

Die Anwendung der Röntgenstrahlen: Seit 107 Jahren bekannt und immer noch zu verbessern

Einleitung

In der Schweiz werden im Vergleich zu andern Ländern viele Röntgenuntersuchungen durchgeführt: pro 1'000 Einwohner etwa 1'300 Röntgenaufnahmen, 36 Durchleuchtungen und 47 CT-Untersuchungen (Angaben des IRA und BAG). Im Vergleich zu Erhebungen früherer Jahren ist die Durchleuchtung stark zurückgegangen und nur mit Anlagen erlaubt, die mit Bildverstärker und automatischer Dosisleistungsregulierung ausgerüstet sind (seit 1997). Das belastende Schirmbildverfahren ist ganz verschwunden (seit 2000). Die konventionellen Tomografien (Schichtaufnahmen) werden nur noch selten angewendet. Obwohl der Anteil der Untersuchungen mit den 200 CT-Geräten in der Schweiz nur etwa 3.5 % beträgt, tragen sie etwa 35 % zur medizinischen Strahlenexposition bei. Die Zahl der Röntgenuntersuchungen ist immer noch zunehmend.

Die medizinische Strahlenexposition trägt weitaus am meisten zur künstlichen Strahlenexposition bei (über 85 %). Es ist deshalb gerechtfertigt und notwendig, Möglichkeiten der Dosisreduzierung zu ermitteln und darauf hinzuweisen. Zudem muss jeder Anwender von Röntgenstrahlen den erwarteten Nutzen gegenüber dem Strahlenrisiko abwägen, wofür die Strahlenexposition die Grundlage bildet. Hier sehen wir eine wichtige Aufgabe, nämlich die Dosismessung bei Röntgenuntersuchungen am Patienten, mit dem Ziel, sie zu bewerten und falls erforderlich und möglich zu reduzieren. Ein wichtiger Parameter dafür ist die Ausbildung. Für eine bestimmte Röntgenuntersuchung können die Dosen bei gleichem Ergebnis um mehr als eine Grössenordnung auseinanderliegen.

Die Strahlenexposition bei Röntgenuntersuchungen ist in den meisten Fällen klein (zwischen einigen μSv und einigen 100 μSv). Vor allem die Dosen bei CT-Untersuchungen sind jedoch sehr hoch, was oft zuwenig beachtet wird. Unser Anliegen ist es, dass Massnahmen dort ergriffen werden, wo eine hohe Strahlenexposition des Patienten wesentlich reduziert werden kann. Es sollen nicht sogenannte Strahlenschutzmassnahmen angewendet werden, weil es immer so gemacht wurde, ohne dass heute damit ein Nutzen festgestellt werden kann.

Das Niob-Filter – ein Wunderding?

Um 1990 priesen verschiedene Firmen „Strahlenreduktionsfilter“ aus Niob oder Yttrium an, welche die Strahlenexposition bei einer Röntgenaufnahme angeblich bis um 70 % reduzieren. Beim Kauf dieses teuren Filters wurde sogar ein Zertifikat mitgeliefert, das „eine Reduktion der Röntgenstrahlenbelastung für Arzt und Patient bis zu 70 % garantiert und bestätigt, dass diese Praxis aktiv am Personen- und Umweltschutz teilnimmt“.

Zusammen mit Aluminium- und Kupfer-Filtern wurden die teuren Niob- und Yttrium-Filter an zwei Röntgengeräten bei Röhrenspannungen zwischen 40 und 120 kV getestet. Die Veränderung der Qualität und Quantität der Röntgenstrahlung durch die Zusatzfilter wurde in verschiedenen Phantomtiefen mit einem Röntgenstrahlenanalysator und einem Dosimetriesystem mit Weichstrahlkammer gemessen. Die anhand eines Prüfkörpers erzeugte Bildqualität wurde bezüglich Auflösungsvermögen und Kontrast durch Radiologen verglichen. Zusätzlich wurden die Zusatzfilter auch in der klinischen Routine eingesetzt. Selbstverständlich wird insbesondere die Oberflächendosis bei Zusatzfilterung etwas reduziert, allerdings unabhängig von der Art des Filtermaterials. Sie muss jedoch für eine konstante Filmschwärzung auf die Austrittsdosis bezogen werden. Damit reduziert sich die Oberflächendosis bei konstanter Austrittsdosis nur noch um 20 – 25 %. Die Bildqualität wurde praktisch nicht beeinflusst.

In verschiedenen Publikationen, z.B. [2], wurden unsere Messergebnisse vorgestellt. Gleichzeitig wurden wirkungsvollere Massnahmen zur Dosisreduktion erwähnt, so z.B. empfindlichere Film-Folien-Systeme (bis 50 % Reduktion aller Organdosen), Einblendung (kleinere Dosen und weniger Gewebe exponiert), höhere Röhrenspannung (ca. 65 % Reduktion der Oberflächendosis bei Erhöhung der Spannung von 70 auf 100 kV). Das Interesse für die Messungen an dem Wunderfilter war gross, so z.B. auch vom TÜV in Stuttgart. Heute ist dieses Filtermaterial unseres Wissens kein Thema mehr. Jedoch wird vermehrt Kupfer als Zusatzfilter in modernen Röntgengeräten eingesetzt, wodurch die niederenergetische Strahlung vor dem Auftreffen auf den Patienten reduziert werden kann.

Wieviel sind 0.35 mm Blei?

In den heute verkauften „Bleigummi“-Abschirmungen in Form von Mänteln, Kragen, Handschuhe usw. ist das Blei teilweise ersetzt durch Wolfram und Barium (z.B. „Xenolite“). Neben Entsorgungsgründen ist die gleich wirkende Abschirmung etwa 20 – 30 % leichter, was z.B. bei längerem Tragen durch das Personal vorteilhaft ist. Trotzdem wird die Schwächungseigenschaft von Abschirmungen weiterhin in entsprechenden „mm Pb“ angeschrieben. Bei unterschiedlichen Röhrenspannungen ist die Schwächung von verschiedenen Materialien nicht konstant, sodass die Angabe grundsätzlich nur bei einer Röhrenspannung richtig ist. Diese muss nun nach europäischer und deutscher Norm (EN, DIN) ebenfalls auf der Etikette des Schwächungsmaterials aufgeführt sein [5]. Für verschiedene Hersteller bzw. Verkäufer wurden die Schwächungseigenschaften von Abschirmmaterialien geprüft. Es zeigte sich, dass die Dicke oft zu grosszügig angegeben ist (Toleranz 10 % nach DIN), d.h. die angegebene Schutzwirkung wird dann nicht erreicht. Bleigummiabdeckungen werden eingesetzt, um die Exposition von Personen in den Fällen zu verringern, in denen andere Schutzverfahren gegen Röntgenstrahlen unzureichend sind [5]. Nach europäischer Norm sind Strahlenschutzschürzen von Personen zu tragen, die sich während der radiologischen Untersuchungen mit oder ohne interventionelles Verfahren im Untersuchungsraum aufhalten müssen, also vom Personal.

Bleigummiabdeckungen am Patienten: Strahlenschutz oder Feigenblatt?

Die Strahlenschutzprinzipien fordern eine Optimierung zwischen Strahlenexposition und Schutzaufwand. Die Anwendung einer Bleigummiabdeckung ausserhalb des Nutzstrahlenfeldes kann die Dosen der darunterliegenden Organe vermindern. Dem Patienten wird damit der Eindruck vermittelt, er oder sie könne vor unnötiger Strahlung geschützt werden. Dies ist aber keineswegs so, wie die Messresultate in Abbildung 1 zeigen. Eine optimale Bleigummischürze bei einer Thorax-Röntgenaufnahme reduziert die Gonadendosis bei der Frau um höchstens 15 %, wobei die Dosis ohne Bleigummischürze mit $0.5 \mu\text{Gy}$ (entspricht einer mittleren natürlichen Strahlenexposition während etwa einer halben Stunde) grundsätzlich schon sehr klein ist. In Abbildung 2 ist dargestellt, woher die Streustrahlung stammt. Die Dosis an Organen im Körperinnern ausserhalb des Nutzstrahlenfeldes stammt zum grössten Teil aus körpereigener Streustrahlung. Diese trägt vor allem zur Dosis an Organen im Innern des Körpers bei und kann durch Bleigummiabdeckung kaum beeinflusst werden. Vor allem bei CT-Untersuchungen ist die axiale Streustrahlung von grosser Bedeutung. Je näher ein Organ am Rand des Nutzstrahlenfeldes liegt, umso wirkungsvoller ist der Schutz einer Abdeckung.

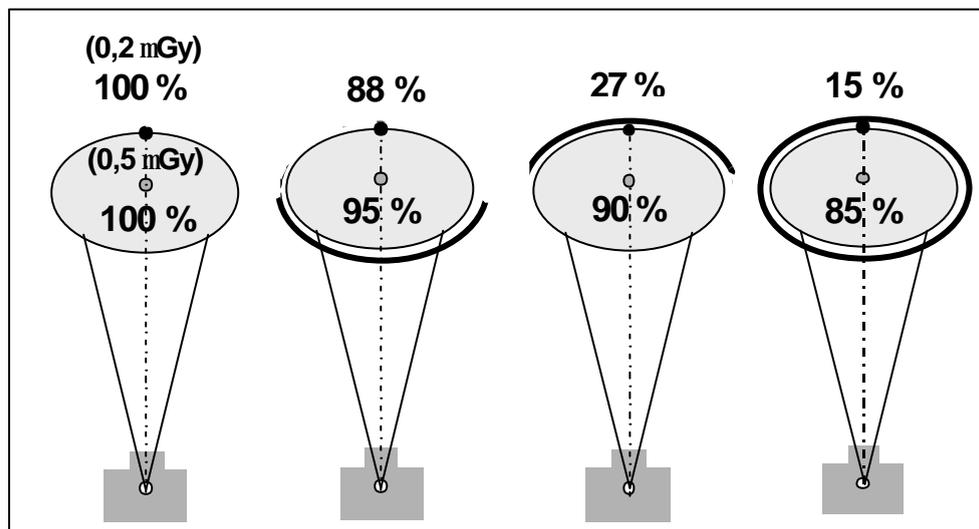


Abbildung 1: Einfluss der Bleigummiabdeckung auf die Hoden- und Ovariendosen bei einer Thorax-Röntgenaufnahme (120 kV, FOD = 175 cm), 0.5 mm Bleigleichwert.

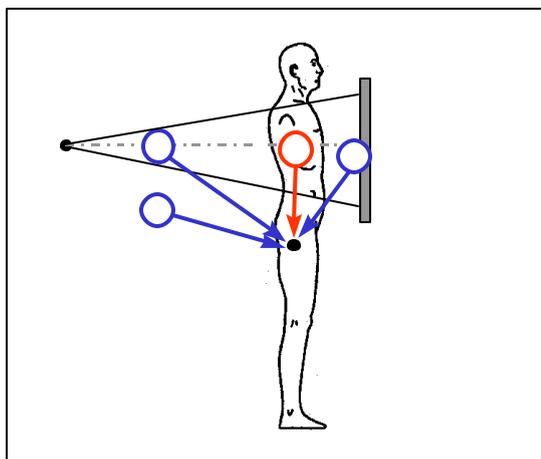


Abbildung 2: Entstehungsorte der Streustrahlung bei einer Röntgenuntersuchung:
 1 = vom Blendensystem und aus der Luft
 2 = „Leckstrahlung“ aus dem Röhrengehäuse
 3 = vom Wandstativ
 4 = aus dem eigenen Körper

Die Entstehung von Streustrahlung kann mit wirkungsvolleren Massnahmen als Bleigummi reduziert werden: Einblendung, Kompression, empfindliches Bildsystem, geeignete Röhrenspannung usw. Diese können dem Patienten gegenüber jedoch nicht so gut zur Schau gestellt werden wie eine Bleigummiabdeckung. Dem Patienten soll nicht ein Schutz vorgetäuscht werden, der nicht vorhanden ist. Deshalb vertreten wir gemeinsam mit den Radiologen und MTRA des Universitätsinstitutes für Diagnostische Radiologie des KBS die Empfehlung, die Bleigummiabdeckung wegzulassen, wenn sie kaum einen Nutzen bringen kann. Ein Schutz kann realisiert werden mittels Hodenkapseln (1 mm Pb) beim Mann während Abdomen-, Beckenaufnahmen und CT-Untersuchungen sowie generell bei Durchleuchtungsuntersuchungen. Im letzten Fall muss allerdings darauf geachtet werden, dass der Nutzstrahl auf keinen Fall auf Bleigummi trifft. Sonst steigt die Strahlenexposition wegen der automatischen Dosisleistungsregulierung um ein Mehrfaches. In Abbildung 3 ist dargestellt, wie die relative Dosis an den Ovarien durch die Einblendung des Nutzstrahlenfeldes beeinflusst wird. Es ist daraus ersichtlich, dass eine Bleigummi-Rundumschürze (0.5 mm Pb) nur bei schlechter Einblendung von Nutzen ist [3].

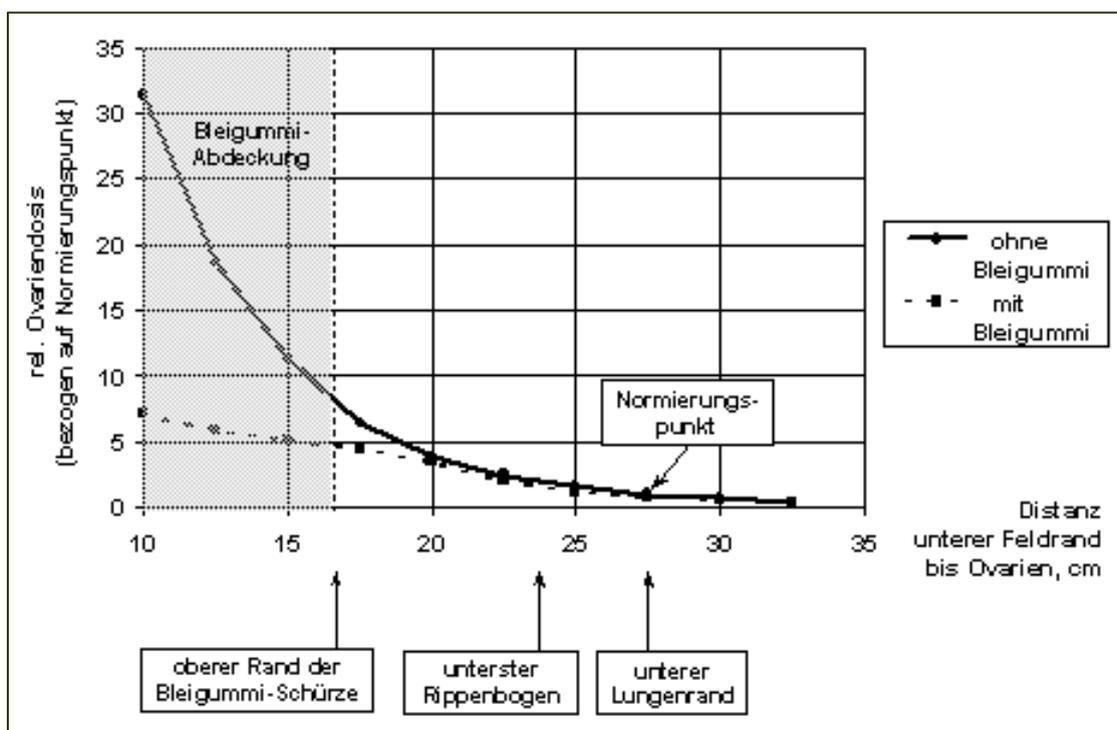


Abbildung 3: Relative Ovariendosis in Abhängigkeit von der Lage des unteren Feldrandes bei einer Thorax-Röntgenaufnahme mit und ohne Bleigummi-Abdeckung (Rundum-Schürze, 0.5 mm Blei-Gleichwert).

Wenn Bleigummiabdeckungen verwendet werden, dann müssen es Rundum-Schürzen mit einem Schwächungsgleichwert von 0.5 mm Pb sein. Andernfalls kann kaum ein Schutz des Patienten erreicht werden, sofern er überhaupt erforderlich ist bzw. realisiert werden kann [5]. Die Dosen ausserhalb des Nutzstrahls (insbesondere an den Gonaden) sind heute aufgrund verbesserter technischer Voraussetzungen und verbesserter Ausbildung (z.B. Einblendung) wesentlich kleiner als vor 10 Jahren – mit Ausnahme der CT-Untersuchungen.

Strahlenexposition bei CT-Untersuchungen

Im Jahre 1973 wurde in Basel der erste Computer-Tomograph (Firma EMI) in Kontinental-Europa installiert. Er diente den Untersuchungen im Schädelbereich. Über die

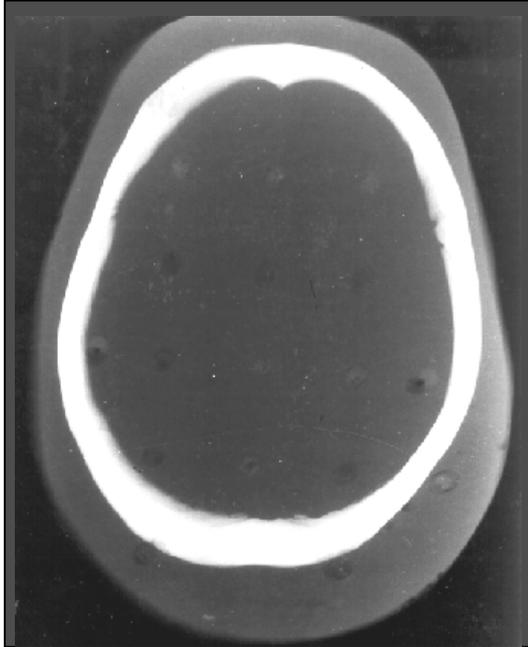


Abbildung 4a: Untersuchte Schädelschicht vom Alderson-Phantom.

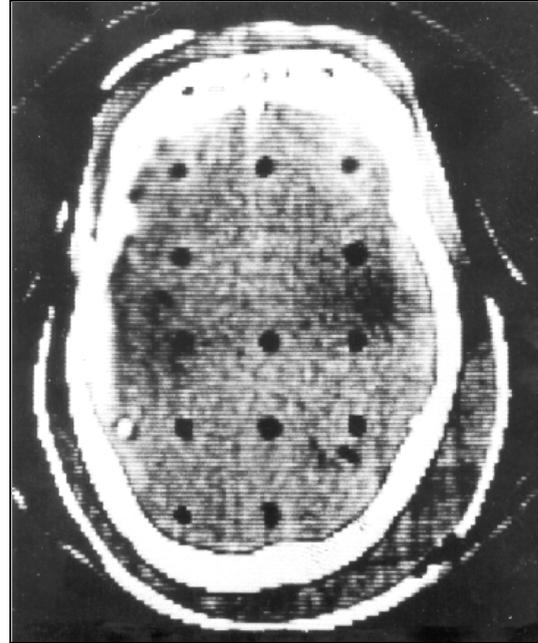


Abbildung 4b: Rekonstruiertes Bild vom Emi CT-Scanner Mark 1 (1973).

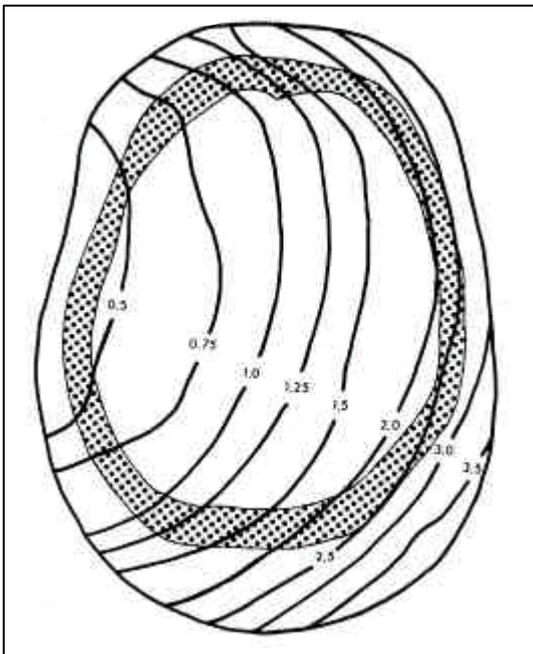


Abbildung 4c: Mit der Filmdosimetrie gemessene Isodosen in der Schicht in der Abb. 4b.

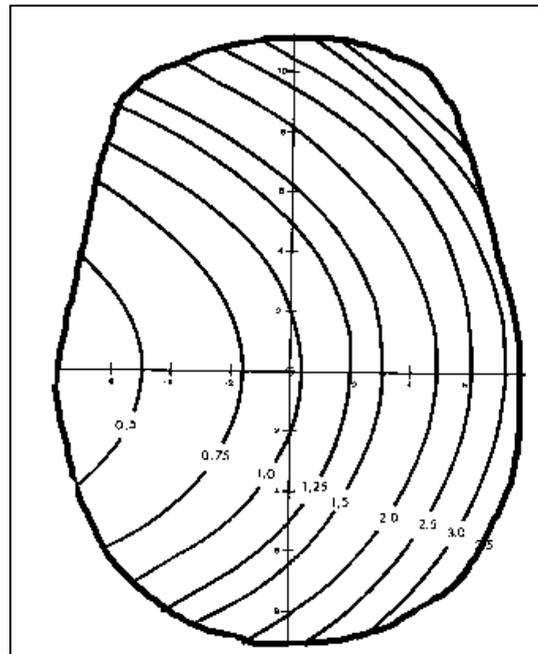


Abbildung 4d: Berechnete Isodosen in der Schicht in der Abb. 4b.

Strahlenexposition des Patienten bei der „computerisierten axialen Tomographie“ war damals wenig bekannt. Mangels eines geeigneten Phantoms benutzten wir u.a. eine Wassermelone in Kopfgrösse, in der wir TLD positionierten und Filme in entsprechende Schnitte legten, um die Dosen und Dosisverteilung zu bestimmen [1]. Diese ermittelten wir auch mit Hilfe eines selbst erstellten Computerprogramms aus den Geräteparametern (Abb. 4). Dosismessungen an Patienten ergaben Augendosen zwischen 2 und 6.5 mGy.

CT-Gerät	Rö- Raum	Betriebszeit	Messung im Jahr	Dosisangabe, Organ	CT-Untersuchung (Standard-Einstellungen)		
					Schädel	Thorax	Abdomen/ Becken
EMI-CT-Scanner Mark 1	K1, EG	1973 - 1978	1974, 1976	Auge Oberfl., Max.	5 40		
EMI CT 1010	40	1978 - 1986	1982	Ohr Auge Testes Ovarien	30.87 7.38 1.74 1.71		
Ohio Nuclear Delta Scan 2020	5	1980 - 1988	1980 1982	Testes Ovarien Testes Ovarien Oberfl., Max. Knochenmark		0.157 0.073 35 3.4	0.160 0.133
Siemens Somatom DR-H	6	1985 - 1991	1985	Testes Ovarien Knochenmark	0.002 0.002 2.7		0.09 0.9 2.6
Philips Tomoscan LX	5	seit 1988	1993	E	2.2	20.2	15.8
Siemens Somatom DR-H	6	1991 - 1998	1993	Testes Ovarien Knochenmark E	1.4	12.5	0.078 0.73 2.57 9.0
GE HiSpeed Advantage (helical, Single Slice)	4	1995 - 2000	1996	E, konventionell E, helical	0.3 1.0	15.8 14.4	11.6 10.9
GE HiSpeed CT/i (helical, Single Slice)	6	1998 - 2000	2000	E, helical	1.8	2.6	7.0
Siemens Somatom Plus 4 VZ (helical, Multi Slice)	4	seit 2000	2001	E, helical	5.1	9.0	17.0
Siemens Somatom Plus 4 VZ (helical, Multi Slice)	6	2000 - 2002	2001	E, helical	5.1	9.0	17.0
Siemens Somatom Sensation 16 (helical, Multi Slice)	6	seit 2002	2002	E, helical	2.8	2.4 (berechnete Werte)	5.4
GE HiSpeed CT/i (helical, Multi Slice)	MBI	seit 2002					

Tabelle 1: Gemessene Dosen an den CT-Geräten der Jahre 1973 bis heute in der Diagnostischen Radiologie KBS. Die Dosen wurden mit Hilfe von TLD im Alderson-Phantom bei Standard-Untersuchungen (Routine-Bedingungen) bestimmt. Die effektive Dosis ist mit E bezeichnet. Die Dosen sind in mSv angegeben.

An allen bisher im KBS installierten CT-Geräten führten wir Dosismessungen durch (Tabelle 1). Dafür wurden im allgemeinen TLD (CaF_2) im Alderson-Phantom bei Einstellparametern von Standard-Untersuchungen verwendet. Dass die Dosen mit modernen CT-Geräten kaum geringer sind als vor 15 Jahren, wird wenig zur Kenntnis genommen, aber durch Messungen von Kollegen im Ausland bestätigt. Ein Grund für die auch mit modernen CT-Geräten sehr hohen Patientendosen liegt in der Forderung des Anwenders nach einer hohen Brillanz der Bilder. Tatsache ist, dass der Anteil der CT-Untersuchungen in der Schweiz (beinahe 200 CT-Geräte) nur etwa 3.5 % sämtlicher Röntgenuntersuchungen beträgt, aber etwa ein Drittel zur medizinischen Strahlenexposition an die Bevölkerung beisteuert (ähnliche Werte liegen aus Deutschland und England vor).

Die Dosis am Patienten wird wesentlich erhöht durch die ungünstige Wahl von Untersuchungsparametern, wie z.B. geringe Schichtdicken, grosse Anzahl von Schichten, grosses Scanvolumen, hohe Röhrenspannung, hohe Exposition, kleiner Pitch (Tischvorschub/Umdrehung). Bei der Verwendung von Multi-Slice-CT im Millimeter-Bereich wird zudem wegen der Überstrahlung der Detektoren ungenutzte Strahlung erzeugt. Die Strahlenexposition infolge CT-Untersuchungen gehört zu den grössten Herausforderungen für den Strahlenschutz in der Medizin.

Dank

Für die Ergänzungen und Überprüfung der Angaben über die CT-Geräte danken wir W. Bechtel, Leiter der Anlagebeschaffung und Submission, KBS.

Literatur

- [1] H.W. Nemeč, J. Roth: Über die Strahlenbelastung des Kopfes, insbesondere der Augenlinsen, bei der axialen Tomographie mit dem EMI-Scanner. Fortschr. Röntgenstr. **124** (1976) 526-530
- [2] J. Roth, H.W. Roser, H.W. Nemeč, S. Marugg: Zusatzfilterung bei Röntgenstrahlen – Nutzen für den Patienten? Der informierte Arzt /Gazette médicale **12** (1991) 155-161
- [3] J. Roth, H.W. Nemeč, R. Sander: Bleigummiabdeckungen bei Patienten während Röntgenuntersuchungen: Strahlenschutz oder Feigenblatt? Radiologie aktuell 2/2000, 2-4
- [4] J. Roth, H.W. Nemeč, R. Sander: Bleigummiabdeckungen bei Patienten während Röntgenuntersuchungen: Strahlenschutz oder Feigenblatt? / Tabliers en plomb pour les patients durant les examens radiologiques: radioprotection ou feuille de vigne? Radiologie aktuell 2/2001, 2 - 4
- [5] DIN/EN 61331-3: Strahlenschutz in der medizinischen Röntgendiagnostik. Teil 3: Schutzkleidung und Gonadenschutz. Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung, Brüssel (2002).