



Daniela Kildal *Hrsg.*

Medizinische Fremdkörper in der Bildgebung

Thorax, Abdomen, Gefäße und Kinder

Medizinische Fremdkörper in der Bildgebung

Daniela Kildal
(Hrsg.)

Medizinische Fremdkörper in der Bildgebung

Thorax, Abdomen, Gefäße und Kinder

Mit 1586 Abbildungen und 10 Tabellen

Herausgeber

Dr. med. Daniela Kildal
Universitätsklinikum Ulm
Ulm

ISBN 978-3-662-47295-8 978-3-662-47296-5 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-47296-5

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

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2016

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Umschlaggestaltung: deblik Berlin

Fotonachweis Umschlag: © Dr. med. Daniela Kildal, Ulm

Zeichner: Ingrid Schobel, Hannover

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer-Verlag GmbH Berlin Heidelberg ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media
www.springer.com

Vorwort

Wir werden in unserer täglichen Arbeit immer wieder mit Bildmaterial konfrontiert, auf dem neben den anatomischen und/oder pathologischen Strukturen auch Fremdmaterial abgebildet ist. In erster Linie handelt es sich dabei um medizinische Fremdmaterialien wie Katheter, Schrittmacher und Osteosynthesematerialien. In meiner eigenen Ausbildung musste ich feststellen, dass mir ein Lehrbuch fehlte, welches diese Fremdmaterialien beschrieb und eine Hilfestellung bei der Befundung und Beurteilung insbesondere von Fehllagen und Komplikationen bieten konnte. Immer wieder haben meine Kollegen und ich nachts in den Diensten im Internet und in Dutzenden Büchern nach Fremdmaterialien gesucht. Es kam leider auch zu der ein oder anderen peinlichen Fehlbefundung. Das unschönste Beispiel war eine ältere Dame mit einem offensichtlich vaginal liegenden »Würfel«, die wir zur gynäkologischen Abklärung empfahlen mit dem Vermerk: »... autoerotisch oder demenziell vaginal eingebrachter Plastikfremdkörper (Lego-Baustein?), bitte entfernen.« Es handelte sich um ein Pessar. Das Gelächter der Gynäkologen war nicht ganz bis in die Radiologie zu hören, aber man hat uns davon berichtet ☺.

Erfahrungen wie diese haben letztlich zu dem Entschluss geführt, eben selbst ein Lehrbuch zu schreiben. Dieses Lehrbuch ist in erster Linie für Assistenzärzte in der Radiologie und anderen Fächern konzipiert. Aber auch Studenten und erfahrenere Kollegen sind herzlich eingeladen, darin zu blättern.

Das Buch wird in 2 Bänden erscheinen, da sich im Laufe der Zeit immer mehr herauskristallisierte, dass wir es mit einer »never ending story« zu tun haben. Im vorliegenden 1. Band haben wir uns auf die inneren Organe sowie Gefäße konzentriert. Trotz aller Bemühungen konnten wir dennoch nicht alle Fremdkörper unterbringen und haben uns auf die häufigsten beschränkt.

Alle Kapitel wurden von wenigstens zwei Autoren bearbeitet, dabei handelt es sich jeweils um einen klinisch tätigen Facharztkollegen und einen Facharzt der Radiologie. Wir haben uns bemüht, die Sprache des Buches einfach zu halten und statt Studiendaten möglichst viele Abbildungen zu zeigen. Unserer Meinung nach lebt dieses Buch von seinen Bildern, so wie Radiologie ja ein bildreiches Fachgebiet ist. Beim Bearbeiten der einzelnen Kapitel sollten die Bilder daher unbedingt mit dem Text betrachtet werden. Für spätere Wiederholungen mag es ausreichend sein, einzelne Bilder oder Textabschnitte nochmals einzeln durchzugehen.

Daniela Kildal

Ulm, im Herbst 2015

Danksagung

In erster Linie möchte ich allen Mitwirkenden, Autoren, Koautoren, Fotomodellen, Lektoren und Mitarbeitern des Verlages danken, ohne deren Arbeit es dieses Buch nicht gegeben hätte.

Für die Genehmigung zur Verwendung des Bildmaterials möchte ich Prof. Dr. med. M. Beer, Prof. Dr. med. H.-J. Brambs, Dr. med. B. Danz, Prof. Dr. med. B. Hamm und Prof. Dr. med. Forsting vielmals danken. An dieser Stelle ein besonderer Dank an Th. Breining, der aus seiner umfangreichen Sammlung weitere Bilder beigetragen hat.

Abschließend gilt mein Dank auch Prof. Dr. W. Oestmann, der mir im letzten Moment des PJs die Radiologie als interessantes Fach präsentierte und der somit überhaupt »Schuld daran ist«, dass ich Radiologin geworden bin, sowie meinem ersten Chefarzt Dr. Danz, der uns Assistenten stets ein Vorbild war, und meiner Familie für die Geduld während der Buchentstehung.

Daniela Kildal

Ulm, im Herbst 2015

Die Herausgeberin

Frau Dr. med. Daniela Kildal ist Fachärztin für Radiologie und leitende Oberärztin der Abteilung Radiologie der Kreiskliniken Günzburg/Krumbach, einem Standort der Klinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie des Universitätsklinikums Ulm. Sie ist Dozentin von E-Learning-Kursen, z. B. bei Lecturio, und langjährige Dozentin für die MEDI-LEARN-Repetitorien im Fach Radiologie.

Inhaltsverzeichnis

I Grundlagen

1	Physikalische Grundlagen	3
	<i>T. Blasenbrey, D. Kildal, M.-A. Geibel</i>	
1.1	Was ist Röntgenstrahlung?	4
1.2	Wie entsteht Röntgenstrahlung?	4
1.3	Haupteffekte der Röntgenstrahlung	5
1.3.1	Was kann passieren?	5
1.3.2	Wann treten diese Effekte beim Röntgen auf?	6
1.4	Bildentstehung	7
1.4.1	Bildentstehung und Bildgebung	8
1.5	Kontrastmittel	11
1.6	Artefakte	12
	Literatur	15
2	Strahlenschutz	17
	<i>T. Blasenbrey, D. Kildal, M.-A. Geibel</i>	
2.1	Strahlendosis, Strahlenbelastung	18
2.1.1	Folgen zu hoher Strahlendosen	18
2.1.2	Wie erklärt man sich die Strahlenschäden?	18
2.1.3	Wie kann man sich schützen? Und wo sollte man sich aufhalten?	18
2.1.4	Strahlendosis	18
2.2	Einheiten	19
2.3	Natürliche Strahlendosis und Beispiele aus der Medizin	19
2.3.1	Beispiele für den Strahlendosisbereich 0,1–1000 μ Sv	20
2.3.2	Beispiele für den Strahlendosisbereich 1–100 mSv	20
2.3.3	Beispiele für den Strahlendosisbereich über 100 mSv	20
2.4	Strahlenschutzgrenzwerte	21
2.5	Strahlenempfindlichkeit	21
2.6	Strahlenschutz in der Praxis	22
2.6.1	ALARA-Prinzip	22
2.6.2	Konkreter Schutz	23
2.6.3	Schutzbekleidung für Patienten (Patientenschutzmittel)	23
2.6.4	Schutzbekleidung für das Personal	31
	Literatur	32

II Thorax

3	Atemwege	35
	<i>J. Wichmann, D. Kildal</i>	
3.1	Historisches	36
3.2	Anatomie	36
3.3	Supraglottisches Atemwegsmanagement	38
3.3.1	Guedel-Tubus – Oropharyngealtubus	38
3.3.2	Wendel-Tubus – Nasopharyngealtubus	39
3.3.3	Larynxtubus	40
3.3.4	Larynxmaske	40
3.4	Subglottisches Atemwegsmanagement	41

3.4.1	Endotrachealtubus	41
3.4.2	Doppellumentubus	49
3.4.3	Trachealkanüle	50
3.4.4	Sprechkanüle beim tracheotomierten Patienten	53
3.4.5	Sprechkanüle beim laryngektomierten Patienten	54
3.5	Andere iatrogene Fremdkörper der Atemwege	55
3.5.1	Trachealstent und Bronchusstent	55
3.5.2	Lungenvolumenreduktion, Bronchusventile und Coils	57
3.5.3	Bronchusblocker	60
3.5.4	Thoraxdrainagen	61
3.5.5	Plomben	69
3.5.6	Nahtmaterialien	70
3.5.7	Akzidentielle medizinische Fremdkörper	72
3.6	Pitfall	74
3.7	Quiz	76
4	Herz	79
	<i>D. Kildal, J. Pocij</i>	
4.1	Anatomische Vorbemerkungen	80
4.1.1	Größe und Gewicht	80
4.1.2	Lage	80
4.1.3	Herz-Thorax-Quotient (HTQ)	81
4.1.4	Herzbinnenräume	82
4.1.5	Herzklappen	85
4.1.6	Herzkranzgefäße	89
4.2	Herzklappenrekonstruktion und Herzklappenersatz	91
4.2.1	Historisches	91
4.2.2	Produkte	92
4.2.3	Darstellung der Klappenprothesen im Röntgenbild	111
4.2.4	Quiz	130
4.2.5	Komplikationen	135
4.2.6	Okkluder	149
4.3	Implantierbare Herzschrittmacher und Defibrillatoren	161
4.3.1	Geschichte	161
4.3.2	Aufbau implantierbarer Herzschrittmacher und Defibrillatoren	162
4.3.3	Abbildung des Schrittmachersystems im Röntgenbild	167
4.3.4	Arten von Herzschrittmachern	168
4.3.5	MRT-Sicherheit	189
4.3.6	Radiologisch relevante Komplikationen nach HSM/ICD-Anlage	190
4.3.7	Quiz	209
	Literatur	214
III	Abdomen	
5	Fremdmaterialien im Gastrointestinaltrakt	217
	<i>M. Kallenbach, D. Kildal</i>	
5.1	Anatomie	219
5.1.1	Ösophagus	219
5.1.2	Magen	220
5.1.3	Duodenum	221
5.1.4	Jejunum und Ileum	221
5.1.5	Kolon	222

5.1.6	Leber	223
5.1.7	Gallenwege	224
5.2	Ernährungs sonden	226
5.2.1	Historisches	226
5.2.2	Moderne Ernährungs sonden	226
5.2.3	Perkutane endoskopische Gastrostomie (PEG)	234
5.3	Stents	241
5.3.1	Ösophagus, Magen, Duodenum, Kolon	241
5.3.2	Gallenwege	248
5.4	Operative Verfahren bei Adipositas	261
5.4.1	Magenballon	261
5.4.2	Gastric banding	262
5.4.3	Magenschrittmacher	264
5.5	Akzidentielle Fremdkörper	264
5.5.1	Bolus	265
5.6	Sonstige Fremdmaterialien	275
5.6.1	Dekompressionssonden	276
5.6.2	Clips	277
5.6.3	Endoskopiekapseln	283
5.6.4	Drainagen	285
5.6.5	Akzidentielle, iatrogen eingebrachte Fremdkörper	288
5.7	Pitfalls	291
5.8	Quiz	294
	Literatur	296
6	Fremdmaterialien im Urogenitaltrakt	297
	<i>U. Hundertmark, D. Kildal</i>	
6.1	Anatomie	298
6.2	Harnblasenkatheter	300
6.2.1	Historisches	300
6.2.2	Moderne Harnblasenkatheter	300
6.3	Nephrostomie/Nephrostoma	309
6.3.1	Anlage des Nephrostomas	309
6.4	Ureterschienung/Doppel-J-Katheter (DJ)	310
6.4.1	Historisches	311
6.4.2	Anlage des DJ	311
6.4.3	Permanente Harnableitung mittels MemoKath	316
6.5	Operative Verfahren bei Impotenz (»Penisprothese«)	317
6.5.1	Operative Anlage der Penisprothese	317
6.6	Operative Verfahren zur Therapie der Harninkontinenz	319
6.6.1	Artifizieller (= künstlicher) Harnblasensphinkter	319
6.6.2	Sakrale Neuromodulation	322
6.7	Sonstige Fremdkörper	324
6.7.1	Harnröhrenstents	324
6.7.2	Hodenprothese	325
6.7.3	Clipmaterial	326
6.7.4	Seeds in der Prostata	328
6.8	Akzidentielle und sonstige Fremdkörper	329
6.8.1	Piercings	329
6.8.2	Autoerotischer Unfall	331
6.9	Quiz	335
	Literatur	337

7	Fremdmaterialien in der gynäkologischen Bildgebung	339
	<i>D. Kildal</i>	
7.1	Brustaugmentation	340
7.1.1	Materialien	340
7.1.2	Komplikationen	344
7.1.3	Alternative Methoden der Brustaugmentation	348
7.2	Pessar	350
7.2.1	Würfelpessare	351
7.2.2	Ringpessare	352
7.2.3	Siebschalenpessare	353
7.2.4	Ringpessar nach Arabin	356
7.3	Intrauterinpessar	356
7.3.1	Dislokation und sekundäre Perforation	360
7.4	Sonstige Fremdkörper	362
7.4.1	Verhütungsring (Nuvaring)	362
7.4.2	Piercing	364
7.4.3	Tampon	366
7.5	Schwangerschaft	368
7.5.1	Pitfalls	368
7.5.2	Risiken der Strahlenbelastung bei Embryonen bzw. Feten	370
7.6	Quiz	371
	Literatur	372

IV Kinder

8	Fremdmaterialien in der pädiatrischen Bildgebung	375
	<i>D. Kildal, J. Wichmann</i>	
8.1	Besonderheiten der Anatomie	376
8.1.1	Zwerchfellkuppeln	376
8.1.2	Herzschatten	377
8.1.3	Herz-Thorax-Quotient (HTQ)	377
8.1.4	Mediastinum	378
8.1.5	Trachea	379
8.1.6	Rippen	380
8.2	Endotrachealtubus (ETT)	380
8.3	Zentraler Venenkatheter (ZVK)	382
8.4	Nabelvenenkatheter (NVK)	388
8.5	Nabelarterienkatheter (NAK)	390
8.6	Sonstige iatrogene Fremdkörper	395
8.6.1	Ductusverschluss	395
8.6.2	Magensonden	396
8.6.3	Thoraxdrainagen	397
8.7	Akzidentielle Fremdkörper	398
8.7.1	Ingestion	398
8.7.2	Aspiration	402
8.7.3	Andere Fremdkörper	404
8.8	Quiz	406
	Literatur	408

V GefäÙe

9 GefäÙzugänge	411
<i>D. Kildal, J. Wichmann, J. Pocij</i>	
9.1 Venöse Zugänge	412
9.1.1 Periphervenöse Zugänge	412
9.1.2 Zentralvenöse Zugänge	421
9.1.3 Komplikationen	441
9.1.4 Pitfalls	483
9.2 Arterielle Zugänge	486
9.2.1 Periphere arterielle Zugänge	486
9.2.2 Intraaortale Ballonpumpe (IABP)	486
9.2.3 Impella Device	489
9.3 Quiz	491
Literatur	499
10 Fremdmaterialien nach vaskulären Interventionen	501
<i>D. Kildal, T. Schlosser</i>	
10.1 Angioplastie	502
10.1.1 Ballonangioplastie	502
10.1.2 Stentangioplastie	504
10.1.3 Stentprothesen	505
10.1.4 Anatomische Zuordnung	509
10.1.5 Komplikationen	524
10.2 Cava-Filter	542
10.3 GefäÙverschieÙende Verfahren	543
10.4 Pitfall	546
10.5 Quiz	548
Literatur	550

Anhang

A Quizlösungen	552
Atemwege	552
Herz	554
Abdomen, Gastrointestinaltrakt	557
Urologie	558
Gynäkologie	559
Kinder	560
GefäÙzugänge	561
Vaskuläre Interventionen	564
B Das letzte Wort	565
Stichwortverzeichnis	566

Mitarbeiterverzeichnis

Blasenbrey, Tilmann, Dr.-Ing. Dipl.-Phys.

Ulm

Geibel, Margrit-Ann, Prof. Dr. med. dent.

Ulm

Hundertmark, Ulrike, Dr. med.

Köln

Kallenbach, Michael, Dr. med.

Blaubeuren

Kildal, Daniela, Dr. med.

Günzburg

Pociej, Joanna Zofia, Dr.med.

Berlin

Schlosser, Thomas, Prof. Dr. med.

Essen

Wichmann, Jana, Dr. med.

Ulm

Abkürzungen

a. e.	am ehesten	HBK	Harnblasenkatheter
ACD	A. coronaria dexter	HE	Hounsfield-Einheit
ACPO	»acute colonic pseudo-obstruction« (Ogilvie-Syndrom)	HIV	humanes Immundefizienzvirus
ACS	A. coronaria sinistra	Hkt	Hämatokrit
ACVB	»coronary artery bypass graft«	HNO	Hals-Nasen-Ohren
AFC	A. femoralis communis	HSM	Herzschrittmacher
AFS	A. femoralis superficialis	HTQ	Herz-Thorax-Quotient
AICD	automatischer implantierbarer Kardioverter-Defibrillator	HU	»Hounsfield unit« (Hounsfield-Einheit)
AK	Aortenklappe	HWK	Halswirbelkörper
AKE	Aortenklappenersatz	i. P.	in Projektion
ARDS	»acute respiratory distress syndrome«	IABP	intraaortale Ballonpumpe
ASD	Atriumseptumdefekt	ICD	implantierbarer Kardioverter- Defibrillator
ASS	Azetylsalizylsäure	ICR	Interkostalraum
AUG	Ausscheidungsurogramm	INR	»international normalized ratio«
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz	ITS	Intensivstation
BMS	»bare metal stent«	IUD (IUP)	»intrauterine device« (Intrauterinpressar)
Bq	Becquerel	KD	Kardioverter-Defibrillator
BÜS	Beckenübersichtsaufnahme	KM	Kontrastmittel
BWK	Brustwirbelkörper	LAA	linksatriales Aurikel
CCE	Cholezystektomie	LAD	Lymphadenektomie oder »left anterior descending coronary artery« (je nach Zusammenhang)
CCT	kranielle Computertomographie, Schädel-CT	LCA	»left coronary artery« (A. coronaria sinistra; linke Koronararterie)
Ch	Charrière (Maß für den äußeren Umfang von Kanülen und Kathetern)	LNE	Lymphnodektomie
CHE	Cholezystektomie	LWK	Lendenwirbelkörper
CMOS	»complementary metal-oxide- semiconductor« (sich ergänzender Metalloxidhalbleiter)	LWS	Lendenwirbelsäule
COPD	»chronic obstructive pulmonal disease« (chronisch obstruktive Lungenerkrankung)	MIP	»maximum intensity projection«
DAB	Ductus arteriosus Botalli	MK	Mitralklappe
DES	»drug eluting stent«	MKE	Mitralklappenersatz
DHC	Ductus hepatocholedochus	MRCP	Magnetresonan- Cholangiopankreatikographie
DK	Dauerkatheter	MTRA	medizinisch-technische(r) Röntgenassistent(in)
DLT	Doppellumentubus	NAK	Nabelarterienkatheter
DNA (DNS)	»desoxyrebonucleic acid« (Desoxyribonukleinsäure)	NBG-Code	international anerkannter Code zur Typisierung von Herzschrittmachern (Details in ► Tab. 4.1)
DSA	digitale Subtraktionsangiographie	NEC	nekrotisierende Enterokolitis
DVT	digitale Volumentomographie	NVK	Nabelvenenkatheter
ERCP	endoskopisch retrograde Cholangio- pankreatikographie	PAK	Pulmonalarterienkatheter
ETT	Endotrachealtubus	pAVK	periphere arterielle Verschluss- krankheit
EVAR	endovaskuläre Aortenreparatur	PDA	persistierender Ductus arteriosus
Fr	French (Maß für den äußeren Umfang von Kanülen und Kathetern)	PEEP	»positive endexpiratory pressure« (postiv endexpirativer Druck)
GI	gastrointestinal	PEG	perkutane endoskopische Gastrostomie
GRS	Global Research for Safety	PEJ	perkutane endoskopische Jejunostomie
Gy	Gray (Einheit für die Energiedosis durch ionisierende Strahlung)	PFN	proximaler Femurnagel

Abkürzungen

PFO	persistierendes Foramen ovale
PICC-Line-Katheter	»peripher inserted central catheter«
PM	Pacemaker (Schrittmacher)
PPVI	»percutaneous pulmonary valve implantation«
PSA	Panoramaschichtaufnahme
PTA	perkutane transluminale Angioplastie
PTCD	perkutane transhepatische Cholangiodrainage
PTFE	Polytetrafluorethen (Teflon)
PU/PUR	Polyurethan
PVA	Polyvinylalkohol
PVC	Polyvinylchlorid
RCA	»right coronary artery« (A. coronaria dexter; rechte Koronararterie)
RCX	Ramus circumflexus (der linken Koronararterie)
rem	»roentgen equivalent in man« (veraltete Einheit)
RIVA	Ramus interventricularis anterior (der linken Koronararterie)
RöV	Röntgenverordnung
RR	Blutdruck
RUG	retrograde Urethrographie
sDK	suprapubische Harnblasenkatheter
SM	Schrittmacher
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung
Sv	Sievert (Einheit für gewichtete Strahlendosis)
TA	transapikal
TAVI	»transcatheter aortic valve implantation« (kathetergestützter perkutaner Aortenklappenersatz)
TAX	transaxillär
tDK	transurethraler Harnblasenkatheter
TDX	Thoraxdrainage
TEE	transösophageale Echokardiographie
TEP	Totalendoprothese
TF	transfemorale
TIPS	transjugulärer intrahepatischer portosystemischer Shunt
TK	Trikuspidalklappe
TKE	Trikuspidalklappenersatz
TRUS	transrektaler Ultraschall
TSS	Toxic-Shock-Syndrom
VCI	V. cava inferior
VCS	V. cava superior
VHF	Vorhofflimmern
VHO	Vorhofseptumokkluder
VJE	V. jugularis externa
VJI	V. jugularis interna
VPS	ventrikuloperitonealer Shunt
VSD	Ventrikelseptumdefekt
ZVD	zentraler Venendruck
ZVK	zentraler Venenkatheter

Grundlagen

- Kapitel 1** **Physikalische Grundlagen** – 3
T. Blasenbrey, D. Kildal, M.-A. Geibel
- Kapitel 2** **Strahlenschutz** – 17
T. Blasenbrey, D. Kildal, M.-A. Geibel

Physikalische Grundlagen

T. Blasenbrey, D. Kildal, M.-A. Geibel

- 1.1 Was ist Röntgenstrahlung? – 4**
- 1.2 Wie entsteht Röntgenstrahlung? – 4**
- 1.3 Haupteffekte der Röntgenstrahlung – 5**
 - 1.3.1 Was kann passieren? – 5
 - 1.3.2 Wann treten diese Effekte beim Röntgen auf? – 6
- 1.4 Bildentstehung – 7**
 - 1.4.1 Bildentstehung und Bildgebung – 8
- 1.5 Kontrastmittel – 11**
- 1.6 Artefakte – 12**
- Literatur – 15**

In diesem Kapitel sollen die Grundlagen des Röntgens in einem Schnelldurchlauf und aus physikalischer Sicht in stark vereinfachter Art dargestellt werden. Der anschaulichen Erklärung wird gegenüber dem Anspruch auf Vollständigkeit der Vorzug gegeben.

1.1 Was ist Röntgenstrahlung?

Die Röntgenstrahlung wurde nach ihrem Entdecker Wilhelm Conrad Röntgen benannt (erste Publikation »Über eine neue Art von Strahlung« 1895). Es handelt sich um elektromagnetische Wellen wie auch sichtbares Licht, Mikrowellen, Radiowellen usw. (■ Tab. 1.1).

Röntgenstrahlen liegen im elektromagnetischen Spektrum zwischen ultravioletter und Gammastrahlung.

Radiowellen werden keine biologischen Wirkungen zugeordnet, erst mit der Wärmestrahlung kann eine biologische Wirkung festgestellt werden, und erst mit der UV-Strahlung treten abhängig von der Energie der Strahlung schädliche Wirkungen auf.

Röntgenstrahlung ist im Vergleich zu sichtbarem Licht (380–750 nm) kurzwelliger (ca. 0,01–10 nm) bzw. hochfrequenter und damit auch energiereicher. Man bezeichnet energiereichere Röntgenstrahlung als »harte« Röntgenstrahlung (100–1000 keV) und entsprechend energieärmere als »weiche« Röntgenstrahlung (bis 100 keV), Letztere wird in hohem Ausmaß vom Körper absorbiert.

➤ **Um unnötige Strahlenbelastung zu vermeiden, wird diese weiche Strahlung für die meisten radiologischen Aufnahmen bereits an der Röntgenquelle durch »Aufhärtungsfilter« größtenteils ausgefiltert.**

Röntgenstrahlung ist eine indirekt ionisierende Strahlung, d. h. die Ionisation entsteht sekundär nach Wechselwirkung mit Atomen und Molekülen (radioaktive α -, β -Strahlung ist direkt ionisierende Strahlung.)

1.2 Wie entsteht Röntgenstrahlung?

Mittels Röntgenröhren wird Röntgenstrahlung erzeugt. Dabei werden aus einer beheizten Kathode (negativ geladene Glühwendel) durch eine angelegte Hochspannung Elektronen ausgelöst und beschleunigt, diese »schlagen« im Anodenmaterial ein und werden dort »abgebremst«. Dabei geben sie ihre Energie ab. Diese Energie geht in Röntgenstrahlung und überwiegend (95–99%) in Wärme über, daher muss die Anode gekühlt werden. ■ Abb. 1.1 zeigt eine ältere, ausgediente Röntgenröhre.

Man unterscheidet

- die charakteristische Röntgenstrahlung (abhängig vom Anodenmaterial) und
- die Bremsstrahlung, verursacht durch das »Abbremsen der Elektronen« bzw. den »umgekehrten« Photoeffekt.

Die Bremsstrahlung wird zum Röntgen verwendet.

Die schematische Funktionsweise einer Röntgenröhre ist in ■ Abb. 1.2 dargestellt.

Die Intensität der Röntgenstrahlung ist proportional zur angelegten Spannung.

■ Tab. 1.1 Grobe Übersicht von elektromagnetischer Strahlung: Wellenlängen-, Frequenz-, Energiebereiche

	Wellenlänge	Frequenz	Energie
Funk- und Radiowellen	$1 \times 10^9 - 1 \times 10^{13}$ nm	$3 \times 10^{-8} - 3 \times 10^{-4}$ THz	$1 \times 10^{-10} - 1 \times 10^{-6}$ eV
Mikrowellen	$1 \times 10^6 - 1 \times 10^9$ nm	$3 \times 10^{-4} - 3 \times 10^{-1}$ THz	$1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-3}$ eV
Infrarot-, Wärmestrahlung	$780 - 1 \times 10^6$ nm	0,3–384 THz	$1 \times 10^{-3} - 1,6$ eV
Sichtbares Licht	380–780 nm	384–790 THz	1,6–3,3 eV
UV Strahlung	10–380 nm	$790 - 3 \times 10^4$ THz	3,3–120 eV
Röntgenstrahlung	0,01–10 nm	$3 \times 10^4 - 2 \times 10^8$ THz	$100 - 1 \times 10^6$ eV
γ -Strahlung/Gammastrahlung	0,00001–0,01 nm	$3 \times 10^7 - 3 \times 10^{10}$ THz	$1 \times 10^5 - 1 \times 10^8$ eV
Höhenstrahlung/kosmische Strahlung	$1 \times 10^{-17} - 1 \times 10^{-6}$ nm	$3 \times 10^{11} - 2 \times 10^{22}$ THz	$1 \times 10^9 - 1 \times 10^{20}$ eV

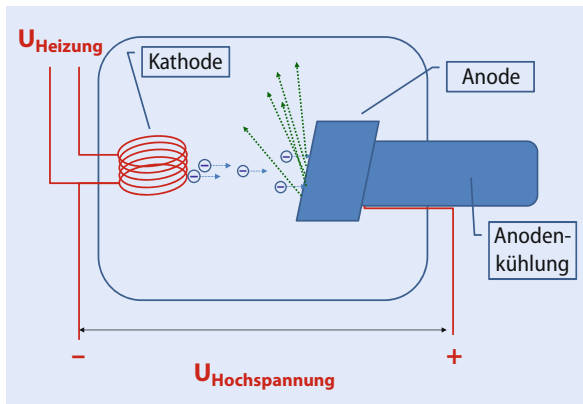
1 nm = 1×10^{-9} m (Meter)

1 THz = 1×10^{12} Hz (Hertz)

1 eV (Elektronenvolt)



■ **Abb. 1.1** Foto einer älteren, ausgedienten Röntgenröhre. Man kann auf dem Anodenteller deutlich den Brennring sehen (durch permanente Drehung des Anodentellers wird eine punktuelle Überhitzung des Brennpunktes vermieden. Die aufschlagenden Elektronen führen zu einer Erosion, die als dunkler Streifen auf dem Anodenmaterial sichtbar wird)



■ **Abb. 1.2** Schematische Funktionsweise einer Röntgenröhre

1.3 Haupteffekte der Röntgenstrahlung

Betrachten wir den menschlichen Körper als Ansammlung von Atomen und Molekülen. Nehmen wir weiter an, dass sich Elektronen auf Schalenbahnen um den Atomkern bewegen. Ferner kann man Licht als Welle oder auch als Teilchen (Photon) beschreiben. Dies wird auch als Welle-Teilchen-Dualismus bezeichnet – elektromagnetische Wellen bzw. Photonen. Wir betrachten nun Röntgenstrahlung als Photon und stellen uns nun vor, dass das Photon auf

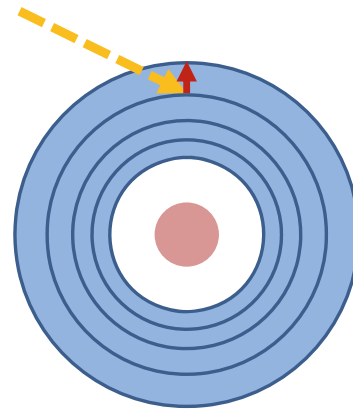
ein Atom oder Molekül »einschlägt«. Je nach Energie des Photons können verschiedene Effekte auftreten, die im Folgenden beschrieben sind.

1.3.1 Was kann passieren?

Absorption

Absorption: Photon wird absorbiert (■ Abb. 1.3).

Das Photon regt ein gebundenes Elektron an, das Atom, Molekül geht in einen angeregten Zustand über. Das Elektron hat einen höheren Energiezustand.

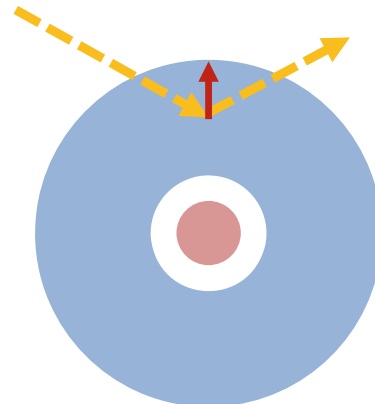


■ **Abb. 1.3** Schematische Darstellung der Absorption

Streuung

Streuung: Umwandlung Photon in gestreutes Photon (■ Abb. 1.4).

Das Photon wechselwirkt mit dem gebundenen Elektron und verändert damit seine Energie bzw. Wellenlänge und Richtung. Die Energiedifferenz geht auf das Atom über, dadurch wird dieses in einen angeregten Zustand überführt.

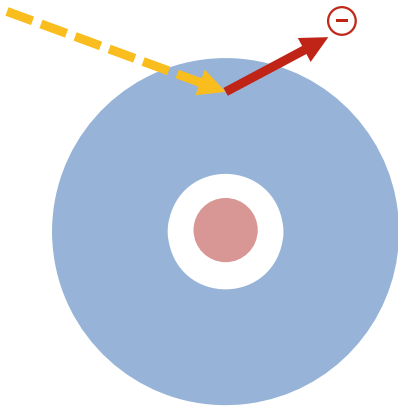


■ **Abb. 1.4** Schematische Darstellung der Streuung

Photoeffekt (und Photoionisation)

Photoeffekt: Umwandlung Photon in freies Elektron (■ Abb. 1.5).

Das Photon löst bzw. »schlägt« ein Elektron aus dem Atom, Molekül, das führt zur Ionisation. Und das freie Elektron kann Folgereaktionen auslösen.



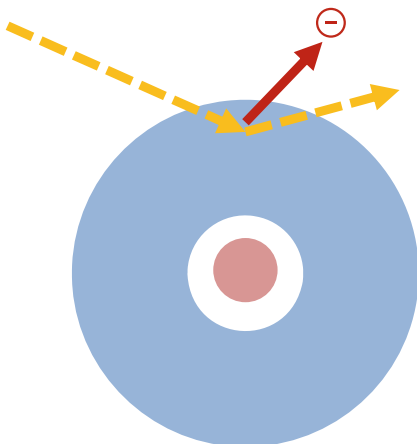
■ Abb. 1.5 Schematische Darstellung des Photoeffektes

Anmerkung Der umgekehrte Photoeffekt wird zur Erzeugung der Röntgenstrahlung in der Röntgenröhre genutzt.

Compton-Streuung

Compton-Streuung: Umwandlung Photon in freies Elektron plus gestreutes Photon (■ Abb. 1.6).

Dieser Effekt ist eine Kombination von Photoeffekt und Streuung. Es entsteht ein freies Elektron und ein Photon.

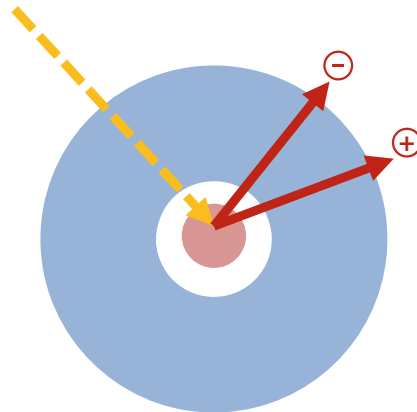


■ Abb. 1.6 Schematische Darstellung der Compton-Streuung

Paarbildung

Paarbildung: Wechselwirkung von Photon mit dem Atomkern, dabei entsteht ein Elektron-Positron-Paar (■ Abb. 1.7).

Das Photon dringt bis zum Kern vor, wozu eine hohe Energie (ab ca. 1 MeV) notwendig ist, und wandelt sich in ein freies Elektron und ein Positron um. Folgereaktionen sind die Konsequenz. Paarbildung ist für energiereichere Strahlung (wie z. B. Gammastrahlung) wichtiger.



■ Abb. 1.7 Schematische Darstellung der Paarbildung

1.3.2 Wann treten diese Effekte beim Röntgen auf?

Die Effekte sind von der Energie der Röntgenstrahlung abhängig.

- Für weiche Röntgenstrahlung ist Absorption und Streuung wichtiger bzw. tritt häufiger auf, dies gilt beispielsweise auch für sichtbares Licht.
- Für harte Röntgenstrahlung reicht die Energie auch aus für den Photoeffekt und die Compton-Streuung und damit für die Ionisation.

Hier kann man bereits ableiten, dass bei Verwendung harter Röntgenstrahlung weniger Absorption und Streuung auftritt. Damit entstehen kontrastreichere Bilder. Allerdings ist wegen der energiereicheren Röntgenstrahlung auch die Strahlenbelastung höher.

Die Energieeinstufung der Röntgenstrahlung ist in ■ Tab. 1.2 dargestellt.

Die Ionisation wird im Wesentlichen für die Strahenschäden verantwortlich gemacht, z. B. durch Veränderung der DNA (DNS).

■ Tab. 1.2 Energieeinstufung der Röntgenstrahlung

Röntgenstrahlung	Energie
Überweich	5–21 keV
Weich	21–62 keV
Mittelhart	62–124 keV
Hart	124–248 keV
Überhart	>248 keV

1.4 Bildentstehung

Röntgenbilder entstehen prinzipiell wie Fotos, jedoch handelt es sich bei Röntgen nicht hauptsächlich um Reflexion (wie bei der Fotografie), sondern um eine Durchstrahlung vergleichbar zu Fotos von Glasmalereien.

Wie kann man sich das vorstellen? Vereinfacht gehen wir von einer punktförmigen Strahlungsquelle aus, die der Startpunkt von geradlinigen Strahlen ist. Die Strahlen durchdringen den Körper (das Objekt) und enden in der Bildebene auf dem Film oder Detektor (■ Abb. 1.8 und ■ Abb. 1.9). Dazwischen befinden sich verschieden »optische Elemente«, die die Bildqualität verbessern (z. B. ähnlich dem Objektiv eines Fotos). Beim digitalen Röntgen werden anstatt Filmen Detektoren verwendet wie beim digitalen Fotografieren, z. B. CMOS (»complementary metal-oxide-semiconductor«, die heute auch in jedem Handy Anwendung finden).

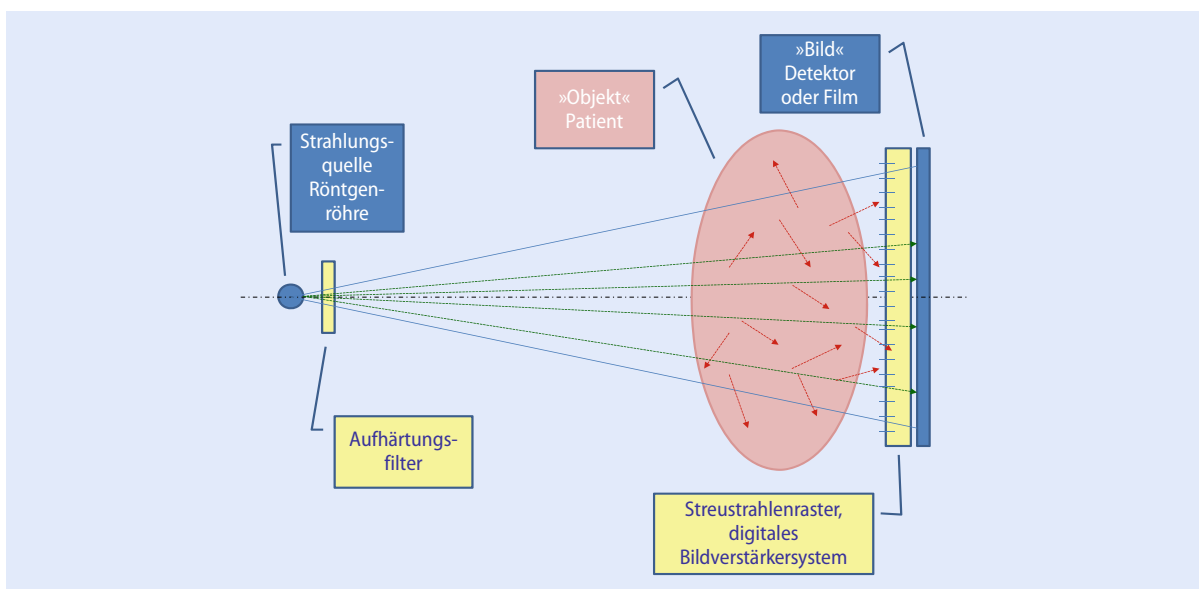


■ Abb. 1.9 Röntgenerät

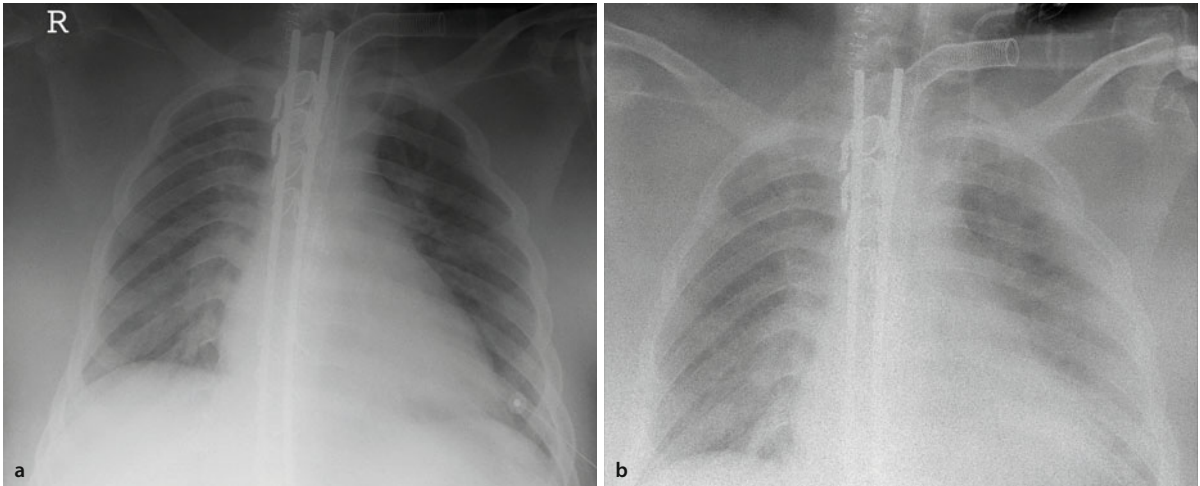
Begriffsbestimmung

Folgende Bezeichnungen der Strahlen sind üblich:

- **Nutzstrahlung** ist die Strahlung, die zum Durchleuchten eingesetzt wird bzw. »an den Start geht«.
- **Streustrahlung** ist die Strahlung, die im Patienten gestreut wird und eine Art Grauschleier im Bild bewirkt. Dieser Effekt wird durch das vor dem Detektor liegende Strahlenraster reduziert.
- **Durchlassstrahlung** ist die Strahlung, die ungewollt in die Umgebung geht und die auch durch Abschirmung nicht verhindert werden kann.



■ Abb. 1.8 Schematischer Aufbau beim Röntgen. Zentralprojektion



■ **Abb. 1.10a, b** Röntgen-Thorax ohne (a) und mit (b) Streustrahlenfilter. Bild b ist entsprechend erheblich unschärfer, dies ist insbesondere an dem fehlenden Kontrast des Osteosynthesematerials zu erkennen.

! Cave

Ein unerwünschter, aber nicht vermeidbarer Effekt ist die Streustrahlung.

Streustrahlung bewirkt einen »Grauschleier« auf dem Röntgenbild. Zur Reduzierung dieses unerwünschten Effektes wird ein Raster vor den Detektor oder Film angebracht (■ Abb. 1.10).

- Je weicher die Strahlung, desto höher ist die Absorption im Körper. Je mehr durchstrahltes Volumen, desto mehr Streuung.

Wie immer gibt es zwei Seiten der Medaille: Die starke Absorption relativ weicher Strahlung (normalerweise unerwünscht) macht man sich bei der Mammographie zunutze, um kleinste Verkalkungen zu erkennen.

Die Durchstrahlung bringt immer eine Überlagerung der verschiedenen durchstrahlten Ebenen mit sich, z. B. sichtbare Überlagerungen verschiedener Körperebenen im »Summationsbild« aber auch »Schatten« und Artefakte.

- Wenn eine Lagebestimmung notwendig ist (z. B. bei der Bestimmung der exakten Lage eines medizinischen Fremdkörpers), sind Aufnahmen in mindestens 2 Ebenen notwendig.

1.4.1 Bildentstehung und Bildgebung

»Farben«

Die Bildentstehung beim Röntgen hat Parallelen mit der des Fotografierens. Bei beiden Aufnahmen werden elektromagnetische Wellen (sichtbares Licht, Röntgenstrahlung) auf der Bildebene festgehalten (Foto, Röntgenbild –

»Rohbild«). Die Hauptunterschiede liegen im Frequenzbereich und damit der Energie der Strahlung. Bei der Fotografie wird die Reflexion an den Objekten festgehalten, beim Röntgen handelt es sich um eine Durchstrahlung. In beiden Fällen spielen Absorption und Streuung eine Rolle.

Ein systematisches Abbildungssystem beim digitalen Röntgen ist in ■ Abb. 1.11 dargestellt.

- Wie kann man nun die Durchstrahlung einfach beschreiben?

Das ideale Röntgenbild basiert auf der Schwächung der Röntgenstrahlen gemäß dem Lambert-Beer-Gesetz:

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

Der Absorptionskoeffizient μ ist proportional zu Z^4 (Z = Ordnungszahl).

Die Schwächung ist hauptsächlich abhängig von den folgenden Faktoren:

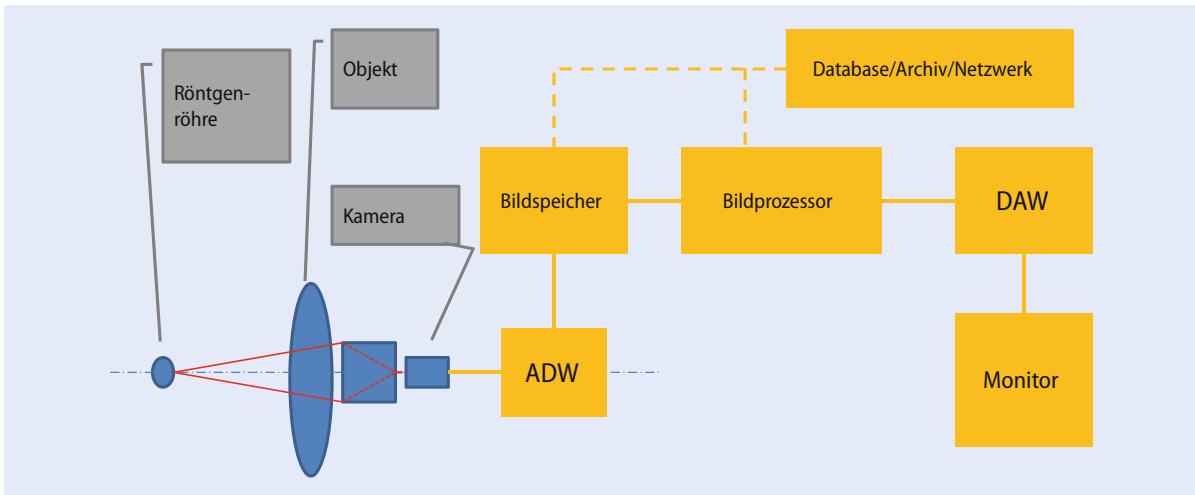
- Primärstrahlung,
- absorbierte Strahlung,
- Dicke.

Legen wir unser Augenmerk auf zwei Abhängigkeiten:

$$I \sim e^{-x}$$

Das bedeutet: Die Intensität der Strahlung nimmt exponentiell mit dem Abstand ab, d. h. die Röntgenstrahlung wird dementsprechend geschwächt – das ist wichtig für den Strahlenschutz.

$$I \sim e^{-Z^4}$$



■ **Abb. 1.11** Systematisches Abbildungssystem beim digitalen Röntgen (ADW = Analog-Digital-Wandler, DAW = Digital-Analog-Wandler)

Das bedeutet: Die Intensität der Strahlung nimmt exponentiell mit Z^4 ab (Z = Ordnungszahl), d. h. die Röntgenstrahlung wird dementsprechend »geschwächt«.

■ **Wie lässt sich dies auf die medizinische Anwendung übertragen?**

Oder anders gesagt:

Was wird auf dem Bild dargestellt bzw. unterschieden werden?

Was sagen uns die »Farben« auf dem Röntgenbild?

Und woraus besteht das, was dargestellt wird?

- **Gewebe, Blut** (»wässrige Lösung«) besteht hauptsächlich aus
 - Wasserstoff ($Z = 1$),
 - Kohlenstoff ($Z = 6$),
 - Stickstoff ($Z = 7$),
 - Sauerstoff ($Z = 8$) usw.
 Die Zusammensetzung ist jedoch unterschiedlich und damit auch ein gemitteltes » Z «. Dies resultiert in verschiedenen Grauwerten.
- **Luft** (z. B. Lufteinschlüsse) besteht hauptsächlich Stickstoff ($Z = 7$), Sauerstoff ($Z = 8$). Die Flächen erscheinen fast schwarz.
- **Knochen** und Zähne enthalten Kalzium ($Z = 20$). Auch hier ist die Zusammensetzung unterschiedlich, beispielsweise ist die Zusammensetzung von Zähnen dichter als die von Knochen, damit unterscheiden sich auch hier wieder die Grauwerte. Nahezu undurchlässige Beispiele sind:
 - **Zahnersatz Gold** ($Z = 79$),
 - **Strahlenschutz Blei** ($Z = 82$).

Wie kann man das auf die Röntgenbilder übersetzen (■ Tab. 1.3)?

■ **Tab. 1.3** Graustufen abhängig von der durchstrahlten Substanz

Substanzen	Effekt	Graustufe
Vakuum	Keiner	schwarz
Luft (Lunge ...)	Kaum Absorption	fast schwarz
Fett	Wenig Absorption	ähnlich Luft
Wasser (Leber, Milz, Blut ...)	Mehr Absorption, gute Abgrenzung zu Luft und Fett	heller
Knochen	Starke Absorption	hell
Zähne	Starke Absorption	hell
Fremdkörper wie Gold	Nahezu undurchlässig	weiß
Strahlenschutz wie Blei	Undurchlässig	weiß

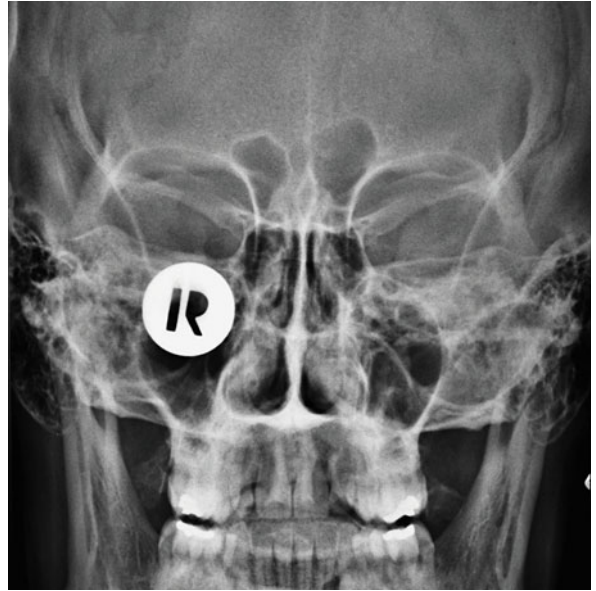
Zur Kalibrierung von CTs werden die Grauwerte von Luft und Wasser verwendet. Im CT werden die Schwächungswerte der einzelnen Voxel im durchleuchteten Gewebe berechnet. Diese Werte werden auch Hounsfield-Einheiten (HE, engl.: HU) genannt. Wasser wird der Wert 0, Luft -1000 HU zugeordnet.

Es sei noch angemerkt, dass Röntgenbilder in Analogie zur Fotografie »Negativbilder« sind.

- **Luft wird schwarz, Weichteile grau und Knochen weiß abgebildet** (■ Abb. 1.12).



■ **Abb. 1.12** Luft ist schwarz, Weichteile grau und Knochen weiß abgebildet



■ **Abb. 1.14** Überlagerung des Orbitabodens rechts und des Sinus maxillaris rechts durch die Seitenbezeichnung. Sollte der Patient in diesem Bereich Beschwerden haben, würde dieser Fehler zu einer Wiederholung des Bildes führen

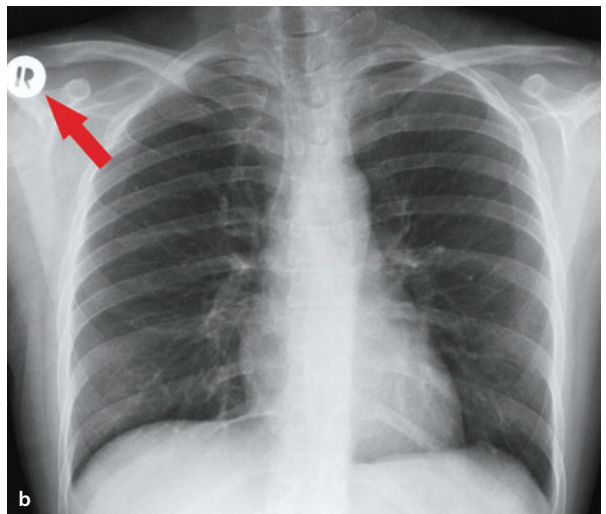
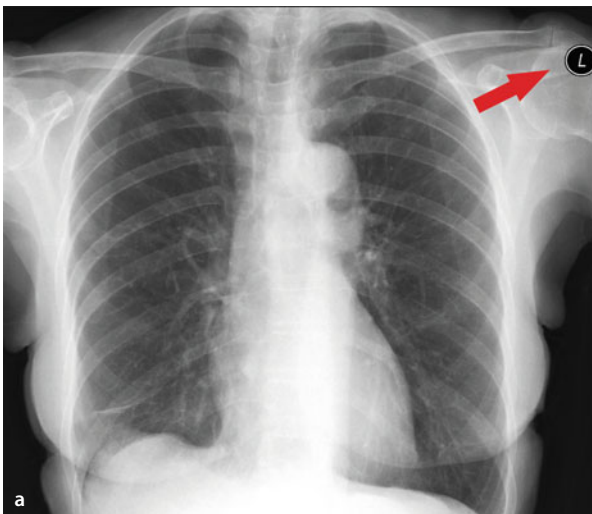
Seitenbezeichnung

Die Rechts-Links Bezeichnung erfolgt, als ob man vor dem Patienten steht (aus Sicht des Arztes), also umgekehrt zur »üblichen« Seitenbezeichnung aus Sicht des Patienten. Eine Seitenangabe muss zwingend auf dem Röntgenbild erfolgen. Üblich ist die Bezeichnung »L« für die linke Seite; aber auch »R« für rechts kommt vor (■ Abb. 1.13).

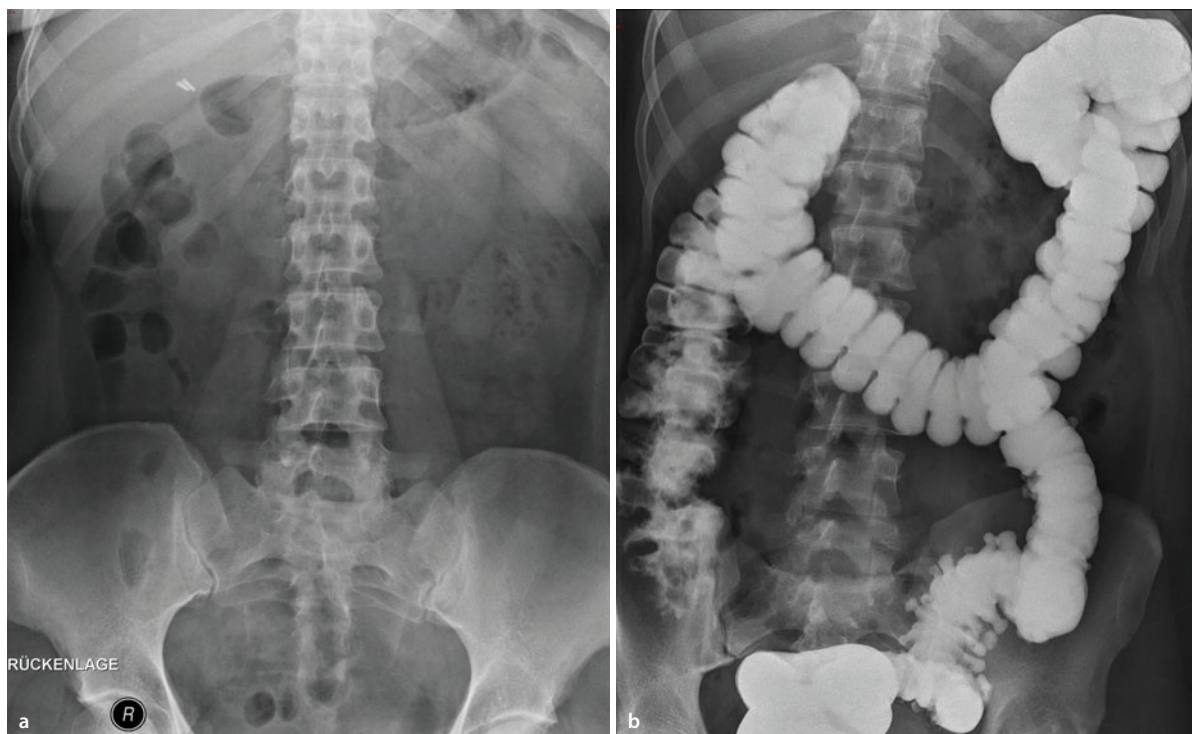
Häufig wird die metallische Plakette »L« oder »R« mit dem Patienten geröntgt, sodass die Seitenbezeich-

nung unwiederruflich auf dem Röntgenbild zu lesen ist (■ Abb. 1.13). Aber auch die nachträgliche, digitale Beschriftung ist heute möglich (■ Abb. 1.13a).

➤ **Wichtig ist, dass relevante Strukturen des Bildes nicht durch die Beschriftung überlagert werden dürfen (■ Abb. 1.14)!**



■ **Abb. 1.13a, b** Die Seitenangabe muss zwingend auf dem Röntgenbild erfolgen. Üblich ist die Bezeichnung »L« für die linke Seite (a). Es kommen aber auch »R« für rechts vor (b)



■ **Abb. 1.15a, b** Abdomenübersicht ohne Kontrastmittel (a) und mit einem positiven Kontrastmittel (b; hier ein jodhaltiges KM). Vor KM-Gabe lässt sich der Kolonrahmen fast gar nicht abgrenzen. Nur ein paar Luftschnitte im Colon ascendens sind Hinweise auf den Kolonrahmen. Nach KM-Gabe ist der Kolonrahmen komplett abzugrenzen und damit auch die Pathologie in diesem Fall: Sigmavertikel, die man ohne KM keinesfalls hätte diagnostizieren können

1.5 Kontrastmittel

In Fällen, in denen die durchstrahlten Substanzen eine ähnliche Röntgenstrahlenschwächung bedingen und daher im Röntgenbild nicht voneinander abzugrenzen sind, behilft man sich mit Substanzen, die den Dichteunterschied erhöhen können (Kontrastmittel).

Ähnliche Substanzen bzw. Substanzen mit ähnlichen Grauwerten können also durch Gabe von sog. Kontrastmitteln (KM) im Bild unterschieden werden (■ Abb. 1.15).

➤ Hier ist bereits anzumerken, dass die Auswahl der Untersuchungsmethoden – z. B. Röntgen, mit oder ohne Kontrastmittel (KM), digitale Volumentomographie (DVT), Computertomographie (CT) oder auch Magnetresonanztomographie (MRT), Sonographie etc. – durch die Fragestellung bestimmt ist bzw. durch das, was man erwartungsgemäß sehen möchte. Damit hängt die Auswahl der Untersuchungsmethode direkt von der Indikation bzw. Fragestellung ab.

1.6 Artefakte

Was sind Artefakte in dieser Betrachtung?

Die Durchstrahlung kann man sich ein wenig durch Glas-kunst in Kirchenfenster veranschaulichen. Bei der Durchstrahlung gibt es

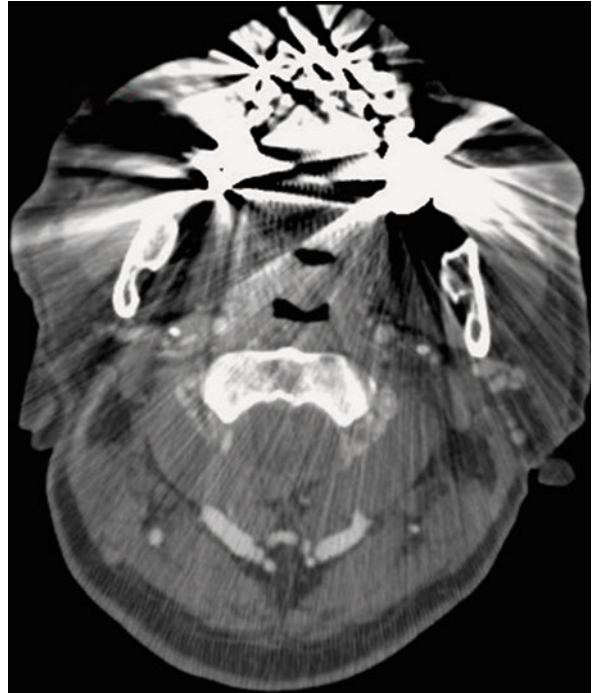
- undurchlässige oder nahezu undurchlässige Materialien/Bereiche, z. B. Fremdkörper aus Metall, die für Röntgenstrahlung undurchlässig sind (▣ Abb. 1.16). Diese Bildbereiche werden folglich nicht durchstrahlt. Es können sich »Schatten« bilden.
- Bildebenenüberlagerungen durch hintereinanderliegende Objekte/Bereiche, z. B. stärker absorbierende Bereiche wie »hintereinander liegende« Kochen oder Zähne überlagern sich und verändern somit das Bild, das zu Scheineffekten führen kann (▣ Abb. 1.16, ▣ Abb. 1.17).

➤ »Eine Frakturlinie setzt sich nicht in die Weichteile fort (▣ Abb. 1.18, ▣ Abb. 1.19).«

Diese Scheineffekte, also nicht wirklich vorhandene Bildelemente, nennt man Artefakte. Diese haben viele verschiedene Ursachen. Besonders ausgeprägt können sich Artefakte in der Computertomographie zeigen, beispielsweise können »Schatten« von Fremdkörpern im Schädel (Fremdkörper wie Zahnersatz) ganze Schädelbereiche un-beurteilbar machen (▣ Abb. 1.20).

Hier ist zu berücksichtigen, dass sich die Bildinfor-mationen aus Durchstrahlungen (CT, DVT) aus allen Rich-tungen zusammensetzen. Damit können »Schatten« plus Streuungen ganze Bereiche überdecken. In solchen Fällen kann ein Röntgenbild einem CT oder DVT in der Aus-sagekraft überlegen sein (▣ Abb. 1.21).

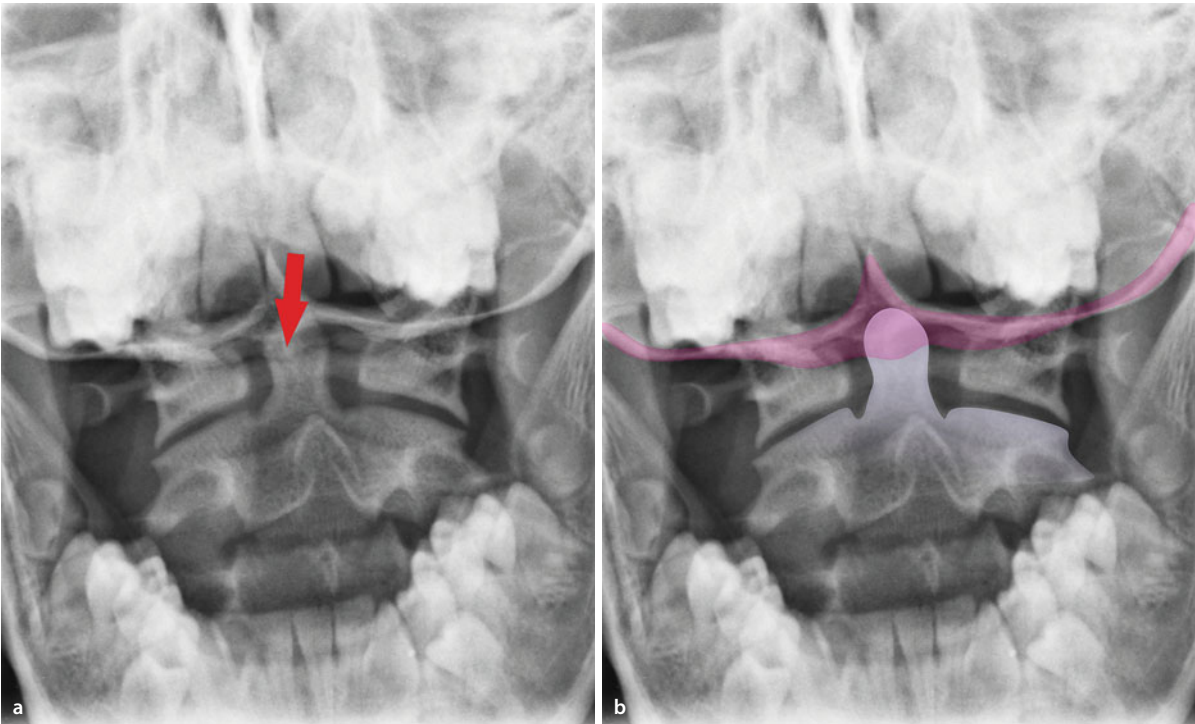
➤ Zusammenfassend ist die Erfahrung des Arztes entscheidend, um Artefakte von realen Befunden zu trennen, egal wie »schön« die Bilder sind.



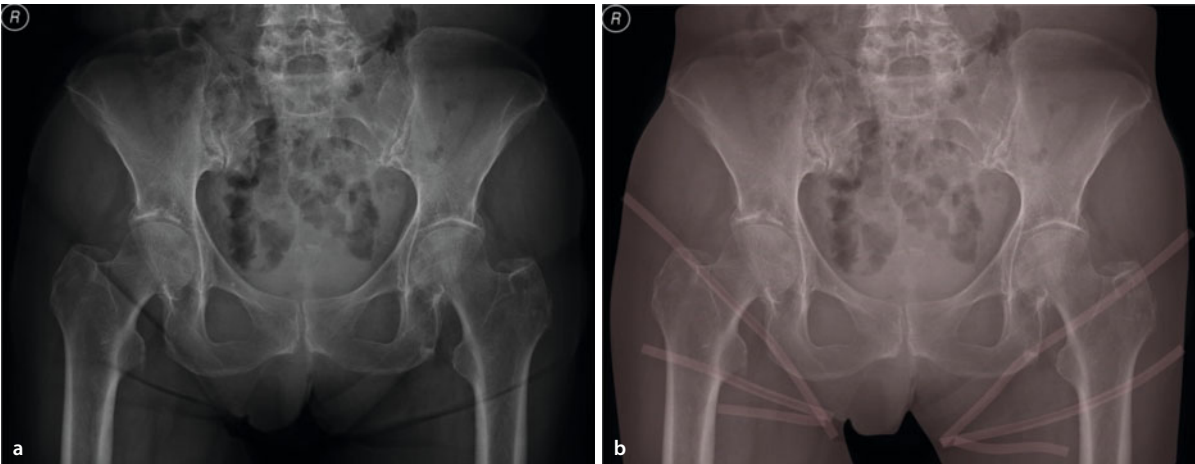
▣ Abb. 1.16 Massive Metallartefakte in einem CCT die die Beurteilung der gesamten Kieferregion unmöglich machen



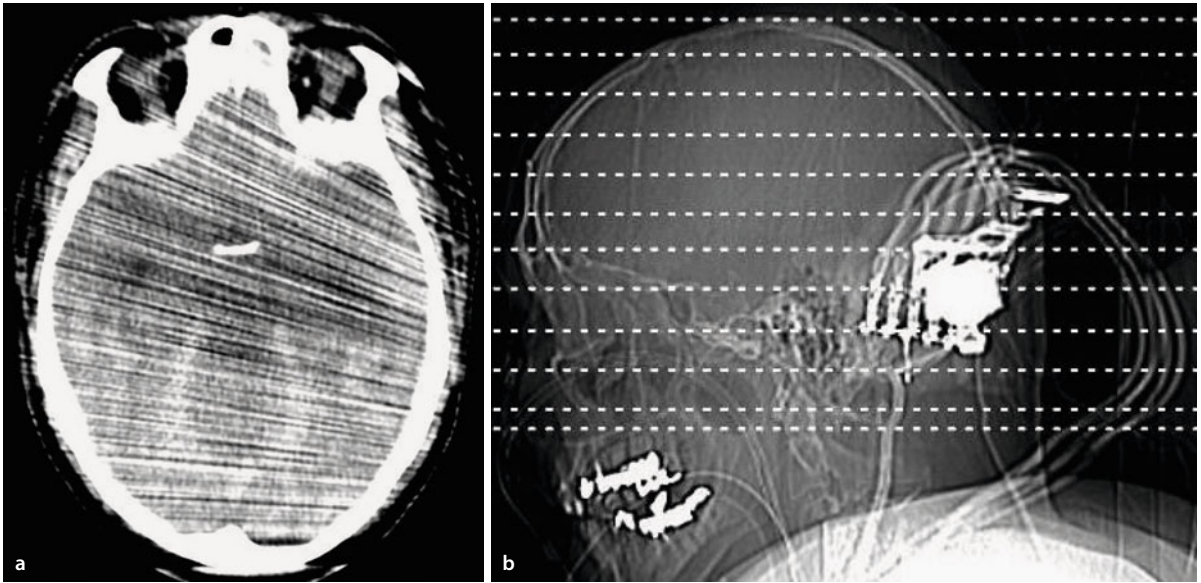
▣ Abb. 1.17 Röntgenbild des Dens bei einem Schulkind. Der Dens wurde leider nicht zentral getroffen und wird zudem durch das Hinterhauptbein überlagert. Durch die Überlagerungen der Milchzähne mit den bleibenden Zähnen ist zudem auch die Beurteilung des Kieferknochens deutlich erschwert



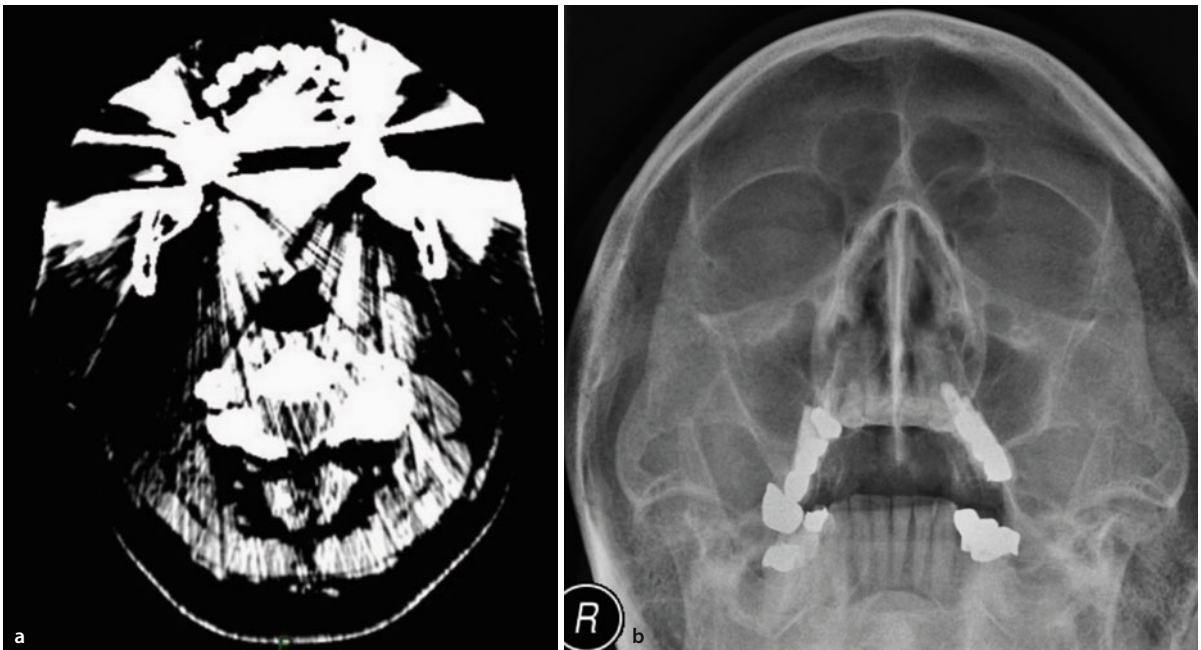
■ **Abb. 1.18a, b** Auch hier eine Dens-Zielaufnahme. Man sieht eine scharfe Aufhellungslinie über der Densbasis (a, Pfeil). Auf den ersten Blick könnte man eine Frakturlinie vermuten. Bei genauer Betrachtung allerdings ist die Linie auch außerhalb der Densstruktur abzugrenzen (b). Sie kann daher gar keine Frakturlinie sein. Es handelt sich auch in diesem Beispiel um eine Überlagerung durch das Hinterhauptbein. Ganz grob kann man sich merken: »Eine Frakturlinie setzt sich nicht in die Weichteile fort«.



■ **Abb. 1.19a, b** »Eine Frakturlinie setzt sich nicht in die Weichteile fort.« Wirklich nicht. Auch die Aufhellungslinien in diesem Beispiel entsprechen Überlagerungen, in diesem Fall Weichteillinien



■ **Abb. 1.20a, b** Vermeidbare Artefakte durch Fremdmaterial, im Topogramm als Teil des EKGs zu erkennen. Dieses hätte nach dem Topogramm unbedingt entfernt und an einer anderen Stelle gelagert werden müssen. Die Artefakte sind in diesem Beispiel so stark, dass man die ausgedehnte subarachnoidale Blutung des Patienten leicht übersehen könnte. In diesem Fall musste die gesamte Untersuchung wiederholt werden. Bilder freundlicherweise überlassen von T. Breining (Vielen Dank!)



■ **Abb. 1.21a, b** CCT eines Patienten nach Sturz. Der Kieferbereich einschließlich der Kieferhöhlen war wegen massiver Metallartefakte nicht ausreichend gut beurteilbar. Im Röntgenbild kann man die ossären Strukturen hingegen sehr gut beurteilen

Literatur

Weiterführende Literatur und Quellenangaben

- Ewen K (1997) Moderne Bildgebung: Physik, Gerätetechnik, Bildbearbeitung und -kommunikation, Strahlenschutz, Qualitätskontrolle. Thieme, Stuttgart [ISBN-10: 3131088613]
- Fendel H, Stieve F-E (1990) Vernünftige diagnostische Bildgebung bei Kindern. Bericht einer Studiengruppe der Weltgesundheitsorganisation. H. Hoffmann Verlag, Berlin
- Kalender WA (2006) Computertomographie: Grundlagen, Gerätetechnologie, Bildqualität, Anwendungen. Publicis Publishing, München [ISBN-10: 3895782157]
- Lasserre A, Blohm L (2000) Allgemeine und spezielle Radiologie. Urban & Fischer, München [ISBN-10: 3437421107]
- Oestmann JW (2005) Radiologie: Ein fallorientiertes Lehrbuch. Thieme, Stuttgart [ISBN-10: 3131267526]
- Schaefer-Prokop C (2009) Radiologische Diagnostik in der Intensivmedizin. Thieme, Stuttgart [ISBN-10: 3131117613]
- Schröder UG, Schröder BS (2007) Strahlenschutzkurs für Mediziner. Thieme, Stuttgart [ISBN-10: 313139112X]

Internetquellen

- Bayerisches Staatsministerium für Arbeit und Soziales, Familie und Integration [http://www.stmas.bayern.de/imperia/md/content/stmas/stmas_internet/arbeitsschutz/radio-roent-gesundheit.pdf]
- Bundesamt für Strahlenschutz [<http://www.bfs.de>]
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit [<http://www.bmub.bund.de/bmub/parlamentarische-vorgaenge/detailansicht/artikel/umweltradioaktivitaet-und-strahlenbelastung-jahresbericht-2010-gesamtbericht/>]
- Global Research for Safety – GRS [<http://www.grs.de/>]
- MTA-R – Portal für MTARs im Netz [<http://www.mta-r.de/blog/allgemein/2011/06/geheim-gehaltene-atomkatastrophe.html>]
- Radiation Dose Chart [<https://xkcd.com/radiation/>]
- Röntgenverordnung – RöV [http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/r_v_1987/gesamt.pdf]
- Strahlenschutzverordnung – StrlSchV [http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/strlschv_2001/gesamt.pdf]

Strahlenschutz

T. Blasenbrey, D. Kildal, M.-A. Geibel

2.1 Strahlendosis, Strahlenbelastung – 18

- 2.1.1 Folgen zu hoher Strahlendosen – 18
- 2.1.2 Wie erklärt man sich die Strahlenschäden? – 18
- 2.1.3 Wie kann man sich schützen? Und wo sollte man sich aufhalten? – 18
- 2.1.4 Strahlendosis – 18

2.2 Einheiten – 19

2.3 Natürliche Strahlendosis und Beispiele aus der Medizin – 19

- 2.3.1 Beispiele für den Strahlendosisbereich 0,1–1000 μSv – 20
- 2.3.2 Beispiele für den Strahlendosisbereich 1–100 mSv – 20
- 2.3.3 Beispiele für den Strahlendosisbereich über 100 mSv – 20

2.4 Strahlenschutzgrenzwerte – 21

2.5 Strahlenempfindlichkeit – 21

2.6 Strahlenschutz in der Praxis – 22

- 2.6.1 ALARA-Prinzip – 22
- 2.6.2 Konkreter Schutz – 23
- 2.6.3 Schutzbekleidung für Patienten (Patientenschutzmittel) – 23
- 2.6.4 Schutzbekleidung für das Personal – 31

Literatur – 32