

Inhaltsverzeichnis

1 Röntgentechnik	1
1.1 Grundlagen zur Erzeugung von Röntgenstrahlung	1
1.1.1 Grundprinzip der Erzeugung von Röntgenstrahlen	1
1.1.2 Bremsstrahlung	2
1.1.3 Charakteristische Strahlung	4
1.1.4 Wirkungsgrad	8
1.2 Grundlagen zur Schwächung von Röntgenstrahlen	9
1.2.1 Allgemeines Schwächungsgesetz	9
1.2.2 Wechselwirkung von Röntgenstrahlen mit Materie	10
1.2.3 Wirkungsquerschnitte und Monte-Carlo-Simulationen	10
1.2.4 Massenschwächungskoeffizient von Blei und Wasser	13
1.3 Technik zur Erzeugung von Röntgenstrahlen	16
1.3.1 Qualitätskriterien für Röntgenquellen	16
1.3.2 Die schräg gestellte Anode	17
1.3.3 Drehanode	18
1.3.4 Anodenmaterial	19
1.3.5 Anodenaufbau	20
1.3.6 Drehlager	21
1.3.7 Gehäuse und Durchführungen	21
1.3.8 Filter	22
1.3.9 Motor	22
1.3.10 Kathode und Stromregelung	22
1.3.11 Generator	23
1.3.12 Belichtungssteuerung	24
1.3.13 Generator mit „fallender Last“	26
1.4 Techniken der Bildaufnahme	28
1.4.1 Röntgenfilm	28
1.4.2 Verstärkerfolien	30
1.4.3 Speicherfolien: digitale Lumineszenz - Radiographie	33
1.4.4. Bildaufnahme mit Selen-Filmen (Xeroradiographie)	35
1.4.5 Flache digitale Röntgen-Bildaufnehmer	36
1.4.6 Raster	37
1.5 Röntgenbildverstärker	42
1.6 Einführung der Modulationsübertragungsfunktion MTF	46

1.7 Rauschen.....	52
1.7.1 Poisson-Verteilung.....	52
1.7.2 Zahl der Quanten pro Energiedosis.....	54
1.7.3 Quantenstatistik am Beispiel Röntgenbildverstärker.....	56
1.7.4 „Detective Quantum Efficiency“ - DQE.....	57
1.7.5 Optimierung von DQE und MTF.....	58
1.8 Anwendungen der Projektions-Röntgentechnik.....	59
1.8.1 Kontrastmittel.....	59
1.8.2 Digitale Subtraktionsangiographie DSA	60
1.8.3 Ventrikulographie.....	62
1.8.4 Koronarangiographie	63
1.8.5 Übersicht über verschiedene Anwendungen der Röntgentechnik	64
1.9 MV-Imaging.....	67
1.9.1 Problematik beim Nachweis von MeV-Quanten	67
1.9.2 Umwandlung der Gamma-Quanten in Licht.....	67
1.9.3 Umwandlung der Leuchtschirm-Bilder in ein Videosignal	69
2 Systemtheorie abbildender Systeme	70
2.1 1D-Fouriertransformation	70
2.2 2D-Fouriertransformation.....	74
2.3 Faltung.....	77
2.4 Korrelation	78
2.5 Linearität und Verschiebungsinvarianz.....	79
2.6 Hauptsatz der Systemtheorie abbildender Systeme	80
2.7 Hochpaß und Tiefpaß.....	82
2.8 Messung der MTF	83
2.9 Abtastung	84
2.10 Abtasttheorem.....	85
2.11 Die begrenzte Fenstergröße.....	88
2.12 Rauschen in der Systemtheorie	88
3 Kleiner Ausflug in die digitale Bildverarbeitung	92
3.1 Punktoperationen.....	92
3.2 Geometrische Transformationen	93
3.3 Interpolation	95
3.4 Faltungsfilter.....	96
3.4.1 Mittelwertfilter und Gaußfilter.....	97
3.4.2 Gradienten-Filter und Sobel-Filter.....	97
3.4.3 Laplace-Filter.....	98
3.5 Rangordnungsfilter.....	98
3.6 Restauration.....	100
3.7 Bewegungs- und Verschiebungsanalyse	100
3.8 Segmentierung.....	101

3.9 Klassifizierung	103
3.10 Multi-Modality-Imaging	104
3.11 Bildkommunikation und Archivierung	105
4 Computer Tomographie	107
4.1 Radon-Transformation	107
4.2 Fourier-Scheiben-Theorem.....	109
4.3 Radon-Transformation und Computer-Tomographie.....	110
4.4 Fourier-Rekonstruktion	112
4.5 CT-Scanner der 1., 2., 3. und 4. Generation.....	112
4.6 Röntgendetektoren in der CT	117
4.7 Iterative CT-Rekonstruktion.....	118
4.8 CT-Rekonstruktion mit der gefilterten Rückprojektion	121
4.8.1 Ableitung der Grundgleichung.....	121
4.8.2 Gefilterte Projektionen	122
4.8.3 Rückprojektion.....	123
4.8.4 Vergleich zwischen gefilterter und ungefilterter Rückprojektion.....	125
4.8.5 Interpolation bei der Rückprojektion	126
4.8.6 Begrenzen des Filters	126
4.8.7 Gleichungen für die digitale gefilterte Rückprojektion	128
4.9 MTF bei der CT.....	129
4.10 Rauschen bei der CT	132
4.11 Das Problem mit dem Abtasttheorem.....	135
4.12 CT Artefakte.....	136
4.12.1 Teilvolumenartefakte	136
4.12.2 Artefakte durch die Strahlauhfärtung.....	138
4.12.3 Artefakte durch Streustrahlung	139
4.12.4 Bewegungsartefakte	140
4.13 Hounsfield-Skala	140
4.14 Spiral-CT	141
4.15 Cone-Beam-CT.....	142
4.16 Elektronenstrahl-CT	143
4.17 Anwendungen der CT.....	144
5 Biologische Wirkung ionisierender Strahlen und Dosimetrie.....	146
5.1 Wirkung ionisierender Strahlen auf Zellen	146
5.2 Grundgrößen und Einheiten der Dosimetrie.....	148
5.3 Dosimeter	151
5.4 Typische Dosis in der Röntgendiagnostik.....	152
5.5 Äquivalentdosisleistungskonstante.....	153
5.6 Dosis, Kontrast und Detailerkennbarkeit	154

6 Bildgebende Verfahren in der nuklearmedizinischen Diagnostik	157
6.1 Kernphysikalische Grundlagen	157
6.1.1 Isotope eines Elements	157
6.1.2 Ionisierende Strahlung	157
6.1.3 Radioaktiver Zerfall und Zerfallsgesetz	158
6.1.4 Aktivität	159
6.2 Herstellung von Radionukliden	159
6.2.1 Kernreaktionen zur Herstellung von Radionukliden	159
6.2.2 Radionuklidgenerator	160
6.2.3 Radionuklide für die nuklearmedizinische Diagnostik	161
6.3 Problemstellung in der nuklearmedizinischen Diagnostik	162
6.4 Nuklearmedizinische Meßtechnik	163
6.4.1 Detektoren für γ -Quanten	163
6.4.2 Kollimatoren	166
6.4.3 Impulshöhenanalysator	169
6.4.4 Gamma-Kamera	170
6.5 Planare Szintigraphie	172
6.5.1 Technik der planaren Szintigraphie	172
6.5.2 Anwendungen der planaren Szintigraphie	172
6.6 Single Photon Emission Computer Tomography SPECT	174
6.6.1 SPECT Methode und Systeme	174
6.6.2 Abbildungsfehler und Absorptionskorrektur	176
6.6.3 Anwendungen der SPECT	178
6.7 Positronen-Emissions-Tomographie	178
6.7.1 PET-Methode	178
6.7.2 PET-Detektoren	180
6.7.3 Herstellung der Isotope	181
6.7.4 Auflösung	181
6.7.5 Bildrekonstruktion	182
6.7.6 Abbildungsfehler und Absorptionskorrektur	182
6.7.7 Anwendungen der PET	183
 7 Ultraschall	 185
7.1 Wellengleichung für Schallwellen in Flüssigkeiten und Gasen	185
7.2 Schallwellenausbreitung	188
7.2.1 Reflexion, Brechung	188
7.2.2 Reflexion an rauen Grenzflächen	189
7.2.3 Streuung	189
7.2.4 Absorption	190
7.3 Erzeugung von Schallwellen	191
7.3.1 Aufbau eines US Wandlers	191
7.3.2 Schallfeld eines kreisförmigen US-Wandlers	193

7.4 Auflösung	194
7.4.1 Laterale Auflösung	194
7.4.2 Axiale Auflösung	194
7.5 1D-US-Systeme	196
7.5.1 1D-Messungen: A-Mode	196
7.5.2 Zeitabhängige 1D-Messungen: M-Mode	197
7.6 2D-US-Systeme: B-Mode	198
7.6.1 Mechanische Scanner	198
7.6.2 Elektronische Scanner: Linear- und Curved-Arrays	199
7.6.3 Elektronische Scanner: Phased Arrays	200
7.7 3D-US-Systeme	200
7.8 Bildfehler	201
7.9 Sicherheitsaspekte	203
7.10 CW-Doppler-US	203
7.11 PW-Doppler-US	206
7.12 Farbdoppler-US	211
7.13 Anwendungen der US-Diagnostik	212
8 Thermographie	214
8.1 Strahlungsgesetze	214
8.1.1 Definitionen	214
8.1.2 Strahlungsgesetze und Folgerungen	215
8.2 Wärmehaushalt des Menschen	217
8.3 Fragestellungen der Thermographie	218
8.4 Optimaler Wellenlängenbereich für die Temperaturmessung	218
8.5 „IR-Fenster“ der Atmosphäre	219
8.6 „IR-Fenster“ von optischen Bauelementen	220
8.7 Detektoren	220
8.8 Bildgebende Systeme	222
8.9 Anwendungen der Thermographie	223
9 Impedanz-Tomographie	224
9.1 Elektrische Impedanz von Körpergewebe	224
9.2 Elektroden	226
9.3 Stromquelle	227
9.4 Meßverstärker	228
9.5 Datenerfassungssystem	228
9.6 Strategien für Stromeinspeisung und Spannungsmessung	229
9.7 Bestimmung der Äquipotentiallinien im homogenen Zylinder	231
9.8 Bildrekonstruktion mit der gefilterten Rückprojektion	232
9.9 Bilder der Änderung der Impedanz („dynamic imaging“)	234
9.10 Finite Elemente Methode (FEM)	234
9.11 Impedanztomographie mit morphologischen Randbedingungen	237

9.12 Bestimmung der komplexen Impedanzen	237
9.13 Projektionsbilder der Impedanz	238
9.14 Mikrowellen-Impedanztomographie	238
9.15 Anwendungen der Impedanztomographie	239
10 Abbildung bioelektrischer Quellen	240
10.1 Grundlagen bioelektrischer Quellen.....	240
10.1.1 Neurophysiologische Grundlagen	240
10.1.2 Depolarisation des Herzens.....	241
10.2 Messung bioelektrischer Signale.....	242
10.2.1 EEG/EKG.....	242
10.2.2 MEG/MKG: SQUID-Magnetometer	242
10.3 Quellenmodelle.....	245
10.3.1 Stromdipol.....	245
10.3.2 „Uniform double layer“	247
10.4 „Lead fields“.....	249
10.4.1 Definition der „lead fields“	249
10.4.2 „Lead fields“ von Elektrodenpaaren und Magnetometern.....	249
10.4.3 Reziprozitätstheorem	251
10.5 Das inverse Problem.....	251
10.5.1 Das Problem mit dem „inversen Problem“	251
10.5.2 Volumenleitermodelle	252
10.5.3 Stromdipol-Lokalisierung	253
10.5.4 Stromdipol-Verteilungen	254
10.6 Anwendungen der Abbildung bioelektrischer Quellen	258
11 Optische Tomographie.....	260
11.1 Optische Eigenschaften von Körpergewebe.....	260
11.2 Modelle zur Ausbreitung von Licht im Körpergewebe	262
11.3 Messungen im Zeit- und Frequenzbereich	263
11.4 Lösung der Diffusionsgleichungen für homogene Medien	266
11.5 Diaphanographie.....	269
11.6 Tomographie mit Licht.....	269
11.7 Anwendungen der optischen Tomographie.....	270
12 Endoskopie	272
12.1 Einführung.....	272
12.2 Linsenendoskope	272
12.3 Faserendoskope	273
12.4 Videoendoskope	275
12.5 Qualitätsmerkmale von Endoskopen.....	276
12.6 Anwendungen der Endoskopie.....	277

13 MR-Tomographie.....	278
13.1 Der klassische magnetische Kreisel	278
13.1.1 Kompaßnadel im Magnetfeld.....	278
13.1.2 Magnetisierung paramagnetischer und diamagnetischer Stoffe.....	279
13.1.3 Magnetischer Kreisel im konstanten Magnetfeld (klassisch)	280
13.1.4 Magnetischer Kreisel im konstanten Magnetfeld B_z mit überlagertem transversalem Wechselfeld.....	282
13.1.5 Signale in einer Antenne	284
13.1.6 Quadratur Detektor.....	284
13.2 Kernspin	287
13.2.1 Gyromagnetisches Verhältnis	287
13.2.2 Präzession von Kernspins im konstanten Magnetfeld	287
13.2.3 Richtungsquantisierung des Drehimpulses	288
13.2.4 Energieniveauschema für Spin-1/2-Teilchen	289
13.2.5 Besetzung der Energieniveaus	290
13.2.6 Quantenmechanischer Kreisel im konstanten Magnetfeld mit überlagertem transversalen Wechselfeld.....	292
13.2.7 Spin-Gitter-Relaxation bzw. Längsrelaxationszeit T_1	292
13.2.8 Spin-Spin-Relaxation bzw. Querrelaxation	293
13.3 Die Blochschen Gleichungen	295
13.3.1 Bewegungsgleichung ohne Relaxation im ruhenden Koordinatensystem.....	295
13.3.2 Bewegungsgleichung ohne Relaxation im rotierenden Koordinatensystem.....	296
13.3.3 Bewegungsgleichungen mit Relaxation: die Bloch-Gleichungen..	299
13.4 Echos	304
13.4.1 Spin-Echos	304
13.4.2 Hahn-Echos	307
13.4.3 Gradienten-Echos	308
13.5 Grundlagen der Tomographie.....	309
13.5.1 Selektive Anregung	310
13.5.2 Phasenkodierung	314
13.5.3 Frequenzkodierung.....	316
13.5.4 Kartesische Abtastung im k-Raum.....	317
13.5.5 Abtastung mit Projektionen	319
13.5.6 Surfen durch den k-Raum	321
13.5.7 Berücksichtigung der Relaxation	322
13.5.8 3D-Abtastung im k-Raum	324
13.6 Aufbau eines MR-Tomographen.....	324
13.6.1 Magnet	324
13.6.2 Gradientenspulen	328
13.6.3 Sende- und Empfangsspule	329
13.6.4 HF-Generator und Empfangsteil	332

13.7 Kontrast	333
13.7.1 Kontraste bei der „Saturation Recovery“	334
13.7.2 Kontraste bei der „Inversion Recovery“	336
13.7.3 Optimierung des Kontrastes.....	337
13.8 Auflösung	337
13.9. Signal-Rausch-Verhältnis.....	339
13.10 Schnelle MR-Tomographie	341
13.10.1 Multi-Slice-Technik	341
13.10.2 Turbo-Spinecho (TSE).....	342
13.10.3 Echo Planar Imaging (EPI)	343
13.10.4 Gradient und Spin Echo (GRASE).....	344
13.10.5 „Steady State“	345
13.10.6 Gradientenecho mit verkürzter Repetitionszeit.....	347
13.11 Kontrastmittel	348
13.12 MR-Angiographie mit Kontrastmittel und MR-Perfusions-Bilder	349
13.13 Funktionelle MR-Tomographie.....	349
13.14 MR-Angiographie mit Flußmessung und MR-Diffusions-Bilder	350
13.14.1 „Time-of-Flight“-Angiographie.....	350
13.14.2 Phasensensitive MR-Angiographie	351
13.14.3 Diffusions-Bildgebung.....	354
13.15 Abbildungsfehler	354
13.15.1 Bewegung und Fluß	354
13.15.2 Suszeptibilitäts-Artefakte	355
13.15.3 Chemische Verschiebung.....	356
13.15.4 Abtastfehler	357
13.16 In vivo MR-Spektroskopie	358
13.16.1 Kerne für die in-vivo MR-Spektroskopie.....	358
13.16.2 Chemical Shift Imaging (CSI)	359
13.16.3 Spatially Resolved Spectroscopy	360
13.16.4 k-Raum-Spektroskopie.....	361
13.17 Sicherheitsaspekte	363
13.17.1 Magnetische Teile im Untersuchungsraum.....	363
13.17.2 Metallische Teile und Implantate im Patienten.....	363
13.17.3 Statisches Magnetfeld	363
13.17.4 HF-Feld	363
13.17.5 Gradientenfelder.....	364
13.17.6 Schall.....	364
13.18 Anwendungen der MR – Tomographie.....	364
Literaturverzeichnis	370
Sachverzeichnis.....	372