

# Radiologische Diagnostik der Knochen und Gelenke

Herausgegeben von  
**Klaus Bohndorf**  
**Herwig Imhof**  
**Klaus Wörtler**

Projektkoordination von  
**Nicolas Jordan**

4., unveränderte Auflage

 Online-Version in der eRef



# Ihr Plus im Web – das Online-Angebot zu Bohndorf/Imhof/Wörtler

## Die Idee

Es gibt viele Trainingspläne, aber keinen wie „den Bohndorf“, um die systematische Bildanalyse zu üben. Dieser Personaltrainer der Skelett- und Gelenkradiologie macht Sie fit für den Facharzt und darüber hinaus.

## So geht's zum Online-Zusatzangebot

Rubbeln Sie Ihren persönlichen Zugangscode frei und geben Sie ihn im Internet ein auf: [www.thieme.de/bohndorf-radiologische-diagnostik](http://www.thieme.de/bohndorf-radiologische-diagnostik)

Hier können Sie sich mithilfe Ihres Zugangscodes registrieren und umfangreiches zusätzliches Bildmaterial, anatomische Texte, Literatur sowie Videovorträge zur muskuloskelettalen Diagnostik ansehen. Sie können das Zusatzangebot auch über die im Buch eingedruckten QR-Codes mit Ihren mobilen Endgeräten (Smartphones, Tablets) nutzen.

## Achtung!

Sobald der Zugangscode freigelegt ist, kann das Buch nicht mehr zurückgegeben werden.

## Wichtige Hinweise

- ▶ Zugang zu den Online-Materialien erhält der Käufer ausschließlich für den privaten Gebrauch. Eine gewerbliche bzw. institutionelle Nutzung ist nicht gestattet.
- ▶ Die Weitergabe von Passwörtern ist nicht erlaubt.

Der Verlag behält sich das Recht vor, bei Verstoß rechtliche Schritte einzuleiten.

## Wir freuen uns auf Ihr Feedback!

Die persönlichen Zugangscodes werden gesperrt, sobald sich der Kunde damit registriert hat. Die Nutzung ist somit nur für den Erstkäufer bzw. Erstnutzer (z. B. bei Bibliotheksexemplaren) möglich.





# Radiologische Diagnostik der Knochen und Gelenke

Herausgegeben von  
Klaus Bohndorf  
Herwig Imhof  
Klaus Wörtler

Projektkoordination von Nicolas Jorden

Mit Beiträgen von

Amadeus Altenburger  
Klaus Bohndorf  
Rainer Braunschweig  
Arthur Mark Davies  
Michael Dienst  
Hassan Douis  
Andreas Peter Erler  
Oliver Ertl  
Robert Fessl  
Lars Filzen  
Wolfgang Fischer  
Klaus M. Friedrich

Michael Gebhard  
Thomas Grieser  
Herwig Imhof  
Björn Jobke  
Nicolas Jorden  
Franz M. Kainberger  
Egbert Knöpfle  
Gerwin Lingg  
Edgar Johann Mayr  
Eugene McNally  
Wolfgang Michl  
Iris Melanie Nöbauer-  
Huhmann

Christian W. A. Pfirrmann  
Frank Roemer  
Herbert Rosenthal  
Fabian Sauerwald  
Armin Seifarth  
Reto Sutter  
Siegfried Trattning  
Eva-Maria Wagner  
Richard Whitehouse  
Walter A. Wohlgemuth  
Klaus Wörtler  
Joachim Zentner

4., unveränderte Auflage

2186 Abbildungen, davon 350 im Web

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.

1. Auflage 1998
2. Auflage 2006
3. Auflage 2014

1. englische Ausgabe 2001
1. italienische Ausgabe 2003
1. portugiesische Ausgabe 2006
2. englische Ausgabe 2016

Ihre Meinung ist uns wichtig! Bitte schreiben Sie uns unter

[www.thieme.de/service/feedback.html](http://www.thieme.de/service/feedback.html)



**Wichtiger Hinweis:** Wie jede Wissenschaft ist die Medizin ständigen Entwicklungen unterworfen. Forschung und klinische Erfahrung erweitern unsere Erkenntnisse, insbesondere was Behandlung und medikamentöse Therapie angeht. 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.

© 1998, 2017 Georg Thieme Verlag KG  
Rüdigerstraße 14  
70469 Stuttgart  
Deutschland  
Telefon: + 49/(0)711/8931-0  
Unsere Homepage: [www.thieme.de](http://www.thieme.de)

Printed in Germany

Zeichnungen: Christiane und Dr. Michael von Solodkoff,  
Neckargemünd  
Umschlaggestaltung: Thieme Verlagsgruppe  
Umschlaggrafik: Martina Berge, Bad König  
Redaktion: Dr. Doris Kliem, Urbach  
Satz: Ziegler und Müller, Kirchentellinsfurt  
gesetzt aus APP/3B2, V.9 Unicode  
Druck: Firmengruppe APPL, aprinta druck, Wemding

ISBN 978-3-13-241497-6

1 2 3 4 5 6

Auch erhältlich als E-Book:

eISBN (PDF) 978-3-13-241499-0

eISBN (epub) 978-3-13-241501-0

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

Vieles hat sich geändert, vieles ist neu. Der Kern aber ist geblieben: Ein kurzes, praktisch orientiertes Lehr- und Lernbuch mit der Konzentration auf das Wesentliche in der muskuloskelettalen Bildgebung. Es soll Übersicht geben, eine Hilfe beim Einstieg sein, zum Nachschlagen anregen und als ein treuer Begleiter bis zur Facharztprüfung dienen. Dies ist der Grund, warum dieses Buch weiterhin von den Erkrankungen ausgeht und die Befunde aller bildgebenden Verfahren beschreibt, die für die jeweilige Erkrankung relevant sind. Methodisch orientierte Spezialliteratur wird nicht ersetzt.

Alle Kapitel wurden neu geschrieben und bebildert. Die Kapitel über Traumatologie, Überlastungsschäden, postoperative Radiologie und die Gelenke einschließlich der Wirbelsäule haben an Umfang deutlich zugenommen. 36 Autoren, ein Großteil davon neu im Team, haben sich eingebracht. Getreu der Tradition dieses Buches: „Viele Autoren, eine Handschrift“. In mühevoller Arbeit wurden von den Herausgebern und dem Projektkoordinator Dr. Nicolas Jorden die Texte und Bilder der von den Autoren vorgelegten Kapitel überarbeitet, vereinheitlicht, ergänzt oder auch gekürzt. Ein Buch „aus einem Guß“, das ist der Anspruch.

Wir sehen im Buch weiterhin das ideale Mittel um zu lernen, um sich Übersicht, Grundlagen und Wissen auf dem Gebiet der muskuloskelettalen Radiologie zu erarbeiten. Die Hirnforschung gibt uns allerdings den Hinweis, dass Text und Bild sich gegenseitig kommentieren und unterstützen müssen, damit Verständnis und Gedächtnisinhalte entstehen.

Entlang dieses Prinzips ist das Buch konzipiert und komponiert. Gleichzeitig sind Zusatzangebote im Web in diese 4. Auflage integriert. Dies nicht als Verbeugung vor dem Zeitgeist, sondern als praktische Möglichkeit ein „Mehr“ an Inhalt zu bieten. Die Quadratur des Kreises, bezahlbare, kompakte Bücher zu schaffen und gleichzeitig mehr Bilder und mehr Informationen zur Verfügung zu stellen, lässt sich so elegant auflösen. Die Zusatzangebote im Web sind im Text klar und ausführlich definiert, sodass der Leser entscheiden kann, ob die Nutzung des Angebots für ihn sinnvoll ist.

Die Begleitung dieser 4. Auflage durch den Thieme Verlag war in jeder Weise vorbildlich. Dieser Verlag lebt die Sympathie für formal und ästhetisch anspruchsvolle Bücher, ohne sich den neuen Medien zu verschließen. Das ist ein Glücksfall für Herausgeber und Autoren wie uns, die viele unserer Ideen und Wünsche umgesetzt sehen möchten. Für Geduld, Einfühlungsvermögen und Hartnäckigkeit bei der Verwirklichung unseres gemeinsamen Vorhabens möchten wir uns ausdrücklich bei Herrn Dr. Siegfried Steindl, Herrn Dr. Christian Urbanowicz, Frau Susanne Huiss M.A. und Frau Martina Dörsam bedanken.

Augsburg/Wien/München

*Klaus Bohndorf  
Herwig Imhof  
Klaus Wörtler*

# Vorwort der 1. Auflage

Dieses Buch hat keinen geringeren Anspruch, als etwas Neues auf dem Gebiet der Skelett- und Gelenkdiagnostik zu bieten – und trotzdem die klassische Vermittlungsform des Wissens, das Buch, beizubehalten. PC, Scanner und Software erlaubten die weitgehend eigenständige Komposition aller Seiten durch die Autoren selbst. Angestrebt wurde jeweils auf zwei Seiten eine strenge Einteilung in „links“ (= Lesen) „rechts“ (= Sehen) mit engstmöglicher Verknüpfung von Text, Tabellen, Skizzen und mit großer Sorgfalt bearbeiteten Bildern. Wie die Radiologie selbst, so ist auch dieses Buch stark bildorientiert. Stichwortartiger Text im Bild (soweit didaktisch sinnvoll) soll die Erfassung der radiologischen Zeichen erleichtern.

Es handelt sich um kein klassisches „Vielautoren“-Buch. Jeder Einzelbeitrag wurde intensiv überarbeitet, ergänzt und dem Stil und Inhalt aller Beiträge angepaßt, um eine Monographie „aus einem Guß“ zu schaffen. Viele Kollegen (siehe Danksagung) aus den Fächern Orthopädie, Rheumatologie, Unfallchirurgie, Innere Medizin und Nuklearmedizin haben zudem die Kapitel gegengelesen und Korrekturen angebracht.

Dieses Buch versucht zu definieren, was ein Facharzt für Radiologie wissen oder zumindest aber gewußt haben sollte. Nachschlagen (Motto: „Gewußt wo“) ist legitim und gewollt. Die Systematik und strenge Gliederung des Buches erleichtert und animiert hoffentlich dazu.

Kürze ist, nach Shakespeare, die Seele des Witzes. Gilt dies nicht auch für ein Lehrbuch? Nur in der Auswahl, dem Weglassen, dem Setzen der Schwerpunkte beweist sich Erfahrung und Beherrschung des Metiers. Dieses Buch beschreibt nicht „alles“, sagt aber hoffentlich alles wesentliche. Aus guten Gründen sind deshalb die Traumatologie (Kapitel 1) und die Gelenkdiagnostik (Kapitel 9) die kräftigen Einfassungen dieser Monographie. Die klassische Röntgendiagnostik des Skeletts und der Gelenke nimmt den ihr weiterhin zustehenden ersten Platz bei der Beschreibung der Phänomene ein, die wir mit bildgebenden Methoden erkennen und in-

terpretieren können. Trotzdem ist dieser Band multimodal orientiert. MRT, CT, Szintigraphie, Sonographie werden gerade dort ausführlich angesprochen, wo sie die Röntgendiagnostik ergänzen, ersetzen oder neue Informationen liefern können, die röntgenologisch gar nicht faßbar sind. Die Methoden werden dort zusammengeführt, wo sie zusammengehören. Es wird damit der Tatsache Rechnung getragen, daß die Ausbildung in der Regel arbeitsplatzorientiert abläuft, fundiertes Wissen aber die Krankheit im Zentrum hat, welche mit unterschiedlichen Methoden diagnostiziert werden kann. Ein Ersatz methodisch orientierter Arbeitsplatzbücher (siehe Literaturempfehlung) wurde nicht angestrebt.

Wer könnte von diesem Buch profitieren? Primär alle, die das Teilgebiet der Skelett- und Gelenkdiagnostik im Rahmen ihrer Ausbildung zum Facharzt für Diagnostische Radiologie erlernen wollen. Die Struktur und Gliederung dieses Buches soll eine Nutzung als Repetitorium vor der Facharztprüfung erleichtern. Als Nachschlagewerk für alle praxisrelevanten Fragen wird dieses Buch hoffentlich auch Ärzte anderer Fachrichtungen nicht im Stich lassen.

Vor „Kiellegung“ wurde die Buchkonzeption intensiv mit den Mitarbeitern des Thieme-Verlags, Herrn Dr. Th. Scherb und Herrn R. Zepf diskutiert, die Beteiligung von Prof. Dr. F. Kainberger an dieser Diskussion sei ausdrücklich erwähnt.

Die Umsetzung der Autorentexte in die letztendliche Form ist das Werk von Herrn Dr. W. Fischer, dessen Engagement, Ideen und harte Arbeit die Realisierung dieses Projektes erst möglich gemacht haben. Herr Zepf und seine Mannschaft sind dafür verantwortlich, daß die Manuskriptdisketten die Hürde zur „Buchwerdung“ mit Bravour genommen haben.

Augsburg und Wien, im Herbst 1998

*K. Bohndorf*

*H. Imhof*

# Hinweise zur Benutzung dieses Buchs

## Aufbau der Kapitel

Die Herausgeber und Autoren haben jedes Kapitel – soweit sinnvoll – mit dem gleichen Aufbau versehen, um Ihnen die Orientierung in den einzelnen Kapiteln zu erleichtern und das Auffinden der gesuchten Informationen zu beschleunigen. Sie finden in den Kapiteln folgende Abschnitte:

► **ANATOMIE.** Hier sind die wichtigsten anatomischen Grundlagen der jeweiligen Region für Sie zusammengefasst. Der Handlichkeit des Buches wegen, finden Sie einige Anatomiekapitel auch im → Web.

► **PATHO.** Die Pathophysiologie des jeweiligen Krankheitsbilds wird kurz dargestellt.

► **KLINIK.** Wichtige und häufig diagnostisch zielführende Angaben zur klinischen Präsentation der Patienten.

► **RÖ/SONO/CT/MRT.** Befunde und Beiträge der einzelnen Modalitäten zu den einzelnen Krankheitsbildern. Modalitäten, die für das einzelne Kapitel nicht indiziert sind oder keine neuen Erkenntnisse bringen, werden hier weggelassen.

► **NUK.** Darstellung wichtiger Beiträge der Nuklearmedizin zur Diagnostik.

► **WICHTIG FÜR DEN BEFUND.** Diese Punkte will der Kliniker wissen, sie sind von therapeutischer Relevanz und müssen Eingang in den Befund finden.

► **BESONDERHEITEN IM WACHSTUMSALTER.** Wichtige Besonderheiten bei Erkrankungen oder Verletzungen im Wachstumsalter.

### Merke

Hier finden Sie wichtige „take home messages“, die Sie unbedingt wissen sollten.



### Cave

Warnt Sie vor klassischen „pitfalls“.



► **DD.** Die häufigsten und wichtigsten Differenzialdiagnosen werden hier nicht nur aufgelistet, sondern sind meist auch mit kurzen Unterscheidungskriterien versehen.

Literaturangaben

Sämtliche Verzeichnisse verwendeter und empfohlener Literatur finden Sie im → Web.

## Aufbau der Bilder

Eine Besonderheit dieses Buchs sind die „kurzen Wege“ vom Text zum Bild, d.h. Sie finden die Bilder zu den Referenzen im Text jeweils auf der gleichen Doppelseite, selten eine Seite weiter entfernt. Lästiges Blättern entfällt.

Die Beschriftungen wurden nach (aus den früheren Auflagen) bewährtem Prinzip größtenteils in die Bilder integriert.

In der linken oberen Ecke der Bilder finden Sie bei CT- und MRT-Bildern Angaben zur Schichtorientierung („ax“, „cor“, „sag“, etc.). Bei MRT-Bildern sind hier zusätzlich Angaben zur verwendeten Sequenz zu finden. Die Sequenzangaben wurden hierbei bewusst einfach gehalten, so werden z.B. alle Bilder mit Fettunterdrückung (egal ob spektrale Fettsättigung oder Fettunterdrückung mittels Inversion Recovery) durch die Angabe „fs“ kenntlich gemacht, alle Bilder mit i.v. Kontrastmittelgabe durch „KM“.

Wir wünschen Ihnen viel Vergnügen beim Lesen und Nachschlagen!

Augsburg/Wien/München

Nicolas Jorden,  
im Namen der Herausgeber

Zum Buch gibt es ein Online-Zusatzangebot, welches umfangreiches zusätzliches Bildmaterial, anatomische Texte, Literatur sowie  **Videovorträge** zur muskuloskelettalen Diagnostik enthält. Das Material können Sie mithilfe Ihres im Buch eingedruckten Zugangscodes und auch über die QR-Codes im Buch mit Ihren mobilen Endgeräten (Smartphones, Tablets) nutzen.



eref.thieme.de/9783132414976

# Danksagung

Dr. Armin Seifarth, Augsburg, für die Bearbeitung und Durchsicht aller Kapitel hinsichtlich der Sonografie. Wo nötig hat er die Kapitel ergänzt und mit Bildmaterial versehen.

Prof. Dr. Walter Braun, Augsburg, für die kompetente und zeitnahe Beratung zu Kap. 1 und 2 aus unfallchirurgischer Sicht.

Priv.-Doz. Dr. Thomas Naumann für Verbesserungen im Kap. 9.3.

RA Reinhard Holtstraeter für die juristische Begleitung des Kap. 13.

Dr. Martin Seidler, Augsburg, und Herrn Wolkenstein, Augsburg, für die Bereitstellung und Beratung über die notwendigen EDV-Voraussetzungen.

Viele Kollegen haben dankenswerterweise großzügig Bildmaterial zur Verfügung gestellt. Insbesondere der große Einsatz von Dr. Grieser (Augsburg), Dr. Rosenthal (Hannover) und Dr. Jobke (Berlin) sei hervorgehoben. Die Namen der Unterstützer sind jeweils unter den Bildern vermerkt. Bei den Bildern, die aus den Archiven der Radiologie Augsburg oder der Herausgeber stammen, wurde darauf verzichtet.

# Anschriften

## Herausgeber und Autoren

Prof. Dr. med. Klaus Bohndorf  
Exzellenzzentrum für Hochfeld – MR  
Universitätsklinik für Radiologie und Nuklearmedizin  
Medizinische Universität Wien  
Lazarettgasse 14  
1090 Wien  
Österreich

Univ.-Prof. i.R. Dr. med. Herwig Imhof  
Delugstraße 18  
1190 Wien  
Österreich

apl. Prof. Dr. med. Klaus Wörtler  
Klinikum rechts der Isar  
der Technischen Universität München  
Institut für Radiologie  
Ismaninger Straße 22  
81675 München

## Projektkoordinator und Autor

Dr. med. Nicolas Jorden  
Klinikum Dachau  
Radiologie und Nuklearmedizin  
Frühlingstraße 33 – 34  
85221 Dachau

## Autoren

Dr. med. Amadeus Altenburger  
Klinikum Augsburg  
Klinik für Diagnostische Radiologie  
und Neuroradiologie  
Stenglinstraße 2  
86156 Augsburg

Dr. med. Rainer Braunschweig  
Berufsgenossenschaftliche Kliniken Bergmannstrost  
Klinik für Bildgebende Diagnostik  
und Interventionsradiologie  
Merseburger Straße 165  
06112 Halle

Prof. Arthur Mark Davies, FRCR  
Royal Orthopaedic Hospital  
Department of Radiology  
Bristol Rd. South  
B31 2AP Birmingham  
Großbritannien

Priv.-Doz. Dr. med. Michael Dienst  
Orthopädische Chirurgie München  
Steinerstraße 6  
81369 München

Dr. Hassan Douis, MRCP, FRCR  
Royal Orthopaedic Hospital  
Department of Radiology  
Bristol Rd. South  
B31 2AP Birmingham  
Großbritannien

Andreas Peter Erler  
Berufsgenossenschaftliche Kliniken Bergmannstrost  
Klinik für Bildgebende Diagnostik  
und Interventionsradiologie  
Merseburger Straße 165  
06112 Halle

Dr. med. Oliver Ertl  
Schloßstraße 23  
86497 Horgau

Dr. med. Robert Fessler  
Klinikum Augsburg  
Klinik für Diagnostische Radiologie  
und Neuroradiologie  
Stenglinstraße 2  
86156 Augsburg

Dr. med. Lars Filzen  
Klinikum Garmisch-Partenkirchen  
Radiologie & Nuklearmedizin  
Auenstraße 6  
82467 Garmisch-Partenkirchen

Dr. med. Wolfgang Fischer  
MRT, Hessingpark-Clinic  
Hessingstraße 17  
86199 Augsburg

Ass.-Prof. Priv.-Doz. Dr. med. Klaus M. Friedrich  
Medizinische Universität Wien  
Universitätsklinik für Radiodiagnostik  
Abteilung für Neuroradiologie  
und Muskuloskeletale Radiologie  
Währinger Gürtel 18 – 20  
1090 Wien  
Österreich

Dr. med. Michael Gebhard  
Klinikum Augsburg  
Klinik für Diagnostische Radiologie  
und Neuroradiologie  
Stenglinstraße 2  
86156 Augsburg

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

Dr. med. Björn Jobke  
Helios Klinikum Berlin-Buch  
Institut für Röntgendiagnostik  
Sarkomzentrum Berlin-Brandenburg  
Schwanebecker Chaussee 50  
13125 Berlin

Ao. Univ.-Prof. Dr. Franz M. Kainberger  
Allgemeines Krankenhaus Wien  
Universitätsklinik für Radiodiagnostik  
Klinische Abteilung für Neuroradiologie  
und Muskuloskeletale Radiologie  
Währinger Gürtel 18 – 20  
1090 Wien  
Österreich

Dr. med. Egbert Knöpfle  
Klinikum Augsburg  
Klinik für Diagnostische Radiologie  
und Neuroradiologie  
Stenglinstraße 2  
86156 Augsburg

Dr. med. Gerwin M. Lingg  
ehem. Chefarzt am Acura-Sana-Rheumazentrum  
Mainz – Bad Kreuznach  
Nelli-Schmithals-Straße 52  
55543 Bad Kreuznach

Prof. Dr. med. Dr. h. c. Edgar Johann Mayr  
Klinikum Augsburg  
Klinik für Unfall-, Hand- und  
Wiederherstellungschirurgie  
Stenglinstraße 2  
86156 Augsburg

Dr. Eugene McNally, FRCR  
Consultant Musculoskeletal Radiologist  
Nuffield Orthopaedic Centre &  
University of Oxford  
Old Road  
OX3 7LD Headington, Oxford  
Großbritannien

Dr. med. Wolfgang Michl  
FA für Kinderheilkunde und  
Röntgendiagnostik-Kinderradiologie  
Zieglerstraße 10  
86199 Augsburg

Priv.-Doz. Dr. med. Iris Melanie Nöbauer-Huhmann  
Allgemeines Krankenhaus Wien  
Universitätsklinik für Radiodiagnostik  
Klinische Abteilung für Neuroradiologie  
und Muskuloskeletale Radiologie  
Währinger Gürtel 18 – 20  
1090 Wien  
Österreich

Prof. Dr. med. Christian W.A. Pfirrmann  
Uniklinik Balgrist  
Radiologie  
Forchstraße 340  
8008 Zürich  
Schweiz

Priv.-Doz. Dr. med. Frank Roemer  
Universitätsklinikum Erlangen  
Radiologisches Institut  
Maximiliansplatz 1  
91054 Erlangen

Dr. med. Herbert Rosenthal  
Medizinische Hochschule Hannover  
Zentrum Radiologie  
Institut für Diagnostische und  
Interventionelle Radiologie  
Carl-Neuberg-Straße 1  
30625 Hannover

Dr. med. Fabian Sauerwald  
 Klinikum Augsburg  
 Klinik für Unfall-, Hand- und  
 Wiederherstellungschirurgie  
 Stenglinstraße 2  
 86156 Augsburg

Dr. med. Armin Seifarth  
 Klinikum Augsburg  
 Klinik für Diagnostische Radiologie  
 und Neuroradiologie  
 Stenglinstraße 2  
 86156 Augsburg

Dr. med. Reto Sutter  
 Uniklinik Balgrist  
 Radiologie  
 Forchstraße 340  
 8008 Zürich  
 Schweiz

Univ.-Prof. Dr. med. Siegfried Trattig  
 Medizinische Universität Wien  
 Allgemeines Krankenhaus der Stadt Wien  
 Universitätsklinik für Radiodiagnostik  
 Exzellenzzentrum Hochfeld-Magnetresonanz  
 Lazarettgasse 14  
 1090 Wien  
 Österreich

Dr. med. Eva-Maria Wagner  
 Klinikum Augsburg  
 Klinik für Diagnostische Radiologie  
 und Neuroradiologie  
 Stenglinstraße 2  
 86156 Augsburg

Dr. Richard Whitehouse, FRCR  
 Manchester Royal Infirmary  
 Department of Clinical Radiology  
 Oxford Road  
 M13 9WL Manchester  
 Großbritannien

Prof. Dr. Dr. med. Walter A. Wohlgemuth  
 Universitätsklinikum Regensburg  
 Institut für Röntgendiagnostik  
 Franz-Josef-Strauß-Allee 11  
 93053 Regensburg

Dr. med. Joachim Zentner  
 ÜBAG Radiologie Augsburg-Friedberg  
 Hermann-Löns-Straße 4a  
 86316 Friedberg

# Abkürzungen

**A., Aa.** Arteria, Arteriae

**ABER-Position** Abduktion und Außenrotation

**ACTH** adrenokortikotropes Hormon

**ALPSA-Läsion** anterior labro-ligamentous periosteal sleeve avulsion

**ANA** antinukleäre Antikörper

**ANCA** antineutrophile zytoplasmatische Antikörper

**anti-CCP** anti-cyclic citrullinated peptides

**a.-p.** anterior-posterior

**ARCO** Association Recherche Circulation Osseuse

**BSG** Blutkörperchengeschwindigkeit

**BWK** Brustwirbelkörper

**BWS** Brustwirbelsäule

**CAD** computerassistierte Diagnostik

**CCD-Winkel** Winkel zwischen Schenkelhals und Femurschaft

**cCT** kraniale Computertomografie/kraniales Computertomogramm

**CIC** komplexe karpale Instabilität

**CID** dissoziative karpale Instabilität

**CID-Läsion** concealed intratendinous delamination

**CIND** nicht dissoziative karpale Instabilität

**CPPD** Kalziumpyrophosphatdihydrat-Arthropathie

**CREST-Syndrom** Syndrom aus Calcinosis cutis, Raynaud-Phänomen, ösophageale Dysfunktion, Sklerodaktylie, Teleangiektasien

**CRITOL-Regel** häufigste natürliche Abfolge des Auftretens der Knochenkerne im Wachstumsalter (Kapitulum → Radiusköpfchen → innerer [medialer] Epikondylus → Trochlea humeri → Olekranon → lateraler Epikondylus)

**CRMO** chronische reaktive Form der Osteomyelitis

**CRP** C-reaktives Protein

**CRPS** komplexes regionales Schmerzsyndrom; früher: Morbus Sudeck

**CT** Computertomografie/-tomogramm

**DCP** dynamische Kompressionsplatte

**DESS-Sequenz** double echo steady state

**DISH** diffuse idiopathische Skeletthyperostose

**DISI-Fehlstellung** dorsiflexed intercalated segment instability

**DOMS** delayed onset muscle soreness

**DSA** digitale Subtraktionsangiografie

**DWI** diffusion weighted imaging

**DXA** dual energy X-ray absorptiometry

**ELPS** laterales Hyperkompressionssyndrom

**FABS-Position** in Bauchlage, Arm über Kopf in Flexion, Abduktion und Supination

**FAI** femoroazetabuläres Impingement

**FDG** Fluordesoxyglukose

**FFE-Sequenz** Fast-Field-Echo-Sequenz

**FLAIR** fluid attenuated inversion recovery

**FLASH-Sequenz** fast low angle shot

**FOV** field of view

**FSE-Sequenz** Fast-Spin-Echo-Sequenz

**GLAD-Läsion** glenolabral articular disruption

**GRE-Sequenz** Gradienten-Echo-Sequenz

**HAGL-Läsion** humeral avulsion of glenohumeral ligaments

**HE** Hounsfield-Einheiten

**HMPAO** Hexamethylpropylamine oxime

**HWK** Halswirbelkörper

**HWS** Halswirbelsäule

**i.v.** intravenös

**KM** Kontrastmittel

**LC-DCP** dynamische Low-Contact-Kompressionsplatte

**LCP** locking compression plate

**Lig., Ligg.** Ligamentum, Ligamenta

**LISS** less invasive stabilization system

**LWK** Lendenwirbelkörper

**LWS** Lendenwirbelsäule

**M., Mm.** Musculus, Musculi

**MACT** matrixgestützte autologe Chondrozyten-transplantation

**MCP-Gelenk** Metakarpophalangealgelenk

**MEDIC-Sequenz** multi-echo data image combination

**MEN** multiple endokrine Neoplasie

**MGUS** monoklonale Gammopathie unklarer Signifikanz

**MIP** maximale Intensitätsprojektion

**MOCART-Klassifikation** magnetic resonance observation of cartilage repair

**MPR** multiplanare Reformatierung

**MRT** Magnetresonanztomografie/-tomogramm

**N., Nn.** Nervus, Nervi

**NOS** not otherwise specified

**OATS** osteochondrale Transplantate

**p.-a.** posterior-anterior

**PAINT-Läsion** partial articular-sided tear with intratendinous extension

**PASTA-Läsion** partial articular-sided supraspinatus tendon avulsion

**PDw** protonendichtegewichtet

**PEST** Papillenödem, extravaskuläre Volumenvermehrung, sklerotische Knochenläsionen, Thrombo-/Erythrozytose

**PET** Positronenemissionstomografie/-tomogramm

**PISI-Fehlstellung** palmar intercaletic segment instability

**POEMS-Syndrom** Syndrom aus Polyneuropathie, Organomegalie, Endokrinopathie, M-Proteine, Hautaffektionen

**POLPSA-Läsion** posterior labrocapsular periosteal sleeve avulsion

**PTT** partielle Thromboplastinzeit

**PVNS** pigmentierte villonoduläre Synovitis

**QCT** quantitative Computertomografie

**QUS** quantitativer Ultraschall

**R., Rr.** Ramus, Rami

**RANK** receptor activator of nuclear factor  $\kappa$ B

**SAPHO-Syndrom** Syndrom aus Akne, Pustulose, Hyperostose und Osteitis

**SCIWORA-Syndrom** spinal cord injury without radiographic abnormalities

**SD** Standardabweichung

**SE-Sequenz** Spin-Echo-Sequenz

**SLAC-Wrist** scaphate advanced collapse

**SLAP-Läsion** superior labral anterior-to-posterior lesion

**SNAC-Wrist** scaphoid nonunion advanced collapse

**SONK** spontane Osteonekrose des Kniegelenks

**SPGR-Sequenz** spoiled gradient recalled acquisition

**STAS-Läsion** supraspinatus tendon articular-sided but not at footprint

**STIR-Sequenz** short-Tau inversion recovery

**STT** Skaphoid, Trapezium und Trapezoideum

**SWK** Sakralwirbelkörper

**T** Tesla

**T1w** T1-gewichtet

**T2w** T2-gewichtet

**T2\*w** T2\*-gewichtet

**Tc** Technetium

**TEP** Totalendoprothese

**TILT** triquetral impingement ligament tear

**TSE-Sequenz** Turbo-Spin-Echo-Sequenz

**WE-Sequenz** Water-Excitation-Sequenz

**ZNS** Zentralnervensystem

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Akutes Trauma und chronische Überbelastung: „Essentials“</b>	22
<b>1.1</b>	<b>Normale Skelettentwicklung, Variationen und Übergänge zur Pathologie</b> [Michl]	22
1.1.1	Normale Skelettentwicklung	22
1.1.2	Variationen und Störungen der Skelettentwicklung	22
1.1.3	Übergänge zur Pathologie	24
<b>1.2</b>	<b>Frakturen: Definition, Einteilung, Typen und Klassifikationen</b> [Bohndorf, Filzen]	24
1.2.1	Definition und Einteilung	24
1.2.2	Frakturtypen	26
1.2.3	Klassifikationen	26
<b>1.3</b>	<b>Frakturen im Kindesalter</b> [Michl]	28
1.3.1	Besonderheiten bei Frakturen im Wachstumsalter	28
1.3.2	Battered-Child-Syndrom	30
<b>1.4</b>	<b>Frakturen der Gelenkflächen: subchondrale, chondrale und osteochondrale Frakturen</b> [Bohndorf, Trattinig]	32
1.4.1	Subchondrale Fraktur	34
1.4.2	Chondrale Fraktur	34
1.4.3	Osteochondrale Fraktur	34
<b>1.5</b>	<b>Stress- und Insuffizienzfrakturen</b> [Bohndorf]	36
1.5.1	Einteilung	36
1.5.2	Insuffizienzfrakturen und destruierende Arthropathie	40
1.5.3	Pathologische Frakturen	40
1.5.4	Transiente Osteoporose und transientes Knochenmarködem	42
<b>1.6</b>	<b>Frakturheilung</b>	44
1.6.1	Primäre Knochenbruchheilung (direkte kortikale Rekonstruktion) [Bohndorf]	44
1.6.2	Sekundäre Knochenbruchheilung (kallöse Frakturheilung) [Bohndorf]	44
1.6.3	Radiologische Beurteilung nach Osteosynthese am peripheren Skelett [Knöpfle]	46
1.6.4	Radiologische Beurteilung nach Endoprothesenimplantation am peripheren Skelett [Knöpfle]	52
<b>1.7</b>	<b>Komplikationen nach Frakturen</b>	56
1.7.1	Verzögerte Frakturheilung, Pseudarthrose und posttraumatische Zystenbildung [Bohndorf]	56
1.7.2	Posttraumatische Wachstumsstörung bei Kindern und Jugendlichen [Michl]	60
1.7.3	Inaktivitätsosteoporose [Bohndorf]	60
1.7.4	Komplexes regionales Schmerzsyndrom [Bohndorf]	60
1.7.5	Posttraumatische Arthrose [Bohndorf]	62
<b>1.8</b>	<b>Traumatische und überlastungsbedingte Schäden an Muskeln, Sehnen und Sehnenansätzen</b> [Bohndorf, Seifarth]	64
1.8.1	Muskeln	64
1.8.2	Sehnen	64
1.8.3	Sehnenansätze (Enthesiopathie)	68
<b>1.9</b>	<b>Praktische Hinweise zur traumatischen Röntgendiagnostik</b> [Bohndorf]	72
1.9.1	Befundbericht	72
1.9.2	Verlaufskontrolle	73
1.9.3	Was man <i>nicht</i> tun sollte	73
<b>2</b>	<b>Akutes Trauma und chronische Überlastung (nach Regionen)</b>	74
<b>2.1</b>	<b>Schädelkalotte, Gesichtsschädel und Schädelbasis</b> [Imhof, Jorden]	74
2.1.1	Schädelkalottenfrakturen	74
2.1.2	Schädelbasisfrakturen	74
2.1.3	Felsenbeinfrakturen	75
2.1.4	Gesichtsschädelfrakturen	76
<b>2.2</b>	<b>Wirbelsäule</b>	79
2.2.1	Anatomie, Varianten, Technik und Indikationen [Grieser]	79
2.2.2	Verletzungsmechanismen und Klassifikationen [Grieser]	80
2.2.3	Spezielle Traumatologie der Halswirbelsäule und des kraniozervikalen Übergangs [Grieser]	90
2.2.4	Verletzungsmuster der „steifen“ Wirbelsäule [Grieser]	94
2.2.5	Stabile oder instabile Fraktur? [Grieser]	96
2.2.6	FrISCHE oder alte Fraktur? [Grieser]	97
2.2.7	Differenzialdiagnose „Trauma versus osteoporotische und versus pathologische Fraktur“ [Grieser]	98
2.2.8	Stressphänomene an der Wirbelsäule: Stressreaktion und -fraktur (Spondylolyse) der Wirbelbögen [Grieser]	98

2.2.9	Beitrag der MRT bei akutem Trauma [Grieser]	98	2.8.6	Ulna-Impingement-Syndrom	165
2.2.10	Radiologische Beurteilung nach operativer Therapie an der Wirbelsäule [Fessler]	102	2.8.7	Radiologische Beurteilung nach operativer Therapie am Unterarm [Knöpfle]	166
<b>2.3</b>	<b>Becken</b>	<b>106</b>	<b>2.9</b>	<b>Handgelenk [Zentner]</b>	<b>167</b>
2.3.1	Frakturen des Beckenrings [Mayr]	106	2.9.1	Anatomie, Varianten, Technik und Indikationen	167
2.3.2	Azetabulumfrakturen [Mayr]	108	2.9.2	Frakturen und Luxationen und ihre Komplikationen	168
2.3.3	Ermüdungsfrakturen des Beckens [Mayr]	111	2.9.3	Karpale Instabilitäten und Fehlstellungen	172
2.3.4	Hüftluxation/Hüftluxationsfrakturen [Mayr]	112	2.9.4	Triangulärer fibrokartilaginärer Komplex	176
2.3.5	Pubalgie (Osteitis pubis) [Bohndorf]	112	2.9.5	Ulnokarpales Impaktionssyndrom	178
<b>2.4</b>	<b>Schultergelenk [Wörtler]</b>	<b>114</b>	2.9.6	Sehnen am Handgelenk	178
2.4.1	Anatomie, Varianten und Technik	114	<b>2.10</b>	<b>Mittelhand und Finger [Zentner]</b>	<b>180</b>
2.4.2	Impingement	116	2.10.1	Anatomie, Technik und Indikationen	180
2.4.3	Rotatorenmanschettenpathologie und Bizepstendinopathie	118	2.10.2	Frakturen	180
2.4.4	Pathologie des Rotatorenintervalls	122	2.10.3	Sehnen- und Bandläsionen	180
2.4.5	Schulterinstabilität	124	<b>2.11</b>	<b>Hüftgelenk</b>	<b>184</b>
2.4.6	Andere Labrumpathologien	130	2.11.1	Anatomie, Varianten und Indikationen [Pfirrmann, Sutter]	184
2.4.7	Postoperative Komplikationen	132	2.11.2	Frakturen [Pfirrmann, Sutter]	186
<b>2.5</b>	<b>Schultergürtel und Thoraxwand [Jorden]</b>	<b>136</b>	2.11.3	Femoroazetabuläres Impingement [Pfirrmann, Sutter]	186
2.5.1	Sternoklavikuläre Luxation	136	2.11.4	Labrumschäden [Dienst]	188
2.5.2	Klavikulafraktur	136	2.11.5	Knorpelschäden und Synovitis [Pfirrmann, Sutter]	188
2.5.3	Akromioklavikuläre Luxation	136	2.11.6	Muskel- und Sehnenverletzungen [Pfirrmann, Sutter]	190
2.5.4	Skapulafraktur	138	2.11.7	Epiphysiolyse capitis femoris [Pfirrmann, Sutter]	192
2.5.5	Sternum- und Rippenfrakturen	138	2.11.8	Radiologische Beurteilung nach Frakturversorgung und Prothesenimplantation an der Hüfte [Michl]	193
2.5.6	Stressphänomene am Akromioklavikulargelenk	138	<b>2.12</b>	<b>Femur und Weichteile am Oberschenkel</b>	<b>194</b>
2.5.7	Posttraumatische Zustände nach Verletzungen des Schultergürtels	138	2.12.1	Anatomie und Technik [Ertl]	194
<b>2.6</b>	<b>Oberarm</b>	<b>140</b>	2.12.2	Frakturen [Ertl]	194
2.6.1	Proximale Humerusfrakturen [Jorden]	140	2.12.3	Muskelverletzungen am Oberschenkel [Ertl]	197
2.6.2	Humerusschaftfrakturen [Jorden]	140	2.12.4	Radiologische Beurteilung nach operativer Therapie am Oberschenkel [Knöpfle]	198
2.6.3	Distale Humerusfrakturen [Jorden]	142	<b>2.13</b>	<b>Kniegelenk</b>	<b>200</b>
2.6.4	Radiologische Beurteilung nach operativer Therapie am Oberarm [Knöpfle]	144	2.13.1	Indikationen und Technik [Trattig, Friedrich, Bohndorf]	200
<b>2.7</b>	<b>Ellenbogengelenk [McNally, Ertl, Bohndorf]</b>	<b>146</b>	2.13.2	Kreuzbänder [Trattig, Friedrich, Bohndorf]	200
2.7.1	Mediales Kompartiment	146	2.13.3	Medialer Halteapparat [Trattig, Friedrich, Bohndorf]	204
2.7.2	Laterales Kompartiment	146	2.13.4	Lateraler Halteapparat [Trattig, Friedrich, Bohndorf]	206
2.7.3	Anteriores Kompartiment	150	2.13.5	Patella, Musculus quadriceps und ventrale Ligamente [Trattig, Friedrich, Bohndorf]	206
2.7.4	Posteriore Kompartiment	150	2.13.6	Menisken [Trattig, Friedrich, Bohndorf]	208
2.7.5	Osteochondrale Läsionen: traumatische Läsionen, Morbus Panner und Osteochondrosis dissecans	152	2.13.7	Knorpel [Trattig, Friedrich, Bohndorf]	214
2.7.6	Neuropathien	154	2.13.8	Bursen und Plicae [Trattig, Friedrich, Bohndorf]	214
<b>2.8</b>	<b>Unterarm [Altenburger]</b>	<b>156</b>			
2.8.1	Proximale Unterarmfrakturen	156			
2.8.2	Radiusköpfchen- und Radiushalsfrakturen	156			
2.8.3	Unterarmschaftfrakturen	158			
2.8.4	Distale Unterarmfrakturen	160			
2.8.5	Instabilität im distalen Radioulnargelenk	164			

2.13.9	Befunde nach Knorpelersatztherapie [Trattng, Friedrich, Bohndorf] .....	214	2.15.4	Talus- und Kalkaneusfrakturen [Wagner, Sauerwald] .....	228
2.13.10	Radiologische Beurteilung nach Kniegelenkersatz [Knöpfle] .....	216	2.15.5	Frakturen und Luxationen der Fußwurzel [Sauerwald] .....	232
<b>2.14</b>	<b>Unterschenkel</b> .....	<b>217</b>	2.15.6	Frakturen und Luxationen des Vorfußes [Sauerwald] .....	<b>234</b>
2.14.1	Frakturen [Wagner] .....	217	2.15.7	Radiologische Beurteilung nach operativer Therapie an Sprunggelenk und Fuß [Jorden] .....	236
2.14.2	Radiologische Beurteilung nach operativer Therapie am Unterschenkel [Knöpfle] .....	220	2.15.8	Erworbene Fehlstellungen [Jorden] .....	236
2.14.3	Weichteilverletzungen und Stressreaktionen am Unterschenkel [Bohndorf] .....	222	2.15.9	Ligamente [Fischer] .....	238
<b>2.15</b>	<b>Sprunggelenk und Fuß</b> .....	<b>224</b>	2.15.10	Sehnen [Fischer, Seifarth] .....	242
2.15.1	Anatomie, Varianten und Technik [Wagner, Fischer, Sauerwald, Jorden] .....	224	2.15.11	Impingement-Syndrome [Fischer] .....	244
2.15.2	Frakturen des oberen Sprunggelenks [Wagner] .....	226	2.15.12	Tarsaltunnelsyndrom [Fischer] .....	246
2.15.3	Osteochondrale Läsionen am Talus [Bohndorf] .....	226	2.15.13	Sinus tarsi [Fischer] .....	246
			2.15.14	Plantarfaszie [Fischer] .....	246
			2.15.15	Plantare Platte und Turf Toe [Fischer] .....	246
			2.15.16	Morton-Neurom [Fischer] .....	246
<b>3</b>	<b>Infektionen des Knochens, der Gelenke und der Weichteile</b> .....	<b>248</b>			
<b>3.1</b>	<b>Osteomyelitis bzw. Osteitis</b> .....	<b>248</b>	<b>3.2</b>	<b>Weichteilinfektionen</b> [Grieser] .....	<b>266</b>
3.1.1	Begriffe, Einteilung und Infektionswege [Bohndorf, Erler, Braunschweig] .....	248	3.2.1	Nekrotisierende Fasziitis .....	268
3.1.2	Hämatogene Osteomyelitis [Bohndorf, Erler, Braunschweig] .....	249	<b>3.3</b>	<b>Septische Arthritis</b> [Bohndorf] .....	<b>270</b>
3.1.3	Chronische exogene Osteomyelitis [Bohndorf, Erler, Braunschweig] .....	254	3.3.1	Unspezifische Erreger .....	270
3.1.4	Osteomyelitiden (spezielle Erreger) [Bohndorf] .....	258	3.3.2	Gelenktuberkulose .....	272
3.1.5	Infektionen an der Wirbelsäule [Bohndorf] .....	262	<b>3.4</b>	<b>Muskuloskelettale Entzündungen bei HIV-Infektionen</b> [Bohndorf] .....	<b>272</b>
<b>4</b>	<b>Tumoren und tumorähnliche Läsionen des Knochens, der Gelenke und der Weichteile</b> .....	<b>276</b>			
<b>4.1</b>	<b>Allgemeine Aspekte der skelettalen Tumordiagnostik</b> [Jobke, Bohndorf] .....	<b>276</b>	4.2.4	Ewing-Sarkom bzw. primitiver neuroektodermaler Tumor .....	304
4.1.1	Aufgabe des Radiologen bei tumorverdächtigen Skelettläsionen .....	276	4.2.5	Riesenzelltumor .....	306
4.1.2	Generelle Herangehensweise an potenziell tumorverdächtige Knochenläsionen .....	277	4.2.6	Vaskuläre Tumoren .....	308
4.1.3	Beschreibung einer fokalen Knochenläsion .....	278	4.2.7	Lipogene Tumoren .....	308
4.1.4	Beurteilung der Aggressivität einer Knochenläsion: Wachstumsrate .....	282	4.2.8	Verschiedene Tumoren .....	308
4.1.5	Staging von Knochentumoren .....	284	<b>4.3</b>	<b>Tumorähnliche Läsionen</b> .....	<b>311</b>
4.1.6	Bildgebende Methoden bei Diagnose, Bestimmung der biologischen Aktivität und Staging von Knochentumoren .....	284	4.3.1	Osteom, Kompaktinsel und Osteopoikilose [Bohndorf, Rosenthal] .....	311
<b>4.2</b>	<b>Primäre Knochentumoren</b> [Jobke, Bohndorf] .....	<b>286</b>	4.3.2	Fibröser Kortikalisdefekt und nicht ossifizierendes Knochenfibrom [Bohndorf, Rosenthal] .....	312
4.2.1	Osteogene Tumoren .....	286	4.3.3	Einfache (juvenile) Knochenzyste [Bohndorf, Rosenthal] .....	314
4.2.2	Chondrogene Tumoren .....	294	4.3.4	Aneurysmatische Knochenzyste [Bohndorf, Rosenthal] .....	314
4.2.3	Bindegewebige und fibrohistiozytäre Tumoren .....	302	4.3.5	Langerhans-Zell-Histiozytose [Bohndorf, Rosenthal] .....	316
			4.3.6	Fibröse Dysplasie [Bohndorf, Rosenthal] .....	318

4.3.7	Vaskuläre Malformation im Knochen (sog. Hämangiom) [Wohlgemuth, Bohndorf] ....	320	4.5.3	Verlaufskontrolle und Rezidivdiagnostik von Weichteiltumoren [Jobke, Bohndorf] ...	336
4.3.8	Seltenerer tumorähnliche Läsionen [Bohndorf, Rosenthal] .....	324	4.5.4	Vaskuläre Malformationen [Wohlgemuth] ..	338
<b>4.4</b>	<b>Metastasen</b> [Bohndorf] .....	326	<b>4.6</b>	<b>Intraartikuläre Tumoren und tumorähnliche Läsionen</b> .....	340
4.4.1	Verlaufsbeurteilung .....	328	4.6.1	Freie Gelenkkörper [Bohndorf] .....	340
<b>4.5</b>	<b>Weichteiltumoren</b> .....	330	4.6.2	Synoviale Chondromatose [Bohndorf] .....	342
4.5.1	Einleitung [Jobke, Bohndorf] .....	330	4.6.3	Ganglion und synoviale Zyste [Gebhard] ....	342
4.5.2	Wichtige Weichteiltumoren, die teilweise auch mittels Bildgebung charakterisiert werden können [Jobke, Bohndorf] .....	332	4.6.4	Lipoma arborescens [Bohndorf] .....	346
			4.6.5	Pigmentierte villonoduläre Synovialitis bzw. Riesenzelltumor der Sehnenscheide [Bohndorf] .....	346
<b>5</b>	<b>Knochenmark</b> .....	348			
<b>5.1</b>	<b>Normales Knochenmark</b> [Nöbauer-Huhmann] .....	348	<b>5.4</b>	<b>Chronisch-myeloproliferative Erkrankungen</b> [Nöbauer-Huhmann] ....	352
5.1.1	Verteilung und altersabhängige physiologische Konversion von rotem zu gelbem Mark .....	348	5.4.1	Myelodysplastisches Syndrom (sog. Präleukämie) .....	352
5.1.2	Rekonversion von gelbem zu rotem Mark/ Knochenmarkhyperplasie .....	348	5.4.2	Polycythaemia vera .....	352
<b>5.2</b>	<b>Anämien und Hämoglobinopathien</b> [Nöbauer-Huhmann] .....	350	5.4.3	(Osteo-)Myelofibrose .....	352
5.2.1	Anämien .....	350	5.4.4	Essenzielle Thrombozythämie .....	352
5.2.2	Hämoglobinopathien (Thalassämie, Sichelzellenanämie) .....	350	5.4.5	Systemische Mastozytose .....	352
<b>5.3</b>	<b>Metabolische Knochenmarkveränderungen</b> [Nöbauer-Huhmann] ....	350	<b>5.5</b>	<b>Maligne Erkrankungen des Knochenmarks</b> [Nöbauer-Huhmann] ....	354
5.3.1	Hämosiderose und Hämochromatose .....	350	5.5.1	Plasmozytom .....	354
5.3.2	Lipidosen und lysosomale Speicherkrankheiten .....	350	5.5.2	Lymphom .....	356
5.3.3	Seröse Atrophie .....	352	5.5.3	Leukämie .....	358
5.3.4	Verfettung bei Osteoporose .....	352	<b>5.6</b>	<b>Therapiebedingte Knochenmarkveränderungen</b> [Nöbauer-Huhmann] ....	358
<b>6</b>	<b>Nekrosen am Skelett</b> .....	360			
<b>6.1</b>	<b>Anatomie, Ätiologie und Pathogenese</b> [Bohndorf, Whitehouse] .....	360	6.3.3	Osteonekrose des Skaphoids .....	370
<b>6.2</b>	<b>Knocheninfarkt</b> [Whitehouse, Bohndorf] .....	361	6.3.4	Osteonekrose der Wirbelkörper .....	370
<b>6.3</b>	<b>Osteonekrose</b> [Whitehouse, Bohndorf] ..	364	<b>6.4</b>	<b>Bestrahlungsfolgen</b> [Jobke] .....	372
6.3.1	Hüftkopfnekrose .....	364	<b>6.5</b>	<b>Pseudoosteonekrosen</b> [Bohndorf, Whitehouse] .....	374
6.3.2	Osteonekrose des Lunatums .....	370			

<b>7</b>	<b>Osteochondrosen</b> .....		376
<b>7.1</b>	<b>Anatomie, Ätiologie und Pathogenese</b>	<b>7.3</b>	<b>Nicht artikuläre (apophysäre)</b>
	[Bohndorf] .....		<b>Osteochondrosen</b> [Bohndorf] .....
	376		386
7.1.1	Was haben Osteochondrosen gemeinsam? .	7.3.1	Was haben apophysäre Osteochondrosen
7.1.2	Bei welchen Erkrankungen passt		gemeinsam? .....
	der Begriff „Osteochondrose“ nicht? .....	7.3.2	Morbus Osgood-Schlatter .....
	377	7.3.3	Morbus Sinding-Larsen-Johansson .....
7.1.3	„Osteochondrose“ an der Wirbelsäule .....		388
	377	7.3.4	Morbus Sever .....
			388
<b>7.2</b>	<b>Artikuläre Osteochondrosen</b> .....	7.3.5	Sogenannter Little Leaguer's Elbow .....
	377		388
7.2.1	Morbus Perthes [Michl, Bohndorf] .....	<b>7.4</b>	<b>Physeale Osteochondrosen</b> [Michl] .....
7.2.2	Morbus Freiberg (Osteochondrose der		388
	Metatarsaleköpfchen) [Bohndorf] .....	7.4.1	Morbus Scheuermann .....
	382		388
7.2.3	Morbus Köhler I [Bohndorf] .....	7.4.2	Morbus Blount .....
7.2.4	Morbus Panner und Morbus Heggemann		390
	[Bohndorf] .....		
	382		
7.2.5	Osteochondrosis dissecans [Bohndorf] .....		
	384		
<b>8</b>	<b>Metabolische, hormonelle und toxisch bedingte Osteopathien</b> .....		392
<b>8.1</b>	<b>Osteoporose</b> [Grieser] .....	<b>8.5</b>	<b>Medikamenteninduzierte</b>
	392		<b>Veränderungen am Knochen</b> [Jobke] ....
8.1.1	Einteilung und Klinik der Osteoporose .....		400
	392	8.5.1	Kortikosteroide .....
8.1.2	Knochendichtemessung .....		400
	393	8.5.2	Andere Medikamente .....
8.1.3	Radiologische Befunde bei Osteoporose ....		402
	394	<b>8.6</b>	<b>Amyloidose</b> [Jobke] .....
<b>8.2</b>	<b>Rachitis und Osteomalazie</b> [Jobke] .....		402
	396	<b>8.7</b>	<b>Sonstige osteopathische Erkrankungen</b>
<b>8.3</b>	<b>Hyper- und Hypoparathyreoidismus</b>		[Bohndorf] .....
	[Jobke] .....		402
	398	8.7.1	Arthropathie bei Hämophilie .....
8.3.1	Hyperparathyreoidismus .....		402
	398	8.7.2	Akromegalie .....
8.3.2	Hypoparathyreoidismus .....		404
	400		
<b>8.4</b>	<b>Renale Osteopathie</b> [Jobke] .....		
	400		
<b>9</b>	<b>Konstitutionelle Skelett- und Gelenkentwicklungsstörungen</b> .....		406
<b>9.1</b>	<b>Bestimmung der Skelettreifung</b>	<b>9.6</b>	<b>Konstitutionelle Skelettentwicklungs-</b>
	<b>bei Störungen des Wachstums</b> [Michl] .		<b>störungen</b> [Michl] .....
	406		411
<b>9.2</b>	<b>Kongenitale Hüftdysplasie</b> [Michl] .....	9.6.1	Diagnostischer Weg zur Zuordnung
	406		einer Skelettdysplasie .....
<b>9.3</b>	<b>Angeborene Fußdeformitäten</b> [Michl] ..		412
	408	9.6.2	Häufigste neonatal manifeste
<b>9.4</b>	<b>Patellofemorale Dysplasie</b> [Zentner] ....		Skelettdysplasien .....
	410		416
<b>9.5</b>	<b>Skoliosen und Kyphosen</b> [Michl] .....		
	410		
9.5.1	Kyphose .....		
	410		
9.5.2	Skoliose .....		
	411		

<b>10</b>	<b>Rheumatologische Erkrankungen</b> .....	418		
<b>10.1</b>	<b>Einführung</b> .....	418	<b>10.5</b>	<b>Rheumatoide Arthritis und juvenile idiopathische Arthritis [Kainberger]</b> .....
10.1.1	Pathogenetische Gemeinsamkeiten [Roemer] .....	418	10.5.1	Rheumatoide Arthritis .....
10.1.2	Radiologische Zeichen an peripheren Gelenken und ihre Differenzialdiagnose [Bohndorf, Lingg, Jorden] .....	418	10.5.2	Juvenile idiopathische Arthritis .....
10.1.3	Radiologische Zeichen an Wirbelsäule und Iliosakralgelenken und ihre Differenzialdiagnose [Bohndorf, Lingg, Jorden] .....	422	<b>10.6</b>	<b>Spondylarthritis [Kainberger]</b> .....
<b>10.2</b>	<b>Arthrose der peripheren Gelenke</b> [Roemer] .....	428	10.6.1	Spondylitis ankylosans .....
10.2.1	Grundlagen der Bildgebung .....	428	10.6.2	Infektreaktive Arthritis .....
10.2.2	Einzelne Gelenke .....	432	10.6.3	Psoriasisarthritis .....
10.2.3	Therapie der Arthrose .....	436	10.6.4	Enteropathische Arthritis .....
<b>10.3</b>	<b>Degeneration an der Wirbelsäule [Fessler]</b> .....	437	10.6.5	Undifferenzierte Spondylarthritis .....
10.3.1	Anatomie, Varianten und Hinweise zur Bildgebung und Technik .....	437	<b>10.7</b>	<b>Chronisch rekurrende multifokale Osteomyelitis und SAPHO [Bohndorf]</b> ...
10.3.2	Klinik der degenerativ veränderten Wirbelsäule .....	439	10.7.1	Chronisch rekurrende multifokale Osteomyelitis .....
10.3.3	Diskusveränderungen (Chondrose) .....	441	10.7.2	SAPHO .....
10.3.4	Diskusnahe Knochenveränderungen .....	446	<b>10.8</b>	<b>Gelenkveränderungen bei entzündlichen systemischen Bindegewebeerkrankungen (Kollagenosen) [Lingg]</b> .....
10.3.5	Facettengelenk- und Unkovertebralarthrose sowie degenerativ bedingte Vertebrolyse .....	448	10.8.1	Systemischer Lupus erythematodes .....
10.3.6	Ligamentäre Veränderungen und Weichteilveränderungen .....	452	10.8.2	Progressive systemische Sklerose .....
10.3.7	Spinalkanalstenose .....	452	10.8.3	Polymyositis und Dermatomyositis .....
10.3.8	Instabilität, segmentale Hypermobilität und Funktionsaufnahmen .....	454	10.8.4	Mischkollagenosen .....
<b>10.4</b>	<b>Diffuse idiopathische Skeletthyperostose [Roemer]</b> .....	456	10.8.5	Vaskulitiden .....
			<b>10.9</b>	<b>Kristallinduzierte Arthropathien, Osteopathien und Periarthropathien [Lingg, Bohndorf]</b> .....
			10.9.1	Gicht .....
			10.9.2	Kalziumpyrophosphat-Ablagerungserkrankung .....
			10.9.3	Hydroxylapatitkrankheit .....
<b>11</b>	<b>Verschiedene Knochen-, Gelenk- und Weichteilerkrankungen</b> .....	486	<b>11.6</b>	<b>Kompartiment-Syndrom [Grieser]</b> .....
<b>11.1</b>	<b>Morbus Paget [Douis, Davies]</b> .....	486	<b>11.7</b>	<b>Rhabdomyolyse [Grieser]</b> .....
<b>11.2</b>	<b>Sarkoidose [Douis, Davies]</b> .....	488	<b>11.8</b>	<b>Periphere Engpass- und Nervenkompressionssyndrome [Grieser]</b> .....
<b>11.3</b>	<b>Hypertrophe Osteoarthropathie [Douis, Davies]</b> .....	490	<b>11.9</b>	<b>Neurogene Osteoarthropathie und diabetischer Fuß [Bohndorf]</b> .....
<b>11.4</b>	<b>Melorreostose [Douis, Davies]</b> .....	490	11.9.1	Neurogene Osteoarthropathie .....
<b>11.5</b>	<b>Verkalkungen und Verknöcherungen der Weichteile [Bohndorf, Grieser]</b> .....	492	11.9.2	Diabetischer Fuß .....
11.5.1	Weichteilverkalkungen .....	492	<b>11.10</b>	<b>Adhäsive Kapsulitis [Bohndorf]</b> .....
11.5.2	Weichteilverknöcherungen .....	494		

<b>12</b>	<b>Interventionen an Knochen, Weichteilen und Gelenken</b> .....	506
<b>12.1</b>	<b>Arthrografie</b> [Jordan] .....	506
12.1.1	Indikationen .....	506
12.1.2	Kontraindikationen .....	506
12.1.3	Technik .....	506
12.1.4	Komplikationen .....	506
<b>12.2</b>	<b>Biopsie</b> [Bohndorf, Seifarth] .....	506
12.2.1	Indikationen .....	506
12.2.2	Kontraindikationen .....	507
12.2.3	Technik .....	507
12.2.4	Komplikationen .....	508
12.2.5	Ergebnisse .....	508
<b>12.3</b>	<b>Drainagen</b> [Bohndorf, Seifarth] .....	508
12.3.1	Indikationen .....	508
12.3.2	Kontraindikationen .....	508
12.3.3	Technik .....	508
12.3.4	Komplikationen .....	510
12.3.5	Ergebnisse .....	510
<b>12.4</b>	<b>Periradikuläre Therapie</b> [Bohndorf, Seifarth] .....	510
12.4.1	Indikationen .....	510
12.4.2	Kontraindikationen .....	510
12.4.3	Vorgehensweise .....	510
12.4.4	Komplikationen .....	510
12.4.5	Probatorische periradikuläre Therapie .....	511
<b>12.5</b>	<b>Facettenblockade</b> [Bohndorf, Seifarth] ...	511
<b>12.6</b>	<b>Vertebro-, Kypho- und Sakroplastie</b> [Bohndorf, Seifarth] .....	512
12.6.1	Indikationen .....	512
12.6.2	Bildgebung vor Indikationsstellung .....	512
12.6.3	Kontraindikationen .....	512
12.6.4	Komplikationen .....	512
12.6.5	Technik .....	512
12.6.6	Ergebnisse .....	514
<b>12.7</b>	<b>Lasertherapie und Radiofrequenz- ablation</b> [Bohndorf, Seifarth] .....	514
<b>13</b>	<b>Radiologische Begutachtung des Skeletts und der Gelenke</b> [Braunschweig] .....	516
<b>13.1</b>	<b>Rechtliche Grundlagen</b> .....	516
13.1.1	Gutachtenformen und Stellung des Radiologen als Gutachter .....	516
13.1.2	Erwartungen an das Gutachten .....	516
13.1.3	Rechtliche Voraussetzung – was ist zu erfüllen? .....	517
<b>13.2</b>	<b>Formelle Grundlagen</b> .....	517
13.2.1	Form und Gliederung eines Gutachtens .....	517
13.2.2	Gutachtensprache .....	517
	<b>Sachverzeichnis</b> .....	517
	<b>Wegweiser zu wichtigen Klassifikationen und Einteilungen</b> ..	hintere Umschlaginnenseite

# Kapitel 1

Akutes Trauma und chronische  
Überbelastung: „Essentials“



# 1 Akutes Trauma und chronische Überbelastung: „Essentials“



ref.thieme.de/9783132414976

## 1.1 Normale Skelettentwicklung, Variationen und Übergänge zur Pathologie

### 1.1.1 Normale Skelettentwicklung

► **ANATOMIE.** Die normale Skelettentwicklung umfasst Wachstum und Reifung der epi- und metaphysären Wachstumszone und Veränderungen im Knochenmarkraum. Von allen Modalitäten der Bildgebung veranschaulicht die MRT (Magnetresonanztomografie) diese Vorgänge am besten. Sie ermöglicht die Darstellung der primär vollständig knorpelig angelegten Epiphyse, der Umwandlung des Epiphysenknorpels zum Knochen, der Epiphysenfuge (= Physe) mit der provisorischen Verkalkungszone sowie der physiologischen Veränderungen des Knochenmarks (► Abb. 1.1).

Die postnatale Skelettentwicklung vollzieht sich in 3 Ossifikationsschritten, zwischen denen Perioden des Längenwachstums liegen:

- Entwicklung und Wachstum der Ossifikationszentren in den knorpelig präformierten Epiphysen der kurzen und langen Röhrenknochen sowie der Hand- und Fußwurzelknochen
- Entwicklung und Wachstum der Ossifikationskerne der Apophysen
- knöcherner Epiphysenschluss

Nur 2 Epiphysenknochenkerne sind beim reifen Neugeborenen vorhanden: der distale Femur- und meist auch der proximale Tibiaepiphysenkerne. Weitere Knochenkerne werden altersabhängig sichtbar. Nach dem Erscheinen eines Knochenkerns schreitet die Ossifikation bis zu den Rändern der Knorpelanlage fort. Zum Zeitpunkt des Epiphysenschlusses ist dann die Knorpelplatte zwischen der knöchernen Epiphyse und dem Schaft zurückgebildet; lediglich der Gelenkknorpel bleibt als schmale Knorpelschicht noch erhalten.

Apophysenknochenkerne treten kurz vor oder während der Pubertät auf. Das Verschmelzen der Apophysen mit den Knochen setzt nach der Pubertät ein und ist in der Regel mit dem 25. Lebensjahr abgeschlossen.

Das zeitliche Auftreten der Knochenkerne, ihre Größenentwicklung und das Verschmelzen der Epiphysen und Apophysen mit dem Knochen sind innerhalb einer gewissen Schwankungsbreite konstant, sodass dadurch der Reifungszustand des Skeletts erkennbar und eine Skeletaltersbestimmung ermöglicht wird.

Parallel zu den Ossifikationsschritten kommt es in der postnatalen Skelettentwicklung zu einem Umbau des Knochenmarks. Im Fetus ist der Knochenmarkraum noch mit hämatopoetischem, rotem Mark ausgefüllt. Kurz vor der Geburt beginnt in den Extremitäten eine Konversion zum Fettmark, und zwar in zentripetaler Richtung mit Beginn in den distalen Phalangen. Im frühen Erwachsenenalter ist hämatopoetisches Mark hauptsächlich noch im Schädel, im Sternum, in den Rippen, im Becken und im proximalen Humerus und Femur vorhanden; im übrigen Skelett findet sich Fettmark (s. hierzu auch Kap. 5).

### 1.1.2 Variationen und Störungen der Skelettentwicklung

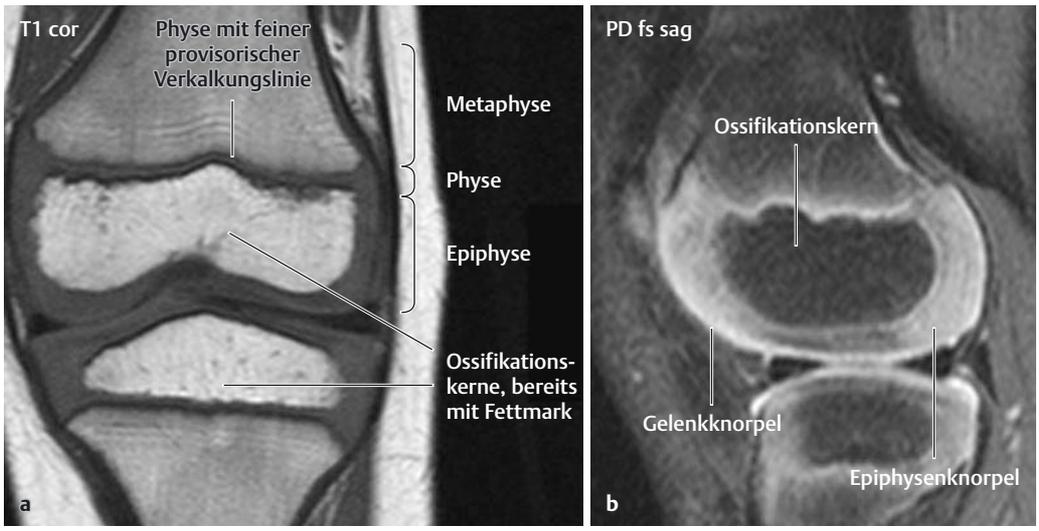
Die Ossifikationszentren innerhalb der knorpelig präformierten Epi- und Apophysen weisen während des Skelettwachstums zahlreiche anatomische Varianten auf, beispielsweise 2 oder mehrere Knochenkerne, die später wieder zu einem einzigen Ossifikationszentrum verschmelzen. Während dieser Phase erscheinen die Knochenkerne radiologisch mit unregelmäßiger Randkontur, fragmentiert und irregulär mineralisiert (► Abb. 1.2, ► Abb. 1.3 und ► Abb. 1.4).

Weitere häufig anzutreffende epi- bzw. apophysäre „Varianten“:

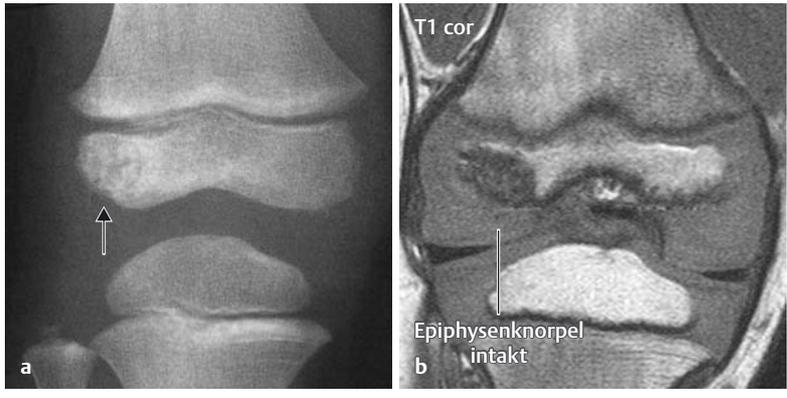
- Zapfenepiphysen am Handskelett sind oft verbunden mit einer enchondralen Wachstumsstörung der betroffenen Phalangen (► Abb. 1.5). An den langen Röhrenknochen dagegen werden Zapfenepiphysen oder epi- und metaphysäre Wachstumsstörungen immer als eine pathologische Ossifikationsstörung angesehen und auf eine frühzeitig abgelaufene epi- bzw. metaphysäre Zirkulationsstörung unterschiedlicher Genese zurückgeführt. Ein gemeinsames Kennzeichen ist die Fusion zwischen Epi- und Metaphyse (► Abb. 1.6).



**Abb. 1.2** Physiologische unregelmäßige Randkontur (Pfeile) des Ossifikationszentrums der Kondylenepiphyse. Normvariante.



**Abb. 1.1** MRT des Kniegelenks eines 5-jährigen Kindes.  
**a** Fettmarksignal im Knochenkern der Epiphyse. In der Metaphyse ist das Signal in der T1w (T1-gewichteten) Aufnahme intermediär zwischen rotem Knochenmark und Fettmark.  
**b** In der PDw (protonendichtegewichteten) Aufnahme ist eine Unterscheidung von Epiphysen- und Gelenkknorpel möglich. Der Epiphysenknorpel weist physiologischerweise Intensitätsschwankungen auf.



**Abb. 1.3** Ossifikationsvariante am Knochenkern der distalen Femurepiphyse.  
**a** Inhomogene Verkalkung der Epiphyse (Pfeil).  
**b** Die MRT zeigt hier eine Signalminderung als Zeichen einer vermehrten Sklerosierung.



**Abb. 1.4** Ulnaepiphyse. Die Ulnaepiphyse besteht aus 3 Ossifikationskernen (Pfeil), die später wieder verschmelzen.



**Abb. 1.5** Zapfenepiphyse mit Brachymesopthalgie. Normvariante mit leichter enchondraler Wachstumsstörung.



**Abb. 1.6** 6-jähriger Junge mit fokaler epi-/metaphysärer Fusion. Diese Fusion ist eine pathologische Variante der Zapfenepiphyse, die zu Wachstumsstörungen führt.  
**a** Andeutung der Fusion durch Irregularität der Epiphysenfuge und der Metaphyse im Röntgenbild.  
**b** Die MRT beweist die epimetaphysäre Fusion.

- **Pseudoepiphysen** oder atypische Epiphysen treten bei gesunden Kindern an den proximalen Metakarpalia II–IV und am distalen Metakarpale I ohne Krankheitswert auf. Gehäuft kommen sie aber bei systemischen Entwicklungsstörungen des Skeletts vor.
- Eine **verstärkte Mineralisation** des Epiphysenknochenkerns kann bei gesunden Kindern angetroffen werden, bevorzugt an den distalen Phalangen. Diese sog. Elfenbein- oder Marmorepiphysen (► Abb. 1.7) müssen von weiteren Skeletterkrankungen mit verstärkter Sklerosierung, z. B. der Osteopoikilose, abgegrenzt werden.

Besonders an den Hand- und Fußwurzelknochen variiert das röntgenologische Erscheinungsbild:

- unterschiedliches zeitliches Auftreten der Knochenkerne
- irreguläre Mineralisation
- Fusionen mit benachbarten Knochenkernen
- gelegentlich akzessorischem Auftreten von Knochenkernen

### 1.1.3 Übergänge zur Pathologie

Eine Grenzziehung zwischen einer Wachstumsvariante und einer Veränderung mit Krankheitswert kann gelegentlich schwierig sein, insbesondere, wenn passager eine lokale Schmerzsymptomatik mit Gelenkerguss hinzukommt. In diesen Fällen muss eine Entwicklungsvariation bestätigt bzw. eine Pathologie ausgeschlossen werden.

► **RÖ.** In folgenden Fällen kann es bei einer Epiphysen- oder Apophysenvariante zu differenzialdiagnostischen Überlegungen kommen, z. B.:

- **Epi- oder Apophysenfraktur** bei Vorliegen mehrerer atypischer Ossifikationszentren (► Abb. 1.8 und ► Abb. 1.9)
- aseptische **Knochennekrose** bei irregulärer Sklerosierung mit Verschmälerung der Knochenkerne (► Abb. 1.10)
- **Osteochondrosis dissecans** oder **osteochondrale Fraktur** bei einer unregelmäßigen Epiphysenrandkontur (► Abb. 1.11)
- **angeborene Skelettentwicklungsstörung** bei atypischer Epiphysenform (► Abb. 1.12)

► **SONO.** Durch die Darstellung des Ossifikationszentrums innerhalb des Epiphysenknorpels und der Lagebeziehung zu der bereits ossifizierten Metaphyse ist im Säuglingsalter die Differenzierung eines Normalbefunds von einem Trauma mit Epiphysendislokation möglich. Bei Verdacht auf eine subchondrale Fraktur, eine Osteochondrosis dissecans oder eine aseptische Knochennekrose im Kleinkind- und Schulalter führt bei Schmerzangabe der immer vorhandene Begleiterguss zu einer weiterführenden Diagnostik. Fehlt der Gelenkerguss, ist ein frisches Trauma unwahrscheinlich.

► **MRT.** Morphologischer Befund und Signalinformation erlauben fast immer eine Unterscheidung zwischen einem Trauma und einer Ossifikationsvariante oder -störung. Die MRT wird heute routinemäßig ergänzend bei unklaren sonografischen Befunden eingesetzt. Zur Darstellung des Kno-

chenmarks ist die MRT die diagnostische Methode der Wahl. Das Wissen um die altersabhängige Konversion des Knochenmarks ist die Voraussetzung zur Beurteilung einer Knochenmarkpathologie (s. Kap. 5.1).

#### Merke

Anatomische Varianten bzw. Störungen im röntgenologischen Erscheinungsbild der Epiphysen und Apophysen sind in allen Wachstumszonen des kindlichen Skeletts zu finden. Diese sind in der einschlägigen Literatur ausführlich behandelt, die als Nachschlagewerk an jeden „Skelettarbeitsplatz“ gehört.



## 1.2 Frakturen: Definition, Einteilung, Typen und Klassifikationen

### 1.2.1 Definition und Einteilung

Eine Fraktur (von lat.: „frangere“ = brechen) liegt vor, wenn die Kontinuität von Knochensubstanz unterbrochen wurde. Der Begriff gilt unabhängig von Ausmaß und Ort der Kontinuitätsstörung, d. h. unabhängig davon, ob Kortikalis oder Spongiosa betroffen sind, ob viele Fragmente oder nur ein inkompletter, haarförmiger Einriss vorliegen. Im täglichen (chirurgischen) Sprachgebrauch wird der Begriff mit röntgenologisch sichtbaren Frakturen gleichgesetzt.

Es gibt durchaus Frakturen, die mit den üblichen Projektionen der Röntgenologie nicht fassbar sind, obwohl die CT (Computertomografie), die MRT und bei bestimmten Lokalisationen auch die Sonografie die Fraktur eindeutig nachwei-



**Abb. 1.7** Verstärkte Sklerosierung der Phalangenepiphysen (sog. Elfenbein- oder Marmorepiphysen). Normvariante.



**Abb. 1.8** 2 schalenförmige Ossifikationszentren an der Basis von Metatarsale V. Normvariante.



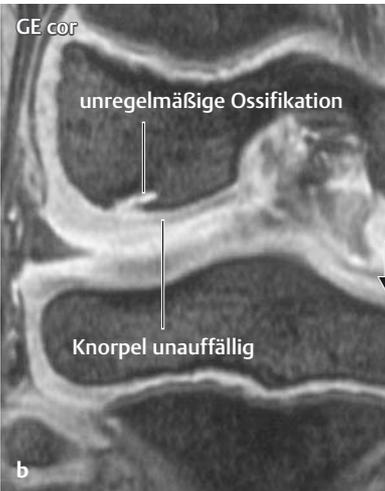
Abb. 1.9



Abb. 1.10

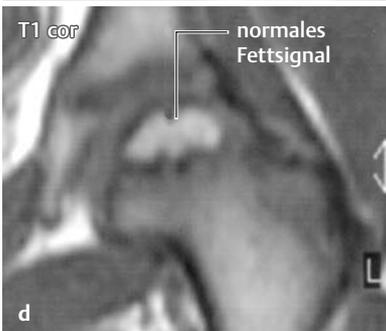
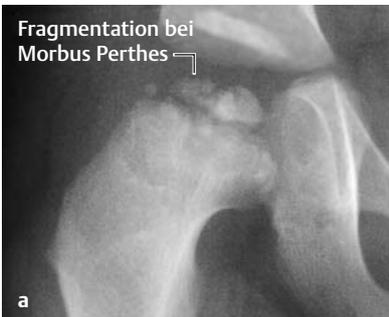
**Abb. 1.9** Schalenförmiger Knochenkern dorsal am medialen Kondylus. Normvariante.

**Abb. 1.10** Fragmentiert und sklerosiert erscheinende Kalkaneusapophyse. Normvariante.



**Abb. 1.11** Unregelmäßige Epiphysenrandkontur.

- a Kleine Unregelmäßigkeit an der lateralen Kondylusepiphyse.
- b An dieser Stelle findet sich eine unregelmäßige Ossifikation im MRT.
- c Kein Nachweis einer Knorpelläsion oder einer umgebenden Knochenmarkreaktion.



**Abb. 1.12** Vergleich eines Morbus Perthes mit einer Normvariante (Meyer-Dysplasie).

- a Morbus Perthes im Fragmentationsstadium.
- b Unregelmäßig konturierte, aus mehreren „Fragmenten“ bestehende Epiphyse.
- c Signalverlust der Epiphyse in der nativen T1w Aufnahme bei Morbus Perthes.
- d Normales Signal bei unregelmäßiger, aus mehreren Knochenkernen zusammengesetzter Epiphyse (= Meyer-Dysplasie).

sen. Diese Frakturen werden als „röntgenologisch okkult“ bezeichnet. Die geringste Stufe der traumatischen Knochenschädigung ist die rein spongiöse Fraktur. Sie ist nur in der MRT in Form eines sog. traumatischen Knochenmarködems (auch „Knochenkontusion“ oder „Bone Bruise“) nachweisbar. Diese Läsionen bereiten zwar Schmerzen, in der Regel heilen sie jedoch unter Schonung bzw. kurzer Ruhigstellung spontan aus.

Nach den Entstehungsursachen werden traumatische, Ermüdungs- und pathologische Frakturen unterschieden:

**Traumatische Fraktur:** Die Be- bzw. Überlastung des Knochens kann direkter (Schlag, penetrierende Verletzungen) oder indirekter Natur sein. Bei den indirekten Belastungen des Knochens wirken Zug-, Kompressions-, Scher- oder Drehkräfte.

**Ermüdungsbrüche:** Dabei werden *Stressfrakturen* bei rezidivierender Überbeanspruchung von normalem Knochengewebe und sog. *Insuffizienzfrakturen* unterschieden. Bei Letzteren ist der Knochen vorgeschädigt (in der Regel durch eine Osteoporose) und frakturiert bereits bei einem geringen Trauma oder repetitiver Belastung.

**Pathologische Fraktur:** Dies sind Frakturen, die aufgrund einer vorbestehenden *kortikalen* Zerstörung von Knochengewebe schon bei einer inadäquaten Krafteinwirkung auftreten. Sie sind somit eine Sonderform der Insuffizienzfraktur. Häufigste Ursachen sind Knochenzysten, Metastasen und das Plasmozytom.

## 1.2.2 Frakturtypen

Die Morphologie der Frakturen reflektiert Richtung, Art und Ausmaß der einwirkenden Kräfte. Unabhängig vom Frakturtyp müssen noch Frakturen mit gleichzeitiger Luxation oder Subluxation und solche mit Gelenkbeteiligung differenziert werden. Eine für die Praxis einfache Übersicht der wichtigsten Frakturtypen gibt ► Abb. 1.13.

Im Folgenden einige **Begriffserklärungen:**

**Fissur (Hairline Fracture):** Dabei handelt es sich um eine feine Frakturlinie ohne jede Fragmentverschiebung. Sie kann sowohl inkomplett oder komplett (den ganzen Knochen durchquerend) ausgebildet sein.

**Impaktionsfraktur:** Ein Fragment ist in das andere verkeilt (hineingetrieben), z. B. an der Hüfte.

**Impressionsfraktur:** Diese entsteht durch Aufprall einer umschriebenen Masse auf den Knochen (z. B. am Schädel). Absprengungen von Gelenkrändern durch opponierende Knochen sind eine Sonderform der Impressionsfraktur.

**Kompressionsfraktur (Stauchungsfraktur):** Die Begriffe „Impaktions-“, „Impressions-“ und „Kompressionsfraktur“ sind speziell an der Wirbelsäule kaum voneinander zu tren-

nen. Als Kompressionsfraktur wird auch eine Form der Gelenkflächenfraktur bezeichnet (s. Kap. 1.4).

**Avulsionsfraktur:** Dies sind Abrissfrakturen an Sehnen oder Kapselansätzen. Typische Lokalisationen sind die Basis des Os metatarsale V, die Tuberositas tibiae (Patellarsehne), der Oberpol der Patella (M.-quadriceps-Sehne), der Trochanter minor (M.-iliopsoas-Sehne) und die proximale Phalanx des I. Strahls.

**Luxation:** Darunter wird der vollständige Verlust der Kongruenz der artikulierenden Gelenkflächen verstanden. Eine zusätzliche intra- oder periartikuläre Fraktur kann vorhanden sein. Bei der Subluxation besteht eine Gelenkfehlstellung, die Gelenkflächen haben aber noch miteinander Kontakt.

**Offene Fraktur:** Bei offenen Frakturen sind die über dem Knochen liegenden Weichteile durchtrennt. Nach Oestern und Tscherne werden folgende Grade unterschieden:

- **Grad 1:** Durchspießung der Haut von innen durch den Knochen, unbedeutende Wundkontamination
- **Grad 2:** Durchtrennung der Haut, umschriebene Weichteilschäden, mittelschwere Wundkontamination
- **Grad 3:** großer Weichteildefekt, häufig Gefäß- und Nervenverletzungen, starke Wundkontamination

## 1.2.3 Klassifikationen

Die **Klassifikationen für die Frakturen** in einzelnen anatomischen Regionen werden im Detail in Kap. 2 nach Regionen abgehandelt. Weltweit setzt sich dabei die sog. **AO-Klassifikation** (AO-Foundation, Schweiz) durch, allerdings aufgrund historischer und praktischer Erwägungen nicht in allen anatomischen Regionen. Dies wird in den jeweiligen Kapiteln angesprochen. Klassifikationen von Frakturen folgen praktischen Zielen:

- Bestimmung des Schweregrads der Verletzung
- entsprechende Therapieauswahl
- Prognoseabschätzung
- einfache Anwendbarkeit und Reproduzierbarkeit

Die **AO-Klassifikation** unterteilt nach folgenden Kriterien:

- Region (welcher Knochen?)
- Teil (Segment) des Knochens
- Frakturtyp (über Buchstaben wird entweder die Gelenkbeteiligung oder die Komplexität von Schafffrakturen eingeschätzt)

Eine Ziffer hinter dem Buchstaben bezeichnet den Frakturtyp genauer.  [Video W1.1](#) zeigt die Grundprinzipien der AO-Klassifikation,  [Video W1.2](#) die 5 häufigsten Gelenk- und Knochenverletzungen.

Im außereuropäischen Raum hat die OTA-Klassifikation weite Verbreitung gefunden. Diese Einteilung verbindet die AO-Einteilung und die OTA-Klassifikation von 1996. Die OTA-Klassifikation übernimmt das Prinzip der AO-Einteilung und vervollständigt diese durch die Nummerierung einiger bisher von der AO nicht klassifizierter Knochen.

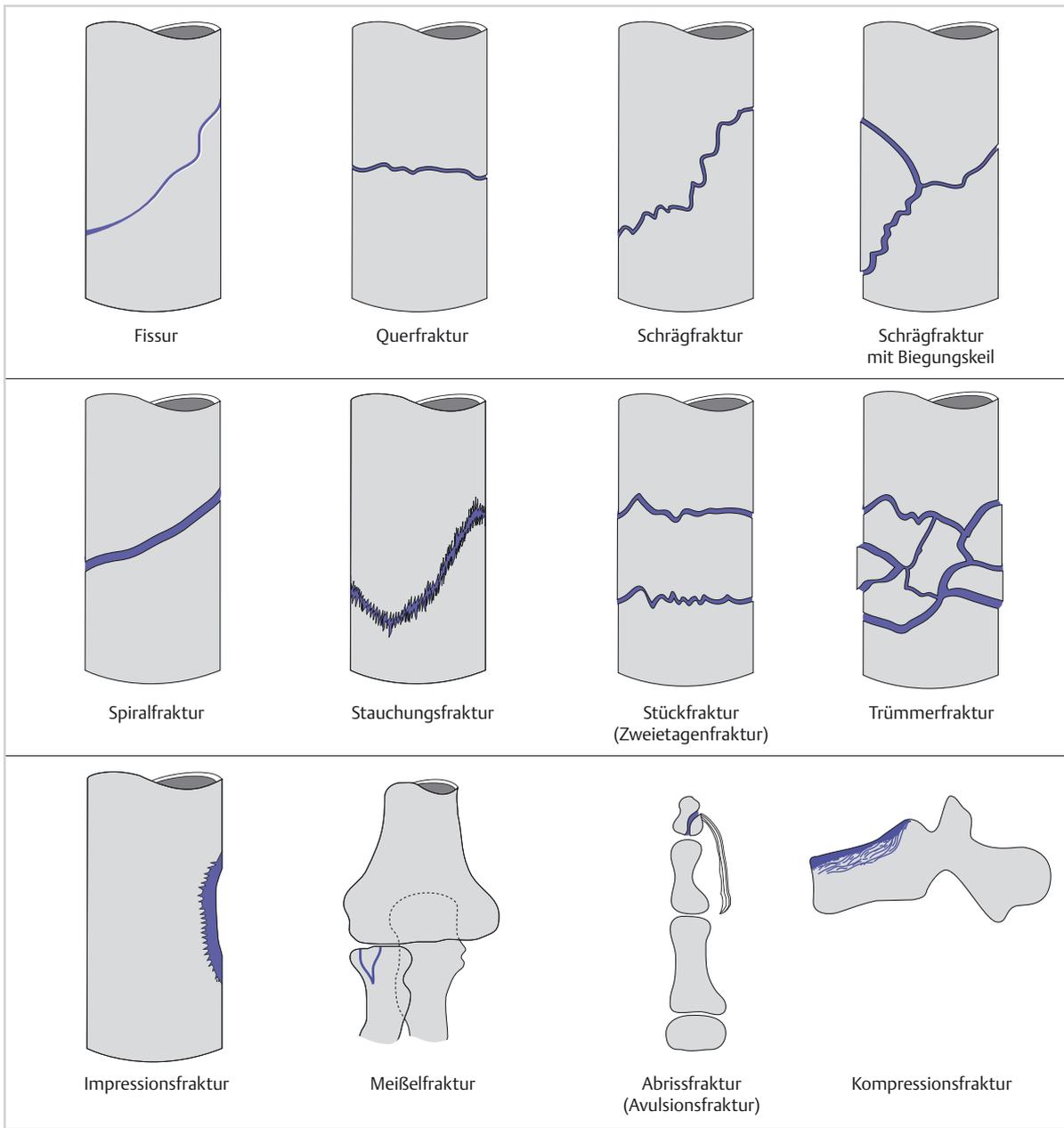


Abb. 1.13 Die wichtigsten Frakturtypen.

## 1.3 Frakturen im Kindesalter

### 1.3.1 Besonderheiten bei Frakturen im Wachstumsalter

Der wichtigste anatomische Unterschied zum Erwachsenen betrifft die Wachstumsfuge bzw. die Blutversorgung des Stratum germinativum von der Epiphyse aus. Verletzungen können zu Wachstumsstörungen, wie einem vorzeitigem Verschluss der Fuge, führen. Das dickere und kräftigere Periost gibt beim Kind Anlass zu unter Umständen sehr ausgeprägter Kallusbildung.

Die Biomechanik kindlicher Knochen lässt größere Deformierungen zu, bevor es zur vollständigen Fraktur kommt. Das starke Periost des Kindes verhindert vielfach eine größere Frakturdislokation. Da die Wachstumsfuge schwächer ist als der artikuläre Bandapparat, treten Epiphysenlösungen häufiger auf als Luxationen.

In physiologischer Hinsicht besitzt das kindliche Skelett die Tendenz zu überschießendem und korrigierendem Längenwachstum, die Heilungsgeschwindigkeit ist höher und die Pseudarthrosenbildung stellt eine große Ausnahme dar.

Die gängigen Klassifikationen adulter Frakturen können auf das kindliche Skelett meist nicht übertragen werden. Es wurden daher spezifische Klassifikationen, wie die **Li-La-Klassifikation** und die **AO-Klassifikation für Frakturen im Kindesalter** entwickelt (s. Literatur im Internet). Für den klinischen Alltag reicht meist eine einfache Einteilung nach der Lokalisation:

- diaphysär
- metaphysär
- epiphysär
- Kombinationsverletzungen

### Spezielle Frakturtypen im Kindesalter

**Wulst- oder Torusfraktur:** Sie entsteht durch eine Stauchung im Bereich der Metaphyse. Die Kortikalis ist auf einer Seite vorgewölbt. Auf der gegenüberliegenden Seite sind die Veränderungen nicht sichtbar oder sehr diskret (► Abb. 1.14).

**Grünholzfraktur:** Es handelt sich um eine inkomplette, häufig nur einseitige Fraktur (► Abb. 1.15). Die Besonderheit ist der Erhalt des Periostschlauchs.

**Bowing-Fraktur:** Dies ist eine plastische Verbiegung des Knochens aufgrund der im Kindesalter vorhandenen Elastizität; der Nachweis eines Frakturspalts gelingt nicht (► Abb. 1.16).

**Übergangsfaktur:** Darunter ist die Verletzung der im Schluss begriffenen Wachstumsfuge zu verstehen (► Abb. 1.17; s. Kap. 2.14.2).

### Verletzungen der Wachstumsfuge

Die gebräuchlichste Klassifikation der Verletzungen mit Beteiligung der Wachstumsfuge ist die **Klassifikation nach Salter und Harris** (► Abb. 1.18):

- **Typ I:** Epiphysenlösung
- **Typ II:** partielle Epiphysenlösung mit metaphysärer Fraktur
- **Typ III:** epiphysäre Fraktur unter Beteiligung der Wachstumsfuge
- **Typ IV:** Fraktur durch Epi- und Metaphyse mit Kreuzen der Wachstumsfuge (► Abb. 1.19)
- **Typ V:** Kompression der Wachstumsfuge („Crush“)

Häufig wird auch die **Einteilung nach Aitken** verwendet, die nur 3 Schweregrade (die häufigsten) unterscheidet (s. ► Abb. 1.18).



**Abb. 1.14** Wulstfraktur (Pfeile) bei einem 9-jährigen Mädchen.  
a Röntgenaufnahme dorsovolar.  
b Röntgenaufnahme seitlich.



**Abb. 1.15** Grünholzfraktur bei einem 13-jährigen Jungen. Die Kortikalis ist nur einseitig frakturiert.  
a Quer verlaufende spongiöse Verdichtungslinie.  
b Die Kortikalis ist nur volar frakturiert.