

# Bildgebende Diagnostik des Fußes

Ulrike Szeimies  
Axel Stäbler  
Markus Walther



Thieme





# Bildgebende Diagnostik des Fußes

**Ulrike Szeimies**  
**Axel Stäbler**  
**Markus Walther**

Mit Beiträgen von

Rüdiger Degwert  
Hartmut Gaulrapp  
Sigurd Kessler  
Anke Röser  
Axel Stäbler  
Ulrike Szeimies  
Markus Walther

536 Abbildungen

# Impressum

Bibliografische Information  
der Deutschen Nationalbibliothek

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

**Wichtiger Hinweis:** Wie jede Wissenschaft ist die Medizin ständigen Entwicklungen unterworfen. Forschung und klinische Erfahrung erweitern unsere Erkenntnisse, insbesondere was Behandlung und medikamentöse Therapie anbelangt. Soweit in diesem Werk eine Dosierung oder eine Applikation erwähnt wird, darf der Leser zwar darauf vertrauen, dass Autoren, Herausgeber und Verlag große Sorgfalt darauf verwandt haben, dass diese Angabe **dem Wissensstand bei Fertigstellung des Werkes** entspricht.

Für Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen kann vom Verlag jedoch keine Gewähr übernommen werden. **Jeder Benutzer ist angehalten**, durch sorgfältige Prüfung der Beipackzettel der verwendeten Präparate und gegebenenfalls nach Konsultation eines Spezialisten festzustellen, ob die dort gegebene Empfehlung für Dosierungen oder die Beachtung von Kontraindikationen gegenüber der Angabe in diesem Buch abweicht. Eine solche Prüfung ist besonders wichtig bei selten verwendeten Präparaten oder solchen, die neu auf den Markt gebracht worden sind. **Jede Dosierung oder Applikation erfolgt auf eigene Gefahr des Benutzers.** Autoren und Verlag appellieren an jeden Benutzer, ihm etwa auffallende Ungenauigkeiten dem Verlag mitzuteilen.

© 1. Aufl., 2012 Georg Thieme Verlag KG  
Rüdigerstraße 14  
70469 Stuttgart  
Deutschland  
Telefon: +49/(0)711/89 31-0  
Unsere Homepage: [www.thieme.de](http://www.thieme.de)

Printed in Germany

Zeichnungen: Roland Geyer, Weilerswist  
Umschlaggestaltung: Thieme Verlagsgruppe  
Umschlagfoto: Dr. med. Ulrike Szeimies, München  
Redaktion: Dr. Doris Kliem, Urbach  
Satz: Druckhaus Götz GmbH, 71636 Ludwigsburg  
gesetzt in 3B2, Version 9.1, Unicode  
Druck: Offizin Andersen Nexö Leipzig GmbH, Zwenkau

Geschützte Warennamen (Marken) werden **nicht** besonders kenntlich gemacht. Aus dem Fehlen eines solchen Hinweises kann also nicht geschlossen werden, dass es sich um einen freien Warennamen handelt.

Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

ISBN 978-3-13-149241-8

1 2 3 4 5 6

Auch erhältlich als E-Book:  
eISBN (PDF) 978-3-13-170751-2

## Vorwort

„Hilfe, ein schwieriger Fuß im MRT!“ – Wer hatte nicht schon mal so einen Gedanken, zumal wenn der zuweisende Fußchirurg für seine gezielten Fragestellungen bekannt ist.

Die Herausgeber (zwei Radiologen und ein Fußchirurg) waren sich bei der Entstehung des Buches einig, dass nur der klinische Bezug verbunden mit Kenntnissen in der Therapie von Fußerkrankungen zu einer verbesserten Bewertung von pathologischen Befunden führen kann. Wir erleben in der Radiologie wie in vielen Bereichen der Medizin einen Wandel zur Subspezialisierung, weg vom Methodenzentrierten hin zum Organzentrierten. Hier ist der Austausch von Spezialwissen mit einem klinischen Partner für das Verstehen eines biomechanisch so komplexen Gelenksystems wie dem Fuß von großer Bedeutung.

Dieses Buch soll in einer knappen, anschaulich-praktikablen Form das klinisch bezogene Diagnosewissen erweitern – immer

im Bezug zu therapeutischen Optionen. Die Empfehlungen der Protokolle und des diagnostischen Vorgehens entstanden aus dem Blickwinkel der Patientenversorgung, zwar mit theoretischem Hintergrund, aber den wirtschaftlichen Druck einer radiologischen Praxis im Auge.

Die Herausgeber und Autoren hoffen mit diesem Leitfaden der Fußdiagnostik eine effiziente praxisnahe Alltagshilfe für die Befundung von Fuß-Untersuchungen geschaffen und bei dem einen oder anderen die Leidenschaft für die Fußdiagnostik geweckt zu haben.

München, im Frühjahr 2012,

Ulrike Szeimies

Axel Stäbler

Markus Walther

# Anschriften

## Herausgeber und Autoren

**Szeimies, Ulrike, Dr. med.**  
Radiologie in München-Harlaching  
Grünwalder Straße 72  
81547 München

**Stäbler, Axel, Prof. Dr. med.**  
Radiologie in München-Harlaching  
Grünwalder Straße 72  
81547 München

**Walther, Markus, Prof. Dr. med.**  
Schön-Klinik München-Harlaching  
Zentrum für Fuß- und Sprunggelenkchirurgie  
Harlachinger Straße 51  
81547 München

## Autoren

**Degwert, Rüdiger, Dr. med.**  
Sporttraumatologische Spezialambulanz  
Praxis für individuelle Rückentherapie  
Sankt-Magnus-Straße 34  
81545 München

**Gaulrapp, Hartmut, Dr. med.**  
Facharztpraxis für Orthopädie und Kinder-Orthopädie  
Leopoldstraße 25  
80802 München

**Kessler, Sigurd, Prof. Dr. med.**  
Schön-Klinik München-Harlaching  
Zentrum für Fuß- und Sprunggelenkchirurgie  
Harlachinger Straße 51  
81547 München

**Röser, Anke, Dr. med.**  
Schön-Klinik München-Harlaching  
Zentrum für Fuß- und Sprunggelenkchirurgie  
Harlachinger Straße 51  
81547 München

# Abkürzungen

<b>A., Aa.</b>	Arteria, Arteriae	<b>Hz</b>	Hertz (SI-Einheit der Frequenz)
<b>ACR</b>	American College of Rheumatology	<b>ICI</b>	Integral Classification of Injuries
<b>AO</b>	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen	<b>ICRS</b>	International Cartilage Research Society
<b>AOFAS</b>	American Orthopedic Foot and Ankle Society	<b>i. v.</b>	intravenös
<b>a.-p.</b>	anterior-posterior	<b>Lig., Ligg.</b>	Ligamentum, Ligamenta
<b>CCP</b>	zyklisch zitruillierte Peptide	<b>M., Mm.</b>	Musculus, Musculi
<b>CRPS</b>	komplexes regionales Schmerzsyndrom	<b>MEDIC</b>	Multi-Echo-Data Image Combination
<b>CT</b>	Computertomografie/-tomogramm	<b>MPR</b>	multiplanare Reformatierung
<b>3D</b>	3-dimensional	<b>MRT</b>	Magnetresonanztomografie/-tomogramm
<b>DEGUM</b>	Deutsche Gesellschaft für Ultraschall in der Medizin	<b>N., Nn.</b>	Nervus, Nervi
<b>DMAA</b>	distal metatarsal articular angle	<b>NOAP</b>	neuropathische Osteoarthropathie
<b>DMARD</b>	krankheitsmodifizierende antirheumatische Medikamente	<b>OTA</b>	Orthopaedic Trauma Association
<b>DNOAP</b>	diabetisch-neuropathische Osteoarthropathie	<b>p.-a.</b>	posterior-anterior
<b>d.-p.</b>	dorsoplantar	<b>PASA</b>	proximal articular set angle
<b><sup>18</sup>F-FDG-PET/CT</b>	<sup>18</sup> Fluorodesoxyglukose-Positronenemissionstomografie/CT	<b>p.-d.</b>	plantodorsal
<b>HE</b>	Hounsfield-Einheiten (Einheit der Abschwächung von Röntgenstrahlung in Gewebe)	<b>PDw</b>	protonendichtegewichtet
		<b>PVNS</b>	pigmentierte villonoduläre Synovitis
		<b>R., Rr.</b>	Ramus, Rami
		<b>STIR</b>	Short-Tau Inversion Recovery
		<b>T</b>	Tesla (SI-Einheit für die magnetische Flussdichte)
		<b>Tc</b>	Technetium
		<b>TNF</b>	Tumornekrosefaktor
		<b>T1w</b>	T1-gewichtet
		<b>T2w</b>	T2-gewichtet
		<b>VR</b>	Volume Rendering
		<b>WHO</b>	World Health Organisation

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Techniken der Bildgebung</b> .....	11
1.1	<b>Magnetresonanztomografie (MRT)</b> .....	12
	<i>U. Szeimies</i>	
1.1.1	Untersuchungsstrategie .....	12
1.1.2	Belastungs-MRT .....	13
1.2	<b>Mehrzeilen-Spiral-Computertomografie(-CT)</b> ..	13
	<i>U. Szeimies</i>	
1.2.1	Lagerung .....	13
1.2.2	Protokoll .....	13
1.2.3	Indikationen .....	14
1.2.4	Besondere Techniken .....	14
1.3	<b>Röntgen</b> .....	14
	<i>M. Walther</i>	
1.3.1	Vorfuß .....	14
1.3.2	Rückfuß .....	17
1.4	<b>Ultraschall</b> .....	20
	<i>H. Gaulrapp</i>	
<b>2</b>	<b>Klinische Diagnostik</b> .....	24
	<i>R. Degwert und M. Walther</i>	
2.1	<b>Untersuchungsalgorithmus</b> .....	24
2.1.1	Klinische Untersuchung .....	24
2.1.2	Apparative Diagnostik .....	24
2.1.3	Weiterführende, konsiliarische Untersuchung ..	24
2.2	<b>Anamnese</b> .....	24
2.2.1	Relevante Fragen .....	24
2.2.2	Schmerzspezifische Anamnese .....	25
2.3	<b>Inspektion</b> .....	25
2.4	<b>Palpation</b> .....	25
2.5	<b>Bewegungstests</b> .....	25
2.5.1	Translationstest .....	26
2.5.2	Muskelfunktionstest .....	26
2.6	<b>Untersuchung der Sensibilität</b> .....	27
2.7	<b>Untersuchung der Durchblutung</b> .....	27
2.8	<b>Spezielle Tests am Fuß</b> .....	28
2.8.1	Rückfuß .....	28
2.8.2	Gelenkstabilität .....	29
2.8.3	Nervenirritation .....	29
2.8.4	Vorfuß .....	30
2.9	<b>Belastungs-/Provokationstest</b> .....	30
2.10	<b>Weitere diagnostische Optionen</b> .....	30
2.11	<b>Zusammenfassung</b> .....	30
2.12	<b>Sonderfall: chronisches Schmerzsyndrom ohne Befundkorrelat</b> .....	31
<b>3</b>	<b>Sprunggelenk und Rückfuß</b> .....	34
3.1	<b>Trauma</b> .....	34
3.1.1	<b>Kapsel-Band-Apparat</b> .....	34
	<i>M. Walther und U. Szeimies</i>	
3.1.2	<b>Frakturen</b> .....	47
	<i>A. Stäbler und M. Walther</i>	
3.2	<b>Chronische, posttraumatische und degenerative Veränderungen</b> .....	77
3.2.1	<b>Achsfehlstellungen des Rückfußes</b> .....	77
	<i>M. Walther und A. Stäbler</i>	
3.2.2	<b>Impingement</b> .....	82
	<i>U. Szeimies</i>	
3.2.3	<b>Instabilität</b> .....	89
	<i>U. Szeimies</i>	
3.2.4	<b>Chronische Pathologien des Knorpels und Knochens</b> .....	95
	<i>U. Szeimies</i>	
3.2.5	<b>Pathologien der Achillessehne</b> .....	110
	<i>M. Walther und U. Szeimies</i>	
3.2.6	<b>Pathologien der Flexor-hallucis-longus-Sehne (posteriores Impingement, Os-trigonum-Syndrom, Teiltraktur)</b> .....	121
	<i>U. Szeimies</i>	
3.2.7	<b>Pathologien der Peronealsehnen</b> .....	122
	<i>U. Szeimies</i>	
3.2.8	<b>Pathologien der Tibialis-posterior-Sehne</b> .....	129
	<i>U. Szeimies</i>	

3.2.9	Pathologien der Tibialis-anterior-Sehne . . . . .	134	3.2.11	Differenzialdiagnosen des chronischen Rückfußschmerzes . . . . .	139
	<i>U. Szeimies</i>			<i>U. Szeimies</i>	
3.2.10	Subtalargelenk: Sinus-tarsi-Syndrom . . . . .	137			
	<i>U. Szeimies</i>				
<b>4</b>	<b>Mittelfuß</b> . . . . .	148			
4.1	Trauma . . . . .	148	4.1.5	Ossa-cuneiforme-Frakturen . . . . .	161
	<i>R. Degwert und U. Szeimies</i>				
4.1.1	Frakturen der tarsometatarsalen Gelenklinie (Lisfranc-Frakturen) . . . . .	148	4.2	Chronische, posttraumatische und degenerative Veränderungen . . . . .	163
4.1.2	Lisfranc-Ligament-Verletzung . . . . .	153		<i>U. Szeimies</i>	
4.1.3	Os-naviculare-Frakturen . . . . .	156	4.2.1	Arthrose . . . . .	163
4.1.4	Os-cuboideum-Frakturen . . . . .	159	4.2.2	Instabilität . . . . .	166
<b>5</b>	<b>Vorfuß</b> . . . . .	174			
5.1	Trauma . . . . .	174	5.2	Chronische, posttraumatische und degenerative Veränderungen . . . . .	184
	<i>R. Degwert, U. Szeimies und M. Walther</i>			<i>M. Walther und U. Szeimies</i>	
5.1.1	Frakturen der Ossa metatarsalia . . . . .	174	5.2.1	Hallux valgus . . . . .	184
5.1.2	Kapsel-Band-Verletzungen des Großzehengrundgelenks (Turf Toe, Sand Toe), Ruptur der plantaren Platte . . . . .	179	5.2.2	Hallux rigidus . . . . .	185
5.1.3	Frakturen der Phalangen . . . . .	182	5.2.3	Kralen-, Klauen- und Hammerzehen, chronische Ruptur der plantaren Platte . . . . .	186
			5.2.4	Osteonekrose, Morbus Köhler II . . . . .	189
			5.2.5	Sesambeinpathologie . . . . .	191
<b>6</b>	<b>Pathologien der plantaren Weichteile</b> . . . . .	196			
	<i>A. Röser und U. Szeimies</i>				
6.1	Plantarfasziitis, Ruptur der Plantarfaszie . . . . .	196	6.6	Überkreuzungsphänomen Chiasma-plantare- Syndrom: Flexores hallucis longus/digitorum longus . . . . .	204
6.2	Plantarer Fersensporn . . . . .	198	6.7	Metatarsalgie . . . . .	205
6.3	Morbus Ledderhose . . . . .	199	6.8	Dornwarze . . . . .	208
6.4	Atrophie des plantaren Fettpolsters . . . . .	201	6.9	Kompartiment-Syndrom der Musculi interossei . . . . .	209
6.5	Plantarvenenthrombose . . . . .	203			
<b>7</b>	<b>Erkrankungen der Nerven</b> . . . . .	214			
	<i>M. Walther und U. Szeimies</i>				
7.1	Morton-Neurom . . . . .	214	7.2	Weitere Nervenkompressionssyndrome . . . . .	216

<b>8</b>	<b>Erkrankungen ohne spezifische anatomische Lokalisation</b> .....	222		
	<i>U. Szeimies</i>			
<b>8.1</b>	<b>Reflexdystrophie/CRPS</b> .....	222	<b>8.4</b>	<b>Stress-/Mikrofraktur</b> .....
<b>8.2</b>	<b>Knochenmarködemsyndrom</b> .....	224	<b>8.5</b>	<b>Kindliches Knochenmarködem (Tigerfell)</b> ...
<b>8.3</b>	<b>Überlastungsödem</b> .....	226		230
<b>9</b>	<b>Systemerkrankungen mit Beteiligung des Fußes</b> .....	234		
<b>9.1</b>	<b>Entzündliche Gelenkerkrankungen</b> .....	234	<b>9.3</b>	<b>Diabetische Osteoarthropathie/Charcot-Arthropathie</b> .....
	<i>A. Röser und A. Stäbler</i>			247
<b>9.1.1</b>	<b>Rheumatoide Arthritis</b> .....	234		<i>S. Kessler und A. Stäbler</i>
<b>9.1.2</b>	<b>Seronegative Spondylarthropathien</b> .....	240	<b>9.4</b>	<b>Osteitis, Osteomyelitis</b> .....
<b>9.2</b>	<b>Gichtarthropathie</b> .....	246		259
	<i>A. Stäbler</i>			<i>A. Stäbler</i>
<b>10</b>	<b>Tumorähnliche Läsionen</b> .....	266		
	<i>A. Stäbler</i>			
<b>10.1</b>	<b>Osteoidosteom</b> .....	266	<b>10.4</b>	<b>Hämangiom</b> .....
<b>10.2</b>	<b>Lipom</b> .....	267	<b>10.5</b>	<b>Ganglion</b> .....
<b>10.3</b>	<b>Aneurysmatische Knochenzyste</b> .....	271	<b>10.6</b>	<b>Pigmentierte villonoduläre Synovitis</b> .....
				276
<b>11</b>	<b>Normvarianten</b> .....	280		
	<i>U. Szeimies</i>			
<b>11.1</b>	<b>Akzessorische Muskeln, tiefe Muskel-Sehnen-Übergänge</b> .....	280	<b>11.2</b>	<b>Akzessorische Knochen</b> .....
				281
<b>Bei allen Kapiteln</b>				
<b>Alle sonografischen Inhalte</b>				
<i>H. Gaulrapp</i>				
<b>Sachverzeichnis</b> .....				285

# Kapitel 1

## Techniken der Bildgebung

1.1	Magnetresonanztomografie (MRT)	12
1.2	Mehrzeilen-Spiral-Computertomografie (-CT)	13
1.3	Röntgen	14
1.4	Ultraschall	20

# 1 Techniken der Bildgebung

## 1.1 Magnetresonanztomografie (MRT)

U. Szeimies

### 1.1.1 Untersuchungsstrategie

#### MRT des Fußes allgemein

##### MRT-System

Die Faustregel, dass eine hohe Feldstärke auch eine hohe Auflösung und damit eine hohe Bildqualität liefert, besitzt noch ihre Gültigkeit. Grundsätzlich ist ein 3-T-System (3-Tesla-System) von Vorteil; bei entsprechender Wahl der Sequenzen erreicht man eine Detailerkennbarkeit, die den geneigten Betrachter immer wieder aufs Neue fasziniert. Die direkte Visualisierung von nervalen Strukturen sowie feinsten Faszikeln der Ligamente und insbesondere die Darstellung des hyalinen Gelenkknorpels führen zu einer sicheren Erkennbarkeit der Pathologie. Limitierend ist im Vergleich zum 1,5-T-System jedoch die Untersuchung mit Osteosynthesematerial; die ausgeprägte Artefaktanfälligkeit ist für die Versorgung z. B. eines großen Fußzentrums von Nachteil. Jedoch ist neuerdings einschränkend festzustellen, dass mit modernen 1,5-T-MRT-Systemen und entsprechender Mehrkanalspulenteknologie eine ähnlich hohe Auflösung wie mit einem 3-T-Gerät erzielt werden kann. Allerdings ist dies stets mit einem erhöhten zusätzlichen Zeitaufwand verbunden.

##### Spule, Lagerung

Eine hochauflösende Mehrkanalspule zur exakten Beurteilung der Feinstrukturen in einem Hochfeldgerät (ab 1,5 T) liefert eine hohe anatomische Genauigkeit. Die Lagerung des Patienten erfolgt wenn möglich in Bauchlage und Plantarflexion mit einer optimalen Abpolsterung des Fußes innerhalb der Spule. In dieser für den Patienten bequemen Untersuchungssituation entstehen weniger Bewegungsartefakte als in Rückenlage. Zusätzlich können dadurch Artefakte, die im 54,7°-Winkel des  $B_0$ -Magnetfelds zur Sehne auftreten („Magic Angle“) und eine pathologisch erhöhte Binnenstruktur vortäuschen, vermieden werden.

##### Sequenzen

Es gibt für die Diagnostik am Fuß Standardsequenzen (insbesondere bei unklaren generalisierten Fußschmerzen sowie bei der Beurteilung des Knochenmarks und der gesamten Weichteile) sowie speziell an die Fragestellung adaptierte Spezialsequenzen mit individuell angepasster Schichtwahl (Beispiele s. unten).

Die Standardsequenzen sind:

- T1w (T1-gewichtet) koronar
- PDw (protonendichtegewichtet) fatsat (mit Fettsättigung) sagittal und koronar

- T2w (T2-gewichtet) axial
- T1w fatsat axial und sagittal nach i. v. (intravenöser) Kontrastmittelgabe

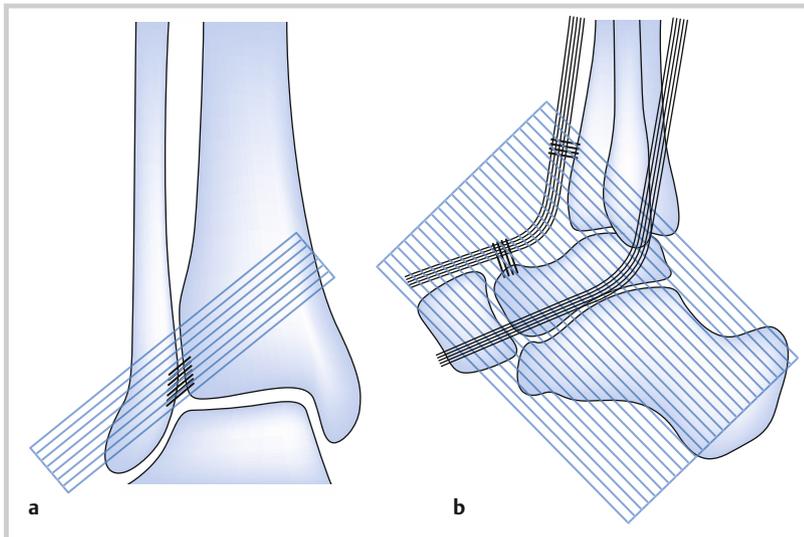
Für die hochauflösende Darstellung am Fuß empfiehlt sich grundsätzlich eine hochauflösende, quadratische Matrix ohne Interpolierung (384 × 384, 448 × 448, 512 × 512). Des Weiteren ist eine dünne Schichtführung von maximal 2–2,5 mm anzustreben. Diese Spezialsequenzen dürfen nicht für alle Patienten gleichermaßen verwendet werden, da der erhöhte Zwischenschichtabstand nicht den Vorgaben für Untersuchungen bei gesetzlich versicherten Patienten entspricht.

##### Kontrastmittel

Außer bei akuten Traumen ist grundsätzlich eine MRT mit Kontrastmittel anzustreben, da insbesondere chronische Überlastungssyndrome (Gelenke, Kapsel-Band-Apparat, Sehnen, fibroossäre Übergänge) sich erst nach der Kontrastmittelgabe mit vermehrter Anreicherung des fibrovaskulären Gewebes darstellen. Neuerdings ist die Überprüfung der Nierenfunktion (Kreatinin-Clearance) nötig. Falls keine aktuellen Blutwerte vorliegen, kann dieser Wert auch unmittelbar vor Untersuchung mittels eines Test-Kits mit Blut aus der Fingerbeere/Ohrspeichel bestimmt werden.

##### Spezielle Sequenzen je nach Fragestellung

- *Vordere Syndesmose* (schräg sagittale/axiale PDw fatsat Sequenz; Abb. 1.1 a): Diese schräg sagittale/axiale Angulierung ermöglicht die Darstellung des kompletten Faserverlaufs der vorderen Syndesmose, die schräg von der distalen Tibia nach kaudal lateral zur Fibula verläuft. Die Kontinuitätsunterbrechung der Fasern sowie die Einblutung zwischen den Unterschenkelknochen sind mit dieser Sequenz sehr gut zu erkennen.
- *Sehnenpathologie am Rück- und Mittelfuß* (T1w fatsat nach Kontrastmittelgabe schräg axial; Abb. 1.1 b): Die Sehnen am Rückfuß (Flexoren- und Extensorensehnen sowie Peronealsehnen) verlaufen im 45°-Winkel zum oberen Sprunggelenk. Die schräg axiale Schichtführung der T1w Sequenz nach Kontrastmittelgabe mit Fettunterdrückung wird im 90°-Winkel zum Sehnervenverlauf geplant, sodass die Sehnen und Sehnscheiden optimal im Querschnitt getroffen werden. Eine vermehrte Kontrastmittelaufnahme der Sehnscheiden oder ein vermehrtes Enhancement innerhalb der Sehnen als Ausdruck der Sehnervaskularisation bei fortgeschrittener Bindegewebsdegeneration sind in dieser Schichtführung und Sequenztechnik gut zu diagnostizieren.
- *Morton-Neurom* (T1w nativ koronar und axial): Dies sind fast die wichtigsten Sequenzen zur Beurteilung des Morton-Neuroms. Da der Nervenknötchen einen hohen Zellreichtum aufweist, stellt er sich in den nativen T1w Sequenzen signalarm innerhalb des signalreichen Fettgewebes dar und lässt sich oft schon sehr gut nativ mit seiner kolben- bzw. spindelförmigen Konfiguration im Interdigitalraum abgrenzen. Oft ist die Kontrastmittelgabe nicht sonderlich hilfreich, da das Morton-



**Abb. 1.1 a, b** Spezielle Sequenzen der MRT-Bildgebung des Fußes.

**a** Vordere Syndesmoase: Schichtführung schräg sagittal.

**b** Sehnenpathologie: Schichtführung schräg axial.

Neurom einen unterschiedlichen Vaskularisationsgrad aufweisen kann. Entscheidend sind die Lokalisation (interdigital zwischen den Metatarsaleköpfchen plantarseitig D II/D III und D III/D IV) und die Konfiguration (meist kolbenförmig in der T1w axialen Sequenz und spindelförmig in der koronaren Sequenz in das plantare Weichgewebe reichend).

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die optimale MRT-Untersuchung am Fuß in der täglichen Routine auch für das Personal gut durchführbar ist. Eine reduzierte Bildqualität muss oft der wirtschaftlichen Notwendigkeit geschuldet werden; eine hohe Bildqualität erfordert einen großen Zeitaufwand, der sich wirtschaftlich nicht immer positiv darstellt.

### 1.1.2 Belastungs-MRT

Ein häufiges Problem bei Patienten mit Fußschmerzen ist das intermittierende Auftreten der Beschwerdesymptomatik unter Belastung. Oft wird dem Patienten bei Erstkontakt mit einem Fußorthopäden die Ruhigstellung empfohlen; eine daran anschließende MRT-Untersuchung erfolgt meistens im belastungsfreien Intervall. Somit wird der Patient meist ohne die aktuellen Beschwerden untersucht. In der Anamnese schildert der Patient auftretende Beschwerden während der körperlichen bzw. sportlichen Belastung oder danach. Eine Untersuchung im symptomfreien Intervall oder während eines Schonungsprozesses kann die Pathologie in einigen wenigen Fällen nicht erfassen (z. B. bei tief gelegenen Ganglien im Tarsaltunnel, die sich erst unter Belastung füllen, oder bei Instabilität der Peronealsehnen).

Zur Durchführung einer Belastungs-MRT wird der Patient gebeten, die Belastungen auszuführen, die zur Beschwerdesymptomatik führen. Falls nötig, wird vorher eine belastende Laufeinheit durchgeführt oder die zum Schmerz führende Trainingssituation mehrfach ausgeübt. Der Patient wird erst untersucht, wenn die beklagte Beschwerdesymptomatik eintritt. Dann erfolgt eine Untersuchung mit i. v. Kontrastmittelgabe.

Die Belastungs-MRT ist ein noch nicht wissenschaftlich evaluiertes Verfahren, dessen Wertigkeit gegenüber einer „Standard-MRT“ noch nicht endgültig einzuschätzen ist. Sie sollte auch nur von erfahrenen Fußradiologen eingesetzt werden, damit Epiphänomene (z. B. physiologische Ergussbildung in den Gelenken oder Venenerweiterung) nicht fehlinterpretiert werden. Bei im Vorfeld auswärts unauffälliger MRT-Bildgebung und neuer Indikation für ein MRT kann sie insbesondere bei Sportlern jedoch hilfreich sein.

## 1.2 Mehrzeilen-Spiral-Computertomografie (-CT)

U. Szeimies

### 1.2.1 Lagerung

- bequeme Rückenlage
- Bewegungsartefakte vermeiden
- nur der zu untersuchende Fuß entweder liegend oder mit aufgestellter Fußsohle

### 1.2.2 Protokoll

Für optimale MPR (multiplanare Reformatierungen) sind isotope Voxel erforderlich. Beispielprotokoll:

- Schichtdicke 0,5 mm
- Rekonstruktionsabstand 0,25 mm
- Pitch 0,875
- 120 kV
- 80 – 150 mAs (bei Kindern nach strenger Indikationsstellung dosisreduziert)

Die Rekonstruktion erfolgt in 3 Standardachsen (axial, koronar und sagittal); die spezielle Pathologie wird in individueller Schichtführung ausgewählt herausvergrößert.

## 1.2.3 Indikationen

- **Erstdiagnostik:**
  - Frakturen (bei Sprunggelenkfrakturen zur Beurteilung der Achsenabweichung, genaue Fragmentdarstellung, Beurteilung der Stufenbildung), insbesondere Mittelfußfrakturen
  - schwere Distorsionstraumen mit unklarem Röntgenbild
  - Neuroarthropathie
  - Arthrose (Beurteilung des Ausmaßes der Arthrose)
  - ergänzend zum MRT (Ganglionzyste, unklares Knochenmarködem, weitere Differenzierung von Tumoren)
  - Koalition
  - ergänzend präoperative Planung (Winkelberechnung: Tibiatorsionswinkel)
- **postoperative Kontrolle** (Achse, Gelenkstufe, Osteosynthesematerial)
- **Verlaufskontrolle:**
  - knöcherner Durchbauung von Frakturen und Arthrodesen
  - Lokalisation und Beurteilung des Osteosynthesematerials (Schraube im Gelenkspalt, Lockerung; Abb. 1.2)

## 1.2.4 Besondere Techniken

- **3D-Darstellung** (3-dimensionale Darstellung); Indikation:
  - komplexe Frakturen
  - Kalkaneusfraktur, Beurteilung der Gelenkfläche subtalar
  - Lisfranc- und Chopart-Gelenklinie
  - Darstellung der Fragmente zueinander
  - Achsenabweichung
- **Untersuchungen im Seitenvergleich:** obsolet, da zu hohe Strahlenexposition
- **CT-Untersuchungen bei Kindern:** aufgrund der Strahlenbelastung grundsätzlich, wenn möglich, durch das MRT ersetzen (z. B. bei Verletzungen der Epiphysenfugen, Knochenbrücken in der Epiphysenfuge, Koalition); CT erst einsetzen, wenn MRT nicht eindeutig

## 1.3 Röntgen

M. Walther

### 1.3.1 Vorfuß

#### Aufnahme des Fußes in 3 Ebenen unter Belastung (Abb. 1.3)

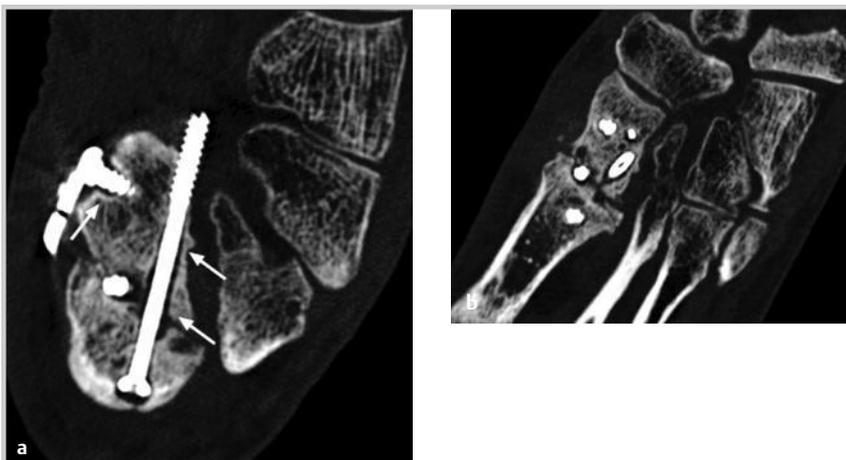
##### Indikation

Standardbildgebung des Fußes. Nur nach Trauma oder postoperativ werden unbelastete Aufnahmen angefertigt.

##### Positionierung

- **d.-p. (dorsoplantare) Projektion:**
  - Film flach auf dem Boden
  - Patient auf der Kassette stehend
  - Zentralstrahl auf Tarsometatarsalgelenk II zentriert
  - Röhre 0° vertikal
- **seitliche Aufnahme:**
  - Film senkrecht zum Boden, medial dem Fuß anliegend
  - Patient auf dem Boden stehend
  - Zentralstrahl von lateral nach medial, zentriert auf das Kalkaneokuboidalgelenk
  - Röhre 0° horizontal

Die Bestimmung von Achsverhältnissen auf Röntgenbildern ist mit einer erheblichen Variabilität behaftet. Couglin und Mitarbeiter veröffentlichten 2002 eine Technik zur Bestimmung der Knochenachsen unter Definition der Referenzpunkte im Bereich der Diaphyse. Diese Technik wurde von der AOFAS (American Orthopedic Foot and Ankle Society) zum Standard im Bereich der Vorfußchirurgie erklärt.



**Abb. 1.2 a, b** 72-jährige Patientin mit persistierenden Schmerzen nach Arthrodesese im Lisfranc-Gelenk I.

- a** Schräg koronare MPR-Rekonstruktion entlang der Schraube durch das Tarsometatarsalgelenk I. Knöcherner Resorptionssaum um die Arthrodeseschrauben (Pfeile). Die Beurteilung der knöchernen Durchbauung bei einliegendem Osteosynthesematerial und der knöchernen Verankerung des Materials ist auch an kleinen Gelenken relativ artefaktfrei gut möglich.
- b** Koronare MPR des Mittelfußes mit Darstellung der Pseudarthrose am Tarsometatarsalgelenk I.