

Trainer Kinderradiologie

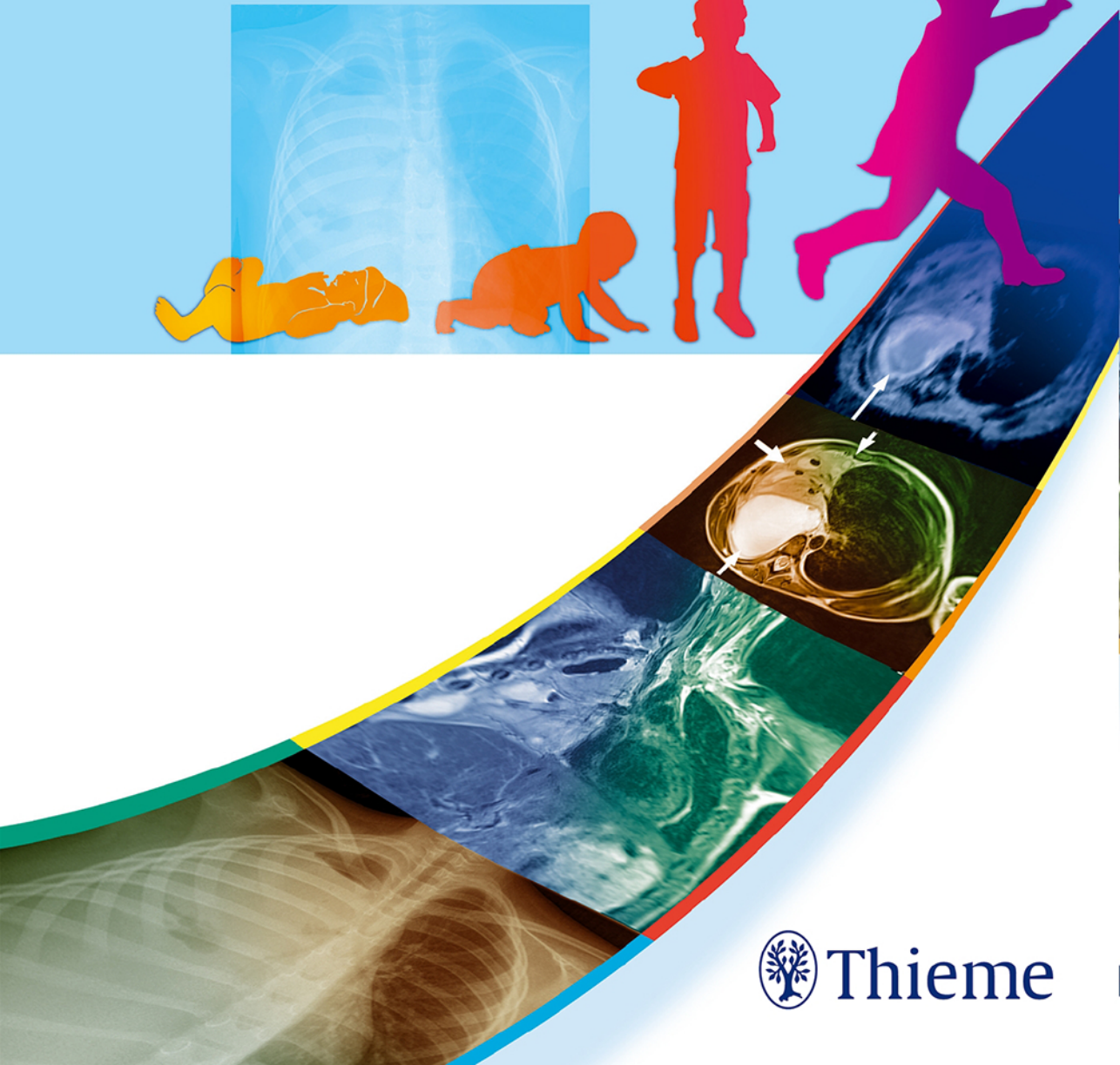
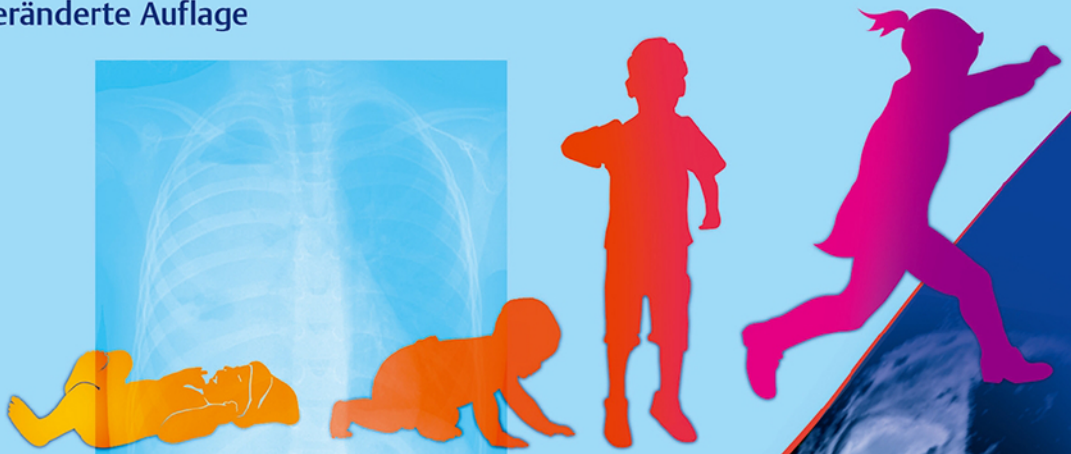
Röntgen, Ultraschall, CT und MRT
im Neugeborenen- und Kindesalter

Michael Riccabona



Online-Version in der eRef

2., unveränderte Auflage



Thieme

*Gewidmet meinen Kindern
Mirjam, Sarah-Maria,
Nadine und Benjamin.*

Trainer Kinderradiologie

Röntgen, Ultraschall, CT und MRT
im Neugeborenen- und Kindesalter

Michael Riccabona

Mit Beiträgen von

Ingmar Gaßner
Gabriele Hahn
Wolfgang Hirsch
Marcus Hörmann
Thekla von Kalle
Kathrin Maurer
Heimo Nemec
Gerald Pärtan
Brigitte Povysil

Ianina Scheer
Jens-Peter Schenk
Gisela Schweigmann
Maria Sinzig
Erich Sorantin
Gundula Staatz
Peter Waibel
Doris Zebedin

2., unveränderte Auflage

660 Abbildungen
42 Tabellen

Georg Thieme Verlag
Stuttgart · New York

*Bibliografische Information
der Deutschen Nationalbibliothek*

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

1. Auflage 2010

Ihre Meinung ist uns wichtig! Bitte schreiben Sie uns unter

www.thieme.de/service/feedback.html



© 2017 Georg Thieme Verlag KG
Rüdigerstraße 14
70469 Stuttgart
Deutschland
Telefon: +49/(0)711/8931-0
Unsere Homepage: www.thieme.de

Printed in Germany

Zeichnungen: Andrea Schnitzler, Innsbruck
Umschlaggestaltung: Thieme Verlagsgruppe
Umschlaggrafik: Martina Berge, Erbach
Satz: Ziegler + Müller, Kirchentellinsfurt
gesetzt mit 3B2/APP, V.9 Unicode
Druck und Buchbinder:
Westermann Druck Zwickau GmbH, Zwickau

DOI 10.1055/b-004-140273

ISBN 978-3-13-241509-6
Auch erhältlich als E-Book:
eISBN (PDF) 978-3-13-241510-2
eISBN (epub) 978-3-13-241511-9

1 2 3 4 5 6

Wichtiger Hinweis: Wie jede Wissenschaft ist die Medizin ständigen Entwicklungen unterworfen. Forschung und klinische Erfahrung erweitern unsere Erkenntnisse, insbesondere was Behandlung und medikamentöse Therapie anbelangt. Soweit in diesem Werk eine Dosierung oder eine Applikation erwähnt wird, darf der Leser zwar darauf vertrauen, dass Autoren, Herausgeber und Verlag große Sorgfalt darauf verwandt haben, dass diese Angabe **dem Wissensstand bei Fertigstellung des Werkes** entspricht.

Für Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen kann vom Verlag jedoch keine Gewähr übernommen werden. **Jeder Benutzer ist angehalten**, durch sorgfältige Prüfung der Beipackzettel der verwendeten Präparate und gegebenenfalls nach Konsultation eines Spezialisten festzustellen, ob die dort gegebene Empfehlung für Dosierungen oder die Beachtung von Kontraindikationen gegenüber der Angabe in diesem Buch abweicht. Eine solche Prüfung ist besonders wichtig bei selten verwendeten Präparaten oder solchen, die neu auf den Markt gebracht worden sind. **Jede Dosierung oder Applikation erfolgt auf eigene Gefahr des Benutzers.** Autoren und Verlag appellieren an jeden Benutzer, ihm etwa auffallende Ungenauigkeiten dem Verlag mitzuteilen.

Geschützte Warennamen (Warenzeichen) werden **nicht** besonders kenntlich gemacht. Aus dem Fehlen eines solchen Hinweises kann also nicht geschlossen werden, dass es sich um einen freien Warennamen handelt.

Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Vorwort

Die bildgebende Diagnostik wird immer mehr die zentrale Schaltstelle für Vorsorge, (prä-)klinische Diagnose, Therapieplanung und -monitoring sowie Nachsorge der zukünftig individualisierteren Medizin. Ein umfassendes Wissen und Fähigkeiten in allen Bildgebungsmodalitäten werden in diesem Szenario essenzielle Grundvoraussetzung für alle (Kinder-)Radiologinnen und Radiologen. Den zunehmenden Begehrlichkeiten anderer Fächer Richtung Bildgebung kann am besten durch optimale Versorgung aller für den jeweiligen Teilbereich notwendigen Aspekte und durch interdisziplinäre Kooperation begegnet werden, dies gilt auch für die Kinderradiologie. Mit dem wachsenden ökonomischen Druck werden nur wenige Zentren die Tertiärversorgung von Kindern gewährleisten; diese müssen auch die Aus- und Weiterbildung im Teilbereich Kinderradiologie garantieren. Da viele Kinder im niedergelassenen Bereich und in Primärversorgungseinrichtungen betreut werden, sind ein fundiertes Grundwissen und ausreichende kinderradiologischen Fähigkeiten ein essenzieller Teil der Ausbildung zum Facharzt für Radiologie. Das weiterhin wichtige Geräte- und Ressourcensharing mit der „Erwachsenenradiologie“ erfordert fundierte Kenntnisse in Untersuchungsadaptation und Geräteerfordernis, um allerorts eine kindgerechte Ergebnisqualität zu gewährleisten. In diesem Kontext wird es augenscheinlich, dass die Kinderradiologie berufs- und ausbildungsrechtlich – auch wenn funktional ein Teil der Kinderheilkunde – dem Gesamtfach Radiologie zugehören muss. Das Ziel aller Anstrengungen sollte sein, dass wie für jede andere Gesellschaftsgruppe auch für Kinder – wenngleich sie eine gesellschaftlich weniger mächtige und oft unterrepräsentierte Gruppe sind – als die Zukunftsträger der Gesellschaft eine mindestens so gute, qualitativ wie quantitativ ausreichende und auf ihre Bedürfnisse spezialisierte Bildgebung allerorts verfügbar ist bzw. wird.

Vor jeglichem Einsatz bildgebender Verfahren müssen insbesondere bei Kindern immer die Rechtfertigung und eine valide Indikationsstellung

im Vordergrund stehen. Kinderradiologisches Handeln muss Einfluss auf die diagnostische Sicherheit, auf das Patientenmanagement, auf das Langzeit-Outcome und – wenn möglich – auf die Volksgesundheit aufweisen. Art und Anwendung aller bildgebenden Untersuchungsverfahren, die diversen Bildgebungsalgorithmen und die Befundung müssen den speziellen Erfordernissen der Kinder und deren höherem Strahlenrisiko entsprechen.

Dieses Buch versucht, dazu einen Beitrag zu liefern, indem es die für jeden Facharzt der Radiologie unabdingbaren Kenntnisse aus dem Teilbereich Kinderradiologie in möglichst prägnanter Form zusammenfasst und somit auch als Basisliteratur die für die Facharztprüfung notwendigen Inhalte vermittelt. Um dies zu illustrieren und zu vertiefen, sind am Ende jedes Kapitels Fallbeispiele angeführt, die in komprimierter Form für das Kindesalter typische Fragestellungen und Befunde des Alltags oder bei der Facharztprüfung widerzuspiegeln versuchen. Diese Kurzkasuistiken sollen auch andere relevante Aspekte kompetenten kinderradiologischen Handelns verdeutlichen, wie z. B. den unterschiedlichen Stellenwert einzelner Verfahren (insbesondere der Sonografie) im Vergleich zur Erwachsenenradiologie, die besondere Bedeutung des Strahlenschutzes (insbesondere bei der Auswahl des Verfahrens oder bei der Dosisadaptation, z. B. bei der CT-Protokollerstellung) oder die Kenntnis kinderspezifischer Krankheitsbilder und Fragestellungen.

In diesem Sinn wünsche ich viel Freude bei der Lektüre und bedanke mich herzlich bei allen, die dieses Buch möglich gemacht haben: beim Verlag und dessen zuständigen Mitarbeitern, bei den engagierten (Ko-)Autorinnen und (Ko-)Autoren, bei den vielen unentbehrlichen Kleinkramhilfen, für die wichtigen Anregungen von RTs, Kolleginnen und Kollegen, bei den kleinen motivierenden Patientinnen und Patienten sowie bei meiner Partnerin Barbara für ihre Geduld und Unterstützung.

Anschriften

Dr. med. Ingmar Gaßner
Medizinische Universität Innsbruck
Universitätsklinik für Radiologie
Kinderradiologie
Anichstr. 35
A-6020 Innsbruck

Dr. med. Gabriele Hahn
Institut und Poliklinik für
Radiologische Diagnostik
Universitätsklinikum Carl Gustav Carus
an der Technischen Universität Dresden
Fetscherstraße 74
D-01307 Dresden

Univ.-Prof. Dr. med. Wolfgang Hirsch
Selbstständige Abteilung Pädiatrische Radiologie
Universität Leipzig
Liebigstraße 20 A
D-04103 Leipzig

Ao. Univ.-Prof. Dr. Marcus Hörmann
City Diagnostic Center Bellaria
Bellariastr. 6
A-1010 Wien

Dr. med. Thekla von Kalle
Radiologisches Institut Olgahospital
Klinikum Stuttgart
Bismarckstraße 8
D-70176 Stuttgart

Dr. med. Kathrin Maurer
Medizinische Universität Innsbruck
Universitätsklinik für Radiologie
Kinderradiologie
Anichstr. 35
A-6020 Innsbruck

Dr. med. Heimo Nemeč
UI für Radiologie/Kinderradiologie
Landeskrankenhaus Salzburg
Universitätsklinikum der Paracelsus
Medizinischen Privatuniversität
Müllner Hauptstr. 48
A-5020 Salzburg

OA Dr. med. Gerald Pärtan
Röntgeninstitut Donauespital im SMZ Ost
Langobardenstr. 122
A-1220 Wien

Prim. Dr. Brigitte Povysil
Medizinische Radiologie-Diagnostik
Landes-Frauen- und -Kinderklinik Linz
Krankenhausstr. 26–30
A-4020 Linz

Univ.-Prof. Dr. med. Michael Riccabona
Universitätsklinik für Radiologie
Klinische Abteilung für Kinderradiologie
Auenbruggerplatz 30
A-8036 Graz

Dr. Ianina Scheer
Kinderspital Zürich
Universitäts-Kinderklinik
Steinwiesstraße 75
CH-8032 Zürich

Priv.-Doz. Dr. med. Jens-Peter Schenk
Universitätsklinikum Heidelberg
Sektion Pädiatrische Radiologie
Angelika-Lautenschläger-Klinik
Im Neuenheimer Feld 430
D-69120 Heidelberg

Dr. Gisela Schweigmann
Medizinische Universität Innsbruck
Universitätsklinik für Radiologie
Kinderradiologie
Anichstr. 35
A-6020 Innsbruck

Dr. med. Maria Sinzig
Landeskrankenhaus Klagenfurt
Institut für diagnostische und
interventionelle Radiologie
Kinderradiologie
St. Weiter Str. 47
A-9020 Klagenfurt

Univ.-Prof. Dr. Erich Sorantin
Universitätsklinik für Radiologie
Klinische Abteilung für Kinderradiologie
Auenbruggerplatz 9
A-8036 Graz

Prof. Dr. Gundula Staatz
Leiterin Sektion Kinderradiologie
Klinik und Poliklinik für Diagnostische
und Interventionelle Radiologie
Universitätsmedizin Mainz
Langenbeckstraße 1
D-55131 Mainz

Dr. med. Peter Waibel
Ostschweizer Kinderspital
Abteilung für Radiologie
Claudiusstr. 6
CH-9006 St. Gallen

Ass.-Prof. Dr. med. Doris Zebedin
Universitätsklinik für Radiologie
Klinische Abteilung für Kinderradiologie
Auenbruggerplatz 34
A-8036 Graz

Abkürzungen

3-D/4-D-US	dreidimensionaler/ vierdimensionaler Ultraschall	BOOP	Bronchiolitis obliterans organizing Pneumonia
AC	A. carotis	BV	Bildverstärker
ACA	A. cerebri anterior	BWK	Brustwirbelkörper
ACI	A. carotis interna	BWS	Brustwirbelsäule
ACM	A. cerebri media	CCAM	kongenitale zystisch-adenomatoi- de Malformation, engl. Congenital cystic adenomatoid Malformation
ADC	apparenter Diffusionskoeffizient	ce-MUS	kontrastverstärkte Miktionsuro- sonografie
ADEM	akute disseminierte Enzephalo- myelitis	ce-US	kontrastverstärkter Ultraschall
ADPKD	autosomal-dominante polzystische Nierenerkrankung	ce-VUS	Contrast-enhanced voiding Urosonografie
AEC	Automated Exposure Control	CF	zystische Fibrose
aFDS	amplitudencodierte Farb-Doppler- Sonografie	CFTR	Cystic Fibrosis Transmembrane Conductance Regulator
AGS	adrenogenitales Syndrom	CH	Chiari-Malformation Typ 1
AIDS	Acquired immune Deficiency Syndrome	CMV	Zytomegalie-Virus
AIS_t	Aortenisthmusstenose	CPAM	Congenital pulmonary Airway Malformation
AKZ	aneurysmatische Knochenzyste	CPAP	Continuous positive Airway Pressure
ALARA	As Low As Reasonably Achievab- le = so niedrig wie diagnostisch sicher möglich (bezieht sich auf appli- zierte Röntgenstrahlung)	CPDN	zystisches, partiell differenziertes Nephroblastom
ALD	Adrenoleukodystrophie	CRMO	chronisch rekurrende multifokale Osteomyelitis
ALL	akute lymphoblastische Leukämie	cRNP	kongenitale Refluxnephropathie
AMG	Arthromyogryposis	CRP	C-reaktives Protein
AML	Angiomyolipom	CT	Computertomografie
AMS	A. mesenterica superior	CTA	CT-Angiografie
ANA	antinukleäre Antikörper	CTDI	CT-Dosisindex
ANV	akutes Nierenversagen	CWS	kooperative Weichteilsarkom- Studiengruppe
APN	akute segmentale Pyelonephritis	DA	Ductus arteriosus Botalli
APUD	Amine Precursor Uptake and Decarboxylation	DASV	durale AV-Shunts mit aneurysma- ler Vena-Galenii-Dilatation
ARPKD	autosomal-rezessive polzystische Nierendegeneration	DCIS	duktales Karzinoma in situ
ARW	anorektaler Winkel	DD	Differenzialdiagnose
ASD	Atriumseptumdefekt	DDS	Duplex-Doppler-Sonografie
AVF	arteriovenöse Fistel		
AVM	arteriovenöse Malformation		

DEGUM	Deutsche Gesellschaft für Ultraschall in der Medizin	FLAIR	Fluid Attenuated Inversion Recovery
DFP	Dosisflächenprodukt	FNH	fokale noduläre Hypoplasie
DGMP	Deutsche Gesellschaft für Medizinphysik	FOV	Field of View
DHC	Ductus hepatocholedochus	fs	Fettsättigung
DL	Durchleuchtung	GA	Gallengangsatresie
DLP	Dosislängenprodukt	Gd	Gadolinium
DMSA	Dimercaptobernsteinsäure	GE	Gastroenteritis
DNET	dysembryoplastischer neuroektodermaler Tumor	GERD	Gastroesophageal Reflux Disease
DNS	Desoxyribonukleinsäure	GFR	glomeruläre Filtrationsrate
DP	Ductus pancreaticus	GI	gastrointestinal
DQE	Quanteneffizienz, engl. Detective Quantum Efficiency	GIST	gastrointestinaler Stromatumor
DR	Direktradiografie	GLD	Globoidzell-Leukodystrophie
dRTA	distale renal tubuläre Azidose	GMH	germinale Matrixblutung
DS	Doppler-Sonografie	GÖR	gastroösophagealer Reflux
d-TGA	dextro-TGA	GPOH	Gesellschaft für Pädiatrische Onkologie und Hämatologie
DTPA	Diethylentriaminpentaessigsäure	GRE	Gradientenecho
DVA	Developmental venous Anomaly	H	Heterotopie
DWK	Dandy-Walker-Komplex	HASTE	Half Fourier acquired Single Shot Turbo Spin Echo
DWM	Dandy-Walker-Malformation	HCC	hepatozelluläres Karzinom
DWV	Dandy-Walker-Variante	HF	Hochfrequenz
ECMO	extrakorporale Membranoxygenierung	HI	Harmonic Imaging
EDH	Epiduralhämatom	HIE	hypoxisch-ischämische Enzephalopathie
EKG	Elektrokardiogramm	HIV	Human immunodeficiency Virus
EMG	Elektromyografie	HLA	Human Leukocyte Antigene
EMG-Syndrom	Exomphalos-Makroglossie-Gigantismus-Syndrom	HN	Hydronephrose
ERCP	endoskopische retrograde Cholangiopankreatikografie	HPE	Holoprosenzephalie
ESPR	European Society for Paediatric Research	HPSt	hypertrophe Pylorusstenose
ESUR	European Society of Urogenital Radiology	HR	High Resolution
FAST	Focused abdominal Sonography for Trauma	HR-CT	High-Resolution-CT
FCDS	farbcodierte Duplexsonografie	HSV	Herpes-simplex-Virus
FD	fibröse Dysplasie	HU	Hounsfield Unit
FDS	Farb-Doppler-Sonografie	HWI	Harnwegsinfektion
FFE	Fast Field Echo	HWS	Halswirbelsäule
FG	Frühgeborenes	ICH	intrazerebrale Blutung
FISP	Fast Imaging with Steady State Precession	ICRP	International Commission on Radiological Protection
FK	Fremdkörper	INRG	International Neuroblastoma Risk Group
		INSS	International Neuroblastoma Staging System
		IRDS	ideopathisches Respiratory-Distress-Syndrom
		IVH	intraventrikuläre Hämorrhagie

IVP	intravenöse Pyelografie	NAI	nicht akzidentelle Verletzungen, engl. Non-accidental Injury
IVU	intravenöses Urogramm	NAST	Nierenarterienstenose
JIA	juvenile idiopathische Arthritis	NBKS	Nierenbeckenkelchsystem
JPI	Juvenile Polyposis of Infancy	NC	Nephrokalzinose
		NEC	nekrotisierende Enterokolitis
KEV	konstitutionelle Entwicklungsverzögerung	NF I	Neurofibromatose Typ I
KM	Kontrastmittel	NG	Neugeborenes
KUB	Kidney-Ureter-Bladder	NHL	Non-Hodgkin-Lymphom
		NICH	Non-involuting congenital Hemangiomas
LCC	linke A. carotis communis	NN	Nebenniere
LCH	Langerhans-Zell-Histiozytose	NNH	Nasennebenhöhlen
LE	Lupus erythematoses	NNR	Nebennierenrinde
LIS	Lissenzephalie	NOF	nicht ossifizierendes Fibrom
LK	Lymphknoten	NSF	nephrogene systemische Fibrose
LP	linke Pulmonalarterie		
LS	linke A. subclavia	Ö	Ösophagus
I-TGA	laevo-TGA	ÖA	Ösophagusatresie
LWK	Lendenwirbelkörper	ÖGUM	Österreichische Gesellschaft für Ultraschall in der Medizin
LWS	Lendenwirbelsäule		
		OP	Operation
MAG3	Mercaptoacetyltriglycerin	OSD	offener spinaler Dysraphismus
MCD	multizystische Nierendysplasie	OSG	oberes Sprunggelenk
MCU	Miktionszystourethrografie		
MD	Meckel'sches Divertikel	PA	Pancreas annulare
MDP	Magen-Darm-Passage	PACE	Prospective Acquisition Correction
MELAS	Mitochondriale, Enzephalomyopathie (Hirn-/Muskelstörung), Laktatazidose (Milchsäureüberladung) und schlaganfallähnliche Episoden	PAPVR	Partial anomalous pulmonary venous Return
		PCN	perkutane Nephrostomie
MI	mechanischer Index	PD	Pancreas divisum
MIBG	Metajodobenzylguanidin	PDA	persistierender Ductus arteriosus Botalli
MLD	metachromatische Leukodystrophie	PEEP	positiver endexpiratorischer Druck
MMC	Myelomeningozele	PET	Positronenemissionstomografie
MR	Magnetresonanztomografie	PFFD	proximale femorale fokale Defekte
MRA	MR-Angiografie	PFO	persistierendes Foramen ovale
MRCAP	Magnetresonanztomografie-pankreatikografie	PIE	pulmonales interstitielles Emphysem
MRT	Magnetresonanztomografie	PKAN	Pantothenate-kinase associated Degeneration
MRU	Magnetresonanztomografie	PMD	Pelizäus-Merzbacher-Erkrankung
MRV	MR-Venografie	PML	progressive multifokale Leukenzephalitis
MS	multiple Sklerose	PNET	primitiv neuroektodermaler Tumor
MSCT	Mehrschicht-Spiral-CT	PNP	Polyneuropathie
MTRA	medizinisch-technischer Radiologieassistent		
MU	Megaureter		

PNS	periphere Nervenstimulation	SPIR	Spectral Presaturation with Inversion Recovery
POM	primär obstruktiver Megaureter	SPR	Society of Pediatric Radiology
PPB	pleuropulmonales Blastom	SRV	Signal-Rausch-Verhältnis
PROPELLER	Periodically rotated overlapping parallel Lines with enhanced Reconstruction	SSFP	Steady State free Precession
PTLD	Post transplant lymphoproliferative Disease	SSK	Strahlenschutzkommission
PUV	posteriore Urethralklappe, engl. Posterior urethral Valve	SSW	Schwangerschaftswoche
PVE	periventrikuläres Echo	STIR	Short Inversion Recovery
PVH	periventrikuläre hämorrhagische Infarzierung	SV	Seitenventrikel
PVL	periventrikuläre Leukomalazie/ Leukenzephalomalazie	TAPVR	Total anomalous pulmonary venous Return
PW	Pulsed Wave	TAR	Thrombocytopenia with absent Radius
RARE	Rapide Acquisition with Relaxation Enhancement	Tbc	Tuberkulose
RCC	rechte A. carotis communis	TCI	Transcranial Imaging
RES	retikuloendotheliales System	TGA	Transposition der großen Arterien
RF	Raumforderung	TGC	Tiefenverstärkungsausgleich, engl. Time Gain Compensation
RI	Resistive Index	TI	thermischer Index
RICH	Rapid involuting congenital Hemangiomas	TIRM	Turbo Inversion Recovery Magnitude
RMS	Rhabdomyosarkom	TOF	Fallot'sche Tetralogie, engl. Tetralogy of Fallot
RNC	Radionuklidzystografie	TORCH	Akronym für Infektionskrankheiten bzw. deren Erreger, welche bei einer werdenden Mutter intrauterin auf den Fetus übertragen werden und gravierende Folgen wie eine Fehlgeburt oder Fehlbildungen mit sich bringen können: T = Toxoplasmose, O = andere (engl.: other) wie z. B. Parvovirus B19, Hepatitis C, Varizella-Zoster-Virus, Listeriose oder Coxsackievirus, R = Röteln, C = Chlamydien, H = Herpes-simplex-Virus
RNP	Refluxnephropathie	TR	Repetitionszeit
ROI	Region of Interest	TRUFI	True fast Imaging with steady Precession
RS	rechte A. subclavia	TS	tuberöse Sklerose
RSV	respiratorisches Synzytialvirus	TSE	Turbo Spin Echo
RT	Radiologietechnologie	TSH	Thyroid-stimulating Hormone
RV	rechter Ventrikel	UASt	Ureterabgangsstenose
SAB	Subarachnoidalblutung	US	Ultraschall
SAR	spezifische Absorptionsrate		
SCIWORA	Spinal cervical Injury without radiographic Abnormality		
SD	Schilddrüse		
SDH	Subduralhämatom		
SE	Spin Echo		
SEB	subependymale Blutung		
SG	Schädelgrube		
SHT	Schädel-Hirn-Trauma		
SIOP	International Society of Paediatric Oncology		
SOP	Standard Operating Procedures		
SPECT	Single Photon Emission computed Tomography		

VACTERL Vertebral Anomalies, Cardiac Malformation, Tracheoesophageal Fistula, Esophageal Atresia, Renal Dysplasia und Limb Malformation

VAL vordere Axillarlinie

VATER Defekte der Wirbel [„vertebral“], Analatresie, TOF mit ÖA und Radiusdysplasie

VCI V. cava inferior

VCS V. cava superior

VGA Vena-Galeni-Aneurysma

VGAD Vena-Galeni-aneurysmale-Dilatation

VGAM Vena-Galeni-aneurysmale-Malformation

VGM Vena-Galeni-Malformation

VIBE Volumetric interpolated breath-hold Examination

VIP vasoaktives intestinales Peptid

VMS V. mesenterica superior

VSD Ventrikelseptumdefekt

VUR vesikoureteraler Reflux

WBS Wiedemann-Beckwith-Syndrom

WHO World Health Organization

XPN xanthogranulomatöse Pyelonephritis

ZNS Zentralnervensystem

ZVK zentraler Venenkatheter

Inhaltsverzeichnis

1	Besonderheiten der Bildgebung im Kindesalter	1
1.1	Allgemeine Einführung – prinzipielle Erwägungen	1
	<i>Michael Riccabona</i>	
1.2	Besondere Bedeutung des Strahlenschutzes im Kindesalter	2
	<i>Gerald Pärtan</i>	
	Einleitung	2
	Dosisbegriffe	3
	Grundlagen des höheren Strahlenrisikos bei Kindern	4
	Risiken und Maßnahmen bei pränataler geplanter oder akzidenteller Strahlenexposition	7
	Rechtsvorschriften, Aufklärung und Kommunikation	9
1.3	Radiografie, Durchleuchtung	11
	<i>Gerald Pärtan</i>	
	Radiografie	11
	Durchleuchtung	12
	Bildverarbeitung	12
	Bildwiedergabegeräte	13
	Techniken zur Dosisreduktion bei Radiografie und Durchleuchtung	13
	Kontrastmittel	17
1.4	Technik und Wertigkeit des Ultraschalls in der Kinderradiologie	19
	<i>Michael Riccabona</i>	
	Allgemeines zum Kinderultraschall	19
	Gefahren des Ultraschalls	20
	Grundregeln beim Ultraschall des Kindes	20
	Möglichkeiten moderner Ultraschall- methoden und Anwendungen im Kindesalter	22
	Weitere Erwägungen	23
1.5	Besonderheiten der Computertomografie im Kindesalter	23
	<i>Erich Sorantin</i>	
	Einleitung	23
	Unterschiede Kinder – Erwachsene	24
	Hardwareanforderungen	25
	Kontrastmittel	26
	Dosisanpassung	27
	Zusammenfassung	30
1.6	Besonderheiten der Magnetresonanztomografie im Kindesalter	31
	<i>Wolfgang Hirsch</i>	
	Indikationen im Vergleich mit CT-Diagnostik	31
	Sedierung, Narkose und damit verbundene Probleme	31
	Bewegungskompensationen	33
	SAR-Energiebelastung	34
	Nebenwirkungen	35
	Kleine Volumina, wenig Signal	35
	Lärmschutz	35
	Kontrastierung von Darm und Gefäßen/NSF-Prävention	35
	Nephrogene systemische Fibrose	36
	Besondere Modalitäten: 3.0-Tesla-Untersuchungen, Ganzkörper- Magnetresonanztomografie	37

2	Thoraxbildgebung beim Kind	39
2.1	Thoraxröntgen, Thorax-CT/MRT – Lunge, Pleura, Brustkorb	39
	<i>Gundula Statz</i>	
	Indikation	39
	Untersuchungstechnik	39
	Normalbefund	39
	Stridor	40
	Fehlbildungen des Tracheobronchialsystems	41
	Neonatale Intensivlungen	42
	Erkrankungen der Bronchien und kleinen Luftwege	46
	Pneumonien	48
	Rezidivierende Infektionen	50
	Lungentuberkulose	51
	Zystische Fibrose	52
	Fremdkörperaspiration	53
	Zwerchfellerkrankungen	54
2.2	Mediastinum	58
	<i>Gisela Schweigmann, Ingmar Gaßner</i>	
	Thymus	58
	Mediastinaltumoren	59
	Angeborene Anomalien des Gefäßsystems	61
	Situsanomalien	68
2.3	Grundlagen des Thoraxultraschalls im Kindesalter	68
	<i>Gisela Schweigmann, Ingmar Gaßner</i>	
	Allgemeines	68
	Technik	69
	Mediastinum	69
	Pleura, Diaphragma und Lunge	69
	Thoraxultraschall auf der Neugeborenenintensivstation	70
2.4	Kindliche Brust	71
	<i>Gisela Schweigmann, Ingmar Gaßner</i>	
	Allgemeines	71
	Normale Brustentwicklung	71
	Normvarianten und Pathologien der Brustentwicklung	71
	Entzündliche Veränderungen	72
	Benigne Läsionen	72
	Maligne Läsionen	72
2.5	Wichtiges zur Herzbildgebung im Neugeborenen- und Kindesalter	73
	<i>Erich Sorantin, Brigitte Povisyl</i>	
	Einleitung	73
	Normalbefunde im Thoraxröntgen	73
	Grundlegende Befundmuster im Thoraxröntgen	75
	Radiologie ausgewählter Herzfehler ...	77
	Kardiovaskuläre Bildgebung bei angeborenen Herzfehlern	82
3	Bildgebung des kindlichen Gastrointestinaltrakts	85
	<i>Maria Sinzig</i>	
3.1	Untersuchungsmodalitäten und Voraussetzungen	85
	Allgemeines	85
	Methoden	85
3.2	Kongenitale Anomalien des Gastrointestinaltrakts	85
	Ösophagusatresie (ÖA)	85
	Ösophagusstenose	88
	Gastroösophagealer Reflux	88
	Duodenale Obstruktion	89
	Dünndarmatresie/-stenose	92
	Kolonatresie/-stenose	93
	Mekoniumileus/-peritonitis	94
	Meckel'sches Divertikel	95
	Gastrointestinale Duplikationszysten ..	95
	Morbus Hirschsprung	96
	Omphalozele	97
	Gastroschisis	97
	Kongenitale Zwerchfellhernie	98

3.3 Neonatale gastrointestinale Probleme und Komplikationen	99	Verschluckte Fremdkörper, Bezoare	108
Erbrechen beim Neugeborenen	99	Chronische Obstipation	109
Pneumoperitoneum	100	3.5 Angeborene und erworbene Anomalien der Leber, der Gallenwege, des Pankreas 110	
Nekrotisierende Enterokolitis	101	Choledochuszyste	110
3.4 Erworbene gastrointestinale Veränderungen jenseits des Neugeborenenalters	102	Gallengangsatresie	110
Hypertrophe Pylorusstenose	102	Cholezystolithiasis/Choledocholithiasis	111
Invagination	102	Cholangitis	112
Chronisch entzündliche Darmerkrankungen	104	Hämangiom, Hämangioendotheliom	112
Appendizitis	106	Echinokokkose	113
Gastroenteritis	107	Pancreas divisum, Pancreas annulare, Pankreatitis	113
Askariasis	108	3.6 Wichtige Pathologien der Milz	114
4 Bildgebung des kindlichen Zentralnervensystems und der Wirbelsäule	123		
4.1 Röntgen, Computertomografie und Magnetresonanztomografie in der Neuroradiologie des Kindesalters	123	Infektionen des Zentralnervensystems, der Orbita, der Nasennebenhöhlen, des Ohres	138
<i>Maria Sinzig, Ianina Scheer</i>		4.2 Neurosonografie im Neugeborenen- und Kindesalter	145
Untersuchungsmodalitäten und Indikationen	123	<i>Michael Riccabona</i>	
Normalbefunde	124	Technik der pädiatrischen Neurosonografie	145
Angeborene Missbildungen von Gehirn, Rückenmark und Wirbelsäule sowie metabolische Erkrankungen	125	Normalbefunde	147
Kraniofaziale Missbildungen, Kraniosynostose, angeborene Erkrankungen des Ohres	134	Typische Erkrankungen des Neugeborenen	148
Zerebrale Erkrankungen beim unreifen und reifen Neugeborenen	135	Fehlbildungen des Gehirns	155
		Spinaler Ultraschall: ultraschallzugängliche Rückenmarkspathologie	157
		Ultraschall der Orbita und des Auges	159
5 Uroradiologie des Kindesalters	165		
<i>Michael Riccabona</i>		Prinzipielles zu nuklearmedizinischen Methoden (Harntraktszintigrafie)	170
5.1 Entwicklung und Embryologie	165	Magnetresonanztomografie	170
5.2 Untersuchungsmodalitäten, bildgebende Methoden und Voraussetzungen	166	Urocomputertomografie im Kindesalter	171
Ultraschall und basale Doppler-Ultraschallaspekte	166	Prinzipielles zu Angiografie und interventioneller Uroradiologie	172
Konventionelle Radiografie und Durchleuchtung	167		

5.3 Besonderheiten des altersabhängigen Normalbefunds des kindlichen Urogenitaltrakts	173	5.10 Harnwegsmitbeteiligung bei Systemerkrankung, Blasenfunktionsstörung	196
5.4 Entzündliche Harntrakterkrankungen	175	Nieren-/Harnwegs-beteiligung bei Systemerkrankung	196
5.5 Vesikoureteraler Reflux	176	Funktionelle Blasenstörungen	196
5.6 Konnatale Hydronephrose	177	5.11 Bildgebung des kindlichen weiblichen Genitales	197
Obstruktive Uropathie	178	Postpartale Entwicklung	197
5.7 Sonstige Harntraktfehlbildungen	183	Ovarpathologie	197
Doppelnier e	183	Erkrankungen und Fehlbildungen des Uterus und der Vagina	199
Ektopie	184	5.12 Bildgebung des kindlichen männlichen Genitales	200
Hypospadie	186	Erkrankungen und Fehlbildungen des Hodens	200
Einzelniere	186	5.13 Intersex, Urogenitalsinus und anogenitale Fehlbildungen	204
Harnblasenextrophie	186	Urogenitalsinus und anogenitale Fehlbildungen	204
5.8 Urolithiasis und Nephrokalzinose	186	Intersex	204
5.9 (Poly-)Zystische Nierenerkrankungen und Nephropathien	189	5.14 Weiteres	205
Zystische Nierenerkrankungen	189		
Nephropathien	193		
Nierenversagen	195		

6 Traumabildgebung beim Kind 212

Marcus Hörmann

6.1 Einleitung und Allgemeines	212	6.8 Viszeralverletzungen und Kinder im Schockraum	222
6.2 Wachstumsstörungen	212	Schockraummanagement	222
Stimulation	212	Typische Verletzungsmuster	223
Hemmung	212	6.9 Sportverletzung und chronisches Trauma 225	
Kallus (heilende Fraktur)	213	6.10 Kindesmisshandlung	225
6.3 Bildgebung bei Frakturen	214	Typische Frakturen bei Kindesmisshandlung	225
Übersichtsröntgenbild in 2 Ebenen	214	Frakturalterbestimmung	226
Magnetresonanztomografie	214	Spezifität von Frakturen bei Kindesmisshandlung	226
Computertomografie	214	Wann ist was zu tun?	227
Ultraschall	214	Abklärungsalgorithmus	227
Kontrollröntgen	214	Differenzialdiagnose der Kindesmisshandlung	227
6.4 Nomenklatur und Klassifikation	215	Schädel-Hirn-Trauma bei Kindesmisshandlung	227
6.5 Häufigkeiten diverser Frakturen im Kindesalter	216	6.11 Geburtstrauma	228
6.6 Schädel- und Gesichtsschädelverletzungen	219	6.12 Intraokulare Fremdkörper	229
6.7 Wirbelsäulenverletzungen	221		

7	Das kindliche muskuloskeletale System	231
	<i>Peter Waibel, Kathrin Maurer</i>	
7.1	Normales Skelett und Varianten	231
	Radiomorphologie der	
	normalen Knochenstruktur	231
	Wachstum und Entwicklung	231
	Anatomische Varianten	231
7.2	Regionale Skelettfehlbildungen, abnorme ossäre Konfiguration, Störung der Knochenanordnung	234
	Untere Extremität	234
	Obere Extremität	236
	Regionale Fehlbildungen	237
	Gutartige Knochentumoren, tumorartige Veränderungen	237
7.3	Angeborene Hüftdyplasie	240
	Ätiologie und Risikofaktoren	240
	Klinik	240
	Bildgebung	240
	Differenzialdiagnose	242
	Therapie	242
	Prognose	242
7.4	Wirbelsäule	243
	Normale Anatomie	243
	Kongenitale Fehlbildungen:	
	Segmentationsstörungen,	
	Fehlbildungen bei Dysraphie	244
	Trauma	245
	Infektionen	246
	Neoplasien	247
	Verschiedenes: Skoliose, Kyphose	247
7.5	Osteochondrosen und aseptische Nekrosen	250
	Morbus Perthes	250
	Andere aseptische Nekrosen	251
	Osteochondrosis dissecans	252
7.6	Osteomyelitis	253
	Akute Osteomyelitis	253
	Chronische Osteomyelitis	255
7.7	Erkrankungen der Gelenke	257
	Arthritis	257
	Hämophile Arthropathie	260
	Poplitealzysten	261
7.8	Krankhafte Veränderungen der Weichteile	261
	Verkalkungen, Ossifikationen,	
	Fremdkörper	261
	Myositis ossificans	261
	Entzündliche Muskelerkrankungen	261
	Fibro dysplasia ossificans congenita	261
	Neuromuskuläre Erkrankungen	262
	Gefäßfehlbildungen	262
	Sonstige Weichteilaffektionen	265
8	Pädiatrische Onk radiologie	271
8.1	Allgemeine Einführung und Grundsätzliches	271
	<i>Michael Riccabona</i>	
	Aufgaben der Bildgebung	
	bei Tumorerkrankung	271
	Verwendete Methoden	271
8.2	Hirn-, Orbital- und Spinaltumoren	272
	<i>Gabriele Hahn</i>	
	Hirntumoren	272
	Phakomatosen	275
	Orbitaltumoren	276
	Spinaltumoren	276
8.3	Neuroblastom, Nebennierenraumforderungen und Thorax tumoren	279
	<i>Marcus Hörmann, Michael Riccabona</i>	
	Neuroblastom	279
	Andere kindliche Nebennierentumoren und differenzialdiagnostisch wichtige Entitäten	283
	Wichtige Thorax tumoren im Kindesalter	284

8.4 Pädiatrische Onkoradiologie – Tumoren des Urogenitaltrakts	288	Milz	298
<i>Jens-Peter Schenk</i>		Pankreas	298
Nephroblastom/Wilms-Tumor	288	Gastrointestinale Tumoren	299
Erkennen anderer Nierentumoren	290	Mesenteriale Tumoren	300
Uterus-, Vaginal- und Blasentumoren bei Kindern und Jugendlichen	291	8.6 Wichtige Muskel-, Knochen- und Weichteiltumoren	302
Ovarialtumoren bei Kindern und Jugendlichen	292	<i>Thekla von Kalle</i>	
Hodentumoren bei Kindern und Jugendlichen	292	Knochentumoren	302
8.5 Gastrointestinale Tumoren und Tumoren der Leber, des Pankreas, der Milz, des Darms und des Mesenteriums	296	Weichteiltumoren	305
<i>Erich Sorantin, Michael Riccabona</i>		8.7 Systemische onkologische Erkrankungen	310
Lebertumoren	296	<i>Doris Zebedin, Erich Sorantin</i>	
9 Syndrome, Stoffwechselerkrankungen und andere wissenswerte Besonderheiten des Kindesalters	314	Langerhans-Zell-Histiozytose	310
<i>Heimo Nemeč</i>		Leukämien im Kindesalter	311
9.1 Einleitung	314	Maligne Lymphome des Kindesalters	312
9.2 Wachstumsstörung und Hormonmangel	314	9.5 Typische ossäre Veränderungen als Hinweis auf syndromale Erkrankung 324	
Konstitutionelle		Syndromale Wirbelsäulenveränderungen	324
Entwicklungsverzögerung	314	Schädel	326
Hochwuchs	315	Extremitäten	327
Kleinwuchs	316	Becken	329
9.3 Nebennierenbeteiligungen im Rahmen hormonaler Störungen	317	9.6 Auszug aus syndromalen Erkrankungen mit skelettaler Beteiligung	331
Nebennierenunterfunktion/-insuffizienz	317	Osteogenesis imperfecta	331
Nebennierenüberfunktion	319	Achondroplasie	331
Neonatale Nebennierenblutung	320	Thanatophorer Kleinwuchs	332
9.4 Anomalien der Schilddrüse und Schilddrüsenstoffwechselstörungen	321	Apert-Syndrom	333
Hyperthyreose	321	Treacher-Collins-Syndrom (Dysostosis mandibulo-facialis)	333
Hashimoto-Thyreoiditis	322	9.7 Stoffwechselerkrankungen	334
Struma	322	Morbus Hunter (Mukopolysaccharidose Typ II)	334
Hypothyreose	323	Glutarazidurie Typ 1	335
		Rachitis	335
Sachverzeichnis	339		

1 Besonderheiten der Bildgebung im Kindesalter

1.1 Allgemeine Einführung – prinzipielle Erwägungen

Michael Riccabona

Kinder sind nicht kleine Erwachsene. Sie haben andere Proportionen, eine andere Herz- und Atemfrequenz, andere Fett- und Bindegewebsanteile und teilweise einen anderen Gewebsaufbau (z. B. nicht verknöcherte Skelettstrukturen, offene Nähte, physiologische Residuen des fetalen Kreislaufs, unreife Organe). Die Organe liegen teils anders, teils weniger geschützt. Es sind andere Bewegungen, Belastungen, aber auch Erkrankungen (Kinderkrankheiten, angeborene Missbildungen, Unreife, Fehlfunktion ohne manifeste Organschäden usw.) zu beachten.

Die Kinderradiologie umspannt ein sehr breites Feld. Neben selteneren, aber doch vorkommenden erwachsenentypischen Erkrankungen (z. B. Schlaganfall, Diabetes) sind die zahlreichen kinder- und neugeborenentypischen Krankheitsbilder und Befunde abzu decken. Dabei müssen die Geräte ein sehr breites Spektrum bedienen können (vom 400 g schweren Frühgeborenen bis zum 150 kg schweren adipösen Jugendlichen) mit entsprechender Herausforderung an Ausstattung, Flexibilität und Adaptierbarkeit. Mit Kindern befasste Radiologen müssen neben den erwachsenentypischen Krankheitsbildern auch die spezifischen Fragestellungen des Kindesalters zumindest so weit beherrschen, dass diese erkannt und bei Bedarf einem Spezialisten überwiesen werden, bspw. diverse angeborene Syndrome oder genetisch determinierte (Stoffwechsel-)Erkrankungen. Zusätzlich sollten sie über die vom Erwachsenenbild abweichende Röntgen- und Sonomorphologie insbesondere kleinkindlicher Organe Bescheid wissen, um die Bedeutung verschiedener Phänomene kindgerecht einstufen zu können (z. B. die neonatal unreife Nierenfunktion erschwert funktionell-dynamische kontrastmittelgestützte Harntraktuntersuchungen, der unreife Lungenaufbau bedingt eine

höhere Atelektaseneigung schon bei milden Atemwegserkrankungen, weniger Fett verursacht eine schlechtere Differenzierbarkeit intestinaler Strukturen in der kindlichen Abdomen-CT usw).

Zuletzt muss allen bewusst sein, dass Kinder ein vielfach höheres Strahlenrisiko als Erwachsene aufweisen – nicht nur aufgrund der erhöhten Zellteilungsrate, sondern auch angesichts der noch längeren Lebensspanne, die die Manifestation möglicherweise strahleninduzierter Tumoren begünstigt. Aufgrund dieser höheren Strahlensensibilität sollten strahlenbelastende Untersuchungen so gut wie möglich vermieden werden bzw., wenn diese notwendig sind, so dosisoptimiert wie möglich durchgeführt werden (ALARA-Prinzip = „As Low As Reasonably Achievable“).

In diesem Zusammenhang besitzt die Sonografie eine besondere Bedeutung, zumal sie im Kindesalter besonders gut anwendbar ist: Weniger Fett und die kleineren Verhältnisse ermöglichen die Verwendung hochauflösender Schallköpfe, noch nicht verknöcherte Strukturen können sonografisch gut beurteilt werden bzw. ermöglichen eine Beurteilung darunterliegender Abschnitte. Somit können viele Fragestellungen – insbesondere im neonatalen Neurokranium und thorakoabdominell – ohne Verwendung von Röntgenstrahlen diagnostisch ausreichend beurteilt werden. Daraus ergeben sich Besonderheiten in der Anwendung der Bildgebung im Kindesalter: bevorzugte und breite Anwendung der Sonografie, sehr zurückhaltende CT-Indikationsstellung, die Notwendigkeit von Sedierungsmaßnahmen für CT- und MRT-Untersuchungen bei kleinen Kindern und der oft erfolgreiche Ansatz, Durchleuchtungsuntersuchungen zu vermeiden (bzw. wenn, dann optimiert und strahlenarm durchzuführen). Letzteres führte dazu, dass viele Fragestellungen, die man ursprüng-

lich radiografisch versuchte zu beantworten, heute sonografisch lösbar geworden sind, so z.B. die hypertrophe Pylorusstenose (HPSt), die ileozökale Invagination mit anfolgender therapeutischer Desinvagination, die Diagnostik des gastroösophagealen (GÖR) oder vesikoureteralen Reflux (VUR), neonatale Hirnblutungen oder Genitalmissbildungen sowie Veränderungen des neonatalen Rückenmarks.

All dies versucht das Buch in kurzer, fast checklistenartiger Struktur zu vermitteln, im Sinne eines kurzen Lehrbuchs mit Nachschlagscharakter. Die Inhalte sind auf ein Basiswissen und fundamentale Allgemeinkenntnisse reduziert („**Was alle Radiologen wissen sollten ...**“) – eine ausführliche Detailbesprechung aller Aspekte ist nicht möglich; dies muss durch Lektüre spezifischer Fachliteratur ergänzt werden. Die hier besprochenen Inhalte sollten aber ein basales, für alle radiologischen Fachärzte notwendiges Wissensspektrum vermitteln und so ein grundlegendes Verständnis kinderspezifischer Erfordernisse an die Bildgebung ermöglichen.

Literatur

- ¹ Babyn PS. Teaching Atlas of Pediatric Imaging. Stuttgart, New York: Thieme; 2006
- ² Benz-Bohm G. Kinderradiologie. Stuttgart, New York: Thieme; 2005
- ³ Blickmann JG. Pediatric Radiology – the requisites. St. Louis, Philadelphia: Mosby; 1994
- ⁴ Carty H, Brunelle F, Stringer DA, Kao SCS. Imaging Children, vol. 1, 2. 2nd ed. New York: Elsevier; 2005
- ⁵ Ebel KD, Willich E, Richter E. Differentialdiagnostik in der Pädiatrischen Radiologie, Band 1, 2. Stuttgart, New York: Thieme; 1995
- ⁶ Hofmann V, Deeg KH, Hoyer PF. Ultraschalldiagnostik in Pädiatrie und Kinderchirurgie. 3. Aufl. Stuttgart, New York: Thieme; 2005
- ⁷ Schuster W. Kinderradiologie, Band 1, 2. Berlin, Heidelberg: Springer; 1990
- ⁸ Siegel MJ, Coley BD. The core curriculum: pediatric imaging. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2006
- ⁹ Slovis ThL. Caffey's Pediatric Diagnostic Imaging, vol. 1, 2. 11th ed. Philadelphia: Mosby; 2008
- ¹⁰ Staatz G, Honnef D, Piroth W, Radkow T. Kinderradiologie. Stuttgart, New York: Thieme; 2007
- ¹¹ Troeger J, Seidensticker P. Paediatric Imaging Manual. Heidelberg: Springer; 2008

1.2 Besondere Bedeutung des Strahlenschutzes im Kindesalter

Gerald Pärtan

Einleitung

Beeindruckende Leistungsfähigkeit der radiologischen Diagnostik (insbesondere Schnittbildverfahren) → laufend höhere Erwartungen durch Überweiser und Patienten.

- auch bei mitunter gegen Null gehender Vortestwahrscheinlichkeiten oft perfekte Diagnostik verlangt – z. B. forensische Absicherung

Allerdings: Radiologische Diagnostik ist nicht frei von Nebenwirkungen:

- direkte und indirekte Konsequenzen falsch-negativer und falsch-positiver Befunde
- Röntgendiagnostik (Radiografie, Durchleuchtung [DL] und insbesondere CT) = ionisierende, daher per se potenziell schädliche Strahlen

Wenn wir unseren Patienten **optimale statt maximale** Diagnostik und Therapie angeeignet lassen wollen, liegt es an uns, Nutzen und Risiko unserer Handlungen zu kennen, abzuwägen und dies Patienten/Angehörigen in verständlicher Weise zu vermitteln.

Wir sind im Sinne des Strahlenschutzes auch gesetzlich zur Umsetzung des **ALARA-Prinzips** verpflichtet: Strahlendosis einer Untersuchung so niedrig wie vernünftig (unter Beachtung auch sozialer und wirtschaftlicher Faktoren) möglich.

Null dosis (= Nichtdurchführung gerechtfertigter Untersuchung) kann genauso suboptimal sein wie Untersuchung mit zu geringer Dosis (= Bildqualität reicht für Aussagekraft nicht aus, resultierende Strahlenexposition vergebens) oder wie Untersuchung mit unnötig hoher Dosis.

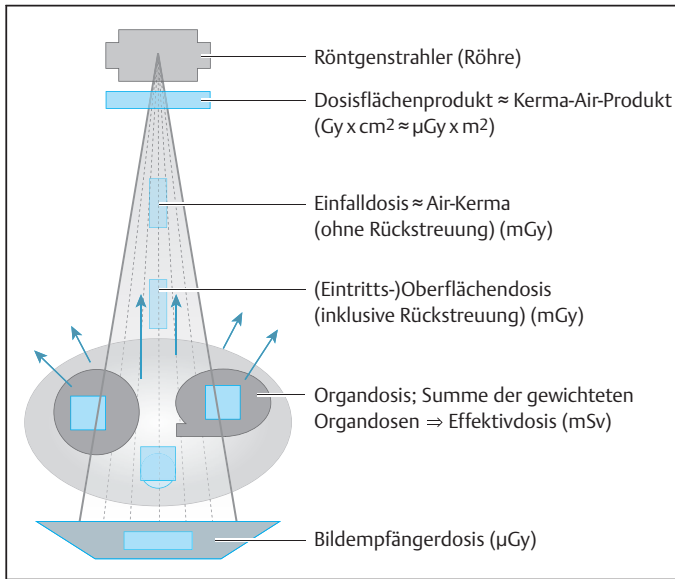


Abb. 1.1 **Schema Dosismessungen, Dosisseinheiten.** Die blauen Kästchen geben schematisch den Ort der Dosismessung an.

! Diagnostischer Nihilismus ist gerade bei Kindern nicht angebracht – wir sind auch für nicht durchgeführte Untersuchungen eventuell haftbar.

Dosisbegriffe

Siehe Abb. 1.1.

Energiedosis

Prinzipiell: Dosis der auf Patienten ausgesendeten Energie der Röntgenquanten.

- Gemessen in **Gray (Gy)**: im Dosisbereich der Röntgendiagnostik mGy, μGy bzw. Dosisflächenprodukt (DFP – Gray mal Flächeneinheit, z.B. $\text{cGy} \times \text{cm}^2$) = Dosismaß für Qualitätssicherung von Röntgenexpositionen
- Im Röntgenstrahl messbar: mit Ionisationskammer/Thermolumineszenzdosimeter
- Annähernd vergleichbares Referenzmaß in Nuklearmedizin: **applizierte Aktivität** (Dosisseinheit: Megabecquerel, MBq)
- **Bildempfängerdosis**: meist in μGy angegeben; für Strahlenschutz und Qualitätssicherung wichtig, nur beschränkte Korrelation mit Patientendosis

„Körperdosis“

Prinzipiell: die in Körperorganen empfangene Dosis (Einheit: **Sievert, Sv**).

- **Organdosen**: zur genaueren Abschätzung biologischer Folgen einer Strahlenexposition Ermittlung der in einzelnen (verschiedenen strahlensensiblen) Organen bzw. Körperpartien absorbierten Organdosen erforderlich – entweder aufwendig durch Nachstellen der Untersuchung mit anthropomorphen Phantomen und darin eingebrachten Dosimetern oder mittels Berechnung anhand virtueller mathematischer Körpermodelle
- **Effektivdosis**: Arbeitsbegriff – versucht, die unterschiedliche Verteilung der Organdosen zwischen verschiedenen Röntgenuntersuchungen vergleichbar zu machen und für Abschätzung des Strahlenrisikos auf gemeinsamen Nenner zu bringen = **Summe der Organdosen**, welche bei bestimmter Exposition auftreten
- Organdosen jeweils multipliziert mit **Wichtungsfaktor**, der unterschiedliche Organstrahlenempfindlichkeit ausdrückt
- Wichtungsfaktoren jüngst von International Commission on Radiological Protection (ICRP) entsprechend neuen epidemiologischen Erkenntnissen geändert: Strahlenrisiko bei Gonadenexposition geringer als angenommen, Strah-

lenrisiko des Mammagewebes höher (ICRP 2007)

- Orientierende Berechnung von Organ- und Effektivdosen: einfach zu bedienende, kostenlos oder gegen Schutzgebühr erhältliche **Dosiskalkulationsprogramme**, z.B. CT-Expo (Stamm u. Nagel 2002), PCXMC (Tapiovaara et al. 1997)
Einfacher, aber ungenauer: Berechnung der Effektivdosis = Multiplikation der Energiedosis (z.B. DFP) mit veröffentlichten, für Untersuchung spezifischen **Konversionsfaktoren** (mSv pro Energiedosiseinheit – z.B. mSv/cGy × cm²)

Grundlagen des höheren Strahlenrisikos bei Kindern

Aktuelles Wissen über Strahleneffekte am Menschen nicht nur aus Untersuchungen an japanischen Atombombenopfern, sondern aus Vielzahl von Studien, auch an medizinischen Patienten:

- mehr als die Hälfte der in (noch immer andauernden) „Life Span Study“ untersuchten **japanischen Atombombenopfer** mit relativ geringen, für Anwendungen der diagnostischen Radiologie vergleichbaren Dosen von < 50 mSv bestrahlt
- erhöhtes Risiko für SD-Karzinome (SD: Schilddrüse) bei Kindern, welche in 50er- und 60er-Jahren (niedrig dosierte) **Strahlentherapie gegen benigne Veränderungen** erhielten (z.B. Tinea capitis, Hämangiome bzw. „Thymushyper-

plasie“/„Status thymolympathicus“ – heute obsolet)

- (oft jugendliche) **Skoliosepatientinnen** – erhöhtes Risiko für Mammakarzinome („U.S. Scoliosis Cohort Study“) bei 10–100 mSv Organdosis des Brustdrüsengewebes, eine durchaus auch bei Thorax-CT-Untersuchungen erreichte Dosis
- **Tbc-Patientinnen** (früher häufige Thorax-DL mit relativ hoher Dosis) – signifikant erhöhtes Mammakarzinomrisiko (diverse Studien)
- „Oxford-Studie“ 1956: **pränatale Exposition mit relativ geringen Dosen** von 10 mSv (z.B. Beckenvermessungen bei Mutter) → bereits im Kindesalter erhöhtes zusätzliches Risiko für Malignomentwicklung, mit Risikofaktor von 6%/Sv (Doll u. Wakeford 1997)
- erhöhtes Risiko der **„Tschernobyl-Kinder“** – fügt sich ebenfalls in bisherige Erkenntnisse ein, insbesondere für Schilddrüsenkarzinome

Diese und andere Studien belegen/quantifizieren Strahlenrisiko insbesondere für Kinder. Ausständig: Studien unter aktuellster radiologischer Expositionspraxis (insbesondere CT).

Induktion (letaler) Malignome

Im diagnostischen Dosisbereich relevant: **stochastische** Strahlenwirkungen (Induktion von Malignomen). Breiter wissenschaftlicher Konsens über folgende Annahmen (auch wenn Evolution der Erkenntnisse um die komplexen Zusammenhänge

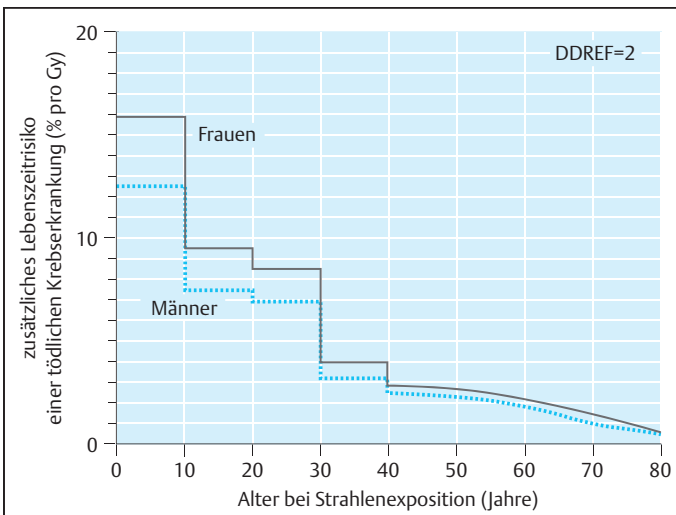


Abb. 1.2 **Zusätzliches Lebenszeitrisko einer tödlichen Krebserkrankung** (% pro Gray [Gy]) in Abhängigkeit von Alter bei Strahlenexposition und Geschlecht (Frauen: –; Männer: ...) nach ICRP 60 [6] (Dose and Dose Rate Effectiveness Factor [DDREF] = 2, d. h. für niedrige Dosiswerte und Dosisleistungen) (nach: Strahlenschutzkommission [SSK]. Bildgebende Diagnostik beim Kind – Strahlenschutz, Rechtfertigung und Effektivität, Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 208. Sitzung der SSK am 11./12. Juli 2006).

zwischen strahleninduzierten Zellschädigungen, Reparaturvorgängen und Malignominduktion noch längst nicht abgeschlossen):

- Auch für stochastische Strahlenwirkungen besteht **lineare Dosis-Wirkungs-Beziehung, ohne untere Schwellendosis**.
- Strahlenrisiko ist **bei Kindern wesentlich höher als bei Erwachsenen** (10–15%/Sv Effektivdosis versus 5%/Sv im Bevölkerungsdurchschnitt, 1%/Sv im höheren Alter) (Abb. 1.2).
- Strahlenrisiko ist bei **pränataler** Bestrahlung etwa gleich hoch wie bei Kindern.
- Erhöhtes Strahlenrisiko **bleibt lange** (etwa 20–40 Jahre) nach Exposition bestehen.
- Einzeldosen **akkumulieren** (nicht: potenzieren).
- Es zeigen sich andere Körperproportionen mit mehr blutbildendem strahlensensiblem Knochenmark in Schädel- und Röhrenknochen (siehe auch Kap. 1.5, Abb. 1.4).

Genauere, individuelle Risikoabschätzungen für bestimmte Patienten und bestimmte Untersuchung aufgrund der Komplexität der Materie nur mit Vorbehalten. Empfindlichkeit für Malignominduktion

überdies interindividuell verschieden – deutlich erhöhte Strahlenempfindlichkeit mancher Menschen (≤ 10%), genetisch bedingt (ICRP 1999).

Individuelle Strahlenrisikoabschätzung

Multiplikation des altersspezifischen Risikoeffizienten mit Effektivdosis einer bestimmten Untersuchung = das durch diese Untersuchung ausgelöste zusätzliche Krebsrisiko näherungsweise berechenbar (Bsp.: 10%/Sv im Kindesalter entspricht 0,01% bzw. 1:10000/mSv; Thorax-CT mit 10 mSv Effektivdosis → Malignomrisiko etwa 1:1000 bzw. 1 Promille – solche Berechnungen allerdings mit Vorbehalt). Grundsätzlich ist Konzept der Effektivdosis auch nach Eigendefinition der ICRP nicht seriös für epidemiologische Krebsprognosen („jährlich tausende Tote durch Röntgendiagnostik“) geeignet; auch individuelle Risikoabschätzung nur grob orientierend (Siehe Tab. 1.1: typische Effektivdosen wichtiger radiologischer Untersuchungen, bezogen auf Erwachsene – liegen bei pädiatrischen Patienten bei angepassten Expositionswerten in ähnlichen Bereichen).

Tabelle 1.1 Typische Effektivdosen radiologischer Untersuchungen im Vergleich zu natürlicher Strahlenexposition (nach ÖRG et al. 2006).

Untersuchungsart	Effektivdosis (mSv)	Entspricht n p.–a. Thoraxröntgen	Entspricht Umgebungsstrahlung					
			Großbritannien ¹		Österreich ²		Brasilien ³	
Umgebungsstrahlung pro Jahr			2,2	mSv/a	4,0	mSv/a	87,0	mSv/a
Umgebungsstrahlung pro Tag			0,006	mSv/d	0,0	mSv/d	0,2	mSv/d
periphere Extremitäten	0,01	<0,5	<1,5	Tage	0,9	Tage	0,0	Tage
Thoraxorgane p.–a.	0,02	1	3	Tage	1,8	Tage	0,1	Tage
Thoraxorgane lateral	0,04	2	6	Tage	3,7	Tage	0,2	Tage
Schädel (2 Ebenen)	0,07	3,5	11	Tage	6,4	Tage	0,3	Tage
BWS (2 Ebenen)	0,7	35	4	Monate	2,1	Monate	2,9	Tage
LWS (3 Aufnahmen)	1,3	65	7	Monate	4,0	Monate	5,5	Tage
Becken a.–p.	0,7	35	4	Monate	2,1	Monate	2,9	Tage
Abdomen a.–p.	1	50	6	Monate	3,0	Monate	4,2	Tage

Tabelle 1.1 Typische Effektivdosen radiologischer Untersuchungen im Vergleich zu natürlicher Strahlenexposition (nach ÖRG et al. 2006). (Fortsetzung)

Untersuchungsart	Effektivdosis (mSv)	Entspricht n p.-a. Thoraxröntgen	Entspricht Umgebungsstrahlung					
			Großbritannien ¹		Österreich ²		Brasilien ³	
IVU (6 Aufnahmen)	2,5	125	14	Monate	7,6	Monate	10,5	Tage
Schluckakt (24 Spotaufnahmen, 106'' DL)	1,5	75	8	Monate	4,6	Monate	6,3	Tage
Bariumpassage (4 Spotaufnahmen, 78'' DL)	3	150	16	Monate	9,1	Monate	12,6	Tage
Bariumirrigoskopie (10 Spotaufnahmen, 137'' DL)	7	350	3,2	Jahre	1,8	Jahre	29,4	Tage
CT Schädel	2,3	115	1	Jahre	7,0	Monate	9,6	Tage
CT Thorax	8	400	3,6	Jahre	2,0	Jahre	1,1	Monate
CT Abd./Becken	10	500	4,5	Jahre	2,5	Jahre	1,4	Monate
Lungenperfusions-szintigramm	1				3,0	Monate	4,2	Tage
Nierenszintigramm	1				3,0	Monate	4,2	Tage
Schilddrüsenszintigramm	1				3,0	Monate	4,2	Tage
Knochen-szintigramm	4				1,0	Jahre	16,8	Tage
Myokard-szintigramm	6				1,5	Jahre	25,2	Tage
PET (F-18FDG)	5				1,3	Jahre	21,0	Tage

¹ Hintergrundstrahlung durchschnittlich 2,2 mSv/a; regional unterschiedlich zwischen 1,5 und 7,5 mSv/a

² Hintergrundstrahlung durchschnittlich 4 mSv/a; regional unterschiedlich 2–6 mSv/a

³ Hintergrundstrahlung an der Atlantikküste bis zu 87 mSv/a

IVU: intravenöse Urografie; FDG: Fluorodesoxyglukose

Andere Effekte

Für alltägliche Risikoabschätzung weniger bedeutend (gering/noch inkompletter Wissensstand):

- **Nicht letale Malignominduktion:** geht mit ca. 1/5 der letalen Karzinome in das für die Erstellung der Gewebewichtungsfaktoren berücksichtigte „Gesamtdetriment“ ein

- **Genetische Effekte:** wurden mit ICRP 103 in Bedeutung zurückgestuft; ca. 10% des Malignomrisikos, d.i. 0,3–0,5%/Sv in erster, 0,5–0,9% in zweiter Generation (UNSCEAR 2001) bzw. 0,4–0,6% der natürlichen Erbkrankheitsrate
- **Genomische Instabilität:** über Generationen vermehrte Chromosomenaberrationen in Tochterzellen bestrahlter Zellen

- **„Bystander“-Effekt:** Weitergabe von Destruktionsprozessen von bestrahlten an unbestrahlte Zellen
- **„Klastogene Faktoren“:** Chromosomenaberrationen in nicht exponierten Zellen durch bestrahltes Plasma
- bei einigen dieser Effekte spontanes Auftreten oder Verursachung durch andere (z.B. chemische) Noxen ebenso möglich

Warum ist Strahlenschutz bei Kindern noch wichtiger als beim Erwachsenen?

Weil Kinder

- ein wesentlich höheres Risiko der Malignominduktion pro Strahlendosis haben,
- mehr Lebenszeit vor sich haben, um Malignome zu entwickeln,
- mehr Lebenszeit vor sich haben, um eine Kumulation vieler Röntgenuntersuchungen zu erfahren,
- auch als potenzielle zukünftige Eltern zu betrachten sind, welche die (im Vergleich zum Karzinomrisiko aber deutlich geringeren) genetischen Effekte der Strahlenexposition weitergeben,
- aufgrund ihrer Körperproportionen und Gewebeverteilung bei bestimmten Untersuchungen mehr strahlensensibles Gewebe exponiert bekommen als Erwachsene,
- aufgrund ihrer Kleinheit und eingeschränkten Kooperationsfähigkeit höhere Ansprüche an eine sorgfältige Untersuchungstechnik stellen.

Risiken und Maßnahmen bei pränataler geplanter oder akzidenteller Strahlenexposition

Strahlenrisiko und Handlungsprinzipien bei pränataler Strahlenexposition

- Stochastische Strahlenwirkungen auf das Ungeborene: hauptsächlich Risiko der Malignominduktion (10–15%/Sv, 6% Zusatzrisiko für Malignomentwicklung bereits in der Kindheit, siehe Kap. 1.2.3.1), geringes Risiko für Erbkrankheiten
- Deterministische Strahlenwirkungen, welche unterhalb einer Schwellendosis von 100–300 mSv nicht auftreten: Induktion von Missbildungen inklusive Reifungsstörung des ZNS mit schwerer geistiger Retardierung (Tab. 1.2)
- Schwellendosis für deterministische Strahlenwirkungen am Ungeborenen (ausgedrückt durch Organodosis des Uterus) wird durch eine einzelne

diagnostische Röntgenuntersuchung normalerweise nicht erreicht:

- Peripheres Skelett, Thorax (letzteres auch bei CT): ≤ 1 mSv („Trivialitätsschwelle“)
- Abdomenradiografie: 0,5–10 mSv pro Aufnahme
- DL-Untersuchungen mit 10 bis max. 40 mSv/min
- Abdomen-/Becken-CT: 15–35 mSv

! Cave: Dosiserhöhung bei übergewichtigen Patientinnen!

- Schwangerschaft keine absolute Kontraindikation für Röntgenuntersuchungen – verlangt aber strengste Nutzen-Risiko-Abwägung. Spricht diese gegen Verschiebung der Untersuchung oder gegen Ausweichen auf MRT/US, muss sie unter allen erdenklichen Möglichkeiten von Dosisoptimierung und Strahlenschutz sowie detailliertester Aufzeichnung aller dosisrelevanten Untersuchungsparameter durchgeführt werden.
- Gesetzlich vorgeschrieben: Alle Patientinnen im gebärfähigen Alter müssen vor Röntgenuntersuchung befragt werden, ob sie schwanger sein könnten; dies ist zu dokumentieren. Gebärfähiges Alter beginnt mit 12. Lebensjahr – betrifft also auch viele kinderradiologische Patientinnen (besonderes Einfühlungsvermögen!). Befragung ist gesetzeskonform auch an nicht ärztliche Fachkräfte delegierbar.
- Untersuchungen mit voraussichtlicher Uterusdosis unterhalb Trivialitätsschwelle (1 mSv) sind vergleichsweise unkritisch.
- Bei allen anderen Röntgenuntersuchungen: Bei geringsten Zweifeln (Zyklus nicht stabil, Sprachprobleme, Zweifel an Geschäftsfähigkeit der Patientin) ist Schwangerschaftstest durchzuführen (bis 7 Tage nach ausgebliebener Periode geringere Sensitivität!).
- Bei vitaler Indikation (z.B. Polytrauma – CT) hat das Wohl der (potenziellen) Mutter Vorrang – keine Verzögerung durch Klärung des Schwangerschaftsstatus.
- Grundsätzlich erhöhte Vorsicht nicht nur bei Anwendung ionisierender Strahlen, sondern auch bei **MRT** und bei **KM-Applikationen** (KM: Kontrastmittel) aller Art während Schwanger-

Tabelle 1.2 Biologische Effekte pränataler Röntgenstrahlenexposition (nach DGMP 2002, ergänzt nach ICRP 2007).

Effekt	Zeit nach Konzeption	Unterer Schwellenwert (mSv Uterusdosis)	Risikoeffizient (% pro mSv Uterusdosis)
Tod während Präimplantationsphase	bis 10 Tage	100	0,1 (oberhalb Schwellenwert)
Missbildungen	10 Tage bis 8. Woche	100	0,05 (oberhalb Schwellenwert)
schwere geistige Retardierung	8. bis 15. Woche	300	0,04 (oberhalb Schwellenwert)
	16. bis 25. Woche	300	0,01 (oberhalb Schwellenwert)
IQ-Reduktion (Intelligenztest)	8. bis 15. Woche	wahrscheinlich	0,03
	16. bis 25. Woche	100	0,01
maligne Erkrankungen	gesamte Schwangerschaft	0 (stochastische Strahlenwirkung)	0,006
vererbare Defekte	gesamte Schwangerschaft	0 (stochastische Strahlenwirkung)	0,0003 ♂, 0,0001 ♀

schaft. Derzeit keine Schäden durch MRT nachgewiesen – dennoch zweckmäßig, MRT-Indikation im 1. Trimenon besonders eng stellen. KM-Gaben aller Art sind während gesamter Schwangerschaft nach Möglichkeit zu vermeiden.

Akzidentelle pränatale Strahlenexposition

Falls sich nach einer Strahlenexposition herausstellt, dass Schwangerschaft bereits bestanden hat, nach **Dreistufenkonzept der Deutschen Gesellschaft für Medizinphysik** (DGMP 2002) vorgehen:

- genaue Ermittlung der Zeitspanne zwischen Konzeption und Röntgenuntersuchung
- grobe Abschätzung der Uterusdosis (nach Tabellen im DGMP-Bericht – **Stufe 1**); wenn Kind nicht im Zielstrahl bzw. zu erwartende Uterusdosis < 10–20 mSv → keine weiteren Maßnahmen
- wenn zu erwartende Uterusdosis > 20 mSv → genaue Berechnung durch Medizinphysiker (konsultationsbereite Medizinphysiker: <http://www.dgmp.de>)

- erwartete Uterusdosis 20–100 mSv → genaue Berechnung aus Standarddaten (**Stufe 2**)
- ab 100 mSv Berechnung aus genauen Daten der betreffenden Untersuchung (**Stufe 3**)
- ab 100–200 mSv Interruptio im Konsens mit Schwangeren erwägbar (100 mSv = Schwellendosis für Embryontod und Missbildungsinduktion, 200 mSv = Missbildungsverdopplungsdosis) – solche Dosen üblicherweise nur bei interventionell-radiologischen Eingriffen im Beckenbereich (z.B. Myomembolisation) oder bei langwierigen DL-Untersuchungen an Patientinnen mit großem Körperumfang
- im Dosisbereich der diagnostischen Bildgebung Risiko invasiver Schwangerschaftsdiagnostik (Amniozentese) meist höher als Strahlenrisiko
- auch bei einigen 100 mSv Interruptio nicht ohne Weiteres indiziert → Geburt eines gesunden Kindes noch immer wahrscheinlicher als Geburt eines behinderten Kindes
- eventuell bei Eltern nach Vorliegen von Syndromen mit erhöhter Strahlenempfindlichkeit (z.B. Ataxia teleangiectatica, Fanconi-Anämie, Retinoblastom) suchen

- **Nuklearmedizin:** übliche nuklearmedizinische Diagnostik – meist Uterusdosen unter 10 mSv; Dreistufenkonzept gilt nicht! Dosisabschätzung aus Tabellen; Beschleunigung der Nuklidausscheidung → dosisvermindernd (z.B. forcierte Diurese); bei Zustand nach therapeutischer Radiojodverabreichung → innerhalb von 12 Stunden Kaliumjodid zur Aufsättigung der Schilddrüse verabreichbar
- **Strahlentherapie:** Dreistufenkonzept gilt nicht; Dosisabschätzung aus Bestrahlungsplanung

Rechtsvorschriften, Aufklärung und Kommunikation

Rechtsvorschriften für den pädiatrischen Strahlenschutz im deutschen Sprachraum

Die meisten der genannten Maßnahmen durch nationale Strahlenschutzgesetzgebung in EU und Schweiz konkret vorgeschrieben – nicht nur im Sinne guter medizinischer Praxis. Die wichtigen diesbezüglichen Vorschriften finden sich im jeweiligen nationalen Strahlenschutzgesetz, detaillierte Vorschriften in zugehörigen Verordnungen (D, CH: Röntgenverordnung; Ö: Medizinische Strahlenschutzverordnung). Grundprinzipien sind dabei **Rechtfertigung, Verantwortung und Optimierung.**

- **Rechtfertigung:** Strahlenexpositionen müssen doppelt – im Allgemeinen sowie für Einzelfall im Voraus – gerechtfertigt sein. Dazu wurden unterstützend von verschiedenen nationalen und internationalen Fachgesellschaften **Überweisungskriterien** herausgegeben. In Deutschland und Österreich = „Orientierungshilfe Radiologie“. Berücksichtigung ist gesetzlich vorgeschrieben.
- **Verantwortung:** Für Rechtfertigung von medizinischen Expositionen ist **sowohl überweisende Person als auch anwendende Fachkraft** verantwortlich. Beide sind dafür verantwortlich, dass zwecks Vermeidung unnötiger Expositionen relevante Informationen aus radiologischen Voruntersuchungen sowie aus Krankengeschichte berücksichtigt und unnötige Doppeluntersuchungen vermieden werden. Verantwortung für Durchführung der Untersuchung liegt bei anwendender Fachkraft (Radiologe, im Rahmen der Delegation auch MTRA, RT etc.).

- **Rechtfertigende Indikation:** In Deutschland sind Rechtfertigung und Verantwortung durch Vorschrift der rechtfertigenden Indikation besonders streng geregelt. Röntgenuntersuchungen dürfen nur angewendet werden, wenn Ärzte mit **Fachkunde im Strahlenschutz** (wenn lediglich mit **Kenntnissen** im Strahlenschutz, dann unter ständiger Aufsicht von Ärzten mit Strahlenschutzfachkunde) dafür die rechtfertigende Indikation gestellt haben, d. h. festgestellt haben, dass gesundheitlicher Nutzen gegenüber Strahlenrisiko überwiegt. Selbst wenn überweisender Arzt fachkundig ist, bleibt durchführender Arzt zur eigenen Feststellung der „rechtfertigenden Indikation“ verpflichtet. Der Radiologe entscheidet somit, ob erbetene Untersuchung mit ionisierenden Strahlen sinnvoll oder z. B. durch anderes Verfahren ohne ionisierende Strahlen ersetzbar ist.

- **Optimierung:** Gesetzlich ist besondere Berücksichtigung von Kindern explizit bei Verpflichtung zu **Qualitätssicherungs- und Qualitätskontrollprogrammen** (u. a. Konstanzprüfung), bei vorgeschriebener **Verwendung geeigneter Geräte, Zusatzausrüstungen und konkreter Strahlenschutzmaßnahmen** erwähnt.
 - Vorgeschrieben ist **Aufzeichnung von Patientendosen** bzw. der zu deren Berechnung erforderlichen Untersuchungsparameter (Nuklearmedizin: verabreichte Aktivitäten) sowie deren Bewertung und Optimierung in Relation zu **diagnostischen Referenzdosiswerten** (pädiatrische Referenzwerte für Radiografie und DL siehe Kap. 1.3, für CT Kap. 1.5).
 - Für Strahlenexpositionen von Kindern ist **geeignete Ausbildung** erforderlich.
 - Halten von Patienten oder Aufnahmematerial: vorrangig nicht beruflich strahlenexponierte Begleitpersonen heranziehen. Diese – gesetzlich als „**helfende Personen**“ definiert – haben, wenn möglich, Haltevorrichtungen zu verwenden, sind durch geeignete Maßnahmen zu schützen und über Strahlenrisiken zu unterrichten.
 - In Deutschland kann auf Wunsch des Patienten (oder Sorgeberechtigten) ein **Röntgenpass** ausgestellt werden. Darin werden Expositionsparameter bzw. Expositions dosis (nicht jedoch zwingend Organ- oder Effektivdosis bzw. deren Berechnung) eingetragen.

Aufklärung

- Volle Geschäftsfähigkeit besteht grundsätzlich mit 18 Jahren. Auch wenn in Rechtsprechung jüngeren Patienten (meist ab vollendetem 14. Lebensjahr) Teilgeschäftsfähigkeit bzw. Einsichts- oder Urteilsfähigkeit zugestanden wird, sollten – insbesondere bei Eingriffen mit höherem Risiko (Angiografie, interventionelle Radiologie) – auch Eltern (Sorgeberechtigte) in Aufklärung einbezogen werden.
- Vital indizierte diagnostische oder therapeutische Maßnahmen sind auch gegen Willen der Eltern gerichtlich durchsetzbar.
- Je weniger dringend Indikation, desto höher sind Anforderungen an Aufklärungspflicht. Bei geplanten Eingriffen ist jedenfalls ausreichende Bedenkzeit zu geben (z. B. Aufklärung bereits bei Terminvergabe).
- In anderen Bereichen ist Risikoaufklärung auch bei sicheren Prozeduren selbstverständlich (vgl. Anästhesierisiko bei Nichthochrisikopatienten 1 : 250 000 – maximal 1 : 10 000) – Aufklärung beim Strahlenrisiko nicht in gleicher Weise üblich. Inwieweit bei nicht invasiven Röntgenuntersuchungen über Strahlenrisiko aufgeklärt werden muss, ist im deutschen Sprachraum nicht ausjudiziert. Bei strenger Auslegung gesetzlicher und zivilrechtlicher Regelungen scheint eine dokumentierte Aufklärung und Einwilligung zumindest bei Hochdosisuntersuchungen (CT, DL) indiziert (Thomas et al. 2006).
- Die Aufklärung hat persönlich zu erfolgen (letzter verantwortlich = durchführender Arzt) und muss dokumentiert werden (vorgefertigte Aufklärungsblätter = Hilfsmittel, nicht alleiniges Mittel).

Kommunikation mit Kindern und Angehörigen

Kranke Kinder und deren Angehörige sind oft hohem Stressniveau ausgesetzt – deshalb „schwieriger“ im Umgang. Nicht nur Krankenhausumgebung für Kinder furchterregend, auch übertragen Eltern ungewollt Sorgen und Ängste auf Kinder. Ohne diesbezügliches Verständnis, Empathie, Geduld, professionelles Verhalten und geschickte Kommunikation keine Kindermedizin möglich.

Kooperationsfähigkeit von Kindern stark förderbar durch kindgerechte Gestaltung von Warte- und

Untersuchungsräumen mit Ablenkungsmaßnahmen während Untersuchung (altersgerechte Spielmaterialien, Bücher, audiovisuelle Medien – z. B. Videoprojektion in MR- oder CT-Gantry, Videobrillen, Kopfhörer) – damit signifikante Reduktion der Sedierungsrate für MRT nachgewiesen (Donnelly 2005).

Kommunikation mit Kindern muss altersangepasst erfolgen. Bis ca. zum 6. Lebensjahr Einsichts- und Kooperationsfähigkeit durch einfühlsames Vorgehen mitunter, aber nicht konstant verbesserbar. Dann/sonst möglichst rasche und schmerzarme Durchführung der Untersuchung (z. B. anästhesierende Hautcremes vor Venenpunktion!).

Die unangenehmsten diagnostischen und therapeutischen Eingriffe möglichst am Ende der Maßnahmenkette terminisieren.

Bei kurzen Untersuchungen für Neugeborene (NG) feste Fixation mitunter sogar angenehm, für Kleinkinder und Angehörige noch tolerabel. Durchführung länger dauernder, invasiverer Untersuchung (z. B. Miktionszystourethrografie, MCU) oft bereits im Kleinkindalter gegen Willen des Kindes physisch und psychisch problematischer → Sedierung erwägen.

Kommunikation interdisziplinär

Gemeinsame Verantwortlichkeit von Zuweisern und Radiologen gesetzlich festgelegt – soll von Untersuchungsplanung bis zur Befundübermittlung umgesetzt werden. Auch im Zeitalter elektronischer Datenübermittlung persönliche Kommunikation oft die wertvollste Kommunikationsquelle und sicherste „Rückfallebene“.

- Welche konkrete Frage ist durch Untersuchung zu beantworten?
- Welche konkreten therapeutischen Entscheidungen basieren auf Untersuchung?
- Welche Voruntersuchungen wurden eventuell anderswo durchgeführt? Wie sind Bilder oder schriftliche Befunde zugänglich?
- Wichtige therapierelevante Befunde müssen prompt so übermittelt werden, dass ihre Ankunft bei jeweils klinisch verantwortlichen Kollegen **nachweislich** sichergestellt ist.
- Interdisziplinäre regelmäßige Bildvisiten sind (auch in Kinderradiologie) Standard, ohne den regelrechte klinische Tätigkeit sowie Ausbildung und Lehre nicht möglich sind.

Literatur

- ¹ Brenner D, Elliston C, Hall E et al. Estimated risks of radiation-induced fatal cancer from pediatric CT. Am J Roentgenol 2001; 176(2): 289–96
- ² Deutsche Röntgengesellschaft, Gesellschaft für Medizinische Radiologie e.V. DGMP-Bericht Nr. 7: Pränatale Strahlenexposition aus medizinischer Indikation. Dosisermittlung, Folgerungen für Arzt und Schwangere (überarb. Neuauflage 2002). Im Internet: http://www.dgmp.de/Page_Papiere/Bericht7_Neuauflage2002.pdf; Stand: 25.10.2009
- ³ Doll R, Wakeford R. Risk of childhood cancer from fetal irradiation. Br J Radiol 1997; 70: 130–9
- ⁴ Donnelly LF. Introduction to Pediatrics – Pediatric Imaging. In: Donnelly LF, ed. Diagnostic Imaging Pediatrics. Amirsys 2005
- ⁵ ICRP. Publication 79: Genetic susceptibility to cancer. Ann ICRP 1998; 28: 1–157
- ⁶ ICRP. Publication 103: Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Ann ICRP 2007; 37: 2–4; Im Internet, englische Kurzfassung: <http://www.icrp.org/>; Stand: 25.10.2009
- ⁷ ÖRG, VBDO, VMSÖ, BURA. Orientierungshilfe Radiologie: Anleitung zum optimalen Einsatz der klinischen Radiologie. 3. Aufl. 2006. Im Internet: <http://orientierungshilfe.vbdo.at/>; Stand: 12.11.2009
- ⁸ Stamm G, Nagel HD. CT-Expo – ein neuartiges Programm zur Dosisevaluierung in der CT. Fortschr Röntgenstr 2002; 174: 1570–1576
- ⁹ Strahlenschutzkommission (SSK). Bildgebende Diagnostik beim Kind – Strahlenschutz, Rechtfertigung und Effektivität. Empfehlungen der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in 208. Sitzung der SSK (11./12. Juli 2006). Im Internet: <http://www.ssk.de/werke/volltext/2006/ssk0608.pdf>; Stand: 25.10.2009
- ¹⁰ Tapiovaara M, Lakkisto M, Servomaa A. PCXMC: A PC-based Monte Carlo program for calculating patient doses in medical x-ray examinations. Report STUK-A139. Helsinki: Finnish Centre for Radiation and Nuclear Safety; 1997. Im Internet: http://www.stuk.fi/saiteily_kaytto/ohjelmat/PCXMC/en_GB/pcxmc/; Stand: 25.10.2009
- ¹¹ Thomas KE, Parnell-Parmley JE, Haidar S et al. Assessment of radiation dose awareness among pediatricians. Pediatr Radiol 2006; 36(8): 823–32

1.3 Radiografie, Durchleuchtung*Gerald Pärtan***Radiografie**

Hochleistungsrohren zur Gewährleistung kürzerer Expositionszeiten (< 5 ms) erforderlich (schnellere Atemfrequenz, Unruhe von kleinen Kindern). Aufgrund höherem Wassergehalt und meist weniger Fett ist radiografischer Kontrast bei Kindern grundsätzlich schlechter als bei Erwachsenen.

Analoge Systeme (Film-Folien-Technik)

Qualitätskriterien der Deutschen Bundesärztekammer verlangen für alle radiografischen Aufnahmen Film-Folien-Systeme mit einer Empfindlichkeitsklasse von zumindest 400 (Bildempfängerdosis: 2,5 µGy); am Körperstamm besser 800 oder höher (Bildempfängerdosis: 1,25 µGy) (Bundesärztekammer 2008).

Digitale Radiografiesysteme

- **Helligkeit und Kontrast – wie bei allen digitalen Bildsystemen dosisunabhängig!** Wichtigster Bildqualitätsparameter ist das Bildrauschen, welches mit ansteigender Dosis (relativ zum Bildsignal) geringer wird, mit Gefahr unbemerkten Dosisanstiegs („Exposure Creep“) (Warren-Forward 2007).
- Das Bildrauschen wird quantifiziert als Signal-Rausch-Verhältnis (SRV). Detektoren mit hoher Effizienz in Umsetzung von Röntgenquanten in Bildsignal (Quanteneffizienz, engl. Detective Quantum Efficiency, DQE) haben besseres SRV und niedrigeren Dosisbedarf.
- SRV bewegt sich mit Wurzel der Bildempfängerdosis. Für **halbiertes Bildrauschen** ist eine **Vervierfachung der Dosis** notwendig! Umgekehrt **erhöht** sich das Rauschen bei **halbierter Dosis nur um ein Viertel**. Deshalb: Bildrauschen in diagnostisch vertretbarem Ausmaß akzeptieren.