

---

# Operative Orthopädie und Traumatologie

## Affiliated with

Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie (DGOOC)

Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU)

Österreichische Gesellschaft für Unfallchirurgie (ÖGU)

Schweizerische Gesellschaft für Traumatologie und Versicherungsmedizin (SGTV)

---

## Elektronischer Sonderdruck für M. Richter

Ein Service von Springer Medizin

Oper Orthop Traumatol 2011 · 23:141–150 · DOI 10.1007/s00064-010-8070-5

© Springer-Verlag 2011

**M. Richter**

## Navigierte Korrekturarthrodese des oberen und unteren Sprunggelenks mit retrograder Marknagelfixierung

Oper Orthop Traumatol 2011 · 23:141–150  
 DOI 10.1007/s00064-010-8070-5  
 Online publiziert: 4. Mai 2011  
 © Springer-Verlag 2011

**Redaktion**

R.A. Fuhrmann, Eisenberg

**Redaktion**

R. Himmelhan, Heidelberg

**M. Richter**Unfallchirurgie, Orthopädie und Fußchirurgie Coburg und  
Hildburghausen, Klinikum Coburg, Coburg

# Navigierte Korrekturarthrodese des oberen und unteren Sprunggelenks mit retrograder Marknagelfixierung

## Vorbemerkungen

Arthrosen und Deformitäten am oberen Sprunggelenk (OSG) und Rückfuß sind häufig [12]. Die degenerativen Veränderungen kombiniert mit den biomechanischen Auswirkungen der Deformitäten führen zu Symptomen wie Schmerz und Gangstörung [2, 18]. Die kombinierte Korrekturarthrodese des oberen Sprunggelenks (OSG) und Subtalargelenks durch Fixation mit einem retrograden Marknagel ist inzwischen ein Standardverfahren [5]. Dabei ist die Korrektur der Deformitäten schwierig und verbleibende Deformitäten mit entsprechenden Beschwerden sind häufig [12]. Eine adäquate präoperative Planung ist Standard und das Erreichen der geplanten Korrektur ist das intraoperative Ziel [12]. Die präoperative Diagnostik mit Röntgenaufnahmen unter Belastung und Computertomographie (CT) erlaubt eine akkurate Planung, die durch den Einsatz einer Planungssoftware noch vereinfacht und verbessert werden kann [3]. Während der Operation ist das exakte Erreichen der geplanten Korrektur jedoch schwierig, da sich der Operateur nur mit den konventionellen Bildgebungstechniken, d. h. einem Röntgenbildverstärker orientieren kann [12, 14]. In anderen Gebieten der Orthopädie und Unfallchirurgie zeigte der Einsatz von Navigation (Computer Assisted Surgery, CAS) eine Verbesserung der Genauigkeit von Korrekturen (z. B. Korrekturosteotomie proximale Tibia) und Implantatplatzierung (z. B. bei Pedikelschrauben) [4, 6, 7, 9, 10, 15, 17, 19, 20]. Da die CT-basierte Navigation im Fußbereich bereits *in vitro* nicht adäquat funktionierte, wurde

ein auf einem Röntgenbildverstärker basierendes und CT-freies System klinisch eingesetzt und zeigte sehr erfolgversprechende erste Ergebnisse [13, 14, 16]. Diese Methode ist nun an unserer Einrichtung im Routinegebrauch. Die Kombination der Navigation, die die Genauigkeit der Korrektur und Implantatplatzierung verbessern soll, mit der Korrekturarthrodese von OSG und USG wird hier vorgestellt.

## Operationsprinzip und -ziel

**Ziel der navigierten Korrekturarthrodese des OSG/USG mit Marknagelfixation ist die Wiederherstellung eines plantigraden belastbaren Fußes bei Deformitäten an OSG und/oder Rückfuß bei gleichzeitigen degenerativen Veränderungen an OSG und Subtalargelenk.**

## Vorteile

- Durch kombinierte Korrektur und Arthrodese im OSG und Subtalargelenk wird die Stellung in OSG und Rückfuß gleichzeitig korrigiert. Diese gleichzeitige Korrektur an beiden Gelenken ist bei isolierten Korrekturarthrosen von OSG oder Subtalargelenk nicht gegeben
- Durch Fixation mit einem retrograden Marknagel wird die Stabilität im Vergleich zur Schrauben- und/oder Plattenosteosynthese erhöht [1]
- Durch Navigation wird eine hohe Genauigkeit der Korrektur und Implantatfixation erreicht

## Nachteile

- Kombinierte Korrekturarthrodese von OSG und Subtalargelenk ist ein ausgedehnterer Eingriff als die isolierte Korrekturarthrodese von OSG oder Subtalargelenk
- Fixation mittels retrogradem Marknagel birgt das Risiko der Fehlstellung an OSG und Rückfuß bei nicht exakter Platzierung des Implantats
- Einsatz der Navigation erfordert den Einsatz teurer Navigationsgeräte und zu Beginn des Einsatzes eine verlängerte Operationszeit

## Indikationen

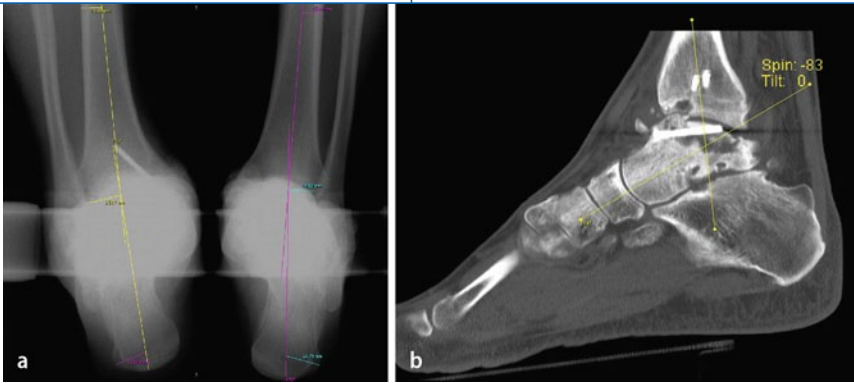
- Arthrose im OSG und Subtalargelenk
- Fehlstellung OSG und/oder Rückfuß

## Kontraindikationen

- Floride Infektion an OSG/Rückfuß
- Schwere periphere arterielle Verschlusskrankheit

## Patientenaufklärung

- Übliche allgemeine Operationsrisiken
- Entnahme von kortikalem und/oder spongiosen Knochen an dorsalem Beckenkamm oder proximaler Tibia mit entsprechenden lokalen Beschwerden an der Entnahmestelle
- Risiko einer persistierenden oder anderer Fehlstellung
- Risiko einer verzögerten oder fehlenden Durchbauung des Arthrodesebereichs



**Abb. 1** ▲ **a** Analyse und Planung anhand einer Saltzman-Aufnahme. Hier mit 3°-Varusstellung des Rückfußes, d. h. bei normaler Valgusstellung des Rückfußes von 4° der gesunden Gegenseite, so dass sich in diesem Fall ein pathologischer Rückfußvarus von 7° ergibt. **b** Parasagittale Reformation der präoperative CT mit teilweiser Destruktion des Taluskörpers und degenerativen Veränderungen von OSG und Subtalgelenk

- Hinweis auf notwendige, mindestens 6-wöchige Teilbelastung

### Operationsvorbereitung

- Sorgfältige anamnestische und klinische Evaluation von Beschwerden und Fehlstellung
- Überprüfung der Hautverhältnisse, der Durchblutung und dem neurologischen Status
- Genaue Analyse der Fehlstellung anhand folgender Röntgenaufnahmen: Beinachsenaufnahme, OSG beidseits in 2 Ebenen unter Belastung, Saltzman-

Aufnahme beidseits, Füße beidseits in 2 Ebenen mit Belastung. Der Saltzman-View erfolgt im Stehen beidseits und gleichzeitig im anteroposterioren Strahlengang mit um 20° nach dorsal-kaudal gekippter Röhre zur simultanen und beidseitigen Darstellung der Tibia- und Rückfußachsen

- Computertomographie
- Bei nicht eindeutig tastbaren Fußpulsen Dopplersonographie und ggf. digitale Subtraktionsangiographie (DSA)

### Instrumentarium

- Knochensieb nach Standard
- Schanz'sche Schrauben
- Marknagel (z. B. A3, SBI, Donau-eschingen/Morrisville)
- Sieb mit Navigationsinstrumenten
- Navigationssystem (hier Navivision, Brainlab, Heimstetten in Kombination mit ARCADIS-3-D®, Siemens, München)
- Gerade und gekrümmte Meisel
- Arthrodesenspreizer
- Ggf. Fräse zum Entknorpeln (z. B. Epen, Synthes, Umkirch)

### Anästhesie und Lagerung

- Allgemeinanästhesie oder Spinal-/Periduralanästhesie
- Bauchlagerung mit an der Tischkante überstehendem Fuß
- Oberschenkelblutsperrung
- Abkleben und Vorreinigen von ipsilateralem dorsalen Beckenkamm und komplettem Unterschenkel

Oper Orthop Traumatol 2011 · 23:141–150 DOI 10.1007/s00064-010-8070-5  
© Springer-Verlag 2011

M. Richter

### Navigierte Korrekturarthrodese des oberen und unteren Sprunggelenks mit retrograder Marknagelfixierung

#### Zusammenfassung

**Operationsziel.** Wiederherstellung eines plantigraden belastbaren Fußes bei Deformitäten an oberem Sprunggelenk (OSG) und/oder Rückfuß bei gleichzeitigen degenerativen Veränderungen an OSG und Subtalgelenk.

**Indikationen.** Arthrose am OSG und Subtalgelenk und Fehlstellung von OSG und/oder Rückfuß.

**Kontraindikationen.** Floride Infektionen an OSG/Rückfuß oder schwere Durchblutungsstörung.

**Operationstechnik.** Bauchlage und posterolateraler Zugang zum OSG und USG. Platzierung der dynamischen Referenzbasen (DRB) in die distale Tibia über die initiale Inzision und in den Talus oder Kalkaneus über eine Stichinzision. Zweidimensionale (2-D) Bildacquisition zur Navigation. Festlegung der Achsen der beiden Knochen Tibia und Kalkaneus,

die im Verhältnis zueinander navigiert werden. Festlegung des Korrekturausmaßes anhand der präoperativen Planung. Darstellen von OSG und USG sowie Entknorpelung. Navigationsgestützte Korrektur und Transfixation des Korrekturergebnisses mit 2,5-mm-Kirschner-Drähten. Dreidimensionale (3-D) Bildacquisition zur Analyse der Korrekturgenauigkeit und zur Planung des Bohrkanals für die Nagelinsertion. Navigierter Bohrvorgang und Einbringen des Nagels. Verriegelung über den Standardzielbügel durch Einbringen je eines Verriegelungsbolzens in Kalkaneus, Talus und Tibia. 3-D-Scan zur Kontrolle der Stellung und der Implantatlage. Bei korrekter Position Einlage einer Drainage und schichtweiser Wundverschluss.

**Weiterbehandlung.** 6 Wochen 15 kg Teilbelastung in Orthese (Vacuped). Danach Über-

gang zur Vollbelastung im festen Konfektionsschuh.

**Ergebnisse.** Vom 1. September 2006 bis 31. August 2008 wurden 14 Korrekturarthrodesen durchgeführt. Die Analyse der Genauigkeit durch den Vergleich der im präoperativen CT geplanten Korrektur und der im intraoperativen ARCADIS-3D®-Scan erreichten Korrektur zeigen eine Abweichung von maximal 2° oder 2 mm. Navigationsassoziierte Komplikationen wurden nicht beobachtet. In den nachuntersuchten 14 Fällen trat eine zeitgerechte Durchbauung ein.

#### Schlüsselwörter

Fußgelenk · Arthrodese · Sprunggelenk · Computernavigierte Chirurgie · Retrograder Nagel

### Computer-assisted surgery (CAS)-guided correction arthrodesis of the ankle and subtalar joint with retrograde nail fixation

#### Abstract

**Objective.** Restoration of a stable and plantigrade foot in deformities of the ankle and/or hindfoot and concomitant degenerative changes at the ankle and subtalar joint.

**Indications.** Deformities of the ankle and/or hindfoot and concomitant degenerative changes at the ankle and subtalar joint.

**Contraindications.** Active local infection or relevant arterial insufficiency.

**Surgical technique.** Prone position and posterolateral approach to ankle and subtalar joint. Placement of dynamic reference bases (DRB) in the tibia and through a stab incision in the talus or calcaneus. Two-dimensional (2D) image acquisition for navigation. Definition of axes of the tibia, calcaneus, and hindfoot, and of extent

of correction. Exposition of ankle and subtalar joint and removal of remaining cartilage. Computer-assisted surgery (CAS)-guided correction and transfixation of the corrected position with 2.5 mm K-wires. Three-dimensional (3D) image acquisition for analysis of the accuracy of the correction and planning of the drilling for the retrograde nail. CAS-guided drilling insertion of the nail. Insertion of locking screws in the calcaneus, talus and tibia. 3D image acquisition for analysis of the accuracy of the correction implant position.

**Postoperative management.** Partial weight bearing (15 kg) in an orthosis (Vacuped) for 6 weeks, followed by full weight bearing in a stable standard shoe.

**Results.** From 1 September 2006 to 31 August 2008, 14 correction arthrodeses were performed. The accuracy was assessed by intraoperative 3D imaging. All achieved angles/translations were within a maximum deviation of 2°/mm when compared to the planned correction. Complications that were associated with CAS were not observed. In all 14 cases completing follow-up, timely fusion was registered.

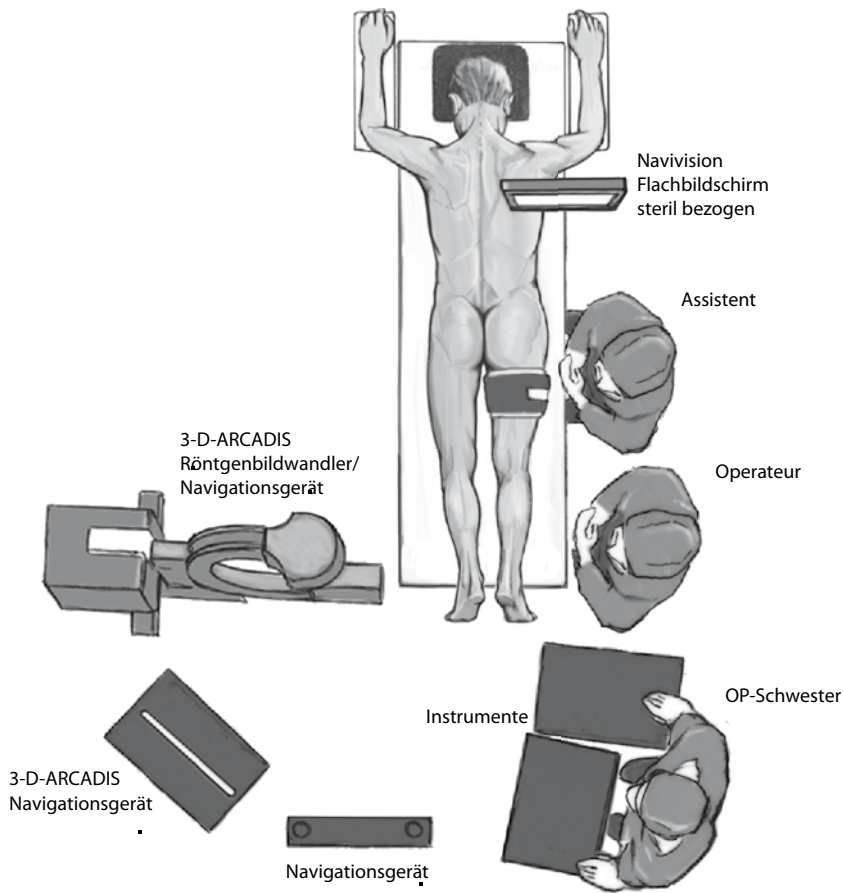
#### Keywords

Ankle · Arthrodesis · Subtalar joint · Computer-assisted surgery · Retrograde nail

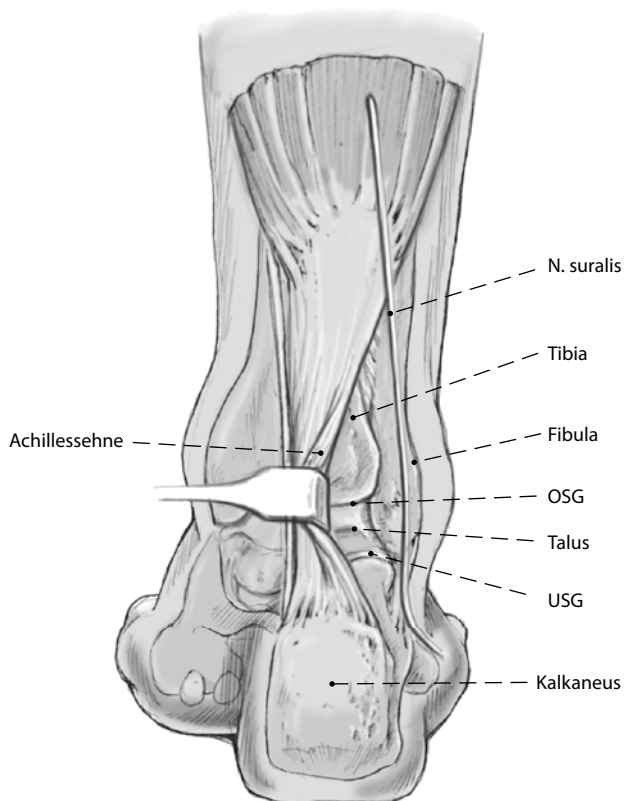
Operationstechnik

(■ Abb. 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)

Beispiel Fall 11 aus ■ Tab. 1

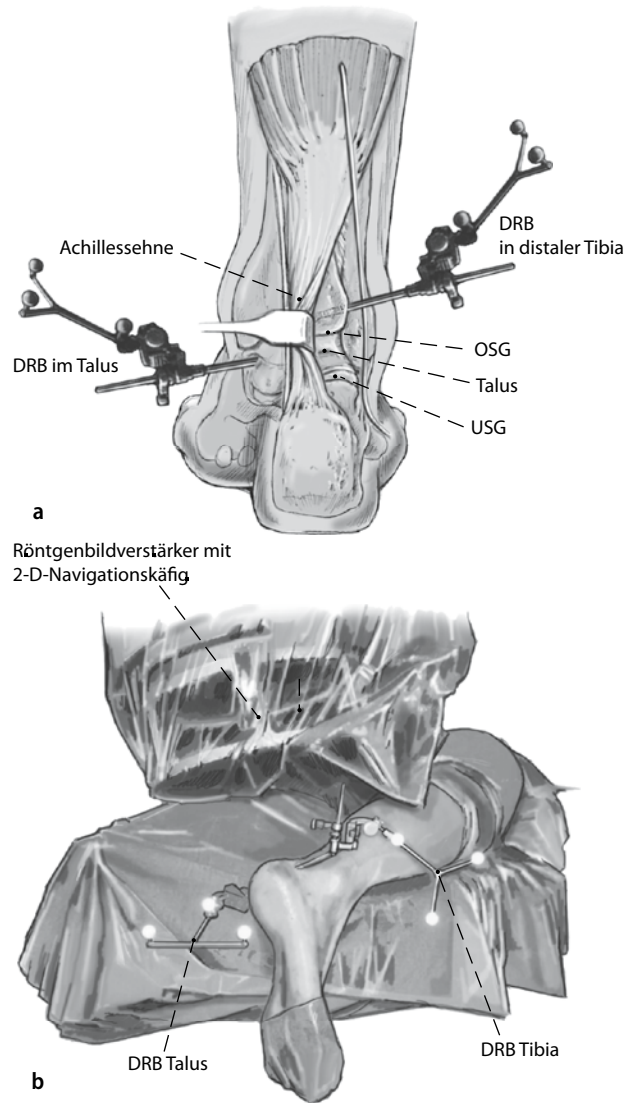


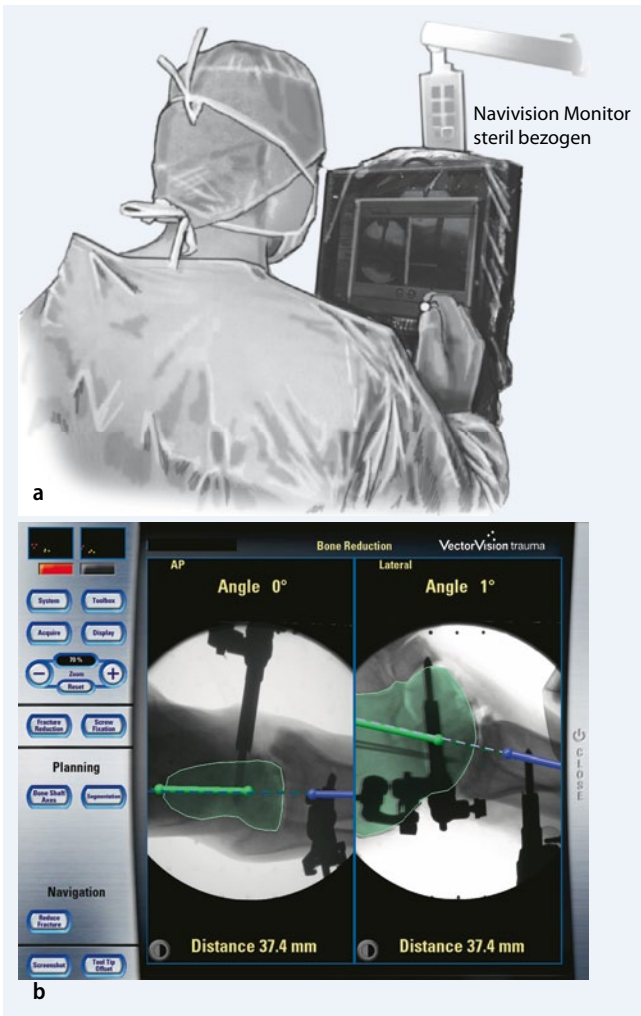
**Abb. 2** ◀ Lagerung des Patienten und Positionierung von Navigationssystem und Personal. Der Navigationsmonitor wird im Idealfall direkt am Operationstisch befestigt und steril bezogen. Die Positionierung aller Geräte und des kompletten Personals muss so erfolgen, dass von der Kamera „freie Sicht“ auf die dynamischen Referenzbasen (DRB) und den ARCADIS-3-D® Strahlendetektor besteht



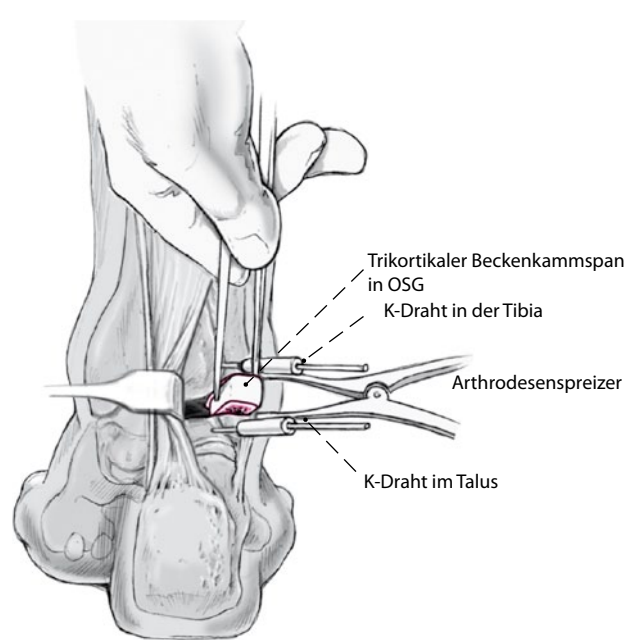
**Abb. 3** ◀ Dorsolateraler Zugang zum oberen und unteren Sprunggelenk nach Auswickeln mit Esmarch-Binde und Insufflation der Blulleere mit 350 mmHg. Hierbei Schonung des Nervus suralis und der Achillessehne. OSG und Subtalargelenk liegen in unmittelbarer Nähe zueinander

**Abb. 4** ► Platzierung der dynamischen Referenzbasen (DRB) in distale Tibia über die initiale Inzision (a). Dann Platzierung der zweiten DRB in den Talushals oder in den Proc. anterior calcanei über eine Stichinzision. Die Platzierung erfolgt im Talus wie in diesem Beispiel, wenn die Fehlstellung im OSG und nicht subtalar besteht. Dies hat den Vorteil, dass die spätere navigierte Bohrung für den Nagel genauer erfolgen kann, da die DRB im selben Knochen liegt wie der Endpunkt der Bohrung. Falls die Fehlstellung nicht im OSG sondern subtalar lokalisiert ist, muss die zweite DRB in den Kalkaneus platziert werden. Als seltener Sonderfall bei extremen Fehlstellungen zwischen Talus und Kalkaneus kann zunächst je eine DRB in Talus und Kalkaneus platziert werden und erst die Fehlstellung zwischen Talus und Kalkaneus navigationsgestützt korrigiert werden. Nach Transfixation dieser korrigierten Fehlstellung kann dann die DRB vom Kalkaneus in die Tibia umgesetzt werden und dann die Fehlstellung im OSG korrigiert werden (s. o.). Zur Fixation der DRB werden 5-mm-Schantzsche-Schrauben verwendet. Nach Platzierung der DRBs erfolgt die 2-D-Bildakquisition zur Navigation (b). Dafür muss der sog. 2-D-Navigationskäfig an den Detektor des ARCADIS-3-D® angebracht werden. Es wird ein Bild im anteroposterioren und eines im seitlichen Strahlengang akquiriert. Die Korrektur des tibiotalaren Winkels ist navigiert nur möglich, wenn die DRBs an Tibia und Talus befestigt sind und die Korrektur des talokalkanearen Winkels, wenn die DRBs an Talus und Kalkaneus befestigt sind. Es ist daher möglich, und dies wurde zum Teil auch so durchgeführt, erst den tibiotalaren Winkel navigationsgestützt zu korrigieren und dann nach Umsetzen der DRBs und erneuter Bildakquisition den talokalkanearen Winkel. Diese „doppelte“ navigationsgestützte Korrektur ist allerdings noch aufwändiger als mit nur einer navigationsgestützten Korrektur. Deshalb wurde hier ein Fall mit einer Fehlstellung in nur einem Gelenk (OSG) ausgewählt, um die Möglichkeiten der Methode einfacher zu veranschaulichen

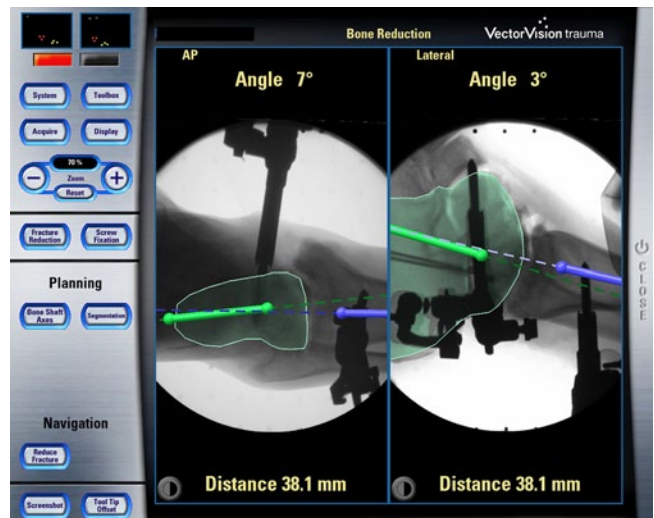




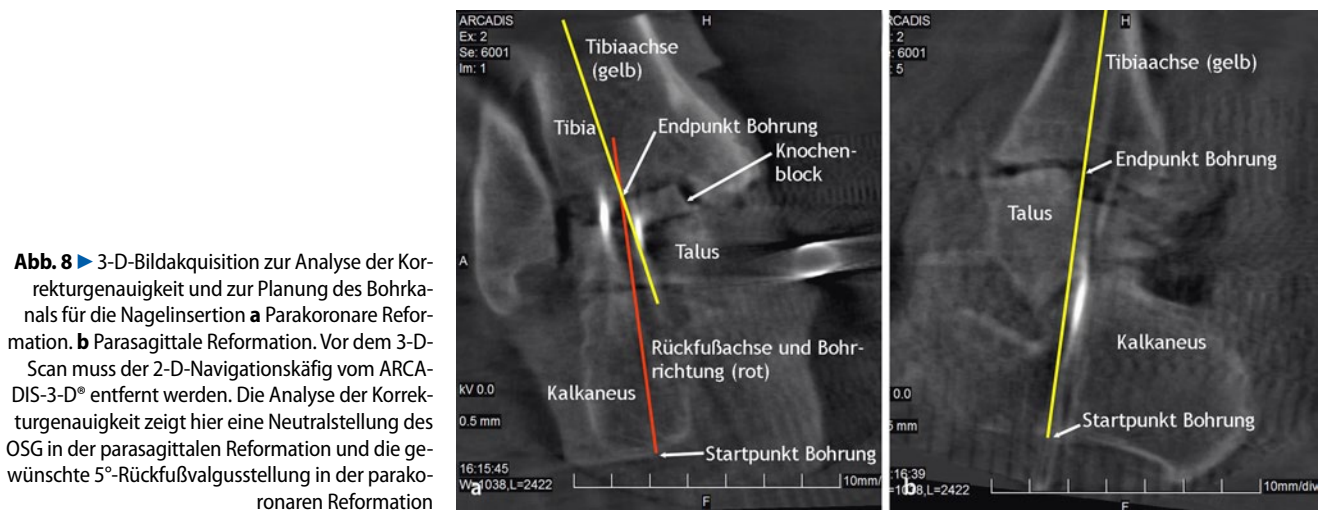
**Abb. 5** ▲ Festlegung der Achsen der beiden Knochen Tibia und Talus/Kalkaneus, die im Verhältnis zueinander navigiert werden (a). In diesem Fall bestand keine subtalare Fehlstellung, so dass vor der Korrektur das Subtalargelenk mit zwei 2,0-mm-Kirschner-Drähten transfixiert wurde, um zu verhindern, dass keine iatrogene subtalare Fehlstellung entstehen kann. Navigiert wurde dann diese Talus/Kalkaneus-„Einheit“ (grüne Fläche, grüne Achse) im Verhältnis zur Tibia (blaue Achse, b). Im Idealfall werden die Achsen so definiert, dass diese vor der Korrektur 0° sind (links: anteroposteriorer Strahlengang; rechts: seitlicher Strahlengang). Festlegung des Korrekturmaßes anhand der präoperativen Planung. In diesem Fall sind dies 7° Valgisierung und 3° Dorsalextension



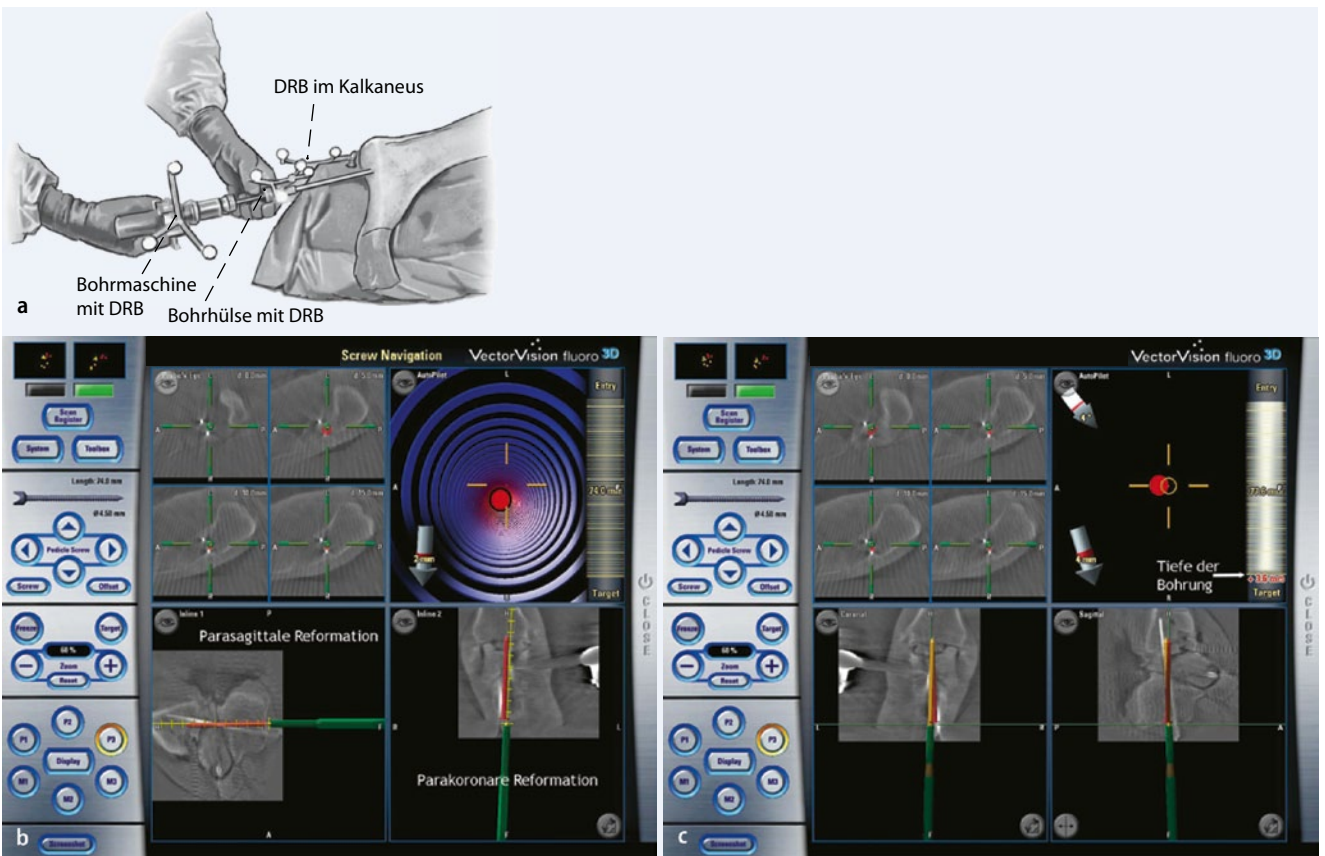
**Abb. 6** ▲ Darstellen von OSG und Subtalargelenk und Entknorpelung. Hierfür ggf. Einsetzen eines Arthrodensspreizers. Hierfür haben sich 2,0-mm-Kirschner-Drähte als Widerlager in den benachbarten Knochen bewährt. So kann das ganze Gelenk exponiert werden, ohne dass der Arthrodensspreizer im Gelenk selbst liegt und die Entknorpelung u. ä. behindert



**Abb. 7** ▲ Navigationsgestützte Korrektur und Transfixation des Korrekturergebnisses mit 2,5-mm-Kirschner-Drähten. In diesem Fall wurde im OSG 7° valgisiert und 3° dorsalextendiert. Danach ggf. Auffüllen des Defekts im Gelenk mit trikortikalem Beckenkammspan und Spongiosa im OSG und Spongiosa im USG. Der Beckenkammspan wird so ausgemessen, dass er genau in den Defekt passt. Während und nach der Knochentransplantation wird mit Hilfe des Navigationsgerätes sichergestellt, dass keine Änderung des Korrekturergebnisses eintritt

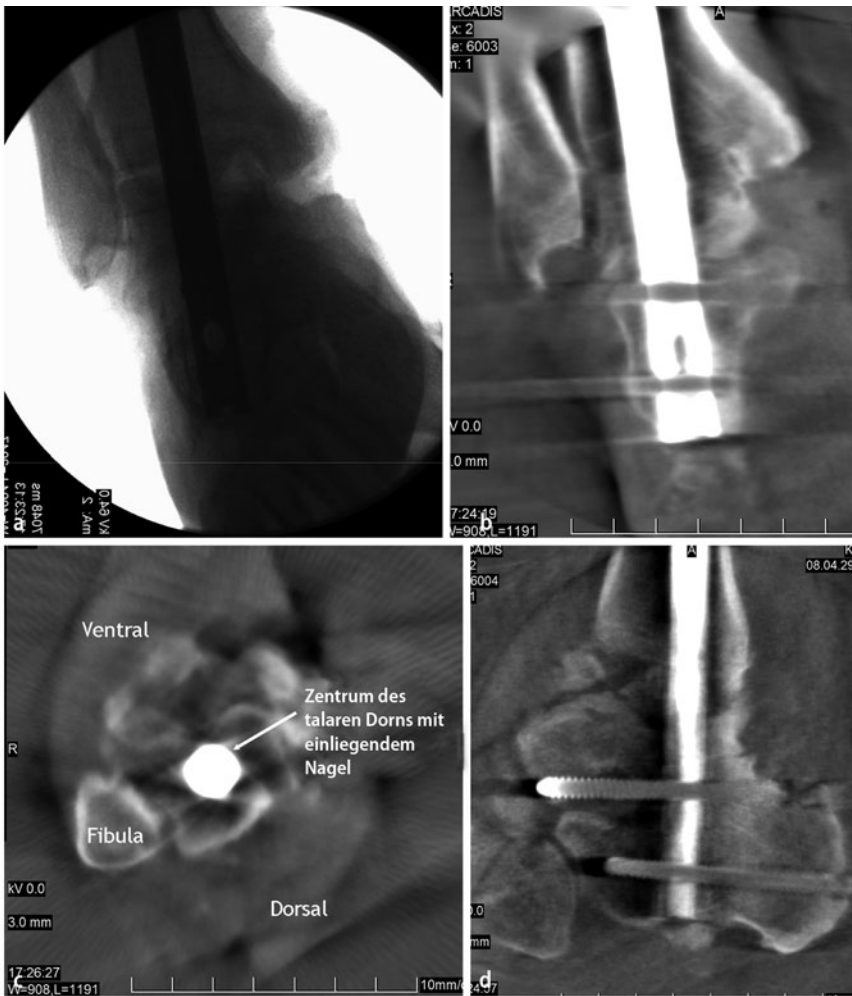


**Abb. 8** ▶ 3-D-Bildakquisition zur Analyse der Korrekturgenaugigkeit und zur Planung des Bohrkans für die Nagelinseration **a** Parakoronare Reformation. **b** Parasagittale Reformation. Vor dem 3-D-Scan muss der 2-D-Navigationskäfig vom ARCADIS-3-D® entfernt werden. Die Analyse der Korrekturgenaugigkeit zeigt hier eine Neutralstellung des OSG in der parasagittalen Reformation und die gewünschte 5°-Rückfußvalgusstellung in der parakoronalen Reformation



**Abb. 9** ▲ Navigierter Bohrvorgang. **a** Klinischer Aspekt. **b** Ansicht Navigationsbildschirm bei Bohrbeginn. **c** Navigationsbildschirm bei Bohrende. Danach Einbringen des Nagels und Verriegelung über den Standardzielbügel mit Einbringen je eines Verriegelungsbolzens in Talus und Kalkaneus. Im Kalkaneus kann bei osteoporotischen Knochen auch die sog. Klinge anstatt des Verriegelungsbolzens verwendet werden. In diesem Fall liegt der zweitdistalste Verriegelungsbolzen nicht komplett im Talus sondern teilweise im Kalkaneus, was jedoch kein Problem darstellt





**Abb. 10** ▲ 2-D- und 3-D-Bilder nach Nagelinsertion. **a** 2-D-Bild im anteroposterioren Strahlengang. **b** Parakoronare Reformation. **c** Axiale Reformation. **d** Parasagittale Reformation. Bei korrekter Position Einlage einer Drainage und schichtweiser Wundverschluss

### Postoperative Behandlung

- Anlage der Orthese noch im Op. (z. B. Vacuped, Oped, Valley)
- Hochlagerung
- Ab dem 1. postoperativen Tag Mobilisation mit Orthese und 15 kg Teilbelastung möglich
- Postoperative Röntgenkontrolle am 1. oder 2. Tag
- Entfernung der Drainage am 2. postoperativen Tag
- Entfernung von Hautnahtmaterial am 12. postoperativen Tag
- 6 Wochen 15 kg Teilbelastung an Unterarmgehstützen in der Orthese
- Nach 6 Wochen in Abhängigkeit des radiologischen Verlaufs Weglassen

der Orthese und Übergang zur Vollbelastung im festen Konfektionsschuh

### Fehler, Gefahren, Komplikationen

- Verbleibende Deformität oder andere Deformität: Weitere nichtoperative Maßnahmen (z. B. Schuhzurichtung und/oder Einlagen) oder operative Maßnahmen nötig (erneute Korrekturoperation)
- Nichterreichen eines plantigraden Fußes: Weitere nichtoperative Maßnahmen (z. B. Schuhzurichtung und/oder Einlagen) oder operative Maßnahmen erforderlich (erneute Korrekturoperation)

- Verletzung des Nervus suralis: Ggf. irreversible Hypo- oder Asensibilität im Innervationsgebiet möglich
- Prominenter Nagel am Eintrittspunkt oder prominente Verriegelungsbolzen mit konsultierenden Schmerzen in diesen Bereichen: Ggf. Spezielle Polsterung, Änderung der Implantatlage oder frühzeitige Implantatentfernung erforderlich
- Fehlfunktion des Navigationssystems: Weiteres konventionelles Vorgehen ohne Navigation nötig

### Ergebnisse

Vom 1. September 2006 bis 31. August 2008 wurden in unserer Klinik 14 Korrektur-

<b>Tab. 1 Stellung vor Korrektur, geplante Korrektur, erreichte Stellung und Abweichung von geplanter Korrektur</b>				
<b>Fall</b>	<b>Stellung vor Korrektur</b>	<b>Geplante Korrektur</b>	<b>Erreichte Stellung</b>	<b>Abweichung</b>
1	Fixierter Talus Equinus 22°	Talus Dorsalextension 22°	Talus Equinus 0°	0°
	Fixierter Talus Varus 14°	Talus Valgisation 14°	Talus Varus -1°	1°
	Talus dors. Versch. 12 mm	Talus ventr. Versch. 12 mm	Talus dors. Versch. 1 mm	1 mm
	Talokalkaneärer Winkel 15°	Erhöhung Talokalkaneärer Winkel um 25°	Talokalkaneärer Winkel 39°	1°
	Bohlerwinkel 10°	Erhöhung Bohlerwinkel um 20°	Bohlerwinkel 30°	0°
	Rückfußvarus 23°	Rückfuß Valgisation 28°	Rückfußvalgus 7°	2°
2	Fixierter Talus Equinus 5°	Talus Dorsalextension 5°	Talus Equinus 0°	0°
	Fixierter Talus Varus 4°	Talus Valgisation 4°	Talus Varus -1°	1°
	Talus dors. Versch. 13 mm	Talus ventr. Versch. 13 mm	Talus dors. Versch. 2 mm	2 mm
3	Fixierter Talus Equinus 50°	Talus Dorsalextension 50°	Talus Equinus 2°	2°
	Fixierter Talus Varus 24°	Talus Valgisation 24°	Talus Varus 2°	2°
	Talokalkaneärer Winkel 5°	Erhöhung Talokalkaneärer Winkel um 30°	Talokalkaneärer Winkel 35°	0°
4	Fixierter Talus Equinus 54°	Talus Dorsalextension 54°	Talus Equinus 0°	0°
	Fixierter Talus Varus 45°	Talus Valgisation 45°	Talus Varus -1°	1°
5	Fixierter Talus Varus 4°	Talus Valgisation 4°	Talus Varus -1°	1°
	Talus dors. Versch. 10 mm	Talus ventr. Versch. 10 mm	Talus dors. Versch. 1 mm	1 mm
	Talokalkaneärer Winkel 5°	Erhöhung Talokalkaneärer Winkel um 30°	Talokalkaneärer Winkel 35°	0°
	Bohlerwinkel 5°	Erhöhung Bohlerwinkel um 25°	Bohlerwinkel 30°	0°
6	Rückfußvarus 10°	Rückfuß Valgisation 15°	Rückfußvalgus 5°	0°
	Talus dors. Versch. 12 mm	Talus ventr. Versch. 12 mm	Talus dors. Versch. 1 mm	1 mm
	Talokalkaneärer Winkel 15°	Erhöhung Talokalkaneärer Winkel um 25°	Talokalkaneärer Winkel 39°	1°
7	Bohlerwinkel 10°	Erhöhung Bohlerwinkel um 20°	Bohlerwinkel 30°	0°
	Rückfußvarus 12°	Rückfuß Valgisation 17°	Rückfußvalgus 3°	2°
	Fixierter Talus Varus 40°	Talus Valgisation 40°	Talus Varus -1°	1°
8	Talus ventr. Versch. 32 mm	Talus dors. Versch. 32 mm	Talus ventr. Versch. 1 mm	1 mm
	Fixierter Talus Equinus 8°	Talus Dorsalextension 8°	Talus Equinus 0°	0°
9	Fixierter Talus Varus 8°	Talus Valgisation 8°	Talus Varus 1°	1°
	Talokalkaneärer Winkel 15°	Erhöhung Talokalkaneärer Winkel um 25°	Talokalkaneärer Winkel 39°	1°
	Bohlerwinkel 10°	Erhöhung Bohlerwinkel um 20°	Bohlerwinkel 30°	0°
	Rückfußvarus 12°	Rückfuß Valgisation 17°	Rückfußvalgus 5°	0°
10	Fixierter Talus Equinus 5°	Talus Dorsalextension 5°	Talus Equinus 0°	0°
	Fixierter Talus Varus 4°	Talus Valgisation 4°	Talus Varus -1°	1°
11	Fixierter Talus Equinus 10°	Talus Dorsalextension 10°	Talus Equinus 0°	0°
	Fixierter Talus Varus 4°	Talus Valgisation 4°	Talus Varus -1°	1°
	Talus dors. Versch. 12 mm	Talus ventr. Versch. 12 mm	Talus dors. Versch. 1 mm	1 mm
	Talokalkaneärer Winkel 15°	Erhöhung Talokalkaneärer Winkel um 25°	Talokalkaneärer Winkel 39°	1°
	Bohlerwinkel 10°	Erhöhung Bohlerwinkel um 20°	Bohlerwinkel 30°	0°
12	Rückfußvarus 12°	Rückfuß Valgisation 17°	Rückfußvalgus 5°	0°
	Fixierter Talus Equinus 3°	Talus Dorsalextension 3°	Talus Equinus 0°	0°
	Fixierter Talus Varus 7°	Talus Valgisation 7°	Talus Varus 0°	0°
13	Fixierter Talus Equinus 10°	Talus Dorsalextension 10°	Talus Equinus 0°	0°
	Fixierter Talus Varus 63°	Talus Valgisation 63°	Talus Varus 1°	1°
	Talus ventr. Versch. 12 mm	Talus dors. Versch. 12 mm	Talus ventr. Versch. 1 mm	1 mm
	Talokalkaneärer Winkel 15°	Erhöhung Talokalkaneärer Winkel um 25°	Talokalkaneärer Winkel 39°	1°
	Bohlerwinkel 10°	Erhöhung Bohlerwinkel um 20°	Bohlerwinkel 30°	0°
13	Rückfußvarus 12°	Rückfuß Valgisation 17°	Rückfußvalgus 5°	0°
	Fixierter Talus Equinus 15°	Talus Dorsalextension 15°	Talus Equinus 0°	0°
	Fixierter Talus Varus 42°	Talus Valgisation 42°	Talus Varus -1°	1°
	Talus dors. Versch. 5 mm	Talus ventr. Versch. 5 mm	Talus dors. Versch. 2 mm	2 mm
	Talokalkaneärer Winkel 5°	Erhöhung Talokalkaneärer Winkel um 30°	Talokalkaneärer Winkel 35°	0°
	Bohlerwinkel 0°	Erhöhung Bohlerwinkel um 30°	Bohlerwinkel 28°	2°

**Tab. 1** Stellung vor Korrektur, geplante Korrektur, erreichte Stellung und Abweichung von geplanter Korrektur (Fortsetzung)

Fall	Stellung vor Korrektur	Geplante Korrektur	Erreichte Stellung	Abweichung
14	Fixierter Talus Equinus 10°	Talus Dorsalexension 10°	Talus Equinus 0°	0°
	Fixierter Talus Varus 4°	Talus Valgisation 4°	Talus Varus -1°	1°
	Talokalkaneärer Winkel 15°	Erhöhung Talokalkaneärer Winkel um 25°	Talokalkaneärer Winkel 39°	1°
	Bohlerwinkel 15°	Erhöhung Bohlerwinkel um 15°	Bohlerwinkel 29°	1°
	Rückfußvarus 12°	Rückfuß Valgisation 17°	Rückfußvalgus 5°	0°

ventr. ventral; dors. dorsal; Versch. Verschiebung

turarthrodesen des OSG und Subtalgelenks wie beschrieben durchgeführt. Acht Patienten waren männlich und das mittlere Alter zum Zeitpunkt des Eingriffs betrug 56 Jahre (36–78 Jahre). Das Ausmaß der Deformitäten ist in **Tab. 1** dargestellt. Der mittlere präoperative „American Orthopaedic Foot and Ankle Association Hindfoot Score“ (AOFAS Hindfoot) betrug 48 Punkte (28–78 Punkte bei maximal erreichbaren 100 Punkten) und der mittlere „Visual Analogue Scale Foot and Ankle“ (VAS FA) lag bei 46 Punkten (22–78 bei maximal möglichen 100 Punkten) [8, 16]. Der Zeitaufwand für den navigierten Korrekturvorgang, d. h. Platzieren der DRBs, Bildakquisition, Planung und navigationsgestützte Korrektur bis zur Transfixation zur Sicherung des Korrekturergebnisses, betrug im Schnitt 8 min (6–18 min). Der Zeitaufwand für die navigierte Bohrung, d. h. Bildakquisition, Planung, Referenzierung von Bohrmaschine, Bohrer und Bohrhülse sowie die navigierte Bohrung, lag im Schnitt bei 7 min (4–12 min). Navigationsassoziierte Probleme oder Komplikationen traten in dieser Serie nicht auf. Die Analyse der Genauigkeit durch den Vergleich der im präoperativen CT geplanten Korrektur und der im intraoperativen ARCADIS-3-D®-Scan gemessenen erreichten Korrektur zeigen eine Abweichung von maximal 2° oder 2 mm (**Tab. 1**). In einem Fall trat eine Wundheilungsstörung auf, die jedoch ohne weitere chirurgische Intervention abheilte. Alle 14 Patienten wurden nach 2 Jahren nachuntersucht. In allen Fällen war eine Durchbauung eingetreten und die mittleren Scores waren im Vergleich zu den präoperativen Werten deutlich verbessert (AOFAS Hindfoot 80, 59–86 Punkte bei maximal erreichbaren 86 Punkten bei versteiftem OSG und Subtalgelenk; VAS FA 84, 67–100 Punkte bei maximal erreichbaren 100 Punkten). Zum Zeit-

punkt der Nachuntersuchung wurde die Genauigkeit der noch bestehenden Korrektur computertomographisch analysiert. Dabei konnten keine relevanten Abweichungen im Vergleich zur intraoperativen 3-D-Analyse mittels ARCADIS-3-D® festgestellt werden (Abweichung maximal 1 mm oder 1°). Eine vergleichbare Genauigkeitsanalyse ist derzeit nicht publiziert. Die im aktuellen Schrifttum beschriebenen klinischen Nachuntersuchungsergebnisse weichen von unseren nicht relevant ab [5, 11].

**Korrespondenzadresse**

**Prof. Dr. M. Richter**

Unfallchirurgie, Orthopädie und Fußchirurgie  
Coburg und Hildburghausen, Klinikum Coburg  
Ketschendorfer Str. 33, 96450 Coburg  
martinus.richter@klinikum-coburg.de

**Interessenkonflikt..** Der korrespondierende Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

**Literatur**

- Berend ME, Glisson RR, Nunley JA (1997) A biomechanical comparison of intramedullary nail and crossed lag screw fixation for tibiotalocalcaneal arthrodesis. *Foot Ankle Int* 18:639–643
- Coetzee JC, Hansen ST (2001) Surgical management of severe deformity resulting from posterior tibial tendon dysfunction. *Foot Ankle Int* 22:944–949
- Dahlen C, Zwipp H (2001) Computer-assistierte OP-Planung 3-D-Software für den PC. *Unfallchirurg* 104:466–479
- DiGioia AM III, Blendea S, Jaramaz B (2004) Computer-assisted orthopaedic surgery: minimally invasive hip and knee reconstruction. *Orthop Clin North Am* 35:183–189
- Grass R (2005) Tibiotalocalcaneal arthrodesis using a distally introduced femur nail (DFN). *Oper Orthop Traumatol* 17:426–441
- Haaker RG, Stockheim M, Kamp M (2005) Computer-assisted navigation increases precision of component placement in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 152–159
- Jolles BM, Genoud P, Hoffmeyer P (2004) Computer-assisted cup placement techniques in total hip arthroplasty improve accuracy of placement. *Clin Orthop Relat Res* 426:174–179

- Kitaoka HB, Alexander IJ, Adelaar RS (1994) Clinical rating systems for the ankle-hindfoot, midfoot, hallux, and lesser toes. *Foot Ankle Int* 15:349–353
- Langdown AJ, Auld J, Bruce WJ (2005) Computer-assisted knee arthroplasty versus a conventional jig-based technique. *J Bone Joint Surg Br* 87:588–589
- Nogler M (2004) Navigated minimal invasive total hip arthroplasty. *Surg Technol Int* 12:259–262
- Pelton K, Hofer JK, Thordarson DB (2006) Tibiotalocalcaneal arthrodesis using a dynamically locked retrograde intramedullary nail. *Foot Ankle Int* 27:759–763
- Rammelt S, Grass R, Zawadski T (2004) Foot function after subtalar distraction bone-block arthrodesis. A prospective study. *J Bone Joint Surg Br* 86:659–668
- Richter M (2003) Experimental comparison between computer assisted surgery (CAS) based and C-arm based correction of hind- and midfoot deformities. *Osteo Trauma Care* 11:29–34
- Richter M (2006) Computer based systems in foot and ankle surgery at the beginning of the 21st century. *Fuss Sprungg* 4:59–71
- Richter M, Amiot LP, Neller S (2000) Computer-assisted surgery in posterior instrumentation of the cervical spine: an in-vitro feasibility study. *Eur Spine J* 9(Suppl 1):S65–S70
- Richter M, Geerling J, Frink M (2006) Computer-assisted surgery (CAS) based correction of posttraumatic ankle and hindfoot deformities – Preliminary results. *Foot Ankle Surg* 12:113–119
- Richter M, Mattes T, Cakir B (2004) Computer-assisted posterior instrumentation of the cervical and cervico-thoracic spine. *Eur Spine J* 13:50–59
- Stephens HM, Sanders R (1996) Calcaneal malunions: results of a prognostic computed tomography classification system. *Foot Ankle Int* 17:395–401
- Swank ML (2004) Computer-assisted surgery in total knee arthroplasty: recent advances. *Surg Technol Int* 12:209–213
- Victor J, Hoste D (2004) Image-based computer-assisted total knee arthroplasty leads to lower variability in coronal alignment. *Clin Orthop Relat Res* 428:131–139