

# Moderne Bildgebung

Physik, Gerätetechnik, Bildbearbeitung und -kommunikation,  
Strahlenschutz, Qualitätskontrolle

Herausgegeben von Klaus Ewen

Mit Beiträgen von

J. Borchers

J. Bunke

K. Ewen

J. Heinzerling

W. Huhn

H. Jung

K.-F. Kamm

P.-M. Kiewes

P. Kreisler

H.-D. Nagel

U. Neitzel

Ursula Streubühr

K.-H. Trümmeler

T. von Volkmann

184 Abbildungen, 24 Tabellen



Georg Thieme Verlag Stuttgart • New York 1998

# Inhaltsverzeichnis

## 1. Physikalische Grundlagen der Röntgentechnik

K. Ewen und U. Streubühr

Aufbau der Atome . . . . .	1	Schwächung ausgedehnter, divergenter Photonenstrahlenbündel . . . . .	12
Energieniveaus, Anregung, Emission . . . . .	2	Filterung . . . . .	13
Bremsstrahlung, charakteristische Strahlung . . . . .	2	Dosisbegriffe . . . . .	13
Funktionsprinzip einer Röntgenröhre . . . . .	5	Ionendosis . . . . .	13
Photoeffekt, Compton-Effekt, Paarbildungsprozeß . . . . .	6	Energiedosis . . . . .	15
Photoeffekt . . . . .	6	Kerma . . . . .	16
Compton-Effekt . . . . .	7	Äquivalentdosis . . . . .	16
Paarbildungsprozeß . . . . .	9	Spezielle Dosisgrößen . . . . .	18
Schwächung von Röntgenstrahlung in Materie . . . . .	10	Detektion . . . . .	20
		Absolute Dosismethoden . . . . .	20
		Relative Dosismethoden . . . . .	21

## 2. Strahlenrisiken

24

H. Jung

Strahlenbiologische Grundlagen . . . . .	24	Risiken der natürlichen Strahlen- exposition . . . . .	36
Strahlenschäden . . . . .	24	Risiken der Röntgendiagnostik . . . . .	36
Strahlenpathologie und Strahlen- syndrom . . . . .	25	Möglichkeiten der Dosisersparun- gen . . . . .	37
Strahlenrisiken . . . . .	25	Risiken einzelner radiologischer Untersu- chungsverfahren . . . . .	38
Quantifizierung des Krebsrisikos . . . . .	26	Veranschaulichung des Strahlenrisikos . . . . .	39
Klinische Beobachtungen . . . . .	26	Vergleich mit dem allgemeinen Krebsrisiko . . . . .	39
Hiroshima-Nagasaki-Studie . . . . .	26	Vergleich mit der natürlichen Strahlenexposition . . . . .	40
Risikokoeffizienten . . . . .	30	Vergleich mit den Risiken des Straßenverkehrs . . . . .	40
Altersabhängigkeit des Strahlen- risikos . . . . .	30	Vergleich mit Alltagsrisiken . . . . .	40
Strahleninduzierte Mutationen . . . . .	33	Sonstige Risiken durch die Untersu- chung . . . . .	41
Experimentelle Untersuchungen . . . . .	34	Risikokommunikation . . . . .	42
Quantifizierung der genetischen Strahlenrisiken . . . . .	34		
Allgemeine Betrachtungen zum Strahlen- risiko . . . . .	36		

<b>3. Grundlagen der Röntgenabbildung</b>	<b>45</b>
K.-F. Kamm	
Abbildung mit Röntgenstrahlen . . . . .	45
Bildentstehung . . . . .	45
Streustrahlung . . . . .	46
Rauschen . . . . .	46
Projektionsradiographie. . . . .	48
Vergrößerung . . . . .	48
Unschärfe. . . . .	49
Dosis-Abstand-Quadrat-Relation....	50
Beschreibung eines Röntgenbilds. . . . .	50
Signalintensität . . . . .	50
Kontrast . . . . .	50
Auflösung - Schärfe . . . . .	52
Ortsfrequenzen. . . . .	52
Bildrauschen. . . . .	53
Strahlenbild. . . . .	55
Modell des Abbildungssystems. . . . .	56
Forderungen an das Abbildungs- system. . . . .	56
Quantenausbeute und charakteristi- sche Kennlinie. . . . .	57
Modulationsübertragungsfunktion ...	59
Spektrales Signal-Rausch-Verhältnis .	60
<b>4. Grundlagen der digitalen Bildgebung</b>	<b>63</b>
U. Neitzel	
Grundbegriffe der Digitaltechnik. . . . .	63
Grundbegriffe der digitalen Radio- graphie. . . . .	64
Bildverarbeitung . . . . .	66
Fenstertechnik, Look-up tables. . . . .	68
Ortsfrequenzfilterung . . . . .	69
Zeitliche Filterung . . . . .	70
Bildqualität bei digitalen Systemen. . . . .	71
Dynamikbereich . . . . .	71
Ortsauflösung . . . . .	72
Modulationsübertragungsfunktion ...	74
Kontrast und Kontrastauflösung ....	75
Rauschen. . . . .	75
Empfindlichkeit und Dosis. . . . .	76
Zusammenfassung . . . . .	76
<b>5. Komponenten und Subsysteme der Röntgentechnik</b>	<b>77</b>
<b>Röntgenstrahler</b>	<b>77</b>
J. Heinzerling	
Anforderungen. . . . .	77
Prinzipieller Aufbau. . . . .	77
Röntgenröhren. . . . .	77
Anoden. . . . .	81
Kühlung . . . . .	82
Röhrengehäuse. . . . .	83
Schutzgehäuse. . . . .	83
Lebensdauer. . . . .	83
Praktische Ausführung. . . . .	83
<b>Blenden</b>	<b>86</b>
J. Heinzerling	
Tiefenblende . . . . .	86
Zusatzfilter . . . . .	86

<b>Generatoren</b>	<b>88</b>
J. Heinzerling	
Anforderungen . . . . .	88
Prinzipieller Aufbau . . . . .	88
Konvertergenerator . . . . .	90
Belichtungssteuerung . . . . .	90
Anlaufgerät . . . . .	93
Praktische Ausführung . . . . .	94
<b>Streustrahlenreduktion</b>	<b>95</b>
J. Heinzerling	
Einblendung . . . . .	95
Abstandstechnik (Grödel-Technik) . . . . .	95
Kompression . . . . .	95
Raster . . . . .	95
<b>Film-Folien-Systeme</b>	<b>98</b>
T. von Volkmann	
Röntgenfilm, Verstärkungsfolie, Filmverarbeitung, Kassette . . . . .	98
Einfluß des Film-Folien-Systems auf Dosis und Bildqualität einer Röntgenaufnahme . . . . .	102
Wahl der Film-Folien-Kombination . . . . .	114
<b>Bildverstärker-Fernseh-Kette</b>	<b>115</b>
J. Heinzerling	
Bildverstärker . . . . .	115
Mittelformatkamera . . . . .	117
Fernsehaufnahmeröhren . . . . .	118
Halbleiter-Bildsensor-Matrizen . . . . .	119
Verzeichnung . . . . .	119
Geometrische Auflösung . . . . .	120
Rasterung . . . . .	121
Digitale Durchleuchtungs- und Aufnahmetechnik . . . . .	122
Neue Funktionen bei digitaler Technik . . . . .	123
<b>Systeme für die digitale Röntgenbildgebung</b>	<b>127</b>
U. Neitzel	
Digitale Durchleuchtung (Fluoroskopie) . . . . .	127
Digitale Subtraktionsangiographie . . . . .	128
Digitale Bildverstärkerradiographie . . . . .	131
Digitale Lumineszenzradiographie (Speicherfolienradiographie) . . . . .	132
Digitale Selentechnik . . . . .	134
Neue Entwicklungen zur digitalen Aufnahmetechnik . . . . .	135

## 6. Anforderungen an Röntgenarbeitsplätze und praktische Ausführungen 137

H.-D. Nagel

Prinzipieller Aufbau von Röntgenarbeitsplätzen .....	137	Fernbediente universelle Arbeitsplätze ...	144
Aufnahmeeinrichtungen, klassische		Lungenaufnahmegерäte .....	145
Tomographie .....	138	Mammographieeinrichtungen .....	147
Chirurgische Bildverstärkergeräte .....	140	Universelle Angiographiesysteme einschließlich digitale Subtraktionsangiographie .....	149
Nahbediente Untersuchungsgeräte .....	141		

## 7. Computertomographie 153

J. Bunke

Grundprinzip .....	153	CT-Angiographie .....	165
Detektorsysteme .....	156	Elektronenstrahl-CT .....	167
Rekonstruktion .....	157	Dosis bei CT-Untersuchungen .....	169
Schleifringssysteme, Spiral-CT .....	160		

## 8. Magnetresonanztomographie 171

P. Kreisler und K.-H. Trümmler

Grundlagen .....	171	Turbo-Gradienten-Spin-Echo-(GRASE-)Sequenz .....	186
Protonen im Magnetfeld .....	171	Echo-Planar-Imaging (EPI) .....	186
Anregung .....	172	MR-Angiographie .....	188
Relaxation .....	173	MR-Spektroskopie .....	190
Einfluß der Inhomogenitäten .....	175	Technik .....	194
Unterschiedliche Bildkontraste .....	175	Magnet .....	194
T1-gewichtetes Bild .....	176	Gradientensystem .....	194
T2-gewichtetes Bild .....	177	Hochfrequenzsystem .....	194
Weitere Voraussetzungen für ein		Rechnersystem .....	194
T1- und T2-gewichtetes Bild .....	179	Technisches und biologisches Gefährdungspotential .....	195
Protonendichte (PD) .....	179	Statische Magnetfelder .....	195
Grundlegende Meßsequenzen .....	180	Zeitlich veränderliche Magnetfelder ..	196
Vorbemerkung zu 2- und 3-D-Meßmethoden .....	180	Hochfrequenzfelder .....	196
Ultraschnelle Bildgebung .....	184		
Turbo-Spin-Echo-(TSE-)Sequenz ..	184		

<b>9. Physik und Technik der Ultraschalldiagnoseverfahren</b>	<b>197</b>
P.-M. Kiewis	
Ultraschallverfahren in der Übersicht . . . .	197
Allgemeine physikalische Eigenschaften . .	201
Pulswiederholffrequenz und Bildwiederholffrequenz . . . . .	203
Schallköpfe . . . . .	205
Schallfeld . . . . .	207
Orts- und Frequenzauflösung . . . . .	210
Doppler-Effekt . . . . .	211
Gewinnung des Doppler-Signals . . . . .	212
Entstehung des Doppler-Spektrums . . . . .	213
Aliasing . . . . .	215
Farbkodierte Duplexsonographie . . . . .	216
Bestimmung der mittleren Flußgeschwindigkeit in der farbkodierten Duplexsonographie . . . . .	216
Neue Farbverfahren . . . . .	217
Prinzipieller Aufbau eines Ultraschallgeräts . . . . .	218
Biologische Wirkung des Ultraschalls . . . .	220
<b>10. Dokumentationssysteme</b>	<b>223</b>
J. Borchers	
Rechtliche Rahmenbedingungen . . . . .	223
Systeme und Verfahren der Bilddokumentation . . . . .	224
Entwicklungsstufen . . . . .	224
Video-Imager . . . . .	224
Laserkamera . . . . .	225
Trockensysteme . . . . .	229
Filmmaterial . . . . .	230
Beeinflussen Faktoren die Bildqualität . . . .	231
Qualitätssicherung . . . . .	231
Schnittstellen . . . . .	232
Ausblick und Alternativen . . . . .	232
Digitale Lumineszenzradiographie . . . . .	233
<b>11. Grundbegriffe der Medizininformatik</b>	<b>235</b>
J. Borchers	
Datentechnische Grundlagen . . . . .	235
Informationssysteme . . . . .	237
Netzwerke . . . . .	238
Lokale Netzwerke . . . . .	238
Öffentliche Netzwerke . . . . .	240
Teleradiologie . . . . .	242
Datenschutz . . . . .	242
Standards . . . . .	243
<b>12. Medizintechnik: Vorschriften und Sicherheit für den Betreiber</b>	<b>247</b>
K. Ewen und W. Huhn	
Einführung in die rechtlichen Grundlagen . . . . .	247
Medizinproduktegesetz (MPG) . . . . .	249
Richtlinie 93/42 EWG . . . . .	249
Kommentierung der wichtigsten Bestimmungen . . . . .	249

Röntgenverordnung (RöV) . . . . .	253	Ermittlung der Körperdosis . . . . .	257
Inbetriebnahme medizinischer Rönt- geneinrichtungen . . . . .	253	Behlehung . . . . .	257
Sachverständigenprüfung . . . . .	254	Arztliche Überwachung . . . . .	258
Strahlenschutzverantwortliche und Strahlenschutzbeauftragte . . . . .	255	Richtlinien und Normen zur Rönt- genverordnung . . . . .	258
Strahlenschutzbereiche . . . . .	256	Qualitätssicherung in der Röntgendiagno- stik . . . . .	259
Anwendung von Röntgenstrahlen auf den Menschen, Aufzeichnung- pflicht . . . . .	256	Regelungen zur Anwendung ionisierender und nichtionisierender Strahlen . . . . .	261

**Sachverzeichnis**