

Günter Kauffmann Rolf Sauer Wolfgang Weber  
(Hrsg.)

# Radiologie

Bildgebende Verfahren, Strahlentherapie,  
Nuklearmedizin und Strahlenschutz

4., völlig überarbeitete Auflage

**Mitbegründet von:**

Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. Dr. h.c. E. Moser

**Mit Beiträgen von:**

Dr. rer. nat. Martin Behe, Prof. Dr. med. Markus Düx, Prof. Dr. med. Rainer Fietkau, Prof. Dr. med. Michael Forsting,  
Prof. Dr. med. Peter Hallscheidt, Prof. Dr. med. Olav Jansen, Prof. Dr. med. Günter Kauffmann, PD Dr. Dr. med. Philipp  
T. Meyer, Prof. Dr. med. Stephan Miller, Dr. rer. nat. Michael Mix, Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. Dr. h.c. Ernst Moser,  
Prof. Dr. rer. nat. Reinhold G. Müller, Prof. Dr. med. Markus Müller-Schimpfle, Prof. Dr. med. Philippe L. Pereira,  
PD Dr. med. Boris Radeleff, Prof. Dr. med. Götz Martin Richter, Prof. Dr. med. Rolf Sauer, Prof. Dr. med. Peter Stegen,  
Prof. Dr. med. Wolfgang Weber, Dr. med. Damian Wild

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b> .....	<b>1</b>	<b>4.2</b>	<b>Strahlengenetik</b> .....	<b>41</b>
1.1	Geschichte der Radiologie .....	1	4.3	Teratogene Strahlenfolgen .....	43
<b>2</b>	<b>Strahlenphysik</b> .....	<b>3</b>	4.4	Somatische Strahlenfolgen .....	45
2.1	Strahlenarten .....	3	4.4.1	Somatische Mutationen .....	45
2.1.1	Photonenstrahlung .....	3	4.4.2	Stochastische somatische Schäden (Kanzergenese) .....	45
2.1.2	Korpuskularstrahlung .....	4	4.4.3	Deterministische somatische Strahlenfolgen ..	49
2.2	Wechselwirkung von Strahlung mit Materie ..	4	4.4.4	Spezielle Organtoxizität .....	52
2.2.1	Aufbau eines Atoms .....	4	<b>5</b>	<b>Röntgendiagnostik</b> .....	<b>57</b>
2.2.2	Elementarprozesse der Ionisation .....	5	5.1	Gerätekunde .....	57
2.2.3	Radioaktivität .....	8	5.1.1	Projektionsradiografie .....	57
2.2.4	Entstehung von Röntgenstrahlen .....	10	5.1.2	Sonografie .....	66
2.3	Röntgenröhre und Röntgenstrahlen .....	11	5.1.3	Computertomografie .....	73
2.3.1	Aufbau einer Röntgenröhre .....	12	5.1.4	Magnetresonanztomografie (MRT) .....	79
2.3.2	Anwendung in der Röntgendiagnostik .....	13	5.2	Prinzipien des radiologischen Kontrasts .....	97
2.4	Dosisbegriffe und Dosisseinheiten .....	15	5.2.1	Prinzipien der Nativdiagnostik .....	97
<b>3</b>	<b>Strahlenbiologie</b> .....	<b>19</b>	5.2.2	Prinzipien der Kontrastmitteldiagnostik .....	100
3.1	Strahlenchemie .....	20	5.3	Klassische Befunde .....	107
3.1.1	Wasserradiolyse .....	21	5.3.1	Bewegungsapparat .....	107
3.1.2	Sauerstoffeffekt .....	21	5.3.2	Mamma .....	120
3.1.3	Radiolyseprodukte und LET .....	21	5.3.3	Thorax (Atmungsorgane und Mediastinum) ..	123
3.2	Strahlenbiochemie .....	22	5.3.4	Retroperitoneum .....	149
3.2.1	DNA und ionisierende Strahlung .....	22	5.3.5	Abdomen .....	151
3.2.2	Reparatur der DNA-Strahlenschäden .....	23	5.3.6	Nervensystem .....	180
3.3	Zelluläre Strahlenbiologie .....	25	5.3.7	Kardiovaskuläres System .....	197
3.3.1	Zelltod, Zellinaktivierung .....	25	5.3.8	Urogenitales System .....	204
3.3.2	Nekrose und Apoptose .....	25	<b>6</b>	<b>Nuklearmedizin</b> .....	<b>209</b>
3.3.3	Erholungs- und Reparaturprozesse .....	26	6.1	Prinzipien der Nuklearmedizin .....	209
3.3.4	Zeitfaktor .....	26	6.1.1	Was ist Nuklearmedizin? .....	209
3.3.5	Zellüberlebenskurven .....	27	6.1.2	Nuklearmedizinische Bildgebung .....	209
3.3.6	Zellzyklus .....	29	6.1.3	Nuklearmedizinische Therapie .....	209
3.3.7	Fraktionierung und Protrahierung .....	31	6.1.4	Warum Bildgebung mit radioaktiven Stoffen? ..	209
3.3.8	Sauerstoffeffekt in der Klinik .....	32	6.1.5	Nuklearmedizinische Bildgebung im Vergleich mit anderen molekularbiologischen Verfahren ..	210
3.4	Biologische Grundlagen der Strahlentherapie von Tumoren .....	34	6.1.6	Die Bestandteile einer nuklearmedizinischen Untersuchung .....	210
3.4.1	Elektivität der Strahlentherapie .....	34	6.1.7	Der prinzipielle Ablauf von nuklear- medizinischen Untersuchungen .....	210
3.4.2	Wachstum und Proliferation von Tumoren .....	34	6.1.8	Darstellung nuklearmedizinischer Bilder .....	211
3.4.3	Strahlenempfindlichkeit und Strahlenresistenz von Tumoren .....	35	6.2	<b>Radiopharmaka</b> .....	<b>212</b>
3.4.4	Möglichkeiten zur Wirkungssteigerung der Strahlentherapie .....	36	6.2.1	Besonderheiten von Radiopharmaka .....	212
<b>4</b>	<b>Strahlenpathologie</b> .....	<b>41</b>	6.2.2	Kitmarkierungen von Radiopharmaka .....	212
4.1	Einige Grundbegriffe .....	41	6.2.3	Herstellung von Radiopharmaka im Zyklotron .....	213
4.1.1	Stochastische und deterministische Strahlenwirkungen .....	41	6.2.4	Anreicherung von Radiopharmaka in Geweben .....	213
4.1.2	Hormesis .....	41			

## X Inhaltsverzeichnis

6.3	Gerätekunde	215	7.3	Gerätekunde	259
6.3.1	Aktivimeter	215	7.3.1	Röntgentherapie	259
6.3.2	Detektoren	216	7.3.2	Hochenergie-Strahlentherapie (Hochvolt- oder Megavolttherapie)	260
6.3.3	Gammakamera	216	7.3.3	Hyperthermie	262
6.3.4	Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT)	217	7.3.4	Therapiesimulator	264
6.3.5	Positron Emission Tomography (PET)	217	7.3.5	Bildgestützte Radiotherapie (IGRT)	264
6.3.6	Multimodale Bildgebung (SPECT/CT, PET/CT, PET/MR)	218	7.4	Strahlentherapeutische Techniken	266
6.4	Klassische Befunde	218	7.4.1	Grundsätzliche Einteilung	266
6.4.1	Kardiologie	218	7.4.2	Techniken der Teletherapie	267
6.4.2	Pulmonologie	221	7.4.3	Brachytherapie	275
6.4.3	Neurologie	222	7.5	Kombinationsbehandlungen	281
6.4.4	Onkologie	228	7.5.1	Radiochemotherapie	281
6.4.5	Endokrinologie	235	7.5.2	Hyperthermie	282
6.4.6	Orthopädie und Traumatologie	237	7.6	Praktisches aus der täglichen Strahlenbehandlung	283
6.4.7	Nephrologie und Urologie	239	7.6.1	Physikalisch-technischer Bestrahlungsplan	283
6.5	Nuklearmedizinische Therapie	242	7.6.2	Einstell- und Lagerungshilfen	284
6.5.1	Grundlagen	242	7.6.3	Sicherung und Dokumentation der Einstellung von Bestrahlungsfeldern	285
6.5.2	Gesetzliche Vorgaben	242	8	<b>Strahlenschutz</b>	287
6.5.3	Radioiodtherapie von benignen Schilddrüsenerkrankungen	243	8.1	Natürliche und zivilisatorische Strahlenexposition	287
6.5.4	Radioiodtherapie von malignen Schilddrüsenerkrankungen	244	8.2	Rechtliche Grundlagen	288
6.5.5	Weitere Therapiemöglichkeiten mit offenen radioaktiven Stoffen	245	8.3	Richtlinien, Verordnungen und Normen	288
7	<b>Strahlentherapie</b>	249	8.4	Für den Strahlenschutz relevante Dosisgrößen	288
7.1	Grundsätzliches zur Strahlentherapie von bösartigen und gutartigen Erkrankungen	249	8.4.1	Dosisgrenzwerte	289
7.1.1	Die Begriffe Strahlentherapie, Radiotherapie und Radioonkologie	249	8.4.2	Dosisgrenzwerte für Personen und Personengruppen als Basis für die Festlegung von Strahlenschutzbereichen	290
7.1.2	Tumorbehandlung: Stellung der Strahlentherapie	249	8.5	Auflagen für beruflich strahlenexponierte Personen	290
7.1.3	Strategien in der kurativen Strahlentherapie	249	8.5.1	Praktische Maßnahmen im Strahlenschutz	291
7.1.4	Strategien in der palliativen Tumorthherapie	250	8.5.2	Strahlenschutz für beruflich exponierte Personen	291
7.1.5	Strahlentherapie gutartiger Erkrankungen	251	8.5.3	Strahlenschutz in der Röntgendiagnostik	292
7.2	<b>Bestrahlungsplanung</b>	251	8.5.4	Strahlenschutz in der Nuklearmedizin	293
7.2.1	Allgemeine Bestrahlungsplanung	252		Strahlenschutz in der Strahlentherapie	293
7.2.2	Zielvolumenkonzepte/ therapeutische Volumina	252		<b>Anhang</b>	295
7.2.3	Das Strahlenfeld und seine Charakterisierung	254		Glossar	297
7.2.4	Dosisspezifikation in der Bestrahlungsplanung	254		Abkürzungsverzeichnis	301
7.2.5	Einflüsse auf die Dosisverteilung bei der Photonen- und Elektronentherapie	255		Register	304