

Inhaltsverzeichnis

Teil I Grundlagen

1	Strahlenphysik	3
	<i>Steffen Greulich und Julia-Maria Osinga-Blättermann</i>	
1.1	Beschreibung von Strahlung	4
1.1.1	Radiometrische Größen	4
1.1.2	Dosimetrische Größen	6
1.2	Erzeugung von Strahlung	8
1.2.1	Radionuklide	8
1.2.2	Bremsstrahlung	11
1.2.3	Teilchenstrahlung	12
1.3	Wechselwirkung von Strahlung	12
1.3.1	Definitionen	12
1.3.2	Photonen	13
1.3.3	Geladene Teilchen I: Protonen und schwerere Ionen	17
1.3.4	Geladene Teilchen II: Elektronen und Positronen	19
1.3.5	Neutronen	20
1.4	Messung von Strahlung	21
1.4.1	Strahlungseffekt: Wärme	21
1.4.2	Strahlungseffekt: Erzeugung von freien Ladungsträgern	24
1.4.3	Strahlungseffekt: Lumineszenz	28
1.4.4	Strahlungseffekt: Chemische Reaktionen	32
	Aufgaben	34
	Literatur	35
2	Grundlagen der Statistik	37
	<i>Annette Kopp-Schneider und Wiebke Werft</i>	
2.1	Grundlagen	38
2.1.1	Skalen von Variablen	38
2.1.2	Normalverteilung	40
2.1.3	Binomialverteilung	42
2.2	Deskriptive Statistik	42
2.2.1	Maße der Lage	42
2.2.2	Maße der Streuung	43
2.2.3	Grafische Darstellung	43
2.3	Konfidenzintervalle	45
2.3.1	Standardfehler	45
2.3.2	Herleitung des Konfidenzintervalls für den Mittelwert μ einer Normalverteilung	46
2.4	Statistische Hypothesentests	47
2.4.1	Null- und Alternativhypothese	47
2.4.2	Fehler 1. und 2. Art	47
2.4.3	Vorgehen beim statistischen Testen	48

2.4.4	Einstichproben- <i>t</i> -Test	49
2.4.5	Zweistichproben- <i>t</i> -Test	49
2.4.6	Rangsummentests	50
2.4.7	Chi-Quadrat-Test	51
2.4.8	Zusammenfassung der vorgestellten Testverfahren für Maße der Lage	52
2.4.9	Der Zusammenhang zwischen Hypothesentests und Konfidenzintervallen	52
2.4.10	Signifikanz vs. Relevanz	53
2.4.11	Bewertung von <i>p</i> -Werten, Multiplizität von Tests und Publikationsbias	54
2.5	Fallzahlberechnung	54
2.6	Korrelation und lineare Regression	56
2.6.1	Korrelation	56
2.6.2	Lineare Regression	57
2.7	Auswertung von Ereigniszeitdaten	59
2.7.1	Eigenschaften von Ereigniszeitdaten	59
2.7.2	Kaplan-Meier-Schätzer für die Survivalfunktion	60
2.7.3	Logrank-Test	61
2.7.4	Cox Proportional Hazards-Regression	62
	Aufgaben	63
	Literatur	64
3	Medizinische Informatik	65
	<i>Kristina Giske und Rolf Bendl</i>	
3.1	Medizinische Informationssysteme	66
3.2	Standardisierung der Datenformate	67
3.3	Datensicherheit und Datenschutzaspekte	67
3.4	Digitale Biosignalverarbeitung	68
3.5	Digitale biomedizinische Bildverarbeitung	69
3.5.1	Bildsegmentierungsverfahren	70
3.5.2	Bildregistrierungsverfahren	71
3.6	Softwareentwicklung für Diagnostik und Therapie	73
3.7	Zusammenfassung	74
	Aufgaben	75
	Literatur	75
4	Organisatorische und rechtliche Aspekte	77
	<i>Beate Land, Wolfgang Lauer und Ekkehard Stöblein</i>	
4.1	Struktur des Gesundheitswesens	78
4.1.1	Gesundheitspolitik	78
4.1.2	Der Leistungskatalog der GKV	78
4.1.3	Finanzierung des Gesundheitssystems	78
4.1.4	Ambulante Versorgung	79
4.1.5	Stationäre Versorgung	79
4.2	Organisatorischer Aufbau von Krankenhäusern	80
4.2.1	Krankenhauslandschaft in Deutschland	80
4.2.2	Organisationsstruktur	80
4.3	Berufsbilder und Verantwortlichkeiten im Krankenhaus	81
4.3.1	Ärztlicher Bereich	81

4.3.2	Pflegerischer und therapeutischer Bereich	81
4.3.3	Medizinisch-technischer Bereich	82
4.3.4	Interprofessionelle Zusammenarbeit	82
4.4	Rechtliche Rahmenbedingungen	82
4.4.1	Überblick	82
4.4.2	Klinische Prüfungen	84
4.4.3	Risikoerfassung und -bewertung	85
4.4.4	Medizinprodukte aus Eigenherstellung	86
4.4.5	Zusammenfassung	86
	Aufgaben	87
	Literatur	88
5	Strahlenschutz	89
	<i>Gerald Major</i>	
5.1	Strahlenschäden	91
5.1.1	Deterministische Strahlenschäden	91
5.1.2	Stochastische Strahlenschäden	92
5.2	Dosisgrößen und Dosisbegriffe im Strahlenschutz	92
5.2.1	Energiedosis	92
5.2.2	Äquivalentdosis und Umgebungs-Äquivalentdosis, Faktor Q . . .	93
5.2.3	Organdosis und Strahlungs-Wichtungsfaktor w_R	93
5.2.4	Effektive Dosis und Gewebe-Wichtungsfaktor w_T	93
5.2.5	Körperdosis	95
5.2.6	Operationelle Größen für äußere Strahlung	95
5.3	Rechtsnormen des Strahlenschutzes in Deutschland – Normenhierarchie	96
5.3.1	International (Orientierung an ICRP)	96
5.3.2	Atomgesetz	96
5.3.3	Röntgenverordnung/Strahlenschutzverordnung	96
5.3.4	Richtlinie Strahlenschutz in der Medizin	97
5.3.5	Genehmigung/Anzeige	97
5.3.6	Strahlenschutzanweisung	97
5.3.7	Stand der Technik/Normen	98
5.4	Medizinische Strahlenschutzorganisation	98
5.4.1	Strahlenschutzverantwortlicher und Strahlenschutzbeauftragter	98
5.4.2	Fachkunde im Strahlenschutz	100
5.4.3	Zuständige Aufsichtsbehörde	104
5.4.4	Unabhängige Sachverständige	104
5.4.5	Unterweisung im Strahlenschutz	105
5.4.6	Haftung	106
5.4.7	Fristen und Intervalle	106
5.5	Strahlenschutzbereiche	106
5.5.1	Einrichten von Strahlenschutzbereichen	106
5.5.2	Zutrittsberechtigungen zu Strahlenschutzbereichen	108
5.6	Dosisgrenzwerte	109
5.6.1	Personendosisüberwachung	109
5.6.2	Nicht beruflich strahlenexponierte Personen	109
5.6.3	Beruflich strahlenexponierte Person	110
5.6.4	Schwangere	111
5.7	Praktischer Strahlenschutz	112
5.7.1	ALARA	112
5.7.2	Die drei großen A des Strahlenschutzes	112
5.7.3	Strahlenschutz bei der praktischen Anwendung von Photonenstrahlung zur Bildgebung	113

9.3.4	Bloch-Gleichungen	217
9.3.5	Spingymnastik	218
9.3.6	Bilderzeugung	218
9.4	HF-Pulse, Pulssequenzen und Kontraste, Triggerung	221
9.4.1	HF-Pulse	221
9.4.2	Pulssequenzen und Kontraste	225
9.4.3	Triggerung	233
9.5	Sicherheitsaspekte	234
9.5.1	Mögliche Risiken in der MRT-Umgebung	235
9.5.2	Zeitlich variierende Magnetfelder (Gradientenfelder)	237
9.5.3	Exposition in hochfrequenten Feldern (Hochfrequenzspulen)	238
9.5.4	Sicherheit von Implantaten	241
9.6	MRT-Kontrastmittel	242
9.6.1	Gadoliniumkomplex-Kontrastmittel	242
9.6.2	Eisenoxid-Partikel	243
9.6.3	CEST-Kontrastmittel	243
9.7	Funktionelle MRT: Fluss, Diffusion, Perfusion, fMRT	243
9.7.1	Fluss	243
9.7.2	Diffusion	245
9.7.3	Perfusion	248
9.7.4	Funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT)	250
9.8	MR-Spektroskopie und X-Kern-Bildgebung	252
9.8.1	Sensitivität	252
9.8.2	MR-Spektroskopie	253
9.8.3	X-Kern-Bildgebung	256
9.9	Klinische Anwendung der MRT und MRS	258
9.9.1	Magnetresonanztomographie	258
9.9.2	Magnetresonanzspektroskopie	261
9.10	MRT-Artefakte	265
9.10.1	Einleitung	265
9.10.2	Rohdaten, Bildqualität und Artefakte	266
9.10.3	Artefakte mit physiologischem Ursprung	266
9.10.4	Artefakte mit physikalischem Ursprung	267
9.10.5	Artefakte mit systembedingtem Ursprung	268
9.10.6	Zusammenfassung	270
9.11	Interventionelle MRT	270
9.11.1	MRT-Systeme für interventionelle Eingriffe	270
9.11.2	Instrumente für MRT-geführte Eingriffe	271
9.11.3	Beispiele klinischer Anwendungen MR-geführter Interventionen	272
9.11.4	Ausblick	272
	Aufgaben	273
	Literatur	276
10	Diagnostischer Ultraschall	285
	<i>Klaus-Vitold Jenderka und Stefan Delorme</i>	
10.1	Physikalisch-Technische Grundlagen des Ultraschalls	286
10.1.1	Ausbreitung von Ultraschallwellen	286
10.1.2	Piezoelektrische Sende- und Empfangswandler, Schallfeld	287
10.2	Grundlagen der Bilderzeugung mit Ultraschall	288
10.2.1	Bauformen von Schallköpfen	288
10.2.2	Fokussierung	289
10.2.3	Vom Echo zum Bild	290

10.2.4	Auflösungsvermögen	291
10.2.5	Artefakte	292
10.2.6	Von der Gewebestruktur zum Bild: Wechselwirkungen zwischen Schall und Gewebe	292
10.2.7	3D-Sonographie	295
10.3	Spezielle Scanverfahren	295
10.3.1	Fast Imaging	295
10.3.2	Harmonic Imaging	295
10.3.3	Spatial Compounding	296
10.4	Spezielle Techniken	296
10.4.1	Elastographie (RTE, Scherwellen)	296
10.4.2	Kontrastmittelsonographie (Contrast-Enhanced Ultrasound, CEUS)	297
10.5	Dopplersonographie	297
10.5.1	Dopplerprinzip	297
10.5.2	Continuous-Wave(CW)-Doppler	298
10.5.3	Pulse-Wave(PW)-Doppler	298
10.5.4	Farbduplex- und Powerdoppler-Sonographie	299
10.5.5	Spezielle Dopplerverfahren	301
10.6	Biologische Wirkungen: Sicherheit, therapeutischer Ultraschall/Therapie	301
	Aufgaben	303
	Literatur	303
11	Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik	307
	<i>Roland Simmler</i>	
11.1	Die Anfänge der Qualitätssicherung	308
11.2	Qualitätssicherung im 21. Jahrhundert	308
11.3	Gesetzliche Grundlagen und Anforderungen an die Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik	309
11.4	Qualitätssicherung und Lebenszyklus einer Modalität	310
11.4.1	Beschaffung	310
11.4.2	Abnahmeprüfung	311
11.4.3	Sachverständigenprüfung	311
11.4.4	Betrieb der Modalität	311
11.4.5	Konstanzprüfung	312
11.4.6	Reparaturmaßnahmen	312
11.4.7	Prüfung durch Ärztliche Stellen	312
11.4.8	Anforderungen aus dem Medizinproduktegesetz und der Medizinproduktebetriebsverordnung	313
11.4.9	Außerbetriebnahme	313
11.4.10	Bezugsquellen von Regelwerken und Normen	313
11.4.11	Hinweise für die Praxis	313
11.5	Qualitätssicherung und IT-Anwendungen	314
11.5.1	Gesetzliche Anforderungen	314
11.5.2	Anforderung der Ärztlichen Stelle	314
11.5.3	Realisierungskonzepte	315
11.6	Qualitätsmanagement	315
	Aufgaben	316
	Literatur	316

Teil III Nuklearmedizinische Diagnostik und Therapie

12	Physikalisch-Technische Grundlagen der Nuklearmedizin	321
	<i>Uwe Pietrzyk, Klaus Gasthaus und Mirjam Lenz</i>	
12.1	Einleitung	322
12.2	Gasgefüllte Detektoren	322
12.2.1	Grundlegende Eigenschaften	322
12.2.2	Ionisationskammern	322
12.2.3	Proportionalzähler	323
12.2.4	Geiger-Müller-Zähler	323
12.3	Halbleiterdetektoren (Ge, Si, CZT)	325
12.4	Szintillationszähler	326
12.4.1	Photosensoren für Szintillationszähler	327
12.4.2	Szintillatoren	328
	Aufgaben	332
	Literatur	332
13	Die Gammakamera – planare Szintigraphie	333
	<i>Jörg Peter</i>	
13.1	Szintigraphie: Einführung und historischer Kontext	334
13.2	Aufbau einer Gammakamera	335
13.2.1	Kollimator	335
13.2.2	Szintillationskristall	337
13.2.3	Photoelektronenvervielfacherröhren und Anger-Logik	337
13.2.4	Energieauflösung	338
13.2.5	Detektionseffizienz	339
	Aufgaben	340
	Literatur	340
14	Single Photon Emission Computer Tomography	341
	<i>Jörg Peter</i>	
14.1	Einführung und historischer Kontext	342
14.2	Tomographische Bildgebung	343
14.2.1	Gammakamerabewegung	343
14.2.2	Bildmatrixgröße und Anzahl an Projektionen	344
14.3	Bildrekonstruktion	344
14.3.1	Rückprojektion und gefilterte Rückprojektion	345
14.3.2	Iterative Bildrekonstruktion	347
	Aufgaben	348
	Literatur	348
15	Positronen-Emissions-Tomographie	349
	<i>Michael Mix</i>	
15.1	Positronenzerfall und Annihilation	350
15.2	Messprinzip der PET	350
15.2.1	Koinzidenzmessung, LOR, TOF	350
15.2.2	Detektor- und Scannerdesign	351
15.2.3	Messdatenerhebung und Speicherung	351
15.2.4	Räumliche Auflösung	352

15.3	Bildrekonstruktion in der PET	353
15.3.1	Radon-Transformation und gefilterte Rückprojektion	353
15.3.2	Iterative Rekonstruktion	354
15.4	Datenkorrekturen und Quantifizierung	356
15.4.1	Streukorrektur	357
15.4.2	Korrektur zufälliger Koinzidenzen	357
15.4.3	Totzeitkorrektur	357
15.4.4	Schwächungskorrektur	357
15.4.5	Normalisierung und Kalibrierung	358
15.4.6	Quantifizierung	359
15.5	Klinische Anwendungsgebiete	360
15.5.1	Onkologie	360
15.5.2	Neurologie und Kardiologie	362
	Aufgaben	362
	Literatur	363
16	Multimodale SPECT- und PET-Bildgebung	365
	<i>Philipp Ritt und Harald H. Quick</i>	
16.1	Was ist multimodale Bildgebung?	366
16.2	Vorteile der multimodalen Bildgebung	366
16.2.1	Fusionierte Bilddarstellung	366
16.2.2	Hardwareregistrierung	366
16.3	Hybridsysteme	367
16.3.1	SPECT/CT	367
16.3.2	PET/CT	368
16.3.3	PET/MRT	369
16.4	Korrekturmethode in der multimodalen Bildgebung	371
16.4.1	Partialvolumenkorrektur	371
16.4.2	Schwächungskorrektur	372
16.4.3	Streustrahlenkorrektur	373
16.5	Zusammenfassung	374
	Aufgaben	374
	Literatur	374
17	Nuklearmedizinische Therapie	377
	<i>Michael Laßmann</i>	
17.1	Einführung	378
17.2	Der „MIRD“-Formalismus	378
17.3	Ablauf einer patientenspezifischen Dosimetrie	379
17.3.1	Übersicht	379
17.3.2	Akquisition pharmakokinetischer Daten	380
17.3.3	Pharmakokinetik und Integration der Zeit-Aktivitäts-Kurve	381
17.3.4	Berechnung der Energiedosis	382
17.3.5	Strahlenbiologie	383
17.3.6	Dosisverifikation	383
17.4	Zusammenfassung und Empfehlungen	383
	Aufgaben	384
	Literatur	384

18 Qualitätssicherung in der Nuklearmedizin 387
Oliver Nix

18.1 Ziel und Zweck der Qualitätssicherung 388

18.2 Rechtlicher und normativer Rahmen 388

18.2.1 Medizinproduktegesetz 388

18.2.2 Strahlenschutzverordnung und Richtlinie Strahlenschutz in der
 Medizin 388

18.2.3 Röntgenverordnung und Qualitätssicherungs-Richtlinie (QS-RL) . 389

18.2.4 Normativer Rahmen 389

18.3 Qualitätsmanagement in der Nuklearmedizin 390

18.4 Qualitätssicherung an nuklearmedizinischen Messsystemen 391

18.4.1 Interne Qualitätssicherungsstrategie 391

18.4.2 Aktivimeter 392

18.4.3 Gammakamera und SPECT 392

18.4.4 PET 393

18.4.5 Qualitätssicherung an CT-Komponenten von PET/CT und SPECT/CT 394

Aufgaben 395

Literatur 395

Teil IV Strahlentherapie

19 Der Strahlentherapie-Prozess 399
Christian P. Karger

19.1 Einführung 400

19.2 Ablauf der Strahlentherapie 400

19.2.1 Bestrahlungsplanung 400

19.2.2 Durchführung der Bestrahlung 403

19.3 Neue Entwicklungen 403

Aufgaben 404

Literatur 404

20 Bestrahlungsgeräte der Teletherapie 405
Wolfgang Schlegel

20.1 Einleitung 406

20.2 Historische Entwicklung der medizinischen Bestrahlungsgeräte 407

20.3 Erzeugung von Röntgenstrahlen/Photonen 407

20.3.1 Charakteristische Röntgenstrahlen 407

20.3.2 Bremsstrahlung 408

20.3.3 Röntgen-Targets 408

20.4 Therapie-Röntgengeräte 409

20.5 Isotopenbestrahlungsgeräte 409

20.5.1 ⁶⁰Co-Bestrahlungsanlagen 409

20.5.2 ¹³⁷Cs-Bestrahlungsanlagen 412

20.6 Elektronenbeschleuniger 412

20.6.1 Einteilung der Elektronenbeschleuniger 412

20.6.2 Elektrostatische Linearbeschleuniger 412

20.6.3 Mehrfachbeschleuniger 412

Aufgaben 422

Literatur 423

21	Dosimetrie	425
	<i>Günter H. Hartmann</i>	
21.1	Definitionen	426
21.1.1	Allgemeine Definitionen zur Beschreibung von Strahlung	426
21.1.2	Energiedosis	426
21.2	Dosisbestimmung durch Messung	426
21.2.1	Konzepte der Dosisbestimmung durch Messung	426
21.2.2	Prozeduren zur Dosisbestimmung	436
21.3	Rechnerische Dosisbestimmung	442
21.3.1	Faktorenerlegung	442
21.3.2	Rechenverfahren mit Hilfe von Modellen	443
21.3.3	Weitere moderne Methoden	444
21.4	Genauigkeit und Messunsicherheit	446
21.4.1	Generelle Methode der Unsicherheitsbestimmung	446
21.4.2	Kombinierte Standard-Messunsicherheit	447
21.4.3	Erweiterte Messunsicherheit	448
21.4.4	Unsicherheitsbudget	448
	Aufgaben	448
	Literatur	449
22	Klinische Strahlenbiologie	451
	<i>Christian P. Karger</i>	
22.1	Grundlagen der Strahlenwirkung	452
22.2	Quantifizierung der Strahlenwirkung in Zellen	453
22.2.1	Einzelbestrahlungen	453
22.2.2	Fraktionierte Bestrahlungen	454
22.2.3	Andere Einflussfaktoren	455
22.3	Klinische Dosis-Wirkungs-Beziehungen	458
22.3.1	Methodisches	458
22.3.2	Biologische Einflussfaktoren	460
22.3.3	Fraktionierung und Gesamtbehandlungszeit	460
22.3.4	Dosisleistung	461
22.3.5	Bestrahlungsvolumen	461
22.3.6	Hypoxie	462
22.3.7	Hoch-LET-Strahlung	463
22.3.8	Interaktion mit Medikamenten	464
22.4	Höhere biologische Modelle	464
22.4.1	NTCP-Modelle	464
22.4.2	TCP-Modelle	466
22.4.3	RBW-Modelle	467
22.4.4	Relevanz biologischer Modelle für die Strahlentherapie	469
	Aufgaben	470
	Literatur	471
23	Bildgebung für die Strahlentherapie	473
	<i>Oliver Jäkel</i>	
23.1	Einleitung	474
23.2	Bildgebung für die Therapieplanung	474
23.2.1	Segmentierung und Patientenmodell	474
23.2.2	Dosisberechnung	474

23.3	Bildgebung zur Kontrolle vor der Therapie	475
23.3.1	Lagerungskontrolle mittels Röntgenstrahlen	476
23.3.2	Monitoring interfraktioneller Bewegung	476
23.4	Bildgebung während der Therapie	479
	Aufgaben	481
	Literatur	483
24	Bestrahlungsplanung	485
	<i>Mark Bangert und Peter Ziegenhein</i>	
24.1	Einführung	486
24.2	Segmentierung und Bestimmung des Zielvolumens	486
24.2.1	Bestimmung der Zielvolumina	489
24.2.2	Segmentierung von Normalgewebe	490
24.2.3	Unsicherheiten	490
24.2.4	Autosegmentierung	490
24.2.5	Bildregistrierung	491
24.3	Festlegung der Bestrahlungstechnik	491
24.3.1	Einstrahlrichtungen	491
24.3.2	Verifikation	493
24.4	Dosisberechnung	493
24.4.1	Diskretisierung des Planungsproblems	493
24.4.2	Raycasting und Konvertierung von Hounsfield-Einheiten	494
24.4.3	Photonendosisberechnung	495
24.4.4	Dosisberechnung für Ionen	499
24.5	Evaluation von Bestrahlungsplänen	502
24.5.1	Dosimetrische Kriterien	502
24.5.2	Biologische Planqualitätsindikatoren	503
24.5.3	Toleranzdosen	503
24.5.4	Effizienz	504
24.5.5	Diskussion	504
24.6	Inverse Planung	504
24.6.1	IMRT	504
24.6.2	Das inverse Planungsproblem in der intensitätsmodulierten Strahlentherapie	505
24.6.3	Praktische Lösung des inversen Planungsproblems – Planoptimierung	507
24.6.4	Alternative Zielfunktionen	507
24.6.5	Segmentierung und Direct Aperture Optimization	508
24.6.6	Inverse Planung in der Teilchentherapie	509
24.6.7	Nachteile der konventionellen Planoptimierung	509
24.7	Ausblick	510
24.7.1	Geschwindigkeitsorientierte Bestrahlungsplanung	511
24.7.2	Interaktives Planen: Interactive Dose Shaping	511
24.7.3	Probabilistische Bestrahlungsplanung	511
	Aufgaben	513
	Literatur	513
25	Patientenlagerung und -positionierung	515
	<i>Gernot Echner</i>	
25.1	Lagerung für die Kopfbestrahlung	516
25.1.1	Thermoplast-Maske	516
25.1.2	Scotchcast-Maske	517

25.1.3	Gedruckte Masken	517
25.1.4	Neue Entwicklungen	518
25.2	Extrakranielle Patientenlagerung	519
25.2.1	Vakuummatratze	519
25.2.2	Bauchpresse	519
25.2.3	Torso	520
25.3	Patientenpositionierung	523
	Aufgaben	523
	Literatur	524
26	Bestrahlungsverfahren	525
	<i>Wolfgang Schlegel, Christian Thieke, Oliver Jäkel, Martin Fast und Antje-Christin Knopf</i>	
26.1	Konventionelle Bestrahlungstechniken mit Photonenstrahlung	526
26.1.1	Komponenten von Bestrahlungseinrichtungen	526
26.1.2	Koordinatensysteme	527
26.1.3	Feldparameter	527
26.1.4	Zeitliche und räumliche Kombination von Strahlenfeldern	530
26.1.5	Klinische Bestrahlungstechniken	530
26.2	Stereotaktische Bestrahlungen	532
26.2.1	Geschichtliche Entwicklung	533
26.2.2	Das stereotaktische Koordinatensystem	535
26.2.3	Ablauf einer stereotaktischen Strahlenbehandlung und stereotaktische Komponenten	535
26.2.4	Qualitätssicherung	540
26.2.5	Schlussbemerkung	540
26.3	Intensitätsmodulierte Radiotherapie	541
26.3.1	Einsatzgebiete der IMRT	541
26.3.2	Richtlinien zur Dosisverschreibung und -dokumentation	542
26.3.3	Inverse Bestrahlungsplanung	542
26.3.4	Applikation der intensitätsmodulierten Strahlentherapie	543
26.3.5	Schlussbemerkungen und Ausblick	548
26.4	Ionentherapie	548
26.4.1	Grundlagen der Ionentherapie	548
26.4.2	Strahlerzeugung und -applikation	550
26.4.3	Therapieplanung	552
26.4.4	Dosimetrie und Qualitätssicherung	553
26.4.5	Klinischer Einsatz der Ionenstrahltherapie	555
26.5	Bildgeführte Strahlentherapie	557
26.5.1	Einführung	557
26.5.2	Unsicherheiten in der Strahlentherapie	557
26.5.3	Bildgebende Modalitäten für die IGRT	558
26.5.4	IGRT als Qualitätssicherungsinstrument	559
26.5.5	Fortgeschrittene strahlentherapeutische Konzepte in der IGRT	559
26.5.6	IGRT in der Partikeltherapie	561
26.5.7	Ausblick	562
26.6	Adaptive Strahlentherapie	562
26.6.1	Grundbegriffe und Motivation	562
26.6.2	Offline-ART in der Strahlentherapie	563
26.6.3	Online-ART in der Strahlentherapie	564
26.6.4	ART in der Teilchentherapie	564
26.6.5	Strahlentherapie in Kombination mit MRT-Bildgebung	565
26.6.6	Teilchentherapie in Kombination mit MRT-Bildgebung	566
26.6.7	ART-Verifikation	566
26.6.8	Zusammenfassung und Ausblick	567

Aufgaben	567
Literatur	570
27 Brachytherapie	579
<i>Frank Hensley</i>	
27.1 Physik der Brachytherapie	581
27.1.1 Strahler	581
27.1.2 Dosimetrie der Brachytherapie-Strahler	582
27.2 Bestrahlungsplanung beim Nachladeverfahren	589
27.2.1 Applikatoren	589
27.2.2 Computergestützte Bestrahlungsplanung	591
27.2.3 Optimierung der Dosisverteilung	592
27.2.4 Definition der Referenzdosis, Dosierungssysteme, Reproduzierbarkeit der Applikation	597
27.3 Afterloading-Gerät	602
27.4 Qualitätssicherung der Brachytherapie	603
27.4.1 Verifikation der Referenz-Luftkermaleistung des Strahlers	603
27.4.2 Qualitätssicherung des Afterloading-Gerätes	605
27.4.3 Qualitätssicherung der Applikatoren	605
27.4.4 Qualitätssicherung der Bestrahlungsplanung	606
27.4.5 Qualitätssicherung der Applikation	607
27.5 Strahlenschutz	607
27.5.1 Strahlenschutzvorschriften für die Brachytherapie	607
27.5.2 Strahlerbergung	608
27.6 Praktische Dosimetrie der Strahlungsfelder von Brachytherapie-Strahlern	608
27.6.1 Strahlungsspektren	608
27.6.2 Detektoren	608
27.6.3 Dosisbestimmung mit kalibrierten Detektoren	609
27.6.4 Phantome	610
27.7 Strahlenbiologie der Brachytherapie	612
27.7.1 Der Dosisleistungseffekt	612
27.7.2 HDR, LDR, PDR	613
27.8 Brachytherapie mit radioaktiven Seeds	614
27.8.1 Anwendungsgebiete von Seeds	614
27.8.2 Permanentimplantate der Prostata mit radioaktiven Seeds	615
27.9 Zukünftige Entwicklungen in der Brachytherapie	617
Aufgaben	617
Literatur	618
28 Qualität und Sicherheit in der Strahlentherapie	623
<i>Oliver Jäkel</i>	
28.1 Gesetzliche und normative Bestimmungen	624
28.1.1 Gesetzliche Bestimmungen	624
28.1.2 Normen zur QS	625
28.1.3 Internationale Richtlinien	625
28.2 Qualitätsmanagement in der Strahlentherapie	626
28.2.1 Organisatorische Struktur der Qualitätssicherung	626
28.2.2 Anforderungen an die Genauigkeit und Sicherheit der Strahlentherapie	626
28.2.3 Verantwortlichkeiten von Herstellern und Anwendern	627

28.3 Elemente eines Qualitätssicherungssystems	627
28.3.1 Spezifikation der Anforderungen: Qualitätsmerkmale und Interventionsschwellen	627
28.3.2 Kommissionierung	628
28.3.3 Qualitätsprüfung: Abnahme-, Konstanz- und Sicherheitsprüfungen	628
28.3.4 Übergreifende Maßnahmen	629
28.3.5 Sicherheits- und Risikomanagement	629
28.4 Spezielle Qualitätssicherungsmaßnahmen	630
28.4.1 Allgemeine Strahlentherapie	630
28.4.2 Stereotaxie	632
28.4.3 IMRT	632
28.4.4 IGRT und ART	632
28.4.5 Partikeltherapie	632
Aufgaben	632
Literatur	632

Teil V Medizintechnik

29 Optische Bildgebung in Diagnostik und Therapie	637
<i>Michael Kaschke und Michael S. Rill</i>	
29.1 Optische Hilfsmittel in der Medizintechnik	638
29.2 Endoskopische Untersuchungsmethoden	638
29.2.1 Aufbau, Grundelemente und Bauformen von Endoskopen	638
29.2.2 Faserendoskope	638
29.2.3 Relay-Linsenendoskope	640
29.2.4 Aktuelle Entwicklungsziele	641
29.3 Operationsmikroskope	642
29.3.1 Optischer Aufbau	642
29.3.2 Optische Parameter und Abbildungseigenschaften	643
29.3.3 Operationsmikroskope in der Neurochirurgie	643
29.3.4 Aktuelle Entwicklungsziele	644
Aufgaben	646
Literatur	646
30 Patientenüberwachung	647
<i>Michael Imhoff</i>	
30.1 Einleitung	648
30.2 Definitionen	648
30.2.1 Definition Patientenüberwachung	648
30.2.2 Definition Monitoring	648
30.3 Ziele der Patientenüberwachung	648
30.3.1 Herstellung oder Verbesserung der Patientensicherheit	648
30.3.2 Unterstützung von Diagnostik und Therapie	649
30.3.3 Erweiterung des „sicheren Freiraumes“ eines überwachten Patienten	649
30.4 Technik der Überwachung	649
30.4.1 Klassifizierung von Überwachung und Monitoring	651
30.4.2 Anforderungen an Geräte der Patientenüberwachung	651
30.5 Vernetzung	652

30.6	Alarmgebung	653
30.6.1	Klassifikation von Alarmen	654
30.6.2	Fehlalarme	654
30.7	Validierung von Patientenüberwachungssystemen und physiologischen Messfunktionen	655
	Aufgaben	655
	Literatur	655
31	Infusionstechnik	657
	<i>Simone Barthold-Beß</i>	
31.1	Einführung	658
31.2	Grundlagen der Infusionstechnik	658
31.3	Physikalisch-Technische Grundlagen	659
31.3.1	Das Überleitungssystem (Infusionsgerät, -schlauch)	659
31.3.2	Laminare Strömung	659
31.3.3	Turbulente Strömung	659
31.3.4	Energieerhaltungssatz am Beispiel der Schwerkraftinfusion	659
31.4	Schwerkraftinfusion	660
31.5	Grundlagen der apparategestützten Infusionstechnik	660
31.5.1	Tropfenregelung	660
31.5.2	Volumensteuerung	661
31.5.3	Infusion	661
31.5.4	Perfusion	662
31.5.5	Parallelinfusion	662
31.5.6	Sicherheitstechnik	662
	Aufgaben	663
	Literatur	663
32	Maschinelle Beatmung und Narkose	665
	<i>Ute Morgenstern und Olaf Simanski</i>	
32.1	Maschineller Ersatz von Teilfunktionen der Atmung	666
32.2	Maschinelle Überdruckbeatmung	667
32.2.1	Indikationen für einen Ersatz der Ventilationsfunktion	667
32.2.2	Ziel und Funktionsprinzip der maschinellen Überdruckbeatmung	667
32.2.3	Aufgaben der Beatmungstechnik	667
32.2.4	Beatmungsmodi, Ventilationsformen und -muster	668
32.2.5	Bewertung der Wirksamkeit der Beatmung	670
32.3	Narkosetechnik	670
32.3.1	Narkoseformen und -systeme	672
32.3.2	Aufbau und Funktion des Narkosekreissystems	672
32.3.3	Monitoring bei Narkose	673
32.4	Stand der Technik und Perspektive	673
	Aufgaben	673
	Literatur	674
33	Kreislaufunterstützung	675
	<i>Olaf Simanski und Berno J.E. Misgeld</i>	
33.1	Einleitung	676
33.2	Geschichtlicher Hintergrund	676

33.3	Einteilung von Kreislaufunterstützungssystemen	676
33.3.1	Akute elektrische Kreislaufunterstützung	677
33.3.2	Akute mechanische Kreislaufunterstützung	677
33.3.3	Längerfristige mechanische Kreislaufunterstützung	677
33.4	Herz-Lungen-Maschine	679
33.4.1	Extrakorporale Zirkulation	679
33.4.2	Prinzip und Komponenten des extrakorporalen Kreises	679
	Aufgaben	682
	Literatur	682
34	Dialyse als Nierenersatztherapie	683
	<i>Christian P. Karger</i>	
34.1	Einführung	684
34.2	Funktionsprinzip der Dialyse	684
34.3	Dialyseverfahren	684
34.3.1	Hämodialyse	684
34.3.2	Peritonealdialyse	688
34.4	Klinische Aspekte	688
	Aufgaben	689
	Literatur	689
35	Behandlung mit elektrischem Strom	691
	<i>Norbert Leitgeb</i>	
35.1	Einleitung	692
35.2	Gleichstrom	692
35.3	Wechselstrom	692
35.4	Behandlungsarten	693
35.4.1	Transkutane Elektrostimulation	693
35.4.2	Funktionelle Elektrostimulation	694
35.4.3	Transkranielle Elektrostimulation (TES)	694
35.5	Hochfrequenz	695
35.5.1	Elektrochirurgie	695
35.5.2	Diathermie	695
35.5.3	Wärmetherapie	696
35.5.4	Hyperthermie	696
35.5.5	Radiofrequenz-Thermoablation	696
	Aufgaben	696
	Literatur	696
36	Computerassistierte und bildgestützte Chirurgie	697
	<i>Werner Korb und Andreij Machno</i>	
36.1	Grundlagen	698
36.2	Stereotaktische Chirurgie	700
36.3	Navigation	700
36.4	Robotik	703
36.5	Schablonen-Systeme	703
36.6	Intraoperative Bildgebung	705

- 36.7 Zusammenfassung 705
- Aufgaben 705
- Literatur 705
- 37 Prothesen und Orthesen 707**
 - Marc Kraft*
 - 37.1 Prothesen 708
 - 37.1.1 Prothesenarten 708
 - 37.1.2 Endoprothesen 708
 - 37.1.3 Exoprothesen 711
 - 37.2 Orthesen 713
 - Aufgaben 713
 - Literatur 714
- Sachverzeichnis 715**