

# Skelettradiologie

Orthopädie, Traumatologie, Rheumatologie, Onkologie

Bearbeitet von  
Adam Greenspan, Javier Beltran

6. Auflage 2017. Buch. XVIII, 1132 S. Hardcover  
ISBN 978 3 437 23064 6  
Format (B x L): 21 x 29,7 cm

[Weitere Fachgebiete > Medizin > Sonstige Medizinische Fachgebiete > Radiologie, Bildgebende Verfahren](#)

schnell und portofrei erhältlich bei

  
DIE FACHBUCHHANDLUNG

Die Online-Fachbuchhandlung [beck-shop.de](http://beck-shop.de) ist spezialisiert auf Fachbücher, insbesondere Recht, Steuern und Wirtschaft. Im Sortiment finden Sie alle Medien (Bücher, Zeitschriften, CDs, eBooks, etc.) aller Verlage. Ergänzt wird das Programm durch Services wie Neuerscheinungsdienst oder Zusammenstellungen von Büchern zu Sonderpreisen. Der Shop führt mehr als 8 Millionen Produkte.

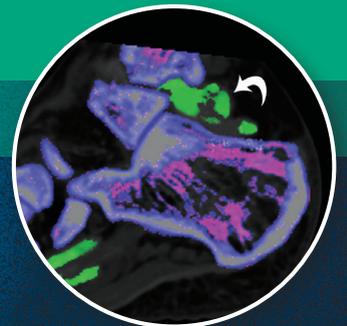
Adam Greenspan Javier Beltran

Leseprobe

# Skelettradiologie

Orthopädie · Traumatologie  
Rheumatologie · Onkologie

6. Auflage



ELSEVIER

Urban & Fischer

# Inhaltsverzeichnis

<b>I</b>	<b>Einführung in die Skelettradiologie</b>	
<b>1</b>	<b>Die Rolle des Radiologen</b>	3
<b>2</b>	<b>Bildgebende Verfahren in der Skelettradiologie</b>	15
2.1	Wahl des bildgebenden Verfahrens	15
2.2	Bildgebende Verfahren	15
2.2.1	Röntgenübersichtsaufnahmen	15
2.2.2	Vergrößerungsaufnahmen	16
2.2.3	Gehaltene Aufnahmen	16
2.2.4	Scanografie	16
2.2.5	Durchleuchtung und Videoaufzeichnung	16
2.2.6	Digitale Radiografie	16
2.2.7	Konventionelle Tomografie	17
2.2.8	Computertomografie	19
2.2.9	Arthrografie	24
2.2.10	Tenografie und Bursografie	26
2.2.11	Angiografie	27
2.2.12	Myelografie	27
2.2.13	Diskografie	27
2.2.14	Sonografie	27
2.2.15	Szintigrafie (Radionuklidskelettszintigrafie)	28
2.2.16	Positronenemissionstomografie, PET-CT und PET-MRT	33
2.2.17	Magnetresonanztomografie	35
<b>3</b>	<b>Bildung und Wachstum des Knochens</b>	49
<b>II</b>	<b>Trauma</b>	
<b>4</b>	<b>Radiologische Beurteilung von Verletzungen</b>	55
4.1	Radiologische bildgebende Verfahren	55
4.1.1	Röntgendiagnostik und Durchleuchtung	55
4.1.2	Computertomografie	57
4.1.3	Szintigrafie	57
4.1.4	Arthrografie	58
4.1.5	Tenografie und Bursografie	58
4.1.6	Myelografie und Diskografie	59
4.1.7	Angiografie	59
4.1.8	Magnetresonanztomografie	59
4.2	Frakturen und Luxationen	61
4.2.1	Diagnostik	62
4.2.2	Kontrolle der Behandlungsergebnisse	72
4.3	Stressfrakturen	86
4.4	Weichteilverletzungen	91
4.5	Sportverletzungen	93
4.5.1	Obere Extremität	93
4.5.2	Untere Extremität	97
	Merkmale für die Praxis	100
<b>5</b>	<b>Obere Extremität I: Schultergürtel</b>	105
5.1	Anatomisch-radiologische Betrachtungen	105
5.2	Verletzungen des Schultergürtels	121
5.2.1	Frakturen im Schulterbereich	121
5.2.2	Schulterluxationen	129
5.2.3	Impingement-Syndrom	133
5.2.4	Rotatorenmanschettenruptur	135
5.2.5	Verletzungen des knorpeligen Labrums	139
5.3	Verschiedene krankhafte Veränderungen	146
5.3.1	Capsulitis adhaesiva	146
5.3.2	Sprengung des Akromioklavikulargelenks	147
5.3.3	Luxation des Sternoklavikulargelenks	148
5.3.4	Posttraumatische Osteolyse des lateralen Schlüsselbeinendes	150
5.3.5	Nervus-suprascapularis-Syndrom	151
5.4	Die operierte Schulter	152
	Merkmale für die Praxis	155
<b>6</b>	<b>Obere Extremität II: Ellbogen</b>	159
6.1	Anatomisch-radiologische Betrachtungen	159
6.2	Verletzungen des Ellbogens	169
6.2.1	Frakturen der Ellbogenregion	169
6.2.2	Osteochondrosis dissecans des Capitulum humeri	180
6.2.3	Luxationen des Ellbogens	182
6.2.4	Weichteilverletzungen	184
6.3	Bursitis	191
6.4	Kompressions- und Entrapment-Neuropathien des Ellbogens	192
6.4.1	Musculus-pronator-teres-Syndrom	192
6.4.2	Musculus-supinator-Syndrom	192
6.4.3	Kubitaltunnelsyndrom	192
	Merkmale für die Praxis	194
<b>7</b>	<b>Obere Extremität III: distaler Unterarm, Handwurzel und Hand</b>	197
7.1	Distaler Unterarm	197
7.1.1	Anatomisch-radiologische Betrachtungen	197
7.1.2	Verletzungen des distalen Unterarms	202
7.2	Handwurzel und Hand	214
7.2.1	Anatomisch-radiologische Betrachtungen	215
7.2.2	Verletzungen der Handwurzel	222
7.2.3	Verletzung der Hand	244
	Merkmale für die Praxis	249
<b>8</b>	<b>Untere Extremität I: Beckenring und proximales Femur</b>	253
8.1	Anatomisch-radiologische Betrachtungen	253
8.2	Verletzungen von Becken und Acetabulum	259
8.2.1	Einteilung der Beckenfrakturen	259
8.2.2	Frakturen des Beckens	261
8.2.3	Frakturen des Acetabulums	263
8.2.4	Verletzungen des Labrum acetabulare	264
8.2.5	Femoroacetabuläres Impingement-Syndrom	268
8.2.6	Kreuzbeinverletzung	268

## XIV Inhaltsverzeichnis

8.3	Proximales Femur	271	10.6.8	Plantarfasziitis	412
8.3.1	Verletzung des proximalen Femurs	271		Merkpunkte für die Praxis	413
8.3.2	Hüftluxationen	280	<b>11</b>	<b>Wirbelsäule</b>	417
8.3.3	Sehnenverletzungen	283	11.1	Halswirbelsäule	417
8.3.4	Kompressions- und Entrapment-Neuropathien	283	11.1.1	Anatomisch-radiologische Betrachtungen	417
8.3.5	Morel-Lavallée-Läsion (geschlossene Ablederungsverletzung)	283	11.1.2	Verletzungen der Halswirbelsäule	430
8.3.6	Sportlerhernie	283	11.2	Brust- und Lendenwirbelsäule	447
8.3.7	Stress- und Insuffizienzfrakturen	284	11.2.1	Anatomisch-radiologische Betrachtungen	447
	Merkpunkte für die Praxis	284	11.2.2	Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule	457
<b>9</b>	<b>Untere Extremität II: Knie</b>	287	11.2.3	Spondylylose und Spondylolisthesis	466
9.1	Anatomisch-radiologische Betrachtungen	287	11.2.4	Verletzungen der Bandscheiben-Wirbel- Verbindung	471
9.2	Verletzungen des Knies	301		Merkpunkte für die Praxis	481
9.2.1	Frakturen der Knieregion	301	<b>III</b>	<b>Arthritiden</b>	
9.2.2	Morbus Sinding-Larsen-Johansson	317	<b>12</b>	<b>Radiologische Abklärung der Arthritiden, Arthrosen, Arthropathien</b>	487
9.2.3	Morbus Osgood-Schlatter	317	12.1	Radiologische bildgebende Verfahren	487
9.2.4	Verletzung des Knorpels am Knie	319	12.1.1	Konventionelle Röntgenaufnahmen	487
9.3	Verletzung der Weichteile in der Kniegegend	328	12.1.2	Vergrößerungsaufnahmen	487
9.3.1	Kniegelenkerguss	328	12.1.3	Tomografie, Computertomografie und Arthrografie	487
9.3.2	Meniskusverletzung	328	12.1.4	Szintigrafie	491
9.3.3	Bänder- und Sehnenverletzungen	333	12.1.5	Sonografie	495
9.4	Das operierte Knie	343	12.1.6	Magnetresonanztomografie	496
9.4.1	Operatives Management von Meniskusrisen	343	12.2	Formen der Arthropathie	499
9.4.2	Ersatz des vorderen Kreuzbandes (VKB)	343	12.2.1	Diagnostik	499
9.4.3	Knorpelreparatur	346	12.2.2	Weiteres Vorgehen	512
	Merkpunkte für die Praxis	347		Merkpunkte für die Praxis	519
<b>10</b>	<b>Untere Extremität III: Sprunggelenk und Fuß</b>	351	<b>13</b>	<b>Degenerative Gelenkkrankheiten</b>	521
10.1	Anatomisch-radiologische Betrachtungen	351	13.1	Arthrose	521
10.2	Bildgebung von Sprunggelenk und Fuß	354	13.1.1	Arthrose der großen Gelenke	523
10.2.1	Sprunggelenk	354	13.1.2	Arthrose der kleinen Gelenke	534
10.2.2	Fuß	361	13.2	Degenerative Erkrankungen der Wirbelsäule	536
10.3	Verletzungen des Sprunggelenks	368	13.2.1	Arthrose anderer synovialer Gelenke	536
10.3.1	Frakturen der Sprunggelenkgegend	368	13.2.2	Degenerative Bandscheibenerkrankung	539
10.3.2	Frakturen der Fibula	385	13.2.3	Spondylosis deformans	540
10.4	Verletzung der Weichteile von Sprunggelenk und Fuß	385	13.2.4	Diffuse idiopathische Skeletthyperostose (DISH)	541
10.4.1	Posttraumatischer Gelenkerguss	388	13.3	Komplikationen der degenerativen Wirbelsäulenleiden	542
10.4.2	Riss des inneren Längsbandes	389	13.3.1	Degenerative Spondylolisthesis	542
10.4.3	Riss des äußeren Längsbandes	390	13.3.2	Spinalkanalstenose	544
10.4.4	Riss des Lig. tibiofibulare anterius (vordere Syndesmose)	392	13.4	Neuropathische Arthropathie	546
10.4.5	Tendinose und Sehnenrisse	393		Merkpunkte für die Praxis	548
10.5	Verletzungen des Fußes	396	<b>14</b>	<b>Inflammatorische Arthritiden</b>	551
10.5.1	Frakturen des Fußes	396	14.1	Erosive Osteoarthritis (Arthrose)	551
10.5.2	Luxationen des Fußes	405	14.1.1	Therapie	554
10.6	Verschiedene schmerzhafte Weichteilanomalien von Sprunggelenk und Fuß	408	14.2	Rheumatoide Arthritis	554
10.6.1	Tarsaltunnelsyndrom	408	14.2.1	Rheumatoide Arthritis des Erwachsenen	554
10.6.2	Sinus-tarsi-Syndrom	408	14.2.2	Rheumatoide Nodulose (Knötchenkrankheit)	564
10.6.3	Fehlfunktion der Tibialis-posterior-Sehne	408	14.2.3	Juvenile idiopathische Arthritis (juvenile rheumatoide Arthritis)	565
10.6.4	Syndrom des schmerzhaften Os naviculare accessorium	409			
10.6.5	Tendinopathien der Peronealsehnen	409			
10.6.6	Baxter-Neuropathie	411			
10.6.7	Morton-Neurom	411			

14.3	Seronegative Spondylarthropathien	568	17	<b>Benigne Tumoren und tumorähnliche Veränderungen (Tumor-like Lesions) I: knochenbildende Veränderungen</b>	661
14.3.1	Morbus Bechterew (ankylosierende Spondylitis)	568	17.1	Benigne osteoblastische Veränderungen	661
14.3.2	Morbus Reiter (reaktive Arthritis)	569	17.1.1	Osteom	661
14.3.3	Psoriasisarthropathie (Psoriasisarthritis)	573	17.1.2	Osteoidosteom	664
14.3.4	Enteropathische Arthropathien	577	17.1.3	Osteoblastom	676
	Merkmale für die Praxis	577		Merkmale für die Praxis	682
<b>15</b>	<b>Verschiedene Arthritiden/Arthropathien</b>	581	<b>18</b>	<b>Benigne Tumoren und tumorähnliche Veränderungen (Tumor-like Lesions) II: chondrogene Läsionen</b>	685
15.1	Arthritiden bei Kollagenosen	581	18.1	Benigne chondroblastische Veränderungen	685
15.1.1	Systemischer Lupus erythematoses	581	18.1.1	Enchondrom (Chondrom)	685
15.1.2	Sklerodermie	583	18.1.2	Enchondromatose (Morbus Ollier und Maffucci-Syndrom)	692
15.1.3	Polymyositis und Dermatomyositis	584	18.1.3	Osteochondrom	697
15.1.4	Mixed Connective Tissue Disease (MCTD; Sharp-Syndrom; Mischkollagenose)	586	18.1.4	Multiple (osteo)kartilaginäre Exostosen	702
15.1.5	Vaskulitis	588	18.1.5	Bizarre parossale osteochondromatöse Proliferation (BPOP)	705
15.2	Metabolische und endokrine Arthritiden (Arthropathien)	588	18.1.6	Chondroblastom	707
15.2.1	Gicht	588	18.1.7	Chondromyxoidfibrom	709
15.2.2	Kristallgicht (Kalziumpyrophosphat-Ablagerungskrankheit; CPPD-Krankheit)	598		Merkmale für die Praxis	711
15.2.3	CHA-Kristallablagerungskrankheit	600	<b>19</b>	<b>Benigne Tumoren und tumorähnliche Veränderungen (Tumor-like Lesions) III: fibröse, fibroossäre und fibrohistiozytäre Veränderungen</b>	715
15.2.4	Hämochromatose	602	19.1	Fibröser Kortikalisdefekt und nichtossifizierendes Fibrom	715
15.2.5	Alkaptonurie (Ochronose)	603	19.1.1	Komplikationen und Therapie	717
15.2.6	Hyperparathyreoidismus	604	19.2	Benignes fibröses Histiocytom	718
15.2.7	Akromegalie	605	19.3	Periostales Desmoid	719
15.3	Weitere Arthropathien	605	19.3.1	Differenzialdiagnose	719
15.3.1	Amyloidose	605	19.4	Fibröse Dysplasie	720
15.3.2	Multizentrische Retikulohistiozytose	606	19.4.1	Monostotische fibröse Dysplasie	720
15.3.3	Hämophilie	608	19.4.2	Polyostotische fibröse Dysplasie	724
15.3.4	Jaccoud-Arthritis	609	19.4.3	Assoziierte Krankheiten	732
15.3.5	Arthritis in Kombination mit AIDS (Acquired Immune Deficiency Syndrome)	609	19.5	Osteofibröse Dysplasie	733
15.3.6	Infektiöse Arthritis	610	19.5.1	Komplikationen und Therapie	737
	Merkmale für die Praxis	610	19.6	Desmoplastisches Fibrom	737
				Merkmale für die Praxis	739
<b>IV</b>	<b>Tumoren und tumorartige Läsionen</b>		<b>20</b>	<b>Benigne Tumoren und tumorartige Veränderungen (Tumor-like Lesions) IV: diverse andere Läsionen</b>	743
<b>16</b>	<b>Radiologische Beurteilung von Tumoren und tumorähnlichen Veränderungen</b>	615	20.1	Einfache Knochenzyste (EKZ)	743
16.1	Einteilung der Tumoren und tumorähnlichen Veränderungen	615	20.1.1	Komplikationen und Differenzialdiagnose	745
16.2	Bildgebende radiologische Verfahren	616	20.1.2	Therapie	745
16.2.1	Konventionelle Röntgendiagnostik	616	20.2	Aneurysmatische Knochenzyste (AKZ)	747
16.2.2	Computertomografie	618	20.2.1	Komplikationen und Differenzialdiagnose	753
16.2.3	PET und PET-CT	620	20.2.2	Therapie	754
16.2.4	Arteriografie	623	20.3	Solide Variante der aneurysmatischen Knochenzyste	755
16.2.5	Myelografie	624	20.4	Riesenzelltumor	756
16.2.6	Magnetresonanztomografie	624	20.4.1	Differenzialdiagnose	759
16.2.7	Skelettszintigrafie	628	20.4.2	Komplikationen und Therapie	759
16.2.8	Interventionelle Verfahren	630	20.5	Fibrokartilaginäres Mesenchymom	761
16.3	Tumoren und tumorähnliche Knochenveränderungen	630			
16.3.1	Diagnostik	630			
16.3.2	Vorgehen	644			
16.4	Weichteiltumoren	649			
	Merkmale für die Praxis	656			

20.6	Hämangiom	762	<b>23</b>	<b>Tumoren und tumorartige Läsionen (Tumor-like Lesions) der Gelenke</b>	865
20.6.1	Differenzialdiagnose	770	23.1	Benigne Läsionen	865
20.6.2	Therapie	770	23.1.1	Synoviale (Osteo-)Chondromatose	865
20.7	Intraossäres Lipom	770	23.1.2	Synovialitis pigmentosa villonodularis	871
20.8	<b>Nichtneoplastische Veränderungen, die Tumoren vortäuschen</b>	774	23.1.3	Synoviales Hämangiom	874
20.8.1	Intraossäres Ganglion	774	23.1.4	Lipoma arborescens	875
20.8.2	„Brauner Tumor“ beim Hyperparathyreoidismus	774	23.2	<b>Maligne Läsionen</b>	877
20.8.3	Langerhans-Zell-Histiozytose (eosinophiles Granulom)	775	23.2.1	Synoviales Sarkom	877
20.8.4	Morbus Erdheim-Chester (Lipogranulomatose)	779	23.2.2	Synoviales Chondrosarkom	881
20.8.5	Knochenmarkinfarkt	779	23.2.3	Maligne Synovialitis pigmentosa villonodularis	883
20.8.6	Myositis ossificans	780	23.2.4	Intraartikuläres Liposarkom	883
	Merkpunkte für die Praxis	781		Merkpunkte für die Praxis	883
<b>21</b>	<b>Maligne Knochentumoren I: Osteosarkome und Chondrosarkome</b>	785	<b>V</b>	<b>Infektionen</b>	
21.1	Osteosarkome	785	<b>24</b>	<b>Radiologische Beurteilung von Muskel- und Skeletinfektionen</b>	889
21.1.1	Primäre Osteosarkome	787	24.1	Infektionen des Muskel- und Skelettsystems	889
21.1.2	Sekundäre Osteosarkome	809	24.1.1	Osteomyelitis	889
21.2	Chondrosarkome	809	24.1.2	Infektiöse Arthritis	889
21.2.1	Primäre Chondrosarkome	811	24.1.3	Zellulitis/Phlegmone	891
21.2.2	Sekundäre Chondrosarkome	819	24.1.4	Infektionen der Wirbelsäule	891
	Merkpunkte für die Praxis	820	24.2	Radiologische Beurteilung von Infektionen	891
<b>22</b>	<b>Maligne Knochentumoren II: diverse andere Tumoren</b>	827	24.2.1	Konventionelle Röntgendiagnostik und Arthrografie	891
22.1	Fibrosarkom und malignes fibröses Histiozytom	827	24.2.2	Radionuklidbildgebung	893
22.1.1	Differenzialdiagnose	829	24.2.3	Angiografie, Myelografie, Fistulografie und Sonografie	894
22.1.2	Komplikationen und Therapie	829	24.2.4	Magnetresonanztomografie (MRT)	894
22.2	Ewing-Sarkom	829	24.2.5	Invasive Verfahren	897
22.2.1	Differenzialdiagnose	833	24.3	Behandlungs- und Komplikationsüberwachung bei Infektionen	897
22.2.2	Therapie	833		Merkpunkte für die Praxis	899
22.3	Lymphom des Knochens	834	<b>25</b>	<b>Osteomyelitis, infektiöse Arthritis und Weichteilinfektionen</b>	901
22.3.1	Differenzialdiagnose	839	25.1	Osteomyelitis	901
22.3.2	Therapie	839	25.1.1	Eitrige Knocheninfektionen	901
22.4	Myelom (Morbus Kahler)	840	25.1.2	Nichteitrige Knocheninfektionen	906
22.4.1	Differenzialdiagnose	843	25.1.3	Differenzialdiagnose der Osteomyelitis	909
22.4.2	Komplikationen und Therapie	843	25.2	Infektiöse Arthritis	911
22.5	Adamantinom	843	25.2.1	Eitrige (pyogene) Arthritis	912
22.5.1	Therapie	845	25.2.2	Nichteitrige Gelenkinfektionen	913
22.6	Chordom	845	25.3	Infektionen der Wirbelsäule	917
22.6.1	Komplikationen und Therapie	847	25.3.1	Eitrige Infektionen	917
22.7	Primäres Leiomyosarkom des Knochens	847	25.3.2	Nichteitrige Infektionen	921
22.8	Hämangioendotheliom und Angiosarkom	847	25.3.3	Weichteilinfektionen	922
22.9	Benigne Veränderungen mit Malignisierungspotenzial	849		Merkpunkte für die Praxis	926
22.9.1	Knochenmarkinfarkt	849			
22.9.2	Chronisch sezernierende Fistel bei Osteomyelitis	849			
22.9.3	Plexiforme Neurofibromatose	849			
22.9.4	Morbus Paget	850			
22.9.5	Strahleninduziertes Sarkom	850			
22.10	Skelettmetastasen	851			
22.10.1	Komplikationen	856			
	Merkpunkte für die Praxis	858			

<b>VI</b>	<b>Metabolische und endokrine Krankheiten</b>		
<b>26</b>	<b>Radiologische Beurteilung von metabolischen und endokrinen Störungen</b>	931	
26.1	Zusammensetzung und Bildung des Knochens	931	
26.2	Radiologische Beurteilung metabolischer und endokriner Störungen	932	
26.2.1	Radiologische bildgebende Verfahren	932	
26.2.2	Bildgebende Verfahren zur Messung der Mineraldichte des Knochens	936	
	Merkpunkte für die Praxis	941	
<b>27</b>	<b>Osteoporose, Rachitis und Osteomalazie</b>	943	
27.1	Osteoporose	943	
27.1.1	Generalisierte Osteoporose	945	
27.1.2	Umschriebene Osteoporose	947	
27.2	Rachitis und Osteomalazie	948	
27.2.1	Rachitis	949	
	Merkpunkte für die Praxis	954	
<b>28</b>	<b>Hyperparathyreoidismus (HPT)</b>	957	
28.1	Pathophysiologie	957	
28.2	Physiologie des Kalziumstoffwechsels	957	
28.3	Radiologische Untersuchung	958	
28.4	Komplikationen	963	
	Merkpunkte für die Praxis	963	
<b>29</b>	<b>Morbus Paget</b>	965	
29.1	Pathophysiologie	965	
29.2	Radiologische Beurteilung	966	
29.3	Differenzialdiagnose	973	
29.4	Komplikationen	975	
29.4.1	Pathologische Frakturen	975	
29.4.2	Degenerative Gelenkveränderungen	975	
29.4.3	Neurologische Komplikationen	977	
29.4.4	Neoplastische Komplikationen	978	
29.5	Orthopädische Betreuung	980	
	Merkpunkte für die Praxis	981	
<b>30</b>	<b>Verschiedene metabolische und endokrine Störungen</b>	983	
30.1	Familiäre idiopathische Hyperphosphatasie	983	
30.1.1	Radiologische Abklärung	983	
30.1.2	Differenzialdiagnose	983	
30.2	Akromegalie	983	
30.2.1	Radiologische Abklärung	986	
30.3	Morbus Gaucher	988	
30.3.1	Einteilung	988	
30.3.2	Radiologische Abklärung	988	
30.3.3	Komplikationen	990	
30.3.4	Therapie	990	
30.4	Tumorkalzinoze	991	
30.4.1	Pathophysiologie	991	
30.4.2	Radiologische Abklärung	991	
30.4.3	Therapie	991	
30.5	Hypothyreose	993	
30.5.1	Pathophysiologie	993	
30.5.2	Radiologische Abklärung	993	
30.5.3	Komplikationen	994	
30.6	Skorbut	994	
30.6.1	Pathophysiologie	994	
30.6.2	Radiologische Abklärung	995	
30.6.3	Differenzialdiagnose	995	
	Merkpunkte für die Praxis	996	
<b>VII</b>	<b>Angeborene und entwicklungsbedingte Anomalien</b>		
<b>31</b>	<b>Radiologische Beurteilung von Skelettanomalien</b>	1001	
31.1	Einteilung	1001	
31.2	Radiologische bildgebende Verfahren	1001	
	Merkpunkte für die Praxis	1010	
<b>32</b>	<b>Anomalien der oberen und der unteren Extremität</b>	1015	
32.1	Anomalien des Schultergürtels und der oberen Extremität	1015	
32.1.1	Angeborener Skapulahochstand	1015	
32.1.2	Madelung-Deformität	1016	
32.2	Anomalien des Beckengürtels und der Hüfte	1018	
32.2.1	Angeborene Hüftluxation/Hüftdysplasie	1019	
32.2.2	Proximaler umschriebener Femurdefekt	1027	
32.2.3	Morbus Legg-Calvé-Perthes	1029	
32.2.4	Epiphysiolysis capitis femoris	1032	
32.3	Anomalien der unteren Extremität	1036	
32.3.1	Tibia vara congenita	1036	
32.3.2	Dysplasia epiphysealis hemimelica	1040	
32.3.3	Angeborener Klumpfuß (Pes equinovarus)	1041	
32.3.4	Angeborener Talus verticalis	1044	
32.3.5	Coalitio tarsi	1046	
	Merkpunkte für die Praxis	1050	
<b>33</b>	<b>Skoliose und Anomalien mit generalisierter Beteiligung des Skeletts</b>	1055	
33.1	Skoliose	1055	
33.1.1	Idiopathische Skoliose	1055	
33.1.2	Angeborene Skoliose	1056	
33.1.3	Verschiedene Skoliosen	1056	
33.1.4	Radiologische Beurteilung	1057	
33.1.5	Therapie	1060	
33.2	Anomalien mit generalisierter Beteiligung des Skeletts	1062	
33.2.1	Neurofibromatose	1062	
33.2.2	Osteogenesis imperfecta	1064	
33.2.3	Achondroplasia	1071	
33.2.4	Mukopolysaccharidosen	1073	
33.2.5	Fibrodysplasia ossificans progressiva (Myositis ossificans progressiva)	1075	
33.2.6	Sklerosierende Skelettdysplasien	1076	
	Merkpunkte für die Praxis	1093	
	<b>Register</b>	1099	

## 2

# Bildgebende Verfahren in der Skelettradiologie

## 2.1 Wahl des bildgebenden Verfahrens

Dieses Kapitel beschreibt die Grundsätze und die Grenzen der derzeitigen bildgebenden Verfahren. Hierbei ist es von äußerster Wichtigkeit, dass man die Grundlagen der verschiedenen Modalitäten, die für die Diagnostik vieler häufig vorgefundener Erkrankungen von Knochen und Gelenken bereitstehen, auch versteht. Dies kann einem helfen, die wirksamste radiologische Technik festzulegen und die Kosten der Untersuchung wie auch die Strahlenbelastung des Patienten möglichst gering zu halten. Für dieses Ziel ist es ferner wichtig, das jeweils geeignete Verfahren für bestimmte Typen von Skelettanomalien auszuwählen und beim Einsatz konventioneller Techniken (insbesondere der Übersichtsaufnahmen) auch mit den Einstellungen und den Techniken vertraut zu sein, die die jeweilige Anomalie am besten darstellen. Daneben ist es wichtig, sich immer wieder vor Augen zu halten, dass die Übersichtsaufnahmen die wirksamste Methode sind, eine Anomalie von Knochen und Gelenken nachzuweisen.

Der Einsatz der radiologischen Techniken unterscheidet sich, je nachdem ob man das Vorliegen, den Typ und die Ausdehnung diverser Knochen-, Gelenk- oder Weichteilerkrankungen beurteilt, weshalb sowohl der Radiologe als auch der Kliniker die Indikationen zum Einsatz einer jeden Technik, die Grenzen einer bestimmten Methode und die geeigneten Ansätze der Bildgebung von Anomalien an bestimmten Orten kennen müssen. Häufig stellen Radiologen in gleicher Weise wie die Operateure die Frage: „Welches Verfahren soll ich für dieses spezielle Problem wählen?“ Auch wenn zahlreiche Algorithmen für die Abklärung verschiedener Fragestellungen an unterschiedlichen anatomischen Stellen zur Verfügung stehen, lässt sich die Antwort nicht immer klar geben. Die Wahl der Techniken zur Abbildung von Knochen- und Weichteilanomalien diktiert nicht nur das klinische Bild, sondern auch die verfügbare Geräteausstattung, Erfahrung und Kosten. Auch die Bedürfnisse des Patienten können hier Einschränkungen auferlegen; so kann z. B. eine Allergie gegenüber ionischen oder nichtionischen jodhaltigen Kontrastmitteln eine Arthrografie ausschließen; ein implantierter Herzschrittmacher verbietet dann eine magnetresonanztomografische Untersuchung (MRT); physiologische Zustände wie die Schwangerschaft lassen den Einsatz ionisierender Strahlung unangebracht erscheinen und dann z. B. die Sonografie angeraten sein. Eine Abwägung von Zeit- und Kostenaufwand sollte überflüssige Untersuchungen ausscheiden lassen.

Unabhängig davon, welcher Hilfstechniken man sich bedient, sollten Übersichtsaufnahmen zum Vergleich zur Verfügung stehen. Am häufigsten wird die Wahl der bildgebenden Technik durch die Art der vermuteten Anomalie diktiert; geht man z. B. anhand der Röntgenübersichtsaufnahmen von einer Osteonekrose aus, sollte die nächste Untersuchung die Magnetresonanztomografie sein, die, lange schon bevor Übersichten, Tomografie, Computertomografie (CT) oder Szintigrafie positiv werden, nekrotische Veränderungen in den langen Röhrenknochen nachweist. Bei

der Abklärung von Störungen der Knieinnenstrukturen sollte man zunächst Übersichtsaufnahmen anfertigen und bei fehlendem Nachweis von Anomalien wiederum die MRT nachfolgen lassen, da dieses Verfahren eine hervorragende Kontrastauflösung von Knochenmark, Gelenkknorpeln, Bändern, Menisken und Weichteilen bietet. Derzeit sind MRT und MR-Arthrografie (MRa) die aussagestärksten Verfahren zur Abklärung von Schäden der Rotatorenmanschette, insbesondere beim Nachweis einer partiellen oder kompletten Ruptur. Es kann zwar auch die Sonografie eine Rotatorenmanschettenruptur aufdecken, doch machen deren geringere Sensitivität (68 %) und Spezifität (75–84 %) sie weniger definitiv. Bei Schmerzen der Handwurzel sollten in der Abklärung Übersichtsaufnahmen den verfeinerten Techniken wie CT-Arthrografie (Arthro-CT) oder MRT vorangehen. Vermutet man einen Riss des Fibrocartilago-triangularis-Komplexes, einen Riss intrakarpaler Bänder, ein Karpaltunnelsyndrom, dann ist die MRT zu bevorzugen, da sie hohe Kontrastunterschiede zwischen Muskeln, Sehnen, Bändern und Nerven liefert. Ganz ähnlich ist die MRT die Methode der Wahl, wenn man eine Osteonekrose von Karpalia vermutet und die Übersichten unauffällig sind, da man mit der MRT diese dann auch nachweist. Bei der Beurteilung von Frakturen und der Frakturheilung von Handwurzelknochen ist die CT, noch vor der MRT, die Methode der Wahl, weil sie eine bessere räumliche Auflösung bietet. Bei der Abklärung von Knochentumoren bleiben Röntgenaufnahmen hinsichtlich der Diagnosestellung der goldene Standard; um jedoch die Ausdehnung des Tumors im Knochen selbst und in die Weichteile zu beurteilen, sollten CT und MRT folgen, wobei Letztere deutlich genauer ist. Für die Verlaufskontrolle von Strahlen- und Chemotherapie maligner Tumoren ist die dynamische MRT mit Gadopentetat-Dimeglumin (Gd-DPTA) als Kontrastmittel der Szintigrafie, der CT und auch der nativen MRT hoch überlegen.

## 2.2 Bildgebende Verfahren

### 2.2.1 Röntgenübersichtsaufnahmen

Meistverwendete Modalität zur Beurteilung von Knochen- und Gelenkkrankheiten und besonders von Verletzungszuständen ist die Röntgennativdiagnostik. Der Radiologe sollte mindestens zwei Übersichten des betroffenen Knochens anfertigen lassen, die zueinander senkrecht projiziert werden und jeweils beide Nachbar-gelenke mit einschließen (➤ Abb. 4.1). Dies mindert das Risiko, dass man eine begleitende Fraktur, Subluxation und/oder Luxation fern der offensichtlichen Verletzungsstelle übersieht. Bei Kindern ist die Anfertigung einer Aufnahme der gesunden unverletzten Gliedmaße zu Vergleichszwecken oft erforderlich. In der Regel umfassen die Standardaufnahmen eine im anterior-posterioren und eine im seitlichen Strahlengang; manchmal sind auch Schräg- und Spezialaufnahmen nötig, besonders wenn man komplexe

Strukturen wie Ellbogen, Hand- und Sprunggelenk sowie Becken untersucht. Eine Aufnahme unter Belastung mit dem Körpergewicht kann für die dynamische Beurteilung des Gelenkspalts unter dem Körpergewicht von Nutzen sein (> Abb. 13.16). Manchmal können Spezialeinstellungen, wie sie die folgenden Kapitel beschreiben, erforderlich sein, will man eine Anomalie von Knochen oder Gelenken besser abklären.

Im letzten Jahrzehnt hat an den meisten Instituten die digitale Radiografie die konventionelle Blattfilmtechnik abgelöst; sie ermöglicht die direkte Akquisition eines digitalen Bilds, das man in ein elektronisches Bildarchivierungs- und Kommunikationssystem (PACS) übertragen kann (siehe die Diskussion im folgenden Text).

### 2.2.2 Vergrößerungsaufnahmen

Gelegentlich verwendet man die Vergrößerungstechnik, um knöcherner Details besser herauszuarbeiten, die in den Standardübersichten nicht gut beurteilbar sind, und um die diagnostische Information zu maximieren, die man aus einem Röntgenbild ableiten kann. Diese Technik erfordert eine Röntgenröhre mit kleinem Fokus, ein spezielles Film-Folien-System und einen vergrößerten Objekt-Film-Abstand, der zu einer geometrischen Vergrößerung führt, die Bilder von Knochen und Gelenken mit einer höheren Schärfe und mehr knöchernen Details bewirkt. Besonders leistungsstark war diese Methode beim Nachweis von Frühveränderungen bei manchen Arthritiden wie auch bei diversen metabolischen Störungen (vgl. > Abb. 26.9B). Manchmal zeigt sie sich auch beim Nachweis subtiler Frakturlinien als nützlich, die man auf den Routineaufnahmen nicht erkennt. Die digitale Bildgebung hat die konventionelle Röntgendiagnostik weitgehend abgelöst, da die Bilder am häufigsten in einer PACS-Workstation betrachtet werden, die auch Bildbearbeitung erlaubt (Wechsel von Kontrast und Ausrichtung, Wahl der Vergrößerung, Messungen von Abständen und Winkeln und vieles mehr), was die Verwendung der Vergrößerungsradiografie obsolet macht.

### 2.2.3 Gehaltene Aufnahmen

Gehaltene Aufnahmen, Belastungs- oder Stressaufnahmen sind bei der Beurteilung von Bänderrissen und der Gelenkstabilität wichtig. An der Hand kann man eine Abduktionsstressaufnahme des Daumens vornehmen, wenn man einen „Torhüterdaumen“ infolge einer Zerreißen des ulnaren Längsbandes des Daumengrundgelenks vermutet (vgl. > Abb. 7.109B); an der unteren Gliedmaße setzt man oft gehaltene Aufnahmen von Knie- und Sprunggelenk ein. Die Beurteilung einer Kniegelenkinstabilität durch Bandverletzungen kann den Einsatz dieser Methode dann erfordern, wenn man einen Riss des inneren Längsbandes vermutet, seltener auch bei der Begutachtung einer Insuffizienz des vorderen und hinteren Kreuzbandes. Auch die Abklärung von Sprunggelenkverletzungen macht gehaltene Aufnahmen erforderlich. Hier sind Inversions-(Adduktions-)Belastung und die Provokation des Talusvorschubs die am häufigsten verwendeten Stressaufnahmen (vgl. > Abb. 4.5, > Abb. 10.10 u. > Abb. 10.11).

### 2.2.4 Scanografie

Die Scanografie ist eine weitverbreitete Methode zur Längenbestimmung von Gliedmaßen. Diese Technik erfordert eine spaltförmige Blende mit einer Öffnung von ca. 1,5 mm Breite, die am Röhrengehäuse befestigt wird, und ferner eine lange Filmkassette. Die Röntgenröhre bewegt sich parallel zur Längsachse des Untersuchungstisches. Während der Belichtung überstreicht die Röhre die gesamte Kassettenlänge und bildet dabei die Extremität vollständig ab. Bei dieser Technik verläuft das Röntgenstrahlenbündel senkrecht zu den Knochenenden, weshalb die Gliedmaßenlängen im direkten Vergleich bestimmbar sind. Steht keine motorisch angetriebene Röhre zur Verfügung, so kann man zu einer Modifikation dieser Technik greifen, wobei man getrennt Aufnahmen über Hüft-, Knie- und Sprunggelenk anfertigt; dabei legt man ein schattengebendes Maßband in Längsrichtung in die Tischmitte. Gelegentlich fertigt man auch eine Orthoröntgenografie an; zu dieser Technik liegt der Patient auf dem Rücken. Seine Beine lagern auf einer 90-cm- oder 100-cm-Kassette, seitlich davon ist ein Maßstab angebracht. Um beide Beine und das Maßband abzubilden, wird eine einzige, auf das Knie zentrierte Aufnahme angefertigt.

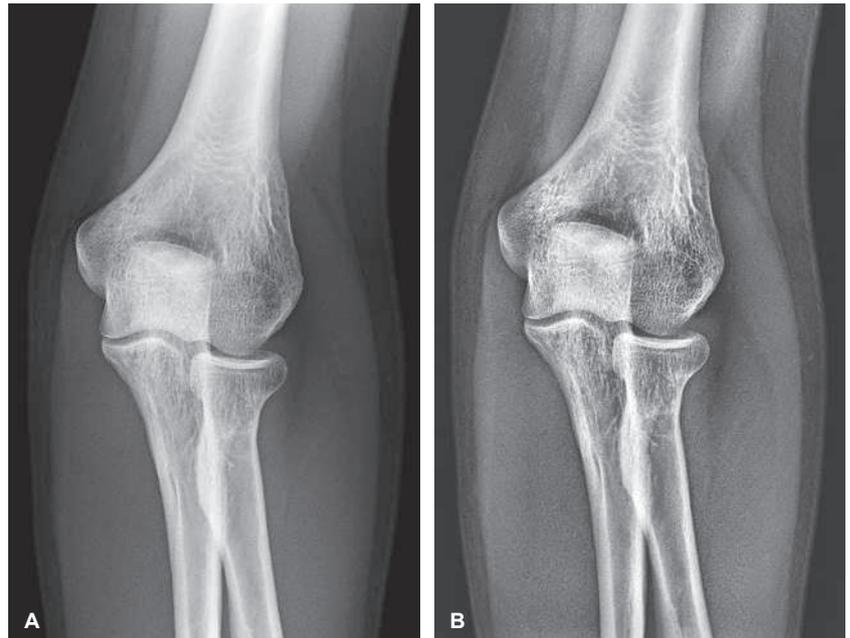
Diese Technik lässt sich durch ein digitales Scanogramm mittels eines CT-Gerätes ersetzen. Während der Patient auf dem CT-Tisch liegt, rotiert die Röhre während der Tischbewegung und liefert eine digitale Abbildung der Extremitäten. Man kann die Extremitäten dann entweder an der CT-Konsole oder in einer PACS-Workstation vermessen.

### 2.2.5 Durchleuchtung und Videoaufzeichnung

Die Durchleuchtung ist ein fundamentales diagnostisches Werkzeug für viele radiologische Verfahren, einschließlich Arthrografie, Tenografie, Bursografie, Arteriografie und perkutane Knochen- oder Weichteilbiopsie. In Kombination mit der Videoaufzeichnung hilft sie bei der Beurteilung der Gelenkkinetik; doch wird sie wegen ihrer hohen Strahlenbelastung nur gelegentlich eingesetzt, z. B. bei der Beurteilung der Bewegungsabläufe verschiedener Gelenke oder zum Nachweis temporärer Luxationen (z. B. karpale Instabilität; vgl. > Abb. 7.89). Manchmal verwendet man sie nach Frakturen bei Kontrolluntersuchungen der Bruchheilung, um die Solidität der knöchernen Heilung zu beurteilen. Ferner ist sie immer noch Bestandteil der Myelografie, bei der es wichtig ist, die Bewegung der Kontrastmittelsäule im Subarachnoidalraum zu beobachten, ferner bei der Arthrografie zur Kontrolle der korrekten Nadellage und der Kontrastmittelverteilung und schließlich intraoperativ für die Kontrolle einer Bruchreposition oder der korrekten Lage eingebrachter Fremdkörper/Implantate.

### 2.2.6 Digitale Radiografie

Als digitale (computerisierte) Radiografie (DR oder CR) bezeichnet man den Prozess der digitalen Bildakquisition unter Verwendung eines Röntgenstrahlendetektors, der aus einer lichtstimulierbaren Phosphorbildspeicherfolie und einem Lese-Schreib-System besteht, das die latente Bildinformation für die nachfolgende Helligkeitsskalierung und den Laserausdruck auf einem Röntgenfilm bearbeitet (> Abb. 2.1). Das System arbeitet nach dem Prinzip der lichtstimulierten Lumineszenz. Wenn die Speicherfolie Röntgenstrahlen absorbiert, wird die Energie des Röntgenstrahls durch



**Abb. 2.1 Digitale Radiografie.** Digitale Radiografie der Hand ohne **A** und mit **B** Kantenverstärkung. Man nimmt hierin die Details von Knochen und Weichteilen besser als in den herkömmlichen Röntgenaufnahmen wahr.

den Vorgang der Fluoreszenz in Lichtenergie umgewandelt, wobei die Energie des Lichts proportional zu der vom Phosphor absorbierten Energie ist. Das stimulierte Licht verwendet man dann, um damit ein digitales Bild zu erstellen (ein computerisiertes Röntgenbild).

Einer der wichtigeren Vorteile der computerisierten Radiografie gegenüber der konventionellen Film-Folien-Röntgenaufnahme besteht darin, dass die einmal aufgenommenen digitalen Bilddaten leicht manipuliert und alternativ ausgegeben werden können. Potenzielle Vorteile der Digitalisierung sind Optimierung von Kontrast und Helligkeit durch die Veränderung der Fensterbreite und des Helligkeitszentrums sowie eine Vielfalt von Bildverarbeitungsmöglichkeiten, der Quantifizierung der Bildinformation und der Erleichterung von Speicherung/Archivierung und des Bildabrufes. Ferner kann man damit Energiesubtraktionsbildgebung betreiben (auch *Dual Energy Subtraction* genannt): Zwei nacheinander oder aber gleichzeitig mit unterschiedlicher Filterung aufgenommene Bilder werden dazu verwendet, ein alleiniges Weichteilbild oder ein alleiniges Knochenbild zu rekonstruieren.

Bei der digitalen Radiografie sind der Bildverstärker-Durchleuchtungseinheit ein Videoprozessor und eine optische Speicherplatte beigefügt, die die zeitgleiche Betrachtung von Subtraktionsbildern erlauben. Am weitesten verbreitet ist diese Technik in der Diagnostik des Gefäßsystems, einsetzbar ist sie aber auch zur Beurteilung verschiedener Gelenke im Rahmen der Arthrografie. Der Einsatz qualitativ hochwertiger Videokameras mit geringerer Rauschcharakteristik ermöglicht Videoeinzelbilder vor und nach Kontrastmitteldgabe zum Zweck der Subtraktion. Maximieren kann man die räumliche Auflösung durch eine Kombination von geometrischer und elektronischer Vergrößerung sowie eine geringe Distanz zwischen Anode und Zielobjekt. Die Subtraktionstechnik lässt die anatomischen Umgebungsstrukturen verschwinden und stellt isoliert das mit Kontrastmittel angefärbte Gefäß oder Gelenk dar, wodurch es deutlicher in Erscheinung tritt.

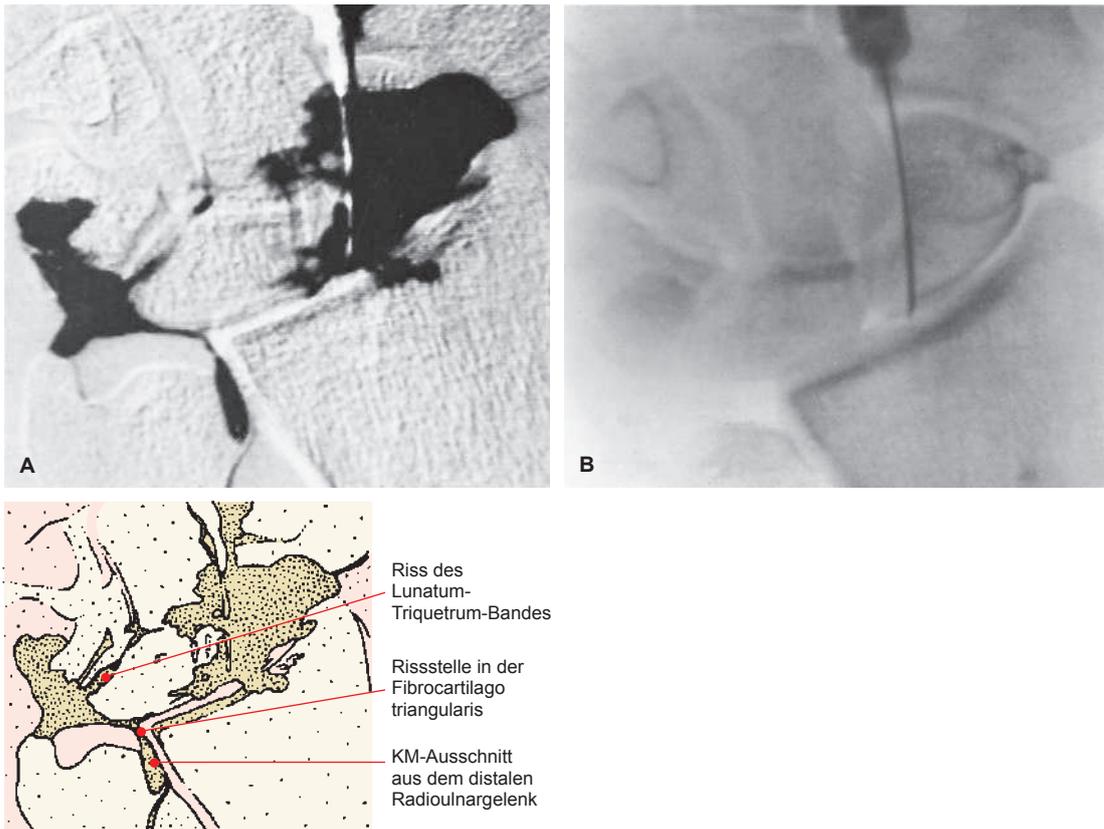
Die nichtvaskuläre digitale Radiografie kann man einsetzen, um verschiedene Knochenanomalien zu beurteilen; kombiniert mit einer Kontrastmittelinjektion, wird sie *digitale Subtraktionsarthrotomografie* genannt (> Abb.2.2), mit der man subtile Gelenkanomalien wie Risse der Fibrocartilago triangularis oder der interkarpalen Bänder der Handwurzel abklärt, oder aber zur Stabi-

litätsprüfung eines prothetischen Knochen- oder Gelenkersatzes. Die digitale Radiografie bietet die möglichen Vorteile einer Verbesserung von Bildqualität und Kontrastanhebung sowie einer vergrößerten Belichtungsbreite, außerdem eine effiziente Speicherung, Wiederauffindbarkeit und Übertragbarkeit dieser Radiografien; digitale Bilder lassen sich auf Blattfilm oder einen Videomonitor überspielen. Wesentlicher Vorteil der Bilddigitalisierung ist die Möglichkeit, Daten bei niedrigem Rauschpegel und mit einem weiten Dynamikbereich zu erheben, der für eine Graustufenanalyse ähnlich der am Computertomografen geeignet ist.

Die digitale Subtraktionsangiografie (DSA), die meistverwendete Variante der digitalen Radiografie, lässt sich bei der Abklärung einer Verletzung, von Knochen- und Weichteiltumoren und ganz allgemein in der Gefäßdiagnostik einsetzen. Beim Extremitätentrauma dient die DSA dem sicheren Nachweis von arteriellem Verschluss, Pseudoaneurysma, arteriovenösen Fisteln und der Arterien durchtrennung (> Abb.2.3). Einige der Vorteile der DSA gegenüber der konventionellen Angiografie liegen darin, dass deren Bilder sofort zur Auswertung zur Verfügung stehen und viele wiederholte Projektionen anfertigbar sind. Die Knochensubtraktion hilft bei der klaren Abgrenzung von Gefäßstrukturen. Bei der Beurteilung von Knochen- und Weichteiltumoren ist die DSA ein aussagestarkes Hilfsmittel, die Gefäßversorgung eines Tumors aufzuzeigen.

### 2.2.7 Konventionelle Tomografie

Die Tomografie stellt schichtweise Körperanteile dar und ermöglicht die genauere Darstellung von Veränderungen, die zu klein sind, um in konventionellen Aufnahmen erkennbar zu sein, außerdem bildet sie anatomische Details ab, die von Umgebungsstrukturen überlagert sind. Prinzip ist die gegenläufige kontinuierliche Bewegung von Röhre und Filmkassette zueinander während der gesamten Belichtungsdauer, wobei die Drehachse in Höhe der interessierenden abzubildenden Schicht liegt. Durch die Verwischung der Strukturen ober- und unterhalb der untersuchten Region zeigt sich das Untersuchungsobjekt in der jeweiligen Schicht scharf abgebildet. Die jeweilige Schicht variiert in ihrer Stärke, abhängig davon, wie weit sich die Röhre bewegt: Je weiter sie sich bewegt oder je weiter der Kreisbogen der Röhre ist, desto schmaler



**Abb. 2.2 Digitale Subtraktionsarthrografie.** Das digitale Subtraktionsarthrogramm zeigt jeweils einen Riss des Bands zwischen Mondbein und Dreieckbein sowie der Fibrocartilago triangularis. **A** Dieses Bild entstand durch Subtraktion des digital vor der Injektion aufgenommenen Bildes **B** von der Aufnahme nach Injektion (Wiedergabe mit freundlicher Genehmigung von Dr. B. J. Manaster, Salt Lake City, Utah).



**Abb. 2.3 Digitale Subtraktionsangiografie. A, B** Digitales Röntgenbild und digitales Subtraktionsangiogramm eines 23 Jahre alten Mannes mit einer kompletten proximalen Unterschenkelfraktur; die Bilder zeigen den Abriss des 3. Poplitealarteriensegments.

wird die scharf abgebildete Schicht. Jüngst entwickelte Tomografiegeräte konnten das Bild genauer lokalisieren und trugen wesentlich dazu bei, dass man Veränderungen bis hin zu etwa einem Millimeter Durchmesser aufdecken konnte.

Die einfachste Tomografiebewegung ist die lineare, bei der sich Röhre und Kassette geradlinig gegeneinander bewegen, doch findet dieser Bewegungstyp in der Skelettdiagnostik nur wenig Anwendung, da er zu Streifen führt, die die Bildinterpretation häufig

stark beeinträchtigen. Die Auflösung in der Schichtebene wird viel besser, wenn die Verwischung unerwünschter Strukturen gleichförmiger verteilt ist, was aber eine multidirektionale Bewegung erfordert, wie z. B. bei der Zonografie oder der kreisförmigen Tomografie, bei der sich die Röhre auf einer Kreisbahn mit vorgegebenem Auslenkwinkel bewegt. Komplexere mehrdimensionale hypozykloide oder mehrfach spirale Bewegungen verlängern die Verwischungsstrecke und führen zu einer stärkeren Variation der Röntgenstrahlprojektion unter der Belichtung. Vorteilhafter sind diese komplexeren Bewegungsmuster insofern, als sie auch die Verwischung vergrößern und die schärfste Objektabbildung erreichen. Die dreifach spirale Tomografie war bei der Diagnostik und Aufarbeitung einer Vielzahl von Fragestellungen zu Knochen und Gelenken eine wichtige radiologische Technik (> Abb. 7.48C u. > Abb. 7.54B). Derzeit ist sie allerdings nahezu vollständig durch die CT abgelöst, auch wenn einige Forscher versuchen, diese Technik mit der sogenannten *Tomosynthese* bei Verdacht auf Kahnbeinfrakturen wiederzubeleben.

### 2.2.8 Computertomografie

Die Computertomografie (CT) ist ein bildgebendes Verfahren, das einen Röntgenstrahler, Detektoren und einen datenverarbeitenden Rechner enthält. Zu den wesentlichen Komponenten eines CT-Systems zählen die Gantry mit der darin kreisförmig rotierenden Röntgenröhre und den Bildsensoren (Detektoren), der Patientenlagerungstisch und eine datenverarbeitende Computereinheit. Der Patient liegt auf dem Tisch und wird in die Gantry eingefahren. Die Röntgenröhre rotiert 360° um den Patienten, gleichzeitig sammelt der Rechner die Daten und berechnet daraus ein axiales Bild oder die „Schicht“. Jedes Querschnittsbild repräsentiert dann eine Körperscheibe von 0,3–1,5 cm Stärke.

CT-Scanner neuerer Generation verwenden einen rotierenden Röntgenstrahlenfächer, einen fixierten Detektorenkranzring und einen vor den Detektoren liegenden Kollimator. Ein stark gebündelter Röntgenstrahl durchquert die abzubildende Schicht. Dabei absorbieren die Gewebe den Röntgenstrahl in Abhängigkeit von ihrer atomaren Ordnungszahl und der physikalischen Dichte des jeweiligen Gewebes unterschiedlich stark. Der verbleibende nicht-absorbierte (nicht mehr weiter geschwächte) Strahl gelangt in den Detektor und wird so vom Rechner verarbeitet. Die CT-Software verwandelt die Strahlabschwächungen durch das Gewebe in einen CT-Dichtewert (die Hounsfield-Einheiten, H. E.), indem sie diese mit der Schwächung durch Wasser vergleicht. Der *Schwächungswert* von Wasser wird als 0 (null) H. E. festgesetzt, der von Luft als –400 bis –1000 H. E., der von Fett als –60 bis –100 H. E., der von Körperflüssigkeit als +20 bis +30 H. E., der von Muskel als +40 bis +80 H. E., der von spongiösem Knochen als +100 bis +300 H. E. und der von normalem Rindenknochen als +1000 H. E. Routinemäßig erhält man Körperquerschnitte, kann jedoch auf Wunsch auch in vielen Ebenen Computerrekonstruktionen (Reformatierungen) erhalten.

Die Einführung der Spiral-CT-Technik war eine weitere Verbesserung der CT; diese als Volumendaten-Akquisition anzusehende CT ermöglicht ein System der Datensammlung unter kontinuierlicher Rotation der Röntgenröhre und der Detektoren. Diese Technik mindert die Scanzeiten bedeutsam und schaltet die Verzögerungen und damit auch die Objektbewegung zwischen den Einzelscans ab. Damit verringert sie Bewegungsartefakte, verbessert die Auflösung der untersuchten Strukturen und erleichtert die Er-

stellung dreidimensionaler Rekonstruktionen aus zahlreichen, sich überlappenden axialen Bildern, die während einer einzigen Atempause erhoben wurden. Die Spiral-CT ermöglicht die Datenakquisition während der Phase der stärksten Kontrastierung und optimiert damit den Nachweis einer Läsion. Das Datenvolumen kann man entweder in Form herkömmlicher axialer Schnittbilder oder als multiplanare bzw. dreidimensionale Reformatierung optisch darstellen.

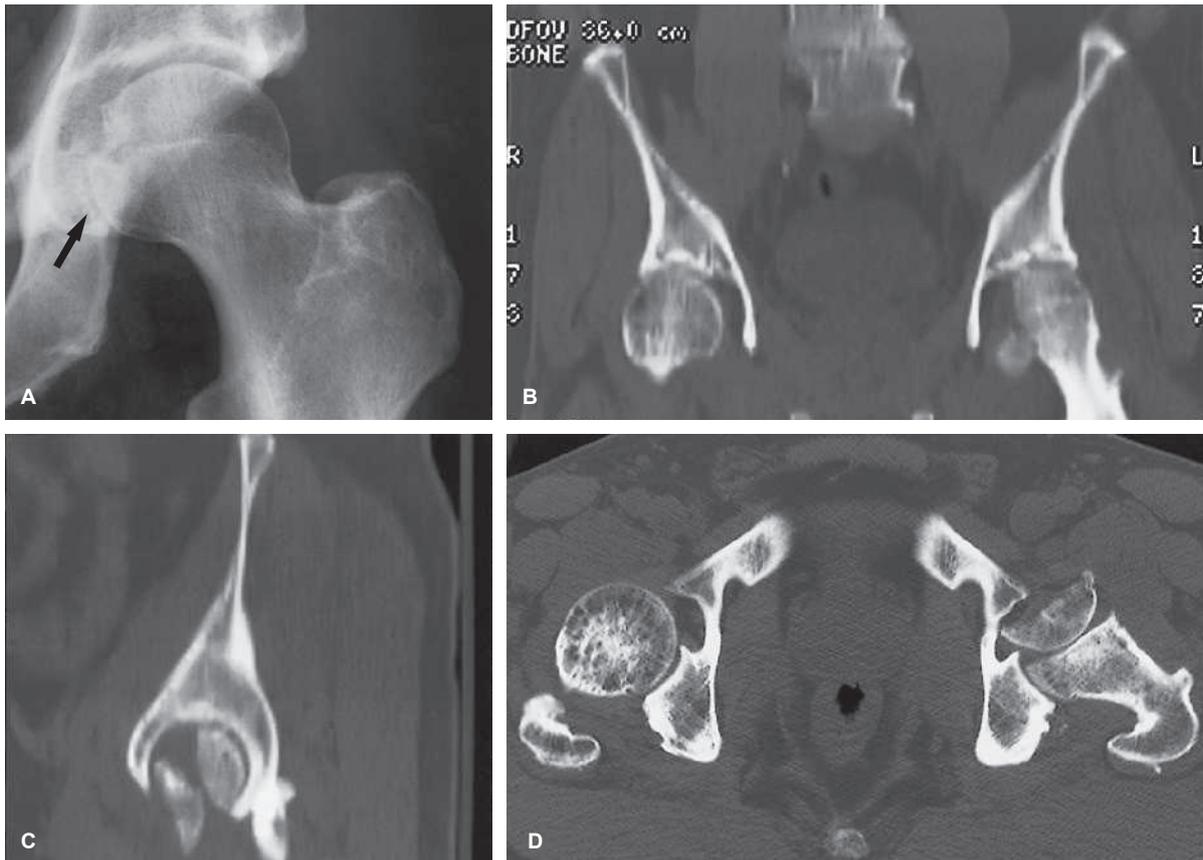
Unentbehrlich ist die CT wegen der mit ihr möglichen Querschnittsbilder bei vielen Verletzungsformen und bei den verschiedenen Knochen- und Weichtumoren. Beim Trauma liegt der sehr hohe Stellenwert der CT darin, dass sie Vorhandensein und Ausdehnung von Frakturen oder Subluxationen bestimmen kann, ferner dass man mit ihr diverse intraartikuläre Normabweichungen wie eine Schädigung des Gelenkknorpels oder das Vorliegen von unverkalkten oder verkalkten osteokartilaginären freien Körpern nachweisen und benachbarte Weichteile beurteilen kann. Besonders wichtig ist die CT bei der Suche nach kleinen Knochenfragmenten, die nach einer Verletzung im Gelenkspalt zu liegen gekommen sind, beim Nachweis kleiner dislozierter Fragmente einer Wirbelfraktur sowie bei der Bestimmung der Begleitverletzungen von Rückenmark und Rückenmarkshüllen. Vorteil der CT gegenüber der konventionellen Röntgendarstellung ist ihre Fähigkeit zur hervorragenden Kontrastauflösung, zur genauen Ausmessung der Schwächungskoeffizienten der einzelnen Gewebe und zur direkten Darstellung axialer Querschnittsbilder (> Abb. 2.4; vgl. > Abb. 11.25C, > Abb. 11.37B u. > Abb. 11.67B). Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit, anhand der Datensätze dünner kontinuierlicher Schichten den Knochen in der koronaren, sagittalen und schrägen Raumbene unter Verwendung von Reformatierungstechniken abzubilden. Von besonderem Nutzen ist diese



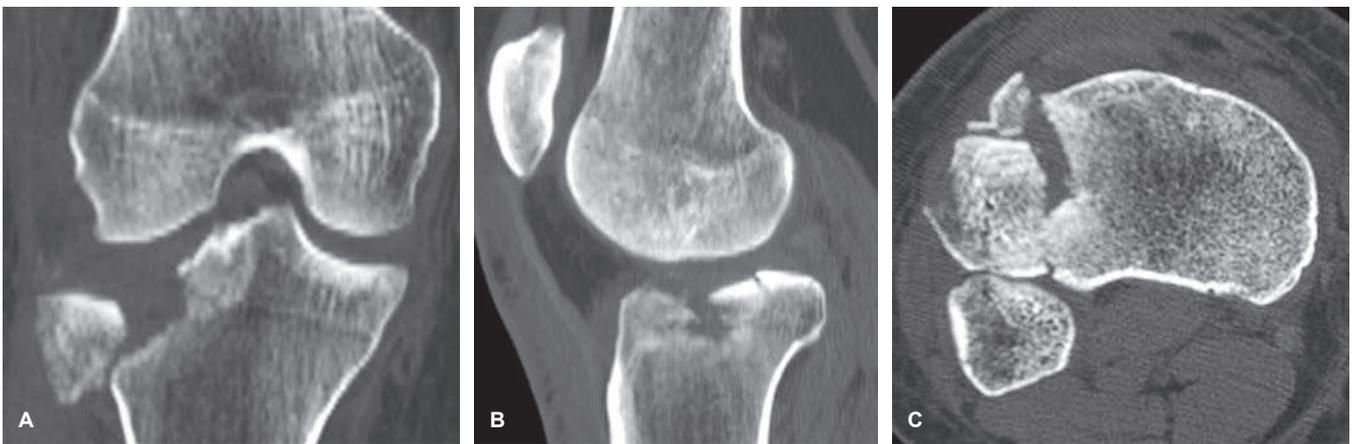
**Abb. 2.4 Axiales CT-Bild.** In diesem direkten axialen Bild sind die Sternoklavikulargelenke gut dargestellt.



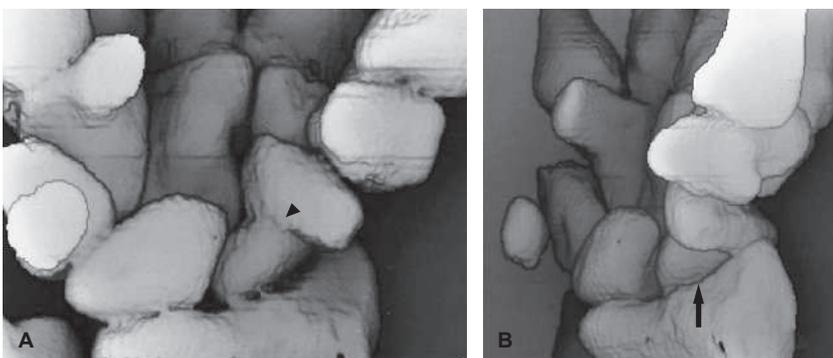
**Abb. 2.5 CT-Rekonstruktion.** Das sagittale Rekonstruktionsbild zeigt eine Flexions-Teardrop-Fraktur von HW5, ferner zeigt sie das gestörte Alignment der Wirbelkörper und den eingesenkten Spinalkanal.



**Abb. 2.6 Multiplanare CT-Rekonstruktion.** Der 62 Jahre alte Patient erlitt eine hintere Hüftluxation links. **A** Nach der Reposition zeigte die a.-p. Aufnahme der linken Hüfte einen medial verbreiterten Gelenkspalt und eine Konturstörung an der Innenseite des Femurkopfes. Zur weiteren Abklärung dieses Befunds erfolgte eine CT. **B, C** Koronare und sagittale Rekonstruktion ergaben eine bislang nicht vermutete Fraktur des Femurkopfes und das axiale CT-Bild **D** zeigte eine Drehung des medialen Femurkopffragments um 180°.



**Abb. 2.7 Multiplanare CT-Bildgebung.** Koronares **A**, sagittales **B** und axiales **C** CT-Bild des Kniees zeigen die Details einer komplexen Fraktur des lateralen Tibiaplateaus.



**Abb. 2.8 3-D-CT-Bildgebung.** Koronare **A** und schräge **B** 3-D-CT-Rekonstruktion der Handwurzel zeigen eine Fraktur durch die Kahnbeintaille, die durch eine Osteonekrose des proximalen Fragments kompliziert ist (Pfeil).

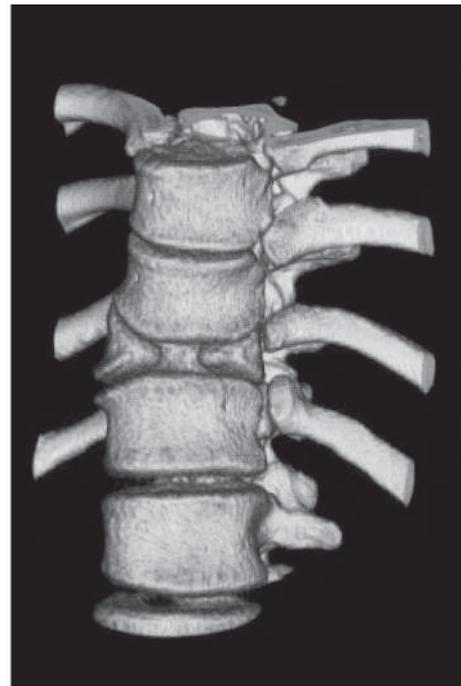


**Abb. 2.9 3-D-CT-Bildgebung.** Die 3-D-CT mit einem Oberflächenschattierungsalgorithmus (SSD) zeigt eine subkapitale Schenkelhalsfraktur mit Abknickung (Pfeil).



**Abb. 2.10 3-D-CT-Bildgebung.** Eine Fraktur durch das Collum chirurgicum des Humerus (langer Pfeil) und eine dislozierte Fraktur des Tuberculum maius (kurzer Pfeil) sind gut sichtbar.

multiplanare Rekonstruktion bei der Beurteilung der Wirbelanordnung (Alignment; > Abb. 2.5), die horizontale Wirbelkörperfrakturen ebenso nachweist wie komplexe Frakturen des Beckens, der Hüfte (> Abb. 2.6) und der Knie (> Abb. 2.7) oder bei der Beurteilung von pathologischen Veränderungen des Fersenbeins, aber auch des Kreuzbein und der Sakroiliakalgelenke, des Brustbeins und der Sternoklavikulargelenke sowie des Kiefergelenks



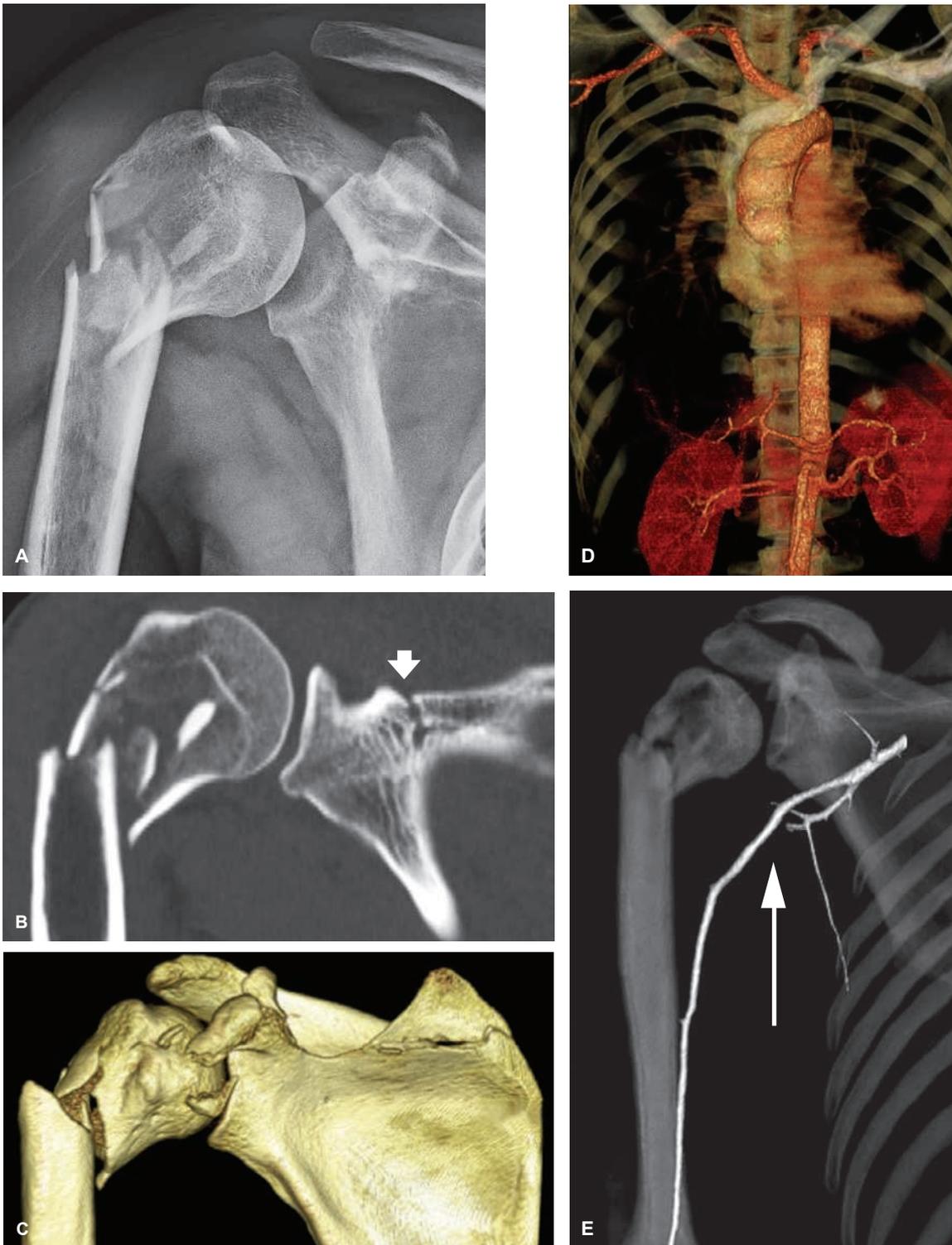
**Abb. 2.11 3-D-CT-Bildgebung.** Die 3-D-CT-Rekonstruktion der Brustwirbelsäule zeigt einen sagittalen Spalt mit einem ventralen Defekt von BWK11, das typische Bild eines angeborenen Schmetterlingswirbels.

und der Handgelenke. Moderne CT-Scanner haben einen scharf eingebündelten Fächerstrahl, der nur die jeweils darzustellende Gewebeschicht durchsetzt. Aktuelle Fortschritte der hoch entwickelten Software ermöglichen eine dreidimensionale Rekonstruktion, die bei der Analyse von Regionen mit einer komplexen Anatomie von Nutzen ist, wie z. B. von Gesichtsschädel, Becken, Wirbelsäule, Fuß, Sprunggelenk und Handwurzel (> Abb. 2.8, > Abb. 2.9, > Abb. 2.10 und > Abb. 2.11). Neuere Computersysteme ermöglichen heute die Herstellung von plastischen Modellen der jeweils interessierenden Region auf der Grundlage dieser dreidimensionalen Bilder. Solche Modelle vereinfachen die Operationsplanung und ermöglichen eine Simulation der Wiederherstellungschirurgie bei komplexen rekonstruktiven Eingriffen.

In den letzten Jahren ließen sich auch mit der Einführung der *Multichannel-Multidetektor-Reihen-CT* (MDCT) Bilder mit einer Gantry-Rotation im Subsekundenbereich erzeugen, die hochauflösende Datensätze erzielen und gleichzeitig die Strahlendosis des Patienten verringern. Noch weiter fortgeschritten ist die hochauflösende *Flat-Panel-Volume-CT* (fpVCT), die digitale Flachbilddetektoren verwendet und eine volumetrische Abdeckung wie auch extrem hohe räumliche Auflösung in zweidimensionaler (2-D) und in dreidimensionaler (3-D) Darstellung ermöglicht. Darüber hinaus vermindert sie Metall- und Strahlenaufhärtungsartefakte. Neben den bereits erwähnten Merkmalen gestattet die fpVCT auch die dynamische Bildgebung zeitabhängiger Vorgänge.

Bei der Bewertung traumatischer Veränderungen wird die 3-D-CT-Angiografie effizient eingesetzt, um das Vorliegen oder das Fehlen einer Gefäßverletzung nahe von Frakturorten von Knochen festzulegen (> Abb. 2.12 u. > Abb. 2.13).

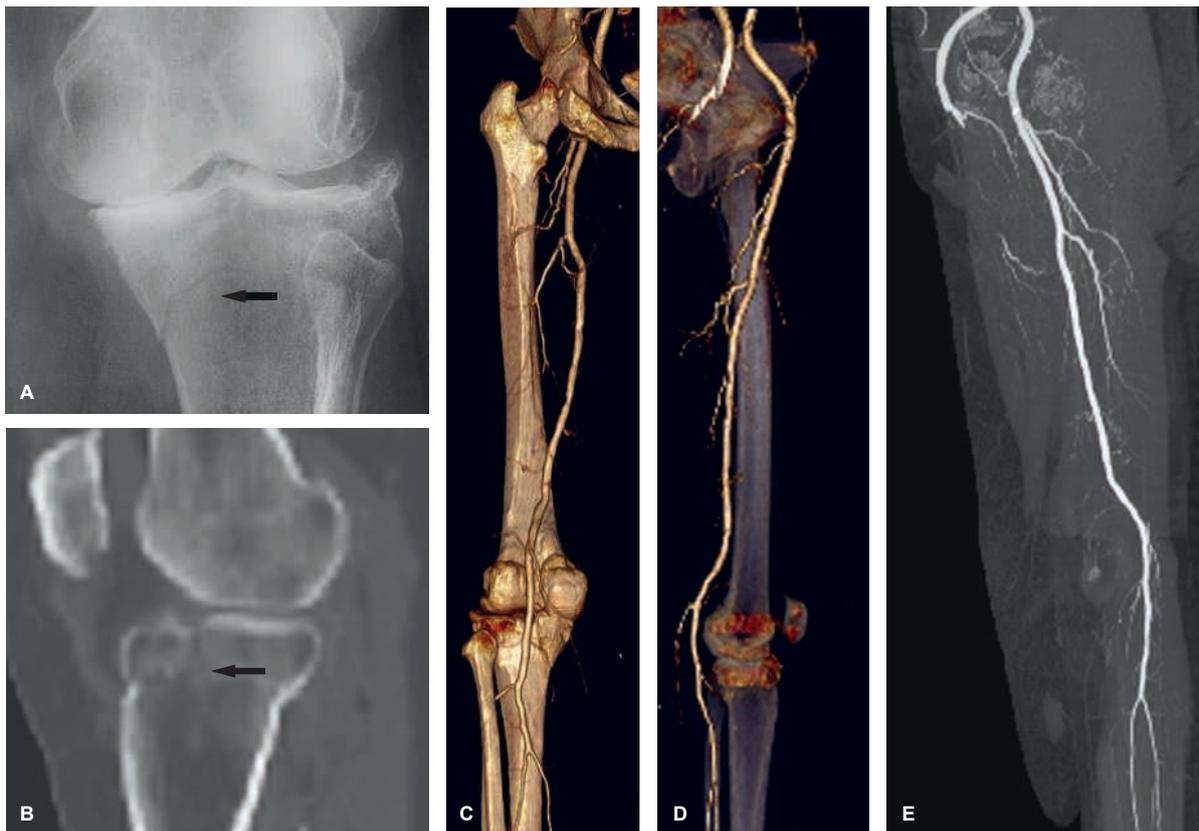
Dank ihrer überlegenen Kontrastauflösung und ihrer Fähigkeit einer exakten Messung der Gewebeschwächungskoeffizienten kommt der CT bei der Befundung von Knochen- und Weichteiltumoren eine bedeutende Rolle zu. Zwar hilft die CT nur selten, eine spezifische Diagnose zu stellen, jedoch kann sie präzise die Ausdehnung der Knochenläsion festlegen und einen Tumoreinbruch in die Kortikalis sowie die Beteiligung der umgebenden Weichteil-



**Abb. 2.12 3-D-CT-Angiografie.** Ein 52 Jahre alter Mann wurde von einem Fahrzeug angefahren und erlitt eine rechtsseitige Thorax- und Schulterverletzung. **A** Das Röntgenbild der rechten Schulter zeigt eine Fraktur des proximalen Humerus. **B** Die koronare CT-Rekonstruktion zeigt weitere Details der dislozierten Trümmerfraktur des Humerus und zusätzlich eine Fraktur des Margo superior der Scapula (*Pfeil*). Diese beiden Frakturen werden in der 3-D-CT-Rekonstruktion klar aufgezeigt. **C** Da klinisch eine Gefäßverletzung des Thorax und der rechten Schulter vermutet wurde, wurde eine 3-D-CT-Angiografie durchgeführt. **D** Die großen Thoraxgefäße waren intakt. **E** In der Sicht von vorn auf die rechte Schulter und den rechten Arm sieht man die Verlagerung der intakten Arteria axillaris und der proximalen Arteria brachialis (*Pfeil*) aufgrund eines großen Weichteilhämatoms.

gewebe nachweisen. Darüber hinaus ist die CT äußerst hilfreich bei der Abgrenzung eines Tumors in Knochen mit komplexem anatomischem Aufbau, wie z. B. Scapula, Becken und Kreuzbein, deren Darstellung mittels konventioneller radiologischer Techniken oder auch der konventionellen Tomografie schwierig sein kann. Von besonderem Wert ist die CT bei der Bestimmung von Ausdehnung und Infiltration eines Knochentumors, wenn man versucht, eine

Gliedmaße zu erhalten, damit man den Resektionsrand in sicher gesundem Gewebe planen kann (> Abb. 2.14). Sie kann die intraossäre Tumorausdehnung sowie die extraossäre Weichteilinfiltation von Muskeln und Gefäß-Nerven-Bündeln recht genau darstellen, ferner hilft sie bei der Therapiekontrolle sowie der Erfassung eines Rezidivs und zeigt auch die Wirkung einer nichtoperativen Behandlung wie Strahlen- und Chemotherapie auf.



**Abb. 2.13 3-D-CT-Angiografie.** Ein 68 Jahre alter Mann wurde bei einem Verkehrsunfall verletzt. **A** Das a.-p. Röntgenbild des rechten Knies und die sagittale CT-Rekonstruktion **B** zeigen eine Fraktur des medialen Tibiaplateaus (Pfeile). Beachte: fortgeschrittene Gonarthrose. Da klinisch eine Verletzung der poplitealen Gefäße vermutet wurde, wurde eine 3-D-CT-Angiografie durchgeführt. Die Ansichten von dorsal und lateral **C**, **D** zeigen eine intakte Arteria femoralis und Arteria poplitea, was dann auch durch eine Subtraktionsangiografie in koronarer Projektion bestätigt wurde **E**.

Je nach Bedarf verwendet man intravenös injizierte jodhaltige Kontrastmittel, die direkt den Kontrast durch vermehrte Röntgenstrahlenschwächung anheben und so die CT-Bilder „aufhellen“; damit können diese beim Nachweis einer suspekten Weichteilraumforderung helfen, wenn die anfänglichen CT-Bilder unauffällig waren, oder auch die Vaskularisation von Weichteil- und Knochenumoren festlegen.

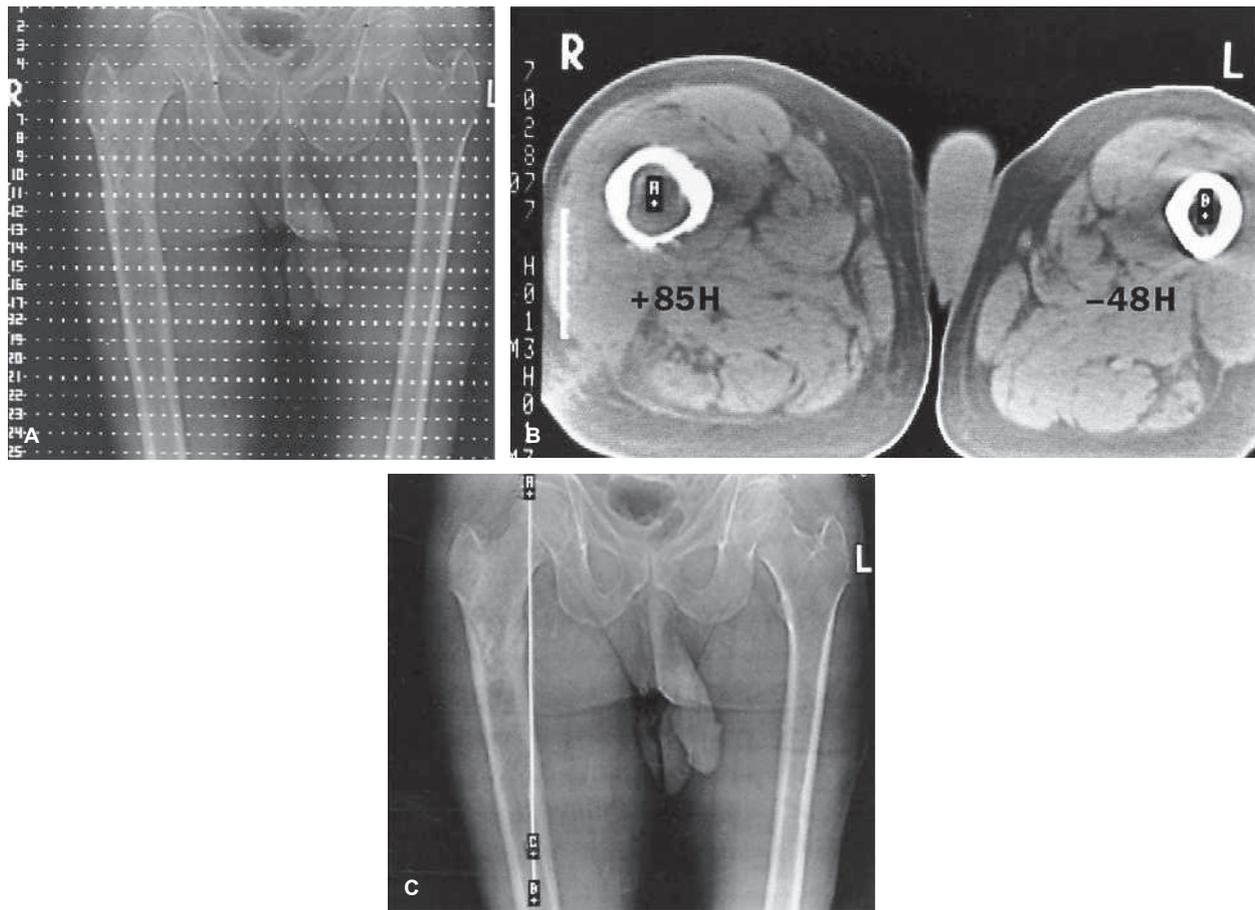
In den letzten Jahren richtet sich die Aufmerksamkeit auf den klinischen Einsatz der *Dual-Energy-CT* (DECT) zur Beurteilung der tophösen Gicht. Ein DECT-System ist mit zwei Röntgenröhren mit unterschiedlicher maximaler Röhrenspannung ausgestattet (80 und 100 kVp) und ermöglicht so die gleichzeitige Akquisition zweier Bildersätze der anatomischen Zielregion. Die materialspezifischen Unterschiede der Schwächung verschiedener Elemente ermöglichen die Bestimmung der chemischen Zusammensetzung des untersuchten Gewebes und so eine genaue unspezifische Charakterisierung und die Trennung von Mononatriumurat von kalziumhaltigen Mineralien. Die DECT-Daten liefern farbcodierte Querschnittsbilder der Herde mit einer Ansammlung von Uratkristallen (> Abb. 2.15; siehe auch > Abb. 12.10, > Abb. 12.11 u. > Abb. 12.27).

Die CT spielt bei der Mineralanalyse des Knochens eine herausragende Rolle; ihre Fähigkeit, den Schwächungskoeffizienten eines jeden Pixels zu bestimmen, liefert die Basis einer genauen quantitativen Knochenmineralanalyse von Spongiosa und Kortex. Die *quantitative CT* (QCT) ist eine Methode zur Messung des Mineralgehalts der Lendenwirbelsäule, bei der die durchschnittlichen Dichtewerte einer Region abgeglichen werden mit der eines Kalibrierungsmaterials, das gleichzeitig mit dem Patienten gescannt wird. Die Messungen werden mit einem CT-Gerät durchgeführt,

das einen Mineralienstandard für die gleichzeitige Kalibrierung und ein Übersichtsrontgenbild (Scout View oder Topogramm) zur Lokalisation verwendet (> Abb. 2.15). Die Messung der Knochenmasse verschafft uns wertvolle Einblicke, mit denen wir die Osteoporose sowie andere metabolische Knochenleiden besser beurteilen und behandeln können.

Ferner ist die CT ein sehr wichtiges bildgebendes Verfahren für die erfolgreiche Aspirations- oder Stanzbiopsie von Knochen- und Weichteilveränderungen, da sie unter Sicht eine exakt gesteuerte Nadelpplatzierung innerhalb der Läsion bietet (> Abb. 2.16).

Zu den wenigen Nachteilen der CT zählt der sog. Teilvolumeneffekt, der von der Inhomogenität in der Zusammensetzung kleiner Gewebevolumina herrührt; so führt die Messung mittels der Hounsfield-Werte zu Durchschnittszahlen für die verschiedenen Anteile eines Gewebes. Besonders wichtig wird dieser Teilvolumeneffekt, wenn normale und pathologische Prozesse innerhalb einer untersuchten Schicht interferieren. Weiterer Nachteil ist die ungenügende Gewebecharakterisierung. Trotz der Fähigkeit, Dichteunterschiede zu erfassen, erlaubt die schlichte Analyse der Schwächung noch keine genaue histologische Charakterisierung. Zudem verursacht die Patientenbewegung bildverschlechternde Artefakte; ganz ähnlich führen auch Metalle (z. B. Endoprothesen bzw. Stäbe, Schrauben etc.) zu erheblichen Bildartefakten, auch wenn in jüngerer Zeit mehrere verschiedene Akquisitions- und Rekonstruktionsparameter entwickelt worden sind, um die durch metallische Implantate bedingten Artefakte zu reduzieren. Ferner kann auch die Strahlenbelastung mitunter hoch sein, vor allem wenn während einer Untersuchung kontinuierliche und sich überlappende Schnitte erfolgen.



**Abb. 2.14 CT-Messung der Hounsfield-Werte.** Die Beurteilung der intraossären Ausbreitung eines Chondrosarkoms durch die CT ist wichtiger Bestandteil der radiologischen Abklärung, wenn es beim Patienten um die Erhaltung der Gliedmaße geht. **A** Es werden kontinuierliche Querschnittsbilder der gesunden und der erkrankten Gliedmaße angefertigt, vorzugsweise mit einer Schichtdicke von 1 cm. **B** Man misst die Hounsfield-Dichtewerte des Knochenmarks, um die Tumorausdehnung in der Markhöhle zu bestimmen. Ein Wert von +85 zeigt Tumor an; ein Wert von -48 ist für fetthaltiges Knochenmark normal. **C** Die Längenmessung erfolgt vom proximalen Gelenkende des Knochens **A** bis zu einem Punkt **B** 5 cm distal des Tumorendes. Punkt **C** entspricht dem am weitesten proximal gelegenen Schnitt, der noch Tumor in der Markhöhle enthält (aus Greenspan A. Tumors of cartilage origin. *Orthop Clin North Am* 1989; 20:347–366).

## 2.2.9 Arthrografie

Arthrografie ist die Einbringung eines Kontrastmittels („positives“: jodhaltiges Kontrastmittel, „negatives“: Luft oder eine Kombination aus beiden) in den Gelenkspalt. Trotz der Entwicklung neuerer bildgebender Verfahren wie CT und MRT behält die Arthrografie ihren Stellenwert in der täglichen radiologischen Praxis. Dabei beruht ihre zunehmende Beliebtheit teilweise auf Fortschritten in Technik und Interpretation. Dass sie technisch nicht schwierig und einfacher zu befunden ist als Sonografie, CT oder MRT, lässt sie zur Beurteilung verschiedener Gelenke wünschenswert erscheinen. Zwar lässt sich in praktisch jedes Gelenk Kontrastmittel einbringen, doch führt man derzeit diese Untersuchung am häufigsten an Schulter-, Hand-, Sprung- und Ellbogengelenk durch. Dabei sind vorherige Nativaufnahmen wichtig, da das Kontrastmittel manche Gelenkanomalien verdecken kann (z. B. freie Gelenkkörper), die in den Übersichten leicht zu sehen sind. Besonders leistungsstark ist die Arthrografie beim Nachweis der Rotatorenmanschettenruptur (> Abb. 2.17; vgl. auch > Abb. 5.63 u. > Abb. 5.64) und der Capsulitis adhaesiva der Schulter (vgl. > Abb. 5.87) sowie bei der Osteochondrosis dissecans, freien Gelenkkörpern und subtilen Gelenkknorpelanomalien des Ellbogengelenks (vgl. > Abb. 6.44). Am Handgelenk ist sie immer noch das beste Verfahren zur Beurteilung von Anomalien des Fibrocartilago-triangularis-Komplexes (> Abb. 2.18; vgl. > Abb. 7.30). Die Einführung der Injektion in die drei Komparti-

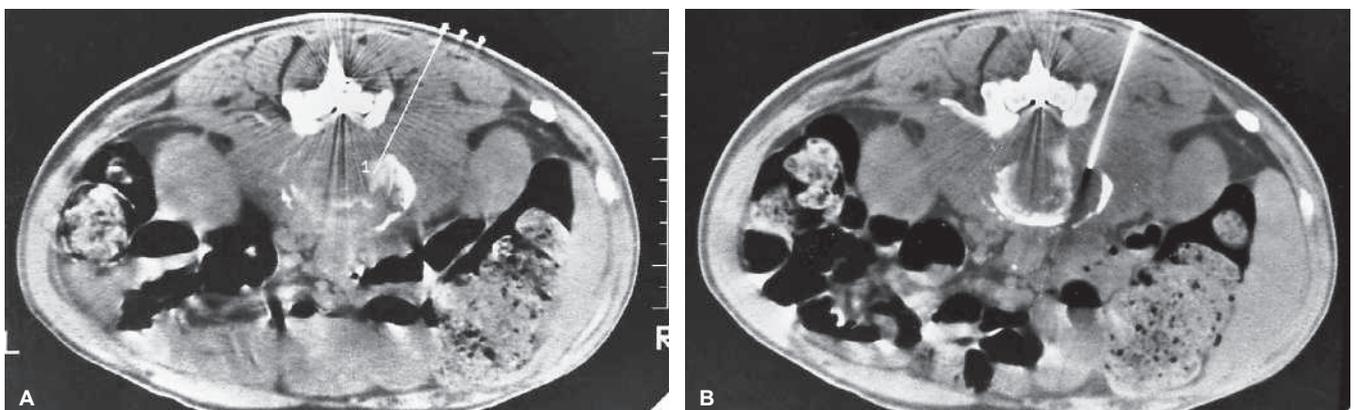
mente sowie die Kombination der Handgelenkarthrografie mit der digitalen Subtraktionsarthrografie (vgl. > Abb. 2.2) und der postarthrografischen CT und MRT machten diese Methode bei der Abklärung eines schmerzhaften Handgelenks sehr effizient.

Inzwischen wurde die Arthrografie des Knies weitgehend durch die MRT ersetzt, doch kann man sie immer noch zum Nachweis von Verletzungen der Weichteile, wie Gelenkkapsel, Menisken und verschiedenen Bändern, einsetzen (vgl. > Abb. 9.72). Ferner liefert sie wichtige Informationen zum Zustand des Gelenkknorpels, besonders beim Verdacht auf subtile Knorpel- oder Knorpel-Knochen-Frakturen, oder wenn das Vorliegen oder Fehlen freier Gelenkkörper zu sichern ist (vgl. > Abb. 9.59C).

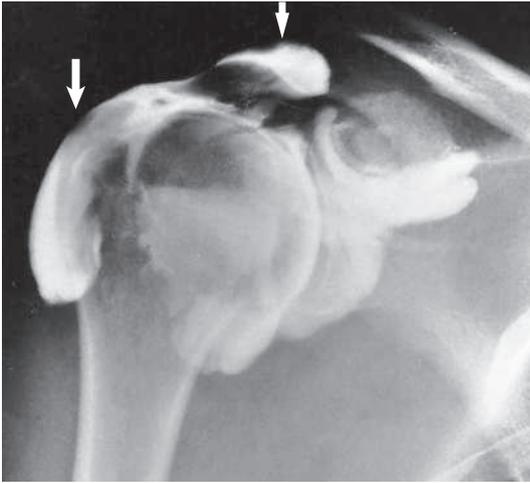
Bei der Untersuchung eines jeglichen Gelenks lässt sich die Arthrografie mit der Digitalisierung des Bildes (*digitale Subtraktionsarthrografie*; > Abb. 2.2), mit der CT (CT-Arthrografie; > Abb. 2.19) oder mit der MRT (MRa; > Abb. 2.20) kombinieren, was dann weitere Informationen liefert. Zuletzt wurde die innovative Technik der kombinierten *Cone-Beam-Computertomografie* (CBCT) bei der Arthrografie eingeführt, um Bänder- und Knorpelverletzungen zu untersuchen. Zwar befindet sich die Forschung noch in der Experimentalphase, doch sind erste Ergebnisse mit diesen bildgebenden Verfahren recht vielversprechend. Es gibt nur relativ wenige Kontraindikationen zur Arthrografie; selbst die Überempfindlichkeit auf Jod ist eine nur relative Kontraindikation, da man in diesem Falle eine Einfachkontrastdarstellung ausschließlich mit Luft durchführen kann.



**Abb. 2.15 DECT-CT bei tophöser Gicht.** **A** Die dorsopalmare Handgelenksaufnahme des 72 Jahre alten Mannes zeigt Erosionen von Os capitatum, Os scaphoideum und Os lunatum (Pfeile). Man sieht eine Arthrose des Gelenks zwischen Os trapezium/Os trapezoideum und Os scaphoideum (Pfeilspitze). **B** Darüber hinaus zeigt das koronare MRT-Bild Erosionen mehrerer Karpalia, eine Synovialitis des radiokarpalen und des mittkarpalen Gelenks. **C** Das sagittale farbcodierte DECT-CT-Bild zeigt vorhandene Uratkristalle (grün), die die Diagnose einer tophösen Gicht sichern. **D, E** Die 3-D-CT-Bilder zeigen die genaue anatomische Beziehung zwischen den Natriumurat enthaltenden Tophi (grün) und den Knochenstrukturen.



**Abb. 2.16 CT-gesteuerte Aspirationsbiopsie.** Aspirationsbiopsie bei Bandscheibeninfektion. **A** Messung von der Hautoberfläche zur Zielregion (Bandscheibe). **B** Die Nadel wird CT-gesteuert eingebracht und in der destrukturierenden Läsion platziert.



**Abb. 2.17 Schulterarthrografie.** Nach der Kontrastmittelinjektion in das Schultergelenk sieht man den Komplex aus Bursa subacromialis und Bursa subdeltoidea als Zeichen einer Rotatorenmanschettenruptur kontrastiert.

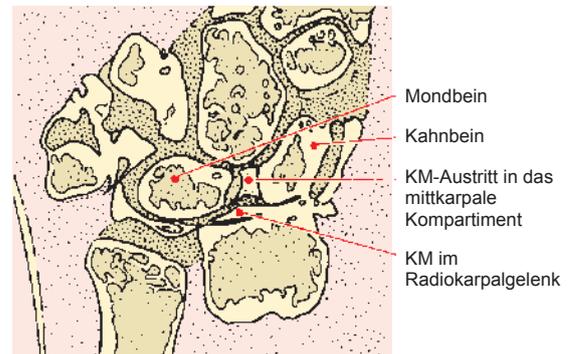


**Abb. 2.18 Handgelenksarthrografie.** Nach der Kontrastmittelinjektion in das Radiokarpalgelenk füllt sich auch das distale Radioulnargelenk (Pfeil), was einen Riss des Fibrocartilago-triangularis-Komplexes anzeigt.

### 2.2.10 Tenografie und Bursografie

Manchmal injiziert man Kontrastmittel in eine Sehnenscheide, um die Intaktheit der Sehne zu bestimmen – die sog. Tenografie (vgl. > Abb. 10.13 u. > Abb. 10.80). Seit der Einführung von CT und MRT setzt man diese Methode jedoch nur noch selten ein; die klinischen Anwendungen sind relativ eingengt und beschränken sich hauptsächlich auf die Beurteilung traumatischer oder entzündlicher Veränderungen der Sehnen (wie von Mm. peronaei longus et brevis, tibialis anterior et posterior und M. flexor digitorum longus) an der unteren Gliedmaße, dagegen an der oberen Gliedmaße zur Synovialisdarstellung der Sehnenscheiden im Karpaltunnel.

Die Bursografie erfordert die Injektion von Kontrastmittel in die diversen Schleimbeutel; im Allgemeinen ist diese Methode obsolet, nur manchmal noch erfolgt zum Nachweis partieller Rotatorenmanschettenrisse die direkte Einspritzung von Kontrastmittel in den Komplex von Bursa subacromialis und Bursa subdeltoidea.



**Abb. 2.19 CT-Arthrografie.** Das koronare CT-Arthrogramm des Handgelenks zeigt einen subtilen Kontrastmittelaustritt aus dem Radiokarpalgelenk über einen Riss des skapholunären Bands, ein Befund, der in der routinemäßigen Handgelenksarthrografie nicht nachweisbar war.



**Abb. 2.20 CT-Arthrografie.** Das koronare T1w fs MRT-Bild zeigt nach Kontrastmittelinjektion in das Radiokarpalgelenk eine Anfärbung des distalen Radioulnargelenks (Pfeil), die für einen Riss des Fibrocartilago-triangularis-Komplexes diagnostisch ist; ferner erkennt man einen Riss des lunotriquetralen Bandes (Pfeilspitze); Kontrastmittel ist in die nicht geheilte Kahnbeinfraktur eingetreten (gebogener Pfeil).

### 2.2.11 Angiografie

Die direkte selektive Kontrastmittelinjektion in Äste des arteriellen und venösen Systems hat erheblich dabei geholfen, die Beteiligung des Kreislaufsystems bei den unterschiedlichen Krankheiten abzuklären, und stellt eine genaue Methode zum Nachweis örtlicher pathologischer Veränderungen dar. Bei der *Arteriografie* wird ein Kontrastmittel in Arterien injiziert, anschließend folgen Aufnahmen in rascher Bildsequenz; bei der *Phlebografie* wird das Kontrastmittel in Venen injiziert. Beide Verfahren werden bei der Abklärung von Verletzungen häufig eingesetzt, vor allem beim Verdacht auf eine Begleitverletzung des Kreislaufsystems (vgl. > Abb. 2.3 u. > Abb. 4.15).

Bei der Beurteilung von Tumoren sind die Hauptaufgaben der Arteriografie die Darstellung der Knochenläsionen, der Nachweis der Vaskularisation einer Veränderung und die Bestimmung der Tumorausdehnung; ferner dient sie der Demonstration der Gefäßversorgung des Tumors und der Lokalisation von Gefäßen, die sich für eine präoperative intraarterielle Chemotherapie eignen. Von hohem Wert ist sie beim Nachweis einer für die offene Biopsie geeigneten Gegend, da der Tumoranteil mit der stärksten Gefäßversorgung die aggressivste Komponente enthält. Manchmal kann man die Arteriografie zum Nachweis abnormer Tumorgefäße einsetzen, was dann die Befunde der Übersichts- und Tomografieaufnahmen bestärkt (vgl. > Abb. 16.16B). Oft ist die Arteriografie bei der Planung gliedmaßenerhaltender Operationen von höchstem Wert, da sie die regionale Gefäßanatomie aufzeigt und somit bei der Planung der Resektion hilft. Daneben setzt man sie manchmal ein, um die großen Gefäße vor der Resektion eines benignen Tumors zu markieren (vgl. > Abb. 16.17), zudem lässt sie sich vor der weiteren Behandlung auch in Kombination mit einem interventionellen Verfahren, z.B. für die Embolisation eines stark vaskularisierten Tumors, einsetzen (vgl. > Abb. 16.18).

### 2.2.12 Myelografie

Während dieser Untersuchung werden wasserlösliche Kontrastmittel in den Subarachnoidalraum injiziert, wo sie sich frei mit dem Liquor vermischen und eine Säule strahlendichter Flüssigkeit mit höherem spezifischem Gewicht als dem der nichtkontrastierten Flüssigkeit bilden. Die Umlagerung/Kippung des Patienten ermöglicht dann, dass die kontrastierte Flüssigkeit unter Schwerkrafteinfluss im Durasack aufsteigt oder absinkt (vgl. > Abb. 11.15 u. > Abb. 11.56). Die Punktion erfolgt meist in Höhe der Wirbelzwischenräume L2/3 oder L3/4. Zur zervikalen Myelografie wird in Höhe C1/2 punktiert (vgl. > Abb. 11.17A). Die Myelografie ist inzwischen weitgehend durch die hochauflösende CT und die qualitativ hochwertige MRT abgelöst worden.

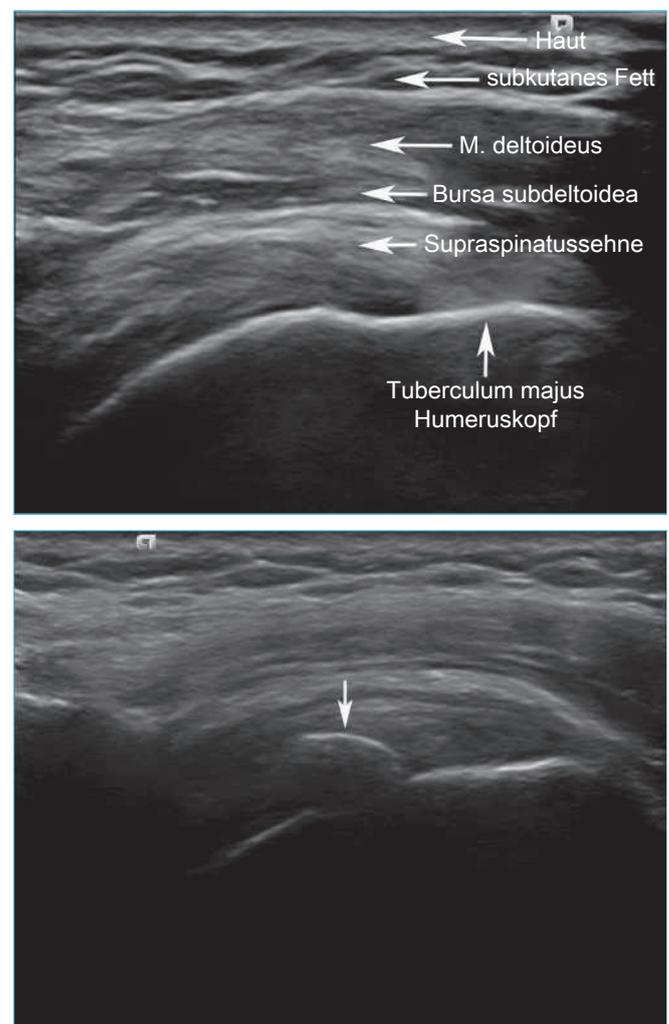
### 2.2.13 Diskografie

Als Diskografie bezeichnet man die Injektion von Kontrastmittel in den Nucleus pulposus. Dieses Verfahren ist zwar umstritten und von vielen Untersuchern inzwischen aufgegeben worden, doch kann es bei strenger Indikation und sauberer Technik wertvolle Information erbringen, so bei der Suche nach der Ursache von Kreuzschmerzen. Es ist kein rein bildgebendes Verfahren, da die untersuchungsbedingten Symptome (Schmerz unter der Injektion) gar als diagnostisch wertvoller als die dabei erhaltenen Auf-

nahmen angesehen werden. Immer sollte man sie mit der CT kombinieren (sog. *CT-Diskografie*; vgl. > Abb. 11.57 u. > Abb. 11.94B). Nach einer offiziellen Stellungnahme des Executive Committee of the North American Spine Society zur Diskografie im Jahr 1988 „ist diese indiziert bei Patienten mit andauernden Wirbelsäulenschmerzen mit oder ohne Extremitätenschmerzen bei einer Dauer von über vier Monaten, wenn der Schmerz auf keine der angemessenen konservativen Behandlungsmethoden angesprochen hat“. Nach dieser Feststellung sollte sich der Patient also vor einer Diskografie zunächst anderen bildgebenden Untersuchungen unterziehen (wie CT, MRT und Myelografie), wobei eine operative Behandlung dieser Probleme anstehen sollte.

### 2.2.14 Sonografie

In den letzten Jahren erreichte die Sonografie in der Radiologie einen hohen Stellenwert. Dabei bietet sie mehrere Vorteile: Sie ist relativ kostengünstig, erlaubt den Vergleich mit der (gesunden) Gegenseite, verwendet keinerlei ionisierende Strahlung und lässt sich auch am Krankenbett oder im Operationssaal anwenden. Sie basiert als nichtinvasives bildgebendes Verfahren auf der Interak-



**Abb. 2.21 Sonografie der Schulter.** **A** Längsachsenbild der Supraspinatussehne und von deren Insertion am Tuberculum majus humeri. **B** Das Längsachsenbild der Supraspinatussehne zeigt einen gebogenen strichförmigen echoreichen Herd mit Abschwächung infolge einer Verkalkung in der Sehnensubstanz, vereinbar mit einer kalzifizierenden Tendinitis (Pfeil) (mit freundlicher Erlaubnis von Luis Beltran, MD, und Ron Adler, MD, New York).

mit subtile intraartikuläre Corpora libera nachgewiesen und die Stabilität einer osteochondralen Fraktur oder einer Osteochondrosis dissecans des Capitulum humeri geprüft werden. Ähnlich wie bei der Schulterarthrografie werden eine bestimmte Konzentration von Gadolinium mit normaler Kochsalzlösung gemischt, jodhaltiges Kontrastmittel und Lidocain zugegeben und dann bis zu 10 ml dieser Lösung in das Ellbogengelenk injiziert. Bevorzugt wird der laterale Zugang, der dem bei der konventionellen Ellbogenarthrografie gleicht (s. > Abb. 6.16). Man fertigt koronare, sagittale und axiale Bilder unter Verwendung fettsupprimierter Spin-Echo-Sequenzen an (> Abb. 6.19). Bei der Beurteilung von MRT-Bildern des Ellbogens ist es hilfreich, eine Checkliste wie in > Tab. 6.1 zu verwenden.

Eine Zusammenfassung der bisherigen Diskussion geben > Tab. 6.2 und > Tab. 6.3 sowie > Abb. 6.20.

**Tab. 6.1** Checkliste zur Beurteilung von MRT- und MRa-Bildern des Ellbogens

<b>Knochenstrukturen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Epicondylus medialis humeri (k, s, a)</li> <li>• Epicondylus lateralis humeri (k, s, a)</li> <li>• Trochlea humeri (k, s)</li> <li>• Capitulum humeri (k, s)</li> <li>• Caput radii (k, s)</li> <li>• Collum radii (k, s)</li> <li>• Proc. coronoideus ulnae (s)</li> <li>• Olecranon (s)</li> </ul>
<b>Knorpelstrukturen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gelenkknorpel (k, s, a)</li> </ul>
<b>Gelenke</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Art. humeroradialis (k, s)</li> <li>• Art. humeroulnaris (k, s)</li> <li>• Art. radioulnaris proximalis (k, s, a)</li> </ul>
<b>Muskeln und ihre Sehnen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M. biceps brachii (s, a)</li> <li>• M. triceps humeri (s, a)</li> <li>• M. anconaeus (s, a)</li> <li>• M. brachioradialis (K, s, a)</li> <li>• M. extensor carpi radialis (brevis, longus) (k, a)</li> <li>• M. extensor carpi ulnaris (k, a)</li> <li>• M. extensor digitorum (k, a)</li> <li>• M. flexor carpi ulnaris (k, a)</li> <li>• M. flexor carpi radialis (k, a)</li> <li>• M. flexor digitorum (superficialis, profundus) (k, a)</li> <li>• M. pronator teres (k, a)</li> <li>• M. supinator (k, a)</li> <li>• Sehne des gemeinsamen Handgelenkstreckers/ des M. supinator (k, a)</li> <li>• M. palmaris longus (a)</li> </ul>
<b>Bänder</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lig. collaterale ulnare (ant., post., transversum) (c)</li> <li>• Lig. collaterale radiale inkl. Lig. anulare (a, k)</li> </ul>
<b>Schleimbeutel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bursa bicipitoradialis (a)</li> <li>• Bursa interossea (a)</li> </ul>
<b>Weitere Strukturen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• N. ulnaris (a)</li> <li>• N. medianus (a)</li> <li>• N. radialis (a)</li> </ul>

Die am besten geeigneten Bildebenen zur Darstellung der angeführten Strukturen stehen in Klammern. k = koronar; s = sagittal; a = axial.

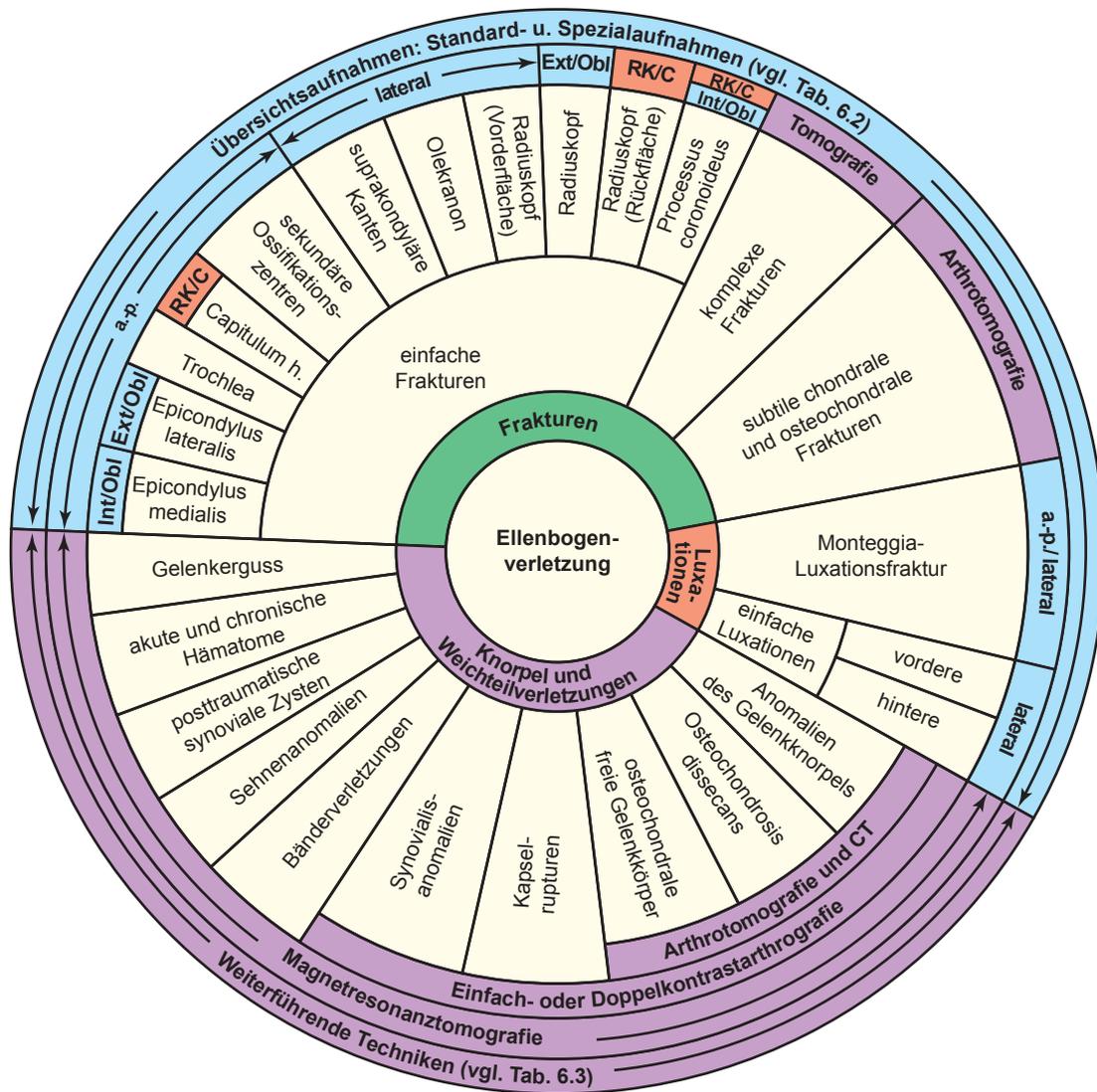
**Tab. 6.2** Standard- und Spezialaufnahmen zur Beurteilung von Ellbogenverletzungen

Projektion	Darstellung/Nachweis von
Anterior-posterior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Supra-, trans- und interkondyläre distale Humerusfrakturen</li> <li>• Frakturen von: <ul style="list-style-type: none"> <li>– medialem und lateralem Epikondylus</li> <li>– Radialseite des Capitulum humeri</li> <li>– Medialseite der Trochlea humeri</li> <li>– Lateralseite des Radiuskopfes</li> </ul> </li> <li>• Valgus- und Varusdeformität</li> <li>• Sekundäre Ossifikationszentren des distalen Humerus</li> </ul>
Seitlich	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distale suprakondyläre Humerusfraktur</li> <li>• Frakturen von: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Ventralseite des Radiuskopfes</li> <li>– Olecranon</li> </ul> </li> <li>• Komplexe Ellbogenluxationen</li> <li>• Radiuskopfluxation</li> <li>• Fettpolsterzeichen</li> </ul>
Außenrotiert schräg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frakturen von: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Epicondylus lateralis</li> <li>– Radiuskopf</li> </ul> </li> </ul>
Innenrotiert schräg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frakturen von: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Epicondylus medialis</li> <li>– Proc. coronoideus ulnae</li> </ul> </li> </ul>
Radiuskopf-Capitulum-humeri-Aufnahme	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frakturen von: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Radiuskopf</li> <li>– Capitulum humeri</li> <li>– Proc. coronoideus ulnae</li> </ul> </li> <li>• Anomalien von Humeroradial- und Humeroulnargelenk</li> </ul>

**Tab. 6.3** Weiterführende Techniken zur Beurteilung von Ellbogenverletzungen

Technik	Darstellung/Nachweis von
<b>Tomografie</b> (ersetzt durch CT)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Komplexe Frakturen des Ellbogens, insbesondere, um bei Trümmerbrüchen die Lage der Fragmente zu bestimmen</li> <li>• Heilungsprozess: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Pseudarthrose</li> <li>– Sekundäre Infektion</li> </ul> </li> </ul>
<b>Arthrografie</b> (Einfach- oder Doppelkontrastarthrografie)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Subtile Anomalien des Gelenkknorpels</li> <li>• Kapselrisse</li> <li>• Anomalien der Membrana synovialis</li> <li>• Knorpel- und osteochondrale Frakturen</li> <li>• Osteochondrosis dissecans</li> <li>• Osteochondrale Corpora libera</li> </ul>
<b>CT</b> (allein oder kombiniert mit Doppelkontrastarthrografie)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wie bei Arthrografie</li> </ul>
<b>MRT und MRa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anomalien von Bändern<sup>a</sup>, Sehnen, Muskeln und Nerven</li> <li>• Kapselrisse<sup>a</sup></li> <li>• Gelenkerguss</li> <li>• Synovialzysten<sup>a</sup></li> <li>• Hämatome</li> <li>• Subtile Anomalien von Knochen (z. B. Knochenkontusion<sup>a</sup>)</li> <li>• Osteochondrosis dissecans<sup>a</sup></li> <li>• Epiphysenfrakturen bei Kindern</li> </ul>

<sup>a</sup> Diese Anomalien sind am besten in der MRT sichtbar. CT = Computertomografie; MRT = Magnetresonanztomografie; MRa = Magnetresonanarthrografie.



**Abb. 6.20 Spektrum der radiologischen bildgebenden Verfahren zur Abklärung von Verletzungen des Ellbogens.** Die Röntgenprojektionen oder radiologischen Techniken in diesem Diagramm sind jeweils nur die effizientesten für den Nachweis beim jeweiligen Trauma.

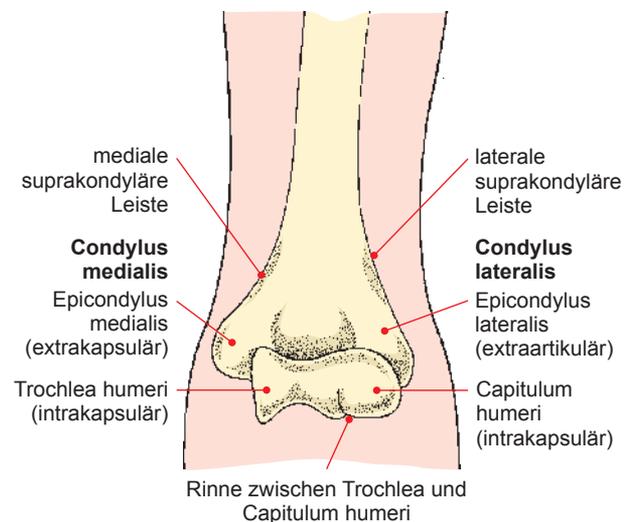
# Nahezu vollständig abgelöst von CT. a.-p. = anterior-posterior; Int = innerer; obl = schräg, ext = äußerer, RK = Radiuskopf, C = Capitulum humeri.

## 6.2 Verletzungen des Ellbogens

### 6.2.1 Frakturen der Ellbogenregion

#### Distale Humerusfrakturen

Da die Nomenklatur der verschiedenen Strukturen des distalen Humerus in den diversen anatomischen und chirurgischen Lehrbüchern uneinheitlich ist, ist hinsichtlich der Einteilung der distalen Humerusfrakturen ein gewisses Durcheinander entstanden. Zur Orientierung enthält > Abb. 6.21 eine vereinfachte anatomische Einteilung des distalen Humerus. Die Bedeutung der Unterscheidung von artikulären und extraartikulären Anteilen des distalen Humerus liegt in ihrer Relevanz für Diagnose, Behandlung und Prognose begründet. So führt nach Rockwood und Green z. B. eine Fraktur des Gelenkanteils des distalen Humerus meist zu einem Bewegungsverlust, nicht aber zum Stabilitätsverlust, wohingegen eine komplette Kondylenfraktur, d. h. ein Bruch von artikulärem und extraartikulärem Anteil, Bewegungseinschränkung und Instabilität mit sich bringen wird.

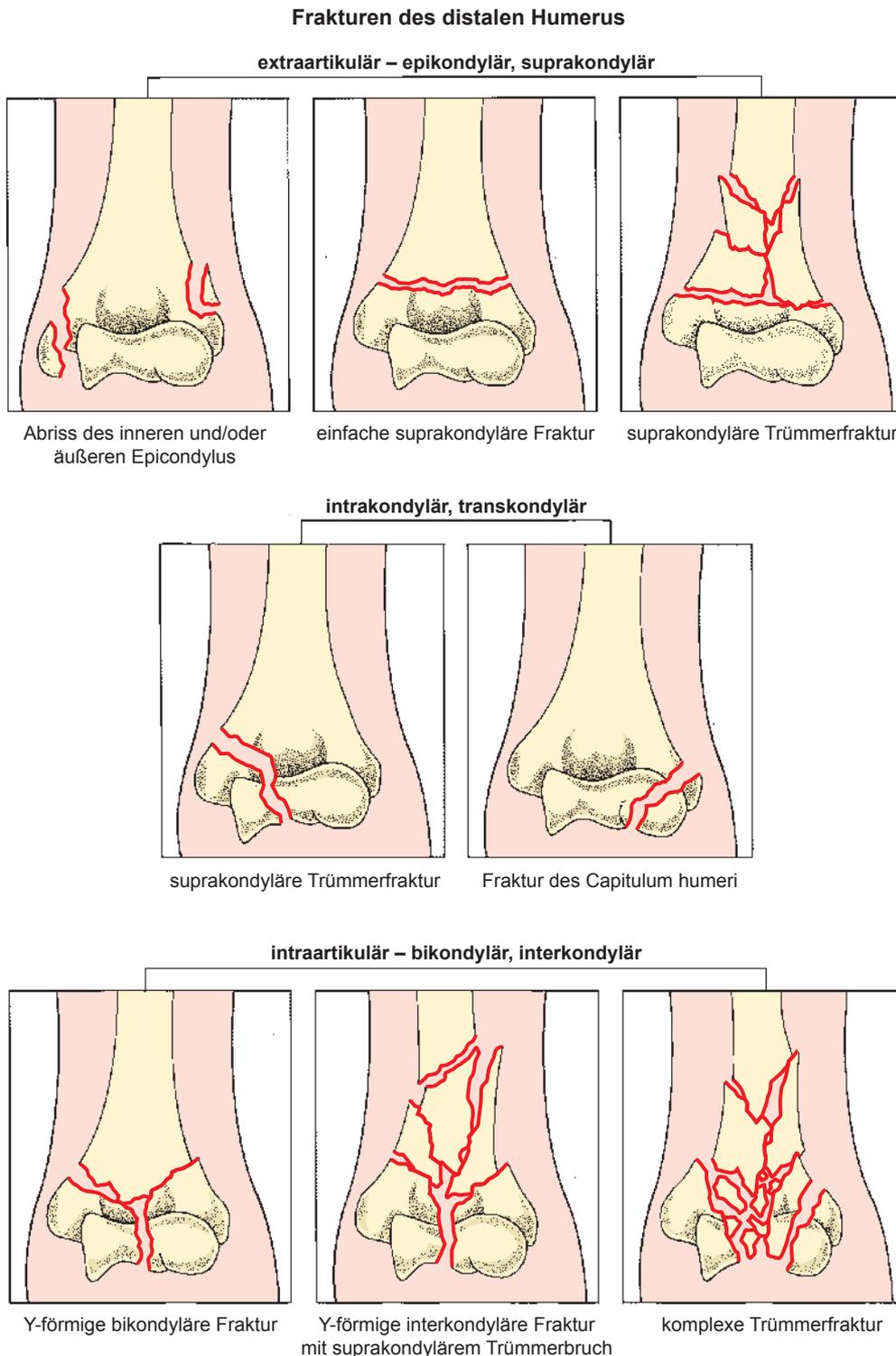


**Abb. 6.21 Anatomische Strukturen des distalen Humerus.** Vereinfachte anatomische Einteilung der Strukturen des distalen Humerus.

Je nach beteiligter Struktur kann man die distalen Humerusfrakturen in suprakondyläre, transkondyläre und interkondyläre, in Frakturen von Epicondylus ulnaris und radialis, von Capitulum humeri und Trochlea humeri einteilen. Empfehlenswert ist die Einteilung nach Müller, die praxisnah orientiert zwischen intra- und extrakapsulären Frakturen unterscheidet (> Abb. 6.22). Meist werfen diese Frakturen bei Erwachsenen keine Probleme auf und sind in der a.-p. und der Seitenaufnahme des Ellbogens leicht zu beurteilen (> Abb. 6.23 u. > Abb. 6.24). Früher wurde zumeist

die Tomografie eingesetzt, um Fragmente bei Trümmerbrüchen zu lokalisieren, derzeit ist die CT für diesen Zweck das bildgebende Verfahren der Wahl (> Abb. 6.25).

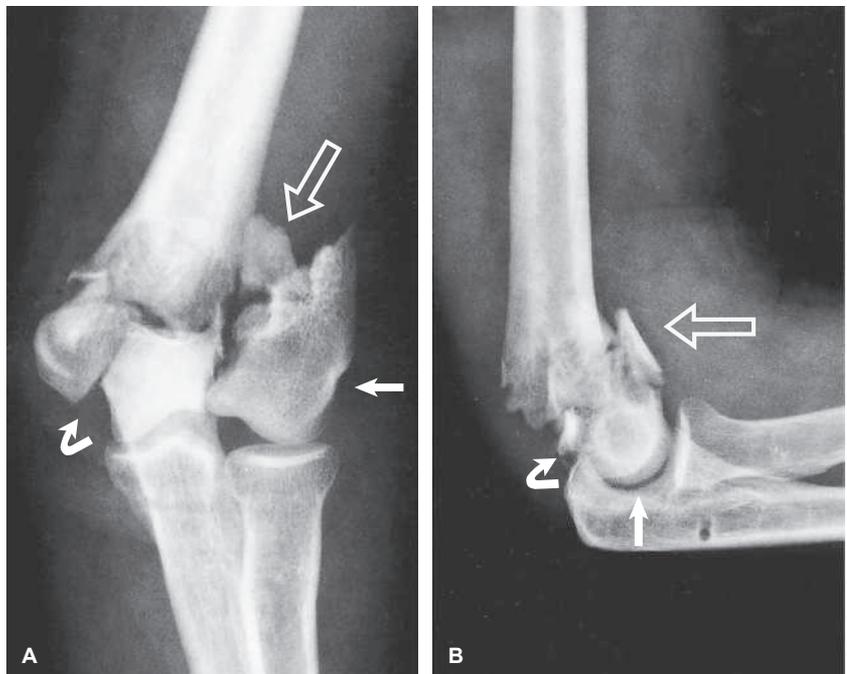
Bei Kindern kann die Diagnose wegen der sekundären Ossifikationskerne und deren großer Variabilität problematisch werden. Trotzdem reichen a.-p. und Seitenaufnahme meist aus, um die Verletzung darzustellen, auch wenn die Bruchlinie manchmal in der a.-p. Aufnahme schwieriger erkennbar ist als in der Seitenaufnahme. Bei Kindern zwischen 3 und 10 Jahren ist die suprakondyläre



**Abb. 6.22 Frakturen des distalen Humerus.** Einteilung der distalen Humerusfrakturen nach ihrer extra- und intraartikulären Ausdehnung (modifiziert nach Müller ME, Allgöwer M, Schneider R, Willenegger H. *Manual of internal fixation, techniques recommended by the AO Group*, 2<sup>nd</sup> ed. Berlin: Springer-Verlag 1979).



**Abb. 6.23 Suprakondyläre Fraktur.** Der 27 Jahre alte Mann stürzte von der Leiter auf den ausgestreckten Arm. **A, B** a.-p. und seitliches Röntgenbild zeigen eine einfache suprakondyläre Humerusfraktur mit einem nach dorsal verschobenen und abgelenkten distalen Fragment.



**Abb. 6.24 Fraktur des distalen Humerus.** Der 25-jährige Mann erlitt bei einem Motorradunfall eine komplexe intraartikuläre distale Humerusfraktur. **A, B** a.-p. und seitliche Aufnahme zeigen deutlich den Bruchlinienverlauf und die Stellung der einzelnen Fragmente zueinander. Das Capitulum humeri ist abgetrennt, nach lateral verschoben und subluxiert (*Pfeil*); die laterale suprakondyläre Kante des Humerus ist ausgerissen und nach vorn lateral verschoben (*offener Pfeil*), der mediale Epicondylus ist außenrotiert und nach medial verschoben (*gebogener Pfeil*).

Fraktur der häufigste Typ der Ellbogenfraktur. Eine Hyperextensionsverletzung durch einen Sturz auf die ausgestreckte Hand bei überstrecktem Ellbogen liegt bei 95 % dieser Fälle vor, wobei charakteristischerweise das distale Fragment nach dorsal verschoben ist (> Abb. 6.26). Beim Flexionstyp dieser Verletzung durch einen Sturz auf den gebeugten Ellbogen, der nur 5 % der suprakondylären Verletzungen ausmacht, ist das distale Fragment nach ventral und proximal verschoben. Leicht erkennt man in der Seitenaufnahme eine suprakondyläre Fraktur am Verlust der Hockeyschlägerform des distalen Humerus und an der Verschiebung des Capitulum humeri gegenüber der vorderen Humeruskortikalislinie (vgl. > Abb. 6.11 u. > Abb. 6.12). Auch ist praktisch immer ein positives Fettpolsterzeichen vorhanden (> Abb. 6.27).

Unabhängig vom Alter des Patienten sind bei einer distalen Humerusfraktur der Nachweis und die vollständige Abklärung des Verletzungsmusters, die Ausdehnung der Bruchlinie und der Schweregrad der Fehlstellung von Bedeutung, da davon die Behandlung abhängt. Ergeben sich Schwierigkeiten bei der Interpretation der Fraktur und beim Ausmaß der Fehlstellung, können

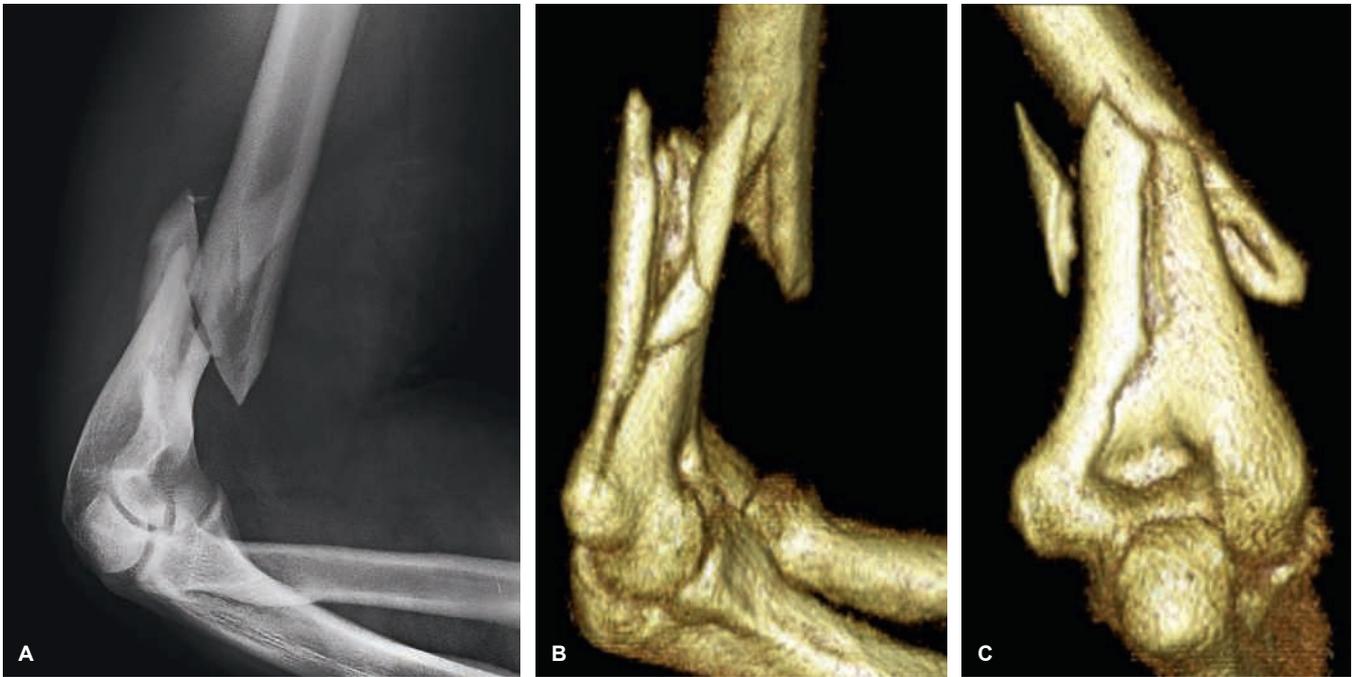
auch Vergleichsaufnahmen des gesunden Ellbogens hilfreich sein.

**Komplikationen:** Die schwerwiegendsten Komplikationen der suprakondylären Humerusfraktur sind die ischämische Volkmann-Kontraktur (vgl. > Abb. 4.56) und die Heilung in Fehlstellung. Letztere führt meist zu einer Varusdeformität des Ellbogens, dem sog. Cubitus varus.

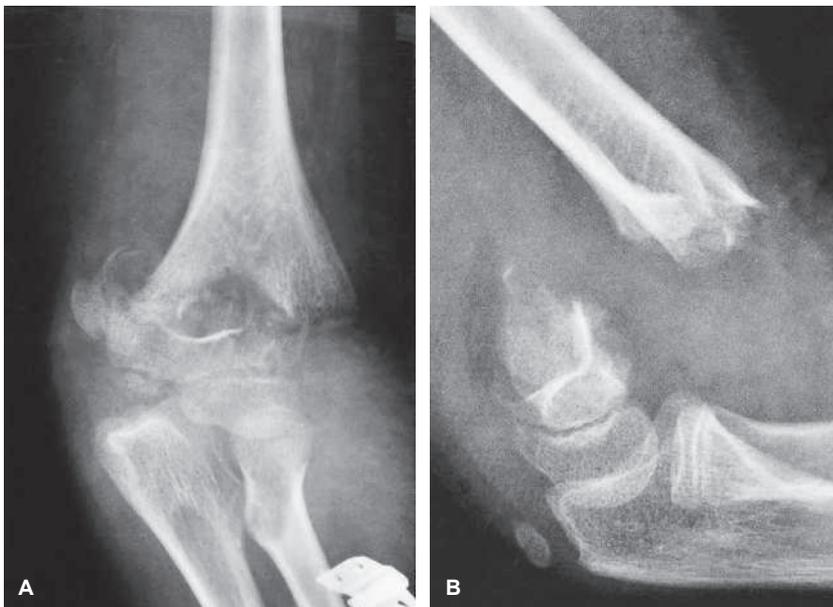
### Radiuskopffraktur

Die Fraktur des Radiuskopfes ist eine häufige Verletzung, die in der Mehrzahl der Fälle von einem Sturz auf die ausgestreckte Hand und nur selten von einem direkten Schlag gegen die Ellbogenaußenseite herrührt.

Mason unterteilte die Radiuskopffrakturen in drei Typen: Typ I – undislozierte Fraktur, Typ II – marginale Fraktur mit Verschiebung (einschließlich Einstauchung, Depression und Abknickung) sowie Typ III – Trümmerbruch mit Beteiligung des gesamten



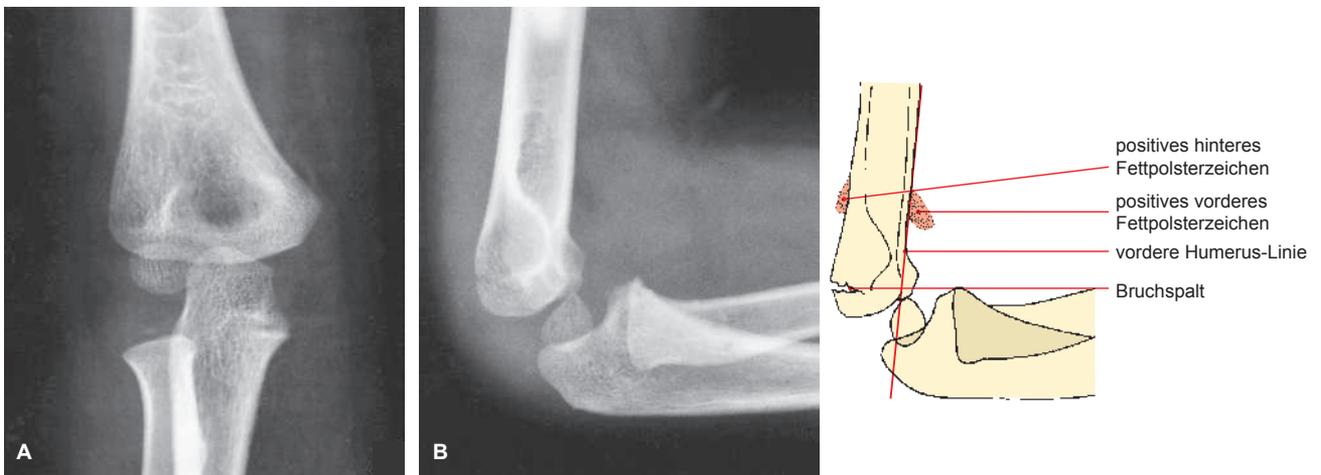
**Abb. 6.25 3-D-CT einer Fraktur des distalen Humerus.** **A** Das herkömmliche Röntgenbild zeigt eine supracondyläre Trümmerfraktur des Humerus. **B, C** Die rekonstruierten 3-D-SSD-CT-Bilder zeigen die Details der Verletzung einschließlich Fehlstellung, Angulierung und räumlicher Lage der verschiedenen Fragmente.



**Abb. 6.26 Dislozierte supracondyläre Fraktur.** Der 9-jährige Junge fiel vom Fahrrad auf seinen ausgestreckten Arm. A.-p. **A** und Seitenaufnahme **B** des Ellbogens zeigen eine supracondyläre Humerusfraktur mit Verschiebung des distalen Fragments nach dorsomedial. Beachten Sie hier die Zunahme des valgischen Unterarmtragewinkels in der a.-p. Aufnahme.

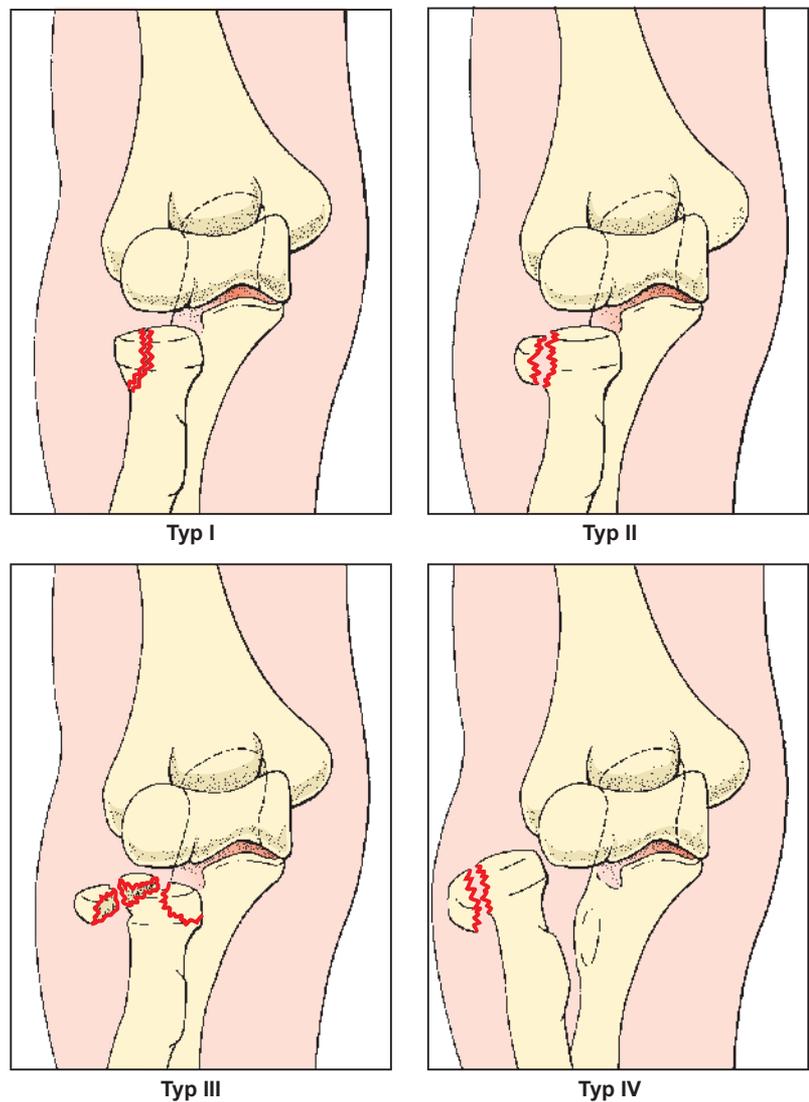
Kopfes. Später ergänzten DeLee, Green und Wilkins einen weiteren Typ IV – Radiuskopffraktur mit gleichzeitiger Ellbogenluxation (> Abb. 6.28). All diese Frakturen lassen sich in der a.-p. und der Seitenaufnahme des Ellbogens hinreichend darstellen, doch können Frakturen ohne oder mit nur geringer Fehlstellung in diesen Aufnahmen leicht übersehen werden, sodass neben den Routineaufnahmen auch die Radiuskopf-Capitulum-humeri-Aufnahme durchgeführt werden sollte, um okkulte Verletzungen aufzudecken und ihre Fehlstellung zu bestimmen (> Abb. 6.29 u. > Abb. 6.30). Zur Festlegung der Behandlungsart müssen die genaue Ausdehnung der Bruchlinie (extra- und intraartikulär) und die Fragmentfehlstellung bestimmt werden. Dabei spielt die CT-Untersuchung eine wichtige Rolle (> Abb. 6.31), doch kann auch

die MRT dabei helfen, das Vorhandensein einer Fraktur, die in Routineröntgenaufnahmen nicht klar sichtbar ist, zu belegen (> Abb. 6.32). Unverschobene oder nur gering fehlgestellte Frakturen werden meist konservativ mit Gipschiene und Gipsverband behandelt, bis die Heilung wieder eine aktive Mobilisierung des Ellbogens erlaubt. Andererseits lässt eine Spaltfraktur der Gelenkfläche des Radiuskopfes, die unter Fehlstellung mehr als ein Drittel oder gar die Hälfte des Kopfes mit einer Fehlstellung von 3–4 mm erfasst, die offene Reposition und die innere Fixation indiziert erscheinen; dies gilt insbesondere für jüngere Menschen. Die Radiuskopfresektion (mit oder ohne Radiuskopfprothese) ist bei einer Trümmerfraktur mit Fehlstellung des Radiuskopfes die Methode der Wahl (> Abb. 6.33).

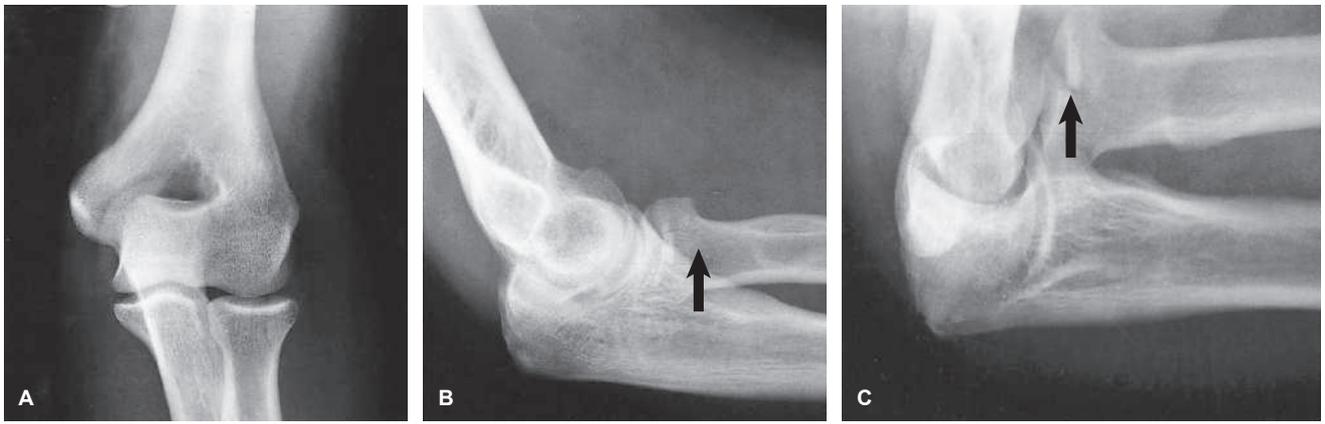


**Abb. 6.27 Undislozierte suprakondyläre Fraktur.** Das 3-jährige Mädchen fiel auf der Straße hin. **A** In der a.-p.-Aufnahme ist die Bruchlinie praktisch unsichtbar, hingegen in der Seitenaufnahme **B** deutlicher erkennbar. Ein positives hinteres Fettpolsterzeichen ist vorhanden und das vordere Fettpolster ist deutlich verlagert. Beachten Sie, dass die vordere Humeruslinie das hintere Drittel des Capitulum humeri schneidet und somit eine leichte Ventralabknickung des distalen Fragments anzeigt.

#### Mason-Klassifikation der Radiusköpfchenfrakturen



**Abb. 6.28 Mason-Klassifikation der Radiusköpfchenfrakturen.**



**Abb. 6.29 Radiuskopffraktur.** A.-p. **A** und Seitenaufnahme **B** des Ellbogens erwecken den Eindruck einer undislozierten Radiuskopffraktur, doch zeigt die Radiuskopf-Capitulum-humeri-Aufnahme **C** die intraartikuläre Ausdehnung der Bruchlinie und eine 4 mm tiefe Depression des subchondralen Fragments (aus Greenspan A, Norman A. Radial head-capitellum view in elbow trauma. Letter to the editor. *Am J Roentgenol* 1983; 140:1273–1275).



**Abb. 6.30 Radiuskopffraktur.** **A** Die normale Seitenaufnahme des Ellbogens zeigt eine Radiuskopffraktur, doch verhindert die Überlagerung von Knochenstrukturen die genaue Beurteilung des Bruchverlaufs und des Ausmaßes der Verschiebung. **B** Die Radiuskopf-Capitulum-humeri-Aufnahme weist hier eine fehlgestellte Gelenkfraktur mit Beteiligung des hinteren Radiuskopfdrittels nach (aus Greenspan A, Norman A, Rosen H. Radial head-capitellum view in elbow trauma: clinical application and radiographic-anatomic correlation. *Am J Roentgenol* 1984; 143:355–359).

# Benigne Tumoren und tumorähnliche Veränderungen (Tumor-like Lesions) III: fibröse, fibroossäre und fibrohistiozytäre Veränderungen

## 19.1 Fibröser Kortikalisdefekt und nichtossifizierendes Fibrom

Diese beiden Veränderungen sind die häufigsten Fasergewebelesionen des Knochens und ganz überwiegend bei Kindern und Jugendlichen, dabei häufiger bei Jungen als bei Mädchen, zu sehen. Sie bevorzugen die langen Röhrenknochen, besonders aber Femur und Tibia (> Abb. 19.1). Einige Autoren bevorzugen den Begriff *Fibro-xanthom* für beide Läsionen, Schajowicz dagegen den Terminus *histiozytäres Xanthogranulom*. Diese Veränderungen sind keine echten Neoplasien und werden von vielen Forschern als entwicklungsbedingte Defekte angesehen.

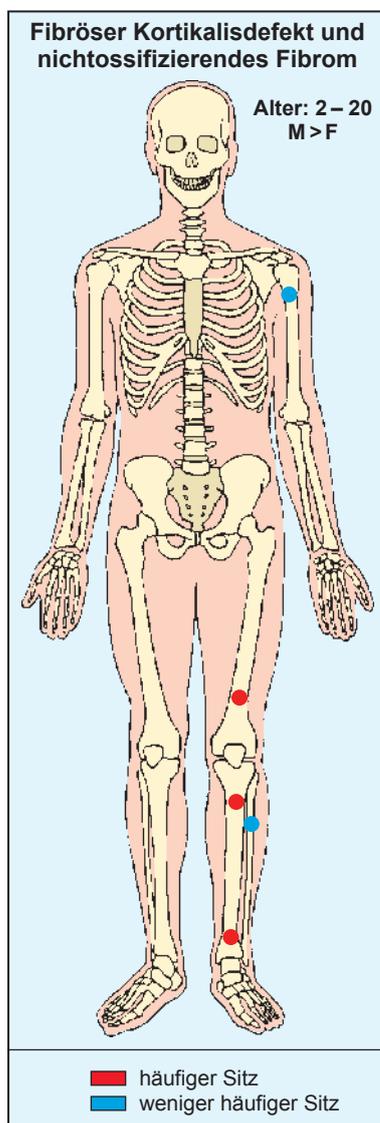


Abb. 19.1 Prädispositionsstellen, Altersgipfel und Geschlechterverteilung beim fibrösen Kortikalisdefekt und beim nichtossifizierenden Fibrom.

Der fibröse Kortikalisdefekt (metaphysärer fibröser Defekt) ist eine kleine asymptomatische Veränderung, die man in der 1. und 2. Lebensdekade bei 30% aller Normalpersonen findet. Die strahlentransparente Läsion ist elliptisch und auf die Kortikalis langer Röhrenknochen in der Nähe der Wachstumsfuge beschränkt; ein schmaler Sklerosesaum grenzt diese ab (> Abb. 19.2 u. > Abb. 19.3). Die meisten Defekte verschwinden spontan, einige wenige wachsen aber weiter; greifen sie auf die Markhöhle des Knochens über, spricht man von einem nichtossifizierenden Fibrom (> Abb. 19.4). Bei anhaltendem Wachstum nehmen diese Veränderungen, die im typischen Fall exzentrisch im Knochen sitzen, einen charakteristischen muschelartigen sklerotischen Rand an (> Abb. 19.5).



Abb. 19.2 Fibröser Kortikalisdefekt. Im typischen Fall stellt sich ein fibröser Kortikalisdefekt, wie hier bei einem 13-jährigen Jungen an der lateralen Kortikalis der distalen Tibia (Pfeil), als Aufhellungsfigur mit Abgrenzung durch einen schmalen Sklerosesaum dar.



Abb. 19.3 Fibröser Kortikalisdefekt. Fibröser Kortikalisdefekt an der medialseitigen Knochenrinde des distalen Femurs (21 Jahre alte Frau).



**Abb. 19.4 Nichtossifizierendes Fibrom.** Wenn ein fibröser Kortikalisdefekt auf die Markhöhle übergreift, nennt man dies ein nichtossifizierendes Fibrom. Zu beachten ist die Ähnlichkeit dieser Läsion mit der in > Abb. 18.2 gezeigten. Der einzige Unterschied besteht darin, dass das Fibrom größer ist und die Kortikalis überschreitet.

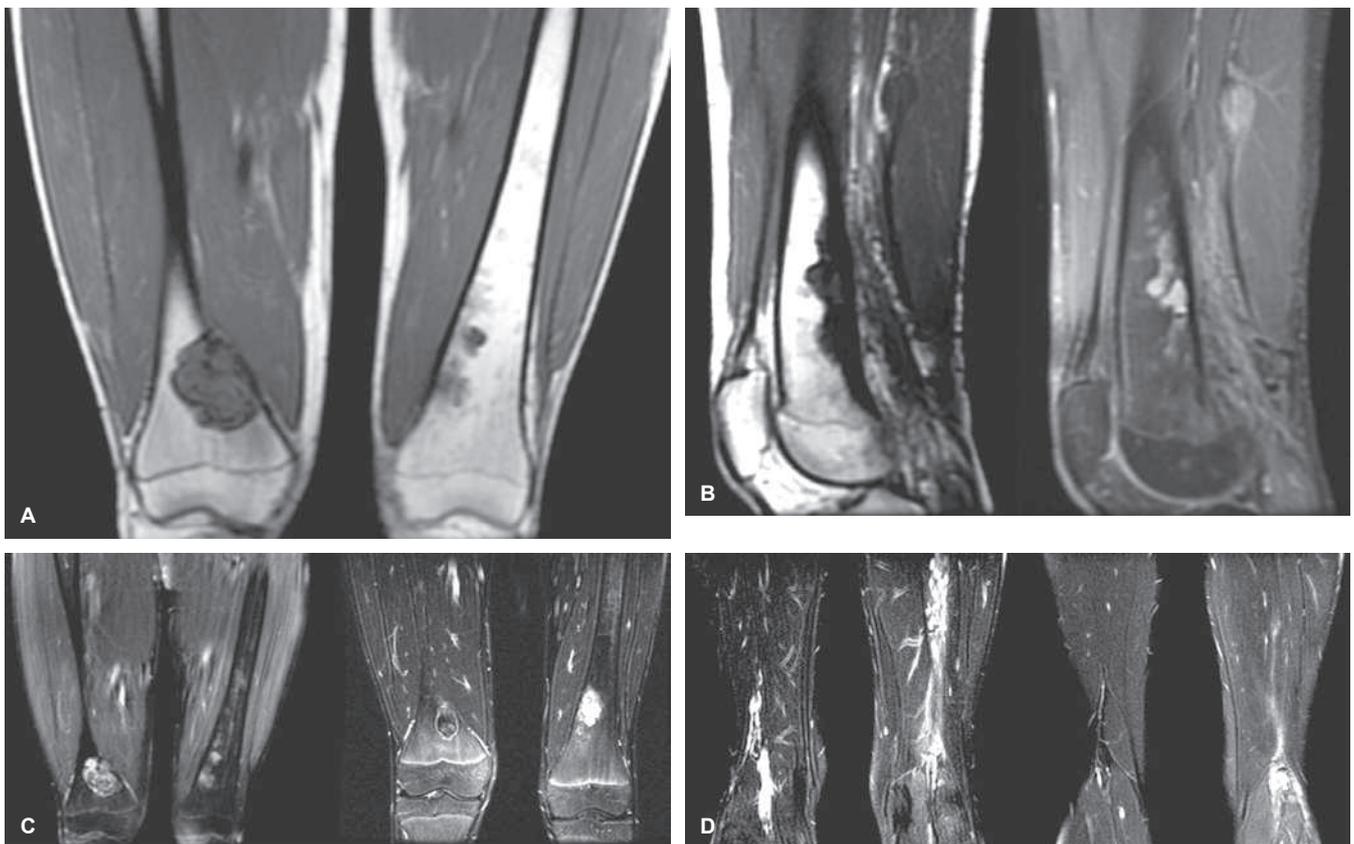


**Abb. 19.5 Nichtossifizierendes Fibrom.** Das nichtossifizierende Fibrom, hier in der Kortikalis der distalen Tibia eines symptomfreien 15-Jährigen, erscheint typischerweise im Knochen exzentrisch gelegen und hat einen muschelartigen sklerotischen Rand.

Gelegentlich kann ein nichtossifizierendes Fibrom in mehreren Knochen vorhanden sein; diese Veränderungen werden dann als *disseminierte nichtossifizierende Fibromatose* bezeichnet. Einige Patienten mit diesem Bild können Café-au-lait-Flecken der Haut mit glatten Rändern („Coast of California“) haben, ähnlich wie bei der Neurofibromatose. Ferner können sie Neurofibrome verschiedener Nerven haben (> Kap. 33). Diese Verbindung ist als *Jaffe-Campanacci-Syndrom* bekannt (> Abb. 19.6).

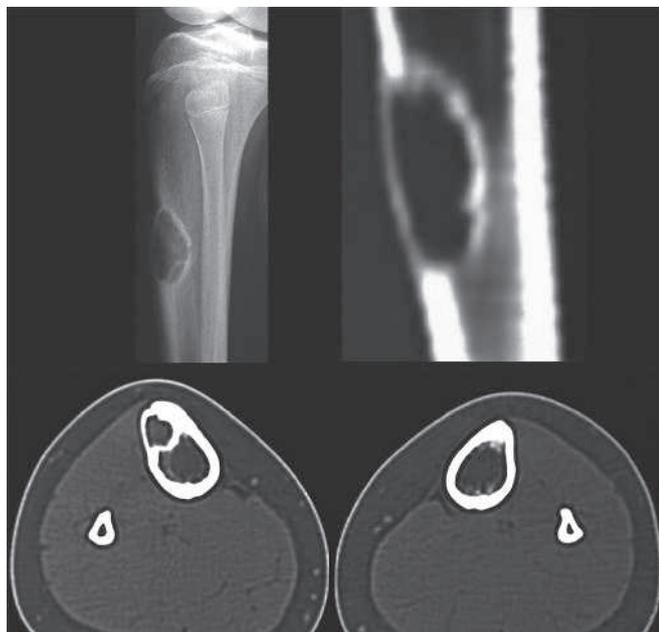
Die Skelettszintigrafie zeigt nur eine minimale bis geringe Aktivitätszunahme. Während der Heilungsphase kann man in der

Blutpoolphase eine leichte Hyperämie sehen, ein positives Ergebnis in der Spätaufnahme spiegelt die Osteoblastenaktivität wider. Besser kann die Computertomografie (CT) die Kortexausdünnung und die Beteiligung des Knochenmarks darstellen und eine frühe pathologische Fraktur genauer nachweisen (> Abb. 19.7). Die Hounsfield-Werte eines nichtossifizierenden Fibroms sind höher als die des normalen Knochenmarks. Die meist aus anderen Gründen durchgeführte Magnetresonanztomografie (MRT) zeigt in T1-gewichteten Sequenzen ein mittelstarkes bis schwaches Signal, dagegen in T2-gewichteten Bildern ein mäßiges bis starkes

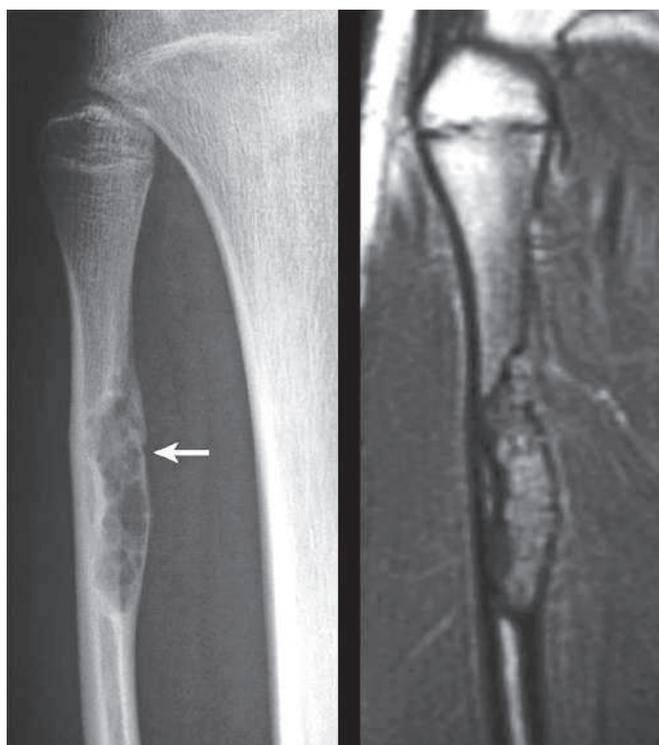


**Abb. 19.6 MRT bei Jaffe-Campanacci-Syndrom.** Bei einem 15 Jahre alten Jungen zeigen koronares T1w MRT-Bild beider distalen Femora **A** und sagittales fs T1w sowie PD-MRT-Bild **B** zahlreiche ossifizierendes Fibrome. **C** Das koronare Inversion Recovery MRT-Bild (*linker Teil*) zeigt die Läsionen signalreich und das Enhancement im fs T1w Bild nach i.v. Gadolinium (*rechter Teil*). **D** Das koronare fs T2w Bild zeigt zahlreiche Neurofibrome in N. popliteus, tibialis, peroneus und ischiadicus.

(> Abb. 19.8). Nach der Injektion von Gadolinium-Diethylen-triamin-pentaessigsäure (Gd-DPTA) zeigen sowohl der fibröse Kortikalisdefekt als auch das nichtossifizierende Fibrom immer einen hyperintensiven Rand und eine Signalanhebung (> Abb. 19.9). Die



**Abb. 19.7 CT bei nichtossifizierendem Fibrom.** Die Röntgenschrägprojektion der rechten Tibia zeigt bei einem 14 Jahre alten Mädchen eine elliptische transparente Läsion mit sklerotischem Rand. Axiale und koronare CT-Rekonstruktionen zeigen eine hypodense Läsion mit hyperdensem muschelartig ausgehöhltem Rand und Ausdehnung in den ventrolateralen Tibiakortex.



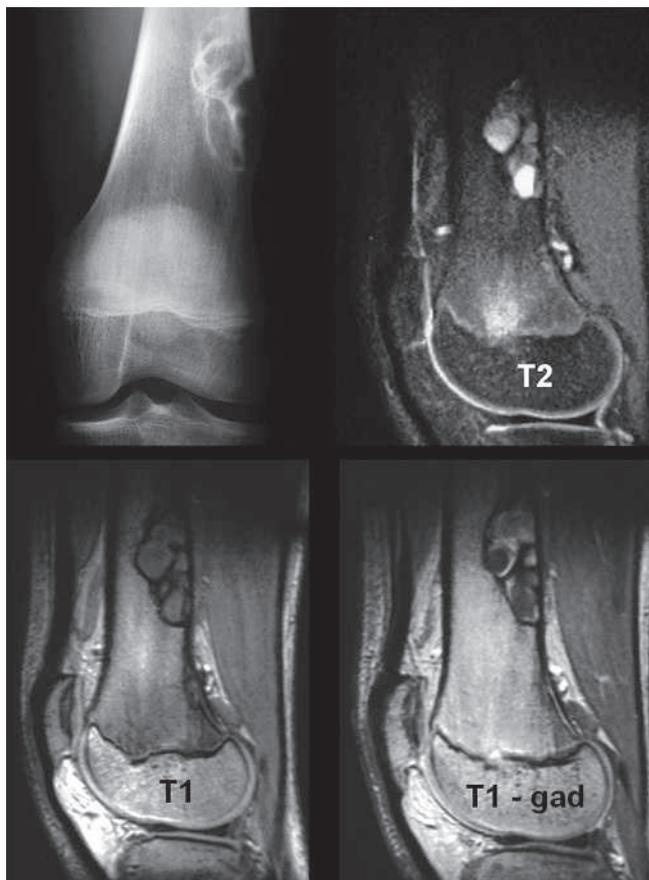
**Abb. 19.8 MRT bei nichtossifizierendem Fibrom.** Das a.-p. Röntgenbild der rechten Fibula eines 14 Jahre alten Mädchens zeigt eine exzentrische, gut abgegrenzte transparente Läsion mit sklerotisiertem Rand. Man beachte die Ausdünnung des innenseitigen Cortex und eine pathologische Fraktur (Pfeil). Das koronare T1w MRT-Bild zeigt die Läsion mit ihrem mittelstarken Signal (aus Greenspan A, Jundt G, Remagen W. *Differential diagnosis in orthopaedic oncology*. 2<sup>nd</sup> ed. Philadelphia; Lippincott Williams & Wilkins; 2007).

Mineralisation der Läsion erscheint in der Heilphase in der MRT dann vorwiegend hypointens.

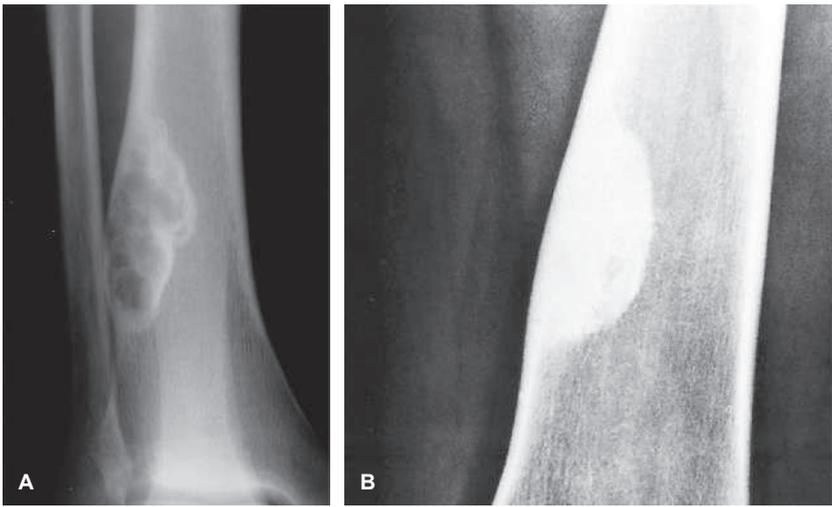
Unabhängig von ihrer Größe sind fibröser Kortikalisdefekt und nichtossifizierendes Fibrom histologisch identisch aus Spindelzellen und histiozytären Zellen aufgebaut, die ein klares, schaumiges Zytoplasma aufweisen. Zusätzlich sind osteoklastenartige vielkernige Riesenzellen und unterschiedliche Mengen von Entzündungszellen (Lymphozyten) und Plasmazellen im Hintergrund verteilt. Oft sind die Zellen in Lagen oder Schichten (storiform) angeordnet, was für fibrohistiozytäre Läsionen typisch ist. Einige dieser Herde enthalten extreme Mengen Fett in den Schaumzellen, weshalb man auf diese den Begriff *Xanthom* oder *Fibroxanthom* anwenden kann.

### 19.1.1 Komplikationen und Therapie

Die meisten Läsionen unterliegen einer spontanen Rückbildung (Heilung) durch Sklerosierung oder Remodellierung (> Abb. 19.10). In einigen Fällen können größere Veränderungen durch eine pathologische Fraktur kompliziert werden (> Abb. 19.11). Deshalb sind Kürettage und Knochenspanauffüllung die Therapie der Wahl, wenn eine Läsion groß ist und sich über 50% oder mehr des Markraums erstreckt.



**Abb. 19.9 MRT bei nichtossifizierendem Fibrom.** Das a.-p. Röntgenbild zeigt eine transparente, sklerotisch berandete Läsion, die an den dorsomedialen Cortex des rechten Femurs angrenzt. Das sagittale T1w MRT-Bild zeigt eine überwiegend mäßige Signalstärke der Läsion. Der sklerotische Rand ist hypointens. Das sagittale T2w Bild zeigt, dass die Läsion ein heterogenes, überwiegend hohes Signal besitzt. Das sagittale T1w MRT-Bild vor und nach intravenöser Gadoliniumgabe zeigt ein leicht heterogenes Enhancement des nichtossifizierenden Fibroms (aus Greenspan A, Jundt G, Remagen W. *Differential diagnosis in orthopaedic oncology*. 2<sup>nd</sup> ed. Philadelphia; Lippincott Williams & Wilkins; 2007).



**Abb. 19.10 Heilung eines nichtossifizierenden Fibroms.** **A** Die Spontaninvolution eines nichtossifizierten Fibroms in der distalen Tibia ist durch zunehmende Sklerose der peripheren Anteile der Läsion charakterisiert. **B** Ein nichtossifizierendes Fibrom kann nach der Spontanheilung als Sklerosefleck verbleiben. In dieser Phase sollte man nichtossifizierende Fibrome nicht mit osteoblastischen Tumoren oder einer sklerosierenden Dysplasie verwechseln. Sie sollten unter keinen Umständen biopsiert werden.



**Abb. 19.11 Komplikation des nichtossifizierenden Fibroms.** Die pathologische Fraktur ist eine häufige Komplikation eines großen nichtossifizierenden Fibroms, wie man hier an der distalen Tibia eines 10-jährigen Jungen sieht. Fibrome, die sich zur Hälfte oder mehr in die Markregion eines Knochens erstrecken, sollte man kürettieren und mit Knochenspänen auffüllen.

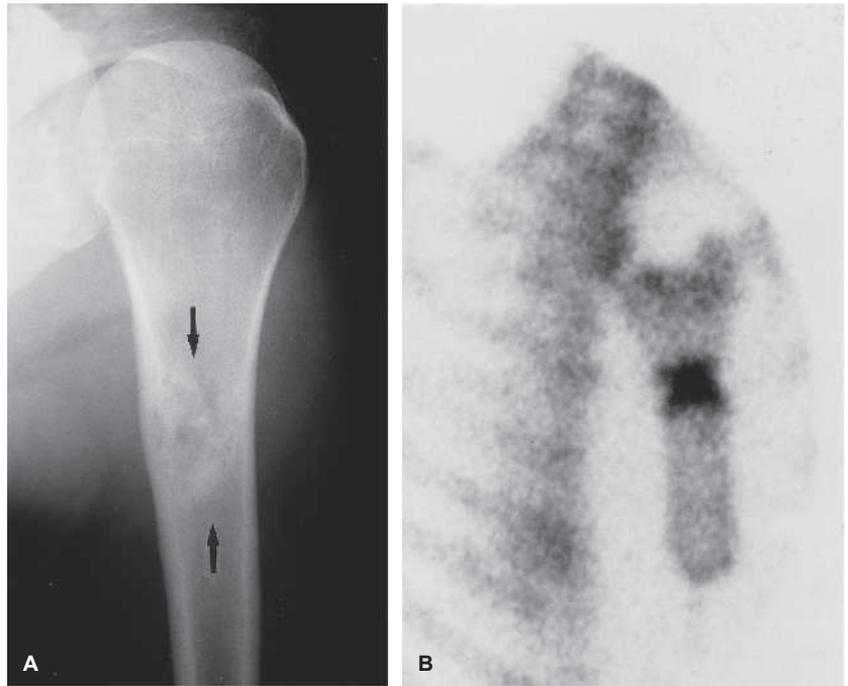


**Abb. 19.12 Benignes fibröses Histiozytom.** Ein 37-jähriger Mann klagte über gelegentlichen Schmerz im rechten Knie. Die Schrägaufnahme des Kniegelenks zeigt eine lappig begrenzte Aufhellung mit einem gut abgrenzbaren sklerotischen Rand und exzentrischem Sitz in der proximalen Tibia. Die Exzisionsbiopsie ergab ein benignes fibröses Histiozytom.

## 19.2 Benignes fibröses Histiozytom

Der Begriff *benignes fibröses Histiozytom* mag zwar umstritten sein, eignet sich aber zur Unterteilung von Veränderungen mit histologischen Merkmalen, die dem nichtossifizierenden Fibrom ähnlich sind, aber ein atypisches klinisches und radiologisches Bild aufweisen. Seine radiologischen Merkmale sind denen des nichtossifizierenden Fibroms häufig sehr ähnlich; es handelt sich um eine strahlentransparente Läsion mit scharf begrenzten, häufig sklerotischen Rändern und ohne jede Mineralisation der Matrix

(> Abb. 19.12 u. > Abb. 19.13). Die Abgrenzung vom nichtossifizierenden Fibrom erfolgt rein klinisch, da die histologischen Eigenschaften beider Veränderungen nahezu identisch sind. Die Patienten mit einem benignen fibrösen Histiozytom sind älter (meist > 25 Jahre) als solche mit einem nichtossifizierenden Fibrom, und im Gegensatz zu Letzterem kann das benigne fibröse Histiozytom auch Symptome wie Schmerz oder Beschwerden im betroffenen Knochen hervorrufen. Auch scheinen diese Läsionen einen eher aggressiven Verlauf zu nehmen und können nach Behandlung – Kürettage und Span- oder Spongiosaauffüllung – rezidivieren.



**Abb. 19.13 Benignes fibröses Histiozytom.** **A** Die a.-p. Röntgenaufnahme des linken proximalen Humerus einer 26 Jahre alten Frau mit chronischem Armschmerz zeigt eine exzentrische, scharf abgegrenzte und partiell sklerotische Läsion (Pfeile). **B** Das Szintigramm zeigt die herdförmige homogene Mehraufnahme des Radionuklids. Die Inzisionsbiopsie war mit einem heilenden benignen fibrösen Histiozytom vereinbar.

## 19.3 Periostales Desmoid

Das periostale Desmoid ist eine tumorartige, fibröse Neubildung des Periosts. Es tritt im Alter von 12–20 Jahren auf und hat eine ganz auffällende Vorliebe für die Kortikalis an der medialen Rückfläche des Femurinnenkondylus. Viele Patienten geben ein Trauma in der Vorgeschichte an, doch ist dies nicht unbedingt ein prädisponierender Faktor. Die Veränderung ahmt, abgesehen von ihrer speziellen Lokalisation, einen fibrösen Kortikalisdefekt nach; gelegentlich kann sie auch das Bild eines aggressiven oder gar eines malignen Tumors imitieren. Im Röntgenbild ist das Leitzeichen des periostalen Desmoids das strahlentransparente „untertassenartige“ Aussehen mit Sklerose an der Basis der Läsion, die die Knochenrinde erodiert und so eine Kortikalisirregularität bedingt (> Abb. 19.14). Die Skelettszintigrafie fällt meist normal aus, kann aber manchmal auch eine fokale Aktivitätszunahme zei-



**Abb. 19.14 Desmoidtumor.** Bei diesem 12-jährigen Jungen zeigt die Schrägaufnahme des linken Knies das klassische Bild eines periostalen Desmoids. Eine untertassenartige Aufhellung erodiert den Innenrand des distalen Femurschafts und die Metaphyse an der Linea aspera und ruft kortikale Unregelmäßigkeiten hervor (Pfeil). Diese Veränderung sollte man auf keinen Fall mit einem malignen Knochtumor verwechseln

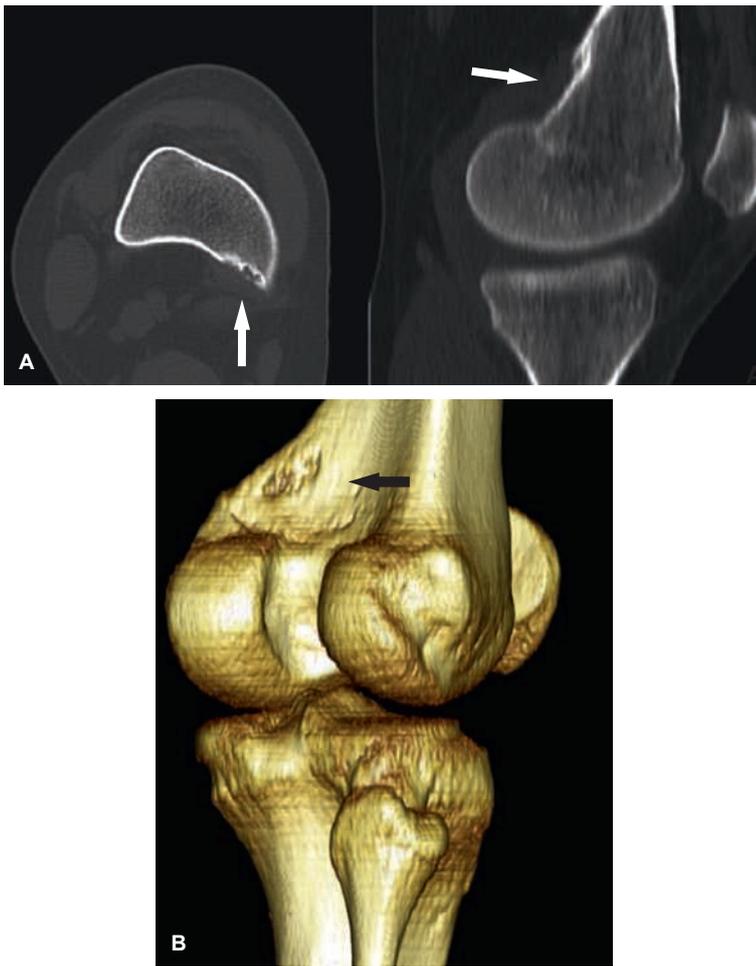
gen. Die CT zeigt eine klar berandete Läsion, häufig mit einem sklerotischen Rand (> Abb. 19.15). In der MRT erscheint die Läsion in T1-gewichteten Bildern hypointens, dagegen in T2-gewichteten Bildern signalreich und zeigt in beiden Sequenzen einen dunklen Randsaum am Ort der Befestigung des medialen Gastroknemiuskopfes oder in dessen Nähe.

Das periostale Desmoid gehört zu den sog. „Rühr-mich-nicht-an“-Veränderungen (> Tab. 16.10) und sollte nie biopsiert werden. Die meisten dieser Veränderungen haben sich bis zum Erreichen des 20. Lebensjahres spontan zurückgebildet.

Das histologische Bild der Läsionen zeigt fibroblastische Spindelzellen, die große Mengen von Kollagen produzieren. In das Fasergewebe können große Bezirke mit Hyalinisierung und Faserknorpel sowie kleine Knochenfragmente eingestreut sein.

### 19.3.1 Differenzialdiagnose

Einige Experten vertreten die Auffassung, dass man das periostale Desmoid von der distalen Kortikalisirregularität abgrenzen sollte. Letztere Anomalie ist ein häufiger Befund unbekannter Ursache bei Jungen im Alter von 10–15 Jahren; sie zeigt sich als Kortikalisaufrauung dicht unterhalb der Linea aspera des Femurs. Man ging zwar davon aus, dass sie eine Abrissverletzung durch den Zug der Aponeurose des M. adductor magnus darstellt, doch zeigten Brower et al., dass eine solche Läsion auch ohne jeden Muskel- oder Bandansatz in dieser Gegend vorkommen kann. Andere wiederum halten das periostale Desmoid und die Kortikalisirregularität des distalen Femurs für ein und dieselbe Krankheit. Dahlin stuft das periostale Desmoid gar als zellarme Variante des nichtossifizierenden Fibroms ein, Schajowicz klassifiziert es als periostale Variante des desmoplastischen Fibroms. Andere Autoren fassen die Definition des periostalen Desmoids weiter und betrachten es im Wesentlichen als eine zellarme Variante des fibrösen Kortikalisdefekts. Auf jeden Fall ist es eine nicht therapiebedürftige und sich selbstlimitierende Läsion, deren Aussehen und Lage als Schlüssel zur korrekten Diagnose dienen sollte.



**Abb. 19.15 CT bei periostalem Desmoid.** A, B Axiales Bild, sagittale planare Rekonstruktion und 3-D-Rekonstruktionsbild zeigen bei einem 14 Jahre alten Jungen einen scharf berandeten kortikalen Defekt an der dorsomedialen Seite des distalen Femurs (Pfeile).

## 19.4 Fibröse Dysplasie

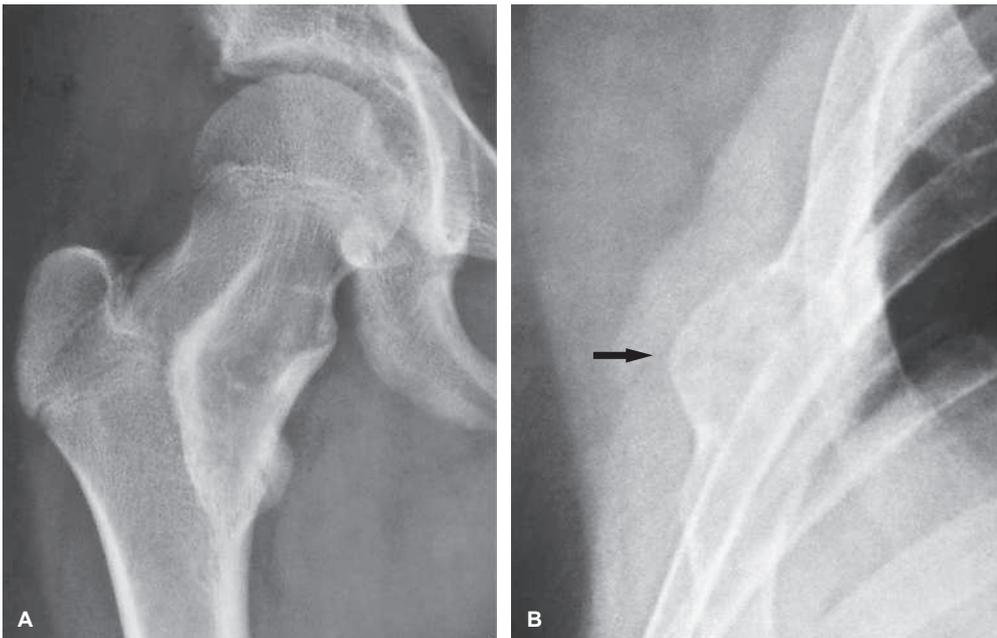
Die fibröse Dysplasie (gelegentlich auch *fibröse Osteodystrophie*, *Osteodystrophia fibrosa* oder *Osteitis fibrosa* genannt) ist eine fibroossäre Veränderung, die von einigen Experten der Gruppe der entwicklungsbedingten Dysplasien zugerechnet wird. Den Terminus fibröse Dysplasie brachte Lichtenstein im Jahr 1938 auf, um die aberrierende Entwicklung von fibroossärem Gewebe zu beschreiben, das normalen spongiösen Knochen ersetzt. Derzeit betrachtet man diese Veränderung als eine genetisch basierte sporadische Krankheit durch Mutation des *GNAS1*-Gens, dessen Defekt die Osteoblasten daran hindert, normalen Lamellenknochen zu bilden. Es gibt zwei häufige *GNAS1*-Mutationen in Verbindung mit der fibrösen Dysplasie, die beide im Kodon 201 vorkommen, wobei Arginin entweder durch Cytosin oder Histidin ersetzt wird, *R2012C* oder *R201H*. Nach neueren Berichten stellt die dritte *GNAS1*-Genmutation (*Q227L*) bei diesen Leiden nur etwa 5 % der Fälle einer *GNAS1*-Mutation. Auch wurden klonale Chromosomenveränderungen mit strukturellen wiederkehrenden Abweichungen von Chromosom 12 (12p13) berichtet.

Die fibröse Dysplasie kann einen einzigen Knochen befallen (monostotische Form) oder mehrere Knochen (polyostotische Form). Charakteristisch für die fibröse Dysplasie ist der Ersatz des normalen Lamellenknochens der Kortikalis durch ein abnormes Fasergewebe, das kleine, abnorm angeordnete Trabekel aus unreifem Geflechtknochen enthält und durch Metaplasie des fibrösen Stromas gebildet wird.

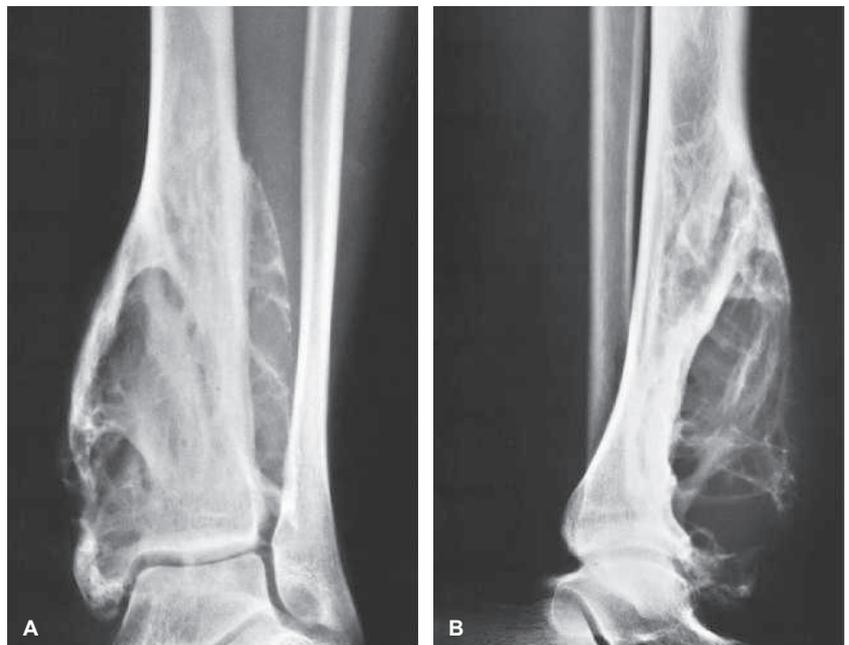
### 19.4.1 Monostotische fibröse Dysplasie

Die monostotische fibröse Dysplasie betrifft am häufigsten das Femur – besonders den Schenkelhals – wie auch Tibia und Rippen (> Abb. 19.16). Die Veränderung entsteht zentral im Knochen und verschont bei Kindern in der Regel die Epiphyse; bei Erwachsenen sieht man sie nur sehr selten am Gelenkende eines Knochens (> Abb. 19.17). Bei ihrer Größenzunahme dehnt sie sich auf den Markraum aus. Das radiologische Bild der monostotischen fibrösen Dysplasie variiert je nach dem Verhältnis von Knochen zu Bindegewebe in der Läsion. Veränderungen mit einem höheren knöchernen Anteil sind dichter und sklerotisch, solche mit einem höheren Fasergewebeanteil strahlentransparenter, sie bieten einen typischen „Milchglasaspekt“ (> Abb. 19.18 u. > Abb. 19.19; vgl. auch > Abb. 19.16B). Eine der Läsionen, die die fibröse Dysplasie imitieren, vor allem wenn sie in der interkondylären Femurregion liegen, ist der sog. *liposklerosierende myxofibröse Tumor* (> Abb. 19.20), eine benigne fibroossäre Läsion, die durch eine komplexe Mischung histologischer Elemente charakterisiert ist, die Lipom, Fibrom, Xanthom, Myxofibrom, Fettnekrose, Knochen und Knorpel beinhaltet.

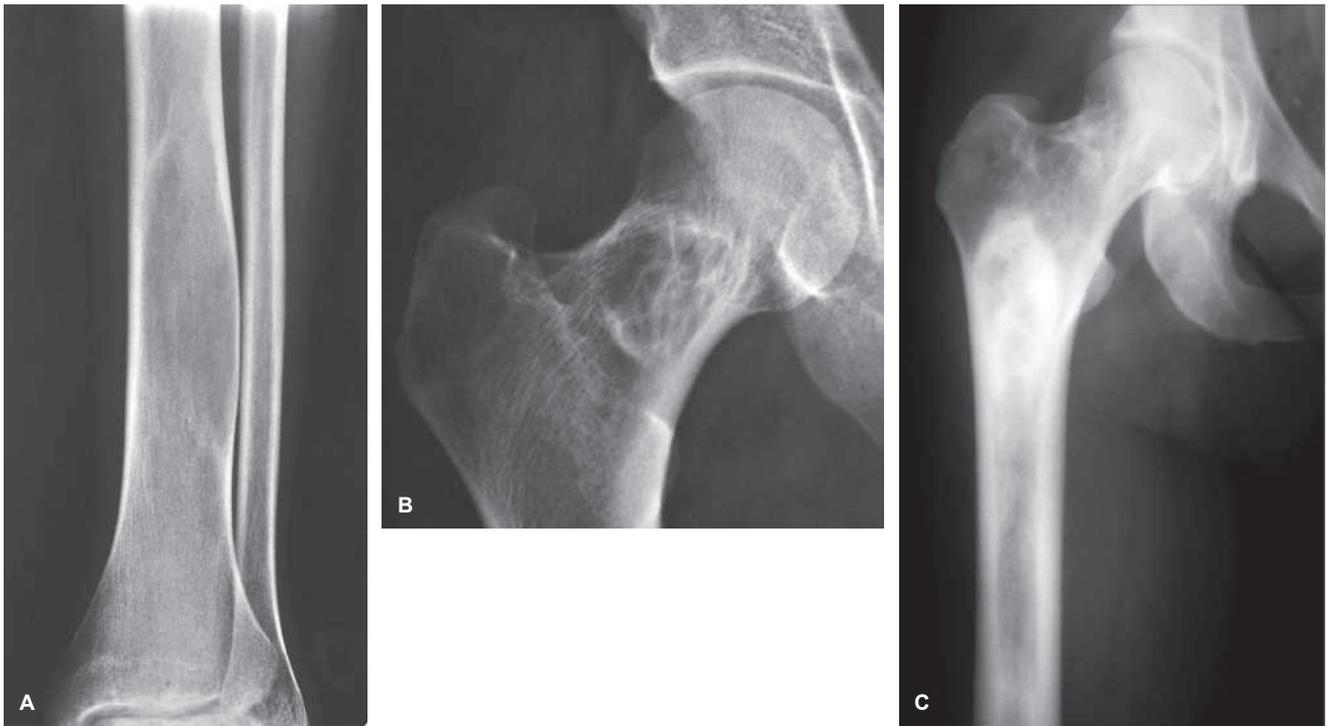
Die Szintigrafie hilft, die Aktivität der fibrösen Dysplasie (> Abb. 19.21) und eine mögliche Multizentrität zu bestimmen. Machida et al. berichteten, dass trotz hoher Inzidenz der vermehrten Radionuklid-speicherung bei 59 Patienten mit fibröser Dysplasie 10 % der Läsionen mit Milchglasaspekt keine solche vermehrte Akkretion aufwiesen.



**Abb. 19.16 Monostotische fibröse Dysplasie.** **A** In diesem typischen Fall sitzt ein Herd einer fibrösen Dysplasie im Schenkelhals, wie hier bei einem 13-jährigen Mädchen. Achten Sie auf die charakteristische sklerotische „Rinde“, die diese Läsion einkapselt. **B** Die Rippen sind häufiger Ort der fibrösen Dysplasie. Die breitflächige Läsion stellt sich milchglasartig dar.



**Abb. 19.17 Monostotische fibröse Dysplasie.** **A, B** Schräg- und Seitenaufnahme des linken Unterschenkels einer 32-jährigen Frau zeigen eine große bälkchentragende Aufhellung in der distalen Tibia. Wegen ihrer aggressiven Merkmale erwog man die Diagnose eines desmoplastischen Fibroms, doch ergab die Biopsie eine fibröse Dysplasie – eine bei Erwachsenen an dieser Stelle seltene Läsion.



**Abb. 19.18 Monostotische fibröse Dysplasie.** **A** Die a.-p. Aufnahme des distalen Unterschenkels eines 17-jährigen Mädchens zeigt einen monostotischen Herd der fibrösen Dysplasie im Tibiaschaft. Zu beachten sind hier die leichte Auswölbung und Ausdünnung der Kortikalis und der teilweise Verlust des Trabekelmusters der Spongiosa, die dieser Läsion ein milchglas- oder rauchglasartiges Muster verleiht. **B** Ein Herd der fibrösen Dysplasie im Schenkelhals eines 25-jährigen Mannes bietet ein mehr sklerotisches Bild als in der vorhergehenden Aufnahme. **C** Deutlich sklerotische Läsion einer fibrösen Dysplasie im proximalen rechten Femur bei einer 30 Jahre alten Frau.



**Abb. 19.19 Monostotische fibröse Dysplasie.** Die a.-p. Aufnahmen des linken Humerus in Neutralstellung **A** sowie in Außenrotation **B** zeigen bei einem 13 Jahre alten Jungen einen strahlentransparenten Herd einer fibrösen Dysplasie im Humerusschaft.

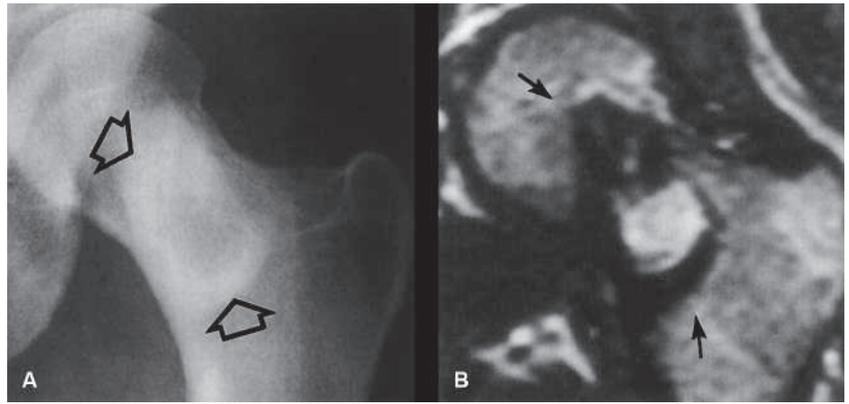
Die CT-Befunde entsprechen denen der konventionellen Röntgendiagnostik. CT-Schnitte zeigen hyperdense Bereiche in den sklerotischeren Läsionen und eine hypodense Matrix bei einer amorphen milchglasartigen Textur in Läsionen mit stärkeren fibrösen Anteilen (> Abb. 19.22 u. > Abb. 19.23). Die fibröse Dysplasie zeigt in der MRT ein variables Erscheinungsbild; einige Läsionen zeigen in T1- und T2-Gewichtung niedrige Signalstärke, andere sind in T1-Gewichtung hypointens, hingegen in T2-Gewichtung heterointens oder hyperintens. Der sklerotische Saum (Rindenzeichen) stellt sich T1- und T2-gewichtet immer als hypointenses Band dar.

Häufigste Komplikation der monostotischen fibrösen Dysplasie ist die pathologische Fraktur des strukturell geschwächten Knochens.

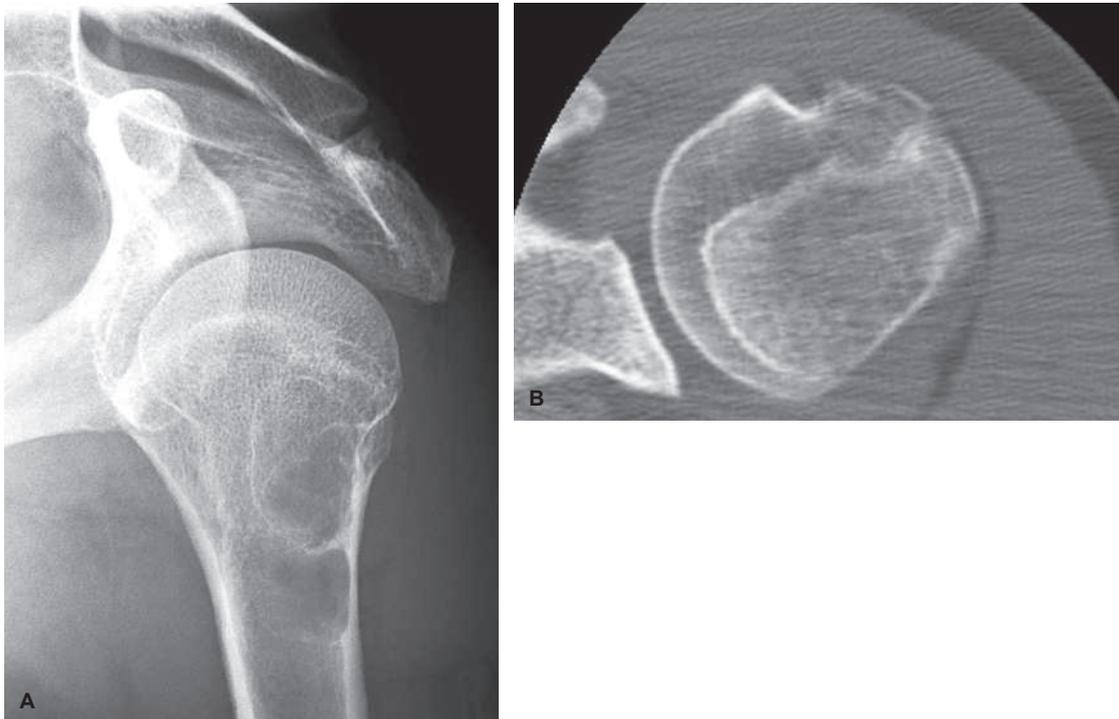
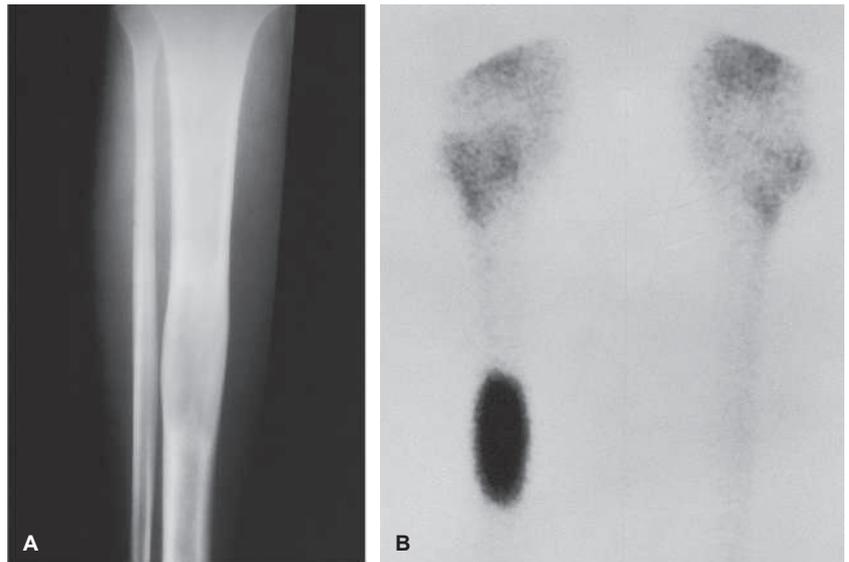
Histologisch erscheint die fibröse Dysplasie als eine Zusammenballung mäßig dichten Faserbindegewebes unter Einschluss von Knochenbälkchen in Zufallsverteilung anstelle einer belastungsorientierten Anordnung, wie man es bei normaler Spongiosa erwarten würde. Die Trabekel verlaufen gekrümmt und verzweigen sich mit spärlichen Zwischenverbindungen; Mikroskopaufnahmen mit geringer Vergrößerung wurden mit einer „Buchstabensuppe“ oder chinesischen Schriftzeichen verglichen. Sie setzen sich aus unreifem Webknochen zusammen und zeigen keinerlei osteoblastische Aktivität („nackte Trabekel“). Manchmal enthalten die Läsionen auch Gebiete mit Knorpelbildung.

**Abb. 19.20 Liposklerotischer myxofibröser Tumor.**

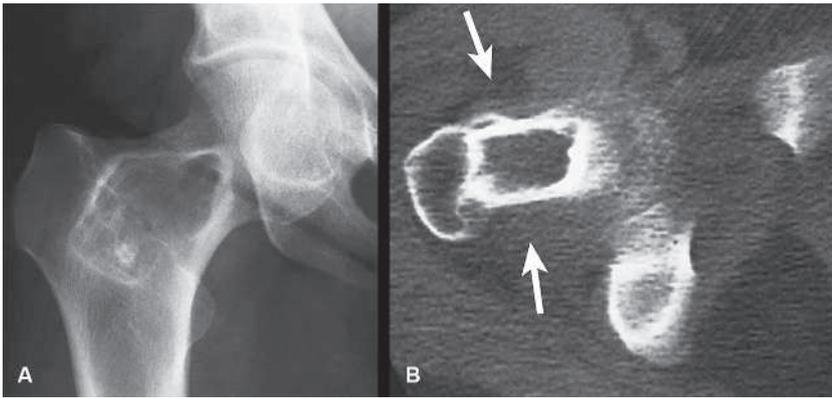
Das a.-p. Röntgenbild der linken Hüfte einer 38 Jahre alten Frau mit vagem Druckschmerz zeigt in der intertrochantären Femurregion eine transparente, schlecht abgrenzbare Läsion mit unscharfem, breitem sklerosiertem Rand (*offene Pfeile*). Das koronare T2w MRT-Bild zeigt die Läsion (*Pfeile*) mit ihrem heterogenen Signalmuster. Die periphere sklerotische „Rinde“ ist signalfrei (aus Krandorf MJ, Murphy MD, Sweet DE. Liposclerosing myxofibrous tumor: a radiologic-pathologic distinct fibroosseous lesion of bone with a marked predilection for the intertrochanteric region of the femur. *Radiology* 1992; 212:693–698).

**Abb. 19.21 Szintigrafie bei monostotischer fibröser Dysplasie.**

Die 44 Jahre alte Frau stellte sich mit leichtem Unbehagen im rechten Unterschenkel vor. **A** Das a.-p. Röntgenbild zeigt eine strahlentransparente Läsion in Tibiaschaftmitte mit „rauchigem“ Aussehen zusammen mit einer für die fibröse Dysplasie charakteristischen Ausdünnung und leichter Auftreibung des Cortex. **B** Das Skelettszintigramm zeigt eine deutlich gesteigerte Nuklidaufnahme, die auf eine aktive Läsion hinweist.



**Abb. 19.22 CT bei monostotischer fibröser Dysplasie.** **A** Das Röntgenbild zeigt einen Einzelfokus in Kopf und Hals des linken Humerus. **B** Das CT-Bild zeigt das milchglasartige Aussehen der Läsion und einen sklerotischen hyperdensen Rand.



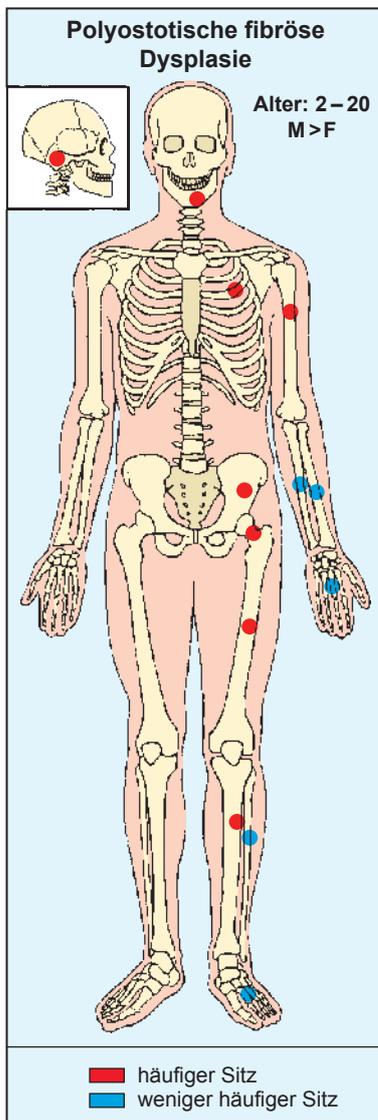
**Abb. 19.23 CT bei fibröser Dysplasie.** Das a.-p. Röntgenbild der rechten Hüfte und das axiale CT-Bild zeigen einen Herd einer fibrösen Dysplasie im Femurhals, der ein typisches Rindenzeichen aufweist – ein breiter sklerotischer Rand umgibt eine strahlentransparente hypodense Läsion (Pfeile).

### 19.4.2 Polyostotische fibröse Dysplasie

Diese ähnelt zwar radiologisch der monostotischen fibrösen Dysplasie, sie ist jedoch ein aggressiveres Leiden und zeigt ein unterschiedliches Verteilungsmuster im Skelett sowie eine auffällige Bevorzugung einer Körperseite (> Abb. 19.24), die bei über 90% der Patienten festgestellt wurde. Häufig ist das Becken befallen, ge-

folgt von langen Röhrenknochen, Schädel und Rippen; das proximale Femurende ist ein häufiger Erkrankungsort (> Abb. 19.25). Die Einzelveränderungen nehmen im Allgemeinen bis zum Ende der Skelettreifung an Zahl und Größe zu und bleiben danach stumm ruhen. Nur in etwa 5% der Fälle vergrößern sie sich weiter.

Radiologisch können die für eine fibröse Dysplasie typischen Veränderungen nur in einem umschriebenen Knochenabschnitt

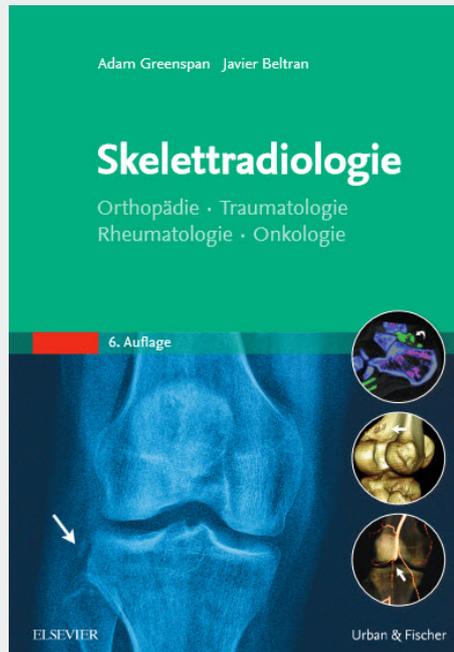


**Abb. 19.24 Prädilektionsstellen, Altersgipfel und Geschlechterverteilung bei der polyostotischen fibrösen Dysplasie, die man im Regelfall nur an einer Körperhälfte (rechts oder links) vorfindet.**



**Abb. 19.25 Polyostotische fibröse Dysplasie.** Die a.-p. Aufnahme der Hüfte einer 18-jährigen Frau mit einer polyostotischen fibrösen Dysplasie zeigt eine einseitige Beteiligung von Darmbein und Femur. Daneben sieht man eine pathologische Fraktur des Schenkelhalses mit einer Varusdeformität.

# Erhältlich in Ihrer Buchhandlung



Der neue "Greenspan" - ideal für alle Radiologen, Orthopäden, Rheumatologen und Onkologen, die intensiv mit der Bildgebung des Bewegungsapparats arbeiten. Er gibt Sicherheit auch bei sehr komplexen Befunden und Diagnosen.

In der sechsten Auflage überzeugt Skelettradiologie mit neuen Abbildungen auch in Farbe, und mit speziellen Hervorhebungen für Operateure und behandelnde Ärzte.

- Im Zusammenspiel von Abbildung und Erklärung, einschließlich zahlreicher Beispiele, zeigt das Buch alle relevanten radiologischen Merkmale, die Sie im orthopädisch-traumatologischen Fachgebiet für Ihre Arbeit brauchen.
- Mit über 4.000 prägnanten Abbildungen der konventionellen Radiographie, MRT, Ultraschall, CT und allen anderen Bildgebungsmodalitäten beurteilen Sie sicher alle Erkrankungen des Bewegungsapparates nach dem aktuellen State-of-the-Art-Wissen.
- Ergänzende 3D-Abbildungen und anatomische Zeichnungen erläutern auch sehr komplexe Zusammenhänge.
- Mit Entscheidungshilfen und differenzierten Auswahlkriterien wählen Sie fallbezogen und situativ die optimale radiologische Bildgebung (z.B. Kosten-Nutzen-Relation, Strahlenbelastung, Bildqualität).

Differenzialdiagnose-Tabellen mit den wichtigsten Unterscheidungskriterien sichern Ihre Diagnose ab.

## Skelettradiologie

6. Aufl. 2017. 1.114 S., 1.000 farb. Abb.,

3000 s/w Abb., geb.

ISBN: 978-3-437-23064-6

€ [D] 299,99 / € [A] 308,40

Empowering Knowledge

