

E. Richter · T. Feyerabend

# Grundlagen der Strahlentherapie

Unter Mitwirkung von  
M. BÄHRE, E. IHNEN, B. MAHLMANN,  
R. NADROWITZ, P. VACHA

2., überarbeitete Auflage

Mit 135 Abbildungen und 86 Tabellen



Springer

---

# Inhaltsverzeichnis

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Geschichtliche Entwicklung der Strahlentherapie</b> ..... | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>Physikalische Grundlagen</b> .....                        | <b>7</b>  |
| 2.1      | Grundbegriffe der Strahlenphysik .....                       | 7         |
| 2.2      | Arten ionisierender Strahlung .....                          | 9         |
| 2.2.1    | Korpuskularstrahlung .....                                   | 9         |
| 2.2.2    | Photonenstrahlung .....                                      | 10        |
| 2.2.3    | Radioaktivität .....   | 13        |
| 2.3      | Erzeugung ionisierender Strahlung .....                      | 15        |
| 2.3.1    | Aufbau und Funktionsweise einer Röntgenröhre .....           | 16        |
| 2.3.2    | Erzeugung ultraharter Röntgenstrahlen .....                  | 17        |
| 2.3.3    | Erzeugung von Elektronenstrahlen .....                       | 19        |
| 2.3.4    | Erzeugung von schnellen Neutronen .....                      | 19        |
| 2.4      | Wechselwirkung ionisierender Strahlung mit Materie .....     | 19        |
| 2.4.1    | Direkt ionisierende Strahlung .....                          | 21        |
| 2.4.2    | Indirekt ionisierende Strahlung .....                        | 22        |
| 2.4.3    | Schwächungsgesetze .....                                     | 25        |
| 2.4.4    | Sekundärprozesse .....                                       | 28        |
| 2.5      | Dosisbegriffe .....  | 28        |
| 2.5.1    | Dosis und Dosisleistung .....                                | 28        |
| 2.5.2    | Allgemeine Dosisbegriffe .....                               | 30        |
| 2.5.3    | Dosisbegriffe für den Strahlenschutz .....                   | 32        |
| 2.5.4    | Dosisverteilung .....  | 33        |
| 2.6      | Dosimetrie, Strahlungsdetektoren .....                       | 41        |
| 2.6.1    | Detektortypen .....  | 41        |
| <b>3</b> | <b>Strahlenschutz</b> .....                                  | <b>53</b> |
| 3.1      | Rechtliche Grundlagen .....                                  | 53        |
| 3.2      | Atomgesetz, Strahlenschutzverordnung (StrSchV) .....         | 54        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 3.3      | Röntgenverordnung (RöV) .....                              | 57         |
| 3.4      | Durchführung des Strahlenschutzes .....                    | 59         |
| <b>4</b> | <b>Grundlagen der Strahlenwirkung</b> .....                | <b>61</b>  |
| 4.1      | Mechanismen der Strahlenwirkung .....                      | 61         |
| 4.1.1    | Energieübertragung .....                                   | 61         |
| 4.1.2    | Primärprozesse .....                                       | 62         |
| 4.1.3    | Molekulare Veränderungen .....                             | 64         |
| 4.2      | Biologische Strahlenwirkung .....                          | 68         |
| 4.2.1    | Stochastische und nichtstochastische Strahlenwirkung ..... | 68         |
| 4.2.2    | Genetische und somatische Strahlenwirkung .....            | 69         |
| 4.2.3    | Strahlenwirkung kleiner Dosen (<1 Gy) .....                | 71         |
| 4.2.4    | Kanzerogene Wirkung ionisierender Strahlung .....          | 71         |
| 4.2.5    | Strahlenwirkung in der pränatalen Phase .....              | 72         |
| 4.2.6    | Strahlenrisiko .....                                       | 72         |
| 4.3      | Strahlenfolgen .....                                       | 74         |
| 4.3.1    | Strahlenwirkung auf zellulärer Ebene .....                 | 74         |
| 4.3.2    | Strahlenwirkung auf normale Gewebe und Organe .....        | 86         |
| 4.3.3    | Die Wirkung der Bestrahlung auf Tumoren .....              | 97         |
| <b>5</b> | <b>Apparative Grundlagen</b> .....                         | <b>105</b> |
| 5.1      | Bestrahlungsgeräte .....                                   | 105        |
| 5.1.1    | Röntgenbestrahlungseinrichtung .....                       | 105        |
| 5.1.2    | $\gamma$ -Bestrahlungseinrichtung .....                    | 108        |
| 5.1.3    | Beschleunigereinrichtungen .....                           | 111        |
| 5.1.4    | Afterloading-Geräte .....                                  | 116        |
| 5.1.5    | Zusatzeinrichtungen für die Strahlentherapie .....         | 118        |
| 5.2      | Therapiesimulator .....                                    | 121        |
| 5.3      | Bestrahlungsplanungssystem .....                           | 122        |
| <b>6</b> | <b>Allgemeine onkologische Therapie</b> .....              | <b>125</b> |
| 6.1      | Überblick über die allgemeine Geschwulstlehre .....        | 125        |
| 6.1.1    | Einteilung der malignen Tumoren .....                      | 126        |
| 6.1.2    | Häufigkeit .....   | 126        |
| 6.1.3    | Wachstumsverhalten in einem Organ .....                    | 126        |
| 6.1.4    | Metastasierungswege .....                                  | 127        |
| 6.2      | Klinisches Erscheinungsbild maligner Tumoren .....         | 129        |
| 6.3      | Klinische Stadieneinteilung maligner Tumoren .....         | 129        |
| 6.3.1    | Typing, Grading, Staging .....                             | 129        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 6.3.2    | Prinzipien der TNM-Klassifikation .....                                   | 130        |
| 6.3.3    | Andere Klassifikationen .....   | 131        |
| 6.3.4    | Bedeutung der Stadieneinteilung .....                                     | 132        |
| 6.4      | Überblick über die onkologischen Therapieformen .....                     | 132        |
| 6.4.1    | Zielsetzung .....   | 132        |
| 6.4.2    | Therapiemöglichkeiten .....   | 133        |
| 6.5      | Onkologische Nachsorge .....  | 137        |
| 6.5.1    | Beurteilung des Therapieerfolges .....                                    | 137        |
| 6.5.2    | Früherkennung von Rezidiven und Metastasen .....                          | 138        |
| 6.5.3    | Erkennung, Beurteilung und Behandlung<br>von Spätreaktionen .....         | 139        |
| <b>7</b> | <b>Allgemeine Strahlentherapie .....</b>                                  | <b>141</b> |
| 7.1      | Bestrahlungsmethoden .....  | 141        |
| 7.1.1    | Abstandsbezogene Einteilung .....   | 141        |
| 7.1.2    | Zielbezogene Einteilung .....   | 143        |
| 7.2      | Bestrahlungstechniken .....   | 146        |
| 7.2.1    | Bestrahlungstechniken mit unterschiedlicher<br>Strahlenqualität .....     | 146        |
| 7.2.2    | Bestrahlungstechniken mit unterschiedlichem<br>technischen Vorgehen ..... | 148        |
| 7.3      | Bestrahlungsplanung .....   | 157        |
| 7.3.1    | Bestimmung der Tumorausdehnung .....                                      | 158        |
| 7.3.2    | Erstellung der Patiententopographie .....                                 | 158        |
| 7.3.3    | Abgrenzung des Zielvolumens .....   | 161        |
| 7.3.4    | Festlegung des Zielvolumens im CT .....                                   | 167        |
| 7.3.5    | Zielvolumenerfassung mit MRT .....  | 170        |
| 7.3.6    | Festlegung kritischer Organe .....  | 171        |
| 7.3.7    | Dosisbegriffe für die Strahlentherapie .....                              | 171        |
| 7.3.8    | Festlegung der Bestrahlungstechnik .....                                  | 174        |
| 7.3.9    | Übertragung des Bestrahlungsplanes auf den Patienten ....                 | 176        |
| 7.3.10   | Dokumentation der Bestrahlungsfelder .....                                | 178        |
| 7.3.11   | Dokumentation in der Strahlentherapie .....                               | 178        |
| <b>8</b> | <b>Spezielle Strahlentherapie maligner Tumoren .....</b>                  | <b>181</b> |
| 8.1      | Grundprinzipien .....   | 181        |
| 8.2      | Tumoren des Kopf-Halsbereiches .....                                      | 182        |
| 8.2.1    | Mundhöhlenkarzinome .....   | 183        |
| 8.2.2    | Tumoren der Nasenhöhle und Nasennebenhöhlen .....                         | 191        |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 8.2.3  | Nasopharynxkarzinom .....                      | 195 |
| 8.2.4  | Oropharynxkarzinom .....                       | 201 |
| 8.2.5  | Hypopharynxkarzinom .....                      | 207 |
| 8.2.6  | Larynxkarzinom .....                           | 211 |
| 8.3    | Tumoren des Auges und der Orbita .....         | 217 |
| 8.4    | Tumoren des ZNS .....                          | 225 |
| 8.5    | Schilddrüsenkarzinom .....                     | 233 |
| 8.6    | Bronchialkarzinom .....                        | 241 |
| 8.7    | Ösophaguskarzinom .....                        | 252 |
| 8.8    | Magen- und Dünndarmkarzinom .....              | 264 |
| 8.8.1  | Magen .....                                    | 264 |
| 8.8.2  | Dünndarm .....                                 | 271 |
| 8.9    | Pankreas-, Leber- und Gallenwegskarzinom ..... | 271 |
| 8.9.1  | Pankreas .....                                 | 271 |
| 8.9.2  | Leber .....                                    | 277 |
| 8.9.3  | Gallenwege .....                               | 278 |
| 8.10   | Kolorektale Karzinome .....                    | 280 |
| 8.11   | Analkarzinom .....                             | 292 |
| 8.12   | Nierenkarzinom .....                           | 296 |
| 8.13   | Prostatakarzinom .....                         | 300 |
| 8.14   | Harnblasenkarzinom .....                       | 309 |
| 8.15   | Hodentumoren .....                             | 314 |
| 8.16   | Mammakarzinom .....                            | 325 |
| 8.17   | Zervixkarzinom .....                           | 339 |
| 8.18   | Korpuskarzinom .....                           | 351 |
| 8.19   | Ovarialkarzinom .....                          | 359 |
| 8.20   | Morbus Hodgkin .....                           | 365 |
| 8.21   | Non-Hodgkin-Lymphome .....                     | 373 |
| 8.22   | Weichteilsarkome .....                         | 381 |
| 8.23   | Hauttumoren .....                              | 391 |
| 8.24   | Tumoren im Kindesalter .....                   | 400 |
| 8.24.1 | Allgemeine Übersicht .....                     | 400 |
| 8.24.2 | Leukämie .....                                 | 402 |
| 8.24.3 | M. Hodgkin .....                               | 402 |
| 8.24.4 | Hirntumoren .....                              | 403 |
| 8.24.5 | Neuroblastom .....                             | 406 |
| 8.24.6 | Nephroblastom (Wilms-Tumor) .....              | 407 |
| 8.24.7 | Weichteilsarkome .....                         | 408 |
| 8.24.8 | Knochentumoren .....                           | 409 |

|   |   |            |
|---|---|------------|
| 8.25                                      | Palliative Bestrahlung maligner Tumoren .....   | 410        |
| 8.25.1                                    | Indikationen .....  | 411        |
| 8.25.2                                    | Palliative Strahlentherapie in Notfallsituationen .....   | 413        |
| <b>9</b>                                  | <b>Strahlentherapie gutartiger Erkrankungen .....</b>   | <b>419</b> |
| 9.1                                       | Akute und chronische Entzündungen .....   | 420        |
| 9.2                                       | Hypertrophische Prozesse .....  | 421        |
| 9.3                                       | Funktionelle Strahlentherapie .....   | 422        |
| <b>10</b>                                 | <b>Patientenbetreuung .....</b>   | <b>423</b> |
| 10.1                                      | Betreuung von Allgemein- und Ernährungszustand .....  | 424        |
| 10.2                                      | Behandlung tumorbedingter Beschwerden<br>inkl. Schmerztherapie .....  | 425        |
| 10.2.1                                    | Allgemeine und lokale Tumorbeschwerden,<br>paraneoplastische Syndrome .....   | 425        |
| 10.2.2                                    | Tumorbedingte Schmerzen .....   | 426        |
| 10.3                                      | Symptome und Beschwerden als Ausdruck einer<br>Behandlungs- oder Tumorkomplikation oder einer<br>tumorunabhängigen Erkrankung ..... | 431        |
| 10.4                                      | Prophylaxe, rechtzeitige Erkennung und Therapie von<br>Nebenwirkungen .....   | 431        |
| 10.5                                      | Familiäre und soziale Situation des Patienten .....   | 434        |
| 10.6                                      | Psychische Lage des Patienten bei Aufklärung und Therapie<br>(Krankheitsverarbeitung) .....   | 435        |
| 10.7                                      | Rehabilitation .....  | 437        |
| 10.8                                      | Kontrolluntersuchungen<br>(Tumorstatus, Behandlungsfolgen) .....  | 438        |
| 10.9                                      | Begleitung sterbender Patienten .....   | 438        |
| <b>Literatur</b> .....                    |   | <b>441</b> |
| <b>Ausgewählte Internetadressen</b> ..... |   | <b>443</b> |
| <b>Sachverzeichnis</b> .....              |   | <b>445</b> |