

Inhaltsverzeichnis

Teil I Grundlagen

1 Grundlagen der Kernphysik

W. Schlegel	3
1.1 Einleitung	3
1.2 Aufbau der Materie	3
1.2.1 Die Elektronenhülle	3
1.2.2 Der Atomkern	4
1.2.3 Elementarteilchen	18
1.3 Radioaktiver Zerfall	18
1.3.1 Aktivität	20
1.3.2 Halbwertszeit	20
1.3.3 Zerfallsarten	21
1.3.4 Energieabsorption bei inkorperierten radioaktiven Stoffen	30
1.4 Kernreaktionen	31
Literatur	32

2 Physikalische Wechselwirkungen ionisierender Strahlung mit Materie

U. Oelfke	33
2.1 Absorption von Röntgenstrahlen: Phänomenologische Beschreibung	33
2.1.1 Das Energiespektrum medizinisch applizierter Röntgenstrahlung	33
2.1.2 Absorption, Transmission, Streuung	34
2.1.3 Absorptionskoeffizienten	35
2.2 Mikroskopische Beschreibung der Wechselwirkung von Röntgenstrahlen	36
2.2.1 Rückführung der Phänomenologie auf mikroskopische Prozesse	36
2.2.2 Mikroskopische Prozesse I: Photoeffekt	37
2.2.3 Mikroskopische Prozesse II: Compton-Effekt	39
2.2.4 Mikroskopische Prozesse III: Paarerzeugung	42
2.2.5 Gesamtabsorption und relative Wichtigkeit der Prozesse..	43

2.3	Konsequenzen für die Bildgebung mit Photonen	44
2.3.1	Transmissionsbildgebung mit Photonen	45
2.3.2	Die Qualität des Röntgenbildes	45
2.3.3	Abschätzung der Dosis	47
2.3.4	Bildgebung und Photonenenergie	48
2.3.5	Zwei praktische Beispiele	50
2.4	Konsequenzen für Dosisverteilungen in der Strahlentherapie	52
2.4.1	Tiefendosiskurven und der Compton-Effekt	52
2.4.2	Laterale Dosisverteilungen	55
2.5	Wechselwirkung geladener Teilchen mit Materie	55
2.5.1	Physikalische Wechselwirkungsmechanismen	55
2.5.2	Bremsvermögen: Bethe-Bloch-Gleichung, Reichweite	56
2.5.3	Bragg-Peak, Straggling, Energiespektrum	58
2.5.4	Inelastische Kernwechselwirkungen	59
2.5.5	Die laterale Verteilung der Primärfluenz	61
2.5.6	Vom Proton zu schweren Ionen	62
	Literatur	64
3 Konzepte in Strahlenphysik und Dosimetrie		
	G. H. Hartmann	65
3.1	Kurzer geschichtlicher Rückblick	67
3.2	Dosimetrische Begriffe und Größen	71
3.2.1	Die stochastische und nichtstochastische Natur physikalischer Größen	72
3.2.2	Lokal absorbierte Energie ϵ	73
3.2.3	Spezifische Energie (specific energy) z	74
3.2.4	Lineale Energie y	74
3.2.5	Verteilungsfunktionen für stochastische Variablen	75
3.2.6	Energiedosis D	75
3.2.7	Energiedosisleistung	77
3.2.8	Kerma K	77
3.2.9	Kermaleistung	79
3.2.10	Exposure	79
3.2.11	Ionendosis	79
3.2.12	Dosisbegriff für den Strahlenschutz: die Äquivalentdosis	80
3.3	Strahlen und Strahlenfeldgrößen	80
3.3.1	Ionisierende Strahlung	80
3.3.2	Teilchenenergie	81
3.3.3	Strahlenfeld	82
3.3.4	Strahlenfeldgrößen	82
3.3.5	Beispiele der Anwendung von Strahlungsfeldgrößen	84
3.4	Mikroskopische Energieverteilungen	85
3.4.1	Linearer Energietransfer (LET)	88

3.4.2	Experimentelle Messung von Energiedepositionen	89
3.5	Konzepte zur Messung der Energiedosis	94
3.5.1	Grundbegriffe der Sondenmethode	94
3.5.2	Sekundärelektronengleichgewicht	95
3.5.3	Luftgefüllte Sonden in einem Medium (Ionisationskammer)	95
	Literatur	101
4 Meßmethoden für die Dosimetrie		
	F. Nüsslin	103
4.1	Theoretische Dosisermittlung	103
4.1.1	Ableitung der Dosisgrößen aus Strahlungsfeldgrößen	103
4.1.2	Genauigkeitsanforderungen in der Dosimetrie	105
4.1.3	Dosimetrische Kenngrößen	107
4.2	Strahlungsdetektoren	108
4.2.1	Kalorimeter	108
4.2.2	Ionisation in Gasen	109
4.2.3	Ionisation in nichtgasförmigen Materialien	111
4.2.4	Chemische Dosimeter	113
4.2.5	Filmdosimeter	114
4.2.6	Elektronenspinresonanz (ESR)	114
4.3	Praktische Dosisermittlung	115
4.3.1	Begriffe der Dosismeßtechnik	115
4.3.2	Kalibrierung von Dosimetern	116
4.3.3	Allgemeine Korrekturen bei Ionisationskammerdosimetern	117
4.3.4	Photonendosimetrie	118
4.3.5	Elektronendosimetrie	118
4.3.6	Messungen in Phantomen und Materialäquivalenz	119
	Literatur	121
5 Biologische Grundlagen der Strahlenwirkung		
	G. Knedlitschek, K.F. Weibezahn	123
5.1	Physikalische Strahlenwirkung	123
5.1.1	Wechselwirkung zwischen Strahlung und Materie	123
5.1.2	Der lineare Energietransfer (LET)	124
5.2	Biologische Strahlenwirkung auf Zellen	126
5.2.1	Die zeitliche Folge der Strahlenwirkung	126
5.2.2	Der Kolonietest	126
5.2.3	Die Dosiseffektkurve	126
5.2.4	Reparatur von Strahlenschäden	127
5.2.5	Modifizierende Faktoren	128
5.3	Strahlenwirkung auf Gewebe, Organe und den Gesamtorganismus	129

XII Inhaltsverzeichnis

5.3.1	Deterministische Effekte	129
5.3.2	Stochastische Effekte	131
5.3.3	Zusammenfassung stochastischer Effekte	133
Literatur	134

Teil II Mathematische, physikalische und technische Grundlagen der Radiologischen Diagnostik

6 Physikalische Grundlagen der Röntgendiagnostik

W. Schlegel	139
6.1	Geschichtliches zur Entdeckung der Röntgenstrahlen	139
6.2	Entstehung von Röntgenstrahlen	141
6.3	Röntgengeräte	143
6.3.1	Kathode	143
6.3.2	Anode	144
6.3.3	Fokus der Röntgenröhre	147
6.3.4	Das Röhrenschutzgehäuse	148
6.3.5	Röntgeneratoren	149
6.3.6	Belastbarkeit von Röntgenröhren	150
6.4	Aufnahmesysteme	152
6.4.1	Bildgütekriterien	152
6.4.2	Beurteilung von Abbildungssystemen	156
6.4.3	Dichtekurven und dynamischer Bereich	158
6.4.4	Analoge und digitale Aufnahmesysteme	159
6.4.5	Digitale Bildspeicherung und -verarbeitung	167
6.4.6	Bilddokumentationssysteme	168
6.5	Röntgeneinrichtungen	168
Literatur	170

7 Physikalisch-technische Grundlagen der Nuklearmedizin

D. Lange	171
7.1	Radionuklide	171
7.1.1	Radioaktivität und Nuklidkarte	171
7.1.2	Strahlungen für In-vivo- und In-vitro-Anwendung	173
7.1.3	Niveauschemata	174
7.1.4	Nuklidgeneratoren, Kits	174
7.1.5	Biologische und effektive Halbwertszeit	176
7.2	Nachweistechniken für γ -Strahlung	176
7.2.1	Szintillationszähler	177
7.2.2	γ -Zähler	181
7.2.3	Zählrohr	183
7.2.4	Aktivimeter	185

7.2.5	Halbleiterzähler	186
7.3	Szintillationskamera	187
7.3.1	Detektor	187
7.3.2	Ortung und örtliches Auflösungsvermögen	187
7.3.3	Kollimatoren	188
7.4	Digitale Bilddokumentation und -bearbeitung	191
7.4.1	Planare Szintigraphie	193
7.4.2	Funktionskurven und Auswertung	193
7.4.3	SPECT	194
7.5	Tomographie	
	mittels Positronenvernichtungsstrahlung	198
7.5.1	PET-Zweikopfkamera	198
7.5.2	PET-Ringscanner	201
7.6	Qualitätskriterien	203
7.6.1	Allgemeines	203
7.6.2	Empfindlichkeit	203
7.6.3	Homogenität	204
7.6.4	Linearität	205
7.6.5	Zählverluste	205
7.6.6	Kontrast	206
7.6.7	COR-Bestimmung	207
7.7	Strahlenschutz für Patienten und Umgebung	207
7.7.1	Externe Exposition	207
7.7.2	Interne Exposition	208
7.7.3	Kontrolle der Patientenausscheidungen	208
	Literatur	209

8 Grundlagen

der Physikalischen Ultraschalldiagnostik und -therapie

J. Debus	211
8.1 Ultraschallphysik	211
8.1.1 Ultraschall als ein Teilgebiet der Akustik	211
8.1.2 Erzeugung von Ultraschallwellen	211
8.1.3 Schallausbreitung	213
8.1.4 Fokussierung von Ultraschall	221
8.1.5 Schalleigenschaften von menschlichem Gewebe	221
8.2 Ultraschalltherapie	223
8.2.1 Biologische Wirkungen	223
8.2.2 Gerätekonzeppte	226
Literatur	227

9 Röntgencomputertomographie:

Mathematische Grundlagen

T. Bortfeld	229
9.1 Radontransformation und Rückprojektion	229
9.1.1 Die Projektion	229
9.1.2 Die Rückprojektion	230
9.1.3 Der Operator $\mathfrak{B}\mathfrak{R}$	232
9.2 Rückprojektion und Filterung	233
9.2.1 Zweidimensionale Entfaltung	233
9.2.2 Das Central-Slice-Theorem	234
9.2.3 Die gefilterte Rückprojektion	235
9.3 Praktische Implementierung	237
9.3.1 Entfaltung im Ortsraum	238
9.3.2 Rekonstruktion von Fächerprojektionen	240
Literatur	244

10 Röntgencomputertomographie:

Physikalisch-technische Grundlagen

T. Bortfeld	247
10.1 Einleitung	247
10.2 Grundprinzip	248
10.2.1 Bildaufnahme	248
10.2.2 Rekonstruktion und Darstellung	250
10.3 CT-Bauformen und -Eigenschaften	251
10.3.1 Fächerstrahl- und Ringdetektorgeräte	253
10.3.2 Spiral-CT	256
10.3.3 Elektronenstrahl-CT	259
10.4 Bildqualität	260
10.4.1 Räumliche Auflösung und Kontrast	260
10.4.2 Artefakte	261
10.4.3 Einfluß der Abtastparameter	264
Literatur	265

11 Magnetresonanztomographie

G. Brix	267
11.1 Physikalische Grundlagen	267
11.1.1 Kernspin und magnetisches Moment	267
11.1.2 Quantenmechanische Beschreibung eines Spins im Magnetfeld	268
11.1.3 Semiklassische Beschreibung	269
11.1.4 Makroskopische Magnetisierung	270
11.1.5 Dynamik der Magnetisierung	272
11.1.6 Das MR-Experiment	275
11.1.7 Impulssequenzen	276

11.2	Bildrekonstruktion und Bildgebungssequenzen	280
11.2.1	Gradientenfelder	280
11.2.2	Selektive Schichtanregung	281
11.2.3	Ortskodierung innerhalb eines Teilvolumens	282
11.2.4	Rekonstruktionsverfahren	286
11.2.5	Bildgebungssequenzen und Parameterwichtung	287
	Literatur	296

12 Magnetresonanzspektroskopie

P. Bachert	297
12.1 Vom Magnetismus der Atome zur „Living Chemistry“	297
12.2 Spektrale Auflösung und Sensitivität	298
12.3 Lokalisierung	303
12.4 Wasserstoff-(^1H)-MR-Spektroskopie	304
12.5 Phosphor-(^{31}P)-MR-Spektroskopie	307
12.6 Kohlenstoff und Fluor	311
12.7 Ausblick	312
Literatur	313

13 Technische Komponenten

klinischer Magnetresonanztomographen

M. Bock	315
13.1 Hauptfeldmagnet	315
13.1.1 Permanentmagnete	318
13.1.2 Widerstandsmagnete	318
13.1.3 Supraleitende Magnete	319
13.2 Gradienten	322
13.3 Hochfrequenzsystem	323
13.3.1 HF-Sender	323
13.3.2 HF-Spulen	323
13.3.3 HF-Empfänger	325
13.4 Steuerrechner	326
13.5 Zusatzkomponenten	326
Literatur	329

Teil III Mathematische, physikalische und technische Grundlagen der Strahlentherapie

14 Bestrahlungsplanung

T. Bortfeld, W. Schlegel, R. Bendl, U. Oelfke, G. Küster, W. Schneider	333
14.1 Zielvolumen und Risikoorgane	334
14.1.1 Segmentierung von Zielvolumen und Risikoorganen	335

14.1.2	Unsicherheiten bei der Modellierung von Zielvolumina und Risikoorganen	338
14.1.3	Automatische Interaktive Segmentierung	339
14.2	Festlegung der Bestrahlungstechniken: Virtuelle Therapiesimulation	340
14.2.1	Auswahl geeigneter Einstrahlrichtungen	340
14.2.2	Beam's Eye View	341
14.2.3	Observer's View	341
14.2.4	Spherical View	342
14.2.5	Beam's-Eye-View-Volumetrie	343
14.2.6	Darstellung der Behandlungssituation	344
14.2.7	Weitere Behandlungsparameter	345
14.2.8	Standardpläne	345
14.3	Dreidimensionale Dosisberechnung	345
14.3.1	Dosisberechnung für Photonen	346
14.3.2	Dosisberechnung für Elektronen	351
14.4	Darstellung und Bewertung von 3D-Therapieplänen	357
14.4.1	Isodosenbänder und Oberflächendosisdarstellung	357
14.4.2	Isodosen- und Colorwash-Darstellung (zweidimensional)	358
14.4.3	Statistische Parameter und Dosis-Volumen-Histogramme	359
14.4.4	Biologische Modelle	359
14.5	Inverse Planung und Optimierung	359
14.5.1	Inverse Planung	361
14.5.2	Anzahl und Richtungen der intensitätsmodulierten Strahlenfelder, Intensitätsstufen	363
14.5.3	Praktische Durchführung der inversen Therapieplanung	366
	Literatur	367
15	Bestrahlungsgeräte der Teletherapie	
	W. Schlegel	369
15.1	Anforderungen an Bestrahlungsgeräte der Teletherapie	369
15.2	Zur Geschichte der Teletherapie	371
15.2.1	Tele-Curie-Therapie	371
15.2.2	Technische Bestrahlungsgeräte (Röntgentherapiegeräte, Beschleuniger)	371
15.3	Isotopenbestrahlungsgeräte	372
15.3.1	^{137}Cs -Bestrahlungsanlagen	372
15.3.2	^{60}Co -Bestrahlungsanlagen	372
15.4	Elektronenbeschleuniger	373
15.4.1	Einteilung der Teilchenbeschleuniger	373
15.4.2	Einstufige Linearbeschleuniger	373
15.4.3	Das Betatron	374

15.4.4	Mehrstufige Elektronenlinearbeschleuniger	376
15.4.5	Zusammenfassung der Eigenschaften des Elektronen-LINAC	392
	Literatur	393
16	Anwendungen und Techniken der MRT in der Strahlentherapieplanung	
	L.R. Schad	395
16.1	MR-kompatible, stereotaktische Haltersysteme	395
16.2	Schnelle morphologische MR-Bildgebungstechniken	396
16.3	MRT bei Kontrastmittelgabe	399
16.3.1	KM-Dynamik mit Fettunterdrückung	399
16.3.2	Hochauflösende KM-Dynamik: Modellrechnungen und Korrelation mit PET	400
16.4	Magnetresonanzangiographie (MRA)	403
16.4.1	Bestrahlungsplanungssysteme für die MRA	403
16.4.2	Dynamische MRA mittels einer Blutbolusmarkierungstechnik	404
16.5	Funktionelle MR-Bildgebung	406
16.6	Diffusionsgewichtete MR-Bildgebung	409
16.7	MR-Relaxometrie und Gewebscharakterisierung	411
16.7.1	Meßsequenzen und Meßgenauigkeit	412
16.7.2	Algorithmen zur T2 Bestimmung	414
16.8	Zusammenfassung	414
	Literatur	415

Teil IV Ausgewählte Kapitel der klinischen Radiologie

17 Klinische Nuklearmedizin

	H. Elser	419
17.1	Grundlagen der nuklearmedizinischen Diagnostik	419
17.1.1	Planare Szintigraphie	419
17.1.2	SPECT-Szintigraphie	420
17.1.3	PET-Szintigraphie	420
17.2	Organuntersuchungen	421
17.2.1	ZNS	421
17.2.2	Schilddrüse	430
17.2.3	Lunge	435
17.2.4	Nieren	438
17.3	Therapie	443
17.3.1	Radiojodtherapie bei gutartigen Schilddrüsenerkrankungen	445

XVIII Inhaltsverzeichnis

17.3.2 Radiojodtherapie bei malignen Schilddrüsenerkrankungen	447
17.3.3 Radiosynoviorthese	449
Literatur	449

18 Klinischer Ultraschall

U. Mende	451
18.1 Voraussetzungen	
für den sinnvollen Einsatz der Sonographie	451
18.2 Möglichkeiten und Grenzen der Methode	452
18.3 Indikationen zur sonographischen Untersuchung	453
18.4 Anwendungsbeispiele	
bei verschiedenen Organsystemen	454
18.4.1 Abdomen, Retroperitoneum	454
18.4.2 Thoraxorgane	459
18.4.3 Kopf-Hals-Region	461
18.4.4 Stütz- und Bindegewebe	461
18.4.5 Sonstiges	462
Literatur	462

19 Skelettdiagnostik

U. Mende	463
19.1 Einleitung	463
19.2 Bildgebende Verfahren	463
19.2.1 Konventionelle Röntgendiagnostik	463
19.2.2 Konventionelle Tomographie	464
19.2.3 Angiographie	464
19.2.4 Szintigraphische Methoden	464
19.2.5 Computertomographie (CT)	465
19.2.6 Magnetresonanztomographie (MRT)	466
19.2.7 Sonographie	467
19.3 Kriterien zur Analyse von Skelettveränderungen	467
19.3.1 Allgemeine Kriterien	467
19.3.2 Beurteilungskriterien der Bildgebung	468
19.4 Klinische Beispiele	469
19.4.1 Normalbefunde und Normvarianten	469
19.4.2 Entzündliche Veränderungen	469
19.4.3 Degenerative Veränderungen	470
19.4.4 Traumatische Skelettveränderungen	471
19.4.5 Tumoren	472
19.4.6 Skelettveränderungen bei Dialysepatienten	474
Literatur	474

20 Radiologische Diagnostik bei Hirntumoren

K. Sartor	475
20.1 Allgemeine Tumorphänomene	475
20.1.1 Tumorbinnenstruktur	475
20.1.2 Tumorinduzierte Veränderungen in der Umgebung	479
20.2 Einteilungsprinzipien von Hirntumoren	483
20.2.1 Einteilung nach der Beziehung zur Hirnoberfläche	483
20.2.2 Einteilung nach intrakraniellen Kompartimenten	484
20.3 Radiologische Diagnostik und Pathologie	486
20.3.1 Rolle der Röntgenverfahren	486
20.3.2 Rolle der Magnetresonanzzverfahren	486
20.3.3 Rolle der Angiographie	487
20.3.4 Rolle der Ultraschall- und der nuklearmedizinischen Verfahren	487
20.3.5 Artdiagnose auf der Basis radiologischer Befunde	488
20.4 Diagnostikderivierte Verfahren in der Therapie	489
20.4.1 Neuroimaging und intraoperative Navigation	489
20.4.2 Neuroimaging und Bestrahlungsplanung	489
20.4.3 Adjuvante interventionell-radiologische Verfahren	490
20.5 Therapiefolgen und Tumorrezidiv	491
Literatur	492

21 Neuroradiologie nicht neoplastischer Erkrankungen

O. Jansen	493
21.1 Zerebrale Entzündungen	493
21.1.1 Autoimmunerkrankungen	493
21.1.2 Virale Entzündungen	495
21.1.3 Bakterielle Entzündungen	496
21.2 Neuropädiatrische Erkrankungen	497
21.2.1 Angeborene Mißbildungen	497
21.2.2 Stoffwechselerkrankungen (Leukodystrophien)	499
Literatur	501

22 Neuroradiologie des Schlaganfalls

M. Forsting	503
22.1 Der ischämische Insult	503
22.1.1 Die zerebrale Mikroangiopathie	505
22.1.2 Die zerebrale Makroangiopathie	506
22.2 Die intrazerebrale Blutung	508
22.2.1 Hypertone Blutungen	509
22.2.2 AV-Angiome	509
22.2.3 Durafistel	509
22.2.4 Tumorblutungen	510
22.2.5 Zerebrale Amyloidangiopathie	511

XX Inhaltsverzeichnis

22.3	Venen- und Sinusthrombosen	511
22.4	Schlußbetrachtung	512
	Literatur	513

23 Spinale Tumoren

M. Hartmann	515
23.1 Untersuchungsmethoden	515
23.1.1 Röntgennativdiagnostik	515
23.1.2 Nuklearmedizinische Diagnostik	515
23.1.3 Myelographie	516
23.1.4 Computertomographie	517
23.1.5 Magnetresonanztomographie	518
23.1.6 Angiographie	519
23.2 Lokalisation, Manifestation und Therapie	519
23.2.1 Extradurale Tumoren	519
23.2.2 Intradural-extramedulläre Tumoren	520
23.2.3 Intramedulläre Tumoren	521
Literatur	524

24 Schädel-Hirn-Trauma

M. Knauth	525
24.1 Epidemiologie	525
24.2 Untersuchungsmodalitäten	525
24.2.1 Sinn und Unsinn des Schädelröntgens	526
24.2.2 Computertomographie	526
24.2.3 Magnetresonanztomographie	526
24.3 Die Einklemmung	527
24.3.1 Pathophysiologie	527
24.3.2 Pathoanatomie	527
24.4 Frakturen	528
24.5 Extraaxiale Hämatome	529
24.5.1 Anatomische Grundlagen zum Verständnis der extraaxialen Hämatome	529
24.5.2 Epidurale Hämatome	530
24.5.3 Subdurale Hämatome	531
24.6 Kontusionen	531
24.7 Mechanismus: Coup und Contrecoup	533
24.8 Beispiel einer Bildanalyse	534

Sachverzeichnis	535
------------------------------	------------



<http://www.springer.com/978-3-540-65254-0>

Medizinische Physik 2

Medizinische Strahlenphysik

Schlegel, W.; Bille, J. (Hrsg.)

2002, XXII, 548 S., Hardcover

ISBN: 978-3-540-65254-0