteln, wie z.B. Fluor-18-Desoxyglukose (FDG), möglich geworden, zell- und molekularbiologische Teilfunktionen des Körpers in hoher räumlicher Auflösung bildgebend in vivo darzustellen. Besonders vorteilhaft ist der Einsatz der PET für spezielle Fragestellungen in den Indikationsbereichen Onkologie, Kardiologie und Neurologie.

Für die Beurteilung der Strahlenexposition von Patienten durch die nuklearmedizinische Diagnostik wurde die Häufigkeit von Radionuklidapplikationen in den Jahren 1996 - 2000 und die daraus resultierenden effektiven Dosen bei ambulanten und stationären Patienten in Deutschland ermittelt.

In den Jahren 1996 - 2000 wurden in Deutschland im Mittel ca. 3,9 Millionen nuklearmedizinische Untersuchungen pro Jahr durchgeführt, was einer jährlichen Anwendungshäufigkeit von 47 Untersuchungen pro 1000 Einwohner entspricht. Eine systematische Veränderung der Untersuchungshäufigkeit konnte in dem betrachteten Zeitraum nicht festgestellt werden. Am häufigsten wurden Szintigraphien der Schilddrüse und des Skeletts durchgeführt.

Es wurde eine mittlere kollektive effektive Dosis von ca. 11.300 PersonenSv pro Jahr ermittelt, was einer effektiven Dosis von 0,14 mSv pro Einwohner entspricht. Hauptsächlich vier nuklearmedizinische Untersuchungen sind für die kollektive effektive Dosis verantwortlich: die Skelett-, Myokard-, Tumor- und Schilddrüsenszintigraphie. Die mittlere effektive Dosis pro Untersuchung betrug 2,8 mSv.

Bei der Bewertung dieser Daten muss berücksichtigt werden, dass die aus der medizinischen Anwendung resultierende Strahlenexposition nicht die gesamte Bevölkerung betrifft, sondern nur die Patienten, die einen diagnostischen Nutzen von der Untersuchung haben. Verglichen mit der Strahlenexposition durch die Röntgendiagnostik (1,6 bis 1,8 mSv pro Jahr und Person) ist die Strahlenexposition durch die nuklearmedizinische Diagnostik relativ gering. Trotzdem sind Maßnahmen zur Dosisreduktion möglich und notwendig, wie die Einführung diagnostischer Referenzwerte (DRW) und die Verwendung neuer Radiopharmaka. So führt z. B. der Ersatz von Tl-201-Chlorid durch Tc-99m-MIBI zur Verringerung der Strahlenexposition bei der Myokardszintigraphie.



1.3 Strahlenhygienische Bewertung der Strahlenexposition durch medizinische Maßnahmen (Evaluation in terms of radiation hygiene of radiation exposure due to medical methods)

Die nominelle Strahlenexposition der Bevölkerung durch röntgendiagnostische und nuklearmedizinische Untersuchungen betrug im Jahre 2001 etwa 1,9 mSv pro Einwohner und Jahr.

Eine strahlenhygienische Bewertung dieser Dosiswerte muss vor allem berücksichtigen, dass diese Strahlenexpositionen nicht die gesamte Bevölkerung betreffen. Sie sind vielmehr sehr ungleichmäßig auf die Bevölkerung verteilt. Betroffen sind nur Patientinnen und Patienten, also der Teil der Bevölkerung, der aus der Strahlenexpositi-

on einen unmittelbaren diagnostischen oder therapeutischen Nutzen ziehen kann. Zudem handelt es sich bei Patienten typischerweise häufig um ältere Personen, die eine deutlich geringere Strahlenempfindlichkeit aufweisen als jüngere Personen. Weiterhin ist im Vergleich zur Normalbevölkerung die Lebenserwartung von schwer erkrankten Patienten oft deutlich verkürzt. Gerade diese Patienten werden aber auf Grund ihrer Erkrankung häufig mehrfach untersucht.

Die Ermittlung der medizinischen Strahlenexpositionen beruht in der radiologischen und nuklearmedizinischen Diagnostik auf dem Konzept der effektiven Dosis. Dieses Konzept ist nur anwendbar auf Strahlenexpositionen, bei denen deterministische Strahleneffekte weitgehend ausgeschlossen sind. Für die radiologische und nuklearmedizinische Diagnostik trifft dies auf Grund der hier typischerweise applizierten niedrigen Dosen zu. Völlig anders ist die Situation in der Strahlentherapie bzw. der nuklearmedizinischen Therapie. Hier werden die Patientinnen und Patienten mit hohen Strahlendosen exponiert, so dass das Konzept der effektiven Dosis nicht mehr anwendbar ist. Wie in Kapitel 2.1 dargelegt, betrifft die radiologische Therapie im Vergleich zur radiologischen und nuklearmedizinischen Diagnostik nur einen relativ kleinen, aber schwer erkrankten Teil der Bevölkerung.

Voraussetzung für eine umfassende strahlenhygienische Bewertung der medizinischen Strahlenexpositionen ist die Ermittlung der Geschlechts- und Altersverteilung der Patientinnen und Patienten sowie der Indikationsstellung bei den erbrachten radiologischen und nuklearmedizinischen Anwendungen. Diese Angaben sind aber aus Gründen des Datenschutzes bei der ausgeprägten föderalistischen Struktur sowie der Struktur des Gesundheitswesens der Bundesrepublik Deutschland nur mit großen Schwierigkeiten und Ungenauigkeiten zu erfassen, da sie eine Einsichtnahme in personenbezogene Krankenakten erfordern. Ein Forschungsvorhaben zur Erhebung von alters- und geschlechtsspezifischen Daten im stationären Bereich wurde in Auftrag gegeben. Abschließende Ergebnisse werden bis Ende 2004 / Anfang 2005 erwartet.

Im internationalen Vergleich liegt Deutschland sowohl bezüglich der Häufigkeit als auch bezüglich der Dosis im oberen Bereich. Bei der vergleichenden Bewertung ist jedoch Vorsicht geboten, da auf Grund der unterschiedlichen Gesundheitssysteme die Auswertungsschemata in den verschiedenen Ländern sehr unterschiedlich und zum Teil auch nicht hinreichend bekannt sind. Darüber hinaus sind die im UNSCEAR Report 2000 für verschiedene Länder angegebenen Daten zu Häufigkeit und Dosis offensichtlich inkonsistent. So ist bei etlichen Ländern das Produkt aus der "Anzahl der Untersuchungen pro Kopf der Bevölkerung" und der "mittleren Dosis pro Untersuchung" deutlich höher als die angegebene "Dosis pro Kopf der Bevölkerung". Auch ist nach aktuellen Daten aus der Literatur allein die aus CT-Untersuchungen resultierende effektive Dosis pro Kopf der Bevölkerung in den USA und in Japan in der Größenordnung bzw. höher als die Gesamtdosis von 1,8 mSv für *alle* in Deutschland durchgeführten Röntgenleistungen. Tabelle 1.3-1 gibt einen Überblick über aktuelle Daten zu Häufigkeit und Dosis von CT-Untersuchungen in Deutschland, den USA und Japan. Wie daraus ersichtlich ist, ist der hohe Anteil der CT an der medizinischen Strahlenexposition ein weltweit zu beobachtender Trend, der die gestiegene Wertigkeit der bildgebenden Verfahren in Diagnostik, Therapieplanung und Therapiemonitoring widerspiegelt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass in der Heilkunde auf radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen nicht verzichtet werden kann, dass allerdings nur bei gewissenhafter Indikationsstellung sowie Minimierung der Strahlendosis durch qualitätssichernde Maßnahmen das Strahlenrisiko für die einzelne Patientin und den einzelnen Patienten gegenüber dem Nutzen in den Hintergrund tritt.

Tabelle 1.3-1 Häufigkeit und effektive Dosis von CT-Untersuchungen
(*Frequency and effective dose of CT examinations*)

Land	Jahr	Anzahl der CT-Untersuchungen pro Einwohner	Mittlere Dosis pro CT-Untersuchung (mSv)	CT-bedingte Dosis pro Einwohner (mSv)
Deutschland	2001	0,10	8,1	0,8
USA ^a	2000	0,20	8 ^c	1,6
Japan ^b	2000	0,29	7,9	2,3

^a Linton OW et al. National conference on dose reduction in CT, with an emphasis on pediatric patients. Am J Roentgenol. 2003;181: 321-329

^b Nishizawa K et al. Survey of CT practice in Japan and collective effective dose estimation. Nippon Acta Radiologica 2004, 64: 151-158

^c Schätzung basierend auf den übereinstimmenden mittleren Dosiswerten aus Deutschland und Japan

1.4 Alternative Untersuchungsverfahren *(Alternative examination procedures)*

Bei den sogenannten alternativen Untersuchungen – Untersuchungen ohne Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung – steht – neben der Endoskopie die Sonographie und die Magnetresonanztomographie (MRT) im Vordergrund.

Grundvoraussetzung für die MRT sind hohe statische Magnetfelder bis zu einigen Tesla. Durch die Einstrahlung von Radio-Pulsen in Kombination mit niederfrequenten Magnetfeldern in der Größenordnung von einigen Millitesla werden Schnittbilder erzeugt, die im Vergleich zur CT einen hohen Weichteilkontrast besitzen. Das Verfahren eignet sich somit hervorragend zur bildlichen Unterscheidung von gesunden bzw. krankhaft veränderten Gewebestrukturen. Ein weiterer Vorteil gegenüber der CT ist, dass die Krankheitsherde in freiwählbaren Projektionsebenen dargestellt werden können. Durch die Entwicklung von ultraschnellen Bildgebungstechniken gelang es in den letzten Jahren weiterhin, die anfangs sehr lange Untersuchungsdauer auf wenige Minuten bzw. Sekunden zu reduzieren. Dadurch besteht die Möglichkeit, über die Morphologie hinaus auch funktionelle Informationen über das Gewebe zu erhalten wie z. B. über Angiogenese, Mikrozirkulation und Stoffwechsel. Gegenüber der Positronenemissionstomographie (PET), einem nuklearmedizinischen Schnittbildverfahren, das vergleichbare funktionelle Informationen liefert, ist die hohe räumliche Auflösung der MRT und die Tatsache, dass bei der MRT keine radioaktiven Stoffe oder ionisierenden Strahlen verwendet werden, ein großer Vorteil. Letzteres gilt auch im Vergleich zu einer funktionellen Untersuchung mit Mehrschicht-CT.

1.5 Qualitätssicherung *(Quality assurance)*

Die Röntgen- und Strahlenschutzverordnung in ihrer novellierten Form tragen zur Reduzierung der medizinischen Strahlenexposition bei. Die Pflicht zur Befragung der Patientinnen und Patienten nach früheren radiologischen Untersuchungen einerseits, wobei der Röntgenpass als Gedächtnisstütze dient, und die Pflicht zur leihweisen Weitergabe von radiologischen Bildern an nachbehandelnde Ärzte andererseits, führen zu einer Vermeidung von Doppel- und Wiederholungsuntersuchungen. Auch die konsequente Praktizierung und Verbesserung der Qualitätskontrolle und -sicherung in der Radiologie tragen dazu bei, dass die Strahlenexposition des Einzelnen im Rahmen der medizinischen Diagnostik niedrig gehalten wird.

Die Einführung dosisparender Untersuchungstechniken wie z. B. die Verwendung von verbessertem Film-Folien-Material ("Seltene-Erden-Folien"), Hochfrequenzgeneratoren, Belichtungsautomatik und gepulster Durchleuchtung trägt ebenso zum Erreichen niedriger Dosiswerte je Röntgenuntersuchung bei, wie die vorgeschriebene Konstanzprüfung von Röntgeneinrichtungen und Filmverarbeitung. CT und interventionelle Radiologie sind zwar dosisintensive radiologische Verfahren, stellen aber durch eine wesentlich genauere und umfangreichere Diagnosestellung bzw. durch den Ersatz risikoreicher alternativer Therapieformen einen großen diagnostischen und therapeutischen Nutzen für die einzelne Patientin bzw. den einzelnen Patienten dar. Die "Leitlinien der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik bzw. Computertomographie" beschreiben, welche Bildqualität für bestimmte Untersuchungen erforderlich ist, und wie diese mit möglichst geringer Dosis erreicht werden kann. Die ärztlichen Stellen nach § 16 Abs. 3 RöV überwachen deren Einhaltung und geben Hinweise zur Herabsetzung der Dosis und Verbesserung der Bildqualität. Aus den Jahresberichten mehrerer ärztlicher Stellen ist zu ersehen, dass leichte und insbesondere schwere Qualitätsmängel seit der Einführung der Qualitätsüberwachung und der Beratung durch die ärztlichen Stellen kontinuierlich seltener geworden sind.

Mit Inkrafttreten der novellierten Strahlenschutz- und Röntgenverordnung ist weiterhin die Entscheidung darüber, ob und ggf. wie radioaktive Stoffe oder ionisierende Strahlung am Menschen angewendet wird, mit dem Begriff der rechtfertigenden Indikation in einem eigenen Paragraphen deutlicher als zuvor festgelegt. Auch wurden die Anforderungen an Fachkunde und Kenntnisse der Personen, die Röntgenstrahlen anwenden, erhöht. Darüber hinaus sind – als Mittel zur Optimierung des Strahlenschutzes in der radiologischen und nuklearmedizinischen Diagnostik – jetzt diagnostische Referenzwerte zu beachten. Ziel ist es, im Rahmen der Überwachung durch die ärztlichen Stellen Anwender herauszufinden, bei denen die Dosiswerte ständig deutlich über den diagnostischen Referenzwerten liegen, um dort offensichtlich vorhandene systematische Fehler herauszufinden und zu beseitigen. Die Überwachung der Einhaltung diagnostischer Referenzwerte erfolgt durch die ärztlichen Stellen, Erstellung und Aktualisierung durch das BfS.

Die digitale Radiographie bringt bei Standardeinstellungen keine Dosiseinsparung je Einzelaufnahme, ermöglicht aber dennoch eine Dosisreduzierung z. B. durch Vermeidung von Fehlbelichtungen bei Aufnahmetechniken oder durch die strahlungsfreie Situationskontrolle bei Durchleuchtungen mittels "Last Image Hold". Auch bei der CT zeichnet sich – zumindest bei Standarduntersuchungen – ein Trend zu niedrigeren Dosiswerten ab. Andererseits ermöglichen neue, insbesondere schnellere CT-Untersuchungstechniken (Mehrschicht-Computerto-

mographie) neue Anwendungsarten mit einer diagnostischen Aussagekraft, die bisher nicht zu erzielen war. Jedoch sind diese Anwendungen meist auch mit höheren Dosen verbunden.

Die Digitaltechnik erlaubt zudem eine Verbesserung der diagnostischen Auswertung der Bilder mittels Zweitbefundung durch einen Spezialisten auf dem Weg der Teleradiologie. Jedoch muss auch in der Teleradiologie weiterhin der Grundsatz gelten, dass sowohl Indikationsstellung als auch Durchführung bzw. Überwachung von Röntgenuntersuchungen Ärzten vorbehalten sind, die die erforderliche Fachkunde im Strahlenschutz besitzen.

Auch bei Ausschöpfung aller Maßnahmen der technischen Qualitätssicherung ist die streng an der notwendigen diagnostischen Fragestellung orientierte Indikationsstellung mit der möglichen Herabsetzung der Untersuchungshäufigkeit die wirksamste Methode, die Strahlenexposition der Patientinnen und Patienten zu verringern.

Weiterhin sind zwei neuere Röntgenverfahren von strahlenhygienischem Interesse, die digitale Volumentomographie zur Darstellung der Ober- und/oder Unterkieferregion in der Zahnmedizin sowie die 3D-Bildgebung an einem mobilen chirurgischen Bildverstärker (ISO-C-3D). Ähnlich der Computertomographie besitzen beide Techniken die Möglichkeit, Schichtaufnahmen zu erstellen und durch entsprechende Rekonstruktionsverfahren weiterzuverarbeiten. Die digitale Volumentomographie liegt mit einer effektiven Dosis von etwa 0,1 mSv zwischen der konventionellen Panoramaschichtaufnahme und der Dental-CT. Die applizierte Dosis bei dem ISO-C-3D-Verfahren ist sehr stark abhängig von der OP-Situation, aber auch von der radiologischen Erfahrung des Chirurgen. Aus strahlenhygienischer Sicht ist dieser Punkt sicherlich problematisch, da dem Chirurgen hier ein Gerät an die Hand gegeben wird, für das er einerseits radiologisches Wissen wie bei der CT besitzen sollte, um die benötigte Bildqualität mit einer möglichst geringen Dosis zu erzielen, für das aber andererseits die Zuordnung zur CT nicht eindeutig gegeben ist. Ähnlich ist die strahlenhygienische Bewertung bei der digitalen Volumentomographie im Bereich der Zahnmedizin zu sehen. Um bezüglich dieser beiden Verfahren die rechtlichen Grundlagen für eine Qualitätssicherung zu schaffen, ist es notwendig, sie in die bestehenden Richt- und Leitlinien für die Röntgendiagnostik sowie insbesondere auch in die Grundlagen zur Sachverständigenprüfung einzubeziehen. Ähnliches gilt auch für die bereits oben angesprochene digitale Radiologie.