
Th. Laubenberger/J. Laubenberger

Technik der medizinischen Radiologie

Diagnostik, Strahlentherapie,
Strahlenschutz

Für Ärzte, Medizinstudenten und MTRA

6. völlig überarbeitete Auflage

**Mit Anleitung zur
Strahlenschutzbelehrung
in der Röntgendiagnostik**

Deutscher Ärzte-Verlag Köln

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 6. Auflage	29
-------------------------------	-----------

1	Allgemeines	31
1.1	Zeittafel	31
1.2	Allgemeine Einleitung – Röntgendiagnostik	32
1.3	Umgang mit Patienten	34

2	Röntgenstrahlen und ihre Eigenschaften	35
2.1	Entstehung	35
2.1.1	Bremsstrahlung	38
2.1.2	Charakteristische Röntgenstrahlung oder Eigenstrahlung	40
2.1.3	Wärmeenergie bei der Erzeugung von Röntgenstrahlung	41
2.1.4	Eigenschaften der Röntgenstrahlen	42
2.2	Schwächungseffekt	43
2.2.1	Absorption (Photoabsorption)	44
2.2.2	Streuung	45
2.2.2.1	Klassische Streuung (kohärente Streuung)	45
2.2.2.2	Compton-Streuung (inkohärente Streuung)	45
2.2.3	Paarbildung	46
2.2.4	Kernreaktion	46
2.2.5	Schematische Darstellung sämtlicher Schwächungsvorgänge	46
2.2.6	Schwächungsvorgänge in Abhängigkeit von der Röhrenspannung	48
2.2.7	Schwächungsgesetz	49
2.2.7.1	Abhängigkeit der Absorption von der Dicke-Halbwertschicht	50
2.2.7.2	Halbwertschicht oder Halbwertdicke bei mono- chromatischer oder homogener Strahlung	51
2.2.7.3	Halbwertschicht bei heterogener Strahlung	51

2.2.7.4	Abhängigkeit der Absorption von der Dichte eines Stoffes	53
2.2.7.5	Abhängigkeit der Absorption von der chemischen Beschaffenheit eines Stoffes – Ordnungszahl	54
2.2.7.6	Abhängigkeit der Absorption von der Qualität der Strahlung – Wellenlänge	55
2.2.8	Zusammenfassung der Absorptionsfaktoren	57
2.2.9	Strahlenbild oder Strahlenrelief	57
2.2.10	Streustrahlung im Strahlenbild	58
2.3	Lumineszenzeffekt	58
2.4	Ionisationseffekt	59
2.5	Photographischer Effekt	60

3	Das Bildsystem: Verstärkerfolien, Röntgenfilm, Kassetten und Bildverarbeitung	61
3.1	Verstärkerfolien	61
3.1.1	Aufbau der Verstärkerfolie	62
3.1.2	Leuchtstoffe	63
3.1.3	Empfindlichkeitsklasse, Verstärkungsfaktor, Spannungsabhängigkeit	65
3.1.4	Empfindlichkeitsklassen von Kalziumwolframatfolien	66
3.1.5	Eigenschaften von Folien	67
3.1.6	Folienüberprüfung und Reinigung	71
3.1.7	Röntgenfilmkassetten	72
3.2	Röntgenfilm – Allgemeines	73
3.2.1	Bildentstehung – Elektronenphase	76
3.2.2	Bildentstehung – Ionenphase	76
3.2.3	Empfindlichkeit von photographischen Filmen und von Röntgenfilmen	77
3.2.4	Dunkelraumbeleuchtung	78
3.3	Häufigst gebrauchte Film- und Folienformate bei Skelettaufnahmen und Nativaufnahmen	80
3.4	Filmkennzeichnung	80
3.4.1	Aufbelichtungseinrichtungen	81
3.5	Technik der Filmentwicklung	83
3.5.1	Entwicklerlösungen	83
3.5.2	Handverarbeitung des Filmes in der Dunkelkammer	84

3.5.2.1	Entwicklung	84
3.5.2.2	Regeneratorlösung	85
3.5.2.3	Zwischenwässerung	86
3.5.2.4	Fixierbad	86
3.5.2.5	Regenerierung des Fixierbades	87
3.5.2.6	Endwässerung	87
3.5.2.7	Netzmittelbad	87
3.5.2.8	Trocknung	88
3.5.3	Abschwächerlösungen	88
3.5.4	Verstärkerlösungen	88
3.5.5	Automatische Filmentwicklung – Entwicklungsmaschinen	89
3.5.5.1	Regeneriersystem	89
3.5.5.2	Trockenteil	90
3.5.5.3	Mixer	91
3.5.5.4	Entsorgung von verbrauchten Lösungen in Entwicklungsmaschinen	91
3.5.6	Tageslichtbearbeitung der Röntgenfilme	91
3.6	Messung der optischen Dichte des Filmes (Densitometrie)	93
3.6.1	Optische Dichtekurve des Filmes	94
3.6.2	Bildwiedergabefaktoren	97
3.6.3	Mittlerer Gradient (Kontrastfaktor)	97
3.6.4	Optische Dichtekurve von Film-Folien- Kombinationen	98
3.6.5	Schleier und Unterlage	99
3.6.6	Unzureichende Kontrastwiedergabe	100
3.6.7	Anwendung höherer Röhrenspannung	102
3.7	Herstellung von Röntgenfilm-Kopien	103
3.8	Filmsubtraktion	105
3.9	Filmfehler	107
3.9.1	Vor der Aufnahme entstandene Filmfehler	107
3.9.2	Nach der Aufnahme entstandene Filmfehler	108
3.9.3	Nachbelichtung der Filme in der Dunkelkammer ..	108
3.10	Röntgenfilmarchivierung	109
3.10.1	Alphabetische Registrierung	109
3.10.2	Numerische Registrierung	109
3.10.3	Elektronisches Bildarchiv	110
3.11	Filme zur Feldkontrolle in der Strahlentherapie ..	111

3.12	Kamerafilme	111
3.13	Röntgen-Kinematographie-Filme	112
3.14	Schaukasten zur Betrachtung von Röntgenfilmen	112
3.14.1	Helligkeit	112
3.14.2	Homogene Ausleuchtung	113
3.14.3	Leuchtfarbe	113
3.14.4	Einblendung und Größe des Betrachtungsfeldes ..	113
3.14.5	Verschmutzungen	114
3.14.6	Alterung von Leuchtröhren	114
3.15	Helligkeitsmessung	114

4	Projektionsgesetze und ihre Anwendung	115
4.1	Fokus-Film-Abstand oder Fokus-Leuchtschirm-Abstand	115
4.2	Fokus-Objekt-Abstand	115
4.3	Objekt-Film-Abstand oder Objekt-Leuchtschirm-Abstand	115
4.4	Zentralprojektion	115
4.5	Senkrechtstrahl	116
4.6	Zentralstrahl	116
4.7	Superposition	117
4.8	Hochkanteffekt	117
4.9	Vergrößerung	118
4.10	Isometrie	118
4.11	Größenbestimmung, Vergrößerungsfaktor	118
4.12	Parallaxe	119
4.13	Verzeichnung	121
4.14	Abstandsquadratgesetz	121

5	Bildqualität	123
5.1	Unschärfe	124
5.1.1	Bewegungsunschärfe	124
5.1.2	Geometrische Unschärfe	125
5.1.3	Film- und Folienunschärfe	127
5.1.4	Beziehung zwischen den einzelnen Unschärfeanteilen	128
5.1.5	Kontrastübergangszone und Kontrastgradient ...	129
5.2	Kontrast	130

5.2.1	Strahlenkontrast und örtliche Verteilung der Strahlenkontraste – Röntgenstrahlenbild	130
5.2.2	Quantenrauschen	131
5.2.3	Modulationsübertragungsfunktion	132
5.2.3.1	Strichraster	133
5.2.3.2	Sinusraster	134
5.2.4	Detaillierkennbarkeit	134
5.2.5	Simultankontrast	136
5.2.6	Einfluß der Streustrahlung auf den Kontrast	137
5.3	Maßnahmen zur Verringerung des Streuanteils ..	137
5.3.1	Einblendung	138
5.3.1.1	Tubus	138
5.3.1.2	Tiefenblende	138
5.3.2	Kompression	140
5.3.3	Vergrößerung des Objekt-Film-Abstandes – Groedel-Technik, Abstandstechnik	140
5.3.4	Streustrahlenraster	140
5.3.4.1	Schachtverhältnis	142
5.3.4.2	Linienzahl (Streustrahlenraster)	142
5.3.4.3	Selektivität	143
5.3.4.4	Rasterfokussierung	144
5.3.4.5	Blendenfaktor	145
5.3.4.6	Motorischer Rasterantrieb	146
5.3.4.7	Feststehende Raster	147
5.3.4.8	Übersicht über Streustrahlenraster	149
6	Röntgentechnik – Röntgenröhre und Generator	150
6.1	Röntgenröhre	150
6.1.1	Elektronenquelle – Kathode	151
6.1.1.1	Elektronenemitter	152
6.1.1.2	Fokussierungseinrichtung	152
6.1.1.3	Elektronenemission und Röhrenstrom – Raumladung und Durchgriff	153
6.1.1.4	Gittergesteuerte Röntgenröhren	154
6.1.2	Anode	155
6.1.2.1	Brennfleck	156
6.1.2.2	Heel-Effekt	157
6.1.2.3	Störstrahlung	159
6.1.2.4	Anodenmaterial	160

6.1.2.5	Drehanode	162
6.1.2.6	Verbundanode	164
6.1.2.7	Doppelfokusröhre	165
6.1.2.8	Belastbarkeit und Alterung von Röntgenröhren ..	166
6.1.3	Röhrenglaszylinder und Strahlenschutzgehäuse ..	167
6.1.4	Heizung und Aufnahmeauslösung	169
6.1.5	Röhrenfilter	169
6.1.6	Hochleistungsröhren	170
6.1.7	Röhrennomogramm	175
6.1.8	Kennzeichen der Röntgenröhre	175
6.2	Generator	176
6.2.1	Konventionelle Generatoren	177
6.2.1.1	Transformator	177
6.2.1.2	Hochspannungsgleichrichter	177
6.2.1.3	Sperrschichtgleichrichter – Transistoren	178
6.2.1.4	Einteilung der konventionellen Generatoren	178
6.2.1.5	Schalteneinrichtungen und Belastungsautomatik in Röntgengeneratoren	182
6.2.1.6	Belastungsautomatik in Röntgengeneratoren	184
6.2.1.7	Programmierte Aufnahmetechnik und Multi- matriksystem – System der Organtasten	187
6.2.2	Hochfrequenzgeneratoren oder Konvertergeneratoren	188
6.2.2.1	Eigenschaften und Funktion der HF- oder Konvertergeneratoren	190
6.2.2.2	Arbeitsablauf des HF-Generators	191
6.2.2.3	Automatische Belichtungssteuerung	192
6.2.2.4	Durchleuchtungstechniken und Generator – Standarddurchleuchtungstechnik	200
6.2.2.5	Angiographie und Generator	202
6.2.2.6	Hochleistungsgeneratoren	204
6.2.2.7	Zusatzeinrichtungen am Generator	206
6.2.2.8	Datenanzeige, Dokumentation und Datenübertragung	207

7	Röntgentechnik – Bildverstärker-Fernsehen ...	211
7.1	Bildverstärker	211
7.1.1	Formate des Bildverstärkers	213
7.1.2	Elektronenoptische Vergrößerung	214
7.1.3	Automatische Formateinblendung	214
7.1.4	Qualitätskriterien des Bildverstärkers	215
7.1.4.1	Quantenrauschen	215
7.1.4.2	Quantenwirkungsgrad	215
7.1.4.3	Störabstand oder Signal-Rausch-Verhältnis	216
7.1.4.4	Modulationsübertragungsfunktion	216
7.1.4.5	Bildübertragungskennlinie	217
7.2	Fernsehanlage	217
7.2.1	Koppeloptik und Bildverteiler	217
7.2.2	Fernsehkamera	218
7.2.2.1	Röhrenkamera	218
7.2.2.2	CCD-Halbleiterkamera	219
7.2.3	Sichtgerät oder Monitor	220
7.2.3.1	Zeilensprungverfahren	220
7.2.3.2	Manuelle Kontrast- und Helligkeitsregulierung des Monitors	221
7.2.4	Fernsehsteuerung	221
7.2.4.1	Automatische Helligkeitskonstanthaltung des Monitors	222
7.2.4.2	Automatische Dosisleistungsregelung	223
7.2.5	Modulationsübertragungsfunktion des Fernsehübertragungssystems	224
7.2.6	Speicherung von Videosignal-Bildern	226
7.2.6.1	Einzelbildspeicherung	226
7.2.7	Mittelformatkamera – indirekte Aufnahmetechnik	229
7.2.8	Röntgenkinematographie	230
8	Digitale Radiographie	232
8.1	Einführung in die digitale Datenverarbeitung	232
8.2	Bildwiedergabe in einer Matrix	233
8.2.1	Schwarzweiß-Matrix-Bilder ohne Grauabstufung	234
8.2.2	Schwarzweiß-Matrix-Bilder mit Grauabstufungen	235
8.3	Möglichkeiten der digitalen Bildverarbeitung	237
8.4	Logarithmierung	238
8.5	Filtertechniken	238

8.5.1	Rauschfilterung oder Rauschunterdrückung	238
8.5.2	Ortsfiltertechnik	239
8.5.3	Subtraktionsfiltertechnik	241
8.5.3.1	Energiesubtraktion	241
8.5.3.2	Zeitsubtraktion – DSA	241
8.5.3.3	Zusatzmethoden zur DSA	242
8.5.3.4	Funktions- oder Parameterbilder	245
8.6	Bilddaten	247
8.7	Digitale Radiographiemethoden	249
8.8	Digitale Fluoroskopie	252
8.9	Digitale Subtraktionsangiographie	253
8.9.1	Kontinuierlicher Betrieb der DSA	255
8.9.2	Gepulster Betrieb der DSA	255
8.9.3	Zusätzliche DSA-Verfahren	256
8.10	Digitale Speicherfolienradiographie – Lumineszenzradiographie	259
8.10.1	Technik der digitalen Lumineszenzradiographie .	259
8.10.2	Speicherfolie und ihre Bearbeitung	259
8.11	Film-Dokumentation digitaler Bilder	265
8.11.1	Laserkamera	265
8.11.2	Analogdokumentation – Multiformatkamera	268
8.12	Filmdigitalisierer – Filmdigitizer	268
8.13	Bildarbeitsplatz	268
8.14	Speicher in der digitalen Radiographie	269
8.14.1	Zwischenspeicher	269
8.14.2	Endspeicher, digitales Bildarchiv	270
8.14.3	Vorteile des digitalen Bildarchivs	272
8.15	Bildarchiv- und Kommunikationssystem	274
8.15.1	Informations- und Managementsystem	276
8.15.2	Radiologisches Informationssystem	276
8.15.3	Informations-Speichersystem	276
8.15.4	FDDI (Fiber Distributed Data Interface)	277

9	Röntgentechnik-Aufnahme- und Durchleuchtungsgeräte	278
9.1	Durchleuchtungsgeräte	278
9.1.1	UT-Durchleuchtungsgeräte	278
9.1.1.1	Lagerungsplatte	278
9.1.1.2	Zielgerät mit Kassetteneinrichtung	279
9.1.1.3	Zielgerät ohne Kassetteneinrichtung	282
9.1.1.4	Röhre und Tiefenblende	283
9.1.2	OT-Durchleuchtungsgeräte – Fernbediente Röntgengeräte	283
9.2	Mobile Aufnahme- und Durchleuchtungsgeräte	284
9.2.1	Mobile Röntgenaufnahmegeräte	284
9.2.2	Mobile Bildverstärkeranlagen	286
9.2.3	Bildverstärkeranlagen OP (Deckenaufhängung)	287
9.3	Stationäre Aufnahmegeräte	288
9.3.1	Stative	288
9.3.2	Röntgenstrahler	288
9.3.3	Aufnahmetische	289
9.3.4	Wandaufnahmestative	290
9.4	Schichtzusatzgeräte	290
10	Spezialaufnahmegeräte	292
10.1	Thoraxaufnahmegeräte	292
10.1.1	Automatisches Thoraxaufnahmegerät mit Großformattechnik	292
10.1.2	Automatisches Thoraxaufnahmegerät mit Indirektaufnahmetechnik	292
10.1.3	Digitales Thoraxaufnahmegerät	294
10.2	Mammographiegeräte	296
10.2.1	Generator	297
10.2.2	Aufnahmeeinheit	297
10.2.3	Film-Folien-Kombination bei der Mammographie	300
10.2.4	Qualitätsanforderungen an Film-Folien-Kombinationen	301
10.2.5	Aufnahmeeinstellungen	302
10.2.6	Galaktozystographie	302
10.2.7	Stereotaktisches Feinnadel-Punktionssystem	302
10.3	Umlagerungsfreies Transportssystem für Unfallverletzte	302

10.4	Urologische Untersuchungseinheit mit Steinzertrümmerungsgerät (Lithotripter)	304
10.5	Röntgenuntersuchungsgeräte für Kinder	306
10.5.1	„Babix“-Cellonhülle	306
10.5.2	Aufnahmestative für die Kinderdiagnostik	307
10.5.3	Spezielle Röntgengeräte für Kinder	307
10.6	Comberg-Methode	308
10.7	Röntgenuntersuchung der Zähne	308
10.7.1	Regeln für die Aufnahme	309
10.7.2	Panoramaaufnahme	311
10.7.3	Pantomographie	312
10.8	Angiographiegeräte	313
10.8.1	UT-Durchleuchtungsgeräte mit Angiographiezusätzen	313
10.8.2	OT-Durchleuchtungsgeräte mit Angiographieeinrichtung	314
10.8.3	Möglichkeiten für schnelle Angiographie- Serienaufnahmen	314
10.8.4	Hochdruck-Injektor für die Angiographie	317
10.8.5	Schrittverschiebung bei der dynamischen Angiographie	318
10.8.6	Angiographie-Spezialgeräte	319
11	Computertomographie	323
11.1	Allgemeines	323
11.2	Computertomograph mit drehender Röhre und feststehendem Detektorenkranz	325
11.3	Computertomograph mit drehendem Aufnahmesystem	325
11.3.1	Computertomograph mit Serienschicht-Technik ..	326
11.3.2	Computertomograph mit schneller Serienschicht- Technik	327
11.4	Untersuchungsarten	327
11.4.1	Digitales Projektionsradiogramm – Rekonstruierte Übersichtsaufnahme	327
11.4.2	Einzelschichten	328
11.4.3	Serienschichten	328
11.4.4	Dynamische Serienschichten	328
11.4.5	Schnelle Serienschichten mit Schleifring-CT	329

11.4.6	Spiral-Volumen-Technik	330
11.5	Untersuchungseinheit	331
11.5.1	Gantry	331
11.5.1.1	Röntgenröhre	332
11.5.1.2	Detektorenleiste	332
11.5.1.3	Hochfrequenzgenerator	333
11.5.2	Patientenlagerungstisch	333
11.5.3	Bedienpult und unabhängige Auswerteeinheit ...	334
11.5.4	Rechner oder Computer	335
11.6	Aufnahmebetrieb	336
11.6.1	Meßwerte und Meßprofile	336
11.6.2	Aufnahmezeiten	336
11.7	Verfahren der Bildrekonstruktion	336
11.7.1	Rekonstruktionsmatrix und Schichtdicke	336
11.7.2	Bildelemente und Auflösungsvermögen	337
11.7.3	Aufnahmesystem und Auflösungsvermögen	338
11.7.4	Korrekturprogramme der Bildverarbeitung	338
11.7.5	Bildrekonstruktion	338
11.7.6	Bildrekonstruktionszeit	339
11.8	Bildwiedergabe	339
11.8.1	Hounsfield-Einheit	339
11.8.2	Vereinfachte Bezeichnung der Dichtewerte	341
11.8.3	Fenstertechnik und Grauwertskala	342
11.8.4	Helltastung (Highlighting)	343
11.8.5	Multifenster-Technik	343
11.9	Bildauflösung	343
11.9.1	Bildauflösung in Abhängigkeit vom Signal-Rausch-Verhältnis	343
11.9.2	Dichteauflösung – Niedrigkontrast	344
11.9.3	Räumliche Auflösung – Hochkontrast	344
11.9.4	Partial-Volumen-Effekt	344
11.10	Zusatzprogramme	345
11.11	Multiplanare Schichten und Volumen-Rekonstruktionen	348
11.12	Speicher und Archiv	349
11.13	Artefakte	350
11.14	Dosis und Strahlenbelastung bei der Computertomographie	351

11.15	CT-Sonderprogramme	351
11.15.1	Bestimmung des Mineralsalzgehaltes im Knochen	351
12	Magnetresonanztomographie	353
12.1	Einführung	353
12.2	Grundlagen	353
12.2.1	Kernspin	353
12.2.2	Kernspin und äußeres Magnetfeld	354
12.2.3	Kernspin-Resonanz	356
12.2.4	Kernrelaxation	356
12.3	Technischer Aufbau	358
12.3.1	Magnet	358
12.3.2	Shimsystem	361
12.3.3	Gradientensystem	361
12.3.4	Hochfrequenzsystem	361
12.3.5	Rechnersystem	362
12.4	MRT-Bilder	363
12.4.1	Bildkontrast	363
12.4.2	Zusätzliche Faktoren	363
12.4.3	T1-Gewichtung	364
12.4.4	T2-Gewichtung	365
12.4.5	Bildartefakte	365
12.4.6	Pulssequenzen	365
12.5	Kontrastmittel	367
12.6	Anwendungsgebiete	367
12.7	Sicherheit	368
13	Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik ..	370
13.1	Überprüfung des Röntgenfilms	371
13.1.1	Filmverarbeitungskontrolle	371
13.1.2	Vorbereitung der Filmverarbeitungskontrolle	372
13.1.3	Überprüfung der Filmverarbeitung	373
13.1.4	Auswertung des Sensitometerstreifens	374
13.1.5	Toleranzbereiche	376
13.2	Konstanzprüfung bei der Direktradiographie	376
13.2.1	Allgemeines	376
13.2.2	Durchführung der Konstanzprüfung	378
13.2.3	Toleranzen	379

13.3	Konstanzprüfung an Röntgenbildverstärkern – Durchleuchtungs- und Aufnahmegeräte	381
13.3.1	Allgemeines	381
13.3.2	Durchführung der Konstanzprüfung am Röntgenbildverstärker	381
13.3.2.1	Konstanzprüfung am RBV bei Durchleuchtung ...	381
13.3.2.2	Konstanzprüfung am RBV, Aufnahmen	383
13.3.3	Toleranzen	384
13.4	Konstanzprüfung für die Mammographie	385
13.4.1	Allgemeines	385
13.4.2	Durchführung der Konstanzprüfung	386
13.4.3	Toleranzen	387
13.4.4	Mammographie-Test-Phantom von Du Pont	388
13.5	Qualitätsprüfung in der Röntgendiagnostik	389
13.6	Die ärztlichen Qualitätsanforderungen	397
14	Ultraschalldiagnostik	399
14.1	Natur des Ultraschalls	399
14.2	Wechselwirkungsgesetze	401
14.2.1	Reflexion und Transmission der US-Wellen	401
14.2.2	Interferenz von Schallwellen	403
14.2.3	Brechung	403
14.2.4	Beugung	405
14.2.5	Streuung	405
14.2.6	Absorption	405
14.3	Erzeugung und Empfang der Schallwellen	405
14.4	Schallfeld	407
14.5	Fokussierung	407
14.6	Empfangsbetrieb	408
14.7	Ortsauflösung	408
14.8	Aufbau eines Ultraschallgerätes	409
14.9	Laufzeitabhängige Verstärkung – Tiefenausgleich	410
14.10	Signalverarbeitung und Bilddarstellung	410
14.11	A-Bildverfahren (A-Mode)	411
14.12	B-Bildverfahren (B-Mode)	411
14.13	M-Bildverfahren (M-Mode)	412
14.14	Duplexsonographie	413

15	Röntgenographische Projektionen und ihre Bezeichnungen	414
15.1	Seitenmarkierung	414
16	Röntgen-Kontrastmittel	417
16.1	Wasserlösliche Kontrastmittel	417
16.1.1	Physikalische und chemische Eigenschaften wasserlöslicher Kontrastmittel	419
16.1.2	Beeinflussung der Schilddrüsenfunktionsprüfung durch Kontrastmittel	420
16.1.3	Nephrotrope Kontrastmittel	420
16.1.4	Kinetik nephrotroper Kontrastmittel	421
16.1.5	Nichtionische nephrotrope Kontrastmittel	421
16.1.6	Kontrastmittelanwendung bei der Computertomographie	423
16.1.7	Kontrastmittel für die Myelographie	424
16.1.8	Intravenöse gallengängige (hepatotrope) Kontrastmittel	425
16.1.9	Orale hepatotrope Kontrastmittel	426
16.1.10	Wasserlösliche Kontrastmittel zur Untersuchung des Magen-Darm-Traktes	426
16.2	Wasserunlösliche Kontrastmittel	426
16.2.1	Kontrastmittel für die Lymphographie	426
16.2.2	Kontrastmittel für die Bronchographie	427
16.2.3	Kontrastmittel zur Untersuchung des Magen-Darm-Traktes	427
16.3	Übersicht der Röntgen-Kontrastmittel	427
16.4	Schäden und Gefahren durch intravenös injiziertes Kontrastmittel	431
16.4.1	Ursachen von Kontrastmittelzwischenfällen	433
16.5	Vortestung	433
16.6	Allgemeinreaktionen	433
16.7	Empfehlungen für die intravenöse Kontrastmitteluntersuchung	434
16.8	Kontrastmittelzwischenfall	434

17	Röntgen-Kontrastmitteluntersuchungen	438
17.1	Kontrastmitteluntersuchungen des Verdauungstraktes	438
17.1.1	Ösophagogramm	438
17.1.2	Magen-Darm-Passage	438
17.1.2.1	Röntgenuntersuchung des Dünndarms	439
17.1.2.2	Spezialuntersuchung des Dünndarms	439
17.1.2.3	Beschleunigung der Passage	441
17.1.2.4	Magen-Darm-Passage bei Kindern	441
17.1.3	Röntgenuntersuchung des Dickdarms – Kontrasteinlauf	442
17.1.3.1	Kontrasteinlauf bei Kindern	443
17.1.4	Kontrastmitteluntersuchungen der Gallenwege	443
17.1.4.1	Kontraktion der Gallenblase	444
17.1.4.2	Spätaufnahmen	444
17.1.4.3	Orale Darstellung	444
17.1.4.4	Intraoperative Cholangiographie	444
17.1.4.5	Postoperative Cholangiographie	445
17.1.4.6	Perkutane transhepatische Cholangiographie	445
17.1.4.7	Cholezystangiographie bei Kindern	445
17.2	Urologische Röntgen-Kontrastmitteluntersuchungen	446
17.2.1	Ausscheidungsurographie und ihre Varianten	446
17.2.1.1	Ausscheidungsurogramm	446
17.2.1.2	Harnleiterkompression	447
17.2.1.3	Infusionsurographie	447
17.2.1.4	Aufnahmen im Stehen und Veratmungsurogramm	448
17.2.1.5	Frühurogramm	448
17.2.1.6	Belastungsurogramm	448
17.2.1.7	Tomographie und Zonographie	449
17.2.1.8	Retrogrades Pyelogramm	449
17.2.2	Ureterschlinge	450
17.2.3	Ausscheidungsurogramm bei Kindern	450
17.3	Untersuchung der Harnblase und der Harnröhre	450
17.3.1	Zystogramm bei Erwachsenen	450
17.3.2	Zystogramm bei Kindern	451
17.3.3	Refluxprüfung	451
17.3.4	Retrogrades Urethrogramm	452

17.3.5	Miktionszystourethrogramm	452
17.3.6	Nierenfistelfüllung mit Ureterablaufprüfung	453
17.3.7	Vaso-Vesiculogramm	453
17.4	Seltenere Kontrastmitteluntersuchungen	453
17.4.1	Bronchographie	453
17.4.1.1	Kontrastmittel für die Bronchographie	454
17.4.2	Arthrographie	454
17.4.3	Sialographie	455
17.4.4	Hysterosalpingographie	455
17.4.5	Galaktographie	456
17.4.6.	Dakryozystographie	456
17.4.7	Fistulographie	456
17.5	Kontrastmitteluntersuchung des Rückenmarks und des Zentralnervensystems	457
17.5.1	Myelographie	457
17.6	Gefäßdarstellung (Angiographie) – Allgemeines ..	458
17.6.1	Technik der Arteriographie	458
17.6.1.1	Seldinger-Methode	459
17.6.1.2	Selektive Arteriographie	460
17.6.2	Katheter	461
17.6.2.1	Führungsdraht – Guide Wire	464
17.6.3	Karotisarteriographie	465
17.6.4	Angiokardiographie	465
17.6.4.1	Dextrokardiographie	470
17.6.4.2	Pulmonalarteriographie	470
17.6.4.3	Lävokardiographie	470
17.6.4.4	Koronarographie	470
17.6.5	Aortographie und selektive Organ-Arteriographie	471
17.6.5.1	Thorakale Aortographie	471
17.6.5.2	Abdominale Aortographie	472
17.6.5.3	Selektive Arteriographie der Bauchorgane	472
17.6.6	Arteriographie der unteren Extremitäten	473
17.6.6.1	Direkte Arteriographie der Arteria femoralis	474
17.6.6.2	Translumbale Aortographie	474
17.6.6.3	Indirekte Aortographie zur Darstellung der Becken- und Beinarterien	474
17.6.7	Arteriographie der oberen Extremitäten	474
17.6.7.1	Arteriographie der Arteria axillaris	474
17.6.7.2	Arm- und Handarteriographie	475

17.6.8	Phlebographie	475
17.6.8.1	Phlebographie des Armes und der Hand	475
17.6.8.2	Aszendierende Beinphlebographie	475
17.6.8.3	Beckenphlebographie und Kavographie	476
17.6.9	Splenoportographie	477
17.6.10	Lymphographie	477
17.7	Untersuchungstechnik der DSA	478
17.7.1	Intravenöse digitale Subtraktionsangiographie ...	480
17.7.2	Intraarterielle digitale Subtraktionsangiographie .	480
17.8	Interventionelle Methoden in der Radiologie	480
17.8.1	Perkutane Gefäßrekanalisation	481
17.8.1.1	Gefäßdilatation	481
17.8.1.2	Perkutane intraarterielle Thrombolyse	485
17.8.1.3	Perkutane Aspirationsembolektomie	486
17.8.1.4	Perkutane Implantation von endovaskulären Prothesen	486
17.8.1.5	Perkutane Rekanalisation der Nierenarterie	487
17.8.1.6	Dynamische Angioplastie	487
17.8.1.7	Perkutane Laserangioplastie	488
17.8.2	Perkutane Embolisations- oder Okklusionsbehandlung	488
17.8.2.1	Prinzip der Blutungsbehandlung	488
17.8.2.2	Gefäßmißbildungen	488
17.8.2.3	Tumorembolisationen	488
17.8.2.4	Mittel der Gefäßokklusion	489
17.8.3	Perkutane Applikation von Pharmaka	489
17.8.4	Perkutane Cava-Filterimplantation	490
17.8.5	Perkutane Gallenwegsdrainage	491
18	Dosis	494
18.1	Energiedosis	494
18.2	Kerma	496
18.3	Ionendosis	497
18.3.1	Sekundärelektronenaustausch zwischen Meßvolumen und Umgebung	497
18.3.2	Standardionendosis	499
18.3.3	Hohlraumdosise	499
18.3.4	Luftäquivalentes Gewebe	499
18.3.5	Nicht luftäquivalentes Gewebe	500

18.4	Äquivalentdosis und Bewertungsfaktor	500
18.5	Relative Biologische Wirksamkeit	502
18.6	Dosismeßsysteme – Allgemeines	504
18.7	Messung der Ionisation	504
18.7.1	Tubuskammern	506
18.7.2	Schlauchkammern	506
18.7.3	Verstärkungs- und Anzeigesystem	506
18.7.4	Radioaktive Kontrolleinrichtung	507
18.7.5	Meßmethode	507
18.7.5.1	Kontinuierliche und integrierende Messung der Ionisation	507
18.7.5.2	Kondensatormeßkammern	507
18.8	Dosismeßgeräte	509
18.8.1	Dosimentor	509
18.8.2	Kondiometer, Auflade- und Ablesegerät für Kondensatormeßkammern	510
18.8.3	Diamentor	511
18.8.4	Füllhalterdosimeter oder Stabdösimeter	513
18.8.5	Filmdosimeter in der Strahlentherapie	515
18.8.6	Filmdosimeter in der Strahlenschutz- überwachung	515
18.8.7	Thermolumineszenzdosimeter	516
18.8.8	Fingerringdosimeter	517
18.8.9	Radiophotolumineszenzdosimeter	517
18.8.10	Verfärbungs- und Extinktionsdosimeter	518
18.8.11	Leitfähigkeitsdosimeter	519
18.8.12	Chemodosimeter	519

19	Strahlenwirkung auf biologisches Gewebe	520
19.1	Strahlenwirkung – Grundlagen	521
19.1.1	Direkte Strahlenwirkung – Treffertheorie	521
19.1.2	Indirekte Strahlenwirkung	522
19.1.3	Strahlenschäden	522
19.1.4	Aufbau der Desoxyribonukleinsäure	523
19.1.5	Strahlenwirkung an Genen	524
19.1.6	Reparaturvorgänge an der DNS	525
19.1.7	Mutationen	526
19.2	Strahlenempfindlichkeit von Zellen	527
19.2.1	Generationszyklus der Zellen	527

19.2.1.1	Strahlenempfindlichkeit der Zelle im Generationszyklus	528
19.2.2	Letale und subletale Zellschäden	528
19.2.2.1	LET (linear energy transfer) und der Grad der Zellschädigung	528
19.2.2.2	Zellerholungsvorgänge nach Bestrahlungen	529
19.2.2.3	Zellerholungsvorgänge in Abhängigkeit vom Generationszyklus	529
19.2.2.4	Zellerholungsvorgänge in Abhängigkeit von der Repopulation	529
19.2.2.5	Einzeitbestrahlung und fraktionierte Bestrahlung	529
19.2.3	Wirkung der Dosisfraktionierung an normalen Zellen und an Tumorzellen	529
19.2.4	Wirkung der Dosisprotrahierung an normalen Zellen und an Tumorzellen	530
19.2.5	Sauerstoffeffekt	531
19.2.5.1	Split-Course-Technik	532
19.2.6	Behandlungsmöglichkeiten zur Abtötung hypoxischer Zellen	532
19.2.7	Strahlenwirkung auf wachsendes Tumorgewebe .	532
19.2.8	Hyperthermie	533
19.3	Strahlenwirkung auf den menschlichen Körper ..	533
19.3.1	Größe des durchstrahlten Körpervolumens	534
19.3.1.1	Strahlenkrankheit	534
19.3.2	Organschäden nach Teilbestrahlung	536
19.3.3	Strahlenwirkung auf die Haut	541
19.3.4	Spätfolgen nach überhöhter Strahleneinwirkung .	542
19.4	Strahlenbehandlung gutartiger Erkrankungen ...	543
19.5	Tumoren – Begriffe aus der pathologischen Anatomie	544
19.6	Charakteristische Eigenschaften von Tumoren ...	544
19.7	Strahlensensibilität von Tumoren	545
19.8	Strahlenwirkung an gesunden und bösartigen Zellen	545

20	Strahlentherapie	547
20.1	Einteilung der Strahlentherapie	547
20.2	Strahlentherapie und ihre Anwendung	548
20.3	Feststehende Begriffe der Strahlentherapie	548
20.4	Dosisbegriffe in der Strahlentherapie	549
20.4.1	Tiefendosisverläufe	551
20.4.1.1	Tiefendosismaximum (Aufbaueffekt) bei energiereicher Photonenstrahlung	552
20.4.1.2	Tiefendosisverläufe bei Elektronenstrahlung	553
20.4.1.3	Austrittsdosis bei Protonenstrahlung	555
20.5	Raum- oder Integraldosis	555
20.6	Nominale Standarddosis	556
20.7	Isodosendiagramm	558
20.8	Faktoren, die die Dosisverteilung beeinflussen	559
20.8.1	Strahlenart	559
20.8.2	Strahlenenergie bei Photonenstrahlung	560
20.8.3	Feldgröße	560
20.8.4	Feldbegrenzung (Halbschatten)	560
20.8.5	Fokus-Haut-Abstand	561
20.8.6	Filter	562
20.8.7	Keilfilter	563
20.8.8	Ausgleichfilter	564
20.8.9	Körperinhomogenitäten	564
20.9	Konventionelle Therapiegeräte	565
20.9.1	Röntgeneinrichtungen für die Oberflächen- und Körperhöhlentherapie	565
20.9.2	Röntgenhalbtiefen- und Tiefentherapie	566
20.10	Tele gammatherapie – Kobalt 60	567
20.11	Teilchenbeschleuniger	569
20.11.1	Betatron-Umlaufbeschleuniger, Kreis- beschleuniger, Zirkularbeschleuniger	569
20.11.2	Linearbeschleuniger	569
20.11.2.1	Stehwellenbeschleuniger – Stufenbeschleuniger	570
20.11.2.2	Wanderwellenbeschleuniger	572
20.12	Therapiesimulator	575
20.13	Bestrahlungsmethoden der Tiefentherapie	576
20.13.1	Einzelstehfeldbestrahlung	577
20.13.2	Gegenfeldbestrahlung	577
20.13.3	Mehrfelderbestrahlung – Kreuzfeuerbestrahlung	578

20.13.4	Bewegungsbestrahlung und Methoden	579
20.14	Einstellhilfen	583
20.15	Lagerung des Patienten	586
20.16	Bestrahlungsplanung	586
20.16.1	Diagnose	588
20.16.2	Stadieneinteilung von Tumoren	588
20.16.3	Stadieneinteilung von malignen Lymphomen	589
20.16.4	Interdisziplinäre Konferenz	590
20.16.5	Ablauf der Bestrahlungsvorbereitungen	590
20.17	Rechnergestützte Bestrahlungsplanung	591
20.18	Bestrahltes Körpervolumen	593
20.19	Vernetztes Therapiesystem	594
20.20	Konfirmationstherapie	597
20.21	Bestrahlungsprotokoll und andere schriftliche Unterlagen	597
20.22	Pflege und Behandlung der bestrahlten Haut	599

21	Therapie mit umschlossenen Radionukliden ...	600
21.1	Kontakttherapie	600
21.2	Interstitielle Therapie	601
21.3	Intrakavitäre Therapie	602
21.3.1	Radiumkontaktbestrahlung	602
21.3.2	Afterloadingverfahren	605
21.3.2.1	Nachladegerät mit punktförmiger bewegter Iridiumquelle	606
21.3.2.2	Nachladegerät mit stationärer Quelle	607

22	Strahlenschutz – Allgemeines	608
22.1	Gesetzliche Grundlagen	608
22.2	Mit dem Strahlenschutz betraute Personen und Institutionen	608
22.2.1	Strahlenschutzverantwortlicher	608
22.2.2	Strahlenschutzbeauftragter	609
22.2.3	Stellung des Strahlenschutzverantwortlichen und des Strahlenschutzbeauftragten	609
22.2.4	Ermächtigter Arzt	610
22.2.5	Aufzeichnungspflicht bei Röntgenuntersuchungen	610
22.2.6	Aufbewahrungspflicht von Aufzeichnungen	611

22.2.7	Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik	611
22.2.8	Qualitätssicherung in der Strahlentherapie	612
22.2.9	Belehrung	612
22.3	Strahlenschutzbereiche	614
22.3.1	Sperrbereich	614
22.3.2	Kontrollbereich	614
22.3.3	Betrieblicher Überwachungsbereich	615
22.3.4	Außerbetrieblicher Überwachungsbereich	615
22.4	Pflichten des Betreibers	616
22.5	Röntgenräume	616
22.5.1	Zutritt zum Kontroll- und betrieblichen Überwachungsbereich	617
22.6	Strahlenbelastung von im Kontrollbereich Tätigen	617
22.6.1	Besondere Vorschriften für den Kontrollbereich ..	618
22.6.2	Dosiswerte für beruflich strahlenexponierte und besonders schutzbedürftige Personen	620
22.6.3	Ermittlung der Körperdosis	622
22.6.4	Ärztliche Überwachung von beruflich Exponierten	623
22.6.5	Dosisgrenzwerte für andere Personen	624
22.6.6	Anzeigepflicht bei Dosisüberschreitungen	624
22.6.7	Maßnahmen bei Bestrahlung mit erhöhter Einzeldosis	624
22.7	Anwendung von Röntgenstrahlen	625
22.7.1	Zur Anwendung von Röntgenstrahlen berechnigte Personen	625
22.7.2	Anwendungsgrundsätze	625
22.7.3	Röntgendurchleuchtung	626
22.7.3.1	Grundsätze	626
22.7.3.2	Fernbediente Durchleuchtungsgeräte mit Obertischröhren	627
22.7.3.3	Chirurgische Bildverstärker	627
22.7.4	Röntgenaufnahmen	629
22.7.4.1	Grundsätze	629
22.7.4.2	Dosisbelastung bei Röntgenaufnahmen	632
22.8	Strahlenbelastung	634
22.8.1	Höchstzulässige Dosis	634
22.8.2	Natürliche Strahlung	634
22.8.3	Vom Menschen künstlich erzeugte Strahlung	635

22.8.4	Genetisch signifikante Dosis der Bevölkerung	637
22.9	Anleitung zur Strahlenschutzbelehrung	637
23	SI-Einheiten	639
23.1	Das internationale Einheitensystem	639
23.2	Abgeleitete SI-Einheiten mit besonderen Namen .	641
23.3	SI-Einheiten in der Strahlentherapie und im Strahlenschutz	644
24	Apparaterichtlinien der Kassenärztlichen Bundesvereinigung	649
25	Erläuterung der röntgentechnischen Symbole .	650
26	Glossar für die digitale Radiographie	654
Sachverzeichnis		657