

Strahlenschutzkommission

Geschäftsstelle der
Strahlenschutzkommission
Postfach 12 06 29
D-53048 Bonn

<http://www.ssk.de>

**Bildgebende Diagnostik beim Kind
– Strahlenschutz, Rechtfertigung und Effektivität –**

Empfehlung der Strahlenschutzkommission

Verabschiedet in der 208. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 11./12. Juli 2006

Inhaltsverzeichnis

1	Vorbemerkungen	3
2	Strahlenschutz	3
2.1	Besonderheiten der Strahlenexposition im Kindesalter.....	3
2.2	Faktoren zur Minimierung der Strahlenexposition bei Röntgenuntersuchungen im Kindesalter.....	5
3	Effektivität	10
3.1	Einsatz der bildgebenden Verfahren mit dem Ziel der Reduktion der Strahlenexposition beim Kind	10
3.2	Effektivität, Reduktion der Strahlenexposition, Wirtschaftlichkeit	11
4	Empfehlungen.....	12
5	Literatur.....	13

1 Vorbemerkungen

Die pädiatrische Radiologie, ein Schwerpunkt der diagnostischen und interventionellen Radiologie, hat sich bereits seit Jahrzehnten mit den Besonderheiten der Untersuchungen von Kindern (0 bis 16 Jahre) mit ionisierender Strahlung befasst. Insbesondere wird das Prinzip der Rechtfertigung sehr restriktiv gehandhabt. Auch die weiteren Grundsätze des Strahlenschutzes, wie Optimierung und Vermeidung unnötiger oder unnötig hoher Strahlenexpositionen, sind wesentliche Inhalte der Kinderradiologie.

Bereits vor etwa 30 Jahren hat sich eine Forschergruppe um H. Fendel [1] mit der Auswirkung (Efficacy) diagnostischer Strahlenanwendungen im Kindesalter auseinandergesetzt. Die Untersuchungen dieser Gruppe basierten auf der Definition der WHO von 1977. Sie versuchten bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt, sowohl die diagnostische Strategie als auch das Patienten-Management einschließlich der Therapie sowie darüber hinaus die Heilung und den Einfluss der Heilung des kindlichen Patienten, bezogen auf die Population, zu beschreiben. In dieser Konsequenz ist die komplexe Problematik in den nachfolgenden Jahren vorwiegend in der pädiatrischen Radiologie weiter verfolgt worden. Von der sogenannten, auch nach H. Fendel [1] bestehenden „Lake Starnberg Group“ um K. Schneider [2] wurden grundlegende Erhebungen zur Dosis bei Untersuchungen von Kindern auf gesamteuropäischem Niveau durchgeführt, die 1996 in den European Guidelines [3] zusammenfassend dargestellt wurden.

Die europaweite Datenerhebung methodischer Vorgehensweisen bei Röntgenuntersuchungen von Kindern ergaben eklatante Differenzen der Dosiswerte bei radiographischen und fluoroskopischen Untersuchungen [4]. Aus dieser Erkenntnis resultierten sowohl die Entwicklung von Untersuchungs-Standards als auch die Erarbeitung von Referenzdosiswerten.

Aufgrund der Tatsache, dass etwa 15 % der deutschen Bevölkerung Kinder sind, die jedoch nur in der Minderzahl von Kinderradiologen betreut werden, und vor dem Hintergrund neuer diagnostischer Verfahren hat sich die Strahlenschutzkommission des Themas angenommen. Dabei gilt es, den Erkenntnisstand über die Strahlenexposition im Kindesalter jeweils erneut zu hinterfragen und, falls erforderlich, neu zu definieren und darzustellen.

2 Strahlenschutz

2.1 Besonderheiten der Strahlenexposition im Kindesalter

Die Besonderheiten des Strahlenschutzes beim Kind beruhen auf folgenden Tatsachen:

1. Das Kind ist besonders strahlenempfindlich und hat ein höheres Strahlenrisiko als Erwachsene. Des Weiteren ist auch die Manifestation von Spätfolgen aufgrund der voraussichtlichen Lebenserwartung wahrscheinlicher.
2. Die Betreuung sehr kleiner Frühgeborener impliziert auch eine Diagnostik mit ionisierender Strahlung. Somit werden eigentlich noch fetale Zellen exponiert, wenngleich in der Fetal-Periode eine geringere Strahlenempfindlichkeit im Hinblick auf Fehlbildungen und Fehlentwicklungen als in der Embryonal-Periode (Organbildungs-Periode) – entsprechend der geringeren Empfindlichkeit jenseits der 26. Schwangerschaftswoche – angenommen wird. Die Auswirkungen der Exposition mit ionisierender Strahlung auf diese Gruppe der sehr unreifen Kinder werden erst in einigen Jahrzehnten zu beurteilen sein.

- Das Kind hat eine andere Anatomie, die sich umso stärker vom Erwachsenen unterscheidet, je jünger es ist bzw. je geringer seine Körpergröße ist. Dies bedeutet, dass besonders strahlensensible Organe bei geringer Körpergröße näher an einem exponierten Feld liegen als beim Erwachsenen (z.B. bei der Thoraxaufnahme sind dies Schilddrüse und Ovarien). Insbesondere unterscheidet sich die Verteilung des roten Knochenmarks von der bei Erwachsenen, und nicht geringe Anteile des roten Knochenmarks werden, wenn keine strenge Einblendung erfolgt, mit erfasst (s. Abb.1).

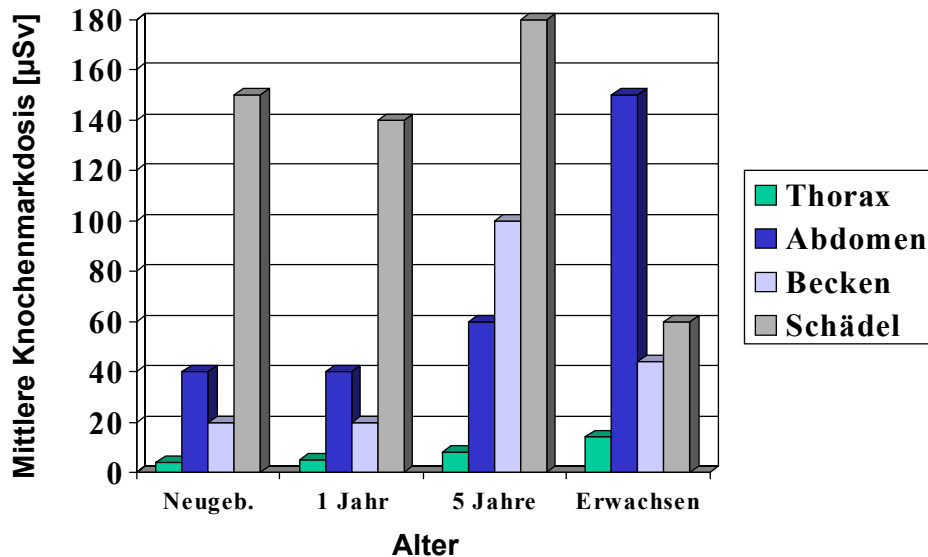


Abb. 1: Mittlere Knochenmarkdosis (μSv) in Abhängigkeit vom Alter bei Nativ-Röntgenaufnahmen (modifiziert nach Hilton [5])

- Stochastische Strahlenschäden sind dadurch charakterisiert, dass die Eintrittswahrscheinlichkeit mit steigender Dosis zunimmt und abhängig vom Alter bei Exposition ist. Entsprechend der ICRP-Publikation 60 von 1990 [6] hat eine Exposition mit ionisierender Strahlung von Kindern unter 10 Jahren, verglichen mit einer Exposition zwischen dem 30. und 40. Lebensjahr, ein 3- bis 4fach höheres Lebenszeitrisiko für stochastische Effekte zur Folge (s. Abb. 2).
- Betrachtet man Kinder als potentielle Eltern, so sind ebenfalls die genetischen Effekte infolge der Einwirkung ionisierender Strahlung zu berücksichtigen.

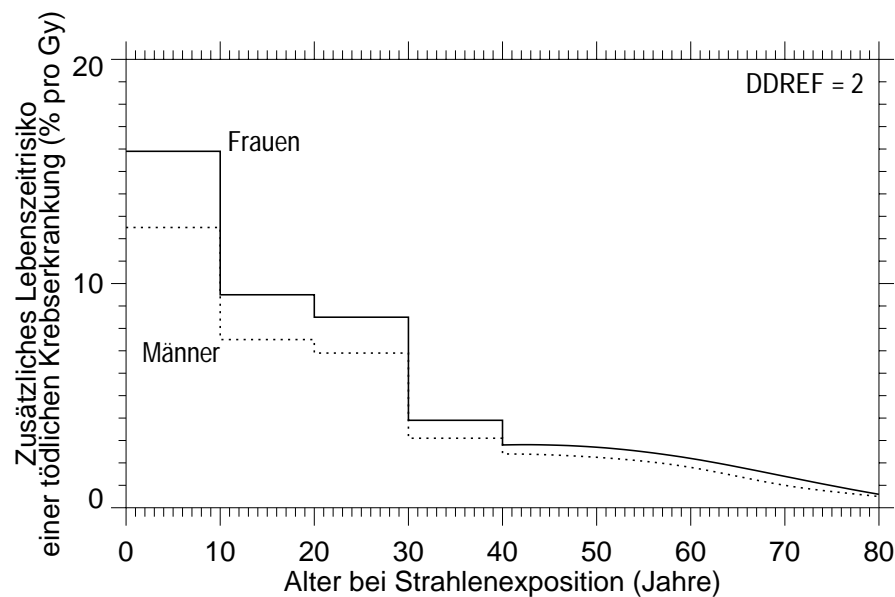


Abb. 2: Zusätzliches Lebenszeitrisiko einer tödlichen Krebserkrankung (% pro Gy) in Abhängigkeit von Alter bei Strahlenexposition und Geschlecht (Frauen: —; Männer:) nach ICRP 60 [6] (Dose and Dose Rate Effectiveness Factor DDREF = 2, d.h. für niedrige Dosiswerte und Dosisleistungen)

2.2 Faktoren zur Minimierung der Strahlenexposition bei Röntgenuntersuchungen im Kindesalter

Nach § 23 Abs. 1 RöV [7] darf Röntgenstrahlung in Ausübung der Heilkunde nur angewendet werden, wenn eine rechtfertigende Indikation von einem Arzt mit der erforderlichen Fachkunde im Strahlenschutz gestellt wurde. Dabei ist nach § 25 Abs. 2 RöV die durch eine Röntgenuntersuchung bedingte Strahlenexposition so weit einzuschränken, wie dies mit den Erfordernissen der medizinischen Wissenschaft zu vereinbaren ist. In Anwendung auf die Untersuchung beim Kind ist eine Dosisminimierung insbesondere durch mehrere Faktoren beeinflussbar:

- **Aufnahmetechnik:** Die Röhrenspannung sollte 60 kV nicht unterschreiten. Die Filterung beträgt 2 mm Al. Zusatzfilter, d.h. Filter, die zusätzlich in den Strahlengang eingesetzt werden, sind in aller Regel 1 mm Al und 0,1 - 0,2 mm Cu. Sie dienen bei dieser Aufnahmespannung zur Reduktion der Hautdosis um 30 bis 40 % (s. Tab.1).
- **Röntgengerät:** Es dürfen nur moderne Generatoren verwendet werden, die genügend kurze Belichtungszeiten ermöglichen. Bei Anlagen, die nicht ausschließlich zur Untersuchung von Kindern verwendet werden, müssen zur Reduzierung der Strahlenexposition der Kinder die erforderlichen Kupfer-Filter immer an der Röntgenröhre eingeschoben werden.

Tab. 1: Röntgen-Abbildungsbedingungen bei Kindern
(kleiner Fokus, kurze Schaltzeit ≤ 5 ms, Film-Folien-System ≥ 400) [14, 15]

Organ	Röhrenspannung (kV)	Raster	Fokus-Film-Abstand
Thorax	60 - 80	(0 - 10 Jahre) ohne	100 cm im Liegen
	110 - 120	(> 10 Jahre) mit	150 - 200 cm aufrecht
Schädel	70 - 80	mit	100 cm
Becken	65 - 80	(0 - 1 Jahre) ohne	100 cm
		(> 1 Jahre) mit	
Abdomen	77	ohne	100 cm im Liegen
			120 cm aufrecht
LWS a.p.	70 - 80	mit	115 cm
seitlich	70 - 85	mit	

Ein *Raster* wird bei Thoraxaufnahmen im Kindesalter erst beim größeren Kind um das 10. Lebensjahr erforderlich. Die Untersuchung ohne Raster entspricht einer Senkung der Dosis um den Faktor 3 bis 5.

Entscheidend ist die optimale Einblendung. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Dosis-Flächen-Produkt mit der *Feldgröße* steigt.

Die Blei-Abdeckung der Feldgrenzen ist an der unteren Feldgrenze immer möglich; im Bereich der oberen Feldgrenze gelingt dies nicht in jedem Fall. Als *Gonadenschutz* sind Hodenkapsel und Ovarialschilde Vorschrift. Wo immer möglich, sollte ein Rundum-Bleischutz angewendet werden. Bei digitalen Systemen müssen die durch Blenden eingestellten Feldbegrenzungen sichtbar sein und dürfen nicht durch elektronische Kollimation überdeckt werden.

- **Bildempfang/-verarbeitung:** *Film-Foliensysteme* der Empfindlichkeitsklasse 400 sind für die Untersuchung beim Kind nach den Leitlinien [12] Vorschrift; Systeme der Empfindlichkeitsklasse 600 sollten wenn möglich verwendet werden. Bei der Fragestellung „Fremdkörper oder Ileus“ sollten bei Abdomen-Übersichtsaufnahmen Film-Folienkombinationen mit der Empfindlichkeitsklasse 800 eingesetzt werden. *Kassetten* aus Kohlefaser bzw. Kevlar sind denen aus Aluminium oder Kunststoff vorzuziehen. Hierdurch werden Dosisreduktionen um 20 % erreicht.

Digitale Speicherfoliensysteme werden weitere Verbreitung finden und stellen auch die Zukunft der radiologischen Nativdiagnostik beim Kind dar. Daher ist auf diesem Gebiet zukünftig auch von der pädiatrischen Radiologie hinsichtlich der Eignung der einzelnen

Systeme intensivere Forschungsarbeit zu leisten. Die Bildqualität „konventioneller“ Systeme wird mit der digitalen Radiographie derzeit nur teilweise erreicht. Unklar ist, ob sich bei Verwendung von Speicherfolien oder Festkörperdetektoren von den Leitlinien abweichende Empfehlungen zur Aufnahmespannung ergeben. Im Vergleich zur Film-Folien-Technik kann eine höhere Strahlenexposition erforderlich sein. Qualitätskriterien sind zwar in IEC 62220-1 2003 [8] festgelegt, und damit ist auch ein Vergleich der Bildqualität und der abbildenden Systeme möglich. Dieser erfolgt aber noch vorwiegend auf physikalisch-technischem Niveau, denn die vorliegenden klinischen Erfahrungen sind noch unzureichend. Bestimmte Detektoreigenschaften und die Tatsache, dass das gewonnene elektrische Signal bis zur endgültigen Darstellung veränderlich ist, erfordern eine detaillierte Untersuchung der Detektoreigenschaften und der Bildnachverarbeitung. *Von digitalen Flachdetektoren* mit verbesserter Quanteneffizienz ist eine Dosisersparung zu erwarten. Diese Systeme werden gegenwärtig erstmals in der Kinderradiologie eingesetzt.

- **Durchleuchtungsuntersuchungen:** In der Kinderradiologie muss bei *Durchleuchtungsuntersuchungen* mit gepulster Durchleuchtung gearbeitet werden, wodurch eine Dosisersparung bis zu 90 % ermöglicht wird. An Durchleuchtungsarbeitsplätzen zur Untersuchung von Kindern muss stets die Möglichkeit gegeben sein, das Streustrahlenraster zu entfernen, da es bei Untersuchungen im Säuglings- und Kleinkindalter zu einer höheren Dosis führt.

Ein ebenfalls erheblich dosiseinsparender Faktor bei Durchleuchtungen, insbesondere beim Kind, ist die Verwendung des „*last image hold*“ zur Dokumentation der Ergebnisse der Durchleuchtungsuntersuchung. Insbesondere kann ein Normalbefund aus dem gespeicherten Durchleuchtungsbild dokumentiert werden. Die Dokumentation – obgleich stärker verrauscht – ist ausreichend.

Das *Bildverstärkerformat* (Zoom) beeinflusst Ortsauflösung, Dosisleistung und Aufnahmedosis. Diese sind umso *höher*, je kleiner das Format ist. Die elektronische Vergrößerung unter Durchleuchtung erhöht die Dosis erheblich. Aus diesem Grund ist die Zoom-Funktion nur falls erforderlich zu verwenden. Demgegenüber ist es grundsätzlich so gut wie immer möglich, auf die zu untersuchende Region einzublenden.

Bei Untersuchungen des Körperstamms muss das Dosis-Flächen-Produkt dokumentiert werden. Bei der Durchleuchtung sollte zusätzlich die Durchleuchtungszeit aufgezeichnet werden.

- **Computer-Tomographie (CT):** Die Häufigkeit von CT-Untersuchungen an Kindern wird, selbst bei in Zukunft noch strenger gestellter Indikation, nicht wesentlich eingeschränkt werden können. Insbesondere muss darauf geachtet werden, dass bei gegebener Indikation die Dosis im CT in Abhängigkeit von der Fragestellung soweit wie möglich reduziert wird [9,10]. Hierzu sollten in jedem Fall altersabgestufte Untersuchungsprotokolle in den Arbeitsanweisungen (SOP = Standard Operating Procedure) vorhanden sein.

Die Strahlendosis ist direkt proportional zum eingestellten effektiven Röhrenstromzeit-Produkt (mAs). Für Kinderuntersuchungen muss im Vergleich zu Untersuchungsprotokollen bei Erwachsenen der mAs-Wert reduziert werden, ohne dass ein Verlust an diagnostischer Information auftritt [11]. Für Dosisvergleiche zwischen unterschiedlichen CT-Geräten ist die Angabe der mAs-Werte nicht geeignet, da andere Faktoren, wie Scannergeometrie und Filterung der Röntgenstrahlung, wesentlich die Dosis beeinflussen. Aus diesem Grund sind grundsätzlich der CT-Dosisindex $CTDI_{vol}$ [mGy] und das Dosis-

Längen-Produkt DLP [$\text{mGy} \times \text{cm}$] anzugeben, womit auch ein direkter Vergleich mit Dosisreferenzwerten möglich ist.

Die Strahlenexposition kann durch den Anwender, durch die Wahl des Röhrenstromzeit-Produktes (mAs), durch die Röhrenspannung sowie vor allem durch die Festlegung des Untersuchungsbereiches beeinflusst werden.

Auch eine Veränderung der Röhrenspannung beeinflusst die Dosis. Im Gegensatz zu dem linearen Zusammenhang von Dosis und mAs-Werten ist der Zusammenhang von Dosis und Spannung nicht linear. Eine Erhöhung der Röhrenspannung von 100 auf 120 kV bei konstanten mAs-Werten erhöht die Dosis um ca. 40 %. Niedrigere kV-Werte (z.B. 80 kV) können bei Untersuchungen mit intravenösem Kontrastmittel aufgrund der Jodabsorptionskante sinnvoll sein. Inwieweit die Steigerung des Kontrastes zur Dosisreduktion genutzt werden kann, ist nicht abschließend zu beurteilen und Gegenstand aktueller Studien.

Moderne CT-Geräte mit Festkörperdetektoren haben das Potential zur Reduktion der Strahlenexposition um 20 bis 30 % aufgrund der besseren Quanteneffizienz der Detektoren und der Verstärker-Technologie. Dagegen führt bei Multidetektor-CT-Geräten (MDCT) die Überstrahlung des Detektors (Overbeaming) zu einer Dosisüberhöhung, wobei mit zunehmender Detektorbreite (Zeilenzahl) dieser Effekt an Bedeutung verliert. Insbesondere bei MDCT-Geräten mit hoher Zeilenzahl führt die Rotation am Beginn und am Ende der Untersuchung mit Spiraltechnik zu einer relativ höheren Exposition. Dieser sog. „Overranging-Effekt“ wird durch jeweils ca. eine Rotation vor und nach dem angewählten Scanbereich verursacht, um die Bildrekonstruktion zu ermöglichen. Der für die Bildgebung genutzte Scanbereich ist kleiner als der Scanbereich mit Strahlung. Dieser Umstand kann bei sehr kurzen Scanlängen, wie sie gerade in der Kinderradiologie vorkommen, zu deutlich erhöhten Dosis-Längen-Produkt-Werten und effektiven Dosen führen.

Eine Dosismodulation während einer Rotation um 360° mit Anpassung an die Körpergeometrie sowie eine Modulation entlang der Z-Achse des Patienten mit Anpassung der Dosis an die variable Absorption (z.B. Thorax und Abdomen) können einen Beitrag zur Dosisreduktion leisten.

Untersuchungsprotokolle für Kinder müssen an die unterschiedlichen anatomischen Gegebenheiten und die geringere Absorption angepasst werden. Alters- oder gewichtsadaptierte Untersuchungsprotokolle werden von Anwendern und Herstellern angeboten und sollten zur Anwendung kommen. Derzeit werden diagnostische Referenzwerte für pädiatrische CT-Untersuchungen erarbeitet. Arbeitsanweisungen (SOP's) sollten jedoch unabhängig hiervon für jeden CT-Arbeitsplatz erstellt werden, an dem Kinder untersucht werden.

Moderne Computertomographen müssen entsprechend den Anforderungen aus der Röntgenverordnung [7] den CT-Dosisindex (CTDI_{vol}) angeben, das Dosis-Längen-Produkt (DLP) sollte ebenfalls angegeben werden. Diese Dosiswerte charakterisieren die Dosis und die Strahlenexposition eines Patienten bezogen auf ein Plexiglasphantom mit einem Durchmesser von 16 cm für den Kopfbereich und 32 cm für den Körperstamm. Ungeachtet dessen, ob ein Kind oder ein Erwachsener untersucht wird, wird der CTDI_{vol} bzw. das DLP auf diese Phantomabmessungen bezogen angegeben. Dies täuscht dementsprechend

bei Kleinkindern eine zu niedrige Strahlenexposition vor und muss bei Abschätzung von Strahlenexpositionen bei Kindern in jedem Fall bedacht werden.

Insbesondere bei der Untersuchung von Kindern kann ein wesentlicher Beitrag zur Dosisreduktion bei der Computertomographie durch gezielte Fort- und Weiterbildung der Untersucher, wie sie zum Teil durch die neue Richtlinie „Fachkunde und Kenntnisse im Strahlenschutz bei dem Betrieb von Röntgeneinrichtungen in der Medizin oder Zahnmedizin“ [16] ab 2006 gefordert wird, erreicht werden. Spezielle Qualifikationsangebote müssen genutzt werden, um entsprechend der Fragestellung dosisoptimiert, technisch einwandfrei und diagnostisch auf hohem Niveau zu arbeiten.

- **Diagnostische Referenzwerte:** Die diagnostischen Referenzwerte (DRW), die nach § 16 Abs. 1 RöV bei allen häufigen Untersuchungen zur Reduzierung medizinischer Strahlenexpositionen festgelegt wurden, sind gerade für pädiatrische Untersuchungen für Optimierungszwecke von großem Nutzen. Da die z. Zt. vorliegenden Referenzwerte noch auf älteren Erhebungsdaten der Europäischen Union beruhen, wurden neuere, dosisparende Verfahren, wie z.B. gepulste Durchleuchtung oder empfindlichere Detektorsysteme, noch nicht berücksichtigt. Dementsprechend sollten heute die DRW teilweise deutlich unterschritten werden.

Tab. 2: Referenzdosiswerte für Röntgenuntersuchungen bei Kindern [13]

Untersuchung	Alter	Dosis-Flächen-Produkt (mGy x cm ²)
Thorax a.p.	Frühgeborenes 1000 g	3
	Neugeborenes 3000 g	8
	10. - 12. Monat (\pm 2 Monate)	20
Thorax a.p./p.a.	5 \pm 2 Jahre	30
	10 \pm 2 Jahre	40
Thorax seitlich	5 \pm 2 Jahre	70
	10 \pm 2 Jahre	80
Abdomen a.p./p.a.	10 \pm 2 Monate	250
	5 \pm 2 Jahre	500
	10 \pm 2 Jahre	600
Becken a.p.	5 \pm 2 Jahre	250
Schädel a.p./p.a.	10 \pm 2 Monate	300
	5 \pm 2 Jahre	400

Tab. 3: Referenzdosiswerte für die Miktions-Zysto-Urethrographie (MCU) beim Kind

Alter	Dosis-Flächen-Produkt (mGy x cm ²)
Neugeborene	600
10 Monate ± 2 Monate	900
5 Jahre ± 2 Jahre	1200
10 Jahre ± 2 Jahre	2400

Tab. 4: Diagnostische Referenzdosiswerte – Vorschläge für CT-Untersuchungen für das Kindesalter (Spiral-CT)

Untersuchung	Alter (Jahre)	CTDI _w (mGy)	DLP (mGy x cm)
Hirnschädel	< 1	40	300
	5	60	600
	10	70	750
Thorax	< 1	20	200
	5	30	400
	10	30	600
Oberes Abdomen	< 1	20	330
	5	25	360
	10	30	800
Unteres Abdomen	< 1	20	170
	5	25	260
	10	30	500

3 Effektivität

3.1 Einsatz der bildgebenden Verfahren mit dem Ziel der Reduktion der Strahlenexposition beim Kind

Die Effektivität der pädiatrisch radiologischen Diagnostik besteht im frühen Erkennen einer Erkrankung. Entscheidend hierbei ist die korrekte Wahl des bildgebenden Verfahrens.

Durch Sonographie und Magnetresonanztomographie (MRT) haben sich die diagnostischen Strategien verändert. Die *Sonographie* ist die Basisuntersuchung und oft als einziges bildgebendes Verfahren ausreichend. Sie wird insbesondere im frühen Kindesalter in der Diagnostik des ZNS, generell in der Diagnostik der Abdominalorgane einschließlich der Nieren und ableitenden Harnwege und nach Transplantationen sowie seltener im Bereich des Thorax eingesetzt. Sie dient als Screening-Methode für die Diagnose der Hüftgelenkdysplasie. Alternativ zur MRT wird die Sonographie in der Weichteil- und Skelettdiagnostik sowie in der Gelenkdiagnostik eingesetzt. Aus den Ergebnissen der sonographischen Untersuchung resultiert der gezielte Einsatz weiterer Verfahren, insbesondere der MRT.

Die MRT-Untersuchung beim Kind sollte aufgrund der besseren diagnostischen Aussagemöglichkeiten an Hochfeldsystemen (1 - 1,5 Tesla) durchgeführt werden. Erweiterte diagnostische Möglichkeiten, wie z.B. dynamische Untersuchungen bei Tumoren oder diffusionsgewichtete Sequenzen sowie die Spektroskopie des ZNS, müssen auch Kindern zugute kommen. Die MR-Angiographie ersetzt die konventionelle Angiographie in einer Vielzahl der Fälle.

Die MRT ist in der ZNS-Diagnostik unersetzbar. Gleiches gilt für die Weichteil- und Skelettdiagnostik. Die MR-Urographie gewinnt zunehmend an Bedeutung, da sie Aussagen zu anatomischen und funktionellen Veränderungen ermöglicht. Darüber hinaus ist bei der Malignom-Diagnostik jeder Lokalisation die MRT von entscheidender Bedeutung hinsichtlich des Stagings.

Die MRT ist da, wo medizinisch möglich, bei gleicher Aussage der CT vorzuziehen, wobei beim Kind die Wirtschaftlichkeit gegenüber der Strahlenexposition von untergeordneter Bedeutung ist. Bei Kindern sind auch teurere Untersuchungen gerechtfertigt, wenn sie auf Strahlenanwendung verzichten.

Der Einsatz der CT sollte sich nur auf die Suche pulmonaler Veränderungen und die Notfallsituation des Schädel-Hirn-Traumas bzw. des Polytraumas beschränken.

Die CT darf beim Kind – außer im Notfall – nur mit Geräten durchgeführt werden, die spezielle Kinderprotokolle zur Verfügung stellen und somit eine optimierte Strahlenexposition gewährleisten.

3.2 Effektivität, Reduktion der Strahlenexposition, Wirtschaftlichkeit

Bei Neugeborenen mit bereits pränatal erkannter und postnatal bestätigter *Fehlbildung* kann diese oft korrigiert werden, noch bevor Symptome oder Komplikationen auftreten. Sie ist im Erwachsenenalter ohne Folgen (beispielsweise bei angeborenen intestinalen Obstruktionen, Zwerchfellhernien u.a.). Die angeborene *Hüftdysplasie* wird durch das Sonographie-Screening spätestens in der 6. Lebenswoche diagnostiziert, so dass operative Korrekturen heute nicht mehr erforderlich sind. Die Neuerkrankungsrate an *onkologischen Erkrankungen* beträgt in Deutschland jährlich etwa 13 von 100 000 Kindern. Die Prognose ist unmittelbar abhängig vom korrekten Einsatz der Bildgebung. Die *Transplantation* von Niere und Leber sowie die Herz-Lungen-Transplantation bei Mukoviszidose sind inzwischen feste Bestandteile der Transplantationsmedizin beim Kind und Adoleszenten. Diagnoseweisende krankhafte Veränderungen (z.B. des Skeletts) sind abzugrenzen von *Variationen*, die keinerlei Krankheitswert haben und somit keiner weiteren Abklärung bedürfen.

Der korrekte Einsatz von Sonographie und MRT in der bildgebenden Diagnostik beim Kind erbringt somit neben der Reduktion der Strahlenexposition bei Nativröntgenaufnahmen,

Durchleuchtung und CT auch einen ökonomischen Gewinn. Dieser wird sich stets auf das Individuelle wie auf das Allgemeinwohl positiv auswirken, weil durch ein korrektes diagnostisches Vorgehen und durch ein zutreffendes Ergebnis mittels Untersuchungen ohne ionisierende Strahlung weitere Untersuchungen entbehrlich werden.

Kosten/Nutzen-Betrachtungen betreffen einerseits Spätfolgen typischer Erkrankungen des Kindesalters, die verhindert werden können. Andererseits ist eine Reduktion des Risikos für stochastische und genetische Schäden sowie die Verringerung des Lebenszeitrisikos zu erwarten, da unter Einhaltung aller genannten Faktoren eine Minimierung der Strahlenexposition bei jeder Untersuchung des Kindes mit ionisierender Strahlung erreicht werden kann.

4 Empfehlungen

Die Strahlenschutzkommission empfiehlt, die rechtfertigende Indikation für die Anwendung von ionisierender Strahlung bei Kindern besonders streng zu stellen. Die Anwendung gehört in die Hand des Kinderradiologen. Dabei ist im Rahmen der bildgebenden Diagnostik – insbesondere bei Kindern – entsprechend der Röntgenverordnung und der Strahlenschutzverordnung den Verfahren ohne Anwendung ionisierender Strahlung (Sonographie und Magnetresonanztomographie) der Vorzug zu geben.

Es sind alle Möglichkeiten zur Herabsetzung der Strahlenexposition zu nutzen:

- Basisuntersuchung in der Bildgebung beim Kind ist die Sonographie.
- Der Einsatz der MRT hat, außer bei pulmonalen Veränderungen und dem Schädel-Hirn-Trauma bzw. dem Polytrauma, Vorrang vor der CT. Kinder sollten an Hochfeld-Systemen untersucht werden.
- Wird die CT eingesetzt, so erfolgt die Dosisreduktion entsprechend der Fragestellung, wenn möglich über die Reduktion des effektiven Röhrenstromzeit-Produktes (mAs). Für das Gerät müssen geeignete Untersuchungsprotokolle für Kinder vorliegen. Gezielte Fort- und Weiterbildung auf diesem Gebiet ist insbesondere im Hinblick auf die rasche Weiterentwicklung des Mehrzeilen-CT zu fordern.
- Bei der Durchführung radiographischer Untersuchungen am Kind ist eine geeignete apparative Voraussetzung erforderlich, d.h.: Kurze Belichtungszeiten, Absenkung der Röhrenspannung nicht unter 60 kV, Zusatzfilterung 0,1 - 0,2 mm Cu, die Verwendung eines Rasters erst bei Kindern ab etwa dem 10. Lebensjahr, optimierte Einblendung und Verwendung eines Rundum-Bleischutzes.
- Durchleuchtungsuntersuchungen beim Kind müssen an Geräten mit gepulster Durchleuchtung und großem Bildverstärker-Format durchgeführt werden. Die Dokumentation über das Speicherbild (last-hold-image) ist in aller Regel ausreichend. Die Dokumentation des Dosis-Flächen-Produktes und der Zeit muss erfolgen.

Hinsichtlich der Anwendung digitaler Detektoren bei radiographischen Untersuchungen im Kindesalter sieht die Strahlenschutzkommission noch Forschungsbedarf.

5 Literatur

- [1] Fendel, H.; Stieve, F.-E. (Hrsg.): Vernünftige diagnostische Bildgebung bei Kindern. Bericht einer Studiengruppe der Weltgesundheitsorganisation/ dt. Übersetzung von D. Beiersdorf. Hoffmann: Berlin, 1990
- [2] Schneider, K.: Evolution of quality assurance in paediatric radiology. *Radiation Protection Dosimetry* 57:119-123, 1995
- [3] Commission of the European Communities, Radiation Protection Programme: European Guidelines on Quality Criteria for Diagnostic Radiographic Images in Pediatrics. CEC Directorate General XII/D/3, Brussels, 1966
- [4] Tröger, J.: Das radiologisch vernachlässigte Kind. *Radiologe* 39: 451-454, 1999
- [5] Hilton, J. W.: Radiation effects and protection in children. In: Waldenburg Hiltons, Edwards D. K.; Hilton, J. W. (eds.): *Practical Pediatric Radiology*. Saunders: Philadelphia: 575-602, 1984
- [6] International Commission on Radiological Protection: 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection ICRP, Publication 60. *Annals of ICRP* 21:1-3, Pergamon Press: Oxford, 1991
- [7] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung – RöV) vom 8. Januar 1987 (BGBl. I S. 114) in der Fassung der Bekanntmachung vom 30. April 2003 (BGBl. I S. 604)
- [8] International Electrotechnical Commission: Medical electrical equipment – characteristics of digital x-ray devices-determination of the detective quantum efficiency. IEC 62220-1, 2003
- [9] Paterson, A.; Frush, D. P.; Donnelly, L. F.: Helical CT of the body: are settings adjusted for pediatric patients? *AJR* 176: 297-301, 2001
- [10] Brenner, D. J.; Ellison, C. D.; Hall, E. J.; Berdon, W. E.: Estimated risks of radiation induced fatal cancer from pediatric CT. *AJR* 176: 289-296, 2001
- [11] Stöver, B.; Rogalla, P.: CT-Untersuchungen beim Kind. Methoden und Indikationen. *Radiologe* 39: 455-463, 1999
- [12] Richtlinien über Qualitätsbeurteilung in der radiologischen Diagnostik: *Deutsches Ärzteblatt* 94: A779-A787, 1997
- [13] Bundesamt für Strahlenschutz, BfS: Bekanntmachung der diagnostischen Referenzwerte für radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen, 2003, <http://www.bfs.de/ion/medizin/referenzwerte.html>
- [14] Europäische Leitlinien über Qualitätskriterien für Röntgenaufnahmen in der Diagnostik in der Pädiatrie, EUR 16261 DE, 1999

-
- [15] Leitlinien der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik vom 28.08.1995, Deutsches Ärzteblatt 92, Heft 34/35: A 2272- A2285, 1995
<http://www.bundesaerztekammer.de/30/Richtlinien/Leitidx/Roentgenpdf.pdf>
- [16] Richtlinie „Fachkunde und Kenntnisse im Strahlenschutz bei dem Betrieb von Röntgeneinrichtungen in der Medizin oder Zahnmedizin“ – Richtlinie zur Röntgenverordnung vom 22. Dezember 2005 (GMBI 2006 S. 414)