

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

1.1 Röntgendiagnostik *(X-ray diagnostics)*

Die medizinische Anwendung ionisierender Strahlung hat in der Bundesrepublik Deutschland einen hohen Stand erreicht. Sowohl an die Indikationsstellung als auch Qualität der Durchführung werden hohe Anforderungen gestellt. In Anwendung der Strahlenschutzgrundsätze der Röntgenverordnung 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 ionisierender Strahlung der gewünschte medizinische Effekt nicht ebenso erzielt werden kann. Im Bewusstsein des Strahlenrisikos und aus Sorge um die Sicherheit der Patientinnen und Patienten hat es die Europäische Union in der Patientenschutzrichtlinie (PatSRL) 97/43/EURATOM [4 in Abschnitt 1.2] den Mitgliedsstaaten zur Pflicht gemacht, die Strahlenexposition der Bevölkerung und einzelner Bevölkerungsgruppen zu erfassen. Die Röntgenverordnung, die zur Umsetzung des Europarechts in deutsches Recht novelliert wird, sieht vor, diese Aufgabe dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) zu übertragen. Dadurch wird eine wichtige Möglichkeit geschaffen, um sowohl den status quo als auch zeitliche Veränderungen bei der medizinischen Anwendung ionisierender Strahlung zu erfassen.

Das BfS strebt für die dazu notwendige Datenerhebung ein standardisiertes Verfahren an mit der Zielsetzung, eine regelmäßige Durchführung - am besten jährlich - zu gewährleisten.

Methodische Aspekte zur Datenerhebung

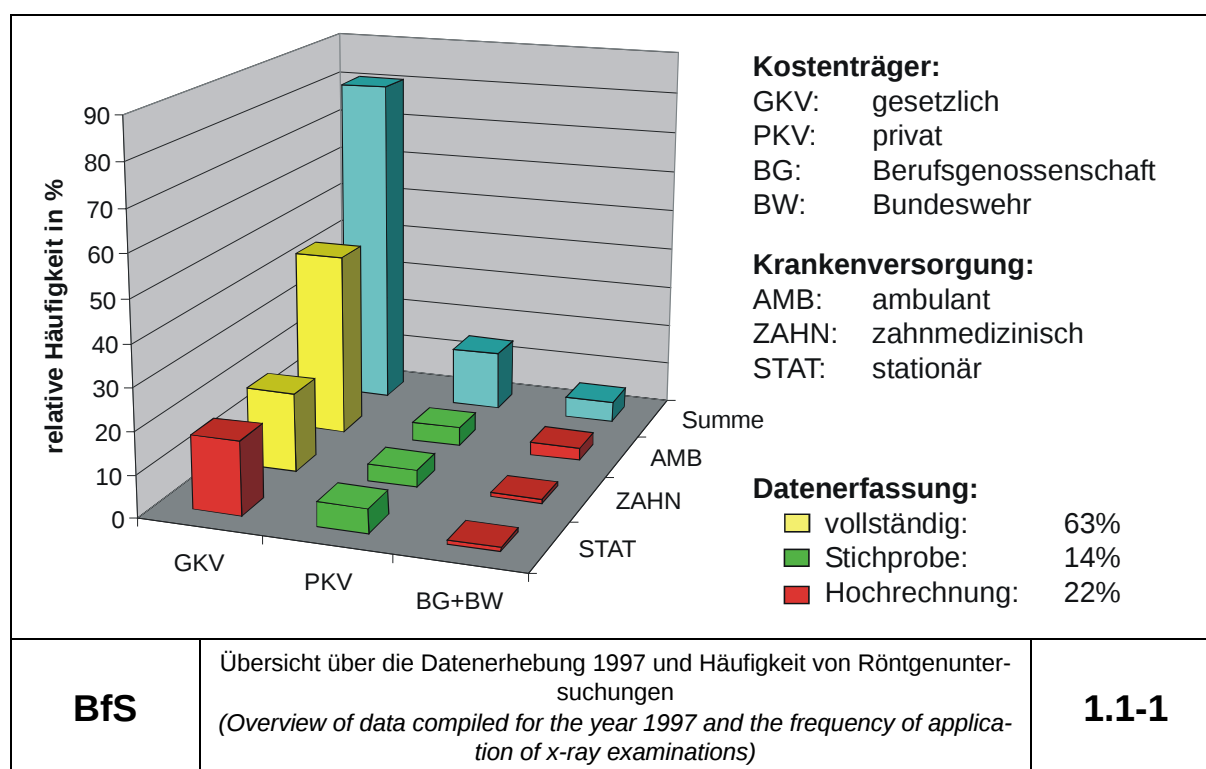
Das Institut für Strahlenhygiene des BfS führt seit 1991 Erhebungen über die Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen durch. Die aktuellsten zu erhaltenden Daten stammen aus dem Jahr 1997. Die wichtigsten Datenquellen sind dabei die Kostenträger, hauptsächlich die gesetzlichen Krankenkassen (GKV) und privaten Krankenversicherungen (PKV), da bei ihnen die ärztlichen Leistungen über sogenannten Leistungspositionen abgerechnet werden, in denen die ärztlichen Maßnahmen und damit auch die hier interessierenden radiologischen Maßnahmen beschrieben werden.

Für die Datenerhebung ergeben sich dabei zwei Probleme:

- Die GKV rechnet nur die ambulanten human- und zahnmedizinischen Leistungen über Leistungspositionen ab, so dass die stationären Röntgen-Leistungen abgeschätzt werden müssen - unter der Annahme, dass das Verhältnis von ambulanten und stationären Untersuchungen bei Kassenpatienten und Privatpatienten gleich ist.
- Die PKV-Daten umfassen nur eine Stichprobe in der Größenordnung von etwa einem Promille aller in einem Jahr abgerechneten Röntgenleistungen. Um eine verbesserte statistische Aussagekraft zu erreichen, wird deshalb für die PKV-Daten eines Jahres jeweils der gleitende Mittelwert über drei Jahre gebildet - d. h. für 1997 wurden die Daten von 1996 bis 1998 ausgewertet.

Zusammengefasst kann über die Gesamtanzahl der 1997 in Deutschland erbrachten Röntgenleistungen festgestellt werden (Abb. 1.1-1), dass ca. 63% durch eine vollständige Erhebung erfasst sind, ca. 14% durch eine Stichprobe und ca. 22% durch eine Hochrechnung.

Ein weiteres Problem ist die teilweise fehlende Möglichkeit einer eindeutigen Zuordnung der Leistungspositionen zu den in der Röntgendiagnostik üblicherweise verwendeten Verfahren bzw. den untersuchten Körperregionen oder Organsystemen. Um diesbezüglich eine Standardisierung zu erzielen, wurden die Verfahren der Röntgendiagnostik nach Untersuchungsart und -region geordnet und in insgesamt 17 Kategorien – wie z. B. Untersuchung des Thorax, der Extremitäten, der Wirbelsäule, etc. – zusammengefasst. Mit diesem Schema ist es möglich, sowohl die Untersuchungshäufigkeit insgesamt zu berechnen als auch den Anteil einer bestimmten Untersuchungsart und/oder -region.



Untersuchungshäufigkeit

Für Deutschland ergibt sich eine Gesamtzahl von ca. 136 Millionen Röntgenuntersuchungen für das Jahr 1997. Weltweit nimmt Deutschland mit ca. 1.654 Röntgenuntersuchungen pro 1.000 Einwohner im Jahr zusammen mit Norwegen und Luxemburg eine Spitzenstellung ein, die nur von Japan übertroffen wird.

Eine grobe Fehlerabschätzung ergibt eine Schwankungsbreite von ca. $\pm 10\%$ bei den Angaben zur Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen. Hauptfehlerquelle ist die unsichere Datenlage bei der Erfassung der stationären Leistungen im Rahmen des allgemeinen Pflegesatzes. Das betrifft die stationären Patientinnen und Patienten, die nicht als Privatpatienten mit dem Chefarzt abrechnen. Im Rahmen von Forschungsvorhaben, die vom Bundesumweltministerium gefördert werden, sowie durch die Mithilfe der Spitzenverbände der Ärzteschaft soll diesbezüglich die Datenlage verbessert werden. Allerdings ist mit ersten Daten erst mittelfristig, d. h. in etwa drei bis vier Jahren, zu rechnen.

Die Daten, aufgegliedert nach ambulanter und stationärer Krankenversorgung und nach Untersuchungsarten bzw. -regionen, sind in Tabelle 1.1-1 als jährliche Häufigkeit in Absolutzahlen in Tausend und in relativer Häufigkeit je 1000 Einwohner dargestellt. 72% aller Röntgenuntersuchungen einschließlich der zahnmedizinischen Untersuchungen werden danach ambulant durchgeführt, ohne Zahnmedizin sind es 66%. Am häufigsten sind Röntgenuntersuchungen des Thorax (Brustkorb), der Zähne und der Extremitäten. Welchen Anteil die einzelnen Untersuchungen innerhalb der Tätigkeit der niedergelassenen Ärzte und der Krankenhäuser haben, ist ebenfalls aus Tabelle 1.1-1 zu ersehen. Fast die Hälfte aller Röntgenuntersuchungen in Krankenhäusern betreffen den Thorax (49%), während in den Arztpraxen das Skelett mit 64% das bei weitem am häufigsten untersuchte Organsystem ist.

Tabelle 1.1-1 Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen im Jahr 1997 in Deutschland
(Frequency of application of x-ray examinations in Germany in the year 1997)

Organ/Untersuchung	Ambulant		Stationär ^{d)}		Gesamt	je 1000 Einw.
	in Tausend	Anteil in% a)	in Tausend	Anteil in% a)	in Tausend	
Brustkorb	9508	13	15460	49	24968	304
Gliedmaßen	18877	26	3430	11	22307	272
Wirbelsäule	10067	14	1430	4	11497	140
Becken und Hüfte	5725	8	1240	4	6965	85
Schädel	12007	16	1600	5	13607	166
Bauchraum (leer)	965	1	640	2	1605	20
Speiseröhre/Magen/ Dünndarm	741	1	180	1	921	11
Dickdarm	634	1	270	1	904	11
Galle	68	0	90	0	158	2
Harntrakt	1397	2	640	2	2037	25
Arteriendarstellung und Intervention	439	1	1950	6	2389	29
Venendarstellung	356	0	300	1	656	8
Mammographie	5840	8	380	1	6220	76 ^{b)}
Computertomographie	3198	4	2580	8	5778	70
Knochendichtemessung	902	1	?	-	902	11
nicht klassifizierte Röntgenuntersuchungen	3031	4	1560	5	4591	56
sonstige Untersuchungsstellen ^{c)}					6598	80
Zwischensumme	73755	100	31750	100	112103	1366
Zahnuntersuchungen	23624		20		23644	288
Gesamt	97379		31770		135747	1654

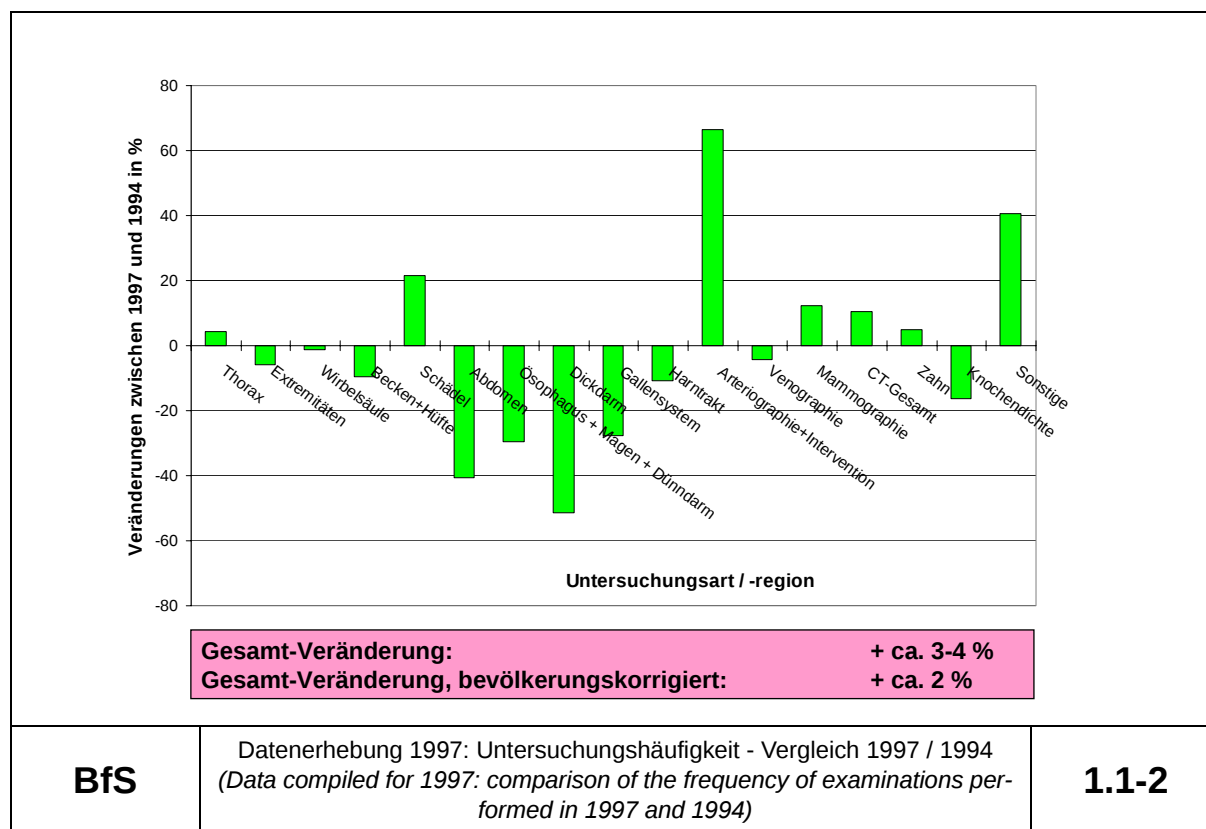
a) Die Prozentangaben sind auf die Humanmedizin ohne Zahnmedizin bezogen.

b) Dies entspricht 199 je 1000 Frauen im Alter ab 25 Jahren (Bevölkerungsanteil: 31,29 Mio.).

c) Z.B. Gesundheitsämter, Justizvollzugsanstalten u.a. Diese Untersuchungsstellen sind weder ambulant noch stationär zugeordnet.

d) Die Unsicherheit der Abschätzung wirkt sich besonders bei den sehr häufigen Untersuchungen des Brustkorbs (Thorax) auf die angegebene Häufigkeit aus.

Der Vergleich mit den Erhebungen aus dem Jahr 1994 ist nur mit Einschränkung möglich. Zum einen war die damalige Datenlage wegen der Umstellung des Medizinalwesens in den neuen Bundesländern sehr lückenhaft. Zum anderen erfolgte zwischenzeitlich eine Umstellung der Gebührenordnungen, wobei die Zuordnungen einzelner Leistungspositionen zu organbezogenen Untersuchungen nicht mehr in derselben Weise möglich ist. Weiterhin wurden bei der Auswertung für das Jahr 1997 einige Leistungspositionen zusätzlich berücksichtigt, die 1994 noch nicht erfasst werden konnten. Mit diesen Einschränkungen ergibt sich eine Steigerung der Gesamt-Untersuchungshäufigkeit zwischen 1994 und 1997 von etwa 3 – 4%, also grob geschätzt von 1% pro Jahr. Bevölkerungskorrigiert liegt der Anstieg bei ca. 2% (Abb. 1.1-2).



Die Auswertung für die einzelnen Untersuchungsarten lässt unterschiedliche, zum Teil gegenläufige Änderungen der relativen Häufigkeit im Vergleich zu 1994 erkennen (Abb. 1.1-2). Einerseits zeigte sich eine Abnahme der Häufigkeiten von Untersuchungen im Bauchraum einschließlich des Magen-Darm-Trakts, des Gallensystems und des Harntrakts um 10 – 50%. Dies lässt darauf schließen, dass der bereits früher beschriebene Trend zu Untersuchungsarten ohne die Anwendung ionisierender Strahlung wie Ultraschall, Endoskopie oder Magnetresonanztomographie (MRT) weiter anhält. Andererseits zeigte sich eine Zunahme der Röntgenuntersuchungen des Schädels um ca. 24% und der weiblichen Brust um ca. 12%, wobei erstere im Wesentlichen durch eine erweiterte Diagnostik im Rahmen der Zahnmedizin bedingt ist, während die Zunahme der Mammographien die Bedeutung dieser Methode bei der Brustkrebsdiagnostik unterstreicht. Weitere Zunahmen fanden sich bei dosisintensiven Techniken wie der Computertomographie (CT) um ca. 11% und der Arteriographie einschließlich interventioneller Eingriffe um ca. 67%. Eine strenge klinische Indikationsstellung vorausgesetzt, stellen aber gerade die letztgenannten Techniken einen großen diagnostischen und therapeutischen Gewinn für die Patientinnen und Patienten dar.

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 in ein Schattenbild umgewandelt.

Bereiche mittlerer Werte der effektiven Dosis für die Gruppe der einfachen Röntgenaufnahmen sowie für die weiter unten besprochenen komplexeren Verfahren sind in Tabelle 1.1-2 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. 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".

Tabelle 1.1-2 Bereiche mittlerer Dosiswerte für häufige Untersuchungsverfahren in der Röntgen-diagnostik an Standardpatienten und Standardpatientinnen
(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 / -region	effektive Dosis [mSv]
Untersuchungen mit Röntgenaufnahmen	
Zahnaufnahme	≤ 0,01
Gliedmaßen (Extremitäten)	0,01 - 0,1
Schädelaufnahme	0,03 - 0,1
Halswirbelsäule in 2 Ebenen	0,09 - 0,15
Brustkorb (Thorax), 1 Aufnahme	0,02 - 0,05
Mammographie beidseits in je 2 Ebenen	0,4 - 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 - 5
Harntrakt (Urogramm)	2,5 - 7
Bein-Becken-Phlebographie	0,5 - 2
Arteriographie und Interventionen	10 - 20
CT-Untersuchungen*	
Kopf	2 - 4
Wirbelsäule / Skelett	3 - 10
Brustkorb (Thorax)	6 - 10
Bauchraum (Abdomen) und kleines Becken	10 - 25

* typische CT-Untersuchung, ggf. nativ und nach Kontrastmittel-Gabe

Zur Untersuchung von Bewegungsvorgängen oder zur genaueren Beurteilung von sich überlagernden Strukturen ist bei einigen Untersuchungen zusätzlich eine Röntgendurchleuchtung notwendig. Dabei durchdringt eine schwache, kontinuierliche oder gepulste 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 Patienten und Patientinnen - vermieden werden können.

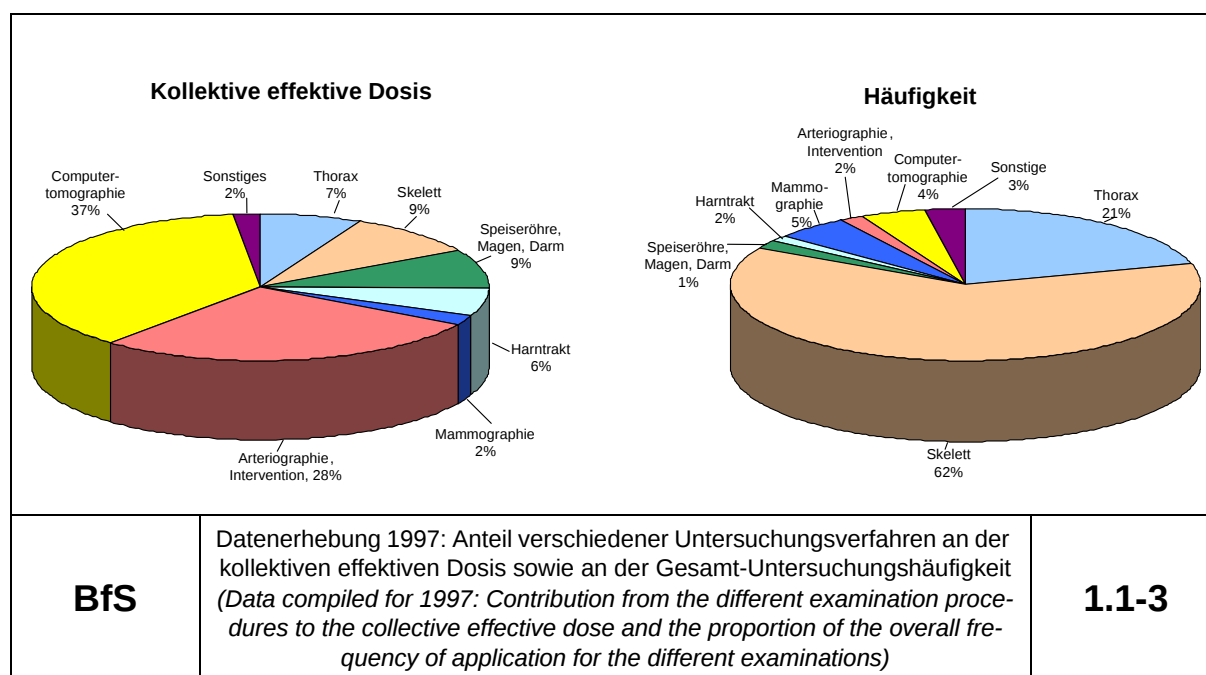
Die CT, bei der der Röntgenstrahler und ein gegenüberliegender Strahlendetektor kreis- oder spiralförmig um den Körper des Patienten bzw. der Patientin fährt, liefert überlagerungsfreie Querschnittsbilder. Die neueste Generation von Computertomographen, sogenannte Mehrschicht-Computertomographen (MS-CT) erfasst gleichzeitig mehrere Schichten in einem Untersuchungsvorgang, wodurch die Untersuchungszeit weiter verkürzt wird. Dies ist für den Patienten bzw. die Patientin weniger belastend und erlaubt es zusätzlich, nicht nur morphologische, sondern auch funktionelle Fragestellungen zu beantworten. Diese mit einer relativ hohen Strahlenexposition verbundene Methode 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 ein daraus resultierendes Risiko gegenüber dem Nutzen einer gezielt durchgeführten Untersuchung für den Patienten bzw. die Patientin in den Hintergrund tritt.

Kollektive effektive Dosis

Für die Abschätzung der kollektiven effektiven Dosis wurde das Produkt von Untersuchungshäufigkeit und Untersuchungsdosis für jede Untersuchungsart berechnet und in das oben beschriebene Schema eingetragen. Dadurch ist es möglich, sowohl die kollektive effektive Dosis insgesamt als auch den auf eine bestimmte Untersuchungsart bzw. -region entfallenden Anteil daran abzuschätzen.

Die rein rechnerisch ermittelte effektive Dosis pro Kopf der Bevölkerung in Deutschland im Jahr 1997 lag bei etwa 2 mSv. Eine grobe Fehlerabschätzung ergibt eine Unsicherheit von ca. $\pm 25\%$. Eine wichtige Fehlerquelle liegt in der Schwankungsbreite der Dosen für die einzelnen Untersuchungen. Hier sind die individuellen Verhältnisse bei den Patienten und Patientinnen - insbesondere die Körpermaße der Patienten und Patientinnen, die Durchleuchtungszeit und die Schwierigkeit der Diagnosestellung - ebenso maßgeblich wie die Schwierigkeit, aus einer abgerechneten Leistungsposition auf die genaue Art der Durchführung einer Untersuchung zu schließen.

Den prozentualen Anteil der verschiedenen Untersuchungsarten an der kollektiven effektiven Dosis zeigt Abbildung 1.1-3. Im Vergleich zu den für das Jahr 1994 vom Bundesamt für Strahlenschutz angegebenen Daten fällt insbesondere der Anstieg bei der Arteriographie und interventionellen Radiologie von etwa 18% auf jetzt 28% auf. Demgegenüber bleibt der Anteil der CT mit 37% weitgehend unverändert. Hier kann vermutet werden, dass die Zunahme der Untersuchungshäufigkeit durch eine Dosiseinsparung je CT-Untersuchung auf Grund neuer Gerätetechniken ausgeglichen worden ist. Der prozentuale Anteil der verschiedenen Untersuchungsarten an der Häufigkeit ist ebenfalls in Abbildung 1.1-3 dargestellt. Obwohl CT und Arteriographie mit Intervention zusammen nur ca. 6% der Röntgenuntersuchungen ausmachen, liegt ihr gemeinsamer Anteil an der kollektiven effektiven Dosis bei ca. 65%. Eine strenge klinische Indikationsstellung vorausgesetzt, bieten aber gerade diese Techniken – wie oben bereits dargelegt - einen großen diagnostischen und therapeutischen Nutzen für die Patientinnen und Patienten.



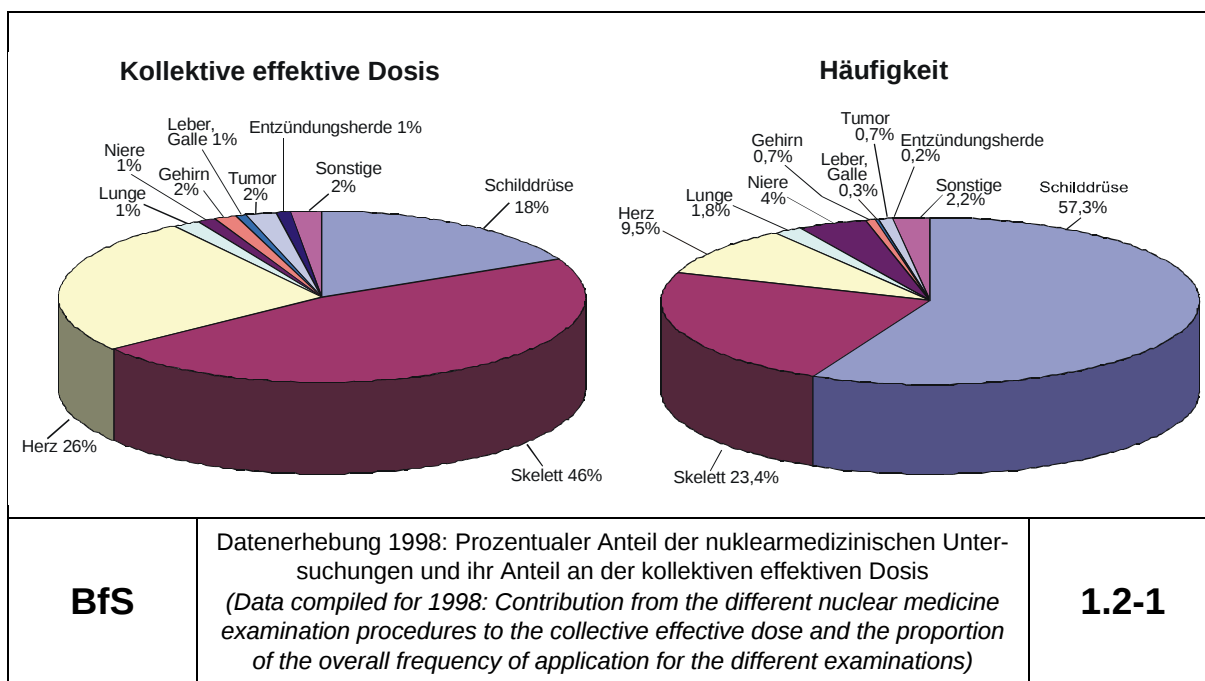
1.2 Nuklearmedizin, Diagnostik (Nuclear medicine diagnostics)

In der nuklearmedizinischen Diagnostik werden den Patienten und Patientinnen 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 und in der Patientin nachweisbar und bildlich darstellbar. Die diagnostische Anwendung von Radiopharmaka ermöglicht die Un-

tersuchung 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 vorwiegend morphologisch ausgerichteten, sonstigen 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. der [Fluor-18]-Fluordesoxyglukose (FDG), möglich geworden, zell- und molekularbiologische Teilfunktionen des Körpers in hoher räumlicher Auflösung bildgebend in-vivo darzustellen [1, 2, 3]. Besonders vorteilhaft ist der Einsatz der PET in den Indikationsbereichen Onkologie, Kardiologie und Neurologie.

In der nuklearmedizinischen Diagnostik wurden in Deutschland 1998 ca. 3,6 Millionen Radionuklidapplikationen bei ambulanten und stationären Patienten und Patientinnen durchgeführt, was einer Anwendungshäufigkeit von 44 Untersuchungen pro 1000 Einwohner entspricht. Am häufigsten wurden bei den ambulanten Patientinnen und Patienten Szintigraphien der Schilddrüse und des Skeletts durchgeführt (Abbildung 1.2-1). Insgesamt wurde für die im Jahr 1998 durchgeführten nuklearmedizinischen Untersuchungen eine kollektive effektive Dosis von ca. 9 140 Personen-Sv und eine jährliche effektive Dosis pro Einwohner von 0,11 mSv ermittelt. Die Skelettszintigraphie liefert mit 46% den größten Beitrag zur kollektiven effektiven Dosis, gefolgt von der Myokardszintigraphie mit 26% und Schilddrüsenszintigraphie mit 18% (Abbildung 1.2-1).



Die mittleren effektiven Dosen nuklearmedizinischer Untersuchungen waren bei der PET mit FDG mit 8,6 mSv am höchsten, gefolgt von der Myokardszintigraphie mit 7,0 mSv, der Hirnszintigraphie mit 5,8 mSv und der Skelettszintigraphie mit 5,1 mSv. Die am häufigsten angewendete Schilddrüsenszintigraphie weist eine vergleichsweise niedrige effektive Dosis von 0,8 mSv auf. Die bei Kindern relativ häufig durchgeführten Nierenuntersuchungen sind ebenfalls durch eine niedrige Strahlenexposition gekennzeichnet (0,8 mSv).

Im Vergleich zu 1997 ist 1998 eine geringfügige Reduktion der Häufigkeit nuklearmedizinischer Untersuchungen zu verzeichnen, wobei allerdings die Häufigkeit der Schilddrüsenszintigraphie zugenommen hat. Andererseits werden neue Radiopharmaka eingesetzt, die zu einer Verringerung der Strahlenexposition bei einzelnen Untersuchungsarten führten. So konnte z. B. durch den Ersatz von Tl-201-Chlorid durch Tc-99m-MIBI der Beitrag der Myokardszintigraphie zur Strahlenexposition deutlich reduziert werden.

Basierend auf Vorgaben internationaler Gremien für Referenzwerte strahlendiagnostischer Verfahren sind von Experten des Ausschusses "Strahlenschutz in der Medizin" der Strahlenschutzkommission Vorschläge für Referenzaktivitätswerte in der nuklearmedizinischen Diagnostik zusammengestellt worden.

1.3 Strahlenhygienische Bewertung *(Evaluation in terms of radiation hygiene)*

Die nominelle Strahlenexposition der Bevölkerung durch die Röntgendiagnostik beträgt etwa 2 mSv pro Einwohner und Jahr, wobei die Untersuchungshäufigkeit eine Zunahme von ca. 1% pro Jahr erkennen lässt. Der Beitrag der Nuklearmedizin ist mit 0,1 mSv pro Einwohner und Jahr sehr gering. Die kollektive effektive Dosis durch medizinische Strahlenexposition liegt nominell in der Größenordnung von ca. 160.000 Personen-Sievert pro Jahr.

Eine strahlenhygienische Bewertung der medizinischen Strahlenanwendungen muss vor allem berücksichtigen, dass diese Strahlenexpositionen nicht die gesamte Bevölkerung betreffen. Sie ist vielmehr ungleichmäßig auf die Bevölkerung verteilt. Betroffen sind nur Patientinnen und Patienten, also der Teil der Bevölkerung, der aus der Exposition einen unmittelbaren diagnostischen oder therapeutischen Nutzen zieht. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass ältere Personen wesentlich häufiger betroffen sind, aber auch eine deutlich geringere Strahlenempfindlichkeit aufweisen als jüngere. Die Ermittlung der medizinischen Strahlenexpositionen beruht in der radiologischen Diagnostik auf dem Konzept der effektiven Dosis. Dieses Konzept ist nur anwendbar auf Strahlenexpositionen, bei denen deterministische Strahleneffekte weitgehend ausgeschlossen sind. Für die radiologische 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 und das Konzept der effektiven Dosis ist nicht mehr anwendbar. Wie in Kapitel 2.1 dargelegt, betrifft die therapeutische Anwendung im Vergleich zur radiologischen Diagnostik nur einen relativ kleinen, aber schwer erkrankten Teil der Bevölkerung.

Voraussetzung für eine umfassende strahlenhygienische Bewertung der medizinischen Strahlenexpositionen ist somit die Ermittlung der Geschlechts- und Altersverteilung der Patientinnen und Patienten sowie der Indikationsstellung bei den erbrachten Röntgenleistungen. Diese Angaben sind aber aus Gründen des Datenschutzes nur mit großen Schwierigkeiten und Ungenauigkeiten zu erfassen, da sie eine Einsichtnahme in personenbezogene Krankenakten erfordern. Erste Erkenntnisse brachte eine durch das BfS erhobene repräsentative Stichprobe aus Akutkrankenhäusern über die Altersverteilung stationärer Patientinnen und Patienten bei sieben Untersuchungsarten der Röntgendiagnostik, die zusammen etwa 86% der kollektiven effektiven Dosis der stationären Röntgendiagnostik ausmachen. Unter Berücksichtigung der Altersverteilung sowie der damit verbundenen Strahlenempfindlichkeit ergibt sich bei vorsichtiger Risikoabschätzung für das untersuchte Patientenkollektiv ein Reduktionsfaktor von mindestens 0,6 bis 0,7 im Vergleich zu einer Abschätzung, die diese beiden Einflussgrößen nicht berücksichtigt. In Gesprächen mit den Spitzenverbänden der Kostenträger und der Ärzteschaft wurde dem BfS Mithilfe bei der weiteren Bearbeitung dieser Fragestellungen zugesichert. Das BfS hat sich bereit erklärt, die aus diesen Daten gewonnenen Ergebnisse insbesondere den Spitzenverbänden der Ärzteschaft zur Verfügung zu stellen, um dem überweisenden Arzt für eine veranlasste Röntgenleistung die Strahlenexposition der Patientin und des Patienten und das damit verbundene nominelle Risiko transparent werden zu lassen. Damit soll ein erster Schritt zur Umsetzung von Art. 6 Abs. 2 PatSRL 97/43/Euratom getan werden. Mit Ergebnissen ist allerdings nicht vor dem Jahr 2004 zu rechnen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass in der Heilkunde auf Röntgenuntersuchungen nicht verzichtet werden kann, und bei gewissenhafter Indikationsstellung sowie Minimierung der Dosis durch qualitätssichernde Maßnahmen das Strahlenrisiko für den einzelnen Patienten und die einzelne Patientin gegenüber dem Nutzen für seine Gesundheit in den Hintergrund tritt.

1.4 Alternative Untersuchungsverfahren *(Alternative examination procedures)*

Bei den alternativen Untersuchungen steht neben der Endoskopie die Sonographie im Vordergrund - eine Untersuchungsmethode, die auf der Anwendung von Ultraschall beruht (s. Tabelle 1.4-1). Demgegenüber spielt die Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT) zumindest in der letzten vorliegenden Erhebung aus dem

Jahr 1994 zahlenmäßig noch eine untergeordnete Rolle, wobei die jährliche Steigerungsrate mit +180% zwischen 1990 und 1994 jedoch erheblich ist. In der nächsten Erhebung, die für das kommende Jahr vorgesehen ist, ist deswegen mit einem deutlich veränderten Bild zu rechnen.

Tabelle 1.4-1 Häufigkeit von alternativen Untersuchungsverfahren im Jahr 1994
(*Frequency of application of alternative examination procedures in the year 1994*)

Untersuchungsart	Untersuchungen in Tausend			je 1000 Einwohner
	Ambulant	Stationär	Gesamt	
Sonographie	64700	13730	78430	963
Oberbauch	20230	7060	27290	335
Unterbauch	25620	940	26560	326
Mamma	2570	70	2640	32
Herz/Echokardiographie	2490	3030	5520	68
Gefäße/Dopplersonogr.	5390	1420	6810	84
Sonstige	8400	1210	9610	118
Endoskopie	13670	3500	17170	212
Bronchoskopie	60	180	240	3
Ösophago-/Gastroskopie	1960	1390	3350	41
Koloskopie	2650	660	3310	41
Zystoskopie	1080	280	1360	17
Arthroskopie	200	420	620	8
Sonstige	7720	570	8290	102
MR-Tomographie	1020	190	1210	15
ZNS	630	70	700	9
Sonstige	390	120	510	6

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 frei wählbaren Projektionsebenen dargestellt werden können. Durch die Entwicklung von ultraschnellen Bildgebungstechniken gelang es in den letzten Jahre 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 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 Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung - RöV) vom 8. Januar 1988 bewirkte eine Reduzierung der Strahlenexposition je Untersuchung in der Röntgendiagnostik. Die Pflicht zur Befragung der Patientinnen und Patienten nach früheren Röntgenuntersuchungen einerseits, wobei der Röntgenpass als Gedächtnisstütze hilft, und die Pflicht zur leihweisen Weitergabe von Röntgenbildern 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 optimal niedrig gehalten wird.

Die Einführung dosissparender Untersuchungstechniken wie z. B. die Verwendung von verbessertem Film-Folien-Material ("Seltene-Erden-Folien"), Hochfrequenzgeneratoren, der Belichtungsautomatik und die gepulste Durchleuchtung trägt ebenso zum Erreichen niedriger Dosiswerte je Röntgenuntersuchung bei, wie die vorgeschriebene Konstanzprüfung von Röntgeneinrichtungen und Filmverarbeitung. Die dosisintensiveren radiologischen Verfahren CT und interventionelle Radiologie erhöhen über den Weg einer wesentlich genaueren und umfangreicheren Diagnosestellung bzw. den Ersatz risikoreicher alternativer Therapieformen zwar die Strahlenexposition des einzelnen Patienten und der einzelnen Patientin, führen aber zu einer wesentlichen Verbesserung des Verhältnisses von Nutzen und Risiko. 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 Leitlinien für die Röntgendiagnostik wurden 1995 aktualisiert, die für die CT sind in Überarbeitung. 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 vor allem schwere Qualitätsmängel seit der Einführung der Qualitätsüberwachung und der Beratung durch die ärztlichen Stellen kontinuierlich seltener geworden sind.

Eine weitere Maßnahme der Qualitätskontrolle ist die Einführung von diagnostischen Referenzwerten auf Grund der Patientenschutzrichtlinie 97/43/Euratom. Es handelt sich hierbei nicht um Grenzwerte, sondern um Werte, die dazu dienen sollen, systematische Fehler bei denjenigen Ärzten herauszufinden, deren Patientendosiswerte beständig über dem Referenzwert liegen. Die Einführung wird mit Inkrafttreten der novellierten RÖV erfolgen. Einzelheiten sollen in der Richtlinie zur Qualitätssicherung nach § 16 RÖV geregelt werden. Das BfS, das nach dem Entwurf zur Novellierung der RÖV diagnostische Referenzwerte erstellen und veröffentlichen soll, hat bereits mehrere Expertengespräche durchgeführt, um die Einführung der diagnostischen Referenzwerte vorzubereiten.

Die digitale Radiographie bringt bei Standardeinstellungen keine Dosiseinsparung je Einzelaufnahme, ermöglicht aber dennoch eine Dosisreduzierung z. B. durch Vermeidung von Fehlbelichtungen bei Aufnahmetechniken als auch der strahlungsfreien Situationskontrolle bei Durchleuchtungen durch "Last Image Hold (LIH)". Eine Einsparung ist aber auch möglich, wenn bei geringerer Anforderung an die Bildqualität mit gezielt niedriger Dosis gearbeitet werden kann. Auch bei der CT zeichnet sich ein Trend zu niedrigeren Dosiswerten ab. Mehrere Forschungsvorhaben wurden oder werden durchgeführt oder sind geplant, um festzustellen, wie weit bei CT-Untersuchungen die Exposition vermindert werden kann, um eine an die diagnostische Fragestellung angepasste Bildqualität zu erhalten. Andererseits ermöglichen neue, insbesondere schnellere CT-Untersuchungstechniken neue Anwendungsarten mit z. T. höheren Dosen, jedoch mit diagnostischen Aussagen, die bisher nicht zu erhalten waren.

Die Digitaltechnik erlaubt zudem eine Verbesserung der diagnostischen Auswertung der Bilder durch eine Zweitbefundung durch einen Spezialisten auf dem Weg der Teleradiologie. Dies darf aber keineswegs dazu führen, dass nicht fachkundige Ärzte oder medizinisch-technisches Personal Röntgenuntersuchungen ohne fachkundigen Arzt durchführen und dieser ausschließlich auf dem Weg der Datenleitung zur Befundung weit entfernt vom Patienten und von der Patientin tätig wird. Auch sind die Probleme der Qualität und Sicherheit der Datenübertragung noch nicht vollständig gelöst. Auch in der Teleradiologie muss weiterhin der Grundsatz gelten, dass sowohl die Indikationsstellung als auch die 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 Patienten und Patientinnen herabzusetzen.

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 rechtliche Grundlagen für eine Qualitätssicherung zu schaffen, ist es notwendig, sie in die bestehenden Richt- und Leitlinien für die Röntgendiagnostik einzubeziehen sowie insbesondere auch in die Grundlagen zur Sachverständigenprüfung. Ähnliches gilt auch für die bereits oben angesprochene digitale Radiologie.