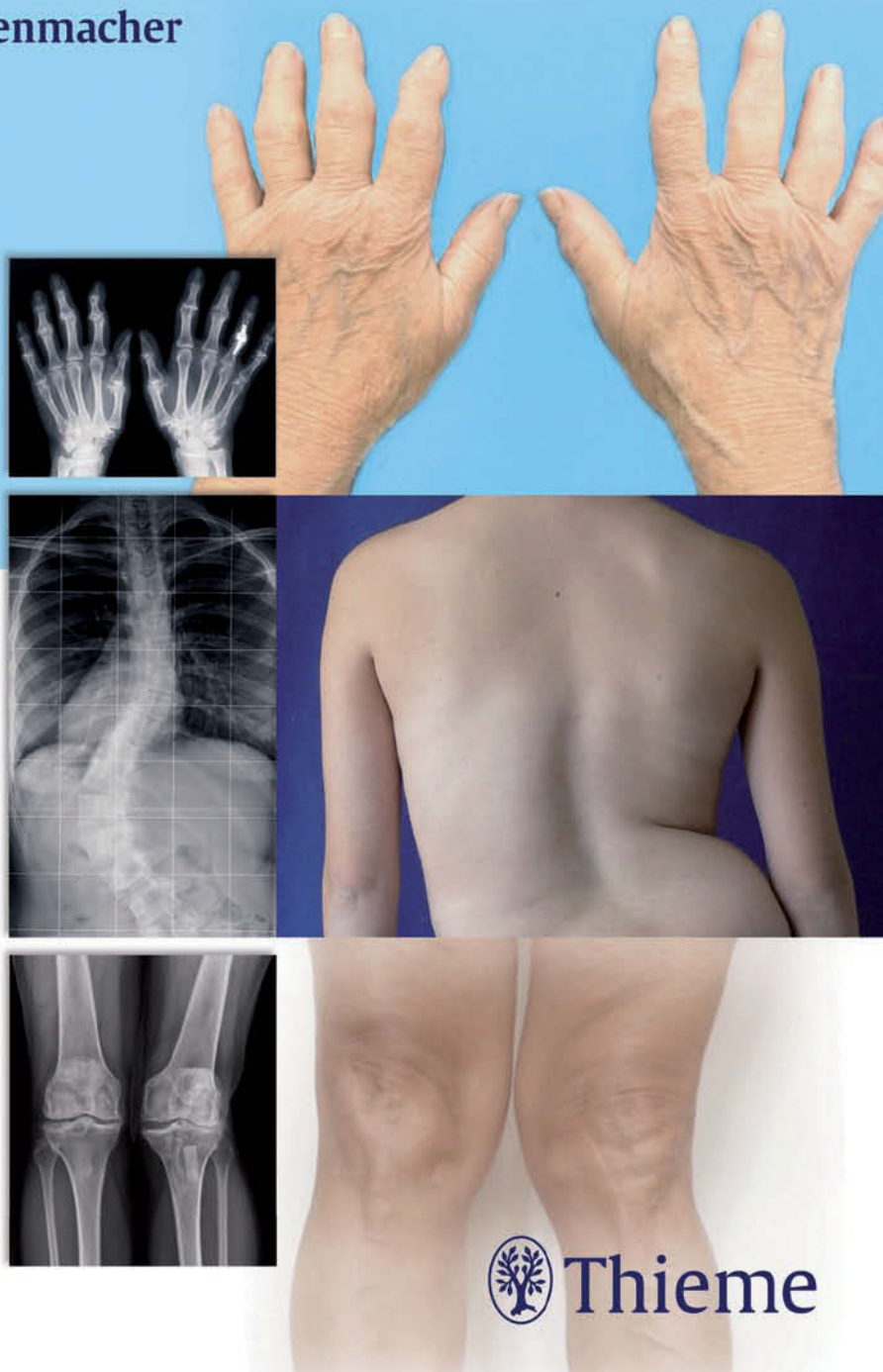
Praktische Röntgendiagnostik Orthopädie und Unfallchirurgie

Indikation, Einstelltechnik, Strahlenschutz

Johannes Flechtenmacher
Desiderius Sabo



Thieme

Thieme

Praktische Röntgendiagnostik Orthopädie und Unfallchirurgie

Indikation, Einstelltechnik, Strahlenschutz

Johannes Flechtenmacher
Desiderius Sabo

Unter Mitarbeit von

Nasreddin Abolmaali
Maren Asmussen
Matthias Buchner
Jörg Decker
Michael Dickob
Axel Goldmann
Thomas Grieser
Christian Heisel
Philip Kasten
Peter Laier
Christof A. Müller
Irene Mütze
Christiane Pöckler-Schöniger
Christian Ries
Michael Ruf
Peter Starck

322 Abbildungen

Georg Thieme Verlag
Stuttgart • New York

Impressum

Bibliografische Information
der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

Wichtiger Hinweis: Wie jede Wissenschaft ist die Medizin ständigen Entwicklungen unterworfen. Forschung und klinische Erfahrung erweitern unsere Erkenntnisse, insbesondere was Behandlung und medikamentöse Therapie anbelangt. Soweit in diesem Werk eine Dosierung oder eine Applikation erwähnt wird, darf der Leser zwar darauf vertrauen, dass Autoren, Herausgeber und Verlag große Sorgfalt darauf verwandt haben, dass diese Angabe **dem Wissensstand bei Fertigstellung des Werkes** entspricht.
Für Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen kann vom Verlag jedoch keine Gewähr übernommen werden. **Jeder Benutzer ist angehalten**, durch sorgfältige Prüfung der Beipackzettel der verwendeten Präparate und gegebenenfalls nach Konsultation eines Spezialisten festzustellen, ob die dort gegebene Empfehlung für Dosierungen oder die Beachtung von Kontraindikationen gegenüber der Angabe in diesem Buch abweicht. Eine solche Prüfung ist besonders wichtig bei selten verwendeten Präparaten oder solchen, die neu auf den Markt gebracht worden sind. **Jede Dosierung oder Applikation erfolgt auf eigene Gefahr des Benutzers.** Autoren und Verlag appellieren an jeden Benutzer, ihm etwa auffallende Ungenauigkeiten dem Verlag mitzuteilen.

© 2014 Georg Thieme Verlag KG
Rüdigerstraße 14
70469 Stuttgart
Deutschland
Telefon: +49/(0)711/8931-0
Unsere Homepage: www.thieme.de

Printed in Germany

Zeichnungen: medionet Publishing Services Ltd., Berlin;
Helmut Holtermann, Dannenberg
Umschlaggestaltung: Thieme Verlagsgruppe
Redaktion: Dr. Doris Kliem, Urbach
Fotograf: Michael Meier, Karlsruhe
Satz: medionet Publishing Services Ltd., Berlin
gesetzt aus 3B2
Druck: Grafisches Centrum Cuno, Calbe

ISBN 978-3-13-173161-6 1 2 3 4 5 6

Auch erhältlich als E-Book:
eISBN (PDF) 978-3-13-173171-5
eISBN (ePub) 978-3-13-176151-4

Geschützte Warennamen (Marken) werden **nicht** besonders kenntlich gemacht. Aus dem Fehlen eines solchen Hinweises kann also nicht geschlossen werden, dass es sich um einen freien Warennamen handelt.
Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Vorwort

Klare medizinische Fragestellung, optimierte Durchführung, Strahlenschutz und fachkundige Auswertung sind Qualitätskriterien einer guten radiologischen Diagnostik (Präambel der Leitlinie zur Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik der Bundesärztekammer in ihrer Fassung vom 23.11.2007).

Dieses Buch soll zeigen, wie die geforderten Qualitätskriterien unter Praxis- und Klinikbedingungen erreicht werden können. Es macht Vorschläge zu praktikabler konventioneller Röntgenbildgebung des Bewegungsapparats unter den Anforderungen im klinischen Alltag.

In den letzten Jahren haben Ultraschall und die Schnittbildverfahren Computer- und Kernspintomografie die orthopädische und unfallchirurgische Diagnostik verändert und manche projektionsradiografischen Einstellungen überflüssig gemacht. Nach wie vor ist aber die konventionelle Röntgenbildanalyse ein wesentlicher Baustein des diagnostischen Algorithmus in der Abklärung von Gelenk- und Wirbelsäulenerkrankungen und in der Diagnostik und Verlaufskontrolle von Verletzungen und Frakturen.

Vorteile der konventionellen Röntgendiagnostik liegen in der schnellen Verfügbarkeit, in den geringen Kosten, der im Vergleich zur Computertomografie niedrigeren Strahlenbelastung und der Möglichkeit, Untersuchungen im belasteten Zustand (im Stehen) durchzuführen.

Das Buch ist entstanden durch Arbeiten an einem Skript für einen Kurs zur Aktualisierung im Strahlenschutz und zur Einstelltechnik, den wir seit 2007 mit der ADO (Akademie deutscher Orthopäden) durchführen.

Bewusst haben wir uns für eine Wichtung der Kapitelschwerpunkte durch Spezialisten entschieden. Deren Anforderungen an die Bildgebung sind durch ihre langjährige klinische Erfahrung und Fachkenntnis geprägt und haben damit eine sehr hohe Wertigkeit für die Durchführung der relevanten Röntgendiagnostik der einzelnen topografischen Regionen und Spezialdisziplinen.

Herzlichen Dank an die Autorinnen und Autoren für die sehr kollegiale und freundschaftliche Zusammenarbeit. Wir sind auch Christina Barow, Daniela Martin und Bianca Höfler sehr zu Dank verpflichtet, die sich bei der Herstellung der Fotos und der Röntgenbilder außergewöhnlich engagiert haben. Herausgeber und Autoren mussten bei diesem Buchprojekt lernen, dass das Erstellen guter Röntgenbilder nur in der engen Interaktion zwischen Arzt und Röntgenassistentin funktioniert. Wir können unseren Lesern nur empfehlen, eine enge Zusammenarbeit mit ihrer Röntgenabteilung zu leben. Ebenfalls danken wir Herrn Patrik Scholz dafür, dass er sich als Modell zur Verfügung gestellt hat, und unserem Fotografen Herrn Michael Meier. Beide haben mit viel Geduld die Entstehung dieses Buches begleitet.

Karlsruhe/Heidelberg im Januar 2014

Johannes Flechtenmacher
Desiderius Sabo

Anschriften

Herausgeber

Flechtenmacher, Johannes, Dr. med.
Ortho-Zentrum am Ludwigsplatz
Waldstr. 67
76133 Karlsruhe

Sabo, Desiderius, Prof. Dr. med.
Sportopaedie Heidelberg
Klinik St. Elisabeth
Max-Reger-Str. 5–7
69121 Heidelberg

Mitarbeiter

Abolmaali, Nasreddin, Prof. Dr. med.
Universitätsklinikum Dresden
Klinik für radiologische Diagnostik
Fetscherstr. 74, Haus 9
01307 Dresden

Goldmann, Axel, Dr.
Orthopädie Centrum Erlangen
Krankenhaus Martha-Maria
Nägelsbachstr. 49a
91052 Erlangen

Asmussen, Maren
Städtisches Klinikum Karlsruhe
Institut für diagnostische und
interventionelle Radiologie
Sektion Kinderradiologie
Moltkestr. 90
76133 Karlsruhe

Grieser, Thomas, Dr. med.
Klinikum Augsburg
Klinik für Diagnostische Radiologie
und Neuroradiologie
Stenglinstr. 2
86156 Augsburg

Buchner, Matthias, Prof. Dr. med.
Ortho-Zentrum am Ludwigsplatz
Waldstr. 67
76133 Karlsruhe

Heisel, Christian, Prof. Dr. med.
Orthopädie Kurpfalz
Bahnhofstr. 51–53
67346 Speyer

Decker, Jörg, Dr. med.
Städt. Klinikum Karlsruhe
Klinik für Unfall-, Hand und
orthopädische Chirurgie
Moltkestr. 90
76133 Karlsruhe

Kasten, Philip, Prof. Dr. med.
Universitätsklinikum Dresden
UniversitätsCentrum für
Orthopädie und Unfallchirurgie
Fetscherstr. 74
01307 Dresden

Dickob, Michael, Dr. med.
Praxis für Orthopädie und
Unfallchirurgie
Bahnhofstr. 30B
33602 Bielefeld

Laier, Peter, Dr. med.
Städtisches Klinikum Karlsruhe
Klinik für Unfall-, Hand- und
Orthopädische Chirurgie
Moltkestr. 90
76133 Karlsruhe

Müller, Christof A., Prof. Dr. med.
Städtisches Klinikum Karlsruhe
Klinik für Unfall-, Hand- und Orthopädische Chirurgie
Moltkestr. 90
76133 Karlsruhe

Mütze, Irene
Universitätsklinikum Dresden
Institut für Röntgendiagnostik
Fetscherstr. 74
01307 Dresden

Pöckler-Schöniger, Christiane, Dr. med.
SRH Klinikum Karlsbad-Langensteinbach
Diagnostische Radiologie/ Neuroradiologie
Guttmannstr. 1
76307 Karlsbad

Ries, Christian, Dr. med.
Universitätsklinikum Köln
Klinik und Poliklinik für Orthopädie und Unfallchirurgie
Kerpener Str. 62
50937 Köln

Ruf, Michael, PD Dr. med.
SRH Klinikum Karlsbad-Langensteinbach
Guttmannstr. 18
76307 Karlsbad

Starck, Peter, Dipl.-Ing.
Städtisches Klinikum Karlsruhe
Institut für diagnostische und interventionelle Radiologie
Moltkestr. 90
76133 Karlsruhe

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 12

1.1 Strahlenschutz ... 12
P. Starck

1.1.1 Strahlenschutzregelungen für Mitarbeiter ... 15
1.1.2 Strahlenschutzregelungen für Patienten ... 20
1.1.3 Dokumentation ... 24

1.2 Gerätetechnik ... 25
P. Starck

1.2.1 Aufnahmetechnik ... 25
1.2.2 Dokumentation und Befundung ... 30

1.3 Radiologische Diagnostik von Knochentumoren ... 32
T. Grieser

1.3.1 Bildgebende Diagnostik und Dignitätsbeurteilung ... 32
1.3.2 Knochentumorentitäten ... 44
1.3.3 Addendum ... 57

1.4 Spezielle Aspekte der Unfallchirurgie ... 61
C. A. Müller und J. Decker

1.4.1 Konventionelle Röntgendiagnostik 61
1.4.2 Schnittbildgebung ... 62
1.4.3 Frakturcharakteristika ... 63
1.4.4 Frakturklassifikationen ... 64
1.4.5 Röntgenverlaufskontrollen und Durchleuchtung ... 66
1.4.6 Knochenbruchheilung ... 66

1.5 Spezielle Aspekte der Skelettradiologie bei Kindern ... 70
M. Asmussen

1.5.1 Besondere Bedeutung des Strahlenschutzes im Kindesalter ... 70
1.5.2 Besonderheiten der Bildgebung bei Kindern ... 70
1.5.3 Besonderheiten des wachsenden Skeletts ... 72

2 Röntgendiagnostik der Körperregionen ... 82

2.1 Sprunggelenk und Fuß ... 83
D. Sabo

2.1.1 Grundlagen der Bildgebung an Sprunggelenk und Fuß ... 83
2.1.2 Unterschenkel mit oberem Sprunggelenk a.-p. und seitlich, unbelastet 84
2.1.3 Distaler Unterschenkel mit oberem Sprunggelenk a.-p. und seitlich, belastet ... 86
2.1.4 Oberes Sprunggelenk a.-p. und seitlich ... 88
2.1.5 Oberes Sprunggelenk schräg in Außenrotation (Broden I) ... 90
2.1.6 Oberes Sprunggelenk schräg in Innenrotation (Broden II) ... 91
2.1.7 Oberes Sprunggelenk a.-p. und seitlich, Stressaufnahme ... 92
2.1.8 Rückfuß p.-a., belastet (Saltzmann View) ... 94
2.1.9 Kalkaneus axial und seitlich, unbelastet ... 96
2.1.10 Fuß a.-p. (d.-p.) und seitlich, belastet 98
2.1.11 Fuß a.-p. (d.-p.), seitlich und schräg, unbelastet ... 100
2.1.12 Vorfuß tangential p.-a. (Mittelfußknochen-Sesambein-Zielaufnahme) 102
2.1.13 Großzehe oder einzelne Phalangen a.-p. (d.-p.) und seitlich, unbelastet 102

2.2 Kniegelenk ... 104
M. Dickob

2.2.1 Grundlagen der Bildgebung am Knie 104
2.2.2 Kniegelenk a.-p. und seitlich, unbelastet ... 106
2.2.3 Kniegelenk a.-p. im Stehen, belastet 108
2.2.4 Kniegelenk p.-a. in 30°-Beugung, belastet (Lyon-Schuss-Aufnahme) . 110
2.2.5 Ganzbeinaufnahme a.-p., Knie gestreckt ... 111

2.2.6 Patella axial (Aufnahme nach Settegast) 112
2.2.7 Patella axial (Aufnahme nach Knutson; Skyline View) 113
2.2.8 Kniegelenk, gehaltene Aufnahmen in vorderer und hinterer Schublade 114

2.3 Hüfte und Becken 115
C. Ries und C. Heisel

2.3.1 Grundlagen der Bildgebung an Hüfte und Becken 115
2.3.2 Hüftgelenk und Becken a.-p. 116
2.3.3 Hüftgelenk seitlich 119
2.3.4 Becken, Outlet- und Inlet-Aufnahme 121
2.3.5 Becken, Ala- und Obturator-aufnahme 123

2.4 Hand und Handgelenk 125
P. Laier

2.4.1 Grundlagen der Bildgebung an Hand und Handgelenk 125
2.4.2 Handgelenk d.-p. und seitlich 127
2.4.3 Handgelenk d.-p. in Ulnarduktion (Stecheraufnahme; evtl. Belastungsaufnahme in kräftigem Faustschluss) 130
2.4.4 Hand d.-p., schräg und seitlich 132
2.4.5 Daumen p.-d. und seitlich 134
2.4.6 Finger II–V d.-p. und seitlich 136

2.5 Ellenbogen 138
P. Kasten, I. Mütze und N. Abolmaali

2.5.1 Grundlagen der Bildgebung am Ellenbogen 138
2.5.2 Ellenbogen a.-p. und seitlich 139
2.5.3 Ellenbogen zur Beurteilung des Processus coronoideus 140
2.5.4 Darstellung des Radiusköpfchens . . 142
2.5.5 Ellenbogen axial (Sulcus-n.-ulnaris- bzw. Olekranonaufnahme). 144

2.6 Schultergürtel 145
M. Buchner

2.6.1 Grundlagen der Bildgebung am Schultergürtel 145
2.6.2 Standardaufnahmen: Schulter in 2 Ebenen 146
2.6.3 Bildgebung bei Impingement- bzw. Subakromialsyndrom sowie bei Pathologien der Rotatoren-manschette. 152
2.6.4 Bildgebung bei glenohumeraler Instabilität 154
2.6.5 Bildgebung bei Verletzungen und Erkrankungen des Akromioklavikulargelenks 156
2.6.6 Aufnahmen von Klavikula und Sternoklavikulargelenk. 160
2.6.7 Aufnahmen der Skapula 162

2.7 Wirbelsäule 164
M. Ruf und C. Pöckler-Schöniger

2.7.1 Grundlagen der Bildgebung an der Wirbelsäule 164
2.7.2 Halswirbelsäule a.-p. und seitlich . . 166
2.7.3 Halswirbelsäule a.-p. und seitlich, im Liegen 168
2.7.4 Denszielaufnahme a.-p. 168
2.7.5 Zervikothorakaler Übergang seitlich (Krauler-Aufnahme) 170
2.7.6 Halswirbelsäule, Funktionsaufnahmen in Inklination und Reklination 172
2.7.7 Halswirbelsäule schräg (Foraminaaufnahmen) 174
2.7.8 Halswirbelsäule (Traktionsaufnahme) 175
2.7.9 Brustwirbelsäule a.-p. und seitlich, im Stehen 176
2.7.10 Thorakolumbaler Übergang a.-p. und seitlich, im Stehen 178
2.7.11 Lendenwirbelsäule a.-p. und seitlich, im Stehen 180
2.7.12 Lendenwirbelsäule, Funktionsaufnahmen in Inklination und Reklination, im Stehen 182
2.7.13 Lendenwirbelsäule, Bending-Aufnahmen im Stehen . . . 184
2.7.14 Wirbelsäulenganzaufnahme a.-p. und seitlich, im Stehen 186
2.7.15 Wirbelsäule, Bending-Aufnahmen im Liegen 190
2.7.16 Wirbelsäule, Aufnahme mit Hypomochlion 192

3 Anhang 196
A. Goldmann

3.1 Fachkunde im Strahlenschutz nach Röntgenverordnung 196

3.1.1 Anwendungsgebiete 196
3.1.2 Beginn des Sachkundeerwerbs 199
3.1.3 Wie stelle ich den Antrag auf die Bescheinigung der Fachkunde? 199
3.1.4 Beispiel: 3-D-Bildwandler und digitale Volumentomografie (DVT) 200

3.2 Zusammenfassung 200

Literatur 201

Sachverzeichnis 206

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Strahlenschutz *12*

1.2 Gerätetechnik *25*

1.3 Radiologische Diagnostik von Knochentumoren *32*

1.4 Spezielle Aspekte der Unfallchirurgie *61*

1.5 Spezielle Aspekte der Skelettradiologie bei Kindern *70*

1

1 Einleitung

1.1 Strahlenschutz

P. Starck

Bevor auf die verschiedenen Regelungen im Rahmen des Strahlenschutzes eingegangen wird, sollen zunächst einige Dosisgrößen im Zusammenhang mit der Röntgendiagnostik definiert werden, auf die im Verlauf häufig Bezug genommen wird.

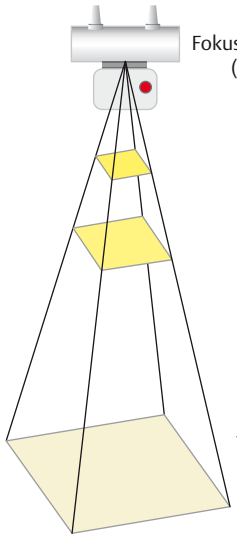
▶ **Dosis-Flächen-Produkt.** Das Dosis-Flächen-Produkt beschreibt den Zusammenhang zwischen der Dosis und der bestrahlten Fläche. Es wird direkt am Röntgengerät hinter der Röntgenröhre technisch ermittelt. Anhand des Dosis-Flächen-Produktwerts lassen sich Rückschlüsse auf die applizierte Dosis ziehen. Das Dosis-Flächen-Produkt hat den Vorteil, dass es immer gleich ist, egal bei welchem Fokusabstand der Wert ermittelt wird. Mit zunehmendem Abstand von der Röntgenröhre verringert sich nach dem Abstandsquadratgesetz die Dosis. Im Gegenzug vergrößert sich durch zunehmenden Abstand die Bestrahlungsfläche:

$$\text{Dosis-Flächen-Produkt} = \text{Dosis} \times \text{bestrahlte Fläche} \quad (1)$$

Die ▶ Abb. 1.1 zeigt, dass sich bei doppeltem Fokusabstand zur Röntgenröhre die Ortsdosis auf ¼ der Ausgangsdosis verringert. Die Fläche hingegen erhöht sich um den Faktor 4. Das Dosis-Flächen-Produkt ist bei beiden Fokusabständen gleich. Die Einheit des Dosis-Flächen-Produkts ist nicht normiert oder gesetzlich vorgeschrieben. Bezüglich der DRW (diagnostische Referenzwerte; s. Textabschnitt „Strahlenschutzregelungen für Patienten“, s. unten) muss darauf geachtet werden, dass je nach Gerätehersteller das Dosis-Flächen-Produkt in unterschiedlichen Einheiten ausgeben wird. Die DRW werden in cGy·cm² angegeben (Gy = Gray); dies entspricht µGy·m². Die Umrechnung erfolgt gemäß ▶ Tab. 1.1.

Tab. 1.1 Umrechnungstabelle der je nach Gerätehersteller unterschiedlich verwendeten Einheiten für das Dosis-Flächen-Produkt.

Anzeige Dosis-Flächen-Produktwert Röntgengerät	1 mGy·cm²	1 µGy·m²	1 dGy·cm²	1 Gy·cm²
Umrechnung	0,1 cGy·cm²	1 cGy·cm²	10 cGy·cm²	100 cGy·cm²



Fokusabstand (cm)	Dosis (µGy)	Fläche (cm²)	Dosis-Flächen-Produkt (µGy · cm²)
30	40	25	1000
60	10	100	1000
120	2,5	400	1000

Abb. 1.1 Dosis-Flächen-Produkt.

▶ **Energiedosis.** Die Energiedosis D beschreibt die Energieübertragung ionisierender Strahlung E pro Masseneinheit m. Sie wird in J/kg (Joule pro Kilogramm) gemessen. Dies entspricht der Einheit Gy.

$$D = \frac{dE}{dm} \tag{2}$$

▶ **Einfalldosis.** Zur Abschätzung der Dosis wird im Wesentlichen die Einfalldosis herangezogen. Diese entspricht der Dosis vor Eintritt in den Patienten. Sie kann aus dem Dosis-Flächen-Produkt und den geometrischen Aufnahmebedingungen näherungsweise abgeleitet werden:

$$\text{Einfalldosis} = \frac{\text{Dosis-Flächen-Produkt}}{\text{Feldgröße auf Filmebene}} \times \left(\frac{\text{Fokus-Detektor-Abstand}}{\text{Fokus-Haut-Abstand}}\right) \tag{3}$$

▶ **Oberflächendosis.** Die Oberflächendosis wird häufig mit der Einfalldosis verwechselt. Die Oberflächendosis entspricht wie diese der Dosis an der Patientenoberfläche (Eintrittsseite der Strahlung), aber unter Einbeziehung der im Patienten verursachten Streustrahlung. Im Gewebe entsteht durch den sog. Compton-Effekt Streustrahlung, die den Körper in alle Richtungen verlässt. Dieser Streustrahlenanteil oder Rückstreufaktor addiert sich zur Einfalldosis. Je nach Patientendurchmesser, Strahlungsenergie, Feldgröße und Röhrenfilterung liegt der Rückstreufaktor in der Röntgendiagnostik bei ca. 1,3–1,5.

$$\text{Oberflächendosis} = \text{Einfalldosis} \times \text{Rückstreufaktor} \tag{4}$$

▶ **Organdosis.** Die Organdosis entspricht der absorbierten Energie, bezogen auf die Masse des bestrahlten Organs. Da die Organdosis im Patienten nicht direkt gemessen werden kann, behilft man sich mit sog. Konversionfaktoren (Näherungsfaktoren) aus Phantommessungen bzw. mit theoretischen Berechnungen oder Simulationen. Die Organdosis lässt sich nur über Näherungsfaktoren bestimmen. Sie wird in Sv (Sievert) angegeben.

▶ **Organwichtungsfaktoren.** Da Organe unterschiedlich strahlenempfindlich sind, wurden sog. Organwichtungsfaktoren ermittelt (▶ Tab. 1.2). Sie sind ein Maß für den Schweregrad einer Schädigung eines bestimmten Organs durch die Strahlenexposition. Die Organwichtungsfaktoren wurden anhand der Erkenntnisse von Atombombenopfern und Reaktorzwischenfällen berechnet. Als Beispiel ist die Haut mit dem Wichtungsfaktor 0,01 deutlich strahlenunempfindlicher als das rote Knochenmark mit einem Wichtungsfaktor 0,12.

Tab. 1.2 Wichtungsfaktoren verschiedener Organe bzw. Organsysteme [7].

Organ	Wichtungsfaktor
Keimdrüsen	0,20
Knochenmark (rot)	0,12
Dickdarm	0,12
Lunge	0,12
Magen	0,12
Blase	0,05
Brust	0,05
Leber	0,05
Speiseröhre	0,05
Schilddrüse	0,05
Haut	0,01
Knochenoberfläche	0,01
andere Organe oder Gewebe	0,05
gesamt	**1,00**

▶ **Effektive Dosis.** Da bei einer Röntgenuntersuchung immer mehrere Organe im Strahlenfeld liegen, beschreibt die effektive Dosis die Gesamtstrahlenbelastung des Patienten, basierend auf den einzelnen Organdosen mit ihren Organwichtungsfaktoren. Mit der können Strahlenexpositionen im Vergleich betrachtet werden. Berechnet wird die effektive Dosis E aus der Summe der Einzelorgandosen D_i mit den entsprechenden Organwichtungsfaktoren w_i. Die Einheit der effektiven Dosis ist Sv.

$$E = \sum w_i \times D_i \tag{5}$$

▶ **Effektive Jahresdosis der Bevölkerung in Deutschland.** Die effektive Dosis der Bevölkerung in Deutschland beträgt im Mittel ca. 4 mSv/Jahr. Die Strahlenbelastung durch natürliche Strahlungsquellen liegt bei ca. 2,1 mSv/Jahr, diejenige durch künstliche Strahlungsquellen bei ca. 1,9 mSv/Jahr (▶ Tab. 1.3). Die Medizin, insbesondere mit den radiologischen bzw. nuklearmedizinischen Untersuchungen, stellt den Hauptanteil der künstlichen Strahlenbelastung (▶ Tab. 1.4 und ▶ Tab. 1.5).

Tab. 1.3 Strahlungsbelastung durch natürliche und künstliche Strahlungsquellen [13].

Strahlungsquelle	Strahlung (mSv/Jahr)
natürliche Strahlenbelastung	
direkte kosmische Strahlung	0,3
direkte terrestrische Strahlung	0,4
Nahrung	0,3
Inhalation von Radon und Zerfallsprodukten	1,1
gesamt	**2,1**
künstliche Strahlenbelastung	
kerntechnische Anlagen	< 0,01
Atombomben-Fallout	< 0,01
Tschernobyl	< 0,015
Forschung, Technik, Haushalt	< 0,01
Medizin	1,8
gesamt	**1,9**

Tab. 1.4 Prozentualer Anteil der Untersuchungsverfahren sowie ihr Anteil an der effektiven Dosis [13].

Untersuchungsverfahren	Häufigkeit der Anwendung (%)	Anteil der effektiven Dosis in der Medizin (%)
Zahnmedizin	37,0	0,2
Skelett	31,0	9,0
Verdauungs-, Harn- bzw. Gallentrakt	2,0	6,0
CT (Computertomografie)	8,0	61,0
Thorax	11,0	2,0
Mammografie	8,0	1,0
Angiografie, Interventionen	2,0	20,0
sonstige Verfahren	0,6	0,2

Tab. 1.5 Typische effektive Dosiswerte in der Röntgendiagnostik [13].

Diagnoseverfahren	Typische effektive Dosis (mSv)	Anzahl von Untersuchungen des Thorax in 2 Ebenen, die zu einer vergleichbaren Exposition führt	Ungefährer Zeitraum der natürlichen Strahlenexposition, der zu einer vergleichbaren Exposition führt
Extremitäten und Gelenke (außer Hüfte)	0,01	0,1	1,5 Tage
Thorax (einzelne p.-a. [posterior-anteriore] Aufnahme)	0,04	0,4	7 Tage
Thorax in 2 Ebenen	0,1	1,0	15 Tage
Schädel	0,07	0,7	12 Tage
Brustwirbelsäule	0,7	7,0	4 Monate
Lendenwirbelsäule	1,3	13,0	7 Monate
Hüfte	0,3	3,0	7 Wochen
Becken	0,7	7,0	4 Monate
Abdomen	1,0	10,0	6 Monate
Mammografie beidseits in 2 Ebenen	0,5	5,0	3 Monate
Ausscheidungsurografie	2,5	25	14 Monate
Bariumbolus	1,5	15	9 Monate
Bariumbrei	3	30	17 Monate
Bariumeinlauf	7	70	3,3 Jahre
CT des Kopfes	2,3	23	1,1 Jahr
CT des Thorax	8	80	3,8 Jahre
CT von Abdomen oder Becken	10	100	4,8 Jahre