

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Bildgebung in der Medizin</b> . . . . .	1
1.1	Bildgebende Verfahren als Bestandteil der Diagnostik und Therapie . . .	2
1.2	Überblick über die verschiedenen bildgebenden Verfahren in der Medizin . . . . .	3
	Literatur . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Projektionsröntgen</b> . . . . .	5
2.1	Grundlagen zur Erzeugung von Röntgenstrahlung . . . . .	5
2.1.1	Grundprinzip der Erzeugung von Röntgenstrahlen . . . . .	5
2.1.2	Bremsstrahlung . . . . .	7
2.1.3	Charakteristische Strahlung . . . . .	9
2.1.4	Wirkungsgrad . . . . .	11
2.2	Schwächung von Röntgenstrahlen . . . . .	14
2.2.1	Allgemeines Schwächungsgesetz . . . . .	14
2.2.2	Wechselwirkung von Röntgenstrahlen mit Materie . . . . .	15
2.2.3	Wirkungsquerschnitte und Monte-Carlo-Simulationen . . . . .	18
2.2.4	Massenschwächungskoeffizient von Blei und Wasser . . . . .	20
2.3	Technik zur Erzeugung von Röntgenstrahlen . . . . .	21
2.3.1	Qualitätskriterien für Röntgenquellen . . . . .	21
2.3.2	Die schräg gestellte Anode . . . . .	24
2.3.3	Drehanode . . . . .	24
2.3.4	Anodenmaterial . . . . .	26
2.3.5	Anodenaufbau . . . . .	27
2.3.6	Drehlager . . . . .	29
2.3.7	Vakuumkammer, Durchführungen und Gehäuse . . . . .	30
2.3.8	Filter . . . . .	31
2.3.9	Motor . . . . .	31
2.3.10	Drehkolben-Röhre . . . . .	31
2.3.11	Neue Ansätze zur Erzeugung von Röntgenstrahlen . . . . .	32

2.3.12	Kathode und Stromregelung . . . . .	33
2.3.13	Generator . . . . .	33
2.3.14	Belichtungssteuerung . . . . .	33
2.3.15	Generator mit „fallender Last“ . . . . .	35
2.4	Techniken der Röntgen-Bildaufnahme . . . . .	36
2.4.1	Röntgenfilm . . . . .	36
2.4.2	Verstärkerfolien . . . . .	39
2.4.3	Speicherfolien: digitale Lumineszenz – Radiographie . . . . .	43
2.4.4	Bildaufnahme mit Selen-Filmen (Xeroradiographie) . . . . .	45
2.4.5	Der Röntgenbildverstärker . . . . .	47
2.4.6	Flache digitale Röntgen-Bildaufnehmer . . . . .	50
2.4.7	Raster . . . . .	52
2.5	Einführung der Modulationsübertragungsfunktion MTF . . . . .	56
2.6	Rauschen . . . . .	63
2.6.1	Poisson-Verteilung . . . . .	63
2.6.2	Zahl der Quanten pro Energiedosis . . . . .	65
2.6.3	Quantenstatistik am Beispiel Röntgenbildverstärker . . . . .	67
2.6.4	„Detective Quantum Efficiency“ – DQE . . . . .	69
2.6.5	Optimierung von DQE und MTF . . . . .	70
2.7	Anwendungen der Projektions-Röntgentechnik . . . . .	71
2.7.1	Kontrastmittel . . . . .	71
2.7.2	Digitale Subtraktionsangiographie DSA . . . . .	73
2.7.3	Der C-Bogen . . . . .	74
2.7.4	Ventrikulographie . . . . .	75
2.7.5	Koronarangiographie . . . . .	76
2.7.6	Interventionelle Röntgenbildgebung . . . . .	77
2.7.7	Übersicht über verschiedene Anwendungen der Röntgentechnik . . . . .	77
2.8	MV-Imaging . . . . .	78
2.8.1	Problematik beim Nachweis von MeV-Quanten . . . . .	78
2.8.2	Umwandlung der Gamma-Quanten in Licht . . . . .	80
2.8.3	Umwandlung der Leuchtschirm-Bilder in ein Videosignal . . . . .	82
	Literatur . . . . .	83
<b>3</b>	<b>Systemtheorie abbildender Systeme . . . . .</b>	<b>85</b>
3.1	1D-Fouriertransformation . . . . .	85
3.2	2D-Fouriertransformation . . . . .	92
3.3	Faltung . . . . .	95
3.4	Korrelation . . . . .	95
3.5	Linearität und Verschiebungsinvarianz . . . . .	100
3.6	Hauptsatz der Systemtheorie abbildender Systeme . . . . .	101

---

3.7	Hochpass und Tiefpass . . . . .	102
3.8	Messung der MTF . . . . .	103
3.9	Abtastung und Abtasttheorem . . . . .	104
3.10	Die begrenzte Fenstergröße . . . . .	108
3.11	Rauschen in der Systemtheorie . . . . .	108
	Literatur . . . . .	112
<b>4</b>	<b>Kleiner Ausflug in die digitale Bildverarbeitung . . . . .</b>	<b>113</b>
4.1	Punktoperationen . . . . .	113
4.2	Geometrische Transformationen . . . . .	115
4.3	Interpolation . . . . .	117
4.4	Faltungsfiler . . . . .	119
4.4.1	Mittelwertfilter und Gaußfilter . . . . .	120
4.4.2	Gradienten-Filter und Sobel-Filter . . . . .	120
4.4.3	Laplace-Filter . . . . .	121
4.5	Rangordnungsfilter . . . . .	122
4.6	Restauration . . . . .	123
4.7	Bewegungs- und Verschiebungsanalyse . . . . .	124
4.8	Segmentierung . . . . .	125
4.9	Klassifizierung . . . . .	127
4.10	Multi-Modality-Imaging . . . . .	128
4.11	Bildkommunikation und Archivierung . . . . .	129
	Literatur . . . . .	130
<b>5</b>	<b>Computertomographie . . . . .</b>	<b>131</b>
5.1	Radon-Transformation . . . . .	131
5.2	Fourier-Scheiben-Theorem . . . . .	134
5.3	Radon-Transformation und Computertomographie . . . . .	136
5.4	Fourier-Rekonstruktion . . . . .	137
5.5	CT-Scanner der 1., 2., 3. und 4. Generation . . . . .	137
5.6	Röntgendetektoren in der CT . . . . .	143
5.7	Iterative CT-Rekonstruktion . . . . .	144
5.8	CT-Rekonstruktion mit der gefilterten Rückprojektion . . . . .	146
5.8.1	Ableitung der Grundgleichung . . . . .	146
5.8.2	Gefilterte Projektionen . . . . .	149
5.8.3	Rückprojektion . . . . .	149
5.8.4	Vergleich zwischen gefilterter und ungefilterter Rückprojektion . . . . .	151
5.8.5	Interpolation bei der Rückprojektion . . . . .	152
5.8.6	Begrenzen des Filters . . . . .	152
5.8.7	Gleichungen für die digitale gefilterte Rückprojektion . . . . .	155
5.9	MTF bei der CT . . . . .	156

5.10	Rauschen bei der CT . . . . .	159
5.11	Das Problem mit dem Abtasttheorem . . . . .	163
5.12	CT Artefakte . . . . .	164
5.12.1	Teilvolumenartefakte . . . . .	164
5.12.2	Artefakte durch die Strahlaufhärtung . . . . .	166
5.12.3	Artefakte durch Streustrahlung . . . . .	167
5.12.4	Bewegungsartefakte . . . . .	168
5.13	Hounsfield-Skala . . . . .	168
5.14	Spiral-CT . . . . .	169
5.15	Mehrzeilen-CT und Mehrzeilen-Spiral-CT . . . . .	170
5.16	Cone-Beam-CT . . . . .	171
5.17	Elektronenstrahl-CT . . . . .	172
5.18	Dual Source CT . . . . .	173
5.19	Anwendungen der CT . . . . .	174
5.20	Phasenkontrast CT . . . . .	176
	Literatur . . . . .	178
<b>6</b>	<b>Tomosynthese . . . . .</b>	<b>179</b>
6.1	Grundprinzip der Tomosynthese und die Verwischungstomographie . . . . .	179
6.2	Analytische Methoden der Bildrekonstruktion bei der Tomosynthese . . . . .	182
6.3	Iterative Bildrekonstruktion bei der Tomosynthese . . . . .	185
6.4	Klinische Anwendungen der Tomosynthese . . . . .	186
	Literatur . . . . .	186
<b>7</b>	<b>Biologische Wirkung ionisierender Strahlen und Dosimetrie . . . . .</b>	<b>187</b>
7.1	Wirkung ionisierender Strahlen auf Zellen . . . . .	187
7.2	Grundgrößen und Einheiten der Dosimetrie . . . . .	189
7.3	Dosimeter . . . . .	191
7.4	Typische Dosis in der Röntgendiagnostik . . . . .	192
7.5	Äquivalentdosisleistungskonstante . . . . .	192
7.6	Risiken durch die Exposition mit ionisierender Strahlung . . . . .	194
7.7	Dosis, Kontrast und Detailerkennbarkeit . . . . .	196
	Literatur . . . . .	199
<b>8</b>	<b>Szintigraphie und SPECT . . . . .</b>	<b>201</b>
8.1	Kernphysikalische Grundlagen . . . . .	201
8.1.1	Isotope eines Elements . . . . .	201
8.1.2	Ionisierende Strahlung . . . . .	202
8.1.3	Radioaktiver Zerfall und Zerfallsgesetz . . . . .	202
8.1.4	Aktivität . . . . .	204

---

8.2	Herstellung von Radionukliden . . . . .	204
8.2.1	Kernreaktionen zur Herstellung von Radionukliden . . . . .	204
8.2.2	Radionuklidgenerator . . . . .	205
8.2.3	Radionuklide für die nuklearmedizinische Diagnostik . . . . .	206
8.3	Problemstellung in der nuklearmedizinischen Diagnostik . . . . .	206
8.4	Nuklearmedizinische Messtechnik . . . . .	208
8.4.1	Detektoren für $\gamma$ – Quanten . . . . .	208
8.4.2	Kollimatoren . . . . .	210
8.4.3	Impulshöhenanalysator . . . . .	213
8.4.4	Gamma-Kamera . . . . .	215
8.5	Planare Szintigraphie . . . . .	217
8.5.1	Technik der planaren Szintigraphie . . . . .	217
8.5.2	Anwendungen der planaren Szintigraphie . . . . .	219
8.6	Single Photon Emission Computed Tomography SPECT . . . . .	220
8.6.1	SPECT Methode, Rekonstruktions-Algorithmen und Systeme . . . . .	220
8.6.2	Abbildungsfehler und Absorptionskorrektur . . . . .	222
8.6.3	Anwendungen der SPECT . . . . .	226
	Literatur . . . . .	226
<b>9</b>	<b>Positronen-Emissions-Tomographie PET</b> . . . . .	<b>227</b>
9.1	Die Methodik bei der Positronen-Emissions-Tomographie . . . . .	227
9.2	Das PET-System . . . . .	229
9.3	PET-Detektoren . . . . .	229
9.4	Herstellung der Isotope . . . . .	231
9.5	Auflösung . . . . .	232
9.6	Bildrekonstruktion . . . . .	232
9.7	Abbildungsfehler und Absorptionskorrektur . . . . .	233
9.8	Anwendungen der PET . . . . .	234
	Literatur . . . . .	237
<b>10</b>	<b>Ultraschall</b> . . . . .	<b>239</b>
10.1	Wellengleichung für Schallwellen in Flüssigkeiten und Gasen . . . . .	239
10.2	Schallwellenausbreitung im Körper . . . . .	244
10.2.1	Reflexion und Brechung an Grenzflächen . . . . .	244
10.2.2	Streuung und Speckle-Rauschen . . . . .	246
10.2.3	Absorption . . . . .	247
10.3	Erzeugung von Schallwellen . . . . .	248
10.3.1	Aufbau eines US Wandlers . . . . .	248
10.3.2	Schallfeld eines kreisförmigen US-Wandlers . . . . .	249

10.4	Auflösung . . . . .	251
10.4.1	Laterale und elevationale Auflösung . . . . .	251
10.4.2	Axiale Auflösung . . . . .	252
10.5	1D-Ultraschall-Systeme . . . . .	256
10.5.1	1D-Messungen: A-Mode . . . . .	256
10.5.2	Zeitabhängige 1D-Messungen: M-Mode . . . . .	260
10.6	2D-Ultraschall-Systeme: B-Mode . . . . .	261
10.6.1	Mechanische Scanner . . . . .	261
10.6.2	Elektronische Scanner: Linear- und Curved-Arrays . . . . .	262
10.6.3	Elektronische Scanner: Phased Arrays . . . . .	262
10.7	3D-Ultraschall-Systeme . . . . .	263
10.8	Bildfehler . . . . .	265
10.9	Sicherheitsaspekte . . . . .	266
10.10	CW-Doppler-Ultraschall . . . . .	267
10.11	PW-Doppler-Ultraschall . . . . .	272
10.12	Farbdoppler-Ultraschall . . . . .	278
10.13	Anwendungen der Ultraschall-Diagnostik . . . . .	284
	Literatur . . . . .	284
<b>11</b>	<b>Magnetresonanz-Tomographie . . . . .</b>	<b>285</b>
11.1	Der klassische magnetische Kreisel . . . . .	285
11.1.1	Kompassnadel im Magnetfeld . . . . .	285
11.1.2	Magnetisierung paramagnetischer und diamagnetischer Stoffe . . . . .	286
11.1.3	Magnetischer Kreisel im konstanten Magnetfeld (klassisch) . . . . .	287
11.1.4	Magnetischer Kreisel im konstanten Magnetfeld $B_z$ mit überlagertem transversalen Wechselfeld . . . . .	290
11.1.5	Signale in einer Antenne . . . . .	292
11.1.6	Quadratur Detektor . . . . .	293
11.2	Kernspin . . . . .	297
11.2.1	Gyromagnetisches Verhältnis . . . . .	297
11.2.2	Präzession von Kernspins im konstanten Magnetfeld . . . . .	297
11.2.3	Richtungsquantisierung des Drehimpulses . . . . .	299
11.2.4	Energieniveauschema für Spin-1/2-Teilchen . . . . .	300
11.2.5	Besetzung der Energieniveaus . . . . .	301
11.2.6	Quantenmechanischer Kreisel im konstanten Magnetfeld mit überlagertem transversalen Wechselfeld . . . . .	302
11.2.7	Spin-Gitter-Relaxation bzw. Längsrelaxationszeit $T_1$ . . . . .	303
11.2.8	Spin-Spin-Relaxation bzw. Querrelaxation . . . . .	304

---

11.3	Die Blochschen Gleichungen . . . . .	306
11.3.1	Bewegungsgleichung ohne Relaxation im ruhenden Koordinatensystem . . . . .	306
11.3.2	Bewegungsgleichung ohne Relaxation im rotierenden Koordinatensystem . . . . .	308
11.3.3	Bewegungsgleichungen mit Relaxation: die Bloch-Gleichungen . . . . .	312
11.4	Echos . . . . .	318
11.4.1	Spin-Echos . . . . .	318
11.4.2	Hahn-Echos . . . . .	320
11.4.3	Gradienten-Echos . . . . .	322
11.5	Grundlagen der Tomographie . . . . .	322
11.5.1	Selektive Anregung . . . . .	323
11.5.2	Phasencodierung . . . . .	328
11.5.3	Frequenzcodierung . . . . .	331
11.5.4	Kartesische Abtastung im k-Raum . . . . .	332
11.5.5	Abtastung mit Projektionen . . . . .	334
11.5.6	Surfen durch den k-Raum . . . . .	337
11.5.7	Berücksichtigung der Relaxation . . . . .	338
11.5.8	3D-Abtastung im k-Raum . . . . .	339
11.6	Aufbau eines MR-Tomographen . . . . .	340
11.6.1	Magnet . . . . .	340
11.6.2	Gradientenspulen . . . . .	343
11.6.3	Sende- und Empfangsspule . . . . .	345
11.6.4	HF-Generator und Empfangsteil . . . . .	348
11.7	Kontrast . . . . .	349
11.7.1	Kontraste bei der „Saturation Recovery“ . . . . .	350
11.7.2	Kontraste bei der „Inversion Recovery“ . . . . .	353
11.7.3	Optimierung des Kontrastes . . . . .	353
11.8	Auflösung . . . . .	354
11.9	Signal-Rausch-Verhältnis . . . . .	356
11.10	Schnelle MR-Tomographie . . . . .	359
11.10.1	Multi-Slice-Technik . . . . .	359
11.10.2	Turbo-Spinecho (TSE) . . . . .	360
11.10.3	Echo Planar Imaging (EPI) . . . . .	362
11.10.4	Gradient und Spin Echo (GRASE) . . . . .	363
11.10.5	„Steady State“ . . . . .	363
11.10.6	Gradientenecho mit verkürzter Repetitionszeit . . . . .	365
11.11	Kontrastmittel . . . . .	366
11.12	MR-Angiographie mit Kontrastmittel und MR-Perfusions-Bildgebung . . . . .	367

11.13	Funktionelle MR-Tomographie . . . . .	368
11.14	MR-Angiographie mit Flussmessung und MR-Diffusions-Bilder . . . . .	368
11.14.1	„Time-of-Flight“-Angiografie . . . . .	368
11.14.2	Phasensensitive MR-Angiographie . . . . .	369
11.14.3	Diffusions-Bildgebung . . . . .	372
11.15	Abbildungsfehler . . . . .	373
11.15.1	Bewegung und Fluss . . . . .	373
11.15.2	Suszeptibilitäts-Artefakte . . . . .	374
11.15.3	Chemische Verschiebung . . . . .	375
11.15.4	Abtastfehler . . . . .	376
11.16	Parallele Bildgebung . . . . .	378
11.17	In vivo MR-Spektroskopie . . . . .	380
11.17.1	Kerne für die in-vivo MR-Spektroskopie . . . . .	380
11.17.2	Chemical Shift Imaging (CSI) . . . . .	381
11.17.3	Spatially Resolved Spectroscopy . . . . .	383
11.17.4	k-Raum-Spektroskopie . . . . .	383
11.18	Sicherheitsaspekte . . . . .	386
11.18.1	Magnetische Teile im Untersuchungsraum . . . . .	386
11.18.2	Metallische Teile und Implantate im Patienten . . . . .	386
11.18.3	Statisches Magnetfeld . . . . .	386
11.18.4	HF-Feld . . . . .	386
11.18.5	Gradientenfelder . . . . .	387
11.18.6	Schall . . . . .	387
11.19	Anwendungen der MR – Tomographie . . . . .	387
	Literatur . . . . .	390
<b>12</b>	<b>Magnetic Particle Imaging MPI</b> . . . . .	<b>391</b>
12.1	Idee und Zielsetzung des Magnetic Particle Imaging . . . . .	392
12.2	Die Bildrekonstruktion . . . . .	395
12.3	Zukünftige Entwicklungen . . . . .	396
12.4	Mögliche Anwendungen . . . . .	396
	Literatur . . . . .	397
<b>13</b>	<b>Impedanztomographie</b> . . . . .	<b>399</b>
13.1	Elektrische Impedanz von Körpergewebe . . . . .	399
13.2	Elektroden . . . . .	402
13.3	Stromquelle . . . . .	402
13.4	Messverstärker . . . . .	403
13.5	Datenerfassungssystem . . . . .	404
13.6	Strategien für Stromeinspeisung und Spannungsmessung . . . . .	405
13.7	Bestimmung der Äquipotentiallinien im homogenen Zylinder . . . . .	407

13.8	Bildrekonstruktion mit der gefilterten Rückprojektion . . . . .	409
13.9	Bilder der Änderung der Impedanz („dynamic imaging“) . . . . .	411
13.10	Finite Elemente Methode (FEM) . . . . .	411
13.11	Impedanztomographie mit morphologischen Randbedingungen . . . .	414
13.12	Bestimmung der komplexen Impedanzen . . . . .	415
13.13	Projektionsbilder der Impedanz . . . . .	415
13.14	Induktive Stromeinspeisung . . . . .	416
13.15	Impedanztomographie mit einem Magnetresonanz-Tomographie-System . . . . .	416
13.16	Anwendungen der Impedanztomographie . . . . .	417
	Literatur . . . . .	418
<b>14</b>	<b>Abbildung bioelektrischer Quellen . . . . .</b>	<b>419</b>
14.1	Grundlagen bioelektrischer Quellen . . . . .	419
	14.1.1 Neurophysiologische Grundlagen . . . . .	420
	14.1.2 Depolarisation des Herzens . . . . .	421
14.2	Messung bioelektrischer Signale . . . . .	422
	14.2.1 EEG/EKG . . . . .	422
	14.2.2 MEG/MKG: SQUID-Magnetometer . . . . .	422
14.3	Quellenmodelle . . . . .	425
	14.3.1 Stromdipol . . . . .	425
	14.3.2 „Uniform double layer“ . . . . .	428
14.4	„Lead fields“ . . . . .	430
	14.4.1 Definition der „lead fields“ . . . . .	430
	14.4.2 „Lead fields“ von Elektrodenpaaren und Magnetometern . . . . .	430
	14.4.3 Reziprozitätstheorem . . . . .	431
14.5	Das inverse Problem . . . . .	432
	14.5.1 Das Problem mit dem „inversen Problem“ . . . . .	432
	14.5.2 Volumenleitermodelle . . . . .	433
	14.5.3 Stromdipol-Lokalisierung . . . . .	434
	14.5.4 Stromdipol-Verteilungen . . . . .	435
14.6	Anwendungen der Abbildung bioelektrischer Quellen . . . . .	440
	Literatur . . . . .	441
<b>15</b>	<b>Endoskopie . . . . .</b>	<b>443</b>
15.1	Linsenendoskope . . . . .	444
15.2	Faserendoskope . . . . .	444
15.3	Videoendoskope . . . . .	446
15.4	Qualitätsmerkmale von Endoskopen . . . . .	447
15.5	Anwendungen der Endoskopie . . . . .	448
	Literatur . . . . .	450

<b>16</b>	<b>Diffuse Optische Tomografie und Fluoreszenz-Bildgebung</b> . . . . .	451
16.1	Optische Eigenschaften von Körpergewebe . . . . .	451
16.2	Modelle zur Ausbreitung von Licht im Körpergewebe . . . . .	453
16.3	Messungen im Zeit- und Frequenzbereich . . . . .	456
16.4	Lösung der Diffusionsgleichungen für homogene Medien . . . . .	459
16.5	Transilluminationsbildgebung (Diaphanographie) . . . . .	462
16.6	Tomographie mit Licht . . . . .	462
16.7	Optische Tomosynthese . . . . .	464
16.8	Fluoreszenz-Bildgebung . . . . .	465
16.9	Optoakustische Bildgebung – photoakustische Bildgebung . . . . .	466
16.10	Akustooptische Bildgebung . . . . .	467
16.11	Anwendungen der optischen Tomographie . . . . .	468
	Literatur . . . . .	469
<b>17</b>	<b>Optische Kohärenztomographie OCT</b> . . . . .	471
17.1	Methode der Time-Domain-OCT . . . . .	471
17.2	Technik der Time-Domain-OCT-Systeme . . . . .	476
17.3	Frequency Domain OCT und Spectral Domain OCT . . . . .	477
17.4	Swept Source OCT und Time-Encoded Frequency Domain OCT . . . . .	481
17.5	Anwendungen der OCT in der Medizin . . . . .	481
	Literatur . . . . .	484
<b>18</b>	<b>Thermographie und Infrarot-Bildgebung</b> . . . . .	485
18.1	Strahlungsgesetze . . . . .	485
	18.1.1 Definitionen . . . . .	485
	18.1.2 Das Plancksche Strahlungsgesetz und Folgerungen . . . . .	488
18.2	Wärmehaushalt des Menschen . . . . .	489
18.3	Fragestellungen der Thermographie . . . . .	491
18.4	Optimaler Wellenlängenbereich für die Temperaturmessung . . . . .	492
18.5	Das „IR-Fenster“ von der Atmosphäre und von optischen Bauelementen . . . . .	492
18.6	IR-Detektoren und bildgebende Systeme . . . . .	493
18.7	Anwendungen der Thermographie in der Medizin . . . . .	495
	Literatur . . . . .	495
<b>19</b>	<b>Abbildung mit Mikrowellen und THz-Wellen</b> . . . . .	497
19.1	Dielektrische Eigenschaften von Körpergewebe bei Frequenzen oberhalb von 1GHz . . . . .	497
19.2	System-Konzept und Messgrößen . . . . .	498
19.3	Algorithmen zur Bildrekonstruktion . . . . .	499
19.4	Vorschläge zur Mammografie und zur Schlaganfall-Früherkennung mit Mikrowellen . . . . .	500

---

19.5	Vorschläge zur Nutzung von THz-Wellen für die Medizin . . . . .	501
	Literatur . . . . .	501
<b>20</b>	<b>Ausblick</b> . . . . .	<b>503</b>
20.1	Verbesserung von Auflösung, Kontrast und Aufnahmezeit . . . . .	503
20.2	Neue Dimensionen der Bildgebung in der Medizin . . . . .	504
20.3	Neue Modalitäten . . . . .	505
	<b>Sachverzeichnis</b> . . . . .	<b>507</b>